

BÜYÜKBAŞ VE KÜÇÜKBAŞ HAYVAN ATIKLARINDAN BİYOGAZ ÜRETİM POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ: BALIKESİR İLİ ÖRNEĞİ

Nezih Kamil SALİHOĞLU¹ (0000-0002-7730-776X)*
Arzu TEKSOY¹ (0000-0001-9134-1377)
Kader ALTAN¹ (0000-0003-3453-7183)

¹Çevre Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa, Türkiye

Geliş / Received: 13.06.2018
Kabul / Accepted: 05.10.2018

ÖZ

Bu çalışmada, Balıkesir ili sınırları içerisinde bulunan et ve süt üretimi amaçlı yetiştirilen büyükbaş ve küçükbaş hayvanlardan kaynaklanan atıklardan elde edilebilecek biyogaz üretim miktarı ve enerji potansiyelinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca, hayvansal atıkların çevre ve insan sağlığı etkileri üzerinde durulmaya çalışılmıştır. Çalışmada, hayvan sayılarının belirlenmesinde 2017 yılı TÜİK verileri ve Balıkesir İl Gıda, Tarım ve Hayvancılık Müdürlüğü 2017 yılı istatistik verilerinden faydalanılmıştır. Büyük ve küçükbaş hayvan başına kabul edilen atık miktarlarına göre farklı hesaplama yaklaşımları kullanılarak, Balıkesir ilinde yıllık olarak oluşması beklenen 5.955.318 ton hayvansal atığının 82.815.600 m³ biyogaz ve 1.879.914.120 MJ'luk enerji potansiyeline sahip olduğu belirlenmiştir.

Belirlenen bu potansiyelin uygulanacak projeler için temel bir bilgi oluşturacağı ancak atık toplama, taşıma, teknoloji seçimi, finans yönetimi vb. gibi faktörler dikkate alınarak her proje için ayrı fizibilite yapılması gerekliliğine dikkat çekilmiştir.

Anahtar kelimeler: Hayvansal atıklar, biyogaz, atık yönetimi, yenilenebilir enerji

DETERMINATION OF BIOGAS PRODUCTION POTENTIAL FROM CATTLE AND SHEEP WASTES: BALIKESİR CASE STUDY

ABSTRACT

In this study, it is aimed to determine the amount of biogas production and energy potential that can be obtained from wastes from cattle and sheep fed for meat and milk production in Balıkesir province. The data of 2017 TURKSTAT and the statistics of 2017 year of Balıkesir Provincial Directorate of Food, Agriculture and Livestock were used to determine the number of animals. Using different calculation methods according to the accepted waste amounts per large and small ruminants, 5,955,318 tons of animal waste expected to occur annually in Balıkesir province has been determined to have 82,815,600 m³ biogas and 1,879,914,120 MJ energy potential.

It was emphasized that estimated potential will provide a basic knowledge for the biogas projects to be implemented. However, a separate feasibility study should be carried out for each project in terms of waste collection, transportation, technology selection and financial management, etc.

Keywords: Animal wastes, biogas, waste management, renewable energy

*Corresponding author / Sorumlu yazar. Tel.: 02242942118 ; e-mail / e-posta: nkamils@uludag.edu.tr

1. GİRİŞ

Dünya nüfusunun hızlı bir şekilde artmaya devam etmesi, sanayileşmenin yeni boyutlar kazanması ve insanoğlunun geleneksel yaşam şartlarından kurtularak yaşama standardını yükseltmek istemesi, enerji ihtiyacını hızlı bir şekilde artırmaktadır. Bu nedenle, yeni enerji kaynaklarının bulunması, enerji teknolojisinin geliştirilmesi; enerji sorununu çözememiş gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeleri yeni arayışlara itmiştir. Gelişmekte olan ülkelerin tümünde olduğu gibi ülkemizin de gelişmiş ülkelerin seviyesine ulaşabilmesi için yeterli enerjiye sahip olması gerekmektedir. Günümüzde, enerjiye olan ihtiyaç ve fosil yakıtların çevreye verdiği olumsuzluklar, bunun yanında fosil yakıtların tükenme eğilimine girmesi araştırmacıların tükenmeyen yenilenebilir enerjiler üzerine araştırmalar yapmalarına sebep olmuştur. Bunlardan biri de biyogaz enerjisidir [1].

Avrupa Birliği'ne bağlı 28 üye ülkeye ait 2012 sera gazı emisyonları envanterine göre toplam sera gazının %10,3'ü tarımdan kaynaklanmaktadır. Tarım içerisinde ise toplam sera gazı emisyonunun %31'i dışkı yönetimi (CH₄ ve N₂O) ve %17'lik kısmının enterik fermantasyondan meydana geldiği belirlenmiştir [2].

Sera gazı emisyonlarının neden olduğu küresel ısınmanın akıllı çözümlerle azaltılması ve bu emisyonların enerjiye dönüştürülmesi toplumun refahı açısından da önemlidir. Kyoto protokolü ile azaltılması gereken 6 sera gazı; CO₂, CH₄, N₂O, PFC'ler, HFC'ler ve SF₆'dır. Hayvancılık faaliyetleri özellikle N₂O ve CH₄ gibi sera gazı emisyonlarının önemli kaynaklarından biridir. CO₂, CH₄ ve N₂O gibi sera gazlarının atmosferik konsantrasyonları yaklaşık olarak her yıl sırasıyla %0,4, %0,6 ve %0,25 oranında artmaktadır. Bu artışlar, küresel iklimdeki değişikliklere olumsuz etkide bulunduğu için, uluslararası iklim kurumlarının önderliğinde bu emisyonların azaltılmasına yönelik önemli adımlar atılmaktadır [3]. Biyogaz kullanımı da bu adımlar arasında yer almaktadır.

Biyogaz olarak adlandırılan organik madde kaynaklı gazlar, birçok farklı kaynak aracılığıyla elde edilebilmektedir. Bunlardan birisi organik maddeden oluşan hayvan gübresidir. Bu sebeple gübreden biyogaz enerjisi elde etme potansiyeli oldukça yüksektir. Gübre içerisindeki metan, organik maddenin anaerobik çürümesi sırasında açığa çıkar. Hayvan gübresinin miktarı ne kadar fazla ise içerisindeki organik madde miktarı da o kadar fazla ve dolayısıyla metan emisyonu da o kadar fazladır [3]. Hayvansal gübreler biyogaz üretimi için önemli bir ham maddedir.

1.1. Hayvancılık Açısından Balıkesir İlinin Türkiye'de Stratejik Önemi

Ülkemizde sanayinin yoğunlaştığı Marmara bölgesinde, ülke genelindeki sanayi işletmelerinin yaklaşık %70'i başta İstanbul olmak üzere 12 ilde farklı oranlarda dağılım göstermiştir. Balıkesir'in yakın çevresinde yer alan gelişmiş illerin sanayi yapısına bakıldığında sanayi yatırımları için uygun arazi bulunmasında problemler bulunduğu bilinmektedir. Bu kapsamda Balıkesir ili, sanayinin rezerv alanı niteliğinde görülmekte ve hızlı bir sanayileşme ve kentleşme sürecine gireceği beklenmektedir. Gelişmiş kara-hava-deniz ulaşımı, zengin yer altı ve yer üstü kaynakları, sanayi merkezlerine ve büyükşehirlerle olan yakınlığı, her türlü sanayi yatırımının ihtiyaç duyduğu nitelikli iş gücünü barındırması vb. pek çok avantajıyla Balıkesir, sürdürülebilir yatırımlara ev sahipliği yapmak adına öne çıkmaktadır.

Balıkesir'in İstanbul, Bursa ve İzmir gibi üç büyük sanayi merkezine yakın olmasının sağladığı avantaj ile birlikte Gebze-Orhangazi-İzmir ve Kınalı-Tekirdağ-Çanakkale-Balıkesir Otoyolu projelerinin tamamlanması ulaşım ve lojistik anlamında da bölgeye olan talebi artıracığı beklenmektedir.

Balıkesir'de 16 adet küçük sanayi sitesi, 3'ü kurulum aşamasında 6'sı faal toplam 9 adet organize sanayi bölgesi bulunmaktadır. Faal durumdaki OSB'lerden ikisinin alan genişleme çalışmaları devam etmektedir [4]. Organize sanayi bölgeleri arasındaki koordinasyon, yatırım ortamı için güçlü bir profil oluşturmaktadır. Balıkesir'de çeşitli sanayi kollarında üretim yapan 1.200' den fazla işletme bulunmaktadır. Balıkesir ilinin başlıca geçim kaynağı tarım ve tarıma dayalı sanayi olduğu görülmektedir. Ekonomik faaliyetler içinde tarımın payı yaklaşık %49, sanayi ve hizmetlerin payı %51 civarındadır. Başlıca geçim kaynağı tarım ve hayvancılığa dayalı Balıkesir ilinde, tarım kolunda çalışanların toplam istihdama oranı TÜİK verilerine göre %36,5 civarındadır. İlin tarım yapılan arazisi 424.272 hektardır [5]. Bu hali ile Balıkesir ili ciddi anlamda sanayileşme potansiyeli göstermektedir.

Ülkemizde hayvan atıkları genellikle araziye uygulanır veya enerjiye dönüştürülmeden bertaraf edilir. Bu atıklar işletmeler için büyük bir sorun olabilir ve uygun şekilde kullanılmaz. Atıklardan yararlanmak için en iyi yollardan biri biyogaz enerjisi üretmektir. Sanayi, tarım ve hayvancılık bir arada düşünüldüğünde Balıkesir ilinin Türkiye'de biyogaz enerji potansiyelinin değerlendirilmesi gerek yatırımcılar gerekse de atıkların değerlendirilmesi açısından büyük önem arz etmektedir. Ayrıca Balıkesir ilindeki biyogaz potansiyelinin değerlendirilmesi hem bölgenin enerji ihtiyacının karşılanmasına hem de çevreye olan olumlu etkileri ve gübrenin kullanılabilir forma dönüştürülmesine yardımcı olacaktır.

1.2. Hayvancılık Faaliyetlerinin Su Kalitesine Etkisi

Hayvancılık faaliyetleri sonucu ortaya çıkan hayvansal atıklar, kontrollü atık yönetimi uygulanmadığı takdirde yüzeysel ve yer altı su kaynaklarının kirlenmesine neden olabilmektedir. İklim koşulları, atık karakteristikleri, yemleme tekniği ve atık yönetiminde uygulanan teknikler gibi faktörlere bağlı olarak bu atıkların çevreye olan olumsuz etkileri değişim göstermektedir [6,7]. Büyükbaş ve küçükbaş hayvanların doğrudan su kaynağına ulaşmaları, gübre yığınları, barınaklar ve açık yemleme alanlarından gelen yüzey akış suları, gübre depolama yapılarından oluşan sızıntılar, depolama alanlarının sular altında kalması, gübre uygulanan alanlardan ve meralardan gelen yüzey akış suları içme suyu kaynaklarını tehdit etmektedir [8, 9, 10].

Hayvan barınaklarında oluşan gübre ve idrar, birlikte ve belirli ölçülerde kullanıldığında toprağın yapısını iyileştirmek ve bitkisel üretimi artırmak amacıyla değerlendirilen ticari madde olarak önem kazanmaktadır. Kullanımı belli ölçüleri aştığında ise bitkisel üretim miktarı, ürün niteliği, toprak yapısı, yer altı ve yer üstü suları olumsuz yönde etkilenmeye başlar [11, 12]. Gübrede bulunan ve toprak üzerinde biriken nitrat (NO_3); toprak, topografya, iklim vb. koşullara bağlı olarak değişen miktarlarda yıkanarak toprağın derinliğine hareket eder ve çoğunlukla da yüzey ve yer altı su kaynaklarına karışır. Tarımsal alanlara yakın olan bölgelerde yer altı su kaynaklarında nitrat kirliliği önemli bir problem olarak göze çarpmaktadır. Bu bölgelerde bulunan kuyulardaki nitrat seviyeleri insanlar ve hayvanlar için tehlikeli seviyelere çıkabilmektedir [13, 14]. Hayvan gübresi içindeki fosfor, çökeltme/birikme özelliği nedeniyle toprak üzerinde kaldığından yer altı sularına çok nadir ulaşmaktadır ancak yüzeysel su kaynaklarını ötrofikasyon açısından tehdit etmektedir [15]. Hayvansal atıkların içerisinde bulunan azotlu maddelerden meydana gelen amonyak ve yüksek BOİ konsantrasyonları balıklar için toksik etki oluşturarak ölümlerine neden olmaktadır [9, 16].

Hayvansal atıklar ve gübre içerisindeki enterik bakteriler (*E. coli O157:H7* ve *Campylobacter jejuni*, *Salmonella enterica* vs.) ile *Cryptosporidium* ve *Giardia* gibi protozoalar ve virüsler [17] yağış ve taşkınlarla yıkanma neticesinde su kaynaklarına ulaşarak mikrobiyal kalitenin bozulmasına neden olmaktadır [18].

Hayvancılık nedeni ile su kaynakları için tehdit oluşturan bir diğer potansiyel kirlilik kaynağı silaj sızıntı suyudur. Silaj suyu asidik olup (pH yaklaşık 4) yüksek BOİ, amonyak-N, fosfor, potasyum ve organik karbon konsantrasyonlarına sahiptir. Bu atıklar, özellikle toprağın ıslak dönemlerinde büyük bir tehlike oluşturmaktadırlar. İyi yalıtılmamış toprak silolarında meydana gelen sızmaların göl ve nehirlerle karışması durumunda sucul hayatı olumsuz etkilemekte, taban suyuna ulaşması durumunda içme suyu içinde büyük tehlike oluşturmaktadır [11, 19]. Yapılan çalışmalarda organik gübre uygulanan yem bitkileri ve tahıl yetiştirilen arazilerden gelen drenaj sularının boşaltıldığı nehirlerde ortalama olarak 80 mg/L konsantrasyonlarında azot, 50-80 g/L konsantrasyonlarında BOİ bulunduğu tespit edilmiştir [11, 20].

Hayvansal atıklar, belirli alanlarda kullanımından ötürü yüksek miktarda veteriner ilaçlarını içerebilir. Kentsel atıksulardan çok daha fazla miktarda antibiyotik veya bunların aktif bileşenleri gibi çeşitli farmasötikler, su kaynaklarına ulaşarak sucul canlılarda önemli toksik etkilere neden olmakta ve antibiyotik direncini arttırabilmektedir [21].

1.3. Gübre Yönetim Stratejisinin Önemi

Türkiye’de hayvancılık sektörünün genelde küçük çaplı çiftliklerden oluşması, hayvanların çoğunlukla çayırarda ve meralarda otlatılması ve ülkemizin özellikle doğu bölgelerinde otlatma sürelerinin uzun olması nedeniyle atıkların toplanılmasındaki güçlüklerden dolayı, Türkiye’nin gübre yönetimi (metan emisyonu) bakımından gelişmekte olan ülkeler kategorisinde değerlendirilmesi daha doğru bir yaklaşımdır [3].

Hayvan gübresinden metan üretimi için dikkat edilmesi gereken 3 temel prensip ise;

1. Gübrenin miktarı ve türü; Metan üretimi gübrenin miktarıyla doğru orantılıdır ve aynı zamanda hayvanın türü ve beslenme şeklide üretimi doğrudan etkiler.

2. Atık yönetim sistemi; Bu sistem oksijensiz (anaerobik) ortamda metan üretecek bir sistemi destekler.

3. Sıcaklık ve nem; Gübrenin bulunduğu ortamın sıcaklığı ve nemi metan üretimi açısından oldukça önemlidir[3].

Doğru ve sürdürülebilir bir gübre yönetim stratejisinin belirlenmesi, sera gazı (N_2O , CH_4), NH_3 ve diğer emisyonların azaltılması için önemlidir. Gübre yönetimi için farklı stratejiler uygulanmakta olup bunların bazı avantajları ve dezavantajları söz konusudur. Doğrudan arazi uygulamaları, gübre stoklama ve kompostlama gibi yöntemler düşük maliyetli olmakla birlikte orta ve yüksek düzeyde sera gazı oluşumuna yol açmaktadırlar. Teknik işlem gerektirmeyen veya yarı teknik işlem gerektiren bu yöntemlerden bazıları toprak verimliliğini arttırırken bazıları patojen azaltımı gerçekleştirmektedir. Orta düzeyde maliyetli olan şlam-bulamaç yöntemi kötü koku, minimum patojen azalması, su kirliliği gibi bazı dezavantajlara sahiptir. Pahalı alt yapı ve teknik işlem gereksinimi ile büyük çaplı maliyet gerektiren anaerobik çürütme yöntemi sera gazı oluşturmaz. Patojen ve

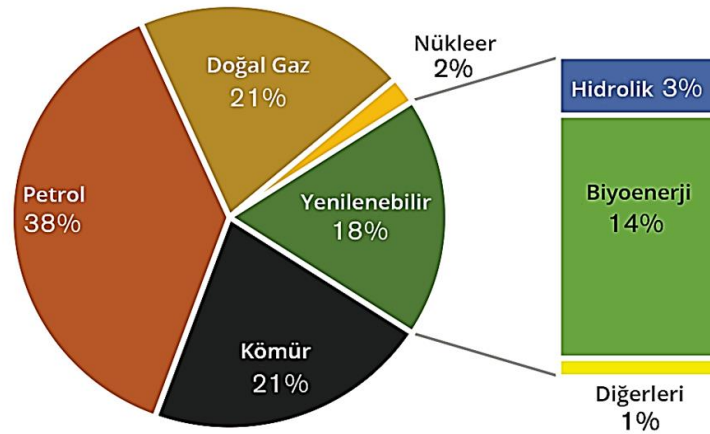
kötü koku gideriminde etkilidir. Bunlara ilaveten bu yöntemin kullanılması ile organik gübre ve yenilenebilir enerji üretimi mümkün olabilmektedir [22].

Biyokatalarda ve işlem görmemiş gübrelere bulunan *Salmonella*, *E. coli* ve virüsler vb. patojen mikroorganizmalar, insanlar veya diğer duyarlı konakçılarla (bitki veya hayvan) temas ettiğinde hastalık riski oluştururlar. Sinekleri, sivrisinekleri, pireleri, kemirgenleri ve kuşları içeren vektörler patojenleri insanlara ve diğer konakçılara fiziksel olarak temas yoluyla bulaştırabildikleri gibi patojenlerin yaşam döngüsünde biyolojik olarak spesifik bir rol oynayabilirler [23]. Biyokataların ve gübrenin araziye uygulanması veya uygunsuz koşullarda saklanması gerek bölgede yaşayan insanlar gerekse arazide çalışanlar için enfeksiyon riski taşımaktadır. Ayrıca yağış miktarına ve aerosolizasyona bağlı olarak patojenler ve diğer kirleticiler yüzey sularına, havaya, toprağa ve yer altı sularına karışabilmektedir [10]. Biyokataların vektörlere olan çekiciliğini azaltmak, biyokatalardaki patojenlerden hastalık bulaşma potansiyelini azaltabilmektedir [23].

Çevre Koruma Ajansı'nın (EPA), biyokatalarda bulunabilecek bazı kirletici maddelerin olumsuz etkilerinden halk sağlığını ve çevreyi korumak için düzenlediği standartlar içinde yer alan 503. kısım kurallarında biyokatalar için vektör çekiminin azaltılması için 12 alternatif önerilmiştir. Bunlar esas olarak; farklı anaerobik ve aerobik süreçlerle biyokataların stabilize edilmesi, kurutma ile katı madde oranının artırılması, pH değişimine dayalı satabilizasyon ve toprak uygulamaları biçiminde sıralanabilir. Patojen mikroorganizmaların minimizasyonuna patojen mikroorganizmaların minimizasyonuna yönelik bu yöntemler dışında vektörlerin yaşam alanlarının ortadan kaldırılması özellikle eklembacaklıların gelişebildiği durgun suların kurutulması, vektörlerin temasının önlenmesi, kimyasal ve biyolojik kontrol gibi yöntemler de vektör kontrolü için uygulanabilmektedir [24]. Sürdürülebilir gübre yönetiminin ve kırsal kalkınmanın sağlanması için çiftçilerin, ilçe yetkilileri ve bireysel ev sahiplerinin işbirliği halinde olması etkili bir plan oluşturma açısından oldukça önemlidir. Sorumlu tarafların bilinçlendirilmesi ve eğitilmesi, entegre bir planın ilk adımını oluşturduğundan, faydalar ve riskler konusunda çiftçilerin, ilçe yetkililerinin, bireysel ev sahiplerinin ve su kalitesinin korunması ile ilgilenen kişilerin bilgilendirilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda bilim insanları, mühendisler ve diğer profesyonellerin disiplinlerarası işbirlikleri şarttır [10].

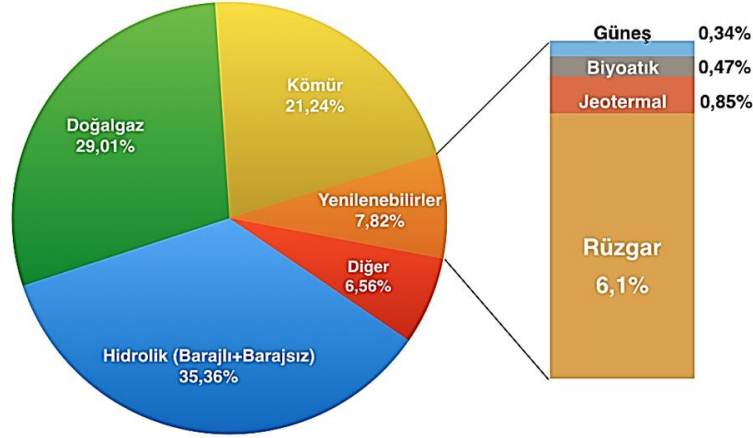
1.4. Dünya'da ve Türkiye'de Biyogaz Enerjisi

2013 yılı dünyadaki enerji tüketimi dağılımına bakıldığında fosil yakıt oranının %80 olduğu, yenilenebilir enerji tüketim oranının ise %18 olduğu görülmektedir (Şekil 1a). 2013 yılında dünyadaki biyogaz üretimi 59 milyar m³/yıl olarak hesaplanmıştır.



Şekil 1a. Dünyanın 2013 enerji tüketim kaynakları dağılımı [25]

BÜYÜKBAŞ VE KÜÇÜKBAŞ HAYVAN ATIKLARINDAN BİYOGAZ ÜRETİM POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ: BALIKESİR İLİ ÖRNEĞİ



Şekil 1b. Türkiye'nin 2015 yılı enerji kapasitesinin kaynaklara göre dağılımı [26]

Biyotik (atık ısı, biyogaz (çöp gazı), pirolitik yağ) enerjisi kurulu gücü ise 2015 yılı sonu itibariyle 344.7 MW olarak belirlenmiştir. Bu değer Türkiye'nin toplam enerji kurulu gücünün %0.47'lik kısmını oluşturmaktadır [27].

2. MATERYAL VE METOT

Türkiye'nin mevcut hayvan potansiyeli ve buna bağlı biyogaz üretimini belirlemek amacıyla, TÜİK verileri kullanılarak ve çeşitli kriterler göz önüne alınarak büyükbaş ve küçükbaş hayvan sayılarından 7 coğrafik bölge ve 81 il için biyogaz enerji potansiyeli miktarı belirlenmiştir. Balıkesir ili içerisindeki biyogaz üretim ve enerji potansiyelinin belirlenmesi için ise mahalle bazında büyükbaş ve küçükbaş hayvan varlığı sayıları Balıkesir İl Gıda, Tarım ve Hayvancılık Müdürlüğü 2017 yılı istatistikleri verilerinden temin edilmiştir.

Hayvan biyogaz üretim miktarlarının (potansiyelinin) hesaplanmasında farklı hesaplama yöntemleri kullanılabilir. [28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35]. Bu hesaplama yöntemlerinde öngörülen katsayılar Tablo 1'deki en küçük ve en büyük değer aralıkları baz alınarak belirlenmiş olup, hesaplamalarda aralıklardaki katsayı değerleri dışına çıkmamıştır. A, B ve C yöntemleri için aşağıdaki farklı eşitlikler kullanılmış olup, çalışmada A eşitliğindeki sonuç değerleri esas alınmıştır. A yönteminde aşağıdaki eşitlik kullanılmaktadır:

$$F_{(wa)} = ALW \cdot ALW_p \quad (1)$$

Burada $F_{(wa)}$ taze atık miktarı (kg/gün.hayvan), ALW hayvan türüne göre canlı hayvan ağırlığı (kg) (büyükbaş hayvan için 450, küçükbaş hayvan (koyun, keçi) için 50 alınmaktadır. ALW_p hayvan türüne göre canlı hayvan ağırlığının yüzdesidir (%). Bu değer büyükbaş hayvan için %6, küçükbaş hayvan (koyun, keçi) için %5 alınmaktadır. Yıllık taze atık potansiyeli:

$$F_{(wp)} = F_{(wa)} \cdot 365 \cdot AP / 1000 \quad (2)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır. $F_{(wp)}$ taze atık potansiyeli (t/yıl), AP hayvan nüfusudur. Bu veriler kullanılarak aşağıda verilen eşitlik ile yıllık biyogaz miktarı hesaplanabilir:

$$ABA = F_{(wp)} \cdot A_s \cdot A_{ba} \cdot W_b \quad (3)$$

ABA yıllık biyogaz miktarı ($m^3/yıl$). A_s hayvansal atıklardaki kuru madde (%) miktarıdır. Bu değer büyükbaş hayvan için %15, küçükbaş hayvan için %30 alınır. A_{ba} hayvanların ahırda kalma süresi (%) dikkate alınarak kullanılabilirliği. Bu değer büyükbaş hayvanlar için %50, küçükbaş hayvan (koyun, keçi) için %13 alınabilir. W_b hayvan türüne bağlı biyogaz katsayısıdır. Bu değer W_b büyükbaş hayvan ve küçükbaş hayvan için 200 m^3/ton alınabilir. B yönteminde aşağıda verilen eşitlik kullanılmaktadır:

N.K. SALİHOĞLU, A. TEKSOY, K. ALTAN

$$DMP_{(SM)} = SM \cdot FM \quad (4)$$

Burada, $DMP_{(SM)}$ katı bir madde olarak günlük gübre üretimini (kg(SM)/gün·AU), SM katı madde içeriğini (%), FM taze gübre üretimini (kg/gün·AU) göstermektedir. Bu değer SM büyükbaş hayvan için %12,7, küçükbaş hayvan (koyun, keçi) için %25; FM büyükbaş hayvan için 33,331, küçükbaş hayvan (koyun, keçi) için 16,440 alınabilir. DMP kullanılarak toplam elde edilebilir katı madde (TOSM) miktarı aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır:

$$TOSM = \gamma \cdot DMP_{(SM)} \quad (5)$$

$TOSM$ toplam elde edilebilir katı madde miktarını (kg(SM) /gün·AU) ve γ (%) ahırda kalma süresini göstermektedir. Bu değer γ büyükbaş hayvan için %65, küçükbaş hayvan (koyun, keçi) için %13 alınır. Hayvan ünitesi hesabı aşağıdaki eşitlik ile belirlenir:

$$AU = (AP \cdot AAW) / LR_{AW} \quad (6)$$

Burada, AU hayvan ünitesi(kg); AP hayvan nüfusu, AAW ortalama hayvan ağırlığı (kg) ve LR_{AW} büyük geviş getiren hayvanların ortalama ağırlığıdır (454 kg). Bu değer AAW büyükbaş hayvan için 454, küçükbaş hayvan (koyun, keçi) için 50 alınabilir. Aşağıdaki eşitliklerle günlük ve yıllık katı madde olarak hayvan atık potansiyeli hesaplanır:

$$DAWP_{(SM)} = AU \cdot TOSM / 1000 \quad (7)$$

$$AAWP_{(SM)} = DAWP_{(SM)} \cdot 365 \quad (8)$$

$DAWP_{(SM)}$ katı bir madde olarak günlük hayvan atık potansiyeli (t(SM)/gün) ve $AAWP_{(SM)}$ katı bir madde olarak yıllık hayvan atık potansiyelidir (t(SM)/yıl). Bu iki parametre kullanılarak aşağıdaki eşitlik ile yıllık biyogaz miktarı hesaplanır:

$$ABA = AAWP_{(SM)} \cdot BA_{a-sm} \quad (9)$$

ABA yıllık biyogaz miktarı (m³/yıl) ve BA_{a-sm} (m³/t) biyogazın kullanılabilir miktarıdır. Bu değer BA_{a-sm} büyükbaş hayvan için 202, küçükbaş hayvan (koyun, keçi) için 251 alınır.

C yönteminde aşağıda verilen eşitlik kullanılmaktadır:

$$W_{(MA)} = AP \cdot W_c \quad (10)$$

$W_{(MA)}$ yaş gübre miktarları (ton/yıl), AP hayvan nüfusu, W_c hayvan türüne bağlı yaş gübre katsayısıdır. Bu değer W_c büyükbaş hayvan için 3,6 ton/yıl. adet ve küçükbaş hayvan için 0,7 ton/yıl. adet alınır. Buradan aşağıdaki eşitlik ile yıllık biyogaz miktarı hesaplanmaktadır:

$$ABA = W_{(MA)} \cdot W_b \quad (11)$$

ABA yıllık biyogaz miktarı (m³/yıl) ve W_b hayvan türüne bağlı biyogaz katsayısıdır. Bu değer W_b büyükbaş hayvan için 33 m³/ton ve küçükbaş hayvan için 58 m³/ton alınabilir. A, B ve C yöntemlerinde kullanılan katsayılar ve aralıkları farklı çalışmalar sonucu elde edilmiş ve kullanılmış değerler olarak Tablo 1'de sunulmuştur.

BÜYÜKBAŞ VE KÜÇÜKBAŞ HAYVAN ATIKLARINDAN BİYOGAZ ÜRETİM POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ: BALIKESİR İLİ ÖRNEĞİ**Tablo 1.** A, B ve C yöntemleri için öngörülen katsayılar ve değer aralıkları

Hayvan Cinsi	ALW veya AAW (kg)	ALW _p (kg/gün)	SM veya A _s (%)	Aba veya γ	W _b (m ³ /ton)	Referans
Büyükbaş	135-800	5-6	5-25	25-65	200-350	[28, 29, 30, 31, 32, 36, 37, 38]
			12,7		202	[35]
					33	[30]
					35	[39]
					90-310	[40]
					260-280	[41, 42]
Küçükbaş	30-75	4-5	30	13	100-310	[28, 29, 30, 31, 32]
			25		251	[35]
					58	[30]
					50	[39]
					220-240	[41, 42]

3. BULGULAR VE TARTIŞMA**3.1. Türkiye'deki Coğrafi Bölgelere Göre Mevcut Hayvan Sayıları ve Erişilebilir Atık Durumu**

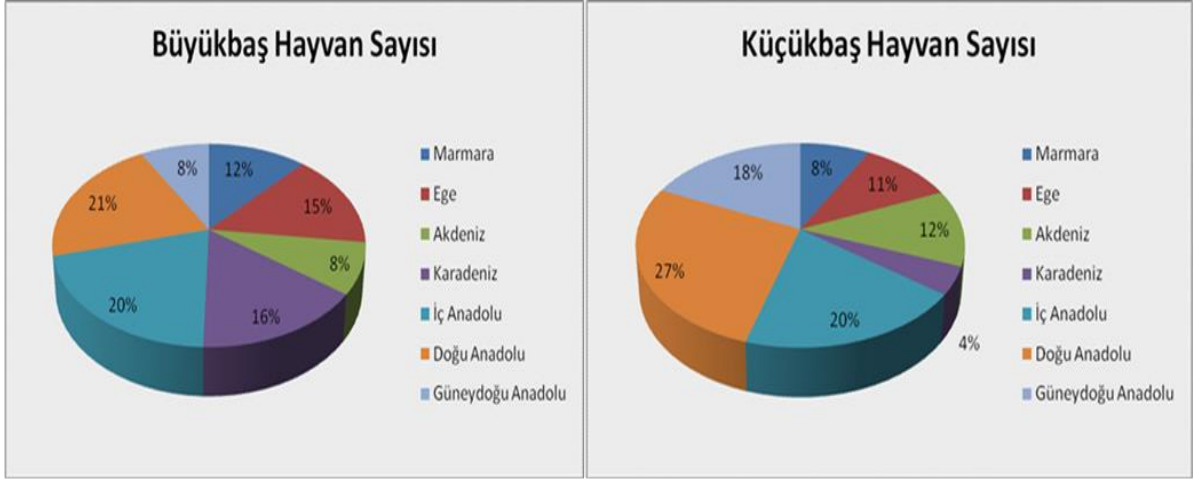
TÜİK verilerine göre, Türkiye'deki hayvan sayısının coğrafi bölgelere dağılımı Tablo 2'deki gibidir. Bu verilere göre 7 coğrafi bölge ve 81 il için 2017 yılı toplam büyükbaş hayvan sayısı 14.659.278 adet ve küçükbaş hayvan sayısı 44.572.635 adet olarak hesaplanmıştır.

Tablo 2. Türkiye'deki coğrafi bölgelere göre büyükbaş ve küçükbaş hayvan sayıları

TÜRKİYE COĞRAFI BÖLGELER	BÜYÜKBAŞ HAYVAN SAYISI	KÜÇÜKBAŞ HAYVAN SAYISI		TOPLAM HAYVAN SAYISI
		KOYUN	KEÇİ	
Marmara	1.731.749	2.715.328	854.065	5.301.142
Ege	2.227.460	3.510.177	1.211.079	6.948.716
Akdeniz	1.190.799	2.483.620	2.927.476	6.601.895
Karadeniz	2.254.207	1.579.359	391.072	4.224.638
İç Anadolu	2.982.351	7.336.985	1.332.521	11.651.857
Doğu Anadolu	3.056.428	10.476.770	1.650.099	15.183.297
Güneydoğu Anadolu	1.216.284	5.459.806	2.644.278	9.320.368
	14.659.278	33.562.045	11.010.590	59.231.913

Büyükbaş hayvan varlığının en fazla (3.056.428 adet) olduğu bölge % 21'lik oran ile Doğu Anadolu bölgesi en az (1.190.799 adet) olduğu bölge ise %8'lik oran ile Akdeniz bölgesidir (Şekil 2). Küçükbaş hayvan varlığının en fazla (12.126.869 adet) olduğu bölge %27'lik oran ile Doğu Anadolu bölgesi en az (1.970.431 adet) olduğu bölge ise %4'lük oran ile Karadeniz bölgesidir.

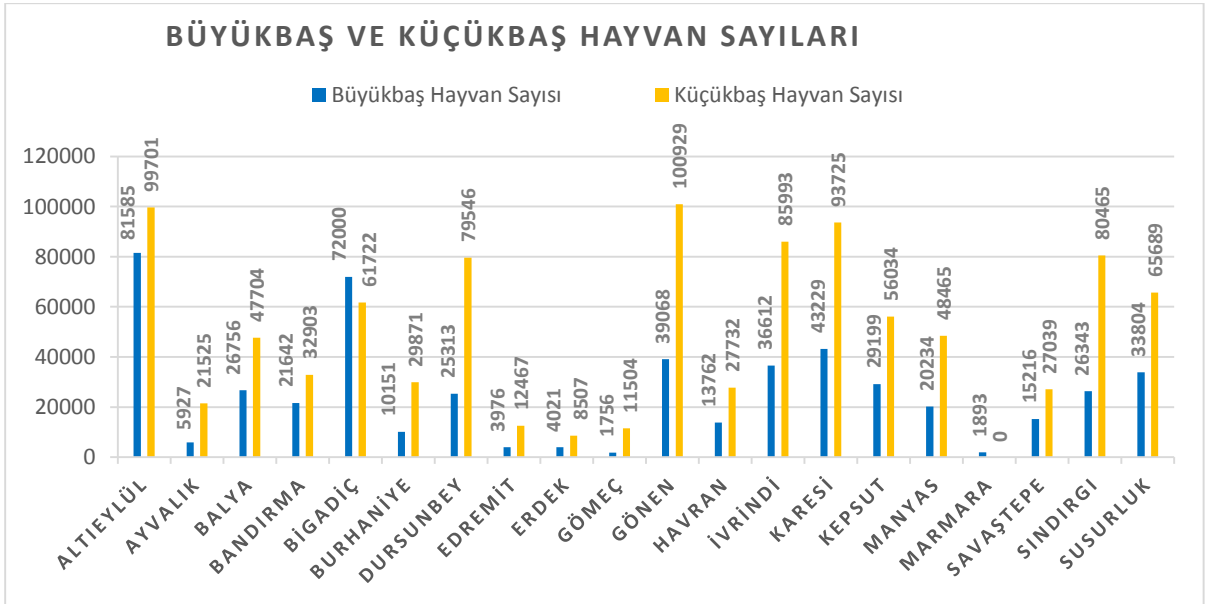
N.K. SALİHOĞLU, A. TEKSOY, K. ALTAN



Şekil 2. Türkiye’de büyükbaş ve küçükbaş hayvan sayılarının coğrafi bölgelere dağılımı

3.2. Balıkesir İli Mevcut Hayvan Sayıları ve Erişilebilir Atık Durumu

Balıkesir ili içerisindeki 2017 yılı toplam büyükbaş hayvan sayısı 512.487 adet, küçükbaş hayvan sayısı 991.521 adet olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3. Balıkesir ilindeki büyükbaş hayvan sayıları ve ilçelere dağılımı

Balıkesir ilinde, büyükbaş hayvan varlığının en yüksek olduğu (81.585 adet) ilçe %16’lık oran ile Altieylül ilçesi, en az olduğu (1.756 adet) ilçe ise %0,3’lük oran ile Gömeç ilçesidir. Balıkesir ilinde küçükbaş hayvan varlığının en yüksek (100.929 adet) olduğu ilçe %10’luk oran ile Gönen ilçesi en az olduğu ilçe ise faaliyet yapılmayan Marmara ilçesidir.

BÜYÜKBAŞ VE KÜÇÜKBAŞ HAYVAN ATIKLARINDAN BİYOGAZ ÜRETİM POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ: BALIKESİR İLİ ÖRNEĞİ**Tablo 3.** Hayvan cinslerine göre atık özellikleri ve biyogaz verimleri [28, 29, 30, 31, 32]

Hayvan Cinsi	Canlı Ağırlık (kg)	Taze Atık Miktarı		TKM (%)	UKM (%)	Kullanılabilirlik Ahırda kalma süresi (%)	Biyogaz Verimi l/kgUK
		Ağırlığın Yüzdesi	kg/gün				
Büyükbaş	135-800	5-6	10-20	5-25	75-85	Süt 65 Et 25	200-350
Küçükbaş	30-75	4-5	2	30	20	13	100-310

Tablo 3’de atık miktarının hesabında; büyükbaş hayvanlar için 10-20 kg/gün (yaş) atık verimi kabul edilebileceği gibi, canlı ağırlığın %5-6’sı da günlük atık miktarına esas alınabilir. Aynı şekilde koyun ve keçi için 2 kg (yaş)/gün veya canlı ağırlığın %4-5’i günlük atık üretimi olarak kabul edilebilmektedir. Hayvanların ahırda kalma süreleri, süt sığırı için %65, et sığırı için %25 ve küçükbaş hayvanlar için %13 olmaktadır. Biyogaz üretim miktarı atığın türü ve özelliğine göre farklılıklar göstermektedir. Ayrı toplanmış hayvansal atıklardan büyükbaş hayvan için %5-25 TKM (toplam kuru madde), %75-85 UKM (uçucu kuru madde) oluşurken küçükbaş hayvan için %30 TKM, %20 UKM üretilmektedir. Toplam biyogaz verimi UKM üzerinden tahmin edildiğinde büyükbaş hayvan için 200-350 l/kgUKM ve küçükbaş hayvan için 100-310 l/kgUKM olarak verilmektedir.

Hesaplamalarda 1 ton katı hayvansal atıktan elde edilen biyogaz miktarı 200 m³ ve biyogazın da ısıl değeri 22,7 MJ/m³ olarak kabul edilmiştir [31, 33, 34].

Bir başka çalışmada, biyogaz ısıl değeri m³ biyogaz başına 21,5 MJ (1kWh³ = 3,6 MJ) olarak alınmıştır [43, 44].

1 m³ biyogazın sağladığı ısı miktarı; 0,63 litre gaz yağına, 3,47 kg oduna, 0,43 kg bütan gazına, 4,7 kWh elektriğe ve 0,8 litre benzine eş değerdir [45].

3.3. Türkiye ve Balıkesir İli Biyogaz Enerjisi Potansiyeli

Hayvan tipine bağlı olarak oluşabilecek gübre miktarının belirlenmesine yönelik pek çok çalışma yapılmıştır.

Yapılan bir çalışmada, hayvan tiplerine bağlı yıllık gübre miktarları birim yaş gübre oluşumu ton/hayvan-yıl olarak büyükbaş için 13,69 [46] ve küçükbaş için 0,73 [47] olarak kabul edilmiştir. Toplanabilir atık oranlarına ilişkin kabuller 3 aylık mera ayları ile 9 aylık diğer ayların ortalaması olarak büyükbaş ve küçükbaş için %41 olarak alınmıştır [46, 48].

Bir başka çalışmada, gübrenin miktarı büyük geviş getirenlerin (manda ve sığır) vücut ağırlığının %9’u ve küçük geviş getirenlerin (keçi ve koyun) vücut ağırlığının %4’ü temel alınarak hesaplanmıştır. Ortalama canlı vücut ağırlığı sırasıyla büyük geviş getiren ve küçük geviş getiren için 250 kg ve 40 kg’dır. Buna göre, gübrenin ortalama miktarı büyük geviş getirenler için 22,5 kg / gün ve küçük geviş getirenler için ise 1,6 kg / gün esas alınarak hesaplanmıştır [49].

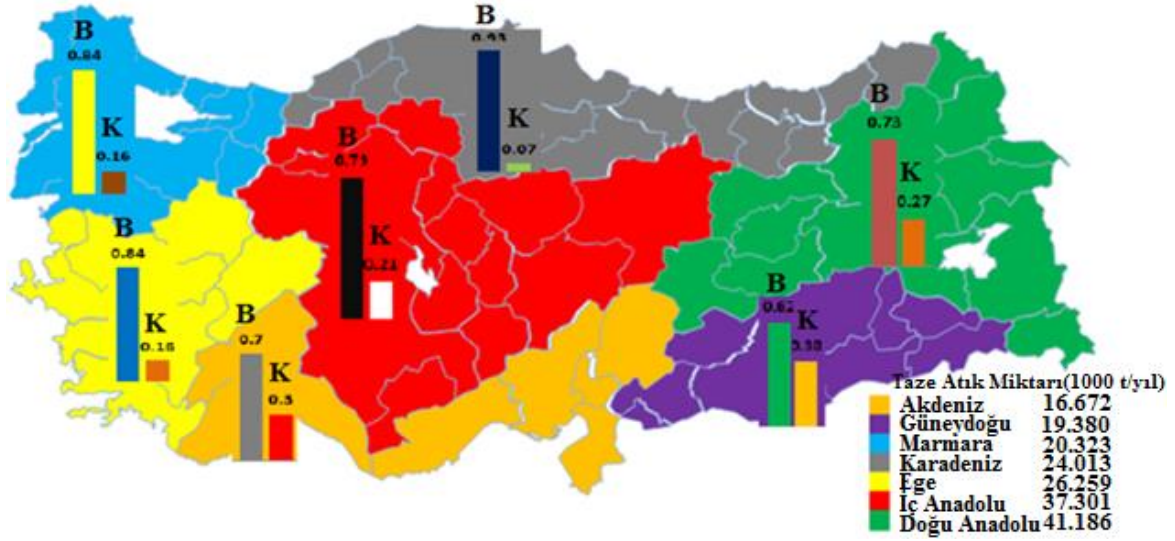
Bu çalışmada atık miktarının hesaplanmasında Tablo 2’de verilen değerlerden yararlanılmıştır. Canlı ağırlık büyükbaş hayvanlar için 450 kg ve küçükbaş hayvan için 50 kg alınmıştır. Günlük taze atık miktarı; canlı ağırlığın yüzdesi olarak büyükbaş hayvan için %6 ve küçükbaş hayvan için %5 alınmıştır. Ahırda kalma süresi dikkate alınarak atığın kullanılabilirliği büyükbaş hayvan için %50 ve küçükbaş hayvan için %13 seçilmiştir.

Bu çerçevede hayvan cinslerine bağlı olarak elde edilebilecek atık miktarları Tablo 4’de verilmiştir. Katı madde oranlarından yararlanılarak, günde bir hayvandan elde edilebilecek katı atık miktarı; büyükbaş hayvanlar için 2,02 kg ve küçükbaş hayvanlar için 0,098 kg olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4. Hayvan cinsine bağlı olarak elde edilebilecek atık miktarları

Hayvan Türü	Taze Atık Üretimi (kg/gün.hayvan)	KM (%)	Katı Madde Atık Üretimi (kgKM/gün.hayvan)	Elde Edilebilirlik	Toplam Elde Edilebilir KM Atık Miktarı (kg/gün.hayvan)
Büyükbaş	27,0	15	4,050	0,50	2,0250
Küçükbaş	2,50	30	0,750	0,13	0,0975

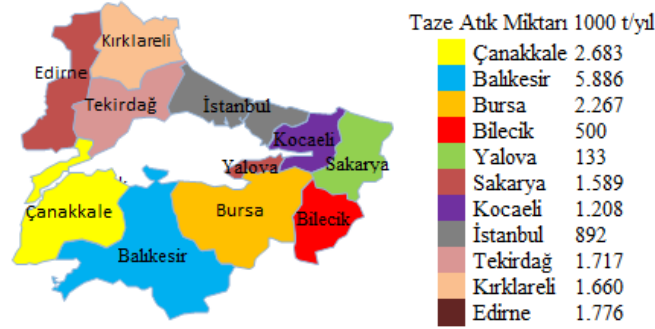
Bu verilere bağlı olarak hayvansal atıklarından elde edilecek biyogaz miktarı, 7 coğrafi bölge ve 81 il için hayvan sayısını kullanarak hesaplanmıştır. Ayrıca katı madde oranı ve kullanılabilirlik oranı gibi çeşitli ölçütler de göz önüne alınmıştır. Hesaplanan değerler ile Türkiye’nin hayvansal kökenli atık haritası oluşturulmuştur (Şekil 4).



Şekil 4. Türkiye’de hayvansal kökenli taze atık miktarı potansiyelinin büyükbaş ve küçükbaş hayvan başında 7 coğrafi bölgeye dağılımı (2017)

Hayvan atığı türlerine göre Türkiye’deki 185.134.000 ton yıllık taze hayvan atığı dağılımına bakıldığında %78’ inin büyükbaş hayvan, %22’sinin küçükbaş hayvan kökenli olduğu görülmektedir. Taze atık potansiyeli bakımından Doğu Anadolu bölgesi ilk sırada, Akdeniz bölgesi sonuncu sırada yer alırken Marmara bölgesi ise 3.sırada yer almaktadır. Marmara bölgesi hayvan taze atık potansiyeli açısından %84 büyükbaş hayvan, %16 küçükbaş hayvan içermektedir.

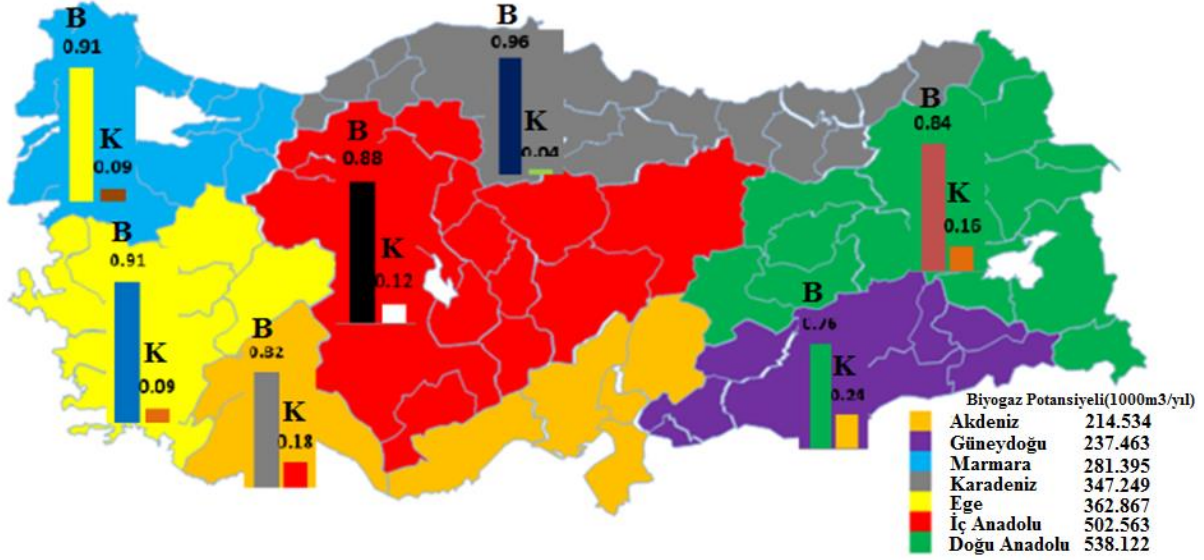
Başka bir çalışma olarak, Türkiye’ de biyogaz için mevcut olan organik atıklardan oluşan biyokütle kaynaklarının belirlenmesine yönelik olarak çalışmalar yapılmış ve Ülkemizin 2016 yılında 14 milyon büyükbaş hayvana sahip olduğu ve yıllık gübre üretiminin ise yaklaşık 50 milyon ton (megaton) yaş gübre olduğu tespit edilmiştir [50].



Şekil 5. Hayvansal kökenli taze atık miktarı potansiyelinin Marmara bölgesi bazında dağılımı (2017)

Hayvan atığı türlerine göre Marmara bölgesinde 20.323.000 ton yıllık taze hayvan atığı dağılımına bakıldığında %84’ünün büyükbaş hayvan, %16’sının küçükbaş hayvan kökenli olduğu görülmektedir. Taze atık potansiyeli bakımından Balıkesir ili ilk sırada yer alırken, Yalova ili sonuncu sırada yer almaktadır. Balıkesir ili hayvan taze atık potansiyeli açısından %85 büyükbaş hayvan, %15 küçükbaş hayvan içermektedir.

BÜYÜKBAŞ VE KÜÇÜKBAŞ HAYVAN ATIKLARINDAN BİYOGAZ ÜRETİM POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ: BALIKESİR İLİ ÖRNEĞİ



Şekil 6. Türkiye’de hayvansal kökenli biyogaz potansiyelinin büyükbaş ve küçükbaş hayvan bazında dağılımı (2017)

Türkiye'nin biyogaz enerjisi potansiyeli son tarım sayımında hayvan sayılarını kullanarak 2.484.193.000 m³ (2,48 Gm³) olarak tespit edilmiş ve 42.674.050,524 MJ'lük enerji hesaplanmıştır (2017). Toplam biyogaz potansiyelinin %87'si büyükbaş hayvan, %13'ü küçükbaş hayvanlardan kaynaklanmaktadır. Marmara bölgesi için hesaplanan 281.395.000 m³ biyogaz potansiyelinin %91'i büyükbaş hayvan, %9'u küçükbaş hayvan kaynaklıdır.

Onurbaş ve Türker (2012), 2009 yılı TÜİK verilerine göre 10.181.165 olan büyükbaş, 26.877.793 olan küçükbaş ve 234.082.206 olan kümes hayvanı varlığını kullanarak Türkiye'nin toplam biyogaz enerji potansiyelini 2.177.553.000 m³ (2,18 Gm³) olarak hesaplamıştır. Bu potansiyelin %68'inin büyükbaş, %5'inin küçükbaş ve %27'sinin kümes hayvanından kaynaklandığını bildirmiştir. Aynı çalışmada Türkiye'nin biyogaz enerji eşdeğer potansiyelinin yaklaşık 49PJ (1170,4 ktöe) olduğu tespit edilmiştir [51]. Konuyla ilgili bir başka çalışmada [52], Bursa ilindeki 2008 yılı tavuk atıklarından elde edilen biyogaz üretiminin 54.612 dam³ ile birinci sırada yer aldığı belirtilmiştir. 2014 yılı toplam biyogaz potansiyelinin 2008 yılına göre %33 oranında artarak 129.106 dam³'a ulaştığı, 2014 yılı verilerine göre 2.788 TJ ısı enerjisi ve 271 GWh_e elektrik enerjisi elde edildiği bulunmuştur [52].

2014 yılında yapılan bir çalışmada, Türkiye’de 2012 yılı TÜİK kayıtlarına göre; büyükbaş hayvan sayısı toplamının 14 milyon adet civarında olduğu ve büyükbaş hayvan gübresinden biyogaz tesisleri kullanılarak yaklaşık olarak 2.533.487.544 m³/yıl biyogaz üretilebileceği ve bu üretimle 11,9 milyar kWh elektrik enerjisi üretilebileceği gösterilmiştir [53]. 2012 yılı Çanakkale Tarım İl Müdürlüğü verilerine dayanarak yapılan bir başka çalışmada, 200.137 büyükbaş, 577.361 küçükbaş ve 28.973.000 kanatlı varlığına göre toplam gübre miktarı 1.762.051 ton/yıl, toplam biyogaz miktarı 96.934.753 m³/yıl ve toplam elektrik eşdeğeri 1.248.193 kWh/gün olarak hesaplanmıştır [40].

Bu çalışmada Marmara bölgesinin biyogaz enerjisi potansiyelinin son tarım sayımında hayvan sayılarını kullanarak en fazla Balıkesir ilinde (81.918.000 m³) olduğu tespit edilmiştir (2017). Balıkesir ilindeki biyogaz potansiyelinin %92'si büyükbaş hayvan, %8'i küçükbaş hayvanlardan kaynaklanmaktadır. Balıkesir ili için büyükbaş ve küçükbaş hayvan atıklarının biyogaz potansiyeli haritası Tablo 5’te, biyogaz üretim potansiyeli değerleri, Tablo 6’da yıllık biyogaz üretim tahmini ve Tablo 7’de diğer yakıtlardaki karşılıkları verilmiştir.

Balıkesir’de tahmini hesaplamalara göre yıllık 5.955.318 ton elde edilebilir yaş atıktan 82.815.600 m³ biyogaz ve 1.879.914.120 MJ'lük enerji potansiyeli söz konusudur. Balıkesir ilinde büyükbaş ve küçükbaş hayvanlardan günlük elde edilecek elektrik enerjisi eşdeğeri yaklaşık 1.066.392,65 kWh'tır. Yıllık bazda ele alındığında yaklaşık 389.233.320 kWh elektrik enerjisi elde edilebilecektir.

Tablo 5. Balıkesir ili büyükbaş ve küçükbaş hayvan biyogaz potansiyeli

BALIKESİR İLİNİN İLÇELERİ	BÜYÜKBAŞ HAYVAN BİYOGAZ POTANSİYELİ (1000 m ³ /yıl)	KÜÇÜKBAŞ HAYVAN BİYOGAZ POTANSİYELİ (1000 m ³ /yıl)
Altıeylül	12060	709
Ayvalık	876	153
Balya	3955	339
Bandırma	3199	234
Bigadiç	10643	439
Burhaniye	1500	212
Dursunbey	3741	566
Edremit	587	88
Erdek	594	60
Gömeç	259	81
Gönen	5775	718
Havran	2034	197
İvrindi	5412	612
Karesi	6390	667
Kepsut	4316	398
Manyas	2991	344
Marmara	279	0
Savaştepe	2249	192
Sındırgı	3894	572
Susurluk	4997	467
TOPLAM	75758	7057

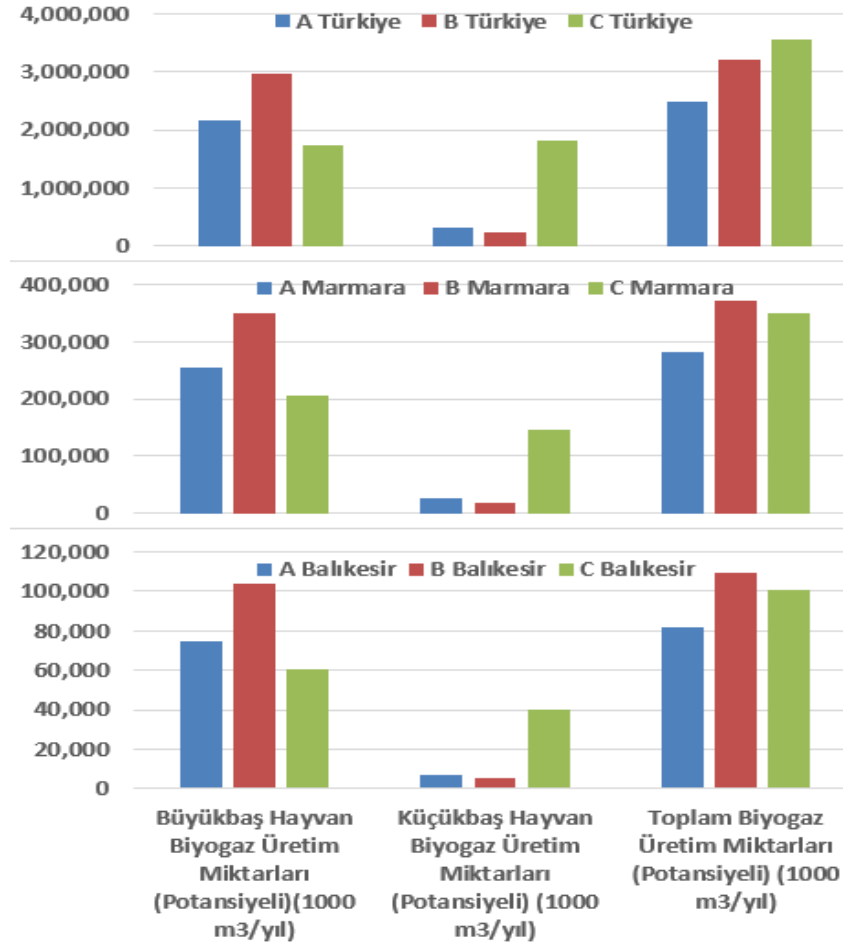
Tablo 6. Balıkesir ili biyogaz üretim potansiyeli tahmini (yıllık)

Hayvan Türü	Hayvan Sayısı	Tahmini Yaş Atık Üretimi (ton/yıl)	Elde Edilebilir Katı Atık (ton.KM/yıl)	Tahmini Biyogaz Üretimi (m ³ /yıl)
Büyükbaş	512.487	5.050.556	378.792	75.758.400
Küçükbaş	991.521	904.762	35.286	7.057.200
Toplam	1.504.008	5.955.318	414.078	82.815.600

Tablo 7. Balıkesir ili genelinde üretilebilecek biyogazın diğer yakıtlardaki karşılıkları (yıllık)

Hayvan Türü	Elde Edilebilecek Enerji Eş Değeri (MJ/yıl)	Elde Edilebilecek Elektrik Enerjisi Eş Değeri (kwh/yıl)	Gaz Yağı (L)	Odun (Ton)	LPG (kg)	Benzin (L)
Büyükbaş	1.719.715.680	356.064.480	47.727.792	262.881.648	32.576.112	60.606.720
Küçükbaş	160.198.440	33.168.840	4.446.036	24.488.484	3.034.596	5.645.760
Toplam	1.879.914.120	389.233.320	52.173.828	287.370.132	35.610.708	66.252.480

BÜYÜKBAŞ VE KÜÇÜKBAŞ HAYVAN ATIKLARINDAN BİYOGAZ ÜRETİM POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ: BALIKESİR İLİ ÖRNEĞİ



Şekil 7. Türkiye, Marmara bölgesi ve Balıkesir ili için büyükbaş ve küçükbaş hayvan biyogaz üretim miktarlarının A, B ve C yöntemleri için hesap diyagramları

Şekil 7’deki üç diyagrama birlikte bakıldığında, büyükbaş hayvan biyogaz üretim miktarı hesabında en yüksek sonuçların B yönteminde, küçükbaş hayvan biyogaz üretim miktarı hesabında ise en yüksek sonuçların C yönteminde elde edildiği gözlemlenmiştir. Balıkesir ilinin %34’lük bölümünün büyükbaş, %66’lık bölümünün ise küçükbaş hayvan kaynaklı olduğu göz önünde bulundurularak büyükbaş ve küçükbaş biyogaz üretim miktarı hesabında B ve C yöntemleri arasında bir biyogaz potansiyeli sonuç değerleri sunan A yöntemi hesaplarda tercih edilmiştir.

3.4. Kurulması Muhtemel Bir Biyogaz Tesisi Özellikleri ve Maliyeti

Balıkesir ili için hesaplanan biyogaz potansiyeli sonrası Balıkesir il merkezi- Bigadiç arasında kamunun sahip olduğu bir alanda kurulması muhtemel 2,4 MW gücünde bir biyogaz tesisi için 3 farklı ticari firmadan toplanan fiyatlar Tablo 8’de gösterilmiştir. Firmaların, Türkiye’de daha önce biyogaz tesisi kurmuş olan yerli ve yabancı ortaklığa sahip özellikle olmasına özen gösterilmiştir. Temmuz 2018 döviz kuru ve piyasa fiyatları dikkate alınarak ortaya çıkan bedeller ortalama ve standart sapma olarak tabloda belirtilmiştir. İnşaat fiyatlarının seçilen arazi özellikleri dikkate alınarak değişkenlik göstereceği dikkate alınmalıdır. Ayrıca inşaat zorluğu, tesis için seçilen proses özellikleri, atık taşıma mesafesi, elektrik şebekesine bağlantı özellikleri ve mesafesi gibi pek çok faktör bu büyüklükte bir tesisin ülkemizin farklı bölgelerinde yapılması durumunda ilk yatırım ve işletme maliyetlerini etkileyecektir.

Maliyet hesaplamalarında Balıkesir iline benzer büyüklükte yapılması muhtemel atık miktarı ve buna karşılık gelecek kurulu güç örnek olarak seçilmiştir.

Balıkesir ilinde planlanan örnek bir biyogaz tesisinin özellikleri;

Büyükbaş Yaş Atık	(ton/yıl)	143000
Küçükbaş Yaş Atık	(ton/yıl)	61000

N.K. SALİHOĞLU, A. TEKSOY, K. ALTAN

Kurulu Güç (MW)	2,4
Yıllık Biyogaz Üretimi (m ³)	7.442.500
Yıllık Elektrik Üretimi (MWh)	21.200

Üniteler 1 adet Atık Kabul Haznesi, 2 adet Ön Çürütücü Tank ve 2 Adet Son Çürütücü Tank olup, ilk yatırım ve işletme maliyetleri Tablo 8 da gösterilmektedir.

Tablo 8. Balıkesir ilinde planlanan örnek bir biyogaz tesisinin ilk yatırım ve işletme maliyetleri

	Birim	Birim Fiyat (TL)	3 Firma Teklifi Ortalama Toplam Fiyat (TL)	3 Firma Teklifi İçin Standart Sapma (TL)
İNŞAAT MALİYETİ				
Her tür Zeminde Kazı Yapılması (Şantiye Dışı Nakliyesi)	m3	25	556480	33900
Stabilize Malzeme İle Dolgu Yapılması	m3	48	797440	125360
Eğri Yüzeyle Kalıp Yapılması (İş İskelesi Dahil)	m2	100	419200	56800
Grobeton (C16)	m3	140	21120	4900
C30 Betonarme Betonu	m3	178	289840	43650
İnşaat Demiri	kg	3,6	705600	94000
İnşaat Demiri İşçilik	m2	25	104800	12600
Toprak ile temas eden yüzeylerde bitümlü (sürme esaslı) malzeme ile 2 kat su yalıtımı yapılması	m2	48	229760	28620
Üst Döşeme İzolasyon	m2	70	22400	1730
İç Duvarlarda Sıva Yapılması	m2	19	56160	13500
PVC Su Tutucu Bant Montajı	mt	32	25280	3200
Epoksi Malzeme ile Yüzey Kaplama Yapılması	m2	82	242400	32800
Dekantör Suyu Havuzu	1Adet	136000	136000	15700
İdari Bina	1Adet	288000	288000	13900
Altyapı (Çevre Düzeni, Elk., Kanalizasyon vb.)	1Adet	880000	880000	104650
İNŞAAT TOPLAM MALİYETİ			4774480	585310
MEKANİK EKİPMAN VE MONTAJ MALİYETİ				
Gaz Motoru	2 Adet	1198000	2396000	128000
Mekanik İşler ve Borulama	1 Adet	890000	890000	104300
Mühendislik Hizmetleri	1 adet	650000	650000	47500
Şebeke Bağlantı, KabloLama	1 Adet	375000	375000	39200
MEKANİK EKİPMAN VE MONTAJ TOPLAM MALİYETİ			4311000	319000
İŞLETME YILLIK TOPLAM MALİYETİ (Atık toplama taşıma, İç enerji tüketimi, personel (7 kişi), bakım, tamirat, sarf malzemesi vb.)			1745300	152500

4. SONUÇLAR

Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde önemli bir yere sahip olan biyogaz dünyanın birçok ülkesinde değerlendirilmektedir. Çin ve Hindistan gibi Asya ülkelerinde aile tipi bireysel üretim, Finlandiya, Almanya ve Avusturya gibi Avrupa ülkelerinde ise üreticilerin kooperatifleşmesi ile sanayi üretimi olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Üretiminde ise büyük ölçüde hayvansal atıklardan yararlanılmaktadır.

Araştırmada bu çalışmada hayvan sayılarından yola çıkılarak Türkiye içerisindeki 7 coğrafi bölge ve 81 il için biyogaz üretim potansiyeli belirlenmiş ve Balıkesir ili için hayvansal atık kaynaklı biyogaz potansiyel değerleri ile diğer yakıtlardaki karşılıkları verilmiştir. Türkiye genelinde büyükbaş hayvan sayısı 14.659.278 adet ve küçükbaş hayvan sayısı 44.572.635 adet, Balıkesir ilinde, büyükbaş hayvan sayısı 512.487 adet ve küçükbaş hayvan sayısı 991.521 adet olarak tespit edilmiştir. Hesaplanan atık miktarlarına göre, Türkiye’de yıllık 185.134.000 ton elde edilebilir taze atıktan 2.484.193.000 m³ (2,48 Gm³) biyogaz ve 42.674.050,524 MJ’lük enerji elde edilebileceği hesaplanmıştır. Balıkesir ilindeki hayvan varlığına göre yapılan hesaplamalar sonucunda potansiyel yıllık biyogaz enerjisinin 82.815.600 m³ ve elde edilebilecek yıllık elektrik enerjisinin yaklaşık 389.233.320 kWh olduğu tespit edilmiştir. Araştırma sonuçları Balıkesir genelinde yıllık biyogaz miktarının

BÜYÜKBAŞ VE KÜÇÜKBAŞ HAYVAN ATIKLARINDAN BİYOGAZ ÜRETİM POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ: BALIKESİR İLİ ÖRNEĞİ

yaklaşık %91’lik kısmının büyükbaş hayvan varlığından karşılandığını göstermiştir. Bu gerçekten yola çıkılarak Balıkesir ilindeki biyogaz potansiyelinin değerlendirilmesi hem bölgenin enerji ihtiyacının karşılanmasına hem de çevreye olan olumlu etkileri ve gübrenin kullanılabilir forma dönüştürülmesine olanak sağlayabilecektir; ancak potansiyel gaz hesabının yapılması uygulama projeleri için yol gösterici niteliktedir. Ulaşım, atık bedeli, uygulanacak teknoloji, proje finansmanı vb. pek çok unsurun uygulama projelerinde dikkate alınması gerekmektedir. Her projenin kendi bölgesinde ayrı ayrı hazırlanacak fizibilitelerle değerlendirilmesi sonucu daha etkin ve reel bir uygulama gerçekleştirilmiş olacaktır. Öte yandan farklı teorik kabullerin ve formülasyonların toplam biyogaz hesabında farklı sonuçlar vereceği gerçeği göz önünde bulundurulmalıdır. Yapılan bu çalışmada üç ayrı teorik kabul ve formülasyon (A, B ve C yöntemleri için) kullanılmış olup, toplam biyogaz hesaplamalarında Türkiye’de A yöntemiyle B yöntemine göre sapmalarda %29,35 oranında bir artış, C yöntemine göre sapmalarda %42,95 oranında bir artış; Marmara bölgesinde A yöntemiyle, B yöntemine göre sapmalarda % 31,65 oranında bir artış, C yöntemine göre sapmalarda %24,61 oranında bir artış; Balıkesir ilinde A yöntemiyle B yöntemine göre sapmalarda %33,41 oranında bir artış C yöntemine göre sapmalarda %23,46 oranında bir artış meydana gelmiştir. Söz konusu farklılıkların önlenmesi için saha çalışmaları, yıl boyunca gerçekleştirilecek atık analizleri, atık toplama verim hesapları gibi unsurların da dikkate alınması gerekmektedir.

Bu çalışmada bulunan teorik biyogaz miktarı sadece Balıkesir ilindeki potansiyeli göstermektedir. Potansiyel hesabında farklı metodların farkları konu hakkında sadece biyogaz potansiyelinin hesaplanmasının yeterli olmayacağını açıkça göstermektedir. Biyogaz projelerinde gerek kamunun gerekse özel sektörün dikkatinden kaçan önemli bir husus da anaerobik reaksiyon sonunda oluşan toplam hacmin %80-%90’ını oluşturan çürüyük (digestate) adı verilen sıvı atıktır. Ülkemizde sıvı gübre kullanımına ilişkin yasal süreç ve pazar problemleri sebebiyle bu atıkların bertarafı teknolojik, yasal ve mali anlamda çok büyük riskler oluşturmaktadır. Bu konuya ilgi duyan yatırımcıların her proje için atığa ulaşılabilirlik, atığın piyasa fiyatı, atığın toplanması/taşınması, uygun biyogaz teknolojisinin seçimi, finans maliyetleri vb. pek çok ana başlığın bulunacağı fizibilite çalışmalarını yapması büyük önem taşımaktadır. Aksi takdirde sadece büyükbaş ve küçükbaş hayvan sayıları üzerinden gerçekleştirilecek projeler, ülke kaynaklarının boşa harcanmasına sebep olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] TOPALOĞLU, B., İMREN, V. “Samsun İlinde Biyogaz Enerjisi Potansiyeli ve Uygulanabilirliği”, Samsun Sempozyumu, 13 Ekim, 3.oturum sunumu, 2011.
- [2] AB, AVRUPA BİRLİĞİ, Avrupa Birliği, Avrupa Komisyonu Tarım ve İklim Değişikliği Raporu, 2014https://ec.europa.eu/agriculture/sites/agriculture/files/climate-change/factsheet_en.pdf (erişim tarihi 13.04.2018)
- [3] ERSOY, A.E., “Türkiye’nin Hayvansal Gübre Kaynaklı Sera Gazı Emisyonları Durumu ve Biyogaz Enerjisi Potansiyeli”, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, 2017.
- [4] OSBBS, Balıkesir İlinde Bulunan Organize Sanayi Bölgeleri, 2018, <https://osbbs.sanayi.gov.tr/citydetails.aspx?dataID=200> (erişim tarihi 13.04.2018)
- [5] BKTİM, 2018, Balıkesir Kültür ve Turizm İl Müdürlüğü, <http://www.balikesirkulturturizm.gov.tr/TR,65879/ekonomik-yapi.html> (erişim tarihi 13.04.2018)
- [6] ALAGÖZ, T., KUMOVA, Y., ATILGAN, A., AKYÜZ, A., “Hayvancılık Tesislerinde Ortaya Çıkan Zararlı Atıklar ve Yarattığı Çevre Kirliliği Üzerine Bir Araştırma”, Doğal Kaynakların Sürdürülebilir Kullanımı, Mersin Üniv. Müh. Fak., Tarım-Çevre İlişkileri Sempozyumu, 441-448, Mersin, Türkiye, 1996.
- [7] TEIRA-ESMATGES, M.R., FLOTATS, X., “A Method for Livestock Waste Management Planning in NE Spain”, Waste Management, 23 (10), 917-932, 2003.
- [8] ANONYMOUS, Principles of Environmental Stewardship – Manure and Water Quality Concerns, Midwest Plan Service, Iowa State University, 2005, <https://www.lpes.org> (erişim tarihi 13.04.2018)
- [9] POLAT, H.E., OLGUN, M., “Hayvancılık İşletmelerindeki Atık Yönetimi Uygulamalarının Su Kirliliği Üzerine Etkileri”, GOÜ, Ziraat Fakültesi Dergisi, 26(2), 71-80, 2009.
- [10] OUN, A., KUMAR, A., HARRİGAN, T., ANGELAKİS, A., XAGORARAKİ, I., “Effects of Biosolids and Manure Application on Microbial Water Quality in Rural Areas in the US”, Water, doi:10.3390/w6123701, 6, 3701-3723, 2014.
- [11] KARAMAN, S., “Hayvansal Üretimden Kaynaklanan Çevre Sorunları ve Çözüm Olanakları”, Journal of Science and Engineering, KSU, Fen ve Mühendislik Dergisi, 9(2), 133-139, 2006.
- [12] MUTLU, A., “Adana İli Çevresindeki Hayvancılık Tesislerinde Ortaya Çıkan Atıkların Yarattığı Çevre Kirliliği Üzerine Bir Araştırma”, Yüksek Lisans Tezi, 99s, Çukurova Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama ABD., Adana, 1999.

- [13] MCLAY, C.D.A., DRAGTEN, R., SPARLING, G., SELVARAJAH, N., “Predicting Groundwater Nitrate Concentration a Region of Mixed Agricultural Land Use: a Comparison of Three Approaches”, *Environmental Pollution Journal*, 115, 191-204, 2001.
- [14] KAPLAN, M., SÖNMEZ, S., TOKMAK, S., “Antalya–Kumluca Yöresi Kuyu Sularının Nitrat İçerikleri”, *Tr. J. of Agriculture and Forestry*, 23, 309-313, 1999.
- [15] LUDWICK, A.E., “Phosphorus Mobility in Perspective”, A Regional Newsletter Published by the Potash & Phosphate Institute (PPI) and the Potash & Phosphate Institute of Canada (PPIC), 1998.
- [16] POLAT, H.E., “Ankara İli Büyükbaş Hayvancılık İşletmelerinde Atık Yönetim Sistemlerinin Değerlendirilmesi”, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Ankara, 2007.
- [17] ATWILL, E., LI, X., GRACE, D., GANNON, V., *Zoonotic Waterborne Pathogen Loads in Livestock. Animal Waste, Water Quality and Human Health* Edited by Al Dufour Jamie Bartram Robert Bos and Victor Gannon, (pp. 73), IWA publishing, UK., 2012.
- [18] THYGESEN, L., “A Primer on Water Quality: Impact of Livestock Production Practices on Water Quality”, *Agriculture and Forestry*, 2002.
- [19] NRCS, Natural Resource Conservation Service, “Silage leachate and water quality”, *Environmental Quality Technical Note N5.*, 21 pages, 25 August, 1995.
- [20] GANGBAZO, G., PESANT, A.R., BARNETT, G.M., CHARUEST, J.P., CLUIS, D., “Water Contamination by Ammonium Nitrogen Following the Spreading of Hog Manure and Mineral Fertilizers”, *Journal of Environmental Quality*, Madison, 24, 420-425, 1995.
- [21] ALMEIDA, C.M.R., CARVALHO, P.N., FERNANDES, J.P., BASTO, M.C.P., MUCHA, A.P., “Constructed Wetlands for Livestock Wastewater Treatment Antibiotics Removal and Effects on CWs Performance” In: Ansari A., Gill S., Gill R., Lanza G., Newman L. (eds) *Phytoremediation*, Springer, Cham., 2016.
- [22] TOPP, C. F. E., WANG, W., CLOY, J. M., REES, R. M., HUGHES, G., “Emissions from Agricultural Soils”, 48, 1, 2013.
- [23] EPA, “A Plain English Guide to the EPA Part 503 Biosolids Rule”, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Wastewater Management, Washington, DC, 1994.
- [24] FAD PReP, “Wildlife Management and Vector Control for a Foreign Animal Disease Response in Domestic Livestock”, *Nahems Guidelines*, Iowa State University of Science and Technology, Iowa, 2014.
- [25] WORLD BIOENERGY ASSOCIATION, WBA Global Bioenergy Statistics, 2014, <https://worldbioenergy.org/uploads/WBA%20Global%20Bioenergy%20Statistics%202014.pdf> (erişim tarihi 13.04.2018)
- [26] ANONİM, “Türkiye’nin 2015 Yılı Sonu Kurulu Gücü”, Ekim, 2016, <https://www.teias.gov.tr/yukdagitim/2015YILSONUKURULUGÜÇ.xlsx> (erişim tarihi 13.04.2018)
- [27] THAMSİROJ, T., MURPHY, J. D., “Fundamental Science and Engineering of The Anaerobic Digestion Process for Biogas Production”. In A.WELLINGER, J. MURPHY, D. BAXTER (eds) *The Biogas Handbook: Science, Production and Applications*, 1st Edition, 104, Woodhead Publishing, Cambridge, UK, 2013.
- [28] OMER, A.M., FADALLA, Y., *Biogas Energy Technology in Sudan*, *Renewable Energy*, 28, 499-507. 2003.
- [29] KOTTNER, M., “Dry Fermentation - A New Method for the Biological Treatment in Ecological Sanitation Systems (Ecosan) for Biogas and Fertilizer Production from Stackable Biomass Suitable for Semi-arid Climates”, 2003, http://www2.gtz.de/ecosan/download/CESMA2002b_Koettner.pdf (erişim tarihi 18.04.2018)
- [30] KOÇER, N.N., ÖNER, C., SUGÖZÜ, İ., “Türkiye’de Hayvancılık Potansiyeli ve Biyogaz Üretimi”, Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları, Elazığ, 2006.
- [31] BAŞÇETİNÇELİK, A., ÖZTÜRK, H., KARACA, C., “Türkiye’de Tarımsal Biyokütleden Enerji Üretimi Olanakları”, IV. Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Kayseri, 2007.
- [32] ERYAŞAR, A., “Kırsal Kesime Yönelik Bir Biyogaz Sisteminin Tasarımı, Kurulumu, Testi ve Performansına Etki Eden Parametrelerin Araştırılması”, 2007.
- [33] ACAROĞLU, M., *Alternative Energy Resources*. Nobel Publishing, ISBN: 978-605-395-047-9, Ankara, Türkiye, 2007.
- [34] ONURBAŞ, A., ELİÇİN, A.K., “Ankara'nın Hayvansal Atıklardan Biyogaz Potansiyeli ve Uygun Reaktör Büyüklüğünün Belirlenmesi”, 26. Tarımsal Mekanizasyon Ulusal Kongresi, 356-362, Hatay, 2010.
- [35] OZSOY, G., ALİBAS, İ., “GIS Mapping of Biogas Potential from Animal Wastes in Bursa, Turkey”, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Uludag University, Bursa, Turkey, 2015.

BÜYÜKBAŞ VE KÜÇÜKBAŞ HAYVAN ATIKLARINDAN BİYOGAZ ÜRETİM POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ: BALIKESİR İLİ ÖRNEĞİ

- [36] KAYGUSUZ, K., “Renewable and Sustainable Energy Use in Turkey: a Review”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 339–66, 2002.
- [37] BABACAN, S., AB Surecinde Türkiye Hayvancılık Sektörünün Avantaj ve Dezavantajları. İzmir Ticaret Odası, http://www.kafkas.edu.tr/duyurular/web_katalog/hayvancilik_kat1/hayvanrapor.pdf (erişim tarihi 30.08.2018)
- [38] KUTLU, H.R., GÜL, A., GÖRGÜLÜ, M., Türkiye Hayvancılığı; Hedef 2023 Sorunlar, Çözüm Yolları ve Politika Arayışları, Adana, <http://www.tsv2023.org/pdf/hayvancilikraporu.pdf> (erişim tarihi 30.08.2018)
- [39] KIRIMHAN, S., “Organik Atıklardan Biyogaz Üretimi”, Atatürk Üniversitesi, Çevre Sorunları Araştırma Enstitüsü, Erzurum, 1981.
- [40] ILGAR, R., “Hayvan Varlığına Göre Çanakkale Biyogaz Potansiyelinin Tespitine Yönelik Bir Çalışma”, *Doğu Coğrafya Dergisi*, 35, 89-106, 2013.
- [41] JAIN, M.K., SINGH, R., TAURO, P., “Anaerobic Digestion of Cattle and Sheep Waste”, *Agric Wastes*, 3, 65-73, 1981.
- [42] BABAEE, A., SHAYEGAN, J., ROSHANI, A., “Anaerobic Slurry Co-Digestion of Poultry Manure and Straw: Effect of Organic Loading and Temperature”, *Jenviron Health Sci Eng*, 11–5, 2013.
- [43] HOSSEINI, S.E., WAHİD, M.A., “Development of Biogas Combustion in Combined Heat and Power Generation”, *Renew Sustain Energy Rev*, 40, 868-75, 2014.
- [44] GARCIA, A.P., “Techno-Economic Feasibility Study of a Small-Scale Biogas Plant for Treating Market Waste in the City of El Alto”, KTH School of Industrial Engineering and Management, Division of Energy and Climate, Master of Science Thesis EGI, 2014.
- [45] YALDIZ, O., *Biyogaz Teknolojisi, Ders Kitabı*, Akdeniz Üniversitesi Yayınları, 78, 181, Antalya, 2004.
- [46] DBFZ, “Türkiye’de Hayvansal Atıkların Biyogaz Yoluyla Kaynak Verimliliği Esasında ve İklim Dostu Kullanımı Projesi”, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara, 2011.
- [47] BERKES, F., KIŞLALIOĞLU, M., *Çevre ve Ekoloji, Remzi Kitabevi*, İstanbul, 1993.
- [48] EKİNCİ, K., KULCU, R., KAYA, D., “The Prospective of Potential Biogas Plants that can Utilize Animal Manure in Turkey”, *Energy, Exploration & Exploitation*, 28 (3), 187-206, 2010.
- [49] AFAZELI, H., JAFARI, A., RAFIEE, S., NOSRATI, M., “An Investigation of Biogas Production Potential from Livestock and Slaughter House Wastes”, *Renew Sustain Energy Rev*, 34, 380-6, 2014.
- [50] ŞENOL, H., ELİBOL, E.A., AÇIKEL, Ü., ŞENOL, M., “Türkiye’de Biyogaz Üretimi İçin Başlıca Biyokütle Kaynakları”, *BEÜ, Fen Bilimleri Dergisi*, 6(2), 81-92, 2017.
- [51] ONURBAŞ AVCIOĞLU, A., TURKER, U., ”Status and Potential of Biogas Energy from Animal Wastes in Turkey”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 1557-1561, 2012.
- [52] AYHAN, A., “Biogas Production Potential from Animal Manure of Bursa Province”, *U. Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi*, 29(2), 47-53, 2015.
- [53] ZAN SANCAK, A., SANCAK, K., DEMİRTAŞ, M., DÖNMEZ, D., AYGÖREN E., KALANLAR, Ş., ARSLAN, S., “Türkiye’de Büyükbaş Hayvansal Atıklardan Biyogaz Üretim Potansiyeli”, XI. Ulusal Tarım Ekonomisi Kongresi, Samsun, 3-5 Eylül, 2014.