

SÜRDÜRÜLEBİLİR ENERJİ GELECEĞİ: HAYVANCILIK ATIKLARIYLA BİYOGAZ ÜRETİMİ VE ENERJİ POTANSİYELİNİN ARAŞTIRILMASI

Leyla GAZİGİL * 

Recep YETİŞ ** 

Ayşegül DEMİR YETİŞ ** 

Alınma: 31.12.2024; düzeltme: 14.02.2025; kabul: 15.02.2025

Öz: Yapılan birçok çalışma göstermiştir ki günümüzde sürdürülebilir ve ekonomik bir enerji kaynağı olan biyokütle birçok fosil yakıtların yerine geçebilecek potansiyele sahiptir. Özellikle hayvancılığın yoğun olduğu ülkelerde, hayvansal atıklardan biyogaz üretimi, enerji güvenliğini artırırken çevresel sorunları hafifletir ve yenilenebilir enerjiye geçişi hızlandırır. Hayvancılık faaliyetlerinin yoğun olduğu ülkelerde biyogaz tesislerine yönelik yatırımların artırılması, atık yönetimini kolaylaştırmakla birlikte, enerji üretimini de destekleyerek sürdürülebilir bir çevre ve ekonomik kalkınma için önemli bir adım olacaktır. Bu yaklaşım, enerji sistemine çevreci ve yenilikçi çözümler sunar. Bu çalışmada, Van ili ve ilçelerinde hayvansal atıklardan biyogaz üretim potansiyeli analiz edilmiştir. Çalışmada 2023 yılı Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verileri temel alınarak büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvanlardan kaynaklanan atık miktarları hesaplanmıştır. Agro-Waste yöntemi kullanılarak atıkların biyogaz potansiyelleri değerlendirilmiştir. Sonuç olarak; biyogaz üretiminde büyükbaş hayvan atıkları % 63,68, küçükbaş hayvan atıkları % 36,11 ve kanatlı hayvan atıkları % 0,22 oranında katkı sağladığı tespit edilmiştir. En yüksek potansiyele sahip ilçeler arasında Erciş, Tuşba ve İpekyolu ilçeleri öne çıkmakta olup, yapılan araştırma Van ilinin toplam biyogaz potansiyelinin 50.004.441,08 m³ olduğunu göstermektedir. Bu değer, 59.005.240,47 m³ ile doğal gaz, 73.006.483,97 kg ile kömüre ve 235.020.873,05 kWh ile elektrik üretimine eşdeğerdir. Bu veriler, Van ilinde biyogaz üretiminin yalnızca enerji ihtiyacını karşılamakla kalmayıp, geleneksel enerji kaynaklarına güçlü bir alternatif sunduğunu, çevresel sürdürülebilirlik ve ekonomik kalkınma hedeflerine ulaşmada önemli bir fırsat sunduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Biyogaz potansiyeli, hayvansal atık, enerji tasarrufu, Van

Sustainable Energy Future: Investigation of Biogas Production with Livestock Waste and Energy Potential

Abstract: Many studies have shown that biomass, which is a sustainable and economical energy source today, has the potential to replace many fossil fuels. Especially in countries where animal husbandry is intense, biogas production from animal waste increases energy security, alleviates environmental problems and accelerates the transition to renewable energy. Increasing investments in biogas facilities in countries where animal husbandry activities are intense will be an important step for sustainable environment and economic development by facilitating waste management and supporting energy production. This approach offers environmentally friendly and innovative solutions to the energy system. In this study, the potential for biogas production from animal waste in Van province and its districts was analyzed. In the study, the amounts of waste originating from cattle, sheep and poultry were calculated based on the 2023 Turkish Statistical Institute (TUIK) data. The biogas potentials of the wastes were evaluated using the Agro-Waste method. As a result; It was determined that cattle waste contributed 63.68%, sheep waste 36.11% and poultry waste 0.22% in biogas production. Among the districts with the highest potential, Erciş, Tuşba and İpekyolu districts stand out, and the research shows that the total biogas potential of Van province is 50 004 441.08 m³. This value is equivalent to 59 005 240.47 m³ of natural gas, 73 006 483.97 kg of coal and 235 020 873.05 kWh of electricity production. These data show that biogas production in

* Bitlis Eren Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, 13000 Bitlis

**Bitlis Eren Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri MYO, Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü, 13000 Bitlis

Sorumlu Yazar: guldem83@gmail.com / ademir@beu.edu.tr

Van province not only meets the energy need, but also offers a strong alternative to traditional energy sources, and offers an important opportunity to achieve environmental sustainability and economic development goals.

Keywords: Biogas potential, animal waste, energy saving, Van

1. GİRİŞ

Son yüzyılda yaşam standartlarının yükselmesi, fosil yakıt tüketimindeki artış küresel enerjiye ihtiyacı ve talebi hızla artırmıştır (Sharma ve diğ., 2020). Geleneksel olarak enerji talebini karşılayan ana kaynaklar kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıtlar olmuştur (Gülşen ve Yenigün, 2021). Ancak bu kaynakların doğası gereği yenilenemez olmaları, tükenmeleri ve çevresel zararları nedeniyle önemli endişelere yol açmaktadır (Mehta ve diğ., 2019). Fosil yakıtların yanması; karbondioksit (CO₂), metan (CH₄) ve azot oksit (N₂O) gibi sera gazlarının salınımını artırarak küresel ısınmayı hızlandırmaktadır. Bu durum, iklim krizini ağırlaştırmakta ve ciddi çevresel ve ekonomik sorunlara neden olmaktadır (Roy Barman ve diğ., 2024).

Fosil yakıtların bu dezavantajlarından dolayı dünya genelinde enerji talebini karşılamak için yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş hız kazanmaktadır. Alternatif enerji kaynakları arasında güneş, rüzgâr, hidroelektrik ve biyokütle gibi seçenekler öne çıkmaktadır (Neshat ve diğ., 2017; Yenigün ve diğ., 2021). Biyokütle, dünya genelinde mevcut doğal kaynakların % 77'sini oluşturan, önemli bir yenilenebilir enerji kaynağıdır (Bhattacharjee ve Mohanta, 2018). Özellikle hayvansal atıklar, tarımsal kalıntılar ve organik diğer atıklar biyogaz üretimi için büyük bir potansiyel taşımaktadır. Biyogaz, anaerobik sindirim yoluyla organik atıklardan üretilen, % 60 CH₄ ve % 35-40 CO₂ içeren sürdürülebilir bir enerji sağlayıcısıdır (Patowary ve diğ., 2016). Avrupa Birliği, 2050 yılına kadar enerji sektöründeki üretim amaçlı karbon salınımını azaltma ve 2030'a kadar yenilenebilir enerjinin toplam enerji tüketimindeki payının da % 32'ye çıkarılmasını hedeflemektedir. Döngüsel ekonomi ve biyogaz üretimi, bu hedeflere ulaşmada önemli bir rol oynamaktadır. Biyogaz tesisleri hem atık yönetimi sürecine çözüm sunmakta hem de enerji üretimine yenilikçi bir alternatif olarak öne çıkmaktadır (Lisbona ve Perez, 2023). Türkiye'de biyogaz teknolojisinin; enerji arz güvenliği, dış bağımlılığın azaltılması ve iklim değişikliği önlemleri açısından kritik bir öneme sahip olduğu vurgulanmaktadır. Hayvansal atıkların daha etkin kullanımı, biyogaz üretiminin artırılması ve bu enerji kaynağının elektrik üretimine entegrasyonu, sürdürülebilir enerji hedeflerine ulaşmada önemli bir adım olacaktır (Bilgen ve diğ., 2015). Hayvansal atıkların biyogaz potansiyelini ortaya koymak için birçok çalışma yürütülmektedir. Malezya'da hayvansal atıklardan elde edilen biyogazın yılda 8,27 milyar kWh elektrik üretebileceği hesaplanmıştır (Abdeshahian ve diğ., 2016). Yunanistan'da biyogazdan üretilen enerjinin, geleneksel elektrik üretiminin % 39'unu karşılayabileceği belirlenmiştir (Vlyssides ve diğ., 2015). İsviçre'de gübreden biyogaz üretimiyle yılda 159 bin ton CO₂ eşdeğeri emisyonun önlenebileceği hesaplanmıştır (Burg ve diğ., 2018).

Türkiye'de ise biyokütle enerji potansiyeli 17,2 milyon TEP (ton eşdeğer petrol) olarak tahmin edilmiştir. Ülkemizde sığır, koyun ve kanatlı hayvan gübresinden 3,30 milyar m³ biyogaz üretim potansiyeli olduğu belirtilmiştir. Ancak, hayvansal atıkların büyük bir kısmı kontrolsüz şekilde depolanmakta veya yakılmaktadır. Bu durum çevresel sorunlara ve enerji kaybına yol açmaktadır (Erdil ve diğ., 2015; Teke ve diğ., 2019; Güray ve Merdan, 2022). Özellikle İç Anadolu Bölgesi'nde Yozgat gibi illerde büyük biyogaz potansiyeli bulunmaktadır. Bu potansiyelin enerji üretiminde kullanılmasıyla hem çevresel hem de ekonomik faydalar sağlanabilir (Eryılmaz ve diğ., 2015).

Bu çalışmanın amacı, Van ili ve ilçelerinde büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvanlarından kaynaklanan atık miktarını ve bu atıkların biyogaz üretim potansiyelini belirlemektir. Bu doğrultuda, TÜİK'in 2023 yılı verilerinden elde edilen hayvan sayıları kullanılmış ve Agro-Waste projesi kapsamında belirtilen standart değerlerle atık miktarı ve biyogaz potansiyeli hesaplanmıştır. Ayrıca, oluşabilecek biyogaz miktarının diğer yakıt türleriyle karşılaştırmalı olarak sağlayabileceği ekonomik eşdeğerleri belirlenmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışma kapsamında Ağrı, Bitlis, Siirt, Şırnak ve Hakkâri ilerine sınırı olan Van ili ve ilçelerindeki hayvan sayısı TÜİK 2023 verilerine dayanarak gerçekleştirilmiştir. Büyükbaş olarak sığır (saf kültür, kültür melezi, yerli, manda, manda yavrusu, buzağı, dana, inek, öküz, tason, boğ), at, katır ve eşek, küçükbaş olarak koyun (yerli, merinos) ve keçi (tiftik, kıl), kanatlı hayvan sayında ise hindi, kaz, ördek, beç tavuğu üzerinden hesaplamalar yapılmıştır. Toplamda 13 ilçesi bulunan Van ilinin 3 ilçesi Edremit, İpekyolu ve Tuşba merkez ilçeleri olarak geçmektedir. Diğer ilçeler ise TÜİK 2023 nüfus sayılarına göre Erciş, Özalp, Çaldıran, Muradiye, Bahçesaray, Başkale, Gürpınar, Saray, Çatak, Gevaş ve Edremit. Şekil 1’de Van ili ve ilçelerine ait lokasyon haritası yer almaktadır.



Şekil 1:
Van iline ait lokasyon haritası

Doğu Anadolu Bölgesi'nde mera hayvancılığı açısından Van ili öne çıkmaktadır (Şirin ve diğ., 2022). Van, geniş mera alanlarına sahip olması, iklim ve coğrafi koşullarının hayvancılığa elverişli olması nedeniyle mera hayvancılığının yoğun olarak yapıldığı bir ildir. Özellikle TÜİK 2023 verilerine göre Van ili, Türkiye'deki küçükbaş hayvancılığının (koyun ve keçi) sayısı bakımından % 25,94 ile ilk sırada yer almaktadır. Ayrıca ilin ekonomisinde hayvancılık önemli bir yer tutmaktadır.

Oluşan gübre özellikleri ve miktarı, hayvan türünün yanı sıra hayvanların üretim sistemine bağlıdır. TÜİK 2023 verileri ışığında mevcut hayvan sayısı belirlendikten sonra Agro-Waste (Altıkat ve Çelik, 2012; Baran ve diğ., 2017; Demir Yetiş ve diğ., 2019) kapsamında gübre ile ilgili standartlar kullanılarak atık miktarı hesaplanmıştır. Sonrasında kullanılabilir atık miktarları ile ilgili hesaplamalar da yine Agro-Waste kabullerine dayanarak yapılmıştır. En son adımda ise oluşabilecek teorik biyogaz miktarı ortaya konulmuş ve hesaplanan biyogaz potansiyeli diğer enerji türleri ile kıyaslanmıştır (Baran ve diğ., 2017; Demir Yetiş ve diğ., 2019) .

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

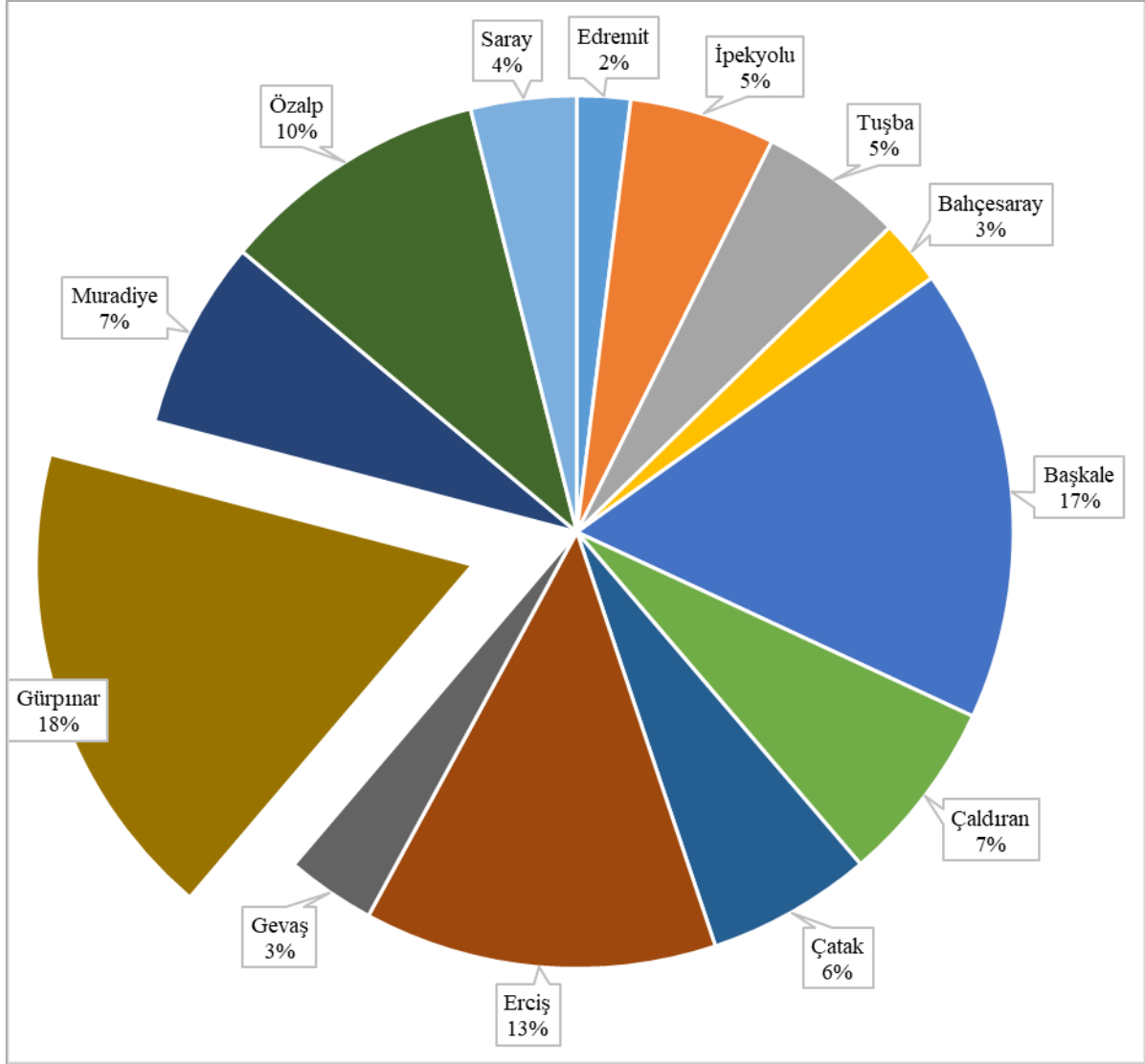
3.1. Hayvan Sayısına Göre Atık Miktarı ve Kullanılabilir Atık Miktarının Hesaplanması

Van ilindeki 2023 yılı toplam büyükbaş hayvan sayısı 138.867 adet, küçükbaş sayısı 2.710.345 adet ve kanatlı hayvan sayısı ise 43.609 adet olduğu belirlenmiştir. TÜİK'ten alınan 2023 yılı Van ili merkez ilçeleri ve diğer ilçelerindeki hayvan sayıları Tablo 1'de yer almaktadır (TÜİK, 2024). Tablodaki değerler incelendiğinde ildeki toplam hayvan sayısı olarak en çok hayvan türünün sırasıyla küçükbaş (3.283.065), büyükbaş (138.867) ve kanatlı (43.609) hayvan olduğu görülmektedir. İlçeler bazında bakıldığında zaman; en çok büyükbaş hayvan sayısı 33.225 adet ile Erciş ilçesinde ve en az büyükbaş hayvan sayısının ise 1.996 adet ile Saray ilçesinde bulunmaktadır. Erciş ilçesinde tarımcılıkla birlikte hayvancılık en önemli geçim kaynakları arasındadır. Özellikle ilçenin mera varlığı bakımında zengin olması buna zemin sağlamaktadır. En çok küçükbaş hayvan sayısı 612.733 adet ile Gürpınar, en az ise 59.688 adet ile Edremit ilçesinde olduğu görülmektedir. Gürpınar ilçesinde İlçeye özgü Norduz Koyun'u olarak bilinen özel bir tür bulunmaktadır. Diğer ilçelere göre Edremit ilçesi mera alanı bakımından en küçük olan yerdir. Hayvancılık daha çok ilçeye bağlı köylerde yapılmaktadır. Kanatlı hayvan sayısı ise 11.600 adet ile en fazla Erciş ilçesinde, en az ise Bahçesaray'da olduğu görülmektedir. Bahçesaray ilçesi hayvan sayısı bakımından diğer ilçelere göre daha geride yer almakta olup, arıcılık bu ilçede önemli bir yere sahiptir (TSO, 2023).

Tablo 1. Van İli ve İlçeleri Bazında Hayvan Sayıları (TÜİK, 2024)

İlçeler/ Hayvan Cinsleri	Büyükbaş hayvan (adet)	Küçükbaş hayvan (adet)	Kanatlı hayvan (adet)
Merkez İlçeleri			
Edremit	8.044,00	59.688,00	818,00
İpekyolu	16.636,00	168.704,00	1.490,00
Tuşba	28.391,00	150.465,00	6.065,00
Diğer ilçeler:			
Bahçesaray	4.155,00	79.124,00	-
Başkale	8.032,00	573.293,00	1.545,00
Çaldıran	3.741,00	227.008,00	5.647,00
Çatak	2.359,00	209.084,00	327,00
Erciş	33.225,00	407.876,00	11.600,00
Gevaş	6.058,00	106.072,00	2.150,00
Gürpınar	4.419,00	612.733,00	1.877,00
Muradiye	15.804,00	222.855,00	4.800,00
Özalp	6.007,00	333.372,00	6.200,00
Saray	1.996,00	132.791,00	1.090,00
Toplam	138.867,00	3.283.065,00	43.609,00

Van ili ve ilçeleri bazında toplam hayvan sayılarının yüzde dağılım oranları Şekil 2’de görülmektedir. Toplam hayvan sayısının en fazla olduğu ilçe Gürpınar (% 18) olarak görülürken, en az hayvan sayısının ise Edremit (% 2) ilçesinde olduğu tespit edilmiştir.



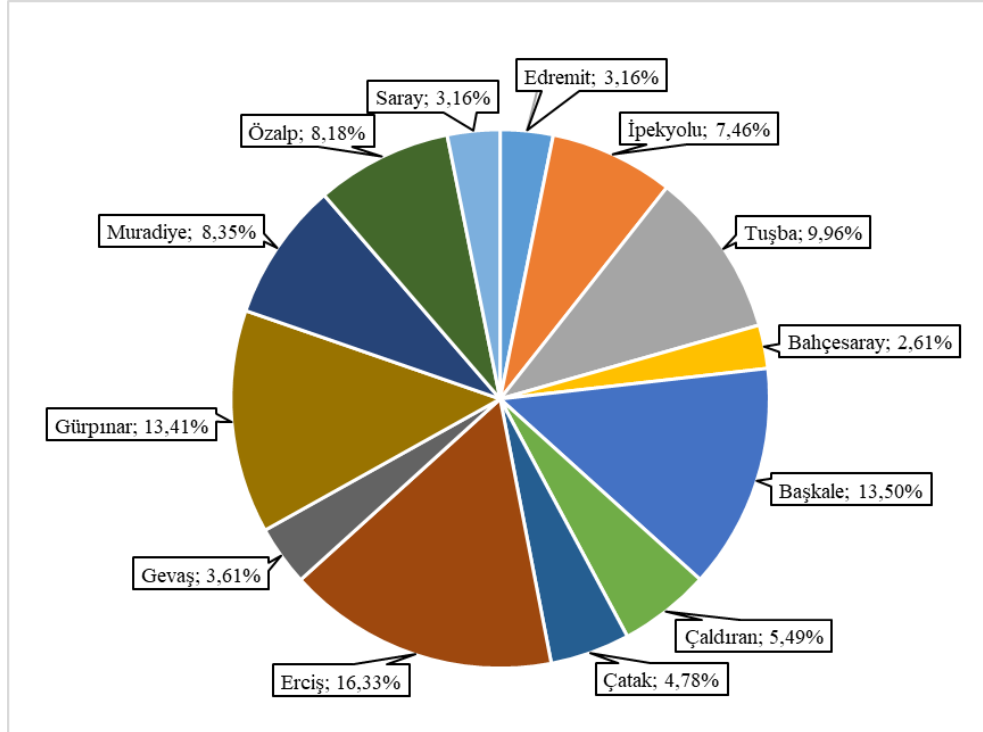
Şekil 2:
Van iline ait ilçe bazlı toplam hayvan sayısının dağılımı

2023 yılı için elde edilmiş olan hayvan sayıları ile il ve ilçelerin hayvansal kaynaklı yaş gübre miktarı hesaplanmıştır. Tablo 2’de İlçelerde oluşabilecek atık miktarları her bir tür için ayrı ayrı verilmiştir. Büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvan için en yüksek değerler sırasıyla Erciş, Gürpınar ve Erciş ilçelerinde, en düşük değerler ise yine sırasıyla Saray, Edremit ve Bahçesaray ilçelerinde görülmektedir. Yıllık oluşacak yaş gübre miktarı büyükbaş hayvanda 1.380.337,98 ton/yıl, küçükbaş hayvanda 2.692.113,30 ton/yıl ve kanatlı hayvanda 1.264,66 ton/yıl olup, toplam oluşacak atık miktarı ise 4.073.715,94 ton/yıldır.

Şekil 3’de gösterilen yüzde dağılım grafiğinde en çok atık gübre miktarına sahip ilçe % 16,33 ile Erciş ilçesi, en az değer ise % 2,61 ile Bahçesaray ilçesine aittir.

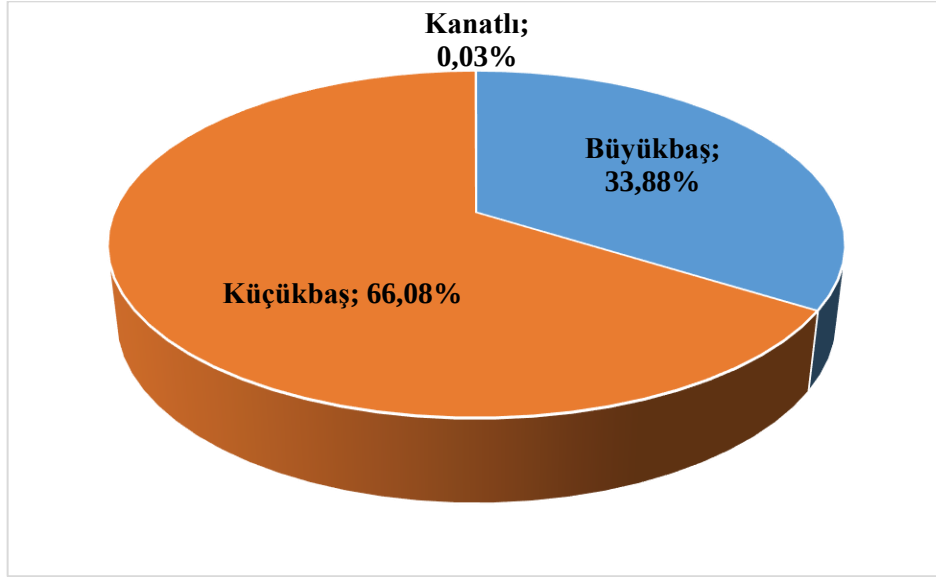
Tablo 2. Van ili ve ilçelerindeki hayvan sayılarına göre toplam atık miktarı

İlçeler/ Hayvan Cinsleri	Büyükbaş hayvan (ton/yıl)	Küçükbaş hayvan (ton/yıl)	Kanatlı hayvan (ton/yıl)
Merkez İlçeleri			
Edremit	79.957,36	48.944,16	23,72
İpekyolu	165.361,84	138.337,28	43,21
Tuşba	282.206,54	123.381,30	175,89
Diğer ilçeler:			
Bahçesaray	41.300,70	64.881,68	0,00
Başkale	79.838,08	470.100,26	44,81
Çaldıran	37.185,54	186.146,56	163,76
Çatak	23.448,46	171.448,88	9,48
Erciş	330.256,50	334.458,32	336,40
Gevaş	60.216,52	86.979,04	62,35
Gürpınar	43.924,86	502.441,06	54,43
Muradiye	157.091,76	182.741,10	139,20
Özalp	59.709,58	273.365,04	179,80
Saray	19.840,24	108.888,62	31,61
Toplam	1.380.337,98	2.692.113,30	1.264,66

**Şekil 3:**

İldeki ilçelere göre oluşabilecek toplam hayvansal atık miktarının yüzdelik dağılımı

Şekil 4’den görüldüğü gibi yıllık oluşacak atık gübre miktarının çoğunluğunu % 66,08 ile küçükbaş, sonrasında ise % 33,88 ile büyükbaş oluşturmaktadır. En az yüzdelik dilime sahip olan % 0,03 değer ile kanatlı hayvandır.



Şekil 4:
İldeki toplam hayvansal atık miktarının yüzdelik dağılımı

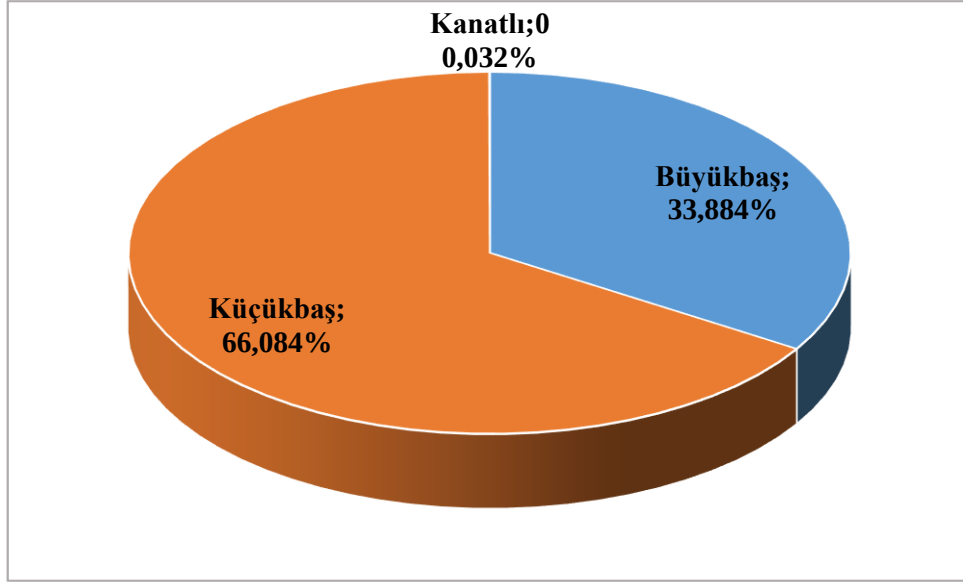
Tablo 3’te Van ili ve ilçelerinde hayvan cinslerine göre toplam kullanılabilir atık miktarları verilmiştir. Yıllık olarak 897.219,69 ton büyükbaş hayvan, 349.974,73 ton küçükbaş hayvan ve 1.252,01 ton kanatlı hayvan atığının, biyogaz üretimi açısından kullanılabilir olduğu tespit edilmiştir. Merkez ilçeler incelendiğinde, Tuşba ilçesi 183.434,25 ton/yıl ile büyükbaş hayvan sayısında en yüksek atık miktarına sahiptir. Aynı zamanda, küçükbaş atıkta öne çıkan ilçe 17.983,85 ton/yıl ile İpekyolu ilçesi olmuştur. Kanatlı atıklarında ise 174,13 ton/yıl ile Tuşba ilçesi başı çekmektedir. Diğer ilçelerdeki toplam gübre atık miktarları analiz edildiğinde, Erciş ilçesi 214.666,73 ton/yıl büyükbaş atık ile bu grupta öne çıkmıştır. Küçükbaş atık miktarında 65.317,34 ton/yıl ile Gürpınar, kanatlı atık miktarında ise 333,04 ton/yıl ile Erciş ilçesi öne çıkmaktadır. Bahçesaray ilçesi ise kanatlı hayvan bulunmamasından dolayı gübre atıklarına dair veri olmayan tek ilçedir. Elde edilen veriler, Van ilindeki hayvancılık faaliyetlerinin çeşitli ilçelerde farklı yoğunlukta yapıldığını göstermektedir. Büyükbaş hayvan yetiştiriciliğinin özellikle Erciş ve Tuşba ilçelerinde yoğunlaştığı, küçükbaş hayvancılığının ise Gürpınar ve Çaldıran ilçelerinde yaygın olduğu görülmüştür. Kanatlı hayvan atık miktarlarının genel olarak düşük seviyelerde bulunması, bölgenin kanatlı hayvan yetiştiriciliğine daha az uygun olduğunu veya bu sektörün henüz gelişim aşamasında olduğunu gösterebilir. Bahçesaray’daki kanatlı hayvan atık verisinin eksik olması ise, bu ilçede kanatlı hayvancılık faaliyetlerinin olmadığı veya kayıt altına alınmadığı anlamına gelebilir (TSO, 2023) .

Tablo 3. Van ili ve ilçelerinin toplam hayvan sayılarına göre toplam kullanılabilir atık miktarı

İlçeler/ Hayvan Cinsleri	Büyükbaş hayvan (ton/yıl)	Küçükbaş hayvan (ton/yıl)	Kanatlı hayvan (ton/yıl)
Merkez İlçeleri			
Edremit	51.972,28	6.362,74	23,48
İpekyolu	107.485,20	17.983,85	42,78
Tuşba	183.434,25	16.039,57	174,13
Diğer ilçeler:			
Bahçesaray	26.845,46	8.434,62	0,00

Başkale	51.894,75	61.113,03	44,36
Çaldıran	24.170,60	24.199,05	162,13
Çatak	15.241,50	22.288,35	9,39
Erciş	214.666,73	43.479,58	333,04
Gevaş	39.140,74	11.307,28	61,73
Gürpınar	28.551,16	65.317,34	53,89
Muradiye	102.109,64	23.756,34	137,81
Özalp	38.811,23	35.537,46	178,00
Saray	12.896,16	14.155,52	31,29
Toplam	897.219,69	349.974,73	1.252,01

Şekil 5 incelendiğinde, toplam kullanılabilir atık miktarının (biyogaz üretimi için uygun olan atık miktarı) büyük bir kısmı küçükbaş hayvanlardan elde edilmektedir (% 66,084). Büyükbaş hayvan açısından bu oran % 33,884 değer ile ikinci sırada yer almaktadır. Kullanılabilir atık miktarı açısından kanatlı hayvanlar ise yalnızca % 0,032'lik oran ile biyogaz üretimine en düşük katkıyı sağlamaktadır.



Şekil 5:

Van ilindeki hayvan türüne göre toplam kullanılabilir atık miktarı dağılımı

3.2. Van ili ve İlçelerinin Biyogaz Potansiyeli

Tablo 4'te Van ilinin ilçelerine göre biyogaz potansiyeli incelendiğinde, toplamda 50.004.441,08 m³ biyogaz üretim kapasitesine ulaşıldığı görülmektedir. En yüksek biyogaz potansiyeline sahip ilçeler sırasıyla 6.997.207,12 m³ ile Tuşba, 9.631.794,47 m³ ile Erciş ve 5.260.542,62 m³ ile Başkale ilçeleri olmuştur. Bunun yanı sıra, İpekyolu ve Gürpınar ilçeleri de sırasıyla 4.593.411,24 m³ ve 4.734.797,16 m³ biyogaz üretimi ile öne çıkmaktadır. Daha düşük biyogaz potansiyeline sahip ilçeler ise 1.375.107,88 m³ ile Bahçesaray ve 1.249.034,27 m³ ile Saray ilçeleri olmuştur. Van ilinin hayvansal atıklardan üretilen biyogaz potansiyelini inceleyen diğer bir çalışma da 2021 TÜİK verileri kullanılarak yapılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre; Erciş ilçesinin en yüksek biyogaz potansiyeline sahip olması ve en düşük potansiyelin de Saray ilçesinde elde edilmiş olması bu çalışmayı destekler niteliktedir (Şirin ve diğ. 2022). Çağlayan (2020) Doğu Anadolu Bölgesi'ndeki 14 ili kapsayan çalışmasında; büyükbaş ve küçükbaş hayvanlardan oluşacak potansiyel atık miktarını hesaplamış ve Van ilinin 196,796 ton m³/yıl ile en yüksek biyogaz potansiyeline sahip il olduğunu ifade etmiştir. Bu veriler ve mevcut çalışma

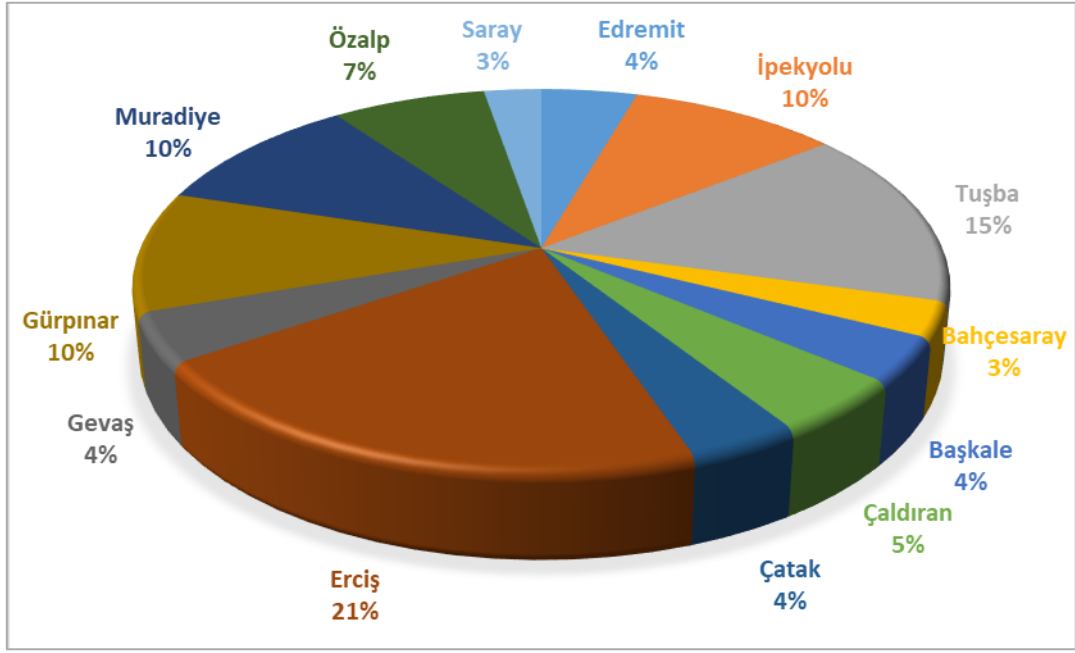
sonuçları göstermektedir ki Van ilindeki hayvancılık faaliyetleri biyogaz üretimi açısından önemli bir fırsat sunmaktadır (Çağlayan, 2020).

İlçeler arasındaki biyogaz potansiyeli farklılıkları, yerel tarım ve hayvancılık politikalarının geliştirilmesi için kritik bir temel oluşturmaktadır. Yüksek biyogaz potansiyeli, enerji üretimi ve sürdürülebilir kalkınma hedefleri açısından ilçe bazında uygulanacak yenilikçi atık yönetimi projeleri için önemli bir kaynak sunmaktadır. Biyogaz potansiyelinin öneminin farkına varılması ve mevcut ciddi potansiyelin ortaya konması adına Doğu Anadolu Bölgesi'ndeki büyükbaş ve küçükbaş hayvan atıkları kullanılarak üretilen biyogaz miktarları üzerine yapılmış örnek çalışmalar Teke ve diğ., 2019; Seyhan ve Badem, 2021; Tırınk, 2022 tarafından gerçekleştirilmiştir. Erzincan ilinde yapılan araştırmada, hayvansal atıklardan yaklaşık 15,5 milyon m³/yıl biyogaz üretilebileceği belirlenmiştir. Çalışma, bölgedeki hayvansal atıkların biyogaz üretimi için önemli bir kaynak olduğunu ortaya koymuştur (Seyhan ve Badem, 2021). Benzer şekilde, Bitlis ilinde yapılan bir araştırmada; büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvan sayıları dikkate alınarak biyogaz potansiyeli hesaplanmış, hayvansal atıklardan elde edilebilecek biyogazın enerji üretimi ve yakıt tasarrufu sağlaması açısından önemli bir potansiyele sahip olduğunu göstermiştir (Demir Yetiş ve diğ., 2019). Tırınk (2022), tarafından yapılan bir diğer çalışmada ise; canlı hayvan sayıları kullanılarak Iğdır ilinin hayvansal atıklarındaki biyogaz potansiyeli 43.952.304,278 m³ olarak hesaplanmış ve bu potansiyelin 78.465 ton CO₂ emisyon salınımının azaltılmasına eşdeğer olduğu ifade edilmiştir (Tırınk, 2022).

Tablo 4. İlçelere göre biyogaz potansiyelleri

İlçeler	Biyogaz Potansiyeli (m ³)
Merkez İlçeler	
Edremit	2.085.956,15
İpekyolu	4.593.411,24
Tuşba	6.997.207,12
Diğer İlçeler	
Bahçeşaray	1.375.107,88
Başkale	5.260.542,62
Çaldıran	2.213.820,67
Çatak	1.796.426,30
Erciş	9.631.794,47
Gevaş	1.952.280,98
Gürpınar	4.734.797,16
Muradiye	4.758.235,17
Özalp	3.355.827,05
Saray	1.249.034,27

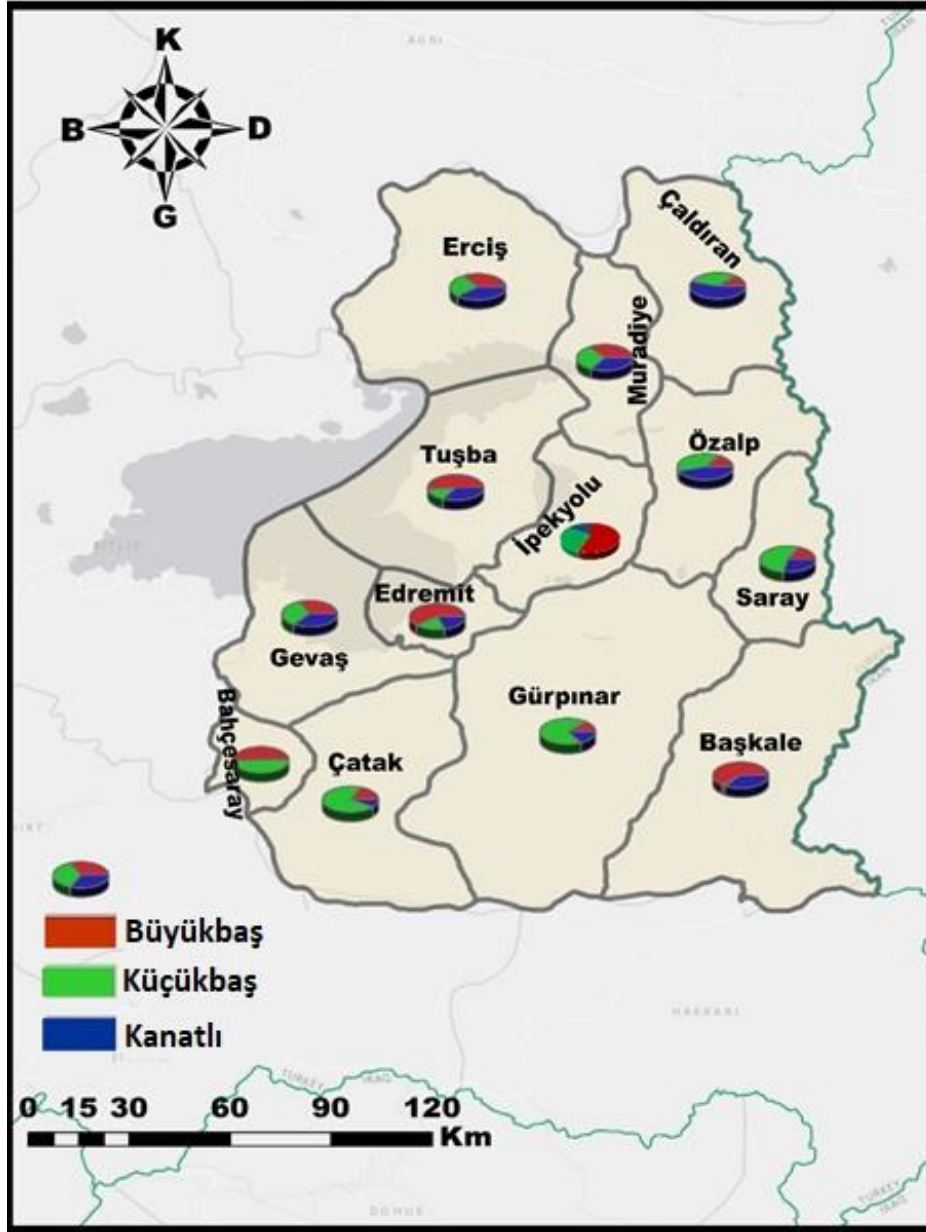
Şekil 6'ya göre Erciş ilçesi, % 21 ile en yüksek biyogaz potansiyeline sahip ilçedir, bu da bölgedeki organik atıkların biyogaz üretimi için yüksek bir potansiyel sunduğunu göstermektedir. Tuşba ilçesi de benzer şekilde % 15 ile biyogaz potansiyeli açısından yüksek bir potansiyele sahiptir. İpekyolu, Gürpınar ve Muradiye ilçeleri ise % 10 ile yüksek biyogaz potansiyeline sahip diğer ilçelerdir ve bu ilçelerde biyogaz üretimi için önemli fırsatlar bulunmaktadır. Öte yandan, Bahçeşaray ve Saray ilçeleri % 3, Çatak ve Başkale ilçeleri ise % 4 değeri ile diğer ilçelere göre daha düşük biyogaz potansiyeli oluşturur.



Şekil 6.

İlçelere göre biyogaz potansiyelleri

Şekil 7’de; Biyogaz potansiyeli üretimi Başkale, Edremit ve İpekyolu ilçelerinde diğer hayvan türlerine göre büyükbaş hayvan atıklarından sağlanmaktadır. Buna karşın Çatak, Gürpınar ve Saray ilçelerinde ise küçükbaş hayvan atıkları biyogaz üretiminde öne çıkmaktadır. Kanatlı hayvan açısından ise Özalp ilçesi dikkat çekmektedir. Bununla birlikte Bahçesaray ilçesinde kanatlı hayvan olmadığı için büyükbaş ve küçükbaş hayvan atıkları değerlendirilmiştir.

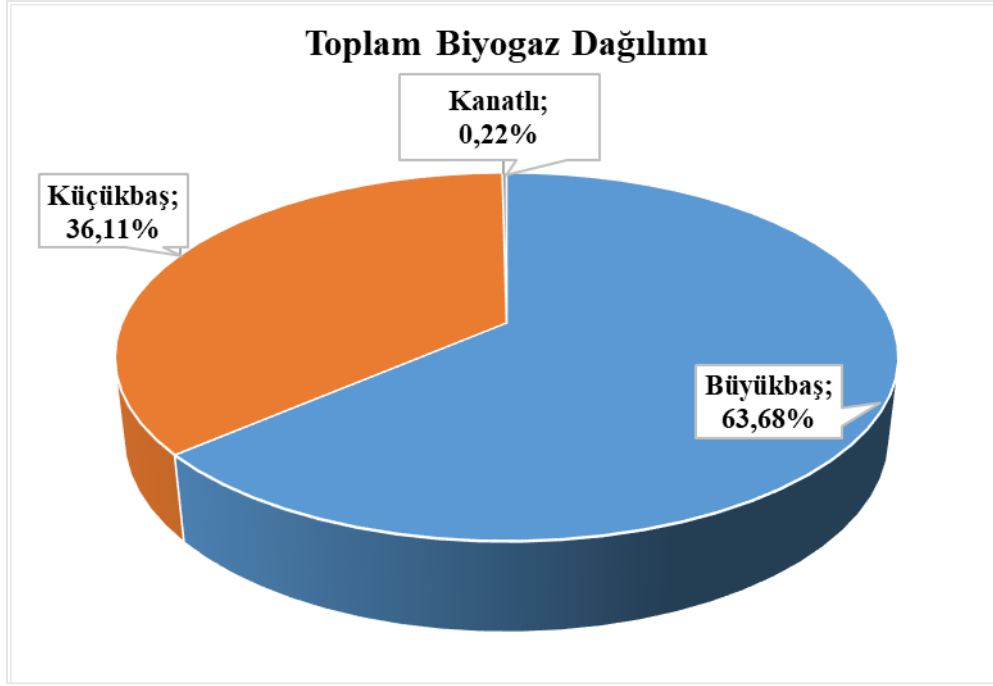


Şekil 7:

İlçelerin biyogaz potansiyellerinin hayvan türüne göre dağılımı

Van ilindeki hayvan türlerine göre biyogaz potansiyelinin dağılımı incelendiğinde, büyükbaş hayvan atıklarının % 63,68 ile en büyük paya sahip olduğu görülmektedir (Şekil 8). Bunu % 36,11 ile küçükbaş hayvan atıkları takip ederken, kanatlı hayvan atıkları % 0,22 gibi düşük bir oranla biyogaz potansiyeline katkı sağlamaktadır. Şirin ve diğ. (2022) Van ilinde yaptıkları çalışmada toplam üretilebilecek yıllık biyogaz potansiyelinin % 62'sinin büyükbaş hayvanlardan, % 36'sının küçükbaş hayvanlardan ve % 2'sinin ise kanatlı hayvanlardan elde edildiğini ortaya koymuş olup, bulgular mevcut çalışma sonuçlarını destekler niteliktedir (Şirin ve diğ., 2022). Bitlis ili için yapılan benzer bir çalışma da bu çalışma sonuçlarıyla paralellik göstermektedir. Araştırmada, büyükbaş hayvan atıklarının biyogaz potansiyeline en yüksek katkısı sağladığı belirlenmiştir. Bu durum, bölgedeki hayvancılık faaliyetlerinin büyük ölçüde büyükbaş ve küçükbaş hayvan yetiştiriciliğine odaklandığını ve bu anlamda büyük bir potansiyel sunduğunu göstermiştir (Demir Yetiş ve diğ., 2019). Yozgat ilinde yapılan bir çalışmada ise 2013-2017 yılları arasındaki hayvansal kaynaklı biyogaz potansiyeli araştırılmış ve bütün yıllarda büyükbaş hayvanlardan elde edilen biyogaz miktarının diğer türlere göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir (Taşova ve Yazarel, 2019). Yapılan çalışmalar ışığında ülkemizde biyogaz üretiminde

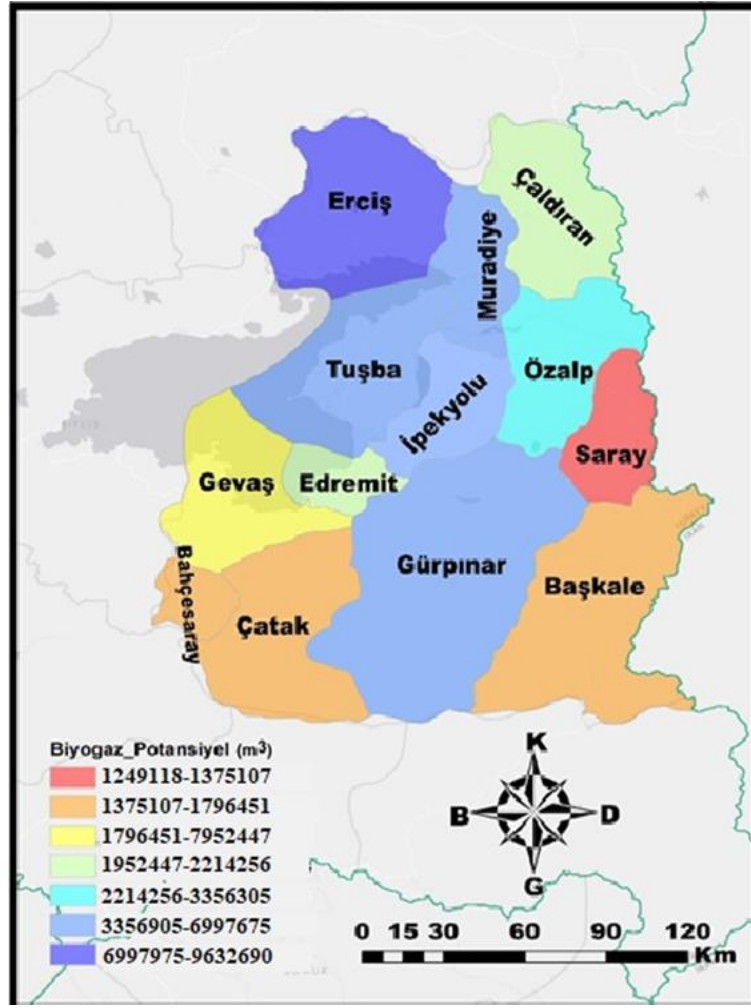
en verimli çıktıyı elde etmek için büyükbaş ve küçükbaş hayvancılığa dayalı projelerin desteklenmesi ve kanatlı hayvancılık kapasitesinin artırılması hedeflenmelidir.



Şekil 8:

Van ilindeki hayvan türüne göre toplam biyogaz dağılımı

Şekil 9’da toplam biyogaz miktarlarına dayalı ilçeler bazındaki dağılım görülmektedir. Dağılım haritasındaki renk skalasından da görüldüğü üzere en yüksek toplam biyogaz potansiyeline sahip Erciş ilçesi mor renkle, en düşük potansiyele sahip olan Saray ilçesi ise kırmızı renkle gösterilmiştir.



Şekil 9:

Van ilindeki toplam potansiyel biyogaz miktarına göre ilçelerdeki dağılım haritası

3.3. Biyogaz Potansiyelinin Diğer Enerji Kaynaklarıyla Karşılaştırılması ve Sürdürülebilir Enerji Yönetimi

Van ili ve ilçelerindeki biyogaz potansiyelinin doğalgaz, elektrik, kömür, gazyağı ve odun gibi enerji kaynaklarıyla karşılaştırılması, biyogazın önemli yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak değerlendirilebileceğini göstermektedir (Tablo 5) (Baran ve diğ., 2017; Demir Yetiş ve diğ., 2019). Toplamda 50.004.441,08 m³ biyogaz üretim potansiyeli ile 59.005.240,47 m³ doğalgaz ve 235.020.873,05 kWh elektrik üretim değerleri hesaplanmıştır. Bu çalışmada hesaplanan değerler kendi arasında kıyaslandığında, biyogazın doğalgaz tüketimini önemli ölçüde azaltabileceği ve yerel enerji ihtiyacına katkıda bulunabileceği görülmektedir. Ayrıca, biyogaz üretimi kömür (73.006.483,97 kg), gazyağı (31.502.797,88 L) ve odun (173.515.410,53 kg) gibi geleneksel enerji kaynaklarının kullanımını da düşürerek çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlayabilir. Özellikle Erciş, Tuşba ve İpekyolu ilçeleri, biyogaz üretim potansiyelleriyle öne çıkarken, bu ilçelerden elde edilecek biyogazın elektrik üretimi ve ısınma ihtiyacında önemli bir alternatif oluşturabileceği düşünülmektedir. Demir Yetiş ve diğ. (2019) Bitlis ilinde yapılan başka bir çalışmada ise oranlar elektrik üretimi için 44,15 milyon kWh, gazyağı için 59,88 milyon L, odun için 37,24 milyon kg, kömür için 27,89 milyon kg ve doğalgaz için 28,38 milyon m³; Seyhan ve diğ (2021) tarafından Erzincan ilinde yapılan çalışmaya göre elektrik üretimi 38.025.864 kWh olarak belirlenmiştir. Biyogazın enerji üretimindeki bu potansiyeli hem karbon ayak izini azaltmada, hem de yerel enerji arz güvenliğini sağlamada kritik bir role sahiptir. Ancak, biyogazın etkin bir şekilde kullanılabilmesi için altyapı yatırımları ve bölgesel politikaların desteklenmesi

gerekmektedir. Bu veriler, Van ilindeki hayvancılık atıklarının enerji üretiminde nasıl bir dönüşüm sağlayabileceğini somut şekilde ortaya koymaktadır.

Tablo 5. Van ilindeki toplam biyogaz değerinin diğer enerji alternatifleri ile eşdeğerlilikleri

İlçeler	Biyogaz (m ³)	Doğalgaz (m ³)	Elektrik (kWh)	Kömür (kg)	Gazyağı (L)	Odun (kg)
Merkez İlçeler						
Edremit	2.085.956,15	2.461.428,26	9.803.993,91	3.045.495,98	1.314.152,38	7.238.267,84
İpekyolu	4.593.411,24	5.420.225,26	21.589.032,81	6.706.380,40	2.893.849,08	15.939.136,99
Tuşba	6.997.207,12	8.256.704,41	32.886.873,49	10.215.922,40	4.408.240,49	24.280.308,72
Diğer İlçeler						
Bahçeşaray	1.375.107,88	1.622.627,30	6.463.007,05	2.007.657,51	866.317,97	4.771.624,35
Başkale	5.260.542,62	6.207.440,29	24.724.550,31	7.680.392,22	3.314.141,85	18.254.082,89
Çaldıran	2.213.820,67	2.612.308,40	10.404.957,17	3.232.178,18	1.394.707,02	7.681.957,74
Çatak	1.796.426,30	2.119.783,03	8.443.203,61	2.622.782,40	1.131.748,57	6.233.599,26
Erciş	9.631.794,47	11.365.517,47	45.269.433,99	14.062.419,92	6.068.030,51	33.422.326,80
Gevaş	1.952.280,98	2.303.691,56	9.175.720,62	2.850.330,23	1.229.937,02	6.774.415,01
Gürpınar	4.734.797,16	5.587.060,64	22.253.546,63	6.912.803,85	2.982.922,21	16.429.746,13
Muradiye	4.758.235,17	5.614.717,50	22.363.705,30	6.947.023,35	2.997.688,16	16.511.076,04
Özalp	3.355.827,05	3.959.875,92	15.772.387,13	4.899.507,49	2.114.171,04	11.644.719,86
Saray	1.249.034,27	1.473.860,44	5.870.461,05	1.823.590,03	786.891,59	4.334.148,91
Toplam	50.004.441,08	59.005.240,47	235.020.873,05	73.006.483,97	31.502.797,88	173.515.410,53

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında Van ili ve ilçelerinin 2023 TÜİK verilerinden elde edilen hayvan sayılarına göre oluşabilecek atık miktarı, kullanılabilir atık miktarı, biyogaz potansiyeli ve yakıt tasarrufu hesapları yapılmıştır. Van ilinin toplam büyükbaş hayvan sayısı 138.867 adet, küçükbaş sayısı 2.710.345 adet ve kanatlı hayvan sayısı ise 43.609 adet olduğu belirlenmiştir. Bu hayvan sayılarına göre biyogaz potansiyelleri; büyükbaş hayvan için 29.608.249,67 m³, küçükbaş hayvanlar için 20.298.534,28 m³ ve kanatlı hayvanları içinde 97.657,12 m³ olarak hesaplanmıştır. Büyükbaş hayvan atıkları % 63,68, küçükbaş hayvan atıkları % 36,11, kanatlı hayvan atıkları ise % 0,22 oranında biyogaz potansiyeline katkı sağlamıştır. Bu durum hayvancılık faaliyetlerinin büyük ölçüde büyükbaş ve sonrasında küçükbaş yetiştiriciliğine odaklandığını göstermektedir. Toplamda 50.004.441,08 m³ biyogaz üretim kapasitesiyle doğalgaz, kömür, elektrik, gazyağı ve odun gibi geleneksel enerji kaynaklarına güçlü bir alternatif sunan biyogaz potansiyeli, enerji ihtiyacının karşılanmasında çevresel sürdürülebilirlik açısından büyük bir fırsat sunmaktadır. Özellikle Erciş, Tuşba ve İpekyolu ilçeleri, yüksek biyogaz potansiyelleriyle öne çıkmakta olup, bu potansiyelin etkin kullanımıyla yerel enerji ihtiyacını karşılamada önemli bir katkı sunacağı düşünülmektedir. Van ili ve ilçelerindeki hayvancılık faaliyetlerinden kaynaklanan atıklardan biyogaz üretimi ve diğer enerji kaynaklarıyla karşılaştırmalı analizi, bölgenin enerji potansiyeli ve sürdürülebilir kalkınma hedefleri için fırsatlar sunmaktadır. Ayrıca, enerji üretiminde karbon ayak izini azaltacak bu tür yenilikçi projelerin, bölgedeki ekonomik ve çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada önemli bir araç olacağı öngörülmektedir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar, bilinen herhangi bir çıkar çatışması veya herhangi bir kurum/kuruluş ya da kişi ile ortak çıkar bulunmadığını onaylamaktadırlar.

YAZAR KATKISI

Leyla GAZİGİL Çalışmanın kavramsal ve tasarım süreçlerinin belirlenmesinde, makale taslağının oluşturulmasında, son onay ve tam sorumlulukta; Recep YETİŞ çalışmanın veri toplama, fiktörel içeriğin eleştirel incelemesi aşaması ve son onay ve tam sorumlulukta; Ayşegül DEMİR YETİŞ çalışmanın kavramsal ve tasarım süreçlerinin belirlenmesinde ve yönetilmesinde, veri analizi ve yorumlamada, son onay ve tam sorumlulukta katkı sağlamıştır.

KAYNAKLAR

1. Abdeslahian, P.L., Jeng S.H., Wai S., Hashim, H. ve Lee, C.T. (2016) Potential of biogas production from farm animal waste in Malaysia, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 714–723. doi: 10.1016/j.rser.2016.01.117
2. Altıkat, S. ve Çelik, A. (2012) Iğdır İlinin Hayvansal Atık Kaynaklı Biyogaz Potansiyeli, *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2(1), 61–66
3. Baran, M.F., Lüle, F. ve Gökdoğan, O. (2017) Adıyaman İlinin Hayvansal Atıklardan Elde Edilebilecek Enerji Potansiyeli, *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 4(3), 245–249
4. Bhattacharjee, S. ve Mohanta, S. (2018) An Inclusive Investigation on Conceivable Performance of Rice Straw Incinerated Electricity Generation, *Journal of the Institution of Engineers (India): Series B*, 99(3), 245–261. doi: 10.1007/s40031-018-0325-9
5. Bilgen, S., Keleş, S., Sarıkaya, İ. ve Kaygusuz, K. (2015) A perspective for potential and technology of bioenergy in Turkey: Present case and future view, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 48, 228–239. doi: 10.1016/j.rser.2015.03.096
6. Burg, V., Bowman, G., Haubensak, M., Baier, U. ve Thees, O. (2018) Valorization of an untapped resource: Energy and greenhouse gas emissions benefits of converting manure to biogas through anaerobic digestion, *Resources, Conservation and Recycling*, 136, 53–62. doi: 10.1016/j.resconrec.2018.04.004
7. Çağlayan, G. H. (2020) Doğu Anadolu Bölgesindeki Büyükbaş ve Küçükbaş Hayvan Atıklarının Biyogaz Potansiyelinin İncelenmesi, *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 7(3), 672–681. doi: 10.30910/turkjans.699879
8. Demir Yetiş, A., Gazigil, L., Yetiş, R. ve Çelikezen, B. (2019) Hayvansal Atık Kaynaklı Biyogaz Potansiyeli: Bitlis Örneği, *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, 7(1), 1–1. doi: 10.21541/apjes.405308
9. Erdil, A. ve Erbiyık, H. (2015) Renewable Energy Sources of Turkey and Assessment of Sustainability, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 207, 669–679. doi: 10.1016/j.sbspro.2015.10.137
10. Eryılmaz, T., Yesilyurt, M.K., Gokdogan, O. ve Yumak, B. (2015) Determination of Biogas Potential from Animal Waste in Turkey: A Case Study for Yozgat Province, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 2(4), 106–111.
11. Gülşen, H. ve Yenigün, İ. (2021) Investigation of origin plant and animal bioenergy capacity for Turkey, *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, 9(2), 339–346.
12. Güray, B.Ş. ve Merdan, E. (2022) *Türkiye Yenilenebilir Enerji Görünümü*, İstanbul/ Türkiye: Sabancı Üniversitesi İstanbul International Center for Energy and Climate.
13. Lisbona, P., Pascual, S. ve Pérez, V. (2023) Waste to energy: Trends and perspectives, *Chemical Engineering Journal Advances*, 14, 100494. doi: 10.1016/j.cej.2023.100494
14. Mehta, A., Mishra, A., Basu, S., Shetti, N.P., Reddy, K.R., Saleh, T.A. ve Aminabhavi, T.M. (2019) Band gap tuning and surface modification of carbon dots for sustainable environmental remediation and photocatalytic hydrogen production – A review, *Journal of Environmental Management*, 250, 109486. doi: 10.1016/j.jenvman.2019.109486
15. Neshat, S.A., Mohammadi, M., Najafpour, G.D. ve Lahijani, P. (2017) Anaerobic co-digestion of animal manures and lignocellulosic residues as a potent approach for sustainable biogas production, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79, 308–322. doi: 10.1016/j.rser.2017.05.137

16. Patowary, D., West, H., Clarke, M. ve Baruah, D.C. (2016) Biogas Production from Surplus Plant Biomass Feedstock: Some Highlights of Indo-UK R&D Initiative, *Procedia Environmental Sciences*, 35, 785–794. doi: 10.1016/j.proenv.2016.07.094
17. Roy B., D., Bhattacharjee, S. ve Rajak, S. (2024) Analysis of an anaerobically digested animal waste-based microturbine driven-biogas energy system, *Renewable Energy*, 234, 121205. doi: 10.1016/j.renene.2024.121205
18. Seyhan K., A. ve Badem, A. (2021) Erzincan ili hayvansal atık kaynaklı biyogaz potansiyelinin değerlendirilmesine yönelik biyogaz tesisi senaryoları, *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(1), 245–256. doi: 10.17714/gumusfenbil.743724
19. Sharma, S., Basu, S., Shetti, N.P. ve Aminabhavi, T.M. (2020) Waste-to-energy nexus for circular economy and environmental protection: Recent trends in hydrogen energy, *Science of the Total Environment*, 713, 136633. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.136633
20. Şirin, Ü., Karaman, S., Erkuş, F.Ş., Tüfenkçi, Ş. ve Tuncay, K. (2022) Van İlinde Hayvan Gübrelerinden Elde Edilecek Biyogaz Enerji Potansiyelinin Belirlenmesi, *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 10(1), 2848–2854. doi: 10.24925/turjaf.v10isp1.2848-2854.5705
21. Taşova, M. ve Yazarel, S. (2019) Yozgat İli Hayvansal Kaynaklı Atıkların Biyogaz ve Enerji Potansiyellerinin Belirlenmesi, *International Journal of Life Sciences and Biotechnology*, 2(1), 16–24. doi: 10.38001/ijlsb.527131
22. Teke, R.B., Demir Yetiş, A.ve Yetiş, R. (2019) Türkiye’ de Hayvansal Atıkların Olasılı Biyogaz Potansiyeli : Muş Örneği, *Uluslararası Katılımlı 72. Türkiye Jeoloji Kurultayı*, 744–748.
23. Tırınk, S. (2022) Hayvansal Atıkların Biyogaz Üretim Potansiyelinin Hesaplanması: Iğdır İli Örneği, *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 12(1), 152–163. doi: 10.21597/jist.1026987
24. TSO (2023) *VAN Ticaret ve Sanayi Odası İlçe Raporu*.
25. TÜİK (2024) Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK).
26. Vlyssides, A., Mai, S. ve Barampouti, E. M. (2015) Energy Generation Potential in Greece From Agricultural Residues and Livestock Manure by Anaerobic Digestion Technology, *Waste and Biomass Valorization*, 6(5), 747–757. doi: 10.1007/s12649-015-9400-5
27. Yenigün, İ., Gülşen, H. ve Yenigün A. (2021) Mardin ilinin hayvansal atık kaynaklı biyogaz potansiyelinin belirlenmesi, *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 12(3), 479–486.