



Doğu Anadolu Bölgesinin Biyokütle Enerji Potansiyelinin İncelenmesi

Abuzer DENİZ^{1*} , Mehmet YILMAZ¹

¹İnönü Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye

Anahtar Kelimeler:

*Biyokütle enerjisi,
Enerji potansiyeli,
Doğu Anadolu
Bölgesi,
Sürdürülebilir
kalkınma,
Yenilenebilir enerji*

Özet

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında önemli bir yer tutan biyokütle enerjisi, özellikle tarım ve hayvancılığa dayalı ekonomik yapıya sahip bölgelerde sürdürülebilir enerji üretimi açısından dikkat çekici bir alternatiftir. Bu çalışmada, Doğu Anadolu Bölgesi'nin biyokütle enerji profilini araştırmak ve biyokütle enerji potansiyelini incelemek amacıyla yapılmıştır. Doğu Anadolu Bölgesi'ni oluşturan Ağrı, Ardahan, Bingöl, Bitlis, Elazığ, Erzincan, Erzurum, Hakkâri, Iğdır, Kars, Malatya, Muş, Tunceli ve Van illerinde hayvansal atıklar, bitkisel atıklar, belediye atıkları ve orman atıkları dikkate alınarak biyokütle üretim potansiyeli incelenmiştir. Bu veriler kullanılarak Doğu Anadolu Bölgesi'nin toplam biyokütle enerji potansiyeli belirlenmiştir. Çalışmada ayrıca, bölgedeki mevcut biyokütle enerji santrallerinin kurulu güçleri incelenmiş, enerji arz güvenliği ve sürdürülebilir kalkınma hedefleri çerçevesinde öneriler sunulmuştur. Sonuçlar, bölgenin biyokütleyle dayalı enerji üretiminde önemli bir potansiyel barındırdığını ve bu potansiyelin etkin şekilde değerlendirilebilmesi için altyapı yatırımları, teşvik mekanizmaları ve planlama çalışmalarının geliştirilmesine ihtiyaç duyulduğunu ortaya koymaktadır.

*e-posta: a.deniz_0244@hotmail.com

Bu makaleye atıf yapmak için:

Abuzer DENİZ, Mehmet YILMAZ, "Doğu Anadolu Bölgesinin Biyokütle Enerji Potansiyelinin İncelenmesi", Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, C. 8, s 2, ss. 98-125

How to cite this article:

Abuzer DENİZ, Mehmet YILMAZ, "Investigation of Biomass Energy Potential of Eastern Anatolia Region", Bayburt University Journal of Science, vol. 8, no 2, pp. 98-125

Investigation of Biomass Energy Potential of Eastern Anatolia Region

Keywords:

*Biomass energy,
Energy potential,
Eastern Anatolia
Region,
Sustainable
development,
Renewable energy*

Abstract

Biomass energy, which holds a significant place among renewable energy sources, is a remarkable alternative for sustainable energy production, particularly in regions with economies based on agriculture and animal husbandry. This study was conducted to investigate the biomass energy profile of the Eastern Anatolia Region and examine its biomass energy potential. The biomass production potential of the provinces of Ağrı, Ardahan, Bingöl, Bitlis, Elazığ, Erzincan, Erzurum, Hakkari, Iğdır, Kars, Malatya, Muş, Tunceli, and Van, which constitute the Eastern Anatolia Region, was examined by considering animal waste, plant waste, municipal waste, and forest waste. Using this data, the total biomass energy potential of the Eastern Anatolia Region was determined. The study also examined the installed capacities of active biomass power plants in the region and presented recommendations within the framework of energy supply security and sustainable development goals. The results demonstrate that the region holds significant potential for biomass-based energy production and that infrastructure investments, incentive mechanisms, and planning efforts are needed to effectively utilize this potential.

1 GİRİŞ

Dünyanın artan enerji talebi, fosil yakıt kaynaklarının sınırlılığı ve bu kaynakların neden olduğu çevresel sorunlar, yenilenebilir enerji kaynaklarının önemini daha da artırmıştır. Sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmak ve iklim değişikliğiyle mücadele etmek için düşük karbonlu, çevre dostu enerji üretim yöntemlerine yönelim kaçınılmaz hale gelmiştir. Bu bağlamda güneş, rüzgâr, hidroelektrik, jeotermal, dalga ve biyokütle enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynakları, geleceğin enerji sistemlerinde önemli bir yer tutmaktadır [1,2].

Biyokütle enerjisi, tarımsal ve ormansal atıklar, hayvansal kalıntılar ile gıda ve sanayi artıklarından elde edilen, yenilenebilir ve sürdürülebilir bir enerji türüdür. Fotosentez süreci sayesinde güneş enerjisini kimyasal enerjiye dönüştüren bitkisel organizmaların oluşturduğu biyokütle, doğadaki döngülerle kendini sürekli yenileyebilmesi nedeniyle enerji üretiminde önemli bir alternatif olarak değerlendirilmektedir [3,4]. Özellikle tarım ve hayvancılığın yoğun olduğu bölgelerde, biyokütle enerjisi hem enerji üretimi hem de atık yönetimi açısından yüksek potansiyele sahiptir.

Türkiye, güneş potansiyeli, tarımsal alan, su kaynakları ve iklim şartları açısından biyokütle enerjisi için bol miktarda kaynak sunabilecek uygun koşullara sahiptir. Özellikle Doğu Anadolu Bölgesi; geniş yüzölçümü, zengin tarım alanları, yaygın hayvancılık faaliyetleri ve yüksek oranda organik atık üretimiyle biyokütle enerjisi için önemli bir potansiyel barındırmaktadır. Ancak bu potansiyelin enerjiye dönüştürülmesinde çeşitli altyapı, yatırım ve teknolojik sınırlılıklar olduğu gözlemlenmektedir [5,6].

Türkiye'nin sahip olduğu biyokütle enerji potansiyelinin ulusal ve bölgesel düzeyde belirlenmesi, değerlendirilmesi ve etkin kullanılabilmesi büyük önem taşımaktadır. Ülkemizde biyokütle enerjisi konusunda kapsamlı çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar ülkemizin biyokütle enerji potansiyelinin belirlenmesi [7-13]; illerin biyokütle enerji potansiyelinin belirlenmesi [14-18]; biyokütle enerji santralleri ve tasarımı başlıkları altında kategorize edilebilir [19-23]. Öte yandan Türkiye'nin tüm illerinin hayvansal atık kaynaklı biyokütle enerji potansiyelini inceleyen çalışmalar da bulunmaktadır. Bu çalışmalarda Doğu Anadolu Bölgesi illerinin hayvansal biyokütle enerji potansiyeline de yer verilmiştir [8,11,23,24].

Doğu Anadolu Bölgesi'nin biyokütle enerji potansiyelini belirlemek amacıyla da çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Bu çalışmaların bazısında Doğu Anadolu Bölgesi'nin tümü için biyokütle enerji potansiyeli incelenmiştir. Bu çalışmalar arasında Koçer ve Ünlü [25], Çağlayan [26], Pence ve arkadaşları [27] tarafından yapılan çalışmalar sayılabilir. Öte yandan bazı çalışmalar Doğu Anadolu bölgesinin sadece tek ilinin biyokütle enerji potansiyelini araştırmışlardır. Ağrı ili için Erhan [28], Kılıç ve Topaç [29]; Ardahan ili için Boylam [30], SERKA [31] Özer [32]; Bingöl ili için Demir ve Çulun [33], Işık ve Yavuz [34]; Bitlis ili için Yetiş ve arkadaşları [35]; Elazığ ili için Akbulut ve Dikici [14], Topal ve Topal [18], FKA [36]; Erzincan ili için Badem [37], Seyhan ve Badem [38]; Erzurum ili için Kobya [39], Yapraklı ve Bayramoğlu [40]; Iğdır ili için Altıkat ve Çelik [15], Tırınk [41], Kuş ve arkadaşları [42], Coşkun ve arkadaşları [43]; Kars ili için Demir [44], Matur ve Atasayın [45]; Malatya ili için

Kurt ve Koçer [46], Koçer ve Kurt [47]; Muş ili için Çağlayan ve Koçer [16], Arslan [48]; Van ili için Şirin ve arkadaşları [49], Gazigil ve arkadaşları [50] tarafından yapılan çalışmalar örnek olarak verilebilir. Bu çalışmalara aşağıda Doğu Anadolu Bölgesi'nin ve illerinin biyokütle enerji potansiyelini inceleyen bölümlerinde ayrıntılı olarak yer verilmiştir.

Bu çalışma, Doğu Anadolu Bölgesi'nin coğrafi ve demografik özelliklerini inceleyerek, bölgenin biyokütle enerji potansiyelini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Doğu Anadolu Bölgesi'ni oluşturan Ağrı, Ardahan, Bingöl, Bitlis, Elazığ, Erzincan, Erzurum, Hakkâri, Iğdır, Kars, Malatya, Muş, Tunceli ve Van illerinin biyokütle enerji profilleri detaylı olarak araştırılmıştır. Bu illerin hayvansal atıklar, bitkisel atıklar, belediye atıkları ve orman atıkları göz önüne alınarak biyogaz üretim potansiyelleri incelenmiştir. Çalışmada ayrıca, bölgedeki mevcut biyokütle enerji santrallerinin kurulu güçleri incelenmiş, enerji arz güvenliği ve sürdürülebilir kalkınma hedefleri çerçevesinde öneriler sunulmuştur.

2 BİYOKÜTLE ENERJİSİ

Biyokütle enerjisi, organik kökenli materyallerin enerji üretiminde kullanılmasıyla elde edilen yenilenebilir bir enerji türüdür. Bu materyaller arasında tarımsal atıklar, orman ürünleri, hayvansal atıklar ve evsel organik atıklar yer almaktadır. Biyokütle, güneş enerjisinin fotosentez yoluyla bitkilerde kimyasal enerjiye dönüştürülmesi sonucu oluşur ve bu enerji, doğrudan veya dolaylı olarak elektrik, ısı ve yakıt üretiminde kullanılabilir [51].

Biyokütle kaynakları genel olarak Tablo 1'de verildiği gibi sınıflandırılabilir. Bu kaynakların enerji içeriği ve çevresel etkileri farklılık göstermektedir. Örneğin lignoselülozik biyokütle türleri yüksek enerji yoğunluğu sunarken, hayvansal atıklar biyogaz üretimi için uygun olmaktadır [52].

Tablo 1. Biyokütle kaynaklarının sınıflandırılması [52]

Kategoriler	Kaynak
Odunsu Biyokütle	Orman atıkları, endüstriyel odun artıkları
Tarım Kaynaklı Biyokütle	Sap, saman, patates, mısır koçanı, pirinç kabuğu, zeytin atığı, bahçe atıkları
Hayvansal Atıklar	Hayvansal atık gübreleri (sığır, tavuk, domuz gübresi), lağım çamuru
Organik Kentsel Atıklar	Evsel mutfak atıkları, organik çöp fraksiyonları
Enerji Bitkileri	Odun ve otlar, şeker kamışı, mısır ve sorgum, bitkisel yağlar

Biyokütle enerjisinin dönüşüm süreçleri iki ana gruba ayrılır: termokimyasal ve biyokimyasal yöntemler. Tablo 2 biyokütle enerjisinin dönüşüm süreçlerini özetlemektedir. Bu yöntemlerin seçimi, biyokütle türüne, teknolojiye ve ekonomik fizibiliteye göre değişmektedir [53].

Tablo 2. Biyokütle enerjisinin dönüşüm süreçleri [53]

Dönüşüm Tipi	Süreç Adı	Tanımı
Termokimyasal Dönüşüm	Yanma	Doğrudan yakma yoluyla ısı ve elektrik üretimi
	Piroliz	Oksijensiz ortamda ısıtarak sıvı, gaz ve katı ürünler elde edilmesi
	Gazifikasyon	Yüksek sıcaklıkta kısmi oksijenle biyokütleden sentez gazı (syngas) üretimi
Biyokimyasal Dönüşüm	Anaerobik sindirim	Organik atıklardan metan gazı (biyogaz) üretimi
	Fermentasyon	Şekerli biyokütleden etanol gibi biyoyakıtların üretimi

Biyokütle enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları arasında önemli bir yer tutmaktadır. Kömür ve petrol gibi fosil yakıtlar tükendiğinde, bunların yerini yenileriyle doldurmak imkânsızdır. Buna karşılık, biyokütle dönüşümünde kullanılan organik maddeler sürekli olarak yetiştirilip hasat edilebilir ve bu da daha uygulanabilir uzun vadeli enerji olanakları sunar. Biyokütle enerjisi karbon nötr olarak kabul edilmektedir, çünkü bitkilerin büyürken emdiği CO₂ ile yakıldığında açığa çıkan CO₂ genellikle dengelidir. Biyokütle malzemelerinin yetiştirilmesi ve hasadından, biyokütle enerji santrallerinin işletilmesi ve bakımından, yeni biyokütle ile ilgili teknolojilerin ve araştırma girişimlerinin geliştirilmesine kadar, tedarik zincirinin çeşitli aşamalarında istihdam oluşturma potansiyeli çeşitlilik göstermektedir. Ayrıca kırsal kalkınmaya katkıda bulunur ve atık yönetiminde önemli bir rol oynar [54]. Ancak, sürdürülebilir olmayan biyokütle kullanımı ormansızlaşmaya yol açabilir ve gıda üretimi ile rekabete neden

olabilir [55]. Biyokütlenin yakılarak dönüştürülmesi, karbon monoksit ve azot oksitlerin salınmasına neden olarak hava kirliliğine yol açar [56]. Biyokütle enerjisinin avantajları ve dezavantajları Tablo 3'te özetlenmiştir.

Tablo 3. Biyokütle enerjisinin avantajları ve dezavantajları [54-56]

Avantajlar	Dezavantajlar
Yenilenebilir enerji kaynağı	Arazi kullanımı ve ormansızlaşma
Karbon nötr döngüsü	Gıda üretimiyle rekabet
Atıkları azaltımı ve değerlendirilmesi	Hava kirliliği
İstihdam oluşturma	Ulaşım ve lojistik baskısı
Depolama kolaylığı	
Güvenilir kaynak	

3 TÜRKİYE’NİN BİYOKÜTLE ENERJİ POTANSİYELİ

Türkiye, sahip olduğu geniş tarım alanları, hayvancılık faaliyetleri, orman varlığı ve hızla artan kentsel organik atık miktarı sayesinde önemli bir biyokütle enerji potansiyeline sahiptir. Ülke genelinde değerlendirilebilecek başlıca biyokütle kaynakları arasında tarımsal atıklar, hayvansal gübre, orman atıkları, enerji bitkileri ve evsel organik atıklar yer almaktadır [6]. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) tarafından hazırlanan Biyokütle Enerji Potansiyel Atlası (BEPA) verilerine göre ülkemizde toplanabileceği öngörülen biyokütle atıkları ve atıklarının toplam ekonomik enerji eşdeğeri yaklaşık 3.9 MTEP/yıl’dır [57].

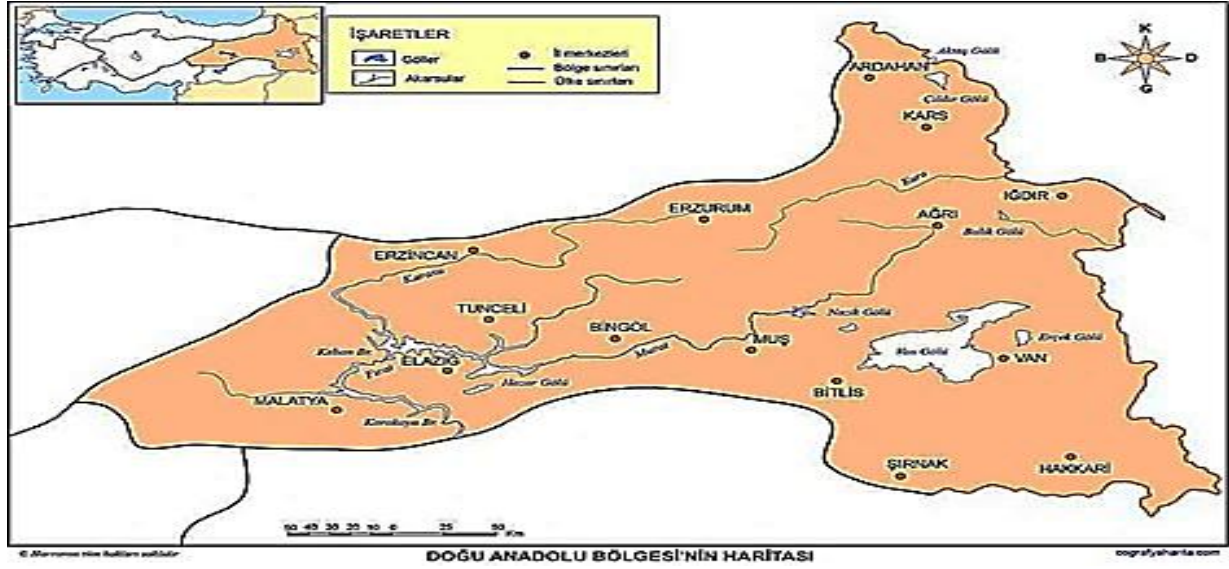
Türkiye’de biyoenerjinin kullanılması amaçlanarak 1931 yılında toplanan Birinci Tarım Kongresi’nde tarım makineleri için gerekli yakıtların ithalat yerine yerli kaynaklarla üretilmesi görüşülmüştür. Türkiye’de biyoyakıtlar ile ilgili ilk resmi belge 1934 yılında imzalanmıştır. Biyoenerji kaynaklarından biri olan biyogaz üretimi 1950’li yıllarda Toprak ve Su Araştırma Enstitüsü tarafından başlatılmıştır. 1960’lı yıllarda Devlet Üretme Çiftlikleri bünyesinde pilot tesisler kurulmuş, Tarım Bakanlığı’na bağlı Eskişehir Toprak Su Araştırma Enstitüsü bünyesinde ise sekiz adet biyogaz tesisi kurulmuştur. Ancak teknik personel yetersizliği ve çiftçilerin yeterli eğitilmemesi nedeniyle çalışmalar sona ermiştir. Özellikle 1980’li yılların başında yaşanan petrol kriziyle birlikte biyogaz ünitelerinin kurulması yönündeki çalışmalar artmıştır. Türkiye’de biyogaz üretimine yönelik çalışmalar 1980’den sonra hız kazanmış ve Muş İli’nde 35 m³/lük bir tesisin kurulmasıyla başlayan çalışmalar, devlet desteğiyle yaklaşık 1000 tesisin kurulmasına kadar genişlemiştir. Türkiye’de bu alandaki çalışmalar 2000 yılından sonra artarak devam etmiştir. 2023 yılı sonu itibarıyla Türkiye’de toplam 212 biyoenerji tesisi bulunmakta olup, bunlardan 199’u biyoenerjiden elektrik enerjisi üretmekte, sekizi biyodizel üretmekte ve beşi de biyoetanol üretmektedir [58,59].

4 MALZEME VE YÖNTEM

4.1 Doğu Anadolu Bölgesi

Doğu Anadolu Bölgesi, Türkiye’nin yedi coğrafi bölgesinden biri olup, ülkenin doğu kesiminde yer almaktadır (Şekil 1). Bölge, 36°43’–40°21’ kuzey enlemleri ile 37°43’–45°00’ doğu boylamları arasında konumlanmıştır. Yaklaşık 165.436 km² alanıyla Türkiye topraklarının %21’ini kaplayan bölge; kuzeyde Doğu Karadeniz, batıda Karadeniz ve İç Anadolu, güneyde Güneydoğu Anadolu ve doğuda İran, Nahçıvan ve Ermenistan ile sınır komşusudur [60]. Bu konumu, bölgeye hem stratejik hem de kültürel bir çeşitlilik kazandırmaktadır. Türkiye’nin en yüksek rakımlı ve engebeli arazi yapısına sahip bölgesi olan Doğu Anadolu, sert karasal iklimin etkisi altındadır.

Doğu Anadolu Bölgesi; Ağrı, Ardahan, Bingöl, Bitlis, Elazığ, Erzincan, Erzurum, Hakkâri, Iğdır, Kars, Malatya, Muş, Tunceli ve Van olmak üzere 14 ilden oluşmaktadır. 2023 yılı itibarıyla Doğu Anadolu’nun toplam nüfusu yaklaşık 6,1 milyon kişi olup, bu değer Türkiye genel nüfusunun yaklaşık %7,1’ine karşılık gelmektedir. Ancak bölge, yüzölçümüne kıyasla en düşük nüfus yoğunluğuna (yaklaşık 37 kişi/km²) sahip olup, nüfus daha çok tarım ve hayvancılıkla geçinen kırsal alanlarda yoğunlaşmıştır [61]. Tablo 4 Doğu Anadolu Bölgesi illerinin coğrafik ve demografik bilgilerini özetlemektedir.



Şekil 1. Doğu Anadolu Bölgesi

Tablo 4. Doğu Anadolu Bölgesi illeri coğrafik ve demografik bilgiler [60,63]

İller	Yüzölçümü (km ²)	Rakım (m)	Nüfus	İlçeler
Ağrı	11.099	1.640	499.801	Diyadin, Doğubayazıt, Eleşkirt, Hamur, Merkez, Patnos, Taşlıçay, Tutak
Ardahan	4.934	1.810	91.354	Çıldır, Damal, Göle, Hanak, Merkez, Posof
Bingöl	8.004	1.151	283.276	Adaklı, Genç, Karlıova, Kiğı, Merkez, Solhan, Yayladere, Yedisu
Bitlis	8.294	1.605	359.808	Adilcevaz, Ahlat, Güroymak, Hizan, Merkez, Mutki, Tatvan
Elazığ	9.383	1.070	603.941	Ağın, Alacakaya, Arıcak, Baskil, Karakoçan, Keban
Erzincan	11.815	1.216	241.239	Kovancılar, Maden, Merkez, Palu, Sivrice
Erzurum	25.005	1.959	745.005	Çayırılı, İliç, Kemah, Kemaliye, Merkez, Otlukbeli, Refahiye, Tercan, Üzümlü
Hakkâri	7.095	1.720	282.191	Aşkale, Aziziye, Çat, Hınıs, Horasan, İspir, Karaçoban, Karayazı, Köprüköy, Narman, Oltu, Olur, Palandöken, Pasinler, Pazaryolu, Şenkaya, Tekman, Tortum, Uzundere, Yakutiye
Iğdır	3.664	850	206.857	Çukurca, Derecik, Merkez, Şemdinli, Yüksekova
Kars	10.193	1.756	272.300	Aralık, Merkez, Karakoyunlu, Tuzluca
Malatya	12.259	954	750.491	Akyaka, Arpaçay, Digor, Kağızman, Merkez, Sarıkamış, Selim, Susuz
Muş	8.650	1.250	392.301	Akçadağ, Arapgir, Arguvan, Battalgazi, Darende, Doğanşehir, Doğanyol, Hekimhan, Kale, Kuluncak, Pütürge, Yazıhan, Yeşilyurt
Tunceli	7.583	922	86.612	Bulanık, Hasköy, Korkut, Malazgirt, Merkez, Varto
Van	20.921	1.725	1.118.087	Çemişgezek, Hozat, Mazgirt, Merkez, Nazımiye, Ovacık, Pertek, Pülümür
				Bahçesaray, Başkale, Çaldıran, Çatak, Edremit, Erciş, Gevaş, Gürpınar, İpekyolu, Muradiye, Özalp, Saray, Tuşba

4.2 Araştırma yöntemi

Bu çalışmadaki biyokütle enerji potansiyeline ilişkin veriler çoğunlukla Biyokütle Enerjisi Potansiyel Atlası (BEPA) verilerine, enerji santrallerine ilişkin veriler çoğunlukla Enerji Ajansı ve BEPA verilerine dayanmaktadır. Tarım (tarımsal üretim alanları, bitkisel üretim çeşitleri) ve hayvancılık verileri (hayvan türleri ve sayıları) Tarım ve Orman Bakanlığı ile Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) kaynaklarından alınmıştır. Coğrafik ve demografik bilgiler için TÜİK ile Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) verileri temel alınmıştır.

Bu nitelikteki bir makalenin sınırlamaları vardır. Her ne kadar temel veriler ve diğer birincil bilgiler, T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) ve Biyokütle Enerjisi Potansiyel Atlası (BEPA) verilerinden elde edilmiş olsa da, bu çalışma için toplanan diğer tüm bilgiler ve kanıtlar ikincil verilere ve bir literatür taramasına dayanmaktadır. Bu araştırmayla ilgili diğer bilgiler açık kaynaklardan ve diğer ilgili makalelerden elde edilmiştir. Sunulan bilgiler ilgili kaynaklardaki o yıl için verilen bilgilere dayanmaktadır; veriler sürekli güncellenme durumundadır.

4.3 Biyokütle potansiyel tanımları

Biyokütlenin bulunabilirliği, genellikle en yüksekten en az büyüklüğe doğru potansiyeller hiyerarşisi şeklinde tanımlanabilir [62]: teorik potansiyel, teknik potansiyel, ekonomik potansiyel, gerçekçi potansiyel

Teorik potansiyel veya nihai potansiyel, temel, fiziksel ve biyolojik engellerle sınırlı olmak üzere, yıllık olarak üretilebilecek veya yetiştirilebilecek biyokütle miktarını tanımlar. Örneğin iklim değişikliği nedeniyle koşullar değişirse, teorik potansiyeller de değişir. Bu biyokütle kategorisi, biyokütle üretimini küresel toplam birincil üretimle karşılaştırmak dışında, biyokütle üretimini analiz etmek için uygun değildir.

Teknik potansiyel veya coğrafi potansiyel, teorik potansiyelden elde edilen tüm verileri ve ayrıca ekolojik kısıtlamaları, arazi alanı kısıtlamalarını, tarımsal-teknolojik kısıtlamaları ve topografik sorunları da dikkate alan bir tanım ifade eder. Düşünülebilecek bir diğer tanım ise, gıda, konut vb. için arazi talebiyle sınırlı olmayan teorik potansiyelin oranıdır.

Ekonomik potansiyel, piyasadaki rakiplerin fiyat esnekliğini dikkate alarak belirli bir fiyat seviyesine kadar mevcut olan tüm biyokütleyi ifade eder. Örneğin, belirli bir fiyattaki potansiyel, arz ve talep eğrilerinin kesiştiği nokta tarafından belirlenir. Ekonomik koşullar zaman içinde önemli ölçüde değişebileceğinden bu oldukça değişkendir. Dahası, birçok biyokütle hammadde için piyasalar mevcut olmayabilir veya kusurlu olabilir.

Gerçekçi veya uygulama potansiyelleri, olumsuz sosyal, çevresel veya ekonomik etkilere yol açmadan ve teknoloji ve pazar geliştirme konularına saygı göstererek elde edilebilen tüm biyokütle. Biyokütle artıklarının enerji kullanımının gerçekçi maksimum oranlarını yansıtan geri kazanılabilirlik oranı veya erişilebilirlik faktörü çarpanları kullanılarak tahmin edilebilir. Herhangi bir durumda kullanılacak en uygun çarpanın hangisi olduğuna karar vermek genellikle uzman görüşüne bağlıdır.

5 DOĞU ANADOLU BÖLGESİ İLLERİNİN BİYOKÜTLE ENERJİ POTANSİYELİ

5.1 Ağrı ili biyokütle enerji potansiyeli

Ağrı, Türkiye'nin Doğu Anadolu Bölgesi'nde, 39°30'-40°30' kuzey enlemleri ile 42°25'-44°30' doğu boylamları arasında yer almaktadır. İlin yüzölçümü 11.099 km² olup bu alan, Türkiye topraklarının yaklaşık %1,4'ünü ve Doğu Anadolu Bölgesi'nin yaklaşık %7,1'ini oluşturmaktadır [60,61].

Tarım ve hayvancılık Ağrı ilin ekonomisinde önemli bir yere sahiptir. Ağrı ilinde 353 bin 544 dekar tarım alanı, 547 bin 731 hektar mera alanı, 524 bin 710 dekar nadas alanı ve 5 bin 320 hektar orman alanı bulunmaktadır. İlde tarımsal üretimde özellikle şeker pancarı, buğday, arpa ve yonca (yeşil ot) öne çıkmaktadır. Geniş yayla, mera ve çayır alanlarının bulunması nedeniyle il hayvancılık yetiştiriciliğine uygundur. 2023 yılı verilerine göre ilde yaklaşık 321.050 büyükbaş, 1.376.790 küçükbaş hayvan ve 234.476 kanatlı hayvan bulunmaktadır [63].

Ağrı ili özelinde gerçekleştirilen bir çalışmada [28], bölgedeki büyükbaş hayvan varlığı temel alınarak hayvansal atıklardan elde edilebilecek biyogaz ve bu biyogazın elektrik üretimine katkısı incelenmiştir. Yapılan hesaplamalar sadece büyükbaş hayvansal atıklarından elde edilen elektrik enerjisinin Ağrı ili yıllık elektrik gereksiniminin % 69'unu karşılayacağını ortaya çıkarmıştır. Ağrı ili ve ile bağlı olan 7 ilçede hayvan sayısının biyogaz ve elektrik dönüşüm tesislerine yeterli olduğu belirtilmiş, il ve tüm ilçelerde biyogaz ve elektrik dönüşüm tesislerinin kurulması önerilmiştir. Kılıç ve Topaç [29] tarafından yapılan çalışmada, 2024 yılına ait Türkiye İstatistik Kurumu ve Tarım ve Orman Bakanlığı verileri kullanılarak Ağrı ilinde hayvansal atıklardan elde edilebilecek biyogaz üretim potansiyeli belirlenmiştir. İlde günlük yaklaşık 245.091 Nm³ biyogaz ve 1.470.546 kWh enerji üretim potansiyeli bulunduğu hesaplanmıştır. Tablo 5'te BEPA verilerine göre Ağrı ilinin biyokütle enerji potansiyeli verilmiştir.

Tablo 5. Ağrı ili biyokütle enerji potansiyeli [57]

Bileşenler	Veriler
“Hayvan Sayısı” (adet)	1.923.497
“Hayvansal Atık Miktarı” (ton/yıl)	3.913.213,30
“Hayvansal Atıkların Teorik Enerji Eşdeğeri” (TEP/yıl)	21.362,9
“Hayvansal Atıkların Ekonomik Enerji Eşdeğeri” (TEP/yıl)	5.211,2
“Bitkisel Üretim Miktarı” (ton/yıl)	1.105.378
“Bitkisel Atık Miktarı” (ton/yıl)	228.216,90
“Bitkisel Atıkların Teorik Enerji Eşdeğeri” (TEP/yıl)	97.264,10
“Bitkisel Atıkların Ekonomik Enerji Eşdeğeri” (TEP/yıl)	4.901,2
“Belediye Atıkları Miktarı” (ton/yıl)	157.580,10
“Belediye Atıkların Teorik Enerji Eşdeğerleri” (TEP/yıl)	14.422,8
“Belediye Atıkların Ekonomik Enerji Eşdeğerleri” (TEP/yıl)	2.095,7
“Orman Varlığı Artıkları” (ster / yıl)	35.882
“Orman Varlığı Artıklarının Enerji Eşdeğeri” (TEP / yıl)	8.131
“Atıkların Toplam Teorik Enerji Eşdeğeri (TEP/yıl)”	141.180,7

5.2 Ardahan ili biyokütle enerji potansiyeli

Ardahan, Türkiye’nin Doğu Anadolu Bölgesi’nin kuzeydoğusunda, 41°07’–41°36’ kuzey enlemleri ile 42°42’–43°29’ doğu boylamları arasında yer almaktadır. İlin yüzölçümü 4.934 km² olup bu alan, Türkiye topraklarının yaklaşık %0,63’ünü ve Doğu Anadolu Bölgesi’nin yaklaşık %3’ünü oluşturmaktadır [64]. Ardahan aynı zamanda Kafkasya’ya açılan önemli bir sınır kapısı olan Posof Türkçözü Sınır Kapısı’na da ev sahipliği yapmakta ve bu yönüyle stratejik ve ekonomik potansiyel taşımaktadır.

Ardahan ilinde 725 bin 64 dekar tarım alanı, 2 milyon 458 bin 230 dekar mera alanı, 1617 dekar nadas alanı ve 307 bin 570 dekar orman alanı bulunmaktadır. İlde tarımsal üretimde buğday, arpa ve çavdar ön plana çıkmaktadır. Büyükbaş ve küçükbaş hayvancılık için uygun (207.714 ha) çayır mera arazilerine sahip olduğundan Ardahan ilinde büyükbaş ve küçükbaş hayvancılık yaygın olarak yapılmaktadır. İlin mera varlığının toplam alanın %59’unu teşkil etmesi mera büyükbaş hayvancılığını yaygın hale getirmiştir. İl, mevcut mera ve otlak potansiyeli açısından büyükbaşta olduğu gibi küçükbaş üretiminde de kaynak yeterliliğine sahip bulunmaktadır. 2023 verilerine göre ilde yaklaşık 305.000 büyükbaş hayvan, 160.700 küçükbaş hayvan, 133.000 kaz ve 143.700 tavuk bulunmaktadır [63]. Bu hayvanlardan elde edilen gübreler, biyogaz üretimi için önemli bir kaynaktır.

Ardahan’da yerel biyogaz tesisi kurulabilirliği üzerine ön fizibilite raporları hazırlanmıştır [30]. Ardahan ili hayvansal atıklarının toplamından yaklaşık olarak yılda 58 milyon metreküp metan gazının potansiyel olarak elde edilebileceği, bu metan gazı enerjiye dönüştürüldüğünde yılda yaklaşık 234 milyon kWh elektrik enerjisi elde edilebileceği; böyle bir tesisin kurulu gücünün ise tüm Ardahan geneli için yaklaşık 26,71 MW olacağı belirlenmiştir. Ardahan il sınırları dahilinde yaklaşık 9,36 MW kurulu güç potansiyeli ile Ardahan Merkez ilçesinin öne çıktığı; merkez ilçeyi 6,96 MW ile Göle, 3,87 MW ile Çıldır, 3,50 MW ile Hanak, 1,55 MW ile Posof ve 1,49 MW ile Damal ilçelerinin takip ettiği tespit edilmiştir. Serhat Kalkınma Ajansı (SERKA) tarafından hazırlanan ön fizibilite raporunda öngörülen tesiste yıllık 110.000 ton ve günlük 301,4 ton ve üzeri hayvansal atığın biyogaza dönüştürülmesi planlanmıştır. Özellikle Ardahan gibi hayvancılığın yoğun olduğu bölgelerde biyogaz tesislerinin, sera gazı salınımını azaltıcı ve döngüsel ekonomiyi destekleyici rol oynayabileceği vurgulanmıştır [31]. Özer [32] Ardahan’da hayvansal gübre ve tarımsal atıklardan elde edilebilecek biyogaz enerjisi potansiyelini ve buna bağlı CO₂ emisyon azaltımını incelemiştir. Hesaplamalar, 2015 yılı hayvansal gübre ve tarımsal ürün miktarlarının analizine göre, biyokimyasal metan potansiyeli (BMP), kullanılabilirlik faktörleri, gübrenin uçuşu katı oranı, hasat alanı ve tahılların birim metan potansiyeli dikkate alınarak yapılmıştır. Biyokütle kaynaklarının toplam elektrik üretim potansiyelinin 323 GWh/yıl olduğu belirlenmiştir. Kömür yakıtlı termik santraller yerine biyogaz yakıtlı termik santraller kullanılması durumunda toplam 2 milyon ton/yıl değerinde CO₂ emisyon azaltımı sağlanacağı tespit edilmiştir. Tablo 6 BEPA verilerine göre Ardahan ilinin biyokütle enerji potansiyelini vermektedir.

Tablo 6. Ardahan ili biyokütle enerji potansiyeli [57]

Bileşenler	Veriler
“Hayvan Sayısı” (adet)	590.277
“Hayvansal Atık Miktarı” (ton/yıl)	2.149.576,60
“Hayvansal Atıkların Teorik Enerji Eşdeğeri” (TEP/yıl)	16.130,7
“Hayvansal Atıkların Ekonomik Enerji Eşdeğeri” (TEP/yıl)	4.382,5
“Bitkisel Üretim Miktarı” (ton/yıl)	63.024
“Bitkisel Atık Miktarı” (ton/yıl)	39.727,40
“Bitkisel Atıkların Teorik Enerji Eşdeğeri” (TEP/yıl)	16.726,10
“Bitkisel Atıkların Ekonomik Enerji Eşdeğeri” (TEP/yıl)	1.819,7
“Belediye Atıkları Miktarı” (ton/yıl)	28.881
“Belediye Atıkların Teorik Enerji Eşdeğerleri” (TEP/yıl)	2.643,3
“Belediye Atıkların Ekonomik Enerji Eşdeğerleri” (TEP/yıl)	384,2
“Orman Varlığı Artıkları” (ster / yıl)	35.822
“Orman Varlığı Artıklarının Enerji Eşdeğeri” (TEP / yıl)	8.131
“Atıkların Toplam Teorik Enerji Eşdeğeri (TEP/yıl)”	43.631,1

5.3 Bingöl ili biyokütle enerji potansiyeli

Bingöl, Türkiye’nin Doğu Anadolu Bölgesi’nin Yukarı Fırat Bölümü’nde yer almakta olup, yaklaşık olarak 38°27’-40°27’ kuzey enlemleri ile 40°21’-41°50’ doğu boylamları arasında konumlanmaktadır. İlin yüzölçümü 8.125 km²’dir. Bu alan, Türkiye yüzölçümünün yaklaşık %1,06’sını, Doğu Anadolu Bölgesi’nin ise yaklaşık %5,0’ını oluşturmaktadır [60,61].

İlin ekonomisi büyük oranda tarım ve hayvancılığa dayanmaktadır. Bölge, zengin orman varlığı ve doğal yapısı ile kırsal kalkınma açısından da stratejik potansiyele sahiptir. Bingöl ilinde 294 bin 93 dekar tarım alanı, 3 milyon 137 bin 710 dekar mera alanı, 57 bin 935 dekar nadas alanı ve 2 milyon 649 bin 340 dekar orman alanı bulunmaktadır. İlde tarımsal üretimde özellikle buğday, arpa ve yem bitkileri öne çıkmaktadır. Geniş otlak ve meraları, iklim koşulları ve doğal kaynakları sayesinde Bingöl, büyükbaş ve küçükbaş hayvancılık açısından önemli bir merkezdir. İlin geniş mera alanına sahip olması (toplam yüzölçümünün %42’si) özellikle küçükbaş hayvancılık açısından önemli bir potansiyel oluşturmaktadır. Tarım ve Orman Bakanlığı verilerine göre Bingöl’de yaklaşık 265.000 büyükbaş ve 680.000 küçükbaş hayvan bulunmaktadır [63]. Ayrıca, kanatlı hayvan yetiştiriciliği de son yıllarda artış göstermiştir. Bu hayvansal varlık, biyogaz üretimi için önemli miktarda organik atık potansiyeli oluşturmaktadır.

Bingöl ili özelinde yapılan çalışmalar, bölgenin hayvansal atık potansiyelinin biyogaz enerjisi üretimi açısından ciddi bir fırsat sunduğunu göstermektedir. Demir ve Çulun [33], 2002–2020 dönemindeki hayvancılık verilerini temel alarak yıllık ortalama 741.452 ton hayvansal atık potansiyelinden 34,2 milyon m³ biyogaz üretilebileceğini; bu miktarın yaklaşık 161 GWh/yıl elektrik enerjisine karşılık geldiğini hesaplamıştır. 2020 yılı verileri için yapılmış hesaplamada, biyogaz santral gücü 25,6 MW olarak belirlenmiş ve il içi enerji tüketiminin %73,8’inin biyogazla karşılanabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Biyogaz enerjisinin ilçelere göre dağılımına bakıldığında Karlıova ilçesinin % 31’lik pay ile önemli bir rol oynadığı anlaşılmıştır. Diğer yandan, Işık ve Yavuz [34] tarafından yürütülen çalışmada, 2015–2020 yıllarındaki hayvansal atık verilerine dayanarak Bingöl ilinde en yüksek biyogaz üretim potansiyeline sahip ilçelerin 12,6 milyon m³ ile Merkez ilçe, 11,2 milyon m³ ile Karlıova ilçesi, 5,6 milyon m³ ile Solhan ilçesi; en düşük biyogaz üretim potansiyeline sahip ilçesinin ise 263 bin m³ ile Yayladere ilçesi olduğu belirlenmiştir. 2020 yılı içerisinde Bingöl ilindeki 865.202’si büyükbaş ve küçükbaş olmak üzere toplam 5.694.302 hayvandan 754.000 ton gübre potansiyeli, 36,5 milyon m³ biyogaz, 171,4 GWh elektrik ve ayrıca 171.449 milyon kcal ısı enerjisi elde edilebileceği hesaplanmıştır. Tablo 7 BEPA verilerine göre Bingöl ilinin biyokütle enerji potansiyelini vermektedir.

Tablo 7. Bingöl ili biyokütle enerji potansiyeli [57]

Bileşenler	Veriler
“Hayvan Sayısı” (adet)	1.078.528
“Hayvansal Atık Miktarı” (ton/yıl)	1.481.915,1
“Hayvansal Atıkların Teorik Enerji Eşdeğeri” (TEP/yıl)	11.371,3
“Hayvansal Atıkların Ekonomik Enerji Eşdeğeri” (TEP/yıl)	2.821,5
“Bitkisel Üretim Miktarı” (ton/yıl)	368.848
“Bitkisel Atık Miktarı” (ton/yıl)	32.286,5
“Bitkisel Atıkların Teorik Enerji Eşdeğeri” (TEP/yıl)	44.628,3
“Bitkisel Atıkların Ekonomik Enerji Eşdeğeri” (TEP/yıl)	519,3
“Belediye Atıkları Miktarı” (ton/yıl)	82.111,80
“Belediye Atıkların Teorik Enerji Eşdeğerleri” (TEP/yıl)	7.515,4
“Belediye Atıkların Ekonomik Enerji Eşdeğerleri” (TEP/yıl)	1.091,9
“Orman Varlığı Artıkları” (ster / yıl)	1.750
“Orman Varlığı Artıklarının Enerji Eşdeğeri” (TEP / yıl)	354,4
“Atıkların Toplam Teorik Enerji Eşdeğeri (TEP/yıl)”	63.869,4

5.4 Bitlis ili biyokütle enerji potansiyeli

Bitlis, Türkiye’nin Doğu Anadolu Bölgesi’nde, 37°54’–38°58’ kuzey enlemleri ile 41°33’–43°11’ doğu boylamları arasında yer almaktadır. İlin yüzölçümü 8.645 km² olup bu alan Türkiye topraklarının yaklaşık %1’ini ve Doğu Anadolu Bölgesi’nin %5,5’ini oluşturmaktadır [65].

Bitlis ili 8,5 milyon dekar arazisi, 1 milyon 300 dönüm tarımsal arazi varlığı, 1 milyon 800 bin dekar orman varlığı, göl alanlarıyla, yaylalarıyla, meralarıyla, yüzde 96 geçimini tarım ve hayvancılık ile sağlamaktadır. İlin iklim koşulları ve topografyası özellikle tahıl ve yem bitkileri üretimine elverişlidir. Bitlis ili Van gölüne kıyısı bulunan tarım potansiyeliyle bölgesinde önemli bir yere sahiptir. Bitlis ilinde 1 milyon 383 bin 800 dekar tarım alanı, 2 milyon 198 bin 400 dekar mera alanı, 56 bin 120 dekar nadas alanı ve 1 milyon 802 bin 370 dekar orman alanı bulunmaktadır. İlde tarımsal üretimde özellikle patates, şeker pancarı, buğday, kuru fasulye ve arpa öne çıkmaktadır. İl genelinde geniş mera varlığının yanında önemli bir miktarda yem bitkisi ekilişi yapılacak tarıma elverişli alanlar mevcuttur. İl genelinde 2.000.000 adet küçükbaş hayvanı besleyecek mera varlığı bulunmaktadır. Tarım ve Orman Bakanlığı’nın 2024 yılı verilerine göre ilde yaklaşık 230.000 büyükbaş ve 740.000 küçükbaş hayvan bulunmaktadır [63]. Ayrıca kanatlı hayvancılık da gelişim göstermekte olup, bu hayvan varlığı biyogaz üretimi için önemli bir kaynak oluşturmaktadır.

Bitlis ilinde hayvansal atıklardan biyogaz potansiyeli üzerine yapılan araştırmalar da dikkate değerdir. Yetiş ve arkadaşları [35] tarafından yapılan çalışmaya göre Bitlis ili özellikle hayvancılık faaliyetleri sayesinde önemli miktarda biyokütle üretme potansiyeline sahiptir. 2017 yılı verilerine göre Bitlis il genelinde 82.406 büyükbaş, 601.555 küçükbaş ve 78.424 kanatlı hayvan bulunmaktadır. Bu hayvanlardan elde edilen gübrelerden biyogaz üretimi ile yıllık yaklaşık 21,46 milyon m³ biyogaz üretilbileceği hesaplanmıştır. Özellikle Güroymak ilçesi, yılda 5,3 milyon m³ biyogaz üretim potansiyeliyle dikkat çekmektedir. Tablo 8’de BEPA verilerine göre Bitlis ilinin biyokütle enerji potansiyeli verilmektedir.

5.5 Elazığ ili biyokütle enerji potansiyeli

Elazığ, Türkiye’nin Doğu Anadolu Bölgesi’nin Yukarı Fırat Bölümü’nde yer almakta olup, yaklaşık olarak 38°15’–39°08’ kuzey enlemleri ile 38°02’–40°02’ doğu boylamları arasında konumlanmaktadır. İlin yüzölçümü 9.383 km²’dir. Bu alan, Türkiye topraklarının yaklaşık %1,2’sini, Doğu Anadolu Bölgesi’nin ise yaklaşık %5,8’ini oluşturmaktadır [60, 61].

Elazığ’ın 670 ile 1700 rakımları arasında olması nedeni ile ekolojik yapısı tarım ve hayvancılığa uygun olduğundan ilin ekonomisi büyük ölçüde tarım, hayvancılık ve gıda sanayisine dayanmaktadır. Özellikle Keban Barajı Gölü çevresinde gelişen sulamalı tarım, ilin tarımsal üretim kapasitesini artırmaktadır. Ayrıca, geniş mera alanları ve iklim koşulları, büyükbaş ve küçükbaş hayvancılık için uygun bir ortam sunmaktadır.

Tablo 8. Bitlis ili biyokütle enerji potansiyeli [57]

Bileşenler	Veriler
“Hayvan Sayısı” (adet)	834.731
“Hayvansal Atık Miktarı” (ton/yıl)	1.300.466,4
“Hayvansal Atıkların Teorik Enerji Eşdeğeri” (TEP/yıl)	7.176,1
“Hayvansal Atıkların Ekonomik Enerji Eşdeğeri” (TEP/yıl)	1.690,9
“Bitkisel Üretim Miktarı” (ton/yıl)	806.278
“Bitkisel Atık Miktarı” (ton/yıl)	176.410,60
“Bitkisel Atıkların Teorik Enerji Eşdeğeri” (TEP/yıl)	91.221,5
“Bitkisel Atıkların Ekonomik Enerji Eşdeğeri” (TEP/yıl)	2.171,4
“Belediye Atıkları Miktarı” (ton/yıl)	102.023,60
“Belediye Atıkların Teorik Enerji Eşdeğerleri” (TEP/yıl)	9.337,7
“Belediye Atıkların Ekonomik Enerji Eşdeğerleri” (TEP/yıl)	1.356,9
“Orman Varlığı Artıkları” (ster / yıl)	1.750
“Orman Varlığı Artıklarının Enerji Eşdeğeri” (TEP / yıl)	354,4
“Atıkların Toplam Teorik Enerji Eşdeğeri (TEP/yıl)”	108.089,7

Elazığ ilinde 1 milyon 6 bin 532 dekar tarım alanı, 193 bin 501 hektar mera alanı, 336 bin 639 dekar nadas alanı ve 171 bin 186 hektar orman alanı bulunmaktadır. İlde tarımsal üretimde özellikle şeker pancarı, arpa ve buğday öne çıkmaktadır. İlin hayvancılık için uygun altyapı ve hayvan varlığına sahip olması ve uygun teşvik mekanizmalarının bulunması nedeni ile Biyogaz Üretim Tesisi içeren Hayvancılık ve Besi Organize Tarım Bölgesi kurulmuştur. 2023 yılı verilerine göre ilde yaklaşık 158.100 büyükbaş, 849.300 küçükbaş hayvan ve 7.383.900 kanatlı hayvan bulunmaktadır [63]. Elazığ ilinin iklimi piliç ve yumurta üretimine uygun olduğundan gelişmiş bir kanatlı hayvancılık sektörüne sahiptir, bu durum biyogaz üretimi için önemli bir kaynak oluşturmaktadır.

Tablo 9. Elazığ ili biyokütle enerji potansiyeli [57]

Bileşenler	Veriler
“Hayvan Sayısı” (adet)	6.082.906
“Hayvansal Atık Miktarı” (ton/yıl)	2.341.642,8
“Hayvansal Atıkların Teorik Enerji Eşdeğeri” (TEP/yıl)	56.205,9
“Hayvansal Atıkların Ekonomik Enerji Eşdeğeri” (TEP/yıl)	13.767,3
“Bitkisel Üretim Miktarı” (ton/yıl)	919.058
“Bitkisel Atık Miktarı” (ton/yıl)	308.233,70
“Bitkisel Atıkların Teorik Enerji Eşdeğeri” (TEP/yıl)	126.078,60
“Bitkisel Atıkların Ekonomik Enerji Eşdeğeri” (TEP/yıl)	7.964,1
“Belediye Atıkları Miktarı” (ton/yıl)	173.926,2
“Belediye Atıkların Teorik Enerji Eşdeğerleri” (TEP/yıl)	15.918,9
“Belediye Atıkların Ekonomik Enerji Eşdeğerleri” (TEP/yıl)	2.313,1
“Orman Varlığı Artıkları” (ster / yıl)	1.750
“Orman Varlığı Artıklarının Enerji Eşdeğeri” (TEP / yıl)	354,4
“Atıkların Toplam Teorik Enerji Eşdeğeri (TEP/yıl)”	198.557,8

Elazığ ve çevresinde biyogaz üretimi ve maliyet analizleri üzerine çalışmalar yapılmıştır. Akbulut ve Dikici [14] tarafından yürütülen bir çalışmada, Elazığ İli’nin hayvan ve tarım potansiyeli dikkate alınarak elde edilebilecek biyogaz miktarı belirlenmiş maliyet analizi yapılmıştır. Topal ve Topal [18] tarafından yapılan çalışmada Elazığ ilinde 2000-2010 yılları arasındaki veriler kullanılarak tahıl ürünlerinden elde edilebilecek biyokütle enerji potansiyelleri incelenmiştir. Elazığ ilinin biyokütle enerji potansiyelleri; tahıllar için 132.083 MW, yem bitkileri için 10.934 MW, baklagiller için 8.122 MW, endüstriyel bitkiler için 6.173 MW, yumru bitkiler için 1.193 MW, yağlı tohumlar için 443 MW olarak belirlenmiştir. Fırat Kalkınma Ajansı (FKA) tarafından Elazığ ilinde Biyogaz

Üretim Tesisi kurulmasının uygunluğunu tespit etmek, yatırımcılarda yatırım fikri oluşturmak ve detaylı fizibilite çalışmalarına altlık oluşturmak üzere Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı koordinasyonunda bir Elazığ İli Biyogaz Üretim Tesisi Ön Fizibilite Raporu hazırlanmıştır [36]. Hesaplamalar sonucunda, hayvansal atıklardan elde edilebilecek teorik biyogaz potansiyeli 376.548 MWh/yıl, tarımsal atıklardan 221.007 MWh/yıl, tarım-sanayi atıklarından 9.863 MWh/yıl, belediye atıklarından 19.088 MWh/yıl olarak bulunmuştur. Toplam teorik biyogaz potansiyeli 626.505 MWh/yıl, teknik gaz potansiyeli 196.804 MWh/yıl olarak belirlenmiştir. İl bazındaki verilere dayanılarak hayvan atıklarının, tarımsal atıkların, tarım-sanayi atıklarının ve belediye atıklarının yüksek biyogaz potansiyeline sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Elazığ ilinde en yüksek teknik biyogaz potansiyelinin hayvansal atıklardan elde edilebileceği ve hayvansal atıklar belli merkezlerde toplanabilirse 157.047 MWh/yıllık elektrik üretimi gerçekleştirilebileceği vurgulanmıştır. Elazığ Tarıma Dayalı (Besi) Organize Sanayi Bölgesinde 2021 yılında yapımına başlanan “Biyogaz Tesisi” Elazığ’ın merkeze bağlı Cevizdere Köyü mevkiinde 70 bin metrekare alan içerisinde, 3 MWm Biyogaz Enerji Üretim Tesisi ve Doğu Anadolu Bölgesinde ilk olma özelliğini taşıyan, Organomineral Gübre Tesisinden oluşan komplekste üretim yapılmaktadır. Tablo 9 BEPA verilerine göre Elazığ ilinin biyokütle enerji potansiyelini vermektedir.

5.6 Erzincan ili biyokütle enerji potansiyeli

Erzincan, Türkiye’nin Doğu Anadolu Bölgesi’nin kuzeybatısında, 39°00’-40°12’ kuzey enlemleri ile 38°16’-40°45’ doğu boylamları arasında konumlanmaktadır. İlin yüzölçümü 11.974 km² olup bu alan, Türkiye topraklarının yaklaşık %1,57’sini ve Doğu Anadolu Bölgesi’nin yaklaşık %7,4’ünü oluşturmaktadır [66].

Erzincan ilinin ekonomisi büyük ölçüde tarım, hayvancılık ve gıda sanayiine dayanmaktadır. Verimli tarım arazileri ve sulama olanakları sayesinde başta tahıl üretimi olmak üzere çeşitli tarımsal faaliyetler yürütülmektedir. Ayrıca, yaylacılık geleneğinin sürdüğü Erzincan’da, büyükbaş ve küçükbaş hayvancılık önemli bir geçim kaynağıdır. Erzincan ilinde 209 bin 170 hektar tarım alanı, 423 bin 277 hektar mera alanı, 38 bin 674 hektar nadas alanı ve 320 bin 083 hektar orman alanı bulunmaktadır. Tarla ürünlerinde ekiliş alanlarına göre ilk 3 sırada buğday, arpa ve yonca bulunmaktadır; şekerpancarı da önemli ürünler arasındadır. Tarım ve Orman Bakanlığı’nın 2025 yılı verilerine göre ilde 116.689 büyükbaş, 601.386 küçükbaş hayvan, 854.955 yumurtacı tavuk, 393.502 etçi tavuk bulunmaktadır [63]. Bu varlık, biyogaz üretimi için önemli organik atık potansiyeli sunmaktadır.

Badem [37] tarafından hazırlanan yüksek lisans tezinde, Erzincan’da yıllık yaklaşık 434.469 ton hayvansal atık üretildiği ve bu miktardan 15,5 milyon m³/yıl biyogaz elde edilebileceği hesaplanmıştır. Çalışmada biyogazdan üretililecek enerji miktarı 38 GWh elektrik ve 35,8 milyar kcal ısı enerjisi olarak belirlenmiş; ayrıca 0,5 MW, 1,3 MW ve 2,4 MW kapasiteli biyogaz tesisleri için teknik ve ekonomik fizibilite analizleri yapılmıştır [38]. Tablo 10’da BEPA verilerine göre Erzincan ilinin biyokütle enerji potansiyeli verilmektedir.

Tablo 10. Erzincan ili biyokütle enerji potansiyeli [57]

Bileşenler	Veriler
“Hayvan Sayısı” (adet)	1.676.925
“Hayvansal Atık Miktarı” (ton/yıl)	1.405.250,1
“Hayvansal Atıkların Teorik Enerji Eşdeğeri” (TEP/yıl)	17.929,5
“Hayvansal Atıkların Ekonomik Enerji Eşdeğeri” (TEP/yıl)	4.426,7
“Bitkisel Üretim Miktarı” (ton/yıl)	1.209.767
“Bitkisel Atık Miktarı” (ton/yıl)	222.530
“Bitkisel Atıkların Teorik Enerji Eşdeğeri” (TEP/yıl)	89.720,80
“Bitkisel Atıkların Ekonomik Enerji Eşdeğeri” (TEP/yıl)	3.788,1
“Belediye Atıkları Miktarı” (ton/yıl)	68.921,80
“Belediye Atıkların Teorik Enerji Eşdeğerleri” (TEP/yıl)	6.308,1
“Belediye Atıkların Ekonomik Enerji Eşdeğerleri” (TEP/yıl)	916,7
“Orman Varlığı Artıkları” (ster / yıl)	35.822
“Orman Varlığı Artıklarının Enerji Eşdeğeri” (TEP / yıl)	8.131
“Atıkların Toplam Teorik Enerji Eşdeğeri (TEP/yıl)”	122.089,4

5.7 Erzurum ili biyokütle enerji potansiyeli

Erzurum, Türkiye'nin Doğu Anadolu Bölgesi'nin kuzeydoğusunda, 39°54'–41°16' kuzey enlemleri ile 40°57'–43°12' doğu boylamları arasında yer almaktadır. Türkiye'nin yüzölçümü bakımından en büyük illerinden biri olan Erzurum'un yüzölçümü 25.066 km² olup bu alan, Türkiye topraklarının yaklaşık %3,2'sini ve Doğu Anadolu Bölgesi'nin yaklaşık %15,6'sını oluşturmaktadır [67]. Aynı zamanda Erzurum, bölgesel bir eğitim ve sağlık merkezi olarak gelişmiş altyapıya sahip olup, lojistik ve ticaret açısından da stratejik bir konumdadır.

Erzurum ilinin ekonomisi büyük oranda tarım ve hayvancılığa dayanmaktadır. Özellikle geniş çayır ve meralar, büyükbaş hayvancılığı teşvik etmekte; ilin iklimi ve coğrafi yapısı da bu faaliyetleri desteklemektedir. Erzurum ilinde 3 milyon 445 bin dekar tarım alanı, 14 milyon 484 bin 660 dekar mera alanı, 964 bin dekar nadas alanı ve 2 milyon 568 bin 820 dekar orman alanı bulunmaktadır. İlde tarımsal üretimde özellikle buğday, patates, şeker pancarı, arpa ve çavdar bitkileri öne çıkmaktadır. Hayvancılık Erzurum'da ekonominin temelini oluşturur. 2021 yılı verilerine göre ilde yaklaşık 860.000 büyükbaş, 900.000 küçükbaş hayvan ve 213.000 kanatlı hayvan bulunmaktadır [63]. Erzurum ili yaklaşık 860 bin büyükbaş hayvan sayısı ile ülke genelinde 2., 900 bin küçükbaş hayvan sayısı ile 19. sıradadır. İlin mera varlığı, kalitesi ve 94 bin 700 hektar yem bitkisi üretimi göz önünde bulundurulduğunda mevcut hayvan varlığının çok daha üzerinde potansiyeli bulunmaktadır. Bu hayvansal varlık biyogaz üretimi açısından yüksek potansiyel sunmaktadır.

Erzurum ili özelinde gerçekleştirilen bir yüksek lisans çalışmasında, sığır gübresinden farklı sıcaklıklarda biyogaz üretimi incelenmiş ve Erzurum koşullarına uygun bir biyogaz tesisi tasarımı yapılmıştır [39]. Çalışmada, 35°C'te 80 g kuru sığır gübresinden 8.630 L, yaş gübresinden ise 9.670 L biyogaz üretildiği belirlenmiştir. Yapraklı ve Bayramoğlu [40] tarafından yürütülen saha araştırmasında TRA1 Bölgesi'nin (Erzurum-Erzincan-Bayburt) biyokütle enerji potansiyeli ve ekonomik etkileri araştırılmıştır. Analiz sonuçlarına göre TRA1 bölgesinin hayvansal ve bitkisel kaynaklı toplam ekonomik biyokütle enerjisi potansiyeli 4.778 Ton Eşdeğeri Petrol (TEP)/yıl olarak hesaplanmıştır. Biyogaz enerji potansiyelinin %56'sının Erzurum'da, %27,2'sinin Erzincan'da ve %16,8'inin Bayburt'ta üretilebilecek düzeyde olduğu tespit edilmiştir. Tablo 11 BEPA verilerine göre Erzurum ilinin biyokütle enerji potansiyelini vermektedir.

Tablo 11. Erzurum ili biyokütle enerji potansiyeli [57]

Bileşenler	Veriler
“Hayvan Sayısı” (adet)	1.711.412
“Hayvansal Atık Miktarı” (ton/yıl)	6.215.936,20
“Hayvansal Atıkların Teorik Enerji Eşdeğeri” (TEP/yıl)	40.924,4
“Hayvansal Atıkların Ekonomik Enerji Eşdeğeri” (TEP/yıl)	11.003,3
“Bitkisel Üretim Miktarı” (ton/yıl)	2.140.439
“Bitkisel Atık Miktarı” (ton/yıl)	301.619
“Bitkisel Atıkların Teorik Enerji Eşdeğeri” (TEP/yıl)	126.787,7
“Bitkisel Atıkların Ekonomik Enerji Eşdeğeri” (TEP/yıl)	3.990
“Belediye Atıkları Miktarı” (ton/yıl)	280.264,20
“Belediye Atıkların Teorik Enerji Eşdeğerleri” (TEP/yıl)	30.276,7
“Belediye Atıkların Ekonomik Enerji Eşdeğerleri” (TEP/yıl)	4.351,9
“Orman Varlığı Artıkları” (ster / yıl)	35.822
“Orman Varlığı Artıklarının Enerji Eşdeğeri” (TEP / yıl)	8131
“Atıkların Toplam Teorik Enerji Eşdeğeri (TEP/yıl)”	206.119,8

5.8 Hakkâri ili biyokütle enerji potansiyeli

Hakkâri, Türkiye'nin Güneydoğu kesiminde, Doğu Anadolu Bölgesi'nin en güneydoğusunda, 36°58'–38°09' kuzey enlemleri ile 43°14'–44°49' doğu boylamları arasında yer almaktadır. İlin yüzölçümü 7.095 km² olup bu alan, Türkiye topraklarının yaklaşık %0,91'ini ve Doğu Anadolu Bölgesi'nin yaklaşık %4,4'ünü oluşturmaktadır [68]. Ayrıca, Hakkâri'nin İran ve Irak ile olan kara sınır kapıları (Esendere Sınır Kapısı, Üzümlü Sınır Kapısı), ilin lojistik ve dış ticaret açısından stratejik önemini artırmaktadır.

Hakkâri ilinin ekonomisi büyük ölçüde hayvancılığa ve sınırlı tarımsal üretime dayanmaktadır. Hakkâri ilinde 444 bin dekar tarım alanı, 1 milyon 665 bin 590 dekar mera alanı, 30 dekar nadas alanı ve 1 milyon 798 bin 470 dekar orman alanı bulunmaktadır. İlde tarımsal üretimde buğday, nohut ve aspir ön plana çıkmaktadır. Dağlık ve engebeli coğrafyası, geniş otlak alanları (%52) ve yaylaları küçükbaş hayvancılık için elverişli koşullar sunmaktadır. 2021 yılı verilerine göre ilde yaklaşık 37.900 büyükbaş, 676.700 küçükbaş ve 59.600 kanatlı havyan bulunmaktadır [63].

Literatür taraması Hakkâri ili özelinde biyokütle enerji potansiyelinin belirlenmesine yönelik bir çalışma olmadığını göstermektedir. Tablo 12’de BEPA verilerine göre Hakkâri ilinin biyokütle enerji potansiyeli verilmektedir.

Tablo 12. Hakkâri ili biyokütle enerji potansiyeli [57]

Bileşenler	Veriler
“Hayvan Sayısı” (adet)	782.347
“Hayvansal Atık Miktarı” (ton/yıl)	979.013,9
“Hayvansal Atıkların Teorik Enerji Eşdeğeri” (TEP/yıl)	4.323,9
“Hayvansal Atıkların Ekonomik Enerji Eşdeğeri” (TEP/yıl)	868,4
“Bitkisel Üretim Miktarı” (ton/yıl)	235.983
“Bitkisel Atık Miktarı” (ton/yıl)	36.605,3
“Bitkisel Atıkların Teorik Enerji Eşdeğeri” (TEP/yıl)	14.274,6
“Bitkisel Atıkların Ekonomik Enerji Eşdeğeri” (TEP/yıl)	278,7
“Belediye Atıkları Miktarı” (ton/yıl)	76.947,10
“Belediye Atıkların Teorik Enerji Eşdeğerleri” (TEP/yıl)	7.042,8
“Belediye Atıkların Ekonomik Enerji Eşdeğerleri” (TEP/yıl)	1.127,5
“Orman Varlığı Artıkları” (ster / yıl)	1.750
“Orman Varlığı Artıklarının Enerji Eşdeğeri” (TEP / yıl)	354,4
“Atıkların Toplam Teorik Enerji Eşdeğeri (TEP/yıl)”	25.995,7

5.9 Iğdır ili biyokütle enerji potansiyeli

Iğdır, Türkiye’nin Doğu Anadolu Bölgesi’nin en doğusunda, 39°44’-40°07’ kuzey enlemleri ile 43°15’-44°28’ doğu boylamları arasında yer almaktadır. İlin yüzölçümü 3.664 km² olup bu alan, Türkiye topraklarının yaklaşık %0,47’sini ve Doğu Anadolu Bölgesi’nin yaklaşık %2,3’ünü oluşturmaktadır [69].

Iğdır ilinde 1 milyon 50 bin 672 dekar tarım alanı, 1 milyon 223 bin 310 dekar mera alanı, 214 dekar nadas alanı ve bin 610 dekar orman alanı bulunmaktadır. İlde tarımsal üretimde buğday, mısır, arpa ve şeker pancarı ön plana çıkmaktadır. Küçükbaş hayvanları besleyecek mera varlığının bulunması ve hayvancılıkta girdi maliyetlerinin diğer illere göre daha ucuz olması il genelinde küçükbaş hayvancılığın yaygın olmasını sağlamaktadır. Ayrıca, ilde geniş mera varlığının yanında önemli miktarda yem bitkisi ekilişi ve ilave yem bitkisi ekilişi yapılacak tarıma elverişli alanların mevcut olması ilde büyükbaş hayvan yetiştiriciliğini ön plana çıkarmaktadır. 2021 yılı verilerine göre ilde yaklaşık 100.400 büyükbaş, 1.402.380 küçükbaş hayvan ve 132.059 kanatlı havyan bulunmaktadır [63].

Iğdır ili özelinde yapılan çalışmalarda, bölgedeki hayvansal atıklardan elde edilebilecek biyogaz potansiyeli üzerine önemli bulgular ortaya konulmuştur. Altıkat ve Çelik [15], TÜİK 2010 verilerini kullanarak Iğdır ili ve ilçelerinin biyogaz potansiyelini hesaplamış, elde edilen biyogazın elektrik enerjisine dönüştürülme miktarını ve karbon emisyonu azaltım potansiyelini ortaya koymuştur. Hayvan sayılarından yola çıkılarak Iğdır ili ve ilçelerinin biyogaz üretim potansiyeli belirlenmiş ve Doğu Anadolu Bölgesi ile Türkiye’nin hayvansal atık kaynaklı biyogaz potansiyel değerleri ile karşılaştırmalar yapılmıştır. Iğdır ilindeki biyogaz enerji potansiyeli 21,441 milyon m³/yıl olarak belirlenmiş, ilçeler bazında en yüksek biyogaz enerji potansiyelinin ise 8,172 milyon m³/yıl ile Tuzluca ilçesinden elde edilebileceği gözlenmiştir. Tırınk [41] tarafından yürütülen çalışmada, 2020 yılı verilerine göre Iğdır ilinde büyükbaş, küçükbaş ve kümes hayvan sayıları sırasıyla 15.426, 1.279.203 ve 265.173 olarak belirlenmiştir. Bu atıklardan potansiyel olarak, 43.952.304 m³ biyogaz, 1.032.879 GJ ısı enerjisi, 114.716 MWh elektrik enerjisi üretilebileceği hesaplanmıştır. En yüksek elektrik üretim potansiyeli merkez ilçede 55.367 MWh, en düşük ise Karakoyunlu’da 15.366 MWh olarak bulunmuştur. Ayrıca Iğdır genelinde biyogaz kullanımıyla yıllık yaklaşık 78.465 ton CO₂ emisyonunun azaltılabileceği öngörülmüştür. Kuş ve arkadaşları [42] tarım alanlarının

büyük çoğunluğunda tahıllar, sebze, meyve ve yem bitkileri yetiştirilen Iğdır ilinin bitkisel ürünlerinden, ürün gruplarına göre elde edilebilecek biyokütle enerji miktarını yıllık olarak hesaplamıştır. Türkiye'nin 2009-2013 yılları arası ortalama tarımsal biyokütle potansiyelinin yaklaşık 220 milyon TEP olduğu saptanmıştır. Türkiye potansiyelinin yaklaşık %10'unun Doğu Anadolu Bölgesi'nde olduğu, Doğu Anadolu Bölgesi'ndeki potansiyelin %3'ünün Iğdır ilinde üretildiği belirlenmiştir. Iğdır ilinin biyokütle enerji potansiyelinin yıllık 639 bin TEP olduğu ve bu değer Türkiye biyokütle enerji potansiyelinin yaklaşık %0.3'üne eşit olduğu saptanmıştır. Bunun yanı sıra, Coşkun ve arkadaşları [43] tarafından yürütülen bir çalışmada, biyogazın tarımsal üretimde yerinde kullanımına odaklanılmıştır. Araştırmada biyogaz destekli süt soğutma sisteminin performansı hem simülasyon hem de deneysel yöntemlerle incelenmiş; sistemin enerji etkinliği ve pratik uygulanabilirliği değerlendirilmiştir. Biyogaz yakıtlı süt soğutma sistemi, konvansiyonel süt soğutma sistemine göre %54,37 oranında enerji tasarrufu sağlamıştır. Biyogaz üretim süreci için reaktörün enerji verimliliği yaklaşık %42,5 olarak bulunmuştur. Buhar sıkıştırılmalı süt soğutma sistemi için genel COP değeri ise 3,47 olarak hesaplanmıştır. Bu çalışma, Iğdır'da biyogazın yalnızca elektrik üretimi için değil, aynı zamanda tarım ve hayvancılık faaliyetlerinde doğrudan kullanım potansiyeli bulunduğunu göstermektedir. Tablo 13'de BEPA verilerine göre Iğdır ilinin biyokütle enerji potansiyeli verilmektedir.

Tablo 13. Iğdır ili biyokütle enerji potansiyeli [57]

Bileşenler	Veriler
“Hayvan Sayısı” (adet)	1.297.027
“Hayvansal Atık Miktarı” (ton/yıl)	2.256.632,9
“Hayvansal Atıkların Teorik Enerji Eşdeğeri” (TEP/yıl)	12.251,6
“Hayvansal Atıkların Ekonomik Enerji Eşdeğeri” (TEP/yıl)	2.845,3
“Bitkisel Üretim Miktarı” (ton/yıl)	2.372.169
“Bitkisel Atık Miktarı” (ton/yıl)	124.621,2
“Bitkisel Atıkların Teorik Enerji Eşdeğeri” (TEP/yıl)	49.870,5
“Bitkisel Atıkların Ekonomik Enerji Eşdeğeri” (TEP/yıl)	2.779,1
“Belediye Atıkları Miktarı” (ton/yıl)	57.657
“Belediye Atıkların Teorik Enerji Eşdeğerleri” (TEP/yıl)	5.277,1
“Belediye Atıkların Ekonomik Enerji Eşdeğerleri” (TEP/yıl)	766,8
“Orman Varlığı Artıkları” (ster / yıl)	35.822
“Orman Varlığı Artıklarının Enerji Eşdeğeri” (TEP / yıl)	8.131
“Atıkların Toplam Teorik Enerji Eşdeğeri (TEP/yıl)”	75.530,2

5.10 Kars ili biyokütle enerji potansiyeli

Kars, Türkiye'nin Doğu Anadolu Bölgesi'nin kuzeydoğusunda, 40°30'-41°30' kuzey enlemleri ile 42°30'-44°06' doğu boylamları arasında yer almaktadır. İlin yüzölçümü 9.939 km² olup, bu alan Türkiye topraklarının yaklaşık %1,27'sini ve Doğu Anadolu Bölgesi'nin yaklaşık %6'sını oluşturmaktadır [70]. Demiryolu ulaşımı (Bakü-Tiflis-Kars hattı) ve Ticaret ve Lojistik Merkezi yatırımlarıyla Kars, bölgesel ticaret açısından stratejik bir konuma sahiptir.

Kars ili ekonomisi büyük ölçüde tarım ve hayvancılığa dayalıdır. İlin sahip olduğu geniş çayır ve mera alanları, başta büyükbaş hayvancılık olmak üzere hayvansal üretim için uygun koşullar sağlamaktadır. Kars ilinde 2 milyon 293 bin dekar tarım alanı, 3 milyon 128 bin 980 dekar mera alanı, 7 bin 571 dekar nadas alanı ve 344 bin 410 dekar orman alanı bulunmaktadır. İlde tarımsal üretimde arpa, buğday, şeker pancarı ve patates ön plana çıkmaktadır. Hayvancılık Kars'ın en önemli ekonomik faaliyetidir. 2021 yılı verilerine göre ilde yaklaşık 620.700 büyükbaş, 604.700 küçükbaş ve 893.200 kanatlı hayvan bulunmaktadır [63]. İlde bulunan 490.000 kaz ile yüksek sayıdaki diğer kanatlı, küçükbaş ve büyükbaş hayvan varlıkları biyogaz üretimi açısından yüksek potansiyel sunmaktadır.

Kars ili özelinde yapılan araştırmalar, bölgedeki biyokütle ve biyogaz potansiyelinin önemli düzeyde olduğunu göstermektedir. Demir [44] tarafından gerçekleştirilen çalışmada, tarımsal ürün atıkları, hayvansal atıklar, orman atıkları ve kentsel atıklar dikkate alınarak ilin biyokütle enerji potansiyeli ortaya konmuştur. Araştırma sonucunda, Kars ilinde yıllık yaklaşık 1.558.794 ton biyokütle kaynağı bulunduğu; bu kaynaklardan 76.913.077 m³ biyogaza denk 49.991 ton TEP veya 361.488 MWh elektrik enerjisi üretim potansiyeli bulunduğu hesaplanmıştır. Bununla

birlikte, mevcut potansiyelin ekonomik, teknik ve lojistik engeller nedeniyle tam anlamıyla değerlendirilemediği de vurgulanmıştır. Kars ili merkezinde ve ilçelerinde oluşan evsel katı atıkların %50'sine yakını organik içeriklidir. Ancak mevcut atık yönetimi sistemleri bu fraksiyonu genellikle depolamaya yönlendirmektedir. Organik atıkların anaerobik çürütme sistemlerinde değerlendirilmesi hem enerji üretimini hem de atık azaltımını mümkün kılacaktır [54]. Diğer taraftan, Matur ve Atasayın [45] tarafından yapılan çalışmada, hayvan gübresine dayalı biyogaz üretim potansiyeli Ankara, Gaziantep ve Kars illeri özelinde karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Çalışmada, Kars ili için yıllık 198.691,4 MWh elektrik enerjisi üretim potansiyeli bulunduğu tespit edilmiştir. Kars ili için biyogaz tesislerinden elde edilebilecek olan elektrik enerjisi ile toplam tüketimin %62'sinin karşılanabileceği; yenilenebilir enerji olarak üretilen elektrik enerjisi sayesinde 115.241,01 ton CO₂ salınımının önüne geçileceği belirlenmiştir. Bu bulgu, ilin özellikle büyükbaş hayvancılığa dayalı biyogaz üretiminde önemli bir kaynak oluşturabileceğini göstermektedir. Tablo 14'te BEPA verilerine göre Kars ilinin biyokütle enerji potansiyeli verilmektedir.

Tablo 14. Kars ili biyokütle enerji potansiyeli [57]

Bileşenler	Veriler
“Hayvan Sayısı” (adet)	1.511.800
“Hayvansal Atık Miktarı” (ton/yıl)	3.776.998,70
“Hayvansal Atıkların Teorik Enerji Eşdeğeri” (TEP/yıl)	30.884,5
“Hayvansal Atıkların Ekonomik Enerji Eşdeğeri” (TEP/yıl)	8.142,3
“Bitkisel Üretim Miktarı” (ton/yıl)	641.290
“Bitkisel Atık Miktarı” (ton/yıl)	112.770,40
“Bitkisel Atıkların Teorik Enerji Eşdeğeri” (TEP/yıl)	48.266,70
“Bitkisel Atıkların Ekonomik Enerji Eşdeğeri” (TEP/yıl)	3.725,5
“Belediye Atıkları Miktarı” (ton/yıl)	84.352,40
“Belediye Atıkların Teorik Enerji Eşdeğerleri” (TEP/yıl)	7.720,6
“Belediye Atıkların Ekonomik Enerji Eşdeğerleri” (TEP/yıl)	1.121,7
“Orman Varlığı Artıkları” (ster / yıl)	35.822
“Orman Varlığı Artıklarının Enerji Eşdeğeri” (TEP / yıl)	8.131
“Atıkların Toplam Teorik Enerji Eşdeğeri (TEP/yıl)”	95.002,8

5.11 Malatya ili biyokütle enerji potansiyeli

Malatya, Türkiye'nin Doğu Anadolu Bölgesi'nin batısında, 37°50'–39°04' kuzey enlemleri ile 37°24'–39°07' doğu boylamları arasında yer almaktadır. İlin yüzölçümü 12.313 km² olup bu alan, Türkiye topraklarının yaklaşık %1,6'sını ve Doğu Anadolu Bölgesi'nin yaklaşık %8'ini oluşturmaktadır [71].

Malatya ilinde 2 milyon 730 bin 294 dekar tarım alanı, 3 milyon 634 bin 490 dekar mera alanı, 604 bin 260 dekar nadas alanı ve 1 milyon 893 bin 400 dekar orman alanı bulunmaktadır. İlde tarımsal üretimde şeker pancarı, buğday, arpa, patates ve nohut ön plana çıkmaktadır. İlin yeterli mera varlığına sahip olması ve önemli miktarda yem bitkisi ekilişi büyükbaş ve küçükbaş hayvancılığını öne çıkarmıştır. 2021 yılı verilerine göre ilde yaklaşık 174.900 büyükbaş, 367.600 küçükbaş ve 6.085.700 kanatlı hayvan bulunmaktadır [63]. İlde bulunan küçükbaş ve büyükbaş hayvan varlıkları ile özellikle yüksek sayıdaki kanatlı hayvan varlığı biyogaz üretimi açısından yüksek potansiyel sunmaktadır.

Malatya iline özgü çalışmalar biyokütlenin tarımsal ve hayvansal atıklardan elde edilebilecek enerji potansiyelini detaylandırmıştır. Kurt ve Koçer [46] Malatya İli'nde bir yılda elde edilen ortalama kuru biyokütle miktarı ve kuru biyokütlenin ortalama ısı değeri hesaplamıştır. Malatya ilinde tahıllar, baklagiller, endüstriyel bitkiler, yağlı tohumlar ve yumru bitkiler dikkate alınarak toplam ekilen 145.162,4 hektarlık alandan ısı değeri 1.596.786,4 TEP olan 3.991.966 ton biyokütle potansiyelinin olduğunu belirlemiştir. Malatya İli için tarımsal atık kaynaklı biyokütle potansiyelinden etkin ve yaygın bir şekilde faydalanmak için öneriler de bulunulmuştur. Ayrıca, Koçer ve Kurt [47] Malatya merkez ve ilçelerde hayvan sayısına bağlı biyogaz üretim potansiyelini hesaplamıştır. Malatya ilinde hayvan gübresinden biyogaz tesisleri kullanılarak yaklaşık olarak 87.645 m³/gün biyogaz üretilebileceği belirlenmiştir. Ayrıca Malatya ili için hayvansal atık biyokütle potansiyelinden etkin ve yaygın bir şekilde faydalanmak için öneriler de bulunulmuştur. Tablo 15'te BEPA verilerine göre Malatya ilinin biyokütle enerji potansiyeli verilmektedir.

Tablo 15. Malatya ili biyokütle enerji potansiyeli [57]

Bileşenler	Veriler
“Hayvan Sayısı” (adet)	3.611.723
“Hayvansal Atık Miktarı” (ton/yıl)	1.798.373,80
“Hayvansal Atıkların Teorik Enerji Eşdeğeri” (TEP/yıl)	37.219,2
“Hayvansal Atıkların Ekonomik Enerji Eşdeğeri” (TEP/yıl)	9.275
“Bitkisel Üretim Miktarı” (ton/yıl)	1.230.268
“Bitkisel Atık Miktarı” (ton/yıl)	246.477,60
“Bitkisel Atıkların Teorik Enerji Eşdeğeri” (TEP/yıl)	100.538,60
“Bitkisel Atıkların Ekonomik Enerji Eşdeğeri” (TEP/yıl)	5.912,1
“Belediye Atıkları Miktarı” (ton/yıl)	232.734,60
“Belediye Atıkların Teorik Enerji Eşdeğerleri” (TEP/yıl)	25.142,1
“Belediye Atıkların Ekonomik Enerji Eşdeğerleri” (TEP/yıl)	3.613,8
“Orman Varlığı Artıkları” (ster / yıl)	1.750
“Orman Varlığı Artıklarının Enerji Eşdeğeri” (TEP / yıl)	354,4
“Atıkların Toplam Teorik Enerji Eşdeğeri (TEP/yıl)”	163.254,3

5.12 Muş ili biyokütle enerji potansiyeli

Muş, Türkiye’nin Doğu Anadolu Bölgesi’nin doğusunda, 38°31’–39°16’ kuzey enlemleri ile 40°34’–42°00’ doğu boylamları arasında yer almaktadır. İlin yüzölçümü yaklaşık 8.196 km² olup bu alan, Türkiye topraklarının yaklaşık %1,05’ini ve Doğu Anadolu Bölgesi’nin yaklaşık %5,2’sini kapsamaktadır. Muş ili, doğuda Ağrı ve Bitlis, batıda Bingöl, kuzeyde Erzurum ve güneyde Bitlis illeri ile komşudur. Toplam yüzölçümü yaklaşık 8.196 km²’dir [60, 72].

Muş ili tarıma dayalı sanayi potansiyeli yüksek bir ilimizdir, hayvancılık Muş’ta temel geçim kaynağıdır. Muş ilinde 3 milyon 573 bin 420 dekar tarım alanı, 336 bin 062 hektar mera alanı, 51 bin 739 dekar nadas alanı ve 79 bin 999 hektar orman alanı bulunmaktadır. İlde tarımsal üretimde şeker pancarı, yonca (yeşil ot), buğday, mısır (silajlık), arpa ve korunga ön plana çıkmaktadır. Muş ili büyükbaş hayvan sayısı olarak Türkiye 15.’si, küçükbaş hayvan sayısı olarak Türkiye 12.’sidir. 2023 yılı verilerine göre ilde yaklaşık 235.500 büyükbaş, 1.051.400 küçükbaş ve 361.700 kanatlı havyan bulunmaktadır [63].

Muş iline özgü çalışmalar biyokütleden elde edilebilecek enerji potansiyelini detaylandırmıştır. Çağlayan ve Koçer [16] tarafından yürütülen çalışmada, Muş ili hayvancılık varlığı ve hayvan atıklarının miktarına dayanılarak biyogaz üretim potansiyeli tespit edilmiştir. Muş ili ve ilçelerinde toplam biyogaz verimi 728.102 m³/gün olarak bulunmuştur. Enerji kaynağı olarak biyogazın optimum kullanılması ile faydalanacak nüfusun toplam nüfus içerisindeki oranı Merkez’de %33 Varto’da %25 olarak belirlenmiştir. Arslan [48] tarafından yayınlanan çalışmada, Muş ili büyükbaş ve küçükbaş hayvan sayıları temel alınarak biyogaz üretim potansiyeli incelenmiştir. İlin hayvancılıktan üretililecek biyogaz miktarı 91.987.195 m³/yıl, bu değere karşılık gelen enerji miktarı 432.339.816 kWh/yıl olarak hesaplanmıştır. Çalışma, Muş’ta hâlâ biyogaz tesislerinin olmamasının, bu potansiyelin henüz değerlendirilmeyi beklediğini göstermesi açısından kritik önemdedir. Tablo 16 BEPA verilerine göre Muş ilinin biyokütle enerji potansiyelini vermektedir.

5.13 Tunceli ili biyokütle enerji potansiyeli

Tunceli, Türkiye’nin Doğu Anadolu Bölgesi’nin kuzeyinde, 39°06’–40°02’ kuzey enlemleri ile 38°16’–39°37’ doğu boylamları arasında yer almaktadır. İlin yüzölçümü yaklaşık 7.774 km² olup, bu alan Türkiye topraklarının yaklaşık %1’ini ve Doğu Anadolu Bölgesi’nin yaklaşık %5’ini kapsamaktadır. Tunceli ili, Doğu Anadolu Bölgesi’nin Yukarı Fırat bölümünde yer almakta olup, kuzey ve batıda Erzincan, doğuda Bingöl, güneyde Elazığ illeriyle komşudur. İl, 7.705 km² yüzölçümüne sahiptir. Coğrafi olarak dağlık bir yapıya sahip olan Tunceli’nin %70’i dağlık, %25’i plato, %5’i ise ovalık alanlardan oluşmaktadır [61, 73].

Tunceli ilinde 481 bin 620 dekar tarım alanı, 1 milyon 267 bin 410 dekar mera alanı, 152 bin 337 dekar nadas alanı ve 2 milyon 455 bin 360 dekar orman alanı bulunmaktadır. İlde tarımsal üretimde arpa, şeker pancarı ve buğday yetiştiriciliği ön plana çıkmaktadır. İl genelinde geniş mera varlığının yanında önemli miktarda yem bitkisi

ekildiğinden hayvancılık yaygındır. 2021 yılı verilerine göre ilde yaklaşık 29.314 büyükbaş, 491.571 küçükbaş ve 84.150 kanatlı havyan bulunmaktadır [63].

Tablo 16. Muş ili biyokütle enerji potansiyeli [57]

Bileşenler	Veriler
“Hayvan Sayısı” (adet)	1.864.344
“Hayvansal Atık Miktarı” (ton/yıl)	3.221.945,70
“Hayvansal Atıkların Teorik Enerji Eşdeğeri” (TEP/yıl)	23.124,9
“Hayvansal Atıkların Ekonomik Enerji Eşdeğeri” (TEP/yıl)	5.750,7
“Bitkisel Üretim Miktarı” (ton/yıl)	2.533.325
“Bitkisel Atık Miktarı” (ton/yıl)	454.539,80
“Bitkisel Atıkların Teorik Enerji Eşdeğeri” (TEP/yıl)	189.412
“Bitkisel Atıkların Ekonomik Enerji Eşdeğeri” (TEP/yıl)	3.725,5
“Belediye Atıkları Miktarı” (ton/yıl)	119.133,70
“Belediye Atıkların Teorik Enerji Eşdeğerleri” (TEP/yıl)	10.903,9
“Belediye Atıkların Ekonomik Enerji Eşdeğerleri” (TEP/yıl)	1.584,4
“Orman Varlığı Artıkları” (ster / yıl)	1.750
“Orman Varlığı Artıklarının Enerji Eşdeğeri” (TEP / yıl)	354,4
“Atıkların Toplam Teorik Enerji Eşdeğeri (TEP/yıl)”	223.795,2

Tunceli ili, sınırlı tarım ve hayvancılık faaliyetleri nedeniyle biyokütle enerjisi üretimi açısından düşük potansiyele sahiptir. Ancak kırsal ölçekli, yerel atıkların değerlendirilebileceği küçük biyogaz veya biyokütle projeleri, hem yerel kalkınmaya hem de çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlayabilir. İl bazında ayrıntılı potansiyel analizlerinin yapılması ve buna uygun stratejik planlamaların oluşturulması gerekmektedir. Hayvancılık, Tunceli kırsalında yaygın olmakla birlikte, büyük ölçekli üretim yapılmadığı için hayvansal atıklardan biyogaz üretimi için yeterli birikim sağlanamamaktadır [74]. Tunceli ili özelinde doğrudan biyokütle ya da biyogaz potansiyelini hesaplayan ayrıntılı bir çalışmaya ulaşılamamıştır. Bununla birlikte, Türkiye genelinde yapılan biyokütle enerji potansiyeli araştırmaları, Tunceli gibi kırsal bölgelerde de önemli miktarda değerlendirilebilir kaynak bulunduğunu göstermektedir. Tablo 17’de BEPA verilerine göre Tunceli ilinin biyokütle enerji potansiyeli verilmektedir.

Tablo 17. Tunceli ili biyokütle enerji potansiyeli [57]

Bileşenler	Veriler
“Hayvan Sayısı” (adet)	481.743
“Hayvansal Atık Miktarı” (ton/yıl)	621.656,7
“Hayvansal Atıkların Teorik Enerji Eşdeğeri” (TEP/yıl)	3.401,1
“Hayvansal Atıkların Ekonomik Enerji Eşdeğeri” (TEP/yıl)	750,9
“Bitkisel Üretim Miktarı” (ton/yıl)	114.288
“Bitkisel Atık Miktarı” (ton/yıl)	38.525,10
“Bitkisel Atıkların Teorik Enerji Eşdeğeri” (TEP/yıl)	15.993,70
“Bitkisel Atıkların Ekonomik Enerji Eşdeğeri” (TEP/yıl)	892
“Belediye Atıkları Miktarı” (ton/yıl)	25.753,80
“Belediye Atıkların Teorik Enerji Eşdeğerleri” (TEP/yıl)	2.357,3
“Belediye Atıkların Ekonomik Enerji Eşdeğerleri” (TEP/yıl)	342,3
“Orman Varlığı Artıkları” (ster / yıl)	1.750
“Orman Varlığı Artıklarının Enerji Eşdeğeri” (TEP / yıl)	354,4
“Atıkların Toplam Teorik Enerji Eşdeğeri (TEP/yıl)”	45.503

5.14 Van ili biyokütle enerji potansiyeli

Van, Türkiye'nin Doğu Anadolu Bölgesi'nin güneydoğusunda, 38°20'–39°34' kuzey enlemleri ile 42°36'–44°12' doğu boylamları arasında yer almaktadır. İlin yüzölçümü yaklaşık 19.069 km² olup bu alan, Türkiye topraklarının yaklaşık %2,4'ünü ve Doğu Anadolu Bölgesi'nin yaklaşık %12'sini kapsamaktadır [61, 75].

Van ilinde 3 milyon 817 bin 373 dekar tarım alanı, 1 milyon 359 bin 022 hektar mera alanı, 667 bin 141 dekar nadas alanı ve 45 bin 141 hektar orman alanı bulunmaktadır. İlde tarımsal üretimde yonca (yeşil ot), korunga (yeşil ot) ve buğday yetiştiriciliği ön plana çıkmaktadır. İl genelinde geniş mera varlığının yanında önemli miktarda yem bitkisi ekildiği için hayvancılıkta önemli katkı sağlamaktadır. 2023 yılı verilerine göre ilde yaklaşık 133.190 büyükbaş, 3.280.145 küçükbaş ve 553 kanatlı hayvan bulunmaktadır [63].

Van ili özelinde yapılan çalışmalar, bölgedeki yoğun hayvancılık faaliyetlerinden kaynaklanan hayvansal atıkların biyogaz üretimi için önemli bir potansiyel sunduğunu ortaya koymaktadır. Şirin ve arkadaşlarının [49] çalışmasında, 2021 yılı hayvan varlığı temel alınarak il genelinde yıllık yaklaşık 1,45 milyon ton gübre elde edilebileceği; bunun da 57,45 milyon m³ biyogaz ve yaklaşık 2,70 milyar kWh elektrik eşdeğerine karşılık geldiği belirlenmiştir. Benzer şekilde, Van ili için yapılan başka bir çalışmada [50], ilçeler bazında biyogaz potansiyeli incelenmiş ve Erciş, Tuşba ve İpekyolu ilçeleri en yüksek potansiyele sahip bölgeler olarak öne çıkmıştır. Bu kapsamda il genelinde yıllık yaklaşık 50 milyon m³ biyogaz elde edilebileceği, bunun da 235 GWh elektrik üretimine denk geldiği ifade edilmiştir. Tablo 18'de BEPA verilerine göre Van ilinin biyokütle enerji potansiyeli verilmektedir.

Tablo 18. Van ili biyokütle enerji potansiyeli [57]

Bileşenler	Veriler
“Hayvan Sayısı” (adet)	3.279.904
“Hayvansal Atık Miktarı” (ton/yıl)	4.123.000
“Hayvansal Atıkların Teorik Enerji Eşdeğeri” (TEP/yıl)	21.149
“Hayvansal Atıkların Ekonomik Enerji Eşdeğeri” (TEP/yıl)	5.230
“Bitkisel Üretim Miktarı” (ton/yıl)	2.159.435
“Bitkisel Atık Miktarı” (ton/yıl)	159.748
“Bitkisel Atıkların Teorik Enerji Eşdeğeri” (TEP/yıl)	66.500
“Bitkisel Atıkların Ekonomik Enerji Eşdeğeri” (TEP/yıl)	3.830
“Belediye Atıkları Miktarı” (ton/yıl)	328.145
“Belediye Atıkların Teorik Enerji Eşdeğerleri” (TEP/yıl)	35.450
“Belediye Atıkların Ekonomik Enerji Eşdeğerleri” (TEP/yıl)	5.108
“Orman Varlığı Artıkları” (ster / yıl)	1.750
“Orman Varlığı Artıklarının Enerji Eşdeğeri” (TEP / yıl)	354,4
“Atıkların Toplam Teorik Enerji Eşdeğeri (TEP/yıl)”	123.453,4

6 DOĞU ANADOLU BÖLGESİ TOPLAM BİYOKÜTLE ENERJİ POTANSİYELİ

Doğu Anadolu Bölgesi'nin büyük bir kısmı yüksek plato ve dağlık alanlardan oluşur; ortalama rakımı yaklaşık 2.000 metre olup, Türkiye'nin en yüksek coğrafi bölgesidir. Karasal iklim, kısa ve serin yazlar, uzun kışlar ve yüksek rakımlar nedeniyle tarımın verimliliğini sınırlandırmaktadır. Doğu Anadolu Bölgesi'nin dağlık yapısı ulaşım ve altyapı yatırımlarında zorluklara yol açsa da, aynı zamanda hidroelektrik, jeotermal ve biyokütle gibi yenilenebilir enerji kaynakları açısından yüksek potansiyel sunmaktadır. Bölge genelinde tarım ve hayvancılık temel ekonomik faaliyetler olarak öne çıkmakta; buğday, arpa, şeker pancarı, patates gibi ürünler yetiştirilmekte ve büyükbaş ile küçükbaş hayvancılık yaygın olarak yapılmaktadır. Geniş meralar, orman altı ürünleri, tarımsal ve hayvansal üretimden kaynaklanan organik atıklar, biyokütle enerji üretiminde kullanılabilecek önemli kaynaklar arasında yer almaktadır [5, 76].

Doğu Anadolu Bölgesi'nde buğday, arpa, yem bitkileri, şeker pancarı ve patates gibi tarımsal ürünler yaygın olarak yetiştirilmektedir. Buğday, özellikle Erzurum, Kars, Ağrı ve Erzincan illerinde geniş alanlarda ekilmektedir ve bölgenin en temel tarımsal ürünüdür [63]. Arpa, özellikle hayvancılık faaliyetleriyle bağlantılı olarak büyükbaş ve küçükbaş hayvanların beslenmesinde kullanılan bir yem maddesi olarak büyük önem taşır [77]. Bölgedeki meyve

üretimi ise sınırlı olup, elma, kiraz ve üzüm gibi bazı meyve türleri yerel pazarlarda önemli bir yer tutmaktadır. Elazığ ve Malatya illeri, meyve üretimi açısından en öne çıkan iller olup, özellikle kayısı üretimiyle tanınmaktadır [78].

Doğu Anadolu Bölgesi, Türkiye'nin hayvancılık faaliyetlerinin yoğun olduğu coğrafi bölgelerden biridir. Bölge, yüksek dağlık alanlar ve geniş otlaklarla karakterize edilir ve bu özellikler, koyun, keçi, sığır ve at gibi hayvanların yetiştirilmesine olanak tanımaktadır [60]. Doğu Anadolu Bölgesi, sığır yetiştiriciliği açısından büyük bir potansiyele sahiptir. Erzurum, Ağrı, Van ve Bingöl illerinde sığır besiciliği yapılmaktadır ve bu illerde özellikle geleneksel sığır üretimi ön plandadır. Sığırların çoğunluğu süt ve et üretimi için yetiştirilmektedir [59].

Bölgenin en yaygın hayvancılık türü koyun yetiştiriciliği olup, Van, Kars, Erzurum ve Ağrı illerinde yoğunlaşmaktadır. Kars ve Ardahan, aynı zamanda Türkiye'nin en büyük koyun ve kuzu üretim merkezleri arasında yer alır. Koyunların üretimi, genellikle et ve süt üretimi amacıyla yapılmaktadır [63]. Keçi yetiştiriciliği de yaygın olup, özellikle Muş ve Bitlis illerinde önemli bir yer tutmaktadır [77]. Bölgenin Türkiye'nin toplam hayvan varlığı içinde önemli bir paya sahip olması, yüksek miktarda organik atık oluşumunu beraberinde getirmekte ve biyokütle enerjisi üretimi için büyük bir potansiyel sunmaktadır [5].

Tarımsal kalıntılar, hayvansal gübreler ve orman ürünlerinden kaynaklanan organik atıkların enerjiye dönüştürülmesi yoluyla bölge, hem yerel enerji ihtiyacının karşılanmasına katkı sağlayabilir hem de sürdürülebilir kalkınma hedeflerine destek verebilir [1,4].

Doğu Anadolu Bölgesi'ne özgü çalışmalar biyokütleden elde edilebilecek enerji potansiyelini detaylandırmıştır. Bu çalışmalara Koçer ve Ünlü [25], Çağlayan [26], Pence ve arkadaşları [27] tarafından yapılan çalışmalar örnek verilebilir.

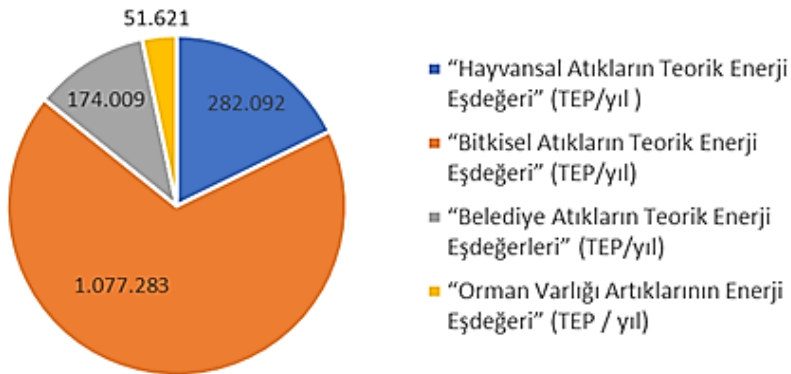
Doğu Anadolu Bölgesi'nin tarımsal atık kaynaklı biyokütle potansiyeli Koçer ve Ünlü [25] tarafından analiz edilmiştir. Bölgedeki 15 ilin yıllık kuru biyokütle miktarı ve kuru biyokütlenin ortalama ısı değeri hesaplanmıştır. Doğu Anadolu Bölgesi'nde tahıllar, baklagiller, endüstriyel bitkiler, yağlı tohumlar ve yumru bitkiler dikkate alınarak toplam ekilen 1.721.578 hektarlık alandan ortalama olarak 47.343.313 ton biyokütle potansiyelinin olduğu belirlenmiştir. Bu kuru biyokütlenin ortalama ısı değerinin 19.174.042 ton TEP olduğu hesaplanmıştır. Ayrıca Doğu Anadolu Bölgesinin biyokütle potansiyelinden etkin ve yaygın bir şekilde faydalanmak için öneriler de bulunulmuştur. Avcıoğlu ve Türker [8] tarafından hayvansal atıklardan elde edilecek biyogaz miktarı, Türkiye'nin tüm illeri için çiftlik hayvanı sayısı, kuru madde oranı ve bulunabilirlik gibi çeşitli kriterler göz önünde bulundurularak hesaplanmış; Türkiye'nin hayvansal atık haritası oluşturulmuştur. Türkiye'nin biyogaz enerji potansiyeli ve biyogaz enerji eşdeğeri, son tarım sayımındaki (2009) hayvan sayıları kullanılarak sırasıyla 2.177.553.000 m³ (2,18 Gm³) ve 49 PJ'dir (1170,4 kTEP) olarak bulunmuştur. 1 GJ'den fazla biyogaz enerji potansiyeline sahip iller arasında Erzurum ilinin de bulunduğu belirlenmiştir. Çağlayan [26], yaptığı çalışmada Doğu Anadolu Bölgesi'ne ait 14 ilin büyükbaş ve küçükbaş hayvan sayılarını temel alarak elde edilebilecek atık miktarını, bu atıklardan üretilebilecek biyogaz enerji potansiyelini ve bu enerjiden faydalanacak kişi sayısını belirlemiştir. Ardahan ili merkez ilçe nüfusunun yaklaşık %95,4'ünün, gerekli tesis kurulduğu takdirde enerji ihtiyacını biyogaz enerjisinden karşılayabileceği görülmüştür. Ağrı ili merkez ilçesi için bu sayı yaklaşık %83,6, Tunceli ili merkez ilçesi için ise yaklaşık %67,6 olarak hesaplanmıştır. Bölgeye uygun biyogaz tesislerinin kurulması halinde hem bölgedeki enerji ihtiyacının büyük oranda karşılanacağı hem de çevresel şartların daha kaliteli hale geleceği ifade edilmiştir. Pence ve arkadaşları [27] tarafından Türkiye genelinde yapılan makine öğrenmesi tabanlı bir projeksiyon çalışmasında, 2004–2021 dönemi verileri üzerinden 2022–2024 yılları için biyogaz potansiyeli ve metan emisyonları öngörülmüş, Türkiye'nin diğer illeri yanında Doğu Anadolu Bölgesi'nin bazı illeri (Ağrı, Bingöl, Erzincan, Hakkâri, Muş, Tunceli, Van) için de gelecek yıllara yönelik hayvansal kaynaklı biyogaz potansiyeli ve çevresel etkiler ortaya konmuştur. Tablo 19 BEPA verilerine göre Doğu Anadolu bölgesine ait toplam biyokütle enerji potansiyelini vermektedir. Şekil 2a'da Doğu Anadolu Bölgesi toplam hayvansal, bitkisel, belediye ve orman varlığı atıklarının teorik enerji eşdeğerleri, Şekil 2b'de Doğu Anadolu Bölgesi toplam hayvansal, bitkisel, belediye ve orman varlığı atıklarının ekonomik enerji eşdeğerleri verilmiştir.

Doğu Anadolu Bölgesi'ndeki her bir il için hayvansal atıkların ekonomik enerji eşdeğerleri, bitkisel atıkların ekonomik enerji eşdeğerleri, belediye atıklarının ekonomik enerji eşdeğerleri, orman varlığı atıklarının ekonomik enerji eşdeğerleri ve atıkların toplam ekonomik enerji eşdeğerleri Tablo 20'de verilmiştir. Tabloda ayrıca bu atıkların Doğu Anadolu Bölgesi için toplam değerleri de verilmiştir. Hayvansal atıkların enerji eşdeğerinin en yüksek olduğu il Elazığ, en düşük olduğu il Tunceli'dir (Şekil 3). Bitkisel atıkların enerji eşdeğerinin en yüksek olduğu il Elazığ, en düşük olduğu il Hakkâri'dir (Şekil 4). Belediye atıklarının enerji eşdeğerinin en yüksek olduğu il Van, en düşük olduğu il Tunceli'dir (Şekil 5). Doğu Anadolu Bölgesi için hayvansal atıkların ekonomik enerji eşdeğeri 76.166,00 TEP/yıl, bitkisel atıkların ekonomik enerji eşdeğeri 46.296,70 TEP/yıl, belediye atıklarının

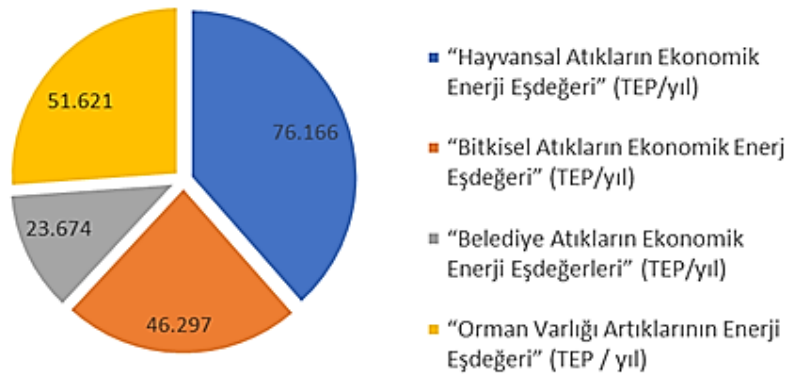
ekonomik enerji eşdeğeri 26.174,90 TEP/yıl ve orman varlığı artıklarının ekonomik enerji eşdeğeri 51.621,20 TEP/yıl olarak belirlenmiştir. Buna göre Doğu Anadolu Bölgesi için atıkların toplam ekonomik enerji eşdeğeri 200.258,80 TEP/yıl olmaktadır. Tüm atıkların toplam ekonomik enerji eşdeğeri yüksekten düşüğe doğru sıralandığında Erzurum, Elazığ, Kars, Ağrı, Malatya, Erzincan, Ardahan, Van, Iğdır, Muş, Bitlis, Bingöl, Hakkâri ve Tunceli sıralaması elde edilir (Şekil 6).

Tablo 19. Doğu Anadolu Bölgesi toplam biyokütle enerji potansiyeli [57]

Bileşenler	Veriler
“Hayvan Sayısı” (adet)	26.727.164
“Hayvansal Atık Miktarı” (ton/yıl)	35.858.622,20
“Hayvansal Atıkların Teorik Enerji Eşdeğeri” (TEP/yıl)	282.092,10
“Hayvansal Atıkların Ekonomik Enerji Eşdeğeri” (TEP/yıl)	76.166
“Bitkisel Üretim Miktarı” (ton/yıl)	15.899.550
“Bitkisel Atık Miktarı” (ton/yıl)	2.254.094,60
“Bitkisel Atıkların Teorik Enerji Eşdeğeri” (TEP/yıl)	1.077.283,20
“Bitkisel Atıkların Ekonomik Enerji Eşdeğeri” (TEP/yıl)	46.296,70
“Belediye Atıkları Miktarı” (ton/yıl)	1.818.432,30
“Belediye Atıkların Teorik Enerji Eşdeğerleri” (TEP/yıl)	174.008,60
“Belediye Atıkların Ekonomik Enerji Eşdeğerleri” (TEP/yıl)	23.673,80
“Orman Varlığı Artıkları” (ster / yıl)	227.244
“Orman Varlığı Artıklarının Enerji Eşdeğeri” (TEP / yıl)	51.621
“Atıkların Toplam Teorik Enerji Eşdeğeri (TEP/yıl)”	1.636.072,10



(a) Teorik enerji eşdeğeri



(b) Ekonomik enerji eşdeğeri

Şekil 2. Doğu Anadolu Bölgesi toplam biyokütle enerji potansiyeli [57]

Tablo 20. Doğu Anadolu Bölgesi'ndeki hayvansal, bitkisel, belediye, orman varlığı atıkları ve toplam atıkların enerji eşdeğerleri [57]

	HAEEE (TEP/yıl)	BİAEEE (TEP/yıl)	BEAEEE (TEP/yıl)	OVAEE (TEP/yıl)	ATEEE (TEP/yıl)
Ağrı	5.211,2	4.901,2	2.095,7	8.131,0	20.339,1
Ardahan	4.382,5	1.819,7	384,2	8.131,0	14.717,4
Bingöl	2.821,5	519,3	1.091,9	354,4	4.787,1
Bitlis	1.690,9	2.171,4	1.356,9	354,4	5.573,6
Elazığ	13.767,3	7.964,1	2.313,1	354,4	24.398,9
Erzincan	4.426,7	3.788,1	916,7	8.131,0	17.262,5
Erzurum	11.003,3	3.990,0	4.351,9	8.131,0	27.476,2
Hakkâri	868,4	278,7	1.127,5	354,4	2.629,0
Iğdır	2.845,3	2.779,1	766,8	8.131,0	14.522,2
Kars	8.142,3	3.725,5	1.121,7	8.131,0	21.120,5
Malatya	9.275,0	5.912,1	3.613,8	354,4	19.155,3
Muş	5.750,7	3.725,5	1.584,4	354,4	11.415,0
Tunceli	750,9	892,0	342,3	354,4	2.339,6
Van	5.230,0	3.830,0	5.108,0	354,4	14.522,4
Toplam	76.166,0	46.296,7	26.174,9	51.621,20	200.258,8

HAEEE: Hayvansal Atıkların Ekonomik Enerji Eşdeğeri

BİAEEE: Bitkisel Atıkların Ekonomik Enerji Eşdeğeri

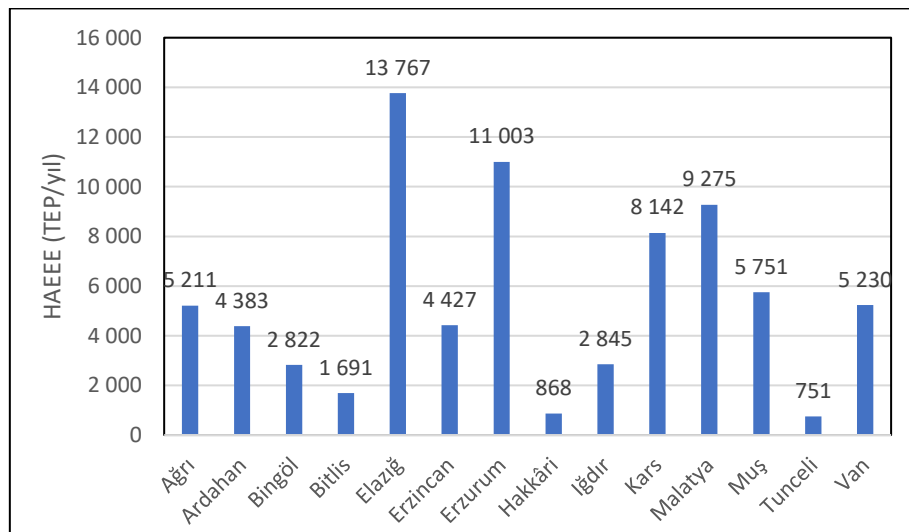
BEAEEE: Belediye Atıkların Ekonomik Enerji Eşdeğeri

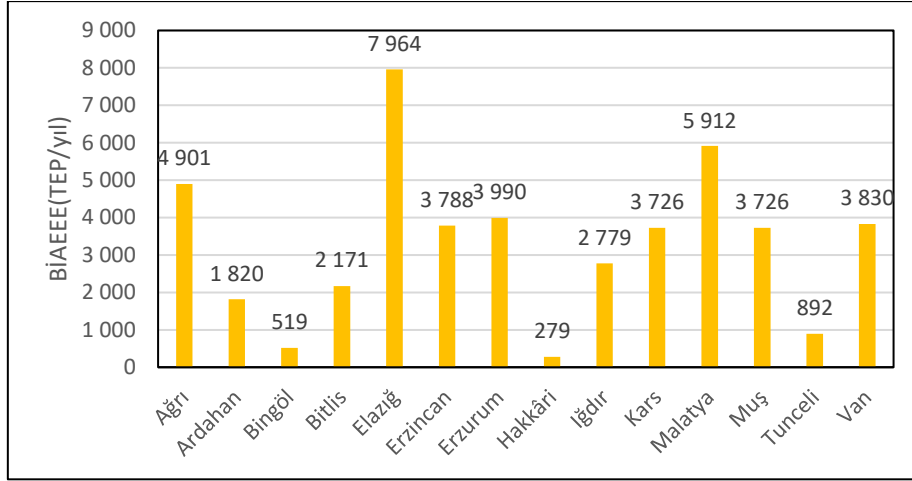
OVAEE: Orman Varlığı Artıklarının Enerji Eşdeğeri

ATEEE: Atıkların Toplam Ekonomik Enerji Eşdeğeri

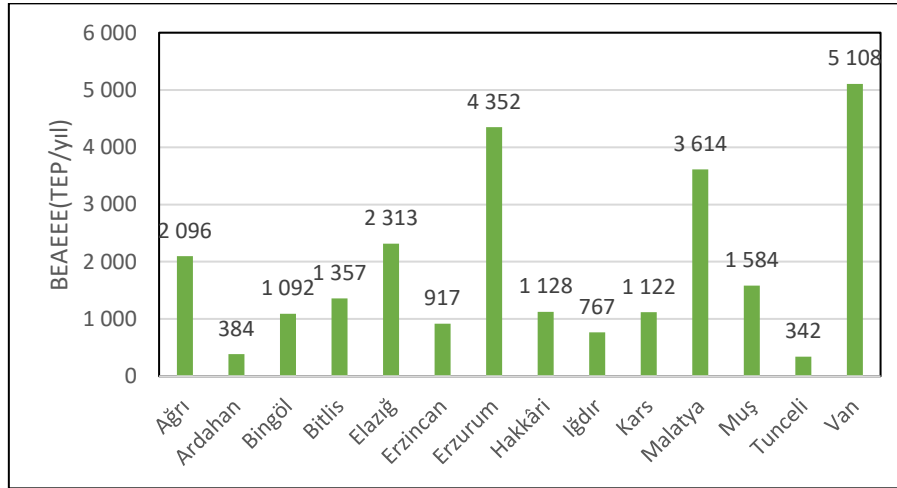
7 DOĞU ANADOLU BÖLGESİ İLLERİ BİYOKÜTLE ENERJİ SANTRALLERİ

Tablo 21'de Doğu Anadolu Bölgesi'ndeki işletmedeki biyokütle ve biyogaz enerji santralleri verilmiştir. Tablo Doğu Anadolu Bölgesi'nde her ildeki biyokütle enerjisi santrallerinin güncel durumu hakkında genel bir bakış sunmaktadır. Doğu Anadolu Bölgesi'nde Ağrı'da 1 adet, Bingöl'de 2 adet, Bitlis'te 1 adet, Elazığ'da 4 adet, Erzincan'da 2 adet, Erzurum'da 2 adet, Iğdır'da 1 adet, Malatya'da 5 adet ve Van'da 1 adet aktif biyokütle ve biyogaz enerji santralleri bulunmaktadır

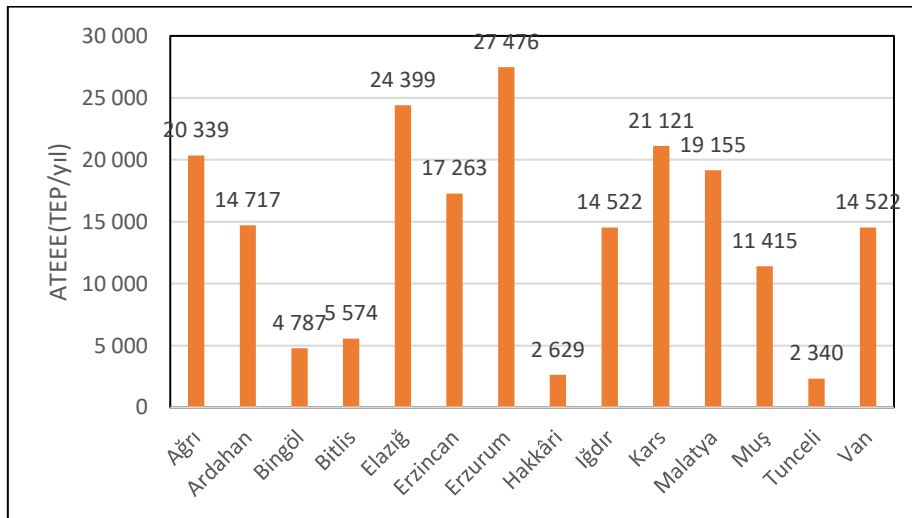
**Şekil 3.** Hayvansal atıkların ekonomik enerji eşdeğeri [57]



Şekil 4. Bitkisel atıkların ekonomik enerji eşdeğeri [57]



Şekil 5. Belediye atıklarının ekonomik enerji eşdeğeri [57]



Şekil 6. Atıkların toplam ekonomik enerji eşdeğeri [57]

Tablo 21. Doğu Anadolu Bölgesi'nde işletmedeki biyokütle ve biyogaz santralleri [57,59,79]

	İl	Santral Adı	Kurulu Güç (MWe)	Kaynak ve Teknoloji
1	Ağrı	Ağrı İli Katı Atık Enerji Üretim Tesisi	1.41	Belediye Atıkları
2	Bingöl	ITC Bingöl Enerji Üretim Tesisi	1.42	Çöp Gazı
3	Bingöl	Bingöl Biyogaz Tesisi	5.34	Hayvansal Atık, Bitkisel Atık, Endüstriyel Atık
4	Bitlis	Etab Enerji Bitlis Çöp Gazı Santrali	1.41	Çöp Gazı
5	Elazığ	Elazığ Biyokütle Enerji Santrali	2,64	Hayvansal Atıklar
6	Elazığ	Elazığ Hibrit BES/GES	0.65	Hayvansal Atıklar
7	Elazığ	ITC-KA Elazığ Çöp Gazı Santrali	2,21	Çöp Gazı
8	Elazığ	Elazığ Besi OSB Biyogaz Tesisi	3.00	Hayvansal Atıklar
9	Erzincan	ERA Erzincan Biyokütle Santrali	7.02	Atık Lastik
10	Erzincan	ERA Erzincan Biyokütle Santrali 2	2.64	Atık Lastik
11	Erzurum	BBRC Erzurum Enerji Üretim Tesisi	1.56	Belediye Atıkları
12	Erzurum	Bientaş Erzurum Elektrik Üretim Tesisi	2.4	Çöp Gazı
13	Iğdır	Iğdır Biyokütle Santrali	1.20	Belediye Atıkları
14	Malatya	Malatya 1 Çöp Gaz Elektrik üretim tesisi	2.40	Çöp Gazı
15	Malatya	Malatya 2 Çöp Gaz Elektrik üretim tesisi	2.83	Belediye Atıkları
16	Malatya	Malatya Çöp Gazlaştırma ve Yakma Tesisi	4,00	Diğer Atık, Çöp Gazı, Çöp Endüstriyel Odun Dışındaki Orman Ürünleri, Arıtma Çamurları
17	Malatya	RDF Biyokütle Enerji Santrali	15,79	Hayvansal Atık, Gıda ve Yem Değeri Olmayan Tarımsal Atıklar
18	Malatya	Tohma Biyogaz Tesisi	4.68	Belediye Atıkları
19	Van	Panda Van Elektrik Santrali	5.66	Belediye Atıkları

8 SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma Doğu Anadolu Bölgesi 14 ilinin (Ağrı, Ardahan, Bingöl, Bitlis, Elazığ, Erzincan, Erzurum, Hakkâri, Iğdır, Kars, Malatya, Muş, Tunceli, Van) biyokütle enerji profillerini araştırmak ve biyokütle enerji potansiyellerini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Bölge illerinin hayvansal atıkları, bitkisel atıkları, belediye atıkları ve orman varlığı atıkları göz önüne alınarak biyogaz üretim potansiyeli, teorik enerji eşdeğerleri ve ekonomik enerji eşdeğerleri incelenmiştir. Bu veriler kullanılarak Doğu Anadolu Bölgesi'nin toplam biyokütle enerji potansiyeli belirlenmiştir.

Bölgedeki hayvansal atıklar, bitkisel üretim atıkları, belediye atıkları ve orman artıklarının değerlendirilmesi sonucunda, Doğu Anadolu'nun teorik biyokütle enerji potansiyelinin oldukça yüksek olduğu görülmüştür.

Özellikle Erzurum, Elazığ, Kars, Ağrı, Malatya ve Van illeri; sahip oldukları hayvan varlığı, tarımsal üretim kapasitesi ve gelişmekte olan enerji altyapıları nedeniyle bölgenin biyokütle enerji üretiminde öncü konumda yer almaktadır. Bunun yanında Elazığ, Erzurum, Malatya, Kars, Muş, Van ve Ağrı gibi iller de hayvansal atık kaynaklı biyogaz üretimi açısından dikkate değer potansiyel göstermektedir.

Doğu Anadolu Bölgesi genelinde yapılan analizler, bölgedeki hayvansal atıklardan elde edilebilecek enerji miktarının, yerel elektrik tüketiminin önemli bir kısmını karşılayabilecek düzeyde olduğunu ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, mevcut potansiyelin enerjiye dönüştürülmesinde bazı kısıtlayıcı unsurlar bulunmaktadır. Bu unsurlar arasında; biyokütle toplama ve taşıma altyapısının yetersizliği, yatırım maliyetlerinin yüksekliği, teknolojiye erişim eksiklikleri, teşvik mekanizmalarının sınırlı olması ve kamu-özel sektör iş birliklerinin zayıf düzeyde kalması öne çıkmaktadır.

Bölgenin coğrafi koşulları, geniş yüzölçümü ve düşük nüfus yoğunluğu, biyokütle kaynaklarının dağınık bir şekilde bulunmasına neden olmakta; bu durum da lojistik maliyetleri artırarak tesis kurulmasını zorlaştırmaktadır. Ancak buna rağmen, tarımsal üretim ve hayvancılığa dayalı organik atık miktarının fazla olması, biyokütle enerjisinin bölge için sürdürülebilir bir alternatif olduğunu göstermektedir. Biyokütle kaynaklarının yerinde enerjiye dönüştürülmesi, kırsal kalkınmayı destekleyecek, atık yönetimini iyileştirecek ve çevresel etkileri azaltacaktır.

Özellikle hayvansal atık potansiyeli yüksek olan illerde küçük ve orta ölçekli köy tipi biyogaz tesislerinin kurulması desteklenmelidir. Bu tür tesisler hem enerji üretimini yerleştirir hem de kırsal kalkınmaya doğrudan katkı sağlar.

Sonuçlar, Doğu Anadolu Bölgesi'nin hayvansal ve bitkisel atıklar başta olmak üzere toplam biyokütle enerji potansiyelinin oldukça yüksek olduğunu ve bu potansiyelin ekonomik olarak değerlendirilebilmesi hâlinde bölgesel kalkınmaya önemli katkılar sunabileceğini ortaya koymaktadır. Ancak mevcut potansiyelin enerjiye dönüştürülmesinde altyapı eksiklikleri, yatırım maliyetleri, teşvik yetersizlikleri ve teknik bilgi sınırlılıkları önemli engeller olarak öne çıkmaktadır.

Mevcut biyokütle ve biyogaz tesislerinin faaliyette olması bölgenin enerji çeşitliliğine katkı sağlarken, planlama ve fizibilite aşamasında olan projeler bölgenin enerji potansiyelinin henüz tam olarak kullanılmadığını göstermektedir.

Bu bağlamda;

Bölge genelinde biyokütle/biyogaz tesislerinin kurulmasına yönelik fizibilite çalışmalarının artırılması,

Yerel yönetimler ve kalkınma ajanslarının biyokütle enerjisi yatırımlarını teşvik edici destek mekanizmaları geliştirmesi,

Tarım ve hayvancılıkla entegre biyogaz tesislerinin kırsal alanlarda yaygınlaştırılması,

Üniversiteler, kamu kurumları ve özel sektör arasında Ar-Ge iş birliklerinin güçlendirilmesi,

Biyokütle enerji kullanımını artırmak için teknolojik transfer ve eğitim programlarının uygulanması önerilmektedir.

Sonuç olarak, Doğu Anadolu Bölgesi'nin biyokütle ve biyogaz enerji potansiyelinin etkin kullanımı hem bölgesel kalkınmaya hem de Türkiye'nin sürdürülebilir enerji hedeflerine ulaşmasına önemli katkılar sağlayacaktır. Bu alanda yapılacak yatırımlar ve politika destekleri, bölgenin enerji bağımsızlığına ve çevresel sağlığına olumlu etkiler sunacaktır.

Yazar Katkıları

Abuzer DENİZ: Kavramlaştırma, Metodoloji, Veri analizi, Araştırma, Materyaller / Kaynaklar, Yazım - Özgün Taslak, Yazım - Değerlendirme & Düzenleme, Görselleştirme

Mehmet YILMAZ: Kavramlaştırma, Metodoloji, Araştırma, Materyaller / Kaynaklar, Yazım - Özgün Taslak, Yazım - Değerlendirme & Düzenleme, Görselleştirme, Süpervizyon

Yazarlar makalenin son halini okuyup onaylamışlardır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Kaynakça

- [1] IEA. International Energy Agency. World Energy Outlook. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022>.
- [2] REN21. Renewables global status report. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, 2023.
- [3] Demirbas A. Biofuels sources, biofuel policy, biofuel economy and global biofuel projections. Energy Conversion and Management, 49(8), 2106–2116, 2008.

- [4] Scarlat N., Fahl F., Dallemand J.-F. Status and opportunities for energy recovery from municipal solid waste in Europe. *Waste and Biomass Valorization*, 10, 2425–2444, 2019.
- [5] YEGM. Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü. Biyokütle enerjisi raporu. Ankara: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022.
- [6] EİE. Elektrik İşleri Etüt İdaresi. Türkiye'nin Biyokütle Enerji Potansiyeli Raporu. Ankara, 2010.
- [7] Kaygusuz K., Türker M.F. Biomass energy potential in Turkey. *Renewable Energy*, 26(4), 661-678, 2002.
- [8] Avcioglu A.O., Türker U. Status and potential of biogas energy from animal wastes in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 1557– 1561, 2012.
- [9] Ozturk M., Saba N., Altay V., Iqbal R., Hakeem K.R., Jawaid M., Ibrahim F.H. Biomass and bioenergy: An overview of the development potential in Turkey and Malaysia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79, 1285-1302, 2017.
- [10] Şenol H., Dereli M.A., Özbilgin F. Investigation of the distribution of bovine manure-based biomethane potential using an artificial neural network in Turkey to 2030. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 149, 111338, 2021.
- [11] Aksay M.V., Tabak A. Mapping of biogas potential of animal and agricultural wastes in Turkey. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 12, 5345-5362, 2022.
- [12] Gürel, B. Türkiye'deki güncel biyokütle potansiyelinin belirlenmesi ve yakılmasıyla enerji üretimi iyi bir alternatif olan biyokütle atıklar için sektörel açıdan ve toplam yanma enerji değerlerinin hesaplanması. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8(2), 407-416, 2020.
- [13] Çağal F.E. Biyokütle enerjisi potansiyelinin Türkiye açısından değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı, İstanbul, 2009.
- [14] Akbulut A., Dikici A. Elazığ ilinin biyogaz potansiyeli ve maliyet analizi. *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları*, 2(2), 36–41, 2004.
- [15] Altıkat S., Çelik A. (2012). Iğdır ilinin hayvansal atık kaynaklı biyogaz potansiyeli. *Iğdır Üni. Fen Bilimleri Enst. Der.*, 2(1), 61–66, 2012.
- [16] Çağlayan G.H., Koçer N.N. Muş ilinde hayvan potansiyelinin değerlendirilerek biyogaz üretiminin araştırılması. *Muş Alparslan Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2(1), 215–220, 2014.
- [17] Gündöndü F., Koç A.K. Van Büyükşehir Belediyesi Erçek biyogaz enerji üretim santrali projesi fizibilite raporu. *Doğu Anadolu Kalkınma Ajansı (DAKA)*, Van, 1-132, 2022.
- [18] Topal M., Topal E.I.A. Elazığ ili biyokütle enerji potansiyeli üzerine: 2000-2010. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 3(2), 21-30, 2012.
- [19] Cura, E. Yenilikçi bir çiftlik tipi biyogaz tesisinin tasarımına, fizibilitesine ve kurulumuna dair bir çalışma. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Medeniyet Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Çevre ve Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 2022.
- [20] Akbulut A., Arslan O., Arat H., Erbaş O. Important aspects for the planning of biogas energy plants: Malatya case study. *Case Studies in Thermal Engineering*, 26(1), 101076, 2021.
- [21] Özdemir M. Gaziantep ili biyogaz enerji potansiyelinin araştırılması ve çiftlik tipi 50 m3 kapasiteli biyogaz tesis tasarımı. Yüksek Lisans Tezi. İskenderun Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun, 2023.
- [22] Kömür D., Göksu N. Türkiye'de biyogaz tesislerine genel bir bakış. *Journal of West European Social Sciences*, 2(1), 137-148, 2025.
- [23] Kaya D., Çağman S., Eyidoğan M., Aydoner C., Çoban V., Tırıs M. Türkiye'nin hayvansal atık kaynaklı biyogaz potansiyeli ve ekonomisi. *Atık Teknolojileri Dergisi*, Sayı 1, Temmuz-Ağustos 2009.
- [24] Ergişi B. Türkiye'de hayvansal kaynaklı biyogaz potansiyelinin hesaplanması ve tesis yerinin çok kriterli karar verme yöntemleriyle belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Kırıkkale, 2019.
- [25] Koçer N., Ünlü A. Doğu Anadolu bölgesinin biyokütle potansiyeli ve enerji üretimi. *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları*, 5(2), 175-181, 2007.

- [26] Çağlayan G.H. Doğu Anadolu Bölgesindeki büyükbaş ve küçükbaş hayvan atıklarının biyogaz potansiyelinin incelenmesi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 7(3), 672-681, 2020.
- [27] Pence I., Kumaş K., Cismeli M.S., Akyüz A. Future prediction of biogas potential and CH₄ emission with boosting algorithms: the case of cattle, small ruminant, and poultry manure from Turkey. *Environmental Science and Pollution Research*, 31, 24461–24479, 2024.
- [28] Erhan M.K. Ağrı ili büyükbaş hayvan varlığı ve hayvansal atıklardan biyogaz ve elektrik üretiminin Ağrı ili ve ülke ekonomisine katkısı. *Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 5(2), 207-216, 2019.
- [29] Kılıç M.Y., Topaç F.O. Hayvansal atıklardan biyogaz potansiyelinin belirlenmesi: Ağrı ili örneği. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 30(2), 407–417, 2025.
- [30] Boylam Mühendislik ve Çevre Yönetimi Ltd. Şti. Biyogaz ve enerji potansiyelinin araştırılmasına yönelik fizibilite çalışması. Ardahan: Ardahan Belediyesi, 2013.
- [31] Özer B. Biogas energy opportunity of Ardahan city of Turkey. *Energy* 139, 1144-1152, 2017.
- [32] SERKA. Serhat Kalkınma Ajansı. Ardahan ili biyogaz tesisi ön fizibilite raporu, 2020.
- [33] Demir Ü., Çulun P. Investigation of biogas potential from animal waste in Bingöl province. *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 11(1), 36–42, 2022.
- [34] Işık S., Yavuz S. Investigation of biogas production potential from livestock manure by anaerobic digestion in Bingöl province. *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 11(1), 116-122, 2022.
- [35] Yetiş A.D., Gazizil L., Yetiş R., Çelikezen B. Hayvansal atık kaynaklı biyogaz potansiyeli: Bitlis örneği. *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, 7(1), 74–78, 2019.
- [36] FKA. Fırat Kalkınma Ajansı. Elazığ ili biyogaz üretim tesisi ön fizibilite raporu. 1-49, 2021.
- [37] Badem A. Erzincan ilindeki hayvansal atıkların biyogaz potansiyelinin değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Erzincan, 2017.
- [38] Seyhan A.K., Badem A. Erzincan ilindeki hayvansal atıkların biyogaz potansiyelinin araştırılması. *Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 6(1), 25-5, 2018.
- [39] Kobya M. Sığır gübresinden biyogaz üretimi ve Erzurum koşulları için bir biyogaz tesis tasarımı. Yüksek Lisans Tezi. Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Erzurum, 1992.
- [40] Yapraklı S., Bayramoğlu T. Biyokütle enerjisi potansiyeli ve ekonomik etkileri: TRA1 Bölgesi üzerine bir saha araştırması. *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 18(2), 319–336, 2014.
- [41] Tırınk S. Hayvansal atıkların biyogaz üretim potansiyelinin hesaplanması: Iğdır ili örneği. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 12(1), 152-163, 2022.
- [42] Kuş E., Yıldırım Y., Kuş A.Ç., Demir B. Iğdır ili tarımsal biyokütle potansiyeli ve enerji eşdeğeri. *Iğdır Üni. Fen Bilimleri Enst. Der.* 6(1), 65-73, 2016.
- [43] Coşkun N.Y., Atalay H., Çoban M.T. Biyogaz enerjisi destekli süt soğutma sistemi performansının simülasyon ve deneysel olarak incelenmesi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(2), 1199-1211, 2023.
- [44] Demir M. Kars ilinin biyokütle enerji potansiyeli ve kullanılabilirliği. *Türk Coğrafya Dergisi*, 68, 31-41, 2017.
- [45] Matur U.C., Atasayın A. Hayvan gübresinden biyogaz üretim potansiyelinin belirlenmesi: Ankara, Gaziantep, Kars. *Mühendis ve Makina*, 65(716), 409–431, 2024.
- [46] Kurt G., Koçer N.N. Malatya ilinin biyokütle potansiyeli ve enerji üretimi. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 26(3), 240-247, 2010.
- [47] Koçer N.N., Kurt, G., Malatya’da hayvancılık potansiyeli ve biyogaz üretimi. *SAÜ. Fen Bil. Der.*, 17(1), 1-8, 2013.
- [48] Arslan Ö. Muş kentinin hayvansal atıklarının biyogaz üretimiyle etkin değerlendirilmesinin kırsalın ekonomisine katkısı. In *Stratejik Sektör: (İKSAD Yayınevi TARIM)* pp. 87–110, 2022.

- [49] Şirin Ü., Karaman S., Erkuş F.Ş., Tüfenkçi Ş., Tuncay K. Van ilinde hayvan gübrelerinden elde edilecek biyogaz enerji potansiyelinin belirlenmesi. *Türk Tarım-Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 10(1), 2848-2854, 2022.
- [50] Gazigil L., Yetiş R., Demir Yetiş A. Sürdürülebilir enerji geleceği: Hayvancılık atıklarıyla biyogaz üretimi ve enerji potansiyelinin araştırılması. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 30(1), 107-122, 2025.
- [51] Demirbaş A. Biomass resource facilities and biomass conversion processing for fuels and chemicals. *Energy Conversion and Management*, 42(11), 1357-1378, 2001.
- [52] McKendry P. Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. *Bioresource Technology*, 83(1), 37-46, 2002.
- [53] Bridgwater A.V. Renewable fuels and chemicals by thermal processing of biomass. *Chemical Engineering Journal*, 91(2-3), 87-102, 2003.
- [54] IEA Bioenergy. Bioenergy in the transition to a low carbon future, 2021.
- [55] Tilman D., Socolow R., Foley J.A., Hill J., Larson E., Lynd L., Pacala S., Reilly J., Serachinger T., Somerville C., Williams R. Beneficial biofuels – The food, energy, and environment trilemma. *Science*, 325(5938), 270-271, 2009.
- [56] Nguyet D.T., Hoa P.T.T., Chau P.M. Biomass energy and the benefits it brings. *EJERS, European Journal of Engineering Research and Science*, 4(8), 2019.
- [57] BEPA. Biyokütle Enerji Potansiyeli Atlası. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. Enerji İşleri Genel Müdürlüğü. <https://bepa.enerji.gov.tr/>. Erişim tarihi: 1 Haziran 2025.
- [58] Hatunoğlu E.E. Biyoyakıt politikalarının tarım sektörüne etkileri. Devlet Planlama Teşkilatı Uzmanlık Tezleri, Yayın No. 2814, Ankara, 2010.
- [59] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. Biyokütle. Ankara: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. 2025. Erişim adresi: <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-biyokutle> (Erişim tarihi: 15 Eylül 2025).
- [60] T.C. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). İstatistiklerle Türkiye. Ankara: TÜİK. 2025. Erişim adresi: <https://www.tuik.gov.tr/> (Erişim tarihi: 10 Eylül 2025).
- [61] MTA. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü. Türkiye Fiziki Haritası ve İllerin Coğrafi Bilgileri, 2022.
- [62] A.K. Gabriel Biomass As An Alternative Source Of Energy In Ghana. A Case Study for Biogas Production. Vaasan Ammattikorkeakoulu University Of Applied Sciences Energy And Environmental Engineering, School of Technology, 2019.
- [63] T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı iletişim sayfası. Ankara: T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı. 2025. Erişim adresi: <https://www.tarimorman.gov.tr/> (Erişim tarihi: 13 Eylül 2025).
- [64] T.C. Ardahan İl Tarım ve Orman Müdürlüğü. Ardahan'ın Coğrafi Özellikleri. 2025. Erişim adresi: <https://ardahan.tarimorman.gov.tr/> (Erişim tarihi: 19 Eylül 2025).
- [65] T.C. Bitlis İl Tarım ve Orman Müdürlüğü. İlimiz. 2025. Erişim adresi: <https://bitlis.tarimorman.gov.tr/> (Erişim tarihi: 13 Eylül 2025).
- [66] T.C. Erzincan İl Tarım ve Orman Müdürlüğü. Erzincan İli Tarımsal Yapısı ve Potansiyeli. 2025. Erişim adresi: <https://erzincan.tarimorman.gov.tr/> (Erişim tarihi: 10 Ekim 2025).
- [67] T.C. Erzurum İl Tarım ve Orman Müdürlüğü. Erzurum İli Tarımsal Yapısı ve Potansiyeli. 2025. Erişim adresi: <https://erzurum.tarimorman.gov.tr/> (Erişim tarihi: 10 Eylül 2025).
- [68] T.C. Hakkâri İl Tarım ve Orman Müdürlüğü. Hakkâri İli Tarımsal Yapısı ve Potansiyeli. 2025. Erişim adresi: <https://hakkari.tarimorman.gov.tr/> (Erişim tarihi: 12 Kasım 2025).
- [69] T.C. Iğdır İl Tarım ve Orman Müdürlüğü. Iğdır İli Tarımsal Yapısı ve Potansiyeli. 2025. Erişim adresi: <https://igdir.tarimorman.gov.tr/> (Erişim tarihi: 10 Eylül 2025).
- [70] T.C. Kars İl Tarım ve Orman Müdürlüğü. Kars ili Tarımsal Yapısı ve Potansiyeli. 2025. Erişim adresi: <https://kars.tarimorman.gov.tr/> (Erişim tarihi: 10 Eylül 2025).
- [71] T.C. Malatya İl Tarım ve Orman Müdürlüğü. Malatya ili Tarımsal Yapısı ve Potansiyeli. 2025. Erişim adresi: <https://malatya.tarimorman.gov.tr/> (Erişim tarihi: 01 Kasım 2025).

- [72] T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. Muş İl Çevre Durum Raporu. 2023. Erişim adresi: <https://csb.gov.tr/> (Erişim tarihi: 20 Eylül 2025).
- [73] T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Tunceli İl Çevre Durum Raporu. 2023. Erişim adresi: <https://csb.gov.tr/> (Erişim tarihi: 20 Eylül 2025).
- [74] T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. 2024 Yılı İl Çevre Durum Raporları. Erişim adresi: <https://ced.csb.gov.tr/2024-yili-il-cevre-durum-raporlari-i-113266> (Erişim tarihi: 17 Eylül 2025).
- [75] T.C. Van İl Tarım ve Orman Müdürlüğü. Van İli Tarımsal Yapısı ve Potansiyeli. 2025. Erişim adres: <https://van.tarimorman.gov.tr/> (Erişim tarihi: 11 Kasım 2025).
- [76] Çepel N. Ekosistem Ekolojisi ve Türkiye'nin Ekosistemleri. Ankara: T.C. Orman Bakanlığı Yayınları, 2008.
- [77] FAO. Food and Agriculture Organization. Agricultural Statistics in Eastern Anatolia: Trends and Opportunities. Roma: FAO, 2021. Erişim adresi: <https://www.fao.org/> (Erişim tarihi: 12 Ekim 2025).
- [78] OECD. Organisation for Economic Cooperation and Development. Agriculture and Rural Development in Eastern Anatolia: Challenges and Policy Responses. Paris: OECD Publishing, 2020. Erişim adresi: <https://www.oecd.org/> (Erişim tarihi: 25 Eylül 2025).
- [79] Enerji Ajansı. 2025 nihai YEK listesi, 2025. Erişim adresi: <https://enerjiajansi.com.tr> (Erişim tarihi: 20 Eylül 2025)