

Sarıcakaya İlçesinin Güneş ve Biyogaz Enerji Potansiyelinin Hesaplanması

Harun KAYNARCA¹, Özlem ONAY^{2*}

Öz

Güneş enerjisi ve biyogaz enerjisinin kullanılması çevre sorunlarını azaltmak, enerji ekonomisine, enerji arz güvenliğine katkı sağlaması ve istihdamın artmasına olanak sağlaması bakımından oldukça önemli kaynaklardır. Eskişehir'in Sarıcakaya ilçesinin güneş enerjisi ve biyogaz enerji potansiyeli incelenmiştir. Sarıcakaya'nın en az güneşlenme süresinde günlük enerji ihtiyacını 28.200 adet 385 Wp gücündeki paneller ile karşılayabileceği ve yıllık ortalama güneşlenme saati ile yıllık enerji ihtiyacının 2 katından fazlasını karşılayabileceği hesaplanmıştır. 2021 yılı hayvan varlığı referans alındığında, elde edilebilecek toplanabilir faydalı gübre miktarı 34.711 ton/yıl'dır. Elde edilen gübre ile üretilen metan (CH₄) cinsinden biyogaz miktarı 1.109.951 m³ CH₄/yıl olarak hesaplanmıştır. Biyogazın elektrik enerjisine çevrilmesiyle ilçenin yıllık elektrik ihtiyacının %45'inden fazlası karşılanabilecektir. Güneş enerjisi ve biyogaz ile üretilen elektrik enerjisinin toplam karbondioksit (CO₂) salınımının 530 ton-CO₂/GWh olacağı ve diğer enerji kaynaklarına göre 326 ton-CO₂/GWh ile 23.222 ton-CO₂/GWh salınımını önenebileceği hesaplanmıştır. Bu hesaplama sonuçları, Sarıcakaya ilçesinin güneş enerjisi ve biyogaz enerjisinin değerlendirilmesi enerji ekonomisine ve CO₂ salınımının önlenmesine ciddi katkı sağlayacağını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Sarıcakaya, Güneş enerjisi, Biyogaz, CO₂ salınımı.

Calculation of Solar and Biogas Energy Potential of Sarıcakaya

Abstract

The use of solar energy and biogas energy are very important resources in terms of reducing environmental problems, contributing to the energy economy, energy supply security and increasing employment. The solar energy and biogas energy potential of Sarıcakaya district of Eskişehir was examined. It has been calculated that Sarıcakaya can meet its daily energy needs with 28,200 panels of 385 Wp power during minimum sunshine hours, and can meet more than 2 fold its annual energy needs with its annual average sunshine hours. Taking the animal existence of 2021 as a reference, the amount of collectible useful fertilizer that can be obtained was 34,711 tons/year. The amount of biogas in terms of methane (CH₄) to be produced with the resulting fertilizer was calculated as 1,109,951 m³ CH₄/year. By converting biogas into electrical energy, more than 45% of the district's annual electricity needs can be met. It was calculated that the total CO₂ emission of the electrical energy to be produced with solar energy and biogas will be 530 tons-CO₂/GWh and that 326 tons-CO₂/GWh and 23,222 tons-CO₂/GWh emissions can be prevented compared to other energy sources. These calculation results show that the utilization of solar energy and biogas energy of Sarıcakaya district will make a serious contribution to the energy economy and the prevention of carbon dioxide emissions.

Keywords: Sarıcakaya, Solar energy, Biogas, CO₂ emission.

¹Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Eskişehir, Türkiye, harunkaynarca@yahoo.com

²Anadolu Üniversitesi, Porsuk Meslek Yüksekokulu, Eskişehir, Türkiye, oonay@eskisehir.edu.tr

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author

Geliş/Received: 10.08.2023

Kabul/Accepted: 30.06.2024

Yayın/Published: 15.09.2024

1. Giriş

Günümüzde teknolojik gelişim, insanlığın yaşam konforunu ileri seviyelere getirmiş ve bundan dolayı da yaşamın her alanında enerji ihtiyacı zorunlu hale gelmiştir. İhtiyaç duyulan enerjinin karşılanması için en iyi yöntemlerin kullanılması ülke yönetimlerinin öncelikli ödevleri arasında yer almaktadır (Yılmaz, 2012).

Dünyada ihtiyaç duyulan enerji çeşitli kaynak ve teknolojiler kullanılarak üretilmektedir. Günümüzde en çok yararlanılan enerji kaynağı olan fosil yakıtlardır. Ancak fosil yakıtların önemli dezavantajları vardır. Bunların en önemlisi, fosil yakıtların oluşumu milyonlarca yıl sürdüğü için yenilenemeyen ve araştırma kaynaklarına göre 150 yıl içerisinde tükenecek olmalarıdır (Yılmaz ve ark., 2018). Fosil yakıtlar dünyanın her bölgesinde bulunamadığı için tüm ülkelerin kolaylıkla elde edebileceği bir enerji kaynağı değildir. Özellikle petrolün belli başlı ülkelerden temin edilmesi stratejik olarak diğer ülkeleri zor duruma düşürmektedir. Bu durum 1973 yılındaki petrol krizinde enerjide dışa bağımlı ülkeler tarafından yaşanarak tecrübe edilmiş ve enerjide dışa bağımlılığı azaltacak alternatif enerji kaynaklarını geliştirme çalışmalarına başlamışlardır (Karagöl, 2017). Günümüzde Rusya ve Ukrayna savaşından dolayı özellikle Avrupa ülkelerinde daha çok yaşanan enerji krizi, enerji tedariginde milliliğin ve çeşitliliğin ne kadar önemli olduğunu bir kez daha ortaya koymuştur. Fosil yakıtların bir diğer önemli dezavantajı da hava ve çevre kirliliğinin ana nedenlerinden biri olmasıdır. Fosil yakıt kullanımı atmosfer sera gazı dengesini bozmasıyla iklim değişikliğine ve zararlı gaz, partikül salınımı ile de başta insan sağlığı olmak üzere tüm canlılara zarar vermektedir.

Ülkeler, enerji arz güvenliklerini sağlamak ve çevre kirliliğini azami ölçüde azaltmak için yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanma imkanlarını geliştirmeye başlamışlardır. Özellikle fosil kaynak rezervleri bulunmayan gelişmiş ülkeler, yenilenebilir enerji teknolojilerini geliştirmede dünyaya liderlik ve rehberlik etmektedirler.

Yenilenebilir enerji kaynakları başlıca güneş, rüzgâr, su, biokütle, hidrojen ve jeotermal enerjiden oluşan ve kendi kendilerini yenileyebildikleri için sürekli ve tekrar tekrar kullanılabilen tükenmeyen enerji kaynaklarıdır. Her ülkenin kendi jeolojik ve coğrafi yapısına bağlı olarak yenilenebilir enerji potansiyeli mevcuttur. Yenilenebilir enerji, ülkelerin enerji arzına olan faydasının yanında çevre kirliliğinin azaltılmasında da büyük katkı sağlayan etkidir.

Dünyada en yaygın kullanılan yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisi, hidrojenin füzyon yoluyla helyuma dönüşmesidir. Bu dönüşümden oluşan ışımlar dünyaya ulaşarak insanlığın kullanımı için muazzam bir enerji kaynağı sağlamaktadır. Güneş tükenmeyen bir enerji kaynağıdır. Güneş enerjisi temiz, ucuz, bozulmayan ve taşıma zahmeti olmayan yerli bir enerji kaynağıdır (Yılmaz,2012).

Güneş enerjisinden elektrik üretmek için fotovoltaik sistemler daha çok uygun arazilere, çatılara, bina cephelerine, örtülü tarım alanlarına, agrivoltaik olarak adlandırılan sistem ile tarım alanlarına, su kanallarının üzerine, açık denizlere ve su kaynaklarının üzerine yüzer şekilde kurularak enerji üretimini sağlamaktadır.

Tarım üretimini engellemek için tarım alanlarına kurulmayan güneş panelleri günümüzde tarım üretimi ile birlikte enerjinin de üretilebileceği uygulamalar geliştirilmiştir. Seralar genellikle açık alanlara kurulduğu için sera çatıları her zaman yeterli güneş ışınlarına maruz kalırlar. Bundan dolayı elektrik üretimi için uygun alanlardır. Dayanıklı malzemeden imal edilmiş sera yapılarının güçlü çatılarına fotovoltaik paneller kurulduğu gibi daha basit imal edilen plastik örtülü seralarda güneş ışınlarının düştüğü tarafa direkler üzerine kurulan fotovoltaik panel uygulamaları da yapılabilmektedir.

Agrivoltaik olarak adlandırılan uygulamada birkaç metre yükseklikteki platformların üzerine kurulan güneş panellerinin altında tarım ürünleri yetiştirilmekte, hayvancılık yapılabilmekte ve hatta yağmur sularının toplanması bile sağlanmaktadır. Agrivoltaik uygulamalarının, enerji üretiminin yanında tarım ve hayvancılığa oldukça faydası olduğu bilinmektedir. Panellerin gölgeleme sağlaması, topraktan daha az suyun buharlaşarak toprağın nemli kalmasına katkı sağladığı gibi çiftçilerin, hayvanların ve tarım ürünlerinin ihtiyaç duyduğu mikro klima etkisini sağlamaktadır (Rosch, 2023).

Bir diğer önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından biride biokütle enerjisidir. Biokütle kaynaklarının yakılarak enerji elde edilmesi, eskiden beri uygulanan klasik bir yöntemdir. Günümüzde teknoloji ve teknik imkanları kullanarak, biyokütle kaynaklarını havasız çürütme, hidroliz, esterleşme reaksiyonu ve mayalanma gibi reaksiyonlara uğratarak yüksek kaliteli biyoyakıtlar elde edilebilmektedir (Torunoğlu Gedik, 2015). Önemli bir biyoyakıt olan biyogaz, hayvansal, bitkisel, organik içerikli şehir ve endüstriyel atıkların havasız bir ortamda çeşitli bakteri grupları tarafından parçalanarak ortaya çıkartılan havadan hafif, renksiz, kokusuz büyük miktarda metan (CH₄) ve karbondioksit (CO₂) ihtiva eden yanıcı bir gazdır (Gülşen ve ark., 2019; Yenilmez, 2015; Çanka Kılıç, 2011).

Bu çalışmada; Eskişehir iline bağlı Sarıcakaya ilçesinin güneş ve biyogaz enerji potansiyeli hesaplanmıştır. Bu yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilecek elektrik enerjisinin ilçe elektrik tüketimine olan katkısı ve bu katkı ile birlikte diğer enerji kaynaklarına göre CO₂ salınım miktarı incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Güneş Enerjisi Potansiyelinin Hesaplanması

Birçok elektrikli cihazın kullanıldığı tesis, konut ve yaşam alanı gibi yapıların elektrik kullanım miktarları farklıdır. Bu nedenle elektrik ihtiyacının güneş enerjisi ile karşılanması için aylık ya da haftalık enerji kullanımları belirlenerek ortalama günlük elektrik ihtiyaçları hesaplanır. Günlük ortalama elektrik enerjisi ihtiyacına göre de güneş enerji sistem kapasitesi belirlenir (Alkan ve ark., 2014).

Güneş enerji sistemlerinde üretilen enerjinin tamamı maalesef sistemde kullanılamaz. Bunun sebebi ise güneş enerji sistemlerindeki fotovoltaik panellerin toz, gölge, kar gibi etkenlere maruz kalması, invertör, akü gibi cihazların çalışma verimleri bağlı olarak enerji kayıplarına uğramasıdır. İhtiyaç duyulan elektrik enerjisinin üretilmesi için bu kayıplar dikkate alınmalıdır. Her cihazın kendine öz verimliliği olmakla birlikte Fotovoltaik pillerin verimliliği (η_{pv}) %80, akü verimliliği ($\eta_{akü}$) %80 ve invertör verimliliği (η_{inv}) %90 civarındadır. Bu oranlar dikkate alınarak sistem verimliliği (η_{sis}) denklem (1) ile hesaplanır (Alkan ve ark., 2014).

$$\eta_{sis} = \eta_{pv} * \eta_{akü} * \eta_{inv} = 0,80 * 0,80 * 0,90 = 0,58 \quad (1)$$

Sistem verimliliği dikkate alınarak üretilmesi gereken elektrik enerjisi denklem (2) ile hesaplanır. Denklemde ÜGE üretilmesi gereken enerji, YE yükün enerjisini ifade etmektedir.

$$\dot{U}GE = YE / \eta_{sis} \quad (2)$$

Panel sayısı, üretilmesi gereken enerji miktarı ve güneşlenme süresine göre denklem (3) ile hesaplanır. Denklemde PS panel sayını ifade etmektedir.

$$PS = \frac{\dot{U}GE}{\text{Bir Güneş Panelinin Gücü} * \text{Güneşlenme Süresi}} \quad (3)$$

Elektrik enerjisinin üretilmediği kapalı günlerde ise enerji ihtiyacı aküler ile karşılanabilir. Akü kapasitesini belirlemek için kapalı geçen gün sayısı ve bu günlerde ihtiyaç duyulacak enerji miktarı bilinmelidir. Bununla birlikte kullanılacak akülerin deşarj faktörü de bilinmelidir. Akü kapasitesi hesabı denklem (4) ile hesaplanır. Denklemde KGGS kapalı gün sayısını ifade etmektedir (Alkan ve ark., 2014).

$$Akü Kapasitesi = \frac{\text{ÜGE}}{\text{Deşarj Olma aktörü}} \times KGGS \quad (4)$$

Kurulacak panellerin ihtiyaç duyduğu alanı hesaplamak için denklem (5)'ten faydalanılır. Denklemden A ihtiyaç duyulan alanı, P_{en} panelin enini, P_{boy} ise panelin boyunu ifade etmektedir (Gürgen, 2016).

$$A = PS * P_{en} * P_{boy} \quad (5)$$

Güneş enerji sistemi için ihtiyaç duyulan arazi miktarını hesaplarken hesaplanan panel alan hesabına istinaden sistemin konum, eğim, gölgelenme alanı, kablolama, diğer sistem elemanları ve çalışma alanlarını da hesaplamak gerekir.

Günümüzde gelişen fotovoltaik piller 675 Wp değerine kadar ulaşmış olup ortalama yüzey alanları 2,1 m²'dir. Kullanılan fotovoltaik teknolojilerine ve kurulum şekillerine bağlı olarak 1 MWe elektrik enerjisi üretebilmek için 13 – 25 dönüm araziye ihtiyaç duyulmaktadır (ETKB, 2022).

2.2. Biyogaz Potansiyelinin Hesaplanması

Hayvansal atıklardan elde edilebilecek biyogaz miktarı hesaplanırken hayvansal atık türlerinin yanında toplanabilirlik oranları da dikkate alınmalıdır. Her tür ve cins hayvanın günlük gübre miktarı farklı olmakla birlikte gübre toplanabilme imkanları farklıdır. Büyük çiftliklerde hayvanlar besihanelerden çıkarılmadan yetiştirilmektedir. Bundan dolayı gübrelerin tümü elde edilebilir. Daha çok kırsal kesimlerde az sayıdaki büyük baş hayvana sahip ve küçük baş yetiştiricileri yılın uygun mevsimlerinde hayvanlarını meralarda otlatırlar. Merada otlatılan hayvanların gübreleri meralarda kalır. Dolayısıyla gübreler kapalı alanlarda toplanabildiği için yetiştirilen hayvanların kapalı alanlarda ne kadar süre ile beslendikleri önemli bir faktördür. Bundan dolayı hayvansal atıktan elde edilecek biyogaz hesabında gübrelerin sadece toplanabilme oranı dikkate alınır (Kaynarca ve ark., 2021).

Biyogaz miktarı; yaş gübre üretim miktarı, toplanabilir gübre oranı, gübredeki katı madde oranı, katı madde miktarı içerisindeki uçucu katı madde oranı ve uçucu katı madde içerisindeki gaz üretim miktarı verileri kullanılarak hesaplanır.

Tablo 1'de hayvan türlerine göre elde edilebilecek gübre atıklarından, potansiyel biyogaz miktarının hesaplanmasında kabul edilen değerler gösterilmektedir.

Tablo 1. Biyogaz Miktarının Hesaplanabilmesinde Kabul Edilen Değerler (Kaynarca ve ark., 2021 doi:10.26650/jgeog2021-881905).

| Hayvan Türü | Hayvan Başına Ortalama Günlük Gübre Üretimi (MYG) | Toplanabilir Faydalı Gübre Oranı (T) | Yaş Gübredeki Katı Madde Oranı (KM) | Katı Maddede İçerisindeki Uçucu Katı Madde Oranı (UKM) | Metan Üretimi (MO) |
|--|---|--------------------------------------|-------------------------------------|--|--|
| | kg/gün-hayvan | % | % | % | m ³ CH ₄ /kg-UKM |
| Kültür ve Melez Süt Sığırtı (Yetişkin) | 43,00 | 100 | 17,27 | 83,36 | 0,18 |
| Kültür ve Melez Et Sığırtı (Yetişkin) | 29,00 | 100 | 12,41 | 84,65 | 0,33 |
| Yerli Sığırtı | 29,00 | 50 | 17,27 | 83,36 | 0,33 |
| Buzağı (Genç yavru) | 2,48 | 100 | 3,71 | 44,23 | 0,33 |
| Koyun | 2,40 | 13 | 23,00 | 83,63 | 0,30 |
| Keçi | 2,05 | 13 | 23,17 | 73,06 | 0,30 |
| At, Katır, Eşek | 20,40 | 29 | 19,61 | 66,67 | 0,30 |
| Et Tavuğu | 0,19 | 66 | 20,00 | 77,278 | 0,35 |
| Yumurta Tavuğu | 0,13 | 99 | 18,75 | 75,00 | 0,35 |
| Hindi | 0,38 | 68 | 19,36 | 75,83 | 0,35 |
| Ördek ve Kaz | 0,33 | 68 | 17,27 | 61,28 | 0,35 |

Potansiyel yaş gübre toplamını denklem (6) ile hesaplanır.

$$M_{YYM} = M_{YG} * S * 365 \quad (6)$$

Denklemden; M_{YYM} hayvanların yılda üretebileceği gübre miktarının toplamını (kg/yıl), M_{YG} bir hayvanın günde üretebileceği gübre miktarı (kg/gün) ve S hayvan sayısını ifade etmektedir (Kaynarca ve ark., 2021).

Yılda toplanabilir faydalı yaş gübre toplamını denklem (7) ile hesaplanır.

$$M_{YFYG} = M_{YYM} * T \quad (7)$$

M_{YFYG} yıllık toplanabilir faydalı yaş gübre toplam miktarını (kg/yıl), T ise toplanabilir faydalı gübre miktar oranını (%) ifade etmektedir ve tablo 1'den ilgili türe karşılık gelen değerdir (Kaynarca ve ark., 2021 doi:10.26650/jgeog2021-881905).

Toplanabilir faydalı yaş gübre miktarındaki katı madde miktarını denklem (8) ile hesaplanır.

$$M_{KM} = M_{YFYG} * KM \quad (8)$$

M_{KM} hayvanlardan elde edilen toplam faydalı yaş gübre miktarı içerisindeki katı madde miktar toplamını (kg/yıl), KM ise yaş gübre içerisindeki katı madde miktar oranını (%) ifade eder (Kaynarca ve ark., 2021).

Katı madde miktarındaki uçucu katı madde miktarı denklem (9) ile hesaplanır.

$$M_{UKM} = M_{KM} * UKM \quad (9)$$

M_{UKM} hayvanlardan elde edilen faydalı gübre miktarı içerisindeki toplam uçucu katı madde miktarını (kg/yıl), UKM ise gübredeki katı madde içerisindeki uçucu katı madde miktar oranını (%) ifade etmektedir (Kaynarca ve ark., 2021).

Toplanabilir faydalı gübreden elde edilebilecek yıllık CH_4 miktarı denklem (10) ile hesaplanır.

$$M_{METAN} = M_{UKM} * MO \quad (10)$$

M_{METAN} toplanabilir faydalı gübreden elde edilebilecek yıllık toplam CH_4 miktarını ($m^3 CH_4/yıl$), MO ise 1 kg uçucu katı maddeden elde edilebilecek CH_4 miktarını ifade etmektedir. Burada uçucu katı madde miktarının tamamının CH_4 gazına dönüştüğü varsayılmıştır (Kaynarca ve ark., 2021).

Üretilen biyogaz miktarının %60 içeriği CH_4 olması durumunda enerji değeri $22,7 M/Nm^3$ 'tür. Saf CH_4 gazının enerji değeri ise $36 M/Nm^3$ 'tür. Bu değerler ile birlikte elde edilen biyogaz miktarının enerji miktar karşılığı hesaplanabilir (Kaynarca ve ark., 2021).

Üretilen CH_4 gazının enerji miktarı denklem (11) ile hesaplanır.

$$Q = M_{METAN} * H_{METAN} \quad (11)$$

Q yılda eldede edilebilecek CH_4 gazının enerji karşılığını ($MJ/yıl$), H_{METAN} ise CH_4 ısıl değeridir ve $36 MJ/m^3$ olarak alınmıştır (Kaynarca ve ark., 2021).

Üretilen CH_4 gazının kojenerasyon sistemlerinde kullanılarak üretilen elektrik miktarı denklem (12) ile hesaplanır (Kaynarca ve ark., 2021).

$$E = M_{METAN} * \eta_e * W \quad (12)$$

Denkleimde; E kojenerasyon sisteminin ürettiği yıllık elektrik miktarını ($MWh_e/yıl$), η_e kojenerasyon sisteminin elektriksel verimini (%35 alınmıştır) göstermektedir. W ise CH_4 gazının kWh cinsinde enerji karşılığı olup $10 \text{ kWh}/m^3$ olarak alınmıştır (Kaynarca ve ark., 2021).

3. Bulgular ve Tartışma

Eskişehir ilinin kuzeyinde Sündiken Dağları ile Bolu Dağları arasında yer alan Sarıcakaya ilçesi yaklaşık 375 km^2 alanı ile Eskişehir'in 8. Büyük ilçesidir. Rakımı yer yer 50 metreye kadar düşen ilçede, Akdeniz ve Marmara iklim özelliklerinin karışımı görüldüğünden mikro klima iklim özelliğine sahiptir. Akdeniz kadar olmasa da yazları sıcak ve kurak diğer mevsimler ise ılık ve yağışlı hava görülmektedir. Kendine has bu iklim özelliği bitki örtüsü ve ürün çeşitliliğine de yansımıştır. Kar ve don olaylarının çok nadir yaşanmasından dolayı sebze ve meyve üretimi yaygın ve çeşitlidir. Seracılığın çok yaygın olmasıyla da sebze ve meyve üretimi İstanbul ve Ankara illerinin ihtiyacını büyük ölçüde karşılamaktadır (BEBKA, 2012). Şekil 1'de Sarıcakaya ilçesinde gösterildiği bir Eskişehir il haritası gösterilmiştir.



Şekil 1. Sarıcakaya İlçesinin Haritası

İlçenin hayvancılığı maalesef tarım kadar gelişmemiştir. Bunun sebebi ise mera ve çayırların azalması, yemlik bitkiler için toprak ayrılmamasıdır (BEBKA, 2012). Türkiye İstatistik Kurumunun 2021 yılı verilerine göre ilçe hayvan varlığı, büyük baş (buzağı dahil) 2.555, küçük baş 11.182 ve kanatlı hayvan sayısı 79.049'dur.

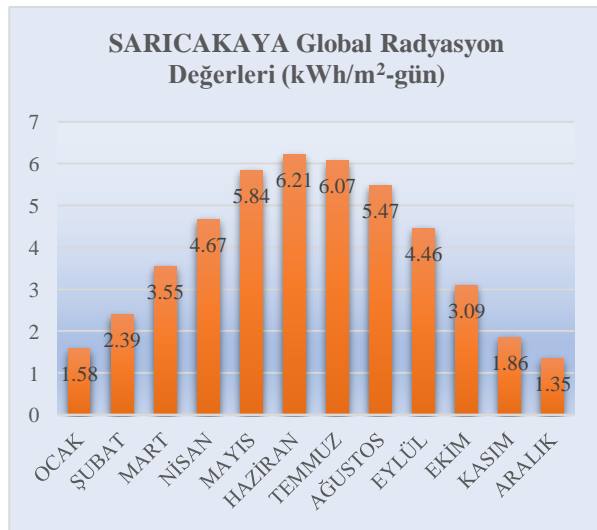
3.1. Sarıcakaya İlçesinin Güneş Enerji Potansiyeli

Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA) verilerine göre Sarıcakaya'nın güneş radyasyon değeri yıllık yaklaşık 1420 kWh/m^2 'dir. Şekil 2'de Sarıcakaya'nın güneş enerjisi potansiyel haritası gösterilmektedir.

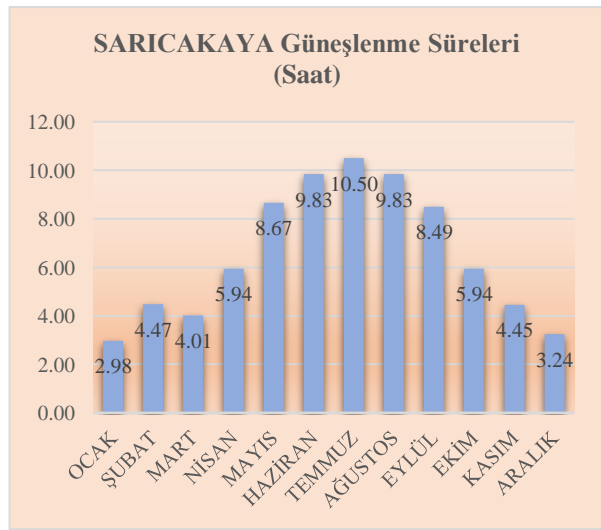


Şekil 2. Sarıcakaya Güneş Enerjisi Potansiyeli Haritası (GEPA, 2022)

Sarıcakaya'nın güneş radyasyon değerlerinin en yüksek olduğu aylar, Haziran ve Temmuz en düşük olduğu aylar ise Kasım, Aralık ve Ocak aylarıdır. Bununla birlikte en uzun güneşlenme süresi Temmuz ayında 10,5 saat iken en kısa güneşlenme süresi Ocak ayında yaklaşık 3 saattir. Yılda ortalama günlük güneşlenme süresi ise yaklaşık 6,5 saattir. Şekil 3 ve şekil 4'da Sarıcakaya'nın aylık radyasyon ve güneşlenme süreleri gösterilmiştir.



Şekil 3. Sarıcakaya Aylık Radyasyon Değerleri (GEPA, 2022)



Şekil 4. Sarıcakaya Aylık Güneşlenme Süreleri (GEPA, 2022)

Sarıcakaya'nın 2021 yılı elektrik tüketimi Osmangazi Elektrik Dağıtım A.Ş. verilerine göre yaklaşık 8.500.000 kWh/yıl'dır. Buna göre günlük elektrik ortalama tüketimi 23.288 kWh/gün olarak hesaplanır. Bu tüketim ihtiyacını karşılamak için fotovoltaik pil ve güneş enerjisi sistem hesabı bu değer referans alınarak yapılmıştır.

Güneş enerji sisteminde, fotovoltaik panel açısı, tozlanma, gölgelenme, sıcaklık gibi faktörlerden dolayı oluşan verim kaybı nedeniyle enerji üretim miktarında da kayıplar oluşmaktadır (Doğan, 2019).

Hesaplamalarda fotovoltaik pillerin, toz, gölgelenme ve sıcaklık gibi faktörlerden dolayı çalışma verimi %80, invertör cihazının çalışma verimi ise %90 olarak alınmıştır.

$$\eta_{\text{sis}} = \eta_{\text{pv}} * \eta_{\text{inv}} = 0,80 * 0,90 = 0,72 \text{ yani sistem verimini \%72 olarak buluruz.}$$

Güneş enerji sisteminin çalışma verimi %72 alındığında sistem kayıpları ve ihtiyaç duyulan günlük elektrik enerjisi ihtiyacını ki buna üretilmesi gereken enerji denilmekte;

$$\dot{U}_{GE} = YE / \eta_{\text{sis}} = 23.288 / 0,72 = 32.345 \text{ kWh olarak bulunur.}$$

Sistem kayıpları dikkate alındığında Sarıcakaya'nın günlük enerji ihtiyacının karşılanabilmesi için günlük üretilmesi gereken elektrik enerji miktarı 32.345 kWh/gün kapasitede olmalıdır. Yılın en az güneşlenme süresinde üretilmesi gereken enerjiyi elde edecek fotovoltaik panel sayısının belirlenmesi için 385 Wp gücünde piyasada üretilen fotovoltaik panelini referans olarak alırsak denklem (3) ile;

$$PS = \frac{32.345 \text{ kWh/gün}}{385 \text{ Wp} * 2,98 \text{ saat}} = 28.199,65$$

Yılın en az güneşlenme süresinde 32.345 kWh/gün enerjiyi 385 Wp gücündeki fotovoltaik pil ile üretebilmek için 28.200 adet güneş paneline ihtiyaç vardır.

Piyasada imal edilen 385 Wp gücündeki fotovoltaik paneller ortalama 1000 mm * 2000 mm ölçülerinde üretilirler. İhtiyaç duyulan arazi hesabında ölçüler metre cinsinden alınır. Panel kurulumu için ihtiyaç duyulan arazi miktarı;

$$A = PS * P_{\text{en}} * P_{\text{boy}} = 28.200 * 1 * 2 = 56.400 \text{ m}^2$$

Yaklaşık olarak 57.000 m² veya 57 dönüm olarak hesaplanır.

Güneş enerjisi kurulacak arazide güneş panellerinin kaplayacağı alan ile birlikte arazinin konumu, eğimi, gölgeleme mesafesi, diğer ekipmanlar ve çalışma alanı içinde arazi ihtiyacı vardır. Panel teknolojisi ve kurulum tasarımına göre 1 MW enerji üretimi için 13 ile 25 dönüm araziye ihtiyaç duyulur. Sarıcakaya ilçesinin yılın en az güneşlenme süresinde günlük enerji ihtiyacını 24 MW olarak kabaca bir hesapla en az 312 dönüm en fazla 600 dönüm ve ortalama olarak 456 dönüm araziye ihtiyaç duyduğunu hesaplarız.

Orta Sakarya vadisinde yer alan Sarıcakaya ilçesi mikro klima iklim özelliğinden dolayı örtü altı tarım olarak da adlandırılan seracılık yaygınlaşmış ve her geçen günde gelişmektedir. Seralar direk güneş ışınlarını alması ve gölgelenmenin az olması nedeniyle güneş enerji sistemleri için oldukça uygun alanlardır. TÜİK 2021 yılı verilerine göre örtülü tarım alanı 1912 da (dönüm)'dür. İlçenin sahip olduğu sera alanları ihtiyaç duyulan güneş enerji sistemi alanının en az 3 katına sahiptir. Eskişehir Tarım ve Orman Müdürlüğü 2021 yılı Faaliyet Raporunda toplam tarım alanının 39.480 da olduğu bildirilmektedir (TOB, 2021). Agrivoltaik (Tarım-Güneş Enerjisi) sistemlerinin uygulanabilirliği düşünüldüğünde ilçenin ihtiyaç duyduğu güneş enerjisi alanının en az 1.600 kattan fazla olduğu görülmektedir.

İlçede yılın en az güneşlenme süresine göre kurulacak güneş enerji sistemi güneşlenme süresi uzadıkça enerji üretme miktarı da artacaktır. Tablo 2'de en az güneşlenme süresi, en fazla güneşlenme süresi ve yıllık ortalama güneşlenme süresinde üretilebilecek enerji miktarı hesaplanarak gösterilmiştir.

Tablo 2. Kurulan fotovoltaik panel sisteminin yıllık en az, ortalama ve en fazla günlük enerji üretim değerleri

| 385 Wp gücünde 28.200 adet güneş paneli | Yılın en az güneşlenme süresi (2,98 saat) | Yıllık ortalama güneşlenme süresi (6,5 saat) | Yılın en fazla güneşlenme süresi (10,50 saat) |
|---|--|--|--|
| | MW/gün | MW/gün | MW/gün |
| Üretilen enerji | 32,3 | 70,5 | 114 |
| Kullanılabilir enerji (%72 verim ile) | 23,3 | 50,1 | 82 |

Yılın en az güneşlenme süresine göre kurulan güneş enerji sistemi yılın güneşlenme süresinin uzamasıyla ihtiyaçtan fazla enerji üretecektir. Sarıcakaya'nın yıllık ortalama güneşlenme süresi 2.386 saattir. 28.200 adet 385 Wp gücündeki panellerin yıllık güneşlenme süresinde üretebileceği potansiyel elektrik enerjisi yaklaşık 25.905 MW/yıl olarak hesaplanır. Kurulan güneş enerjisi sisteminin çalışma verimliliği %72 olursa kullanılacak yıllık elektrik enerjisi üretimi 18.650 MW/yıl olarak hesaplanır. Sarıcakaya'nın 2021 yılındaki yaklaşık 8.500 MW/yıl elektrik tüketimi dikkate

alındığında kurulacak olan güneş enerjisi sistemi ile ihtiyacı olan enerjinin 2 katından fazlasını üretmiş olacaktır.

3.2. Sarıcakaya İlçesinin Biyogaz Potansiyeli

Sarıcakaya ilçesinin TÜİK verilerine göre 2021 yılı hayvan varlığı; saf kültür, kültür melezi süt sığır sayıları 1.444 baş, kültür melezi et sığır 625 baş, yerli sığır 19 baş, buzağı 467 baş, koyun 7.334 baş, keçi 3.848 baş, eşek 20 baş, et tavuğu 76.500 adet, yumurta tavuğu 1.743 adet, hindi 480 adet, ördek ve Beç tavuğu 145 adet ve kaz 181 adettir. Tablo 3’te hayvanlardan elde edilen toplanabilir faydalı gübre, gübre içerisindeki katı madde miktarı, hayvan türüne bağlı gübrenin katı madde oranı, katı madde içerisindeki uçucu katı madde miktarı ve hayvan türüne bağlı gübrenin uçucu katı madde oranı Tablo 1’deki değerler referans alınarak hesaplanmıştır.

Tablo 3. Sarıcakaya ilçesi 2021 yılı hayvan türüne göre toplanabilir gübre, KM miktarı ve UKM miktarı

| Hayvan Türü | 2021 Yılı Hayvan Sayısı | Toplanabilir Faydalı Gübre Miktarı | Katı Madde Miktarı (KM) | Gübre İçerisindeki KM Oranı | Uçucu Katı Madde Miktarı (UKM) | "Gübre İçerisindeki UKM Oranı" |
|--------------------------------------|-------------------------|------------------------------------|-------------------------|-----------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| | adet | ton/yıl | ton/yıl | % | ton/yıl | % |
| Kültür ve Melez Süt Sığır (Yetişkin) | 1.444 | 22.664 | 3.914 | 66,1 | 3.263 | 67,5 |
| Kültür ve Melez Et Sığır (Yetişkin) | 625 | 6.616 | 821 | 13,9 | 695 | 14,4 |
| Yerli Sığır | 19 | 101 | 17 | 0,3 | 14 | 0,3 |
| Buzağı (Genç yavru) | 467 | 423 | 157 | 2,6 | 69 | 1,4 |
| Koyun | 7.334 | 835 | 192 | 3,2 | 161 | 3,3 |
| Keçi | 3.848 | 374 | 87 | 1,5 | 63 | 1,3 |
| At, Katır, Eşek | 20 | 43 | 8 | 0,1 | 6 | 0,1 |
| Et Tavuğu | 76.500 | 3.501 | 700 | 11,8 | 541 | 11,2 |
| Yumurta Tavuğu | 1.743 | 82 | 15 | 0,3 | 12 | 0,2 |
| Hindi | 480 | 45 | 9 | 0,1 | 7 | 0,1 |
| Ördek ve Kaz | 326 | 27 | 5 | 0,1 | 3 | 0,1 |
| TOPLAM | 92.806 | 34.711 | 5.926 | 100,0 | 4.833 | 100,0 |

Tablo 3’te, Sarıcakaya ilçesinin yıllık hayvanlardan elde edebileceği toplanabilir faydalı gübre miktarı 34.711 ton/yıl’dır. Kültür ve melez ırkı sığırların günlük ürettikleri ve toplanabilir gübre miktarları fazla olduğu için toplam gübre içerisindeki KM miktarına %80 ve UKM miktarına %81,9 katkı sağlamaktadırlar. Koyun ve keçi gübrelerinin ise fayda oranları %4,7 ile %4,6’dır ve toplamda

kanatlı hayvanların katkısı ise yaklaşık %12 oranındadır. Biyogaz üretiminde potansiyel fayda en çok sırası ile kanatlı, küçük baş ve büyük baş hayvan gübrelerinin olmasına rağmen tablo 3'te de görüldüğü gibi miktar olarak elde edilen büyük baş hayvan gübresi biyogaz üretiminin %80'inden fazlasını karşılamaktadır.

Tablo 4'te hayvansal atıklardan elde edilen CH₄ gazı miktarı Tablo 3'teki MO değeri referans alınarak hesaplanmış ve elde edilen CH₄'ün diğer enerji türlerine dönüşüm miktarları hesaplanmıştır.

Tablo 4. Sarıcakaya 2021 yılı hayvansal atık varlığı ile üretilebileceği metan miktarı ve diğer enerji türlerine dönüşüm miktarları

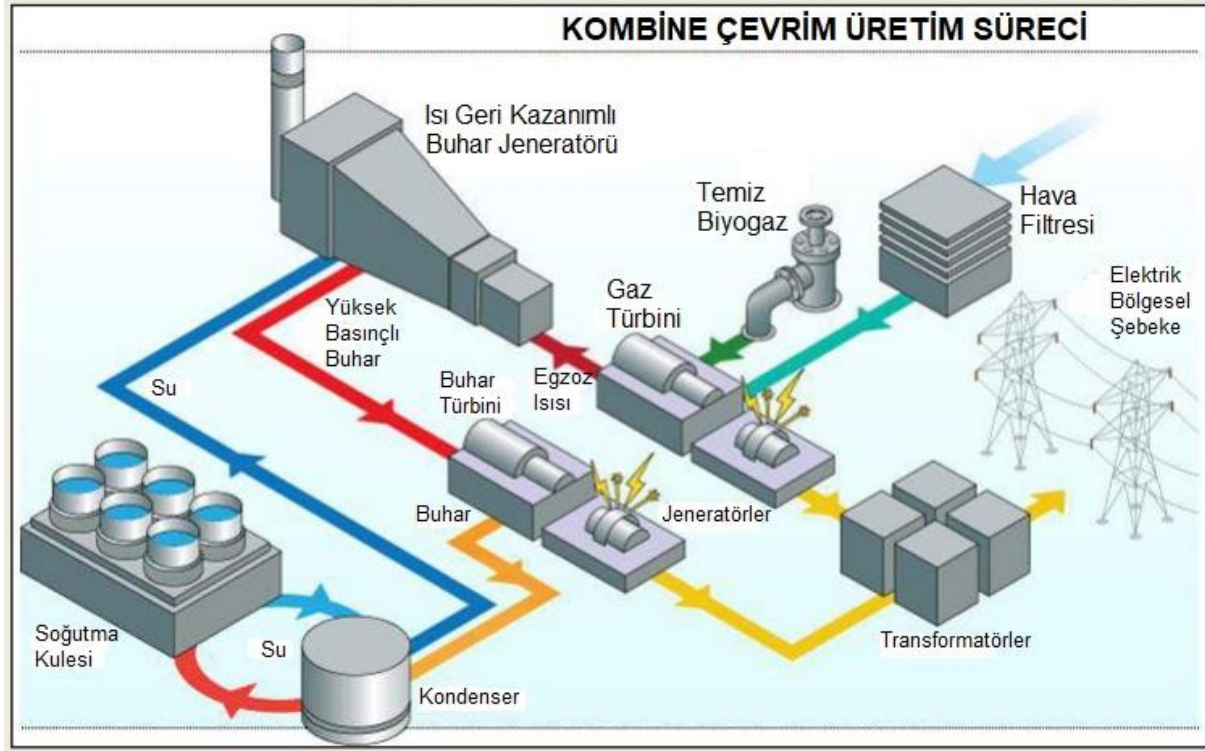
| Hayvan Türü | 2021 Yılı Hayvan Sayısı | Metan Üretimi | Enerji Değeri | TEP Enerji Karşılığı | Elektrik Enerjisi Karşılığı |
|--|-------------------------|--------------------------------------|---------------|----------------------|-----------------------------|
| | baş | M ³ -CH ₄ /yıl | GJ/yıl | TEP/yıl | MWhe/yıl |
| Kültür ve Melez Süt Sığırtı (Yetişkin) | 1.444 | 587.287,91 | 21.142,36 | 504,98 | 2.055,51 |
| Kültür ve Melez Et Sığırtı (Yetişkin) | 625 | 229.341,98 | 8.256,31 | 197,20 | 802,70 |
| Yerli Sığırtı | 19 | 4.777,26 | 171,98 | 4,11 | 16,72 |
| Buzağı (Genç yavru) | 467 | 22.891,08 | 824,08 | 19,68 | 80,12 |
| Koyun | 7.334 | 48.194,73 | 1.735,01 | 41,44 | 168,68 |
| Keçi | 3.848 | 19.008,69 | 684,31 | 16,34 | 66,53 |
| At, Kattır, Eşek | 20 | 1.693,87 | 60,98 | 1,46 | 5,93 |
| Et Tavuğu | 76.500 | 189.411,24 | 6.818,80 | 162,86 | 662,94 |
| Yumurta Tavuğu | 1.743 | 4.029,95 | 145,08 | 3,47 | 14,10 |
| Hindi | 480 | 2.326,17 | 83,74 | 2,00 | 8,14 |
| Ördek ve Kaz | 326 | 989,04 | 35,61 | 0,85 | 3,46 |
| Toplam | 92.806 | 1.109.951,91 | 39.958,27 | 954,39 | 3.884,83 |

Tablo 4'te, üretilen biyogaz miktarı metot kısmındaki denklemler ile CH₄ cinsinden hesaplanmış ve hesaplanan CH₄ cinsinden biyogaz miktarı yine metot kısmındaki değerler referans alınarak diğer enerji türlerine dönüştürülmüştür.

Sarıcakaya ilçesinin 2021 yılı hayvansal atık varlığından elde edebileceği CH₄ cinsinden potansiyel biyogaz miktarı 1.109.951 m³ CH₄-yıl olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan CH₄ gazı, 39.958 GJ/yıl joule cinsinden enerjiye, 957 TEP/yıl eş değer petrole ve 3.884 MWhe/yıl elektrik enerjisine dönüştürülmüştür.

Biyogazdan geleneksel yöntemle veya kombine çevrim santralleri ile elektrik enerjisi üretilmektedir. Geleneksel yöntemle %35-40 verimle çalışan gaz türbinli jeneratör ile elektrik üretirken kojenerasyon ve trijenerasyon gibi kombine çevrim santrallerinde elektrik enerji ile birlikte buhar, sıcak su ve soğuk su elde edilebilmektedir. Böylelikle kullanılan biyogazın kullanım verimi %90'a kadar çıkabilmektedir. Geleneksel yöntem ve %35 verim ile üretilen 3.884 MWhe/yıl elektrik enerjisi Sarıcakaya ilçesinin 2021 yılındaki elektrik ihtiyacının %45,7'sini karşılayabilmektedir.

Anacak elde edilen biyogaz, kojenerasyon veya trijenerasyon gibi kombine çevrim santrallerinde gaz türbinli ve buhar türbinli jeneratörler birlikte kullanılarak daha fazla elektrik enerjisi üretilir. Böylelikle ilçe elektrik ihtiyacının %45,7'sinden daha fazlasını karşılanmış olur. Aynı zamanda CO₂ salınım miktarına daha fazla katkı sağlamış olur. Şekil 5'te tipik bir kombine çevrim santralinin şekli gösterilmektedir.



Şekil 5. Kombine çevrim santralinin tipik yerleşim şeması (TÜRKOTED, 2015)

Tüm bitkiler ve tarımsal atıklar biyogaz üretiminde yeteri kadar verimli değildir. Bu yüzden biyogaz tesisleri buğday, arpa, çavdar, yulaf, şeker pancarı, silaj mısırı gibi biyogaz üretiminde yüksek verim sağlayan bitkileri kullanmaktadır (STB, 2020). Örtü altı tarımın daha çok yapıldığı Sarıcakaya'da biyogaz üretimi için verimli olan bitkiler çok az yetiştirilmektedir. Yetiştirilen bu bitkilerin de biyogaz üretim miktarına katkısının çok az olacağından hesaplanmaya dahil edilmemiştir.

3.3. Sarıcakaya İlçesinde Üretilen Hibrit Enerjinin Elektrik Tüketimine Oranı

Sarıcakaya ilçesinin 2021 yılına ait elektrik tüketimi Zorlu Enerji Osmangazi Elektrik Dağıtım AŞ'den alınan bilgilere göre toplamda yaklaşık 8.500 MWh/yıl'dır. Tablo 5'te Sarıcakaya ilçesinin 2021 yılı abone gruplarına göre tüketim değerleri gösterilmiştir.

Tablo 5. Sarıcakaya 2021 yılı abone bazında elektrik tüketim miktarları

| Abone Grupları | Sanayi | Ticarethane | Mesken | Tarımsal Sulama | Aydınlatma | Genel Toplam |
|---------------------------|---------|-------------|-----------|-----------------|------------|--------------|
| Tüketim Miktarı (kWh/yıl) | 595.545 | 2.173.469 | 3.040.933 | 1.961.015 | 728.711 | 8.499.672 |

Güneş enerji sistemi ile üretilebilecek elektrik enerjisinin ilçenin yıllık elektrik tüketimine oranı Tablo 6'da gösterilmiştir.

Tablo 6. Güneş enerjisi ile üretilen elektrik enerjisinin tüketime katkısı

| Abone Grupları | OEDAŞ Tüketim MWh/yıl | Güneş Paneli ile Üretilen MWh/yıl | Oran % |
|-----------------|-----------------------|-----------------------------------|--------|
| Sanayi | 595,5 | | 3131,8 |
| Ticarethane | 2.173,4 | | 858,1 |
| Mesken | 3.041 | 18.650 | 613,2 |
| Tarımsal Sulama | 1.961 | | 951 |
| Aydınlatma | 728,7 | | 2559,3 |
| TOPLAM | 8.500 | 18.650 | 219,4 |

Tablo 6'daki değerler incelendiğinde güneş panelleri ile üretilebilecek elektrik enerjisi, ilçenin sanayi tüketiminin 31 katından fazlasını, ticarethane tüketiminin 8 katından fazlasını, mesken tüketiminin 6 katından fazlasını, tarımsal sulama tüketiminin 9 katından fazlasını ve aydınlatma tüketiminin 25 katından fazlasını karşılamaktadır. İlçenin toplam yıllık elektrik tüketiminin ise 2 katından fazlasını karşılamaktadır.

Biyogaz ile üretilebilecek elektrik enerjisinin ilçenin yıllık elektrik tüketimine oranı Tablo 7'de gösterilmiştir.

Tablo 7. Biyogaz enerjisi ile üretilen elektrik enerjisinin tüketime katkısı

| Abone Grupları | OEDAŞ Tüketim MWh/yıl | Biyogaz ile Üretilen MWh/yıl | Oran % |
|-----------------|--------------------------|---------------------------------|--------|
| Sanayi | 595,5 | | 652,3 |
| Ticarethane | 2.173,4 | | 178,7 |
| Mesken | 3.041 | 3.885 | 127,7 |
| Tarımsal Sulama | 1.961 | | 198,1 |
| Aydınlatma | 728,7 | | 533,1 |
| TOPLAM | 8.500 | 3.885 | 45,7 |

Tablo 7’deki değerler incelendiğinde biyogaz ile üretilebilecek elektrik enerjisi, ilçenin sanayi tüketiminin 6 katından fazlasını, ticarethane tüketiminin %178’ini, mesken tüketiminin %127’sini, tarımsal sulama tüketiminin yaklaşık 2 katını ve aydınlatma tüketiminin 5 katından fazlasını karşılamaktadır. İlçenin toplam yıllık elektrik tüketiminin ise yaklaşık %45’ini karşılamaktadır.

Biyogaz ve güneş paneli ile üretilebilecek elektrik enerjisinin ilçenin yıllık elektrik tüketimine oranı Tablo 8’de gösterilmiştir.

Tablo 8. Hibrit enerji ile üretilebilecek elektrik enerjisinin tüketime katkısı

| Abone Grupları | OEDAŞ Tüketim MWh/yıl | Hibrit Enerji ile Üretilen MWh/yıl | Oran % |
|-----------------|--------------------------|---------------------------------------|--------|
| Sanayi | 595,5 | | 3784,2 |
| Ticarethane | 2.173,4 | | 1036,8 |
| Mesken | 3.041 | 22.535 | 741 |
| Tarımsal Sulama | 1.961 | | 1149,1 |
| Aydınlatma | 728,7 | | 3092,4 |
| TOPLAM | 8.500 | 22.535 | 265,1 |

Tablo 8’deki değerler incelendiğinde hibrit enerji ile üretilebilecek elektrik enerjisi, ilçenin sanayi tüketiminin 37 katından fazlasını, ticarethane tüketiminin 10 katından fazlasını, mesken tüketiminin 7 katından fazlasını, tarımsal sulama tüketiminin 11 katından fazlasını ve aydınlatma tüketiminin 30 katından fazlasını karşılamaktadır. İlçenin toplam yıllık elektrik tüketiminin ise 2,5 katından fazlasını karşılamaktadır.

3.4. Sarıcakaya İlçesinde Üretilebilecek Hibrit Enerjinin Sera Gazı Salınımına Etkisi

Dünyada ihtiyaç duyulan elektrik enerji birçok kaynak kullanılarak üretilmektedir. Üretilen elektrik hangi kaynakla üretilirse üretilsin az ya da çok atmosferi kirletecek, sera gazı dengesini bozacak zararlı gazlar ve partiküller salınımına neden olmaktadır. Tablo 9’da elektrik üretimindeki kaynakların sera gazı salınım miktarları gösterilmiştir.

Tablo 9. Elektrik üretimin kaynaklarına göre sera gazı emisyon miktarları (Enerji Atlası, 2021)

| Kaynak Türü | Min.-Max. Sera Gazı Emisyonu (ton-CO ₂ /GWh) | Ortalama Sera Gazı Emisyonu (ton-CO ₂ /GWh) |
|---------------|---|--|
| Linyit | 790-1.372 | 1.054 |
| İthal Kömür | 756-1.310 | 888 |
| Taş Kömür | 756-1.310 | 888 |
| Fuel-oil | 547-935 | 733 |
| Doğalgaz | 362-981 | 499 |
| Nükleer | 2-130 | 66 |
| Jeotermal | - | 38 |
| Biokütle | 10-101 | 26 |
| Hidroelektrik | 2-237 | 26 |
| Güneş | 13-731 | 23 |
| Rüzgâr | 6-124 | 10 |

Tablo 9’deki değerlere göre elektrik enerjisi üretiminde sera gazı salınımının en az olduğu ikinci enerji kaynağı güneş enerjisi, üçüncü en az salım kaynağı ise hidroelektrik ve biyokütle enerji kaynaklarıdır.

Tablo 10. Üretilebilecek elektrik miktarının kaynaklara göre sera gazı emisyon miktarı

| Kaynak Türü | Ortalama Sera Gazı Emisyonu (ton-CO ₂ /GWh) | Güneş Enerjisi ile Üretilen 18.650 MWh/yıl (ton-CO ₂ /GWh) | Biyogaz Enerjisi ile Üretilen 3.885 MWhe/yıl (ton-CO ₂ /GWh) | Hibrit Enerji ile Üretilen 22.535 MWh/yıl (ton-CO ₂ /GWh) |
|-----------------|--|---|---|--|
| Linyit | 1.054 | 19.657 | 4.095 | 23.752 |
| İthal Kömür | 888 | 16.561 | 3.450 | 20.011 |
| Taş Kömür | 888 | 16.561 | 3.450 | 20.011 |
| Fuel-oil | 733 | 13.670 | 2.848 | 16.518 |
| Doğalgaz | 499 | 9.306 | 1.939 | 11.245 |
| Nükleer | 66 | 1.231 | 256 | 1.487 |
| Jeotermal | 38 | 709 | 148 | 856 |
| Biokütle | 26 | 485 | 101 | 530 |
| Hidroelektrik | 26 | 485 | 101 | 586 |
| Güneş | 23 | 429 | 89 | 530 |
| Rüzgâr | 10 | 187 | 39 | 225 |

Tablo 10’da Sarıcakaya ilçesinde hibrit enerji ile üretilebilecek elektrik enerjisinin diğer kaynaklar ile üretilmesiyle oluşacak sera gazı salınımının ortalama değerleri hesaplanmıştır. Güneş panelleri ile üretilebilecek 18.650 MWh/yıl elektrik enerjisinin yıllık CO₂ salınımı 429 ton-

CO₂/GWh, biyogaz ile üretililecek 3.885 MWh/yıl elektrik enerjisinin yıllık CO₂ salınımı 101 ton-CO₂/GWh ve her iki enerji kaynağı ile üretililecek toplam 22.535 MWh/yıl elektrik enerjisinin toplam ortalama CO₂ salınımı 530 ton-CO₂/GWh olacaktır. Buna göre linyit kaynağına göre 23.222 ton-CO₂/GWh, ithal ve taş kömürü kaynağına göre 19.481 ton-CO₂/GWh, fuel-oil kaynağına göre 15.988 ton-CO₂/GWh, doğalgaz kaynağına göre 10.715 ton-CO₂/GWh, nükleer kaynağına göre 957 ton-CO₂/GWh ve jeotermal kaynağına göre 326 ton-CO₂/GWh salınımı önlenmiş olacaktır.

4. Sonuç ve Öneriler

Ülkelerin enerji ihtiyacı gelişen teknoloji ve nüfustan dolayı her geçen gün daha da artmaktadır. Dünyada kullanılan enerjinin çok büyük bir kısmı fosil kaynaklı yakıtlardan karşılanmaktadır. Ancak fosil kaynaklı yakıtlar her bölge ve ülkede bulunan enerji kaynağı türü değildir. Bu durum da fosil kaynak rezervlerine sahip olan ülkelere avantaj sağlarken sahip olmayan ülkelere dezavantaj sağlamaktadır. Bunun yanında avantaj veya dezavantaj sağlasın esas problem yakın zamanda fosil yakıtların tükenmesi ve tükenirken de dünya atmosferine büyük zarar vermesidir. Ülkeler enerji tedariklerini çeşitlendirmek, enerji arz güvenliklerini güçlendirmek, milli ekonomilerine katkı sağlamak ve çevre kirliliğini önlemek için yenilenebilir enerji üretim imkanlarını arttırmaya çalışmaktadırlar.

Ülkemizin de jeopolitik yapısı kapsamında yenilenebilir enerji kaynağı potansiyeli mevcut olup her geçen gün bölgesel bazda enerji potansiyelleri hesaplanıp, projeler başlatılmakta ve uygulamalar devreye alınmaktadır.

Bir çalışmada Kahramanmaraş ilinin hayvansal atıklarından elde edilecek potansiyel biyogaz miktarı beş farklı model ile hesaplanmıştır. Elde edilebilecek biyogaz ile üretililecek elektrik enerjisinin Kahramanmaraş ilinin elektrik ihtiyacının karşılama oranları modellere göre %3,8 ile %10,6 arasında olduğu belirtilmiştir. Ayrıca dört kişilik aile dikkate alınarak 34.286 ile 95.769 adet konutun yıllık enerji ihtiyacının karşılanabileceği belirtilmiştir (Ay ve Kaya, 2020).

Başka bir çalışmada ise Ereğli ilçesinin hayvansal atık, bitkisel atık ve gıda atıklarından elde edilebilecek biyogaz potansiyeli hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamada Ereğli ilçesinin biyogaz potansiyelinin 177.921.276 m³ olduğu ve 4.270.110 GJ enerji elde edebileceği belirtilmiştir. Yapılan bu çalışmada biyogaz miktarı ve Giga Joule cinsinden ısı enerjisi karşılığı hesaplanmıştır. Elektrik enerjisi ile ilgili herhangi bir hesaplama ve karşılaştırma yapılmamıştır (Tunçez, 2018).

Bahse konu olan iki çalışmada da hayvansal atıklar Büyük baş, küçük baş ve kanatlı hayvanlar olarak genel anlamda sınıflandırılarak hesaplamalar yapılmıştır.

Bizim çalışmamızda, hayvansal atıklar her hayvan türüne göre ayrı ayrı hesaplanmıştır. İlçenin biyogaz üretiminde bitkisel atıklar hesap edilmemiştir. Yapılan hesaplamalarda elde edilebilecek

biyogaz miktarı CH_4 cinsinden hesaplanmıştır. Üretilebilecek biyogazın, joule, TEP ve elektrik enerjisi dönüşümleri hesaplanmıştır. Üretilebilecek elektrik enerjisinin ise ilçenin sanayi, ticarethane, mesken, tarımsal sulama ve aydınlatma tüketimlerini karşılama oranları hesaplanmıştır.

Eskişehir iline bağlı Sarıcakaya ilçesinin güneş enerjisi ve biyogaz enerji potansiyeli incelenmiş ve elde edilebilecek enerji miktarları ile CO_2 salınım miktarları hesaplanmıştır. Ancak yapılan hesaplamalar sadece teorik olarak potansiyel belirlemek için ve yapılabilecek teknik projelere tahmini olarak fikir sunmak için yapılmıştır.

Sarıcakaya ilçesi coğrafi konum olarak orta Sakarya vadisinde yer almaktadır. Mikroklima iklim özelliğinden dolayı örtü altı tarım yaygınlaşmıştır. 2021 yılında örtülü tarım alan miktarı 1912 dekadır. Gölgeleme oranları çok az, güneş ışınlarını yüksek oranda alan sera yapıları güneş enerjisi alanı olarak da değerlendirilebileceği gibi Agrivoltaik sistemler ile açık tarım arazileri de değerlendirilebilir.

Sarıcakaya'nın yıllık güneşlenme radyasyon değeri yaklaşık 1420 kWh/m^2 , en yüksek güneş radyasyon değerleri haziran, temmuz aylarında en az ise kasım, aralık ve ocak aylarında gerçekleşmektedir. En az güneşlenme süresi ocak ayında günlük ortalama yaklaşık 3 saattir. En fazla güneşlenme süresi ise temmuz ayında günlük ortalama 10,5 saattir. Yıllık ortalama güneşlenme süresi de günlük yaklaşık 6,5 saattir.

İlçenin 2021 yılı toplam elektrik tüketimi 8.500 MWh/yıl 'dır. Günlük ortalama tüketimi ise 23.288 kWh/gün 'dür.

Güneş enerjisi sistemi, Sarıcakaya ilçesinin yılın en az güneşlenme süresinde günlük enerji ihtiyacını karşılayabilecek şekilde hesaplanmıştır. Yılın en az güneşlenme süresine göre hesaplanan enerji sistemi mevsim değişimlerinde güneşlenme süreleri uzadıkça günlük ihtiyaçtan daha fazla enerji üretecektir. Yapılan hesaplamada 385 Wp gücünde monokristal bir fotovoltaik panel seçilmiş ve panel sayısı 28.200 adet olarak hesaplanmıştır. Bu panellerin kurulması için de ortalama 456 dönüm araziye ihtiyaç olduğu öngörülmüştür. Diğer ekipmanlar ile kurulacak güneş panelleri yıllık ortalama güneşlenme süresinde 25.905 MWh/yıl elektrik üreteceği ancak tüm sistemin %72 verimle üretim yapmasıyla şebekeye 18.650 MWh/yıl elektrik enerjisi verebileceği hesaplanmıştır. Şebekeye verilebilecek elektrik enerjisi ise ilçenin yıllık elektrik ihtiyacının iki katından fazlasını karşılayabilecektir.

Sarıcakaya ilçesinin 2021 yılında toplam 2.555 büyük baş hayvan, toplam 11.182 küçük baş hayvan toplam 79.049 adet kanatlı hayvan varlığına sahip olmuştur. Tüm hayvan varlığından elde ettiği toplanabilir faydalı gübre miktarı 34.711 ton/yıl olarak hesaplanmış ve elde edilen gübreden ise $1.109.952 \text{ m}^3\text{-CH}_4\text{/yıl}$ üretilbileceği hesaplanmıştır. Üretilebilecek CH_4 gazının joule cinsinden enerji karşılığı 39.958 GJ/yıl , eşdeğer petrol cinsinden ise 954 TEP olarak çevrilmiştir. Üretilebilecek CH_4 gazı %35 verimle çalışan jeneratörle yaklaşık 3.885 MWh/yıl elektrik enerjisi üretilbileceği

hesaplanmıştır. Üretilebilecek elektrik enerjisi ilçenin 2021 yılı elektrik tüketiminin %45,7'sini karşılayabilmektedir. Ancak üretilen biyogaz kombine çevrim santrallerinde kullanılmasıyla daha fazla enerji üretilbileceği öngörülmektedir.

Güneş enerji sistemi ve biyogaz ile üretilebilecek toplam 22.535 MWhe/yıl elektrik enerjisinin CO₂ salınımı toplamda 530 ton-CO₂/GWh olarak hesaplanmıştır. Aynı miktardaki elektrik enerjisinin diğer enerji kaynakları ile üretilmesi göre 326 ton-CO₂/GWh ile 23.222 ton-CO₂/GWh CO₂ salınımının önlenebileceği hesaplanmıştır.

Sarıcakaya ilçesinin güneş enerji potansiyeli ve hayvansal atıktan elde edilebilecek biyogaz enerji potansiyelini değerlendirdiğimizde ilçemizin ihtiyaç duyduğu elektrik enerjisinin 2,5 katından fazlasını karşılayacak potansiyelde olduğu görülmüştür. Üretilen enerjinin ilçe ekonomisi başta olmak üzere ülke enerji ekonomisine ciddi katkı sağlayacağı görülmüştür.

İlçe, güneş enerji santrali için ihtiyaç duyulan arazi miktarından çok daha fazlasına sahiptir. Sadece örtü altı tarım alanı ihtiyaç duyulanan arazinin 4 katından fazlasıdır. Bununla birlikte agrivoltaik sistem ile açık tarım arazilerinin kullanılmasıyla güneş enerji santrali için büyük bir arazi kullanım potansiyeline sahip olduğu dolayısıyla bu bölgede güneş enerjisinin sürdürülebilir olduğu görülmektedir.

İlçede hayvancılık çok gelişmemesine rağmen sahip olduğu hayvan varlığında elde edilecek atıklardan ilk etapta ilçe ihtiyacının neredeyse yarısı karşılanabilmektedir. Üretilen biyogazın kombine çevrim santrallerinde kullanılmasıyla çok daha fazlası karşılanabilecektir. Ayrıca geriye dönük TÜİK verileri incelendiğinde genel olarak hayvan sayıları her geçen yıl artış göstermektedir. Bu durumda hayvansal atık ile biyogaz üretiminin sürdürülebilir olduğunu göstermektedir.

Sarıcakaya'nın, güneş enerjisi potansiyeli ile ihtiyaç duyacağı elektrik enerjisinin ne kadarını karşılayabileceği öğrenilmek istenmiştir. Bunun için yılın en az güneşlenme zamanı referans alınmıştır. En az güneşlenme zamanı 3 saattir. Bu 3 saatte ihtiyaç duyulan enerji üretilerek şehir şebekesine verilecektir. İlçe ise ihtiyaç duyduğu enerjiyi 24 saat şebekeden çekecektir. Şehir şebekesine bağlı sistem olmasından dolayı herhangi bir depolama sistemine ihtiyaç duymayacaktır.

Üretilen biyogazın kombine çevrim santrallerinde değerlendirilmesiyle hesaplanan enerji miktarından çok daha fazlasını üretecektir. Kojenerasyon sisteminde elektrik ve ısı enerjisi sağlanırken trijenerasyon sisteminde ek olarak soğutma enerjisi de sağlayacaktır. Kullanım amacına göre özel olarak da kurulan kombine çevrim santralleri tesislerin ve işletmeler ihtiyaç duydukları enerjileri yerinde sağlayabilmektedir. Sarıcakaya'da daha çok seraların iklimlendirilmesi, üretilen sebze meyvelerin birkaç gün daha saklanabilmesi için soğuk hava depolarında ve tarım ürünleri işletme tesislerinde kullanılabilir.

Biyogaz tesislerinin tarım için bir diğer önemi ise üretim sonrası tesislerden kötü kokusu arınmış, yüksek kaliteli organik gübre olarak çıkmasıdır. Biyogaz tesislerinden çıkan yüksek kaliteli

gübrenin tarımsal üretimde kullanılması daha sağlıklı ve verimli ürün elde edilmesini sağlar. Ayrıca kimyasal gübre kullanımının azaltılmasını sağlayarak ekonomik giderlerin düşmesini de sağlar.

İlçede kurulmuş bir biyogaz tesisin diğer bir faydası çevre temizliğine ve sağlığına katkısının olmasıdır. İlçe genelinde işletmeler, tesisler ve yaşam merkezlerinde oluşabilecek özellikle hayvansal atıkların bertaraf edilebilmesine katkı sağlayacaktır. Bu atıkların miktar olarak biyogaz üretimi için değeri olmasa da çevre sağlığı ve kirliliğinin önlenmesindeki rolü ile sosyal sorumluluk yerine getirilmiş olur.

Güneş enerjisi ve biyogaz enerjisi ile üretilebilecek enerjinin diğer enerji kaynaklarına kıyasla daha düşük CO₂ salınımı olduğu hesaplanmıştır. Küresel ısınma ve iklim değişikliği ile ilgili mücadeleye büyük fayda sağlayacaktır.

Sarıcakaya ilçesinde sera yapılarına güneş panellerinin kurulması ilçe ve ülke elektrik ihtiyacının karşılanmasının yanında örtülü tarım alanlarının aynı zamanda enerji üretim alanları olarak kullanılmasına örnek olacaktır. İlçede tarım istihdamının yanında güneş enerjisi sektöründe de istihdamın oluşmasını, seralarda uygulanan güneş enerji panel teknolojisinin gelişmesini ve tecrübenin artmasını sağlayacaktır.

Örtü altı tarımı çiftçileri, tarım gelirinin yanında enerji geliri de elde edeceklerdir. Bununla birlikte iklimlendirmenin önemli olduğu seracılık sektöründe enerjiye ulaşma imkânı kolaylaştırarak seracılığın ihtiyaç duyacağı ısıtma ve soğutma enerjisini yerinde sağlanacaktır. Seracılıkta otomasyon sistemlerinin kurulmasına ve gelişmesine imkân sağlayacaktır. Çiftçinin çalışma ve ürün yetiştirme konforunu yükselterek ürün veriminin artmasına katkı sağlayacaktır.

Sarıcakaya'nın güneş enerji potansiyeli ve biyogaz enerji potansiyeli oldukça yüksektir. Ancak hesaplanan değerler sadece potansiyel belirlenmesi için yapılmıştır. Teknik araştırmanın veya fizibilite çalışmalarının yapılması için aşağı yukarı bir fikir verilmesi için yapılan çalışmadır. Bundan dolayı iyi bir teknik fizibilite çalışması yapılmalıdır. Güneş paneli uygulama modelleri sera yapılarına uygun olmalıdır. Birkaç dönüm sera alanlarına farklı modeller uygulanarak fayda maliyet ve uygulanabilirlik tecrübe edilmelidir. En verimli ve ekonomik olan modeller yaygınlaştırılmalıdır.

Sarıcakaya ilçesinde kurulacak biyogaz tesisinin kurulacağı bölge iyi araştırılmalı ve en iyi faydalanılacak bölge seçilmelidir. Biyogaz tesisinden sadece elektrik enerjisi değil aynı zamanda ısıtma ve soğutma enerjisi elde edilecektir. Bütün bu enerjilerin kullanılacağı bölge çok iyi seçilmelidir ki enerji iletimindeki kayıplar en az seviyede olmalıdır. En önemlisi biyogaz tesisinin girdisi olan hayvansal atıklarının gerçekte ne kadarının tesise getirilebileceği tesis kurulmadan araştırılmalıdır.

Söz konusu enerji yatırımlarının yapılması için devlet, ilgili tüm kurumları ile destek, teşvik ve danışmalık hizmeti vermelidir. Söz konusu enerji yatırımlarının getirisi çiftçilere en açık şekilde anlatılmalı ve yatırımlara iştirak ettirilmeleri sağlanmalıdır.

Yazarların Katısı

Tüm yazarlar çalışmaya eşit katkıda bulunmuştur.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- Alkan, S., Öztürk, A., Zavrak, S., Tosun, S. ve Avcı, E. (2014). Bir Evin Elektrik Enerjisi İhtiyacını Karşılacak Fotovoltaik Sistemin Kurulumu. *Eleco 2014 Elektrik-Elektronik-Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu*, Bursa: Düzce Üniversitesi.
- Ay, Ö. F. ve Kaya, A. (2020). Kahramanmaraş İlinin Biyogaz Potansiyelinin Farklı Modeller Kullanılarak Belirlenmesi. *Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 34(2), s. 351-36.
- BEBKA, (2012). Bebka.org.tr Sarıcakaya. https://www.bebka.org.tr/admin/datas/sayfas/198/saricakaya-ilce-raporu_1568787830.pdf (Erişim: 27.05.2022)
- Çanka Kılıç, F. (2011). Biyogaz, Önemi, Genel Durumu ve Türkiye'deki Yeri. *Mühendis ve Makina*, 52 (617), 94-106.
- Doğan, M. (2019). *Güneş Enerji Santrallerinin İncelenmesi ve Verimlilik Analizi*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Sakarya: Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Enerji Atlası (2021). *Elektrik Üretiminde Karbon Salınımı*. <https://www.enerjiatlası.com/haber/elektrik-uretiminde-karbon-salinimi> (Erişim: 08.01.2021)
- GEPA (2022). <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/pages/26.aspx> (Erişim: 27.11.2022)
- Gülşen, H.E., Türkay, G. K., Akarsu, C., Kumbur, H., Dizge, N. (2019). Çeşitli Atıklardan Biyogaz Üretiminin Sürdürülebilir Çevre Yönetimine Etkisi. *Tmmob Çevre Mühendisleri Odası, Teknik Dergi*, ISSN: 1302-5627,3(2), 1-15.
- Gürgen, K. Ç. (2016). *Aydın'daki Bir Yapının Elektrik Enerjisi Gereksiniminin Fotovoltaik Sistemler ile Karşılama Olanakları*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Aydın: Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Anabilim Dalı.
- Karagöl, E., T. (2017). Dünyada ve Türkiye'de Yenilenebilir Enerji. *SETA-Siyaset, Ekonomi ve Toplum Araştırmaları Vakfı, Analiz*, Nisan 2017, Sayı:197. <https://setav.org/assets/uploads/2017/04/YenilenebilirEnerji.pdf> (Erişim: 11.09.2022)
- Kaynarca, H., Kılıç, T., Açıklalp, E., Yerel Kandemir, S. (2021). Eskişehir'in Biyogaz Potansiyelinin Değerlendirilmesi. *Coğrafya Dergisi*, Sayı:42, 271-282.
- Rosch, C., (2023). Agrivoltaik tarım nedir, çiftçilerin iklim değişikliğiyle başa çıkmasını kolaylaştırabilir mi? BBC Dünya Servisi. <https://www.bbc.com/turkce/articles/cp9dm720en9o> (Erişim: 17.07.2023)
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (2022). Yenilenebilir Enerji, Güneş. Enerji.gov.tr <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-gunes> (Erişim: 9.12.2022)
- T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı (2020). Eskişehir İli Tarım ve Hayvancılık Faaliyetlerinden Kaynaklanan Atıklardan Enerji Üretimi. <https://www.investineskisehir.gov.tr/wp-content/uploads/2021/04/eskisehir-ili-tarim-ve-hayvancilik-faaliyetlerinden-kaynaklanan-atiklardan-enerji-uretimi-projesi-on-fizibilite-raporu2020.pdf> (Erişim: 11.05.2023)

- T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, (2021). Eskişehir Tarım ve Orman Müdürlüğü, 2021 Çalışma Raporu. https://eskisehir.tarimorman.gov.tr/Belgeler/2021_Faaliyet_Raporu/2021_Faaliyet_Raporu.pdf (Erişim: 17.07.2023)
- Torunoğlu Gedik, Ö., (2015). *Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Çevresel Etkileri*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Çevre Bilimler ve Mühendisliği Programı.
- Tunçez, D. F. (2008). Ereğli İlçesinin Biyogaz Potansiyelinin Belirlenmesi. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, Sayı 1 (1):1-7.
- Türkiye Kojenerasyon ve Temiz Enerji Teknolojileri Derneği (2015). Türkiye’de Üretim Sistemleri, Kojenerasyon, Trijenerasyon ve Teknolojiler. <http://kosano.org.tr/wp-content/uploads/2015/03/sunu1.pdf> (Erişim: 17.07.2023)
- Yenilmez, F. (2015). Tavukçuluk Atıklarından Biyogaz Üretimi. *Fırat Üniv.Sağ.Bil.Vet.Derg*,29(3), 205-212.
- Yılmaz, A. (2012). *Türkiye’de Sektörel Enerji Tüketimini Etkileyen Faktörler ve Alternatif Enerji Politikaları*. Yayınlanmamış Doktora Tezi. Aydın: Adnan Menderes Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İktisat Anabilim Dalı.
- Yılmaz, A., Ünvar, S., Koca, T., Koçer, A. (2018). Türkiye’de Biyogaz Üretimi ve Biyogaz Üretimi İstatistik Bilgileri. *Enerji ve Çevre Dünyası Dergisi*, (143), ISSN 1305-2047, 26-32.