



Makale / Research Paper

**Türkiye Genelinde En Çok Yetiştirilen Tarımsal Ürünlerin Atıklarının
Biyogaz Potansiyelinin Belirlenmesi**

Simge ÇAKAL^{1a}, Suna Özden ÇELİK^{1b*},

¹Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Çorlu Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü.
Tekirdağ/TÜRKİYE
sunacelik@nku.edu.tr

Received/Geliş: 02.02.2021

Accepted/Kabul: 06.10.2021

Öz: Biyobozunur atıklardan biyogaz üretimi, enerji eldesi yanında atıkların yönetimi için çevreci bir çözüm sunmaktadır. Bu çalışmada, ülkedeki en yüksek ekim alanı ve enerji verimine sahip tarımsal ürünlerin atıklarının enerji potansiyeli, Türkiye İstatistik Kurumu verilerinden yola çıkılarak hesaplanmıştır. Tarım arazileri, Türkiye topraklarının %30.40'ını oluşturmaktadır. Bu arazilerin büyük kısmında (%66.44) tahıl ve diğer ürünler ekilmekte, %15.81'i nadasa bırakılırken, %3.40'ında sebze, %14.30'unda meyve, içecek, baharat ve %0.02'sinde süs bitkileri ekim alanları yer almaktadır. TÜİK 2017 verilerine göre ülkemizde 76990818 dekara buğday, 11253140 dekara mısır, 24396791 dekara arpa, 7796217 dekara ayçiçeği ve 5018534 dekara pamuğun ekildiği görülmektedir. Ülkemizde tarımsal atıklardan elde edilebilecek toplam biyogaz 240673168 m³/yıl'dır. Bu değerden yola çıkılarak hesaplanan tarımsal atıklardan elde edilebilecek biyogaz enerjisi eşdeğerinin 5463.19 TJ/yıl (130460.98 TEP/yıl) olduğu belirlenmiştir. Tarımsal atıklarından biyogaz üretilmesiyle sağlanacak enerji eşdeğerinin, enerji ihtiyacının anlamlı bir yüzdesini karşılayabileceği şehir Şanlıurfa olarak belirlenmiştir. Elektrik ihtiyacı nispeten düşük olan Şanlıurfa'da elektrik ihtiyacının %21.16'sının biyogaz enerjisi eşdeğeri ile karşılanabileceği belirlenmiştir. Konya'da elektrik ihtiyacının %16.86'sının, Adana'da %13.48'inin, Tekirdağ'da %11.24'ünün ve İzmir'de %3.14'ünün biyogaz enerjisi eşdeğeri ile karşılanabileceği belirlenmiştir. Tarımsal atıklardan elde edilecek biyogaz eşdeğerinin elektrik ihtiyacını hangi yüzdede karşılayacağı, biyogaz tesisi yer seçiminde oldukça önemli bir ölçüt olarak değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Atık yönetimi; Biyogaz; Tarımsal atık

**Determination of Biogas Potential of Agricultural Residue from
Agricultural Product Having High Cultivation Rate in Turkey**

Abstract: Biogas production from biodegradable residues, provide environmental solution for waste management, beside energy recovery. In this article, energy potential of agricultural residue, having high cultivation and energy capacity was estimated based on the data of Turkish Statistical Institute. Agricultural land constitutes 30.40% of Turkey's whole lands. Cereals etc. are cultivated (66.44%) in large part of agricultural land. 15.81% of land is left as fallow land, while 14.30% of land is used for fruit, beverage and spices (herbs), 3.40% for vegetables, 0.02% for ornamental plant. Wheat is cultivated in 76990818 decare, barley in 24396791 decare, corn in 11253140 decare, sunflower in 7796217 decare and cotton in 5018534 decare as reported by TSI 2017. Calculated total biogas from agricultural residue is 240673168 m³/year in Turkey. Biogas energy equivalent was determined as 5463.19 TJ/year (130460.98 TEP/year). In this study, the province where energy consumption can be met at highest rate was determined as Şanlıurfa (21,16%). This phenomenon can be explained by low electricity demand of Şanlıurfa. Following Şanlıurfa, the rates of providing electricity consumption are Konya (16.86%), Adana (13.48%), Tekirdağ (11.24%) and İzmir (3.14%), respectively. Compensation percent of energy demand is considered as a very important criteria choosing place for biogas plant.

Keywords: Waste management, biogas, agricultural residue

Bu makaleye atıf yapmak için

Çakal, S., Celik, S.O. "Türkiye Genelinde En Çok Yetiştirilen Tarımsal Ürünlerin Atıklarının Biyogaz Potansiyelinin Belirlenmesi", El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi 2022, 9(1); 1-11.

How to cite this article

Çakal, S., Celik S.O. "Determination of Biogas Potential of Agricultural Residue from Agricultural Product Having High Cultivation Rate in Turkey" El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 2022, 9(1); 1-11.

ORCID ID: ^a0000-0002-7408-9349; ^b0000-0001-9783-9512

1. Giriş

Nüfusun artması, teknolojinin gelişmesiyle birlikte sanayileşmenin hız kazanmasına paralel olarak global enerji ihtiyacı durmaksızın artmakta ve artmaya devam edeceği öngörülmektedir. Enerjiye olan yoğun talebi karşılayabilmek amacıyla son zamanlarda yeni enerji kaynaklarıyla ilgili araştırmalar yapılmakta, organik içeriğe sahip artıklardan enerji eldesi yaklaşımı bu arayışa cevap verecek yaklaşımlardan biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Dünyada önemli tarım ve tarımsal atık potansiyeline sahip ülkeler, alternatif enerji kaynakları arasında çevreci bir enerji kaynağı olan biyogaz üretimine büyük yer vermektedirler. Avrupa Birliği üye ülkeler arasında yenilenebilir enerji kullanımının her yıl yayınlanan raporlara göre arttığı, bazı ülkelerde %50'nin üzerine çıktığı görülmektedir [1]. Sanayileşmenin etkisiyle tarım arazileri geçmiş yıllara göre azalsa da ülkemizde halen yoğun tarım uygulamaları yapılmaktadır. Türkiye'de yetiştirilen tarım ürünleri biyogaz enerjisi eşdeğeri bakımından önemli bir potansiyele sahiptir. Fakat ürünlerin hasadının ardından tarladaki bitki artıkları hayvan yemi olarak kullanılmakta veya yanlış tarım uygulamaları sonucu yakılmaktadır. Tarlalarda kalan artıkların yakılması sıklıkla yapılan bir uygulama olup, toprağın verimsizleşmesine ve çevresel problemlere sebep olmaktadır.

Tarımsal, hayvansal ve kentsel atık kullanılarak biyogaz üretimini konu alan çeşitli çalışmalar mevcuttur [2-9]. Biyolojik olarak bozunabilir içeriğe sahip artıklardan biyogaz üretimi sözü geçen atıkların yönetimi için çevreci bir çözüm sunmaktadır. Bu uygulama ile artıklardan enerji elde edilmesinin yanında, toprak için oldukça değerli organik gübre elde edilebilmekte, atıkların depolanarak çevre problemleri oluşturması yerine, atık yönetimi sürecine katkıda bulunmaktadır [10-12]. Sayılan sebeplerden dolayı tarımsal artıklardan biyogaz elde edilmesi önemli bir enerji alternatifi olarak karşımıza çıkmaktadır.

Enerji kaynaklarındaki kısıtlılık ve enerji ihtiyacının %60'ına yakın kısmının dışarıdan temin edilmesi, ülkemizi dışa bağımlı hale getirmektedir. Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı ise oldukça kısıtlıdır. Ülkemizde diğer alternatif enerji kaynaklarının (güneş, rüzgar v.b.) değerlendirilmesinde olduğu gibi tarımsal artıklardan enerji elde edilmesi konusunda da halihazırdaki uygulama sayısı oldukça azdır. Bitkisel artıklardan biyogaz üretiminin gıda endüstrisi alanında sınırlı uygulama örnekleri söz konusudur [13].

Dünya genelinde enerji kaynağı olarak büyük oranda fosil yakıtlar kullanılmaktadır. Ancak büyük bir hızla tüketilen bu tip yakıtlar tükenme tehlikesi ile karşı karşıyadır. Bununla birlikte ülkemizdeki fosil yakıt rezervleri yetersiz kalmaktadır. Ülkemizde atık biyogaz potansiyeli ile ilgili 8.6 milyon ton eşdeğer petrol (MTEP), potansiyel biyogaz ile ilgili ise 1.5-2 MTEP tahmini yapılmaktadır. Ülke bazında tarım ürünleri üretimi 176313301 ton/yıldır. Bu ürünlerden oraya çıkacak tarımsal atık 96451594 ton/yıl, tarımsal atıkların enerji eşdeğeri ise yılda 39877285 ton eşdeğer petrol (TEP) olarak belirlenmiştir. Ülkede oluşan 31331836 ton/yıl kentsel atığın enerji eşdeğeri ise 44228795 TEP/yıl olarak ifade edilmektedir. Ülkemizde biyogazdan elektrik üreten 128 tesis mevcuttur. Bu tesislerin toplam kurulu gücü 695 MW olup, 1610 GWh elektrik üretilmektedir [14].

Ülkenin birincil enerji ihtiyacının %2.5-4.8'i ile toplam enerjinin %3.2-6.3'ünün biyogaz ile karşılanması mümkündür. Ülkemizde biyogaz, alternatif enerji kaynakları arasında önemli bir potansiyele sahip olup, toplam yenilenebilir enerji eşdeğerinin % 35.90-70.60'ını meydana getirmektedir. Ülkedeki elektrik santrallerinde enerji verimi 0,40 olarak kabul edildiğinde; biyogaz ile karşılanacak elektrik enerjisi %6-12 olacaktır. Bu durumda toplam yenilenebilir enerji eşdeğerindeki oranı %22 ila %44 artacaktır [15]. Enerji talebinin karşılanması konusunda dışa bağımlılığı azaltmak amacıyla enerjiyle ilgili kanunlarda düzenleme yapılarak konuyla alakalı teşvikler getirilmiştir. Buna göre, biyogaz yatırımlarına sağlanan teşvik, diğer yenilenebilir enerji kaynakları için olan teşviklere göre oldukça fazladır [13]. Bunun yanında üretilen biyogazın

kullanılması sonucu dışarıdan ithal edilen doğalgazın %19.2 ila %37 azaltılabilmesi dışa bağımlılığı azaltmada önemli bir katkı sağlayacaktır.

TÜİK 2017 verileri dikkate alındığında, 769632000 dekarlık ülke topraklarının %30.40'ını meydana getiren tarım arazilerinin 233850926.50 dekar olduğu görülmektedir. Ekili arazilerin %66.44'ü gibi büyük bir kısmında (155363201 daa) tahıl ve diğer ürünler, %3.41'inde (7982650 daa) sebze, %14.32'sinde (33481004 daa) meyve, içecek ve baharat, %0.02'sinde (49934.50 daa) süs bitkileri ekilidir. Tarım arazilerinin %15.81'i (36974137 daa) nadasa bırakılmış topraklardır.

Tüm şehirler içinde en geniş ekili tarım arazisi bulunan ilk beş şehir, Konya (18854582 daa), Ankara (11822157.20 daa), Şanlıurfa (11079753 daa), Sivas (7937736 daa) ve Yozgat'dır (5980588 daa). En az ekili arazisi bulunan beş şehrin ise, Yalova (116707.90 dekar), Artvin (296921 daa), Bingöl (300395 daa), Ardahan (360805 daa) ve Bartın (392259 daa) olduğu belirlenmiştir. Ülkede mevcut tarım arazilerinin %8'ine sahip Konya'da 18854582 dekar tarım arazisi mevcuttur. Konya'daki ekili arazinin %96.90'unda tahıl ve diğer ürünler ekilmektedir. 11822157.20 dekar tarım arazisi bulunan Ankara'da, 7907800 dekara tahıl ve diğer ürünler, 422974 dekara sebze, 289715 dekara meyve, içecek ve baharat, 312.20 dekara ise süs bitkileri ekilmektedir. 11079753 dekar tarım arazisi bulunan Şanlıurfa'da, 8474233 dekara tahıl ve diğer ürünler, 200351 dekara sebze, 1434406 dekara meyve, içecek ve baharat, 25 dekara ise süs bitkileri ekilidir.

Türkiye'de en fazla tahıl Konya'da ekilmektedir. Ülkede en fazla sebze ekimi, Antalya'da (510985 daa), meyve, çay ve baharat ekimi Ordu'da (2276889 daa), süs bitkileri ekimi ise İzmir'de (15458.50 daa) yapılmaktadır [16].

Bu veriler ışığında tarımsal alanlardan kaynaklanan tarımsal artıkların biyogaz potansiyelinin önemi görülmektedir. Bu nedenle biyogaz potansiyelini belirlemek üzere, ülke bazında tarımsal atıklarından en fazla enerji üretilebilecek tarım ürünleri olan buğday, ayçiçeği, arpa, mısır ile pamuk seçilmiş ve TÜİK 2017 dataları kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu kapsamda belirlenen bu tarım ürünlerinin atıklarının biyogaz enerjisi eşdeğerleri hesaplanarak değerlendirilmiş, ekim miktarları, değerlendirilebilir tarımsal atık miktarı, biyogaz enerji eşdeğerleri ve üretilebilecek biyogaz için enerji haritaları ArcGIS Pro CBS Yazılımı programı kullanılarak renklendirme ile haritalara geçirilmiş ve sayısal haritalara işlenerek yorumlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışma kapsamında, ülke genelinde en fazla üretilen tarımsal ürünlerin atıklarının biyogaz potansiyelini belirlemek üzere, TÜİK 2017 tarım üretimi verilerinden yola çıkılarak biyogaz enerjisi eşdeğerleri hesaplanmıştır. Çalışmada öncelikle TÜİK'in 81 il için oluşturduğu 2017 senesi tarım üretimi verileri incelenmiştir. Söz konusu veriler değerlendirildiğinde, en fazla ekilen ve atıklarının enerji verimi yüksek olan ürünlerin buğday, arpa, pamuk, mısır ve ayçiçeği olduğu belirlendiğinden, bu ürünlerin atıklarının biyogaz enerjisi eşdeğerleri hesaplanmıştır. Söz konusu ürünlerin ekildiği alana (daa) ve yüzde enerji verimine (%) ait değerler Tablo 1'de verilmektedir [16].

Tablo 1. Ülkede En Fazla Ekilen Tarım Ürünlerinin Ekim Alanı (Daa) Ve Enerji Verimi (%)

Tarım Ürünü	Ekili Alan (daa)	Enerji Verimi (%)
Buğday (Hasıl/Yeşil Ot) (Durum Buğdayı Dâhil)	76990818	45.27
Arpa (Yeşil Ot Dâhil)	24396791	14.35
Pamuk, Çırçırılanmamış (Kütlü, Lifli) Pamuk Çekirdeği (Çiğit)	5018534	8.85
Mısır (Hasıl, Silaj Dâhil)	11253140	6.62
Ayçiçeği (Yağlık, Çerezlik)(Tohumlar Dâhil)	7796217	4.59

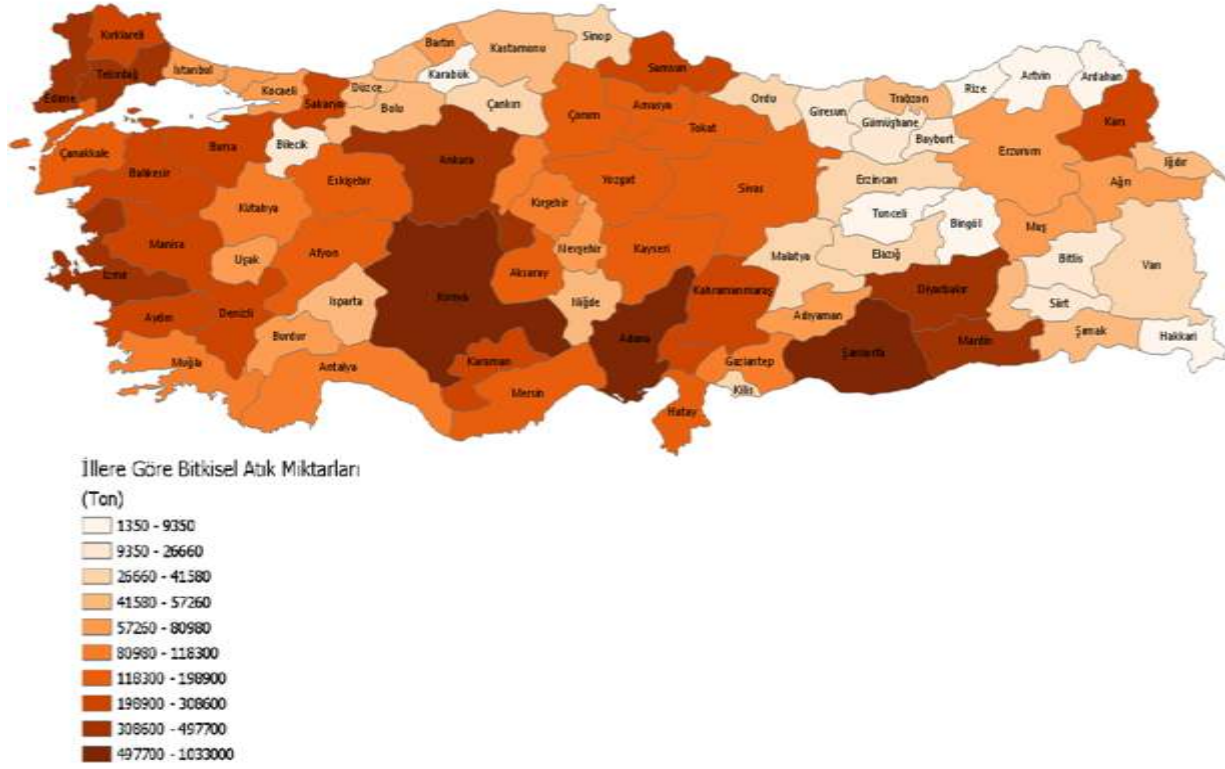
Ülkede en fazla ekilen tarım ürünleri sırasıyla buğday (76990818 daa), arpa (24396791 daa), mısır (11253140 daa), ayçiçeği (7796217 daa), pamuk (5018534 daa) tur. Ülkedeki ekili tarım arazilerinin %49.56'sında buğday, %15.70'inde arpa, % 7.24'ünde mısır, % 5.02'sinde ayçiçeği ve % 3.23'ünde pamuk ekilidir [16].

Belirlenen tarım ürünlerinden meydana gelecek atık miktarı birim ekim alanı dikkate alınarak hesaplanmıştır. Hesaplama en fazla ekilen ilk beş tarım ürünü ele alınmıştır. Öncelikle ekim alanına bağlı olarak oluşacak atık miktarları hesaplanmıştır. Bu amaçla Tablo 2'deki değerler kabul edilmiştir [17-18]

Tablo 2. Tarımsal Atıkların Hesabında Kabuller [17, 18]

Ürün	Değerlendirilebilir Atık Miktarı (kg/da)
Arpa	36
Ayçiçeği	248
Buğday	37
Mısır	528
Pamuk	86

Tablo 2'den de anlaşılacağı gibi tarımsal ürünlerden mısırın, hasadın ardından en fazla değerlendirilebilir atık meydana getiren ürün olduğu, ikinci en yüksek değerlendirilebilir atığı ayçiçeğinin verdiği görülmektedir. Tabloda pamuk, buğday ve arpanın ise birbirine yakın değerlendirilebilir atık oluşturan ürünler olduğu göze çarpmaktadır. Mısır ve ayçiçeği bitkileri diğerlerine nazaran nispeten hacimli ürünler olduğundan meydana gelecek atık miktarı da buna göre fazla olmaktadır.



Şekil 1. Değerlendirilebilir Tarımsal Atıkların Şehirlere Göre Dağılımları

Biyogaz eldesinde kullanılmak üzere en yüksek değerlendirilebilir tarımsal atığı mısırın verdiği ve ekili alana bağlı olarak 5941657.74 ton atık oluşturacağı belirlenmiştir. Nispeten az

değerlendirilebilir atık oluşturan buğdayın, ülkede en çok ekilen tarımsal ürün olması dolayısıyla ekili alana bağlı olarak 2848660.20 ton tarımsal atık oluşturacağı ön görülmektedir. Ayçiçeğinin 1933461.91 ton, arpanın 878284.37 ton ve pamuğun 431594.41 ton tarımsal atık oluşturacağı hesaplanmıştır.

Değerlendirilebilir tarımsal atık miktarının şehirlere göre dağılımları Şekil 1’de verilmektedir. Buna göre, Konya (1033134 ton) en yüksek tarımsal atık potansiyeline sahip şehirdir. Konya’nın ardından Adana (755540.40 ton), Şanlıurfa (720151.40 ton), Tekirdağ (497716.30 ton) ve İzmir (380180.60 ton) gelmektedir. Seçilen beş tarım ürününden ülke bazında 12033657.45 ton değerlendirilebilir atık oluşacağı hesaplanmıştır.

TÜİK verilerinin değerlendirilmesi sonucu elde edilen verilere göre seçilen tarımsal atıkların biyogaz enerji eşdeğerlerinin belirlenmesi amacıyla, ham biyogazda metan yüzdesi %60 kabul edildiğinde, enerji karşılığının 22.7 MJ/m³ olacağı kabul edilerek hesaplamalar yapılmıştır [19]. Elde edilebilecek biyogaz hesaplanırken, 1 ton tarımsal atıktan 20 m³ biyogaz elde edilebileceği kabul edilmiştir [20].

Ülke bazında seçilen tarımsal ürünlerin değerlendirilebilir tarımsal atık miktarı, elde edilebilecek biyogaz ve enerji eşdeğerlerinin şehirlere göre yüzde dağılım verileri, Jenks optimizasyon yöntemi (Jenks doğal ayrımlılık programı) ile sınıflarına göre renklendirilmiş ve ArcGIS Pro CBS Yazılımı programı vasıtasıyla oluşturulmuş haritalar vasıtasıyla yorumlanmaya çalışılmıştır.

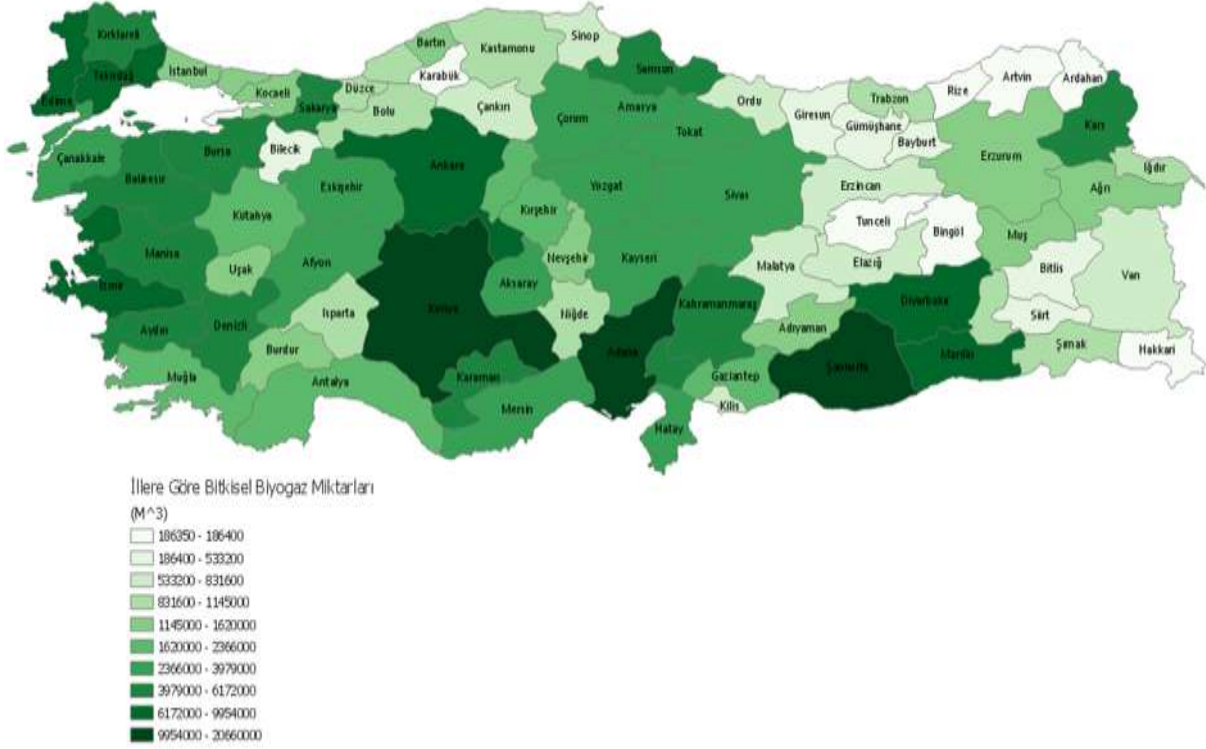
3. Bulgular ve Tartışma

Ülkemizde çeşitli biyobozunur atıklardan elde edilebilecek biyogaz potansiyelinin oldukça yüksek olduğu, bunun yanında alternatif enerji kaynakları arasında önemli bir paya sahip olduğu görülmektedir. Bu çalışmada ülkede en çok üretilen tarımsal ürünlerin atıklarından elde edilebilecek biyogazın miktarı ile enerji eşdeğeri, şehirler bazında değerlendirilmiş ve enerji tüketiminin bir kısmını karşılayabilecek yenilenebilir enerji potansiyeli ortaya konmaya çalışılmıştır. Potansiyeli ortaya konulan biyogaz enerjisinin kullanılması ile potansiyel enerji kaynağı takviyesi sağlanmasının yanında, tarla ürün kalıntılarının yakılarak toprağa, çevreye ve doğal kaynaklara zarar verilmesinin önüne geçilebilecektir.

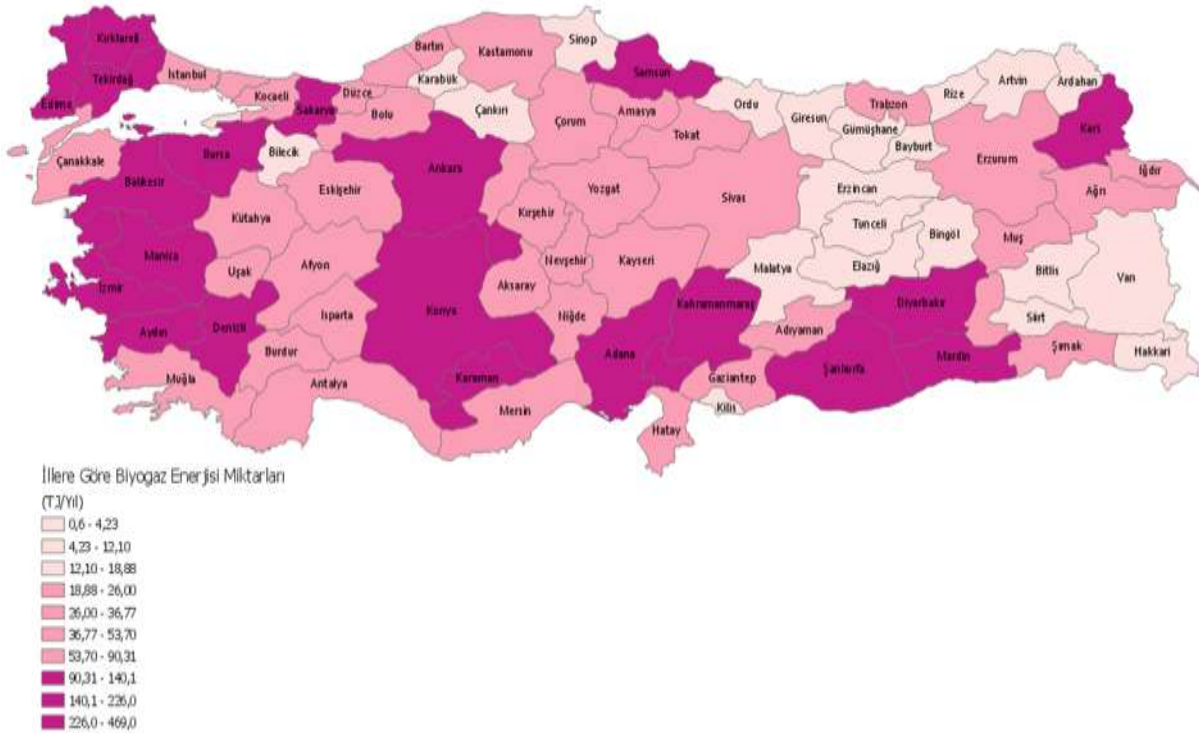
Çalışmada belirlenen tarım ürünleri (buğday, arpa, mısır, ayçiçeği, pamuk) atıklarının oluşturabileceği biyogaz (m³/yıl) hesaplanmış ve bu atıkların enerji eşdeğerleri (TJ/yıl) belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, en fazla biyogazı aynı zamanda en çok değerlendirilebilir tarımsal atığa sahip olan mısır (118833158.36 m³/yıl) vermektedir. Mısır atıklarından elde edilecek biyogazın enerji eşdeğeri 2697.53TJ/yıl (64417.02 TEP/yıl) olarak hesaplanmıştır. Ardından 56973205.08 m³/yıl biyogaz oluşturan buğdayın geldiği, enerji eşdeğerinin ise 1293.33 TJ/yıl (30884.72 TEP/yıl) olduğu belirlenmiştir. Ayçiçeği atıklarının 38669236.20 m³/yıl biyogaz oluşturacağı ve enerji eşdeğerinin 877.82 TJ/yıl (20962.34 TEP/yıl) olduğu belirlenmiştir. Arpadan ortaya çıkan atıkların 17565688.86 m³/yıl biyogaz, pamuk atıklarının ise 8631877.74 m³/yıl biyogaz potansiyeline sahip olduğu bulunmuştur. Biyogaz enerjisi eşdeğerleri ise sırasıyla 398.73 TJ/yıl (9521.67 TEP/yıl) ve 195.84 TJ/yıl (4676.66 TEP/yıl) dır.

En yüksekten en düşüğe biyogaz potansiyeli gösteren şehirler koyu yeşilden açık yeşile doğru işaretlenerek Şekil 2’de verilen harita ile gösterilmektedir. Şekil 2 değerlendirildiğinde, en fazla biyogaz potansiyeli bulunan şehrin Konya (20662689.70 m³/yıl) olduğu belirlenmiştir. İkinci en fazla biyogaz potansiyeli gösteren şehir Adana (15110808.82 m³/yıl)’dır. Ardından Şanlıurfa (14403028.66 m³/yıl), Tekirdağ (9954326.96 m³/yıl) ve İzmir (7603612.54 m³/yıl) gelmektedir. En az biyogaz potansiyeli Rize’de (27291.36 m³/yıl) bulunurken, Rize’yi Yalova (51317.18 m³/yıl) ve Ardahan (98970.32 m³/yıl) izlemektedir. Hakkâri (123260.52 m³/yıl) ve Bingöl’ün (123695.06

$m^3/yıl$) biyogaz potansiyelleri birbirine oldukça yakın olup, en az potansiyel gösteren şehirler içinde dördüncü ve beşinci sırada yer almaktadırlar. Şehirlere göre tarımsal atıklardan elde edilebilecek biyogaz enerjisi eşdeğeri dağılımı Şekil 3 ile 4'de gösterilmektedir.



Şekil 2. Şehirlere Göre Tarımsal Atıkların Biyogaz Potansiyeli Dağılımları



Şekil 3. Şehirlere Göre Tarımsal Atıkların Biyogaz Enerji Eşdeğerleri Dağılımları

Şimdiye kadar belirtilen hesap sonuçlarından tahmin edileceği üzere en fazla biyogaz enerjisi eşdeğeri bir İç Anadolu Bölgesi şehri olan Konya'dan (469.04 TJ/yıl (11200.68 TEP/yıl)) elde edilmektedir ve ülke toplam biyogaz enerjisi eşdeğerinin %8.59'una karşılık gelmektedir. Ardından Akdeniz Bölgesi şehri Adana (343.02 TJ/yıl (8191.32 TEP/yıl)) gelmekte ve ülke toplam biyogaz enerji eşdeğerinin %6.28'ini oluşturmaktadır. Üçüncü en yüksek biyogaz enerji eşdeğerini 326.95 TJ/yıl (7807.57 TEP/yıl) ile Güneydoğu Anadolu'da bulunan Şanlıurfa şehri vermekte ve bu şehirde tarımsal atıklardan elde edilebilecek biyogaz enerji eşdeğeri, ülke toplamının %5.98'ine tekabül etmektedir. Marmara Bölgesi'nde bulunan Tekirdağ'ın (225.96 TJ/yıl (5395.92 TEP/yıl)), ülke toplam biyogaz enerji eşdeğerindeki payı %4,14 olup, dördüncü sırada yer almaktadır. Ege Bölgesi'nde bulunan İzmir beşinci sırada yer almakta ve 172.60 TJ/yıl (4121.69 TEP/yıl) biyogaz enerjisi eşdeğeri ile ülke toplamına %3.16 katkı sağlamaktadır. Biyogaz enerji eşdeğeri \geq % 0.50 olan şehir sayısı kırk dokuz olup Şekil 5'deki grafikte sıralanmış, bu değerden daha küçük olan şehirler kapsam dışı bırakılmıştır.



Şekil 4. Şehirlere Göre Tarımsal Atıkların Biyogaz Enerji Eşdeğerleri Dağılımları (%)

4. Sonuç

Çalışmada TÜİK 2017 verilerine göre, ülke topraklarının %30.4'ünü oluşturan tarım arazilerinin (233850926.50 daa) 155363201 dekarına tahıl kategorisi ürünler (%66.44), 7982650 dekarına sebze (%3.41), 33481004 dekarına meyve, içecek ve baharat (%14.32), 49934.50 dekarına da süs bitkileri (%0.02) ekildiği ve 36974137 dekar alanın nadasa bırakıldığı (%15.81) belirlenmiştir.

Elde edilen verilere göre ülkede en fazla ekilen ürünün buğday olduğu (76990818 daa) ve ülkedeki ekili alanların %49.56'sına tekabül ettiği belirlenmiştir. Buğdayın ardından ülkedeki ekili alanların %15.70'ini oluşturan arpa (24396791 daa) gelmektedir. Mısır ekili alanın 11253140 dekar, ekili alana oranının %7.24; ayçiçeği ekili alanın 7796217 dekar ve ekili alanlardaki oranının %5.02 olduğu belirlenmiştir. 5018534 dekara pamuk ekilidir ve toplam ekili alanın %3.23'ünü oluşturmaktadır.

Ekilen tarımsal ürün miktarı 125455500 ton/yıldır. Yapılan hesaplamalara göre, ürünlerden ortaya çıkacak değerlendirilebilir tarımsal atık ise 12033657.45 ton/yıldır. Değerlendirilebilir tarımsal

atıklardan elde edilebilecek biyogaz potansiyeli 240673168 m³/yıl, enerji eşdeğeri ise 5463.19 TJ/yıl (130460.98 TEP/yıl) hesaplanmıştır. En yüksek miktarda tarımsal atık çıkaran şehir ülkenin “tahıl ambarı” olarak nitelendirilen Konya (1033134 ton) olarak belirlenmiş, Konya’yı, Adana (755540.40 ton), Şanlıurfa (720151.40 ton), Tekirdağ (497716.30 ton) ve İzmir’in (380180.60 ton) takip ettiği görülmüştür.



Şekil 5. Şehirlerin Biyogaz Enerji Eşdeğeri Potansiyeli Yüzdesi, %

En fazla miktarda biyogazın (118833158.36 m³/yıl) mısırın oluşturduğu atıklardan elde edildiği belirlenmiş, enerji eşdeğeri ise 2697.53 TJ/yıl (64417.02 TEP/yıl) olarak hesaplanmıştır. Mısırın ardından buğdayın (56973205.08 m³/yıl) geldiği ve biyogaz enerji eşdeğerinin 1293.33 TJ/yıl olduğu belirlenmiştir. Ayçiçeğinin oluşturduğu atıklardan elde edilebilecek biyogaz potansiyeli 38669236.20 m³/yıl, enerji eşdeğeri ise 877.82 TJ/yıl (20962.34 TEP/yıl) hesaplanmıştır. Arpadan ortaya çıkan atıkların biyogaz potansiyeli 17565688.86 m³/yıl, pamuk atıklarının ise 8631877.74 m³/yıldır. Arpa ve pamuğun oluşturduğu atıkların biyogaz enerji eşdeğerleri, 398.73 TJ/yıl (9521.67 TEP/yıl) ile 195.84 TJ/yıl (4676.66 TEP/yıl) dır.

Tarım atıklarının en fazla biyogaz potansiyeli ortaya koyduğu şehirlerden ilk beşi, Konya (20662689.70 m³/yıl), Adana (15110808.82 m³/yıl), Şanlıurfa (14403028.66 m³/yıl), Tekirdağ (9954326.96 m³/yıl) ile İzmir (7603612.54 m³/yıl) olarak sıralanmaktadır. Tarım atıkları açısından en az biyogaz potansiyelini Rize (27291.36 m³/yıl), Yalova (51317.18 m³/yıl), Ardahan (98970.32 m³/yıl), Hakkâri (123260.52 m³/yıl) ve Bingöl (123695.06 m³/yıl) vermektedir.

Ülkede tarım atıklarının biyogaz enerji eşdeğerinin en fazla olduğu şehir Konya (469.04 TJ/yıl (11200.68 TEP/yıl)) olarak belirlenmiş ve ülke toplam biyogaz enerji eşdeğerinin % 8.59'una tekabül ettiği hesaplanmıştır. Konya'nın ardından Adana (343.02 TJ/yıl (8191.32 TEP/yıl)) gelmekte ve Türkiye'deki biyogaz enerji eşdeğerinin % 6.28'ini oluşturmaktadır. Ardından Türkiye'deki biyogaz enerjisi eşdeğerinin %5,98'ini oluşturan Şanlıurfa (326.95 TJ/yıl (7807.57 TEP/yıl)) gelmektedir. Tekirdağ'ın (225.96 TJ/yıl (5395.92 TEP/yıl)), tarımsal atıklardan Türkiye'deki biyogaz enerjisi eşdeğerinin %4.14'üne karşılık gelecek biyogaz enerjisi üretebileceği belirlenmiştir. İzmir'in (172.60 TJ/yıl (4121.69 TEP/yıl)) ise tarımsal atıklardan kaynaklanan en fazla biyogaz enerji eşdeğerine sahip beşinci şehir olduğu ve ülke toplam biyogaz enerji eşdeğerinin %3.16'sını oluşturabileceği belirlenmiştir.

En fazla biyogaz enerji eşdeğerine sahip ilk beş şehir için hesaplanmış olan biyogaz enerjisi eşdeğerlerinin, EPDK (Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu) 2017 elektrik sarfiyatı verilerine bağlı olarak şehrin elektrik ihtiyacının ne kadarlık kısmını karşılayabileceği Tablo 3'de verilmektedir [21]. Hesaplamalarda ton petrol eşdeğeri olarak 11.63 MWh alınmıştır. Vergiler dahil 2017 birim elektrik fiyatı 0.4119 Türk lirasıdır.

Tablo 3. Şehirlerin Elektrik İhtiyaçları ve Karşılanma Yüzdeleri

Şehir	Biyogaz Enerji Eşdeğeri (TEP/yıl)	Elektrik Sarfiyatı (MWh)	Elektrik İhtiyacının Karşılanma Oranları (%)
Adana	8191.32	706551.86	13.48
İzmir	4121.69	1528360.21	3.14
Konya	112000.68	767268.77	16.98
Şanlıurfa	7807.57	429174.98	21.16
Tekirdağ	5395.92	558387.25	11.24

Tablo 3 incelendiğinde, tarımsal artıklardan biyogaz üretilmesiyle elde edilebilecek biyogaz enerjisi eşdeğerinin, Şanlıurfa'nın enerji ihtiyacının %21.16'sını karşıladığı görülmektedir. Nüfusu ve buna bağlı elektrik ihtiyacı diğer şehirlere göre nispeten düşük olan Şanlıurfa'nın tarımsal atıklardan elde edilebilecek biyogaz enerji eşdeğerinin buna oranla fazla olması dolayısıyla öne çıktığı görülmektedir. Konya'da elektrik ihtiyacının %16.86'si tarımsal atıklardan elde edilebilecek biyogaz ile karşılanabilirken, Adana'da %13.48'i, Tekirdağ'da %11.24'ü, İzmir'de %3.14'ü karşılanabilmektedir.

Biyogaz, tükenmekte olan fosil yakıtlardan sağlanan enerji ihtiyacının bir kısmını karşılaması dolayısıyla mantıklı bir şekilde değerlendirilmesi gereken bir alternatiftir. Ülke bazında biyogaz eldesi için tesis kurma planlamalarında, tarımsal artıklardan elde edilebilecek biyogaz enerjisi eşdeğerinin şehrin elektrik ihtiyacının ne kadarını karşılayabileceği değerlendirmesinin yer seçiminde oldukça önemli olduğu ve bu ölçütün de dikkate alınarak planlama yapılmasının yerinde olacağı değerlendirilmektedir. Çalışmada hesaplamalar doğrultusunda, Doğu Anadolu ve Karadeniz Bölgesi dışında, ülkenin her coğrafi bölgesinde bir ilde biyogaz enerji eşdeğeri açısından yüksek değerler elde edilmiştir. Biyogazın elde edileceği tesislerin planlanmasında, bu ve buna ek olarak belirlenebilecek ölçütler dikkate alınarak değerlendirmelerin yapılmasının uygun bir yaklaşım olacağı düşünülmektedir.

Teşekkür

SÇ'nin yüksek lisans tezinden oluşturulmuş bu makalenin yazımı sürecinde vefat eden tez danışmanı Esra TINMAZ KÖSE'yi saygıyla anıyoruz.

Yazar(lar)ın Katkıları

Makale, SÇ'nin yüksek lisans tezinde elde edilen sonuçlara göre oluşturulmuştur. SÖÇ, SÇ'nin yüksek lisans tez eş danışmanıdır. SÇ ve SÖÇ, araştırma konu ve kapsamını, uygulanacak programı ve çalışmada hangi verilerin kullanılacağını birlikte belirledi. SÇ, verileri elde ederek, programı uyguladı. Teorik hesaplamaları SÇ gerçekleştirdi ve SÖÇ kontrol etti, SÇ sonuçları yorumladı ve SÖÇ kontrol ederek eklemeler yaptı. SÇ ve SÖÇ makaleyi birlikte yazdı.

Her iki yazar da makalenin son halini okudu ve onayladı.

Çıkar Çatışması

Yazarlar, çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Kaynaklar

- [1]. Almuni, M., Dauwe, T., Moorkens, I., Saarkivi, R.J., Tomescu, M., Renewable energy in Europe-2020, Recent growth and knock-on effects, European Topic Centre on Climate Change Mitigation and Energy, Belgium, 2020.
- [2]. Ambrose, H. W., Philip, L., Suraishkumar, G.K., Karthikaichamy, A., Sen, T.K., "Anaerobic co-digestion of activated sludge and fruit and vegetable waste: Evaluation of mixing ratio and impact of hybrid (microwave and hydrogen peroxide) sludge pre-treatment on two-stage digester stability and biogas yield", Journal of Water Process Engineering, 2020, 37: 101498.
- [3]. NRCS, The U.S. Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service (NRCS). <https://lplc.org/animalagriculture-in-the-u-s-trends-in-production-and-manure-management/> Erişim Tarihi: 17 Haziran 2019.
- [4]. Sözer, S. & Yıldız, O., "Muz serası atıkları ve sığır gübresi karışımlarından mezofilik fermantasyon sonucu üretilebilecek biyogaz miktarının belirlenmesi üzerine bir araştırma", Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 2011, 4(2): 75-78.
- [5]. Shetty D. J., Kshirsagar P., Tapadia-Maheshwari S., Lanjekar V., Singh S. K., Dhakephalkar P. K., "Alkali pretreatment at ambient temperature: A promising method to enhance biomethanation of rice straw", Bioresource Technology, 2017, 226 (1): 80-88.
- [6]. Zheng M., Li X., Li L., Yang X., He Y., "Enhancing anaerobic biogasification of corn stover through wet state NaOH pretreatment, Bioresource Technology, 2009. 100 (21): 5140-5145.
- [7]. Kocabey, S., "Balıkesir ili için hayvansal atık kaynaklı biyogaz potansiyelinin belirlenmesi", European Journal of Science and Technology, 2019, 17: 234-243.
- [8]. Atılgan, A., Saltuk, B., Ertop, H., Aksoy, E., "Sera atıklarından biyogaz enerji potansiyelinin belirlenerek sayısal haritalarının oluşturulması: Antalya ili örneği", Euroasia Journal of Mathematics, Engineering, Natural & Medical Sciences, 2020, 7(12): 19-30.
- [9]. Görgülü, S., "Burdur ilinin hayvansal ve bazı tarımsal atık kaynaklı biyogaz potansiyelinin belirlenmesi", El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 2019, 6(3): 543-557.
- [10]. Baban, A., Timur, H., Cılız, N., Olgun, H., Akgün, F., "Kümes ve ahır gübrelere geri kazanılması ve bertarafı projesi", Final Raporu, TÜBİTAK-MAM, 2001. <http://www.biyogazder.org/makaleler/mak38.pdf>. [Erişim Tarihi: 4.11.2018].
- [11]. Kanat G., Ergüven G., "Importance of solid waste management on composting, problems and proposed solutions: The Case of Turkey", European Journal of Science and Technology, 2020, 19: 66-71.

- [12]. Akyürek, Z., “Energy recovery and greenhouse gas emission reduction potential of bio-waste in the Mediterranean region of Turkey”, *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 2019, 6(3): 482-490.
- [13]. Topçu, C., Türtük Yünsel, D. (2012). *Yenilenebilir Enerji Raporu*, Çukurova Kalkınma Ajansı, Adana.
- [14]. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2018). <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Biyokutle> [Erişim Tarihi: 11.09.2018].
- [15]. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2011). *Türkiye’de hayvansal atıkların biyogaz yoluyla kaynak verimliliği esasında ve iklim dostu kullanımı projesi (Türk-Alman Biyogaz Projesi)*, Ankara.
- [16]. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK-2017 verileri). <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=92&locale=tr> [Erişim Tarihi: 27.10.2018]
- [17]. Başçetinçelik, A., Öztürk, H., Karaca, C., Kaçira, M., Ekinci, K., Kaya, D., Baban, A., Güneş, K., Komitti, N., Barnes, I., Nieminen, M. (2006). *A Guide on exploitation of agricultural residues in Turkey, Final Report Annex XIV, LIFE 03 TCY/ TR /000061*, Adana.
- [18]. Aybek, A., Üçok, S., Bilgili, M., İspir, M., “Kahramanmaraş ilinde bazı tarımsal atıkların biyogaz enerji potansiyelinin belirlenerek sayısal haritalarının oluşturulması”, *Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi*, 2015, 29(2): 25-37.
- [19]. Acaroğlu, M., “*Alternatif Enerji Kaynakları*”, Nobel Yayın No: 1253, Ankara, 2007.
- [20]. Öztürk, H., “*Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Kullanımı*”, Teknik Yayınevi, Ankara, 2008.
- [21]. T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu. (2019). *Elektrik Piyasası Sektör Raporu*. <https://www.epdk.org.tr/Detay/DownloadDocument?id=GWHnLpVA2qk=> [Erişim Tarihi: 03.04.2019].