



POLİTEKNİK DERGİSİ

*JOURNAL of POLYTECHNIC*

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



**Çok kriterli karar verme metodu ile biyogaz üretimindeki en iyi enerji bitkisinin belirlenerek Türkiye ölçeğindeki enerji potansiyelinin hesaplanması**

*By determining the best energy plant for biogas production with multi-criteria decision making method calculation of energy potential in Turkey*

*Yazar(lar) (Author(s)): Rifat YILDIRIM<sup>1</sup>, İsrafil KARADÖL<sup>2</sup>*

*ORCID<sup>1</sup>: 0000-0002-4456-9448*

*ORCID<sup>2</sup>: 0000-0002-9239-0565,*

**To cite to this article:** Yıldırım R., Karadöl İ., “Çok kriterli karar verme metodu ile biyogaz üretimindeki en iyi enerji bitkisinin belirlenerek türkiye ölçeğindeki enerji potansiyelinin hesaplanması”, *Journal of Polytechnic*, \*(\*) : \*, (\*).

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz:** Yıldırım R., Karadöl İ., “Çok kriterli karar verme metodu ile biyogaz üretimindeki en iyi enerji bitkisinin belirlenerek türkiye ölçeğindeki enerji potansiyelinin hesaplanması”, *Journal of Polytechnic*, \*(\*) : \*, (\*).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.1370924

# Çok Kriterli Karar Verme Metodu ile Biyogaz Üretimindeki En İyi Enerji Bitkisinin Belirlenerek Türkiye Ölçeğindeki Enerji Potansiyelinin Hesaplanması

By Determining the Best Energy Plant for Biogas Production with Multi-Criteria Decision Making Method Calculation of Energy Potential in Turkey

## Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Çok kriterli karar verme metodu ile biyogaz üretimindeki en iyi enerji bitkisinin belirlenmesi (Determination of the best energy plant in biogas production with a multi-criteria decision-making method)
- ❖ En iyi enerji bitkisinin Türkiye ölçeğindeki enerji potansiyelinin hesaplanması (Calculation of the energy potential of the best energy plant on a Turkish scale)

## Grafik Özet (Graphical Abstract)

Bu çalışmada çok ölçütlü bir karar verme yöntemi olan Analitik Hiyerarşi Süreci yöntemi ile biyogaz proseslerinde en uygun enerji bitkisi seçimine ilişkin bir çalışma sunulmuştur. / In this study, a study on the selection of the most suitable energy crops in biogas processes using Analytic Hierarchy Process, a multi-criteria decision making method, is presented.



Şekil. Probleme ait hiyerarşik yapı /Figure. Hierarchical structure of the problem

## Amaç (Aim)

Türkiye ölçeğinde biyogaz potansiyeli en yüksek olan enerji bitkisinin belirlenmesi. / Determination of energy crops with the highest biogas potential in Turkey.

## Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) kullanılmıştır. / Analytic Hierarchy Process (AHP) was used.

## Özgünlük (Originality)

Biyogaz üretiminde en iyi enerji bitkilerinin seçimi için AHS kullanılan ve aynı zamanda, bulunan enerji bitkisinin Türkiye ölçeğinde enerji potansiyelinin hesaplandığı bir çalışma bulunmadığı için özgündür. / It is unique as there is no study that uses AHS for the selection of the best energy crops for biogas production and at the same time calculates the energy potential of the found energy crops at the scale of Turkey.

## Bulgular (Findings)

Enerji bitkilerinin seçiminde Analitik Hiyerarşi Süreci'nin (AHS) kullanılabilceği gösterilmiştir. / It was shown that Analytic Hierarchy Process (AHS) can be used for the selection of energy crops.

## Sonuç (Conclusion)

Türkiye'deki en iyi enerji bitkisinin buğday samanı olduğu ve bu enerji bitkisinin atıklarının Türkiye ölçeğindeki toplam biyogaz potansiyelinin  $156.10^6 \text{ m}^3$  ve bu biyogazın enerji değeri  $733,2.10^6 \text{ kWh/yıl}$  olduğu bulunmuştur. / It was found that the best energy crop in Turkey is wheat straw and the total biogas potential of the wastes of this energy crop in Turkey is  $156.106 \text{ m}^3$  and the energy value of this biogas is  $733,2.106 \text{ kWh/year}$ .

## Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

# Çok Kriterli Karar Verme Metodu ile Biyogaz Üretimindeki En İyi Enerji Bitkisinin Belirlenerek Türkiye Ölçeğindeki Enerji Potansiyelinin Hesaplanması

*Araştırma Makalesi / Research Article*

Rifat YILDIRIM<sup>1\*</sup>, İsrail KARADÖL<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Sütçüler Prof. Dr. Hasan Gürbüz Meslek Yüksekokulu, Mülkiyet Koruma ve Güvenliği Bölümü, İş Sağlığı ve Güvenliği Programı, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Türkiye

<sup>2</sup>Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received :03.10.2023; Kabul/Accepted :20.10.2023; Erken Görünüm/Early View :13.05.2024)

## ÖZ

Türkiye yüz ölçümünün yaklaşık üçte birinde buğday, arpa, mısır, ayçiçeği ve pamuk gibi önemli enerji bitkileri ekilmektedir. Bu ürünler enerji üretiminde değerlendirildiğinde yüksek biyogaz potansiyeline sahiptir. Bu potansiyelin tespitine yönelik hem deneysel hem de teorik birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar yapılırken bazı kabuller yapılmakta ve birtakım değişkenler göz ardı edilmektedir. Bu nedenle enerji bitkilerinin biyogaz potansiyelleri belirlenirken kriterler kullanılarak yapılan hesaplamalarla doğru sonuçlar elde edilebilmesi mümkündür. Bu çalışmanın amacı, Türkiye ölçeğinde biyogaz potansiyeli en yüksek olan enerji bitkisinin Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) ile belirlenmesidir. Analitik hiyerarşi sürecinde kriterler "1 m<sup>3</sup> metan (CH<sub>4</sub>) üretilebilmesi için gerekli atık miktarı", "Atıkların Satış Fiyatı", "Bitkilerin Türkiye genelinde Ekili Oldukları Alan", "Enerji Verimliliği" ve "Ürüne Özgü Değerlendirilebilir Atık Miktarı" olarak belirlenmiştir. Çalışmanın alternatifleri ise "Pamuk", "Ayçiçeği", "Buğday", "Arpa" ve "Mısır" olarak seçilmiştir. Yapılan bu çalışma sonucunda 0,374 puan ile Buğday Samanı en iyi alternatif olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre Türkiye'deki en iyi enerji bitkisi buğday samanı olarak tanımlanmıştır. Bu enerji bitkisinin atıklarının (saman) Türkiye ölçeğindeki toplam biyogaz potansiyeli 156.10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> ve bu biyogazın enerji değeri 733,2.10<sup>6</sup> kWh/yıl olarak hesaplanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Enerji bitkisi, biyogaz, metan, buğday samanı

## By Determining the Best Energy Plant for Biogas Production with Multi-Criteria Decision Making Method Calculation of Energy Potential in Turkey

### ABSTRACT

Approximately one-third of Turkey's total land area is cultivated, with important energy crops such as wheat, barley, corn, sunflower, and cotton. These products have high biogas potential when evaluated in energy production. Many studies, both experimental and theoretical, have been carried out to detect this potential. While carrying out these studies, some assumptions are made and some variables are ignored. For this reason, it is possible to obtain accurate results with calculations made using criteria when determining the biogas potential of energy plants. The aim of this study is to determine the energy plant with the highest biogas potential in Turkey using the Analytical Hierarchy Process (AHP). In the analytical hierarchy process, the criteria were determined as "The amount of waste required to produce 1 m<sup>3</sup> of methane (CH<sub>4</sub>)", "Sales Price of Waste", "Area Where Plants Are Cultivated in Turkey", "Energy Efficiency" and "Product-Specific Amount of Evaluable Waste". The alternatives of the study were chosen as "Cotton", "Sunflower", "Wheat", "Barley" and "Corn". As a result of this study, Wheat Straw was determined as the best alternative with 0.374 points. According to these results, the best energy plant in Turkey was defined as wheat straw. The total biogas potential of this plant in Turkey is calculated as 156x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> and the electrical energy potential of this biogas was 733.2x10<sup>6</sup> kWh/year.

**Keywords:** Energy Crop, Biogas, Methane, Wheat Straw

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Tarımsal faaliyetler sonrasında açığa çıkan artıklar, yenilenebilir enerji kaynakların yaklaşık %50'sine katkı sağlayarak, bu enerji kaynaklarının sürdürülebilmesi için gerekli olan biyokütle içerisinde önemli bir yer tutmaktadır

[1,2]. Odunsu olmayan biyokütle olarak bilinen [3] bu tarımsal atıklardan ve diğer birçok organik atıktan elde edilen her türlü enerji, biyoenerji olarak adlandırılmaktadır [4]. Kullanılan yöntem, ekonomiklik, hammadde bulunabilirliği vb., hususlara bağlı olarak değişmekle birlikte [5], biyokütlenin enerjiye dönüşümü termokimyasal ve biyokimyasal olmak üzere iki ana işleme yapılmaktadır [6, 7]. Bu işlemlerden biyogaz prosesleri enerji üretimi açısından önemli bir yer tutmaktadır. Yüksek

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)  
e-posta : rifatyildirim@isparta.edu.tr

lignoselülozik yapıları ve bu yapıların sindiriminin zor olması nedeniyle tarımsal atıkların enerji üretimlerinde zorluklar yaşanabilmektedir. Fakat bunun yanı sıra elde edilecek enerji ve tarımsal atıkların bertarafının sağlanması nedeniyle, bu atıkların biyogaz proseslerinde kullanımı yaygındır. İçeriğinde yüksek miktarlarda karbonhidrat bulunan hayvansal ve bitkisel kaynaklı maddeler biyokütle enerjisi üretiminde kullanılabilir. Temiz enerji kaynağı olarak bilinen biyokütle enerjisi, düşük maliyetli, kontrolsüz CO<sub>2</sub> salınımını azaltan ve kükürt içeriği düşük, ısı ve yakıt üretimi için kullanılan ve dünyadaki en büyük alternatif enerji kaynaklarından biridir [8, 4].

Topraklarının %30'u tarım arazisi olan ve bu arazilerin büyük kısmında (%66) tahıl ve diğer ürünler yetiştirilen [9] ülkemizde fazlasıyla bulunan tarımsal artıkların değerlendirilerek ülke ekonomisine katkı sağlama potansiyeli yüksektir [4]. Enerji bitkisi olarak isimlendirilen ve ülkemizde de üretimi oldukça fazla olan bitkilerden olan Buğday, Arpa, Mısır, Ayçiçeği ve Pamuk bitkileri sırasıyla 76.990.818 daa (dekar), 24.396.791 daa, 11.253.140 daa, 7.796.217 daa ve 5.018.534 daa alana ekimi yapılmıştır [9]. Türkiye topraklarında 2022 yılı boyunca 19.750.000 ton buğday, 8.500.000'şer ton mısır (dane) ve arpa, 950.000 ton çeltik, 273.000 ton çavdar, 365.000 ton yulaf, 5.200.000 ton patates, 1.308.194 ton kuru baklagiller (bakla, bezelye, nohut, fasulye vb.), 155.000 ton soya, 186.340 ton yer fıstığı, 2.550.000 ton ayçiçeği, 17.366 ton susam, 30.000 ton aspir, 150.000 ton kanola, 82.250 ton tütün, 19.000.000 ton şeker pancarı, 237 ton şeker kamışı, 2.750.000 ton pamuk yetiştirilmiştir [10]. Bu bitkilerin değerlendirilebilir atık miktarları Buğday, Arpa, Mısır, Ayçiçeği ve Pamuk için sırasıyla; 37 kg/da, 36 kg/da, 528 kg/da, 248 kg/da ve 86 kg/da olduğu düşünüldüğünde [11], bu bitkilerin enerji potansiyelinin büyüklüğü ortaya çıkmaktadır. Ancak birden fazla atık olması durumunda biyogaz proseslerinde kullanılacak substrat seçilirken, prosesi olumsuz etkilemeyecek ve aynı zamanda enerji üretimi fazla olan malzeme seçimi önemli bir parametredir. Bu nedenle seçilecek atığın (substrat) kısa sürede ve en uygun şekilde kararlaştırılması oldukça önemlidir.

Bu konudaki araştırmalar değerlendirildiğinde AHS yöntemleri kullanarak binalarda kullanılan betonların karışım oranının belirlendiği [12], hidroelektrik santrallerinde bakım stratejilerinin [13] ve iş sağlığı ve güvenliğinde kullanılan risk analiz tekniklerinin değerlendirildiği [14], Türkiye için en uygun yenilenebilir enerji kaynağının belirlendiği [15], yenilenebilir ve geleneksel enerji kaynaklarını incelendiği [16], atık bertarafı için hangi tehlikeli atık türünün hangi firmaya verilmesi gerektiği belirlendiği [17] çalışmaların yanı sıra yenilenebilir veya geleneksel enerji kaynakları arasında en iyi alternatifini belirlemeye yönelik birçok çalışma mevcuttur [18-22]. Fakat biyogaz özelinde en iyi enerji bitkisinin Türkiye ölçeğinde belirlenmesi yönünde herhangi bir akademik çalışma bulunmamaktadır.

Yapılan bu çalışmada, biyogaz prosesleri için en uygun enerji bitkisi Analitik Hiyerarşi Süreci ile belirlenmiştir. Ayrıca belirlenen enerji bitkisinin Türkiye ölçeğindeki

enerji potansiyeli hesaplanmıştır. Hesaplanan enerji potansiyelinin, yeni kurulacak tesislerdeki enerji kaynağının (enerji bitkisinin) belirlenmesinde önemli bir rol oynayacağı ön görülmektedir.

## 2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

### 2.1. Biyogaz Üretim Süreçleri (Biogas Production Processes)

Organik atıklar biyoetanol, biyogaz, biyodizel vb. (biyokütle) dönüştürülmekte ve bu atıklardan yüksek miktarlarda biyoyakıt üretilebilmektedir [23]. Artan enerji talebini karşılamak amacıyla biyokütle enerjisi önemli yenilenebilir enerji kaynaklarıdır [24]. Biyogaz, biyoyakıtlar arasında, biyokütle anaerobik fermentasyonundan kaynaklanan ve enerji üretmek için kullanılabilen bir gaz kombinasyonudur ve %60-75 metan (CH<sub>4</sub>), %23-38 karbondioksit (CO<sub>2</sub>) ve eser miktarda hidrojen (H<sub>2</sub>) ve hidrojen sülfür (H<sub>2</sub>S) içerir [25]. Organik atıkların kontrollü olarak anaerobik koşullarda biyogaza dönüştürülmesi ile organik atıklardan enerji elde edilmekte, sera gazı emisyonları kontrol altında tutulmakta, katı atık depolama tesislerinde fazla olan organik atık yükleri azaltılarak bu atıklardan ayrıca gelir elde edilmektedir [26].

Anaerobik fermentasyonun birinci aşaması olan hidroliz aşaması ile başlayan, ardından asidojeniz, asetojeniz ve metanojeniz aşamaları sonucunda biyogaz üretimi ile biten reaksiyon zincirinde hidroliz aşaması, anaerobik fermentasyonun hızını belirleyen [27] ve kompleks yapıdaki maddelerin, daha basit organik yapılara dönüştürüldüğü biyogaz üretiminin en önemli aşamasıdır [27, 28]. Hidroliz aşamasında, polimerlerin (karbonhidrat, protein ve yağ), daha küçük yapıdaki monomerlere dönüşümü gerçekleşmektedir. Hidroliz aşamasında üretilen monomerler, ikinci aşama olan asidojeniz aşamasında kısa zincirli asitlere, hidrojen, alkol ve karbondioksit dönüştürülürler [29]. Üçüncü aşama olan asetojeniz fazında, mikroorganizmalar tarafından fermentasyonun devamı sağlanmakta ve asidojeniz aşamasında oluşan uçucu yağ asitleri, metan üretiminin öncüsü olan karbondioksit, asetat ve hidrojene dönüştürülmektedir [30]. Asetojenez aşamasında, asidojenizden farklı olarak asetat üretimi, gerçekleştirilmektedir [31]. Asetolastik (asetat, metan ve karbondioksit) dönüştürülür ve hidrojenotrofik (elektron vericisi olarak hidrojen ve elektron alıcısı olarak karbondioksiti kullanarak metan üretir) metanojenlerin görev yaptığı [29, 30, 32, 33] dördüncü ve son aşama olan metanojeniz aşamasında ise, %30'luk kısmının asetik asitin oksidasyonu, %70'lik kısmının ise hidrojen ve karbondioksitin indirgenmesi sonucu gerçekleşen [34-36] biyogaz üretimi gerçekleşmektedir.

### 2.2. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) (Analytic Hierarchy Process)

Çok ölçütlü karar verme yöntemleri, karar vericilerin uğraşması gereken aynı hedefleri, karmaşık, çelişkili ve öngörülemez koşulları gösterir [37]. İstatistiksel yöntemler, matematiksel ifadeler ve problem çözme modelleri kullanılarak karar verme, en uygun alternatifini seçmenin bir yolu olarak kullanılır [38]. Thomas L. Saaty



tarafından, 1970’li yıllarda literatüre kazandırılmış bir yöntem olan [40] AHS, ölçülebilir ve somut olmayan

kriterler veya özelliklerle yönetmek için karar teorisi ve uyumsuzluk çözümü dahil olmak üzere çeşitli alanlara uygulanan bir ölçüm teorisidir [41-43]. AHS yaklaşımı, karmaşık karar problemlerini çeşitli kriterlerle değerlendirilerek çözüm bulmak için iyi bir seçenek ve birçok alanda yaygın olarak uygulanan etkili bir yöntemdir [39]. Yaklaşım, ikili karşılaştırma yoluyla, karar vericilerin her bir kıyaslama için öncelikleri (göreceli ağırlık) belirlemesine yardımcı olur [45, 46]. AHS yaklaşımı aynı zamanda, karar verme yazılımı olarak kullanıldığında özellikle kullanıcı dostudur. Bu arada, bu noktaya kadar hem AHS tekniğini hem de çok kriterli karar verme yöntemi çok az araştırmada kullanılmıştır [47].

**Çizelge 1.** İkili karşılaştırmada kullanılan önem dereceleri tablosu (Table of degrees of importance used in pairwise comparison) [39]

Önem Derecesi	İki Faktör Arasındaki Önemi	Açıklama
1	Eşit	Her iki faktör aynı öneme sahiptir.
3	Orta	Bir faktörler diğerine göre biraz daha önemlidir.
5	Kuvvetli	Faktörlerden biri diğerinden kuvvetle daha önemlidir.
7	Çok Kuvvetli	Faktörlerden biri diğerine göre yüksek derecede kuvvetle daha önemlidir.
9	Mutlak	Faktörlerden biri diğerine göre çok yüksek derecede önemlidir.

AHS’de ilk olarak bir hiyerarşi kurulmakta, ardından alternatifler birbirlerine göre kıyaslanmakta ve son olarak sayısal puanlamalar yapılarak üç aşamada işlemler sonlandırılmaktadır [37]. Hiyerarşinin oluşturulmasının ardından, Çizelge 1’deki veriler kullanılarak ikili karşılaştırmada [39] kullanılan önem dereceleri belirlenir [48]. AHS yöntemi uygulamalarında daha önceden belirlenmiş formüllerden yararlanılmıştır [49, 50].

Bu çalışmanın amacı, biyogaz üretim süreçlerinde kullanılabilir olan enerji bitkilerinin avantaj ve dezavantajlarını göz önünde bulundurarak, Çok Ölçütlü Karar Verme yöntemleri yardımıyla en uygun enerji bitkisini belirlemek ve hesaplamalar sonucu bulunan enerji bitkisinin Türkiye’deki mevcut biyogaz potansiyelinin bulunmasıdır. En uygun enerji bitkisini belirlemek amacıyla en sık kullanılan yöntemlerden biri olan Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) kullanılmıştır. Alternatiflerin kriterlere göre ağırlık puanlarını oluşturarak tutarlı bir çözüm bulmak için [51] çalışmanın parametreleri dahilinde AHS kullanılmıştır [52]. AHS tekniğinde kriterler “1 m<sup>3</sup> metan (CH<sub>4</sub>) üretilmesi için gerekli atık miktarı”, “Atıkların Satış Fiyatı”, “Bitkilerin Türkiye genelinde Ekili Oldukları Alan”, “Enerji Verimliliği” ve “Ürüne Özgü Değerlendirilebilir Atık Miktarı” olarak belirlenmiştir. Kriter ağırlıkları ise sırasıyla; 0,24, 0,04, 0,08, 0,50, 0,14

olarak seçilmiştir. Alt kriterler (alternatifler) ise “Pamuk”, “Ayçiçeği”, “Buğday”, “Arpa” ve “Mısır” olarak belirlenmiştir.

### 2.3. Biyogaz Miktarının Hesaplanması (Calculation of Biogas Amount)

Yapılan bu çalışmada, biyogaz prosesleri için en uygun enerji bitkisi AHS yardımıyla belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda Türkiye’deki enerji bitkilerine ait kriterler değerlendirilmiş ve bu değerlendirmeler sonucunda Türkiye için en iyi enerji bitkisinin buğday samanı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu bitkinin Türkiye ölçeğindeki biyogaz potansiyelini belirlemek amacıyla Denklem 1’de verilen eşitlik kullanılmıştır [53-55].

$$YBU = ÖMM * UMO * KMO * YAM * AK \quad (1)$$

Denklem 1’de verilen eşitlik yıllık biyogaz üretim (YBU) miktarını (m<sup>3</sup>/yıl) tanımlamaktadır. Eşitlikte verilen diğer kısaltmalar ise;

ÖMM: Özgül Metan Miktarı (m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/kg)

UMO: Uçucu Madde Oranı (%)

KMO: Kuru Madde Oranı (%)

YAM: Yıllık Atık Miktarı (kg/yıl)

AK: Atığın Kullanılabilirliği (%)

şeklinde tanımlanmaktadır. Yapılan çalışmada buğday samanındaki biyogaz miktarının hesaplamasında kullanılan kabuller Çizelge 2’de verilmiştir.

**Çizelge 2.** Buğday samanı için biyogaz parametreleri (Biogas parameters for wheat straw)

Kullanılan Kabuller	Alınan Değerler
Atığın kullanılabilirliği (Verim) (%) [9]	45,27
Kuru Madde Oranı (%) [56, 57]	93,9– 92,69
Uçucu Katı Madde [56, 57]	91,6– 84,24
Özgül Metan Miktarı [58]	0,179 m <sup>3</sup> /kg

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA (CONCLUSIONS AND DISCUSSION)

Enerji bitkileri, dünya genelinde tüketim vb., amaçlarla üretilen ürünlerden arta kalan atıkların değerlendirilmesi gereksinimini ortaya çıkarmaktadır. Bu atıkların değerlendirilmesiyle birlikte atık yükünün azalması söz konusudur. Bu atıkların değerlendirilmesiyle birlikte enerji üretimi sağlanabilmekte ve aynı zamanda toprak iyileştirici özelliği olan son ürünler (cüruf, kompost vb.) elde edilmektedir. Bu çalışma yardımıyla Arpa, Buğday, Mısır, Ayçiçeği ve Pamuk bitkilerinin biyogaz potansiyelinin AHS ile değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir. Enerji bitkilerinin değerlendirilmesinde ilk olarak Şekil 1’de verilen, probleme ait bir hiyerarşik yapı oluşturulmuştur.

Hiyerarşik yapının oluşturulmasının ardından AHS yöntemi ile hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. AHS uygulanırken her bir kriter için seçenekler ikili olarak gruplandırılmış ve Çizelge 1’deki bilgiler kullanılarak değerlendirilmiştir. Burada alternatiflerin puanlanması, literatür bilgileri ve uzman görüşleri kullanılarak yapılmıştır. AHS hesaplamaları için Microsoft Excel uygulaması kullanılmıştır.

AHS tekniği uygulanırken ilk olarak satırın “i” ve sütunun “j” ile gösterildiği ve  $a_{ij} \neq 0$  olan bir A matrisi oluşturulmuştur. A matrisi, Denklem 2’de gösterilmektedir.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}, a_{ij} = 1/a_{ij} \quad (2)$$

A matrisi oluşturulmasının ardından Denklem 4 kullanılarak oluşturulan B matrisi, tüm değerleri aynı aralık içine alarak Denklem 3 yardımıyla normalize edilmiş değerlerin oluşturulması için kullanılmıştır.

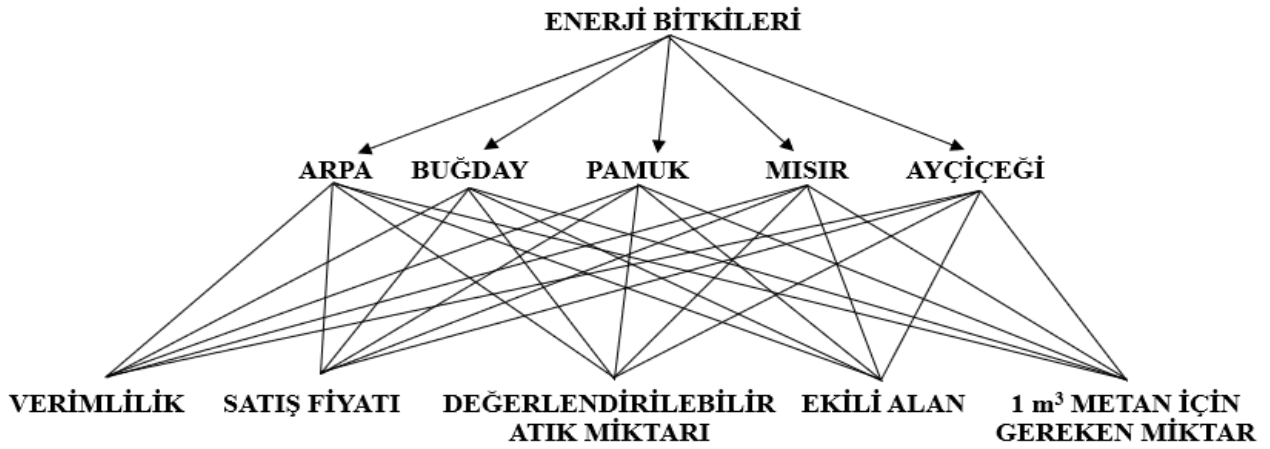
$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=j}^n a_{ij}} \quad (3)$$

$$B = \begin{bmatrix} b_{11} & \dots & b_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{n1} & \dots & b_{nn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

Daha sonra her bir kriterle göre alternatiflerin puanlarının hesaplanması, normalize edilmiş tüm kriterlerin ağırlıklarının toplamının Denklem 5’teki formül yardımıyla kriter sayısına bölünmesi ile Denklem 6’da oluşan son matris bulunmuştur.

$$w_i = \frac{\sum_{i=j}^n b_{ij}}{n} \quad (5)$$

$$W = [w_i]_{n \times 1} = \begin{bmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} \quad (6)$$



Şekil 1. Probleme ait hiyerarşik yapı (Hierarchical structure of the problem)

Denklem 7 kullanılarak, kriterlerin ağırlık vektörü (C) ile alternatiflerin kriter puanları matrisi (S) çarpılmış ve sonuç olarak alternatiflerin genel puanı (P) hesaplanmıştır.

$$P = C * S = [w_i]_{n \times 1} * [w_{ij}]_{n \times m} \quad (7)$$

$$P = [P_i]_{1 \times m} \quad (8)$$

Alternatiflerin genel puanı hesaplaması sonrasında genel puanı en büyük olandan başlayarak sıralama yapılır. AHS tekniğinde son olarak subjektif olan algıların tutarlılığını ve göreceli ağırlıkların doğruluğu tespit etmek amacıyla, Denklem 7’de bulunan  $\lambda_{maks}$  (vektörün en büyük özdeğeri) ve n (toplam kriter sayısı) kullanılarak

Tutarlılık İndeksi (CI) ve Denklem 10’da bulunan tutarlılık indeksi (CR) ve Rastgele Değer İndeksi (RI) kullanılarak Tutarlılık Oranı (CR) katsayıları hesaplanmıştır.

$$CI = \frac{\lambda_{maks} - n}{n - 1} \quad (9)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (10)$$

Sonuçların daha güvenilir olabilmesi için tutarlılık indeksi (CR) 0,1’den küçük olmalıdır. Tutarlılık göstergeleri 1-10 boyutlu matrisler için, Çizelge 3’teki gibidir.

Çizelge 3. Rastgele Değer İndeksleri (Random Indices)

Kriter Sayısı (N)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Rastgele Değer İndeksi (RI)	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

AHS’nin ilk aşaması modelde kullanılan kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesidir. Kriter ağırlıklandırma yaygın olarak kullanılan metodolojilerden biri kriterlerin ikili karşılaştırma matrislerinin oluşturulmasıdır. İkili karşılaştırma matrisi bu çalışmada yalnızca kriterlerin ikili kıyaslanmasında değil, aynı zamanda alternatiflerin her bir

kritere göre karşılaştırılmasında da kullanılmıştır. Çizelge 3’te bu çalışmada kullanılan kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi verilmektedir. Bu çalışmaya özel olarak kullanılan kriterler atıkların enerji verimliliği (%) (K1), ekili ürünlerin değerlendirilebilir atık miktarları (kg/daa) (K2), atıkların direkt satış fiyatları (TL) (K3), ürünlerin Türkiye’deki ekili

alanları (daa) (K4), 1 m<sup>3</sup> metan (CH<sub>4</sub>) üretilebilmesi için gerekli atık miktarı (kg) (K5) kriterleridir. Çizelge 4'ün genel olarak yorumlanması aşağıdaki gibidir.

- K1 kriteri K2 kriteri ile kıyaslandığında K1 kriterinin K2 kriterine göre “Kuvvetli Derecede Önemli” olduğu görülmektedir. K1 kriteri K3 kriteri ile kıyaslandığında K1 kriterinin K3 kriterine göre “Çok Kuvvetli Derecede Önemli” ile “Mutlak Derecede Önemli” arasında olduğu görülmektedir. K1 kriteri K4 kriteri ile kıyaslandığında K1 kriterinin K4 kriterine göre “Çok Kuvvetli Derecede Önemli” olduğu görülmektedir. K1 kriteri K5 kriteri ile kıyaslandığında K1 kriterinin K5 kriterine göre “Orta Derecede Önemli” olduğu görülmektedir.
- K2 kriteri K3 kriteri ile kıyaslandığında K2 kriterinin K3 kriterine göre “Kuvvetli Derecede Önemli” olduğu görülmektedir. K2 kriteri K4 kriteri ile kıyaslandığında K2 kriterinin K4 kriterine göre “Orta Derecede Önemli” olduğu görülmektedir. K2 kriteri K5 kriteri ile kıyaslandığında K5 kriterinin K2 kriterine göre “Orta Derecede Önemli” olduğu görülmektedir.
- K3 kriteri K4 kriteri ile kıyaslandığında K4 kriterinin K3 kriterine göre “Orta Derecede Önemli” olduğu görülmektedir. K3 kriteri K5 kriteri ile kıyaslandığında K5 kriterinin K3 kriterine göre “Çok Kuvvetli Derecede Önemli” olduğu görülmektedir.
- K4 kriteri K5 kriteri ile kıyaslandığında K5 kriterinin K4 kriterine göre “Orta Derecede Önemli” olduğu görülmektedir.

**Çizelge 4.** Kriterlerin ikili karşılaştırılması (Pairwise comparison of criteria)

	K1	K2	K3	K4	K5
K1	1,00	5,00	8,00	7,00	3,00
K2	0,20	1,00	5,00	3,00	0,33
K3	0,10	0,20	1,00	0,33	0,10
K4	0,10	0,33	3,00	1,00	0,33
K5	0,33	3,00	7,00	3,00	1,00

Çizelge 4'e göre kriterlerin karşılaştırılmasının Denklem 9'a göre hesaplanan CI değeri 0,067 hesaplanırken, Çizelge 3'e göre RI değeri de 1,12 olarak seçilmiştir. Bu iki veriye göre CR değeri 0,06 olarak hesaplanmıştır. CR değeri 0,1'den küçük olduğu için yapılan işlemler istatistiksel olarak tutarlı ve anlamlıdır. Tutarlılık ve anlamlılık işlemlerine göre kriterlerin kullanılabilir ağırlıkları Çizelge 5'te gösterilmektedir. Kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesinde görüş alınan uzmanların değişmesi halinde hesaplamaların da değişeceği unutulmamalıdır.

Çizelge 6'da 1 m<sup>3</sup> metan (CH<sub>4</sub>) üretilebilmesi için gerekli atık miktarı (kg) kriterine göre alternatiflerin ikili karşılaştırma matrisi verilmektedir. Çizelge 6'ya göre hesaplanan CI değeri 0,030 hesaplanırken, Çizelge 3'e göre RI değeri de 1,12 olarak seçilmiştir. Bu iki veriye göre CR değeri 0,027 olarak hesaplanmıştır. CR değeri 0,1'den küçük olduğu için yapılan işlemler istatistiksel olarak tutarlı ve anlamlıdır. 1 m<sup>3</sup> metan (CH<sub>4</sub>) üretilebilmesi için gerekli atık miktarı kriterine göre en düşük atık miktarı ile en iyi değere sahip olan alternatif 0,103 puan ile Mısır (Y5) olarak

belirlenmiştir. Diğer alternatifler ise, Y4 alternatifi olan Arpa (0,066), Y3 alternatifi olan Buğday (0,043), Y2 alternatifi olan Ayçiçeği (0,020) ve Y1 alternatifi olan Pamuk (0,010) olacak şekilde sıralanmaktadır.

**Çizelge 5.** Kriterlerin Ağırlıklandırılmış Puanları (Weighted Scores of Criteria)

Kriterler	Ağırlıklı Puanlar
Verimlilik	0,50
Gerekli Miktar	0,14
Atık Miktarı	0,04
Ekili Alan	0,08
Satış Fiyatı	0,24

**Çizelge 6.** 1 m<sup>3</sup> metan (CH<sub>4</sub>) üretilebilmesi için gerekli atık miktarı Kriterine Göre Alternatiflerin İkili Karşılaştırılması ve Anlamlılığı (1 m<sup>3</sup> of waste required to produce methane (CH<sub>4</sub>) Pairwise Comparison and Significance of Alternatives According to the Criterion)

	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5
Y1	1,00	0,33	0,20	0,17	0,14
Y2	3,00	1,00	0,33	0,25	0,20
Y3	5,00	3,00	1,00	0,50	0,33
Y4	6,00	4,00	2,00	1,00	0,50
Y5	7,00	5,00	3,00	2,00	1,00
Toplam	22,00	13,33	6,53	3,92	2,18

Çizelge 7'de Atıkların Satış Fiyatı (TL) kriterine göre alternatiflerin ikili karşılaştırma matrisi verilmektedir. Çizelge 7'ye göre hesaplanan CI değeri 0,024 hesaplanırken, Çizelge 3'e göre RI değeri de 1,12 olarak seçilmiştir. Bu iki veriye göre CR değeri 0,021 olarak hesaplanmıştır. CR değeri 0,1'den küçük olduğu için yapılan işlemler istatistiksel olarak tutarlı ve anlamlıdır. Atıkların Satış Fiyatı kriterine göre en düşük fiyata satılması nedeniyle iyi değere sahip olan alternatif 0,015 puan ile Mısır (Y5) olarak belirlenmiştir. Diğer alternatifler ise sırasıyla, Y3 ve Y4 alternatifleri olan Buğday ve Arpa (0,009), Y2 alternatifi olan Ayçiçeği (0,006) ve Y1 alternatifi olan Pamuk (0,003) olarak sıralanmaktadır.

**Çizelge 7.** Atıkların Satış Fiyatı Kriterine Göre Alternatiflerin İkili Karşılaştırılması ve Anlamlılığı (Pairwise Comparison and Significance of Alternatives According to Waste Sale Price Criterion)

	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5
Y1	1,00	3,00	0,25	0,25	0,20
Y2	0,33	1,00	0,17	0,17	0,14
Y3	4,00	6,00	1,00	1,00	0,5
Y4	4,00	6,00	1,00	1,00	0,5
Y5	5,00	7,00	2,00	2,00	1,00
Toplam	14,33	23,00	4,42	4,42	2,34

Çizelge 8'de Bitkilerin Türkiye genelinde Ekili Oldukları Alan (daa) kriterine göre alternatiflerin ikili karşılaştırma matrisi verilmektedir. Çizelge 8'e göre hesaplanan CI değeri 0,031 hesaplanırken, Çizelge 3'e göre RI değeri de 1,12 olarak seçilmiştir. Bu iki veriye göre CR değeri 0,027 olarak hesaplanmıştır. CR değeri 0,1'den küçük olduğu için yapılan işlemler istatistiksel olarak tutarlı ve anlamlıdır. Bitkilerin Türkiye Genelinde Ekili Oldukları Alan kriterine göre en fazla ekim alanına sahip olması nedeniyle en iyi

değere sahip olan alternatif 0,041 puan ile Buğday (Y3) olarak belirlenmiştir. Diğer alternatifler ise sırasıyla, Y4 alternatifi olan Arpa (0,015), Y5 alternatifi olan Mısır (0,010), Y2 alternatifi olan Ayçiçeği (0,006) ve Y1 alternatifi olan Pamuk (0,004) olarak sıralanmaktadır.

Çizelge 9’da ürüne özgü değerlendirilebilir atık miktarı alternatiflerin ikili karşılaştırma matrisi verilmektedir. Çizelge 9’a göre hesaplanan CI değeri 0,025 hesaplanırken, Çizelge 3’e göre RI değeri de 1,12 olarak seçilmiştir. Bu iki veriye göre CR değeri 0,022 olarak hesaplanmıştır. CR değeri 0,1’den küçük olduğu için yapılan işlemler istatistiksel olarak tutarlı ve anlamlıdır. Ürüne özgü değerlendirilebilir atık miktarı kriterine göre en çok atık oluşturduğu için en iyi değere sahip olan alternatif 0,041 puan ile Buğday (Y3) olarak belirlenmiştir. Diğer alternatifler ise sırasıyla, Y4 alternatifi olan Arpa (0,015), Y5 alternatifi olan Mısır (0,010), Y2 alternatifi olan Ayçiçeği (0,006) ve Y1 alternatifi olan Pamuk’ur (0,04).

**Çizelge 8.** Bitkilerin Türkiye genelinde Ekili Oldukları Alan Kriterine Göre Alternatiflerin İkili Karşılaştırılması ve Anlamlılığı (Pairwise Comparison and Significance of Alternatives According to the Criterion of Cultivated Area of Crops in Turkey)

	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5
Y1	1,00	0,50	0,14	0,25	0,33
Y2	2	1,00	0,17	0,33	0,50
Y3	7,00	6,00	1,00	4,00	5,00
Y4	4,00	3,00	0,25	1,00	2,00
Y5	3,00	2,00	0,20	0,50	1,00
Toplam	17,00	12,50	1,76	6,08	8,83

**Çizelge 9.** Ürüne Özgü Değerlendirilebilir Atık Miktarı Kriterine Göre Alternatiflerin İkili Karşılaştırılması ve Anlamlılığı (Pairwise Comparison and Significance of Alternatives According to Product Specific Recyclable Waste Amount Criterion)

	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5
Y1	1,00	0,33	2,00	3,00	0,20
Y2	3,00	1,00	4,00	5,00	0,33
Y3	0,50	0,25	1,00	2,00	0,17
Y4	0,33	0,20	0,50	1,00	0,14
Y5	5,00	3,00	6,00	7,00	1,00
Toplam	9,83	4,78	13,50	18,00	1,84

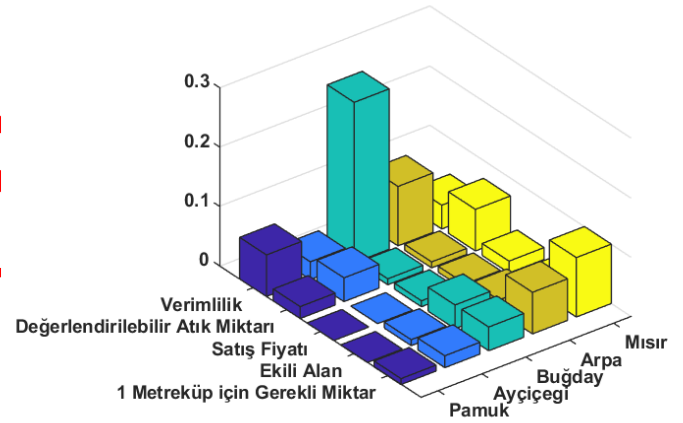
Çizelge 10’da atıkların enerji verimliliklerine göre alternatiflerin ikili karşılaştırma matrisi verilmektedir. Çizelge 10’a göre hesaplanan CI değeri 0,037 hesaplanırken, Çizelge 3’e göre RI değeri de 1,12 olarak seçilmiştir. Bu iki veriye göre CR değeri 0,033 olarak hesaplanmıştır. CR değeri 0,1’den küçük olduğu için yapılan işlemler istatistiksel olarak tutarlı ve anlamlıdır. Atıkların enerji verimliliklerine göre en yüksek orana sahip olduğu için en iyi değere sahip olan alternatif 0,271 puan ile Buğday (Y3) olarak belirlenmiştir. Diğer alternatifler ise sırasıyla, Y4 alternatifi olan Arpa (0,102), Y1 alternatifi olan Pamuk (0,065), Y5 alternatifi olan Mısır (0,041) ve Y2 alternatifi olan Ayçiçeği (0,026) olarak belirlenmiştir.

Değerlendirmeler sonucu elde edilen verilerin bulunduğu Şekil 2 incelendiğinde Buğday, “Ürüne Özgü

Değerlendirilebilir Atık Miktarı” ve “1 m<sup>3</sup> metan (CH<sub>4</sub>) üretilmesi için gerekli atık miktarı” kriterlerinde düşük puanlar almasına rağmen, “Enerji Verimliliği” açısından diğer alternatiflerden avantajlı olması, “Türkiye genelinde Ekili Oldukları Alan” fazlalığı, “Atık Satış Fiyatının” nispeten düşük olması gibi özelliklerinden dolayı AHS yönteminde yüksek puanı alarak enerji bitkileri arasında ilk sırayı aldığı görülmektedir.

**Çizelge 10.** Atıkların enerji verimlilikleri Kriterine Göre Alternatiflerin İkili Karşılaştırılması ve Anlamlılığı (Pairwise Comparison and Significance of Alternatives According to the Criterion of Energy Efficiency of Wastes)

	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5
Y1	1,00	3,00	0,20	0,50	2,00
Y2	0,33	1,00	0,14	0,25	0,50
Y3	5,00	7,00	1,00	4,00	6,00
Y4	2,00	4,00	0,25	1,00	3,00
Y5	0,50	2,00	0,17	0,33	1,00
Toplam	8,83	17,00	1,76	6,08	12,5



**Şekil 2.** Kriterlere Göre Alternatiflerin Ağırlıkları (Weights of Alternatives by Criteria)

Mısır, “Atık Satış Fiyatı” ve “1 m<sup>3</sup> metan (CH<sub>4</sub>) üretilmesi için gerekli atık miktarı” kriterlerinden en yüksek puanı almasına rağmen diğer kriterlerde düşük puanlar alması nedeniyle 2. sırada yer almıştır. Arpa, “Ürüne Özgü Değerlendirilebilir Atık Miktarı” hariç diğer kriterlerde 2. en yüksek puanı alarak 3. sırada yer almıştır. Pamuk, “Türkiye genelinde Ekili Oldukları Alan” ve “1 m<sup>3</sup> metan (CH<sub>4</sub>) üretilmesi için gerekli atık miktarı” kriterlerinde son sırada olduğu ve diğer kriterlerden de düşük puanlar aldığından dolayı 4. sırada yer almıştır. Ayçiçeği, “Ürüne Özgü Değerlendirilebilir Atık Miktarı” kriterinde ilk sırada olmasına rağmen “Atık Satış Fiyatının”, “Türkiye genelinde Ekili Oldukları Alan” ve “1 m<sup>3</sup> metan (CH<sub>4</sub>) üretilmesi için gerekli atık miktarı” kriterlerinde 4. sırada, “Enerji Verimliliği” kriterinde 5. sırada yer almakta olduğundan son sırada yer almıştır.

Yapılan bu çalışmada, çoklu karar verme kriterleri kullanılarak Türkiye’deki en uygun enerji bitkisi belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda



Türkiye'deki enerji bitkilerine ait kriterler değerlendirilmiş ve bu değerlendirmeler sonucunda Türkiye için en iyi enerji bitkisinin buğday samanı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu bitkinin Türkiye ölçeğindeki biyogaz potansiyelini belirlemek amacıyla Denklem 1'de verilen eşitlik kullanılmıştır. Çakal ve Çelik (2022), yaptıkları çalışmaya göre Türkiye'de değerlendirilebilir atık miktarları ortalama olarak 36 kg/da buğday atığı, 248 kg/da ayçiçeği atığı, 37 kg/da arpa atığı, 528 kg/da mısır atığı, 86 kg/da pamuk atığı olarak hesaplanmıştır [9]. Üretilen bu samandan dekarda 2,4 m<sup>3</sup> biyogaz üretilmektedir. TUSAF verilerine göre Türkiye'de 2022 yılında 6,5 milyon hektar alan buğday ekimi yapılmıştır [59]. Bu ekim alanına göre Türkiye'nin buğday samanı enerji potansiyeli 156.10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> biyogaz olarak hesaplanmıştır.

#### 4. SONUÇLAR (RESULTS)

Biyogaz üretiminde proste kullanılacak olan organik maddenin (substrat) seçimi oldukça önemlidir. Uygun substrat seçimi ile verimli (yüksek CH<sub>4</sub> miktarına sahip) bir biyogaz prosesi işletilmesi mümkün olabilmektedir. Genel olarak biyogaz proseslerinde substrat seçimi yapılırken ulaşılabilirlik, sürdürülebilirlik, atık fiyatları ve kullanılan malzemenin enerji verimliliği gibi etkenler göz önünde bulundurulmaktadır. Fakat atık maliyetleri, mevsimsel atık değişiklikleri ve proses giderleri gibi değişkenler tercihlerin sürdürülebilirliğini etkilemektedir. Organik atık maddenin seçimi yapılırken biyogaz tesisinin bulunduğu bölge, hayvansal gübreye ulaşılabilirlik ve bölgede yetiştirilen enerji bitkileri önemli bir yer tutmakta ve tesise giren atık konfigürasyonunu etkilemektedir. Bu durum ise tesiste birim organik madde (OM) başına üretilen metan (spesifik metan) miktarında dalgalanmalara neden olmakta ve prosesin stabilitesini bozmaktadır. Bu nedenle bu çalışma ile biyogaz tesisinde kullanılacak olan enerji bitkilerinin avantaj ve dezavantajları değerlendirilerek ve yöntemlere sayısal değerler verilerek en uygun enerji bitkisi belirlenmiştir.

Çalışma kapsamında AHS ile elde edilen sonuçlar "Atıkların enerji verimlilikleri" dahil edilmeden değerlendirildiğinde, mısır bitkisi ürüne özgü değerlendirilebilir atık miktarının fazla olması, atıkların satış fiyatlarının diğerlerine göre düşük olması ve 1 m<sup>3</sup> metan üretim için gerekli atık miktarının az olması nedeniyle en yüksek puanla ilk sırada yer almaktadır. Ancak, biyogaz proseslerinde "atıkların enerji verimlilikleri" kriterinin göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Buğday bitkisi enerji verimliliği yüksek, atıklarının satış fiyatı nispeten düşük ve Türkiye genelinde ekim alanı en yüksek enerji bitkisi olması nedeniyle, ürüne özgü değerlendirilebilir atık miktarı ve 1 m<sup>3</sup> metan (CH<sub>4</sub>) üretilebilmesi için gerekli atık miktarı düşük olmasına rağmen en yüksek puana sahip olan enerji bitkisi olduğu ve 0,374 puanla ilk sırada yer aldığı görülmüştür. Ürüne özgü değerlendirilebilir atık miktarı açısından en yüksek puana (0,036) sahip olan ayçiçeği diğer kriterlerden aldığı düşük notlar nedeniyle 0,090 puanla son sırada yer almıştır. Belirlenen kriterlere göre elde edilen tüm bu sonuçlar, Türkiye'deki biyogaz potansiyeli en iyi olan enerji

bitkisinin buğday olduğunu göstermektedir. Bu bitkinin Türkiye ölçeğindeki toplam enerji potansiyeli 156.10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> biyogaz olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan bu biyogaz ile 733,2.10<sup>6</sup> kWh'lık elektrik üretilmesi mümkündür. Enerji ihtiyacında dışa bağımlılığı azalmak ve yenilenebilir öz kaynakları kullanmak amacıyla ilerleyen yıllarda buğday atıklarındaki enerji potansiyelinin değerlendirilebileceği ön görülmektedir.

#### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Cihan ÖZGÜR'e teşekkür ederiz.

#### ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazarları çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

#### YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

**Rıfat YILDIRIM:** Araştırmaları yapmış, sonuçları analiz etmiş ve makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir. / Conducted the research, analyzed the results and wrote the manuscript.

**İsrafil KARADÖL:** Araştırmaları yapmış, sonuçları analiz etmiş ve makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir. / Conducted the research, analyzed the results and wrote the manuscript.

#### ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur. / There is no conflict of interest in this study.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Bilal M., Wang Z., Cui J., Ferreira L. F. R., Bharagava R. N., Iqbal H. M. N., "Environmental impact of lignocellulosic wastes and their effective exploitation as smart carriers- A drive towards greener and eco-friendlier biocatalytic systems", *Sci Total Environ.* 722, 137903, (2020).
- [2] Özütemiz E., "Avrupa Birliği Enerji İhtiyacının Karşılansında Biyoyakıtların Rolü", *Yüksek Lisans Tezi, Beykent Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Uluslararası İlişkiler Anabilim Dalı, Uluslararası İlişkiler Bilim Dalı*, (2017).
- [3] Khan A., Niazi M. B. K., Ansar R., Jahan Z., Javaid F., Ahmad R., Anjum H., Ibrahim M., Bokhari A., "Thermochemical conversion of agricultural waste to hydrogen, methane, and biofuels: A review", *Fuel*, 351, (2023).
- [4] Demirel B., Pınar H., "Determination of Possible Energy Potential of Banana Residues in Turkey", *Turkish Journal of Agriculture- Food Science and Technology*, 7(2): 41-45, (2019).
- [5] Kosamia N. M., Samavi M., Piok K., Rakshit S. K., "Perspectives for scale up of biorefineries using biochemical

- conversion pathways: Technology status, techno-economic, and sustainable approaches”, *Fuel*, 324: 124532, (2022).
- [6] Teodor A. H., Bruce B. D., “Putting photosystem I to work: Truly green energy”, *Trends Biotechnol*, 38(12): 29–42, (2020).
- [7] Nunes L. J. R., Causer T. P., Ciolkosz D., “Biomass for energy: A review on supply chain management models” *Renew Sustain Energy Rev.*, 120, (2020).
- [8] Chen T., Wu C., Liu R., Fei W., Liu S., “Effect of Hot Vapor Filtration on the Characterization of Bio-Oil from Rice-Husks with Fast Pyrolysis in a Fluidized-Bed Reactor”, *Bioresource Technology*, 102: 6178-6185, (2011).
- [9] Çakal S., Çelik S. Ö., “Türkiye Genelinde En Çok Yetiştirilen Tarımsal Ürünlerin Atıklarının Biyogaz Potansiyelinin Belirlenmesi”, *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*, 9(1): 1-11, (2022).
- [10] TÜİK, *Türkiye İstatistik Kurumu*. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Bitkisel-Uretim-Istatistikleri-2022-45504>, (Erişim: 09.07.2023), (2022).
- [11] 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*, 29(2): 25-37, (2015).
- [12] Himmetoğlu S., Aydoğan E. K., Özcan F., Karahan O., Atış C., “Bina betonunun karışım oranı için Kaba-AHP ve MOORA tabanlı Taguchi optimizasyonu”, *Politeknik Dergisi*, 26(4): 1307-1317, (2023).
- [13] Yazıcı E., Özcan E., Alakaş H. M., Eren T., “Hidroelektrik santrallarda bakım strateji optimizasyonu için hiyerarşik bir karar modeli önerisi”, *Politeknik Dergisi*, 25(3): 933-945, (2022).
- [14] Adem A., “İş sağlığı ve güvenliğinde kullanılan risk analizi tekniklerinin değerlendirilmesi için bir rehber önerisi”, *Politeknik Dergisi*, 25(3): 1319-1328, (2022).
- [15] Karaaslan A., Aydın S., “Yenilenebilir enerji kaynaklarının çok kriterli karar verme teknikleri ile değerlendirilmesi: Türkiye örneği.”, *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi* 34(4): 1351-1375 (2020).
- [16] Özcan N. A., Bulut M., Özcan E. C., Eren T., “Enerji Üretim Yatırım Alternatiflerinin Değerlendirilmesinde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin İstatistiksel ve Analitik Olarak Karşılaştırması: Türkiye Örneği.”, *Politeknik Dergisi*, 25(2), 519-531, (2022).
- [17] Korkmazer C., Aktar Demirtaş E., Erol D., “Çok ölçütlü karar verme yöntemleri ile atık bertaraf firması seçimi.”, *Famukale University Journal of Engineering Sciences*, 22(4), (2016).
- [18] Tasri A., Susilawati A., “Selection among renewable energy alternatives based on a fuzzy analytic hierarchy process in Indonesia.” *Sustain Energy Technol Assessments*, 7:34-44. doi:10.1016/j.seta.2014.02.008, (2014).
- [19] Kutlu Gündoğdu F., Kahraman C., “A novel spherical fuzzy analytic hierarchy process and its renewable energy application”, *Soft Comput.* 24(6):4607-4621, (2020)
- [20] Abdullah L., Najib L., “Sustainable energy planning decision using the intuitionistic fuzzy analytic hierarchy process: choosing energy technology in Malaysia.” *Int J Sustain Energy*, 35(4):360-377, (2016)
- [21] Solangi YA, Tan Q, Mirjat NH, Ali S., “Evaluating the strategies for sustainable energy planning in Pakistan: An integrated SWOT-AHP and Fuzzy-TOPSIS approach.” *J Clean Prod*, 236:117655, (2019)
- [22] Bottero M., Datola G., de Angelis E., “A system dynamics model and analytic network process: An integrated approach to investigate urban resilience.” *Land*, 9(8): 24-26, (2020)
- [23] Kapluhan E., “Enerji Coğrafyası Açısından Bir İnceleme: Biyokütle Enerjisinin Dünyadaki ve Türkiye’deki Kullanımı”, *Marmara Coğrafya Dergisi*, 5 (15): 97-125, (2014).
- [24] Erensoy A., Çek N., “Mikrobiyal Yakıt Hücrelerinde Kullanılan Saf Kültür Mikroorganizmaları ve Genel Özellikleri”, *European Journal of Science and Technology*, 18: 109-117, (2020).
- [25] Üçok S., “Sebze ve meyve pazar atıklarının biyogaz üretim potansiyelinin belirlenmesi üzerine bir araştırma”, *Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütcü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye*, (2016).
- [26] Yıldırım R., “Biyogaz üretim süreçlerinde kullanılacak en uygun risk değerlendirme metodolojisinin analitik hiyerarşi prosesi ile belirlenmesi”, *NÖHÜ Müh. Bilim. Dergisi*, 12(4), 1130-1140, (2023).
- [27] Koçar G., Eryaşar A., Ersöz Ö., Arıcı Ş., Durmuş A., “Biyogaz teknolojileri”, Ege Üniversitesi Basımevi, İzmir, Turkey, (2010).
- [28] FNR, “Biyogaz Üretimi ve Kullanımı El Kitabı (Çeviri). (5. baskı).” FNR Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, Gülzow-Prüzen, (2010).
- [29] Henze M., Loosdrecht M. C. M., Ekama G. A., Brdjanovic D., “*Biological Wastewater Treatment: Principles*”, Modelling and Design, IWA Publishing, 511p, London, (2008).
- [30] Metcalf & Eddy, Tchobanoglous G., Stensel H. D., Tsuchihashi R., Burton F. L., Franklin L., Abu-Orf M., Pfrang W., “*Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery, (5th Edition)*”, McGraw-Hill Education, 2018p, New York, (2014).
- [31] Gerardi M. H., “*The Microbiology of Anaerobic Digesters*”, John Wiley & Sons, Inc., 177p, Hoboken, New Jersey, (2003).
- [32] Yin C., Shen Y., Yu Y., Yuan H., Lou Z., Zhu N., “In-situ biogas upgrading by a stepwise addition of ash additives: Methanogen adaption and CO<sub>2</sub> sequestration”, *Bioresource Technology*, 282: 1-8, (2019).
- [33] Kushkevych I., Vítězová M., Vítěz T., Bartoš M., “Production of biogas: relationship between methanogenic and sulfate-reducing microorganisms”, *De Gruyter*, 12: 82–91, (2017).
- [34] Görmüş C., “Türkiye’deki Hayvan Gübrelere Biyogaz Enerji Potansiyelinin Belirlenmesi”, *Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ*, (2018).
- [35] Doublein D., Steinhäuser A., “*Biogas from Waste and Renewable Resources: an Introduction*”, John Wiley & Sons, Weinheim, (2011).
- [36] Kaya D., Öztürk H. H., “Biyogaz Teknolojisi: Üretim-kullanım-projeleme”, Ümütepe Yayınları, İzmit/Kocaeli, (2012).
- [37] Ömürbek N., Karaatlı M. Yetim T., “Analitik Hiyerarşi Sürecine Dayalı TOPSIS ve VIKOR Yöntemleri ile ADİM Üniversitelerinin Değerlendirilmesi”, *Selçuk Üniversitesi*

- [38] Atıcı K. B., Ulucan A., “Enerji Projelerinin Değerlendirilmesi Sürecinde Çok Kriterli Karar Verme Yaklaşımları ve Türkiye Uygulamaları”, *H.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 27(1): 161-186, (2009).
- [39] Wind Y., Saaty T. L., “Marketing Applications of the Analytic Hierarchy Process”, *Management Science*, 26: 641-658, (1980).
- [40] Bertolini M., Bevilacqua M., “A Combined Goal Programming-AHP Approach to Maintenance Selection Problem”, *Reliability Engineering and System Safety*, 91: 839-848, (2006).
- [41] Dar T., Rai N., Bhat A., “Delineation of potential groundwater recharge zones using analytical hierarchy process (AHP)”, *Geology, Ecology and Landscapes*, 22(3): 1–16, (2020).
- [42] Mohammed H. J., Al-Jubori I. A. M., Kasim M. M., “Evaluating project management criteria using fuzzy analytic hierarchy Process”, *AIP Conference Proceedings*, 2138(1): 400181–400186, (2019).
- [43] Hashemi S., Marzuki A., Mohammed H. J., Kiumarsi S., “The effects of perceived conference quality on attendees’ behavioural intentions”, *Anatolia*, 31(3): 360–375, (2020).
- [44] Baffoe G., “Exploring the utility of analytic hierarchy process (AHP) in ranking livelihood activities for effective and sustainable rural development interventions in developing countries”, *Evaluation and Program Planning*, 72: 197–204, (2019).
- [45] Mohammed H. J., Kasim M. M., Shaharane I. N., “Evaluation of e-learning approaches using AHP-TOPSIS technique. Journal of Telecommunication”, *Electronic and Computer Engineering*, 10: 1–10, (2018).
- [46] Marinis P. D., Sali G., “Participatory analytic hierarchy process for resource allocation in agricultural development projects”, *Evaluation and Program Planning*, 80: 101793, (2020).
- [47] Mohammed H. J., Daham H. A., “Analytic Hierarchy Process for Evaluating Flipped Classroom Learning”, *Computers, Materials & Continua*, 66(3): 2229-2239, (2021).
- [48] Özgür C., “Dezenfeksiyon ünitesi risk analizi: içme suyu arıtma tesisi”, *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10(1): 16-22, (2021).
- [49] Özbek A., “Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ve Excel ile Problem Çözümü”, Seçkin Akademik ve Mesleki Yayınlar, Ankara, (2017).
- [50] Yıldırım B. F., Önder E., “Operasyonel, Yönetmel ve Stratejik Problemlerin Çözümünde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri”, Dora Yayıncılık, Bursa, (2018).
- [51] Saaty R. W., “The analytic hierarchy process—what it is and how it is used”, *Math Modell.* 9(3-5), 161-176, (1987).
- [52] Ransikarbum K., Pitakaso R., Kim N., Ma J., “Multicriteria decision analysis framework for part orientation analysis in additive manufacturing”, *J Comput Des Eng*, 8(4): 1141-1157, (2021).
- [53] Dağtekin M., Aybek A., Bilgili M. E., “Adana ve Mersin’de Bulunan Etlik Piliç Kümeslerinde Oluşan Gübrenin Biyogaz ve Elektrik Üretim Potansiyelinin Belirlenmesi”, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 34(2): 9-22, (2019).
- [54] Yağlı H., Koç Y., “Hayvan Gübresinden Biyogaz Üretim Potansiyelinin Belirlenmesi: Adana İli Örnek Hesaplama”, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 34(3): 35-48, (2019).
- [55] Tırınk S., “Hayvansal Atıkların Biyogaz Üretim Potansiyelinin Hesaplanması: Iğdır İli Örneği”, *Journal of the Institute of Science and Technology*, 12(1): 152-163, DOI: 10.21597/jist.1026987, (2022).
- [56] Cui Z., Shi J., Li Y., “Solid-state anaerobic digestion of spent wheat straw from horse stall”, *Bioresource Technology*, 102: 9432–9437, (2011).
- [57] Jaffar M., Pang Y., Yuan H., Zou D., Liu Y., Zhu B., Korai R. M., Li X., “Wheat straw pretreatment with KOH for enhancing biomethane production and fertilizer value in anaerobic digestion”, *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 24: 404–409, (2016).
- [58] Liu X., Zicari S. M., Liu G., Li Y., Zhang R., “Pretreatment of wheat straw with potassium hydroxide for increasing enzymatic and microbial degradability”, *Bioresource Technology*, 186: 150–157, (2015).
- [59] Türkiye Un Sanayicileri Federasyonu (TUSAF). [https://www.tusaf.org/Eklenti/1322,tusaf-2022-yili-bolgelele-gore-bugday-uretimipdf.pdf?0&\\_tag1=592749FC6D1AE3DAF66B2F144785F3524C415FEB#:~:text=T%C3%BCrkiye'de%20bu%20y%C4%B1,%206.5%20milyon%20ton%20oldu%C4%9Funu%20%C3%B6steriyor.](https://www.tusaf.org/Eklenti/1322,tusaf-2022-yili-bolgelele-gore-bugday-uretimipdf.pdf?0&_tag1=592749FC6D1AE3DAF66B2F144785F3524C415FEB#:~:text=T%C3%BCrkiye'de%20bu%20y%C4%B1,%206.5%20milyon%20ton%20oldu%C4%9Funu%20%C3%B6steriyor.)