

ISSN 1306-0007  
e-ISSN 2651-4230

**TARIM MAKİNALARI BİLİMİ DERGİSİ**  
(Journal of Agricultural Machinery Science)

**2019 CİLT (VOLUME) 15 SAYI (NUMBER) 2**

<b>Sahibi (President)</b>
<b>Tarım Makinaları Derneği Adına</b> (On Behalf of Agricultural Machinery Association)
Prof. Dr. Harun YALÇIN

<b>EDİTÖRLER KURULU (Editorial Board)</b>	
Prof. Dr. Harun YALÇIN	Prof. Dr. Kamil EKİNCİ
Prof. Dr. Vedat DEMİR	Prof. Dr. Abdullah SESSİZ
Prof. Dr. Bülent ÇAKMAK	Prof. Dr. Can ERTEKİN
Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin YÜRDEM	Doç. Dr. Yeşim BENAL ÖZTEKİN
Doç. Dr. Hüseyin GÜLER	Doç. Dr. İlknur ALİBAŞ
Doç. Dr. Tuncay GÜNHAN	

<b>Bilimsel Danışma Kurulu</b> (Scientific Advisory Board)	
Prof. Dr. İbrahim ÇİLİNGİR, <i>Ankara Üniversitesi</i>	Prof. Dr. Ali AYBEK, <i>Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi</i>
Prof. Dr. Erdem AYKAS, <i>Ege Üniversitesi</i>	Prof. Dr. Kazım ÇARMAN, <i>Selçuk Üniversitesi</i>
Prof. Dr. Ali BAYAT, <i>Çukurova Üniversitesi</i>	Doç. Dr. Taner YILDIZ, <i>Ondokuz Mayıs Üniversitesi</i>
Prof. Dr. Ahmet KILIÇKAN, <i>AydınAdnan Menderes Üniversitesi</i>	Prof. Dr. Recep KÜLCÜ, <i>Isparta Uyg. Bilimler Üniversitesi</i>
Prof. Dr. Yıldırım YILDIRIM, <i>Atatürk Üniversitesi</i>	Prof. Dr. Mehmet TOPAKÇI, <i>Akdeniz Üniversitesi</i>
Prof. Dr. Habib KOCABIYIK, <i>Çanakkale Onsekiz Mart Üniv.</i>	Prof. Dr. Ramazan SAĞLAM, <i>Harran Üniversitesi</i>
Prof. Dr. Abdullah SESSİZ, <i>Dicle Üniversitesi</i>	Prof. Dr. Birol KAYIŞOĞLU, <i>Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi</i>
Prof. Dr. Ö. Faruk TAŞER, <i>Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi</i>	Prof. Dr. Yurtsever SOYSAL, <i>Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi</i>
Prof. Dr. Ali VARDAR, <i>Bursa Uludağ Üniversitesi</i>	Doç. Dr. Tanzer ERYILMAZ, <i>Yozgat Bozok Üniversitesi</i>

Tarım Makinaları Bilimi Dergisi, Tarım Makinaları Derneği'nin bir yayınıdır.  
Tarım Makinaları Bilimi Dergisi yılda üç sayı olarak yayınlanır.

(Journal of Agricultural Machinery Science is published three times in a year by  
Agricultural Machinery Association.)

Bu derginin yayın hakları Tarım Makinaları Derneği'ne aittir. Derginin hiç bir bölümü, yayıncının izni  
olmaksızın, herhangi bir şekilde çoğaltılamaz.

(All rights reserved. No part of this publication may be reproduced in any form without the prior  
permission of the publisher.)

**Yazıřma Adresi**  
(Correspondence Address)

Tarım Makinaları Derneği  
1462. Sok. No:33 Alsancak – İzmir / Türkiye  
tarmak@mail.ege.edu.tr  
<http://www.tarmakder.org.tr>  
Tel / Faks: +90.232.342 76 42

**T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı Sertifika No: 18679**

**2019 CİLT 15, SAYI 2 Bilimsel Hakemleri**  
(2019 VOLUME 15, NUMBER 2 Scientific Referees)

Ahmet Konuralp ELİÇİN	Dicle Üniversitesi
Ali VARDAR	Bursa Uludağ Üniversitesi
Bahattin AKDEMİR	Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi
Biröl KAYIŞOĞLU	Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi
Bülent EKER	Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi
Caner KOÇ	Ankara Üniversitesi
Fuat LÜLE	Adıyaman Üniversitesi
Hasan Hüseyin ÖZTÜRK	Çukurova Üniversitesi
Hidayet OĞUZ	Selçuk Üniversitesi

**Tarandığı İndeksler / Indexing**

Google Scholar

## **İçindekiler (Contents)**

<b>Uludağ Üniversitesi Gemlik Sunğipek Asım Kocabıyık Yerleşkesinin Biyodizel Potansiyelinin Belirlenmesi ve Tarım Traktöründe Kullanımı</b>	<b>49-52</b>
<i>Determination of Biodiesel Potential and Use in Agricultural Tractor for Uludağ University Gemlik Sunğipek Asım Kocabıyık Settlement</i>	
Murat ARSLAN, Kamil ALİBAŞ	
<b>Biyokütle Gazlaştırma Teknolojisindeki Gelişmeler</b>	<b>53-59</b>
<i>Developments in Biomass Gasification Technology</i>	
Nusret MUTLU, Mustafa TOLAY, Cengiz KARACA, H. Hüseyin ÖZTÜRK	
<b>Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Kullanımının Mevcut Durumu ve Sorunları</b>	<b>61-65</b>
<i>The Current Situation of Renewable Energy Use in Turkey and Problems</i>	
Birol KAYIŞOĞLU, Bahar DİKEN	
<b>Yakıt Sıcaklığının Traktör Performansına Etkisi</b>	<b>67-71</b>
<i>Effect of Fuel Temperature on Tractor Performance</i>	
Selçuk OLUM, Ergin DURSUN, Hakan VELİOĞLU, Mustafa KANTAŞ	

## **Uludağ Üniversitesi Gemlik Sunğipek Asım Kocabıyık Yerleşkesinin Biyodizel Potansiyelinin Belirlenmesi ve Tarım Traktöründe Kullanımı**

**Murat ARSLAN<sup>1</sup>, Kamil ALİBAŞ<sup>2\*</sup>**

<sup>1</sup>Uludağ Üniversitesi, Gemlik Asım Kocabıyık Meslek Yüksekokulu Makine Programı

<sup>2</sup>Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü

\*Sorumlu yazar e-posta: alibas@uludag.edu.tr

Geliş Tarihi (Received): 06.05.2019

Kabul Tarihi (Accepted): 20.08.2019

**Özet:** Her geçen gün azalan fosil yakıtlar insanlığı yenilenebilir enerji kaynaklarının artırılması konusunda yeni çalışmalara ve arayışlara sürüklemektedir. Biyodizel yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde önemli bir paya sahiptir. Bu çalışmanın amacı Uludağ Üniversitesi Gemlik Sunğipek Asım Kocabıyık Yerleşkesinde ortaya çıkan atık yağlardan üretilebilecek biyodizel potansiyelinin belirlenmesi ve transesterifikasyon yöntemi kullanarak elde edilen biyodizeli yerleşkede tarımsal ve genel amaçlı faaliyetlerde kullanılan tarım traktöründe yakarak yıllık yakıt tüketiminin bir kısmını üretilen biyodizel ile karşılamaktır.

**Anahtar kelimeler:** Biyodizel, transesterifikasyon, atık yağ.

### **Determination of Biodiesel Potential and Use in Agricultural Tractor for Uludağ University Gemlik Sunğipek Asım Kocabıyık Settlement**

**Abstract:** Fossil fuels, which are decreasing day by day, have been driven to humanity looking for new works and opportunities about boosting of renewable energy sources. Biodiesel has an important share in renewable energy sources. The aim of this study is the determination of the potential of biodiesel that can be produced from waste oil generated in the Uludağ University Gemlik Sunğipek Asım Kocabıyık settlement and to supply biodiesel that consuming some of the annual fuel consumption in the used agricultural tractor that used for agricultural and general activities by biodiesel produced by using transesterification method.

**Key words:** Biodiesel, transesterification, waste oil.

### **GİRİŞ**

Günümüzde dünyada enerji ihtiyacı ağırlıklı olarak kömür, petrol, doğal gaz gibi fosil kökenli, birincil enerji kaynaklarından sağlanmaktadır. Dünyadaki petrol ve doğalgaz kaynaklarının bu yüzyılın sonunda kömür rezervinin ise önümüzdeki yüzyılda tükeneceği öngörülmektedir. Bu durum yenilenebilir enerji kaynaklarının önemini göz önüne sermektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları içinde önemli bir paya sahip olan biyodizel dünyada ve özellikle AB ülkelerinde yenilenebilir enerji kaynakları içinde hak ettiği yeri almış ülkemiz için ise önü açık ve potansiyeli yüksek bir örnektir. Günümüzde fosil yakıtların yaratmış olduğu hava kirliliği küresel iklim değişikliğine yol açmaktadır. Petrol dizelinin yaratmış olduğu hava kirliliğinin biyodizel kullanımının artmasıyla daha düşük seviyelere inmesi muhtemeldir. Bu çalışmanın amacı Uludağ Üniversitesi Gemlik Sunğipek Asım Kocabıyık Yerleşkesinde bulunan yemekhane ve kantinlerden toplanan atık kızartma yağlarından transesterifikasyon

yöntemini kullanarak biyodizel üretmek ve bu biyodizel ile yerleşkemizde tarımsal ve genel amaçlı kullanılan tarım traktörünün yıllık yakıt ihtiyacının bir kısmını karşılamaktır.

### **MATERYAL VE YÖNTEM**

#### **Bitkisel Yağlar**

Biyodizel üretiminde kullanılan bitkisel yağ kaynakları başta kanola, yağı olmak üzere Aspir, Soya, Palm, Ayçiçek, Zeytin, Çiği, Hardal ve diğer yağlı tohumların yağları sıralanabilir (Öğüt ve ark., 2005). Bu yağ kaynakları yanında atık kızartma yağları, hayvansal yağlar ve meyve çekirdeklerinden elde edilen yağlarda biyodizel üretiminde kullanılabilir.

#### **Biyodizel**

Biyodizel bitkisel ve hayvansal yağlardan yağ atık ve artıklarından üretilen TS EN 14213 ve/veya TS EN

14214 standartlarına uygun yağ asidi metil ester karışımıdır (İşler, A. 2007).

Günümüzde yaşanan global iklim değişikliği sorunu, hava ve su kalitesindeki düşüş ve insan sağlığı sorunları düşük emisyon değerleri nedeniyle temiz, çevreci ve alternatif yakıt olarak kullanılabilen biyodizelin kullanımını hızla hayata geçirmiştir. (Anonim, 2008).

Biyodizel petrol içermez fakat saf olarak veya her oranda petrol kökenli dizelle karıştırılarak yakıt olarak kullanılabilir. Saf biyodizel ve dizel-biyodizel karışımları herhangi bir dizel motoruna, motor üzerinde herhangi bir modifikasyona gerek kalmadan kullanılabilir.

Biyodizelin sahip olduğu özellikler, alternatif yakıtın dizel motorları dışında da yakıt olarak kullanımına olanak vermektedir. Biyodizel bu nedenle, "Acil Durum Yakıtı" ve "Askeri Stratejik Yakıt" şeklinde adlandırılabilir.

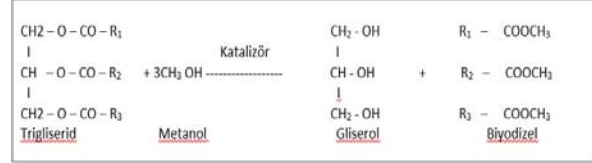
Bitkisel yağlardan yaklaşık olarak hidrokarbon kökenli dizel yakıtı özelliklerinde ve performansında yakıt elde etmek için şimdiye kadar birçok çalışma yapılmıştır. Trigliseridleri dizel yakıtı olarak kullanmada karşımıza çıkan sorunlar çoğunlukla onların yüksek viskozitesi, az uçuculukları ve çoklu doymamışlık özellikleri ile ilişkilidir (Demir, C., 2006).

### Transesterifikasyon

Alkoliz olarak da adlandırılabilen transesterifikasyon, trigliseridlerin viskozitesini azaltmak amacıyla uygulanan bir işlemdir. Transesterifikasyon reaksiyonunda yağ, monohidrik bir alkolle (etanol, metanol), katalizör (asidik, bazik katalizörler ile enzimler) varlığında ana ürün olarak yağ asidi esterleri ve gliserin vererek esterleşir. Ayrıca esterleşme reaksiyonunda yan ürün olarak digliseridler ve monogliseridler, reaktan fazlası ve serbest yağ asitleri oluşur. Biyodizel üretiminde kullanılan katalizörler asidik katalizörler sülfürik asit" ve hidroklorik asit". Bazik katalizörler ise KOH "potasyum hidroksit", NaOH "sodyum hidroksit" (Dorado, M.P. ve ark., 2003). Transesterifikasyon yönteminin kimyasal basamakları Şekil 1'de verilmiştir.

Yerleşkede iki adet yemekhane ve iki adet kantin bulunmakta ve bu yemekhanelerin birisi üç öğün yemek servisi yaparken diğeri sadece öğlen hizmet vermektedir. Yerleşkede bulunan yurt yemekhanesinden ve okul içindeki kantinlerden aylık ortalama 20 Lt atık yağ çıkmakta bu yağın yıllık toplamı 240 litredir. Toplanan bu atık yağlardan 240 litre biyodizel elde edilebilmektedir. İlk etapta bu atık yağ kaynaklarından

20 Lt atık yağ toplanmış ve transesterifikasyon yöntemi ile 20 Lt biyodizel üretilmiştir. Transesterifikasyon yöntemi kullanılarak biyodizel üretim prosesi Şekil 3'de gösterilmiştir.

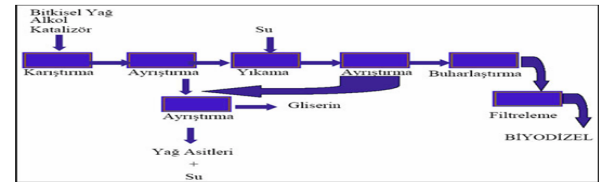


Şekil 1. Transesterifikasyon yönteminin kimyasal basamakları

Uludağ Üniversitesi Gemlik Sunğipek Asım Kocabıyık Yerleşkesinin biyodizel potansiyelini belirlemek için yerleşkedeki atık yağ potansiyeli olabilecek birimler araştırılmıştır. Şekil 2'de yerleşkenin uyu görüntüsü verilmiştir.

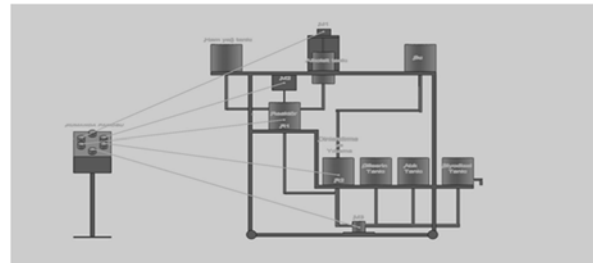


Şekil 2. Uludağ Üniversitesi Gemlik Sunğipek Asım Kocabıyık Yerleşkesi



Şekil 3. Biyodizel üretim prosesi

Yerleşkede bulunan yemekhane ve kantinlerden elde edilen atık kızartma yağlarından biyodizel üretimi için üniversite bünyesinde bulunan laboratuvar ölçekli biyodizel tesisinden yararlanılmıştır. Laboratuvar ölçekli biyodizel üretim tesisinin şekli Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4. Laboratuvar ölçekli biyodizel üretim tesisi

Yerleşkedeki yemekhane ve kantinlerden toplanan atık yağlar ve elde edilen biyodizele ait resimler Şekil 5'de gösterilmiştir.

Yerleşkede kullanılan tarım traktörü 2900 cc ve 75 Hp gücünde olup sürekli dört çeker diferansiyelle sahiptir. Yerleşkenin ihtiyacı olan tarımsal faaliyetlerde ve genel amaçla kullanılmaktadır. Yerleşkede kullanılan traktöre ait resimler Şekil 6'da gösterilmiştir.

Yerleşkede kullanılan traktörün yıllık olarak 2017 de kullandığı yakıt miktarı 1025 litredir. Kullanılan dizel yakıtın 2018 mayıs ayı fiyatlarında maddi değeri 5.492 TL civarındadır.



Şekil 5. Atık yağ ve biyodizeli



Şekil 6. Yerleşkede kullanılan Tarım traktörü



#### ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Biyodizel üretimi esnasında her 1 litre yağ için 200 ml metil alkol ve 3,5 g sodyum hidroksit (NaOH) kullanılmıştır. Üretimin ilk aşamasında üretilen biyodizelde renk ve görünüm açısından olumsuzluklar gözlenmiş sodyum hidroksit (NaOH) oranı artırılarak en uygun oranın 1 Lt atık yağ için 5gr sodyum hidroksit (NaOH) ve 250 ml metil alkol olduğu saptanmıştır. Üretilen biyodizel 40 °C sıcaklıktaki saf su ile 3 defa yıkanmıştır. Biyodizelin içerisinde bulunabilecek su kalıntılarını yok etmek için biyodizel 100 °C'de 30 dakika bekletilmiştir. Üretilen biyodizel oda sıcaklığına ulaştığında yoğunluk ve kinematik viskozite testlerine sokulmuş ve yoğunluk olarak 0.889 g/cm<sup>3</sup> kinematik viskozite değerinin 4.54 mm<sup>2</sup>/s olduğu görülmüştür.

Bulunan bu değerlerin TS 14214 normuna uygun olduğu saptanmıştır. Ürettiğimiz biyodizelin maddi olarak karşılığı 2018 mayıs fiyatları baz alındığında 240 litre biyodizel için 1208 TL civarındadır. Bu miktar yerleşkede kullanılan traktörün ihtiyacı olan yıllık 1025 litre yakıtın %21'ni karşılamaktadır. Bu çalışmada kendi kampüsümüzde atık yağların toplanarak biyodizele dönüştürülmesi ve biyodizel ham maddesi elde edilebilirliği belirlenmiştir. Bu atık yağ toplama işlemi ilçe bazında etkin şekilde yürütülebilirse çok daha yüksek değerlerde elde edilebileceğini de göstermektedir. Kampüs bazında yapılan bu çalışma halkın atık yağları toplama bilincini geliştirme açısından önem taşımaktadır.

### LİTERATÜR LİSTESİ

- Alibaş,K., Ulusoy, Y. 1995. Bitkisel Yağların Diesel Motorlarda Yakıt Olarak Kullanım Olanakları Tarımsal Mekanizasyon 16. Ulusal Kongresi Bildiri Kitabı Bursa. ISBN975-7657-91, 3,147-156.
- Anonim, 2008, Albiyobir (online) www.albiyobir.org.tr. Erişim Tarihi: 03.02.2018.
- Arslan,M., Alibaş K., 2015. Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi.
- Demir, C. 2006. Biyodizel Standartları ve Analiz Yöntemleri. Biyoyakıt Dünyası Dergisi. 1, 48-49. Ankara.
- Dorado, M.P.,Ballesteros, E., Arnal, J.M., Gomez, J. and Lopez, F.J., 2003. Exhaust Emissions From A Diesel Engine Fueled With Transesterified Waste Olive Oil, Fuel, 82, 1311-1315.
- İşler, A. 2007. Kanola Yağı Etil Esteri ve E-Dizel. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Basılmamış), İstanbul.
- Öğüt , H., Oğuz H., Akınerdem F., Çarman K., Mengeş H.O., Eryılmaz T. 2005. Türkiye Şartlarında Biyodizelin Ticarileştirilmesine Ait Sorunlar ve Çözüm Önerileri YEKS - 015



## **Biyokütle Gazlaştırma Teknolojisindeki Gelişmeler**

**Nusret MUTLU<sup>1</sup>, Mustafa TOLAY<sup>2</sup>, Cengiz KARACA<sup>3</sup>, H. Hüseyin ÖZTÜRK<sup>4\*</sup>**

<sup>1</sup>GAP Bölge Kalkınma İdaresi Başkanlığı, Karaköprü-Şanlıurfa

<sup>2</sup>TOLAY Energy, İstanbul

<sup>3</sup>Mustafa Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü

<sup>4</sup>Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü

\*Sorumlu yazare-posta: hhozturk@cu.edu.tr

Geliş Tarihi (Received): 03.05.2019

Kabul Tarihi (Accepted): 22.08.2019

**Özet:** Ülkemizde buğday, ayçiçeği, mısır, tütün, soya, pamuk ve tütün gibi endüstriyel bitkiler yetiştirilmektedir. Ancak bu bitkilerin artıkları verimli kullanılmamaktadır. Genellikle tarlalarda yakılan veya doğaya terk edilen bu bitki artıklarının değerlendirilmesi son yıllarda önem kazanmıştır. Bu çalışmada, tarımsal biyokütleden gazlaştırma teknolojisi ile üretilecek olan gaz yakıttan biyoenerji üretimi ve gazlaştırma teknolojilerindeki gelişmeler değerlendirilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Biyokütle, gazlaştırma.

### **Developments in Biomass Gasification Technology**

**Abstract:** Industrial plants such as wheat, sunflower, maize, tobacco, soybean, cotton and tobacco are grown in our country. However, the residues of these plants are not used efficiently. The evaluation of these plant residues, which are usually burned or abandoned in the fields, has gained importance in recent years. In this study, bioenergy generation from gaseous fuels produced by agricultural biomass-based gasification technology and developments in gasification technologies were evaluated.

**Key words:** Biomass, gasification.

### **GİRİŞ**

Bitkilerin ve canlı organizmaların kökeni olarak ortaya çıkan biyokütle, genelde güneş enerjisini fotosentez yardımıyla depolayan bitkisel organizmalar olarak adlandırılır. Biyokütleyi aynı zamanda bir organik karbon olarak da kabul etmek olanaklıdır. Biyokütle, tarım veya ormancılık ürünü olan ve tamamı veya bir kısmı içindeki enerjiyi geri kazanmak amacı ile yakıt olarak kullanılabilen bitkisel maddelerin tamamı veya bir kısmından oluşan ürünleri kapsar. Biyokütle enerjisi; yetiştiriciliğe dayalı olduğu için yenilenebilir, çevre dostu, yerli ve yerel bir kaynak olarak önem kazanmaktadır. Fotosentez yoluyla enerji kaynağı olan organik maddeler sentezleşirken, tüm canlıların solunumu için gerekli olan oksijeni de atmosfere verir. Üretilen organik maddelerin yakılması sonucu ortaya çıkan CO<sub>2</sub> ise, daha önce bu maddelerin oluşması sırasında atmosferden alınmış olduğundan, biyokütleden enerji elde edilmesi sırasında çevre, CO<sub>2</sub> salımı açısından korunmuş olacaktır. Organik madde içeren artıkların değerlendirilmesi, çevre kirliliği ve

temiz enerji üretimi bakımından önem taşımaktadır. Bu amaçla özellikle gelişmekte olan ülkelerde kullanımı en yaygın olan kaynak biyokütledir. Dünya enerji tüketiminin yaklaşık %15'i, gelişmekte olan ülkelerde ise enerji tüketiminin yaklaşık %43'ü biyokütleden sağlanmaktadır (Başçetinçelik ve ark., 2007). Biyokütle; her yerde yetiştirebilmesi, çevre korunmasına katkısı, elektrik üretimi, kimyasal madde ve özellikle taşıtlar için yakıt olabilmesi nedeni ile stratejik bir enerji kaynağı olarak kabul edilmektedir. Biyolojik kökenli yakıtlardan enerji üretimi için en etkin yöntemlerden birisi, kombine ısı ve güç üretimidir. Kombine ısı ve güç üretiminden, endüstriyel uygulamalar için işlem ısı ve buhar üretimi amacıyla da yararlanılabilir. Endüstri sektöründe kurutma gibi birçok işlem için ısı üretimine gereksinim vardır. Bu gereksinim, bölgesel ısıtma sistemi olmaksızın kombine ısı ve güç üretimi ile karşılanabilir. Ayrıca küçük ölçekli kombine ısı ve güç tesislerinden elde edilen ısı enerjisi, kamusal ve endüstriyel binaların

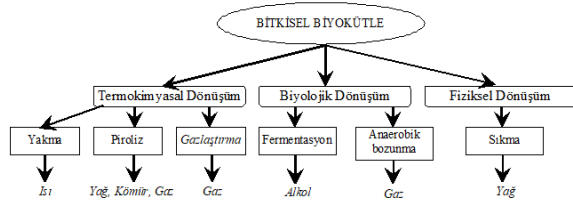
ısıtılmasında kullanılabilir (Başçetinçelik ve ark., 2003, 2005, 2007; Tolay, 2007; 2008; Karaca, 2009).

Ülkemizde buğday ve ayçiçeği, mısır, tütün, soya, pamuk ve tütün gibi endüstriyel bitkiler yetiştirilmektedir. Ancak bu bitkilerin artıkları verimli kullanılmamaktadır. Genellikle tarlalarda yakılan veya doğaya terk edilen bu bitki artıklarının değerlendirilmesi son yıllarda önem kazanmıştır. Türkiye gibi ulusal gelirinin büyük bir kısmını tarımdan sağlayan ülkeler, tarımsal atıklarını ve diğer bitkisel artıklarının geri dönüşümünü sağlayıp bunu ekonomilerine kazandırmalıdır. Bu çalışmada, tarımsal biyokütleden gazlaştırma teknolojisi ile üretilecek olan gaz yakıttan biyoenerji üretimi değerlendirilmiştir.

## MATERYAL VE YÖNTEM

### Biyokütleden Enerji Üretimi

Biyokütle materyalden enerji üretimi için en yaygın uygulama, birleşik ısı ve güç (kojenerasyon) santralinde direk yakarak elektrik ve ısı enerjisi elde etmektir. Biyokütlenin doğrudan yakılarak enerji üretilmesi, bilinen en eski yöntem olmasına karşın, son yıllarda verimi yükseltmek için yeni yakma sistemleri geliştirilmiştir. Özellikle biyokütle ile çalışan termik santral yapımında, akışkan yataklı sistemler alışlagelmiş yakma sistemlerinin yerlerini almaktadır. Hemen her türlü biyokütle kaynağını doğrudan yakmak olanaklıdır. Ancak, nem oranı yükseldikçe elde edilen ısı değer de azalır. Biyokütle ısı ve buhar üreten kazanlarda direk olarak yakılarak, %20–30 verimlilikte elektrik üretilebilir (Koopmans ve ark., 1997; Karaca, 2009; Tolay, 2010).



Şekil 1. Biyokütleden enerji üretimi

Tarımsal atıklardan enerji üretmek için kullanılan başlıca ısıl yöntemler yakma, piroliz ve gazlaştırmadır (Şekil 1). Üç yöntemde de atıklar kontrollü şekilde ısıl işleme tabii tutularak yakıtla dönüştürülürler. Yakma işlemi klasik olarak çok eskidir. Hava kirliliği sorunları konusunda ve düşük enerji verimliliği nedeni ile

istenmemektedir. Pirolizde, atığın termal degradasyonu havasız ortamda gerçekleştirilerek kok, piroliz petrolü, ve sentez gazı oluşturulur. Gazlaştırmada hidrokarbonların parçalanarak sentez gazı oluşturması ortamdaki oksijenin dikkatle kontrolü ile sağlanır. Piroliz gazlaştırmadaki ilk aşamayı oluşturur. Gazlaştırma sonucu elde edilen gaz enerji üretimi için kullanılabilir (Karaca, 2009).

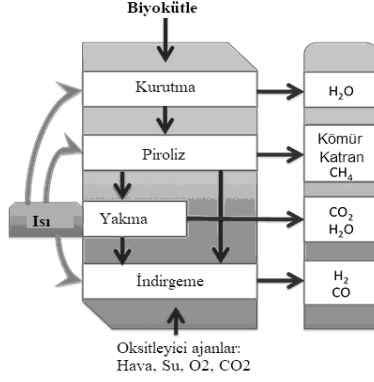
Biyokütleden enerji üretimi için maliyet ve doğal çevreye olan etkilerin dikkate alınması gerekir. Enerji üretiminde kullanılan teknolojinin basit ve çabuk uygulanabilir olması, yeterince eğitilmiş personele ihtiyaç duyulması da önemli bir faktördür. Bu nedenlerle katı organik atıklardan özellikle orman ve tarım artıklarından en basit şekilde enerji dönüşümü doğrudan yakmadır. Doğrudan yakma sisteminde enerji dönüştüren ünitenin enerji tüketen merkezlere uzaklığı çok büyük ekonomik rol oynamaktadır. Yakma uygulaması, orman atıkları ve tarımsal atıkların uzak yerlere taşınması nem içeriğinin yüksek olması nedeniyle ekonomik değildir.

Kurutulmuş tarımsal atıkların doğrudan yakarak ısı enerjisi elde etmek mümkündür. Elde edilen ısı enerjisinin, buhar kazanlarında suyun buhara dönüştürülmesi ve elektrik jeneratörlerinin çalıştırılması için kullanılabilirdiği gibi, ısıtma ve sıcak su elde etme amaçları ile kullanılabilir. Diğer bir yakma yöntemi ise tarımsal atıkların kömür gibi fosil yakıtlarla karıştırılarak yakılması ve elektrik üretimi için termik santrallerde kullanılmasıdır. Ancak, tarımsal atıklarının düşük ısı değerleri, nakliye ve depolama güçlükleri, yakıt kalitesindeki değişkenlikler, yüksek nem oranı, baca gazı çevre sorunları ve direkt yakma tesislerinin verimliliklerinin düşük olması gibi nedenlerden dolayı tercih edilmemektedir.

### Gazlaştırma Teknolojisi

Tarımsal biyokütleden gazlaştırma yöntemiyle gaz yakıt elde edilir ve elde edilen gaz, gaz motorunda yakılarak elektrik üretilebilir. Gazlaştırma, karbon içeren biyokütle gibi katı yakıtların yüksek sıcaklıkta bozunması ile yanabilir gaz yakıt elde etme işlemidir. Bu işlem sırasında denetimli bir şekilde yakıt hücresine verilen hava ile biyokütle materyal yakılır. Sınırlandırılmış oksijen, hava, buhar veya bunların kombinasyonları reaksiyonu başlatmaktadır. Üretilen gaz yakıt; karbon monoksit, karbondioksit, hidrojen,

metan, su ve azot'un yanı sıra kömür parçacıkları, kül ve katran gibi artıkları da içermektedir (Şekil 2). Üretilen gaz temizlendikten sonra kazanlarda, motorlarda, türbinlerde ısı ve güç üretilmek üzere kullanılmaktadır.



Şekil 2. Gazlaştırma teknolojisi

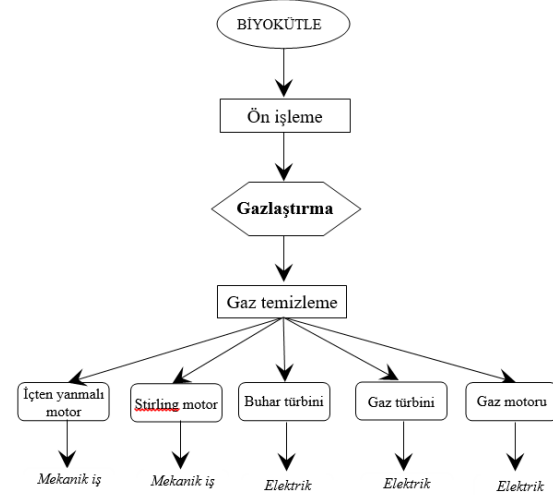
Biyokütleden gazlaştırma tekniği ile yüksek bir verimle petrole çalışan güç ve ısı sağlayan türbinlerde kullanılacak bir gaz yakıt elde edilebilir. Biyokütle gazlaştırılması ile elde edilen gaz yakıtın doğal gazın kullanıldığı yerlerde küçük düzenlemeler yapılarak kullanımı yaygınlaştırılabilir. Gelecekte kolaylıkla doğal gazın kullanıldığı yerlerde enerjinin büyük bir kısmı bu yakıttan sağlanabilir. Biyokütleden gazlaştırılma ile elde edilen temizlenmiş gaz yakıt, ısı ve buhar üreten kazanlarda direk yakılarak veya *Stirling* motorlarda %20–30 verimlilikte elektrik üretimi için kullanılabilir. Basıncı gazlaştırma türbinlerinde ise %40 veya daha fazla verimlilikte elektrik üretimi yapılabilir (Gartner, 2008).

Girdi olarak çevreye zarar verebilen tarımsal atıkların kullanıldığı gazlaştırma yöntemi ile elektrik üretiminin faydaları aşağıdaki gibi özetlenebilir (Karaca, 2009; Tolay, 2007):

- ✓ Sentez gazı ile elektrik ve ısı üretiminde ekonomik kazanç elde edilir.
  - ✓ Gazlaştırıcıdan çıkan atık kül, inşaat malzemesi olarak kullanılabilir.
  - ✓ Küresel ısınmanın en önemli etkeni olan zararlı gazları azaltılır. Kömür yakan enerji tesislerinde yanma sonucu atık olarak çıkan SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> gibi zararlı gazların azalmasını sağlar. Fosil yakıtlarının tasarrufuna katkıda bulunulur.
  - ✓ Çok ucuz ve çevreci enerji üretimi sağlar.
- Gazlaştırma yöntemi, doğrudan yakma yönteminin en önemli alternatifidir. Bu yöntemler sayesinde katı

yakıttan sıvı ve gaz yakıtlar üretilmektedir. Biyokütle en uygun şekilde kullanılabilmesi için bazı özelliklerinin bilinmesi gerekir. Bu özellikler şunlardır: Nem oranı (%olarak su miktarı), karbon/azot oranı (C/N), kimyasal ve fiziksel özellikleridir. Enerji dönüşümünde kullanılacak biyokütle materyal için bu değerlerin bilinmesi son derece önemli olmaktadır (Karaca, 2009). Doğrudan yakma için %8–15 arası nem oranı uygun olup, 50–100 cm arasında değişen parça boyutu idealdir. Karbonlaştırma işlemi %8–15 arası nem oranları tercih edilir. Enerji yoğunluğunu birim hacim başına artırmak için briketleme işlemi yapılır.

Daha düşük seviyede nem içeren biyokütleden enerji üretmek için gazlaştırma işlemi uygun bir teknolojidir. Açığa çıkan gaz kazanlarda, türbinlerde, mikro türbinlerde, içten yanmalı motorlarda, *Stirling* motorlarında ve yakıt pillerinde yakıt olarak kullanılabilir (Şekil 3). Hali hazırda gazlaştırıcıda üretilen gaz kazanlarda kullanılmakta olup, içten patlamalı motorlarda da kullanılmaktadır. Ayrıca, piroliz ve gazlaştırma işlemleri atığın ön hazırlığı, elektrik tüketiminin yüksekliği (özellikle akışkan yataklarda) ve ek yakıt ihtiyacı, gaz temizliği gereksinimi gibi nedenlerden dolayı sınırlı olarak tercih edilmektedir.



Şekil 3. Gazlaştırma ile enerji üretimi

### Gazlaştırma Teknolojileri

Katı atıkları gazlaştırmak için öncelikle uygun tane boyutuna ve daha sonra pelet haline getirmek gerekmektedir. Katı atıkları gazlaştırma işlemi birkaç aşamada gerçekleşir. Katı atıktaki suyun

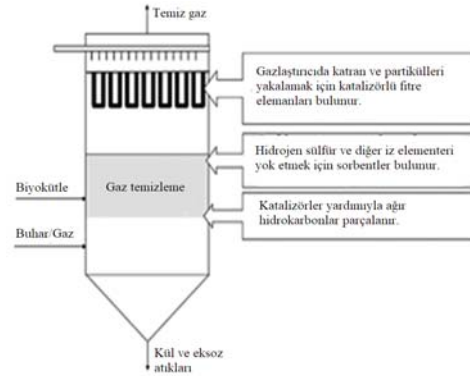
uzaklaştırılması ise ön hazırlık işlemleri sırasında yapılır. Veya pelet haline gelen ve genellikle %10–15 su içeren katı atık gazlaştırıcı içerisinde suyunu buhar fazına geçirir. Bu kuruma işleminden sonra piroliz, indirgenme, yanma ve benzeri reaksiyonlarına uğrar. İçerisinde %35'den daha fazla su bulunan katı materyal, termokimyasal dönüşümle elektrik üretimi için uygun değildir. Gazlaştırma için %8–15 arası nem oranı uygun olup, 3–5 cm arası parça boyutu ideal olarak kabul edilir. Katı atık içerisindeki su gazlaştırma reaksiyonlarından biri olan su buharı reaksiyonuna gerekli olan su buharını üretmek üzere kullanılır ve bu reaksiyon oldukça önemlidir. Gazlaştırma işleminin başlayabilmesi için katı atık içerisindeki karbon elementinin bir kısmı yakılarak gazlaştırıcının önce suyun buhar fazına geçmesi, sonra piroliz fazına ulaşması ve daha sonrada gazlaşma reaksiyon sıcaklıklarına yükselmesini sağlanmaktadır. Gazlaştırıcı içerisinde oluşan reaksiyonlarını sırası ile aşağıdaki şekilde inceleyebiliriz; Kuruma; suyun buharlaşması, piroliz, indirgeme (gazlaştırma) ve yanma reaksiyonları (Şekil 1).

Gazlaştırma için birçok teknoloji geliştirilmiş olup, yaygın olarak kullanılanlar şunlardır:

- Sabit yataklı gazlaştırma
- Akışkan yataklı gazlaştırma
- İndirekt (dolaylı) gazlaştırma
- Hızlı akışkanlı gazlaştırma

**Sabit Yataklı Gazlaştırıcı:** Genel olarak, bir oksitleyici ile karbon içeren malzemenin (biyokütle) gazlaştırılarak, gaz halindeki ürüne (yanıcı gaz, CO, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub> karışımı) dönüşümü olarak tanımlanabilir. Gazlaşma ile 1000 °C sıcaklıkta sentez gazı üretir. Sıcak ham sentez gazı soğutma ve ısı değerlendirme ve gaz yıkamanın gerçekleştirildiği gaz temizleme sistemine yönlendirilir. Genel olarak tesise ortalama 3000 kcal/kg ısı gücünde biyokütle verilmektedir.

Biyokütle gazlaştırma teknolojisi, 1–20 MWe aralığında elektrik üretebilecek farklı boyutta gazlaştırıcılara sahiptir. Tesisten üretilen sentez gazının ısı değeri, hava ile çalışan diğer akışkan yataklı gazlaştırıcılarda olduğu gibi, 900–1200 kcal/Nm<sup>3</sup>tür. Gerekirse gaz motoruna ilave sıvı veya gaz yakıt (doğal gaz) verilmektedir. Üretilen sentez gazının bileşimi genel olarak CO (%16-20), H<sub>2</sub> (%5-15), CO<sub>2</sub>, (%10-15), CH<sub>4</sub> (%3-5) ve N<sub>2</sub> (%50-55) den oluşur.



**Şekil 4. Gazlaştırma ve gaz temizleme işlemlerinin birlikte uygulanması (Heidenreich ve Foscolo, 2015)**

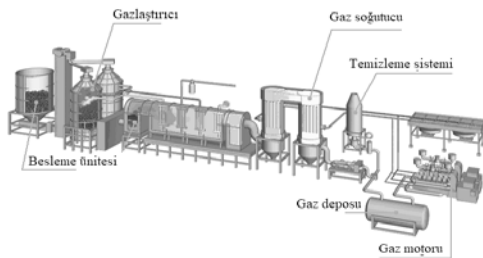
**Akışkan Yataklı Gazlaştırıcı:** Sabit yataklı yukarı veya aşağı akışlı gazlaştırıcıların yanı sıra akışkan yataklı gazlaştırıcılarda biyokütle gazlaştırılmasında kullanılır. Akışkan yatak yakma sistemlerinde biyokütle yakıt, gazın kendi karışımında ve yanma gazı alttan giren katı yatak materyali içinde yanar. Akışkanlaştırma hızına bağlı olarak, kabarcıklı akışkan yataklı (BFB) ve dolaşimli akışkan yataklı (CFB) yakma olarak ayrılabilir. Tarımsal, evsel ve endüstriyel atıkların bertaraf edilirken elektrik ve ısı enerjisi üretildiği çevre dostu gazlaştırma tesisleri akışkan yatak teknolojisi ile yaygın olarak kullanılmaktadır. Akışkan yataklı gazlaştırıcılar, genellikle sabit yataklı gazlaştırıcılara göre daha yüksek güçlerde kullanılırlar.

**Çizelge 1. Biyokütle gazlaştırma için gelişmekte olan teknolojilerin özellikleri (Sikarwal ve ark., 2016)**

Teknolojik gelişme	Özellikler	Üstünlükleri	Kısıtlar
Gazlaştırma ve gaz temizleme işleminin aynı reaktörde birlikte gerçekleştirilmesi (Şekil 3)	Biyokütle materyalin gazlaştırılması ve tek reaktörde sentez gaz temizleme işlemlerinin tek reaktörde entegrasyonu	Tasarım sağlamdır. Maliyeti düşüktür.	Büyük çaplı ticari uygulamalar için çok fazla araştırma gereklidir.
Çok aşamalı gazlaştırma	Gazlaştırıcının bölünmüş bölmelerinde, tek kontrollü aşamalarda, piroliz ve gazlaştırma işlemlerinin uygulanması	Kaliteli ve temiz gaz üretilir. İşlem verimi artar.	Karmaşıklık artar.
Dağınık piroliz santrallerinin merkezi bir gazlaştırma tesisiyle entegrasyonu	Dağınık piroliz tesislerinde kömür-yağ bulamacının üretimi ve sentez gazı üretimi ve biyoyakıt sentezi için merkezi bir tesiste gazlaştırma	Dağınık durumda ve düşük kaliteli biyokütle kullanılabilir. Kömür-yağ bulamacı ekonomik olarak taşınabilir.	Bu işlemle benzin ve olefin üretimi ekonomik değildir.
Plazma gazlaştırıcı	Gazlaştırma sürecince ısı kaynağı olarak plazma kullanılması	Her tür organik madde ayrıştır. Tehlikeli atıklar artılır.	Yatırım maliyeti yüksektir. Güç ihtiyacı fazladır. Verim düşüktür.
Süper kritik su gazlaşması	Gazlaştırma işlemi, süper-kritik su içerisinde gerçekleştirilir.	Sıvı ve nem içeriği çok yüksek olan biyokütle kullanılabilir. Ön işleme gerekli değildir.	Yatırım maliyeti yüksektir. Enerji gereksinimi yüksektir.
Sorpsiyon geliştirilmiş reformlama ve CO <sub>2</sub> çekimi ile biyokütle gazlaştırma	Hammaddelerin gazlaştırılması katalizör ve sorbent varlığında gerçekleştirilir.	CO <sub>2</sub> yerinde yakalanır. H <sub>2</sub> üretimi artar. Katran içeriği azalır.	Gelişmiş katalizörler için emülsiyon geliştirilmesi gereklidir.
Isı enerjisi ve gücün birlikte üretilmesi (kojenerasyon)	Isı enerjisi ve güç birlikte üretilir.	İşlem verimi yükselir.	Tüketiciye yakın ısı üretilmesi gerektiğinden sadece merkezi olmayan ısı ve güç üretimi mümkündür
Isı, güç ve hidrojenin çoklu üretimi	Isı, güç ve hidrojen birlikte üretilir.	Verim yükselir. Yenilenebilir kaynaklardan hidrojen üretilir.	Sistemin tasarımı oldukça karmaşıktır.
Sentez gazının ısı ve güç ile birlikte çoklu üretimi	Sentez gazı, ısı ve güç birlikte üretilir.	Taşıma için yenilenebilir bir yakıt üretilir. İşlem verimi yükselir.	Doğal gaz dağıtım sisteminin olmaması durumunda ekonomik değildir.
Gazlaştırıcı ile bütünleşik Fischer-Tropsch (FT) işlemi	Gazlaştırma ile üretilen sentez gazı, FT yakıt sentezi için kullanılır.	Temiz ve karbon nötr sıvı biyoyakıt üretilir.	Sistemin tasarımı oldukça karmaşıktır.

### Biyokütle Gazlaştırma Tesisi

Biyokütle gazlaştırma işlemi, genel olarak, bir oksitleyici ile karbon içeren malzemenin gazlaştırılarak, gaz halindeki ürüne (yanıcı gaz) dönüşümü olarak tanımlanabilir. Biyokütle gazlaştırma tesisi; biyokütle tartım ve besleme sistemi, gazlaştırıcı reaktör ve siklon, soğutma sistemi, su ile soğutulmuş boşaltım/yıkama konveyörleri, çok bölgeli gazlaştırma hava fanı ve işlemin otomatik kontrolü için döner besleyiciden oluşur (Şekil 4).

**Şekil 5. Biyokütle gazlaştırma tesisi**

Depolanmış biyokütle yakıt, gazlaştırıcı deposuna aktarılır. Yakıt, gazlaştırıcıya kütle ölçüm deposunda ölçülerek beslenir. Besleme silosu seviye ölçerlerle, giriş besleme seviyesi konveyörü ve gazlaştırıcıya yakıtı aktaran değişken hızlı çıkış besleme konveyörleri ile donatılmıştır. Çıkış besleme konveyörünün hızı, ısı geri kazanım sisteminden istenen gaz miktarına bağlı olarak otomatik olarak gazlaştırma kontrol sistemi ile ayarlanır. Yakıt suyla soğutulmuş vida konveyörle gazlaştırıcının kurutma ve ısıtma bölümüne boşaltılır. Gazlaştırma işlemi orantılı hava kullanımı ile kontrol edilerek etkili gazlaştırmayı destekler. Gazlaştırıcıdan çıkan külde istenen karbon miktarını ayarlamak için reaktörde kalma süresi kontrol sistemi ile değiştirilir. Hassas gazlaştırma havası kontrolünün kullanımı ve bölgeleme 650 °C'dan 1000 °C'a zamanla sürekli değişen sıcaklıklarda gaz üretir. Gazlaştırıcıdan çıkan gaz, yüksek sıcaklık siklonuna gelerek öncelikle sıcak

gazlar külden temizlenir. Sıcak gaz soğutma ve ısı değerlendirme ve gaz yıkamanın gerçekleştirildiği gaz işleme (iyileştirme) sistemine yönlendirilir. Tüm gazlaştırma işlemi kısmen negatif basınçta gerçekleşir. Üretilen ve temizlenen gaz negatif basınç (ID) fanı ile gaz işleme sistemi ile sağlanır.

Katı yakıt (tarımsal biyokütle) hazırlama işlemlerinden sonra, gazlaştırıcıya vidalı besleyici ile orta kısımdaki izgaranın üzerinden verilir. Gazlaştırıcıya giren biyokütle materyal, ilk olarak suyunu kaybeder ve kurur. Sıcaklığı 250–400°C arasında değişmektedir. Tarımsal atık, gazlaştırıcı boyunca hareket ederken 400–600°C arasında sıcaklığa ulaşır ve piroliz olmaya başlar ve kok, katran, CH<sub>4</sub> ve H<sub>2</sub>'ye parçalanır. Oksijen taşıyıcı (önceden ısıtılmış hava) gazlaştırıcının altından girer. Hava hem gazlaşma hem de yukarıya doğru taşıma görevi görür. Tarımsal biyokütle 1000 °C sıcaklığa ulaştığında, giren havadaki oksijen ve H<sub>2</sub>O, kok ile reaksiyona girer ve ortaya çıkan gaz, genel olarak CO, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> içeren, 1.000°C sıcaklıkta sentez gazdır. Tarımsal biyokütle artık küçülmüş ve sadece külü kalmıştır. Sentez gazı, yukarı doğru ilerlerken 800 °C'ye kadar soğur. Sentez gazı, gazlaştırıcıdan çıkıp 400– 600°C'ye ulaştığında, gaz temizleme bölgesine çekilir. Burada kül ve toz toplayıcı özel siklon bulunmaktadır. Daha sonra gaz temizleme kısmına gelir.

**Gaz Temizleme:** Gazlaştırıcıdan çıkan işlenmemiş ham gaz; katran, biyokütle tozu, gazlaşma sıvısı ve diğer saflığı bozan maddeler içerir. Bu kirlenmeler sentezlenen gaz ısı/güç üretim ünitelerinde kullanılmadan önce uzaklaştırılmalıdır. Katran, ısı dönüştürücü yüzeylerinde ve motor vanalarında birikebilir veya motorların yakma çemberlerinde uygun şekilde yanmayabilirler. Alkali maddeler, ısı dönüştürücü çepelerinde ve korozyona sebep oldukları türbin kanatlarında birikebilirler (Çizelge 2). Katran ve alkali maddelerin uzaklaştırılması gazlaştırma prosesinin uzun süreli başarısı için çok önemlidir. Partiküllerin, biyokütle gazlaştırıcısından çıkan sentez gazından uzaklaştırılması gerekir. Bu amaçla siklon toplayıcılar, çöktürücüler, filtrelerin herbiri partikül uzaklaştırılması için kullanılır. Siklon toplayıcılar tozların ve parçacıkların toplanmasında çok başarılıdırlar. Partiküller siklon toplayıcının tabanında birikirken, gaz akımı siklon toplayıcıların üstünden çıkar. Sentez gazı; azot, karbon monoksit, hidrojen ve bazı alkanlar, karbon dioksit, az miktarda ayrılmış kül ve katran içerir. Doğru bileşim ve sonuç olarak oluşan ısı değer beslenen biyokütle

özelliklerine bağlıdır. Fakat genel anlamda tipik ısı değeri 900–1200 kcal/Nm<sup>3</sup>tür. Üretilen gaz, gazlaştırıcıdan çekiş fanı ile emilerek gazı soğutan ve işleyen mekanizmalardan geçirilerek yakılmak üzere gaz motoruna gönderilir.

Birinci temizleme aşaması, katran ve hidrokarbon ayırma teknolojisidir. İkinci aşama artan sıcaklığın soğutulmasıdır. İlk soğutma dolaylı hava veya su ile ısı değiştirme ilkesine dayanır. İkinci soğutma ve partikül ayırma sıvı yıkama ile gerçekleştirilir. Buradan çıkan gaz son olarak basınçla gaz motoruna basılır.

**Gaz Yıkayıcılar ve Çöktürücüler:** Yıkama sıvısı, merkezi bir spiral helezonik dağıtıcı ile gazla temas ettirilir. Yüksek hızdaki gazın içerisindeki yabancı maddeleri, katı partikülleri yakalayan sıvı damlacıkları sürükleyerek veya çözerek gazın içindeki kirlilikleri temizleyerek aşağı indirir. Siklon toplayıcılardan aşağı doğru gelen gaz buharından, dönüştürülmemiş karbon partikülleri (kurum), ve hafif kül malzemeleri yıkama suyuyla yıkanmış ve uzaklaştırılmıştır. Katlar, yıkama su tankı içindeki sudan, kum veya diğer filtrasyon materyallerinden yapılmış olan bir filtrasyon tekniği ile geri alınırlar. Katran yıkama tankının altında bulunan katran toplayıcılar içinde toplanır. Katran, gazlaştırıcıda yakıt olarak tekrar kullanılır.

**Çizelge 2. Ham gaz bileşimindeki kirlenmeler (Tomlinson ve ark., 1996)**

Kirlenici	Örnek	Etkisi	Uzaklaştırma Tekniği
Partikül	Kül, kömür	Aşındırma	Siklon, filtre
Katran	Siklik ve polisiklik hidrokarbon	Tıkama, çökeltme	Fiziksel, kimyasal ve katalizörlü yöntemler
Alkali metal	Sodyum ve potasyum bileşikleri	Sıcak gaz korozyonu	Gaz soğutucu+siklon
Yakıt azot	NH <sub>3</sub> , HCN	NO <sub>x</sub>	Yıkama
Kükürt	H <sub>2</sub> S, SO <sub>2</sub>	Korozyon	Yıkama, aktif karbon
Klor	HCl	Korozyon, katalizör zehirlenmesi	Yıkama, aktif karbon

**Çizelge 3. Değişik uygulamalar için kirlenmelerin sentez gazında bulunmasına izin verilen maksimum değerleri (Woolcock ve Brown, 2013)**

Kirlenmeler	Uygulamalar		
	Gaz türbini	FT sentezi	Metanol sentezi
Katran (mg/m <sup>3</sup> )	-	<0.1–1	<1
Kükürtlü kirlenmeler (ppm)	<20	0.01	<1
Azotlu kirlenmeler (ppm)	<50	0.02	0.1
Alkali (ppm)	<0.02	0.01	-
Halidler (ppm)	<1	0.01	0.1

## SONUÇ

Ülkemizin enerjide dışa bağımlılığın bir miktarda olsa azaltılması ve yerli kaynakların enerjiye yönlendirilmesi için biyokütle atıkların değerlendirilmesi konularında daha çok çalışmaların yapılarak dikkat çekilmesi gerekmektedir. Ayrıca tarıma dayalı sanayi kuruluşlarına atıklarının farklı değerlendirme alternatiflerinin araştırılarak yardımcı olunmalıdır. Atıkların tarlada bırakılması veya anız olarak faydasızca yakılması hem ekonomik değil hem de çevresel güvenlik bakımından tehlikelidir. Tarımsal atıkların tarım işletmelerinde ham halde depolanması büyük depolama alanları ihtiyacı ve yangın tehlikesi oluşturduğundan büyük bir problem olarak görülmektedir. Bu tür atıkların briketlenmesi bu işletmelerin kendi ısıl ihtiyaçları için kendi üretim atıklarını kullanma düşüncelerinin önünde büyük engel teşkil eden depolama sorunlarını ve risklerini ortadan kaldıracaktır. Özellikle tarımsal atıkları toplayıp briketleme ve peletleme gibi işlemlerden geçirerek gazlaştırma tesislerinde gaza dönüştürülmesi doğalgaz, fueloil, odun ve kömüre alternatif yakıt piyasasının oluşturulması için yatırım yapacak girişimcilerin devlet tarafından desteklenmesi ve teşvik edilmesi gerekmektedir.

## LİTERATÜR LİSTESİ

- Kamalak, A., Ö. Canbolat, Y. Gürbüz, O. Özyay, 2005. Prediction of Dry Matter Intake and Dry Matter Digestibilities of Some Forages Using Gas Production Technique on Sheep. *Turk. J. Vet Anim Sci.* 29. 517-523.
- Bascetinçelik, A., H.H. Öztürk, C. Karaca, M. Kaçira K. Ekinci 2003. Exploitation of Agricultural Residues in Turkey. LIFE-03.TCY/TR/000061.
- Başçetinçelik A., C. Karaca, H.H. Öztürk, M. Kaçira, ve K. Ekinci 2005. Regional Distribution of Agricultural Biomass Potential in Turkey. *Proceedings of the 9<sup>th</sup> International Congress on Mechanization and Energy in Agriculture & 27<sup>th</sup> International Conference of CIGR Section IV: The Efficient Use of Electricity and Renewable Energy Sources in Agriculture*, September, 27-29, İzmir-TURKEY.
- Başçetinçelik A., H.H. Öztürk C. Karaca 2007. Türkiye'de Biyokütle Enerjisi Kullanımını Geliştirme Olanakları. IV. Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, 23-24 Kasım 2007, Kayseri, *Bildiriler Kitabı*: 101-110, ISBN No: 978-9944-89-410-4, MMO Yayın No: E/2007/452.
- Ekinci, K. 2005. Türkiye'de Tarımsal Atıkların Değerlendirilmesi, TÜBİTAK Feza Gürsev Salonu Tunus Cd. No:80, 25 Kasım 2005, Kavaklıdere, Ankara.
- Gärtner, S. 2008. Final Report on Technical Data, Costs and Life Cycle Inventories of Biomass CHP Plants. IFEU, IERS 1a D13.2, New Energy Externalities Developments for Sustainability; Project no: 502687, 9 April 2008.
- Heidenreich, S. and P.U. Foscolo 2015. New Concepts in Biomass Gasification. *Prog. Energy Combust. Sci.* 46. 72-95.

Tarımsal atıkların enerji amaçlı değerlendirilmesinin geliştirilmesi; çevre (iklim değişikliği), yenilenebilir enerji, enerji güvenliği, atık yönetimi, kırsal istihdam vb. alanlarda çözülmesi zorunlu birçok sorunun çözümüne katkıda bulunacaktır. Kırsal alanda istihdam yaratılması açısından; biyokütle yakıt temini fosil yakıt teminine göre çok daha fazla işgücü gerektiren emek yoğun bir faaliyettir. Dolayısıyla yapılacak bu tür yatırımların, işsizliğin giderilmesine büyük katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Biyokütle, genellikle kırsal ekonomilere mali destek sağlayan, çevre açısından uygun, belirli bir yerde doğal olarak bulunan bir enerji kaynağıdır. Kırsal istihdamda sağlanacak iyileştirmeler önemli bir sosyal fayda olarak görüldüğü için, toplulukları esas alan kuruluşlar ile bazı sivil toplum kuruluşları, tarımsal atıklardan sağlanan yakıtlarla işletilen biyokütle tesislerinin geliştirilmesine katılmak isteyebilir. Ülkemizde yaygınlaşacak bu tür tesislerle, bu konuda deneyimli, kalifiye iş gücünün de yetişmesi sağlanmış olacaktır. Ayrıca, kurulacak bu tür tesisler yalnızca direkt istihdam yaratmanın dışında, bölge sanayisinin tesislere vereceği teknik desteklerle de dolaylı olarak istihdam yaratacaktır.

- Karaca, C. 2009. Çukurova Bölgesindeki Tarıma Dayalı Sanayi Atıklarının Enerjiye Dönüşüm Olanaklarının İncelenmesi. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Koopmans, A. and J. Koppejan 1997. *Agricultural and Forest Residue; Generation, Utilization and Availability*. RWEDP; www.rwedp.org. pp: 21.
- Sikarwar, V.S., M. Zhao, P. Clough, J. Yao, X. Zhong, M.Z. Memon, N. Shah, E.J. Anthony and P.S. Fennell 2016. An Overview of Advances in Biomass Gasification. *Energy Environ. Sci.* 9. 2939-2977.
- Tolay, M. 2007. An Agricultural and Forest Waste's Recycling Methods: Gasification of Solid Waste. *Recycling Magazine*, Issue 3, July 2007, Istanbul.
- Tolay, M. 2008. Gasification Technology for Contaminated Wastes. *Recycling Magazine*, Issue 4, July 2008, Istanbul.
- Tolay, M., R. Baileys and A. Waterschoot 2010. Drying and Gasification Technologies for Industrial Wastewater Sludge. 12<sup>th</sup> Industrial Pollution Control Symposium, EKK 2010, June 16-18 2010, ITU, Istanbul-Turkey.
- Tomlinson, G., D. Gray, and M. Berger 1996. Produced by MITRE Corporation for National Renew. Energ. Laboratory, USA, under contract number AL-4159.
- Woolcock, P.J. and R.C. Brown 2013. A Review of Cleaning Technologies for Biomass-Derived Syngas. *Biomass Bioenergy.* 52. 54-84.

## **Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Kullanımının Mevcut Durumu ve Sorunları**

**Birol KAYIŞOĞLU<sup>1\*</sup>, Bahar DİKEN<sup>2</sup>**

Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, TEKİRDAĞ

\*Sorumlu yazar e-posta: bkayisoglu@nku.edu.tr

Geliş Tarihi (Received): 07.05.2019

Kabul Tarihi (Accepted): 22.08.2019

**Özet:** Dünyada tüketilen birincil enerji kaynaklarının %86'sı fosil kökenli yakıtlardan sağlanmaktadır. Fosil kökenli yakıtlar geleneksel yakıtlar olarak da adlandırılmaktadır. Bu yakıtların oluşumu milyonlarca yılda gerçekleşmektedir. Bu özelliklerinden dolayı yenilenemez enerji kaynağı olarak adlandırılmaktadırlar. Ayrıca, fosil kökenli yakıtlar yüksek maliyetlidirler ve olumsuz çevresel etkileri bulunmaktadır. Özellikle fosil kökenli yakıtları ithal eden gelişmekte olan ülkeler, bütçelerinin büyük bir kısmını bunun için harcamaktadırlar. Bu nedenlerden dolayı, son yıllarda fosil kökenli yakıtlara alternatif olabilecek birincil enerji kaynaklarına talep artmaya başlamıştır. Güneş, rüzgâr, jeotermal ve biyokütle gibi yenilenebilir enerjiler bu kaynakların başında gelmektedir. Bu makalede Türkiye'deki yenilenebilir enerji kaynaklarının potansiyelleri, güncel veriler dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmenin sonucunda, ülkemizde oldukça büyük yenilenebilir enerji kaynağı potansiyelinin bulunduğu, ancak bu potansiyelin büyük bir kısmının kullanılmadığı belirlenmiştir. Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının önündeki engeller ve bunların aşılması için gerekli öneriler sunulmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Yenilenebilir enerji, güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, jeotermal, biyokütle

### **The Current Situation of Renewable Energy Use in Turkey and Problems**

**Abstract:** 86% of the primary energy sources consumed in the world are derived from fossil-based fuels. Fossil-based fuels are also called conventional fuels. The formation of these fuels takes place in millions of years. They are called non-renewable energy sources because of their properties. In addition, fossil-based fuels are costly and have adverse environmental impacts. Developing countries, especially those who import fossil-based fuels, spend a large part of their budget. For these reasons, demand for primary energy sources, which could be an alternative to fossil fuels in recent years, has begun to increase. Renewable energies such as the sun, wind, geothermal and biomass are at the forefront of these sources. In this article, the potential of renewable energy sources in Turkey is evaluated taking into actual data. As a result of this assessment, it has been determined that there is a considerable amount of renewable energy potential in our country, but a large part of this potential is not used. Barriers to the use of renewable energy sources in Turkey and proposals necessary to overcome them are presented.

**Key words:** Renewable energy, solar energy, wind energy, geothermal, biomass

### **GİRİŞ**

Dünyadaki hızlı nüfus artışı, teknolojik gelişmeler ve artan üretimle birlikte enerjiye olan talep hızla artmaktadır. 2016 yılı istatistiklerine göre Dünyadaki birincil enerji tüketimi 13.147 Milyon TEP civarındadır. Bu tüketimin yaklaşık %86'lık bir kısmı fosil kökenli (kömür, petrol, doğalgaz) birincil enerji kaynaklarından karşılanmaktadır (Şekil 1). Özellikle

enerjide dışa bağımlı olan ülkeler bu talebi karşılamak için her yıl önemli miktarda döviz harcamaktadırlar. Fosil kaynaklı yakıtların yenilenemez enerji kaynağı olması, giderek artan maliyetleri ve yarattıkları olumsuz çevresel koşullardan dolayı, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler alternatif enerji kaynaklarına yönelmiş ve bu konuda araştırmalar yoğunlaşmıştır.





**Şekil 1. Dünyada Birincil Enerji Kaynaklarının Kullanımı (BP, 2016)**

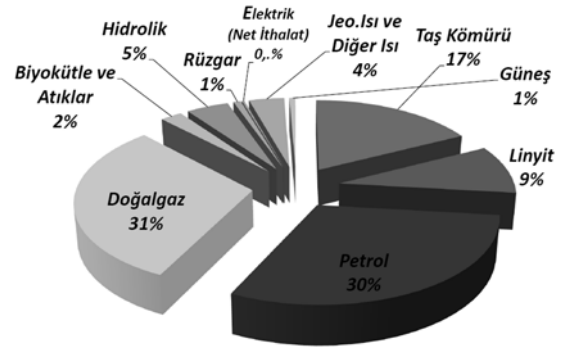
Yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi, günümüzde fosil kaynaklı yakıtlara alternatif olarak, giderek artmaktadır. Bu kaynakların yenilenebilir olması, maliyetlerinin daha düşük olması ve kullanımlarından dolayı olumsuz çevresel faktörlerin daha az olması, talebin artmasına neden olmaktadır. Başta güneş enerjisi olmak üzere, rüzgâr, jeotermal, biyokütle enerjileri belli başlı yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Hidrolik enerji de eski tarihlerden bu yana kullanılan önemli bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Dünyada hidrolik enerji de dahil olmak üzere yenilenebilir enerji kaynaklarının birincil enerji kaynakları içerisindeki payı %10.6 civarındadır. Bunun %6.8'i hidrolik enerji, %2.8'i diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından oluşmaktadır (Şekil 1).

Son yıllarda biyokütlenin enerji kaynağı olarak kullanılması da yaygınlaşmaya başlamıştır. Biyokütle kaynaklarının hemen her yerde yetişebilmesi, sera gazı salınımlarının az olması, tarımsal atıkların da değerlendirilmesi gibi önemli avantajları bulunmaktadır (Baka, 2012).

### Ülkemizde Birincil Enerji kaynağı Kullanımı

Ülkemizde 2015 yılı verilerine göre 129,27 milyon TEP birincil enerji kaynağı tüketilmektedir. Bu değer Dünyadaki tüketimin %1'i civarındadır. Tüketilen bu enerjinin yaklaşık %87'si fosil kaynaklı yakıtlardan sağlanmaktadır. Yaklaşık %11'lik kısmı hidrolik enerji de dâhil olmak üzere yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Bunların içerisinde son yıllarda yaygın olarak kullanılmaya başlanan güneş ve rüzgâr enerjisinin payı oldukça düşüktür (Şekil 2).

2015 yılında birincil enerji kaynağı talebinin yaklaşık %75.9'luk kısmı dışarıyla karşılanmıştır. Ülkemiz, 2015 yılında 48 milyar m<sup>3</sup> doğalgaz dışarıyla ile dünyada 5., 35 milyon ton petrol dışarıyla ile 13., 30 milyon ton kömür dışarıyla ile 8., 4 milyon ton petro kok dışarıyla ile 4. sırada bulunmaktadır. 2016 yılında petrol ithalatı için 30 milyar dolar döviz harcanmıştır. Bu miktar artan döviz kuru nedeniyle 2017 yılında 40 milyar civarlarında gerçekleşmiştir. 1990-2015 yılları arasında ülkemizin toplam enerji talebinin %145.3, yerli üretimin %22.1, enerji ithalatının %301.5 artmasına rağmen, yerli üretimin enerji talebini karşılama oranı %50.2 azalmıştır (ETKB, 2015). Bu durum ülkemizin enerji talebini kendi öz kaynaklarından karşılaması için önemli projeler yapması ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik yatırımlar yapmasının önemini bir kez daha ortaya koymaktadır.



**Şekil 2. Ülkemizde Birincil Enerji Kaynaklarının Kullanımı (ETKB, 2015)**

Enerjiyi verimli kullanmanın ölçütlerinden olan Enerji Yoğunluğu değerine bakıldığında ülkemiz 0.28 TEP/1000 USD değeri ile gelişmiş ülkelerin gerisinde kalmaktadır. Japonya, İsveç, İsviçre ve Danimarka'da bu değer 0.1 TEP/1000 USD civarındadır (ETKB, 2012). Bu durum ülkemizin birim gayrisafi milli hâsıla kazanmak için bu ülkelerden yaklaşık 3 kat daha fazla enerji harcadığını göstermektedir. Enerjiyi daha verimli kullanmak için gerekli önlemlerin de alınması kaçınılmazdır.

### MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışma çeşitli güncel kaynaklardan yararlanıp, güncel verilerin toplanarak değerlendirilmesi ile yürütülmüştür. Ortaya çıkan mevcut durum ve sorunlar analiz edilmiş ve öneriler ortaya konmuştur.

**ARAŞTIRMA BULGULARI****Ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarının mevcut durumu**

Ülkemiz güneş enerjisi potansiyeli açısından oldukça yeterli düzeydedir. Teknik olarak ilk etapta 50.000 GWh/yıl elektrik enerjisi üretecek potansiyel bulunmaktadır. 2016 yılı itibarıyla ülkemizde mevcut GES'lerin durumu Çizelge 1'de verilmiştir (Enerji Atlası, 2017). Aktif olarak çalışan 520 GES bulunmaktadır. Bunların 12'si lisanslı GES'lerdir.

**Çizelge 1. Ülkemizde Güneş Enerjisi Santrallerinin (GES) Mevcut Durumu**

Aktif Santral Sayısı	520
Lisanslı Santral Sayısı	12
Lisanssız Santral Sayısı	508
Kurulu Güç	802 MWe
Kurulu Güce Oranı	%0,99
Üretilen Elektrik Enerjisi	≈ 1.184 GWh/yıl
Üretilen enerjinin Tüketime oranı	%0,46
2023 yılına Kadar hedeflenen Kurulu güç	3.000 MWe
Gerçekleşme Oranı	%26,7

Güneş enerjisinden en fazla yararlanan ülkelerin başında Çin gelmektedir. Bu ülkeyi Japonya, Almanya ve ABD izlemektedir. Ülkemiz güneş enerjisinden yararlanma potansiyeli açısından Dünyada 19. sırada yer almaktadır. Güneş enerjisi potansiyeli ülkemizin yarısı kadar olan Almanya 40.000 MW GES kurulu gücüne sahiptir ve güneş enerjisinden 50.000 GWh/yıl elektrik enerjisi üretmektedir. Ülkemiz ilk etapta ilk etapta 50.000 GWh/yıl elektrik enerjisi üretecek güneş enerjisi potansiyelini kullandığında, elektrik enerjisi tüketiminin %18'ini güneş enerjisinden karşılama imkânına kavuşmuş olacaktır.

Ülkemizin kara ve deniz rüzgâr potansiyeli 58.313 MW dolayındadır. 2017 yılı itibarıyla toplam kurulu 171 rüzgâr enerjisi santraliyle bu potansiyelin 6.328 MW'lık kısmı kullanılabilir (Çizelge 2).

Rüzgâr enerjisi potansiyelini en fazla kullanan ülkelerin başında Çin, Amerika ve Almanya gelmektedir. Türkiye rüzgâr enerjisi potansiyeli kullanma bakımından 2017 yılı itibarıyla Dünyada 12. sırada bulunmaktadır (Enerji Atlası, 2017). Ülkemizde bulunan rüzgâr enerjisi potansiyelinin tamamı kullanıldığında 146.000 GWh/yıl elektrik enerjisi üretimiyle elektrik enerjisi ihtiyacının yaklaşık %53'kısımları RES'lerden sağlanabilecektir.

**Çizelge 2. Ülkemizde Rüzgâr Enerjisi Santrallerinin (RES) Mevcut Durumu**

Aktif Santral Sayısı	171
Lisanslı Santral Sayısı	154
Lisanssız Santral Sayısı	17
Kurulu Güç	6.328 MWe
Kurulu Güce Oranı	%7,78
Üretilen Elektrik Enerjisi	≈ 15.838 GWh/yıl
Üretilen enerjinin Tüketime oranı	%6,09
2023 yılına Kadar hedeflenen Kurulu güç	20.000 MWe
Gerçekleşme Oranı	%31,6

Ülkemiz bulunduğu coğrafi konumundan dolayı oldukça yüksek jeotermal enerji kapasitesine sahiptir. Jeotermal enerji teknik potansiyeli 3000 MWe dolayındadır. Jeotermal enerjiyi ısı enerjisine dönüştürerek kullanım oranı daha yüksektir. Ülkemiz 2130 MWt dolayında jeotermal kaynağı doğrudan ısı enerjisi olarak değerlendirerek, Dünya'da 7. sırada yer almaktadır (ETKB, 2015). Ülkemizde 31 Adet JES bulunmaktadır ve bunların kurulu güçleri 1005 MWe dolayındadır (Çizelge 3).

**Çizelge 3. Ülkemizde Jeotermal Enerji Santrallerinin (JES) Mevcut Durumu**

Aktif Santral Sayısı	31
Lisanslı Santral Sayısı	31
Lisanssız Santral Sayısı	-
Kurulu Güç	992 MWe
Kurulu Güce Oranı	%1,22
Üretilen Elektrik Enerjisi	≈ 4.213 GWh/yıl
Üretilen enerjinin Tüketime oranı	%2,23
2023 yılına Kadar hedeflenen Kurulu güç	1.000 MWe
Gerçekleşme Oranı	%99,2

2023 yılına kadar hedeflenen 1.000 MWe kurulu JES hedefine ulaşılmıştır (Enerji Atlası, 2017). JES kurulu gücü açısından ülkemiz ABD, Filipinler ve Endonezya'dan sonra 4. sırada yer almaktadır. Ancak, 3.000 MWe teknik potansiyele sahip olan ülkemizde, bu hedefe ulaşıldığında, jeotermal enerjiden yaklaşık 12.742 GWh/yıl elektrik enerjisi elde edilerek, talebin %4,6'lık kısmı bu yolla karşılanabilecektir.

Türkiye'nin hidrolik enerji teknik potansiyeli 216.000 GWh/yıl dolayındadır. Bu potansiyelin 66.000 GWh/yıl'lık kısmı (%31) kullanılmaktadır. Ülkemiz HES potansiyeli kullanma açısından Dünyada 15. sırada yer almaktadır (Enerji Atlası, 2017). En fazla HES

potansiyeli kullanan ülkelerin başında sırasıyla Rusya, Çin ve Kanada gelmektedir (World Energy Resources, 2016). Ülkemizde 2017 yılı itibarıyla 603 lisanslı HES bulunmaktadır ve bunların toplam kurulu gücü 27.017 MWe dolayındadır (Çizelge 4).

**Çizelge 4. Ülkemizde Hidroelektrik Enerji Santrallerinin (HES) Mevcut Durumu**

Aktif Santral Sayısı	603
Lisanslı Santral Sayısı	603
Lisanssız Santral Sayısı	-
Kurulu Güç	27.017 MWe
Kurulu Güce Oranı	%33,2
Üretilen Elektrik Enerjisi	≈ 71.082 GWh/yıl
Üretilen enerjinin Tüketime oranı	%27,3
2023 yılına Kadar hedeflenen Kurulu güç	70.000 MWe
Gerçekleşme Oranı	%37,3

Hedeflenen kurulu güç Türkiye'nin HES teknik potansiyelinin tamamına yakındır. Bu hedefin gerçekleşmesi durumunda HES'lerden 190.000 GWh/yıl elektrik enerjisi üretilerek, ülke talebinin %69'luk kısmı karşılanmış olacaktır.

Ülkemiz 8.6 MTEP biyokütle atık ve 1.5-2.0 MTEP biyogaz potansiyeline sahiptir (ETKB, 2015). Biyokütle ve biyogaz potansiyeli 926.540 PJ/yıl dolayında ısı enerji değerindedir (Çizelge 5). Bu potansiyelin büyük bir kısmı değerlendirilememektedir.

**Çizelge 5. Ülkemizde Enerji Üretiminde Kullanılabilir Biyokütle Atık Potansiyeli**

ATIKLAR	Kullanılabilir Miktar (ton/yıl)	Isıl Değer (PJ/yıl)
Tarla Bitkileri	13.011.202	227.983,2
Bahçe Bitkileri	3.908.507	75.053,9
Hayvan Gübresi (Biyogaz)	13.248.912	651.500,6
Belediye Atıkları (Biyogaz)	8.262.693	22.000,0
Kesimhane Atıkları (Biyogaz)	929.031	0,2
Peynir Altı Suyu (Biyogaz)	3.193.133	2,4
<b>TOPLAM</b>		<b>926.540,3</b>

Ülkemizde biyokütle enerjisinden en fazla biyogaz üretiminde faydalanılmaktadır. 2017 yılında ülkemizde biyogaz üretiminde 71 aktif santral ve 444 MWe kurulu güç bulunmaktadır (Çizelge 6). Ülkemizin

biyogaz üretim potansiyeli 4500 MWe dolayındadır. Bu kapasitenin tamamının kullanılması durumunda 20.000 GWh yıl elektrik enerjisi üretilerek, ülkemiz elektrik enerjisi talebinin %7.3'lük kısmı biyogaz santrallerinden sağlanabilir.

**Çizelge 6. Ülkemizde Biyogaz mevcut durumu**

Aktif Santral Sayısı	79
Kurulu Güç	444 MWe
Kurulu Güce Oranı	%0,55
Üretilen Elektrik Enerjisi	≈ 1.902 GWh/yıl
Üretilen enerjinin Tüketime oranı	%0,73
2023 yılına Kadar hedeflenen Kurulu güç	-
Gerçekleşme Oranı	-

Ülkemizin yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım potansiyeli özetlenecek olursa, güneş enerjisi potansiyelinin %2,4'ünün; rüzgâr enerjisi potansiyelinin %10,8'inin; jeotermal enerji potansiyelinin %32,4'ünün; hidrolik enerji potansiyelinin %37,4'ünün ve biyogaz potansiyelinin %1'ini kullandığı açıkça görülmektedir. Biyokütle atık potansiyelinden ise hemen hemen hiç yararlanılmamaktadır (Şekil 3). Türkiye'nin yenilenebilir enerji kapasitesinin %50'sini kullanması halinde bile elektrik enerjisi talebinin tamamını karşılama imkânı bulunmaktadır.



**Şekil 3. Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Kapasitesini Kullanım Oranları**

### Ülkemizde yenilenebilir enerji kullanımının yaygınlaşmasının önündeki belli başlı engeller

Ülkemizde yenilenebilir enerjinin yaygınlaşmasının önündeki en büyük engel finansal ve teknolojik kısıtlardır. Yerli üretimin artmasını sağlayacak bir teşvik sistemi henüz kurulamamıştır. Ayrıca, bürokratik işlemlerden kaynaklanan zorluklar da bu konuda

yatırım yapmak isteyen yatırımcıların önündeki en büyük engeldir. Lisans almak, tesis kurmak için bir girişimci, yaklaşık 40 civarında kurumdan belge almak ve bunların istediği koşulları sağlamak zorundadır. Sektörde kalifiye işçi bulmak da önemli bir problemdir. Özellikle lisansız üretim yapmak ve kendi ihtiyacını karşılamak isteyen girişimciler bu engellerden dolayı vazgeçmektedirler.

### **TARTIŞMA VE SONUÇ**

Önemli yenilenebilir enerji kaynağı potansiyeli bulunan ülkemizde, bu potansiyelin verimli bir şekilde değerlendirilmesi ve ülkemizin enerji probleminin çözümüne katkıda bulunması için aşağıdaki önerileri sıralamak mümkündür;

- Yenilenebilir enerji sektörü uluslararası kural ve düzenlemeler çerçevesinde yeniden yapılandırılmalıdır.
- Yenilenebilir enerji yatırımları açısından yüksek kaynak potansiyeline sahip olan ülkemizde, bu potansiyeli değerlendirmek için çeşitli alt yapı ve üst yapı çalışmalarına önem verilmelidir.

### **LİTERATÜR LİSTESİ**

Baka, 2012. Batı Karadeniz Kalkınma Ajansı Biyokütle Sektör Raporu.  
[www.baka.org.tr/uploads/1349952570BiYOKUTLE-SEKTOR-RAPORU-11EYLUL.pdf](http://www.baka.org.tr/uploads/1349952570BiYOKUTLE-SEKTOR-RAPORU-11EYLUL.pdf) Erişim: Mart 2018

BP, 2016. Statistical World Review of Energy 2016.  
[www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html](http://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html) Erişim: Mart 2018.

- Büyük oranda yabancı teknolojiye ihtiyaç duyulan yenilenebilir enerji sektöründe, teknik ekipmanların yerli üretimi teşvik edilmeli ve bizzat devlet tarafından desteklenmelidir.
- Bürokratik engellerin giderilmesi için lisanslama, plan, proje ve yatırım faaliyetleri açısından başvuru sayısı yapılacak kurum sayısı azaltılmalıdır.
- Sektörde yaşanan kalifiye iş gücü sorununun çözümüne yönelik düzenlemeler ve eğitimler artırılmalıdır.
- Yenilenebilir enerji sektöründe verimlilik artırılmalı, finansal açıdan diğer enerji kaynaklarıyla rekabet edebilmesi sağlanmalıdır.
- Yenilenebilir enerji yatırımları çevre etkileri hesaba katılacak şekilde gerçekleştirilmelidir.
- Görsel, yazılı ve sosyal medya yoluyla yenilenebilir enerji konusunda daha fazla bilgilendirme yapılmalı ve bu konuda farkındalık artırılmalıdır.
- Üniversiteler ve araştırma kuruluşları yenilenebilir enerji konusunda AR-GE çalışmalarına ağırlık vermeli, projeler geliştirmelidir.

Enerji Atlası, 2017. Web Sitesi  
<http://www.enerjiatlası.com>

ETKB, 2015. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Web Sitesi.  
<http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar> Erişim : Mart-2018

## Yakıt Sıcaklığının Traktör Performansına Etkisi

Selçuk OLUM<sup>1\*</sup>, Ergin DURSUN<sup>2</sup>, Hakan VELİOĞLU<sup>3</sup>, Mustafa KANTAŞ<sup>4</sup>

<sup>1</sup>GTHB, Tarım Alet ve Makine Test Merkezi Müdürlüğü. TAMTEST.

<sup>2</sup>Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları ve Teknoloji Mühendisliği Bölümü

<sup>3</sup>GTHB, İç Denetim Birim Başkanlığı

<sup>4</sup>GTHB, Tarım Alet ve Makine Test Merkezi Müdürlüğü. TAMTEST

\*Sorumlu yazar e-posta: selcukolum@hotmail.com

Geliş Tarihi (Received): 10.05.2019

Kabul Tarihi (Accepted): 24.08.2019

**Özet:** Atmosferik koşullar dizel motorların performansını etkilemektedir. Bu nedenle traktör performansı belirlenirken elde edilen değerler atmosferik koşulların değişimiyle birlikte üretici firma tarafından bildirilen değerlerden farklı olacaktır. Bu çalışmada, OECD Kod 2'nin traktör performansı standardı baz alınarak birbirlerine benzer ve yakıtlarını motor sıcaklığı ile ısıtabilen 10 adet traktör, yakıt sıcaklığına göre incelemeye tabi tutulmuştur. Yapılan incelemeler neticesinde bütün traktörlerde yakıt sıcaklığının azalmasıyla traktör motor gücünde %3,49'lara varan artışlar olduğu belirlenmiştir. Yakıt sıcaklığının traktör motor gücüne etkisinin yanında, motor torkuna, saatlik yakıt tüketimine ve özgül yakıt tüketimine etkisi de incelenmiştir. Traktör performans deneylerinde yakıt sıcaklığının sabit tutulması, denemelerde kullanılan traktörlerin aynı kriterlerle deneye alınmasını ve mevsimsel değişimlerin traktör performansına etkilerinin bertaraf edilmesini sağlayacaktır.

**Anahtar kelimeler:** Yakıt Sıcaklığı, Traktör Performansı, OECD Kod 2

### Effect of Fuel Temperature on Tractor Performance

**Abstract:** Atmospheric conditions affect the performance of diesel engines. Due to changes in atmospheric conditions, the values measured when the tractor performance is determined will be different from the values reported by manufacturing company. In this study, based on the standard of OECD Code 2 tractor performance, 10 tractors, similar to each other and able to heat their fuels with engine temperature, were investigated according to the fuel temperature. As a result of the investigations made, increase in tractor engine power up to 3.49% was observed in all tractors against decrease of fuel temperature. In addition to the effect of fuel temperature on the tractor engine power, its effect on engine torque, fuel consumption and specific fuel consumption have also been examined and reported accordingly. It is considered that keeping the fuel temperature constant in the tractor performance tests will cause the tractors used in the experiments to enter the experiment with the same criteria so that the effects of seasonal changes on the tractor performance will be eliminated.

**Key words:** Fuel Temperature, Tractor Performance, OECD Code 2

### GİRİŞ

Dünya nüfusunun sürekli artması ve endüstrileşme enerji ihtiyacını da beraberinde getirmektedir. Artan bu enerji talebinin büyük bir kısmı fosil yakıtlardan karşılanmaktadır (Erdoğan, 2013).

Dizel motorlar genellikle yanma işlemi için gerekli olandan daha fazla yakıt çeker, çekilen fazla yakıt ise motor yakıt sistemini soğutmak ve yağlamak için tasarlanmıştır (Mamat et al. 2009). Yakıt sıcaklığının artırılması sadece viskoziteyi azaltmakla kalmayıp, motor performansına ve egzoz emisyonlarına da etki etmektedir. Viskozite, sıcaklığın bir fonksiyonudur (Tippayawong et al., 2002).

Kubota et al. (2002) çalışmalarını 4-stroklı, tek silindirli, direkt enjeksiyonlu ve basınçlı hava soğutmalı bir dizel motorda motorin kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Yakıt sıcaklığının artmasıyla hem maksimum yanma basıncının azaldığı ve hem de maksimum basıncın daha sonraki krank açılarında meydana geldiğini görmüşlerdir (Kubota et al. 2002).

Mamat et al. (2009), bir common rail dizel motorun performans ve emisyon karakteristiklerini kolza metil esteri ile EGR'li (egzoz gaz resirkülasyonu) ve EGR'siz denemişlerdir. Her iki durumda da yakıtı common rail'e pompalamadan önce yakıtın sıcaklığını kontrol etmek için bir ısı değiştiricisinde ön ısıtma

yapmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre, motor EGR'siz çalıştırıldığında ve yakıt sıcaklığı arttıkça özgül yakıt tüketiminin azaldığını, motor veriminin arttığını ve NO<sub>x</sub> emisyonlarında da bir miktar azalma olduğunu bildirmişlerdir.

Bu çalışmanın amacı, içten yanmalı bir dizel motorda farklı yakıt giriş sıcaklıklarının motor performansına (traktör motor gücü, motor torku, saatlik yakıt tüketimi ve özgül yakıt tüketimi) etkilerinin deneysel olarak incelenmesidir.

### MATERYAL VE YÖNTEM

Denemeler 10 adet traktör üzerinde yürütülmüştür. Traktörlerin seçimi yapılırken performans değerleri aynı olan ve kararlı veriler veren traktörler seçilmiştir. Denemelere 16.10.2015 tarihinde başlanmış ve 02.04.2018 tarihinde tamamlanmıştır. Teste tabi tutulan her traktöre romen rakamıyla kodlama ( T-I, T-II, T-III, T-IV, T-V, T-VI, T-VII, T-VIII, T-IX, T-X) yapılmıştır.

Bu çalışmada, T.C. Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığına bağlı Tarım Alet ve Makine Test Merkezi Müdürlüğü'nde (TAMTEST) mevcut olan deney düzeneğine, yakıt giriş sıcaklığının değiştirilebilmesi için bir soğutma sistemi ilave edilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Yakıt giriş sıcaklığının değiştirilebilmesi için oluşturulan yakıt soğutma sistemi

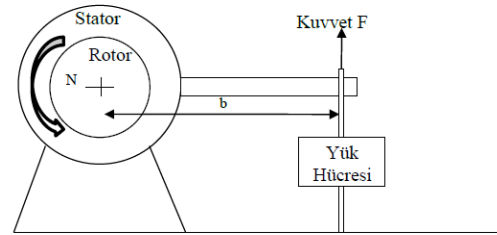
Çalışmada, deney sisteminin yakıt deposu kullanılmıştır. Böylelikle yakıtın her deney için aynı yoğunlukta (0,825 g/cm<sup>3</sup>) olması sağlanmıştır. Deney

esnasında, traktör yakıt deposu saf dışı bırakılarak traktör yakıt deposunun emme hattı ve geri dönüş hattı yerine, deney sistemi yakıt deposu emme hattı ve geri dönüş hattı bağlanmıştır. Ayrıca, deney sistemi emme ve geri dönüş hatlarını birleştirecek şekilde araya Şekil 1'de gösterilen soğutucu sistem ilave edilmiştir. Böylelikle traktörün çalışması esnasında geri dönüşe gönderilen ve motorun kendi ısıyla ısıtılan yakıtın soğutulması sağlanmıştır.

Traktörler, OECD Kod-2 Performans Testine göre kuyruk mili testine (OECD Code 2.2018) tabi tutulmuşlardır. Şekil 2'de OECD Kod 2'ye göre traktör performans testinin yapıldığı düzen verilmiştir. Şekil 3'de ise motor gücünün bulunmasında kullanılan fren deney düzeninin çalışma ilkesi verilmiştir.



Şekil 2. OECD Kod 2'ye göre Traktör Performansı Test Düzeni



Şekil 3. Dinamometrenin çalışma prensibi (Heywood, 1998)

Çalışmalarda traktör gücünü bulmak için aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır.

$$P = \frac{Md.n.Vk}{(716,2).(1,36)} \quad (1)$$

Bu eşitlikte;

**P**= Güç (kW)

**Md**= Motor torku (kgm),

**n**= Motor devri (min<sup>-1</sup>),

**Vk**= Vites kaybı

Traktör ile teste başlandıktan sonra motorun stabil çalışması için gerekli olan rodaj süresi tamamlanana kadar traktör çalıştırılmıştır. Daha sonra traktörün kuyruk mili elektromanyetik frenleme ile durdurulmaya çalışılmış ve böylelikle traktör motoru çalışırken motorun güç üretmesi beklenmiştir. Sonuçta, traktörün azami gücünün kuyruk mili vasıtasıyla bulunması sağlanmıştır.

Traktörler tam gazda tam yük altında çalışırken azami güç devirleri bulunmuştur. Daha sonra motor sıcaklığıyla yakıtın ısıtılması için motor devri azami güçte sabit tutulmuştur. Traktörün motorunun kendi sıcaklığı ile yakıtı ısıtabileceği kadar ısıtması beklenmiş ve durağanlaşmaya başladığı noktada sıcaklık değerleri ile beraber motor karakteristik değerleri alınmıştır.

Yakıt ısıdıktan sonra yakıt soğutucu ünite çalıştırılmış ve devir sabit tutularak traktörün kullanacağı yakıtın soğutulması sağlanmıştır. Yakıt soğutulurken, sıcaklığın durağanlaşmaya başladığı noktada tekrar motor devri sabit tutularak motor karakteristik değerleri alınmıştır. Böylelikle her bir traktör için azami traktör gücünün elde edildiği motor devrinde yakıt sıcak ve soğukken motor karakteristik değerleri alınarak karşılaştırma yapılmıştır.

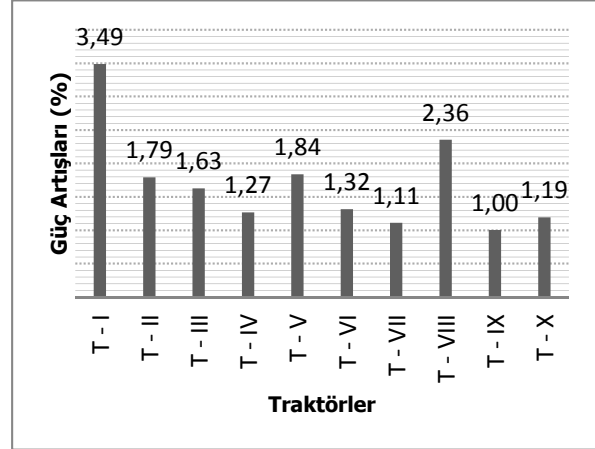
Denemelerin yapıldığı TAMTEST'e son 30 ayda benzer yapıda ve mevcut yakıtını motor ısıyla ısıtabilen sadece 10 adet traktör geldiğinden, elde edilen sonuçlara ait regresyon analizi yapılamamıştır. Çünkü, regresyon analizi için gözlem sayısının (n), bağımsız değişken sayısının en az 20 katı olması gerekmektedir ve denemelerde kullanılan 10 adet traktör regresyon analiz için yetersiz kalmaktadır (Erkorkmaz, 2018).

## ARAŞTIRMA BULGULARI

Denemelerde kullanılan 10 farklı traktörle farklı yakıt giriş sıcaklıklarında elde edilen motor performans değerleri incelendiğinde, traktörlere bağlı olarak motor gücü, tork, saatlik yakıt tüketimi ve özgül yakıt tüketimi değerlerinde değişimler olduğu belirlenmiştir.

### Yakıt Giriş Sıcaklığının Motor Gücüne Etkisi

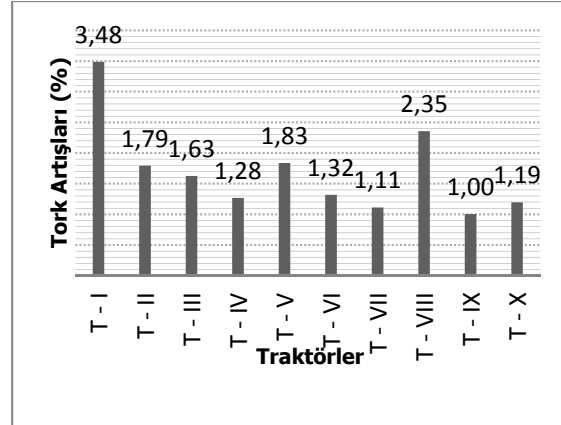
Teste tabi tutulan tüm traktörlerde yakıt sıcaklığı azaldıkça motor gücü artmıştır. Yakıt sıcaklığı azaldığında motor gücünde sağlanan artış oranı traktörlere göre %1,01 ile %3,49 arasında değişmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Yakıt giriş sıcaklığının azalmasıyla motor gücünde sağlanan artış oranları

### Yakıt Giriş Sıcaklığının Motor Torkuna Etkisi

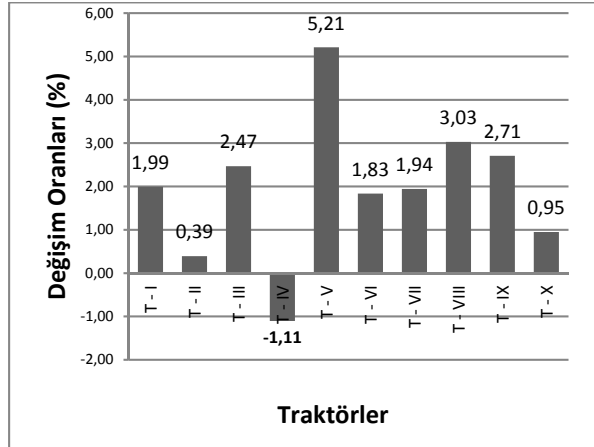
Yakıt giriş sıcaklığının azalmasıyla elde edilen tork miktarı da bütün traktörlerde artmıştır. Tork miktarındaki artış oranı, teste tabi tutulan traktörlere göre %1,00 ile %3,48 arasında değişmiştir (Şekil 5).



Şekil 5. Yakıt giriş sıcaklığının azalmasıyla motor torkunda sağlanan artış oranları

### Yakıt Giriş Sıcaklığının Saatlik Yakıt Tüketimine Etkisi

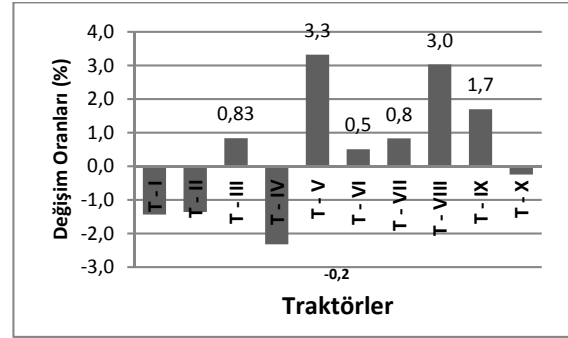
Teste tabi tutulan tüm traktörlerde yakıt giriş sıcaklığının azalmasıyla sadece IV numaralı traktörün saatlik yakıt tüketimi azalmış, diğer 9 adet traktörün saatlik yakıt tüketimi artmıştır. IV numaralı traktörde yakıt giriş sıcaklığının %10 (4,43 °C) azalması durumunda saatlik yakıt tüketimi %1,11 (0,2 lt/h) azalmıştır. Diğer traktörlerde %0,39 ile %5,21 arasında yakıt tüketimi artışı olmuştur (Şekil 6).



Şekil 6. Yakıt giriş sıcaklığının azalmasıyla saatlik yakıt tüketiminde oluşan değişimler

### Yakıt Giriş Sıcaklığının Özgül Yakıt Tüketimine Etkisi

Teste tabi tutulan traktörlere göre yakıt giriş sıcaklığındaki değişimlere bağlı olarak özgül yakıt tüketimindeki (g/kWh) değişimler farklılık göstermiştir (Şekil 7). I. traktörde yakıt giriş sıcaklığındaki 6 °C'lik sıcaklık azalma, özgül yakıt tüketiminde %1,44'lük azalma sağlamıştır. II. traktörde ise yakıt giriş sıcaklığındaki 3,6 °C'lik sıcaklık azalma özgül yakıt tüketiminin %1,36 azalmasına neden olmuştur. Ancak III. traktörde yakıt giriş sıcaklığının 7 °C'lik azalması durumunda özgül yakıt tüketiminde %0,83 oranında artış meydana gelmiştir. IV. traktörde yakıt giriş sıcaklığında 4,4 °C'lik azalma özgül yakıt tüketimini %2,32 oranında azaltmıştır. V. traktör değişimin en belirgin olduğu traktör olmuştur. Bu traktörde, yakıt giriş sıcaklığının 4 °C'lik azaltılması ile özgül yakıt tüketimi %3,32 oranında azalmıştır. VI. traktörde yakıt giriş sıcaklığında 8 °C'lik azalma özgül yakıt tüketiminde %0,51'lik artışa, VII. traktörde ise %0,83'lük artışa neden olmuştur. VIII. Traktörde, yakıt giriş sıcaklığının 6,3 °C'lik azalması, özgül yakıt tüketiminde %3,03'lük artışa; IX. traktörde yakıt giriş sıcaklığında 6 °C'lik azalma ise özgül yakıt tüketiminde %1,7'lik artışa neden olmuştur. X. traktörde ise yakıt giriş sıcaklığında 7,7 °C'lik azalma özgül yakıt tüketiminde sadece %0,25'lik azalma sağlamıştır.



Şekil 7. Yakıt giriş sıcaklığının azalmasıyla özgül yakıt tüketiminde oluşan değişimler

### TARTIŞMA VE SONUÇ,

Bu araştırmadan elde edilen sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde, traktörlerin kullandığı yakıtın giriş sıcaklık değerinin, motor gücünün, torkunun, saatlik yakıt tüketiminin ve özgül yakıt tüketiminin değişmesine neden olduğu görülmüştür. Teste tabi tutulan traktöre göre, yakıt giriş sıcaklığının azalmasıyla motor gücünde sağlanan artış oranı %1,01 ile %3,49 arasında, tork miktarındaki artış oranı ise %1,00 ile %3,48 arasında değişmiştir. Yakıt giriş sıcaklığının azalmasıyla sadece IV numaralı traktörün saatlik yakıt tüketimi azalırken (%1,11), diğer 9 adet traktörün saatlik yakıt tüketimi artmıştır. Bu traktörlerde yakıt tüketimi artışı %0,39 ile %5,21 arasında olmuştur. Yakıt giriş sıcaklığının azalması teste tabi tutulan 5 traktörde özgül yakıt tüketiminin azalmasına (%0,25 ile %3,32 arasında), 5 traktörde ise artmasına (%0,51 ile %3,03 arasında) neden olmuştur.

Yakıt sıcaklığına bağlı olarak traktör motor performansında meydana gelen bu değişim, motorda kullanılan yakıtın giriş sıcaklık değerinin, traktörün motor performansını etkileyen önemli bir kriter olduğunu ortaya koymuştur. Bu nedenle, traktör performansı belirlenirken aynı yoğunlukta yakıt kullanılmasının yanında, kullanılacak yakıtın sıcaklığının sabitlenmesi de gerekmektedir. Yakıt sıcaklığının sabit tutulması, denemelerde kullanılan traktörlerin aynı kriterlerle deneye tabi tutulmasına neden olacak ve mevsimsel değişimlerin etkileri ortadan kaldırılacaktır.



## LİTERATÜR LİSTESİ

- Erdoğan, G., 2013. Yakıt Sıcaklığının Biyodizel Ve Dizel Yakıtlı Motorda Performans ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin Sabit Devir Sayısında Deneysel İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 2013.
- Erkorkmaz, Ü., 2018. Biyoistatistik Ders 9: Korelasyon ve Regresyon Analizi.  
[http://content.lms.sabis.sakarya.edu.tr/Uploads/54849/46730/ders\\_9\\_korelasyon\\_ve\\_regresyon\\_analizleri.pdf](http://content.lms.sabis.sakarya.edu.tr/Uploads/54849/46730/ders_9_korelasyon_ve_regresyon_analizleri.pdf)  
Erişim: Nisan 2018.
- Heywood, J. B., 1988. Internal Combustion Engine Fundamentals. McGraw-Hill Book Co., 930, Singapore.
- Kubota, M., K. Yoshida, H. Shoji, H. Tanaka, 2002. A Study of the Influence of Fuel Temperature on Emission Characteristics and Engine Performance of Compression Ignition Engine. SAE, Paper No: 2002-32-1777.
- Mamat, R., N. R. Abdullah, H. Xu, M. L. Wyszynski, A. Tsolakis, 2009. Effect of fuel temperature on performance and emissions of a common rail diesel engine operating with rapeseed methyl ester (RME) (No. 2009-01-1896). SAE Technical Paper
- OECD, 2018. Code 2 Standard Code For the Official Testing of Agricultural and Forestry Tractor Performance, Paris 2018.
- Tippayawong, N., T. Wongsiriamnuay, W. Jompakdee, 2002. Performance and Emissions of a Small Agricultural Diesel Engine Fueled with 100% Vegetable Oil: Effects of Fuel Type and Elevated Inlet Temperature. Asian J. Energy Environ., 3 (3-4), 139-158.