



**TAVUK KIKIRDAK KEMİKLERİNDEN
PİROLİZ YÖNTEMİ İLE
YAKIT ÜRETİMİNİN OPTİMİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yüksel Ayberk KARAMAN

Danışman

Prof. Dr. İbrahim MUTLU

OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Temmuz 2022

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TAVUK KIKIRDAK KEMİKLERİNDEN
PİROLİZ YÖNTEMİ İLE
YAKIT ÜRETİMİNİN OPTİMİZASYONU

Yüksel Ayberk KARAMAN

Danışman

Prof. Dr. İbrahim MUTLU

OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Temmuz 2022

TEZ ONAY SAYFASI

Yüksel Ayberk KARAMAN tarafından hazırlanan “Tavuk Kıkırdak Kemiklerinden Piroliz Yöntemiyle Yakıt Üretiminin Optimizasyonu” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 06 / 07 / 2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. İbrahim MUTLU

Başkan : Dr. Öğr. Üyesi Mustafa TİMUR
Aydın Adnan Menderes Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

Üye : Dr. Öğr. Üyesi İbrahim YAVUZ
Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Fakültesi

Üye : Prof. Dr. İbrahim MUTLU
Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Fakültesi

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
..... /..... /..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.
.....
Prof. Dr. İbrahim EROL
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

06 / 07 / 2022

Yüksel Ayberk KARAMAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TAVUK KIKIRDAK KEMİKLERİNDEN PİROLİZ YÖNTEMİ İLE YAKIT ÜRETİMİNİN OPTİMİZASYONU

Yüksel Ayberk KARAMAN

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. İbrahim MUTLU

Günümüzde fosil yakıtların rezervlerinin azalmasından kaynaklı yeni enerji kaynakları aranmaya başlanmıştır. Bu enerji kaynakları içerisinde biyokütleden yakıt elde etme işlemlerinden piroliz işlemi de yer almaktadır. Yapılan çalışmada tavuk kıkırdaklarından piroliz yöntemi ile pirolitik yağ optimizasyonu yapılmıştır. Tavuk kıkırdakları kurutulup, öğütüldükten sonra piroliz işlemine hazır hale getirilmiştir. Deneyler 3 farklı parametre üzerinden yürütülmüştür. Bunlar sıcaklık, ısıtma hızı ve sürükleyici azot gazı hızıdır. Deneyler sonucunda maksimum yağ üretimi yapılan parametreler 500 °C sıcaklık, 1 l/dak sürükleyici azot gazı akış hızı, 10 °C/dak ısıtma hızı ve 30 dakika sabit alıkoyma süresi olarak belirlenmiştir. Belirtilen parametrelerde maksimum yağ ölçümü %21,87 olarak ölçülmüştür. Elde edilen yağın analiz sonuçları şu şekildedir. Yoğunluk 1.107 cm/g³, kinematik viskozite (40 °C) 24,78 mm²/sn, su miktarı %0,36, kükürt miktarı 0,50 ppm olarak ölçülmüştür. Analizler sonucunda kaynama noktası düşük olduğu için parlama noktası ve kinematik viskozite (100 °C) değerleri hesaplanamamıştır.

2022, ix + 40 sayfa

Anahtar Kelimeler: Piroliz, Biyoyakıt, Optimizasyon, Tavuk kıkırdağı

ABSTRACT
M.Sc. Thesis

**THE OPTIMIZATION OF FUEL PRODUCTION FROM CHICKEN CARTRIDGE
BONES BY PYROLYSE METHOD**

Yüksel Ayberk KARAMAN

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Automotive Engineering

Supervisor: Prof. Ibrahim MUTLU

Today, new energy sources have begun to be sought due to the decrease in the reserves of fossil fuels. Among these energy sources, pyrolysis is one of the processes of obtaining fuel from biomass. In the study, pyrolytic oil optimization was made from chicken cartilages by pyrolysis method. After the chicken cartilages were dried and ground, they were made ready for the pyrolysis process. Experiments were carried out on 3 different parameters. These are temperature, heating rate, and nitrogen gas entraining velocity. As a result of the experiments, the parameters for maximum oil production were determined as 500 °C temperature, 1 l/min entraining nitrogen gas flow rate, 10 °C/min heating rate and 30 minutes fixed retention time. Maximum oil measurement was measured as 21.87% in the specified parameters. The results of the analysis of the oil obtained are as follows. Density was measured as 1.107 cm/g³, kinematic viscosity (40 °C) as 24.78 mm²/sec, water content of 0.36% and sulfur content of 0.50 ppm. Flash point and kinematic viscosity (100 °C) values could not be calculated since the boiling point was low as a result of the analysis.

2022, ix + 40 pages

Keywords: Pyrolysis, Biofuel, Optimization, Chicken cartridge bones

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca her koşulda sonsuz ilgilerini, desteğini ve emeğini bizlerden hiç esirgemeyen Sayın Prof. Dr. İbrahim MUTLU hocama teşekkür ederim.

Tez çalışmalarımın başından sonuna kadar benimle tüm bilgi birikimini paylaşan Sayın Öğr. Gör. Dr. Arif Hakan YALÇIN hocama, Sayın Dr. Öğr. Üyesi İbrahim YAVUZ hocama teşekkür ederim.

Yapmış olduğum laboratuvar çalışmalarında bana teknik anlamda her zaman desteğini esirgemeyen Tekniker Mehmet AKTÜRK'e teşekkür ederim.

Tezimin her evresinde bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan değerli arkadaşım Yüksek Mühendis Mehmet DURAK'a ve saygı değer dostum Arş. Gör. Emirhan YELEKİN'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tüm eğitim öğretim hayatım boyunca maddi manevi desteklerini benden hiç esirgemeyen, her koşulda yanımda bulunup bana tüm değerlerimi kazandıran değerli aileme saygılarımı sunar sonsuz teşekkürlerimi borç bilirim.

Yüksel Ayberk KARAMAN

Afyonkarahisar 2022

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
RESİMLER DİZİNİ	ix
1.GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	3
2.1 Enerji ve Enerji Kaynakları	3
2.1.1 Yenilenemez Enerji Kaynakları	3
2.1.2 Yenilenebilir Enerji Kaynakları	4
2.1.2.1 Güneş Enerjisi	4
2.1.2.2 Rüzgâr Enerjisi	5
2.1.2.3 Hidrolik Enerjisi	6
2.1.2.4 Jeotermal Enerji.....	6
2.1.2.5 Biyokütle Enerjisi	6
2.2 Piroliz İşlemi.....	8
2.2.1 Pirolitik Yağın Özellikleri.....	9
2.2.1.1 Yoğunluk	9
2.2.1.2 Viskozite.....	10
2.2.1.3 Setan Sayısı	10
2.2.1.4 Su İçeriği	10
2.2.1.5 Kükürt İçeriği	10
2.3 Pirolitik Yağa Etki Eden Faktörler	11
2.3.1 Parçacık Boyutu Etkisi	11
2.3.2 Isıtma Hızı Etkisi.....	11
2.3.3 Piroliz Sıcaklık Değerinin Etkisi.....	11
2.3.4 Sürükleyici Azot Gazı Etkisi.....	12
2.4 Literatür Araştırması.....	12
3.MATERYAL VE METOT	17
3.1 İş Akış Şeması	17
3.2 Kullanılan Ekipmanlar ve Materyaller	17

3.2.1 Tavuk Kıkırdığı	18
3.2.2 Piroliz Cihazı.....	18
3.2.3 Hassas Terazî.....	19
3.2.4 Ayırma Hunisi	20
3.2.5 Evaporatör	20
3.2.6 Diklorometan.....	20
3.3 Pirolitik Yağ Üretim Yöntemleri	21
4.BULGULAR	27
4.1 Sıcaklığın Ürün Verimine Etkisi.....	27
4.2 Sürükleyici Azot Gazının Ürünlerin Kütlelerine Etkisi.....	29
4.3 Isıtma Hızının Ürünlerin Kütlelerine Etkisi.....	30
4.4 Pirolitik Yağın Özellikleri	32
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	33
6.KAYNAKLAR.....	35
ÖZGEÇMİŞ.....	40

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

dak	Dakika
rpm	Dakikada devir sayısı
g	Gram
HC	Hidro karbon
CO	Karbon monoksit
CO ₂	Karbon dioksit
kW	Kilowatt
l/dak	Litre/dakika
µm	Mikron
mm	Milimetre
ml	Mililitre
N ₂	Nitrojen
NO _x	Nitrojen oksit
KOH	Potasyum hidroksit
NaOH	Sodyum hidroksit
H ₂ SO ₄	Sülfirik asit

Kısaltmalar

TUAM	Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi
------	---

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Günümüzde kullanılan yakıtların gösterimi.....	1
Şekil 2.1 Biyokütle enerji kaynakları.....	7
Şekil 2.2 Biyokütle enerjisinin kullanım alanları.....	8
Şekil 3.1 İş akış şeması	17
Şekil 4.1 Sıcaklığın kütle oranlara etkisi	28
Şekil 4.2 Sürükleyici azot gazının ürünlerin kütle oranlarına etkisi	30
Şekil 4.3 Isıtma hızının ürünlerin kütle oranlarına etkisi	31



ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Yenilenebilir enerji kaynakları ve yakıtları.....	4
Çizelge 2.2 Piroliz çeşitleri ve parametreleri	9
Çizelge 4.1 Çalışmada kullanılan parametreler.....	27
Çizelge 4.2 Sıcaklığın ürün oranına etkisi	28
Çizelge 4.3 Sürükleyici azot gazının ürünlerin kütlelerine etkisi	29
Çizelge 4.4 Isıtma hızının ürünlerin kütlelerine etkisi	30
Çizelge 4.5 Pirolitik yağın özellikleri.....	32



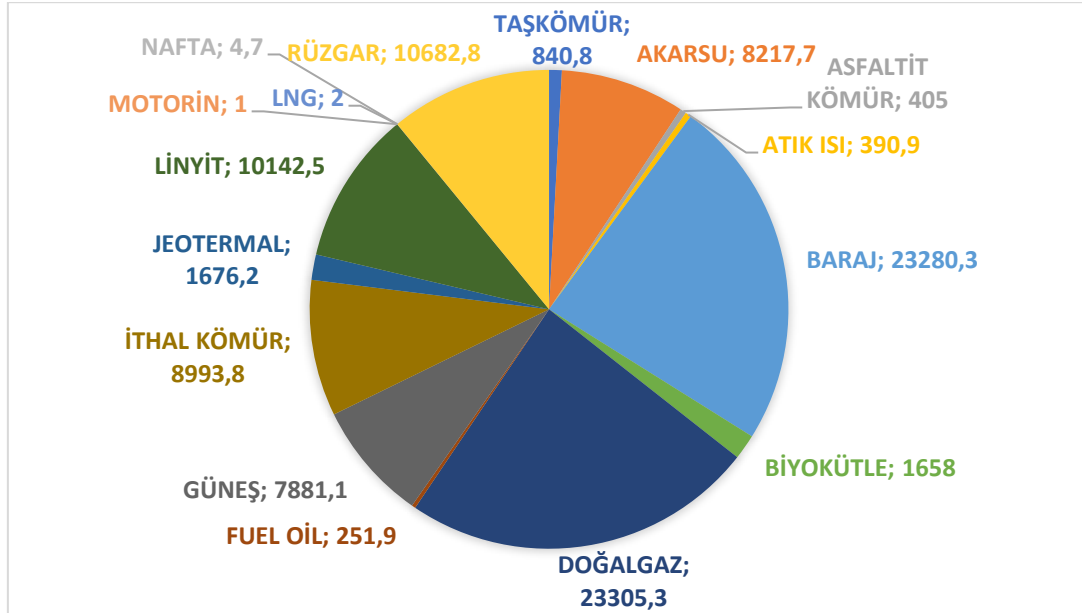
RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 3.1 Tavuk kıkırdağı	18
Resim 3.2 Piroliz cihazı	19
Resim 3.3 SF-4000 hassas terazi.....	19
Resim 3.4 Ayırma hunisi	20
Resim 3.5 Evaporatör.....	20
Resim 3.6 Diklorometan	21
Resim 3.7 Kurutulmuş tavuk kıkırdağı	22
Resim 3.8 Kahve öğütme makinası.....	22
Resim 3.9 Öğütülmüş tavuk kıkırdağı	23
Resim 3.10 Tavuk kıkırdağından oluşan biyokömür	24
Resim 3.11 Su ve diklorometanlı pirolitik yağ karışımı	25
Resim 3.12 Ayırma hunisi ile ayırma işlemi.....	25
Resim 3.13 Evaporatör ile ayırma işlemi	26

1.GİRİŞ

İnsanların yaşantısını sürdürebilmesi için gerekli olan en önemli faktör enerji üretebilmektir. Günümüzde enerji kullanımı ülkelerin gelişmişlik sıralamasında önemli bir yer kaplamaktadır. Enerji üç ana şekilde üretilebilir. Bunlar; fosil enerji, yenilenebilir enerji ve nükleer enerjidir. Fosil yakıtlar biyokütlenin zaman içerisinde nem, sıcaklık ve basınç etkisiyle kimyasal yapılarının değişmeleri ile oluşur. Enerji üretiminde dünyada ve ülkemizde en yaygın kullanılan kaynaktır. Fosil yakıtlardan elde edilen enerji ile birlikte oluşan âtıl maddeler zamanla çevre ve hava kirliliğine yol açar (Koç ve Kaya 2015).

Nükleer enerji genellikle toryum ve uranyumdan üretilir. Bu iki madde radyoaktif olduğu için çevreye ve havaya zararlıdır. Günümüzde nükleer enerji kazaları sonucunda yüzbinlerce insan ölmüş milyonlarca insan ise hala çeşitli orunlar yaşamaktadır. Hammadde ve enerji kaynaklarının sınırlı olması ve enerji kaynaklarının çevreye ve doğaya kalıcı olarak verdiği zararlardan dolayı insanlık yeni enerji kaynakları aramaya başlamıştır. Şekil 1.1’de günümüzde kullanılan enerji kaynakları grafik ile gösterilmiştir (Boubacar 2020).



Şekil 1.1 Günümüzde kullanılan yakıtların gösterimi.

Yenilebilir enerji kaynakları doğada bulunan rüzgâr, güneş, su ve biyokütle ile üretilir. Bu sebeple çevreye âtil madde atmadığı veya radyoaktif olmadığı için çevreye ve doğaya zararı yoktur. Güneş enerjisi su ısıtma ve elektrik üretiminde, rüzgâr enerjisi elektrik üretiminde, jeotermal enerji sıcak su ve elektrik üretiminde kullanılır (Alayont 2019).

Biyokütle enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları içerisindeki en önemli devamlılığa sahiptir. İçerisinde karbon-hidrat bulunan tüm bitkisel hayvansal kaynaklı atıklar biyokütle enerjisi olarak adlandırılmaktadır. Ülkemizde biyokütle enerjisinin çoğunluğu orman bakım ve ağaç üretimi ile geri kalan kısımlar ise evsel atıklar ve tarımsal bitki atıklarından oluşur (Alptekin 2013).

Biyokütle enerjisi biyo kütlenin oksijenli ve oksijensiz olarak yakılması ile oluşur. Bu işlemler sonucunda katı, sıvı, gaz maddeler oluşur. Biyokütle yapılan deneyler sonucunda biyoetanol, biyometanol, biyometileter, biyoyağ ve biyodizeldir. Biyokütleye uygulanabilecek üretim yöntemleri fiziksel, kimyasal biyolojik ve termokimyasal yöntemleridir. Piroliz yöntemi termokimyasal yöntemler içerisinde bulunur. Piroliz yöntemi, biyokütlenin oksijensiz ortamda sabit akışlı bir gaz ile yüksek derecelerde ısıtılması olayıdır. Piroliz yöntemi sonucunda biyokütle yapısında bulunan organik maddeler kimyasal olarak etkilenecek biyokömür, biyoyakıt ve gaz oluşturur (Karaaslan 2019).

Piroliz yönteminde kullanılan çevre koşulları değiştirildiğinde piroliz sonucunda oluşan maddelerin oranı değişebilir. Buna örnek olarak sıcaklık artışında yapılan değişiklikler oluşan maddelerin miktarının değiştiğini göstermiştir (Namal 2018).

Yapılan çalışmada tavuk kıkırdakları kullanılarak sabit yataklı piroliz cihazında pirolitik yağ üretilmiştir. Pirolitik yağ üretiminde kullanılan parametreler; sıcaklık, ısıtma hızı, gaz akış hızı süreleri üzerindeki değişiklikler ile pirolitik yağ üretimi optimizasyonu incelenmiştir. Üretilen yağ üzerinde yoğunluk, su oranı kükürt miktarı ve 40 °C kinematik viskozite deneyleri yapılmıştır.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

2.1 Enerji ve Enerji Kaynakları

Enerji insanlığın yaşamını devam ettirebilmesi için temel ihtiyaçlardan biridir. Dünya üzerinde artan nüfus, gelişen teknoloji, sanayileşme ile enerji ihtiyacı her geçen gün artmaktadır. Dünya üzerinde artan enerji ihtiyacı ile birlikte enerjinin tasarruflu kullanımının önemi artmıştır ve yeni enerji kaynakları aranmaya başlanmıştır. Geçmişte fosil yakıtlar üretimi kolay olduğu için ve kullanışlı olduğu tercih sebebi idi fakat günümüzde fosil yakıtlar yanma sonucu açığa çıkardıkları gazlar ve is yüzünden çevreye ve insan sağlığına zararlı olduğu için temiz enerji kaynağı aramalarına başlanmıştır (Ertaş 2010).

Enerji kaynakları iki ana başlık altında incelenebilir. Bunlar birincil enerji kaynakları ve ikincil enerji kaynaklarıdır. Enerji eğer işlenmemişse birincil enerji kaynağı olarak adlandırılır. Rüzgâr, kömür, petrol, güneş, biyokütle gibi enerji kaynakları işlenmediği için birincil enerji kaynaklarına örnektir. Petrol ürünlerinden motorin, benzin, ikincil kömür, sıvılaştırılmış petrol gazı gibi enerji kaynakları işlenmiş olduğu için ikincil enerji kaynaklarına örnektir. Enerji kaynakları aynı zamanda kullanışlarına göre yenilenemez ve yenilenebilir enerji kaynakları olarak da adlandırılır (Yıldırım 2019).

2.1.1 Yenilenemez Enerji Kaynakları

Enerji genel tanımı ile iş yapabilme gücüdür. Günümüzde kullanılan enerji ihtiyacının büyük bölümü yenilenemeyen enerji kaynaklarından üretilmektedir. Yenilenemeyen enerji kaynakları dünya üzerinde uzun yıllar içerisinde oluşmuş ve tükenmeye mahkûm enerji kaynaklarıdır. Yenilenemeyen enerji kaynaklarına örnek olarak petrol ürünleri, kömür, toryum, uranyum verilebilir (Koç 2011).

Yenilenemeyen enerji kaynakları geri dönüşümü olmaması ile birlikte çevre ve doğaya da zararlıdır. Fosil yakıtların yanma reaksiyonları sonucunda su, karbon dioksit, azot oksit, karbon monoksit, partiküller ve yanmamış yakıtlar oluşur. Azot oksit, karbon monoksitler hava kirliliğine ve ozon gazı tabakasının incelmesine neden olur. Yanma

sonrası oluşan partiküller ve yanmamış yakıtlar toprak ve suya zararlıdır. Uzun vadede toprağa ve suya zehirli maddeler karışmasından dolayı insan, hayvan ve bitkilerin sağlığı ciddi zararlar kaçınılmazdır. Bu durumda fosil yakıtların kullanımındaki artışı azaltmak için ülkeler karar alarak yeni enerji kaynaklarına yönelmelidir (Narin 2016).

Diğer bir yenilemeyen enerji kaynağı olan nükleer enerji fosil yakıtlara göre daha temiz olduğu varsayılabilir bile aslında daha tehlikelidir. Nükleer enerji kaynakları uranyum ve toryum elementler ile üretilir ve bu iki element radyoaktif element olduğu için çevreye ve doğa çok zararlıdır. Nükleer tesislerde oluşabilecek bir kaza veya sızıntı nükleer tesislerin yakın hayatı bitirirken yakınlarındaki ülkelere zarar verebilir. Örneğin 1986 yılında Ukrayna'nın Çernobil bölgesinde oluşan kazada Rusya ve Belarus ülkeleri çok fazla etkilenmiştir (Bahadır 2013).

2.1.2 Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Günümüzde birincil enerji kaynaklarının çevreye ve doğaya verdi zararlardan dolayı temiz enerji kaynakları araştırılmaya başlanmıştır. Yaygın olarak kullanılan yenilenebilir enerji kaynakları hidrolik enerjisi, jeotermal enerji, güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi ve biyokütleden elde edilen enerjidir.

Çizelge 2.1 Yenilenebilir enerji kaynakları ve yakıtları.

Yenilenebilir Enerji Kaynakları	Kaynak veya Yakıtı
Güneş Enerjisi	Güneş
Rüzgâr Enerjisi	Rüzgâr
Jeotermal Enerji	Yer Altı Suları
Hidrolik Enerjisi	Nehirler
Biyokütle Enerjisi	Biyolojik Atıklar

2.1.2.1 Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi çevre açısından sorun oluşturmeyen bir enerji kaynağıdır. Başlangıçta ekonomik olmayışından dolayı tercih edilmemiştir ancak birincil enerji kaynaklarının çevre dostu olmayışı sebebiyle son zamanlarda önemi artmıştır. Güneş enerji ile elektrik,

sıcak su ve endüstriyel olarak proses ısıtması ve sera ısıtması gibi alanlarda sıkça tercih edilir (Kanat 2019).

Güneşten dünya üzerine gelen enerji miktarı m^2 başına 1,35 kW'dır. Bu enerji ile dünya üzerine gelen güneş enerjisi 178x109 MW tahmin edilmektedir. Bu durum güneşten enerji miktarının bilinen kömür rezervlerinden 50 kat ve petrol rezervlerinden yaklaşık 800 kat daha yüksektir (Düzenli 2002).

Güneş enerjisi üç yolla elde edilmektedir. Güneşten gelen pasif ısı direk olarak binaların ısınmasında ısı ihtiyacının azaltılmasında kullanılır. Termal güneş ısıtıcıları güneş enerjisi ile su ısıtılmasında kullanılır. Güneş enerji kullanarak elektrik üretimi fotovoltaik piller ve güneş enerji santralleri ile üretilmektedir (Acaroğlu 2013).

2.1.2.2 Rüzgâr Enerjisi

Güneşin yeryüzüne düşen ısı ve ışın miktarında ki değişikliklerden kaynaklı hava akımı oluşmaktadır. Yeryüzünde bulunan hava ısı değişimlerinden kaynaklı fazla ısındığın yukarı doğru hareket eder ve yerine soğuk hava gelir. Bu olayın sonucunda rüzgâr oluşmaktadır. Oluşan rüzgârlardan enerji üretmek için genellikle rüzgâr gülleri (pervaneleri) kullanılmaktadır. Rüzgâr pervaneleri rüzgâr en fazla estiği noktalara konumlandırılarak pervanelerin döndürülmesi ile kinetik enerjiden elektrik enerjisi üretilmesi için kullanılır (Topçu ve Türtük 2012).

Rüzgâr enerjisi, temiz enerji ve iklim değişikliklere çözüm olabilecek bir enerji kaynağıdır. Rüzgâr enerjisi doğal yollar ile oluştuğundan enerji üretimi herhangi bir ek yakıt kullanmaz dolayısıyla çevreye zararlı değildir. Bu yönüyle rüzgâr enerjisi kaynak tükenme riski olmayan ekonomik ve güvenilir enerji kaynağı olarak çok önemlidir. Ayrıca güneş enerji gibi alan olarak fazla bir alan kaplamadığı için çevresinde tarım ve sanayi faaliyetleri yapılabilir. Kurulumu basit ve modüler olduğundan alt yapı çalışmaları çok hızlı gelişebilir. Evlerde ve sanayi kuruluşlarında kullanılmaktadır (Üçgül ve Elibüyük 2017).

2.1.2.3 Hidrolik Enerjisi

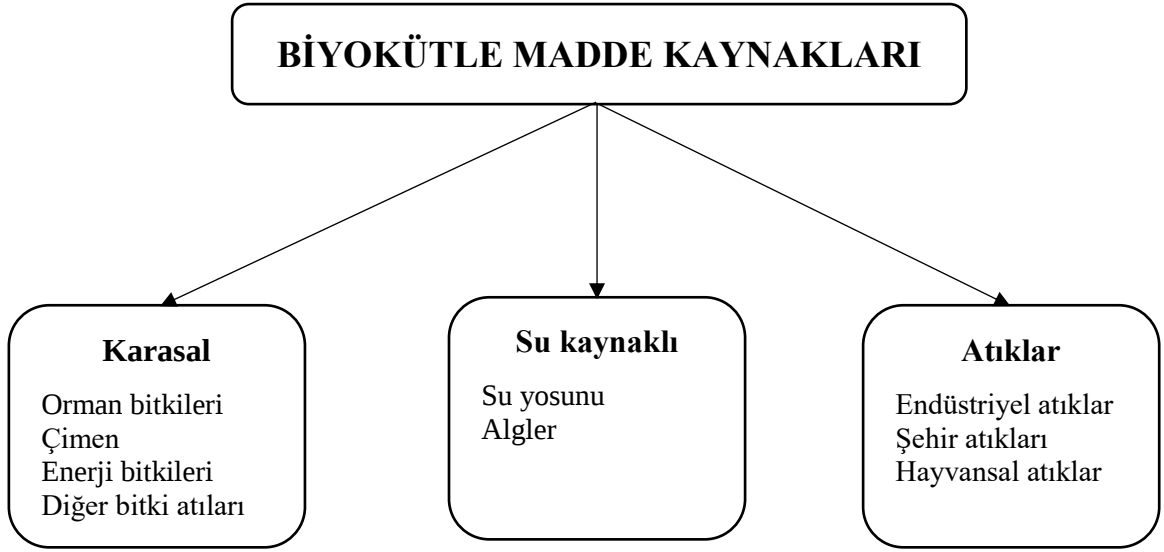
Su yaşayan tüm canlılar için vazgeçilmez enerji kaynağıdır. Aynı zamanda belirli yükseklikteki sularda oluşan potansiyel enerjiyi de temiz enerjiye dönüştürmek mümkündür. Gelgit enerjisi, hidroelektrik santralleri vb. enerji üretimi sağlanır. Su borular yardımı ile türbine yönlendirilir ve hareketlenen türbin elektrik enerjisi açığa çıkarır. Hidrolik enerjisinde en büyük sorun yapılan barajların çevre ekosistemine zarar vermesidir. Kurulan barajlarda biriktirilen su ile akarsuyun çevresindeki topraklarda verimsizleşme görülebilir (Dinçer vd. 2017).

2.1.2.4 Jeotermal Enerji

Dünyamız yerkürenin alt tabakalarına indikçe magmanın etkisi ile ısınır ve yeryüzünün altında bulunan yeraltı suları bu sıcaklık ile ısınır. Bu sıcaklıktan enerji üretmem mümkündür. Kızgın kuru kayaçlar yapısı bakımından doğal çatlak veya gözenek içermeyen sıcak kayaçlardır. Günümüzde bu kayaçların üzerine ve içine delikler ve gözenekler açılarak içerisinden sıvı geçirilir ve bu sayede ısı transferi sağlayacak bir eşanjör yapılır. Araştırma ve geliştirme çalışmaları ile bu kayaçlardan yüksek miktarda enerji üretimi yapmak mümkündür (Kılıç ve Kılıç 2013).

2.1.2.5 Biyokütle Enerjisi

Biyokütle, dünya üzerinden yaşayan herhangi bir canlı veya içerisinde karbon bulunduran atıklara verilen genel isimdir. Biyokütle kaynağı dünyada canlılar var olduğu sürece bitmeyeceğinden dolayı organik karbon adı ile bilinir. Günümüzde üzerine en çok araştırma yapılan alternatif enerji kaynağı biyokütle enerjisidir. Biyokütle enerjisi yaşayan her canlı atığından elde edilebilir. Bu sebeple fosil yakıtların zararları ve stoklarının azalmasından kaynaklı biyokütle çalışmaları daha da önem kazanmıştır. İçerisinde hidrokarbon bulunduran canlı atıkları biyokütle olarak isimlendirilir. Biyokütle enerji kaynakları kendi arasında üçe ayrılır. Şekil 2.2’de biyokütle enerji kaynakları gösterilmiştir.

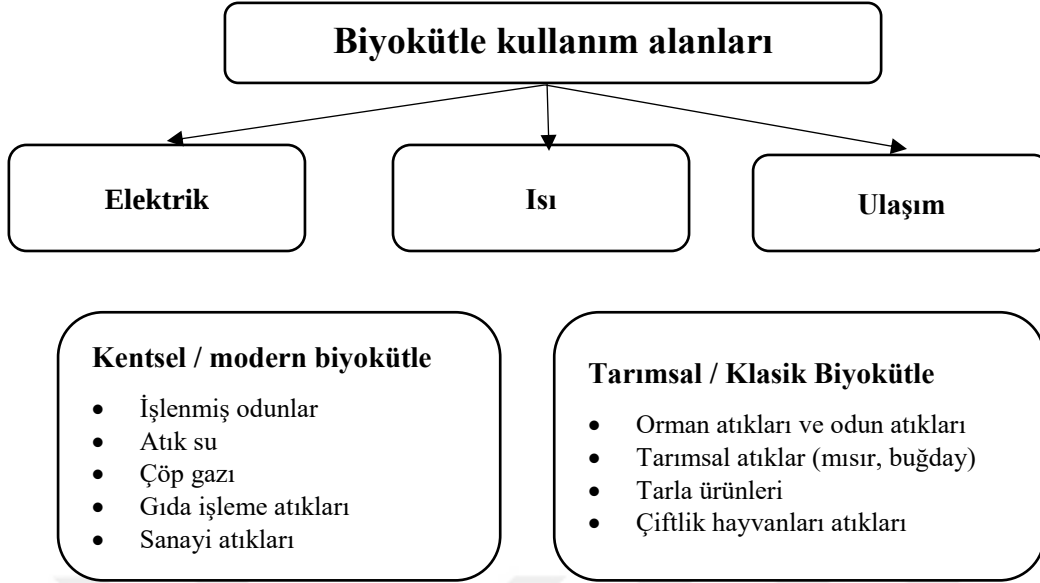


Şekil 2.1 Biyokütle enerji kaynakları.

Karasal biyokütle enerji kaynaklarına örnek olarak ağaçlar, otlar ve bitki atıkları, suda yaşayan biyokütle kaynaklarına su yosunları ve atıklara örnek olarak deri sanayi atıkları plastik atıklar örnek verilebilir. Bu kaynaklardan elde edilen enerjinin üretimine göre klasik ve modern biyokütle enerjisi elde etme yöntemleri vardır (Kaplukan 2014).

Klasik yöntemde genellikle bitki ve atıkları kullanılırken modern yöntemde işlenmiş bitkiler, evsel atıklar (ömrünü tamamlamış yağ), su arıtma atıkları ve plastik gibi kaynaklar kullanılır (Akgül 2017).

Biyokütle enerjisi genellikle elektrik üretimi, ısınma ve ulaşım gibi alanlarda kullanılır. Biyokütle enerjisini yakıt olarak kullanmak için genellikle bir dizi işlemden geçirilerek biyo yakıtın belli özelliklerinin düşürülmesi gerekmektedir (Aslantaş 2018).



Şekil 2.2 Biyokütle enerjisinin kullanım alanları.

2.2 Piroliz İşlemi

Piroliz işlemi basit ifade ile biyokütle kaynaklarının oksijensiz ortamda yakılması sonucu elde edilen biyokömür, biyoyağ, su ve gazdan oluşur. Bu ısıtma ile kimyasal bağlar koparak deney malzemesinin fiziksel ve kimyasal olarak değişmesine neden olur. Piroliz işlemi sonrası ortaya çıkan sıvıya pirolitik yağ denir ve yağın viskozitesi motorlarda kullanılan dizel yakıtı göre çok fazla olduğu için bir takım işleminden geçer. Biyoyağ kimyasal değişim geçirdiği için kalori değerleri biyokütle kaynağına göre çok daha yüksektir. Oluşan gaz içerisinde karbonmonoksit (CO), karbondioksit (CO₂) ve metan gazı (CH₄) bulur ve yanıcıdır. Bununla birlikte kullanılan biyokütleye göre içerisinde bütan (C₃H₆), hidrojen (H), etan (C₂H₆) bulunabilir (Açık 2019).

Piroliz ilk olarak 1800'lü yıllarda kullanılmaya başlanmıştır ancak petrolün daha kullanışlı ve o zamanda işlenmesi piroliz yöntemine göre daha az maliyetli olması sebebiyle piroliz yöntemi kullanılmamaya başlanmıştır. Günümüzde petrol rezervlerinde ki azalma nedeniyle piroliz yöntemi tekrar enerji üretimi için kullanılmaya başlanmıştır. Piroliz yönteminde ürünlerin oranlarına; seçilen biyokütle, sıcaklık aralığı, tanecik boyutu, son sıcaklık, bekleme süresi gibi etkenler etki etmektedir. Piroliz; deney esnasında uygulanan sıcaklık ve zamana göre beş temel gruba ayrılır (Akgül 2017).

Çizelge 2.2 Piroliz çeşitleri ve parametreleri.

Piroliz	Zaman (dak)	Isıtma hızı (°C/dak)	Sıcaklık (°C)
Yavaş piroliz	Saat-gün	Çok düşük	200-600
Ilımlı piroliz	20-60 dakika	Düşük	230-300
Orta piroliz	5-30 dakika	Orta	500
Hızlı piroliz	0-2 saniye	Yüksek	500-950
Flash piroliz	milisaniye	Çok yüksek	1050-1300

En çok kullanılan piroliz yöntemi yavaş piroliz ile odun kömürü yapımıdır, sıvı ve gaz ürünler önemsizmeden katı ürün üretimi esastır. Ilımlı piroliz düşük sıcaklıkta pirolizdir ve bu yöntemle biyokütleden çeşitli organik asitler elde edilmesi için kullanılır. Bu işlem genellikle piroliz önce kurutmayı sağlamak kullanılır. Orta hız piroliz ürünler eşit oranlarda üretilmek istenildiğinde ve yüksek hız piroliz ise sıvı ürün üretilmek istenildiğinde kullanılır. Piroliz ile elde edilen sıvıda aldehitler, alkol, ketonlar, esterler gibi birleşikler bulunur (Düzgün 2015).

2.2.1 Pirolitik Yağın Özellikleri

Pirolitik yağ motorlarda kullanılması için bazı geleneksel yakıt standartlarına uygun olması gerekmektedir. Bu standartların içerisinde yoğunluk, setan sayısı, parlama noktası, kükürt miktarı ve viskozite gibi değerler yer alır.

2.2.1.1 Yoğunluk

Yoğunluk içten yanmalı motorlarda ateşleme kalitesini belirlemede ve NO_x salınımını azaltmada önemli rol oynar. Yakıtın yoğunluğundaki ne kadar yüksek ise NO_x salınımı o kadar yüksek olur. Pirolitik yağların moleküler ağırlığı fazla olduğu için yoğunlukları da yüksektir. Bu sebeple yoğunlukları düşürülmeden içten yanmalı motorlarda kullanılması olanaksızdır. Motorlarda yakıt atomizasyonu çok önemlidir. Yeterli derecede atomizasyon yapılmaz ise yanma tam gerçekleşmez ve bu durum motora ciddi hasar verebilir (Akbulut 2018).

2.2.1.2 Viskozite

Viskozite püskürtme esnasında yakıtın püskürtme atomizasyonunda en önemli koşuldur. İçten yanmalı motorlarda kullanılan yakıtların viskozitesi pirolitik yağa oranla 10 ile 15 kat arasında daha düşüktür. Pirolitik yağın motorlarda direk kullanımı zordur ve egzoz emülsiyonlarını yükseltmektedir. Bu sebeple yapılan çalışmalarda pirolitik yağ ve dizel yakıtta belli oranlarda karıştırılarak kullanılmaktadır. Saf oranda pirolitik yağı kullanmak için belli kimyasal ile seyreltme yapılabilir ancak bu durumda motor performansını ve verimini olumsuz yönde etkiler (Sakthivela 2018).

2.2.1.3 Setan Sayısı

Dizel motorlarda yakıtın yanma kalitesi ölçümü için setan sayısı kullanılır. Setan sayısı yakıtın kendi kendine tutuşması durumuna denilir. Yakıtın setan sayısı ne kadar yüksek ise yanma kalitesi o kadar iyi olur. Setan sayısının emisyonu ve motor performansına etkisi yapılan çalışmalarla ile ortaya konulmuştur. Literatürde yapılan deneylerde dizel yakıt ve pirolitik yağın setan sayıları karşılaştırılarak motor testleri ile setan sayısı araştırılması çokça yapılmaktadır (Ejder 2007).

2.2.1.4 Su İçeriği

Yakıtların içerisindeki su miktarı motorlara kritik derecede zararlar verebilir. Yakıtın içerisinde ki su motor performansına etki etmektedir. Biyodizel üretiminde kullanılan biyokütleden su uzaklaştırılması ve yapılan deneylerde su oranının düşürülmesi için çalışmalar yapılmaktadır (Yaşar 2011).

2.2.1.5 Kükürt İçeriği

Organik maddelerin içerisinde kükürt bulunmaktadır. Petrol işlenmesi esnasında kükürt içeriği görmezden gelinecek durumlara kadar indirgenebilir. Yakıt içerisindeki kükürt is emülsiyonuna neden olduğu için motor performansına ve doğaya zararlıdır. Dizel yakıtlardaki kükürt miktarı 10 ppm ve üzeri olduğu zaman yakıt kükürtlü yakıt olarak değerlendirilir (Uzun 2020)

2.3 Pirolitik Yağa Etki Eden Faktörler

Piroliz deneyin oluşacak ürünlerine etki eden parametreler vardır. Bunlar tanecik boyutu, piroliz sıcaklığının etkisi, sürükleyici gaz etkisi ve ısıtma hızı etkisidir.

2.3.1 Parçacık Boyutu Etkisi

Parçacık boyutunun 2mm'den küçük olduğunda sıvı oranında artış katı ve gaz oranında azalma olduğu gözlenmiştir. Parçacık boyutunda küçülme reaktör içerisinde bulunan parçacıklar arasında ısı transferi daha iyi olacağından dolayı sıvı oranı maksimumdur. Parçacık boyutu büyük olan biyokütlelerde yanma tam olarak gerçekleşmediği için katı ve gaz ürün oranı maksimumdur. Bu sebepten dolayı pirolitik yağ eldesi için çoğunlukla 2 mm altında parçacık boyutu tercih edilir. Parçacık boyutunun küçük tutulması pirolitik yağın yakıt özelliklerinin artmasına neden olur (Dinler 2016).

2.3.2 Isıtma Hızı Etkisi

Piroliz deneylerinde biyokütleyi oksijensiz ortam yakmak için dakika da artacak ısı miktarı belirtmek gerekmektedir. Bu gereklilik sonucunda ısıtma hızı parametresi ortaya çıkmıştır. Isıtma hızı parametresi deney süresini doğrudan etkiler ve bu durumda ürünlerin negatif veya pozitif olarak etkiler. Deneylerde genellikle ısıtma hızı arttıkça pirolitik yağ oranının düştüğü gözlenmiştir. Yapılan çalışmada ısıtma hızı miktarı değiştirilerek maksimum yağ üretimi sağlanmaya çalışılmıştır (Durak 2021).

2.3.3 Piroliz Sıcaklık Değerinin Etkisi

Piroliz deneylerinin ana parametrelerinden biri de piroliz sıcaklığıdır. Piroliz sıcaklığı kullanılan malzemelerin kimyasal ve fiziksel özelliklerini önemli miktarda etkilemektedir. Piroliz deneylerinde sıcaklık 600 °C ve üzerine çıkarıldığı zaman üretilen katı ürünlerin gaz ürünlere dönüştüğü gözlemlenmiştir. 400 °C altına düştüğü zaman kullanılan malzemelerde yeterli yanma olmadığı için ürünlerde yeterli üretim olmadığı gözlenmiştir. Bu durumda pirolitik yağ üretimi için uygun sıcaklıklar 400 °C ile 550 °C dereceleri arasında olması gerekmektedir. Sıcaklık değeri 650 °C üzerine çıkarıldığında

su miktarındaki azalma sebebiyle üretilen pirolitik yağ karbon miktarı açısından zengin olur (Yelekin 2022).

2.3.4 Sürükleyici Azot Gazı Etkisi

Sürükleyici azot gazı hızı piroliz deneylerinin en önemli parametrelerinden biridir. Azot gazı oksijensiz yanma esnasında oluşan gazın ikincil bir reaksiyona girmeden reaktör içerisinde uzaklaştırılması için ve yanma esnasında reaktör akış oluşturmaları için kullanılır. Azot gazı yağ partikülleriyle karışma yapmadığı için yağ partiküllerini borulara taşıyarak su yardımıyla soğutulmasını sağlar. Gaz akışı çok yüksek olursa soğutma bölümünden akış hızlı olacağı için yağ partiküllerinin boru cidarlarına yapışması ve soğuması zorlaşır bu sebepten dolayı yağ üretiminde azalmalar görülür. Geçmişte bu konu üzerinde birçok çalışma yapılmıştır (Doğan 2012).

2.4 Literatür Araştırması

Akbulut yapmış çalışmada fındık kabuğu ve pirinç kabuğu biyokütle enerji kaynağı olarak seçmiştir. Deney düzeneği olarak sabit reaktörlü piroliz cihazı kullanmıştır. Çalışma parametreleri 400 °C, 450 °C, 500 °C ve 550 °C sıcaklık sabit 10 °C/dak ısıtma hızı ve 1 l/dak sürükleyici azot gazı kullanmıştır. Yapmış olduğu deneyde maksimum yağ üretimi yaptığı sıcaklıkta fındık kabuğuna %5, %10, %15 ve %20 oranlarında fındık kabuğu katmıştır ve deney sonucu oluşan ürünlerin oranlarını incelemiştir. Deney sonucunda %15 pirinç katkısının F10 yakıtına göre veriminin yaklaşık %85 oranını arttırdığını gözlemlemiştir ancak dizel yakıtına göre motor performansında ve özgül yakıt tüketiminde artış olduğu saptamıştır (Akbulut 2018).

Budak yapmış olduğu çalışmada atık yağlardan hızlı piroliz yöntemi ile pirolitik yağ üretmiştir. Yapılan çalışmada hammadde ve katalizörlerin farklı koşullarda ürün oranları incelenmiştir. Deney düzeneği olarak ölçekli yatay tüp fırın kullanılmıştır. Sıcaklık parametreleri olarak 300 °C ve 650 °C düşük ve yüksek sıcaklık ve 0,1 l/dak hızında azot gazı kullanılmıştır. Üretilen yağın parlama noktası 97,5 °C, su miktarı %0,9 ve 100 °C sıcaklıktaki kinematik viskozitesi 18,08 mm²/s bulunmuştur (Budak 2017).

Tillem yapmış olduğu çalışmada hammadde olarak nötr pamuk yağı, konala yapı ve restoran atık yağlarını kullanmıştır. Biyodizel üretiminde %99 saflıkta metil alkol ve alkali katalizör olarak da sodyum hidroksit (NaOH) kullanmıştır. Karıştırılan metil alkol ve yağ karışımı 50 °C ile 55 °C arasında 1 saat karıştırılmış ve 1 saatte ısıtılmadan karıştırmıştır. Dibe çöken gliserin alınarak içerisinde biyodizel yanmamış metil alkol ve katalizör gibi maddeleri temizlemek için yıkama işlemi yapmıştır. Yapılan deney sonucunda 1000 ml yağ ve 200 ml katalizörlü metil alkol karışımından 943 ml kanola yağı metil esteri ve 159 ml gliserin, 876 ml atık yağ metil esteri ve 178 ml gliserin, 985 ml pamuk yağı metil esteri ve 105 ml gliserin elde etmiştir (Tillem 2005).

Erdoğan, yapmış olduğu çalışmada tavuk gübresini çeşitli oranlarda karıştırarak veya saf olarak 300 °C ile 600 °C dereceleri arasında belirlediği yedi farklı değerde yapmıştır. Deneylerinde kullandığı reaktör hacmi 1000 gr'dır. Deneylerinde sıcaklığın ve hammadde karışımlarının deney sonucu oluşan ürünlere etkisini gözlemlemiştir. En yüksek yağ üretimini 450 °C'de saf tavuk atığından %28,80, keçi gübresinde elde ettiği en yüksek yağ verimi ise 500 °C'de %27,10 olarak bulmuştur. Yapılan deneylerde tavuk ve keçi atıklarının karışımlarında oranlar birbirine ne kadar yaklaşırsa yağ oranı o kadar azalmakta olduğu gözlemlemiştir (Erdoğan 2018).

Bhatti ve arkadaşları, atık tavuk ve koyun yağından transesterifikasyon yoluyla biyodizel üretimi için uygun parametrelere değerlerini incelemişlerdir. Deneylerde katalizör olarak asitler için H₂SO₄ ve bazlar için KOH kullanmışlardır. Yapılan deneyler sırası ile 30 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C'de 60 dakika ile 120 dakika arasında gerçekleştirmişlerdir. Yapılan deneylerde maksimum üretimini tavuk yağı için 50 °C'de karışım oranı 1/30, katalizör miktarı 1,25 gr, koyun yağı için 60 °C sıcaklık karışım oranı 1/30, katalizör miktarı 2,5 gr olarak belirlemişlerdir. Bu şartlar altında 24 saatte %99 tavuk yağı ürünü, %93,21 koyun yağı ürünü elde etmişlerdir (Bhatti 2008).

Kolomaznik ve arkadaşları, deri atık sanayi atıklarından doğrudan transesterifikasyon yoluyla biyodizel üretimi gerçekleştirmiştir. Yapılan deneylerde atık derilerin asitlik değeri 10,6 mgKOH/g olarak, erime noktasının 19,9 °C olarak saptamışlardır. Katalizör olarak metanol ve KOH kullanmışlardır. Deri yağının asitlik değeri yüksek olduğu için

ester eldesinin sabunlaşmadan dolayı %40 düştüğünü gözlemişlerdir. Ester eldesini yükseltmek için etramethylammonium hidroksiti ($C_4H_{13}NO$) katalizör olarak kullanmışlardır (Kolomaznik 2009).

Açık, yapmış olduğu çalışmada turunç çekirdeğinden pirolitik üretmeyi amaçlamıştır. Yapmış olduğu çalışmada 400 ile 600 °C arasında, 0,5 l/dak, 1 l/dak, 1,5 l/dak sürükleyici gaz hızında, 5 °C/dak ve 10 °C/dak sıcaklık artışında deneylerini gerçekleştirmiştir. Maksimum yağ üretimi 5 °C/dak, 0,5 l/dak gaz akışında, 550 °C sıcaklıkta %63,64 olarak belirlemiştir. Yapılan deneyler sonucunda ortaya çıkan pirolitik yağın viskozite, yoğunluk, setan sayısı gibi analizlerinin yapılması için laboratuvara gönderip sonuçlarının dizel yakıtı olduğunu belirtmiştir (Açık 2019).

Yelekin yapmış olduğu çalışmada meşe palamudundan pirolitik yağ optimizasyonu yapmıştır. Deneylerini 400 °C ile 500 °C sıcaklığı arasında, 0,5 l/dak, 1 l/dak, 1,5 l/dak sürükleyici gaz hızında, 5 °C/dak ve 10 °C/dak, 15 °C/dak ısı artışında gerçekleştirmiştir. Yapılan çalışmada maksimum yağ üretimi parametreleri, 1 l/dak gazı akış hızı, 500 °C sıcaklık, 0 mm ile 2 mm tanecik boyutunda %19,80'dir. Yapılan deneyler sonucunda ortaya çıkan pirolitik yağın viskozite, yoğunluk, setan sayısı gibi analizlerinin yapılması için laboratuvara gönderilmiştir. Sonuçlarda kinematik viskozite ve yoğunluk değerlerinin yüksek olması sebebiyle dizel yakıt ile karıştırılıp kullanılmasının kullanılabilir olduğunu düşünmektedir (Yelekin 2022).

Düzgün yapmış olduğu çalışmada balık yağından transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretmiştir. Deney için katalizör olarak %99,7 saflıkta metil alkol ve alkali katalizör olarak da NaOH kullanmıştır. Karışım için 2,35 gr NaOH 100 ml metil alkol ve balık yağı 58 °C 2 saat süreyle karıştırmıştır. Karıştırma sonucunda ester ve gliserin ayırma hunisi yardımıyla ayırmıştır. Üretilen biyodizelin saf ve biyodizel karıştırılarak kullanmıştır ve dizel yakıtın içerisine katıldığında egzoz emülsiyonlarını önemli ölçülerde düşürdüğü gözlemlemiştir (Düzgün 2015).

Hussein yapmış olduğu çalışmada hurma ve sarımsak kabuğundan biokömür ekstratını ölçmüştür. 350 °C, 450 °C ve 550 °C'de 2 gr numune ile deneylerini gerçekleştirmiştir.

Yapılan deneyler sonucunda sarımsak kabukları için (350 °C’de 0,613 g; 450 °C’de 0,692 g ve 550 °C, 0,752 g) ve Hurma kabuğu için (350 °C’de 0,426 g; 450 °C’de 0,804 g ve 550 °C’de 0,875 g) olarak bulmuştur (Hussein 2021).

Tiftik yapmış olduğu çalışmada çay fabrikası atıklarından pirolitik yağ üretimi yapmıştır. Çalışmada kullanılan parametreler 300 °C ile 900 °C sıcaklık, 10 °C, 50 °C, 90 °C ısıtma hızı, elekaltı ile 75 µm, 75 µm ile 250 µm, 250 µm ile 500 µm ve alıkonma süresi 40 dakika, 60 dakika, 80 dakikadır. Çalışmada sabit 3 parametre ve 1 değişken parametre kullanılarak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Maksimum yağ üretimi 550 °C’de 250 µm ile 500 µm parçacık boyutunda, 50 °C ısıtma hızında ve 60 dakika alıkonma süresinde %56 olarak hesaplanmıştır. Deneyler sonucunda parçacık boyutu, ısıtma hızı ve alıkonma süresi ürün verimine pek etki etmedi gözlemlenmiş sadece sıcaklık parametresi değişiminde yağ üretiminde artış veya azalma görülmüştür (Tiftik 2006).

Durak yapmış olduğu çalışmada biyokütle kaynağı olarak sığır kuyruğu otundan pirolitik yağ üretmiştir. Yapılan çalışmada ana parametreler olarak 400 °C, 450 °C, 500 °C ve 550 °C sıcaklıklarda, 5 °C/dak, 10 °C/dak ve 15 °C/dak ısıtma hızında, 0,5 l/dak, 1 l/dak ve 1,5 l/dak sürükleyici gaz akış hızında gerçekleşmiştir. Deneylerde maksimum yağ üretimi 500 °C’de 0,5 l/dak gaz akışında ve 10 °C/dak ısıtma hızında tespit etmiştir (Durak 2021).

Yazar, yapmış olduğu çalışmada biyokütle enerji kaynağı olarak ceviz kabuğunu tercih etmiştir. Çalışmasında pirolitik yağın üretilmesinde kullandığı parametreler; 400 °C, 450 °C, 500 °C ve 550 °C sıcaklık değeri, 10 °C/dak ısıtma hızı ve ise 0,5 l/dak, 1 l/dak, 1,5 l/dak gaz akış hızı ile maksimum pirolitik yağ oranını bulmaya çalışmıştır. Minimum pirolitik yağ üretiminin 550 °C sıcaklıkta ve 1,5 l/dak gaz akışında olduğu gözlerken, maksimum pirolitik yağ üretiminin 500 °C sıcaklıkta ve 0,5 l/dak azot gazı (N₂) akış hızında olduğunu belirlemiştir (Yazar 2019).

Yozcu yapmış olduğu çalışmada atık lastiklerden piroliz yöntemiyle aktif karbon üretimi yapmıştır. Deney parametreleri olarak 350 °C, 400 °C, 450 °C, 500 °C ve 550 °C sıcaklık, 15 °C/dak ısıtma hızında, 30 dakika, 60 dakika, 90 dakika alıkoyma süresi ile her deneyde 25 gr malzeme kullanmıştır. Deneyde 550 °C sıcaklığa kadar farklı alıkonma sürelerinde

sıcaklık artışları yapmıştır. Yapılan deneyler sonucunda en iyi katı verimi 350 °C sıcaklık değerinde ve 30 dakika piroliz süresinde elde etmiştir (Yozcu 2019).

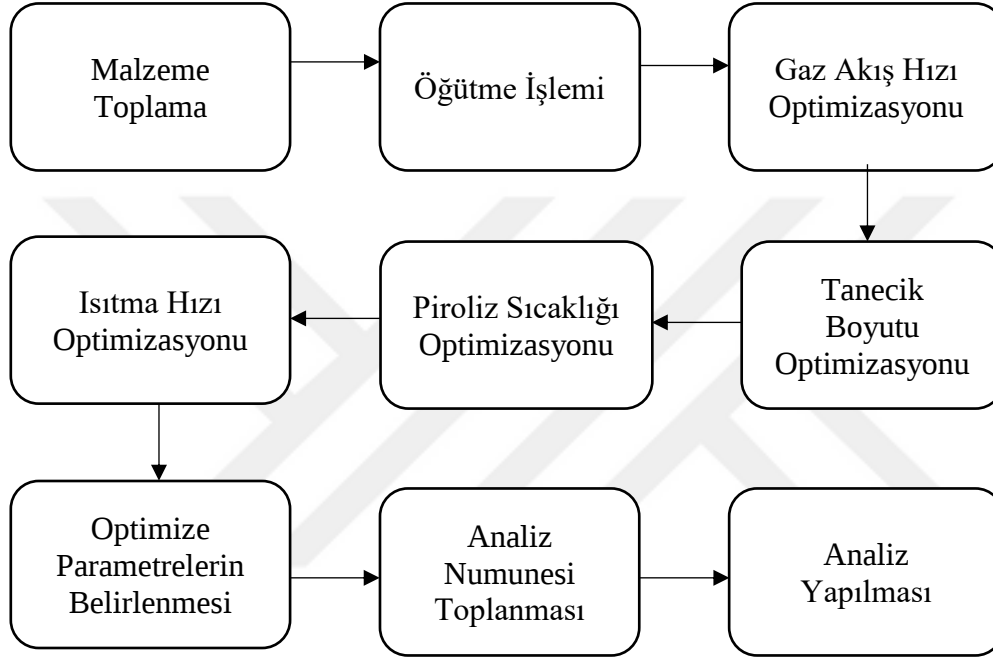
Tophanecioğlu yapmış olduğu çalışmada yulaf samanı ve mısır koçanı biyokütle enerji kaynağı ile sabit reaktörlü piroliz cihazı ile pirolitik yağ üretmiştir. Çalışmada kullanılan parametreler 300 °C, 400 °C, 500 °C, 600 °C, 700 °C ve 800 °C sıcaklık, sürükleyici azot gazı hızı 50 cm³/dak, 100 cm³/dak, 200 cm³/dak, 400 cm³/dak ve 800 cm³/dak ve ısıtma hızı 100 °C/dak, 300 °C/dak, 500 °C/dak ve 700 °C/dak olarak belirlemiştir. Maksimum pirolitik yağ üretimi için uygun parametreler 600 °C sıcaklık, 200 cm³/dak ve 700 °C/dak ısıtma hızında yulaf samanı için %34,38, mısır koçanı için %37,85 olarak elde etmiştir. Ortalama sıcaklıklarda sıvı ürün verimi, yüksek sıcaklıklar sıvı ürünlerin daha fazla buharlaşmasından dolayı gaz ürünlerde artış olduğunu saptamıştır (Tophanecioğlu 2009).

Açıkgöz yapmış olduğu çalışmada keten tohumundan farklı koşullarda pirolizini gerçekleştirmiştir. Deneylerde yavaş, hızlı ve flash piroliz yöntemlerini kullanmıştır. Piroliz deneylerinde sıcaklık, ısıtma hızı, gaz akışı, parçacık boyutunu parametrelerini kullanmıştır. Hızlı piroliz de en verimli sıcaklık 300 °C olarak belirlemiştir. Maksimum yağ verimini 550 °C'de 100 g/cm³ gaz akışında almıştır, maksimum yağ ürünü yavaş piroliz de %46, hızlı piroliz de %59 ve flash piroliz de %69 olarak ölçmüştür (Açıkgöz 2001).

3.MATERYAL VE METOT

Yapılan çalışmada piroliz yöntemi ile pirolitik yağ üretimi yapılmıştır. Yapılan deney ile ilgili iş akış şeması ve kullanılan materyalin üretiminde izlenen yöntemler belirtilmiştir.

3.1 İş Akış Şeması



Şekil 3.1 İş akış şeması.

3.2 Kullanılan Ekipmanlar ve Materyaller

Bu çalışmada piroliz deneyleri için biyokütle kaynağı olarak tavuk kıkırdakları kullanıldı. Piroliz deneylerinde parametre olarak sıcaklık, itici gaz hızı ve ısıtma hızı kullanıldı. Ankara Bakpiliç tesislerinden alınan tavuk kıkırdakları kurutma işlemi sonrası öğütme işlemine tabii tutuldu. Yapılan çalışmalar da 400 °C, 450 °C ve 500 °C sıcaklık değerleri, 5 °C\dak, 10 °C\dak ve 15 °C\dak ısıtma hızında ve 0,5 l\dak, 1 l\dak, 1,5 l\dak itici azot gazı akış hızında gerçekleştirilmiştir.

3.2.1 Tavuk Kıkırdağı

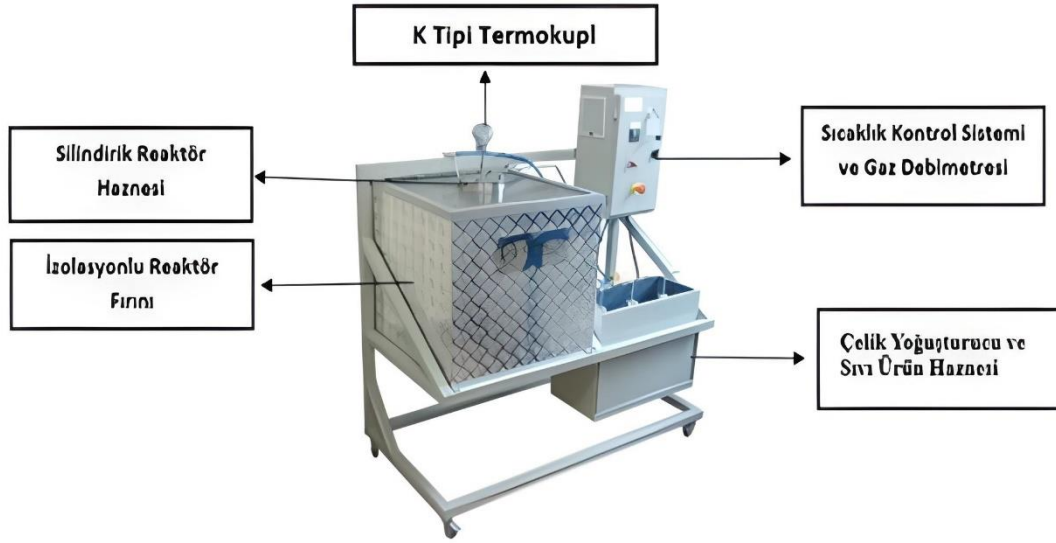
Canlılarda kemiklerin birbirine temasını engellemek için kemiklerin üst tarafında kaygan ve sedef renğinde olan dokulara kıkırdak olarak isimlendirilir. Kıkırdaklar kondrosit hücreleri, matriks (yarı katı zemin maddesi) ve fibrillerden oluşur. Vücutta kemik dokusundan sonraki en sert dokudur ve kan ve sinir hücresi barındırmazlar. En önemli görevi yük taşımak olan kıkırdak ortalama 2 mm ila 4 mm kalınlığındadır. Resim 3.1’de tavuk kıkırdağı gösterilmiştir.



Resim 3.1 Tavuk kıkırdağı.

3.2.2 Piroliz Cihazı

Piroliz cihazı biyokütle kaynaklarını oksijensiz ortamda ve yüksek sıcaklıklarda kimyasal yapılarının değiştirilmesini sağlayan beş veya daha fazla parçadan oluşan düzeneklerdir. Piroliz cihazı başka sistemlere entegre edilerek farklı biyokütlelerin farklı prosesleri içinde kullanılabilir. Resim 3.2’de piroliz deneylerinin yapıldığı piroliz cihazı gösterilmiştir.



Resim 3.2 Piroliz cihazı.

3.2.3 Hassas Terazi

Çalışmalarda deney sonucunda ulaşılan katı ve sıvı maddelerin ağırlıkları için hassas terazi kullanılmıştır. Yapılan deneylerin sonuçlarını öğrenmek için 500 gr ağırlık kapasiteli ve 0,01 gr hassasiyetinde ölçüm özelliğine sahip SF-4000 hassas terazi kullanıldı. Resim 3.3’de kullanılan SF-4000 hassas terazisi gösterilmiştir.



Resim 3.3 SF-4000 hassas terazi.

3.2.4 Ayırma Hunisi

Piroliz işlemi sonrasında su ve pirolitik yağ oluşur. Pirolitik yağı cihazın borularından almak için kullanılan diklorometan kullanılır. Su ve diklorometanlı yağ heterojen bir yapıya sahiptir ve ayırma yöntemi olarak ayırma hunisi kullanılır. Ayırma hunisi genellikle cam ve silindirik yapıya sahiptir. Bir ucunda musluk bulunur ve birbirine karışmayan iki sıvı ayırmakta kullanılır. Resim 3.4 ayırma hunisi gösterilmiştir.



Resim 3.4 Ayırma hunisi.

3.2.5 Evaporatör

Homojen olarak karışan pirolitik yağ ve diklorometan karışımını ayırmada kullanılır. Yapılan çalışmada 20 °C ile 200 °C dereceleri arasında ve 10 rpm ile 295 rpm arasında değişebilen döndürme hızı olan Heidolph markasına ait G3 model evaporatör kullanılmıştır. Resim 3.5’de Heidolph markasına ait G3 model evaporatör gösterilmiştir.



Resim 3.5 Evaporatör.

3.2.6 Diklorometan

Diklorometan veya metil klorür adı ile bilinir. Kimya sanayinde çözücü, boya sökücü veya gıda sanayinde kahve ve çayı kafeinsizleştirme de kullanılır. Bileşik sembolü CH_2Cl_2 'dir. Kaynama noktası 39,6 °C olduğu için yağları çözme işleminde sıkça kullanılır. Yapılan çalışmada düzenek borularında kalan yağları toplamak amaç ile kullanılmıştır. Resim 3.6'de diklorometan gösterilmiştir.



Resim 3.6 Diklorometan.

3.3 Pirolitik Yağ Üretim Yöntemleri

Pirolitik yağ üretimi için tavuk kıkırdakları tercih edilmiştir. Tavuk kıkırdak toplandıktan sonra küçük parçalar halinde 25 °C ile 35 °C sıcaklıkta 2 ay kurutma işlemi yapılmıştır. 20 kg yaş tavuk kıkırdağından yaklaşık 4 kg kuru tavuk kıkırdağı elde edilmiştir. Resim 3.7'de kurutulmuş tavuk kıkırdağı görseli verilmiştir.



Resim 3.7 Kurutulmuş tavuk kıkırdağı.

Kurutma işleminden sonra tavuk kıkırdakları öğütme işlemine tabii tutulmuştur fakat hayvan atık olduğu için birbirine yapışmasından dolayı eleme işlemi yapılamamıştır. Bu sebeple yapılan çalışmada tanecik boyutu faktörü gözlemlenmesi yapılmamıştır. Resim 3.8’de öğütme işleminde gösterilen kahve öğütme makinası kullanılmıştır.



Resim 3.8 Kahve öğütme makinası.

Öğütme işlemi sonrasında tavuk kıkırdağı parçaları 0 mm ile 2 mm elek ile elenip içerisinde bulunan büyük parçalar tekrar öğütmeye sokulmuştur. Resim 3.9’da öğütme işlemi sonrası tavuk kıkırdakları gösterilmiştir.



Resim 3.9 Öğütülmüş tavuk kıkırdağı.

Deney cihazının reaktör hacmi 100 gr olduğu için öğütülmüş tavuk kıkırdakları hassas terazi ile tartılan öğütülmüş malzemeler reaktöre konularak deneyler yapılmaya başlanmıştır.

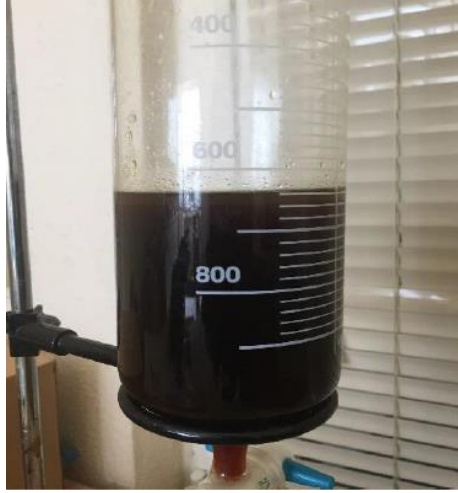
Optimum parametreleri bulmak için 0 mm ile 2 mm aralığında 400 °C, 450 °C, 500 °C’de deneyler yapılmıştır. Deneylerde damıtma işlemi için evaporatör, su ve yağı ayırmak için ayırma hunisi, reaktör haznesi malzeme ayarı için hassas terazi ve yağı cihazdan temizlemek için diklorometan kullanılmıştır. Deney sonucunda ortaya çıkan yağ, su, kömür ve gaz deney malzemesi kütesine göre oranlanarak kayıt altına alınmıştır. Yapılan deneylerde maksimum yağ oranı 450 °C derecede yapılan deneylerde ölçülmüştür. Bir diğer deney parametre itici azot gazı akış hızı parametresi optimum değeri için ölçüm yapılmıştır. Akış hızları 0,5 l/dak, 1 l/dak, 1,5 l/dak olarak deneyler yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucun maksimum yağ verimi 1 l/dak akı hızında yapılan deneylerde gözlemlenmiştir. Son olarak ısı artış parametresi için deneyler yapılmıştır. Isı artış miktarı

parametreleri 5 °C/dak, 10 °C/dak, 15 °C/dak olarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda 10 °C/dak yağ üretimi maksimum seviyeye çıkmıştır.



Resim 3.10 Tavuk kıkırdağından oluşan biyokömür.

Deneyler sonucunda ortaya çıkan kömür (biyochar) Resim 3.10’de gösterilmiştir. Deneyler işlemi bittikten sonra cihazın reaktörünü dışarı almak belli bir sıcaklığın altına düşmesi beklenir. Bu sıcaklığın altına düştükten sonra cıvatalar sökülerek reaktör soğuması serin bir ortama bırakılır. Soğuma esnasında cihazın borularında kalan pirolitik yağ diklorometan yardımıyla çözülerek alınır. Bu işlem diklorometanın borulara az bir basınçla verilerek 2 ya da 3 sefer tekrar edilerek boruların iç yüzeyleri temizlenmesini ve oluşan karışımın bir beher yardımıyla alınarak daha fazla pirolitik yağ çıkarılmasını sağlar. Daha sonra karışım ayırma hunisi yardımıyla su ve diklorometanlı yağ birbirinden ayrı şekilde gözlemlenir. Resim 3.11’de su ve diklorometanlı pirolitik yağ gösterilmiştir.



Resim 3.11 Su ve diklorometanl  pirolitik yağ karışımı.

Bu işlem sonrasında ve diklorometanlı yağın içerisindeki tortuların alınması için süzgeç kâğıdı ve huni kullanılır. Ayırma hunisi içerisindeki su ve diklorometanlı yağ ayırma hunisi musluğu açılarak ayrılır ve beherin üzerine süzgeç kâğıdı konularak ve diklorometanlı yağ içerisindeki tortular ve su birbirinden ayrılır. Resim 3.12’de ayırma hunisi ile ayırma işlemi gösterilmiştir.



Resim 3.12 Ayırma hunisi ile ayırma işlemi.

Yapılan ayırma işlemi sonrasında diklorometanlı yağ, yağ ve diklorometanın ayrıştırılması için evaporatöre alınır. Evaporatöre işleme sokulması için diklorometanlı yağın balon jolenin içerisine konularak evaporat rın sıcaksu havuzunun üzerine monte edilir. Daha önceden 50  C dereceye ayarlanan evaporatör 290 dev/dak 15 dakikada 250 psi ile 450 psi arasında basınçta bırakılır. Kaynama noktası 39,6  C olan diklorometan

akışlı soğuk su yardımı ile soğutularak sıvı hale getirilir ve deney bitirilir. Resim 3.13’de kullanılan evaporatör gösterilmiştir.



Resim 3.13 Evaporatör ile ayırma işlemi.

Deney sonucunda açığa çıkan yağ, su, kömür ve gaz verileri bilgisayar ortamında toplanır. Üretilen yağlar belli miktara geldiğinde analizleri yapılmak üzere özel laboratuvarlarda deneyleri yapılır.

4.BULGULAR

Maksimum yağ verimini bulmak için kullanılan parametreler sıcaklık, ısı artış hızı, sürükleyici azot gazı hızı olarak belirlenmiştir. Yapılan çalışmalarda 450 °C derece sıcaklıkta, 10 °C/dak sıcaklık hızı ve 1 l/dak sürükleyici azot gazında ısınma sonrası bekleme süresi 30 dakikada maksimum yağ verimi elde edilmiştir. Yapılan deneylerin planlama verileri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Çalışmada kullanılan parametreler.

Çalışma sırası	Sıcaklık (°C)	Isıtma hızı (°C/dak)	Gaz akış hızı (l/dak)	Bekleme süresi (dak)
1	400	10	1	30
2	400	15	0,5	30
3	400	15	1,5	30
4	400	5	0,5	30
5	400	5	1,5	30
6	450	10	1,5	30
7	450	15	1	30
8	450	10	1	30
9	450	5	0,5	30
11	500	10	1	30
12	500	15	1,5	30
13	500	5	1,5	30
14	500	5	0,5	30
15	500	15	15	30

4.1 Sıcaklığın Ürün Verimine Etkisi

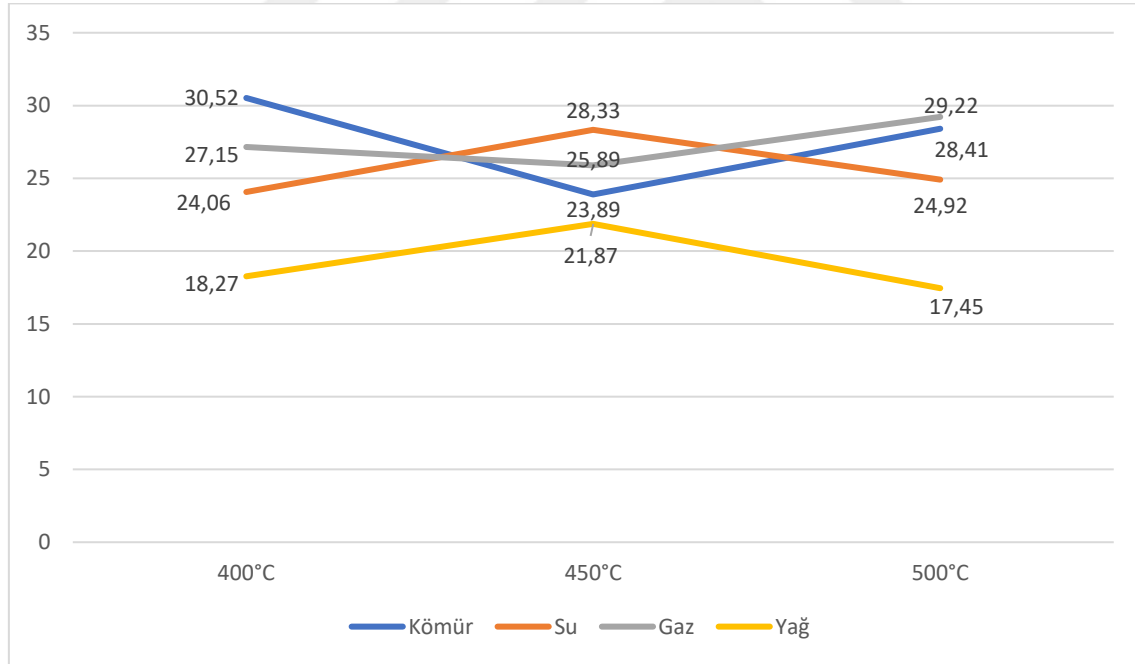
Yapılan deneylerde maksimum yağı elde etmek için 1 l/dak gaz akışı ve 10 °C derece ısıtma hızı parametreleri kullanılmıştır. Çizelge 4.2’de sabit gaz akışı hızı ve ısıtma hızında sıcaklığın yağ verimine etkisi verilmiştir.

Çizelge 4.2 Sıcaklığın ürün oranına etkisi.

Sıcaklık (°C)	Su	Yağ	Kömür	Gaz
400	24,06	18,27	30,52	27,15
450	28,33	21,87	23,89	25,89
500	24,92	17,45	28,41	29,22

Gaz ürünlerin oranı diğer ürünlerin oranı üzerinden hesaplanmıştır.

Yapılan deneylerde 400 °C’de kömür ürünü maksimum çıkmıştır ve yağ üretiminde azalma görülmüştür. 500 °C’de gaz ürün artmış yağ oranı 400 °C’de elde edilen yağ oranına göre daha da düşmüştür. Maksimum yağ verimi 450 °C’de elde edilmiştir. 500 °C ve 450 °C sıcaklıkta yağ ürünlerinin düşüşüne sebep olarak hayvansal biyokütle içerisindeki yağ partiküllerinin yüksek sıcaklıkta buharlaşması ve düşük sıcaklıkta yeterli buharlaşmayı sağlayamaması olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4.1 Sıcaklığın kütle oranlarına etkisi.

Şekil 4.1’de sıcaklığın ürünlerin kütlelerine olan etkisi verilmiştir. Sıcaklık ürünlerine etki eden ana parametredir. Yapılan deneylerde 450 °C’de 1 l/dak itici azot gazında, 10

°C ısı artışında ve 30 dakika alıkonma süresinde maksimum yağ ölçümü 21,87 olarak ölçülmüştür.

4.2 Sürükleyici Azot Gazının Ürünlerin Kütlelerine Etkisi

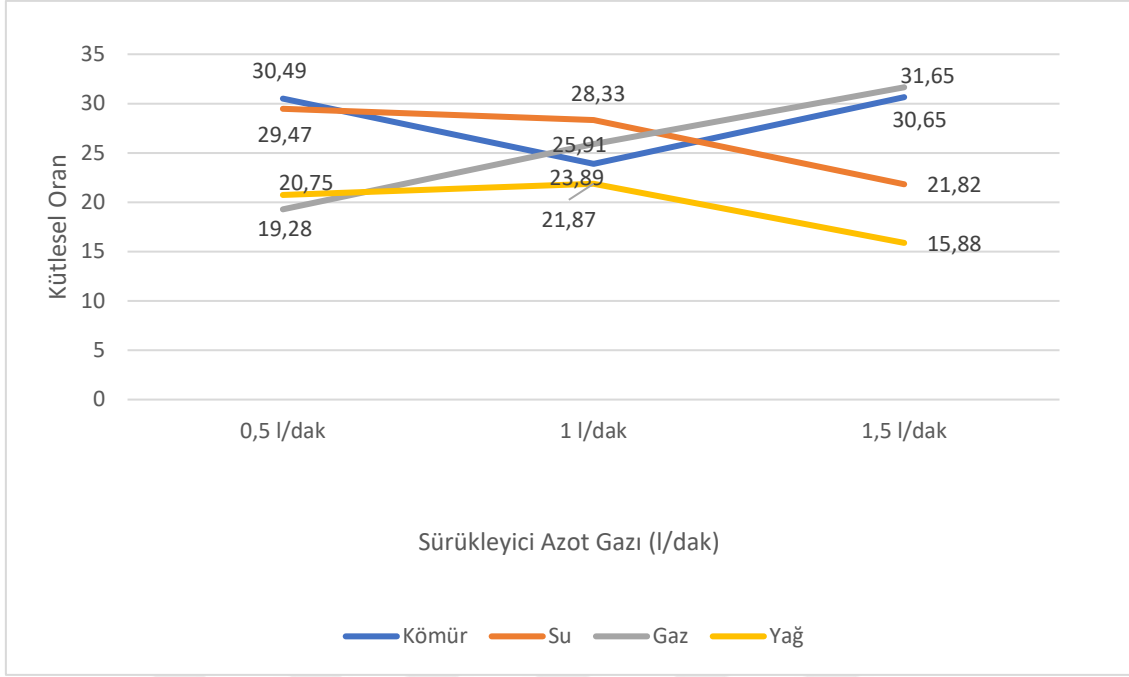
Maksimum sürükleyici azot gazı etkisini bulmak için 450 °C derecede, 10 °C ısıtma hızında 0,5 l/dak, 1 l/dak, 1,5 l/dak sürükleyici gaz akış hızında deneyler tekrarlanmıştır. Deneyler sonucunda 1/dak sürükleyici gaz hızında ürünlerin kütle oranları birbirine yakın iken artarken 0,5 l/dak sürükleyici gaz hızında kömür ve su oranında artış ve gaz miktarında belirgin bir düşüş olmuştur. 1,5 l/dak sürükleyici gaz hızında kömür ve gaz miktarında artış olmuştur. Çizelge 4.3’de sabit sıcaklık ve ısıtma hızında sürükleyici gazın ürünlere etkisi gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.3 Sürükleyici azot gazının ürünlerin kütlelerine etkisi.

Sıcaklık (°C)	Oluşan Ürünler (%)	Gaz Akış Hızı (L/dak)		
		0,5 l/dak	1 l/dak	1,5 l/dak
450	Kömür	30,49	23,89	30,65
450	Su	29,47	28,33	21,82
450	Buhar	19,28	25,91	29,65
450	Yağ	20,75	21,87	17,88

Gaz ürünlerin oranı diğer ürünlerin oranı üzerinden hesaplanmıştır.

Çizelge 4.3 incelendiğinde akış hızında artış ile birlikte kömür ve gaz ürünlerinin oranlarında artış ve yağ ve su oranlarında ise azalma gözlenmiştir. Maksimum yağ verimi 1 l/dak %21,87 olarak ölçülmüştür. Sürükleyici azot gazı hızı arttıkça gaz ürünlerde artış gözlemlenmiştir. Bunun yanı sıra 1,5 l/dak gaz akış hızında minimum yağ elde edilmiştir. Bu duruma sebep olarak gaz akış hızı arttığı zaman yağ partiküllerinin kılcal borularda durma ve soğuma sürelerinin kısalması sonucunda yağ partiküllerinin buhar olarak dışarı atılması düşünülmektedir.



Şekil 4.2 Sürükleyici azot gazının ürünlerin kütle oranlarına etkisi.

Yapılan deneylerde 1 l/dak maksimum yağ oranı %21,87 ölçülmüştür. 0,5 l/dak ve 1,5 l/dak sürükleyici gaz hızında kömür oranlarında artış görülmüş ve 1,5 l/dak sürükleyici gaz hızında %30,69 kömür ve %31,65 gaz ürünleri maksimum değerlerinde ölçülmüştür.

4.3 Isıtma Hızının Ürünlerin Kütlelerine Etkisi

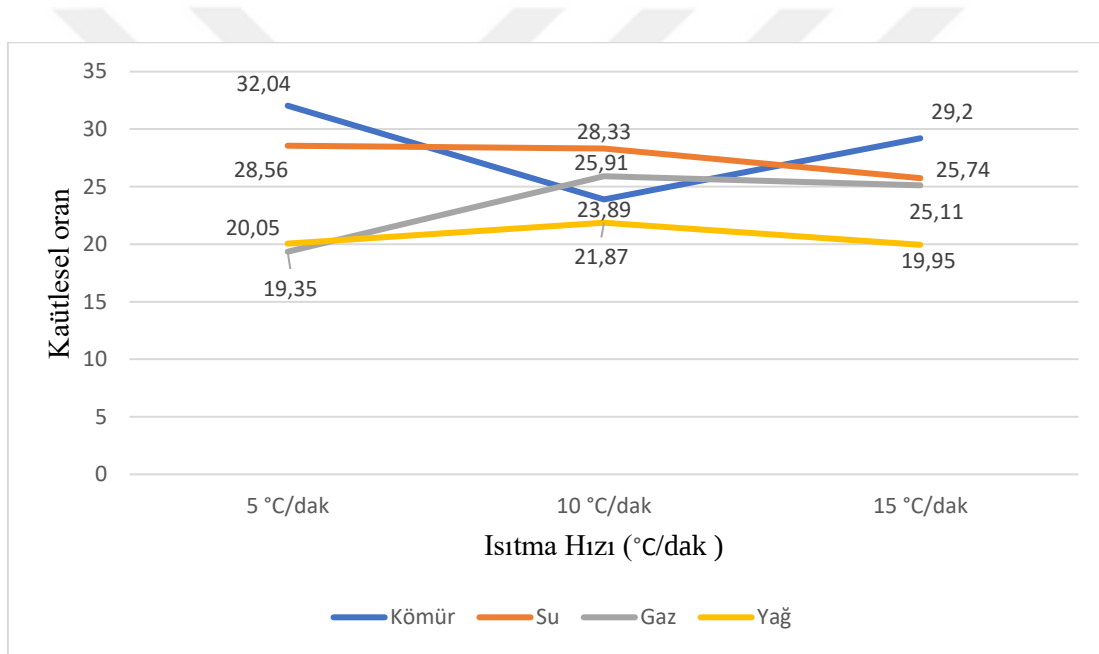
Pirolitik yağ deneylerinde kullanılan son parametre ısıtma hızı parametresidir. Yapılan deneylerde 3 farklı ısıtma hızı kullanılmıştır. Bunlar 5 °C /dak, 10 °C /dak ve 15 °C /dak ısıtma hızlarıdır. Maksimum yağ üretimi sabit 450 °C sıcaklık, 1 l/dak sabit sürükleyici akış hızında ve 30 dakika alıkonma süresinde deneyler tekrarlanmıştır.

Çizelge 4.4 Isıtma hızının ürünlerin kütlelerine etkisi.

Sıcaklık (°C)	Oluşan Ürünler (%)	Isıtma Hızı		
		5 (°C/dak)	10 (°C/dak)	15 (°C/dak)
450	Kömür	32,04	23,89	29,2
450	Su	28,56	28,33	25,74
450	Buhar	19,35	25,91	25,11
450	Yağ	20,05	21,87	19,95

Gaz ürünlerin oranı diğer ürünlerin oranı üzerinden hesaplanmıştır.

Isıtma hızının ürünlerin kütlelerine oranları Çizelge 4.4’de verilmiştir. Çizelge 4.4 incelendiğinde 5 °C/dak ısıtma hızında kömür oranı fazla ve gaz oranı az olduğu gözlemlenmiştir. 10 °C/dak ısıtma hızında kömür miktarında azalma ve gaz miktarında artış görülmüştür. 15 °C/dak ısıtma hızında yağ üretimi düşüş gözlemlenmiştir. Yapılan deneylerde sabit sıcaklık olarak 450 °C derece ve 1 l/dak sabit akışlı sürükleyici gaz ve 5 °C/dak, 10 °C/dak ve 15 °C/dak ısıtma hızları kullanılmıştır. Isıtma hızındaki artış yanma süresinin ve piroliz deneyi süresinin doğrudan etkilemektedir. Isıtma süresi ne kadar yavaş olursa o kadar uzun yanma olacaktır ve bu sebeple yağ partikülleri uzun yanmadan dolayı soğutma bölümünde yoğunlaşamayacağı için borulardan buhar olarak geçer ve yağ üretimini çok azda olsa etkileyebilir.



Şekil 4.3 Isıtma hızının ürünlerin kütle oranlarına etkisi.

Isıtma hızlarının ürünlere etkisi Şekil 4.3’de verilmiştir. Çizelge incelendiğinde maksimum yağ üretimi 10 °C/dak maksimuma çıkmıştır. Son parametrenin de maksimum yağ üretimi deneylerle gözlemlenmiş ve sonuç olarak 450 °C sıcaklık, 1 l/dak sürükleyici gaz hızı ve 10 °C/dak ısıtma hızında maksimum üretimi yapılmıştır. Yapılan deneylerde maksimum yağ üretimi kütlece oranları şu şekildedir. Kömür oranı %23,89, su oranı %28,33, gaz oranı %25,91 ve son olarak yağ oranı 21,87 olarak bulunmuştur.

4.4 Pirolitik Yağın Özellikleri

Yapılan deneylerde üretilen pirolitik yağı biyoyakıt uygunluğunun araştırılması için bir dizi fiziksel deneye tabii tutulmuştur. Testler Afyon Kocatepe Üniversitesi; Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi (TUAM) ve Standard Laboratuvarlar İşletmeciliği A.Ş’de yapılmıştır. Yapılan deneylerin sonuçları ve dizel yakıt ile karşılaştırılması Çizelge 4.5’te verilmiştir.

Çizelge 4.5 Pirolitik yağın özellikleri.

Analiz	Birim	Analiz Raporu	Dizel	Analiz Metodu
Kin. Viskozite (40 °C)	(mm ² /s)	24,78	1,5-4	TS 1451 EN SO 3104
Su	(mg/kg)	0,36	<200	TS 6147 EN ISO 12937
Yoğunluk	(g/cm ³)	1,107	0,82-0,845	PN EN ISO 3675
Kükürt	(ppm)	0,50	<0,01	TS 440 ISO 351

Yapılan analizler sonucunda 100 °C’de kinematik viskozite kaynama noktasının üzerinde olduğu için tayin edilememiştir. Üretilen yağın kaynama noktası düşüp olup taşma yaptığı için parlama noktası tayin edilememiştir. 40 °C kinematik viskozite değeri, yoğunluk değeri ve kükürt miktarı dizel yakıtı göre çok yüksektir. Tavuk yağından üretilen pirolitik yağın yakıt olarak dizel motorlu araçlarda kaynama noktasının dizel yakıtı göre çok düşük olduğu için yakıt olarak kullanılamayacağı düşünülmektedir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Yapılan çalışmada biyokütle enerji kaynağı olarak literatür araştırılmasının ardından tavuk kıkırdak kemiği seçilmiştir. 3 farklı parametrede sıcaklık, ısı artışı, sürükleyici azot gazı hızında sabit yataklı piroliz reaktöründe gerçekleştirilmiştir.

Yapılan çalışmada sıcaklık değerleri 400 °C, 450 °C, 500 °C arasında, 0,5 l/dak, 1 l/dak ve 1,5 l/dak gaz akış hızı değerlerinde, 5 °C/dak, 10 °C/dak ve 15 °C/dak ısı artışında gerçekleştirilmiştir.

Çalışma sonucunda maksimum yağ verimi 450 °C’de sıcaklık 1 l/dak, gaz akış hızı ve 10 °C/dak ısıtma hızında %21,87 pirolitik yağ, %28,33 su, %23,89 kömür, %25,91 gaz ürünü olarak belirlenmiştir. Minimum yağ üretimi ise 400 °C ’de sıcaklık 0,5 l/dak, gaz akış hızı ve 15 °C/dak ısıtma hızında %16,78 pirolitik yağ, %31,68 su, %33,03 kömür, %18,51 gaz ürünleri elde edilmiştir.

Deney sonucunda çıkan pirolitik yağ analizleri yapılmak üzere laboratuvara gönderilmiştir. Analiz sonuçlarına göre pirolitik yağın kaynama noktası çok düşük olduğu parlama noktası ve 100 °C’de kinematik viskozite hesapları yapılamamıştır. Alınan sonuçlarda kükürt oranı 0,50 ppm, yoğunluk 1,107 g/cm³ ve 40 °C’de kinematik viskozite 24,78 mm²/sn’dir. Bu sonuçlara göre pirolitik yağın yoğunluğu, 40 °C’de kinematik viskozitesi ve kükürt oranı dizel yakıtı göre çok yüksektir ve katkı olarak kullanıldığında dahi bu değerler yeterli gelmemektedir.

Yapılan deneylere parlama noktası ve 100 °C’de kinematik viskozitesi tayinleri kaynama noktasının düşük olması sebebiyle yapılamamıştır. Bu durumun dizel yakıtın parlama noktasını düşürerek motor silindirinde erken yanma olayını gerçekleştireceği düşünülmektedir. Yakıt viskozitesi silindire püskürtülen yakıt atomizasyonu ile doğrudan ilgili olduğu için 40 °C’de kinematik viskozitesi tayin edilememesi yakıt viskozitesinin hesabı açısından katkı olarak kullanımını zorlaştırmaktadır.

Yapılan deneylerde kullanılan reaktörün çapı büyüdükçe yağ veriminin azaldığı görülmüştür. Bu duruma sebep olarak büyük reaktör kullanıldığında üst kapak ile pirolitik

yağ buharı daha fazla temas ettiği için yoğunlaşma üst kapakta olmaktadır. Küçük hacimli reaktörde yapılan deneyler ile büyük hacimli reaktörde yapılan deneyler arasında her bir deney arasında 2-3 gr yağ üretimi farkı olduğu gözlemlenmiştir.

Bu çalışmada kullanılan parametre değerleri çeşitlendirildiği takdirde alınan sonuçlarda değişiklik olabileceği düşünülmemektedir. Bu duruma sebep olarak çalışmada kullanılan parametre değerleri ortalama değerlerde çıkmıştır.



6.KAYNAKLAR

- Acaroğlu M, 2013, Alternatif Enerji Kaynakları, Ankara, Nobel Yayın.
- Açık M, 2019, Turunçgiller Atıklarından Piroliz Yöntemi ile Pirolitik Yağ Üretiminin Optimizasyonu, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 50s, Afyonkarahisar.
- Açıkgöz Ç, 2001, Keten Tohumunun Alternatif Enerji Kaynağı Olarak İncelenmesi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 193s, Eskişehir.
- Akbulut F, 2018, Fındık Kabuğundan Pirolitik Yakıt Üretiminin Optimizasyonu, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 66s, Afyonkarahisar.
- Akgül G, 2017, Biyokömür: Üretimi ve Kullanım Alanları, Selçuk Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 5, 485–499.
- Alayont Ş, 2019, Biyokütle Uygulanan Ön İşlemlerin Piroliz Ürünleri Üzerine Etkisi, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 94s, Aksaray.
- Alptekin E, 2013, Hayvansal Atık Yağlardan Biyodizel Üretimi ve Bir Dizel Motorda Kullanımının İncelenmesi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 182s, Kocaeli.
- Aslantaş A, 2018, Dünyada ve Türkiye’de Biyokütle Enerjisinin Kullanımı ve Potansiyeli, KTO Karatay Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 114s, Konya.
- Bahadır A, 2013, Hızlı Piroliz Yöntemi ile Akçaağaç (Acer Platanoides) Meyvesinden Sıvı Ürün Eldesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans Tezi, 87s, Trabzon.
- Bhatti H N, Hanif M A, Qasim M, Rehman A, 2008, Biodiesel production from waste tallow, Fuel, 87, 2961–2966.
- Boubacar L Z, 2020, Biyokütlenin Hızlı Piroliz Parametrelerinin Optimizasyonu ve Katalizörün Etkileri, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 178s, Antalya.

- Budak M S, 2017, Biyokütleden Hızlı Piroliz Yöntemiyle Biyoyakıt Eldesi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 99s, Sakarya.
- Çetiřli F, 2013, Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin Pirolizi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 125s, Ankara.
- Doğın O, 2012, Atık Taşıt Lastiğinden Üretilen Pirolitik Yakıtın Bir Dizel Motorda Kullanımının Deneysel Olarak Araştırılması, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 177s, Karabük.
- Durak M, 2021, Yabani Bitkilerden Pirolitik Yağ Üretimi ve Optimizasyonu, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 50s, Afyonkarahisar.
- Düzenli D, 2002. Yenilenebilir Enerji Kaynağı Olarak Defne (Laurus Nobilis L.) Çekirdeğinden Sıvı Yakıt Üretimi. Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 127s, Eskişehir.
- Düzgün Ö, 2015, Balık Yağından Biyodizel Üretimi ve Motorlarda Test Edilmesi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 95s, Karabük.
- Ejder S B, 2007, Etanol ile Dizel ve Biyodizel ile Dizel Yakıt Karışımlarının Kullanımının Motor Performansına Etkilerinin Deneysel Araştırılması, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 136s, İstanbul.
- Ertaş M, 2010, Bazı Artık Biyokütlelerin Yavaş Pirolizi Piroliz Ürünlerinin Karakterizasyonu, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 213s, Kahramanmaraş.
- Erdoğan A E, 2018, Vakum Piroliz ve Sabit Yataklı Piroliz Ünitelerini Kullanılarak Hayvansal Atıkların Pirolizi ve İşlemlerin Tepki Yüzey Metodolojisi ile Optimizasyonu, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 107s, Karabük.
- Dinçer F, Atik İ, Yılmaz Ş, Hidrolik Enerjisinden Yararlanmada Ülkemiz ve Gelişmiş Ülkelerin Mevcut Durumlarının Analizi, Dicle Üniversitesi Mühendislik Dergisi, 8, 555–561.

- Hussein H, 2021, Biyokütle Pirolizinden Karbon Temelli Malzeme Üretimi ve Karakterizasyonu, Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 89s, Kastamonu.
- Kanat H, 2019, Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Güneş Enerjisi Yatırımlarının Etkileyen Faktörler: Konya Güneş Enerjisi Yatırımları Analizi, Selçuk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 93s, Konya.
- Kapluhan E, Marmara Coğrafya Dergisi, Temmuz 2014, 30, 97–125.
- Karaaslan S, 2019, İşlenmiş Deri Atıklarının Pirolizi ile Biyoyakıt Eldesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 91s, Afyonkarahisar.
- Kar T, 2018, Doğu Karadeniz Bölgesindeki Bazı Atık Biyokütle Karışımlarının Katalizörsüz ve Katalizörlü Piroliz ve Sıvı Ürünlerinin Karakterizasyonu, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 185s, Trabzon.
- Kılıç F Ç, Kılıç M K, 2013, Jeotermal Enerji ve Türkiye, Mühendis ve Makina, 54, 45–56.
- Kolomaznik K, Barinova M, Furst T, 2009, Possibility of using tannery waste for 68 biodiesel production, Journal American Leather Chemists Association, 104, 177–182.
- Koç M, 2011, Biyodizel Üretimine Uygun Türkiye’de Yetişen ve Yetiştirilecek Bitkilerin ve Biyodizel Teknolojilerinin Belirlenmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 247s, İstanbul.
- Koç E, Kaya K, 2015. Enerji Kaynakları–Yenilenebilir Enerji Durumu, Mühendis ve Makina, 56, 36–47.
- Namal C, 2018, Organik Atıkların Hızlı Pirolizi ile Biyoyağ Üretilmesi, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 55s, Antalya.
- Narin N, 2016, Çotanak ve Polimer Atıklarının Birlikte Pirolizinin Kinetiğinin İncelenmesi ve Piroliz Ürünlerinin Karakterizasyonu, On Dokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 111s, Samsun.

- Onay O, Kockar O M, 2003, Slow, Fast And Flash Pyrolysis of Rapeseed. Renewable Energy, 28, 2417–2433.
- Oral M, 2020, Solar Energy Potential of Turkey And Evaluation Of PV Applications İn Local Scale: Case Of Karabük Province. International Journal of Geography And Geography Education (IGGE), 42, 482–503.
- Sakthivel R, Ramesh K, Purnachandran R, Shameer P M, 2018, A Review on The Properties, Performance And Emission Aspects of The Third Generation Biodiesels, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 82, 2970–2992.
- Tiftik B E, 2006, Cay Fabrikası Atığının Pirolizi ve Piroliz Ürünlerinin İncelenmesi. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 123s, Ankara.
- Tillem İ, 2005, Dizel Motorlar İçin Alternatif Yakıt Olarak Biyodizel Üretimi ve Kullanımı, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 71s, Denizli.
- Topçu C ve Türtük D, 2012, Yenilenebilir Enerji Araştırma Raporu, Çukurova Kalkınma Ajansı, 2012/3.
- Tophanecioğlu S, 2009, Tarımsal Atıklardan Hızlı Piroliz Yöntemiyle Sentetik Sıvı Yakıt Eldesinde Piroliz Parametrelerinin Etkisi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 118s, Eskişehir.
- Uzun H, 2019, Tavuk Çiftliği Atıklarının Burgu Reaktör Sisteminde Pirolizi, On Dokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 63s, Samsun.
- Üçgül İ, Selbaş R, 2013, SDÜ Yekarum Temiz Enerji Uygulamaları, Güneş Enerjili Yüzme Havuzu Isıtma Sistemi Uygulamaları, Rapor No: 2013–R04, 50s.
- Üçgül İ, Elibüyük U, 2017, Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Enerji Jeopolitiği, Anka E-Dergi, 2, 1–8.
- Yaşar B, 2018, Hurma Çekirdeklerinden Ani ve Hızlı Piroliz Yöntemiyle Değerli Ürünler Dönüştürülmesi, Eskişehir Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek, Lisans Tezi, 112s, Eskişehir.

- Yazar N, 2019, Piroliz Yöntemi ile Ceviz Kabuğundan Yakıt Üretiminin Optimizasyonu, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 72s, Afyonkarahisar.
- Yelekin E, 2022, Meşe Palamudundan Piroliz Yöntemiyle Yakıt Üretiminin Optimizasyonu, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 41s, Afyonkarahisar.
- Yıldırım H H, 2019, Yenilenebilir Enerji Yatırımlarındaki Teşviklerin Yatırım Performansları Üzerine Etkisi, Finans Ekonomi ve Sosyal Araştırmalar Dergisi, 4, 330–345.
- Yozcu E, 2019, Ömrünü Tamamlamış Atık Lastiklerin Yeni Kullanım Alanlarının Araştırılması, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 70 s, Kahramanmaraş.