

**YABANI BİTKİLERDEN PİROLİTİK YAĞ
ÜRETİMİ VE OPTİMİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet DURAK

Danışman

Prof. Dr. İbrahim MUTLU

OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Temmuz 2021

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YABANI BİTKİLERDEN PİROLİTİK YAĞ ÜRETİMİ VE
OPTİMİZASYONU

Mehmet DURAK

Danışman

Prof. Dr. İbrahim MUTLU

OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Temmuz 2021

TEZ ONAY SAYFASI

Mehmet DURAK tarafından hazırlanan “**Yabani Bitkilerden Pirolitik Yağ Üretimi Ve Optimizasyonu**” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 01/07/2021 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

İmza

Başkan : Doç. Dr. Ahmet KESKİN
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi,
Bolu Teknik Bilimler MYO.

.....

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

Üye : Dr. Öğr. Üyesi. İbrahim Yavuz
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.

01/07/2021

İmza

Mehmet DURAK

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YABANI BİTKİLERDEN PİROLİTİK YAĞ ÜRETİMİ VE OPTİMİZASYONU

Mehmet DURAK

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. İbrahim MUTLU

Gelişen teknoloji beraberinde yüksek enerji ihtiyacı ortaya çıkarmakta ve bu yüksek enerji ihtiyacını sağlayabilmek için alternatif enerji kaynağı arayışlarına gereksinim duyulmaktadır. Bu sebeple doğada atıl halde bulunan sığırkuyruğu bitkisi biyokütle enerji kaynağı olarak kullanılmıştır.

Yapılan deneysel çalışmada sığırkuyruğu bitkisinden piroliz yöntemi ile pirolitik yağ üretimi yapılmıştır. Deneyle esnasında optimum üretim değerlerine ulaşabilmek için 400, 450, 500, 550 °C üretim sıcaklıklarında, 0,5, 1, 1,5 L/dak itici azot (N₂) gazı akış hızı ve 5, 10, 15 °C/dak ısıtma hızı değerleri altında incelenmiştir. Yapılan deneyler neticesinde en verimli üretim değerleri 500 °C sıcaklıkta, 0,5 L/dak itici azot (N₂) gazı akış hızında ve 10 °C/dak ısıtma hızında olduğu tespit edilmiştir. Analiz sonuçları ise 40 °C'deki kinematik viskozitesi 2,60 mm²/sn, yoğunluğu 1,1358 g/cm³, kükürt oranı ağırlıkça %0,17 ve su oranı ağırlıkça %3 olarak bulunmuştur.

2021, ix + 44 sayfa

Anahtar Kelimeler: Sığırkuyruğu Bitkisi, Piroliz, Optimizasyon, Biyoyakıt

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

PRODUCTION AND OPTIMIZATION OF PYROLYTIC OIL FROM WILD PLANTS

Mehmet DURAK

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Automotive Engineering

Supervisor: Prof. İbrahim MUTLU

Developing technology creates a high energy need and it is necessary to seek alternative energy sources in order to meet this high energy need. For this reason, cattle tail plant, which is inactive in nature, has been used as an energy source.

In the experimental study, it was aimed to produce pyrolytic oil from cattle tail plant by pyrolysis method. In order to achieve optimum production values during experiments, 0.5, 1, 1.5 L / min propellant nitrogen (N₂) gas flow rate and 5, 10, 15 ° C/min heating at 400, 450, 500, 550 ° C temperatures It was examined under speed values. As a result of the experiments, it was determined that the most efficient production values were at 500 ° C temperature, 0.5 L / min propellant nitrogen (N₂) gas flow rate and 10 ° C/min heating rate. Analysis results found that its kinematic viscosity at 40 ° C was 2.60 mm²/sec, its density was 1.1358 g/cm³, the sulfur rate was %0.17 and the water ratio was %3.

2021, ix + 44 pages

Keywords: Mullein Plant, Pyrolysis, Optimization, Biofuel

TEŞEKKÜR

Danışmanlık görevimi üstlenen ve başta yüksek lisans tez çalışmam için bilgi, birikim ve tecrübeleri ile yol gösterici olan ve yaşadığımız hayata dair emeğini, yardımını ve desteğini bizlerden hiç sakınmayan Sayın Prof. Dr. İbrahim MUTLU hocama teşekkür ederim.

Yapmış olduğum yüksek lisans tez çalışmam boyunca desteklerini ve yol göstericiliklerini eksik etmeyen Sayın Öğr. Gör. Dr. Arif Hakan YALÇIN hocama, Sayın Dr. Öğr. Üyesi İbrahim YAVUZ hocama teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalarımızı yapabilmemiz için desteğini gösteren ve Afyon Kocatepe Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği Uygulama ve Araştırma Laboratuvarı'nın kapılarını açan Sayın Prof. Dr. Hüseyin BAYRAKÇEKEN hocama ve yardımlarını esirgemeyen laboratuvar teknisyenlerimizden Sayın Mehmet AKTÜRK'e teşekkür ederim.

Bu güne kadar hiçbir desteği benden esirgemeyen, her zaman varlıklarını yanımda hissettiren, verdikleri emek sayesinde bu günlere gelmemi sağlayan aileme en içten ve sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mehmet DURAK
Afyonkarahisar 2021

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 Literatür Örnekleri | 3 |
| 2.2 Enerji ve Enerji Kaynakları | 8 |
| 2.2.1 Yenilenemez Enerji Kaynakları | 9 |
| 2.2.2 Yenilenebilir Enerji Kaynakları | 9 |
| 2.2.3 Biyokütle Enerjisi | 11 |
| 2.2.4 Piroliz İşlemi | 13 |
| 2.2.5 Pirolyzi Etkileyen Faktörler | 14 |
| 2.2.5.1 Pirolyz Sıcaklığının Etkisi..... | 14 |
| 2.2.5.2 Parçacık Boyutunun Etkisi | 14 |
| 2.2.5.3 Isıtma Hızının Etkisi..... | 15 |
| 2.2.5.4 Sürükleyici Azot Gazı Akış Hızı ile Alıkonma süresi | 15 |
| 2.3 Pirolytik Yağın Özellikleri | 16 |
| 2.3.1 Yoğunluk..... | 16 |
| 2.3.2 Viskozite | 16 |
| 2.3.3 Kükürt İçeriği | 16 |
| 2.3.4 Su ve Tortu İçeriği | 16 |
| 2.3.5 Setan Sayısı | 17 |
| 3. MATERYAL ve METOT | 18 |
| 3.1 Deney Düzenegi ve Kullanılan Ekipmanlar | 18 |
| 3.1.1 Sığırkuyruğu Otu..... | 18 |
| 3.1.2 Hassas Terazı | 19 |
| 3.1.3 Pirolyz Cihazı..... | 20 |

| | |
|---|----|
| 3.1.4 Diklorometan..... | 21 |
| 3.1.5 Ayırma Hunisi..... | 21 |
| 3.1.6 Genel Amaçlı Kâğıt Filtre..... | 21 |
| 3.1.7 Evaporatör..... | 22 |
| 3.2 Üretim Yöntemleri..... | 22 |
| 4. BULGULAR..... | 29 |
| 4.1 Gaz Akış Hızının Pirolitik Yağ Verimine Etkisi..... | 29 |
| 4.2 Alıkonma süresinin Pirolitik Yağ Verimine Etkisi..... | 30 |
| 4.3 Parçacık Boyutunun Pirolitik Yağ Verimine Etkisi..... | 32 |
| 4.4 Sıcaklığın Pirolitik Yağ Verimine Etkisi..... | 33 |
| 4.5 Isıtma Hızının Pirolitik Yağ Verimine Etkisi..... | 34 |
| 5. TARTIŞMA ve SONUÇ..... | 36 |
| 6. KAYNAKLAR..... | 38 |
| ÖZGEÇMİŞ..... | 44 |

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

| | |
|-------------------------------|------------------|
| CH ₄ | Metan |
| C ₂ H ₄ | Etilen |
| CO | Karbonmonoksit |
| CO ₂ | Karbondioksit |
| CaO | Kalsiyum oksit |
| H ₂ O | Hidroperoksit |
| NO _x | Azot oksit |
| N ₂ O | Nitröz oksit |
| NaOH | Sodyum hidroksit |
| SO ₂ | Kükürt dioksit |

Kısaltmalar

| | |
|-------|--|
| F10 | Hacimsel olarak %10 Pirolitik yakıt + %90 Dizel Yakıtı |
| NMVOG | Metan olmayan uçucu organik bileşikler |
| SFC | Özgül yakıt tüketimi |
| TUAM | Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| | Sayfa |
|--|--------------|
| Şekil 2.1 Biyokütle madde kaynaklarının sınıflandırılması..... | 12 |
| Şekil 4.1 Sürükleyici gaz akış hızının ürünlerin kütleli oranına etkisi..... | 30 |
| Şekil 4.2 Alıkonma süresinin ürünlerin kütleli oranına etkisi..... | 31 |
| Şekil 4.3 Parçacık boyutunun ürünler üzerinde kütleli oranının etkisi..... | 32 |
| Şekil 4.4 Sıcaklık farklarında oluşan ürünlerin kütleli oranına etkisi..... | 34 |
| Şekil 4.5 Isıtma hızı farklarında oluşan ürünlerin kütleli oranına etkisi..... | 35 |

ÇİZELGELER DİZİNİ

| | Sayfa |
|---|--------------|
| Çizelge 2.1 Termokimyasal dönüşümler ve kullanılabilir son ürünler..... | 12 |
| Çizelge 3.1 Pirolitik yağın analiz özellikleri ve dizelle karşılaştırılması..... | 28 |
| Çizelge 4.1 400°C’de gaz akış hızına bağlı olarak ürünlerinin oranı..... | 29 |
| Çizelge 4.2 400°C’de alıkonma süresine bağlı olarak ürünlerinin oranı..... | 31 |
| Çizelge 4.3 400°C’de parçacık boyutuna bağlı olarak ürünlerinin oranı..... | 32 |
| Çizelge 4.4 Sıcaklığa bağlı olarak ürünlerinin oranı..... | 33 |
| Çizelge 4.5 Isıtma hızına bağlı olarak ürünlerinin oranı..... | 35 |

RESİMLER DİZİNİ

| | Sayfa |
|--|--------------|
| Resim 3.1 Sığırkuyruğu deneyinde kullanılan sığırkuyruğu bitkisi..... | 19 |
| Resim 3.2 Hassas terazi..... | 20 |
| Resim 3.3 Piroliz cihazı..... | 20 |
| Resim 3.4 Ayırma hunisi..... | 21 |
| Resim 3.5 Evaporatör cihazı..... | 22 |
| Resim 3.6 Numunenin 100gr olarak tartılması..... | 23 |
| Resim 3.7 0-2mm arasında elenmiş numune..... | 24 |
| Resim 3.8 2-4 mm arasında elenmiş numune..... | 24 |
| Resim 3.9 4-6,3mm arasında elenmiş numune..... | 24 |
| Resim 3.10 Piroliz işlemi sonrası sığırkuyruğu otu..... | 25 |
| Resim 3.11 Pirolitik yağ ve su karışımının ayrışma işlemi..... | 26 |
| Resim 3.12 Yakıtın süzülme işlemi..... | 27 |
| Resim 3.13 Evaporatör ile diklorometanı uzaklaştırma işlemi..... | 27 |

1. GİRİŞ

Enerji, insanlık tarihi boyunca hayatta kalmak ve yaşam döngüsünü devam ettirebilmek için önemli bir etken olmuş ve olmaya da devam etmektedir. Enerji kaynağı denince aklımıza ilk başta gelen fosil yakıtlardır. Hızla artmaya devam eden insan nüfusu ile paralel bir eğride devam eden aşırı enerji tüketimi sonucunda yenilenemez bir enerji kaynağı olan fosil yakıtların rezervlerinde ciddi oranda azalmaya sebep olmuştur (Koç 2019). Dünyada ihtiyaç duyulan enerjini ihtiyacının ağırlıkça %77'si yenilenemez enerji kaynaklarından olan doğalgaz, petrol, kömür gibi fosil yakıtlar karşılanmaktadır. Endüstrileşmiş ülkelerin tüketim değerlerinin çok yüksek oluşu ve bilinen petrol rezervleri ile kıyaslama yapıldığında 2050 yılına kadar yetecek petrol rezervinin kaldığı öngörülmektedir (Yaşar 2018).

Otomotiv sektörü ile içten yanmalı motorlardaki gelişmeler sonucunda petrol türevi olan yakıtların kullanımı ile hava kirliliğinde önemli derecede artışlar yaşanmakta ve havanın kalitesi ise gün geçtikçe daha kötü bir hâl almaktadır (Coştu 2019).

Sanayi devriminden günümüze kadar olan süreçte her geçen gün artan enerji tüketimi ihtiyacı sonucunda sera gazları miktarlarında da büyük oranda artış gözlenmektedir. Oluşan bu artışın ulaştırmadan kaynaklı yönüne bakacak olursak CO₂ gazı başta olmak üzere NO_x, CH₄, CO, NMVOC, N₂O ve SO₂ gazlarında önemli artışlar yaşanmaktadır. Fosil yakıt tüketimindeki artışın etkisi ile sera gazları emisyonlarında artış yaşanmaktadır (Pekin 2006).

Hızla artan enerji tüketimi sonucunda oluşan kirlilikler ve sera gazları insanlığı daha farklı enerji kaynakları arayışına sevk etmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan biyokütle enerjisi de bunlardan biridir. Biyokütle enerjisi; bitki, ağaç ve hayvan gibi organik atıkları bünyesinde barındıkları enerji modern teknolojiler kullanılarak faydalı ve sürdürülebilir bir enerji haline gelmektedir. Biyokütle enerjisi işlem görmeden önce ısınma ve hayvan besleme gibi temel görevleri üstlenirken günümüzde ise katı, sıvı ve gaz formları olarak ısınma, elektrik üretimi ve taşıt yakıtı olarak kullanılmaktadır (Aslantaş 2018).

Biyokütle dönüşüm teknolojileri; esterfikasyon, hidroliz/fermantasyon, gazlaştırma, karbonizasyon, metanasyon, fotofermantasyon ve pirolizdir. Bu dönüşüm teknolojilerinden herhangi biri yardımı ile biyodizel başta olmak üzere biyoetanol ve biyogaz gibi çeşitli yakıtlar elde etmek mümkündür (Karaosmanoğlu 2006). Verimlilik değerlerine ve teknolojik gelişmelere bakılacak olur ise yaygın kullanılan dönüşüm yöntemleri yanma, gazlaştırma ve pirolizdir (Kar 2018, Guedes vd. 2018).

Piroliz, oksijensiz bir ortamda biyokütlelerin yakılması sonucunda oluşan biyoyağ (katran), kömür, gazlar, su ve benzeri maddeler oluştuğu termokimyasal dönüşüm sürecidir. Biyokütleden farklı yakıtlar üretmenin en verimli yollarından birisi pirolizdir. Piroliz işleminde önemli değişkenler, ısıtma hızı, sıcaklık, alıkonma süresi ve gaz akış hızıdır. Bunların yanında ise biyokütlenin parçacık boyutunda önemli bir yer tutar. Yavaş piroliz, kömürde uzun yıllardır kullanılan klasikleşmiş bir yöntemdir. Buna en temel örnek ise metalürjide çeliğin mukavemetini arttırmak için uygulanan karbonizasyon işlemi yavaş pirolizin en temel örneğidir. Yavaş pirolizi sıcaklık ve süre etkiler. Hızlı (çabuk) pirolizi ısıtma hızı, biyokütlenin piroliz işleminde alıkonma süresi ve sürükleyici gazın akışı hızı etkiler. Hızlı piroliz, biyokütlenin piroliz işlemindeki kalma süresini milisaniye-saniye gibi hassas zamanlarda ayarlayabilir. Reaktörden geçen sürükleyici gaz ile ürünler sürüklenir ikincil ve üçüncül parçalanma gerçekleşmeden reaktörden atılırlar. Bunun sonucunda sıvı verimi artar (Ayyıldız 2014).

Bu çalışmada biyokütle kaynağı olarak düşünülen sığırkuyruğu bitkisinin (*Verbascum*) peyzaj ve zararlı gazların filtrasyonunun yanı sıra alternatif enerji kaynağı olarak düşünüülerek piroliz yöntemi ile yağ üretimi sağlanmış olup en verimli yağ üretim değerleri için optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda en verimli sıcaklık, ısıtma hızı, alıkonma süresi, sürükleyici gazın akış hızı ve parçacık boyutunun etkisi incelenmiş olup hangi değerlerde en verimli üretimin yapılacağı belirlenmiştir.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

2.1 Literatür Örnekleri

Aysu ve Durak yapmış oldukları çalışmada, dev sığırkuyruğu (*Verbascum thapsus* L.) saplarının yavaş pirolizi, sabit yataklı bir tüp reaktörde (Al_2O_3 , ZnO) ve katalizörsüz 400 ila 550 °C arasında dört farklı sıcaklıkta ve 50 °C/dak sabit ısıtma hızıyla gerçekleştirilmiş. Sürükleyici azot gazı (N_2) akış hızı 100 cm^3/dak 'dır. Üretilen biyokömür, biyoyağ ve gaz miktarları hesaplanmış ve elde edilen biyoyağların bileşimleri gaz kromatografisi kütle spektrometresi ile belirlemişler. Sıcaklık ve katalizör gibi piroliz parametrelerinin ürün verimleri üzerindeki etkileri araştırılmış. Sonuçlar, hem sıcaklığın hem de katalizörün dev sığırkuyruğu bitkisinin (*Verbascum thapsus* L.) katı, sıvı ve gaz halindeki ürünlere dönüşümü üzerinde önemli etkilere sahip olduğunu göstermişlerdir. Ağırlıkça %40,43 ile en yüksek sıvı verimi 500 °C sıcaklıkta ağırlıkça %10 çinko oksit ataliti ile sulu faz da dâhil olmak üzere elde etmişlerdir. 500 °C sıcaklıkta elde edilen biyoyağlarda, gaz kromatografisi kütle spektrometresi ile 67 farklı ürün tanımlanmıştır (Aysu ve Durak 2016).

Yazar yapmış olduğu çalışmasında, ceviz kabuğunu biyokütle kaynağı olarak tarımsal bir atık olan ceviz kabuğunu kullanmıştır. Piroliz işlemlerinden geçirilen ceviz kabuğundan pirolitik yağ üretimi gerçekleştirmiştir. Yapılan piroliz işlemi neticesinde ceviz kabuğundan en verimli pirolitik yağ üretimi için optimizasyon çalışması da yapılmıştır. Pirolitik yağ üretimi ve optimizasyon işlemleri için sıcaklık çalışma değeri, ısıtma hızı ve sürükleyici azot gazının (N_2) akış hızı için yapılmıştır. Yapılan deneylerdeki ısıtma hızı 10 °C/dak sabit tutulup sıcaklık 400 °C, 450 °C, 500 °C ve 550 °C değerlerinde alınıp ve sürükleyici azot gazı (N_2) akış hızı ise 0,5 L/dak, 1 L/dak, 1,5 L/dak değerleri alınarak gerçekleştirilmiştir. Bu şartlarda yapılan optimizasyon deneyleri sonucunda en verimsiz değer 550 °C sıcaklıkta ve 1,5 L/dak sürükleyici azot gazı (N_2) akışında gerçekleşirken, en verimli değer ise 500 °C sıcaklıkta ve 1 L/dak sürükleyici azot gazı (N_2) akışında gerçekleştirilmiştir (Yazar 2019).

Açık yapmış olduğu çalışmasında, biyokütle olarak turunçgil atıklarından olan turunç çekirdeğini kullanmıştır. Turunç çekirdekleri deney işlemleri için el ile ayıklanmıştır.

Deneyleerde kullanılan turunç çekirdeğinden pirolitik yağ üretimi ve optimizasyon çalışması hedeflemiştir. Pirolitik yağ üretimi ve optimizasyon çalışması için sıcaklık çalışma değeri, ısıtma hızı ve sürükleyici azot gazının (N₂) akış hızı değeri incelemiştir. Yapılan deneyler sonucunda optimum üretim değeri; üretim sıcaklığı 550 °C, ısıtma hızı 5 °C/dak ve itici gaz debisi 0,5 L/dak olarak belirlemiştir. Deneyler esnasında katı, sıvı ve gaz olarak üç farklı fazda ürünler elde etmiştir. Üretimi gerçekleştirilen pirolitik yağın fiziksel özellikleri analizler sonucunda belirlemiş ve dizel yakıtı ile karşılaştırılma yapmıştır (Açık 2019).

Akbulut yapmış olduğu çalışmasında, biyokütle olarak fındık kabuğu kullanmıştır. Fındık kabuğundan piroliz işlemi ile pirolitik yağ üretimi hedeflenmiştir. Pirolitik yağ üretimi ve optimizasyon çalışmaları için sıcaklık çalışma değeri, ısıtma hızı ve sürükleyici azot gazının (N₂) akış hızı değeri incelemiş olup buna ek olarak pirinç kabuğu ilavesi yapmıştır. Yapılan deneylerde sıcaklık değeri 400 °C, 450 °C, 500 °C ve 550 °C olarak alınmış, ısıtma hızı 10 °C/dak belirlenmiş, sürükleyici azot gazının (N₂) akış hızı ise 1 L/dak belirlenerek gerçekleştirmiştir. Yapılan deneyler sonucunda belirlenen optimum üretim şartlarının belirlenmesi sonucunda ağırlıkça %5, %10, %15, %20 pirinç kabuğu ilavesi yapılmıştır. Pirinç kabuğu ilaveleri sonucunda optimum yüzde değeri ağırlıkça %15 olarak belirlemiştir. Ağırlıkça %15 pirinç kabuğu ilavesi sonucunda F10 yakıtına göre ağırlıkça %85,09 oranında bir artış olduğu gözlemlenmiştir. Üretilen bu pirolitik yağ ise dizel yakıtı ile karşılaştırmıştır (Akbulut 2018).

Dyjakon ve Noszczyk yapmış oldukları çalışmalarında, Biyokütle olarak at keşanesi, meşe palamudu ve ladin kozalakları gibi ormancılık biyokütle kalıntıları incelemiştir. Deneyler oksijensiz ortamda bir atmosferde 200 °C ile 320 °C arasında ve 20 °C sıcaklık aralığında değişen sıcaklıklarda gerçekleştirilmiştir. Ham ve işlenmiş malzemeler, yakın analiz, sabit karbon içeriği, su içeriği, yoğunluk ve enerji verimi dâhil olmak üzere çok çeşitli testlere tabi tutulmuştur. Analizler, yavaş piroliz sürecinde at keşanesi, meşe palamudu ve ladin kozalaklarının yakıt özelliklerinin iyileştirdiğini göstermişlerdir. 320 °C' de işlenmiş biyokütlenin özellikleri taş kömürüne çok benzediği sonucuna varmışlardır (Dyjakon ve Noszczyk 2020).

Malika ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmalarında, biyokütle olarak meşe palamudu, badem ve ceviz kabukları kullanılmıştır. Yavaş piroliz işlemine tabi tutulan numunelerin kütle spektrometresine, termogravimetrik analizine ve diferansiyel taramalı kalori değerleri üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Bu numunelerin termal bozunması, suyun giderilmesi, buharlaşma giderilmesine karşılık gelen üç aşamaya bölünerek incelenmiş ve kömür oluşumu sağlanmıştır. Piroliz sırasında oluşan ana gazlı ürünler CO, CO₂, H₂O, CH₄ ve C₂H₄'tür (Malika vd. 2016).

Aksoy ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmalarında, biyokütle olarak hardal yağını kullanmışlardır. Yapılan deneyler ile optimizasyon çalışmaları için metanol/yağ oranı, katalizör konsantrasyonu reaksiyonu süresi ve sıcaklığı gibi parametreler ele alınmıştır. Farklı değerlerdeki hardal yağı ve dizel karışımından elde edilen biyodizel yakıtının motor performans ve egzoz emisyon değerlerine olan etkileri incelenmiştir. Yapılan değerler sonucunda ise biyodizel oranındaki artış ile ters orantılı olarak motorun gücü ve momentini azalırken, özgül yakıt tüketiminin (SFC) artışı belirlenmiştir. Ek olarak biyodizel, dizel ve biyodizel-dizel yakıtlarının karışımlarının NO_x ve CO emisyonları karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda ise biyodizel-dizel karışımının emisyon değerlerinin daha düşük olduğu belirlenmiştir (Aksoy vd. 2014).

Karaaslan yapmış olduğu çalışmasında, biyokütle olarak ham deri işleme tesisinde yer alan atık bir malzeme olan kromlu deri talaşını kullanmıştır. Elde edilen kromlu deri talaşı piroliz işlemine tabii tutulmuştur. Sabit yataklı bir reaktörde gerçekleştirilen hızlı piroliz işlemi verimini etkileyen faktörler şunlardır; sıcaklık, sürükleyici gaz etkisi, ısıtma hızı, alıkonma süresi ve katalizörün (CaO) etkileri. Bu parametreler üzerinden yapılan deneyler sonucunda en yüksek biyoyağ verimi ağırlıkça %49 ile 20 dakika alıkonma süresinde, 500 °C piroliz sıcaklığında, 50 °C/dak ısıtma hızında, 0,5 L/dak N₂ gazı akışında ve kütlece 1:1 biyokütle-katalizör oranında elde edildiğini gözlemlemişlerdir. Elde edilen pirolitik yağın yakıt ve kimyasal madde olarak kullanıma uygun olduğu belirlemiştir (Karaaslan 2019).

Kaygusuz yapmış olduğu çalışmasında, biyokütle olarak orman atığı olan çay çalısı, ceviz kabuğu ve çam kozalağını kullanmıştır. Temini sağlanan bu üç malzeme 1 mm boyutunda

öğütülerek eşit ağırlıklarda homojen bir karışım elde etmiştir. Karışmış olan malzeme hızlı pirolize tabii tutulmuştur. Piroliz yönteminin ürün verimliliğini; sıcaklık, ısıtma hızı ve sürükleyici azot gazı akış debisinin etkileri incelenmiştir. Deneysel 300 °C ile 750 °C arası sıcaklıklarda, 100 °C ile 600 °C/dak arasında ısıtma hızı ve 50 cm³/dak ile 300 cm³/dak sürükleyici gaz akış hızında gerçekleştirmiştir. Yapılan deneyler sonucunda ise en verimli sıvı sonucu 500 °C piroliz sıcaklığı, 100 °C/dak ısıtma hızı ve 50 cm³/dak sürükleyici azot gazı akışı ile sağlanmıştır. En verimli pirolitik yağın oranını %69,77 olarak bulmuştur. Elde ettiği pirolitik yağın hem yakıt hem de kimyasal hammadde olarak kullanılabilmesi tespit etmiştir (Kaygusuz 2020).

Öztürk Tophanecioğlu yapmış olduğu çalışmada, biyokütle olarak tarımsal atık olan yulaf samanı ve mısır koçanı kullanmıştır. Yapılan piroliz işlemlerinde verimliliği hesaplayabilmek için piroliz sıcaklığı 300 °C ile 800 °C arasında uygulanmış, ısıtma hızı ise 100 °C/dak ile 700 °C/dak arasında uygulanmış ve sürükleyici azot gazı akış hızı ise 50 cm³/dak ile 800 cm³/dak arasında uygulamıştır. Deneyler sonucunda en verimli üretim değerleri 600 °C piroliz sıcaklığında, 200 cm³/dak sürükleyici gaz akış hızında ve 700 °C/dak sıcaklık artış oranında en verimli üretim değerine ulaşmıştır. Bu değerler için sıvı ürün verimi yulaf samanı için ağırlıkça %34,38 ve mısır koçanı için ise ağırlıkça %37,85 olarak bulmuştur. Elde edilen sentetik yakıt incelendiğinde yakıt ve kimyasal hammadde olarak kullanılabilmesini belirlemiştir (Öztürk Tophanecioğlu 2009).

Kar yapmış olduğu çalışmada, biyokütle olarak kestane kupulasını kullanmıştır. Sabit yataklı bir reaktörde uygulanan hızlı piroliz işleminde değişken olarak parçacık boyutu, piroliz sıcaklığı ve sürükleyici gaz akış hızı kullanılmıştır. En verimli üretimin sağlanması için yapılan deneylerde piroliz sıcaklığı; 400, 500, 600, 700 °C değerleri arasında, sürükleyici azot gazı akış hızı; 100, 200, 300, 400 cm³/dak değerleri arasında, parçacık boyutu; 2,00 < Dp > 1,00 mm, 1,00 < Dp > 0,425 mm, 0,425 < Dp > 0,250 mm ve Dp < 0,250 mm değerleri arasında kullanmıştır. Isıtma hızı 200 °C/dak olarak sabit tutulmuştur. Yapılan deneyler sonucunda ise en verimli deney sonuçlarına 600 °C piroliz sıcaklığında, 100 cm³/dak sürükleyici azot gazı akış hızında ve 0,250 mm'den küçük parçacık boyutunda olduğu ve maksimum sıvı ürün miktarı %52,5 olarak tespit etmiştir. Elde

edilen pirolitik yağın hem yakıt hem de kimyasal hammadde olarak kullanılabileceğini saptamıştır (Kar 2012).

Şekerci yapmış olduğu çalışmasında, biyokütle olarak sarmaşık ağacını kullanmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar hızlı piroliz ile gerçekleştirilmiştir. Deneyi sonuçlarını etkileyen parametreler şunlardır. Isıtma hızı 200 °C/dak olarak sabit tutulmuştur. En verimli üretimin sağlanması için yapılan deneylerde piroliz sıcaklığı; 400, 500, 600, 700 °C değerleri arasında, sürükleyici azot gazı akış hızı; 100, 200, 300, 400 cm³/dak değerleri arasında, parçacık boyutu; $2,00 < D_p < 1$ mm, $1 < D_p < 0,850$ mm, $0,850 < D_p < 0,425$ mm ve $D_p \leq 0,425$ mm parçacık boyutlarında değerleri arasında kullanmıştır. Yapılan deneyler sonucunda optimum üretim için en belirleyici parametrenin sıcaklık olduğu ve bu sıcaklık değerinin 600 °C ve sıvı veriminin %43,3 olduğunu saptamıştır (Şekerci 2012).

Namal yapmış olduğu çalışmasında, biyokütle olarak organik mutfak ve bahçe atığı karışımını kullanmıştır. Deneyler katalizörlü hızlı piroliz işlemi ile yapılmıştır. Kullanılan katalizörler dolomit, kalsit ve zeolit olmak üzere üç farklı doğal katalizördür. Biyokütlelerin parçacık boyutları 1-1,5 mm arasında değişiklik göstermiştir. Piroliz sıcaklıkları 400, 450, 500 °C arasında kullanılırken sürükleyici azot gazı akışı 500 cm³/dak olarak kullanılmış ve en verimli pirolitik yağ oranını %40 olarak belirlemiştir (Namal 2018).

Tiftik yapmış olduğu çalışmasında, biyokütle olarak organik bir atık olan çay fabrikası üretim atığını kullanmıştır. Uygulanan hızlı piroliz işleminde parçacık boyutu, piroliz sıcaklığı, ısıtma hızı ve piroliz süresi gibi parametreler incelemiştir. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen ürün verimini en fazla etkileyen parametrenin piroliz sıcaklığı olduğu belirlemiştir. Sıcaklık arttıkça katı ürün veriminde azalma gözlenirken gaz veriminde de artış gözlemiştir. Sıvı veriminde ise 550 °C den sonra düşüş gözlemiştir. En yüksek sıvı ürün verimi ağırlıkça %56 oran ile 550 °C sıcaklıkta, 50 °C/dak ısıtma hızında, 250-500 µm parçacık boyutunda ve 60 dakikalık piroliz süresinde gerçekleştiğini gözlemiştir (Tiftik 2006).

Çildir ve Çanakçı yapmış oldukları çalışmalarında, biyokütle olarak Ayçiçek, mısırozü ve kolza yağı kullanmışlardır. Yapılan araştırmalar ve deneyler sonucunda iç ester değişim yöntemi ile katalizör ve alkol miktarları reaksiyon üzerindeki etkisinin araştırılması sonucunda parlama noktası, kinematik viskozitesi, yoğunluğu ve akma noktası gibi parametrelerin incelenmesi sonucunda sadece yüksek akma noktasının sorununun giderilmesinden sonra dizel motorlara yakıt olarak kullanılabileceğini belirlemişlerdir (Çildir ve Çanakçı 2006).

Ertaş yapmış olduğu çalışmasında, biyokütle olarak Akdeniz defnesi artığı, tesbih ağacı meyvesi, Avrupa melezi kereste artığı ve crambe bitkisi kullanılmıştır. Uygulanan yavaş piroliz işleminde doğal zeolit ve alümina katalizör olarak kullanılmıştır. Deneyleri etkileyen parametreler arasında piroliz sıcaklığı, parçacık boyutu ve sürükleyici gaz akış hızı bulunmaktadır. Yapılan deneyler sonucunda en yüksek sıvı ürün verimi 500 °C piroliz sıcaklığında, 100 ml/dak sürükleyici gaz akış hızında ve $0.850 > D_p > 0.420$ mm parçacık boyutunda elde edilmiştir. Sıvı verimleri sırası ile ağırlıkça %21.91, %23.38, %21.14 ve %22.47 olarak tespit edilmiştir (Ertaş 2010).

2.2 Enerji ve Enerji Kaynakları

En genel anlamı ile enerji; herhangi bir cismin veya maddenin iş yapabilme kapasitesine verilen addır. Enerji her an farklı formlarda karşımıza çıkmaktadır. Bunlardan bazıları mekanik enerji, rüzgâr enerjisi, kimyasal enerji ve benzeri kavramlar içerisinde enerjiyi barındırmaktadırlar (Tuncer 2012).

Bunlara ek olarak farklı bir sınıflandırmayı da yenilenemez ve yenilenebilir enerji kaynakları arasında yapmak mümkündür. Dünyada fosil yakıtlar olarak tabir gören ve kısıtlı rezervleri olan petrol, doğalgaz ve kömürün içinde bulunduğu sınıf yenilenemez enerji kaynakları sınıfı olarak nitelendirilmektedir. Dünya üzerinde kullanımına karşın herhangi bir azalığa uğramayan, tükenmeyen veya sürdürülebilir enerji kaynaklarına yenilenebilir enerji kaynakları denmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından bazıları şunlardır; güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi ve jeotermal enerji (Lebe 2012).

2.2.1 Yenilenemez Enerji Kaynakları

Günümüzde yaygın olarak kullanılan petrol, kömür ve gaz gibi fosil yakıtlar yandıkları ve tükendikleri için yenilenebilir kaynaklar değildir. Ölü bitkilerden ve hayvanlardan oluşurlar. Fosil yakıtlar, ısıtma, ulaşım, elektrik üretimi ve diğer kullanımlar dâhil olmak üzere dünyanın enerji talebinin büyük bir bölümünü karşılamaktadır. İlk bakışta, yenilenemeyen kaynaklar çevremizden bizim için bir armağandır. Ancak yenilenebilir değildirler. Elbette fosil yakıtların avantajları var. Bu nedenle uzun zamandır tercih ediliyorlar. Fosil yakıtlarla, çok büyük miktarlarda elektrik tek bir yerde kömür kullanılarak ve oldukça ucuza üretilir. Petrol ve gazın elektrik santrallerine taşınması kolaydır. Gazla çalışan elektrik santralleri çok verimlidir. Fosil yakıtlı bir elektrik santrali, büyük miktarlarda yakıt alabildiğiniz sürece hemen hemen her yere inşa edilebilir. Temel olarak, fosil yakıtların temel dezavantajı kirliliktir. Herhangi bir fosil yakıtın yakılması karbondioksit üretir ve bu da "sera etkisi" ne katkıda bulunur ve dünyayı ısıtır. Kömür yakmak, yanan petrol veya gazdan daha fazla karbondioksit üretir (Ay 2010).

Birincil enerji kaynaklarından olan petrol, artan fiyatlar ve azalan geri kazanılabilir konvansiyonel petrol rezervleriyle bir alternatif haline geliyor. Dünya petrol rezervlerinin neredeyse ağırlıkça %70'i alışılmadık ağır petroldür. Bununla birlikte, geleneksel olmayan petrolün rafine edilmesi için ekstra enerji gerekir, bu da daha yüksek üretim maliyetleri ve varil başına üç kat daha fazla sera gazı emisyonu ile sonuçlanır (Aydemir 2010).

2.2.2 Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Yenilenebilir enerji kaynakları, sürdürülebilir ve yenilenebilir oluşları bakımından çevresel etkileri en az olan enerji kaynaklarıdır. İşletme ve bakım maliyetlerinin düşük oluşunun yanında ilk tesis kurulum maliyetleri ne yazık ki çok yüksektir. Gün içinde var olan bir enerji kaynağının sonraki günlerde de oluşması ile yenilenebilir enerji kaynakları oluşmaktadır. 10/05/2005 tarih ve 5346 Sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun Tasarısı Taslağı'nın 3. Maddesinde yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde şunlar vardır;

- Rüzgâr enerjisi,

- Güneş enerjisi,
- Jeotermal enerji,
- Hidrostatik enerji,
- Gel-git,
- Dalga,
- Biyokütle,
- Biyogaz,

yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde yer almaktadır (Aracı 2013).

Rüzgâr enerjisini yakalayıp elektrik enerjisine dönüştürebilmek için rüzgâr türbinlerine ihtiyaç duyarız. Rüzgâr türbinleri, türbin kanatları vasıtasıyla rüzgârdan gelen gücü alır ve mekanik güce dönüştürür. Rüzgâr gücünün mekanik güce dönüştürülmesi aerodinamik olarak yapılır. Mevcut güç rüzgâr hızına bağlıdır, ancak hasarı önlemek için gücü daha yüksek rüzgâr hızında kontrol edebilmek ve sınırlayabilmek önemlidir. Güç sınırlaması, durma kontrolü (bıçak konumu sabittir ancak rüzgârın durması, daha yüksek rüzgâr hızında bıçak boyunca görülür) veya aktif durma (kanat açısı, kanatlar boyunca durma oluşturmak için ayarlanır) veya eğimle yapılabilir. Kontrol (kanatlar daha yüksek rüzgâr hızında döndürülür), bu da gösterildiği gibi güç eğrilerine neden olur (Zeray 2010).

Güneş ışınlarını yakalayıp elektrik üretebilmek için Fotovoltaik hücrelere ihtiyaç duyarız. Fotovoltaik hücreleri, fotovoltaik ilkelere dayalı olarak çalışır, yani fotonlar yarı iletken yapıya düştüğünde, elektronlar hareketlilik kazanır ve elektron hareketinin sonunda potansiyel bir fark vardır. Fotovoltaik hücrenin üretiminde kullanılan elektrik enerjisi, yüzeyine ulaşan güneş enerjisinden kaynaklanmaktadır. Fotovoltaik hücreleri kimyasal elementlerle üretilmektedir. En çok kullanılan malzeme silikondur. İlk büyümeden sonra mikron seviyesinde ince plakalar şeklinde malzeme bloklarından güneş pili üretiminde laboratuvar koşullarında verim ağırlıkça %35 oranında elde edilmektedir (İnalı 2020).

Jeotermal enerji, dünya zemininden çekirdeğe doğru ilerlendikçe çekirdek ısısının oluşturduğu ısıdan dolayı yer altı suyunun oluşturduğu sıcak su, buhar ve gazların bünyesinde barındırdıkları enerjinin doğrudan veya dolaylı olarak kullanılması ile oluşur.

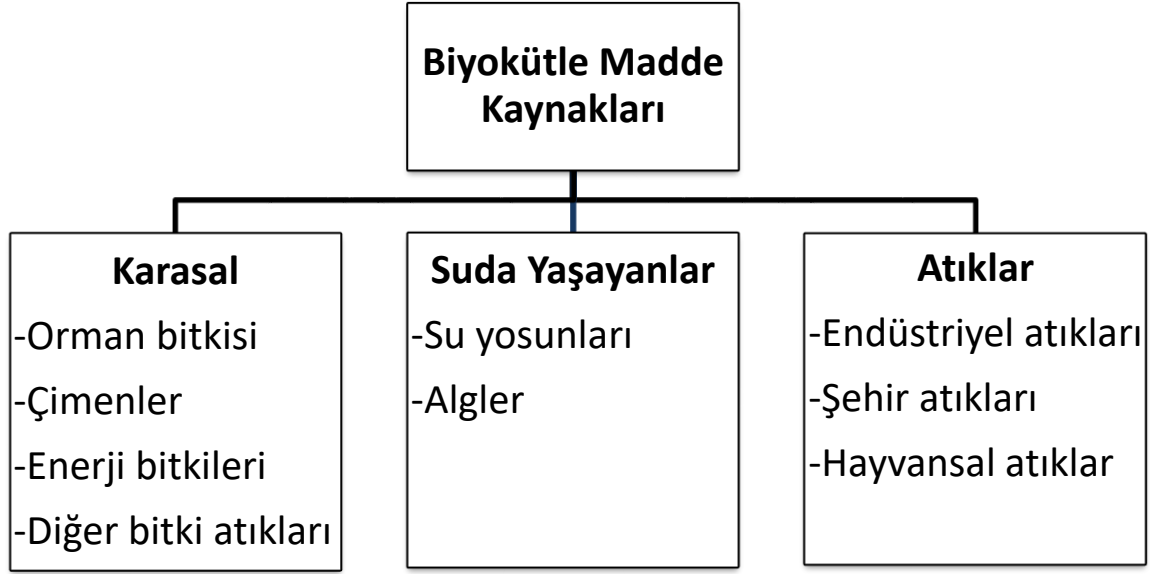
Jeotermal enerjinin kullanım alanlarına bakılacak olursak elektrik üretimi ve ısınma en çok kullanılan alanlar olması ile birlikte termal turizm, kimyasal madde üretimi ve içilebilir maden suyu üretimi gibi kullanım alanları da mevcuttur. Türkiye coğrafi açıdan tektonik kuşak üzerinde yer almasından dolayı zengin bir jeotermal enerji potansiyeline sahiptir. Ancak Türkiye ki enerji piyasasına bakıldığında jeotermal enerjinin kullanılan hacmi ağırlıkça %2 oranındadır (Alper 2019).

Hidroelektrik enerji, akan suyun sahip olduğu potansiyel enerjinin kinetik enerjiye dönüştürülmesi ile oluşan enerjidir. Bu üretim yöntemi esas alındığında hidroelektrik santralleri suyu depolamak amacı ile kurulan barajlar ve akarsu üzerine kurulan hidroelektrik santralleri olarak iki grup olarak değerlendirmek mümkündür. Barajlarda tutulan su ile oluşturulan hidroelektrik santrallerinin enerji üretimi barajın su tutma kapasitesiyle doğrudan ilişkilidir. Akarsu üzerine kurulan hidroelektrik santralleri ise suyun doğal akış özelliği ile doğrudan ilişkilidir. Bu iki grubun ise en temel üretim esası ise iklimsel olarak yağış oranları ile olan ilişkisidir. Yağış oranlarındaki düşüş ile birlikte bu santrallerin üretim kapasiteleri de düşüşe uğramaktadır (Akpınar 2005).

2.2.3 Biyokütle Enerjisi

Biyokütle, fosil yakıt olmayan, biyolojik kökenli bitkilerin güneşten aldıkları ışınlar ile kimyasal enerji ve fotosentez oluşumuna verilen addır. Biyokütle enerjisi, organik maddelerin kullanımı ile oluştuğu için yenilenebilir ve çevre dostu bir enerjidir. Pek çok bitkisel, hayvansal, endüstriyel ve şehir atıkları biyokütle için kullanılmaktadır. Birkaç örnek verilecek olursa; ağaç, sap, saman, şeker kamışı, mısır, bitkisel atık yağlar, hayvan gübresi, hayvan atık yağı ve atık organik ev çöpleri biyokütle enerjisi olarak kullanılabilir (Yolcu 2019). Biyokütle çeşitlilik bakımından çok fazla ürünü kapsamaktadır. Bu bağlamda biyokütle enerjisini en temel anlamda atıklar, karasal atıklar ve su atıkları olarak üç temel başlıkta incelemek mümkündür. Şekil 2.1'de biyokütle madde kaynaklarının sınıflandırılması yer almaktadır (Sözen vd. 2017). Türkiye Biyokütle Enerjisi Potansiyel Atlası'na göre tüm kaynakların ağırlıkça %90'ını oluşturan başlıca biyokütle kaynağının tarımsal atık olduğu açıkça görülmektedir. Ancak biyokütleden enerji elde etmek için kullanılan diğer kaynaklar hayvan atığı ağırlıkça %3, orman atığı ağırlıkça %2 ve kentsen organik atık oranı ise ağırlıkça %5 arasında düşük oranlara

sahiptir (Kazaz 2018).



Şekil 2.1 Biyokütle madde kaynaklarının sınıflandırılması (Sözen vd. 2017).

Biyokütle enerjisini elde edebilmek için çeşitli teknolojik yöntemler kullanılarak katı, sıvı ve gaz yakıtlar elde edilmektedir. Biyodizel, biyogaz ve biyoetanol yakıtlarının üretimi en başta yer almaktadır. Bunlardan farklı olarak hidrojen, metan ve odun briketi gibi birçok farklı yakıt türü mevcuttur (Karayılmazlar vd. 2011). Çizelge 2.1’de biyokütlenin enerjiye dönüştürülmesiyle ilgili süreçlerden olan termokimyasal dönüşümler ve uygulama alanları gösterilmiştir. Yapılan çalışmada piroliz yöntemi kullanılmıştır.

Çizelge 2.1 Termokimyasal dönüşümler ve kullanılabilir son ürünler.

| Termokimyasal Dönüşüm Yöntemleri | Hammadde | Kullanılabilir Son Ürün |
|----------------------------------|--|--|
| Yanma | Tarımsal Kalıntılar Hayvansal Kalıntılar Odunsu Kalıntılar | Isı Elektrik |
| Piroliz | Tarımsal Kalıntılar Odunsu Kalıntılar | Pirolitik Yağ Gaz Kömür |
| Gazlaştırma | Tarımsal Kalıntılar Odunsu Kalıntılar | Gaz Sıvı Yakıtlar |
| Sıvılaştırma | Tarımsal Kalıntılar Alg Biyokütlesi | Kömür Sıvı Yakıtlar Biyoyakıt Sentez Gazı |

2.2.4 Piroliz İşlemi

Piroliz, katı, sıvı ve gaz ürünlerin oluşumu için organik maddeleri oksijensiz bir ortamda ısı bozulmaya uğraması ve kimyasal yapılarının ise daha küçük boyutlara indirgenmesi işlemine denir (Koç 2011). Piroliz işlemi sonucunda oluşan katı ürünün incelenmesine karbonizasyon, sıvı ve gaz ürünlerin yönünden incelenmesine piroliz işlemi ile gerçekleşir.

Piroliz işlemlerinin pek çoğu çok yüksek sıcaklıklar olan 300-1000 °C arasında gerçekleşmektedir. Piroliz çalışma sıcaklığı ne kadar yüksek olur ise termal ayrışmada o ölçüde yüksek olmakta ve dolayısıyla yüksek bir ürün çeşitliliği oluşturmaktadır (Mahmood 2020). Piroliz işlemi sonucunda elde edilen biyodizellerin büyük bir kısmı doğrudan dizel yakıtlı bir motora yakıt olarak kullanılabilir. Dizel ile kıyaslandığında yüksek çıkan viskozite, yoğunluk ve akma noktası gibi olumsuz sonuçlar ile karşılaşılması durumunda klasik dizel ile biyodizel karışım olarak dizel motorda kullanılabilir (Calam 2019).

Piroliz yöntemi üç farklı şekilde yapılabilir. Bunlar, yavaş (geleneksel) piroliz, hızlı piroliz ve flash (ani) pirolizdir. Yavaş piroliz uzun yıllardır kullanılan bir yöntem olarak kabul görür ve en belirgin örneği mangal kömürü üretimidir. Bu işlem yaklaşık olarak 500 °C sıcaklıkta gerçekleşirken alıkonma süreside 5-30 dakika arasındadır ve piroliz sırasında sisteme sürükleyici bir gaz verilmediği için yavaş piroliz işlemi son bulana kadar organik üründen çıkan su buharları ısı değeri sıfırlanana kadar sistemin içinde bileşik oluşturmaya devam etmektedir (Gümülügil 2016).

Hızlı piroliz işleminde oksijen barındırmayan bir reaktörde biyokütlenin yüksek sıcaklıklara çıkma eylemidir. Hızlı pirolizde amaç büyük oranda üretilen sıvı verimini arttırmaktır. Bu amaçla sisteme sürükleyici bir gaz akışı sağlanır ve oluşan gazların hızlı bir şekilde reaktörden uzaklaştırılarak hızlı bir soğumaya uğramaları sağlanmış olur. Bunun sonucunda ise oluşan gazlar ikincil veya üçüncül bir reaksiyona girme fırsatı bulamadan reaktörden uzaklaştırılıp sıvı formunda yakalanması hedeflenmektedir. Hızlı piroliz işleminde kullanılan biyokütle dikkate alındığında yaklaşık olarak ağırlıkça %60-75 sıvı biyoyakıt, ağırlıkça %15-25 katı ürün ve ağırlıkça %10-20 arasında da

yoğuşmamış gazlar üretilmektedir (Sarioğlu 2007).

Flash piroliz işleminde piroliz sıcaklığı en önemli değer olarak bilinmektedir. Flash pirolizde 400 °C sıcaklığın altında oluşan reaksiyonlarda piroliz ürünleri (katı ve gaz) meydana gelmektedir. Piroliz sıcaklık aralığı 400-600 °C olduğu süreçlerde ise en yüksek verimde sıvı ürünün olduğu sıcaklık aralığı olarak kabul görmekte ve bu değerlerin üzerinde bir değer olduğu durumlarda oluşan sıvı veriminde azalmalar gerçekleşmektedir. Sıcaklık artışının devam etmesi ile ulaşılan 650 °C sıcaklık değeri ile artık gaz veriminde artış gözlenmeye başlamaktadır ve sistem 700 °C ve üzerindeki sıcaklıklara ulaştığında ise ana ürün olarak gaz hedeflenmektedir. Yüksek sıcaklıklar ve kısa (milisaniye-saniye) alikonma sürelerinde en verimli gaz ürün oluşumu gerçekleşir. Flash piroliz işleminin üretim sıcaklık aralığı ise 400-1200 °C'dir (Açıkgöz 2001).

2.2.5 Pirolizi Etkileyen Faktörler

2.2.5.1 Piroliz Sıcaklığının Etkisi

Piroliz sıcaklığı piroliz işlemini etkileyen en önemli parametredir. Piroliz sıcaklığındaki değişiklikler piroliz işlemine maruz bırakılan biyokütlenin kimyasal yapısında farklılıklar oluşturmakta ve elde edilen ürünün miktarında da farklılıklar olmasına sebep olmaktadır. Piroliz sıcaklığındaki farklılıkların bir diğer önemli sonucu ise piroliz ürünlerinden olan katı, sıvı ve gaz oluşumlarının sıcaklığa bağlı olmasıdır. Piroliz sıcaklığı 400–650 °C arasında olduğu durumlarda üretimi hedeflenen ürün sıvı üründür. Belirtilen sıcaklıkların üzerindeki sıcaklık değerlerine çıkılması durumunda hedeflenen ana ürün gaz üründür. Piroliz sıcaklığı sıvı ürün eldesi sıcaklığının altına düşürüldüğünde ise hedeflenen ana ürün katı üründür. Piroliz sıcaklığındaki değişiklikler hedeflenen ana ürüne göre belirlenmelidir (Emir 2014).

2.2.5.2 Parçacık Boyutunun Etkisi

Piroliz verimi parçacık boyutuyla etkilenmektedir. Parçacık boyutu küçük olduğu durumlarda reaktör içerisinde bulunan biyokütlenin parçacıkları arasında gerçekleşen ısı iletim hızı artacağı için genellikle 2 mm ve altı parçacık boyutu tercih edilmektedir. Parçacık boyutu 2 mm'nin üzerine çıktığı durumlarda ısı iletim hızı azalacağı için tercih edilme oranı düşüktür (Kara 2012). Parçacık boyutunun çok küçük olmasından kaynaklı

gaz ürünün veriminde artış gözlenirken parçacık boyutu büyüdükçe sıvı ürün oluşumunda artış gözlenir ve oluşan sıvı ürün sıvı yakıt özelliği taşımaya başlamaktadır (Özen 2014).

2.2.5.3 Isıtma Hızının Etkisi

Biyokütle atığının piroliz işlemi süresince sıcaklığının artırılma hızıdır. Piroliz işleminde belirli sıcaklık değerlerine bağlı olarak oluşan katı, sıvı ve gaz fazlı ana ürünlerin verimlerinde artışlar ve azalışlar görülmektedir. Bu temel bilgi doğrultusunda üretimi gerçekleşecek olan piroliz sıcaklığına ne kadar hızlı ya da ne kadar yavaş oranda ısıtma hızı uygulanması biyokütleden oluşacak sıvı veya gaz ürünlerin üretim değerlerini etkilemektedir. Bu sebeple hedeflenen ürün ne ise ısıtma hızı da ona göre ayarlanır ve maksimum verim elde edilebilir (Kutlu 2010).

2.2.5.4 Sürükleyici Azot Gazı Akış Hızı ile Alıkonma süresi

Piroliz işleminde biyokütlenin ısı altında alıkonma süresi ürün oluşumunu etkilemektedir. Alıkonma süresi ne kadar fazla olur ise oluşan gaz ürün artmaktadır ve alıkonma süresi kısa tutulması durumunda da oluşacak olan sıvı ürün miktarında artış olacaktır. Piroliz işlemi gerçekleştiğinde sürükleyici gazlar kullanılmaktadır. Kullanılan bu sürükleyici gazlar argon, neon, azot gibi inert gazlardır. İntert gazlar belirli şartlar altında kimyasal tepkimeye girmeyen gazlardır. Sürükleyici inert gazın kullanılmasının en temel nedeni ise piroliz işleminde oluşan buharının ikincil bir reaksiyona girmeden piroliz ortamından uzaklaştırılmasını sağlamaktır. Sürükleyici inert gazların akış hızları piroliz reaksiyonunu etkileyebileceği için oluşacak ürün dağılımını etkilemektedir (Doğan 2017).

2.3 Pirolitik Yağın Özellikleri

2.3.1 Yoğunluk

Yoğunluk bir maddenin birim hacmine düşen kütlesi olarak tanımlanabilir. Yoğunluk motor performans değerleri için önemli bir parametredir. Yakıt enjeksiyon sisteminin çalışma mantığı ise yakıtı hacimsel olarak hesaplayıp göndermektedir. Bu sebeple yakıtın yoğunluğundaki değişik değerleri doğrudan motor performansını etkilemektedir. Pirolitik yağın yoğunluğu klasik dizelin yoğunluğundan yüksektir (Alptekin 2007).

2.3.2 Viskozite

Viskozite, sıvıların akmaya karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanabilir. Dizel yakıtlarda viskozite yakıtın enjektörden yanma odasına püskürtülmesinde ve dizel yakıtın yağlanması önemli bir etkidir (Özdemir ve Mutlubaş 2019). Pirolitik yağın viskozite değeri dizele göre daha yüksek değerler verebilir. Yüksek viskozite değerlerinin sonucunda ise yüksek emisyon değerlerinde artış gözlenirken motor performansında da düşüş gözlenmektedir (Gülüm vd. 2019).

2.3.3 Kükürt İçeriği

Günümüzde emisyon yönetmelikleri, sülfür oksit emisyonunun neden olduğu asit yağmuru tehdidi nedeniyle yakıttaki sülfür miktarını katı bir şekilde kısıtlamaktadır. Bir yakıttaki kükürt içeriği, yakıtın yanması sırasında kükürt oksit emisyonlarının büyüklüğünü doğrudan etkilemektedir. Çeşitli hammaddelerden üretilen biyodizeldeki kükürt miktarını bitkisel yağlardan sentezlenen biyodizelin çok düşük kükürt içeriğine sahip olduğu gözlemlenirken buna karşın hayvansal yağdan türetilen biyodizelin yüksek bir kükürt içeriği aralığı bulunmaktadır (Sakthivela et al. 2018).

2.3.4 Su ve Tortu İçeriği

Su dizel yakıtlı motorlarda yakıt olarak kullanılan dizel veya biyodizel yakıtının içerisinde bulunması durumunda motora ciddi zararlar vermektedir. Su içeriği dizel motora zarar vermenin yanında ciddi performans sorunlarına da neden olmaktadır. Bu

sebeplerdir ki su biyodizelin içerisinde istenmeyen önemli bir zararlı maddedir. Ham halde bulunan biyodizel saflaştırılmak için su ile yıkanmaktadır. Yıkama işleminden sonra saf biyodizelin içerisinde bulunan atık tortu maddeler biyodizelin içerisinde uzaklaştırılır fakat içerisine su karışımı oluşturur. Oluşan suyu biyodizelden tamamen uzaklaştırmak için ise ayrıştırma kabında 7-8 saat bekletip su ve biyodizelin birbirinden ayrışmasını beklemek ve daha sonrasında 70-80 °C sıcaklıklarda 1 saat boyunca döner bir evaporatörde vakum altında tutarak su biyodizelden tamamen uzaklaştırılmaktadır (Okumuş ve Doğan 2019).

2.3.5 Setan Sayısı

Setan sayısı, kalitesini değerlendiren hayati bir yakıt özelliğidir. Ateşleme özelliklerinin veya başka bir deyişle, yakıtın enjekte edildikten sonra hızlı bir şekilde kendiliğinden tutuşma kabiliyetinin işaretini verir. Setan sayısı yüksek olan bir yakıt, silindire enjekte edildikten kısa bir süre sonra yanmaya başladığından daha iyi ateşleme kalitesi sağlar; bu nedenle kısa bir ateşleme gecikme süresine sahiptir. Tersine, düşük setan sayısına sahip bir yakıt otomatik ateşlemeye direnir ve daha uzun bir ateşleme gecikme süresine sahiptir. Setan sayısı, yanma, stabilite, beyaz duman, gürültü ve CO ve HC emisyonları gibi bir dizi motor performansı parametresini etkilemektedir. Sonuç olarak biyodizel, geleneksel dizel yakıttan daha yüksek bir setan sayısına sahiptir ve bu da daha yüksek yanma verimliliği sağlamaktadır (Samaraae 2017).

3. MATERYAL ve METOT

3.1 Deney Düzenegi ve Kullanılan Ekipmanlar

Piroliz işlemi gerçekleştirilen bu çalışmada sığırkuyruğu otu, öğütme makinesinde parçalandı ve boyutlandırıldı. Piroliz işlemi için ağırlıkça 100gr sığırkuyruğu otu numunesi kullanıldı. Sürükleyici gaz olarak azot gazı (N₂) kullanıldı. Yapılan deneyler 400 °C, 450 °C, 500 °C, 550 °C sıcaklıklarında, 5 °C/dak, 10 °C/dak, 15 °C/dak ısıtma hızında ve 0,5 L/dak, 1 L/dak ile 1,5 L/dak aralıklarında azot gazı akış hızında gerçekleştirilmiştir.

3.1.1 Sığırkuyruğu Otu

Sığırkuyruğu otu (*Verbascum*), iki yıllık bir bitki olup yaz aylarında sarı renkli çiçek açmaktadır. Uzunluğu 20-150 cm arasında değişiklik göstermektedir. Bitkinin gövdesinde tüylü yapraklar bulunurken uç kısmında sarı çiçekler barındırır. Uzun yıllar işlem görmemiş ve kurak toprakta gözlenirken yol kenarlarında da sıkça görülmektedir. Sığırkuyruğu otunun havadaki tozları yakalayıp hava kalitesini yükseltmesinin yanı sıra peyzaj amaçlıda kullanımı mevcuttur. Pirolitik yağ üretimi için doğadan toplanılan sığırkuyruğu otu kurutma işlemine tabii tutuldu. Kurutma işleminden sonra öğütme cihazında öğütülüp 2-4-6,3 mm'lik eleklerden elenerek ve elek üzerinde kalan öğütülmüş sığırkuyruğu otu ile birlikte 4 farklı boyutta boyutlandırıldı. Resim 3.1 de sığırkuyruğu bitkisinin doğada bulunuş şekli görülmektedir. Yabani bir tür olduğu için herhangi bir üretim maliyeti bulunmamaktadır.



Resim 3.1 Sığırkuyruğu deneyinde kullanılan sığırkuyruğu bitkisi.

3.1.2 Hassas Terazı

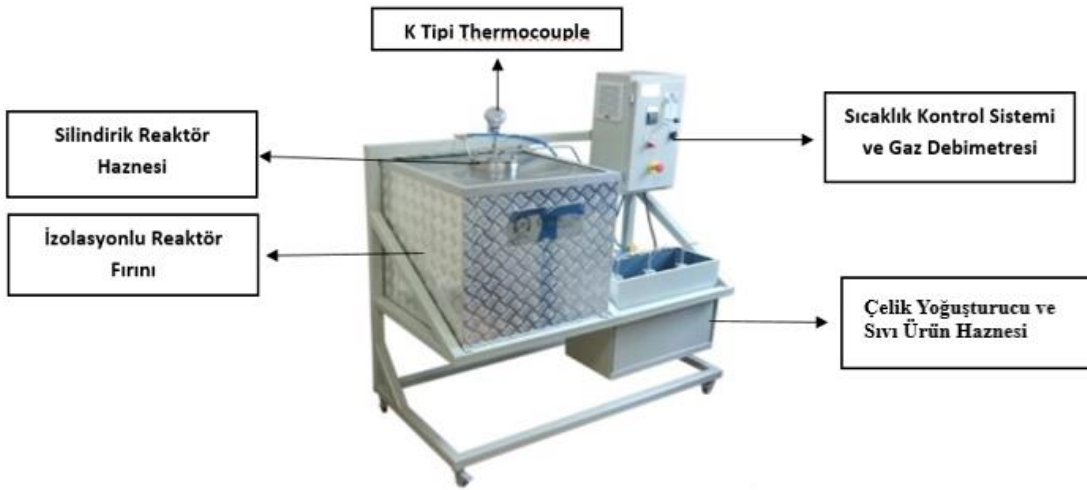
Piroliz işlemine gırecık olan ve piroliz işlemi sonrasında oluşın numunelerin hassas ölçümü için 500 gr kapasiteli ve 0,01 hassasiyete sahip terazi kullanılmıştır. Terazinin marka ve modeli SF-400C'dir. Resim 3.2 de hassas terazi görölmektedir.



Resim 3.2 Hassas terazi.

3.1.3 Piroliz Cihazı

Piroliz cihazı, oksijensiz bir reaktör içerisinde bulunan organik yapılı bileşikleri yüksek sıcaklıklarda parçalayarak katı, sıvı ve gaz ürünler oluşturan bir cihazdır. Cihazın boyutları 600x1200x1500 mm olup 1000 gr numune kapasitesine sahiptir. Piroliz sıcaklığı 100-600 °C arasında değişirken ısıtma hızı 1-15 °C/dak'dır. Piroliz işlemi sırasında oluşacak yüksek sıcaklıklardan ve çevresel faktörlerden etkilenmemesi için cihaz paslanmaz çelikten yapılmıştır. Piroliz işleminden sonra oluşan katı ürün reaktör soğuduktan sonra içinden alınır. Sıvı ürünler sıvı biriktirme haznesinde toplanırken gazlar içinde gaz trap haznesi bulunmaktadır. Piroliz cihazı Resim 3.3'te görülmektedir.



Resim 3.3 Piroliz cihazı.

3.1.4 Diklorometan

Sentetik bir çözücü kimyasal madde olan diklorometan kokusuz ve renksizdir. Deneyle sonuçunda oluşan pirolitik yağın cihaz üzerinden alınmasını sağlamaktadır. Kaynama sıcaklığı 40 °C olan diklorometanın donma sıcaklığı -91,5 °C' dir. Diklorometanın mol ağırlığı ise 84,93 g/mol olarak bilinir.

3.1.5 Ayırma Hunisi

Piroliz işlemi sonrasında katı, sıvı ve gaz fazlı yapılar oluşmaktadır. Oluşan sıvı fazlı yapının içerisinde pirolitik yağ, pirolitik yağı cihazdan ayırmak için kullanılan diklorometan ve su bulunmaktadır. Diklorometan pirolitik yağ ile homojen bir yapı oluştururken su ile heterojen bir yapı oluştururlar. Pirolitik yağ ve suyun yoğunlukları farklı olmasından dolayı ayırma hunisinde pirolitik yağ ve su birbirinden ayırmaktadır. Resim 3.4'te ayırma hunisi görülmektedir.



Resim 3.4 Ayırma hunisi.

3.1.6 Genel Amaçlı Kâğıt Filtre

Pirolitik yağın içerisinde bulunma ihtimali olan tortu ve atık maddeleri filtrelemek için kullanılmaktadır. 50x50 cm boyutunda ve 74 gr ağırlığa sahip filtre kâğıtları daha iyi bir

süzme imkânı verir. Genel amaçlı kâğıt filtre tek kullanımlıktır.

3.1.7 Evaporatör

Pirolitik yağ içerisinde bulunan diklorometanı uzaklaştırmak için evaporatör kullanılmaktadır. Heidolph markasına ait G3 modelinde evaporatör cihazı pirolitik yağın içinde bulunan diklorometanı buharlaştırarak pirolitik yağdan uzaklaştırır ve farklı bir haznede ayrıştırır. Resim 3.5’de kullanılan evaporatör görülmektedir.



Resim 3.5 Evaporatör cihazı.

3.2 Üretim Yöntemleri

Pirolitik yağ üretimini gerçekleştirmek için kullanılan sığırkuyruğu otu, Bursa ilinin Orhaneli ilçesinden temin edilmiştir. Doğadan toplanan sığırkuyruğu otu güneş altında uzun sürelerde kurutulmuştur. Pirolitik yağ üretimi için Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Otomotiv Mühendisliği Laboratuvarlarında yer alan piroliz cihazı kullanılmıştır. Pirolitik yağ üretimi için kullanılacak olan sığırkuyruğu otu öğütme makinesinde küçük parçalara bölünmüş ve üç farklı boyutta elek kullanılarak boyutlandırılmıştır. Boyutlandırılmış olan sığırkuyruğu otu deneylerde kullanılmak için 100 gr olarak tartılmış ve hazırlanmıştır. Numunenin hazırlanıp hassas terazide tartılmış

hali Resim 3.6'da yer almaktadır.



Resim 3.6 Numunenin 100gr olarak tartılması.

Sığırkuyruğu otu öğütme işleminin ardından farklı boyutlarda üç farklı elek kullanılarak boyutlandırılmıştır. Elek boyutları ile 0-2 mm, 2-4 mm ve 4-6,3 mm aralıklarda olan üç ayrı elmenin sonucunda boyutlandırma işlemi tamamlanmaktadır. Boyutlandırma işleminin sonucunda üç farklı boyutta numune elde etmiş olundu. Sığırkuyruğu otunun üretim verimi üzerinde parçacık boyutunun etkisini inceleyebilmek amacı ile üç farklı boyuttaki malzemenin hepsinden 100 gr olacak şekilde tartılarak deneyleri yapılmıştır. Optimum üretimin değerini ise 2-4 mm aralığında bulunan parçacık boyutundaki numune sağlamıştır. Resim 3.7'de 0-2 mm arasında elenmiş numune, Resim 3.8'de 2-4 mm arasında elenmiş malzeme ve Resim 3.9'da 4-6,3 mm arasında elenmiş malzemeleri görmekteyiz. Optimum üretim şartlarının belirlenmesi için parçacık boyutu belirlenen malzeme için dört farklı sıcaklık değeri uygulanmıştır. Bu sıcaklıklar 400 °C, 450 °C, 500 °C, 550 °C'dir. Her sıcaklık değeri sonucunda elde edilen katı, sıvı (yakıt), su ve gaz değerleri kaydedilip değerlendirilmiştir. Parçacık boyutu ve üretim sıcaklığının yanında

dakikadaki sıcaklık artışının sıvı verimine etkisi, dakikadaki gaz akış hızlarının sıvı verimine etkisi ve alıkonma süresinin sıvı verimine etkisi de incelenmiştir.



Resim 3.7 0-2 mm arasında elenmiş numune.



Resim 3.8 2-4 mm arasında elenmiş numune.



Resim 3.9 4-6,3 mm arasında elenmiş numune.

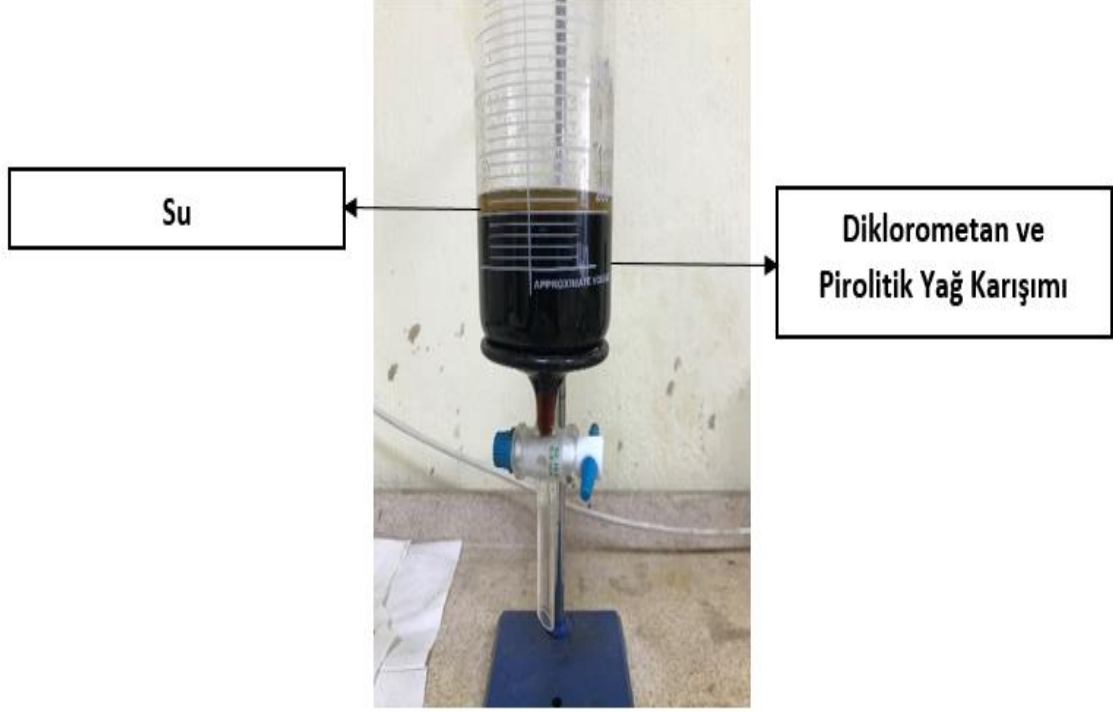
Dört sıcaklık içerisinde optimum çalışma sıcaklığının 500 °C olarak belirlenmesinin ardından sürükleyici azot gazı akışı için üç farklı akış hızı belirlenmiştir. Bunlar 0,5 L/dak, 1 L/dak ve 1,5 L/dak'dır. Üç farklı akış içerisinde optimum gaz akış hızı ise 0,5 L/dak olarak belirlenmiştir. Gaz akış hızı belirlendikten sonra sıcaklık artış oranı için üç farklı değer incelenmiştir. Bu değerler; 5 °C/dak, 10 °C/dak ve 15 °C/dak'dır. Yapılan deneyler sonucunda optimum sıcaklık artış oranı ise 10 °C/dak olarak belirlenmiştir. Son parametre olarak alıkonma süresi incelenmiştir. Alıkonma süresinin sıvı verimine olan etkisi için üç farklı değer ele alınmıştır. İstenilen sıcaklığa istenilen sıcaklık artış oranı sonrasında ulaşıldıktan sonra piroliz sıcaklığında belirli süre sabit sıcaklıkta bekletilme işlemidir. Bu süreler 0 dakika, 15 dakika ve 30 dakika şeklinde yer almaktadır. Üç farklı değer için yapılan deneyler sonucunda optimum alıkonma süresi 15 dakika olarak belirlenmiştir. Piroliz işlemi sonrasında oluşan sıgırkuyruğu otu Resim 3.10'da görülmektedir.



Resim 3.10 Piroliz işlemi sonrası sıgırkuyruğu otu.

Piroliz işleminin ardından üretilen pirolitik yağ cihazdan alınır fakat cihazda kalıntı bırakır. Bu kalıntının temizlenmesi için diklorometan kullanılır. Kimyasal çözücü olarak diklorometan kullanılmasının en büyük nedenlerinin başında düşük kaynama noktası sıcaklığı gelmektedir. Cihazdan alınan pirolitik yağın içerisinde su, pirolitik yağ ve diklorometan karışımı yer almaktadır. Karışım içerisinde yer alan diklorometan ve pirolitik yağ homojen bir yapı oluştururken su heterojen bir yapıdadır. Homojen ve

heterojen yapıyı birbirinden ayırmak için ayırma hunisi kullanılır. Resim 3.11’de ayırma işlemi mevcuttur.



Resim 3.11 Pirolitik yağ ve su karışımının ayırma işlemi.

Ayrıştırma işleminden sonra suyun ağırlığı ölçülüp kaydedilir ve diğer ürün olan diklorometan ve pirolitik yağ karışımı ise genel amaçlı kâğıt filtre ile süzülür. Süzme işleminin amacı ise pirolitik yağın içerisinde bulunan tortuların yakalanması hedeflenmektedir (Şekil 3.12).

Süzme işleminden sonra temizlenmiş halde bulunan yakıtın içerisinde bulunan diklorometan uzaklaştırılmak için evaporatöre aktarılır. Evaporatörde pirolitik yağ 50 °C sıcaklığa ulaşmış olan suyun içerisine daldırılır. Suyun içerisine daldırılan pirolitik yağ, 280 dev/dak’da 25 dakika sürede diklorometan ve pirolitik yağ birbirinden ayrılmaktadır (Resim 3.13).



Resim 3.12 Yakıtın süzülme işlemi.



Resim 3.13 Evaporatör ile diklorometanı uzaklaştırma işlemi.

Deneysel çalışmaların sonucunda elde edilen pirolitik yağın birtakım fiziksel özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Fiziksel özelliklerin belirlenmesinde Afyon Kocatepe Üniversitesi; TUAM (Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi), Afyon Kocatepe Üniversitesi Gıda mühendisliği Laboratuvarı ve Standard Laboratuvarlar İşletmeciliği A.Ş.'de gerçekleştirilmiştir. 500 °C sıcaklık, 0,5 L/dak sürükleyici azot gazı akışında ve 10 °C/dak ısıtma hızıyla üretilen pirolitik yağın analiz özellikleri ve dizelle karşılaştırılması aşağıdaki Çizelge 3.1’de görülmektedir.

Çizelge 3.1 Pirolitik yağın analiz özellikleri ve dizelle karşılaştırılması.

| Analiz | Birim | Analiz Raporu | Dizel | Analiz Metodu |
|----------------------------|----------------------|----------------------|--------------|----------------------|
| Kinematik Viskozite (40°C) | (mm ² /s) | 2,60 | 2,5-3,5 | TS 1451 EN ISO 3104 |
| Su | (mg/kg) | 3,00 | <200 | TS 6147 EN ISO 12937 |
| Yoğunluk | (g/cm ³) | 1,1358 | 0.82-0.845 | PN EN ISO 3675 |
| Kükürt | (ppm) | 0,17 | <0,05 | TS 440 ISO 351 |

4. BULGULAR

Yapılan deneysel çalışmalarda gaz akış hızı, piroliz alıkonma süresi, parçacık boyutu, sıcaklık ve ısıtma hızı gibi sınır şartları incelenmiş ve en yüksek sıvı verimi için optimum değerler belirlenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda optimum pirolitik yağ üretimi, 500 °C sıcaklık, 0,5 L/dak sürükleyici azot gazı akışında ve 10 °C/dak ısıtma hızı, 2-4 mm arası parçacık boyutu ve 15 dakika alıkonma sürende gerçekleştirilen piroliz deneylerinin sonucunda elde edilmiştir.

4.1 Gaz Akış Hızının Pirolitik Yağ Verimine Etkisi

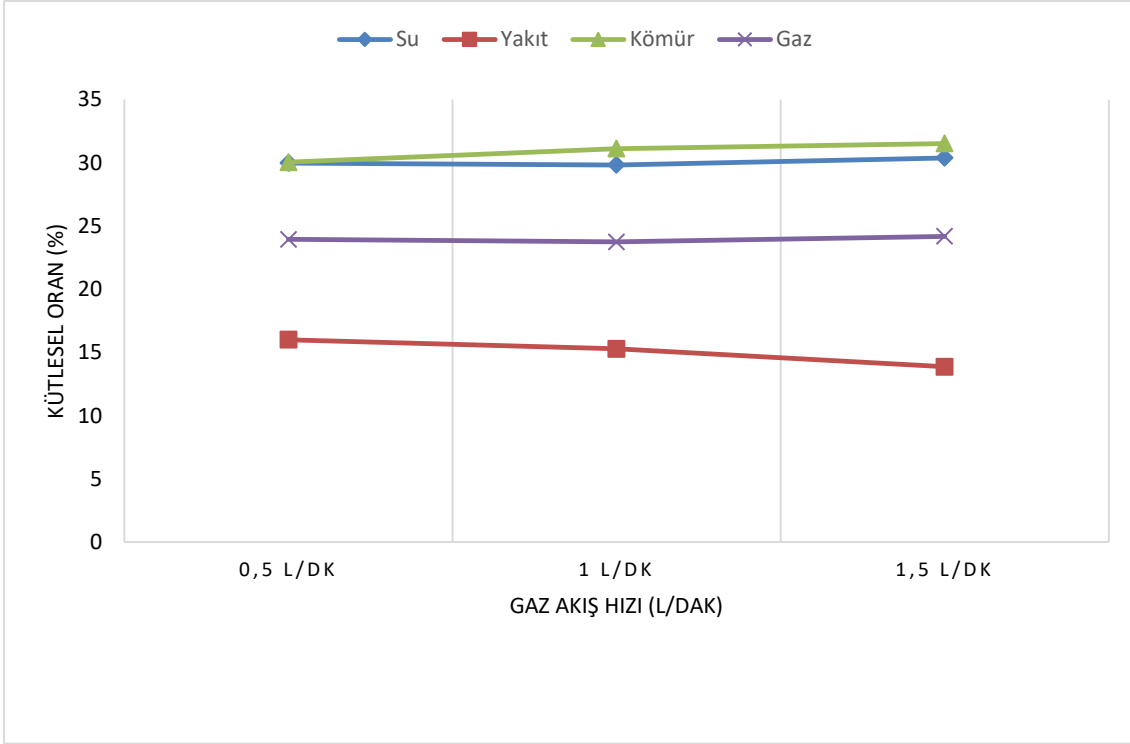
Gaz akış hızı belirlenirken ilk yapılan deneylerde sıcaklık 400 °C’de, parçacık boyutu 0-2 mm aralığında, alıkonma süresi 15 dakikada ve ısıtma hızı 10 °C/dak’da sabit tutulmuştur. Sabit tutulan değerlerin yanında gaz akış hızı 0,5 L/dak, 1 L/dak ve 1,5 L/dak olarak üç farklı değerde incelenmiştir. Piroliz deneyi sonuçları Çizelge 4.1’de yer almaktadır.

Çizelge 4.1 400°C’de gaz akış hızına bağlı olarak ürünlerinin oranı.

| Sıcaklık (°C) | Oluşan Ürünler (%) | Gaz Akış Hızı (L/dak) | | |
|---------------|--------------------|-----------------------|---------|-----------|
| | | 0,5 L/dak | 1 L/dak | 1,5 L/dak |
| 400 °C | Kömür | 30,055 | 31,135 | 31,54 |
| 400 °C | Yakıt | 16,005 | 15,285 | 13,875 |
| 400 °C | Su | 29,985 | 29,835 | 30,40 |
| 400 °C | Gaz ^x | 23,955 | 23,745 | 24,185 |

x Aralarında oluşan fark ile hesaplanmıştır.

Yapılan deneyler sonucunda gaz akış hızında yaşanan artış ile birlikte kömür oranında da artış gözlenirken gaz oranında düşüş gözlenmektedir. Su oranı ise 0,5 L/dak’dan 1 L/dak’ya geçişte azalırken, 1 L/dak’dan 1,5 L/dak’ya geçerken artış gözlenmektedir. Pirolitik yağ verimi ise gaz akış hızı artarken yakıt oranında düşüşler gözlenmektedir.



Şekil 4.1 Sürükleyici gaz akış hızının ürünlerin kütle oranına etkisi.

Şekil 4.1’de oluşan grafik eğrilerine bakıldığında gaz akış hızları (0,5 L/dak, 1 L/dak, 1,5 L/dak) incelendiğinde 400 °C sabit sıcaklıkta ve 10 °C/dak sabit ısıtma hızında en yüksek yakıt verim oranı 16,005 ile 0,5 L/dak gaz akış hızında gerçekleşmiştir. Kömür verimi 30,055, gaz verimi 23,955 ve su oranı 29,955 olarak bulunmuştur.

4.2 Alıkonma süresinin Pirolitik Yağ Verimine Etkisi

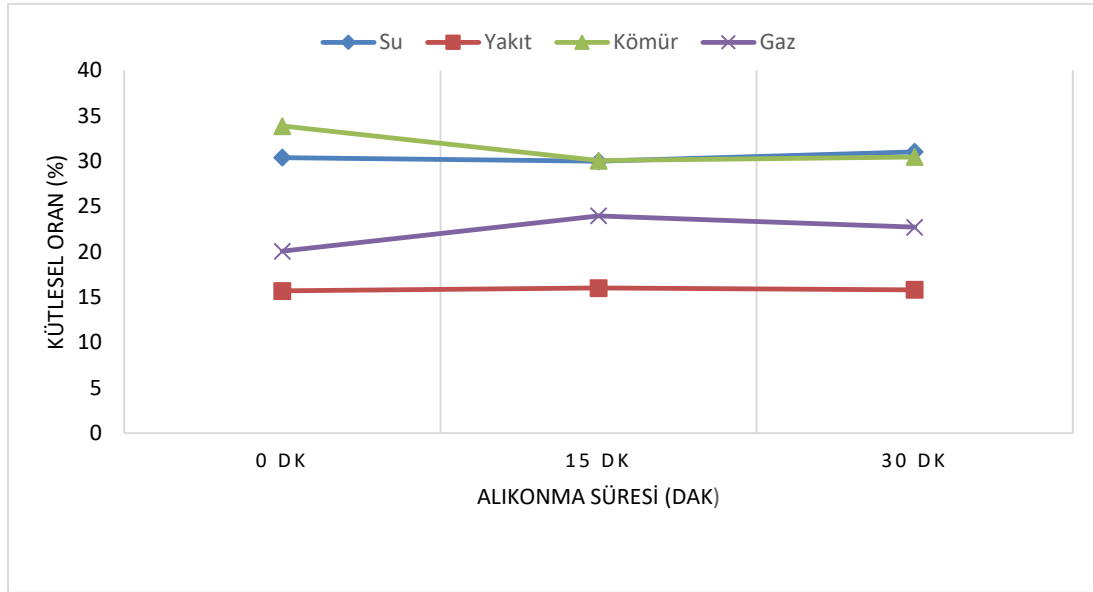
Alıkonma süresi belirlenirken ilk yapılan deneylerde sıcaklık 400 °C’de, parçacık boyutu 0-2 mm aralığında ve ısıtma hızı 10 °C/dak’da sabit tutulmuştur. Sabit tutulan değerlerin yanında gaz akış hızı 0,5 L/dak’da en verimli sıvı verimini sağladığı belirlenmiş ve diğer deneylerde de 0,5 L/dak olarak kullanılmıştır. Alıkonma süresi, piroliz sıcaklığına ulaşınca belirlenen sıcaklıkta sabit alıkonma süresidir. Bu değer belirlenme süreleri 0 dakika, 15 dakika ve 30 dakika olmak üzere üç farklı alıkonma süresi incelenmiştir. Piroliz deneyi sonuçları Çizelge 4.2’de yer almaktadır.

Çizelge 4.2 400 °C’de alıkonma süresine bağlı olarak ürünlerinin oranı.

| Sıcaklık (°C) | Oluşan Ürünler (%) | Alıkonma süresi (dak) | | |
|---------------|--------------------|-----------------------|--------|--------|
| | | 0 dak | 15 dak | 30 dak |
| 400 °C | Kömür | 33,865 | 30,055 | 30,455 |
| 400 °C | Yakıt | 15,685 | 16,055 | 15,805 |
| 400 °C | Su | 30,395 | 29,985 | 31,03 |
| 400 °C | Gaz ^x | 20,055 | 23,955 | 22,71 |

x Aralarında oluşan fark ile hesaplanmıştır.

Yapılan deneyler sonucunda alıkonma süresinde oluşan artış ile ters orantılı olarak kömür ürün oranında düşüş gözlenmektedir. Gaz ürün ve sıvı yakıt oranlarına bakılacak olur ise 0 dakikadan 15 dakikaya geçişte artarken, 15 dakikadan 30 dakikaya geçerken azalış gözlenmektedir. Son olarak su oranına baktığımızda ise 0 dakikadan 15 dakikaya geçişte azalırken, 15 dakikadan 30 dakikaya geçerken artış gözlenmiştir.



Şekil 4.2 Alıkonma süresinin ürünlerin kütle oranına etkisi.

Şekil 4.2’de oluşan grafik eğrilerine bakıldığında alıkonma süresi 0 dakika, 15 dakika ve 30 dakika olarak incelenmiştir. 400 °C sabit sıcaklıkta ve 10 °C/dak sabit ısıtma hızında ve 0,5 L/dak olarak belirlenen gaz akış hızında, en yüksek yakıt verim oranı 16,005 ile 0,5 L/dak gaz akış hızında gerçekleşmiştir. Kömür verimi 30,055, gaz verimi 23,955 ve su oranı 29,985 olarak bulunmuştur.

4.3 Parçacık Boyutunun Pirolitik Yağ Verimine Etkisi

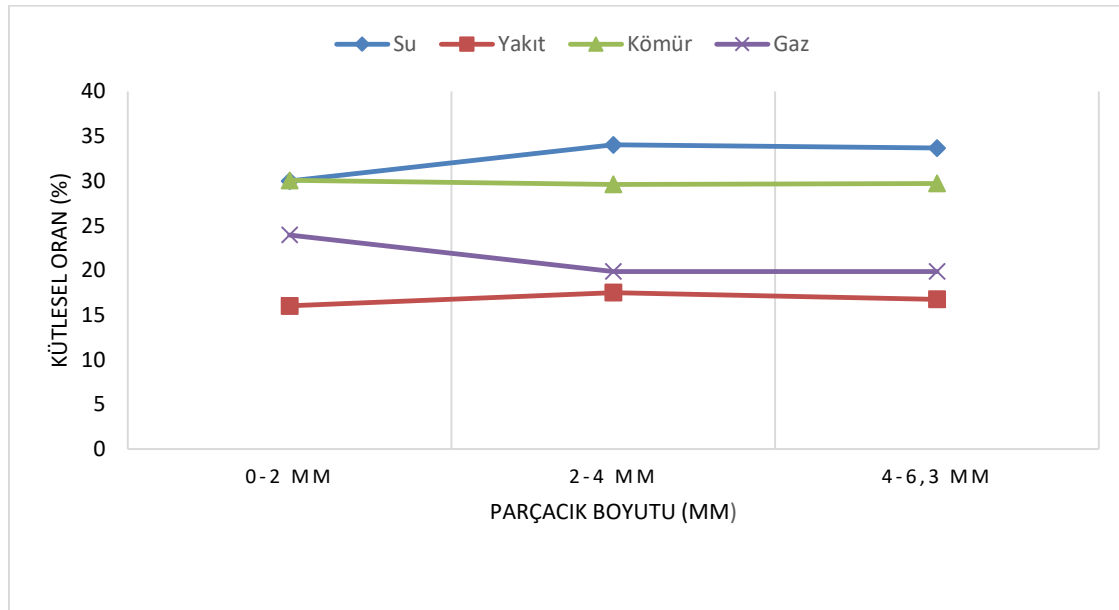
Parçacık boyutu belirlenirken ilk yapılan deneylerde sıcaklık 400 °C’de, ısıtma hızı 10°C/dak’da sabit tutulmuştur. Bunun dışında gaz akış hızı 0,5 L/dak ve alıkonma süreside 15 dakika olarak belirlenmiştir. Öğütücüde parçalanmış sığırkuyruğu otu 2, 4 ve 6,3 mm’lik eleklerden elenerek boyutlandırılmıştır. Boyutlandırma sonunda 0-2 mm, 2-4 mm ve 4-6,3 mm boyut aralıklarında üç farklı boyutta malzeme elde edildi. Parçacık boyutunun yakıt verimine olan katkısı Çizelge 4.3’te yer almaktadır.

Çizelge 4.3 400 °C’de parçacık boyutuna bağlı olarak ürünlerinin oranı.

| Sıcaklık (°C) | Oluşan Ürünler (%) | Parçacık Boyutu (mm) | | |
|---------------|--------------------|----------------------|--------|----------|
| | | 0-2 mm | 2-4 mm | 4-6,3 mm |
| 400 °C | Kömür | 30,055 | 29,605 | 29,71 |
| 400 °C | Yakıt | 16,005 | 17,50 | 16,75 |
| 400 °C | Su | 29,985 | 34,04 | 33,675 |
| 400 °C | Gaz ^x | 23,955 | 19,855 | 19,865 |

x Aralarında oluşan fark ile hesaplanmıştır.

Yapılan deneyler sonucunda parçacık boyutunda oluşan boyutsal büyüklüğün artışı ile birlikte kömür ve gaz ürünlerde 0-2 mm’den 2-4 mm’ye geçişte düşüş yaşanırken 2-4 mm’den 4-6,3 mm’ye geçişte artış gözlenmektedir. Yakıt ve su oranlarına bakıldığında ise ürünlerde 0-2 mm’den 2-4 mm’ye geçişte artış yaşanırken 2-4 mm’den 4-6,3 mm’ye geçişte azalış gözlenmiştir.



Şekil 4.3 Parçacık boyutunun ürünler üzerinde kütle oranının etkisi.

Şekil 4.3'te oluşan grafik eğrilerine bakıldığında parçacık boyutlandırılması 0-2 mm, 2-4 mm ve 4-6,3 mm olarak incelenmiştir. 400 °C sabit sıcaklıkta ve 10 °C/dak sabit ısıtma hızında ve geçmiş deneylerde belirlenen 0,5 L/dak sürükleyici gaz akış hızında ve 15 dakika alıkonma süresinde yapılan deneyler sonucunda en verimli yakıt sonucu 17,50 ile 2-4 mm arasında boyutlandırılan malzemeden elde edilmiştir. Kömür verimi 29,605, gaz verimi 19,855 ve su oranı 34,04 olarak bulunmuştur.

4.4 Sıcaklığın Pirolitik Yağ Verimine Etkisi

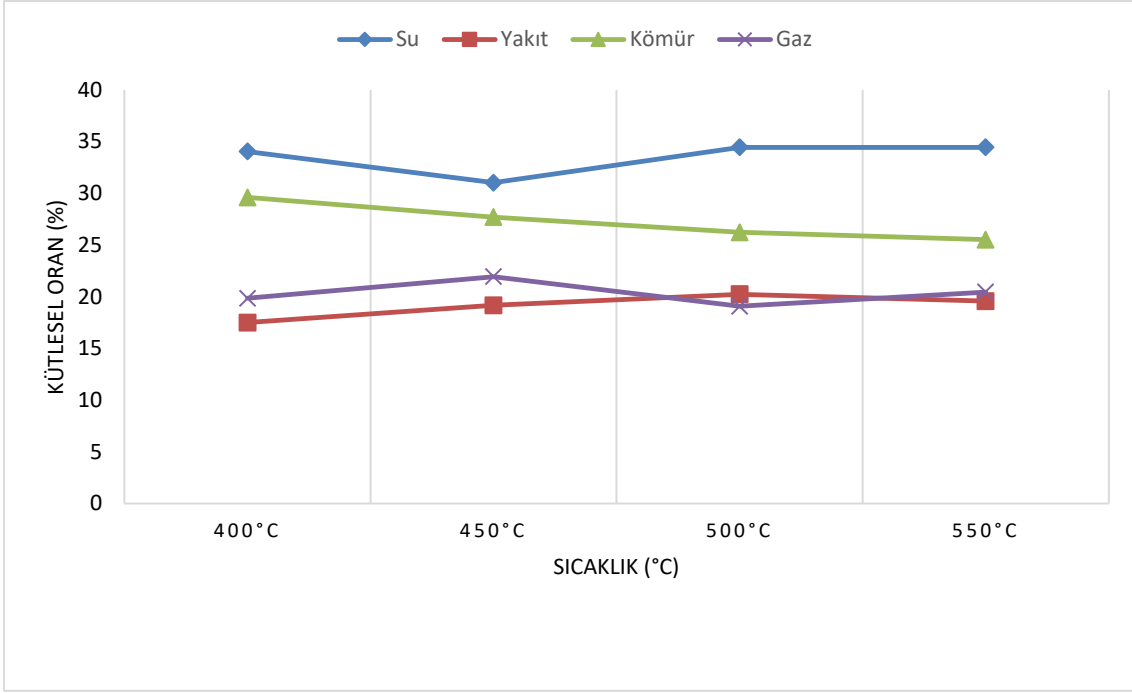
Yapılan deneyler sonucunda sıvı veriminin en yüksek olması için gaz akış hızı 0,5 L/dak, alıkonma süresi 15 dakika ve parçacık boyutu 2-4 mm arasında belirlenmiştir. Sıcaklık 400 °C'de sabit tutulmaktaydı. En verimli sıvı ürün için sıcaklık deneyleri 400 °C, 450 °C, 500 °C ve 550 °C olmak üzere dört farklı sıcaklıkta deney uygulanmıştır. Isıtma hızı 10 °C/dak sabit tutulmaktadır. Sıcaklığın yakıt verimine olan katkısı Çizelge 4.4'te yer almaktadır.

Çizelge 4.4 Sıcaklığa bağlı olarak ürünlerinin oranı.

| Sıcaklık (°C) | Oluşan Ürünler (%) | | | |
|---------------|--------------------|--------|--------|------------------|
| | Kömür | Yakıt | Su | Gaz ^x |
| 400 °C | 29,605 | 17,50 | 34,04 | 19,855 |
| 450 °C | 27,695 | 19,165 | 31,02 | 21,94 |
| 500 °C | 26,23 | 20,245 | 34,445 | 19,08 |
| 550 °C | 25,515 | 19,575 | 34,45 | 20,46 |

x Aralarında oluşan fark ile hesaplanmıştır.

Yapılan deneyler sonucunda piroliz sıcaklığındaki artışı ile birlikte kömür ürün oranında azalma gözlenmiştir. Su ve gaz oranına bakılacak olur ise sıcaklık artışı ile birlikte azalışlar ve artışlar gözlenmektedir. Yakıt oranına bakıldığında ise sıcaklığın 400 °C'den 500 °C'ye kadar artış gözlenirken 500 °C'den 550 °C'ye geçişte azalma gözlemlenmiştir.



Şekil 4.4 Sıcaklık farklarında oluşan ürünlerin kütle oranına etkisi.

Şekil 4.4'e bakıldığında sıcaklıkların etkisinin incelendiği görülmektedir. Sıcaklıklar 400 °C, 450 °C, 500 °C ve 550 °C olarak deneyler yapılmıştır. 10 °C/dak sabit ısıtma hızında ve geçmiş deneylerde belirlenen 0,5 L/dak sürükleyici gaz akış hızında, 15 dakika alıkonma süresinde ve 2-4 mm parçacık boyutunda yapılan deneyler sonucunda en verimli yakıt sonucu 20,245 ile 500 °C piroliz sıcaklığında elde edilmiştir. Kömür verimi 26,23, gaz verimi 19,08 ve su oranı 34,445 olarak bulunmuştur.

4.5 Isıtma Hızının Pirolitik Yağ Verimine Etkisi

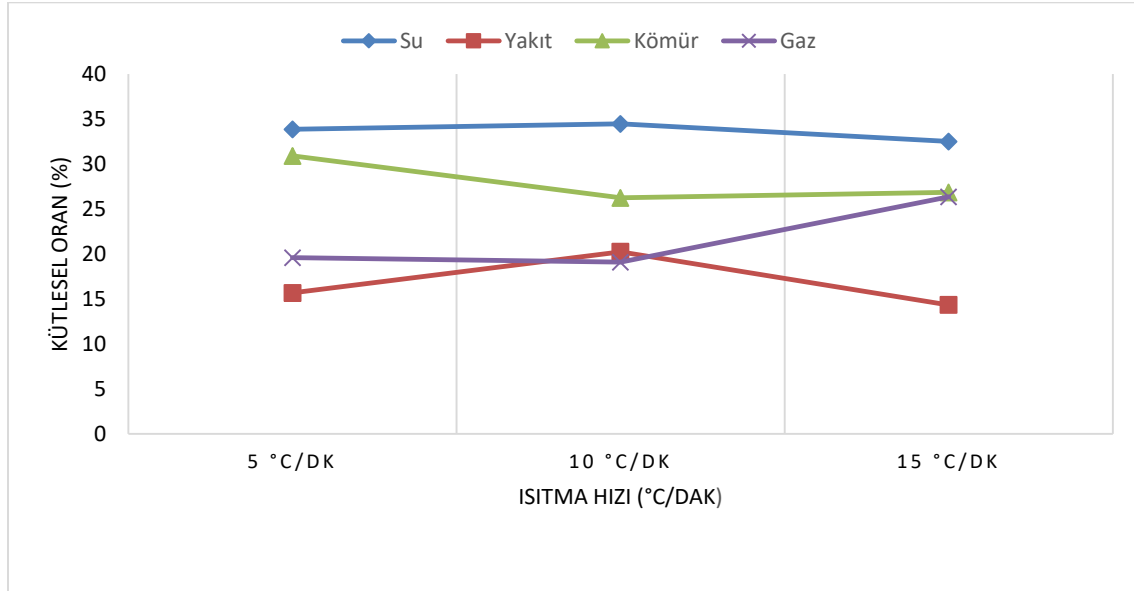
Sıvı verimini etkileyen bir diğer parametre ise ısıtma hızıdır. Yapılan deneyler için üç farklı ısıtma hızı ele alınmıştır. Bunlar, 5 °C/dak, 10 °C/dak ve 15 °C/dak'dır. Yapılan deneyler sonucunda katı, sıvı ve gaz fazları için üç farklı ısıtma hızının karşılaştırması Çizelge 4.5'te verilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda sıvı veriminin en yüksek olması için gaz akış hızı 0,5 L/dak, alıkonma süresi 15 dakika ve parçacık boyutu 2-4 mm arasında ve piroliz sıcaklığı 500 °C olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.5 Isıtma hızına bağlı olarak ürünlerinin oranı.

| Sıcaklık (°C) | Oluşan Ürünler (%) | Isıtma Hızı (°C/dak) | | |
|---------------|--------------------|----------------------|-----------|-----------|
| | | 5 °C/dak | 10 °C/dak | 15 °C/dak |
| 500 °C | Kömür | 30,89 | 26,23 | 26,835 |
| 500 °C | Yakıt | 15,665 | 20,245 | 14,34 |
| 500 °C | Su | 33,855 | 34,445 | 32,49 |
| 500 °C | Gaz ^x | 19,59 | 19,08 | 26,335 |

x Aralarında oluşan fark ile hesaplanmıştır.

Yapılan deneyler sonucunda katı formda bulunan kömür ve gaz ürünlerde 5 °C/dak'dan 10 °C/dak'ya geçişte düşüş yaşanırken 10 °C/dak'dan 15 °C/dak'ya geçişte artış yaşanmaktadır. Su ve yakıt ürünlerde ise 5 °C/dak'dan 10 °C/dak'ya geçişte artış yaşanırken 10 °C/dak'dan 15 °C/dak'ya geçişte azalış gözlemlenmiştir.



Şekil 4.5 Isıtma hızı farklarında oluşan ürünlerin kütle oranına etkisi.

Şekil 4.5'e bakıldığında ısıtma hızının etkisi incelenmiştir. Isıtma hızları 5 °C/dak, 10 °C/dak ve 15 °C/dak olmak üzere üç farklı değerde incelenmiştir. Geçmiş deneylerde belirlenen 0,5 L/dak sürükleyici gaz akış hızında, 15 dakika alıkonma süresinde, 2-4 mm parçacık boyutunda ve 500 °C sıcaklıkta yapılan deneyler sonucunda en verimli yakıt sonucu 20,245 ile 10 °C/dak ısıtma hızında elde edilmiştir. Kömür verimi 26,23, gaz verimi 19,08 ve su oranı 34,445 olarak bulunmuştur.

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışma literatürde yapılan çalışmadan farklı olarak yalnızca sığırkuyruğu otunun sapından değil, sığırkuyruğu otunun sapı, yaprağı ve çiçekleri ile birlikte kullanılmıştır. Biyokütle kaynağı olarak kullanılan sığırkuyruğu bitkisinin piroliz işlemi için beş farklı parametrede incelenmiştir. Bunlar; sürükleyici gaz akış hızı, alıkonma süresi, parçacık boyutu, piroliz sıcaklığı ve ısıtma hızıdır. Bu parametreler incelendiğinde maksimum sıvı verimi için optimizasyon çalışmaları yapılmıştır. Yapılan deneylerde, sürükleyici gaz akış hızları 0,5 L/dak, 1 L/dak ve 1,5 L/dak olarak, alıkonma süresi, 0 dakika, 15 dakika ve 30 dakika olarak, parçacık boyutu, 0-2 mm, 2-4 mm ve 4-6,3 mm olarak, piroliz sıcaklığı, 400 °C, 450 °C, 500 °C ve 550 °C olarak ve ısıtma hızı, 5 °C/dak, 10 °C/dak ve 15 °C/dak olarak incelenmiş ve deneyleri yapılmıştır.

Boyutlandırma işleminde elek aralıkları; 0-2 mm, 2-4 mm ve 4-6,3 mm yerine birbirine daha yakın tutularak boyutlandırılırsa; 0-1 mm, 1-2 mm 2-3 mm 3-4 mm gibi, daha farklı sonuçlar elde edilebilir.

Isıtma hızı, 5 °C/dak, 10 °C/dak ve 15 °C/dak'nın üzerine çıkılarak 20 °C/dak gibi bir ısıtma hızı ile yapılırsa daha farklı sonuçlar elde edilebilir.

Piroliz sıcaklığı, 400 °C, 450 °C, 500 °C ve 550 °C'de sınırlandırılmayıp ara sıcaklık değerleri verilerek veya daha yüksek sıcaklıklar ile yapılırsa daha farklı sonuçlar elde edilebilir.

Alıkonma süresi, 0 dakika, 15 dakika ve 30 dakika olarak sabit almayıp, 7,5 dakika ve 22,5 dakika gibi ara değerler verilerek tekrarlanmış olursa daha farklı sonuçlar elde edilebilir.

Sürükleyici gaz akış hızları 0,5 L/dak, 1 L/dak ve 1,5 L/dak olarak sabit tutulmayıp 0,75 L/dak ve 1,25 L/dak gibi ara değerler verilerek tekrarlanmış olursa daha farklı sonuçlar elde edilebilir.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda en iyi optimum pirolitik yağ verimi için sürükleyici azot gazı akış hızı 0,5 L/dak, alıkonma süresi 15 dakika, parçacık boyutu 2-4 mm, piroliz sıcaklığı 500 °C ve ısıtma hızı 10 °C/dak olarak belirlenmiştir. Yapılan deney sonucunda en iyi pirolitik yağ değeri ağırlıkça %20,245 olarak belirlenmiştir. Bu parametrelerdeki kömür oranı ağırlıkça %26,23 ve gaz oranı ağırlıkça %19,08 olarak belirlenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalarda en ideal sıcaklık 500 °C de gerçekleşmiştir. 500 °C de sığırkuyruğu otu tam yanma gerçekleştirmektedir.

En verimsiz pirolitik yağ değeri için parametreler azot gazı akış hızı 1,5 L/dak, alıkonma süresi 15 dakika, parçacık boyutu 0-2 mm, piroliz sıcaklığı 400 °C ve ısıtma hızı 10 °C/dak olarak belirlenmiştir. Deneyler sonucunda en verimsiz sıvı ağırlıkça %13,875 olarak belirlenmiştir. Bunun yanında kömür oranı ağırlıkça %31,54 ve gaz oranı ağırlıkça %24,185 olarak belirlenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalarda yanma işleminin en uygunsuz olduğu sıcaklık 400 °C'dir. Bu sıcaklıkta sığırkuyruğu otu tam yanma sağlayamaz.

Sığırkuyruğundan elde edilen pirolitik yağa yapılan analiz çalışmaları sonucunda 40 °C için kinematik viskozite değeri 2,60 mm²/s, su oranı 3,00 mg/kg, yoğunluk değeri 1,1358 ve kükürt oranı 0,17 ppm olarak bulunmuştur. Su oranının yüksek çıkmasının nedeni olarak suyu uzaklaştırma işleminin yetersiz olduğu gözlemlenmiştir. Pirolitik yağ içerisindeki fazla su oranından kaynaklı olarak 40 °C için kinematik viskozite değeri dizele yakın bir kinematik viskozite değeri vermiştir.

Elde edilen pirolitik yağın taşıtlarda kullanılabilirliğini incelemek için analiz işlemleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan analiz işlemleri sonucunda pirolitik yağın değerlerinin dizele yakın olduğu düşünülmektedir. Pirolitik yakıtın yoğunluğunun yüksek olması dizel motorda ciddi sorunlara yol açabilir, motor momentinde ve gücünde düşüşler yaşanabilir.

6. KAYNAKLAR

- Açık M, 2019, Turunçgil Atıklarından Piroliz Yöntemi İle 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.
- Akpınar E, 2005, Nehir Tipi Santrallerin Türkiye'nin Hidroelektrik Üretimindeki Yeri, Erzincan Eğitim Fakültesi Dergisi, 7, 1-25.
- Al-Samarae R, 2017, Perspective Of Safflower (Carthamus Tinctorius) As A Potential Biodiesel Feedstock In Turkey: Characterization, Engine Performance And Emissions Analyses Of Butanol-Biodiesel-Diesel Blends, Erciyes University, Graduate School Of Natural And Applied Sciences, MSc Thesis, 117s, Kayseri.
- Alper E C, 2019, Türkiye'nin Jeotermal Enerji Potansiyeli ve Ekonomik Analizi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 125s, Bursa.
- Alptekin E, 2007, Biyodizel İle Dizel Yakıtlarının Harmanlanmasında Yakıt Özelliklerinin Belirlenmesi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 124s, Kocaeli.
- Aracı F, 2013, Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Termal Enerji Kaynaklarından Yararlanma, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 189s, İstanbul.
- Aslantaş A, 2018, Dünyada ve Türkiye'de Biyokütle Enerjisinin Kullanımı ve Potansiyeli, KTO Karatay Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 114s, Konya.

- Ay A, 2010, Energy Sources And Investment Project Assessment: A Case Study About Wind Energy In Turkey, Bahçeşehir University, The Institute Of Social Sciences, Master's Thesis, 156s, İstanbul.
- Aydemir M O, 2010, Critical Evaluation Of The Energy Resources Of Turkey With Respect To The World Prospects, Middle East Technical University, The Graduate School Of Natural And Applied Sciences, master's thesis, 138s, Ankara.
- Aysal F E, Aksoy F, Şahin A, Aksoy L, Yıldırım H, 2014, Hardal Yağından Biyodizel Üretimini Optimizasyonu ve Motor Performans Testleri, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 14, 1-9.
- Aysu T, Durak H, 2016, Pyrolysis of giant mullein (*Verbascum thapsus* L.) in a fixed-bed reactor: Effects of pyrolysis parameters on product yields and character, Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 38, 661-669.
- Ayyıldız M, 2014, Hızlı Piroliz Yöntemi ile Biyokütleden Elde Edilen Sıvı Ürünlerin Kimyasal Ekserjilerinin Hesaplanması, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 114s, Trabzon.
- Calam A, 2019, Atık Kızartma Yağı Biyodizeliyle Çalışan Direkt Enjeksiyonlu Bir Dizel Motorun Yanma Performans ve Emisyon Özellikleri, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 22, 97-106.
- Çildir O, Çanakçı M, 2006, Çeşitli Bitkisel Yağlardan Biyodizel Üretiminde Katalizör ve Alkol Miktarlarının Yakıt Özellikleri Üzerine Etkisinin İncelenmesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 21, 367-372.
- Çoştu R, 2019, Pirolyze Edilmiş Lastik Yağı ve Katkı Maddesi Kullanılarak Elde Edilen Yakıtın Tek Silindirli Dizel Motor Performans ve Emisyonlara Etkisi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 111s, Karabük.
- Doğan S, 2017, Kamışın (*Phragmites australis*) Pirolyzi ve Pirolyz Ürünlerinin Değerlendirilebilirliğinin Araştırılması, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 147s, Afyonkarahisar.

- Dyjakon A, Noszczyk T, 2020, Alternative Fuels from Forestry Biomass Residue: Torrefaction Process of Horse Chestnuts, Oak Acorns, and Spruce Cones, Institute of Agricultural Engineering, Wroclaw University of Environmental and Life Sciences, 13, doi:10.3390/en13102468.
- Emir Z, 2014, İncir Yaprağının Hızlı Pirolyzi ve Ürün Verimini Etkileyen Faktörler, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 106s, Trabzon.
- Ertaş M, 2010, Bazı Atık Biyokütlelerin Yavaş Pirolyzi ve Pirolyz Ürünlerinin Karakterizasyonu, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 213s, Kahramanmaraş.
- Gülüm M, Bilgin A, Çakmak A, 2019, Düşük Viskoziteli Atık Kızartma Yağı Etil Esteri Üretimi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 26, 674-682.
- Gümürlügil E A, 2016, Taş Kömürü ve Biyokütlenin Katalitik Birlikte Pirolyzi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 117s, Bilecik.
- İnalı M, 2020, The Process of Converting Solar Power to Electricity Using Solar Cells and Improving Productivity of Photovoltaic Solar Power Systems Via Solar Cells, Gaziantep University, Graduate School Of Natural Applied Sciences, M.Sc. Thesis, 70s, Gaziantep.
- Kar T, 2012, Kestane Kupulasının Hızlı Pirolyzi ve Sıvı Ürünlerin Karakterizasyonu, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 149s, Trabzon.
- Kar Y, 2018, Catalytic Cracking of Pyrolytic Oil by Using Bentonite Clay for Green Liquid Hydrocarbon Fuels Production, Biomass and Bioenergy, 119, 473-479.
- Kara B, 2012, Çay Çalısı ve Orman Gülünün Hızlı Pirolyzi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 129s, Trabzon.
- Karaaslan S, 2019, İşlenmiş Deri Atıklarının Pirolyzi İle Biyoyakıt Eldesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 91s, Afyonkarahisar.

- Karaosmanoğlu F, 2006, Biyoyakıt Teknolojisi ve İTÜ Araştırmaları, İTÜ Enerji alıştayı ve Sergisi Bildiriler ve Sunumlar, evrimii erişim tarihi 18.01.2017, 110-146.
- Karayılmazlar S, Saraçođlu N, abuk Y, Kurt R, 2011, Biyokütlenin Türkiye’de Enerji Üretiminde Değerlendirilmesi, Bartın Orman Fakóltesi Dergisi, 13, 63-75.
- Kaygusuz Ö, 2020, Hızlı Piroliz Yöntemi İle Orman Atıklarının Pirolizi, Giresun Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 104s, Giresun.
- Kazaz O, 2018, Biomass Energy Potential Of Turkey, Çukurova University, Institute of Natural And Applied, Sciences MSc. Thesis, 172s, Adana.
- Koç M, 2011, Biyodizel Üretimine Uygun Türkiye’de Yetiřen ve Yetiřebilecek Bitkilerin ve Biyodizel Teknolojilerinin Belirlenmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 247s, İstanbul.
- Koç M, 2019, İğde ekirdeđinin Piroliz Kinetiđinin Termogravimetrik Analiz ile İncelenmesi, Yalova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 99s, Yalova.
- Kutlu N M, 2010, Göynük Bitümlü şistin Polipropilen ve Katalizör Varlığında Pirolizi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 81s, Ankara.
- Lebe F, 2012, Türkiye’de Enerji Piyasası ve Enerji Talebi: Elektrik Doğal Gaz Enerjisi İçin Ekonometrik Bir Uygulama, Atatürk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi, 297s, Erzurum.
- Mahmod M A, 2020, Kabarcıklı Akışkan Yatak Reaktörde Fındık Kabuđunun Katalitik Pirolizi ve Ürünlerin Karakterizasyonu, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Lisans Üstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 78s, Samsun.
- Malika A, Jacques N, Jaafar E F, Fatima B, Mohammed A, 2016, Pyrolysis investigation of food wastes by TG-MS-DSC technique, Biomass Conv. Bioref, 6, 161-172.
- Namal C, 2018, Organik Atıkların Hızlı Pirolizi İle Biyoyağ Üretilmesi, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 55s, Antalya.

- Okumuş Z Ç, Doğan T H, 2019, Biyodizeldeki Suyun Reçine ile Uzaklaştırılması: Adsorpsiyon İzotermi, Kinetiği ve Termodinamik İncelemesi, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 15, 561-570.
- Özdemir Z Ö, Mutlubaş H, 2019, Heterojen Katalizör Tasarımlı Biyodizel Üretimi, Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 9, 2157-2165.
- Özen F, 2014, Kömür ve Atık Pamuk Yağının Birlikte Pirolyzi İle Elde Edilen Sıvı Yakıtın Dizel Motorlarda Kullanılabilirliği, Batman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 84s, Batman.
- Öztürk Tophanecioğlu S, 2009, Tarımsal Atıklardan Hızlı Pirolyz Yöntemiyle Sentetik Sıvı Yakıt Eldesinde Pirolyz Parametrelerinin Etkisi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 131s, Eskişehir.
- Pekin M A, 2006, Ulaştırma Sektöründen Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonları, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 113s, İstanbul.
- 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.
- Sarıoğlu N, 2007, Mısır Saplarının Hızlı ve Katalitik Pirolyzi İle Ürünlerinin Karakterizasyonu, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 99s, Eskişehir.
- Sözen E, Gündür G, Aydemir D, Güngör E, 2017, Biyokütle Kullanımının Enerji, Çevre, Sağlık ve Ekonomi Açısından Değerlendirilmesi, Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 19, 148-160.
- Şekerci T, 2012, Sarmaşık Ağacının Hızlı Pirolyzi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 88s, Trabzon.
- Tiftik B E, 2006, Çay Fabrikası Atığının Pirolyzi ve Pirolyz Ürünlerinin İncelenmesi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 137s, Ankara.
- Tuncer T, 2012, Konutlarda Enerji Verimliliği ve Derece Gün Bölgelerine Göre Farklı Malzemelerde Optimum Yalıtım Kalınlığının Tespiti, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 136s, İzmir.

- Yaşar B, 2018, Hurma Çekirdeklerinden Ani ve Hızlı Piroliz Yöntemiyle Değerli Ürünlere Dönüştürülmesi, Eskişehir Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek, Lisans Tezi, 112s, Eskişehir.
- Yazar N, 2019, Piroliz Yöntemi İle Ceviz Kabuğundan Yakıt Üretiminin Optimizasyonu, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 72s, Afyonkarahisar.
- Yıldırım H H, 2019, Yenilenebilir Enerji Yatırımlarındaki Teşviklerin Yatırım Performansları Üzerine Etkisi, Finans Ekonomi ve Sosyal Araştırmalar Dergisi, 4, 330-345.
- Yolcu A, 2019, Biyokütle Olarak Tatlı Sorgum Bitkisi Kullanan 5MW Elektrik Kapasiteli Biyokütle Santralinin İncelenmesi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 54s, Isparta.
- Zeray C, 2010, Renewabla Energy Sources, University Of Çukurova, Institute Of Natural And Applied Science, MSc Thesis, 130s, Adana.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mehmet DURAK
Doğum Yeri ve Tarihi : Orhaneli / 02.08.1995
Yabancı Dili : İngilizce
İletişim (Telefon / e-posta) : 0533 657 61 43 / mehmetdurak95@hotmail.com

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise :Orhaneli Lisesi, (2009-2013)
Lisans :Afyon Kocatepe Üniversitesi, Otomotiv
Mühendisliği, (2015-2019)
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü,
Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı (2019-2021)