



**TURUNÇGİL ATIKLARINDAN PİROLİZ  
YÖNTEMİ İLE PİROLİTİK YAĞ ÜRETİMİNİN  
OPTİMİZASYONU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Mehmet AÇIK**

**Danışman**

**Prof. Dr. İbrahim MUTLU**

**OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Aralık 2019**

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**TURUNÇGİL ATIKLARINDAN PİROLİZ YÖNTEMİ İLE  
PİROLİTİK YAĞ ÜRETİMİNİN OPTİMİZASYONU**

**Mehmet AÇIK**

**Danışman**

**Prof. Dr. İbrahim MUTLU**

**OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Aralık 2019**

### TEZ ONAY SAYFASI

Mehmet AÇIK tarafından hazırlanan “Turunçgil atıklarından piroliz yöntemi ile pirolitik yağ üretiminin optimizasyonu” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 30/12/2019 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                                                                                |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Başkan</b> | : Doc. Dr. Ahmet KESKİN<br>Abant İzzet Baysal Üniversitesi Bolu M. Y.O .....            |  |
| <b>Üye</b>    | : Prof. Dr. İbrahim MUTLU<br>Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Fakültesi .....      |  |
| <b>Üye</b>    | : Dr. Öğr. Üyesi İbrahim YAVUZ<br>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 çalışmasında;

- 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.

30/12/2019

  
Mehmet AÇIK

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### TURUNÇGİL ATIKLARINDAN PİROLİZ YÖNTEMİ İLE PİROLİTİK YAĞ ÜRETİMİNİN OPTİMİZASYONU

Mehmet AÇIK

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Prof. Dr. İbrahim MUTLU

Günümüzde gelişen teknolojinin gereği olarak enerji tüketimi her geçen gün artmaktadır. Dolayısıyla alternatif enerji kaynaklarına yönelik çalışmalar hız kazanmıştır. Bu bağlamda tarımsal atık olan turunc çekirdeği enerji kaynağı olarak değerlendirilmiştir.

Bu çalışmada turuncgil atığı turunc çekirdeğinden piroliz yöntemi kullanılarak pirolitik yağ elde etmek amaçlanmıştır. Turuncgil çekirdeği turunc bitkisi içerisinde el ile çıkarılmıştır. Pirolitik yağ üretiminde optimizasyon sağlamak için bir dizi deney yapılmıştır. Bu çerçevede optimum üretim sıcaklığı, itici gaz debisi ve dakikada ki ısıtma hızı değiştirilerek sıvı, katı ve gaz faz olmak üzere üç farklı ürün elde edilmiştir. Turunc çekirdeğinden elde edilen pirolitik yağın optimum üretim şartları; üretim sıcaklığı 550°C, ısıtma hızı 5°C/dk ve itici gaz debisi 0,5 L/dk olarak tespit edilmiştir. Ayrıca üretilen pirolitik yağın fiziksel özelliklerini belirlemek için analizler yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre yoğunluk 1,0050 g/cm<sup>3</sup>, kinematik viskozite 6,548 mm<sup>2</sup>/s, su oranı 0,193 mg/kg ve kükürt oranı 0,19 olarak bulunmuştur. Bulunan bu değerler geleneksel dizel ile karşılaştırılmıştır.

**2019, ix + 37 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Alternatif Enerji Kaynağı, Turunc Çekirdeği, Piroliz, Bioyağ.

## **ABSTRACT**

M.Sc. Thesis

### **OPTIMIZATION OF PYROLYTIC OIL PRODUCTION BY PYROLYSIS METHOD FROM BITTER ORANGE WASTES**

Mehmet AÇIK

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Automotive Engineering

**Supervisor:** Prof. İbrahim MUTLU

Today, as a requirement of developing technology, energy consumption is increasing day by day. Therefore, studies on alternative energy sources gained momentum. In this context, the bitter orange waste, which is an agricultural waste, is considered as an energy source.

In this study, it was aimed to obtain pyrolytic oil from bitter orange seeds which is bitter waste by using pyrolysis method. The bitter orange seeds were extracted from the bitter orange plant by hand. A series of experiments have been carried out to optimize the production of pyrolytic oil. In this context, by changing the optimum production temperature, propellant flow rate and heating rate per minute, three different products were obtained: liquid, solid and gas phases. The optimum production conditions of the pyrolytic oil obtained from the bitter orange seed were determined as production temperature of 550°C, heating speed 5°C/min and propellant flow rate of 0.5 L/min. In addition, analyzes were performed to determine the physical properties of the pyrolytic oil produced. According to the analysis results, density was 1.0050 g/cm<sup>3</sup>, kinematic viscosity was 6.548 mm<sup>2</sup>/s, water content was 0.193 mg/kg and sulfur content was 0.19. These values were compared with conventional diesel.

**2019, ix + 37 pages**

**Keywords:** Alternative Energy Source, Pyrolysis, Bio-oil, Bitter Orange Seed.

## TEŞEKKÜR

Yaptığım çalışmalarım boyunca tecrübesini, bilgisini ve samimiyetini eksik etmeyen değerli danışmanım Prof. Dr. İbrahim MUTLU'ya teşekkür ederim. Bilgilerinden faydalandığım ve birçok konuda yardım eden değerli arkadaşım Yüksek Otomotiv Mühendisi Mehmet KUNT ve Öğr. Gör. Muhammed ARSLAN'a teşekkür ederim. Tezimin her aşamasında hiçbir yardımını esirgemeyen sevgili Öğr. Gör. Furkan AKBULUT'a ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi hiçbir imkân ve yardımlarını eksik etmeyen aileme sonsuz saygı, sevgi ve teşekkürlerimi sunarım.

Mehmet AÇIK

Afyonkarahisar, 2019

## İÇİNDEKİLER DİZİNİ

|                                                   | Sayfa |
|---------------------------------------------------|-------|
| ÖZET .....                                        | i     |
| ABSTRACT .....                                    | iii   |
| TEŞEKKÜR .....                                    | iv    |
| İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....                           | v     |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....              | vii   |
| ŞEKİLLER DİZİNİ .....                             | viii  |
| ÇİZELGELER DİZİNİ.....                            | ix    |
| RESİMLER DİZİNİ .....                             | x     |
| 1. GİRİŞ.....                                     | 1     |
| 2. LİTERATÜR BİLGİLERİ .....                      | 3     |
| 2.1 Literatür Örnekleri .....                     | 3     |
| 2.2 Enerji Kaynakları .....                       | 8     |
| 2.2 Biyokütle Enerjisi.....                       | 10    |
| 2.2.1 Piroliz .....                               | 10    |
| 2.2.2 Pirolitik Yağın Özellikleri .....           | 12    |
| 2.2.2.1 Yoğunluk .....                            | 12    |
| 2.2.2.2 Viskozite .....                           | 12    |
| 2.2.2.3 Kükürt İçeriği.....                       | 13    |
| 2.2.2.4 Su ve Tortu İçeriği .....                 | 13    |
| 2.2.2.5 Setan Sayısı.....                         | 13    |
| 3. MATERYAL ve METOT .....                        | 14    |
| 3.1 Deney Düzeneği ve Kullanılan Ekipmanlar ..... | 14    |
| 3.1.1 Turunç Çekirdeği.....                       | 14    |
| 3.1.2 Hassas Terazî.....                          | 15    |
| 3.1.3 Genel Amaçlı Kâğıt Filtre .....             | 16    |
| 3.1.4 Piroliz Cihazı.....                         | 16    |
| 3.1.5 Diklorometan (metilen klorür) .....         | 17    |
| 3.1.6 Silindirik Ayırma Hunisi .....              | 18    |
| 3.1.7 Evaporatör .....                            | 18    |
| 3.2 Üretim Yöntemi .....                          | 19    |



|                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.3 Optimizasyon Şartları .....                                                 | 22 |
| 4.BULGULAR .....                                                                | 23 |
| 4.1 Sıcaklığın Etkisi .....                                                     | 23 |
| 4.2 İtici Gazın Etkisi .....                                                    | 24 |
| 4.3 Isıtma Hızının Etkisi .....                                                 | 27 |
| 4.4 Turunç Çekirdeğinden Elde Edilen Pirolitik Yağın Fiziksel Özellikleri ..... | 29 |
| 4.4.1 Yoğunluk .....                                                            | 30 |
| 4.4.2 Kinematik Viskozite .....                                                 | 30 |
| 4.4.3 Su Oranı .....                                                            | 30 |
| 4.4.4 Kükürt Oranı .....                                                        | 30 |
| 5. TARTIŞMA ve SONUÇ .....                                                      | 31 |
| 6. KAYNAKLAR .....                                                              | 32 |
| ÖZGEÇMİŞ .....                                                                  | 37 |

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

|                                |                   |
|--------------------------------|-------------------|
| N <sub>2</sub>                 | Azot              |
| NO <sub>x</sub>                | Azot Oksit        |
| NO                             | Azot Monoksit     |
| C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> | Bütan             |
| °C                             | Derece (Sıcaklık) |
| C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>  | Etan              |
| H                              | Hidrojen          |
| HC                             | Hidrokarbon       |
| CO                             | Karbonmonoksit    |
| CO <sub>2</sub>                | Karbondioksit     |
| mL                             | Mililitre         |
| m/s                            | Metre/ saniye     |
| mm                             | Milimetre         |
| m <sup>3</sup>                 | Metreküp          |
| CH <sub>4</sub>                | Metan Gazı        |
| C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>  | Propan            |
| cm <sup>3</sup>                | Santimetreküp     |
| H <sub>2</sub> O               | Su                |
| T                              | Sıcaklık          |
| Kg                             | Kilogram          |

### Kısaltmalar

|     |                 |
|-----|-----------------|
| BSU | Bosh Smoke Unit |
| DEE | Dietil Eter     |
| Ppm | Milyonda Bir    |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|                                                                           | Sayfa |
|---------------------------------------------------------------------------|-------|
| Şekil 4.1 İtici gaz 0,5 L/dk, ısıtma hızı 5°C/dk. ....                    | 23    |
| Şekil 4.2 İtici Gaz 0,5 L/dk, ısıtma hızı 10°C/dk. ....                   | 24    |
| Şekil 4.3 Isıtma hızı 5°C/dk ve farklı gaz akışlarında sıvı verimi. ....  | 25    |
| Şekil 4.4 Isıtma hızı 10°C/dk ve farklı gaz akışlarında sıvı verimi. .... | 25    |
| Şekil 4.5 Isıtma hızı 5°C/dk ve farklı gaz akışlarında gaz verimi. ....   | 26    |
| Şekil 4.6 Isıtma hızı 10°C/dk ve farklı gaz akışlarında gaz verimi. ....  | 27    |
| Şekil 4.7 Farklı ısıtma hızlarında sıvı verimi gaz akışı 0,5 L/dk. ....   | 28    |
| Şekil 4.8 Farklı ısıtma hızlarında sıvı verimi gaz akışı 1 L/dk. ....     | 28    |
| Şekil 4.9 Farklı ısıtma hızlarında sıvı verimi gaz akışı 1,5 L/dk. ....   | 29    |

## ÇİZELGELER DİZİNİ

|                                                                                | Sayfa |
|--------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Çizelge 2.1 Enerji kaynakları. ....                                            | 9     |
| Çizelge 2.2 Biyokütleden enerji elde etme yöntemleri. ....                     | 10    |
| Çizelge 4.1 Turunç çekirdeği pirolitik yağının fiziksel analiz sonuçları. .... | 29    |



## RESİMLER DİZİNİ

|                                                                            | Sayfa |
|----------------------------------------------------------------------------|-------|
| <b>Resim 3.1</b> Turunç ve deneylerde kullanılan turunç çekirdekleri. .... | 15    |
| <b>Resim 3.2</b> Hassas terazi.....                                        | 15    |
| <b>Resim 3.3</b> Genel amaçlı kâğıt filtre.....                            | 16    |
| <b>Resim 3.4</b> Piroliz cihazı. ....                                      | 16    |
| <b>Resim 3.5</b> Diklorometan. ....                                        | 17    |
| <b>Resim 3.6</b> Silindirik ayırma hunisi. ....                            | 18    |
| <b>Resim 3.7</b> Eveporatör.....                                           | 18    |
| <b>Resim 3.8</b> Numunenin tartılması. ....                                | 19    |
| <b>Resim 3.9</b> Biyoyağ filtreleme işlemi.....                            | 20    |
| <b>Resim 3.10</b> Biyoyağı sudan ayrıştırma işlemi.....                    | 20    |
| <b>Resim 3.11</b> Biyoyağı diklorometandan ayırma işlemi.....              | 21    |
| <b>Resim 3.12</b> Deney sonundaki katı ve sıvı ürün.....                   | 21    |

## 1. GİRİŞ

Dünya nüfusunun hızlı bir şekilde artması nedeniyle enerjiye olan talep giderek artmaktadır. Dünya, endüstriyel ve bireysel ihtiyaçları karşılamak için büyük ölçüde petrol ürünlerine güvenmektedir. Sanayi devriminden önce, enerji ihtiyacı doğal kaynaklardan ve orman ürünlerinden elde edilmekteydi. 1860 yılında ham petrolün keşfedilmesiyle, dünya petrol bazlı yakıtlara dayanan, sürdürülebilir olmayan enerji tüketim modeline yönelmiştir. Son 10 yılda küresel enerji üretimi %150 artış göstermiş, bu da yaklaşık olarak 13,7 milyar ton petrole eşittir. Bununla birlikte kimya ve enerji sektörlerindeki temel enerji ihtiyacının %80'i fosil yakıtlardan karşılanmaktadır (Choi *et al.* 2018). Bu durum, fosil yakıtların tükenmesi ve çevresel bozunma konusunda insanların bilinçlenmesiyle bir araya geldiğinde, gelecekteki enerji arzının yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanması gerektiğini göstermektedir (Sharma and Sheth 2015, Guedes *et al.* 2018). Ayrıca fosil yakıtların kullanımı atmosferik kirlenmeye neden olmaktadır. Bunlara örnek olarak küresel ısınma ve asit yağmurları gösterilebilir. Enerji talebindeki bu hızlı artış ve çevre kirliliği göz önüne alındığında, enerji ihtiyacının rüzgâr, güneş, su, biyokütle vs. gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanması kaçınılmaz görünmektedir (Goyal *et al.* 2008).

Son yıllarda dizel motor kullanımının hızlı bir şekilde düşmesine rağmen, özellikle ağır hizmet tipi ve endüstriyel araçlar söz konusu olduğunda, dizel motorun uzun yıllar boyunca kullanılacağı fikri doğmaktadır. İklim değişikliği, küresel ısınmayla ilgili çevresel ve sağlık endişeleriyle birleştiğinde, alternatif yakıt kaynaklarına geçmenin gerekli olduğu kanısına varılmaktadır (Mikulski *et al.* 2019).

Biyokütle dünya üzerinde yaşayan bütün canlılara verilen genel bir isimdir. Bunlar üzerinde güneş enerjisinin depolandığı maddelerdir. Biyokütle kaynakları genel olarak odun ve odun atıkları, tarımsal ürünler ve bunların atık yan ürünleri, belediye katı atıkları, hayvan atıkları, su bitkileri ve algler bulunur (Goyal *et al.* 2008). Biyokütle; termokimyasal işlemlerle ısı, güç, motor yakıtı, kimyasal maddeler ve biyomalzemeler gibi katma değeri yüksek ürünlere dönüştürülmektedir (Kar 2018, Bridgwater 2003).

Biyokütlenin enerji kaynağı olarak kullanılmasının temel sebepleri; biyokütlenin daha düşük maliyetle elde edilmesi ve dönüşüm veriminin artırılmasıyla ilgili teknolojinin gelişmesidir (Guedes *et al.* 2018). Bu kapsamda yaygın olarak kullanılan dönüşüm yöntemleri yanma, gazlaştırma ve pirolizdir (Kar 2018, Guedes *et al.* 2018)

Günümüzde, özellikle piroliz yöntemi bu süreçler içerisinde yüksek dönüşüm verimliliği, kolay uygulanabilirliği, düşük maliyet vb. gibi avantajlardan dolayı oldukça cazip hale gelmiştir (Grioui *et al.* 2014). Piroliz, oksijenin yokluğunda meydana gelen termal ayrışmadır. Termal ayrışması sonucunda pirolitik yağ, char(katı) ve pirolitik gazdan oluşan üç ana ürün meydana gelmektedir. Piroliz işleminde çeşitli farklılıklar yapılarak üretilen ürün ve miktarı değiştirilebilir. Örneğin düşük sıcaklık ve uzun ısıtma oranında char ürün miktarı artar. Yüksek sıcaklık ve uzun kalma süresinde biyokütlenin gaza dönüşümü artar. Orta sıcaklık ve kısa ısıtma oranında pirolitik yağ üretmek için en uygun değerlerdir. Pirolitik yağ üretimi çeşitli parametrelere bağlıdır. Bunlar hammadde seçimi (biyokütle tipi, partikül büyüklüğü), reaksiyon koşulları (piroliz sıcaklığı, basınç, ısıtma hızı, ısıtma oranı), reaksiyon konfigürasyonları ve prosesleri vb. gibi değişiklikler içerir. (Bridgwater 2003, Kan *et al.* 2016, Kar 2018). Bu farklılıklar ile beraber biyokütle boyutunda değişikliklerde yapılabilmektedir. Günümüzde birçok farklı piroliz çalışması yapılmıştır. Bu çalışmalar limon kabuğundan biyodizel üretimi (Lopresto *et al.* 2014), *Citrullus colocynthis* L. Meyvesi yağından yakıt üretimi (Alloune *et al.* 2018) ve portakal kabuğundan biyodizel üretimi (Bull and Obunwo 2014) gibi uygulamaları yapılmıştır.

Bu çalışmada literatürden farklı olarak, ekonomik değeri olmayan turunçgil atıkları içerisindeki turunç çekirdeğinden piroliz yöntemi ile pirolitik yağ elde edilmesi amaçlanmıştır. Elde edilen bu yağ diğer literatür bilgileriyle desteklenmiş ve alternatif bir yakıt olabileceği tartışılmıştır.

## 2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

### 2.1 Literatür Örnekleri

Purushothaman ve Nagarajan (2009), saf portakal yağı, optimum portakal yağı-dizel yakıtı karışımı ve portakal yağı ile optimum dietil eter debisinin bir dizel motorunun performansı ve egzoz emisyonlarına etkilerini araştırmışlardır. Tek silindirli dizel motoru %100 portakal yağı (B100), 36 mg/s portakal yağlı dietil eter (DEE) ve %30 portakal yağı %70 dizel yakıtı karışımı (B30) ile çalıştırılmış ve yanma, motor performansı ve egzoz emisyonları dizel yakıtı ile karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçlara göre, DEE kullanımı ile dizel yakıtı ve B30 yakıtına göre daha yüksek pik silindir basıncı ve pik ısı dağılım hızı elde edilmiştir. Ayrıca fren termal verimi DEE ve B30 yakıtı ile dizel yakıtına göre sırasıyla %3 ve %1,2 artış göstermiştir. Ek olarak, NO<sub>x</sub> emisyonlarının dizel yakıtına göre DEE kullanımı ile daha düşük; B30 kullanımı ile daha yüksek olduğu görülmüştür. Tam yükte, CO emisyonları dizel yakıtına göre DEE kullanımı ile %76 artarken; B30 kullanımı ile %7,6 azalmıştır. HC emisyonları, dizel yakıtına göre DEE kullanımı ile artış gösterirken; B30 karışımı ile azalmıştır. Ayrıca duman emisyonları dizel yakıtına göre DEE ve B30 yakıtı kullanımı ile azalmıştır (Purushothaman and Nagarajan 2009a).

Purushothaman ve Nagarajan (2009), portakal yağının motor performansı, yanma ve egzoz emisyonlarına etkisini araştırmak için bir dizel motorunda test etmişlerdir. Deneyler tek silindirli, hava soğutmalı, direkt enjeksiyonlu bir motorda 1500 dev/dk sabit motor hızında gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçlarına göre, portakal yağı ve dizel yakıtının maksimum silindir basıncı sırasıyla üst ölü noktadan 9 derece sonra 80 bar ve üst ölü noktadan 4,5 derece sonra 71 bar olarak ölçülmüştür. Portakal yağının ısı dağılımı yaklaşık 52 J/krank açısı iken dizel yakıtının ısı dağılımı 39 J/krank açısı olarak belirlenmiştir. Portakal yağı ve dizel yakıtı için pik silindir basıncı sırasıyla 80 bar ve 71 bar olarak ölçülmüştür. Fren özgül yakıt tüketimi portakal yağı ve dizel yakıtı için sırasıyla düşük yükte 21,7 MJ/kWh ve 24 MJ/kWh iken; tam yükte 11,3 MJ/kWh ve 12,7 MJ/kWh olarak belirlenmiştir. Buna ek olarak, motorun düşük yükten tam yüke doğru yüklenmesiyle CO emisyonları dizel yakıtı ile 2,7 g/kWh'tan 0,87 g/kWh'a düşerken; portakal yağı ile 2,29 g/kWh'tan 0,59 g/kWh'ta düşmüştür. Benzer şekilde HC



emisyonları dizel yakıtı ile 0,21 g/kWh'tan 0,06 g/kWh'ta düşerken; portakal yağı ile 0,09 g/kWh'tan 0,02 g/kWh'ta düşmüştür. Ancak is emisyonları dizel yakıtı ile 0,26 BSU'dan 0,85 BSU'ya çıkarken; portakal yağı ile 0,05 BSU'dan 0,8 BSU'ya çıkmıştır. NO<sub>x</sub> emisyonları da dizel yakıtı ile 12,6 g/kWh'tan 14,9 g/kWh'ta yükselirken; portakal yağı ile 20,81 gr/kWh'tan 16,73 gr/kWh'ta düşmüştür (Purushothaman and Nagarajan 2009b).

Rashid vd. (2013), mandalina tohumlarından çıkardıkları yağdan biyodizel üretmişler ve özelliklerini incelemişlerdir. Biyodizeli alkol olarak metanol ve katalizör olarak sodyum metoksit kullanarak transesterifikasyon metodu ile üretmişlerdir. Yakıt özellikleri olarak şu değerleri elde etmişlerdir: setan sayısı 57,6, bulut, akma ve soğuk filtre tıkama noktaları 10,8 ve 8,2°C, kinematik viskozite 4,17 mm<sup>2</sup>/s<sup>-1</sup> (40°C'de), oksidatif stabilite 2,69 saat, parlama noktası 164°C, kükürt içeriği %0,019, kül içeriği %0,018, yoğunluk 882 kg/m<sup>3</sup> ve asit değeri 0,34 mg KOH/g. Ürettikleri biyodizelin ASTM D6751 ve EN 14214 standartlarına uygun olduğu görülmüştür (Rashid *et al.* 2013).

Hariharan vd. (2014), deniz limon yağını dizel yakıtı ile farklı oranlarda harmanlayarak (%25, %50 ve %75) bir dizel motorunda test etmişler ve motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkilerini incelemişlerdir. Deney motoru, tek silindirli, direkt enjeksiyonlu, 16,5:1 sıkıştırma oranına sahip, su soğutmalı, 3,68 kW gücüne sahip bir motordur ve 1500 dev/dk sabit motor hızında çalıştırılmıştır. Deneysel sonuçlara göre, fren özgül yakıt tüketimi deniz limon yağı karışımları kullanımı ile dizel yakıtına göre %7-%16 artmıştır. Tam yükte HC emisyonları, dizel yakıtına göre saf deniz limon yağı kullanımı ile %25 artarken; %25 deniz limon yağı-dizel karışımı yakıtı kullanımı ile %21 azalmıştır. Tüm karışım yakıtları ile dizel yakıtına göre daha yüksek CO emisyonları elde edilmiştir (Tam yükte saf deniz limon yağı ile %54 daha yüksek). Buna karşın NO<sub>x</sub> emisyonları, tüm karışım yakıtları ile dizel yakıtına göre azalmıştır. Ayrıca tam yükte is emisyonları saf deniz limon yağı kullanımı ile dizel yakıtına göre %20 artış göstermiştir (Hariharan *et al.* 2014).

Bull ve Obunwo (2014), Nijerya'da atık olarak kabul edilen portakal kabuklarından transesterifikasyon metodu ile n-hekzan kullanarak biyodizel üretmişlerdir. Transesterifikasyon, 1:3 etanol mol oranında ve katalizör olarak NaOH kullanılarak 80-

83°C sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir. Üretimde analiz edilen parametreler şu şekilde belirlenmiştir: Viskozite 2,1 mm<sup>2</sup>/s, yoğunluk 825 kg/m<sup>3</sup>, potasyum 4 ppm, sodyum 7 ppm, kalsiyum 3 ppm, magnezyum 3 ppm, fosfor 8 ppm. Elde edilen bu değerlerin ASTM standartları ile büyük ölçüde uyum sağladığı görülmüştür (Bull and Obunwo 2014).

Tüccar vd. (2014), şeker portakalından elde edilen biyodizelin dizel motorlarına uygun olup olmadığını görmek için biyodizel üretmişler ve yakıt özelliklerini incelemişlerdir. Buna ek olarak ürettikleri biyodizeli geleneksel dizel yakıtı ile farklı oranlarda (hacimce %5, %10 ve %20 biyodizel olarak) harmanlayarak biyodizelin motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkilerini araştırmışlardır. Üretim sonucunda şeker portakalı biyodizelinin EN 14214 standartlarına uygun olduğu; ancak setan sayısının düşük olduğu görülmüştür. Bu yüzden saf biyodizeli kullanmak yerine geleneksel dizel yakıtı ile harmanlayarak bu sorunun önüne geçmişlerdir. Motor deneyi sonuçlarına göre, B20 yakıtı kullanımı ile fren gücü ve motor torku dizel yakıtına göre sırasıyla %12 ve %12,3 azalmıştır. Ayrıca biyodizelin içeriğinde ki fazla oksijenden dolayı harmanlanmış yakıtların kullanımı dizel yakıtına göre CO emisyonları azalmış; NO<sub>x</sub> emisyonu artmıştır (Tüccar *et al.* 2014).

Lopresto vd. (2014), limon kabuğu yağının ana bileşeni olan ve birçok endüstride kullanılan D-limonen ekstraksiyonunu optimize etmek amacıyla geleneksel olmayan bir çözücü üzerinde çalışmışlar ve sonuçları Soxhlet ekstraksiyonu ile karşılaştırmışlardır. Bunun için hekzanı yüksek basınç ve sıcaklıkta çözücü olarak kullanmışlar ve ekstraksiyon zamanı, sıcaklık-basınç ve matrix/çözücü molar oranının D-limonen verimi üzerindeki etkilerini üç aşamalı bir tasarıma uygulanan istatistiksel bir yaklaşımla analiz etmişlerdir. En yüksek verime 1:15 matrix/çözücü molar oranında, 150°C sıcaklıkta ve 30 dk reaksiyon süresinde ulaşmışlardır (%3,56). Bununla birlikte YYM (Yüzey yanıt metodolojisi) kullanılarak deneysel sonuçları ikinci dereceden bir denkleme yerleştirmişlerdir. Sonuçlara göre limon kabuklarından yüksek basınç-yüksek sıcaklık altında gerçekleştirilen ekstraksiyonun düşük matrix/çözücü oranına rağmen (1:4) enerji korunumu (0,6 kW/h'e karşılık 2,5 kW/h), ekstraksiyon süresi (30 dk'ya karşılık 4 saat) ve üretim verimi (%2,97'ye karşılık %0,95) açısından Soxhlet ekstraksiyonundan daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür (Lopresto *et al.* 2014).

Joshi vd. (2015), tatlı portakaldan asit konsantrasyonu, kalma süresi ve substrat konsantrasyonunun buhar patlama metodu değişkenlerini optimize ederek biyo yakıt üretmişlerdir. Sırasıyla *Saccharomyces cerevisiae* NCIM 3495 mayası ve *Clostridium acetobutylicum* NCIM 2877 bakterisi kullanılarak biyo etanol ve biyo bütanol elde etmişlerdir. Optimize edilen parametreler şu şekildedir; %1 asit konsantrasyonu, 10 dk kalma süresi ve %15 (ağırlık/hacim) substrat konsantrasyonu. Portakal kabuğu hidrolizati ortamında optimize edilmiş 24 saat inkübasyon süresinde, %20 inokülom boyutunda ve 48 saat fermentasyon süresinde biyo etanol verimi 4,1 gr/100 mL olarak elde edilmiştir. Bununla birlikte besin takviyesi olmadan substrat olarak portakal kabuğu atıkları ile 19,5 gr/L verime ulaşmışlardır (Joshi *et al.* 2015).

Taghizadeh-Alisaraei vd. (2017), İran'da ki yetersiz narenciye işleme endüstrisi nedeniyle üretilen atıkların biyoyakıt üretimi için enerji potansiyelini incelemişlerdir. 2014 yılında narenciye ekim alanı 2,59 milyon hektar ve narenciye üretimi 4.320.041 ton'dur. Bu üretimin 682.987 tonu atıklardan oluşmaktadır. Araştırma sonuçlarına göre narenciye atıklarından üretilebilecek etanol ve biyogazın sırasıyla 26,98 milyon litre ve 37,08 m<sup>3</sup> olduğu tahmin edilmektedir. Bununla birlikte 93.277–179.283 ton aralığında biyoyağ üretim kapasitesine sahiptir (Taghizadeh-Alisaraei *et al.* 2017).

Alloune vd. (2018), kabakgiller ailesinden olan ve yenilmeyen *Citrullus colocynthis* L. meyvesinin yağından transesterifikasyon metodu ile B100 ve B30 yakıtlarını üretmişler ve bu yakıtların motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisini incelemişlerdir. Transesterifikasyon, 1 saatte, 60°C reaksiyon sıcaklığında, 6:1 molar metanol oranında ve katalizör olarak %1 NaOH kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Üretilen biyodizelin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin dizel yakıtı ile hemen hemen aynı görülmüştür. Bununla birlikte hava soğutmalı, tek silindirli dizel motoru dizel, B100 ve B30 olmak üzere üç farklı yakıtla 1500 dev/dk motor hızında ve %25 ve %100 olmak üzere farklı yüklerde çalıştırılmıştır. Deneysel sonuçlara göre B100 ve B30 benzer yanma özellikleri göstermiştir. Düşük motor yüklerinde B30 yakıtı diğer yakıtlara göre daha yüksek ısı dağılım oranı ve silindir basıncı pik değerlerine sahipken; yüksek yüklerde B100 yakıtı diğer yakıtlara göre daha yüksek silindir basıncı pik değerine sahiptir, özellikle dizel yakıtına göre ısı dağılım oranı ciddi şekilde fazladır. Buna ek olarak B30 ve B100

yakıtları, dizel yakıtına göre tüm yüklerde daha yüksek fren özgül yakıt tüketimine sahiptir. B100 yakıtının termal verimi diğer yakıtlara göre daha yüksek çıkarken, tüm yüklerde HC emisyonlarında dizel yakıtına göre B100 kullanımı ile %50, B30 kullanımı ile %20 azalma görülmüştür. Benzer şekilde NO<sub>x</sub> ve partikül madde emisyonlarında da biyodizel kullanımı ile azalma görülmüştür (Alloune *et al.* 2018).

Amit ve Ghosh (2019), maliyeti yüksek olan alg biyokütle üretimi için turunçgillerden kinnow tohumu ile mandıra atık suyu, kanalizasyon atık suyu ve damıtılmış su ile olmak üzere üç farklı yetiştirme ortamı oluşturmuşlardır. Kanalizasyon atık suyu ile yetiştirilen kinnow'un yağ asidi metil esteri profili mitistik asit (%0,53), pentadekanoik asit (%1,47) palmitik asit (%26), oleik asit (%28), linoleik asit (%18), ve büyük yağ asitleri olarak eikosanoik asit (%18,5) içermektedir. Ayrıca kanalizasyon atık suyu ile yetiştirilen kinnow'dan elde edilen biyodizelin fiziksel özellikleri kabul edilebilir ve EN12414 ile ASTM6751 aralığındadır (Amit and Ghosh 2019).

Guil-Laynez vd. (2019), içinde aurantifolia turunçgilinin de bulunduğu 71 meyvenin tohumları çıkarılarak bu bitkilerden elde edilecek yağların fiziksel ve kimyasal özelliklerini araştırmışlardır. Sabunlaşma numarası, iyot değeri, setan sayısı, daha yüksek ısıtma değeri, soğuk filtre tıkama noktası, yoğunluk, indüksiyon süresi ve kinematik viskozite gibi parametreleri göz önüne alarak aurantifolia turunçgili de dahil olmak üzere 27 meyvenin biyodizel üretiminde en kısıtlayıcı standartlara uygun olduğunu tespit etmişlerdir (Guil-Laynez *et al.* 2019).

Veronica vd. (2019), biyodizel üretimi için şeker portakalının yapısını incelemişlerdir. Şeker portakalı tohumunun yağını (özünü) 66°C sıcaklıkta çözücü olarak n-hekzan ve Soxhlet ekstraksiyon yöntemi kullanarak elde edilmiş; 60°C sıcaklıkta ve 60 dakika'da transesterifikasyon metodu ile biyodizele dönüştürülmüştür. Analiz edilen yağın verimi %34 olarak, biyodizelin verimi ise %76,93 hesaplanmıştır. Biyodizelin ölçülen fizikokimyasal özellikleri sırasıyla şu şekildedir: Özgül ağırlık (30°C'de) 900 kg/m<sup>3</sup>, kinematik viskozite (40°C'de) 3,79 mm<sup>2</sup>/s, parlama noktası 190°C, akma noktası -6°C, bulutlanma noktası -2°C, asit değeri 0,1 mgKOH/g, iyot değeri 119,05, nem ve kül içeriği %0,1, ısı değeri 35.471 kJ/kg, kükürt içeriği 0,001, ilk-son kaynama noktası 200-203°C,

kalsiyum 18 mg/kg, magnezyum 1,64 mg/kg, potasyum 4,33 mg/kg, sodyum 0,09 mg/kg ve fosfor 0,11 mg/kg. Üretilen biyodizelin ASTM 6751 ve EN 14214 standartlarına uygun olduğu görülmüştür (Veronica *et al.* 2019).

Dhivagar vd. (2019), limon ve limon otu yağından transesterifikasyon metodu ile biyodizel üretmişler ve geleneksel dizel yakıtı ile farklı oranlarda harmanlayarak (L10, L20 ve L30) elde edilen yakıtların motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkilerini araştırmışlardır. Limon ve limon otu yağından elde ettikleri saf biyodizelin bazı fiziksel özellikleri şu şekildedir: Kinematik viskozite 52,4, özgül yer çekimi 0,94, parlama noktası 94°C, alevlenme noktası 100°C, ısı değeri 41.400 kJ/kg ve yoğunluk 0,89 kg/m<sup>3</sup>. Deney motoru tek silindirli, su soğutmalı ve 3,5 kW gücünde bir dizel motoru olup 1500 dev/dk sabit motor hızında test edilmiştir. Yapılan deneylere göre, maksimum fren termal verimi ve mekanik verim L20 yakıtı kullanımı ile dizel yakıtına göre hafifçe artmış ve sırasıyla %26,12 ve %47,59 olarak elde edilmiştir. HC emisyonları L20 yakıtı ile dizel yakıtına göre %5 azalmış; CO emisyonları değişim göstermemiş ve CO<sub>2</sub> emisyonları %6 azalmıştır. Buna karşın NO<sub>x</sub> emisyonları %26 artış göstermiştir (Dhivagar *et al.* 2019).

Cruz vd. (2020), küresel olarak bol miktarda üretilen ancak buna rağmen fazla bilinmeyen narenciye mumunun kimyasal ve fiziksel özelliklerini araştırmışlardır. Kalitatif/kantitatif analiz narenciye mumunda, flavonoidler, saponinler, karbonhidratlar, doymamış bileşikler, fenolik hidroksiller ve uzun zincirli yağ asidi esterleri arasında değişen farklı bileşiklerin var olduğunu ortaya koymuştur. Özleri genellikle etanol ile çıkarıldığından, narenciye mumlarında 5,5 dehidrodiferül asit, 3,7-dimetil-niketin, 5,6 dihidroksi 7,8 tetrametoksiflaon, tangeretin ve limonen gibi farklı biyoaktiflerin var olduğu görülmüştür. Yüksek miktarda uzun zincirli yağ asidi esterleri içeren yıkanmış narenciye mumu elde etmişlerdir. Bu durum ise narenciye mumunun biyodizel üretiminde kullanılabileceğini göstermiştir (Cruz *et al.* 2020).

## **2.2 Enerji Kaynakları**

Enerji ülkenin maddi gücünün ve ekonomik kalkınmasının en önemli unsurlarından biridir. Enerji kaynağı doğada ham olarak bulunabilir, ihtiyaç durumunda bir diğerine

dönüştürülebilir. Herhangi bir dönüşüme uğramamış enerjiye, birincil enerji denilmektedir. Birincil enerji kaynakları yer altında ve yer üstünde organik şekilde bulunmaktadır. Bu kaynaklar yenilenemez enerji kaynağı olarak sınıflandırılır ve dünya enerjisinin %77'sini oluştur (Yaşar 2018).

Enerjinin birçok çeşidi vardır. Fizik derslerinden bilinen potansiyel enerji ve kinetik enerjinin yanında güneş enerjisi, ısı enerjisi, nükleer enerji, elektrik enerjisi gibi birçok enerji sınıflandırılabilir. Bu enerji çeşitleri kendi aralarında, bir diğerine dönüştürülebilir. Kullanılan enerji kaynağı ağırlıklı olarak birincil enerji kaynağıdır. 2016 yılında ki veriler dünya üzerinde kullanılan birincil enerji kaynaklarının petrol (%32,9), doğal gaz (%23,9), kömür (%29,2) kullanılmaktadır. Diğer kaynaklar yenilenebilen kaynaklardan üretilmiştir (Alayont 2019).

**Çizelge 2.1** Enerji kaynakları.

| <b>Yenilenebilir Enerji Kaynakları</b> | <b>Yenilenemeyen Enerji Kaynakları</b> |
|----------------------------------------|----------------------------------------|
| Rüzgâr enerjisi                        | Petrol                                 |
| Jeotermal enerjisi                     | Doğalgaz                               |
| Hidroelektrik enerjisi                 | Kömür                                  |
| Dalga enerjisi                         | Nükleer enerji                         |
| Biokütle enerjisi                      | Fosfatlı kayaçlar                      |

Günümüzde petrol kökenli yakıtların azalması ve yakıtların çevreye verdiği zarar neticesinde, yenilenebilir enerji kaynaklarına talep artmaktadır. Çağımızda teknoloji ve malzemelerin gelişmesiyle yenilenebilir enerji kaynakları çeşitlenebilmekte ve bununla beraber düşük maliyetli de olabilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynağı temiz güvenilir ve kesintisizdir (Alayont 2019). Çizelge 2.1’de görüldüğü gibi birçok yenilenebilir enerji kaynağı mevcuttur. Ancak konumuz gereği biyokütle enerjisi üzerinde odaklanılmıştır.

## 2.2 Biyokütle Enerjisi

Biyokütle yaşayan organizmalardan üretilen madde anlamındadır. Bitkilerden ve hayvanlardan üretilen bu maddeler doğaldır. Bununla birlikte bitkilerden ve hayvansal gıdalardan elde edilen enerjiye ise biyokütle enerjisi denilmektedir (Ürün ve Soyu 2016). Biyokütle üretimi çoğunlukla odun ve odun atıklarından (%64), kentsel katı atıklardan (%24), tarımsal atıklardan (%6) ve atık gazlardan (%6) üretilir.

Biyokütle; termal, biyolojik ve fiziksel proseslerle hidrojen, etanol, metanol veya metan gibi çeşitli enerji kaynaklarına çok çeşitli tekniklerle dönüştürülebilir. Biyogaz teknolojisi, biyokütle gazlaştırılması ve piroliz ile sıvı ve gaz yakıt formları elde edilebilir (Üçgül ve Akgül 2010).

**Çizelge 2.2** Biyokütleden enerji elde etme yöntemleri.

| <b>Fiziksel Prosesler</b> | <b>Biyolojik ve Kimyasal Prosesler</b> | <b>Termokimyasal Prosesler</b> |
|---------------------------|----------------------------------------|--------------------------------|
| Öğütme                    | Biyogaz                                | Yakma                          |
| Kurutma                   | Bioetanol                              | Piroliz                        |
| Pelletleme ve Birikitleme | Biyodizel                              | Gazlaştırma                    |
|                           |                                        | Sıvılaştırma                   |

Çizelge 2.2’de biyokütleden enerji elde etme yöntemlerinin prosesleri gösterilmiştir. Sunulan çalışmada piroliz yöntemi kullanılmıştır.

### 2.2.1 Piroliz

Piroliz, oksijensiz ortamda biyokütleyle ısı verilerek, biyokütlenin moleküllerini parçalayıp gaz fazına döndürme işlemidir (Üçgül ve Akgül 2010). Bu parçalanma sırasında maddenin bağlarında kopmalar yaşanmaktadır. Bağların kopması sırasında maddede seri tepkimeler sonucunda üç farklı faza dönüşmektedir bunlar; katı faz (kül), sıvı (biyoyakıt-pirolitik yağ), gaz fazdır (Doğan 2017). Piroliz teknolojisi, atık tarımsal biyokütlelerin pirolitik yağ gibi katma değeri yüksek ürünlere dönüştürmek için umut verici bir yaklaşım sunmaktadır. Piroliz teknolojisinde kullanılan biyokütlenin kârlılığı

ekonomik analizle doğrulanmıştır (Zhu *et al.* 2019). Biyokütlenin sıvı fazı kısmına pirolitik yağ denilmektedir. Elde edilen bu sıvı direk olarak motorlarda kullanmak uygun değildir. Elde edilen pirolitik yağın genellikle viskozitesi dizel yakıtı göre yüksek olduğundan petrol naftası gibi işlemler uygulanır. Biyoyağın kalori değeri, aynı miktardaki biyokütleden çok daha fazladır (Üçgül ve Akgül 2010). Piroliz sonucunda oluşan gaz üründe büyük oranda CO, CO<sub>2</sub> ve metan gazı (CH<sub>4</sub>) bulunmaktadır. Bunların yanında propan (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>) ve propilen (C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>), hidrojen (H), bütan (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>) ve etan (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>) içermektedir (Altunbaş 2015). Termokimyasal dönüştürme yöntemleri; yanma, piroliz, gazlaştırma ve sıvılaştırma olmak üzere dört sınıfa ayrılır. Piroliz yönteminde en çok kullanılan iki yöntem bulunmaktadır. Bunlar yavaş piroliz ve hızlı piroliz'dir. İkisi birbirine benzemekle birlikte farklılıklarda bulunmaktadır.

Yavaş pirolizde oksijensiz ortamda ve sabit yatak (itici gaz yok) reaktöründe 350°C civarında ki sıcaklıklarda organik maddeyi uzun ısınma zamanlarında direkt olarak sıvı ve katı ürünlerine dönüştürülmektedir (Üçgül ve Akgül 2010). İşlemler 1,5 kg numuneler ile paslanmaz çelik bir hazneye konulup, ısıtma oranı değiştirilerek farklı sıcaklıklarda deneyler yapılmaktadır. Numunenin sıcaklıkta kalma süresi 30 dakikayı bulmaktadır. Deney sonunda biyokömür ve pirolitik yağ rezerv edilmektedir.

Yavaş piroliz işleminden farklı olarak hızlı piroliz işleminde akışkan yataklı reaktörler kullanılmaktadır. Hızlı piroliz işleminde genellikle pirolitik yağ üretilmesi amaçlanırken yavaş piroliz yönteminde biyokömür elde edilmek için kullanılmaktadır. 1970'lerdeki petrol krizinden beri sıvı biyoyağ üretimi için hızlı piroliz incelenmiştir (Vieira *et al.* 2019). Hızlı pirolizin temel amacı sıvı verimini arttırmaktır. Verimi arttırmak için ısınma hızını arttırma, reaktörde oluşan gazı itici gaz ile süpürerek kısa zamanda gazı yoğunlaştırıp sıvılaştırılması ön plandadır. Hızlı ısınma ve gazı yoğunlaştırarak tekrardan sıvı hale gelmesiyle kömürleşme azalır. Kömürleşmenin az olabilmesi ve numunenin tam parçalanması için biyokütlenin tanecik boyutu küçük olmalıdır (Üçgül ve Akgül 2010). Üretilen yağın bazı dezavantajları vardır. Bunlar; viskozitesi dizel yakıtına göre daha yüksektir, su ve kül içeriği vardır, bunlarla beraber asit özelliği taşır. Bu nedenle yüksek sıcaklıklarda korozyona neden olur. Bu durumlar pirolitik yağın motorlarda kullanılmasını zorlaştırır. Ancak bu sorunların üstesinden gelebilmek için pirolitik yağın



iyileştirilmesi gerekir. Hızlı proses sırasında biyoyağın kalitesini arttırmak için katalizörler eklenir (Wang *et al.* 2012). Uygun katalizör eklendiğinde elde edilen pirolitik yağ, daha düşük oksijene sahiptir. Ek olarak, pirolitik yağ hidro-oksijenasyonu gibi pirolitik yağ iyileştirilmesi gerekmektedir (Hu and Gholizadeh 2019). Piroliz işleminde kullanılan biyokütlenin farklılıklarıyla beraber birçok biyokütlenin, pirolitik yağa dönüşümü sonunda elde edilen sıvı ürünün, ısı değeri, oksijen içeriği ve içeriğindeki HC miktarı petrol yakıtlarına eşdeğer olduğu saptanmıştır (Poyraz 2012).

### **2.2.2 Pirolitik Yağın Özellikleri**

Biyoyağın öncelikle viskozite, yoğunluk, setan sayısı, kalorifik değer, parlama noktası, akma noktası gibi başlıca temel özellikleri vardır. Bu özelliklerin belli sınırdan olmasının nedeni motor performansı ve emisyon sınır şartlarının içerisinde kalmasından kaynaklanmaktadır. Bu sınır şartları belirten bazı standartlar vardır. Dizel motorlar için kullanılan en yaygın standart ASTM D6751 ve EN 14214'dir (Phama and Zhao 2017).

#### **2.2.2.1 Yoğunluk**

Dizel motorlarda kullanılan yakıt enjektörleri dizel yakıtına göre tasarlandığı için biyoyağın da aynı yoğunluğa eşdeğer olması gerekmektedir. Ancak pirolitik yağın molekül ağırlığı dizele göre daha fazladır (Akbulut 2018).

#### **2.2.2.2 Viskozite**

Motorlarda püskürme esnasında yakıtın atomizasyonu için viskozite önemli bir rol oynar. Biyoyağın viskozitesi geleneksel dizele göre 10-15 kat daha yüksektir. Biyoyağı biyodizel olarak kullanılması durumunda yüksek viskoziteli yakıtın, silindir içerisine püskürtülmesi hem daha zordur hem de yanmayı kötüleştirerek emisyon ve kuruma sebep olur (Sakthivela *et al.* 2018). Bitkisel yağları uygun bir seyrelticiyle viskoziteleri düşürülebilir. Çalışmalar da genellikle dizel yakıtla birlikte belirli oranlarda biyoyağı karıştırılarak kullanılmıştır (Şener ve Çakar 2008).

### **2.2.2.3 Kükürt İçeriği**

Yakıt içerisindeki kükürt, dizel motorlarda yanma esnasında yanma etkisiyle kükürt oksite dönüşmesine neden olmaktadır. Biyokütlelerden üretilen yakıtlarda kükürt miktarı, hayvansal ve bitkisel yağlar farklılık göstermektedir. Hayvansal yağlarda kükürt miktarı daha az miktarda bulunmaktadır (Sakthivela *et al.* 2018).

### **2.2.2.4 Su ve Tortu İçeriği**

Biyoyağ üzerindeki asılı su damlacıkları yakıtın kalorifik değerini azaltır ve motorun yakıt sistemi parçalarını aşındırır (Sakthivela *et al.* 2018). Bu tür sıvıların ayrıştırma işlemi en çok kullanılan işlem damıtma işlemidir. Her sıvının belirli bir kaynama ve yoğunlaşma noktası bulunmaktadır ve bu esasa dayanarak ayrışma işlemi yapılmıştır. Isıtılan biyoyağın içerisindeki su kaynama noktasında buharlaşır ve bir haznede toplanır. İyi bir damıtma işlemi için bu durum birkaç defa tekrarlanabilir (Özer 2018).

### **2.2.2.5 Setan Sayısı**

Setan sayısı motorlarda yakıt püskürmesinden sonra yakıtın kendi kendine yanmaya gösterdiği eğilim olarak gösterilmektedir. Düşük setan sayısı motorda, kötü yanmaya ve egzoz emisyonlarında artışa neden olur. Biyoyakıtların moleküler bağlarındaki zincir uzunluğunun uzun olması, doygunluk derecesini arttırmaktadır. Yağ asitlerinin yüksek oksijen içermesi nedeniyle yüksek yanma verimine ve daha yüksek setan sayısına sahiptir (Sakthivela *et al.* 2018).

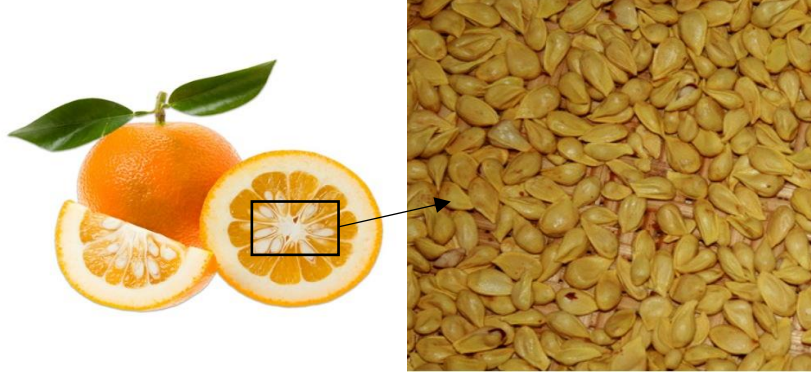
### 3. MATERYAL ve METOT

#### 3.1 Deney Düzeneği ve Kullanılan Ekipmanlar

Çalışma turunç çekirdeğinin yapısında bulunan organik yağı piroliz yöntemi ile ortaya çıkararak yakıt üretimi gerçekleştirmektedir. Deneyler farklı çalışma şartlarında gerçekleştirilmiştir. Bu şartlar 0,5, 1, 1,5 L/dk gaz akışında, ısıtma hızı 5-10°C/dk sıcaklıklar; 400°C, 450°C, 500°C, 550°C, 600°C olarak sınırlar belirlenmiştir.

##### 3.1.1 Turunç Çekirdeği

Turunç, sedef otugiller familyasından olup: 1-6 metre boyunda bir ağaca sahiptir. Kış aylarında yaprak dökmeyen bir ağaçtır. Çiçekleri beyaz renkli ve güzel kokuludur. Meyvesi küre şeklinde olup, sarı-turuncu renktedir. 8-12 tane dilimi vardır. Meyvesinin tadı ekşimsi-acı lezzettedir. Olgunlaşmamış meyvelerinin kabuklarında uçucu yağ, C vitamini, pektin ve hesperidin vardır. Çiçeklerinden turunç çiçeği esansı (Oleum Neroli) çıkarılır. Turunç doğada olduğu gibi çekirdekten bitip, tabii olarak büyüyen yabani portakalın anaç alt familyasıdır (İnt. Kyn. 1). Meyve suyunun çıkarılmasından sonra kalan tohumlar ve kabuklar ciddi bir atık olarak çevre sorundur. Herhangi bir maddi kazanca dönüştürülemeyen bu gıda atıkların biyografik bileşik kaynağı olduğu gösterilmiştir. Kabukların ve çekirdeklerinde esansiyel yağ gibi yağlarla zengindir (Moulehi *et al.* 2012). Meyvelerde; karbonhidratlar, organik asitler (sitrik, malik, salisilik, gallik), glikozitler içermektedir. Olgunlaşmamış meyvelerde, yapraklarda, dallarda esansiyel yağ bulunmaktadır. Meyvenin kabuğundaki yağ, limon kabuğundaki yağa benzemektedir. Kabuktaki yağ da a-limonen, a-pinen, otsimen, myren, terpineol, D-kampen, D-linalool, nerol, farnesol, nerolidol ve diğer bileşikler içerir (İnt. Kyn. 2). Araştırmada kullanılan turunç (*Citrus aurantium* L.) çeşidi yerli turunç olup Mersin ilinden tedarik edilmiştir. Daha sonra meyveden çekirdek ayrıştırıp kurutulduktan sonra öğütme cihazıyla parçacık boyutu <1,5 mm düşürülmüştür.



**Resim 3.1** Turunç ve deneylerde kullanılan turunç çekirdekleri.

Turunç çekirdeği hem atık olarak tedarik edilebileceği gibi yabani bir bitki olduğundan ucuz maliyetlerle yetiştirilebilir. Resim 3.1’de görüldüğü gibi çok çekirdekli ve yağlı bir yapısı bulunmaktadır.

### 3.1.2 Hassas Terazî



**Resim 3.2** Hassas terazi.

Numunelerin uygun şekilde hazırlanması için kullanılan terazi 500 gr kapasiteli ve 0,01 gr hassasiyetine sahiptir. Terazinin marka ve modeli; Tem SF 500’dür. Deneyde kullanılan terazi Resim 3.2’de görülmektedir. 100 gr numuneler ve deney sonundaki katı ve sıvı fazlar ölçülebilmektedir.

### 3.1.3 Genel Amaçlı Kâğıt Filtre



**Resim 3.3** Genel amaçlı kâğıt filtre.

Genel amaçlı olarak kullanılan kâğıt filtre, selülozdan üretilmiş ve rutubete dayanıklıdır. Piroliz cihazından çıkan pirolitik yağı süzmek için kullanılmaktadır. Boyutları 58x58cm'dir. Daha iyi süzme yapabilmek için Resim 3.3'de gösterilen genel amaçlı kâğıt filtre, tek seferlik kullanılabilir.

### 3.1.4 Piroliz Cihazı



**Resim 3.4** Piroliz cihazı.

Piroliz reaktörü, organik maddelerin yüksek sıcaklıklarda ve oksijensiz ortamda parçalayarak katı sıvı ve gaz ürünler elde edilmesini sağlamaktadır. İtici gaz olarak azot

gazı kullanmaktadır. Isıtma hızı dakikada 5°C ve 10°C olarak ayarlanabilmektedir. Reaksiyon sonucunda oluşan sıvı(biyoyağ) ve katı(biyokömür) ürün tekrardan elde edilebilmektedir ancak yüksek sıcaklıkta parçalanma ile oluşan gazla(biyogaz) beraber azot gazı atmosfere atılmaktadır. Reaksiyon sonucu oluşan sıvı ürün paslanmaz çelikten imal edilmiş olan yoğunlaştırma ünitesinden alınmaktadır. Katı ürün ise reaktörün iç haznesinden sistem soğuduktan sonra alınmaktadır. Resim 3.4’de görülmekte olan piroliz reaktörünün teknik özellikleri 1000 mL kapasiteli, paslanmaz çelik reaktör haznesi ve bir adet paslanmaz çelikten imal edilmiş yoğunlaştırma haznesi mevcuttur. Ek olarak bir adet sıvı biriktirme haznesi ve iki adet gaz trap haznesi bulunmaktadır. 100°C ila 600°C arasında çalışmaktadır. 220-240V (monofaze) veya 400V (trifaze), 50 Hz güç kaynağı ile çalışmaktadır. Ölçüleri 600x1200x1500mm (W.L.H) ve yaklaşık ağırlığı 150 kg’dır.

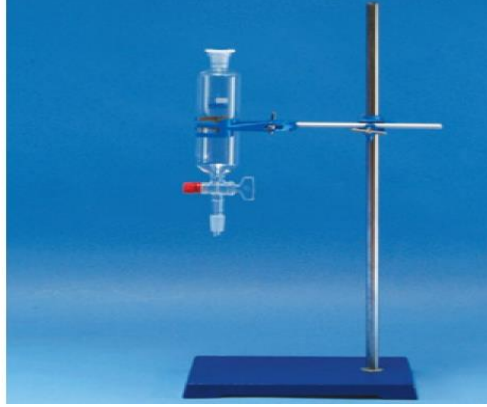
### 3.1.5 Diklorometan (metilen klorür)



**Resim 3.5** Diklorometan.

Diklorometan doğada bulunmayan, kokusuz renksiz sentetik bir kimyasal maddedir. Çözücü malzeme olarak bilinen metilen klorür molekül ağırlığı 84,93 g/mol ve 40°C de kaynama noktası -91,5°C de donma noktasına sahiptir. Resim 3.5’de görülen diklorometan çözücü sıvısının deneylerde kullanılma amacı; pirolitik yağın viskozitesini düşürerek akışkanlık kazandırıp, piroliz reaktöründen tam olarak çözmek içindir.

### 3.1.6 Silindirik Ayırma Hunisi



**Resim 3.6** Silindirik ayırma hunisi.

Piroliz reaktöründe parçalanmış organik madde; sıvı, katı ve gaz olarak ayrışmaktadır. Sıvı olarak ayrıştırılan pirolitik yağ içerisinde bir miktar su bulunmaktadır, bu suyu ayırma hunisinde su ve pirolitik yağ olarak ayrıştırılmaktadır. Ayrışma işlemi için Resim 3.6'daki gösterilen silindirik ayırma hunisi kullanılmaktadır.

### 3.1.7 Evaporatör



**Resim 3.7** Evaporatör.

Reaktör içerisindeki pirolitik yağ, piroliz cihazının yoğunlaştırma ve sıvı biriktirme haznesinden tamamen temizlemek için diklorometan ile çözdürülmektedir. Daha sonra

diklorometanı pirolitik yağdan ayırmak için evedatör olarak bilenen Resim 3.7’de görülen cihaz kullanılmaktadır. Cihaz Heidolph marka G3 model evoparatördür. Evaparatör cihazı 20°C-210°C sıcaklığı ve 10-280 rpm sınır şartlarında çalışmaktadır.

### 3.2 Üretim Yöntemi

Piroliz çalışması için kullanılacak olan turunç çekirdeği kendi mahsulümüz olup Mersin Mezitli ilçesinden tedarik edilmiştir. Çalışma için turunç çekirdeğini güneşte kuruttuktan sonra biyoyağ verimini daha yüksek olabilmesi için mutfak robotunda küçük parçalara ayrılmıştır. Numunenin parçacık boyutu <1,5 mm’dir.



**Resim 3.8** Numunenin tartılması.

Deneyler Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Otomotiv Mühendisliği Uygulama ve Araştırma Laboratuvarında yapılmıştır. Deneylerde kullanılan turunç çekirdeği, Resim 3.8’de görüldüğü gibi her deney için 100 gr halinde piroliz cihazının reaktör haznesine yerleştirilmiştir. Reaktörde numuneyi farklı koşullarda parçalayabilmek için cihazın sınır şartları belirlemiştir. Bu sınır şartlar sıcaklık için 400°C, 450°C, 500°C, 550°C, 600°C olmak üzere 5 farklı konumda değerlendirilmiştir. Sıcaklık değerlerini sabit tutup itici gaz olarak kullanılan azot gazının debisini 0,5, 1, 1,5 L/dk olarak ayarlanıp sıcaklık ile kombinasyonu yapılmıştır. Bu deneyde kullanılan piroliz cihazının kapasitesinden dolayı ısıtma hızı dakikada 5°C ve 10°C olarak iki farklı durumda incelenmiştir. Isıl parçalanma tamamlandıktan sonra cihazın pirolitik yağ

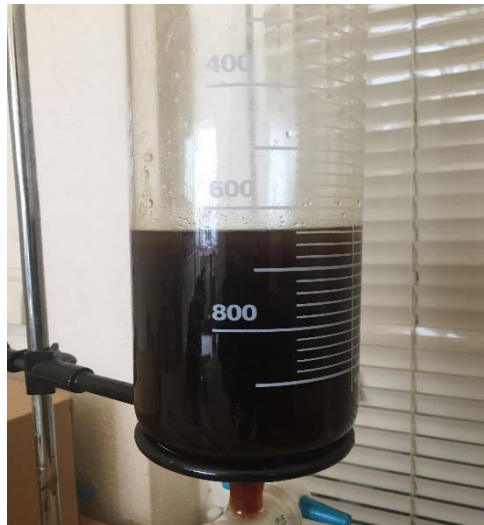


toplama haznesinden pirolitik yağ boşaltılmıştır. Ancak pirolitik yağ yoğun ve viskozitesi yüksek olduğundan dolayı metilen klorür çözücüsüyle viskozitesi düşürülmüştür. Pirolitik yağ içerisinde bulunan su, tortu ve metilen klorür karışımı kâğıt filtre yardımıyla tortusundan ayrıştırılmıştır. Ayrışma işlemi Resim 3.9’da görülmektedir.



**Resim 3.9** Pirolitik yağ filtreleme işlemi.

Pirolitik yağ içerisinde geriye su ve metilen klorür kalmaktadır. İlk olarak pirolitik yağın içerisindeki suyu ayrıştırabilmek için ayırma hunisi kullanılmıştır. Ayırma hunisinin içerisindeki su ve pirolitik yağın yoğunluk farkından dolayı ayrışma çok uzun sürmemektedir.



**Resim 3.10** Pirolitik yağın sudan ayırıştırma işlemi.

Resim 3.10’da görüldüğü gibi silindirik ayırma hunisi içindeki yakıt ve suyun ayrılmış hali görülmektedir. Ayırma işlemi sonucunda su oranı küçük miktarda çıkmaktadır. İkinci adım olarak pirolitik yağ içerisinde sadece inceltici olarak kullanılan metilen klorür bulunmaktadır. Bu ayırıştırma için evaporatör cihazı kullanılmıştır. Pirolitik yakıtı 50°C sıcaklıktaki suyun içerisinde 280 rpm’de ve 45 dakika, metilen klorürün pirolitik yakıttan ayrışması beklenmiştir. Resim 3.11’de görüldüğü gibi metilen klorür ve pirolitik yağ ayrılmıştır.



**Resim 3.11** Pirolitik yağdan diklorometanın ayırma işlemi.

Armudi balon evaporatörden söküldükten sonra pirolitik yağ tartılmış ve piroliz cihazının reaktör haznesinde bulunan kömür(char) üründe ayrı olarak tartılıp gaz fazının oranı belirlenmiştir.



**Resim 3.12** Deney sonundaki katı ve sıvı ürün.

Resim 3.12’de numuneden çıkarılan pirolitik yağ ve katı ürün görülmektedir. Sonra ise piroliz cihazının reaktör kısmında bulunan kül halindeki katı kısım tartılarak katı oran belirlenmiştir. Gaz ise azot gazı ile beraber atmosfere bırakılmıştır. Deney sonucu oluşan tüm sıvı ve katılar ayrı ayrı olarak rezerv edilmiş ve maksimum sıvı veriminin alındığı değerdeki sıvının fiziksel analizi yapılmıştır.

### **3.3 Optimizasyon Şartları**

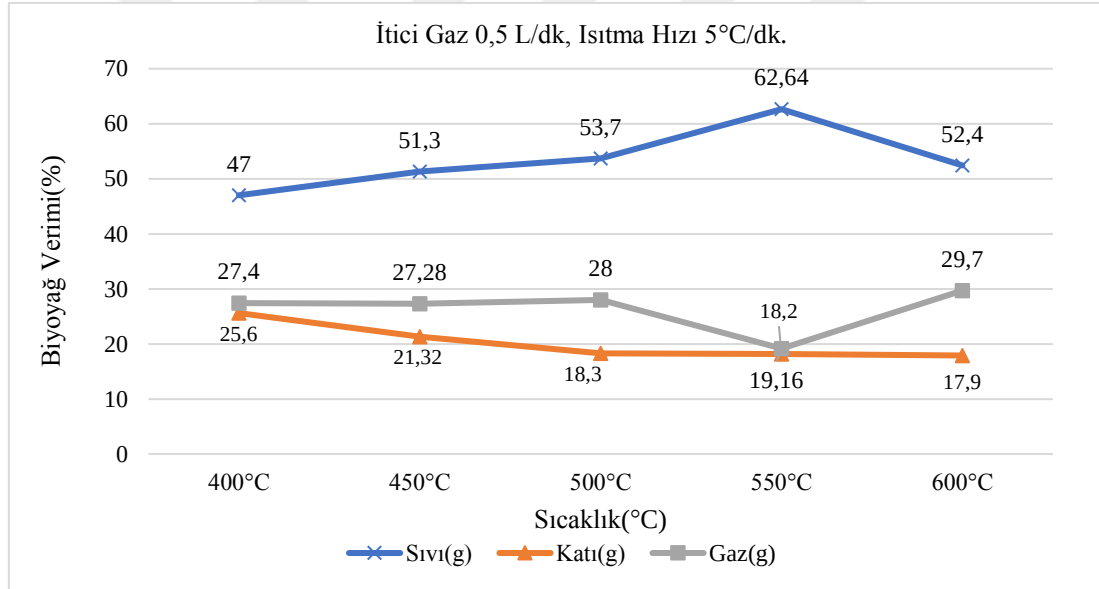
Pirolitik yağ üretiminde hemen her çalışmada farklı yakıt verimleri görülmektedir. Bu farklılıkları numunenin kimyasal içeriği ve boyutunun yanı sıra yanma olayı esnasındaki ısıtma hızı, sıcaklık ve itici gazın etkisi pirolitik yağ üretiminde önemli rol oynamaktadır. Çalışmamızda parçacık boyutu ve kullanılan itici gaz (Azot) sabit olup diğer fonksiyonları değiştirerek farklı konumlarda farklı veriler elde edip düzgün bir grafik çizme amaçlanmıştır. Elde edilen veriler ve grafikler, ayrı ayrı incelenip açıklamaları yapılmıştır.

## 4.BULGULAR

Deneysel çalışmada sıcaklık, ısıtma hızı ve gaz debisi gibi sınır şartların, sıvı (biyoyağ) gaz (biyogaz) ve katı (biyokömür) verimine etkisi incelenmiş olup optimum değerdeki sıvı verimi saptanmıştır.

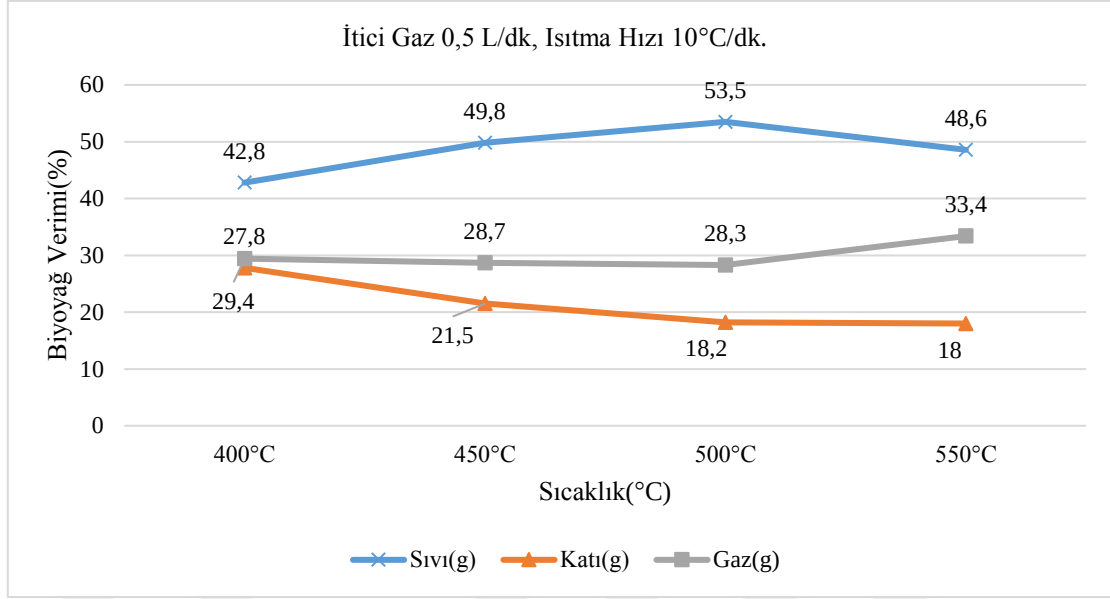
### 4.1 Sıcaklığın Etkisi

Numunenin parçacık boyutu <1,5 mm'dir. Parçacık boyutu elde edilebildiğince ufak boyutlara getirilmiştir. Elde edilen deneylerde en yüksek sıvı verimi 0,5 L/dk gaz akışında, 550°C sıcaklıkta ve ısıtma oranı 5°C/dk iken alınmıştır.



Şekil 4.1 İtici gaz 0,5 L/dk, ısıtma hızı 5°C/dk.

Şekil 4.1’de ısıtma oranı 5°C/dk ve gaz akışı 0,5 L/dk de ölçülmüştür. Maksimum sıvı verimi %62,64 olarak bulunmuş olup en düşük sıvı verimi ise 400°C’de %47 olarak bulunmuştur. 600°C’de sıvı veriminde tekrardan düşme yaşandığından dolayı sıcaklık 600°C’de sonlandırılmıştır. Daha sonra ise ısıtma hızını arttırıp deneyler tekrarlanmıştır.

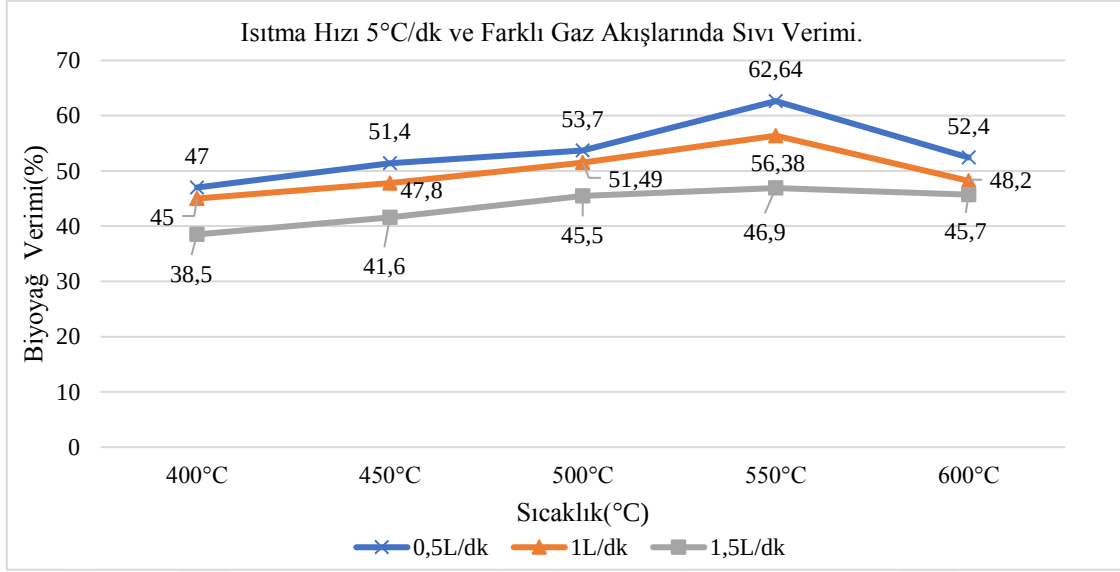


Şekil 4.2 İtici Gaz 0,5 L/dk, ısıtma hızı 10°C/dk.

Şekil 4.2’de görüldüğü gibi ısıtma hızı arttırıldığında maksimum biyoyağ verimi 500°C’de alınmış olup %53,5’dir. Bununla beraber 500°C de maksimum verim alındığından dolayı 550°C’de deney sonlandırılmıştır. Isıtma hızı arttığında katı ürünün artması ve biyokütlenin tamamen parçalanamamasından dolayı sıvı veriminin düştüğü gözlemlenmiştir. Tüm deneyler göz önüne alındığında sıcaklık arttıkça katı faz azalmakta, sıvı verimine göre gaz verimi de değişmektedir.

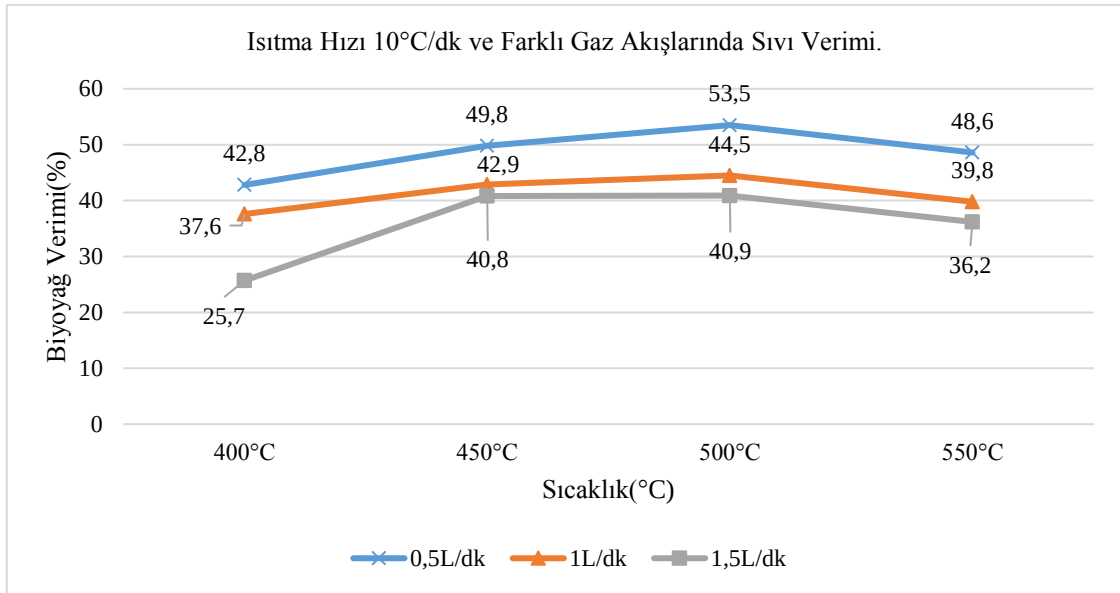
#### 4.2 İtici Gazın Etkisi

Azot gazının 0,5, 1, 1,5 L/dk şartlarında farklı sıcaklık ve farklı ısıtma oranlarında değerlendirilmiştir. Değerlendirmede turunc çekirdeği piroliz çalışmasında itici gazın debisi arttıkça numuneyi süpürme etkisi artmaktadır ve pirolitik yağda azalmalar meydana gelmiştir. Şekil 4.3, 4.4, 4.5, 4.6’de gaz akış hızının sıvı ve gaz fazına etkileri görülmektedir.



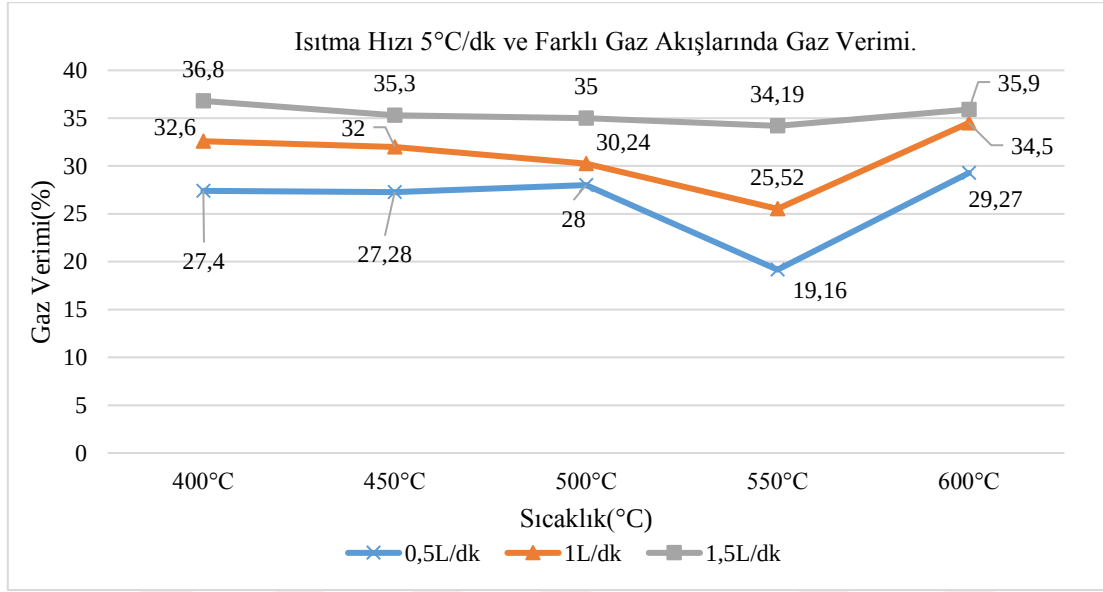
**Şekil 4.3** Isıtma hızı 5°C/dk ve farklı gaz akışlarında sıvı verimi.

Şekil 4.3’de ısıtma hızı 5°C/dk ve farklı gaz debilerinde biyoyağ verimine etkisi görülmektedir. Maksimum biyoyağ verimi 550°C’de %62,64 alınmış olup, minimum sıvı verimi ise 550°C ‘de gaz debisinin maksimum olduğunda yani 1,5 L/dk iken biyoyağ verimi %46,9 olduğu gözlemlenmiştir.



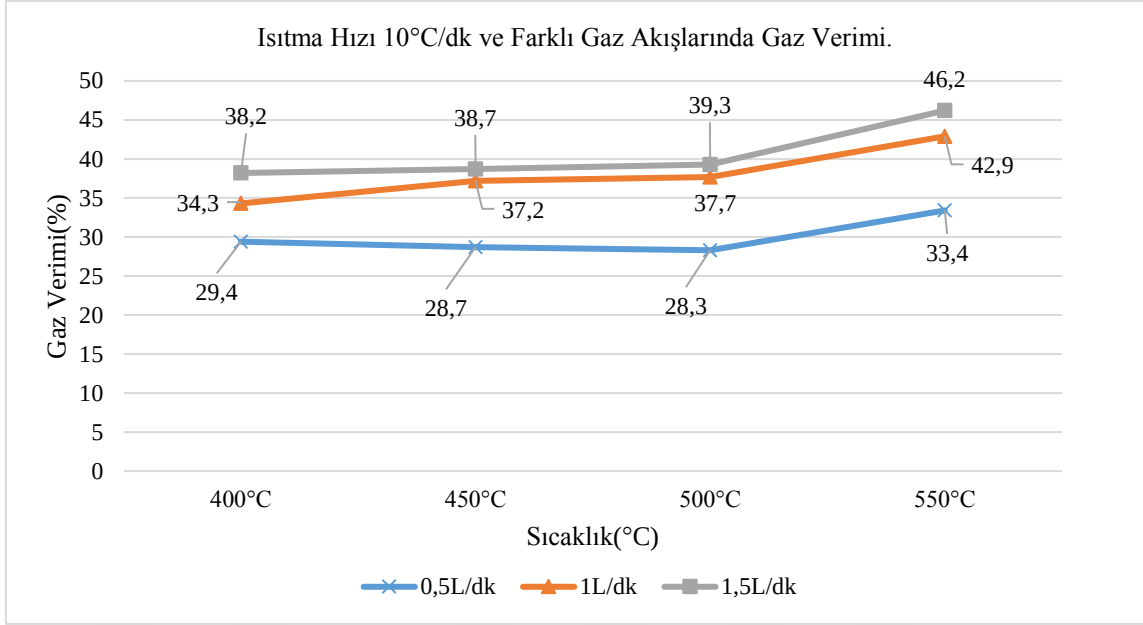
**Şekil 4.4** Isıtma hızı 10°C/dk ve farklı gaz akışlarında sıvı verimi.

Şekil 4.4’de ısıtma hızı arttığında gaz debisinin rolü değişmemiş olup ısıtma oranından dolayı biyoyağ verimi bütün gaz debilerinde bir düşüş yaşandığı gözlemlenmiştir. Gaz akış hızını cihazın kapasitesinden dolayı daha düşük seviyelere indirilememiştir. Gaz akışı hızlandığı müddetçe sıvı verimi düşmektedir, bununla beraber katı faz ve gaz faz ise sıcaklık artışıyla farklılıklar göstermektedir.



Şekil 4.5 Isıtma hızı 5°C/dk ve farklı gaz akışlarında gaz verimi.

Şekil 4.5’de ısıtma hızı 5°C/dk iken farklı gaz akışlarında gaz verimi, sıvı veriminin maksimum olduğu yerde düşme yaşandığı görülmektedir. Sıcaklığın artması ile beraber biyokütlenin tamamen yanması ile katı (biyokömür) miktarında azalmalar yaşanmaktadır dolayısıyla gaz verimi, katı verimi ile ters orantılı olarak yüzdeler kısımları değişmektedir.



**Şekil 4.6** Isıtma hızı 10°C/dk ve farklı gaz akışlarında gaz verimi.

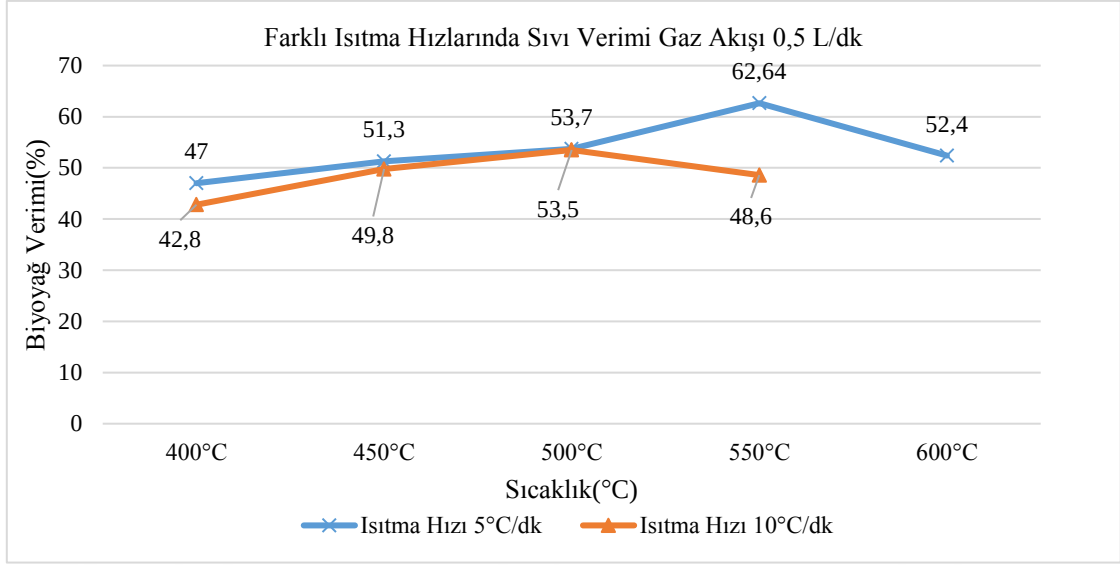
Resim 4.6’ da ısıtma hızı 10°C artırıldığında biyokütlenin kimyasal yapısından dolayı ve pirolitik yağın veriminden dolayı gaz veriminde sıcaklık arttıkça gaz veriminin de arttığı gözlemlenmiştir. Maksimum gaz verimi ısıtma hızı 10°C/dk iken 550°C’de %46 olarak gözlemlenmiş ve minimum gaz verimi ise 400°C’de %29,4 olarak bulunmuştur.

### 4.3 Isıtma Hızının Etkisi

Turunç çekirdeğinin sıvı verimini etkileyen diğer bir faktör ısıtma hızının değiştirilmesidir. Mevcut piroliz cihazının sınırları altında yapılan çalışmada, sadece dakikada 5°C ve dakikada 10°C sıcaklık artışlarıyla deneyler yapılmıştır. Yapılan deneylerde sıvı, katı ve gaz fazları için her iki ısıtma oranının karşılaştırması verilmiştir. Şekil 4.7, 4.8, 4.9’da farklı gaz debilerinde ısıtma oranının etkisini göstermektedir. Isıtma oranı düştüğü zaman ısınma süresinin artmasından dolayı sıvı veriminde artış gözlemlenmiştir.

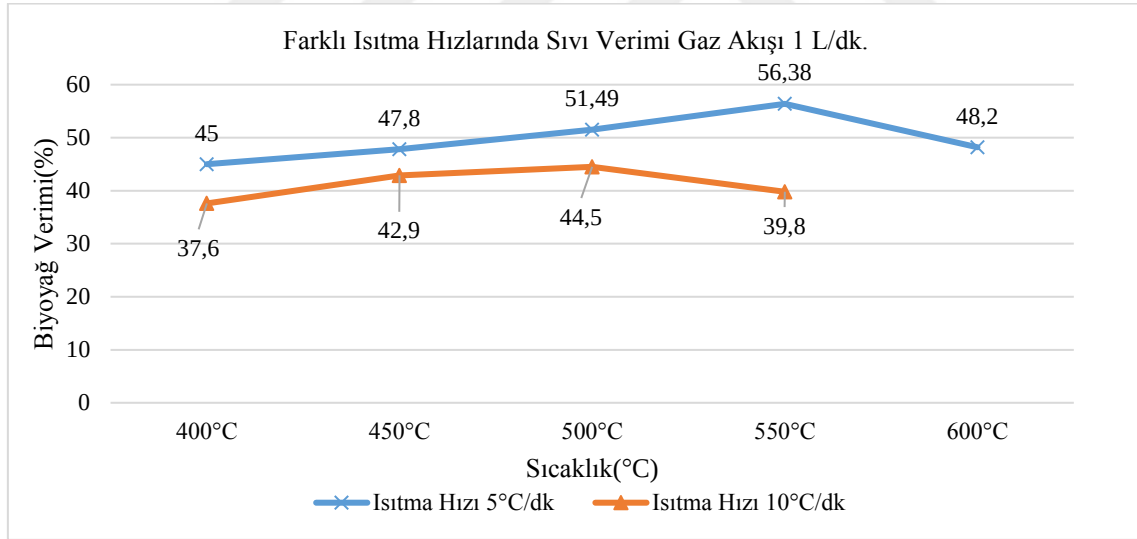
Şekil 4.7’de sabit gaz debisinde farklı ısıtma oranları görülmektedir. Isıtma hızı azaldığında sıvı veriminin artmasının yanında maksimum sıvı veriminin alındığı sıcaklıkta değişmiştir.





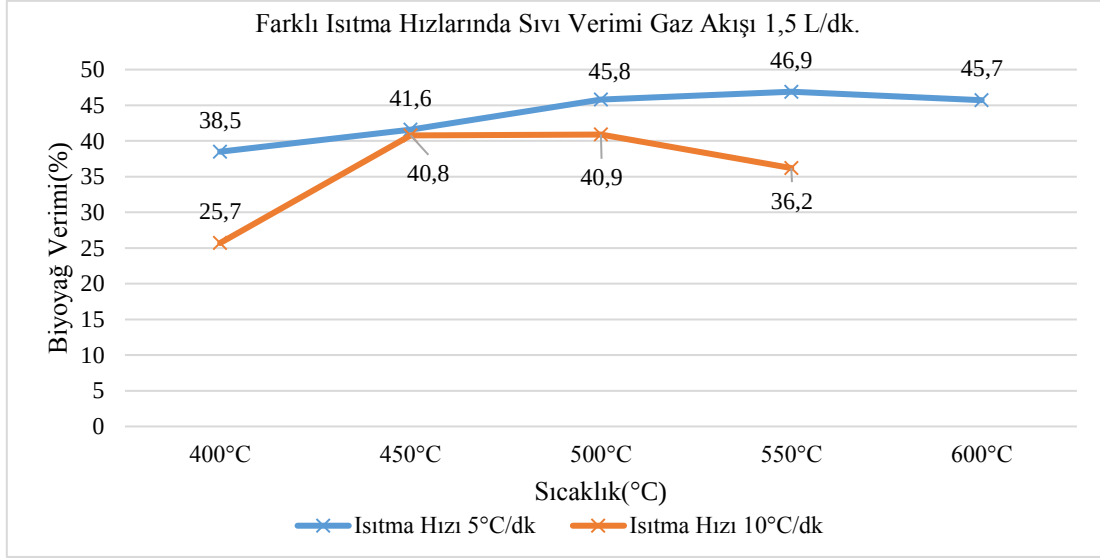
**Şekil 4.7** Farklı ısıtma hızlarında sıvı verimi gaz akışı 0,5 L/dk.

Isıtma hızının azalmasıyla numunenin sıcaklık altında kalma süresi arttığından sıvı verimi de orantılı olarak artmıştır.



**Şekil 4.8** Farklı ısıtma hızlarında sıvı verimi gaz akışı 1 L/dk.

Şekil 4.7, 4.8, 4.9’da ısıtma oranının değişmesiyle beraber itici gazın debisi de değişmektedir. Şekil 4.7, 4.8 ve 4.9’da farklı itici gaz debilerinin olduğu durumlarda sıvı verimine etki farkı görülmektedir. İtici gazın debisinin artması ile beraber gaz fazının artmasından dolayı sıvı veriminde düşmeler yaşanmaktadır.



**Şekil 4.9** Farklı ısıtma hızlarında sıvı verimi gaz akışı 1,5 L/dk.

Şekil 4.9’da itici gaz debisinin maksimum seviyesinde her iki ısıtma oranlarında da düşmeler yaşanmıştır. 450°C de her iki ısıtma oranlarında da yakın değerler alınmış olma sebebi ısıtma hızı 5°C/dk iken gaz veriminin fazla çıkması ve ısıtma hızının 10°C/dk iken ise katı veriminin fazla çıkması ile sıvı verimleri yakın değerlere geldiği gözlemlenmiştir.

#### 4.4 Turunç Çekirdeğinden Elde Edilen Pirolitik Yağın Fiziksel Özellikleri

Tüm analizler belirli standartlar altında yapılmış olup dizel ile pirolitik yağın bazı fiziksel özellikleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

**Çizelge 4.1** Turunç çekirdeği pirolitik yağının fiziksel analiz sonuçları.

| Özellikler                               | Turunç Çekirdeği<br>Pirolitik Yağı | Dizel Yakıtı |
|------------------------------------------|------------------------------------|--------------|
| Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )            | 1,0050                             | 0,820-0,845  |
| Kinematik Viskozite (mm <sup>2</sup> /s) | 6,548                              | 2,5-3,5      |
| Su Oranı (%)                             | 0,193                              | <0,200       |
| Kükürt Oranı (%)                         | 0,19                               | 0,05         |

#### **4.4.1 Yoğunluk**

Turunç çekirdeği pirolitik yağın yoğunluğu hesaplanırken EN ISO 3675 Standardı doğrultusunda 20°C ile 60°C sıcaklıkları aralığında ölçülen yoğunluk ( $\text{kg/m}^3$ ) 1,005  $\text{g/cm}^3$  olduğu bulunmuştur. Turunç çekirdeği pirolitik yağı geleneksel dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında yoğunluğu bir miktar yüksektir.

#### **4.4.2 Kinematik Viskozite**

Dizel yakıtının viskozitesi, yakıtın yanma odası içerisine püskürtülmesini ve yakıt pompasının çalışmasını etkiler. Püskürtme şeklinin uygun, güçlü olması ve yakıtın iyi atomize olarak dağılması gereklidir. Bunlar, yakıtın viskozitesiyle ilgilidir. Turunç çekirdeği yağının kinematik viskozitesi 40°C yapılmıştır. Analiz metodu TS 1451 EN ISO 3104'dir. Analiz sonucu; 6,548  $\text{mm}^2/\text{s}$ 'dir. Geleneksel dizel yakıtına göre viskozitesi bir miktar yüksektir. Genellikle yapılmakta olan dizel yakıtı ile karıştırılarak viskozite düşürülebilir.

#### **4.4.3 Su Oranı**

Su oranı yakıt içerisindeki su yüzdesini belirler. Analiz metodu TS 6147 EN ISO 12937'dir. Analiz Sonucu; 0,193 dir. Su yüzdesi ne kadar dizele yakın olsa da su yüzdesi düşürülmelidir.

#### **4.4.4 Kükürt Oranı**

Sülfür (Kükürt) yandığında sülfür dioksit gazına dönüşür. Hava kirliliğine neden olan sülfür dioksit, motorun çeşitli kısımlarında korozyona yol açar. Ayrıca, piston segmanları ve segman kanalları içine yapışarak paslanmayı da hızlandırır. Dizel yakıt içinde mümkün olduğunca az miktarda sülfür bulunur. Bunun sebebi ise, motor yağına karışarak yağın özelliğini bozması, zayıf parlama ve yanma özelliğinden dolayı egzozdan siyah dumanın çıkmasına neden olmasıdır. Kükürt oranı (% kütleli) 0,19 çıkmıştır. Dizel yakıtından bir miktar daha fazla kükürt miktarı içermektedir.

## 5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu araştırmada turunç çekirdeğinin; piroliz yöntemi ile pirolitik yağ üretimi gerçekleştirilmiştir. Yüksek sıcaklıklarda yapılan bu deneylerde optimizasyon yapılmış ve maksimum ve minimum veriminin alındığı noktalar saptanmıştır.

Turunç çekirdeği pirolitik yağının gaz ve sıvı fazları belirlenmiştir. Elde edilen değerlerde 550°C sıcaklıkta, ısıtma hızı 0,5°C/dk ve gaz akışı 0,5 L/dk'da maksimum sıvı verimi elde edilmiş olup %62,64 sıvı elde edilmiştir. Minimum sıvı verimi ise 400°C sıcaklıkta, ısıtma hızı 10°C/dk ve gaz akışı 1,5 L/dk'da minimum sıvı verimi elde edilmiş olup %25,7 pirolitik yağ elde edilmiştir. Maksimum pirolitik yağın elde edildiği noktada seri üretim yapılmış olup pirolitik yağın fiziksel özellikleri laboratuvar ortamında analizleri yapılmıştır. Turunç çekirdeği pirolitik yağın kükürt miktarı, su oranı, kinematik viskozitesi ve yoğunluğu test edilmiş ve dizel yakıtına yakın değerler olduğu görülmüştür.

Günümüzde alternatif yakıtlar üzerine yapılan çalışmalar başlıca; motor performansını arttırma, yakıt tüketimini azaltma ve egzoz emisyon değerlerini azaltarak, çevre dostu yakıtlar üzerine yoğunlaşmıştır. Bu çalışma sonucuna göre Turunç çekirdeğinden elde edilen pirolitik yağın dizel motora benzer karakteristiklere sahip olduğu düşünülmektedir. Pirolitik yağlarının viskozite değerlerinin yüksek olması motor momentinde ve gücünde düşüşe sebep olabilir.

Turunç çekirdeği pirolitik yağın alternatif bir yakıt olarak kullanılabilmesi için çalışmalar, özellikle viskozite üzerine yoğunlaşmalıdır. Bazı pirolitik yağlar dizel yakıt ile homojen olarak tam karışmadığı için bu karışımı iyileştirecek farklı kimyasal katkı maddeleri kullanılmalıdır. Dizel motor üzerinde bazı değişiklikler yapılarak pirolitik yağ ve dizel yakıt karışımlarına uygun bir sistem üzerine araştırmalar yapılmalıdır. Yakıt verimini arttırmak için turunç çekirdeği yerine farklı bir biyo-atık kullanımının araştırılması yapılabilir. Bu çalışmada ısıtma hızı 5°C/dk ve 10°C/dk artışlar ile yapıldığından bu aralıktaki diğer sıcaklıklarda da araştırmalar yapılabilir.

## 6. KAYNAKLAR

- Akbulut, F. (2018). Fındık Kabuğundan Pirolitik Yakıt Üretiminin Optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
- Alayont, Ş. (2019). Biyokütleyle Uygulanan Ön İşlemlerin Piroliz Ürünleri Üzerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray.
- Alloune, R., Balistrrou, M., Awad, S., Loubar, K. And Tazerout, M. (2018). Performance, Combustion And Exhaust Emissions Characteristics Investigation Using Citrullus Colocynthis L. Biodiesel In DI Diesel Engine. *Journal Of The Energy Institute*, **91**: 434-444.
- Alptekin, E. ve Çanakçı, M. (2006). Biyodizel ve Türkiye'deki Durumu. *Mühendis ve Makina*, **47**: 57-64.
- Altunbaş, O. (2015). Pelemin Bitkisinin Pirolizi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Amit, and Ghosh, U. K. (2019). Utilization Of Kinnow Peel Extract With Different Wastewaters For Cultivation Of Microalgae For Potential Biodiesel Production. *Journal Of Environmental Chemical Engineering*, **7**: 103135.
- Aşçı, Z. (2018). Bir CRDI Dizel Motorda Oksijen İçerikli Yakıt Karışımlarının Enjeksiyon, Performans ve Emisyon Karakteristiklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Behçet, R., Oktay, H., Çakmak, A. ve Aydın, H. (2015). Comparison Of Exhaust Emissions Of Biodiesel–Diesel Fuel Blends. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **46**: 157-165.
- Bull, O.S. and Obunwo, C.C. (2014). Bio-Diesel Production From Oil Of Orange (Citrus Sinensis) Peels As Feedstock. *Journal Of Applied Sciences And Environmental Management*, **18**: 371-374.
- Choi, D., Oh, J., Baek, K., Lee, J. and Kwon, E. (2018). Compositional Modification Of Products From Co-Pyrolysis Of Chicken Manure And Biomass By Shifting

- Carbon Distribution From Pyrolytic Oil To Syngas Using CO<sub>2</sub>. *Energy*. **153**: 530-538.
- Cruz, A.G., Mtz-Enríquez, A.I., Díaz-Jiménez, L., Ramos-González, R., Valdés, J.A.A., Flores, M.E.C., Martínez, J.L.H. and Ilyina, A. (2020). *Production Of Fatty Acid Methyl Esters And Bioactive Compounds From Citrus Wax*. *Waste Management*, **102**: 48-55.
- Deniz, Ç. (2013). Biyodizel Dizel Karışımlarının Bazı Fiziksel Özelliklerinin Biyodizel Oranı ile Değişimi. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Doğan, S. (2017). Kamışın (*phragmites australis*) pirolizi ve piroliz ürünlerinin değerlendirilebilirliğinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
- Goyal, H.B., Seal, D. and Saxena, R.C. (2008). Bio-Fuels From Thermochemical Conversion Of Renewable Resources: A Review. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, **12**: 504-517.
- Grioui, N., Halouani, K. and Agblevor, F.A. (2014). Bio-Oil From Pyrolysis Of Tunisian Almond Shell: Comparative Study And Investigation Of Aging Effect During Long Storage. *Energy For Sustainable Development*, **21**: 100-112.
- Guedes, R.E., Luna, A.S. and Torres, A.R. (2018) Operating Parameters For Bio-Oil Production In Biomass Pyrolysis: A Review. *Journal Of Analytical And Applied Pyrolysis*, **129**: 134-149.
- Guil-Laynez, J.L., Guil-Guerrero, J.L. and Guil-Laynez, Á. (2019). Bioprospecting For Seed Oils In Tropical Areas For Biodiesel Production. *Industrial Crops & Products*, **128**: 504-511.
- Hariharan, V.S., Vijayakumar Reddy, K. and Rajagopal, K. (2014). Performance, Emission and Combustion Characteristics of Sea Lemon Oil and Its Diesel Blends In A Diesel Engine. *International Journal Of Agricultural And Biological Engineering*, **2**: 69-75.

- Hu, X. and Gholizadeh, M. (2019). Biomass pyrolysis: A review of the process development and challenges from initial researches up to the commercialisation stage. *Journal of Energy Chemistry*, **39**: 109-143.
- Joshi, S.M., Waghmare, J.S., Sonawane, K.D. and Waghmare, S.R. (2015). Bio-Ethanol And Bio-Butanol Production From Orange Peel Waste. *Biofuels*, **6**: 55-61.
- Kan, T., Strezov, V. and Evans, T.J. (2016). Lignocellulosic Biomass Pyrolysis: A Review Of Product Properties And Effects Of Pyrolysis Parameters. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, **57**: 1126-1140.
- Kar, Y. (2018) Catalytic Cracking Of Pyrolytic Oil By Using Bentonite Clay For Green Liquid Hydrocarbon Fuels Production. *Biomass And Bioenergy*, **119**: 473-479.
- Lopresto, C.G., Petrillo, F., Casazza, A.A., Aliakbarian, B., Perego, P. and Calabrò, V. (2014). A Non-Conventional Method To Extract D-Limonene From Waste Lemon Peels And Comparison With Traditional Soxhlet Extraction. *Separation And Purification Technology*, **137**: 13-20.
- Mikulski, M., Ambrosewicz-Walacik, M., Duda, K. and Hunicz, J. (2019). Performance And Emission Characterization Of A Common-Rail Compression-Ignition Engine Fuelled With Ternary Mixtures Of Rapeseed Oil, Pyrolytic Oil And Diesel. *Renewable Energy*, basımda.
- Moulehi, I., Bourgou, S., Ourghemmi, I. and Tounsi, M.S. (2012). Variety And Ripening Impact On Phenolic Composition And Antioxidant Activity Of Mandarin (Citrus Reticulate Blanco) And Bitter Orange (Citrus Aurantium L.) Seeds Extracts. *Industrial Crops and Products*, **39**: 74-80.
- Özdemir, Z.Ö. ve Mutlubaş, H. (2016). Biyodizel Üretim Yöntemleri ve Çevresel Etkileri. *Kirklareli University Journal Of Engineering And Science*, **2**: 129-143.
- Özer, S. (2018). Ham Pirina Yağından Biyodizel Üretiminde Alkol Olarak Fuzel Yağı. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **4**: 136-143.
- Üçgül İ. ve Akgül G. (2010). Biyokütle Teknolojisi Süleyman Demirel Üniversitesi Yenilenebilir Enerji Kaynakları Araştırma ve Uygulama Merkezi, *Yekarum Dergisi* (1): 3-1.

- Pham, E, J., Zhao, M., Deng, D., Le, Y., Zuo, D., Zhu, W., Liu, H., Peng, T, Q. and Zhang, Z. (2017). Effect of different technologies on combustion and emissions of the diesel engine fueled with biodiesel: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **80**: 620-647.
- Poyraz, Z. (2012). Pamuk Tarla Atığının Pirolizi. *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, (28): 89-96.
- Purushothaman, K. and Nagarajan, G. (2009a). Experimental Investigation On A C.I. Engine Using Orange Oil And Orange Oil With Dee. *Fuel*, **88**: 1732-1740.
- Purushothaman, K. And Nagarajan, G. (2009b). Performance, Emission And Combustion Characteristics Of A Compression Ignition Engine Operating On Neat Orange Oil. *Renewable Energy*, **34**: 242–245.
- Ramasamy, D. and Subramanian, S. (2019). Biodiesel From Lemon and Lemon Grass Oil and Its Effect on Engine Performance And Exhaust Emission. *Iop Conference Series: Materials Science And Engineering*, **330**: 012103, Doi:10.1088/1757-899x/330/1/012103.
- Rashid, U., Ibrahim, M., Yasin, S., Yunus, R., Taufiq-Yap, Y.H. and Knothe, G. (2013). Biodiesel From Citrus Reticulata (Mandarin Orange) Seed Oil, A Potential Non-Food Feedstock. *Industrial Crops And Products*, **45**: 355-359.
- Sakthivel, K. Ramesh, R. Purnachandran, P. Mohamed S. (2018). A review on the properties, performance and emission aspects of the third generation biodiesels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **82**: 2970-2992
- Seday, Ü. (2015). Turunçgil çoğur yetiştiriciliği. Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Alata Bahçe Kùltürleri Araştırma Enstitüsü, Erdemli-Mersin.
- Sharma, R. and Sheth, P.N. (2015). Thermo-Chemical Conversion Of Jatropha Deoiled Cake: Pyrolysis Vs. Gasification. *International Journal Of Chemical Engineering And Applications*, **6**: 376-380.
- Şener, B. ve Çakar, A. (2008). Biyodizel Alan Eğitiminde Araştırma Projesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.



- Taghizadeh-Alisaraei, A., Hosseini, S.H., Ghobadian, B. and Motevali, A. (2017). Biofuel Production From Citrus Wastes: A Feasibility Study In Iran. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, **69**: 1100-1112.
- Tüccar, G., Tosun, E., Özgür, T. and Aydın, K. (2014). Diesel Engine Emissions And Performance From Blends of Citrus Sinensis Biodiesel and Diesel Fuel. *Fuel*, **132**: 7-11.
- Veronica, E., Rita, A., David, E. and Anthony, O. (2019). Syntheses And Characterization Of Biodiesel From Citrus Sinensis Seed Oil. *Journal Pre-Proof*, Doi: <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2019.E00217>.
- Vieira, F.R., Luna, C.M.R., Arce, G.L.A.F. and Avila, I. (2019). Optimization of Slow Pyrolysis Process Parameters Using A Fixed Bed Reactor. *Biomass and Bioenergy*, **132**: 105412

#### **İnternet Kaynakları**

- 1) <http://www.yabancclub.com/turuncun-ozellikleri-ve-faydalari.html>, 27.11.2019
- 2) <https://24segodnya.ru/tr/letnyaya-kuhnya/kak-nazyvaetsya-cvetok-pomeranceva-derevo-poleznye-i/>, 27.11.2019

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mehmet AÇIK  
Doğum Yeri ve Tarihi : Merkez/Mezitli 20.07.1993  
Yabancı Dili : İngilizce / 2018-YÖKDİL/1-57.5  
İletişim (Telefon/e-posta) : 0 536 978 24 96 / mehmetacik33@hotmail.com

### Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Mersin Endüstri Meslek Lisesi (Motorlu Araçlar  
Teknolojisi 2008-2012)  
Ön lisans : Mersin Üniversitesi Meslek Yüksek Okulu (Otomotiv  
Teknolojileri (2012-2014)  
Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi,  
Otomotiv Mühendisliği (2014-2017)  
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü,  
Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı (2017-2019)