

## Alkol Olarak Fuzel Yağı Kullanılan Bir Esterleşme Reaksiyonunda Tall Yağı Asitlerinden Biyodizel Üretimi

Salih ÖZER<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Makine Mühendisliği, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Muş Alparslan Üniversitesi, Muş, Türkiye

✉: s.ozer@alparslan.edu.tr,  0000-0002-6968-8734

Geliş (Received): 03.03.2020.

Düzeltilme (Revision):22.05.2020

Kabul (Accepted): 27.05.2020

### ÖZ

Bu çalışma kağıt fabrikalarında atık olarak ortaya çıkan tall yağından, yine şeker fabrikalarında atık statüsünde olan fuzel yağının alkol olarak kullanılması ile biyodizel üretilmesini amaçlamaktadır. Tall yağından daha önce biyodizel üretiminin gerçekleştirildiği bildiren birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışmalardan Keskin ve arkadaşlarının yaptığı alkol olarak metanol kullanılan şartlar fuzel yağı için tekrarlanmıştır. Bu amaçla ham tall yağı damıtılarak tall yağı asitleri elde edilmiştir. Sonrasında damıtılmış tall yağı asitleri hacimce %20 oranında fuzel yağı ve kütlece %5 oranında sülfürik asit tepkimeye sokularak yağ asitlerinin biyodizele dönüştürülmesi planlanmıştır. Biyodizel üretimi için transesterifikasyon yöntemi tercih edilmiştir. Bu yöntemde tüm karışım 72 °C sıcaklıkta 2 saat boyunca raksiyona maruz bırakılmıştır. Elde edilen sonuçlar tall yağı asitlerinden fuzel yağı ile biyodizel üretililebildiğini göstermektedir. Elde edilen biyodizelin, ısıl değer, yoğunluk, viskozite, kükürt miktarı vb. parametreleri incelenerek tartışma bölümünde anlatılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Biyodizel, Biyodizel üretimi, Fuzel yağı, Tall yağı, Transesterifikasyon

### Biodiesel Production from Tall Oil Acids in an Esterification Reaction Used Fusel Oil as Alcohol

#### ABSTRACT

This study aims to produce biodiesel by using fusel oil as alcohol from tall oil which is a waste in paper factories and again as a waste in sugar factories. There are many studies that report that biodiesel production from Tall oil was carried out earlier. From these studies Keskin and his colleagues used methanol as alcohol while the conditions were repeated for fusel oil. For this purpose, the raw tall oil was distilled and the tall oil acids were obtained. After that, it was planned to convert fatty acids into biodiesel by reacting 20% fusel oil by volume and 5% sulfuric acid by mass. The transesterification method has been preferred for biodiesel production. In this method, the whole mixture was exposed to altitude for 2 hours at a temperature of 72 °C. The results show that biodiesel can be produced from tall oil acids with fusel oil. The resulting biodiesel, thermal value, density, viscosity, amount of sulfur, etc. the parameters are examined and explained in the discussion section.

**Keywords:** Biodiesel production, Biodiesel, Fusel oil, Tall oil, Transesterification

#### GİRİŞ

Her geçen gün artan nüfusla paralel olarak motorlu taşıtların sayısı da paralelinde artış göstermektedir. Ulaşım sektörünün bel kemiğini oluşturan motorlu araçların askeriye, sağlık alanına kadar geniş bir kullanım alanı mevcuttur. Bu nedenle insanlık motorlu araç kullanımını ile ilgili araştırmalarını sürekli olarak devam ettirmektedir [1]. Bir an ulaşım sektörünün durduğunu düşünmek dünyayı hangi çıkmaza götüreceği büyük bir belirsizliktir. Öbür yandan motorlu taşıtların asıl güç kaynağını oluşturan içten yanmalı motorlar sadece motorlu taşıtlarda değil, tarımdan, inşaata hatta sağlık sektörüne kadar geniş bir alanda kullanılmaktadır [2]. Hatta son yıllarda devasa şehirlerden ev ve ofis tipi yerlere kadar jeneratörlerde elektrik üretimi amaçlı da tercih edilmektedir. İçten yanmalı motorların birçok çeşidi olmakla birlikte ticari olarak en çok satılanları dört zamanlı ve iki zamanlı

diye sınıflandırılan örneklerdir. Bunların içerisinde de dizel ve benzinle çalışan motorlar yine birçok alanda sıkça kullanılmaktadır [3]. Bu motorlarda genellikle benzinli motor denildiğinde benzinle çalışan dizel motor denildiğinde de dizel yakıtı ile çalışan akla gelmektedir. Bu iki yakıt grubu ise petrol kökenli yakıtlar olup fosil yakıt grubunda kabul edilmektedir [4].

Dünya üzerinde fosil yakıtların sebep olduğu birçok kirlenmeden bahsedilmektedir. Bunun için insanlık fosil yakıtlara alternatif oluşturabilecek, çevreyi daha az kirlüten, ekonomik ve yenilenebilir kaynaklar üzerinde durmaktadır [5,6]. Yenilenebilir kaynaklar denildiğinde ise akla ilk olarak biyokütle yakıtları gelmelidir [7]. Bu tür yakıtlar tarımı yapılabilen ürünlerden elde edilen yakıt türleridir. Bu gruplara ise bitkisel ya da hayvansal olarak yetiştirilebilen organizmalardan elde edilebilecek her türlü alkol türü, bitkisel kökenli yağlar ya da bunların atıkları gelmelidir [8]. Bu yakıtlardan alkol grubundan olanlar (etanol, metanol, butanol vb.)

doğrudan yakıtların içerisine katılarak kullanılırken, bitkisel yağ gurubunda olanların bazı işlemlerden geçmesi gerekmektedir. Bitkisel yağlarda yapılan işlemin temelinde yağların içeriğinde var olan gliserinin uzaklaştırılması temel alınmaktadır [9].

Türkiye açısından yakıt tüketimi ile ilgili veriler petrol ve türevlerini yurt dışından ithal ettiğimizi göstermektedir [10]. İthal edilen ürünlerin ülkemiz açısından bazı sıkıntıların olduğu çok aşikardır. Daha öncede bahsettiğimiz gibi içten yanmalı motorların askeri amaçlı kullanılması da söz konusudur. Bugün tankların ve uçakların savaş meydanlarında ilerlemesini sağlayan da yakıttır. Yakıtların milli ve yerli kaynaklarla üretiliyor olması bu nedenle daha da önem arz etmektedir. Türkiye bu anlamda önemli kanun değişiklikleri yapmış ve alternatif yakıtlarla ilgili üreticilerin önünü açmıştır. Hatta 2017 yılından itibaren Türkiye’de satılan tüm dizel yakıtlarının içerisine en az %0,5 oranında biyodizel konulması zorunlu hale gelmiştir [11].

Dizel motorların ilk mucidi olan Rudolf dizelin ilk prototipini fıstık yağı ile çalıştırmasıyla başlayan bitkisel yağ kullanım serüveni günümüzde ticari ürüne de dönüştürülen biyodizel üretimine kadar gitmiştir. Biyodizel; bitkisel (ayçiçeği, fıstık, kanola vb.), hayvansal (iç yağı, balık yağı vb.) ya da atık yağlardan (kızartma yağı, tavuk atığı vb.) bir alkol (etanol, metanol, bütanol vb.) ve katalizör (sodyum hidroksit, potasyum hidroksit, sülfürik asit vb.) yardımı ile esterleştirilmesi sonucu oluşmaktadır. Bu tür reaksiyonlara esterleşme reaksiyonları denilmektedir [12].

Ülkelerin bir diğer çıkmazı da biyodizel üretimi için tarımsal alanların kullanılması ile birlikte diğer ürünlerin terk edilmesi sonucu oluşmaktadır. Bu durumda terk edilen ürünlerin fiyatları katlanarak artmakta ve ülkeler büyük bir gıda çıkmazına sürüklenmektedir [13]. Bu nedenle son yıllardaki çalışmalar genellikle atıkların değerlendirilmesi üzerine ağırlık kazanmıştır. Bu aşamada tüm enerji oluşturacak atıklar ya da atıkların türevleri üzerinde çalışmalar hız kazanmaya başlamıştır.

Tall yağı, kağıt fabrikalarında ağaçlardan kağıt üretimi sırasında ortaya çıkan bir çeşit reçineli atıktır. Bu karışımın içerisinde çok çeşitli yağ asitleri mevcuttur. Kağıt üretiminde ağaçların işlenmesi esnasında düzenli olarak ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle içeriğinde birçok farklı asit mevcuttur [14]. Fuzel yağı ise bir yağ olarak adlandırılmasına rağmen aslında içeriğinde birçok alkol barındıran önemli bir başka atık kaynağıdır. Bu atık kaynağı ise şeker fabrikalarında şeker pancarı küspesinden elde edilen alkol üretimi sırasında ortaya çıkmaktadır [15].

Duran ve arkadaşları yaptıkları çalışmada tall yağından biyodizel üretimi ve motorda kullanımının performans ve emisyonlar açısından etkilerini incelemişlerdir. Öncelikle tall yağını 235 °C ile 333 °C sıcaklık aralığında ısıtarak yağ asitlerinin ayrıştırılması işlemini gerçekleştirmişlerdir. Elde ettikleri tall yağı asitlerini %20 oranında metil alkol ve %5 oranında sülfürik asit

ile 65 °C ile 80 °C sıcaklığında 2 saat boyunca esterleştirerek biyodizel üretmişlerdir. Ürettikleri biyodizeli dizel yakıtına hacimce %50, %60 ve %70 oranında ilave ederek motoru 1600, 1800, 2000, 2200, 2400, 2600, 2800, 3000 d/dak motor hızlarında çalıştırmışlar ve etkilerini incelemişlerdir. Elde ettikleri bulgular tall yağından biyodizel üretiminin gerçekleştiğini ve motorda kullanımı ile is ve CO emisyonlarını azalttığını yakıt tüketim ve NOx emisyonlarını arttırdığını bildirmişlerdir [16].

Kesin ve arkadaşları tall yağı asitlerinden metil alkol kullanarak biyodizel üretimi ve dizel bir motorda kullanımının motor performansı ve emisyonlarına etkilerini araştırmışlardır. Bu amaçla öncelikle tall yağdan yağ asitlerini ayrıştırmışlardır. Elde edilen yağ asitlerini 72 °C reaksiyon sıcaklığında, %20 metanol ve %5 sülfürik asit ile 2 saat boyunca tepkimeye sokmuşlardır. Deneysel çalışmalarını ise elde ettikleri metil ester ve reçine yağ asitlerinin dizel yakıtına karıştırılması tekrarlamışlardır. Bu amaçla dizel yakıtına hacimce %30 tall yağı metil esteri, %30 tall yağı metil esteri + %5 reçine asitleri ve %5 reçine asidi katarak deneylerini tekrarlamışlardır. Elde ettikleri karışımların emisyonlar ve motor performansını değiştirdiğini bildirmişlerdir [17].

Yukarıda da özetlendiği gibi tall yağı asitlerinden biyodizel üretimi ile ilgili yapılmış çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmada diğer çalışmalardan farklı olarak biyodizel reaksiyonunda atık alkol kullanılmıştır. Bu amaçla öncelikle elde edilen tall yağı kaynatılmış ve yağ asitleri saflaştırılmıştır. Sonrasında ise fuzel yağının su içeriği azaltılmaya çalışılmış ve biyodizel üretimindeki etkileri incelenmiştir. Elde edilen biyodizelin kimyasal ve fiziksel özellikleri incelenerek yakıt özellikleri ile ilgili bulgular tartışılmıştır.

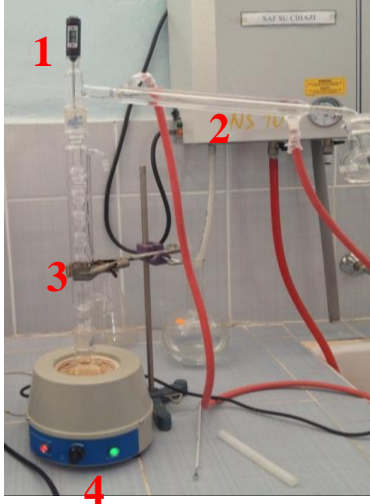
## MATERYAL ve YÖNTEM

### Tall Yağı Asitlerinin Elde Edilmesi

Deneylerde kullanılan ham tall yağı Oyka Kağıt ve Ambalaj firmasından temin edilmiştir. Firmadan alınan numune ile ilgili belirlenmiş bazı özellikler Tablo 1’de verilmektedir. Tall yağdan ham halde biyodizel üretimi gerçekleştirilememiştir. Ham tall yağının içeriği ağaçların cinslerine göre farklılık gösterebilmektedir. Bazen içerisindeki su ve reçine oranı artabilmektedir. Bu nedenle ham tall yağının yağ asitlerinin ayrıştırılması önem arz etmektedir. Bu amaçla Şekil 1’de gösterilen vigreux kolonlu ayrışılma damıtma test düzeneği ve Şekil 2’de gösterilen ayırma düzeneği kullanılmıştır. Deneyler her defasında 1 litre hacmindeki ham tall yağı için yapılmıştır. Bu amaçla ısıtılmaya başlanan ham tall yağının 340 °C sıcaklıklarda ilk buharlaşma belirtilerini gösterdiği ve kaptaki son buharlaşmanın da 361 °C sıcaklıkta son bulunduğu tespit edilmiştir. Yapılan deneylerde ortalama 1 litre ham tall yağdan 0,5-0,68 litre arasında yağ asitleri elde edilmiştir. Deneyler sırasında Şekil 1’de verilen deney düzeneği kullanılmıştır.

**Tablo 1.** Ham Tall Yağının Özellikleri

Özellik	Değeri
Asit Değeri (mg/KOHg)	165
Sabunlaşma Değeri	175
Viskozite 70 °C (mm <sup>2</sup> /s)	63
Akma Noktası (°C)	71
Isıl Değeri (kJ/kg)	39983
Parlama Noktası (°C)	232
Su İçeriği (%)	5,8
Reçine Asiti (%)	59,3
Yağ Asitleri (%)	43,6



1. Dijital Termometre
2. Soğutma Suyu
3. Vigreux Kolunu
4. Isıtıcı

**Şekil 1.** Vigreux Kolonlu Ayrımsal Damıtma Test Düzenegi.

### Fuzel Yağının Damıtılması

Deneylerde kullanılan fuzel yağı Eskişehir Şeker Fabrikası'ndan özel izin ile temin edilmiştir. Fuzel yağı bünyesinde birçok farklı yüksek moleküllü alkolü barındıran önemli bir kaynaktır. Bu nedenle fuzel yağından faydalı piyasa değeri de olan yüksek katma değerli alkol üretimini içeren çalışmalar da mevcuttur. [18, 19]. Elde edilen analizlerde tipik bir fuzel yağının Tablo 2'de verilen özelliklerde olduğu bildirilmiştir.

**Tablo 2.** Fuzel Yağı ve Bileşikleri [20]

Bileşen	Kimyasal Formülü	Molekül Ağırlığı (g/mol)	Hacimsel %	Kütlesel %
<i>i</i> -amil alkol	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	88,14	64	62
<i>i</i> -bütil alkol	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O	74,12	17	16
<i>n</i> -bütil alkol	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O	74,12	0,8	0,7
<i>n</i> -propil alkol	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O	60	0,7	0,7
etanol	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O	46	10	9

Bunun yanında biyodizel üretimi ile ilgili yapılan çalışmalar biyodizel üretim reaksiyonlarında %1'in üzerinde su bulunmasının reaksiyon verimine doğrudan

etki ettiğini bildirmektedir [21]. Bu nedenle fuzel yağının damıtılarak içerisinde suyun uzaklaştırılması gerekmektedir. Fuzel yağından suyun uzaklaştırılmasında çeşitli yöntemlerin kullanılmasına karşın son zamanlarda nem tutucularında etkili olduğunu bildiren çalışmalar mevcuttur [22]. Bu amaçla fuzel yağının içerisindeki suyun nem tutucularla temizlenmesi ve akabinde ayrımsal damıtma yöntemi ile saflaştırılması amaçlanmıştır. Bu nedenle bir litre fuzel yağı bir kaba alınarak üzerine kütlece olarak %50 oranında nem tutucu ilave edilmiş ve 24 saat boyunca dinlendirilerek fuzel yağının bünyesinde suyun uzaklaşması sağlanmıştır. 24 saat sonun nem tutucular ayrıştırılmış ve elde edilen numunenin su içeriğinin %93'lere gerilediği görülmüştür. Sonrasında ise Şekil 2'de verilen düzenek ile fuzel yağından su uzaklaştırılmıştır.



1. Geri Soğutucu
2. Toplama Kabı
3. Isıtıcı ve Devir Ayar Paneli

**Şekil 2.** Döner Başlıklı Dik Ayrımsal Damıtma Düzenegi.

### Biyodizel Üretimi

Biyodizel üretim yöntemi olarak transestrifikasyon yöntemi tercih edilmiştir. Bu yöntemde biyodizel dönüştürülecek olan ham madde (bitkisel yağ), bir alkol (metanol, etanol, bütanol vb.) ve katalizör (sodyum hidroksit, potasyum hidroksit, sülfürik asit, hidro klorük asit vb.) yardımı ile belirli bir sıcaklık ve sürede yağ asitleri ile alkollerin yer değiştirmesi prensibine dayanmaktadır [23]. Biyodizel üretim safhasında kullanılacak karışımların oranları ile ilgili olarak tall yağı asitlerinde daha önce biyodizel üretiminin gerçekleştirildiğini bildiren çalışmalar baz alınmıştır [24]. Biyodizel reaksiyonları  $\pm 1$  °C ısıtma hassasiyetindeki manyetik karıştırıcı ısıtıcıda, çift boyunlu bir cam behere montaj edilen geri soğutuculu düzenekte gerçekleştirilmiştir. Kurulan düzenek şekil 3'de gösterilmektedir.

Biyodizel üretimi için her defasında 100 ml tall yağı kullanılmıştır. Bu amaçla tall yağı asitlerinin hacimce %20'si kadar fuzel yağı ve kütlece %5'i kadar sülfürik asit kullanılmıştır. Tall yağı asitleri manyetik karıştırıcı bir ısıtıcıda 72 °C sıcaklığa kadar ısıtılmıştır. Sonrasında ise fuzel yağı ilave edilerek karışımın homojen bir şekilde karışması sağlanmıştır. Son olarak üzerine kütlece %5 oranında sülfürik asit dökülerek

karışımın biyodizelle dönüşmesi beklenmiştir. Toplam reaksiyon süresi 2 saat olarak belirlenmiştir. Reaksiyon sonunda karışım bir ayırma hunisine alınmış ve biyodizel içerisindeki gliserinin dibe çökmesi beklenmiştir. Gliserinden ayrılan biyodizelin içerisindeki arta kalan gliserin ve asitlerin temizlenmesi için yıkanması gerekmektedir [25]. Yıkama işlemi için biyodizelin üçte birine denk gelecek şekilde 55 °C sıcaklıktaki saf su kullanılmıştır. Daha büyük bir kaba alınan biyodizelin üzerine ilave edilen suyun iyice karışmasının sağlanması için çalkalama işlemine tabi tutulmuştur. Sonrasında ayırma hunisine bırakılan karışımın dinlenmesi sağlanmış ve su uzaklaştırılmıştır. Fakat biyodizel içerisinde suyun kalabilme ihtimali düşünülerek karışım ağzı açık bir kaba alınmıştır. Manyetik karıştırıcı bir ısıtıcıda 110 °C sıcaklıkta ısıtılarak içerisindeki tüm suyun uzaklaştırılması sağlanmıştır. Yıkama işlemi iki kez tekrarlanmıştır. Elde edilen karışım dizel bir yakıt filtresinden geçirilerek yakıt özelliklerinin incelenmesi için analize gönderilmiştir.



1. Manyetik Karıştırıcı Isıtıcı
2. Reaktör Kabi
3. Sıcaklık Ölçer
4. Geri Soğutucu

Şekil 3. Biyodizel Üretim Düzeneği.

## TARTIŞMA

Fuzel yağının alkol olarak kullanıldığı biyodizel üretim reaksiyonunda alkol olarak fuzel yağının kullanılması sonucunda biyodizel üretimi gerçekleştirilmiştir. Ham tall yağının ne kadarının yararlı hale dönüştürüldüğünü görmek için aşağıda verilen Denklem 1 kullanılmıştır.

$$\delta = \frac{\text{Elde Edilen Biyodizel}}{\text{Reaksiyona Giren Tall Yağı Asitleri}} * 100 \quad (1)$$

Her reaksiyon için 100 ml'lik tall yağı asitlerinin kullanıldığından bahsedilmiştir. Keskin ve arkadaşlarının yaptığı çalışmadaki biyodizel üretim reaksiyonları baz alınarak gerçekleştirilen deney sonucunda %63'lük bir verim ile biyodizel dönüşümünün gerçekleştiği görülmüştür. Bu durumu reaksiyonun tam

tamamlanmadığını ve alkol miktarının yeterli olmaması ile açıklamak mümkündür [26]. Ayrıca reaksiyon süresinin biyodizel üretiminde önemli bir parametre olduğu ve fuzel yağı kullanımı ile artırılması gerektiği düşünülmektedir [27].

Üretilen biyodizelin belirli kalite ve standartlar dahilinde olması son derece önemlidir. Çünkü yakıtların, silindir içerisindeki yanma kalitesi, egzoz emisyon parametreleri ve motor malzemeleri üzerindeki etkileri yakıt özelliklerinin parametrelerine göre değişiklik gösterebilmektedir [28-30].

Her reaksiyon için 100 ml'lik tall yağı asitlerinin kullanıldığından bahsedilmiştir. Keskin ve arkadaşlarının yaptığı çalışmadaki biyodizel üretim reaksiyonları baz alınarak gerçekleştirilen deney sonucunda %63'lük bir verim ile biyodizel dönüşümünün gerçekleştiği görülmüştür. Biyodizel dönüşümü için %63'lük bir verim oldukça düşüktür. Bu durum tall yağı asitlerinden maksimum seviyede yararlanılmadığını göstermektedir [31] Bu durumu reaksiyonun tam tamamlanmadığını yada alkol miktarının yeterli olmaması ile açıklamak mümkündür [32]. Bunun yanında biyodizel üretimini etkileyen süre, katalitör miktarı, asit miktarı ve reaksiyon sıcaklığı gibi parametreler üzerinde detaylı çalışmalar yapılması verim üzerinde etkilidir [33]. Bu açıdan bu parametrelerinde incelenmesi son derece önemlidir.

Üretilen biyodizelin belirli kalite ve standartlar dahilinde olması son derece önemlidir. Çünkü yakıtların, silindir içerisindeki yanma kalitesi, egzoz emisyon parametreleri ve motor malzemeleri üzerindeki etkileri yakıt özelliklerinin parametrelerine göre değişiklik gösterebilmektedir [34]. Bu nedenle üretilen biyodizelin bazı teknik özelliklerinin incelenmesi gerekmektedir. Türkiye'de ticari olarak üretilen biyodizellerin EN14214 standardı ile özellikleri belirli aralıklarla sınırlandırılmıştır [35]. Tablo 3'de bu standartlar verilmiştir.

Tablo 3. EN41214 standartları [35].

	Limitler	Ölçüm Yöntemi
Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> ), 15 °C	860-900	ISO 3673
Isıl Değer, (kJ/kg)	En az 35000	DIN 51900
Kükürt %(m/m)	En çok 10	ISO 20846
Akma Noktası (°C)	-15-10	ISO 30163
Parlama Noktası (°C)	En çok 120	ISO 3679
Bulutlanma Noktası	-	EN116
Setan Sayısı	En az 51	ISO 5165
Viskozite, 40 °C (mm <sup>2</sup> /s)	3.5-5.0	ISO 3104

Tablo 3. Tall Yağı Biyodizelinin Özellikleri.

	Dizel Yakıtı	Tall Yağı Biyodizeli
Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> ), 15 °C	835	878
Isıl Değer, (kJ/kg)	43760	40369
Kükürt %(m/m)	0,2579	0,001
Akma Noktası (°C)	-23	-12
Parlama Noktası (°C)	73	105
Bulutlanma Noktası	-6	3
Setan Sayısı	47	56
Viskozite, 40 °C (mm <sup>2</sup> /s)	2,6	7,1

Transestirifikasyon reaksiyonunda alkol olarak fuzel yağının kullanıldığı biyodizel üretim yönteminde

biyodizelin kinematik viskozite, akma noktası, ısıl değer, bulutlanma noktası ve yoğunluk parametrelerinin dizel yakıtına göre dezavantajlı olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanında kükürt, parlama noktası ve setan sayısı değerlerinin de dizel yakıtına göre avantajlı olduğu görülmüştür [36].

Üretilen tall yağı biyodizelinin %100 oranında bir dizel motorunda kullanılması neticesinde düşük ısıl değerinin yakıt tüketimini artıracığı düşünülmektedir. Tall yağı biyodizelinin ısıl değeri dizel yakıtına göre yaklaşık %12 daha azdır. Isıl değerce az olan yakıtların silindir içerisinde daha çok tüketildiği yapılan bir çok çalışmada bahsedilmektedir [37]. Ayrıca yakıtların bazı özellikleri silindir içerisinde yanmayı etkileyen önemli bir etmendir. Özellikle yüksek yoğunluk ve viskozite değerinin ise yanmayı kısmen kötüleştirceği ifade edilmektedir [38, 39]. Yoğunluk değeri açısından tall yağı biyodizelinin dizel yakıtına göre yaklaşık %6 fazladır. Yoğunluk değeri dizel yakıtına belirli oranlarda karıştırılarak önlenilecek bir parametredir. Özellikle dizel yakıtları ile ilgili genel bir standart olan .EN14214 standartının sağlanması adına 878 kg/m<sup>3</sup> değeri kritik bir öneme de sahiptir. Bu nedenle yakıtın dizel yakıtına belirli oranlarda karıştırılarak kullanılması son derece önemlidir [40, 41]. Tall yağı asitlerinden elde edilen biyodizelin viskozite değeri saf dizel yakıtına göre yaklaşık yaklaşık % 173 daha yüksektir. Yüksek viskoziteli bir yakıt olan tall yağı biyodizelinin motorda kullanımının bazı olumsuz etkileri olabileceği daha önceki çalışmalar da bahsedilmektedir [42]. Setan sayısı açısından tall yağı biyodizeli üretimi ile iyileşmenin kaydedildiği görülmektedir. Yüksek setan sayısı dizel motorlar için bir avantajdır [43]. Biyokütle yakıtlarıyla yapılan çalışmalarda yüksek setan sayısının oluşması beklenen bir durum olarak ortaya çıkmaktadır [44]. Tall yağı biyodizelinin bulutlanma noktası 3 °C'dir Bu değer yakıtın kış koşullarında kullanımı için uygun bir sıcaklık değeri değildir. Saf biyodizel kullanımında kış aylarında yakıt filtresinin tıkanmasına neden olabilecek bir sıcaklık aralığındadır [45]. Parlama noktası yakıtların taşınması ve depolanmasında önemli bir parametredir [46]. Fakat fazla miktarda yüksek parlama noktası yakıtın yanma özelliklerine etkilemektedir. Bu açıdan parlama noktasının dizel yakıtına yakın olması beklenir. Saf dizel yakıtının parlama noktası 73 °C iken tall yağı biyodizelinin parlama noktası 105 °C sıcaklığa çıkmıştır. Kükürt petrol kökenli yakıtlarda istenmeyen ve çevre kirliliğine neden olan önemli bir kaynaktır [47.] Genel olarak biyokütle yakıtları ile yapılan çalışmalarda biyodizelin kükürt içermediğinden bahsedilmektedir. [48].

## SONUÇ

Çalışmanın temel amacı olan örnek çalışmadaki metanol yerine fuzel yağının kullanılmasının etkili olduğu görülmüştür. Bu sayede atık olarak gün yüzüne çıkan fuzel yağı biyodizel üretiminde alternatif bir kaynak olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar her ne kadar fuzel yağının alkol olarak kullanılması ile

biyodizel üretildiğini göstermiş olsa da çalışmanın farklı parametreler üzerine detaylandırılması önem arz etmektedir. Çalışmanın ilerleyen süreçlerinde alkol oranının etkisi, katalizör oranının etkisi, reaksiyon sıcaklığı ve reaksiyon süresi gibi detayların incelenerek fuzel yağının kullanımının optimizasyonun yapılması gerekmektedir.

## KAYNAKÇA

- [1] Özer S. As lubricating oil in a two-stroke gasoline engine use of vegetable oil, Uluslararası Doğu Anadolu Fen Mühendislik ve Tasarım Dergisi, 2 67-87, 2020.
- [2] Özer S. İki zamanlı bir motorda benzin/alkol karışımlarının yakıt olarak kullanılmasının gürültü ve titreşime etkisi, Engineering Sciences, 15 113-123, 2020.
- [3] Özer S. The effects of alcohol addition to fuel on piston wear in a two-stroke engine, The International Journal of Energy and Engineering Sciences, 4 43-52, 2019.
- [4] Özel S., Vural E., Binici M. Optimization of the effect of thermal barrier coating (TBC) on diesel engine performance by Taguchi method, Fuel, 263 116537, 2020.
- [5] Kalam M.A., Masjuki H.H., Jayed M.H., Liaquat A.M. Emission and performance characteristics of an indirect ignition diesel engine fuelled with waste cooking oil, Energy, 36 397-402, 2011.
- [6] Canakci M., Ozsezen A.N., Turkcan A. Combustion analysis of preheated crude sunflower oil in an IDI diesel engine, Biomass and Bioenergy, 33 760-767, 2009.
- [7] Nwafor O.M.I., Rice G. Performance of rapeseed oil blends in a diesel engine, Applied Energy, 54 345-354, 1996.
- [8] Durmuş B., Koçer N.N. Türkiye'de yetişen yağlı tohumlardan biodizel üretim potansiyelinin incelenmesi, Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi, 7 80-95, 2017.
- [9] Doğan T.H., Karagöz Ö. Optimization of the production of biodiesel from beef tallow applying ultrasound technology, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 16 485-493, 2019.
- [10] Aykırı M. Enerjide dışa bağımlılık ve sağlıklı büyüme: Türkiye Örneği, Aydın İktisat Fakültesi Dergisi, 3 5065, 2017.
- [11] İnternet: Resmi Gazete, Motorin türlerinin biodizel ile harmanlanması hakkında tebliğ, Erişim Tarihi: 03.03.2020. www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2017/06/20170616-8.html
- [12] Gürü M., Koca A., Özer C., Çınar C., Şahin F. Biodiesel production from waste chicken fat based sources and evaluation with mg based additive in a diesel engine, Renewable Energy, 35 637-643, 2014.
- [13] Akder A.H. Finansal kriz ve gıda ürünleri fiyatları, Uluslararası Ekonomik Sorunlar, 33 27-38, 2008.
- [14] Keskin A., Aydın K., Tall yağı biyodizel üretimi ve bunun dizel motor performansı ve emisyonları üzerindeki etkileri, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 20 85-84, 2005.
- [15] Özer S. Ham pirina yağından biyodizel üretiminde alkol olarak fuzel yağı kullanımı, Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 4 136-143, 2018.
- [16] Altıparmak D., Keskin A., Koca A., Gürü M. Alternative fuel properties of tall oil fatty acid methyl ester-diesel fuel blends, Bioresource Technology, 98 241-246, 2007.
- [17] Keskin A., Yasar A., Gürü M., Altıparmak D. Usage of methyl ester of tall oil fatty acids and resinic acids as alternative diesel fuel, Energy Conversion and Management, 51 2863-2868, 2010.

- [18] Welsh F.W. Williams R.E., Lipase mediated production of flavor and fragrance esters from fusel oil, *Journal of Food Science*, 54 1565-1568, 1989.
- [19] Erdem F. Durukan E., Fuzel yağının fraksiyonlarına ayrılması ve değerlendirilmesi, Şeker Enstitüsü, Rapor No: 21, 1991.
- [20] Calam A. Fuzel yağının buji ile ateşlemeli bir motorda yakıt karışımı olarak kullanılmasının motor performansı ve emisyonlara etkisinin incelenmesi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2012.
- [21] Digambar S., Dilip S., Soni S.L. Sumit S., Pushpendra K.S., Amit, J. A review on feedstocks, production processes, and yield for different generations of biodiesel, *Fuel*, 262 116553, 2020.
- [22] Şimsek S., Özdalyan B. Improvements to the composition of fusel oil and analysis of the effects of fusel oil-gasoline blends on a spark-ignited (SI) engine's performance and emissions, *Energies*, 11 113-118, 2018.
- [23] Özer S., Ham pirina yağından biyodizel üretiminde alkol olarak fuzel yağı kullanımı, Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2015.
- [24] Keskin A., Yasar A., Gürü M., Altıparmak D. Usage of methyl ester of tall oil fatty acids and resinic acids as alternative diesel fuel, *Energy Conversion and Management*, 51 2863-2868, 2010.
- [25] Anu S., Naira S., Al-Bahrya N., Gathergood B., Nath T., Nallusamy S. Production of microbial lipids from optimized waste office paper hydrolysate, lipid profiling and prediction of biodiesel properties, *Renewable Energy*, 148 124-134, 2020.
- [26] Eric M., Somnath S., Joseph S.C., Tyler P.E., Fang L., Arul M.V., Anthe G., Ryan W.D. Superior performance biodiesel from biomass-derived fusel alcohols and low grade oils: Fatty acid fusel esters (FAFE), *Fuel*, 268 117408, 2020.
- [27] Yun L., Hui T., Xuan Z., Yunjun Y., Hameed B.H. Effect of monohydric alcohols on enzymatic transesterification for biodiesel production, *Chemical Engineering Journal*, 157 223-229, 2010.
- [28] Erdiwansyaha R., Mamata M.S.M., Sania K., Sudhakarac A., Kadarohmand R., Sardjono E. An overview of Higher alcohol and biodiesel as alternative fuels in engines, *Energy Reports*, 5 467-479, 2019.
- [29] Juan AM, Gemma V, Gabriel M, Marta P, Javier B. Oxygenated compounds derived from glycerol for biodiesel formulation: Influence on EN 14214 quality parameters, *Fuel*, 2010 89:2011-2018
- [30] Aktaş A., Özer S. Biodiesel production from leftover olive cake, *Energy Education Science and Technology Part A: Energy Science and Research*, 30 89-96. 2012.
- [31] Aktaş A., Özer S. Ham pirina yağının biyodizel potansiyelinin araştırılması, *Ziraat Fakültesi Dergisi*, 9 132-139, 2014.
- [32] Agarwal A., Khurana A.D. Long-Term storage oxidation stability of karanja biodiesel with the use of antioxidants, *Fuel Processing Technology*, 106, 447-452, 2013.
- [33] Özer S. Pirina yağından fuzel yağı ile biyodizel üretimi ve dizel motor performans ve emisyonlarına etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2015.
- [34] Aydın M., Afşar M., Çelik MB. The effects of waste biodiesel usage on engine performance and emissions at a single cylinder diesel engine, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5 871-878, 2017.
- [35] Aydoğan B., Usta N., Can Ö., Öztürk E. Atık kızartma yağlarından TS EN 14214 standardına uygun biyodizel yakıt üretimi, 19. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi 9-12 Eylül 2013, Samsun.
- [36] Gülüm M., Bilgin A., Çakmak A. Düşük viskoziteli atık kızartma yağı etil esterleri üretimi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Baskıda, 2019.
- [37] Alptekin E. Emission, injection and combustion characteristics of biodiesel and oxygenated fuel blends in a common rail diesel engine, *Energy*, 119 44-52, 2017.
- [38] Keskin A. The effect of cottonseed oil methyl ester-eurodiesel fuel blends on the combustion, performance and emission characteristics of a direct injection diesel engine, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 34 915-927, 2019.
- [39] Rakopoulos D.C., Rakopoulos C.D., Giakoumis E.G., Dimaratos A.M. Characteristics of performance and emissions in high-speed direct injection diesel engine fueled with diethyl ether/diesel fuel blends, *Energy*, 43 214-224, 2012.
- [40] Çelik M., Solmaz H., Yücesu H.S. Examination of the effects of n-heptan addition to cotton methyl ester on the engine performance and combustion characteristics, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 30 361-369, 2015.
- [41] Xiongbo D., Jingping L., Yonghao T., Baojun L., Genmiao G., Zhenkuo W., Weiqiang L., Yangyang L. Influence of single injection and two-stagnation injection strategy on thermodynamic process and performance of a turbocharged direct-injection spark-ignition engine fuelled with ethanol and gasoline blend, *Applied Energy*, 228 942-953, 2018.
- [42] Bari S., Yu C., Lim T. Effect of fuel injection timing with waste cooking oil as a fuel in a direct injection diesel engine, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 218 93-104 2004.
- [43] Ulusoy Y., Tekin Y., Çetinkaya M., Karaosmanoğlu F. The engine tests of biodiesel from used frying oils, *Energy Sources*, 26 927-932, 2004.
- [44] Kumar M.S., Jaikumar M. A comprehensive study on performance, emission and combustion behavior of a compression ignition engine fuelled with WCO (waste cooking oil) emulsion as fuel, *Journal of the Energy Institute*, 87 263-271, 2014.
- [45] Özer S. Pirina yağının fuzel yağı ile esterleştirilmesi, *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 4 136-143, 2018.
- [46] Çildir O., Çanakçı M. Çeşitli Bitkisel Yağlardan Biyodizel Üretiminde Katalizör Ve Alkol Miktarının Yakıt Özellikleri Üzerine Etkisinin İncelenmesi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21 367-372, 2006.
- [47] Guliyev R., Akgün M. Ardahan'da kullanılan kömürün hava kirliliğine etkisinin incelenmesi, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 22 479-489, 2020.
- [48] Kalam M.A., Masjuki H.H., Jayed M.H., Liaquat A.M. Emission and performance characteristics of an indirect ignition diesel engine fuelled with waste cooking oil, *Energy*, 36 397-402, 2020.