


## RESEARCH ARTICLE

# Evaluation of the usability of biodiesel fuels obtained from oils with different free fatty acid ratios in diesel engines in terms of chemical properties

\*  Mahmut Uyar

\* Siirt University, Technical Sciences Vocational School, Siirt 56100, Türkiye  
mahmutuyar@siirt.edu.tr, Orcid: 0000-0002-4981-393X

**Citation:**

Uyar, M.(2024). *Farklı Serbest Yağ Asidi Oranlarına Sahip Yağlardan Elde Edilen Biyodizel Yakıtlarının, Dizel Motorlardaki Kullanılabilirliğinin Kimyasal Özellikler Açısından Değerlendirilmesi*, Journal of Science Technology and Engineering Research, 5(2): 176-185. DOI: 10.53525/jster.1590794

**HIGHLIGHTS**

- Biodiesel was produced from two different oils with low and high free fatty acid (FFA) contents.
- The physical and chemical properties of the produced fuels were examined.
- The effects of oil exposure to acid reaction and differences in production processes on engine performance were investigated.

**Article Info**

Received : 25 Novem. 2024

Accepted : 02 Decem. 2024

**DOI:**

10.53525/jster.1590794

**\*Corresponding Author:**

Mahmut Uyar

mahmutuyar@siirt.edu.tr

Phone: +90 484 224 1080

**ABSTRACT**


*In this experimental study, biodiesel production was carried out from two different oils with low and high free fatty acid (FFA) content. The physical and chemical properties of the produced fuels were examined and the aim was to interpret their usability in a diesel engine within the scope of chemical laboratory results. It was determined that the FFA rates of canola and waste vegetable oil were 3.8% and 15.05%, respectively. Acidic pre-neutralization process was performed on the oil with high FFA rate. It was observed that there was a partial decrease in the values such as Density, Viscosity, Heating value and Cetane number of the fuel sample produced with acidic reaction compared to the sample produced with transesterification reaction. It was concluded that the long-chain chemical bond structures of the fuel produced with acid-catalyzed pre-treatment were broken down during the reaction phase. It was determined that this change in the fuel sample did not prevent its usability as fuel in a diesel engine.*

**Keywords:** Vegetable oil, Biodiesel, Diesel engine, Canola oil, Fatty acid



## ARAŞTIRMA MAKALESİ

# Farklı Serbest Yağ Asidi Oranlarına Sahip Yağlardan Elde Edilen Biyodizel Yakıtlarının, Dizel Motorlardaki Kullanılabilirliğinin Kimyasal Özellikler Açısından Değerlendirilmesi

\*  Mahmut Uyar

\* Siirt Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Siirt, 56100, Türkiye  
mahmutuyar@siirt.edu.tr, Orcid: 0000-0002-4981-393X

**Alıntı / Citation :**

Uyar, M. (2024). *Farklı Serbest Yağ Asidi Oranlarına Sahip Yağlardan Elde Edilen Biyodizel Yakıtlarının, Dizel Motorlardaki Kullanılabilirliğinin Kimyasal Özellikler Açısından Değerlendirilmesi*, Journal of Science Technology and Engineering Research, 5(2): 176-185. DOI: 10.53525/jster.1590794

**ÖNE ÇIKANLAR / HIGHLIGHTS**

- Düşük ve yüksek serbest yağ asit (SYA) içeriğine sahip iki farklı yağdan biyodizel üretilmiştir.
- Üretilen yakıtların fiziksel ve kimyasal özellikleri incelenmiştir.
- Yağın asit reaksiyonuna maruz kalmasının ve üretim prosesindeki farklılığın motor performansına etkisi incelenmiştir.

**Makale Bilgileri / Article Info**

Geliş Tarihi : 25 Kasım 2024

Kabul Tarihi : 02 Aralık 2024

DOI: 10.53525/jster.1590794

**\*Sorumlu Yazar:**

Mahmut Uyar

mahmutuyar@siirt.edu.tr

Tel: +90 484 224 1080

**ÖZET / ABSTRACT**

Bu deneysel çalışmada, düşük ve yüksek serbest yağ asit (SYA) içeriğine sahip iki farklı yağdan biyodizel üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen yakıtların fiziksel ve kimyasal özellikleri incelenerek, dizel bir motorda kullanılabilirliğinin kimyasal laboratuvar sonuçları kapsamındaki yorumlanması amaçlanmıştır. Kanola ve atık bitkisel yağın SYA oranlarının sırasıyla %3,8 ve %15,05 oranlarında olduğu tespit edilmiştir. SYA oranı yüksek olan yağda asidik ön nötrleştirme işlemi yapılmıştır. Asidik reaksiyon ile üretilen yakıt numunesinin, transesterifikasyon reaksiyonu ile üretilen numuneye kıyasla; Yoğunluk, Viskozite, Isıl değer ve Setan sayısı gibi değerlerinde kısmi bir azalma olduğu gözlemlenmiştir. Asit katalizörlü ön işlem ile üretilen yakıtın, reaksiyon aşamasında uzun zincirli kimyasal bağ yapılarının parçalanmış olduğu sonucuna varılmıştır. Yakıt numunesindeki bu değişimin, dizel bir motorda yakıt olarak kullanılabilirliğine engel teşkil etmediği tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Bitkisel yağ, Biyodizel, Dizel motor, Kanola yağı, Yağ asidi

## I. GİRİŞ [INTRODUCTION]

Kamu kurum ve kuruluşlarında kullanılan dizel jeneratörler ve ağır tonajlı iş makineleri başta olmak üzere dizel motorlara birçok sektörde etkin bir şekilde ihtiyaç duyulmaktadır. Otomotiv firmaları her ne kadar, içten yanmalı motorlara alternatif olarak hibrid veya tam elektrikli araçları üretme çabası içerisinde olsalar da uzunca bir süre daha dizel motorların sektörde kullanılmaya devam edeceği düşünülmektedir. Çünkü birçok gelişmekte olan ülkenin, elektrik ana şebeke altyapısının yetersiz olduğu bilinmektedir. Kısa süreli araç şarj işlemleri yüksek amper gerektirmektedir. Bu durum, besleme trafolarının ve kablo kesitlerinin yetersiz kalmasına ortam hazırlayarak, ancak kısıtlı sayıda aracın şarj edilebilmesine imkân tanıyacaktır. Bu hususa ek olarak, dizel yakıtlar, mobil güç santrallerinde ve zorlu arazi şartlarında çalışmak zorunda kalan ağır iş makinalarında kullanılmaktadır. Elektrikli motorların belirtilen bu talebe kısa vadede çözüm üretmesi teknik olarak mümkün görünmemektedir. Belirtilen bu açıklamalar doğrultusunda, binek araçlarda kullanılan benzinli motorlar sektör dışı kalacak olsa bile, dizel motorların hayatımızda uzunca bir süre daha yer alacağı düşünülmektedir. Dizel motorların sunduğu yüksek performans ve muhtelif sektörlerdeki vazgeçilmezliği dikkate alındığında, tükenmekte olan dizel yakıtı alternatif oluşturmaktan başka bir çare görülmemektedir. Gerek çevreci olması ve gerek se kolay elde edilebilir nitelikte olması sebebiyle hususları dikkate alındığında biyodizel'in dizel yakıtın alternatifi olacağı değerlendirilmektedir. Dizel motorun tasarımcısının da ilk olarak bitkisel yağları dizel motorda denemiş olduğu gözden kaçırılmamalıdır.

Fosil kaynaklı yakıt rezervlerinin gün geçtikçe azalmaya yüz tutması neticesinde dünya genelinde dizel yakıtı alternatif oluşturabilecek yakıt numuneleri üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Bu kapsamda muhtelif bitkisel yağlar [1–3,7], muhtelif hayvansal yağlar [4-6], ve muhtelif atık yağlardan [8-9] biyodizel üretimi yapılabilmektedir. Motor performansının artırılması ve zararlı emisyonlarının minimize edilmesi amacıyla sadece dizel motorlarda değil, aynı zamanda benzinli motorlar üzerinde de araştırmaların sürdürüldüğü anlaşılmaktadır. Benzin yakıtı ile ilgili çalışmalarda çeşitli katkı maddelerinin belirli oranlarda katkı olarak kullanılmasıyla motor performans değerlerinin iyileştiği ve zararlı emisyon değerlerinin minimize edildiği şeklindeki çalışmaların da bulunduğu gözlemlenebilmektedir [10-13]. Hidrojen ve karbon içeriğine sahip olan tüm yağlardan biyodizel üretimi yapılabilmektedir. Ancak üretim prosesinin tespitinde en önemli parametre Serbest Yağ Asit (SYA) oranıdır. SYA oranı %5'in üzerinde olan yağlardan biyosizel üretimi mümkün olmakla beraber proses ve üretimdeki yol haritası değişkenlik göstermektedir. SYA oranı %5'in üzerinde olan yağlarda faz ayrışmasının sağlanabilmesi için asit katalizörlü bir ön reaksiyona ihtiyaç duyulmaktadır. Aksi takdirde yakıt yerine sabun üretilmektedir. Hal böyle olunca biyodizel üretimi öncesinde ilk olarak yapılması gereken işlem SYA tespiti olmalıdır. [14-19].

Bu çalışmanın temel amacı, yüksek SYA oranlarına sahip olan yağların en ekonomik şartlarda nötralleştirilmesi ve nötralleştirme işlemi sonunda üretilen biyodizel yakıtlarının, fiziksel ve kimyasal özelliklerinin geleneksel üretim yöntemleri ile karşılaştırılmasıdır. Elde edilen yakıtların fiziksel ve kimyasal özellikleri laboratuvarında test işlemine tabi tutularak, asit kullanımı ile elde edilen yakıt ile asit kullanılmadan elde edilen yakıtların içerik itibarıyla farklılığı analiz edilmiştir. Bu çalışmanın, özellikle hayvansal ürün kızartması yapan (balık, köfte vb) işletmelerden atık olarak temin edilen yüksek SYA içerikli yağların en etkili ve en ekonomik şekilde nötralleştirmesine hizmet edebileceği değerlendirilmektedir. Diğer taraftan uzunca bir süre rafta beklemiş, acılaşmış ve gıda olarak kullanılabilirliğini yitirmiş olan yağlardaki SYA oranının oldukça yüksek olduğu bilinmektedir. Bu tip yağlarında, bu çalışmada kullanılan asidik nötralleştirme yöntemi ile biyodizel yakıtına dönüştürülebileceği değerlendirilmiştir.

### A. Yağ Asit Kompozisyonu

Biyodizel üretiminde kullanılacak olan yağların, yağ asit kompozisyonu farklılık gösterebilmektedir. Bu farklılık motor performansını ve emisyon değerlerini etkilememekle beraber yağın reaksiyona tabi tutulması durumunda ortaya çıkacak olan biyodizel yakıt numunesinin yakıt olarak kullanılabilirliği hususunda ip uçları vermektedir. Üretimde kullanılacak olan yağın, doymuş yağ asit kompozisyonu setan sayısı ile yakından ilişkilidir [20]. Deneysel çalışmada kullanılan yağların oleik ve linoleik asit içeriğinin benzerlik gösterdiği Tablo 1'deki analizler neticesinde anlaşılmaktadır.

**Tablo 1.** Yağ asit kompozisyonu

Yağ asiti türü	Karbon Bağı	Kanola yağı (%)	Atık Bitkisel yağ (%)
Oleik asit	C18:1	67,39	18,60
Linoleik asit	C18:2	24,61	57,61
Palmitik asit	C16:0	5,59	6,67
Stearik asit	C18:0	1,30	2,90
Palmitoleik asit	C16:1	0,77	0,15
Margarik asit	-	-	-
Linolenik asit	C18:3	0,06	13,77
Miristik asit	C14:0	-	-
Ekosenoik asit	-	0,09	0,17
Araşidik asit	C20:0	0,12	0,13
Heptadesenenoik asit	-	0,09	-
Toplam (%)	-	100	100

## II. METARYAL VE METOD [METARIAL AND METHOD]

### A. Kullanılan yağların Serbest Yağ Asiti Tayini

DeneySEL çalışma kullanılan yağların SYA tayini yapılırken; yağdan 30 gr ölçüğünde numune alınarak, bu yağın 3'de biri oranında fenol ftaleinin alkoldeki çözeltisi ile karışımı sağlanır, sonrasında ise 0,2 mol ölçüğünde NaOH eşliğinde titrasyon işlemine tabi tutulmaktadır. Kademeli olarak devam ettirilen titrasyon işleminde, yağ numunesi pembeleşme noktasına gelene kadar NaOH dozlaması yapılmaktadır. Şekil 1'deki gibi yağ kendi rengini kaybedip pembe renge bürünene kadar işleme devam edilmektedir. Pembeleşme anındaki dozlama miktarı tespit edilerek, bu miktar asidin mol kütlesi ile çarpılır. Elde edilen sonuç reaksiyonda kullanılan yağın yoğunluğuna bölünerek SYA oranı tespiti yapılmaktadır.



**Şekil 1.** Yağın SYA değerinin tespitindeki titrasyon işlemi

İki farklı yağ asidi cinsinden deneylerde kullanılacak yağların SYA oranlarının yüzdesel oranları tespit edilmiştir. Bu tespitlere ilişkin sayısal veriler Tablo 2’de sunulmuştur.

**Tablo 2.** Reaksiyonda kullanılan yağların içeriğindeki SYA oranları

Yağ Numunesi	Stearik asit (%)	Oleik asit (%)
Kanola Yağı	3,80	3,86
Atık Bitkisel Yağ	15,05	14,95

Serbest yağ asidi tayini analizi işlemlerinin sonunda, kanola yağının serbest yağ asit oranının %5’in altında, atık bitkisel yağın ise %15’in üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Yapılan analiz neticesinde kanola yağının asidik reaksiyona ihtiyaç duyulmadan sadece baz katalizörlü transesterifikasyon reaksiyonu ile biyodizele dönüştürülebileceği tespit edilmiştir. Ancak atık bitkisel yağın SYA oranının yüksek olması sebebiyle asidik reaksiyona tabi tutulması gerektiği anlaşılmıştır.

Yapılan bilimsel ve akademik çalışmalarda SYA oranı %5’in üzerinde olan yağ numuneleri için iki aşamalı reaksiyona ihtiyaç duyulduğu belirtilmektedir [21-23]. Birinci aşama, asit katalizörlü nötrleştirme işlemi iken ikinci aşamanın standart baz katalizörlü transesterifikasyon reaksiyonu olduğu belirtilmektedir.

#### *B. Kullanılacak yağ numunesinde bulunan nemin sistemden uzaklaştırılması*

Asit ve baz katalizörlü reaksiyonlar öncesinde yağın nemden ayrıştırılması reaksiyonun hatasız sürdürülebilmesi için oldukça önem arz etmektedir. Yağ numunesi içerisindeki nemin sabun oluşumuna ve gliserinin ayrıştırılması engel teşkil etmesinin yanı sıra yeni SYA oluşumuna zemin hazırladığı bilinmektedir. Şekil 2’deki görselde sunulan evaporasyon cihazı yardımıyla yağın kimyasal içeriğine zarar vermeden nemin yağdan uzaklaştırılması sağlanmıştır. Bu işlem, çalışmada kullanılacak olan her bir yağ numunesi için gerçekleştirilerek, reaksiyonların ve prosesin standart sapması önlenmiştir.



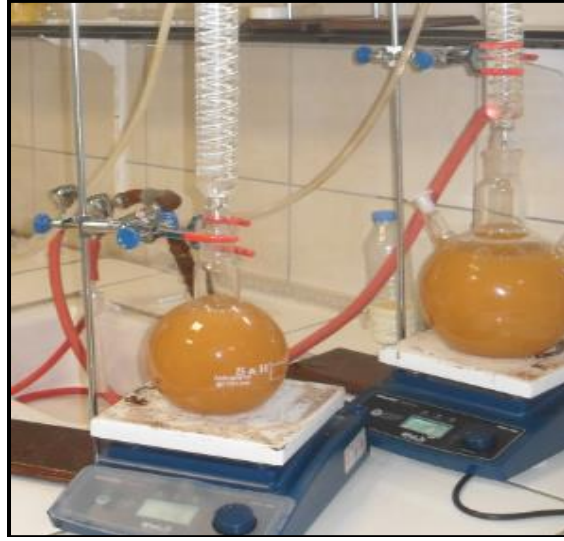
**Şekil 2.** Kullanılan yağ ve üretilen biyodizelin nemden arındırılması

### C. Etil Ester (Biyodizel) üretimindeki ön hazırlıklar

Reaksiyon öncesi yapılan bu çalışmalarda, proses şartlarının eşitliğinin sağlanması amacıyla yapılmış olup reaksiyondaki sıcaklık ve katalizör oranlarının eşdeğerliği sağlanmıştır.

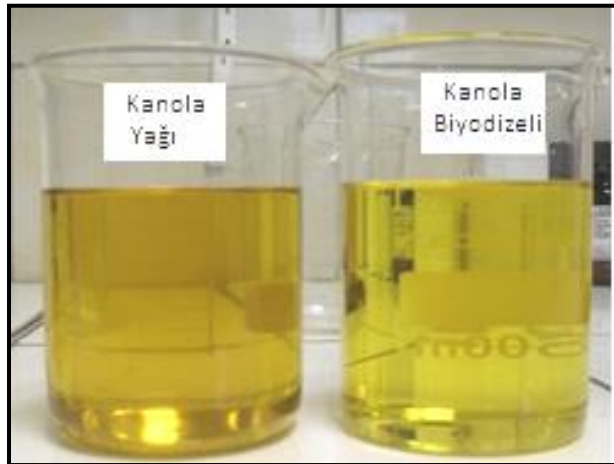
### D. Kanola Yağı Biyodizelinin hazırlık aşamaları

500 ml ölçөгindeki kanola yağı, 65 °C ve 600 devir şartlarında reaksiyona tabi tutulmuştur. Katalizör olarak etanol ve NaOH tuzu kullanılmıştır. Şekil 3'te gösterilen deneysel şartlarda reaksiyon işlemi 2 saat süre ile sürdürülmüştür.



Şekil 3. Transesterifikasyon reaksiyonu

Bu araştırma kapsamında, işlemin sonunda elde edilen etil ester (biyodizel) ile ham yağın görsel kıyaslaması Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Kanola yağı ve etil esterini

### E. Atık Bitkisel Yağı Etil Esterinin (biyodizelin) üretim süreci

Tablo 2.1’de sunulan SYA oranları dikkate alındığında, atık bitkisel yağ içerisindeki %15,05 oranındaki SYA'nın nötrleştirilmesi gerektiği anlaşılmaktadır [24-26]. Yağın kimyasal özelliğinin bozulmaması adına reaksiyonda kullanılacak olan asit miktarının gram cinsinden tespiti ve hesaplamasının yapılması gerektiği tespit edilmiştir. Bu kapsamda, hesaplamalar kütesel olarak tespit edilmiştir.

Atık bitkisel yağın yoğunluk değeri = 0,890 gr/cm<sup>3</sup> , diğer bir deyişle 1000ml = 890gr'a karşılık gelmektedir.  $890 \times \frac{15,05}{100} = 133,94$  gr SYA olduğu tespit edilmiştir. 133,94 gram SYA'nın nötrleştirilmesi için ihtiyaç duyulan asit miktarının  $133,94 \text{ gr} \times 0,01 = 1,339$  gr olduğu tespit edilmiştir. Tespiti yapılan gram cinsinden değer ml cinsine çevrilmesi gerekmektedir.  $1,3394 \text{ gr} / 1,841 \text{ gr / ml} = 0,727$  ml olup, 500ml yağ numunesi için ise 0,363 ml asite ihtiyaç duyulmaktadır [14-19].

500 ml ölçüğündeki atık bitkisel yağ, 83 °C ve 400 devir şartlarında asidik reaksiyona tabi tutulmuştur. 100 ml etanol ve 0. 363 ml sülfürik asit eşliğindeki reaksiyon, 5 saat sürdürülmüştür. Reaksiyon bitiminde SYA' içeriğinin ve diğer atıkların alt fazda kaldığı görülmüş olup, ayırma hunisi marifetiyle sistemden uzaklaştırılmıştır. Yapılan son analiz neticesinde %15,05 oranındaki SYA oranının %1.8'e kadar düştüğü tespit edilmiştir. Bu işlemin ardından ikinci reaksiyon olan baz katalizörlü transesterifikasyon reaksiyonu uygulanmıştır. 500 ml ölçüğündeki atık bitkisel yağ, 65 °C ve 600 devir şartlarında ikinci reaksiyona tabi tutulmuştur. Katalizör olarak etanol ve NaOH tuzu kullanılmıştır. Şekil 5.(a)'deki faz ayrıştırması ve Şekil 5 (b)'deki yıkama işleminin ardından buharlaştırma ve filtrasyon işlemi yapılarak Şekil 6'daki şekilde yakıt numunesi depolanmıştır.



Şekil 5. Atık bitkisel yağın; (a) Gliserin ayrışması, (b) Saf su ile yıkama işlemi



Şekil 6. Atık bitkisel yağ ve üretilen (biyodizel) Etil esteri

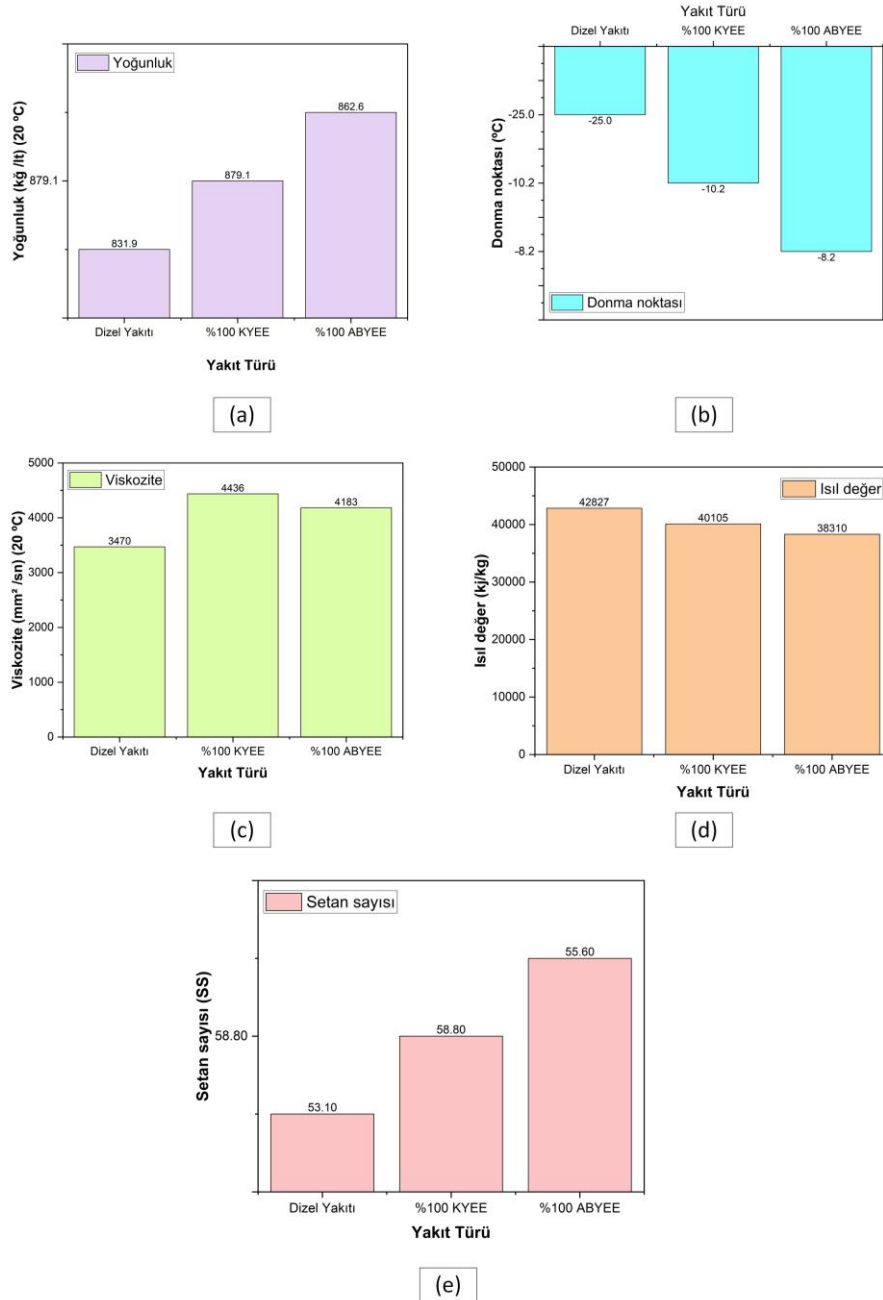
Elde edilen yakıt numuneleri, LİMAK Kurtalan Çimento Fabrikasının Kimya Laboratuvarında ek ücret karşılığında hizmet alınarak ölçülmüştür. Her bir numunenin test işlemi 3 defa tekrarlanmış olup kararlı sonuçların alınmasının ardından tespit edilen değerlerin ortalaması alınarak Tablo 3'teki sonuçlara ulaşılmıştır. Elde edilen analiz sonuçları

sonuç kısmında mütalaa edilmiştir.

**Tablo 3.** Dizel ve biyodizel yakıtlarının fiziksel ve kimyasal özellikleri analiz sonuçları

Yakıt türü	Yoğunluk (kg /lt) (20 °C)	Viskozite (mm <sup>2</sup> /sn) (20 °C)	Isıl değer (kJ/kg)	Donma noktası (°C)	Setan sayısı (SS)
Dizel Yakıtı	831,9	3,470	42,827	-25,0	53,10
% 100 KYEE	879,1	4,436	40,105	-10,2	58,80
% 100 ABYEE	862,6	4,183	38,310	-8,2	55,60

Bu araştırma kapsamında elde edilen Dizel ve biyodizel yakıtlarının fiziksel ve kimyasal özellikleri analiz sonuçları ayrıca Şekil 7’de grafikler olarak sunulmuştur.



**Şekil 7.** Elde edilen sonuçların grafikleri; (a) yoğunluk, (b) donma noktası, (c) viskozite, (d) ısıl değer, (e) setan sayısı



### III. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME [CONCLUSION]

Bu deneysel çalışmanın sonunda düşük ve yüksek serbest yağ asit içeriğine sahip iki farklı yağdan biyodizel üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen yakıtların fiziksel ve kimyasal özellikleri incelenerek, dizel bir motorda kullanılabilirliğinin kimyasal laboratuvar sonuçları kapsamındaki yorumlaması amaçlanmıştır.

Deneysel çalışmada; rafine kanola yağı ve Atık bitkisel yağ kullanılmıştır. Kullanılan yağların asit kompozisyonu (oleik ve linoleik içeriği bakımından) benzer özellikler taşırken, serbest yağ asit içeriği bakımından belirgin farklılıklar olduğu tespit edilmiştir. Gıda mühendisliği ve yağ rafineri tesislerinde SYA ölçümü, Spektroskopi, Gaz kromatografisi, Spektrofotometrik ve Titrasyon yöntemi ile gerçekleştirilmektedir. En ekonomik ve en yaygın olarak kullanılan yöntem titrasyon olarak karşımıza çıkmaktadır. Diğer yöntemlerde maliyetli analiz cihazları kullanılırken titrasyon yönteminde, herhangi bir cihaza ihtiyaç duyulmaksızın en maliyetsiz iki kimyasal olan NaOH tuzu ve etil alkol ile ölçüm ve analizler yapılabilmektedir. Deneysel çalışmalarımızda SYA ölçümlerinde titrasyon yöntemi kullanılmıştır. Fenol ftaleinin alkoldeki çözeltisi ile SYA analizi yapıldığında, Kanola yağında %3,8, atık bitkisel yağda ise %15,05 oranında SYA olduğu tespit edilmiştir. Bu durumda %5'in üzerinde SYA oranına sahip olduğu tespiti yapılan atık bitkisel yağa transesterifikasyon reaksiyonu öncesinde asidik ön nötrleştirme işlemi yapılması gerektiği anlaşılmıştır. SYA varlığında biyodizel üretimi teknik olarak mümkün değildir. Bu sebeple, SYA oranı %5'in altında olan kanola yağı ile biyodizel üretiminde tek aşamalı baz katalizörlü transesterifikasyon yöntemi kullanılırken, SYA oranı %5'in üzerinde olan atık bitkisel yağı ile biyodizel üretiminde önce asit katalizörlü nötrleştirme işlemi ardından ise baz katalizörlü transesterifikasyon yöntemi ile üretim tamamlanmıştır. İki farklı yöntem ile elde edilen biyodizel yakıtlarının, üretim prosesi farklılığından kaynaklı olarak fiziksel ve kimyasal özelliklerindeki değişimin karşılaştırmasının yapılabilmesi için elde edilen biyodizel yakıtları 5 farklı analize tabi tutulmuştur. Bu çalışmada elde edilen yakıt numunelerinin içerik itibarıyla dizel motorlarda kullanılan standart yakıtın fiziksel ve kimyasal özelliklerini taşıyıp taşımadığı araştırılmıştır.

Bu çalışma kapsamında elde edilen yakıtların ASTM standartlarının alt ve üst sınır değer aralığında olduğu yönünde tespit yapılmıştır. Bir sonraki akademik çalışmada, bu çalışmada üretimi yapılan yakıt numunelerinin dizel bir motordaki güç karakteristiğine ve emisyon değerlerine etkisinin araştırılması planlanmaktadır. Asit nötrleştirmesine tabi tutularak 2 aşamalı olarak üretilen biyodizel yakıtının diğer yakıtla kıyasla; Yoğunluk değerinde % 2.4, Viskozite değerinde %6.3, Isıl değerinde %4.5 ve Setan sayısında %5.55 oranlarında kısmi bir azalma olduğu gözlemlenmiştir. Bu azalmanın gerekçeleri ise; SYA oranı yüksek olan atık bitkisel yağa, asit katalizörlü ön işlem uygulanmış olması sebebiyle reaksiyon aşamasında uzun zincirli kimyasal bağ yapısına sahip hidrokarbonların kırılma (kraking) olarak tabir edilen parçalanma reaksiyonuna maruz kalmış olması olarak yorumlanmıştır.

#### KATKI ORANI BEYANI [STATEMENT OF CONTRIBUTION RATE]

Yazarın çalışmadaki katkı oranı %100'dür.

#### ÇIKAR ÇATIŞMASI [CONFLICTS OF INTEREST]

Yazar ve ilgili kurumlar arasında herhangi çıkar çatışması olmadığını bildirmiştir.

#### ETİK KURALLARA UYGUNLUK [Compliance With Ethical Rules]

Yazar bu makalenin etik kurul onayı veya herhangi bir özel izin gerektirmediğini beyan eder.

#### KAYNAKLAR [REFERENCES]

- [1]- Hazar, H., 2009.Effect of biodiesel on a low heat loss diesel engine, Renewable Energy, 34, 1533-1537.
- [2]- Hazar, H., 2008. Kanola metil esterinin dizel motorunun performansına ve emisyon karakteristiklerine etkilerinin belirlenmesi, Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları, 60-65.
- [3]- Mazed, M.A., 1984. Test of vegetable oil as fuel in direct and indirect injection diesel engine, Ph.D. Thesis, Oklahoma State University, ABD.

- [4]- Behçet, R. ve Çakmak, A.V., 2011. Bir dizel motorda yakıt olarak kullanılan balık yağı metil esteri karışımlarının motor performans ve emisyonlarına etkisi, 6th International Advanced Technologies Symposium (LATS'11), 16-18 Mayıs, Elazığ, Turkey, 161-165.
- [5]- Gürü, M., Koca, A., Can, Ö., Cakir, C. and Şahin, F., 2010. Biodiesel production from waste chicken fat based sources and evaluation with Mg based additive in a diesel engine, *Renewable Energy*, 35, 637-643.
- [6]- Altun, Ş., 2009. Hayvansal yağlardan biyo-yakıt üretimi ve bir dizel motorunda kullanılabilirliğinin deneysel araştırılması, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [7]- Budak, N., Bayındır, H., ve Yücel, H.L., 2009. Dizel motorlarda biyodizel kullanımının performans ve egzoz emisyonlar açısından değerlendirilmesi, V. Yenilenebilir enerji kaynakları sempozyumu Diyarbakır 123-130.
- [8]- Hazar, H., 2010. Cotton methyl ester usage in a diesel engine equipped with insulated combustion chamber, *Appl. Energy*, 87, 134-140.
- [9]- Arpa, O., Yumrutaş, R. ve Kaşka, O., 2008. Atık motor yağından elde edilen dizel benzeri yakıtın motor performans ve eksoz emisyonu üzerindeki etkisinin incelenmesi, VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, 17-19 Aralık İstanbul, 293-304.
- [10]- Uçkan, İ., Yakın, A., & Behçet, R. (2024). Second law analysis of an internal combustion engine for different fuels consisting of NaBH<sub>4</sub>, ethanol and methanol mixtures. *International Journal of Hydrogen Energy*, 49, 1257-1267
- [11]- Yakın, A., & Behçet, R. (2021). Effect of different types of fuels tested in a gasoline engine on engine performance and emissions. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46(66), 33325-33338.
- [12]- Uçkan, İ., Yakın, A., Cabir, B. (2024). Investigation the performance of a new fuel produced from the phthalocyanine-gasoline mixture in an internal combustion engine. *International Journal of Hydrogen Energy*, 71, 884-893.
- [13]- Yakın, A., Behçet, R., Solmaz, H., & Halis, S. (2022). Testing sodium borohydride as a fuel additive in internal combustion gasoline engine. *Energy*, 254, 124300.
- [14]- Keskin, A., 2005. Tall yağı esaslı biyodizel ve yakıt katkı maddesi üretimi ve bunların dizel motor performansı üzerindeki etkileri, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [15]- Gürü, M., Karakaya, U., Altıparmak, D. ve Alıcılar, A., 2002. Improvement of diesel fuel properties by using additives, *Energy Conversion & Management*, 43, 1021-1025.
- [16]- Haas, M. J., Scott, K. M., Marmer, W. N., Foglia, T. A., "In situ Alkaline Transesterification: An Effective Method for the Production of Fatty Acid Esters from Vegetable Oils" *Journal of American Oil Chemists Society*, 81:1, 83-89, 2004.
- [17]- J.M. Marchetti, A.F. Errazu, Esterification of free fatty acids using sulfuric acid as catalyst in the presence of triglycerides, *Biomass and Bioenergy* 32, (2008), 892- 895.
- [18]- Altıparmak D., Keskin A., Koca A. And Gürü M., 2007. Alternative fuel properties of tall oil fatty acid methyl ester-diesel fuel blends, *Bioresource Technology*, 98, 241-246.
- [19]- Naik, M., Meher, L.C., Naik, S.N. and Das, L.M., 2008. production of biodiesel from high free fatty acid karanja (pongamia pinnata) oil, *Biomass and Bioenergy*, 32, 354-357.
- [20]- Alptekin, E. and Çanakçı, M., 2010. Optimization of pretreatment reaction for methyl ester production from chicken fat, *Fuel*, 89, 4035-4039.
- [21]- Reyes, J.F. and Sepulveda, M.A., 2006. PM-10 emissions and power of a diesel engine fueled with crude and refined biodiesel from salmon oil, *Fuel*, 85, 1714-1719.
- [22]- Naik, M., Meher, L.C., Naik, S.N. and Das, L.M., 2008. production of biodiesel from high free fatty acid karanja (pongamia pinnata) oil, *Biomass and Bioenergy*, 32, 354-357.
- [23]- Sharma, Y.C. and Singh, B., 2008. Development of biodiesel from karanja, a tree found in rural India, *Fuel*, 87, 1740-1742.
- [24]- Graboski, M.S. and McCormick, R.L., 1998. Combustion of fat and vegetable oil derived fuels in diesel engines, *Prog. Energy Combust. Sci.*, 24, 125-164.
- [25]- Fukuda, H., Kondo A. and Noda H., 2001. Review biodiesel fuel production by transesterification of oils, *Journal of Biosci. and Bioeng.*, 92, 405-416.
- [26]- Sims, Ralph E.H., 1985, Tallow esters as an alternative diesel fuel, *transactions of ASAE*, 28, 716-721.