



## EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE USE OF BIOFUELS IN MOBILE POWER PLANTS

Muhammed Mustafa Uyar<sup>\*1</sup>, Hikmet Esen<sup>2</sup>, Mahmut Uyar<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Malatya Turgut Özal University, Arapgir V.H.S, Department of Electrical and Energy, Malatya, Turkey

<sup>2</sup>Firat University, Faculty of Technology Department of Energy Systems Engineering, Elazığ, Turkey

<sup>3</sup>Siirt University, Teknik Bilimler V.H.S, Department of Machine and Metal Technologies, Siirt, Turkey

### Abstract

Original scientific paper

In this study, biodiesel was produced from canola, soybean and waste sunflower oils by using base-catalyzed transesterification reaction. Biodiesel produced from these oils has been investigated to comply with TS-EN 14214 standards. The produced fuels were mixed with diesel fuel at 5%, 10% and 20% and tested in a three-cylinder direct injection diesel engine. Engine performance and emission characteristics have been compared with diesel fuel. In addition, electricity generation costs in case of using biodiesel and diesel fuel were compared. According to the experimental results; It has been determined that biodiesel blends have similar properties with diesel fuel. With the increase in the biodiesel ratio in diesel fuel, an increase was observed in specific fuel consumption and exhaust outlet temperature. When the use of biodiesel in the engine is compared to diesel fuel, it has been observed that there is a decrease in HC, CO, smoke emissions, and an increase in CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> and O<sub>2</sub> values. As a result of the engine tests, it has been concluded that biodiesel and blended fuels can be used in the diesel engine without changing its structure. It has been observed that biodiesel provides more benefits than diesel fuel in terms of wear due to its lubricating properties. In addition, it has been seen that it will be an alternative fuel for diesel engines as it has a reducing effect on air pollution. It has been determined that the lowest production cost among the test fuels is waste sunflower oil biodiesel. While 1 kW of electricity was produced for 2.12 TL in the use of diesel fuel, it was determined that it was produced for 1.99 TL in the use of 20% waste sunflower oil biodiesel (AAYB20) fuel.

**Keywords:** Biofuel, Canola oil, Soybean oil, Waste sunflower oil, Mobile power plants

## MOBİL GÜÇ SANTRALLERİNDE BİYOKAYIT KULLANILMASININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

### Özet

Orijinal Bilimsel Makale

Bu çalışmada kanola, soya ve atık ayçiçeği yağlarından baz katalizörlü transesterifikasyon reaksiyonu uygulanarak biyodizel üretilmiştir. Bu yağlardan üretilen biyodizeller TS-EN 14214 standartlarına uygun olduğu araştırılmıştır. Üretilen yakıtlar dizel yakıtla %5, %10 ve %20 oranlarında karıştırılarak üç silindirli direkt püskürtmeli bir dizel motorda test edilmiştir. Motor performans ve emisyon karakteristikleri dizel yakıt ile kıyaslanmıştır. Ayrıca biyodizel ve dizel yakıt kullanılması durumundaki elektrik üretim maliyetleri karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçlara göre; biyodizel karışımlarının dizel yakıt ile benzer özellikler gösterdiği tespit edilmiştir. Dizel yakıt içerisindeki biyodizel oranının artması ile özgül yakıt tüketiminde ve egzoz çıkış sıcaklığında artış gözlenmiştir. Motordaki biyodizel kullanımı dizel yakıt ile kıyaslandığında HC, CO, duman emisyonlarında düşüş, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> ve O<sub>2</sub> değerlerinde artış olduğu görülmüştür. Yapılan motor testleri sonucunda biyodizel ve karışım yakıtlarının dizel motorda yapısında değişiklik yapılmadan kullanılabilirliği sonucuna varılmıştır. Biyodizellerin yağlama özelliği olduğundan dolayı aşınmalar konusunda dizel yakıtla kıyasla daha fayda sağladığı görülmüştür. Ayrıca hava kirliliğini azaltıcı etkisi olduğu için dizel motorlar için alternatif bir yakıt olacağı görülmüştür. Test yakıtları arasında en düşük üretim maliyetinin atık ayçiçeği yağı biyodizeli olduğu tespit edilmiştir. Dizel yakıt kullanımında 1 kW elektrik, 2.12 TL'ye üretilirken, %20 oranında atık ayçiçeği yağı biyodizeli (AAYB20) yakıtının kullanımında ise 1.99 TL bedel karşılığında üretilmiş olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Biyodizel, Kanola yağı, Soya yağı, Atık ayçiçeği yağı, Mobil güç santralleri

### 1 Giriş

Ulaştırma sektörü başta olmak üzere, deniz taşımacılığı, endüstriyel ve tarımsal faaliyetlerde dizel motorlar aktif bir şekilde kullanılmaktadır. Dizel yakıtın kullanım alanının bu denli geniş ve petrol rezervinin de sınırlı olması durumları bir bütün halinde değerlendirildiğinde, ilerleyen yıllarda dizel yakıtın litre fiyatının artması ve hatta sektörlerin enerji talebinin karşılanamaması durumu ile karşılaşılması olası bir durumdur. Ayrıca fosil kaynaklı yakıtların motorlarda yanması sonucunda ortaya çıkan egzoz gazlarının çevreye

verdiği zarar da kabul edilebilir sınırları zorlamaktadır. Bu nedenle dizel motorların enerji ihtiyacına cevap verebilecek formda, çevre dostu ve standart dizel yakıtla alternatif oluşturacak nitelikte alternatif yakıtlara ihtiyaç duyulmaktadır. Alternatif yakıtın yenilenebilir, ekonomik, çevre dostu ve kolay elde edilebilir olması gerekmektedir. Biyodizel, dizel motorlar için bu gereksinimleri karşılayabilecek alternatif bir yakıt tipi olarak kabul edilmektedir. Yapılan bu çalışmada farklı özelliklere sahip biyodizel yakıtlarının bir dizel motorda performans, emisyon ve maliyet değerlerinin dizel yakıtla göre kıyaslanması amaçlanmıştır. Son yıllarda, farklı bitkisel

\* Corresponding author.

E-mail address: muhammed.uyar@ozal.edu.tr (M. M. Uyar | ORCID Number : 0000-0001-9897-6279)

Received 27 October 2020; Received in revised form 24 November 2020; Accepted 25 November 2020

2587-1943 | © 2020 IJIEA. All rights reserved.

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.817012>

yağlar (soya, kolza, pamuk, mısır, yarfıstığı, haşhaş, kanola, ayçiçeği [1-3], hayvansal yağlar (hayvansal iç yağ, tavuk yağı, balık) [4-6], atık kızartma yağları [7] ve atık motor yağları [8] biyodizel üretiminde kullanılmıştır. Yapılan çalışmalarda biyodizelin ulaşım, tarım ve nakliye sektörlerinde kullanılabilirliği araştırılmış olmasına rağmen, enerji üretimi alanında kullanımı yeterince incelenmemiştir. Bu kapsamda yapılan çalışmalar incelendiğinde; Aksoy ve ark (2019); %10 balık yağı biyodizeli ve % 90 dizel yakıt, karışımından oluşan yakıtı; direkt enjeksiyonlu bir dizel motorda yanma ve performans durumlarını deneysel olarak incelemelerinde deney motorunu 2200 d/d da 3.75, 7.5, 11.25 ve 15 Nm motor yüklerinde çalıştırarak teste tabi tutmuştur. Deney sonucunda balık yağı biyodizeli-dizel yakıt karışımının dizel motorda değişikliklik yapılmadan kullanılabilirliği görülmüştür [9]. Radhakrishnan ve ark (2019); saf biyodizel ve suyun karışımından elde edilen yakıtların dizel motoru üzerindeki performans, emisyon ve yanma özelliklerini incelemişlerdir [10].

## 2 Çalışmada Kullanılan Yağlar ve Özellikleri

### 2.1 Kanola Yağı

Kanola yağı, kolza bitki tohumlarının genetik olarak ıslah edilmesiyle elde edilmiş tohumlardan elde edilen bir yağ çeşididir. Kanada tarafından geliştirilip tüm dünyaya tanıtıldığı için Canadian Oil, olarak bilinmektedir. Uzun yıllar makinelerde yağlama amaçlı kullanılmış ve daha sonra market raflarında yer almaya başlamıştır. Piyasada satımı gerçekleşen kanola yağları kolza bitkilerinin olumsuzluklarından arındırılmış olup kanola yağlarındaki erüsik asit oranı % 40'tan % 0.1 oranlarına kadar düşürülmüştür ve bu kadar düşük bir oran da insan sağlığı üzerinde olumsuz etki oluşturmamaktadır. Kanola yağının bir diğer olumlu yönü ise doymuş yağ oranının düşük olmasıdır. Doymuş yağ oranı; zeytinyağında % 15, ayçiçek yağlarında %12 iken bu oran kanola yağlarında % 7 civarındadır. Kanola yağındaki doymuş yağ oranındaki bu düşük oran ve içeriğinde omega-3 yağ asidi bulunması sağlığa önemli bir katkı sağlamaktadır.

Kanola yağının tercih sebeplerinden bir diğeri ise ayçiçeği yağına oranla ısıya karşı daha dayanıklı olmasıdır. Bu da kızartma yağı olarak tercih edilmesini sağlamaktadır. Ayrıca kızartma sonrası yağda tat değişikliği de oluşmamaktadır.

### 2.2 Soya Yağı

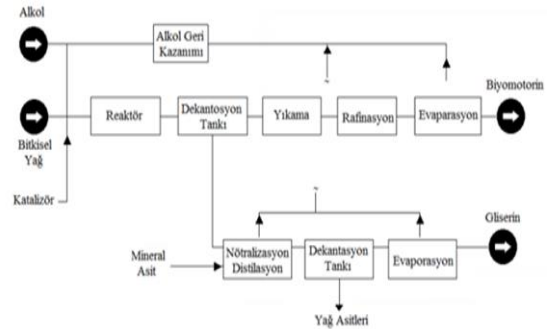
Soya yağı, soya yağı leguminosae familyasından glycine max türlerinin tohumlarından elde edilir. Soya ziraati ile uğraşan başlıca ülkeler Amerika, Brezilya, Arjantin, Çin ve Japonya' dır. Soya yağının ülkemizde ayçiçeği yağının liderliğinin sürdürdüğü sıvı yağ pazarı içindeki payı ise %1' den daha düşüktür. Soya tohumunun kimyasal bileşiminde protein içeriği (%40) yüksek olan küspesi için ekimi yapılan soya tohumunda %20-22 oranında yağ bulunmaktadır.

## 2.3 Atık Ayçiçeği Yağı

Bu çalışmada atık kızartma yağının biyodizel üretiminde kullanılmasının en önemli nedeni karşılaştırma amaçlıdır. Karşılaştırma için özellikle bu yağ seçilmiştir, çünkü biyodizel üretiminde en çok kullanılan yağ olması ve maliyet açısından en ucuz olmasıdır. Ayrıca bu metil esteri katkı maddeleriyle destekleyip, fiziksel ve kimyasal yönden daha kaliteli bir yakıt haline getirmek atık yağların incelenmesinin nedenleri arasındadır. Ayrıca çevreye ve insan sağlığına verdiği zararlar da düşünüldüğünde atık yağlar hususunda daha detaylı çalışmalar yapılması gerekliliği hassasiyetle değerlendirilmelidir.

## 3 Biyodizel Yakıtlarının Hazırlanması

Bu çalışmada, baz katalizörlü transesterifikasyon reaksiyonu uygulanarak kanola, soya ve atık ayçiçeği yağlarından biyodizeller üretilmiştir. Farklı bitkisel yağların dizel motorlarda sorunsuz bir şekilde yakıt olarak kullanılabilmesi için bazı ön işlemlere tabi tutulması gerekmektedir. Bu işlemler tercih edilme sırasına göre transesterifikasyon, seyreltme, mikro emülsiyon ve proliz olarak sıralanabilir. Biyodizel üretiminde aşağıdaki işlem basamakları takip edilmektedir. Bu deneysel çalışmada yağların fiziksel ve kimyasal özellikleri dikkate alınarak transesterifikasyon yöntemi kullanılmıştır. Yöntemin üretim sürecindeki aşamaları Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Biyodizelin üretim şeması

Transesterifikasyon, yağların (trigliseridlerin) viskozitesini azaltmak amacıyla uygulanan bir reaksiyondur. Bu işlemden yağ, monohidrik bir alkol türü ile (metanol, etanol, izopropil), katalizör (asidik, bazik katalizörler ile enzimler) varlığında reaksiyona tabi tutulur. Bu reaksiyon sonucunda yağ asitleri elde edilir. Biyodizel üretiminde sırasıyla, alkol ve katalizörün karıştırılması, reaksiyon, ayırma, alkolün uzaklaştırılması, gliserin nötralizasyonu, metil ester yıkama işlemi gibi işlem basamakları takip edilmektedir.

Reaksiyon işleminde kullanılacak olan yağların nemden arındırılmış olması oldukça önemlidir. Çünkü suyun, reaksiyonu olumsuz etkilemesinin yanı sıra yeni serbest yağ asitlerinin oluşumuna da sebebiyet vereceği bilinmektedir. Temin edilmiş olan yağlar, soğuk pres yöntemi ile elde edildiği için içeriğinde nem bulunma ihtimali yüksektir. Bu sebepten dolayı, transesterifikasyon işlemine başlamadan önce Şekil 2'deki cihazda vakum altında 72 °C sıcaklıkta, yağın içeriğindeki olası nem uzaklaştırılmıştır.



Şekil 2. Buharlaştırma işlemi

1000 ml kanola, soya ve atık ayçiçeği yağı üç boyunlu bir balon içerisinde manyetik karıştırıcıda 500 (RPM) devir ve 60 °C sıcaklık şartlarında karıştırılmıştır. Bir diğer manyetik karıştırıcıda ise kullanılan yağın %20'si kadar (200 ml) metanol içerisinde, yağın % 0.4'ü kadar (4 gr) sodyum hidroksit (NaOH) tuzu tamamen çözünene kadar karıştırılmıştır. NaOH tuzu metanol içerisinde tamamen çözüldükten sonra, 60 °C'de sabit sıcaklıkta karıştırılmakta olan kanola, soya ve atık ayçiçeği yağlarına hazırlanmış olan çözelti kademeli olarak ilave edilmiştir. Şekil 3'deki gibi geri soğutuculu sistem altında 2 saat süreyle transesterifikasyon reaksiyonu devam ettirilmiştir.



Şekil 3. Transesterifikasyon işlemi

2 saatin sonunda madde, ayırma hunisine alınarak gliserin ve metil esterlerin faz ayrışmasını sağlamak için 24 saatlik bir bekleme süresine tabi tutulmuştur. Bekleme süresinin bitiminde yoğunluğu fazla olan gliserinin alt fazı oluşturduğu gözlemlenmiştir. Ayırma hunisinin vanası açılarak alt faz yani gliserin fazı alınmıştır. Her ne kadar reaksiyon sonunda gliserin fazı net bir şekilde ayrılmış olsa da; gliserin, tuz ve artık metanol yağ asitleri fazında bulunmaktadır. Biyodizel içerisinde homojen olarak karışan bu maddeleri, metil ester içinden ayırtmak için yıkama işlemine tabi tutmak gerekmektedir. Gliserin, tuz ve metanol ün ortak özelliği suda çözünüyor olmalarıdır. Yıkama işleminde bu maddeler suda çözünerek alt faza alınır. Bu sayede metil esterden ayrıştırılmış olur. Daha da saflaşan biyodizel son olarak buharlaştırma işlemine tabi tutularak içeriğindeki nem uzaklaştırılmıştır. Ürün son halini aldıktan sonra filtrelenecek depolanmıştır.

#### 4 Motor Test Materyalleri

Deney seti, dizel motor, senkron jeneratör, hassas terazi, AC yük grubu, egzoz gazı analiz ve duman ölçüm cihazından oluşmaktadır. Deneysel çalışma Genpower marka bir dizel motorda gerçekleştirilmiştir. Çalışma esnasında motorda herhangi bir aksamda değişiklik yapılmamıştır. Elde edilen kanola, soya ve atık ayçiçeği biyodizelleri teste tabi tutulmuştur. Deney düzeneğinin şematik görüntüsü Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4. Deney düzeneğinin şematik görüntüsü

Deneylere başlamadan önce yağlama yağının değişimi, hava filtresinin temizlenmesi gibi bir takım rutin motor bakımları yapılmıştır. Motorun yakıt enjektörleri sökülerek kontrolleri yapılmıştır. Tüm yakıt testleri motorda herhangi bir modifikasyon yapılmadan gerçekleştirilmiştir. Motor standart dizel yakıt ile bir süre yüksüz çalıştırılmış ve sonra motor optimum çalışma sıcaklığına geldikten sonra motora 2.5 kW (%25) – 5 kW (%50) – 7.5 kW (%75) – 10 kW (%100) değerlerdeki 4 ayrı kademede yük uygulanmıştır. Bu işlem üç defa tekrar edilmiş ve ölçülen değerlerin ortalaması kaydedilmiştir. Bir yakıt türü için ölçümler tamamlandıktan sonra motor durdurulup, bir süre beklendikten sonra diğer yakıt türü ile çalışmaya geçilmiştir. Deneysel çalışmada yukarıda belirtilen değişken yük değerlerinde özgül yakıt tüketimi (g/kWh), HC (ppm), CO (%), CO<sub>2</sub> (%), O<sub>2</sub> (%), NO<sub>x</sub> (ppm), egzoz çıkış sıcaklığı (°C) ve duman (is) emisyon değerleri ölçülmüştür.

#### 5 Deneysel Sonuçlar ve Tartışma

Kanola yağından hazırlanan %5 oranında kanola biyodizeli (KYB5), %10 oranında kanola biyodizeli (KYB10) ve %20 oranında kanola biyodizeli (KYB20) ve soya yağından hazırlanan %5 oranında soya biyodizeli (SYB5), %10 oranında soya biyodizeli (SYB10) ve %20 oranında soya biyodizeli (SYB20) ve atık ayçiçeği yağından hazırlanan %5 oranında atık ayçiçeği biyodizeli (AAYB5), %10 oranında atık ayçiçeği biyodizeli (AAYB10) ve %20 oranında atık ayçiçeği biyodizeli (AAYB20) test yakıtlarının özgül yakıt tüketimi (ÖYT) ve egzoz emisyonları test edilmiştir. Test işlemi dizel jeneratörün, 1500 d/d sabit devir ve değişken yük şartlarında ölçülmüştür. Bu ölçümlerde ölçülen ve hesaplanan ÖYT, NO<sub>x</sub>, CO, HC, is (duman) salınımı ve egzoz gazı sıcaklık değerleri standart dizel yakıtın değerleri ile kıyaslanmıştır. Ölçüm değerleri bütün değerlendirilen parametreler için hem tablo hem şekil olarak verilmiştir.



## 5.1 Özgül Yakıt Tüketimi Değerlerinin Analizi

Özgül yakıt tüketimi, birim güç başına tüketilen kütleli yakıt miktarı olarak tanımlanmaktadır. Test işlemi neticesinde hesaplanan (ÖYT) değerleri, Tablo 1 ve Şekil 5’ de gösterilmiştir. Özgül yakıt tüketimi değerleri motor gücüne bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Düşük yük şartlarında; ısı kayıpların fazla olması ve azalan türbülans nedeniyle kötüleşen homojen dolgu şartlarına bağlı olarak yanma veriminin düşük olması, tüm test yakıtlarında (ÖYT) değerleri yüksek çıkmasına sebep olmaktadır. Yükün artması ile beraber silindir içi yanma sıcaklığının yükselmesi, yanma performansının iyileşmesi ve ısı verimliliğinin artması (ÖYT) değerlerini düşürmektedir. Tüm yük şartlarının ortalaması dikkate alınarak yapılan hesaplamada en düşük özgül yakıt tüketimi değeri dizel yakıtında iken, en yüksek özgül yakıt tüketimi değerin ise (AAYB20) yakıt numunesinde olduğu tespit edilmiştir. Test yakıtlarının tamamında yükün artması ile beraber termik verimin arttığı ve beraberinde özgül yakıt tüketimi değerlerinin düştüğü görülmektedir. Biyodizel içerikli test yakıtlarının viskozite ve yoğunluk değerlerinin yüksek, ısı enerji değerinin ise düşük olması, standart dizel yakıtına göre (ÖYT) değerlerinin yüksek

**Tablo 1.** Yakıt numunelerinin değişken yükteki ÖYT değerleri

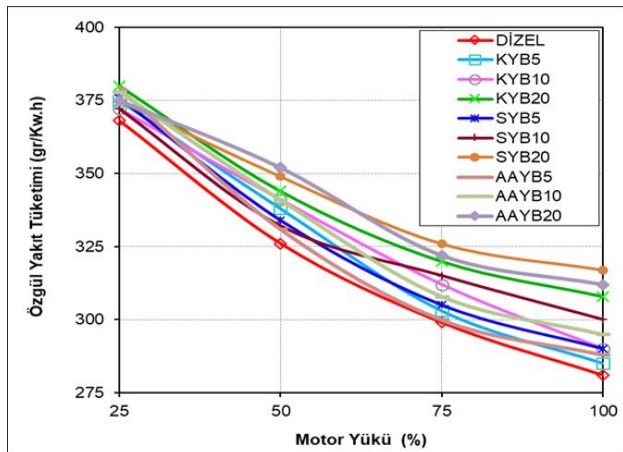
KYB	ÖYT DEĞERİ (gr/kWh)			
	% 25	% 50	% 75	% 100
DY	368	326	299	281
B5	375	338	303	285
B10	372	341	312	290
B20	380	344	320	308

SYB	ÖYT DEĞERİ (gr/kWh)			
	% 25	% 50	% 75	% 100
DY	368	326	299	281
B5	376	334	305	290
B10	372	332	315	300
B20	375	349	326	317

AAYB	ÖYT DEĞERİ (gr/kWh)			
	% 25	% 50	% 75	% 100
DY	368	326	299	281
B5	379	331	300	288
B10	378	341	308	295
B20	375	352	322	312



**Şekil 5.** Yakıt numunelerinin değişken yükteki (ÖYT) değerlerindeki değişimi

çıkmasına sebebiyet verdiği görülmüştür. Kanola biyodizelinin soya ve atık ayçiçeği biyodizeline kıyasla; birim güç başına daha az yakıt harcadığı tespit edilmiştir. Kanola biyodizelinin ısı enerji değerinin, soya ve atık ayçiçeği biyodizeline göre yüksek olması bu farklılığın en temel sebebi olarak gösterilmiştir. Yanma odasına püskürtülen yakıtın; yoğunluğu, viskozitesi ve ısı değeri (ÖYT) değerlerini doğrudan etkileyen en temel unsurlardır [12-14].

## 5.2 NO<sub>x</sub> Emisyonu Değerlerinin Analizi

Yanma odasına alınan havada %79 oranında bulunan azot NO<sub>x</sub> emisyonlarının kaynağı olarak gösterilmektedir. Bu emisyon, motorun yüksek sıcaklık değerlerindeki çalışmasında oluşmaktadır. NO<sub>x</sub> terimi, NO ve NO<sub>2</sub>'nin atmosferdeki toplam yoğunluğunun ifadesidir. Kullanılan havanın içeriğindeki oksijen aşırı sıcak çalışma şartlarında ve yanma için yeterli zaman oluştuğunda, azot ile reaksiyona girer. NO<sub>x</sub>'in oluşması silindir içi basınç ve sıcaklığa bağlıdır. Ayrıca tutuşma gecikmesi ve yanma periyodu da bu oluşumun diğer yan unsurlardır. Test yakıtlarının NO<sub>x</sub> emisyonu değerleri, Tablo 2 ve Şekil 6’ da gösterilmiştir.

**Tablo 2.** Yakıt numunelerinin değişken yükteki NO<sub>x</sub> emisyonu değerleri

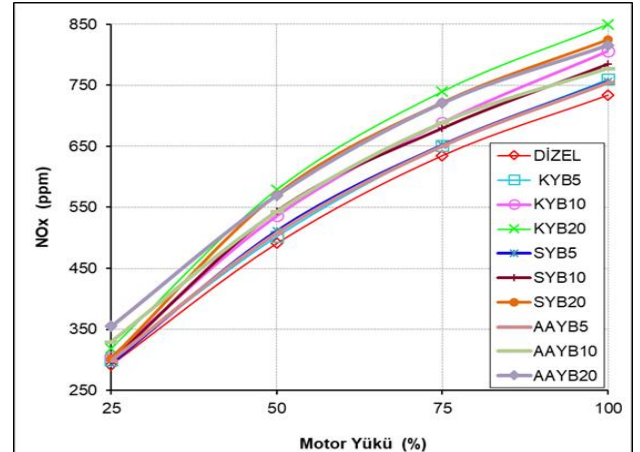
KYB	NO <sub>x</sub> EMİSYONU (ppm)			
	% 25	% 50	% 75	% 100
DY	292	491	635	734
B5	300	502	651	760
B10	305	536	689	806
B20	319	579	740	850

SYB	NO <sub>x</sub> EMİSYONU (ppm)			
	% 25	% 50	% 75	% 100
DY	292	491	635	734
B5	294	511	652	756
B10	299	544	680	785
B20	302	571	722	825

AAYB	NO <sub>x</sub> EMİSYONU (ppm)			
	% 25	% 50	% 75	% 100
DY	292	491	635	734
B5	299	508	651	755
B10	330	543	689	778
B20	355	570	721	816



**Şekil 6.** Yakıt numunelerinin değişken yükteki NO<sub>x</sub> emisyonları değişimi

Motor yükünün artışına paralel olarak tüm test yakıtlarının NO<sub>x</sub> emisyonu değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Tüm yük şartları dikkate alındığında, en düşük NO<sub>x</sub> emisyonu değerlerinin dizel yakıtta, en yüksek NO<sub>x</sub> emisyonu değerlerinin ise (KYB20) yakıtında olduğu tespit edilmiştir. Biyodizel, kimyasal olarak oksijen içermektedir. Bu durum, silindir içi basıncı ve yanma sıcaklığını arttırmaktadır. Egzoz gazı sıcaklık değerleri de bu tespiti doğrular niteliktedir. Biyodizel içerikli test yakıtlarının NO<sub>x</sub> emisyonlarının yüksek çıkması belirtilen bu sebebe bağlanmıştır. Dizel yakıt içerisindeki biyodizel oranının artmasıyla silindir içi basınç ve sıcaklık değerlerinin yüksek seviyelere ulaşması, tutuşma gecikmesi ve yanma süresi NO<sub>x</sub> emisyonu oluşmasına neden olarak gösterilebilir [15].

### 5.3 CO Emisyonu Değerlerinin Analizi

CO emisyonunun oluşma nedeni yanma odasındaki oksijenin yetersizliği olarak ifade edilmektedir. Test yakıtlarının CO emisyonu değerleri, Tablo 3 ve Şekil 7' de gösterilmiştir. Tüm yük şartlarında biyodizel içerikli yakıtların CO değerleri, standart dizel yakıtı kıyasla düşük

**Tablo 3.** Yakıt numunelerinin değişken yükteki CO emisyonu değerleri

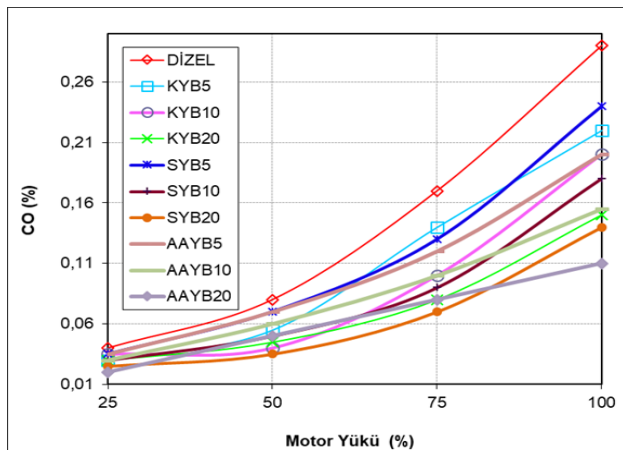
KYB	CO EMİSYONU (%)			
	% 25	% 50	% 75	% 100
DY	0.04	0.08	0.17	0.29
B5	0.03	0.055	0.14	0.22
B10	0.035	0.04	0.1	0.2
B20	0.03	0.045	0.08	0.15

SYB	CO EMİSYONU (%)			
	% 25	% 50	% 75	% 100
DY	0.04	0.08	0.17	0.29
B5	0.035	0.07	0.13	0.24
B10	0.03	0.05	0.09	0.18
B20	0.025	0.035	0.07	0.14

AAYB	CO EMİSYONU (%)			
	% 25	% 50	% 75	% 100
DY	0.04	0.08	0.17	0.29
B5	0.035	0.07	0.12	0.2
B10	0.03	0.06	0.1	0.155
B20	0.02	0.05	0.08	0.11



**Şekil 7.** Yakıt numunelerinin değişken yükteki CO emisyonları değişimi

değerlerde olduğu tespit edilmiştir. Analizler neticesinde en yüksek CO emisyonu dizel yakıtta ölçülürken, en düşük CO emisyonu ise (SYB20) yakıtında ölçülmüştür. Tüm test yakıtlarındaki CO değerleri bir bütün halinde değerlendirildiğinde, yakıt numunesi içerisindeki oksijen içeriğinin artması ile ters orantılı olarak CO emisyonlarının düştüğü gözlemlenmiştir.

CO emisyonlarının oluşumu dizel motorlarda birçok nedene bağlanabilir. Gaz sıcaklığının düşük olması, yeterli oksijenin bulunmaması ve CO<sub>2</sub>'ye dönüşüm için yeterli zamanın kalmamasından dolayı yanmanın tamamlanmamış olması CO emisyonu değerlerini artırır. Biyodizel yakıtının oksijen içermesi, düşük karbon oranı ve yüksek setan sayısı CO emisyonlarındaki azalmanın en temel sebepleridir [16].

### 5.4 HC Emisyonu Değerlerinin Analizi

HC emisyonları, kısaca eksik yanma olarak ifade edilmektedir. Test yakıtlarının HC emisyonu değerleri, Tablo 4 ve Şekil 8' de gösterilmiştir

**Tablo 4.** Yakıt numunelerinin değişken yükteki HC emisyonu değerleri

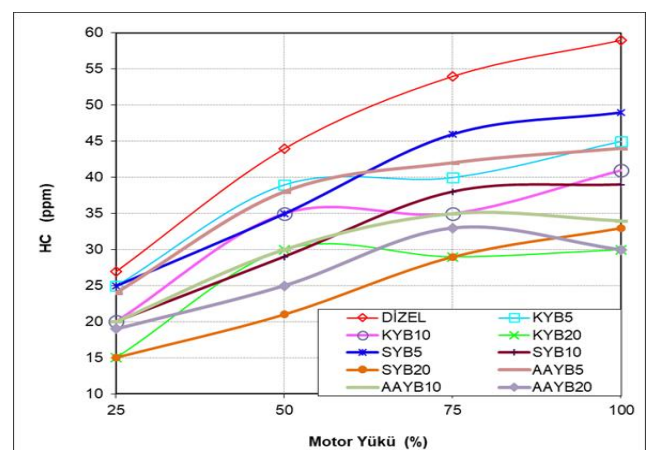
KYB	HC EMİSYONU (ppm)			
	% 25	% 50	% 75	% 100
DY	27	44	54	59
B5	25	39	40	45
B10	20	35	35	41
B20	15	30	29	30

SYB	HC EMİSYONU (ppm)			
	% 25	% 50	% 75	% 100
DY	27	44	54	59
B5	25	35	46	49
B10	20	29	38	39
B20	15	21	29	33

AAYB	HC EMİSYONU (ppm)			
	% 25	% 50	% 75	% 100
DY	27	44	54	59
B5	24	38	42	44
B10	20	30	35	34
B20	19	25	33	30



**Şekil 8.** Yakıt numunelerinin değişken yükteki HC emisyonları değişimi

Tüm test yakıtlarında, yükün artmasına paralel olarak kullanılan yakıt miktarının kütsel olarak artmış olması, HC emisyonlarının oluşumuna zemin hazırlamıştır. Tüm yük şartları dikkate alındığında, en yüksek HC emisyonu değerlerinin dizel yakıt kullanımında, en düşük HC emisyonu değerlerinin ise (SYB20) yakıtında ortaya çıktığı gözlemlenmiştir. Biyodizel içerikli yakıt numunelerinin setan sayısının ve oksijen içeriğinin yüksek olması, iyi bir yanma karakteristiğinin oluşmasına zemin hazırladığı ve bu sebeple biyodizel içerikli yakıt numunelerinin HC emisyon değerlerinin düşük çıkmış olduğu değerlendirilmiştir. Biyodizel içerikli test yakıtlarının egzoz gaz sıcaklık değerlerinin yüksek ölçülmesi de bu tespiti desteklemektedir.

### 5.5 Duman (is) Emisyonu Değerlerinin Analizi

Alev içerisindeki türbülanslı karışım alanları ve sıcaklık, is oluşumunu etkileyen önemli parametrelerdir. Test yakıtlarının duman (is) emisyonu değerleri, Tablo 5 ve Şekil 9’ da gösterilmiştir. Yükün artışı ile beraber kullanılan yakıt miktarının da artmış olması tüm test yakıtları için duman emisyonu değerlerini arttırmıştır.

**Tablo 5.** Yakıt numunelerinin değişken yükteki duman (is) emisyonu değerleri

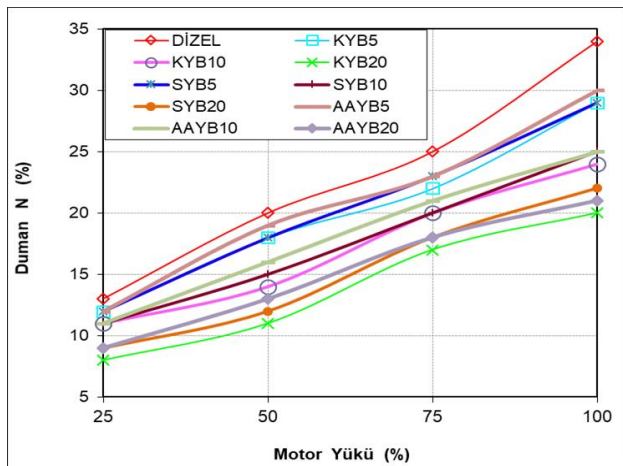
KYB	DUMAN (IS) SALINIMI (%)			
	% 25	% 50	% 75	% 100
DY	13	20	25	34
B5	12	18	22	29
B10	11	14	20	24
B20	8	11	17	20

SYB	DUMAN (IS) SALINIMI (%)			
	% 25	% 50	% 75	% 100
DY	13	20	25	34
B5	12	18	23	29
B10	11	15	20	25
B20	9	12	18	22

AAYB	DUMAN (IS) SALINIMI (%)			
	% 25	% 50	% 75	% 100
DY	13	20	25	34
B5	12	19	23	30
B10	11	16	21	25
B20	9	13	18	21



**Şekil 9.** Yakıt numunelerinin değişken yükteki duman (is) emisyonları değişimi

Tüm yük şartları dikkate alındığında, en yüksek duman emisyonu değerlerinin dizel yakıt kullanımında gerçekleştiği, en düşük duman emisyonu değerleri ise (KYB20) yakıtının kullanılmasında gerçekleştiği tespit edilmiştir. Oksijen içerikli yakıtlar silindir içi sıcaklığı arttırmaktadır. Bu artışın yanma verimini olumlu etkileyerek bölgesel sıcaklık değişimini önlediği düşünülmektedir. Bölgesel sıcaklık değişimi ve oksijen konsantrasyonu dağılımı is oluşumunu tetikleyen temel mekanizmalardır [17].

### 5.6 Egzoz Gazı Sıcaklık Değerlerinin Analizi

Yanma odasındaki ısı enerjisinin yüksek olması, egzoz çıkış sıcaklığının yüksek oluşmasına sebep olmaktadır. Test yakıtlarının egzoz gazı sıcaklık değerleri, Tablo 6 ve Şekil 10’ da gösterilmiştir. Yükün artmasına paralel olarak tüm yakıt numunelerinde egzoz çıkış sıcaklık değerlerinin artmış olduğu tespit edilmiştir. En düşük egzoz çıkış sıcaklığının dizel yakıt kullanımında, en yüksek egzoz çıkış sıcaklığının ise (AAYB20) yakıtının kullanılmasında gerçekleştiği görülmüştür. Biyodizel içerikli test yakıtlarının setan sayısının ve oksijen içeriğinin yüksek

**Tablo 6.** Yakıt numunelerinin değişken yükteki egzoz çıkış sıcaklığı değerleri

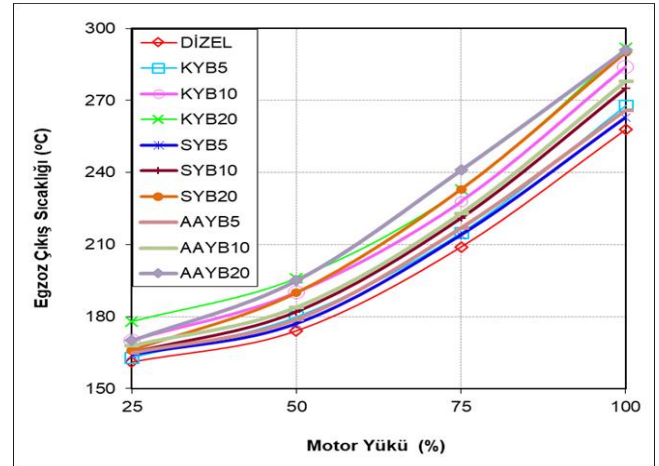
KYB	EGZOZ ÇIKIŞ SICAKLIĞI( °C )			
	% 25	% 50	% 75	% 100
DY	161	174	209	258
B5	163	180	215	268
B10	170	190	228	284
B20	178	196	233	292

SYB	EGZOZ ÇIKIŞ SICAKLIĞI( °C )			
	% 25	% 50	% 75	% 100
DY	161	174	209	258
B5	164	177	214	263
B10	165	182	221	275
B20	166	190	233	290

AAYB	EGZOZ ÇIKIŞ SICAKLIĞI( °C )			
	% 25	% 50	% 75	% 100
DY	161	174	209	258
B5	165	179	217	266
B10	168	184	223	278
B20	170	195	241	291



**Şekil 10.** Yakıt numunelerinin değişken yükteki egzoz çıkış sıcaklığı değişimi

olması egzoz çıkış sıcaklığı değerlerini yüksek seyretmesinin en temel sebebidir. Biyodizel kullanımında yanma periyodu, dizel yakıtı göre daha uzundur. Bu durum, biyodizel kullanımında egzoz sıcaklık değerlerinin artmasına zemin hazırlamaktadır [18]. İyi bir yanma karakteristiği, her zaman egzoz çıkış sıcaklığının yüksek değerlere ulaşmasına sebep olmaktadır.

## 6 Maliyet Analizleri

Analizler, yakıt üretim maliyeti ve elektrik üretim maliyeti olmak üzere iki aşamada değerlendirilmiştir. Kanola, soya ve atık ayçiçeği yağı kimyasal ortamda transesterifikasyon yöntemi kullanılarak biyodizele dönüştürülmüştür. Yakıt üretim maliyeti kimyasal süreçteki maliyetleri ihtiva etmektedir. Elektriksel maliyet analizinde ise; elde edilen yakıtların, dizel bir jeneratörde test işlemine tabi tutulması neticesinde elde edilen elektrik enerjisinin üretim maliyeti hesaplanmıştır.

### 6.1 Yakıt Üretim Maliyetlerinin Analizi

Yağ, katalizör ve elektrik sarfiyatından ibaret olan yakıt üretim maliyeti, kanola, soya ve atık ayçiçeği için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Reaksiyonda kullanılan yağın litre fiyatının dışındaki malzeme kalemleri her üç yakıtın üretim prosesinde de aynı oranlarda kullanılmıştır. 1 litrelik biyodizel üretimi için %20 oranında metanol, %4 oranında ise NaOH kullanılmıştır. Bu sebeple hesaplama yapılırken, ortak kullanım kalemlerine ait toplam maliyetler çıkarılıp, üzerine yağın fiyatı eklenmiştir. Son olarak elde edilen rakam üretim verimi ile çarpılarak, net maliyet tespiti yapılmıştır. 1 litrelik üretim için kullanılan ortak malzemeler, miktarları ve fiyatları Tablo 7'de gösterilmiştir.

**Tablo 7.** Reaksiyonlarda kullanılan ortak kullanım malzemelerinin miktar ve fiyatları

Reaksiyonda kullanılan malzemeler	Kullanılan ürün miktarı	Birim fiyat (TL)	Toplam Tutar (TL)
Metil alkol	0.2 lt	7	1.40
NaOH	4 gr	17.2	0.0688
Kullanılan elektrik enerjisi	1lt için	-	0.151
Genel Toplam			1.62 TL

Her üç yağın biyodizele dönüştürülmesi sürecinde kullanılan kimyasallar ve elektrik sarfiyatları aynı olup, bu rakam Tablo 7 'de gösterildiği üzere 1.62 TL olarak tespit edilmiştir. Tablo 8 'de, yağların fiyatının, ortak gider kalemlerine ilave edilmesi ve üretim verimleri dikkate alınarak yapılan net maliyet analizleri verilmiştir.

Kanola yağından biyodizel yakıtı elde edilmesinin maliyeti 4.34 TL, soya yağından biyodizel üretiminin maliyeti 4.87 TL iken atık ayçiçeği yağından biyodizel üretiminin maliyeti 1.67 TL olduğu tespit edilmiştir. Atık ayçiçeği yağından biyodizel üretiminin maliyetinin soya ve kanola yağından daha ekonomik olduğu görülmüştür. Bu maliyet farklılığının en temel sebebi atık ayçiçeği yağının bedelsiz olarak temin edilemesidir. Standart dizel yakıtın fiyatının 6.30 TL olduğu düşünüldüğünde, biyodizel üretim maliyetlerinin oldukça

ekonomik olduğu söylenebilir.

**Tablo 8.** Üretilen biyodizellerin litre fiyatlarının dizel yakıt ile karşılaştırılması

Yakıt türü	Kullanılan yağ birim fiyatı (TL)	Reaksiyonda kullanılan malzeme fiyatları (TL)	Üretim verimleri (%)	Toplam maliyet (TL)
Kanola biyodizeli	2.68	1.62	97.8	4.34
Soya biyodizeli	3.2	1.62	97.2	4.87
Atık ayçiçeği biyodizeli	Bedelsiz	1.62	96.8	1.67
Dizel Yakıt	-	-	-	6.30

Kanola yağının litre fiyatının uygun olması, setan sayısının yüksek olması ve ısı enerjisi değerinin de dizel yakıtı çok yakın değerlerde olması, dizel motorlarda kullanılabilirliğini cazip kılmaktadır.

### 6.2 Elektrik Üretim Maliyetlerinin Analizi

Bu bölümde, üretimi gerçekleştiren yakıtların, dizel bir jeneratörde yakıt olarak kullanılması ile elde edilen elektrik enerjisinin üretim maliyetinin tespitidir. Bu tespiti yapılan değerler dizel yakıtın değerleri ile kıyaslanarak, 1kW elektrik üretimi için en ekonomik yakıtın tespiti yapılmıştır. Test yakıtlarının elektrik üretim maliyetleri, motorun termik veriminin en yüksek olduğu tam yük şartlarındaki yakıt tüketim değerleri üzerinden hesaplanmıştır. Bu hesaplamalarda daha önceki bölümde tespiti yapılan Özgül yakıt Tüketimi (gr/kWh) değerleri baz alınmıştır. (ÖYT) değerleri hesaplanırken, 1 kW elektrik üretebilmek için kullanılan yakıtın gram cinsinden tespiti yapılmıştır. Kütleli olarak ölçümü yapılan yakıt tüketimi değerleri, hacimsel tüketime dönüştürülerek lt/kW birimi üzerinden hesaplama gerçekleştirilmiştir. Dizel yakıtın ve üretilen biyodizellerin fiyatları bilindiği için harcanan litre fiyatı TL'ye dönüştürülmüştür. Bu tespitlere ilişkin veriler Tablo 9 'da sunulmuştur.

**Tablo 9.** Yakıt numunelerinin birim enerji üretimindeki maliyetleri

Yakıt türü	Üretim Maliyeti (TL)
Dizel	2.12
KYB5	2.11
KYB10	2.10
KYB20	2.16
SYB5	2.16
SYB10	2.21
SYB20	2.26
AAYB5	2.09
AAYB10	2.05
AAYB20	1.99

Test yakıtları içerisinde, en düşük elektrik üretim maliyetine sahip olan yakıtın (AAYB20) olduğu, en yüksek elektrik üretim maliyetine sahip olan yakıtın ise (SYB20) olduğu tespit edilmiştir. Atık ayçiçeği yağının ısı enerjisi değerinin düşük, yoğunluk değerinin ise yüksek olması, dizel yakıtı kıyasla kütleli yakıt sarfiyatını arttırmıştır fakat (AAYB) içerikli yakıtlarının üretiminde, yağın bedelsiz temin edilmiş olması elektrik üretim maliyetinin düşük bedellerde olmasına sebebiyet vermiştir.

(KYB5), (KYB10), (AAYB5), (AAYB10) ve (AAYB20) yakıtlarının elektrik üretim maliyetleri, dizel yakıttan daha düşük iken (KYB20), (SYB5), (SYB10) ve (SYB20) yakıtları dizel yakıttan daha yüksek bedelde hesaplanmıştır. Kanola yağından üretilen biyodizel yakıtlarının yakıt sarfiyat değerleri her ne kadar dizel yakıttan yüksek olsa da, kanola biyodizelinin litre fiyatının, dizel yakıttan düşük olması genel maliyeti düşürmüştür. Diğer taraftan soya yağından üretilen biyodizel yakıtlarının elektrik üretim maliyetleri dizel yakıtın değerlerinden yüksek çıkmıştır. Soya biyodizelinin ısı enerji değerinin düşük, yoğunluk değerinin yüksek olması küresel yakıt sarfiyatının yüksek çıkmasına sebebiyet vermiştir. Soya biyodizelinin fiziksel ve kimyasal özelliklerindeki eksik unsurlar elektrik üretim maliyetlerine yansımıştır.

## 7 Kısaltmalar

RPM	: Dakikadaki devir sayısı
KYB	: Kanola yağı biyodizeli
KYB5	: %5 oranında kanola yağı biyodizeli
KYB10	: %10 oranında kanola yağı biyodizeli
KYB20	: %20 oranında kanola yağı biyodizeli
SYB	: Soya yağı biyodizeli
SYB5	: %5 oranında soya yağı biyodizeli
SYB10	: %10 oranında soya yağı biyodizeli
SYB20	: %20 oranında soya yağı biyodizeli
AAYB	: Atık ayçiçeği yağı biyodizeli
AAYB5	: %5 oranında atık ayçiçeği yağı biyodizeli
AAYB10	: %10 oranında atık ayçiçeği yağı biyodizeli
AAYB20	: %20 oranında atık ayçiçeği yağı biyodizeli
ÖYT	: Özgül yakıt tüketimi

## 8 Sonuçlar

Bu çalışmada kanola, soya ve atık ayçiçeği yağından biyodizel üretimi gerçekleştirilerek, %5, %10 ve %20 oranında standart dizel yakıt ile karıştırılmıştır. Üretildiği yağın ismi ve hacimsel karışım oranı dikkate alınarak, bu yakıt numuneleri (KYB5), (KYB10), (KYB20), (SYB5), (SYB10), (SYB20), (AAYB5), (AAYB10) ve (AAYB20) şeklinde isimlendirilerek yeni yakıt numuneleri oluşturulmuştur. Bu yakıtların teknik özellikleri ölçülerek standartlara uygunluğu araştırılmıştır. Bu yakıtların fiziksel ve kimyasal olarak dizel bir motorda kullanılabilirliği tespit edildikten sonra, dizel bir jeneratörde sabit hız ve değişken yük şartlarında performans ve emisyon karakteristikleri yönünden test işlemine tabi tutulmuştur. Bu değerler, standart dizel yakıtın değerleri ile karşılaştırılmıştır.

Biyodizel içerikli test yakıtlarının vizkozite ve yoğunluk değerlerinin yüksek, ısı enerji değerinin ise düşük değerlerde olması, standart dizel yakıtı göre (ÖYT) değerlerinin yüksek çıkmasına sebep olduğu yönünde değerlendirme yapılmıştır. Biyodizel yakıtları kendi aralarında kıyaslandığında, en iyi motor performansın (KYB) içerikli test yakıtlarında elde edildiği tespit edilmiştir. Kanola biyodizelinin alt ısı enerji değerinin, diğer biyodizellere göre daha yüksek olması, bu duruma sebep olarak gösterilebilir. Kanola yağının litre fiyatının uygun olması, setan sayısının yüksek olması ve ısı enerji değerinin de dizel yakıtı çok yakın değerlerde olması, dizel

yakıtı büyük alternatif olmasını sağlamaktadır.

Çevre açısından en tehlikeli emisyonlar olan CO, HC ve Duman emisyonları, dizel yakıt içerisindeki biyodizel oranının artması ile beraber düştüğü görülmüştür. En düşük CO, HC değerlerinin (SYB20), duman emisyonu değerinin (KYB20) yakıtının kullanılmasında gerçekleştiği gözlenirken, en yüksek değerlerin ise oksijen içeriğinden yoksun dizel yakıt kullanımında gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Biyodizel yakıtlarının setan sayısının ve oksijen içeriğinin yüksek olması, yanma performansına olumlu katkı sağladığı ve bu sebeple CO, HC ve duman (is) emisyonlarının standart dizel yakıtı kıyasla daha düşük çıktığı değerlendirilmiştir.

Biyodizel içerikli yakıtların kullanılması ile NOx ve egzoz çıkış sıcaklık değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Standart dizel yakıtı ilave edilen biyodizel yakıtının yanma sürecinde bir katalizör görevi üstlendiği ve içeriğinde bulundurduğu oksijen ile yanma performansına ek bir katkı sağladığı değerlendirilmiştir.

Yanma performansındaki iyileşme silindir içi basınç ve sıcaklık değerini arttırmıştır. Silindir içi sıcaklık NOx emisyonlarının oluşumuna zemin hazırlamıştır.

Üretilen biyodizel yakıtlarının, üretim maliyetlerine ilişkin çalışmalar yapılmıştır. Bu fiyatlandırmalar perakende fiyatlar üzerinden oluşturulmuş olup, toptan fiyatlar üzerinden daha da düşeceği değerlendirilmiştir. 1.67 TL'lik bir tutar ile en düşük yakıt üretim maliyetinin atık ayçiçeği biyodizelinde tespit edilirken, bu değer kanola biyodizelinde 4.34TL, soya biyodizelinde 4.87TL olarak hesaplanmıştır. Kanola yağının litre fiyatının uygun olması, setan sayısının yüksek olması ve ısı enerji değerinin de dizel yakıtı çok yakın değerlerde olması, dizel motorlarda kullanılabilirliğini cazip kılmaktadır.

Üretilen biyodizel yakıtlarının dizel bir jeneratörde kullanılması neticesinde elde edilecek elektrik üretim maliyetleri de ayrıca hesaplanmıştır. Test yakıtlarının elektrik üretim maliyetleri, motorun termik veriminin en yüksek olduğu tam yük şartlarındaki yakıt sarfiyat verileri üzerinden hesaplanmıştır. Bu hesaplamada test yakıtları içerisinde, en düşük elektrik üretim maliyetine sahip yakıtın (AAYB20) olduğu, en yüksek elektrik üretim maliyetine sahip yakıtın ise (SYB20) olduğu tespit edilmiştir. (KYB5), (KYB10), (AAYB5), (AAYB10) ve (AAYB20) yakıtlarının elektrik üretim maliyetleri, dizel yakıtı daha düşük iken (KYB20), (SYB5), (SYB10) ve (SYB20) yakıtlarının standart dizel yakıtı daha yüksek değerlerde olduğu görülmüştür.

## Bilgilendirme

Gerçekleştirilen bu çalışmada Etik Kurul Onay belgesine gerek yoktur.



**Kaynaklar**

- [1] Lapuerta, M., Armas, O., and Rodriguez-Fernandez, J., 2008. effect of biodiesel fuels on engine emissions, *Progress in Energy and Combustion Science*, 34, 198-223.
- [2] Mazed, M.A., 1984. Test of vegetable oil as fuel in direct and indirect injection diesel engine, PhD.Thesis, Oklahoma State University, ABD.
- [3] 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 (IATS'11), 16-18 Mayıs, Elazığ, Turkey, 161-165.
- [4] Gürü, M., Koca, A., Can, Ö., Çakır, 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.
- [5] Altun, Ş., 2009. Hayvansal yağlardan biyo-yakıt üretimi ve bir dizel motorunda kullanılabilirliğinin deneysel araştırılması, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [6] Budak, N., Bayındır, H., ve Yücel, H.L., 2009. Dizel motorlarda biyodizel kullanımının performans ve egzoz emisyonları açısından değerlendirilmesi, V. Yenilenebilir enerji kaynakları sempozyumu Diyarbakır 123-130.
- [7] Gomez, M.E.G., Howard-Hildige, R., Leahy, J.J., O'Reilly, T., Supple, B. and Malone, M., 2000. Emission and performance characteristics of a 2 liter Toyota Diesel van operating on esterified waste cooking oil and mineral diesel fuel, *Environmental Monitoring and Assessment*, 65, 13-20.
- [8] Arpa, O., Yumrutaş, R. ve Kaşka, Ö., 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.
- [9] Aksoy, F. ve Yılmaz, E., 2019. %10 balık yağı biyodizeli-%90 dizel yakıt karışımı ile çalışan direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda yanma ve performans karakteristiklerinin incelenmesi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Part c*, 7(1): 12-24.
- [10] Radhakrishnan, S., Babu- Munuswamy, D., Devarajan, Y. And Mahalingam, A., 2019. Performance, emission and combustion study on neat biodiesel and water blends fuelled research diesel engine, *Heat and Mass Transfer*, 55, Issue 4, 1229-1237.
- [11] Güler, K., 2008, *Biyodizel Teknolojisi, Sistem Tasarımı ve Deneysel Olarak Biyodizel Üretimi*, S.D.Ü. Fen Bilimler Enstitüsü, Isparta, Yüksek Lisans Tezi.
- [12] Keskin, A., Gürü, M. and Altıparmak, D., 2007. Biodiesel production from tall oil synthesized Mn and Ni based additives: effects of the additives on fuel consumption and emissions, *Fuel*, 86, 1139-1143.
- [13] Ali, Y., and Hanna, M.A., 1994, *Physical Properties of Tallow Ester and Diesel Fuel Blends*, *Bioresource Technology*, 47, 131-134.
- [14] Pugazhvadivu, M. and Jeyachandran, K., 2005, *Investigations on the Performance and Exhaust Emissions of a Diesel Engine Using Preheated Waste Frying Oil as Fuel* *Renewable Energy*, 30, 2189-2202.
- [15] Usta N., 2005. An experimental study on performance and exhaust emissions of a diesel engine fuelled with tobacco seed oil methyl ester, *Energy Conversion and Management*, 46, 2373-2386.
- [16] 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.
- [17] Lapuerta, M., Rodriguez-Fernandez, J. and Agudelo, J.R., 2008. Diesel particulate emissions from used cooking oil biodiesel, *Bioresource Technology*, 99, 731-740.
- [18] Puhana, S., Vedaramana, N., Rama, B.V.B., Sankarnarayanan, G. and Jeychandran, K., 2005. Mahua oil (madhuca indica seed oil) methyl ester as biodiesel-preparation and emission characteristics, *Biomass and Bioenergy*, 28, 87-93.