

# Kanola Yağı Metil Esteri ve Karışımlarının Dizel Motoru Egzoz Emisyonuna ve Yakıt Tüketimine Etkisinin Deneysel İncelenmesi

Mahmut Güneş ÖZTÜRK<sup>(1)</sup>, Kemal BİLEN<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup>Cumhurbaşkanlığı Genel Sekreterliği, Teknik İşler Müdürlüğü, Çankaya, Ankara, TÜRKİYE.

<sup>(2)</sup>Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Kampüs, 71450, Kırıkkale, TÜRKİYE.

<sup>(2)</sup>Tel: +90 (318) 357 42 42 / 1086; Fax: +90 (318) 357 24 59, bilenk@itu.edu.tr

**Özet—** Dünya genelinde her geçen gün artmakta olan enerji ihtiyacının önemli bir bölümü fosil yakıtlarla karşılanmaktadır. Enerji tüketiminin artmasına paralel olarak yanma sonu ürünleri dolayısıyla çevre kirliliği ve küresel ısınma ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle gelecek nesillere daha temiz bir dünya bırakabilmek için çevre kirliliğini ve küresel ısınmayı önleyici faaliyetler sürdürülmelidir. Yaşanan petrol krizleri ve çevresel faktörler fosil yakıt tüketimi ve egzoz emisyonunun azaltılması için çalışmalar yapılmasını zorunlu kılmıştır. Bu noktadan hareketle bu çalışmada; dizel motorlarında alternatif yakıt olarak ülkemizde geniş bir üretim potansiyeli bulunan kanola bitkisinden elde edilen kanola yağı metil esterini kullanılmıştır. Yapılan deneylerde %100 dizel, %50 dizel yakıtı+%50 biyodizel (karışım yakıtı) ve %100 biyodizel yakıtı için aynı şartlar altında bir dizel motorunda çeşitli devir ve yüklerde ölçümler yapılmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlar; dizel motorların, belirgin bir revizyona ihtiyaç duyulmaksızın, alternatif yakıt olarak dizel ve biyodizel karışımlarının kullanılmasına uygun olduğunu, kanola yağı metil esterinin egzoz emisyonu açısından olumlu sonuçlar verdiğini göstermiştir.

**İndeks Terimleri—** Biyodizel, Kanola Yağı Metil Esteri, Egzoz Emisyonu, Duman Koyuluğu, Işık Absorbsiyon Katsayısı.

**Abstract—** World's energy need is increasing every day and majority of this energy need are met by fossil fuels. When current increment rates in energy need and predetermined fossil fuel reserves are taken into consideration, approximately within 50 years, it is expected that fossil fuels will come to depletion point. Considerable part of fossil fuels are used in vehicles and therefore in internal combustion engines, vehicles equipped with diesel engines and using diesel fuels are widely preferred in transportation sector. It is known that exhaust emissions emerging from combustion is creating various harms to environment. In this study, as an alternative fuel for diesel engines, canola oil's methyl ester is used. In the experiments three percentages are tested under the same circumstances on a diesel motor. These are %100 biodiesel, %50 diesel+%50 biodiesel (fuel mixture), and %100 diesel. It is determined that diesel motors, without a significant revision need, are suitable for biodiesel and diesel mixtures as an alternative fuel and canola oil's methyl ester gives positive results with respect to exhaust emissions.

**Index Terms—** Biodiesel, Canola Oil's Methyl Ester, Exhaust Emission, Smoke, Coefficient of Light Absorption.

## I. GİRİŞ

Enerji verimliliği önemli bir konu olmakla birlikte, yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanacak teknolojilerin geliştirilerek teşvik edilmesi ve yaygınlaştırılması ulusal enerji çalışmalarının bir diğer önemli ayağını oluşturmaktadır.

Türkiye birincil enerji kaynakları bakımından kendine yetemeyen bir ülke olmasına karşılık, biyoenerji potansiyeli bakımından umut verici konumdadır. Yeni enerji arayışına neden olan bir başka konu ise temiz ve yenilenebilir yakıt düşüncesidir. Dünya Enerji Konseyi raporlarında yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarıyla enerji talebinin, maksimum %8-12'sinin 2020 yılında karşılanabileceği belirtilmektedir. Bu senaryoya göre modern biyokütle ile sağlanacak enerji; jeotermal enerjinin 6.4 katı, rüzgâr enerjisinin 2.6-3 katı ve güneş enerjisinin 1.6-2.2 katı olabilecektir. Görüldüğü gibi en büyük pay modern biyokütle için öngörülmektedir. 2020 yılında modern biyokütle enerji üretiminin ABD'de 235-410 MTEP (milyon ton eşdeğer petrol), Almanya'da 11-21 MTEP ve Japonya'da 9-12 MTEP olması planlanmıştır. Kısacası biyokütle; güneş, rüzgâr ve jeotermal enerjilerinden daha büyük paya sahip olacağı öngörülebilir [1].

Yeni, yenilenebilir ve çevre dostu yakıtlar için çalışmalar yapıldığında bitkisel yağlar ön plana çıkmaktadır. Bu çerçevede ülkemizin ekili alanları dikkate alındığında bitkisel yağlar milli kaynaklar kullanılarak üretilebilecek ve kullanılacak yakıtlardır. Bitkisel yağlar tohumlardan ve meyve çekirdeklerinden elde edilmektedir. Bu nedenle enerji bitkileri ülkemizde ve dünyada araştırma konusu olmaktadır. Ülkemizde meyvesinden yağ üretmek için zeytin, fındık ve tohum yetiştirilmekle birlikte, çekirdeğinden yağ üretmek için keten, aspir, kolza (kanola), ayçiçeği, soya, susam, yer fıstığı, pamuk, mısır, kenevir gibi bitkiler yetiştirilmektedir [2].

Biyodizel üretimi açısından bakıldığında ülkemizde yeterli potansiyel mevcuttur. Özellikle kanola, ayçiçeği ve soya ekimine bir takım ekonomik destekler sağlanmaktadır. Bitkisel ürünlerden elde edilen yağların dizel motorlarda kullanımı yeni bir kavram olmayıp 1900'lerden itibaren bilinmektedir. Günümüzde bitkisel yağlara uygulanan farklı ısıl ve kimyasal yöntemlerle, bu yağların motorlarda kullanılmasıyla ortaya çıkan problemler aşılmaya çalışılmaktadır [3].

Bu aşamada yapılan çalışmalar arasında en önemlilerinden biri, genel olarak bitkisel yağların bir baz veya asit katalizör kullanılmasıyla, etil ve metil alkol gibi kısa zincirli bir alkol ile transesterifikasyon reaksiyonu sonucunda üretilen bitkisel yağ esteri olan ve biyodizel olarak adlandırılan dizel motor yakıtının elde edilmesidir [4].

Biyodizelin yaygınlaşması ve pratik hayata geçmesi için büyük şirketler tarafından üretilmesi ve satılması yanında, bazı ülkelerde uygulanan ve Türkiye için de önerilen tarım kooperatifleri modeli incelenmelidir. Bu modelde köylüler ortaklaşa kuracakları kooperatifler bünyesinde oluşturulacak küçük kapasiteli biyodizel tesisleri ile kendi kullanacakları yakıtı kendileri üretebilir. Bu şekilde tarım sektöründe en büyük maliyetlerden birini oluşturan yakıt sorunu giderilmiş olacaktır [3].

## II. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Koehler [5], kolza yağının içten yanmalı motorlarda yakıt olarak kullanımı ile ilgili yapılan çalışmaları genel olarak değerlendirmiştir. Değerlendirme sonucunda; yakıtın yanma sonucu açığa çıkan atık gazların atmosfere olan etkisi yönünde olumlu sonuçlar verdiğini ve %15-30 oranında daha az zararlı gaz (dizel yakıtına göre %15 daha az  $CO$ , %27 daha az  $HC$ , sadece %5 daha fazla  $NO_x$ , %22 daha az partikül ve %50 daha az is) açığa çıktığını bildirmiştir.

Hoeck [6] yaptığı çalışmada; kanola yağı, kanola yağı metil esteri ve dizel yakıtı kullanmış ve çalışmalarda deney yapılan araçlarda bir takım arızalar meydana geldiğini ortaya koymuş bununla birlikte, kanola yağı ve kanola yağı metil esteri kullanımı sonucu atmosferdeki  $CO_2$  oranının azaltılmasının mümkün olacağını belirtmiştir.

Raheman ve Phadatare [7] tarafından biyodizel/dizel karışımları ile yapılan çalışmalarda;  $CO$ , duman koyuluğu ve  $NO_x$  emisyonunun dizel yakıtına göre, sırasıyla %80, %50 ve %26 azaldığı belirtilmiştir.

Kalligeros vd. [8] yaptıkları çalışmada; ayçiçeği ve zeytinyağı metil esteri ile dizel yakıtını ele alarak, her bir bitkisel yağ metil esterinin dizel yakıtı ile %10, %20 ve %50 karışımlarını, bir dizel motorda test ederek; zeytinyağı metil esterinin, ayçiçeğine göre  $NO_x$  emisyonunda daha iyi sonuç verdiği,  $NO_x$  emisyonunda en iyi sonuçların motorun %75 yüklendiği deneylerde elde edildiği,  $HC$  emisyonunda %50'lere varan azalmalar olduğunu tespit etmiştir.

Shi vd. [9], biyodizel-etanol-dizel yakıtı kullanarak, Cummins-4B motorunda emisyon ölçümleri yapmışlar ve dizel yakıtına göre  $PM$  emisyonunun ortalama %30,  $HC$  emisyonunun belirgin düzeyde azaldığını ve  $NO_x$  emisyonunun bir miktar (%5.6-11.4) arttığını belirtmişlerdir.

Schmidt ve Gerpen [10] tarafından turbo doldurmalı motorda yapılan testlerde, bitkisel yağ metil esterleri ile dizel yakıtı karşılaştırılmış, biyodizel/dizel yakıtı karışımlarında  $NO_x$  değişim oranının %0-5 arasında farklı olduğu görülmüş ve  $HC$  emisyonu bitkisel yağ metil esterlerinde, dizel yakıtına göre daha düşük olarak tespit edilmiştir.

Nwafor [11], kanola yağı metil esteri ve dizel yakıtı karışımlarının oluşturduğu emisyon değerlerini incelediği çalışmada;  $CO$  emisyonunun dizel yakıtıyla benzer özellikler

gösterdiği, yüksek motor yüklerinde egzoz gazı içerisindeki  $CO_2$  emisyonunun dizel yakıtına göre biraz daha yüksek çıktığını ifade etmiştir.  $HC$  emisyonunun ise dizel yakıtına göre belirgin bir şekilde düşük olduğunu belirtmiştir.

Peterson ve Reece [12], yaptıkları çalışmada kanola yağı etil esteri kullanımı ile;  $HC$  ve  $CO$  emisyonunda azalma,  $CO_2$  emisyonunda artış olduğunu belirlemişlerdir. Etil esterde katalitik dönüştürücü kullanıldığında  $NO_x$  emisyonunda azalma, katalitik dönüştürücü kullanılmadığında ise  $NO_x$  emisyonlarında %20-50 oranında artış gözlemlediklerini bildirmişlerdir. Yapılan testler bir yıl sonra tekrarlandığında, ilk yapılan testlere göre  $HC$  emisyonunda azalma,  $CO$  ve  $CO_2$  emisyonunda ise artış olduğunu bildirmişlerdir.

Yücesu ve Altın [13], kanola yağının dizel motorlarda alternatif yakıt olarak kullanımı üzerine yaptıkları araştırmalarında, bir dizel motorda çeşitli devirlerde egzoz emisyonunu incelemişlerdir.  $CO$  emisyonunun kanola yağı kullanımında daha yüksek düzeyde geliştiği,  $NO_x$  emisyonunun ise dizel yakıtı kullanımında daha yüksek çıktığı, duman koyuluğunun kanola yağı kullanımında daha fazla olduğu ve motor momenti arttıkça her iki yakıt için de duman koyuluğunun arttığı bildirilmiştir.

Zang ve Gerpen [14], soya yağı metil esteri ve dizel yakıt karışımları ile, 4 zamanlı, 4 silindri, sıkıştırma oranı 16.8/1 olan ve aşırı doldurmalı bir motorda emisyon testleri yaptıklarını ve  $NO_x$  emisyonunun dizel yakıtına göre daha yüksek çıktığını, buna neden olarak bitkisel yağ metil esterlerinde %10 civarında kütleli oksijen bulunmasını bildirmişlerdir.

Gürü vd. [15] tarafından yapılan deneysel bir çalışmada; tek silindri, direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda, Mg katkılı hayvansal biyodizelin performans ve egzoz emisyonlarına etkileri incelenmiştir. Bu çalışmada deneyler; No.2 dizel yakıtı ve %10 hayvansal biyodizel + %90 No.2 dizel yakıtı karışımı (B10) ile tam yük çalışma şartlarında, 1800-3000 d/d motor hızı aralığında yapılmıştır. Deneylerde, %10 biyodizel ilavesi ile motor momenti önemli bir değişim göstermemiştir. Biyodizelin alt ısı değerinin düşük olması sebebiyle motorun özgül yakıt tüketimi %5.2 oranında artmıştır. Dizel yakıtına biyodizel ilavesi ile  $CO$  emisyonu %13, is emisyonu %9 azalmış,  $NO_x$  emisyonu ise %5 artmıştır.

## III. EMİSYONLAR VE ETKİLERİ

Dizel motorlarda emisyonlar; karterde, yakıt sisteminde ve egzozda ortaya çıkar. Karterde; segmanlardan kaçan sis, duman ve yağ buharının atılmasıyla, yakıt sisteminde; yakıt deposunda buharlaşan hidrokarbonların atmosfere atılması ve en önemlisi egzozda; yanma ürünlerinin ve yanmamış hidrokarbonların dışarı atılması şeklinde gerçekleşir [16].

### A. Egzoz Gazı Emisyonu

Piston ve segmanlar, silindir cidarları ile piston arasında sızdırmazlık sağlayacak şekilde dizayn edilmişlerdir. Pistonun segman bölgesini geçen gazlar, ya yanmamış hava-yakıt karışımı ve hidrokarbonlar ya da  $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $CO$  gibi yanma ürünleridir [16].

**Karbondioksit ( $CO_2$ ):** Renksiz ve yanmayan bir gaz olan  $CO_2$ , karbon içerikli yakıtların tam olarak yanmasıyla ortaya çıkar. Mevsim değişiklikleri ve sera etkisi tartışmaları sebebiyle  $CO_2$  emisyonu konusu kamuoyu bilincine daha fazla yerleşmiştir [16].

**Karbonmonoksit (CO):** Genel olarak karbon içerikli yakıtların tam olarak yanmamasıyla oluşur. Renksiz, kokusuz, patlayıcı ve kırmızı kan hücrelerinin (alyuvarların) oksijen aktarımını bloke ettiğinden, yüksek oranda zehirleyici bir gazdır. Soluduğumuz havadaki düşük oranlı konsantrasyonu bile öldürücüdür. Açık havada, normal konsantrasyonda kısa sürede okside olarak  $CO_2$ 'e dönüşür [16].

**Kükürtdioksit ( $SO_2$ ):** Renksiz, keskin kokulu ve yanmayan bir gazdır.  $SO_2$  nefes yollarındaki hastalıkları körükler ama atık gazlarda çok düşük miktarlarda bulunur [16].

**Hidrokarbonlar (HC):** Düzensiz bir yanma sonucunda atık gazlarda ortaya çıkan yanmamış yakıt bileşenleridir. Hidrokarbonlar çeşitli şekillerde ortaya çıkarlar (Örneğin;  $C_6H_6$ ,  $C_8H_{18}$  vs) ve organizmayı değişik şekillerde etkilerler. Bazıları sinir sistemini etkilerken bazıları kanserojen etkiye sahiptir [16].

**Azotoksitler ( $NO_x$ ):**  $O_2$  ve  $N_2$  bileşimleridir. Azotoksitler yüksek basınç ve sıcaklıkta, ayrıca yanma sırasında fazla oksijen gelmesi ile oluşur. Bazı  $NO_x$ 'ler sağlığa zararlıdır. Yakıt tüketiminin düşürülmesine yönelik önlemler maalesef çoğu zaman atık gazdaki  $NO_x$  konsantrasyonunun artmasına sebep olmuştur.  $NO$ ,  $NO_2$ ,  $N_2O_2$  vb bileşiklerin tümü  $NO_x$  olarak tanımlanmaktadır.  $NO_x$ 'ler, kandaki hemoglobinin ile birleşmektedir. Ciğerdeki nemle birleşerek nitrik asit oluştururlar. Oluşan asit miktarının konsantrasyonunun azlığı nedeniyle etkisi de az olmaktadır. Ancak zamanla birikerek solunum yolu hastalıkları bulunan kişiler için tehlike oluşturmaktadır. Motordaki yanma sırasında yüksek basınç, sıcaklık ve oksijen fazlalığı nedeniyle oluşan  $NO_x$ 'ler aerosol ve fotokimyasal duman oluşumu ile ozon tabakasının tahribine yol açmaktadırlar [16].

**İs partikülleri:** Oksijenin az olması durumunda tam yanma gerçekleşmez ve kurum partikülleri oluşur. Çoğunlukla dizel motorlar tarafından oluşturulurlar. İnsan organizmalarına olan etkileri halen araştırılmaktadır [16].

#### B. Biyodizel ve İklim Değişikliği

İklim değişikliği ve küresel ısınma günümüzde Birleşmiş Milletler ve uluslararası birçok topluluğun mücadele edilmesi gereken en önemli ortak sorun olarak nitelendirildiği bir konudur. Küresel ısınma ve iklim değişikliği bir çevre sorunu olmaktan çıkmış aynı zamanda bir kalkınma sorunu olarak da tanımlanmaktadır. BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi ve Kyoto Protokolü, ülkeleri sera gazı emisyonları açısından sınırlandırarak küresel ısınmayı ve istenmeyen iklim değişikliklerini engellemeyi amaçlamaktadır. Küresel ısınmaya neden olan sera etkisinin oluşumunda en önemli pay, yanma sonucu ortaya çıkan  $CO_2$  gazına aittir.

Biyodizel; bitkilerden de elde edilmesi nedeniyle, biyolojik karbon döngüsü içinde, fotosentez ile  $CO_2$ 'i dönüştürüp karbon döngüsünü hızlandırdığı için sera etkisini artırmaz. Yani biyodizel,  $CO_2$  emisyonu için doğal bir yutak olarak düşünülebilir. Ozon tabakası, biyodizel kullanımında dizel

yakıtı göre %50 daha az etkilenir. Asit yağmurlarına neden olan kükürt bileşenleri biyodizelde çok az bulunur [17].

## IV. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### A. Deneysel Tesisatının Tanıtımı

Kanola yağı metil esteri, motorin ve bu iki yakıt karışımının, bir dizel motorda yakıt olarak kullanılmasının motor performansına etkisinin incelendiği bu çalışmaya ilişkin deneyler; Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Otomotiv Anabilim Dalı Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Bu amaçla kurulan deney tesisatı Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Deneysel tesisatının genel görünümü.

**Deneysel Tesisatı:** Genel görünümü Şekil 1'de verilen deney tesisatı; bir dizel motoru, hidrolik dinamometre, soğutma kulesi, baca gazı analiz cihazı, gaz analiz cihazı ve veri toplama sistemi olmak üzere temelde altı ana kısımdan oluşmaktadır. Buna göre;

**Test Edilen Motor:** Deneylerde 4 silindirli, direkt püskürtmeli ve aşırı doldurmalı, Steyr marka, dört zamanlı, içten yanmalı bir dizel motoru kullanılmıştır.

**Egzoz Emisyon Cihazı ve Gaz Analiz Cihazı:** Deneylerde egzoz emisyon değerlerinin tespit edilmesinde Gaco-Sn marka egzoz emisyon cihazı kullanılmıştır. Duman koyuluğu ile ışık absorpsiyon katsayısı değerlerinin tespitinde ise, genel görünümü Şekil 2'de verilen ve %1 hassasiyetle ölçüm yapabilen VLT 2600S marka gaz analiz cihazı kullanılmıştır.



Şekil 2. VLT 2600S marka gaz analiz cihazının genel görünümü.

**Deneylerde Kullanılan Yakıt:** Deneylerde; %100 kanola yağı metil esteri, %50 kanola yağı metil esteri + %50 dizel yakıtı karışımı ve %100 dizel yakıtı kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan kanola yağı metil esterinin kimyasal ve fiziksel özellikleri Tablo 1'de gösterilmiştir. Söz konusu yakıt piyasada ticari olarak bulunmaktadır.

TABLE I  
KANOLA YAĞI METİL ESTERİ ÖZELİKLERİ

Özellik	Değer
Yoğunluk (15 °C'da)	0.89 [g/cm <sup>3</sup> ]
Kinematik viskozite (40 °C'da)	3.9 [mm <sup>2</sup> /s]
Alevlenme noktası	140 [°C]
Bulutlanma noktası	-3 [°C]
Akma noktası	-7 [°C]
Bakır korozyon (3 h ve 50 °C'da)	1b
Alt ısııl değer	40 004 [kJ/kg]
Setan sayısı	53.4
PH	7.38

### B. Deneylerde Yapılan Ölçümler

**Yakıt Sarfıyatı Ölçümü:** Yakıt tüketiminin belirlenmesinde, her ikisi de %1 hassasiyete sahip dijital terazi ve kronometre kullanılmıştır. Yakıt sarfıyatı ölçümlerinde 1 dakikalık süre esas alınmış ve motorun farklı yük ve devir sayılarında bu süre içinde ne kadar yakıt tükettiği tespit edilmiştir.

**Deney Öncesi Hazırlıklar:** Deneyler başlamadan önce yakıt enjeksiyon pompası, enjektör püskürtme basınçları (200 bar), püskürtme avansı (15°) ve supap ayarları motor katalog değerlerine göre ayarlanmış ve motor yağı değiştirilmiştir.

**Deneylerin Yapılışı:** Bütün deneyler TSE 1231 Motorlu Taşıtlar-Muayene ve Deney Esasları'na göre yapılmıştır. Egzoz emisyon değerlerinin ölçülmesi için tam yük değişik devir testi yapılmıştır. Motor tam gaz konumunda iken motorun maksimum devri olan 2600 d/d'da egzoz emisyon değerleri ölçülmüştür. Motor tam gaz konumunda iken gaz koluna dokunmadan motor, test cihazı ile yüklenmeye başlamış; 2600, 2300, 2000, 1700, 1300 ve 1000 d/d'da egzoz emisyon değerleri ölçülmüştür.

Bütün deneylerin başlangıcında motor çalışma sıcaklığına gelene kadar beklenmiş ve bir sonraki deneye başlamadan önce motor bir süre dinlenmeye bırakılmıştır. İlk deney dizel yakıtla yapılmış ve motor dinlenmeye bırakıldıktan sonra karışım yakıtı ile yapılan deneylere geçilmiştir. Son olarak kanola yağı metil esteri ile deneyler yapılmıştır. Deney süresince motor soğutma suyu sıcaklığı ortalama 85-90 °C arasında tutulmuştur.

Egzoz emisyonları ölçümünde motor devri kararlı hale geldikten sonra emisyon değerlerinin de kararlı hale gelmesi beklenmiş ve daha sonra emisyon değerleri kaydedilmiştir. Her yakıt için yapılan deneyler iki kez tekrarlanmış ve ölçülen değerlerin ortalaması alınmıştır.

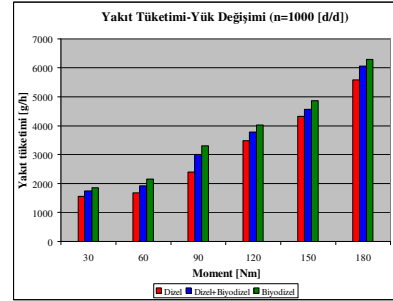
## V. DENEYSSEL SONUÇLAR

Yapılan değişik yük ve devir sayısı deneylerinde, yakıt sarfıyatı ile  $O_2$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $NO_x$ , ışık absorpsiyon katsayısı ( $K$ ) ve duman koyuluğu ( $N$ ) emisyon değerleri ölçülmüştür. Ölçülen parametreler değerlendirilerek dizel yakıtı, karışım yakıtı ve biyodizel arasındaki farklar belirlenmiştir.

### A. Biyodizelin Yakıt Tüketimine Etkisi

Dizel yakıtı, karışım yakıtı ve kanola yağı metil esterinin sabit bir motor devir sayısında saatlik yakıt tüketimi-yük değişimleri Şekil 3'de görülmektedir. Ölçüm yapılan bütün

devir sayılarında biyodizelin ve karışımın saatlik yakıt sarfıyatının dizel yakıtından yüksek olduğu tespit edilmiştir. Biyodizelin saatlik yakıt tüketim değerlerinin, dizel yakıtına göre ortalama %12; karışım yakıtı saatlik yakıt tüketim değerlerinin ise, dizel yakıtına göre ortalama %8 oranında yüksek olduğu tespit edilmiştir.

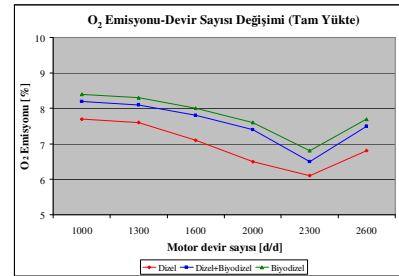


Şekil 3. 1000 d/d sabit devir sayısında farklı yüklerde yakıt tüketim değerleri.

### B. Biyodizelin Egzoz Emisyonu Üzerindeki Etkisi

**Oksijen ( $O_2$ ):** Biyodizel, karışım yakıtı ve dizel yakıtının motor devir sayısına bağlı  $O_2$  emisyonu değişimi Şekil 4'de görülmektedir. Ölçüm yapılan bütün devir sayılarında biyodizelin  $O_2$  emisyon değerleri, karışım yakıtına göre yüksek görülmüştür. En düşük  $O_2$  emisyon değerleri dizel yakıtı ile yapılan deneylerde ortaya çıkmıştır. Biyodizelin  $O_2$  emisyon değerlerinin, dizel yakıtına göre ortalama %10.3; karışım yakıtı  $O_2$  emisyon değerlerinin ise, dizel yakıtına göre ortalama %7.4 oranında yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Biyodizel ve karışım yakıtının kullanıldığı deneylerde  $O_2$  emisyonunun, dizel yakıtına göre yüksek olması, kanola yağı metil esterinin kimyasal yapısında ortalama %10 oranında  $O_2$  bulunmasından kaynaklanmaktadır.

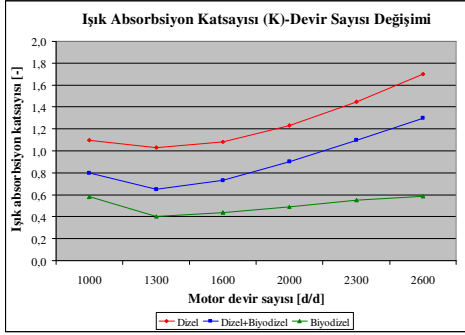


Şekil 4.  $O_2$  emisyonunun motor devir sayısı ile değişimi.

**Azotoksitler ( $NO_x$ ):** Ölçüm yapılan bütün devir sayılarında karışım yakıtı ve kanola yağı metil esteri kullanıldığında elde edilen  $NO_x$  emisyon değerlerinin, dizel yakıtı değerlerine çok yakın olduğu görülmüştür. Biyodizel  $NO_x$  emisyon değerlerinin, dizel yakıtına göre ortalama %1.7; karışım yakıtı  $NO_x$  emisyon değerlerinin ise, dizel yakıtı değerlerine göre ortalama %1.2 oranında yüksek olduğu tespit edilmiştir.

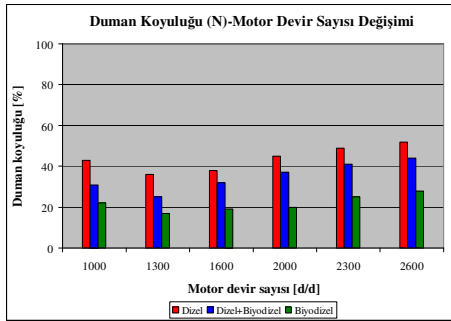
**Karbondioksit ( $CO_2$ ):** Ölçüm yapılan bütün devir sayılarında biyodizel ve karışım yakıtı  $CO_2$  emisyon değerlerinin, dizel yakıtı değerlerinden düşük olduğu görülmüştür. Biyodizel  $CO_2$  emisyon değerlerinin, dizel yakıtına göre ortalama %4.2; karışım yakıtı  $CO_2$  emisyon değerlerinin ise, dizel yakıtı değerlerine göre ortalama %2.8 oranında düşük olduğu tespit edilmiştir.

**Işık Absorbsiyon Katsayısı (K):** Biyodizel, karışım yakıtı ve dizel yakıtının ışık absorpsiyon katsayılarının ( $K [m^{-1}]$ ), motor devir sayısı ile değişimi Şekil 5’de gösterilmiştir. Ölçüm yapılan bütün devir sayılarında biyodizel ışık absorpsiyon değerleri, karışım yakıtı değerlerine göre düşük görülmüştür. En yüksek  $K$  değerleri ise dizel yakıtı ile yapılan deneylerde ortaya çıkmıştır.



Şekil 5. Işık absorpsiyon katsayısının (K) motor devir sayısı ile değişimi.

**Duman Koyuluğu (N):** Duman koyuluğu, egzoz gazı içerisindeki şeffaf olmayan parçacıkların kesitten geçerken karşılaştıkları ışığın aydınlatma şiddetini azaltma yüzdesi şeklinde tanımlanmaktadır. Tüm deneylerde, biyodizelin duman koyuluğu değerleri, karışım yakıtı kullanımına göre düşük görülmüştür. En yüksek duman koyuluğu değerleri ise dizel yakıtında ortaya çıkmıştır. Biyodizel, karışım yakıtı ve dizel yakıtı duman koyuluğu değerlerinin, motor devir sayısına bağlı değişimi Şekil 6’da görülmektedir.



Şekil 6. Duman koyuluğu (N)-motor devir sayısı değişimi.

## VI. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Her geçen gün artan enerji taleplerinin, bilinen enerji kaynakları ile karşılanması belirli bir süre sonra mümkün olmayacaktır. Bu nedenle yeni, yenilenebilir ve temiz enerji kaynaklarına ciddi bir ihtiyaç doğmaktadır. Ülkemizde özellikle kanola, ayçiçeği, soya gibi yağlı tohumlu bitkilerin enerji kaynağı oluşturmak üzere yetiştirilmesi açısından tarım sektörümüz uygun görünmektedir. Yukarıdaki bu durum göz önüne alınarak bu deneysel çalışmada; kanola bitkisinden elde edilen kanola yağından oluşturulan biyodizelin, biyodizel-dizel karışımının ve dizel yakıtının kullanılmasının dizel motor egzoz emisyonuna etkisi incelenmiştir. Deney sonuçlarına göre; kanola yağı metil esteri ve karışımlarının dizel

motorlarda herhangi bir değişikliğe gidilmeden alternatif yakıt olarak kullanılabilceği görülmüş ve şu sonuçlara ulaşılmıştır:

- Yüksek viskozite ve yoğunluk, biyodizel yakıtın enjektörden püskürtülmesini güçleştirmekte ve iyi derecede atomizasyon sağlanmasını önleyerek daha büyük zerrecikler halinde püskürtülmesine yol açmaktadır. Bu durum dizel motorlarda yanmayı etkileyen en önemli parametre olan tutuşma gecikmesini artırmakta, kötü bir yanmaya neden olmaktadır.
- Biyodizelin saatlik yakıt tüketim değerlerinin, dizel yakıtına göre ortalama %12; karışım yakıtı saatlik yakıt tüketim değerlerinin ise, dizel yakıtı değerlerine göre ortalama %8 oranında yüksek olduğu tespit edilmiştir.
- Kanola yağı metil esterinin  $O_2$  emisyon değerlerinin, dizel yakıtına göre ortalama %10.3 oranında; karışım yakıtı  $O_2$  emisyon değerlerinin ise, dizel yakıtına göre ortalama %7.4 oranında yüksek olduğu tespit edilmiştir.
- Biyodizel ve karışım yakıtının kullanıldığı deneylerde  $O_2$  emisyonunun dizel yakıtına göre yüksek olması, kanola yağı metil esterinin kimyasal yapısında ortalama %9 oranında  $O_2$  bulunmasından kaynaklanmaktadır.
- Kanola yağı metil esterinin  $CO_2$  emisyon değerlerinin, dizel yakıtına göre ortalama %4.2; karışım yakıtı  $CO_2$  emisyon değerlerinin ise, dizel yakıtına göre ortalama %2.8 oranında düşük olduğu tespit edilmiştir.
- Kanola yağı metil esterinin duman koyuluğu değerlerinin, dizel yakıtı duman koyuluğu değerlerine göre ortalama %50.2; karışım yakıtı duman koyuluğu değerlerinin ise, dizel yakıtına göre ortalama %20.1 oranında düşük olduğu tespit edilmiştir.
- Biyodizele ait ışık absorpsiyon katsayısı değerlerinin, dizel yakıtına göre ortalama %59.8; karışım yakıtı ışık absorpsiyon değerlerinin ise, dizel yakıtına göre ortalama %27.8 oranında düşük olduğu tespit edilmiştir.
- Kanola yağı metil esterinin  $NO_x$  emisyon değerlerinin, dizel yakıtı  $NO_x$  emisyon değerlerine göre ortalama %1.7; karışım yakıtı  $NO_x$  emisyon değerlerine göre ortalama %1.2 oranında yüksek olduğu tespit edilmiştir.
- Yanma esnasında sıcaklığın  $1000\text{ }^\circ\text{C}$ 'in üzerine çıkmasıyla hava yakıt karışımında azot açığa çıkmakta ve ortaya çıkan azot, oksijen ile tepkimeye girerek  $NO_x$  emisyonunu meydana getirmektedir.
- Kanola yağı metil esterinin yüksek setan sayısı nedeniyle; kanola yağı metil esteri veya karışımları kullanıldığında tutuşma gecikmesi kısalmakta ve bu süre içerisinde buharlaşan yakıt miktarı da azalmaktadır. Bu nedenle, yanma sonu basınç ve sıcaklığın düşmesiyle havanın azotu daha az  $NO_x$  oluşturmaktadır.
- Buna karşın kanola yağı metil esterinin yapısında bulunan %9 oranındaki  $O_2$  yanma esnasında ihtiyaç duyulan oksijenin yeterince sağlanmasına ve böylece dizel yakıtına göre daha iyi bir yanmanın ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Böylece, yanma sonu sıcaklık ve basıncın artışıyla sağlanarak  $NO_x$  emisyonunun artışına yol açmaktadır. Bu nedenlerle kanola yağı metil esteri veya dizel yakıtı kullanıldığında  $NO_x$  emisyonu bakımından birbirine yakın sonuçlar çıkmaktadır.

## VII. REFERANSLAR

- [1] Yamık, H., "Dizel Motorlarında Alternatif Yakıt Olarak Yağ Esterlerinin Kullanılma İmkânlarının Araştırılması", Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2002.
- [2] Akdere, Y., "Soya Yağı Metil Esterinin Dizel Motorlarda Yakıt Olarak Kullanımının Deneysel Olarak Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, 2006.
- [3] Tilleme, İ., "Dizel Motorlar İçin Alternatif Yakıt Olarak Biyodizel Üretimi ve Kullanımı", Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, 2005.
- [4] Demirbaş, A., "Progress in Energy and Combustion Science", 31, 466, 2005.
- [5] E. Koehler., Fachzeitschrift fuer Oel-und Eiweisspflanzen, 1, 8, 1994.
- [6] Hoeck R., Fachzeitschrift fuer Oel-und Eiweisspflanzen, 4, 175, 1994.
- [7] H. Raheman, and A.G. Phadatare, Biomass and Bioenergy, 27, 393, 2004.
- [8] Kalligeros, S., Zannikos, F., Stourmas, S., Lois, E., Anostopoulos, G., Teas, Ch., and Sakellaropoulos, F. Biomass and Bioenergy, 24, 141, 2003.
- [9] Shi, X., Pang, X., Mu, Y., He, H., Shuai, S., Wang, J., Chen, H., and Li, R., Atmospheric Environment, 40, 2567, 2006.
- [10] Schmidt, K., and Gerpen, J. H. V., SAE Tech. Paper, 961086, 1996.
- [11] Nwafor, O. M. I., Renewable Energy, 29, 119, 2004.
- [12] Peterson, C. L., and Reece, D. L., SAE Paper, 961114, 805, 1996.
- [13] Yücesu, S. ve Altın, R., Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 12, 1045, 1999.
- [14] Zang, Y., and Gerpen, J. H. V., SAE Tech. Paper, 960765, 782, 1996.
- [15] Gürü, M., Koca, A., Can, Ö., Çınar, C. ve Şahin, F., "Mg Katkılı Hayvansal Kökenli Biyodizelin Dizel Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarına Etkilerinin İncelenmesi", 10. Uluslararası Yanma Sempozyumu, 366-370, Sakarya, 2008.
- [16] Aydoğan, H., "Dizel Motorlarında Çeşitli Yakıt Enjeksiyon Sistemlerinin Egzoz Emisyonlarına Etkilerinin Deneysel İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2006.
- [17] İleri, E., "Kanola Yağı Metil Esterinin Dizel Motor Performansı ve Emisyonlarına Etkilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, İzmir, 2005.