

T.C.

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNA ANABİLİM DALI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ

DİZEL MOTORLARDA ALTERNATİF YAKIT OLARAK  
BİYODİZEL KULLANILMASININ MOTOR PERFORMANSI  
VE EGZOZ EMİSYONLARINA ETKİLERİ

MAHMUT GÜNEŞ ÖZTÜRK

EYLÜL 2008

T.C.  
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNA ANABİLİM DALI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ

DİZEL MOTORLARDA ALTERNATİF YAKIT OLARAK  
BİYODİZEL KULLANILMASININ MOTOR PERFORMANSI VE  
EGZOZ EMİSYONLARINA ETKİLERİ

MAHMUT GÜNEŞ ÖZTÜRK

EYLÜL 2008

Fen Bilimleri Enstitü Müdürünün onayı.

..../..../2008

Doç. Dr. Burak BİRGÖREN

\_\_\_\_\_  
Müdür V.

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak Makina Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Veli ÇELİK

\_\_\_\_\_  
Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumuzu ve Yüksek Lisans tezi olarak bütün gerekliliklerini yerine getirdiğini onaylarız.

Prof. Dr. Veli ÇELİK

\_\_\_\_\_  
Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Veli ÇELİK

Yrd. Doç. Dr. Hakan ARSLAN

Yrd. Doç. Dr. Sadettin ORHAN

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## ÖZET

### DİZEL MOTORLARDA ALTERNATİF YAKIT OLARAK BİYODİZEL KULLANILMASININ MOTOR PERFORMANSI VE EGZOZ EMİSYONLARINA ETKİLERİ

ÖZTÜRK, Mahmut Güneş

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makina Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Veli ÇELİK

Eylül 2008, 61 Sayfa

Dünyadaki enerji ihtiyacı her geçen gün artmakta ve enerji ihtiyacının önemli bir bölümü fosil kaynaklı yakıtlar ile karşılanmaktadır. Enerji ihtiyacındaki mevcut artış oranları ve belirlenmiş fosil yakıt rezervleri dikkate alındığında ortalama elli yıl içerisinde fosil yakıtların tükenme noktasına gelmesi beklenmektedir. Fosil yakıtların önemli bir bölümü taşıtlar ve dolayısıyla içten yanmalı motorlarda kullanılmakta olup, dizel motorları ile donatılmış ve dizel yakıtı kullanan taşıtlar taşımacılık sektöründe yaygın biçimde tercih edilmekte ve bu motorlarda yanma sonucu ortaya çıkan ürünler çevreye zarar vermektedir. Bu çalışmada dizel motorlarında alternatif yakıt olarak kanola yağının metil esteri ele alınmış, yapılan deneylerde % 100

biyodizel, % 50 dizel yakıtı + % 50 biyodizel ve % 100 dizel yakıtı için aynı şartlar altında dört zamanlı ve dört silindirli bir dizel motorda çeşitli devir ve yüklerde deneyler yapılmış ve elde edilen sonuçların karşılaştırmaları neticesinde; dizel motorların, belirgin bir revizyona ihtiyaç duyulmaksızın, alternatif yakıt olarak dizel ve biyodizel karışımlarının kullanılmasına uygun olduğu, kanola yağı metil esterinin yakıt özellikleri ve yanma ürünleri açısından olumlu sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Alternatif Yakıtlar, Biyodizel, Dizel Motor, Egzoz Emisyonu, Motor Performansı

## **ABSTRACT**

AN INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF USING BIODIESEL  
AS AN ALTERNATIVE FUEL IN DIESEL ENGINES ON THE  
PERFORMANCE AND EXHAUST EMISSIONS OF THE ENGINE

ÖZTÜRK, Mahmut Güneş

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering, M. Sc. Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Veli ÇELİK

September 2008, 66 Pages

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 motors, 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 harm to environment. In this study, as an alternative fuel for diesel engines, canola oil's methyl ester is used. In the experiment three

percentages are tested under the same circumstances on a four cycle and four cylinder diesel motor.

- % 100 diesel
- % 50 diesel + % 50 biodiesel
- % 100 biodiesel

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 fuel properties and exhaust emissions.

**Key Words:** Alternative Fuels, Biodiesel, Diesel Engines, Engine Performance, Exhaust Emissions

## TEŞEKKÜR

Tezimin hazırlanması esnasında her türlü yardımını esirgemeyen ve büyük destek olan, tez yöneticisi hocam, Sayın Prof. Dr. Veli ÇELİK'e, her konuda daima yardımını gördüğüm hocam Sayın Prof. Dr. Ali ERİŐEN'e, deney imkanları sağlayan Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Anabilim Dalı Başkanı Sayın Prof. Dr. Sahir SALMAN ve diğer öğretim üyelerine, deney çalışmalarım esnasında bilgi ve deneyimini paylaşan Sayın Öğr. Gör. Dr. Tolga TOPGÜL ve Sayın Arş. Gör. Fatih ŐAHİN'e, bana destek olan arkadaşım Sayın İsmail DEMİRTURAN'a ve son olarak bana her konuda olduğu gibi, tezimi hazırlamam esnasında da desteğini esirgemeyen ailem ve eşime teşekkür ederim.



## ŞEKİLLER DİZİNİ

### ŞEKİL

2.1.	Deney Düzeneği Genel Görünümü .....	37
2.2.	Deney Motoru Genel Görünümü .....	38
2.3.	Hidrolik Dinamometre Genel Görünümü .....	39
2.4.	Hassas Terazı Genel Görünümü .....	39
2.5.	Soğutma Kulesi Genel Görünümü .....	40
2.6.	Gaz Analiz Cihazı Genel Görünümü .....	41
3.1.	Moment Değerlerinin Motor Devir Sayısı ile Değişimi .....	45
3.2.	Motor Devirlerine Göre Maksimum Moment Değerleri .....	46
3.3.	Efektif Güç Değişimleri .....	47
3.4.	1000d/d Sabit Motor Devrinde Farklı Yüklerde Saatlik Yakıt Tüketimleri Eğrileri .....	48
3.5.	1000d/d Motor Devrinde Farklı Yüklerde Saatlik Yakıt Tüketimleri.	49
3.6.	2000d/d Motor Devrinde Farklı Yüklerde Saatlik Yakıt Tüketimleri.	49
3.7.	Değişik Devir Sayılarında O <sub>2</sub> Emisyonu Değişimleri .....	53
3.8.	Işık Absorbsiyon Katsayısı Değişimleri .....	56
3.9.	Değişik Motor Devirlerinde Duman Koyuluğu Değişimleri .....	58

# ÇİZELGELER DİZİNİ

## ÇİZELGE

1.1. DIN-51601'e Göre Dizel Yakıtından İstenen Özellikler .....	15
2.1. Deney Motoru Teknik Özellikleri .....	38
2.2. Kanola Yağı Metil Esteri Genel Özellikleri .....	41

## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	iii
TEŞEKKÜR .....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	vii
İÇİNDEKİLER .....	viii
1. GİRİŞ .....	1
1.1. Kaynak Özetleri.....	5
1.2. Çalışmanın Amacı.....	13
1.3. Dizel Motorları ve Yakıtlarının Genel Özellikleri.....	14
1.4. Hidrokarbon Yakıtlar .....	20
1.5. Dizel Motorlarda Yanma .....	22
1.6. Biyodizel Üretimi .....	26
1.7. Biyodizelin Genel Özellikleri .....	26
1.8. Biyodizelin Dezavantajları ve Giderme Yöntemleri .....	29
1.8.1. Biyodizelin Dezavantajları .....	29
1.8.2. Dezavantajları Giderme Yöntemleri .....	30
1.9. Emisyonlar ve Etkileri .....	32
1.9.1. Biyodizel ve İklim Değişikliği .....	35
2. MATERYAL VE YÖNTEM .....	37
2.1. Materyal .....	37

2.1.1. Deney Motoru .....	37
2.1.2. Dinamometre .....	39
2.1.3. Hassas Terazî .....	39
2.1.4. Soğutma Kulesi .....	40
2.1.5. Egzoz Emisyon Cihazı .....	40
2.1.6. Deney Yakıtı .....	41
2.2. Yöntem .....	42
2.2.1. Motor Güç ve Tork Ölçümleri .....	42
2.2.2. Yakıt Ölçümü .....	42
2.2.3. Deney Öncesi Hazırlıklar .....	42
2.2.4. Deneyin Yapılışı .....	42
3. ARAŞTIRMA BULGULARI .....	44
3.1. Biyodizelin Motor Performansına Etkileri .....	44
3.1.1. Moment .....	44
3.1.2. Güç .....	46
3.1.3. Saatlik Yakıt Tüketimi .....	47
3.2. Biyodizelin Egzoz Emisyonlarına Etkileri .....	50
3.2.1. Oksijen (O <sub>2</sub> ) .....	50
3.2.2. Azotoksitler (NO <sub>x</sub> ) .....	51
3.2.3. Karbondioksit (CO <sub>2</sub> ) .....	52
3.2.4. Işık Absorpsiyon Katsayısı .....	53
3.2.5. Duman Koyuluğu .....	54
4. TARTIŞMA VE SONUÇ .....	55
KAYNAKLAR .....	59

## 1. GİRİŞ

Dünya genelinde ve ülkemizde her geçen gün artmakta olan enerji ihtiyacının önemli bir bölümü fosil kaynaklı yakıtlarla karşılanmaktadır. Enerji tüketimlerinin artmasına paralel olarak yanma sonu ürünleri dolayısıyla çevresel sorunlar ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle gelecek nesillere daha temiz bir dünya bırakabilmek için çevre kirliliğini önleyici faaliyetler sürdürülmelidir. Günümüzde özellikle küresel ısınma ile mücadele önemli bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır. Küresel ısınmanın bir çevre sorunu olmaktan çıkıp kalkınma sorunu olarak algılanmaya başlanmış olması da dikkat çekici bir husustur.

Petrol ve doğalgaz rezervlerinin on yıllarla anılan süreler sonunda tükenerek olması ve çevre politikaları, ülkelerin yenilenebilir enerji kaynakları ve enerji verimliliği konusunda yoğun çalışmalar yapmaya başlamasını sağlamıştır. Özellikle Türkiye gibi enerji ihtiyacının büyük kısmını ithal eden ülkelerin enerji verimliliği ve alternatif enerji kaynaklarına önem vererek bu konularda çalışmalar yapması, her geçen gün artan petrol fiyatları karşısında kalkınma hamlelerini yapabilmek açısından önem arz etmektedir. Bu bağlamda, Ülkemizde Enerji Verimliliği Kanunu yayınlanarak yürürlüğe girmiş ve alt mevzuatın oluşturulması çalışmaları devam etmektedir. Küresel ısınma ile mücadele ve enerji açısından dışa bağımlılık oranlarını azaltmak adına bu çalışmaların geliştirilerek sürdürülmesi kaçınılmazdır.

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. Yenilenebilir enerji olarak, bitkisel ürünlerden elde edilen yakıtların içten yanmalı motorlarda kullanılması, yeni bir konu olmayıp, öteden beri bu konuda küresel ölçekte çalışmalar sürdürülmektedir.

Türkiye birincil enerji kaynakları bakımından kendine yetemeyen bir ülke olmasına karşılık, biyoenerji potansiyeli bakımından umut verici konumdadır. Ayrıca linyit kömürü ve hidrolik enerji potansiyeli açısından da önemli kaynaklara sahiptir. Türkiye'nin petrol ihtiyacının karşılanmasında büyük ölçüde dış kaynaklara bağımlı olması ekonomik gelişmesini olumsuz yönde etkilemektedir. Ülkemizin petrol üretimi, tüketimi karşısında çok sınırlıdır. Petrol ihtiyacımızın %80 den fazlası petrol ithalatı ile karşılanmaktadır. Bu konudaki sıkıntı devam ettiği sürece yeni enerji kaynaklarının araştırılmasının önemi artmaktadır. Otomotiv sanayiinde petrol yerine; bitkisel yağlar, güneş enerjisi, sıvılaştırılmış petrol gazları (LPG) kullanımı araştırılmaktadır. Yeni enerji arayışına neden olan bir başka konu ise temiz ve yenilenebilir yakıt düşüncesidir<sup>(1)</sup>.

Dünya Enerji Konseyi raporlarında yeni ve yenilenebilir 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, güneş enerjisinin 1.6 – 2.2 katı olabilecektir. Görüldüğü gibi en büyük pay modern biyokütleye ayrılmıştır. 2020 yılında modern biyokütle enerji üretiminin ABD'de 235 – 410 MTEP (milyon ton eşdeğer petrol), Almanya'da 11 – 21 MTEP, Japonya'da 9–12 MTEP olması planlanmıştır. Kısacası, biyokütlenin; güneş, rüzgâr, jeotermal enerjilerinden daha büyük paya sahip olacağı öngörülebilmektedir<sup>(1)</sup>.

Ülkemizin enerji politikasındaki ana hedefi; sosyal kalkınma hamleleri ile birlikte hedeflenen ekonomik ve sanayi büyümesini gerçekleştirmek amacıyla, yeterli, çevresel etkiyi göz önüne alan, ekonomik olarak elde edilebilen enerji sağlamaktır. Enerjinin üretim ve tüketiminin farklı trendlerde gelişim göstermesi 1976 yılında da % 76 olan üretimin tüketimi karşılama oranının 1996 yılında % 40'a düşmesine sebep olmuştur. Daha sonraki yıllar için yapılan ön çalışmalarda, bu azalmanın devam ederek 2020 yılında % 26'ya kadar düşmesi beklenmektedir. 1998 yılında petrolün % 12'si, doğalgazın % 2,6'sı, taşkömürünün % 25'i, linyitin % 97'si yerli üretimle karşılanabilmiştir.<sup>(1)</sup>

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.<sup>(2)</sup>

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 değildir, nitekim Rudolf Diesel'in 1900 yılında dizel motoru keşfetmesi ve yer fıstığı yağını yakıt olarak kullandığı ilk

dizel motorunu “Paris Fuarı”nda tanıtmasından beri bilinmesine rağmen, söz konusu yıllarda petrolün ihtiyacı fazlasıyla karşılaması, bitkisel yağlara göre daha ucuz olması ve bitkisel yağların yakıt olarak kullanılmasıyla ortaya çıkan, motorda tortu oluşumu ve yakıt sistemindeki tıkanmalar gibi problemlerin giderilmesindeki sıkıntılardan dolayı bitkisel yağların yaygın kullanımına geçilememiştir<sup>(3)</sup>.

Günümüzde bitkisel yağlara uygulanan farklı ısıl ve kimyasal yöntemlerle, bu yağların motorlarda kullanılmasıyla ortaya çıkan problemler aşılmaya çalışılmaktadır<sup>(3)</sup>.

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<sup>(4)</sup>.

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. Farklı ürün ekimi yapılırsa bile tarlaların belli bir bölümüne yağ bitkisi ekilebilir. Bu şekilde tarım sektöründe en büyük maliyetlerden birini oluşturan yakıt sorunu giderilmiş olacaktır.

Bununla birlikte kooperatiflerce küçük ölçekli yapılan üretimde biyodizelin kalitesi istenilen ölçüde olmayabilir ve motorlara zarar verebilir. Bu



durum tarım kooperatifi modelinde karşılaşılabilecek en önemli problemlerden biridir<sup>(3)</sup>.

Dünyada biyodizel üretiminin en çok olduğu yer Batı Avrupa'dır ve burayı Kuzey Amerika takip etmektedir. Dünyada biyodizel üretimi 1999 yılından itibaren hızlı bir ivmelenme ile artış göstermektedir. Biyodizelin kullanımı yaygınlaştıkça zamanla üretim teknolojileri geliştirilmiş, çeşitli ülkelerde kalite standartları oluşturulmuştur. Bu gelişim sürecinde belirli oranlara kadar biyodizel yakıt kullanımı motor üretici firmalar tarafından da garanti altına alınmaktadır<sup>(3)</sup>.

## 1.2. Kaynak Özetleri

<sup>(5)</sup>E. Koehler, kolza yağının içten yanmalı motorlarda yakıt olarak kullanımı ile ilgili yapılan çalışmaları genel olarak değerlendirmiştir. Değerlendirme sonucunda, kanola yağı metil esterinin dizel yakıtı ile karşılaştırmasına ilişkin aşağıdaki hususlara değinmiştir;

- Kolza yağından elde edilen yakıtın enerji değerinin yüksek olduğunu,
- Yakıtın yanma sonucu açığa çıkan atık gazların atmosfere olan etkisi yönünde olumlu sonuçlar verdiğini ve % 15-30 oranında daha az zararlı gaz açığa çıktığını,
- Biyodizelin zehirsiz olduğunu ve toprakta hızlı bir şekilde indirgendiğini,
- Biyodizelin, dolumu sırasında depodan zehirli gaz açığa çıkmadığını,
- Biyodizelin iyi bir yağlama kabiliyetine sahip olduğunu ve böylece motor aşınmasını yüksek derecede engellediğini,

-Biyodizelin yanması sonucunda çevreye atılan zararlı gazlar, dizel yakıtına göre; % 15 daha az CO, % 27 daha az HC, sadece % 5 daha fazla NO<sub>x</sub>, % 22 daha az partikül, % 50 daha az is ve % 10 daha düşük ısı değer, buna karşın ortalama yakıt tüketiminin yaklaşık olarak dizelden % 3 fazla olduğunu bildirmiştir.

(6)Hoeck yaptığı araştırmada yakıt olarak kanola yağı, kanola yağı metil esteri ve dizel yakıtı kullanmış ve çalışmalarda deney yapılan araçlarda bir takım arızalar meydana geldiğini ortaya koymuştur.

- Bazı araçların yakıt boruları ve rekorlarında problemler çıktığı,
- Yağlama yağlarında incelmeler görüldüğü,
- Yakıt filtrelerinde tortulaşmalar meydana geldiğini belirtmiştir.

Bu arızaları gözlemledikten sonra aşağıdaki tespitlerde bulunmuştur;

- Motorun saf bitkisel yağ kullanımına uygun olmadığını,
- Kanola yağı metil esterinin motor üzerinde büyük ölçüde bir teknik değişim olmadan yakıt olarak kullanılabileceğini,
- Kanola yağı ve kanola yağı metil esteri kullanımı sonucu atmosferdeki CO<sub>2</sub> oranının azaltılmasının mümkün olacağını belirtmiştir.

(7)H. Raheman ve A.G. Phadatare tarafından biyodizel ve dizel yakıtı karışımları ile yapılan çalışmalarda motor gücünün ortalama % 10 azalmakla birlikte, CO, duman koyuluğu ve NO<sub>x</sub> egzoz emisyonlarının sırasıyla % 80, % 50 ve % 26 azaldığı belirtilmiştir.

(8) Kalligeros, S. ve arkadaşları yaptıkları çalışmada ayçiçeği yağı metil esteri, zeytin yağı metil esteri ve dizel yakıtını ele alarak, her bir bitkisel yağ

metil esterinin dizel yakıtı ile % 10 , % 20 ve % 50 karışımlarını, maksimum 3.8 kW güç üretebilen, 19/1 sıkıştırma oranlı, tek silindri bir dizel motorda test ederek aşağıdaki sonuçları elde etmişlerdir;

- Zeytinyağı metil esterinin, ayçiçeği yağı metil esterine göre NO<sub>x</sub> emisyonlarında daha iyi sonuç verdiği,

- NO<sub>x</sub> emisyonlarında en iyi sonuçların motorun % 75 yüklendiği deneylerde elde edildiği,

- HC emisyonlarında % 50'lere varan azalmalar tespit edildiği,

- Yakıt tüketimlerinde % 10'lara varan artışlar olduğu,

bildirilmiştir.

<sup>(9)</sup>Shi, X. ve arkadaşları Çin Bilim Akademisi'nin desteklediği çalışmalarında; biyodizel-etanol-dizel yakıtı kullanarak, 4 silindri, 17.5/1 sıkıştırma oranlı, Cummins-4B motorun emisyon karakteristiklerini incelediklerini, dizel yakıtla karşılaştırma yaptıklarını ve PM emisyonlarının ortalama %30 azaldığını, HC emisyonlarının belirgin düzeyde azaldığını ve NO<sub>x</sub> emisyonlarının bir miktar (%5.6 – 11.4) arttığını belirtmişlerdir.

Yapılan başka bir çalışmada; ayçiçeği yağı transesterifikasyonu sonucu elde edilen ayçiçeği metil esteri ile dizel yakıtı mukayese edilerek, motor denemeleri sonucu elde edilen güç eğrilerinde önemli bir değişme olmadığı, fakat özgül yakıt tüketiminin dizelden % 6 daha fazla olduğunu; bunun nedeninin ayçiçeği metil esterinin ısı değerinin dizel yakıtından % 13 daha düşük olmasından kaynaklandığı gösterilmiştir<sup>(10)</sup>.

<sup>(11)</sup>Schmidt, K. ve Gerpen, J.H.V. tarafından direkt püskürtmeli turbo doldurmalı motorda yapılan testlerde, bitkisel yağ metil esterleri ile dizel yakıtı

karşılaştırılmış ve özgül yakıt tüketiminin bitkisel yağ metil esterleri kullanıldığında daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Termik verim açısından bakıldığında herhangi bir farklılık gözlemlenememiştir. Biyodizel/dizel yakıtı karışımlarında NO<sub>x</sub> değişim oranının % 0-5 arasında farklı olduğu görülmüş ve HC emisyonları bitkisel yağ metil esterlerinde, dizel yakıtına göre daha düşük olarak tespit edilmiştir.

<sup>(12)</sup>Aytaç, Ş., bir dizel motorunda dizel yakıtı ve bitkisel yağların karışımlarının yakıt olarak kullanılmasının; motordaki indike basınç, devir sayısı, yakıt tüketimi, emme ve egzoz gazları sıcaklığı, motor gürültüsü, yağ basıncı, pompa eleman aşınması ve hacimsel verim üzerine olan etkilerini incelemiş, karışım oranlarını %25, %50, %75 bitkisel yağ – dizel yakıtı olacak şekilde seçilmiş ve bu karışımların % 100 dizel yakıtla karşılaştırmasını yapmıştır. Bu çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

- Hava emme giriş sıcaklıkları kullanılan yöntemle göre değişmektedir. Bu, yakıtların kimyasal enerjileri nedeni ile yanma zamanlarının farklı ve ortam sıcaklığının değişken olmasından kaynaklanmaktadır,

- Soya yağının kinematik viskozitesinin yüksek olmasından dolayı en yüksek egzoz sıcaklığı %75'lik soya yağı-dizel yakıtı karışımında ölçülmüştür.

- Emilen hava miktarı, ortam sıcaklığı, hava yoğunluğu, motorun iç sıcaklığı gibi etkenlere bağlı olduğundan, kullanılan yöntemlere göre farklılıklar göstermiştir,

- Gürültü miktarları, genel olarak karışım yakıtlarda daha azdır,

- Yakıt tüketimi, karışım yakıtlarda daha yüksektir,

- Silindir indike basınçlarında önemli bir değişme olmamıştır,

- Motor yağının, karışım yakıt kullanılması sonucu incilmesi ve kirlenmesinden dolayı yağ basıncı karışım yakıtlarda yüksektir,

- Karışım yakıtlarının kullanımı sonunda silindirdeki aşınma miktarı normal, krank yatağındaki aşınma miktarı % 0.5 olarak tespit edilmiştir,

- İlk harekete geçişte zorluklar yaşanmamıştır,

- Duman koyuluğu, karışım yakıtlarda dizel yakıtına göre daha azdır.

Soya yağı karışımlarında egzozda çok miktarda sıvı atık ve ağır koku oluşmuştur.

<sup>(13)</sup>Nwafor, 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<sub>2</sub> emisyonunun dizel yakıtına göre biraz daha yüksek çıktığı görülmüştür. Hidrokarbon emisyonunun ise dizel yakıtına göre belirgin şekilde düşük olduğu belirtilmiştir. Kanola yağı metil esteri ile yapılan deneylerdeki yakıt tüketimi, dizel yakıtı ile yapılan deneylere göre biraz daha yüksek çıkmış ve ayrıca karışımdaki kanola yağı metil esteri oranı arttıkça yakıt tüketiminin de arttığı belirlenmiştir.

<sup>(14)</sup>Peterson, C.L. ve Reece, D.L. yaptıkları çalışmada kanola yağı etil esteri kullanımı ile; hidrokarbon ve CO emisyonlarında azalma, CO<sub>2</sub> emisyonunda artış olduğunu belirlemişlerdir. Etil esterde katalitik dönüştürücü kullanıldığında NO<sub>x</sub> emisyonunda azalma, katalitik dönüştürücü kullanılmadığında ise NO<sub>x</sub> emisyonlarında %20 - %50 oranında artış gözlemlediklerini bildirmişlerdir. Testler bir yıl sonra tekrarlandığında, ilk yapılan testlere göre HC emisyonunda azalma, CO ve CO<sub>2</sub> emisyonlarında ise

artış olduğunu bildirmişlerdir.

<sup>(14)</sup>Peterson, C.L., ve arkadaşları bir başka çalışmada; soya yağı etil esterini direkt püskürtmeli John Dere 4239 T aşırı doldurmalı dizel motorda deneyerek, güç ve moment değerlerinde % 5 düşme olduğunu, yakıt tüketiminde % 7 artış olduğunu, HC emisyonunda % 54, CO emisyonunda % 46, NO<sub>x</sub> emisyonunda % 14,7 azalma meydana geldiğini, karbondioksit gazı emisyonunda ise % 14 artış gözlemlediklerini bildirmişlerdir.

<sup>(15)</sup>Thompson, J.C. ve arkadaşları kanola yağı metil esterini ve etil esterinin üretimi ve iki yıl süre ile bekletilmesinden sonra, direkt püskürtmeli ve aşırı doldurmalı deney motorlarında; yeni üretilmiş kanola yağı metil esterini, bekletilmiş metil esterini ve dizel yakıtını kullanmışlardır. Etil ve metil esterinin moment, güç, özgül yakıt tüketimi, eğrilerinin birbirine yakın olduğu görülmüştür. Etil esterinin yoğunluğunun daha düşük olduğu belirtilmiştir.

<sup>(16)</sup>Selim, M.Y.E., ve diğerleri bitkisel enerji kaynağı olarak jojoba yağı metil esterini kullanarak, bu yakıtın ön yanmalı bir dizel motor performansına etkilerini inceledikleri çalışmalarında, saf jojoba yağı metil esterinin basınç ve basınç artış oranı dizel yakıtın özellikleri ile tamamen benzerlik gösterdiğini bildirmişlerdir. Bu bitkisel yakıt, dizel yakıtından daha yumuşak bir basınç artış oranına sahiptir ve bu açıdan ön plana çıkmaktadır. Jojoba yağı metil esterini, bütün motor devirlerinde dizel yakıtın ürettiği güç ve tork değerlerine yakın sonuçlar üretmektedir. Tork ve güç üretimi, yanma sesi veya motor gürültüsü ve titreşimi, motorun sarsıntısız çalışması açısından jojoba yağı metil esterinin, dizel yakıtı yerine kullanılabilecek bir yakıt olduğu belirtilmiştir.

<sup>(17)</sup>Yücesu, S. ve Altın, R., kanola yağının dizel motorlarda alternatif yakıt olarak kullanımı üzerine yaptıkları araştırmalarında, tek silindirli direkt püskürtmeli bir dizel motorunda çeşitli devirlerde motor performansı ve egzoz emisyonlarını incelemişlerdir. Kanola yağı ve dizel yakıtı ile yapılan testler sonucunda; motor devrine bağlı olarak dizel yakıtının; kanola yağından daha yüksek moment ve güç değerleri üretebildiği, özgül yakıt tüketimine bakıldığında, kanola yağının dizel yakıtına göre sarfiyatının daha yüksek olduğu, kanola yağı termik veriminin dizel yakıtından yaklaşık %9 düşük olduğu, karbonmonoksit emisyonunun kanola yağı kullanımında daha yüksek düzeyde geliştiği, NO<sub>x</sub> 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.

<sup>(17)</sup>Yücesu, S. ve Altın, R., bu verilerden yola çıkarak, kanola yağının dizel yakıtından daha düşük ısı değere sahip olduğunu, viskozitesinin daha yüksek olduğunu, performans ve emisyon değerlerinde dizel yakıtına göre kötü sonuçlar verdiğini ancak bu farklılıkların önemli düzeyde olmadığını bildirmişlerdir.

<sup>(18)</sup>Zang, Y ve Gerpen, J.H.V., soya yağı metil esteri ve dizel yakıt karışımları ile, 4 zamanlı, 4 silindirli 16.8/1 sıkıştırma oranlı ve aşırı doldurulmalı bir motorda performans ve emisyon testleri yaptıklarını ve bitkisel yağ metil esteri ve dizel yakıt karışımlarında elde edilen motor performans eğrilerinin, dizel yakıtına benzer sonuçlar arzettiğini bildirmişlerdir. Özgül yakıt sarfiyatı açısından bitkisel yağ metil esteri ve dizel yakıt karışımlarının

daha yüksek olduğu ölçülmüştür. NO<sub>x</sub> emisyonu dizel yakıtına göre daha yüksek belirlenmiştir. Buna neden olarak bitkisel yağ metil esterlerinde % 10 civarında kütleli oksijen bulunmasını bildirmişlerdir.

<sup>(19)</sup>Radu, R. ve Mircea, Z., direkt püskürtmeli, 3 silindirli ve 17/1 sıkıştırma oranlı dizel motorunda ayçiçeği yağı ve dizel yakıtı karışımlarını kullanarak yaptıkları çalışmalarında, % 20 yükte, % 40 yükte ve tam yükte maksimum güç, moment ve yakıt sarfiyatı deneyleri yapmışlardır. Sonuç olarak, bitkisel yağ ve dizel karışımlarının; düşük yanma ısı ve yüksek viskoziteye sahip olduğunu ve ham olarak kullanılan bitkisel yağ yakıtlarına göre; güç, moment ve yakıt sarfiyatında daha iyi sonuçlar verdiğini bildirmişlerdir.

<sup>(20)</sup>Altın, R.; saf ayçiçeği yağı, saf soya yağı, % 50 ayçiçeği yağı ve % 50 dizel yakıtı, % 50 soya yağı + % 50 dizel yakıtı, saf ayçiçeği yağı metil ester, saf soya yağı metil ester, % 50 ayçiçeği yağı metil ester + % 50 dizel yakıtı, %50 soya yağı metil ester + % 50 dizel yakıtı ve % 100 dizel yakıtı kullanarak çalışmalar yapmıştır. Dizel motorda tam yük değişik hız ve sabit devir değişik yük deneyleri ile emisyon ölçümü yapılmıştır. Dizel motor elemanlarını incelemek için rölantide 25 saat, % 50 yükte 1300 d/d'da 25 saat olmak üzere 50 saatlik dayanıklılık testi de yapılmış ve bu çalışmalar ışığında aşağıdaki hususlar bildirilmiştir;

- Bitkisel yağlar bazı alternatif yakıtlara göre yüksek ısı değere sahiptir.

-Bitkisel yağların ve özellikle metil esterlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri dizel yakıtına benzemektedir.



- Bitkisel yağların ve metil esterlerinin kısa süreli performans ve emisyon testlerinde dizel yakıtından elde edilen sonuçlara yakın değerler elde edildiği görülmüştür.

- Motorda oluşan birikintiler uzun süreli çalışmalar için problem teşkil edebilir. Bu nedenle bitkisel yağların iyileştirilmesi gereklidir. Metil esterler saf yağlara göre çok daha avantajlıdır.

-Özellikle soğuk havalarda yağların yüksek yoğunluk ve viskozitesinden kaynaklanan problemlerin giderilmesi için ön ısıtma faydalı olmaktadır.

- Sülfür oranı çok düşük olduğu için bitkisel yağlar ve metil esterleri çevreye diğer yakıtlara oranla daha az zarar vermemekte olup, bu yakıtların çevre dostu olarak nitelendirilmesi mümkündür.

<sup>(21)</sup>Ciğizoğlu, K.B. ve arkadaşları; ön yanma odalı bir dizel motorda, kullanılmış ayçiçeği yağı ile dizel yakıtını belirli oranlarda karıştırarak yaptıkları çalışmalarında, karışım yakıtla yapılan deney sonuçlarında elde edilen motor karakteristik değerlerinin dizel yakıtı ile oluşan değerlere yakın olduğunu ve ayrıca bu yakıtın dizel yakıtına göre daha az duman yaydığını, bildirmişlerdir.

### **1.2.1. Çalışmanın Amacı**

Ülkemizde içten yanmalı motorlara sahip araç sayısı her geçen gün hızla artmaktadır. Araç sayısındaki artışla birlikte araçlardan kaynaklanan egzoz emisyonlarının da aynı oranda artış gösterdiği açıktır. Bununla birlikte, kullanılabilir petrol rezervlerinin sınırlı olduğu bilinmektedir. Bu bağlamda fosil

yakıt tüketen bu araçlardaki artışla birlikte fosil yakıtlara olan talep de artmaktadır. Bu artış oranı dünya fosil yakıt kaynaklarının tükenme noktasına gelmesine neden olacaktır. Yaşanan petrol krizleri ve çevresel faktörler fosil yakıt tüketimi ve egzoz emisyonlarının azaltılması için çalışmalar yapılmasını zorunlu kılmıştır. Bu bağlamda alternatif yakıtları kullanabilen teknolojilerin geliştirilmesi çalışmaları sürdürülmektedir. Ülkemizde geniş bir üretim potansiyeli bulunan kanola bitkisinden elde edilen biyodizel yakıtının dizel motorlarda belirgin bir revizyona gerek duyulmaksızın kullanımı sonucu, motor performansı ve egzoz emisyonlarında dizel yakıtı kullanımına göre ortaya çıkacak değişiklikleri incelemek, bu çalışmanın temel amacıdır.

### **1.3. Dizel Motorları ve Yakıtlarının Genel Özellikleri**

Sıkıştırma ateşlemeli (dizel) motorlarda, silindir içindeki yüksek basınç ve sıcaklıktaki hava içine püskürtülen yakıtın damlacıklara ayrılması, buharlaşması ve tutuşması ile yanma başlamakta ve difüzyon alevi (heterojen yanma) şeklinde devam etmektedir<sup>(22)</sup>.

Dizel motorlar, yakıt oluşturma şekli yönünden Direk Püskürtmeli Motorlar (Direct Injection Engine – DI) ve Endirekt Püskürtmeli Motorlar (Indirect Injection Engine – IDI) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır<sup>(22)</sup>.

Endirekt püskürtmeli motorlarda bir ön yanma odası bulunmakta ve bu oda dar bir geçit ile ana yanma odasına bağlanmaktadır<sup>(22)</sup>.

Sıkıştırma zamanı sırasında, silindirden ön yanma odasına doğru oluşan hava geçişi, ön yanma odasında yüksek derecede hava hareketi oluşturur. Bu hava hareketi yakıtın ön yanma odasına püskürtülmesi ile hava-

yakıt karışımının çok hızlı oluşmasını sağlar ve yanma, ön yanma odasında başlar. Ön yanma odasında meydana gelen yanmanın oluşturduğu yüksek basınç ve sıcaklık ile yanma ana yanma odasında devam eder. Direk püskürtmeli motorlarda ise yanma odası bölünmemiştir ve genel olarak piston yüzeyine açılmış bir oyuk bulunmaktadır. Bu oyuk iyi yanma için gerekli hava hareketlerinin oluşmasına kolaylık sağlamaktadır. Bazı motorlarda hava hareketlerini iyileştirmek için emme kanalına da helisel bir şekil verilmektedir. Emme esnasında helisel giriş kanallarından geçen hava dönme hareketi yapar ve bu hareket, sıkıştırma sırasında piston üzerindeki oyuk tarafından kuvvetlendirilir<sup>(22)</sup>.

Dizel motorlarda yakıt enjektör vasıtasıyla yüksek basınç altında yanma odası içine püskürtülür ve yanma burada başlayarak devam eder<sup>(22)</sup>.

Dizel yakıtı ham petrolden arındırılarak elde edilen bir yakıt türüdür. Dizel yakıtının kapalı formülü  $C_{12.226} H_{23.29} S_{0.0575}$  'dir. Bu formüle göre kütleli bileşimi; C= 0.8538 kg, H= 0.1355 kg S=0.0107 kg'dır. Dizel yakıtı az miktarda kükürt, azot, kül ve su içermektedir.

DIN-51601'e göre dizel yakıtından istenen özellikler Çizelge 1.1'de verilmiştir<sup>(22)</sup>.

**Çizelge 1.1.** DIN-51601'e Göre Dizel Yakıtından İstenen Özellikler

Özellikler	Değerler	Deney Normu
Hacimsel su miktarı	%0.1	DIN 51777
15 °C'de yoğunluk	0.820- 0.860g/ml	DIN 51757
20 °C'de viskozite	1.8-10 mm <sup>2</sup> /s	DIN 51550

### Çizelge 1.1. (devam)

Özellikler	Değerler	Deney Normu
Parlama noktası (Abel-Pensky'ye göre)	55 °C	DIN 51755
Filtrasyon (Hagemann ve Hammerich'e göre)	Yazın 0 °C Kışın -12 °C	DIN 51768
Konrafson'a göre koklaşma artışının kütleli minimum yüzdesi	% 0.1	DIN 51551
Kütlesinde değişiklik olarak çinkoya karşı davranışı	4 mg	DIN 51779
Tutuşma kabiliyeti (en küçük setan sayısı)	40 SS	DIN 51773
Kül miktarı, (kütleli yüzde olarak maksimum)	%0.02	DIN 51575

#### Setan Sayısı (Tutuşma Kabiliyeti)

Setan sayısı yakıtın dizel motorunda sıkıştırma sonucu ısınan havanın içerisinde kendi kendine tutuşma özelliğini belirleyen bir sayıdır. Setan sayısının yüksek olması, tutuşma gecikmesi periyodunu azaltmakta ve yanma odasında biriken yakıtın ani yanması ile oluşan hızlı basınç artışını önlemektedir. Düşük setan sayılı yakıt daha erken tutuşarak yanmaya başlayacaktır. Fakat bu sırada sıkıştırma devam ettiği için silindir içi sıcaklık ve buna bağlı olarak NO<sub>x</sub> oluşumu artacaktır. Bu yüzden yanma başlamadan önce daha az yakıt püskürtülmelidir<sup>(22)</sup>.

Setan sayısı, dizel yakıtının yanma kalitesini gösteren ve benzindeki oktan sayısı gibi ölçülebilen bir sayıdır. Setan sayısının tayininde iki ayrı özellikte sıvı yakıt kullanılır (setan ve alfa-metil naftalin). Bunların muhtelif

oranlarda karışımıyla elde edilen yakıt, numune yakıtın vurutusuna eşit vurutu verdiğinde, bu durum o yakıtın setan yüzdesi olarak tespit edilir<sup>(22)</sup>.

Setan sayısı bir dizel yakıtın ihtiva ettiği hidrokarbon cinsleriyle çok yakından ilgilidir. Parafinik hidrokarbonlar setan sayısını yükseltir. Naftenik hidrokarbonlar vasat setan sayısını temin eder. Olefinlerin setan sayısına etkisi kesin olarak belirlenememiştir. Aromatik hidrokarbonlar düşük setan sayısı temin ederler<sup>(22)</sup>.

### **Viskozite**

Viskozitenin, iki sıvı tabakasının birbirine göre izafi hareketini de bu tabakalarının öteleme hareketine karşı oluşturduğu bir iç direnç olduğu ifade edilmektedir<sup>(22)</sup>.

Viskozite değeri, yakıt zerrelerinin büyüklüğünü kontrol ettiğinden dolayı, iyi bir yanma için çok gerekli olan yeterli hava-yakıt karışımı elde etmede en önemli faktörlerden atomizasyon ve dağılma derecelerini de belirlemektedir<sup>(22)</sup>.

Viskozite değerleri, Engler (DIN 51560), Redwood (Institute of Petroleum Standard Methods IP 70/57), Saybold Universal ve Saybolt-Furol viskozitemetreleri ile belirlenmektedir<sup>(22)</sup>.

Yakıtın viskozitesi, yakıt bir enjektörden veya dar bir kanaldan hava içinde püskürtülmesinde oluşacak yakıt hüzmesini çok etkiler. Viskozite büyüdükçe yakıtın zerrelere ayrılması zorlaşır, dolayısıyla iri yakıt zerreciklerinin nüfuz derinliği (penetration depth) fazlalaşır<sup>(22)</sup>. Küçük viskoziteli yakıtlar ise, yakıt pompasında bazı kaçaklara yol açmaktadır<sup>(22)</sup>.

Bu tip yakıtların yağlama özellikleri de iyi değildir<sup>(22)</sup>.

### **Isıl Değer**

Yanma sonucu oluşan ürünlerin, yanma öncesi referans bir sıcaklığa göre toplam entalpilerinin yakıt kütesine bölünmesiyle elde edilen değere yakıtın ısı değeri denir<sup>(22)</sup>.

Eğer ürünlerdeki su yoğunlaşmış kabul ediliyorsa söz konusu değere, yakıtın üst ısı değeri veya yanma ısı denir. Eğer su, buhar fazında gösterilmişse bu değere yakıtın alt ısı değeri adı verilir<sup>(22)</sup>.

### **Akma Noktası**

Akma ya da katılaşma noktası, motorun düşük sıcaklıklarda çalıştırılması sırasında önem kazanmaktadır. Katılaşma durumunda gerekli yakıt akışı sağlanamayacağından motor çalışmayacaktır<sup>(22)</sup>.

Akma noktası sıcaklığı, motorun çalışmasını garantiye almak üzere ortam sıcaklığının 5-10 °C daha altında olmalıdır. Böylece motorun ortam şartlarında daha rahat çalışması sağlanmış olur<sup>(22)</sup>.

### **Destilasyon (Uçuculuk)**

Uçuculuk, dizel motorlarında kullanılan yakıtın yanmasını kolaylaştırmak ve dumansız bir yanma için gerekli olan iyi bir karışımın temin edilebilmesi için gerekli olan bir özelliktir. Uçuculuk ölçüsü olan destilasyon değeri azaldıkça yanma daha muntazam ve çabuk olur. Düşük uçuculuk özelliğine sahip olan yakıtlar dumanı azaltmak ve en iyi güç temin edebilmek amacıyla yüksek hızlı motorlar için daha uygundur. Normal setan sayılı bir

dizel yakıtının kaynama dereceleri 180 °C – 370 °C sıcaklıklar arasında değişmektedir<sup>(22)</sup>.

### **Alevlenme- Parlama Noktası**

Bir yakıtın parlama noktası, bir kapta ısıtılan yakıtın üzerine yaklaştırılan alev ile geçici olarak tutuşma halinde yakıt buharı teşekkür ettiği en düşük sıcaklık olarak tarif edilir<sup>(22)</sup>.

Alevlenme noktası ise tutuşma buharının sönmeden devam etme sıcaklığıdır. Alevlenme sıcaklığı parlama sıcaklığından biraz yüksektir. Kendi kendine tutuşma bakımından yakıtlar buldukları ortama son derece bağımlıdır<sup>(22)</sup>.

Benzin gibi buharlaşma kabiliyeti yüksek yakıtlar açık havada oldukça düşük sıcaklıklarda alevlenirler. Bu açıdan, dizel yakıtları gibi buharlaşma sıcaklıkları nispeten yüksek yakıtlar daha emniyetlidirler. Deniz seviyesinde, yaklaşık alevlenme sıcaklığı sınırları hafif dizel yakıtlar için 340 - 420 K'dir<sup>(22)</sup>.

### **Kül Miktarı**

Yanma sonucunda meydana gelen artıklar segman yuvaları ile supap tabla ve sapında birikirler. Bu açıdan dizel yakıtların en önemli problemlerinden birisi önemli ölçüde karbon ve kül ihtiva etmeleridir. Setan sayısı belli bir değere kadar, yanma olayını iyileştirmek suretiyle yanma sonu artık miktarını azaltır. Ancak bu değerden sonra is oluşmasına olumsuz etki eder. Bu yüzden, herhangi bir maddenin konvansiyonel dizel yakıt ilavesi olarak kabul edilmesinden önce, bu özelliklerinin dikkate alınması gerekir<sup>(22)</sup>.

## **Anilin Noktası**

Anilin noktası, eşit hacimde anilin ve numunenin minimum kritik çözünme sıcaklığıdır. Anilin, aromatik hidrokarbonları her zaman, fakat parafinikleri yalnız sıcakta eritebilen bir eritgendir. Anilin ile motorin karıştırılır ve ısıtılır. Sıcaklık altında motorin, anilin içinde tamamen erir fakat eriyik soğumaya bırakıldığında parafinlerin yavaş yavaş ayrışmaya başladığı görülür. İşte bu ayrışmanın sonuçlanıp, eriyik içinde iki ayrı tabakanın meydana geldiği sıcaklık derecesi, anilin noktası olarak tarif edilir. Anilin noktası (AN) DIN 51775 ve DIN 51787'de hacimsel olarak aynı sıcaklık derecesinde ifade edilmektedir. Bu nokta;

Aromatlarda  $AN < 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,

Naftenlerde  $30 \text{ }^{\circ}\text{C} < AN < 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Parafinlerde  $AN < 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$

civarındadır. Eğer bulunan anilin noktası değeri, numune ve anilinin oluşturduğu karışımdan anilinin kristalleşerek ayrıştığı sıcaklığın altında ise "karışımın anilin noktası" belirtilir<sup>(22)</sup>.

### **1.4. Hidrokarbon Yakıtlar**

Hidrokarbon moleküllerinden oluşan bu yakıtlara, karbonlu hidrojenler C/H oranına göre ve atomlar arasındaki bağ şekillerine göre karbon isimleri verilmektedir. Ham petrol yataklarındaki molekül tipleri çok değişken olmakla beraber kütleli karbon miktarı % 83-87 ve hidrojen miktarı % 11-14 arasında bulunmaktadır. Yüzlerce çeşidi olmakla beraber başlıca olanları şunlardır<sup>(22)</sup>.



## **Parafinler**

Normal parafinlere ( $C_nH_{2n+2}$ ) alfatikler adı da verilmektedir. Dört valanslı karbon atomu bir valanslı hidrojen atomları ile tamamen doymuş durumda olup molekül bağları düz zincir şeklindedir. Metan ( $CH_4$ ), Etan ( $C_2H_6$ ) ve n-propan ( $C_3H_8$ ) bu gruptandır<sup>(22)</sup>.

İzo parafinler ( $C_nH_{2n+2}$ ) aynı sayıda C ve H atomu olmasına rağmen "Dallanmış zincir" şekline sahip olan moleküllerin kimyasal özellikleri çok farklı olmaktadır. İ-Butan( $C_4H_{10}$ ) ve i-Oktan( $C_8H_{18}$ ) bu gruptandır<sup>(22)</sup>.

## **Olefinler**

Serbest molekül bağları itibariyle çok aktif olup molekül bağları çifttir. Hidrojenle kolay birleşmesi sebebiyle jet yakıtlarında belli bir miktardan fazlasına izin verilmez. Sadece bir tane çift bağı bulunan Monoolefinler ( $C_nH_{2n}$ ) den 2-Buten ( $C_4H_8$ ) ile çift bağı doymamış HC olan Di-olefinler ( $C_nH_{2n-2}$ ) den 1-5 Heptadien ( $C_7H_{12}$ ) bu gruptandırlar. Olefinlerin yanmaları kısmen temizdir ve fiziksel yönden parafinlere benzerler<sup>(22)</sup>.

## **Naftenler**

Kapalı halka şeklindeki doymuş hidrokarbonlardır. Kapalı formları sebebiyle sikloparafin de denir. Ham petrolün yaklaşık % 25'i naftenik bileşenlerdir. Siklopropan ( $C_3H_6$ ), Siklobutan ( $C_4H_8$ ) ve Metilsiklopentan ( $C_6H_{12}$ ) bu gruptandırlar<sup>(22)</sup>.

## **Aromatikler**

Vuruntuya ve sıkıştırma sonu basıncına dayanıklıdırlar. Kimyasal yönden diğer doymamış hidrokarbonlara göre daha kararlıdırlar. Petrol

içerisinde  $C_nH_{2n-6}$  kapalı formülü ile ifade edilen iki veya daha fazla halkalı aromatikler bulunmaktadır. Benzen ( $C_6H_6$ ), etilbenzen ( $C_8H_{10}$ ) başlıca türleridir. Setan sayısının belirlenmesinde esas alınan alfa metil naftelen, aromatik benzin için arzu edilen bileşiklerdir. Aromatikler isli yanarlar ve depolanmaları halinde kararlı oldukları için eritme kabiliyetleri fazla olup kansere sebep olan maddeler arasındadır<sup>(22)</sup>.

### 1.5. Dizel Motorlarda Yanma

Dizel motorlarda yanma; püskürtülen yakıtın kendi kendine tutuşmasıyla başlayan, pek çok sayıda parametrenin topluca etkisi altında cereyan eden ardışık, örtüşen ve çok kısa süren bir çok aşamadan meydana gelen ve egzoz içinde bile kısmen devam eden karmaşık bir olaydır<sup>(23)</sup>.

Yanma olayı kimyasal, termodinamik ve hatta aerodinamik açıdan bir çok detayı kapsadığından mühendislikte halen en çok incelenmeye muhtaç bir konu olmaya devam etmektedir. Çok değişik çalışma şartları ve dinamik bir yanma ortamı sergileyen motorlarda ise bu olay çok daha karmaşık bir hale gelmektedir. Benzin ve dizel motorları, çevrimin termodinamiği bakımından birbirlerine son derece benzer olmakla birlikte yanma olayının geçirdiği safhalar ve olayın kontrolü bakımından önemli farklılıklar ortaya koymaktadır<sup>(24)</sup>.

Dizel motorlarında hava, emme stroku sırasında herhangi bir kısılmaya maruz bırakılmaksızın silindire tam olarak doldurulur. Sıkıştırma oranı  $1/12 - 1/22$  arasında olduğundan, sıkıştırma strokunun sonuna doğru silindirde hava sıcaklığı oldukça yüksektir. Yakıt sıkıştırılarak, sıcaklığı ve basıncı yükseltilecek hava içerisine piston üst ölü noktaya gelmeden önce

püskürtülmeye başlanır ve yakıtın püskürtüldüğü anda basınç ve sıcaklığın çok yüksek olmasından dolayı ilk yakıt damlasının silindir içerisine girmesiyle birlikte bazı kimyasal reaksiyonlar başlar. Ancak bu reaksiyonlar başlangıçta çok yavaştır. Tutuşmanın belirtisi olan görülebilir bir alevin oluşumu veya ölçülebilir bir basınç artışının oluşumu ancak “tutuşma gecikmesi” denilen makul bir sürenin geçmesiyle mümkün olmaktadır<sup>(23-24)</sup>.

Ani yanma safhası hava ile karışan yakıt buharının tutuşmasıyla başlar. Tutuşma gecikmesi süresince yakıt silindire girmekte ve buharlaşmaktadır. Bu süre zarfında damlacıklar daha küçük parçalara bölünüp hava ile daha mükemmel karışmaktadırlar. Yanma başladığında ise oksijenle temas etmekte olan yakıt büyük bir hızla yanar. Bu yanma hızı silindir içerisindeki basınç yükselme hızını da ( $dp/dt$ ) tayin eder. Yüksek bir basınç yükselme hızı hareketli motor parçalarına ani bir yük uygulaması anlamına geleceğinden bu parçalarda sık sık yorulmadan kaynaklanan tahribatlar görülür. Ani basınç yükselmesinin istenmeyen önemli bir başka sonucu ise şiddetli gürültüdür ve bu gürültü “dizel vuruntusu” olarak bilinir. Yanmanın bu ikinci safhasındaki basınç artışı şu faktörlerden etkilenir<sup>(23)</sup>.

- Yakıtın atomizasyon derecesi: enjeksiyon sisteminin dizaynı,
- Tutuşma gecikmesi süresince püskürtülen yakıt miktarı,
- Tutuşma gecikmesi süresince hava ile karışan yakıt buharı miktarı.

Yukarıdaki açıklamalardan basınç yükselme hızı ve süresinin tutuşma gecikmesi süresi ile mutlak ilişkili olduğu anlaşılmaktadır<sup>(23)</sup>.

Kontrollü yanma safhası, maksimum basınçla yanmanın büyük ölçüde tamamlandığı an arasındaki süreyi kapsar. Ani yanma süresi sonunda sıcaklık ve basınç çok yüksek olduğundan bu safhayı takiben püskürtülen

yakıt oksijen bulunca hemen yanar. Kumandalı yanma safhasında basınç eğrisinin seyri aşağıdaki faktörlere bağlıdır<sup>(23)</sup>.

1- Yakıt püskürtme hızına: Özellikle silindirde yeterli miktarda oksijen varsa bu faktör çok etkilidir.

2- Yakıt ile hava temasını iyileştirecek şekilde ve şiddette hava hareketi olmasına. Bu, motor hızına ve yanma odasının şekline bağlıdır.

3- Pistonun konumuna. Eğer üçüncü safhanın başlangıcı, pistonun üst ölü noktadan epey uzaklaştığı bir piston konumunda oluyorsa o zaman hacim değişiminin basınç üzerindeki etkisi belirgindir.

Kontrollü yanma sonundan egzoz supabının açılmasına kadar geçen süre bazı kaynaklarda art yanma süresi olarak ele alınmaktadır. Bu safhada yanma tamamlanmakta silindir hacminin artması sebebiyle de basınç ve sıcaklık düşmektedir. Verim bakımından kısa sürmesi istenen bir safhadır<sup>(23)</sup>.

### **Tutuşma Gecikmesinin Tanımı**

Homojen reaktif bir karışım, belirli bir basınç ve sıcaklığa ulaşıncaya kadar sıkıştırılıp bu şartlarda bekletilince bir süre sonra kendi kendine tutuşabilmektedir. Karışımın bekletildiği bu şartlar tutuşmanın başladığı şartlar olsa bile karışım bir süre bu şartlarda tutuşmadan kalabilmekte ve daha sonra tutuşma görülmektedir. Tutuşmanın olmadığı bu süreye tutuşma gecikmesi denir. Bu süre zarfında gelişen kimyasal olayların detayları tam olarak bilinmemekle birlikte, reaksiyon hızını son derece artıran bazı ara ürünlerin bu aşamada ortaya çıktığına inanılmaktadır. Karışımın tutuşmasından önce gerçekleşen reaksiyonların hepsine ön reaksiyonlar denir. Genellikle sıkıştırma olayı esnasında ön reaksiyonlar oluşmaktadır.

Ama bunlar tutuşma gecikmesi tarifinde ihmal edilir ve tutuşma gecikmesi başlangıcı sıkıştırma sonu kabul edilir<sup>(23)</sup>.

Heterojen reaktif karışımlarda sisteme sıvı fazda sokulan yakıt, önce dinamik ve termik etkilerle parçalanarak küçük damlacıklara ayrılmakta ve ısınarak buharlaşmaya başlamaktadır. Bu andan itibaren yakıt buharı hem türbülans ve difüzyon etkisi ile yayılarak hava ile karışmakta, hem de kimyasal dönüşümlere uğrayarak tutuşmaya hazırlanmaktadır. Yakıtın sisteme sokulduğu andan tutuşmanın gerçekleştiği ana kadar geçen süre tutuşma gecikmesi olarak tanımlanmaktadır<sup>(23)</sup>.

### **Dizel Motorunda Kendi Kendine Tutuşma Gecikmesi**

Dizel motorlarında tutuşma dışarıdan olmadığı için bu motorlar tabii olarak kendiliğinden tutuşmalı motorlardır. Dizel motorlarında yakıt sıvı damlacıklar halinde püskürtüldüğünden karışım Otto motorlarındaki kadar homojen olmamakta, tam buharlaşma için epey zaman geçmektedir. Bu zaman tutuşma gecikmesinden daha uzun olduğu müddetçe, yanma başladıktan sonra basınç yükselme hızı Otto motorlarında son gaz bölgesindeki kadar yüksek olmaz ve yanma olayı normal seyrinde gelişir. Ancak tutuşma gecikmesi buharlaşma süresine kıyasla eşit veya daha uzun olursa o zaman bütün karışım bir anda yanmaya hazır olacağından yanma hızı dolayısıyla basınç yükselme hızı çok yüksek olur. Bunun neticesinde motor parçalarında büyük gerilmeler ve şiddetli titreşimler oluşur. Uzun tutuşma gecikmesi süresince buharlaşıp havayla karışan yakıtın, çok yüksek basınç gradyanı ve maksimum basınçla sonuçlanan, kendiliğinden tutuşma olayına dizel vuruntusu denir<sup>(23)</sup>.

Görüldüğü gibi dizel motorunda vuruntuyu tayin eden en önemli faktör tutuşma gecikmesidir<sup>(23)</sup>.

## **1.6. Biyodizel Üretimi**

Bitkisel yağlardan transesterifikasyon reaksiyonu (alkoliz) ile biyodizel elde edilmektedir. Transesterifikasyon reaksiyonunda yağ, monohidrik bir alkolle (etanol, metanol), katalizör (asidik, bazik katalizörler ile enzimler) varlığında ana ürün olarak yağ asidi esterleri ve gliserin vererek esterleşir. Ayrıca esterleşme reaksiyonunda yan ürün olarak di- ve monogliseridler, reaktan fazlası ve serbest yağ asitleri oluşur. Biyodizel üretiminde bitkisel yağ olarak kolza, ayçiçeği, soya ve kullanılmış kızartma yağları, alkol olarak metanol, katalizör olarak alkali katalizörler (sodyum veya potasyum hidroksit) tercih edilmektedir. Üretim teknolojisinde zorluk bulunmamaktadır. Üretimdeki en önemli nokta biyodizelin saflık derecesidir. Bu nedenle rafinasyon aşaması önem kazanmaktadır. Biyodizel % 99 oranının üzerinde saf üretilmelidir<sup>(25)</sup>.

## **1.7. Biyodizelin Genel Özellikleri**

Biyodizel orta uzunlukta C16-C18 yağ asidi zincirlerini içeren metil veya etil ester tipi bir yakıttır. Oksijene zincir yapısı, biyodizeli petrol kökenli motorinden ayırır. Biyodizel, motorine çok yakın ısı değerine, motorinden daha yüksek alevlenme noktasına sahiptir. Bu özellik; biyodizeli, kullanım ve depolanmasında diğer yakıtlara göre daha güvenli bir yakıt yapar. Biyodizel kükürt içermediği için genel olarak zararlı kükürt emisyonunu düşük seviyelere indirebilir, yağlama derecesi yüksek olduğu için içten yanmalı

motorların ömrünü uzatır ancak biyodizel yakıt tüketimi hacimsel olarak %11, kütleli olarak ise % 5-6 dizel yakıtına göre daha fazla olmaktadır<sup>(26)</sup>.

### **Biyolojik Olarak Bozunabilirlik**

Biyodizeli oluşturan C16-C18 metil esterleri doğada kolayca ve hızla parçalanarak bozunur. 10.000 mg/l'ye kadar herhangi bir olumsuz mikrobiyolojik etki göstermezler. Suyu bırakıldığında biyodizelin 28 gün sonunda % 95'i, motorinin ise % 40'ı bozunabilmektedir. Biyodizelin doğada bozunabilme özelliği dekstroza (şeker) benzemektedir<sup>(25)</sup>.

### **Toksik Etki**

Biyodizelin bugüne kadar bilinen olumsuz bir toksik etkisi bulunmamaktadır. Biyodizel için ağızdan alınmada öldürücü doz 17,4 g biyodizel/kg vücut kütlesi şeklindedir. Sofra tuzu için bu değer 1,75 g tuz/kg vücut kütlesi olup, tuz biyodizelden 10 kat daha yüksek öldürücü etkiye sahiptir<sup>(25)</sup>.

İnsanlar üzerinde yapılan elle temas test sonuçları biyodizelin ciltte %4'lük sabun çözeltisinden daha az toksik etkisi olduğunu göstermiştir<sup>(25)</sup>.

Biyodizel toksik olmamasına karşın, biyodizel ve biyodizel dizel karışımlarının kullanımında; dizel için zorunlu olan standart koşulların (göz koruyucular, havalandırma sistemi v.b.) kullanılması önerilmektedir<sup>(25)</sup>.

### **Depolama**

Dizel için gerekli depolama yöntem ve kuralları biyodizel için de geçerlidir. Biyodizel temiz, kuru, karanlık bir ortamda depolanmalı, aşırı

sıcaktan kaçınılmalıdır. Depo tankı malzemesi olarak yumuşak çelik, paslanmaz çelik, florlanmış polietilen ve florlanmış polipropilen seçilebilir. Depolama, taşıma ve motor malzemelerinde bazı elastomerlerin, doğal ve butil kauçukların kullanımı sakıncalıdır; çünkü biyodizel bu malzemeleri parçalamaktadır. Bu gibi durumlarda biyodizelle uyumlu Viton B tipi elastomerik malzemelerin kullanımı önerilmektedir<sup>(25)</sup>.

### **Soğukta Akış Özellikleri**

Biyodizel ve biyodizel-dizel karışımları, dizelden daha yüksek akma ve bulanma noktasına sahiptir; bu durum yakıtların soğukta kullanımında sorun çıkarır. Akma ve bulanma noktaları uygun katkı maddeleri (anti-jel maddeleri) kullanımı ile düşürülebilmektedir. Biyodizel - dizel karışımları 4 °C'nin üzerinde harmanlama ile hazırlanmalıdır. Soğukta harmanlamada biyodizelin dizel üzerine eklenmesi, sıcakta harmanlama da ise karışımda daha fazla olan kısmın az kısım üzerine eklenmesi önerilmektedir. Eğer harmanda soğumaya bağlı olarak kristal yapılar oluşursa, harmanın tekrar normal görünümünü kazanması için bulutlanma noktası üzerine ısıtılması ve karıştırılması gerekmektedir<sup>(25)</sup>.

### **Biyodizelin Taşıt Motorları Dışında Kullanımı**

Biyodizelin sahip olduğu özellikler, bu alternatif yakıtın dizel taşıt motorları dışında da yakıt olarak kullanımına olanak vermektedir. Biyodizel bu nedenle, "Acil Durum Yakıtı" ve "Askeri Stratejik Yakıt" şeklinde adlandırılabilir. Biyodizel, jeneratör yakıtı veya kalorifer yakıtı olarak



değerlendirilebilir. Kükürt içermeyen biyodizel seralar için mükemmel bir yakıt olabilir. Ayrıca gıda kurutulmasında başarı ile kullanılabilir<sup>(25)</sup>.

## **1.8. Biyodizelin Dezavantajları ve Dezavantajlarını Giderme Yöntemleri**

### **1.8.1. Biyodizelin Dezavantajları**

Biyodizel yakıtının bazı üstünlükleri olduğu gibi bazı sakıncaları da söz konusudur. Özellikle yüksek viskozite, doymamış yapı ve katılaşma eğilimi biyodizelin dezavantajlarının başında gelmektedir.

#### **Viskozite**

Bitkisel yağların doğrudan dizel yakıtı olarak kullanımlarını olumsuz yönde etkileyen başlıca faktör yüksek viskoziteleridir. Bu değer dizel yakıtın yaklaşık 10 katı kadardır. Modern dizel motorlarının enjeksiyon sistemleri viskozite değişimlerine karşı hassasiyet gösterirler. Yüksek viskozite yakıtın yanma odasındaki atomizasyonunu bozmakta, damlacık boyutundaki büyümeye tam yanmayı önlemektedir. Tamamlanamayan yanma ise yanma odasında birikmelere, enjektörlerde koklaşma ve tıkanmalara ayrıca yağlama yağına bulaşmaya neden olmaktadır<sup>(27)</sup>.

#### **Doymamış Yapı**

Bitkisel yağların yakıt olarak kullanımında bir diğer sorun içerdikleri doymamış bağlardan kaynaklanır<sup>(27)</sup>.

Doymamış yapıların yağlama yağına karışması ve bu ortamda polimerizasyonu, motoru tahrip edecek viskozite artışlarına neden olmaktadır<sup>(27)</sup>.

## **Katılaşma Eğilimi**

Ayrıca bitkisel yağların düşük sıcaklıklarda söz konusu olan katılaşma eğilimi de yakıt olarak kullanılmasında sorun yaratır. Bu durum dizel yakıtla karışım oluşturularak veya ön ısıtma ile giderilebilir<sup>(27)</sup>.

### **1.8.2. Dezavantajları Giderme Yöntemleri**

Bitkisel yağların yakıt olarak kullanımında ana kısıtlayıcı faktör olarak viskozite karşımıza çıkmaktadır. Viskozite probleminin çözümü için, seyreltme, mikroemülsiyon oluşturma, piroliz ve transesterifikasyon olmak üzere dört yöntem önerilmektedir<sup>(27)</sup>.

#### **Seyreltme**

Seyreltme, bitkisel yağların belirli oranlarda dizel yakıtına katılmasıyla viskozitenin düşürülmesidir. Ziejewski'nin yaptığı çalışmaya göre hacim olarak % 25 ayçiçeği yağı - % 75 oranında dizel yakıtı karışımı ile 40 °C de viskozitesi 4,88 mm<sup>2</sup>/s olarak tespit edilmiş ve ASTM standartlarında 40 °C 'de dizel yakıt için belirlenen üst sınır 4,00 mm<sup>2</sup>/s olduğundan % 25 ayçiçeği yağı - % 75 dizel yakıtı karışımının direkt enjeksiyonlu dizel motorlarında kullanılamayacağını belirtmiştir<sup>(22)</sup>.

Dizel yakıtına % 10 kanola yağı katılan bir diğer çalışmada önemli değişimler gözlenmemiştir<sup>(27)</sup>.

Kanola yağının viskozitesinin sıcaklığa bağlı olarak diğer test edilen bitkisel yağlara göre daha yüksek olduğu görülmüştür. 10 °C 'de 50/50 oranında karışım viskozitesinin 19,0 mm<sup>2</sup>/s olduğu tespit edilmiştir. Viskozite

saf etanol kullanılarak düşürülebilmektedir. 37 °C 'de 37,82 mm<sup>2</sup>/s olan viskozite, % 10 etanol ile birlikte 21,15 mm<sup>2</sup>/s seviyesine düşmektedir<sup>(27,28)</sup>.

### **Mikroemülsiyon Oluşturma**

Bitkisel yağların viskozitesini düşürmek için metanol ve etanol gibi kısa zincirli alkollerle mikroemülsiyonlar oluşturulur<sup>(29)</sup>.

Mikroemülsiyon, boyutları 1 - 150 nm arasında optikçe izotropik sıvı mikro yapılarının koloidal denge dağılımı olup, normalde karışmayan iki sıvı ve bir veya daha fazla iyonik, iyonik olmayan amfifilin bir araya gelmesiyle oluşur. Ethanollü soya yağı mikro emülsiyonlarının sürekliliği tespit edilememekle birlikte kısa süreli performansları 2 numaralı dizel yakiti kadar iyidir<sup>(30)</sup>.

### **Termik Parçalanma (Pirroliz)**

Termik parçalanma, kimyasal bağların daha küçük moleküller oluşturmak üzere kırılması işlemidir. Bitkisel yağların piroliz ürünlerini elde etmek için iki yöntem önerilmektedir. Bunlardan biri, bitkisel yağı ısı etkisiyle kapalı bir kaptan parçalamak, diğeri ise standart ASTM distilasyonu ile ısı parçalanma etkisinde tutmaktır<sup>(28)</sup>.

Örneğin soya yağı; termal olarak hava ve nitrojen de standart ASTM damıtma cihazında ayrıştırılabilir. Yine katalitik parçalama yöntemiyle bitkisel yağlardan biyodizel üretilmesi mümkündür<sup>(31)</sup>.

Hindistan cevizi ve palmye yağı standart katalizör SiO<sub>2</sub> / Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kullanılarak 450 °C 'de parçalanıp hafif moleküler ağırlıklı gaz, sıvı ve katı fazlar oluşturulur<sup>(31)</sup>.

## **Transesterifikasyon**

Bitkisel yağların dizel yakıtı alternatifi olarak uygunlaştırılmasında izlenen en önemli kimyasal yöntem transesterifikasyon veya diğer adıyla alkoliz reaksiyonudur. Transesterifikasyon, bir bitkisel yağın küçük molekül ağırlıklı bir alkol-katalizör eşliğinde gliserin ve yağ asidi esteri oluşturmak üzere reaksiyona girmesidir<sup>(29)</sup>.

Bitkisel yağların viskoziteleri, küçük moleküllü alkollerle metil veya etil esterlerine dönüştürdükleri alkoliz reaksiyonundan faydalanılarak düşürülebilir. Ayrıca bu dönüşüm reaksiyonunda oluşan gliserin gibi yan ürünleri değerlendirmek de olanaklıdır. Reaksiyonlar asidik (HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) veya bazik (NaOH, KOH) katalizörler yanında gerçekleşir. Katalizörler reaksiyon hızlandırıcı, dönüşümü artırıcı etki gösterirler. Bazik katalizörler kullanıldığında reaksiyon daha düşük sıcaklıklarda gerçekleşebilir<sup>(31)</sup>.

### **1.9. Emisyonlar ve Etkileri**

Dizel motorlarda emisyonlar, 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<sup>(31)</sup>.

#### **Karter Emisyonları**

Piston ve segmanlar, silindir cidarları ile piston arasında sızdırmazlık sağlayacak şekilde dizayn edilmişlerdir. Pistonun segman bölgesini geçen bu

gazlar ya yanmamış hava-yakıt karışımı ve hidrokarbonlar ya da su (H<sub>2</sub>O), karbondioksit (CO<sub>2</sub>), karbon monoksit (CO) gibi yanma ürünleridir<sup>(31)</sup>.

Özellikle aşınmış ve eskimiş motorlarda; motor hızı arttıkça kaçak gaz miktarı da artar. Hatta bu kaçaklar daha yüksek devirlerde belirgin bir şekilde açığa çıkarlar. Kaçak gazlar piston boşluğuna ve segman yuvalarına dolarlar. İşte bu gazlar bazı kritik motor devir sayılarında büyük problem oluştururlar. Bu problem yaygın olarak segman genişliğinin azaltılması ve silindir duvarlarının radyal basıncının artırılması ile çözülmeye çalışılmıştır. Yine de her segman genişliği için kritik bir hız vardır. Bununla birlikte segman yarık boşluğunun aşırıya kaçmaması koşuluyla, normal motor hızları dışında oluşan titreşimleri sınırlandırabilir<sup>(31)</sup>.

Sonuç olarak kaçak gazlar, motor sıkıştırma oranının ve açığa çıkan gücün azalmasında etkilidir. İlk olarak kaçak gazlar, karterde patlamaya sebep olabilecek yüksek oranda tutuşabilir hava-yakıt karışım konsantrasyonuna yol açabilir. İkinci olarak hava-yakıt karışımı ve yanmış gazlar yoğunlaşarak motorun yağlama yağını kirletebilir. Bu olay yağların moleküler yapısının bozulmasına, yağ miktarının ve oksidasyon direncinin azalmasına sebep olur, aynı zamanda yatakların aşınmasına yol açan balçık da üretmektedir. Gaz kaçaklarını tamamen yok etmek mümkün olmadığı için karterde yayılan bu istenmeyen yanmış gazları dışarı taşıyan düzenli bir hava akımı oluşturulur. Kaçak gazların ve dumanların karterden nakledilmesi, gazların çıkış yerinde bir vakum oluşturularak yapılır. Yani basınç altındaki kaçak gazlar düşük basınçlı karter bölgesine doğru çekilir. İşte bu vakumu oluşturmak için iki yöntem kullanılır<sup>(32)</sup>.

Bunlar;

1- Seyir halindeki bir araçta oluşturulan karter havalandırma sistemi

2- Emme manifoldunda oluşturulan pozitif karter havalandırma sistemidir.

### **Egzoz Gaz Emisyonları**

CO<sub>2</sub> - Karbondioksit; Renksiz ve yanmayan bir gazdır. Karbon içerikli yakıtların tam olarak yanmasıyla ortaya çıkar. Mevsim değişiklikleri ve sera etkisi tartışmaları sebebiyle CO<sub>2</sub> emisyonu konusu kamuoyu bilincine daha fazla yerleşmiştir<sup>(31)</sup>.

CO - Karbonmonoksit; 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<sup>(31)</sup>.

Açık havada, normal konsantrasyonda kısa sürede okside olarak karbondioksite (CO<sub>2</sub>) dönüşür<sup>(31)</sup>.

SO<sub>2</sub> - Kükürt dioksit; Renksiz, keskin kokusu olan, yanmayan bir gazdır. Kükürtdioksit nefes yollarındaki hastalıkları körükler ama atık gazlarda çok düşük miktarlarda bulunur<sup>(31)</sup>.

HC - Hidrokarbonlar; Düzensiz bir yanma sonucunda atık gazlarda ortaya çıkan yanmamış yakıt bileşenleridir. Hidrokarbonlar çeşitli şekillerde ortaya çıkarlar (Örn. C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>, C<sub>8</sub>H<sub>18</sub>) ve organizmayı değişik şekillerde etkilerler. Bazıları sinir sistemini etkiler, bazılarının ise kanserojen etkisi bulunmaktadır<sup>(31)</sup>.

NO<sub>x</sub> – Azotoksitler; Oksijen O<sub>2</sub> ve Azot N<sub>2</sub> bileşimleridir. Azot oksitler yüksek basınç, yüksek ısı ve yanma sırasında fazla oksijen gelmesi ile oluşur. Bazı azot oksitler sağlığa zararlıdır. Yakıt tüketiminin düşürülmesine yönelik önlemler maalesef çoğu zaman atık gazdaki azot oksit konsantrasyonlarının artmasına sebep olmuştur. NO, NO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ve benzeri bileşiklerin tümü NO<sub>x</sub> olarak tanımlanmaktadır. Azot oksitler, kandaki hemoglobin 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<sup>(31)</sup>.

Motordaki yanma sırasında yüksek basınç, yüksek sıcaklık ve oksijen fazlalığı nedeniyle oluşan azot oksitler aerosol ve fotokimyasal duman oluşumu ile ozon tabakasının tahribine yol açmaktadırlar<sup>(31)</sup>.

İs partikülleri; oksijenin az olması durumunda tam yanma gerçekleşmez ve kurum partikülleri oluşur. Çoğunlukla dizel motorlar tarafından oluşturulurlar. İnsan organizmalarına olan etkileri halen araştırılmaktadır<sup>(31)</sup>.

### **1.9.1. Biyodizel ve İklim Değişikliği**

İklim değişikliği ve küresel ısınma günümüzde Birleşmiş Milletler ve uluslararası birçok topluluğun mücadele edilmesi gereken en önemli ortak sorun olarak nitelendirdiği bir durumdur. Küresel ısınma ve iklim değişikliği yalnızca çevre sorunu olmaktan çıkmış ve kalkınma sorunu olarak da tanımlanmaktadır. Birleşmiş Milletler 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 etkisi oluşturan gazlar içinde en önemli pay, yanma sonucu ortaya çıkan CO<sub>2</sub> gazına aittir.

Biyodizel bitkilerden de elde edilmesi nedeniyle, biyolojik karbon döngüsü içinde, fotosentez ile CO<sub>2</sub>'i dönüştürüp karbon döngüsünü hızlandırdığı için sera etkisini artırıcı yönde etki göstermez. Yani biyodizel CO<sub>2</sub> emisyonları için doğal bir yutak olarak düşünülebilir. Ozon tabakasına etkiler, biyodizel kullanımında dizel yakıta nazaran %50 daha azdır. Asit yağmurlarına neden olan kükürt bileşenleri, biyodizel yakıtlarda yok denecek kadar azdır<sup>(33)</sup>.



## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, kanola yağı metil esteri, motorin ve bu iki yakıt karışımlarının, dizel motorda yakıt olarak kullanılmasının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkileri incelenmiştir. Deneysel çalışmalar; Gazi Üniversitesi Otomotiv Anabilim Dalı'nda yapılmıştır.

Deneysel çalışmalarda kullanılan düzeneğin genel görünümü Şekil 2.1.'de görülmektedir.



Şekil 2.1. Deney Düzeneği Genel Görünümü

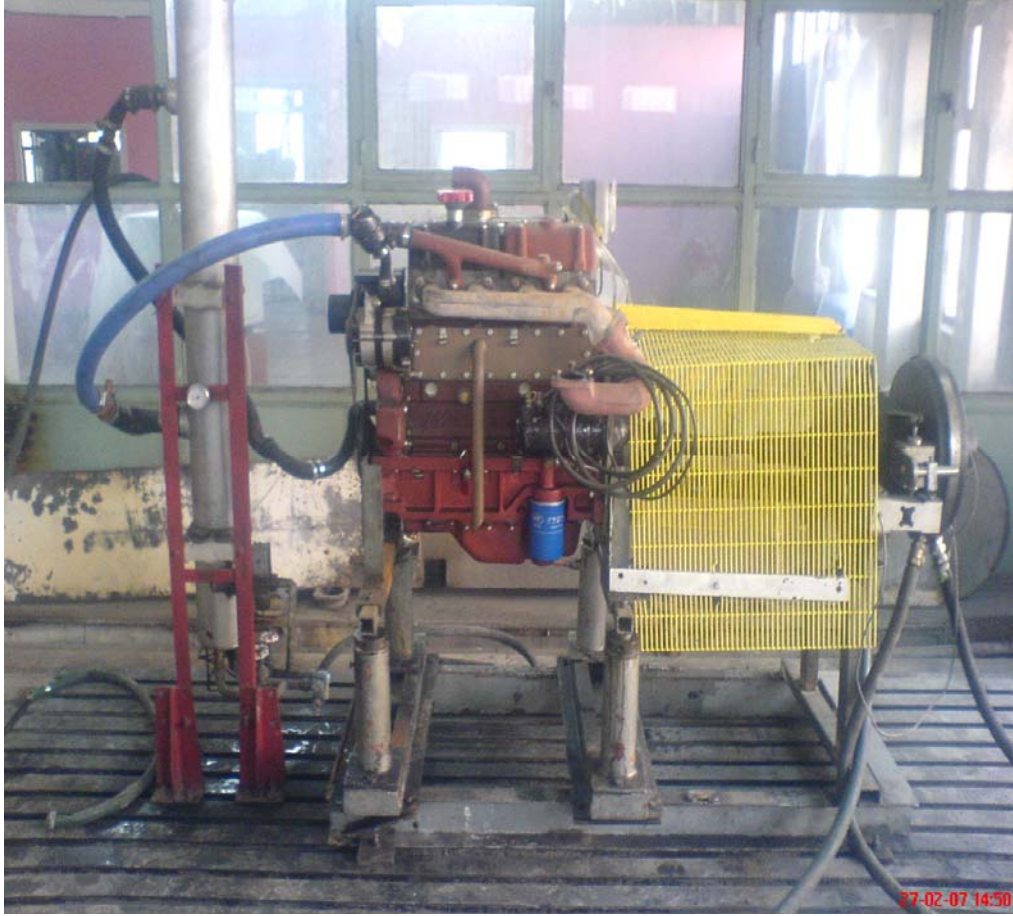
### 2.1. Materyal

#### 2.1.1. Deney Motoru

Deneylerde 4 silindirli, direkt püskürtmeli ve aşırı doldurmalı, Steyr marka, dört zamanlı, içten yanmalı, dizel motoru kullanılmıştır. Çizelge 2.1.'de deneylerde kullanılan motorun teknik özellikleri ve Şekil 2.2.'de ise motorun genel görünümü yer almaktadır.

**Çizelge 2.1.** Deney Motoru Teknik Özellikleri

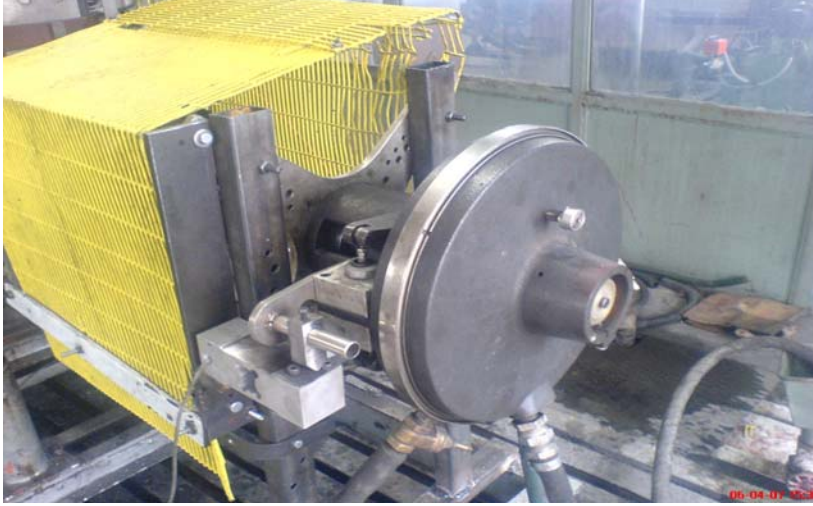
Markası	Steyr
Silindir Sayısı	4
Silindir Çapı	100 mm
Kurs	100 mm
Sıkıştırma Oranı	16.1/1
Maksimum motor devri	2600 devir/dakika
Maksimum güç	46 kW (2600 devir/dakika)
Maksimum tork	216 Nm (1600 devir/dakika)



**Şekil 2.2.** Deney Motoru Genel Görünümü

### 2.1.2. Dinamometre

Deneylerde maksimum gücü 1000 kW olan Go-Power marka hidrolik test dinamometresi kullanılmıştır. Şekil 2.3.'de deneylerde kullanılan dinamometre görülmektedir.



Şekil 2.3. Hidrolik Dinamometre Genel Görünümü

### 2.1.3. Hassas Terazi

Deneylerde yakıt sarfiyatları ölçümlerinde %1 hassasiyetli CHAIN marka hassas terazi kullanılmıştır. Şekil 2.4.'de hassas terazi görülmektedir.



Şekil 2.4. Hassas Terazi Genel Görünümü

#### 2.1.4. Soğutma Kulesi

Deneylerde motorun soğutulması için motorun dışında bulunan, mevcut sihi tesisat hattına bağlı, Şekil 2.5.'de görülen, soğutma kulesi kullanılmıştır.



**Şekil 2.5.** Soğutma Kulesi Genel Görünümü

#### 2.1.5. Egzoz Emisyon Cihazı

Deneylerde egzoz emisyon değerlerinin tespit edilmesinde Gaco-Sn marka egzoz emisyon cihazı kullanılmıştır. Duman koyuluğu ve ışık absorpsiyon katsayısı değerlerinin tespitinde ise %1 hassasiyetle ölçüm yapabilen VLT 2600S marka gaz analiz cihazı kullanılmıştır. Şekil 2.6.'da deneylerde kullanılan gaz analiz cihazı görülmektedir.



**Şekil 2.6.** Gaz Analiz Cihazı Genel Görünümü

### 2.1.6. Deney Yakıtı

Deneylerde kullanılan kanola yağı metil esterinin kimyasal ve fiziksel özellikleri Çizelge 2.2.'de görülmektedir.

**Çizelge 2.2.** Kanola Yağı Metil Esteri Genel Özellikleri

ÖZELLİK	DENEY YAKITI DEĞERLERİ
Yoğunluk, 15 °C'de [g/cm <sup>3</sup> ]	0,89
Kinematik viskozite, 40 °C'de [mm <sup>2</sup> /s]	3,9
Alevlenme noktası, [°C]	140
Bulutlanma noktası, [°C]	-3
Akma noktası, [°C]	-7
Bakır korozyon, 3 h, 50 °C	1b
Alt ısıl değer, [kJ/kg]	40004
Setan sayısı	53,4
PH	7,38

## **2.2. Yöntem**

### **2.2.1. Motor Güç ve Tork Ölçümleri**

Geliştirilmiş bir yazılım sayesinde deneyler esnasında motor devri, güç ve tork değerleri deney düzeneği ekranından okunarak her deney iki defa tekrar edilip ortalama sonuçlar değerlendirilmek üzere kaydedilmiştir.

### **2.2.2. Yakıt Ölçümü**

Yakıt tüketiminin belirlenmesinde %1 hassasiyetli dijital terazi ve %1 hassasiyetli kronometre kullanılmıştır. Yakıt ölçümlerinde 1 dk'lık süre baz alınmış ve motorun farklı yük ve devir şartlarında bu süre içinde ne kadar yakıt tükettiği tespit edilmiştir.

### **2.2.3. Deney Öncesi Hazırlıklar**

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

### **2.2.4. Deneyin Yapılışı**

Bütün deneyler TSE 1231 Motorlu Taşıtlar-Muayene ve Deney Esasları'na göre yapılmıştır. Motor performans ve egzoz emisyon değerlerinin ölçülmesi için tam yük değişik devir testi yapılmıştır. Motor tam gaz konumunda iken motorun maksimum devri olan 2600 d/d 'da motor performans ve 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 motor performans ve

egzoz emisyon değerleri ölçölmüştür.

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 %50 kanola yağı metil esteri + %50 dizel yakıtı karışımı 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.

Deneyler esnasında sonuçlar okunmadan önce motor devrinin kararlı hale gelmesi beklenmiş ve motor kararlı halde iken motor gücü, momenti ve yakıt tüketimi değerleri tespit edilmiştir. Egzoz emisyonları ölçümünde ise 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 ölçölen değerlerin ortalaması alınmıştır.

### 3. ARAŞTIRMA BULGULARI

Yapılan değişik yük ve devir testlerinde moment, güç, saatlik yakıt tüketimi, oksijen (O<sub>2</sub>), azotoksit (NO<sub>x</sub>), karbondioksit (CO<sub>2</sub>), karbonmonoksit (CO), ışık absorpsiyon katsayısı (K) ve duman koyuluğu (N) emisyon değerleri ölçülmüştür. Ölçülen parametreler ayrı ayrı değerlendirilerek dizel yakıtı, %50 dizel yakıtı + %50 kanola yağı metil esteri karışımı ve kanola yağı metil esteri arasındaki farklar belirlenmiş ve aşığıda ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

#### 3.1. Biyodizelin Motor Performansına Etkileri

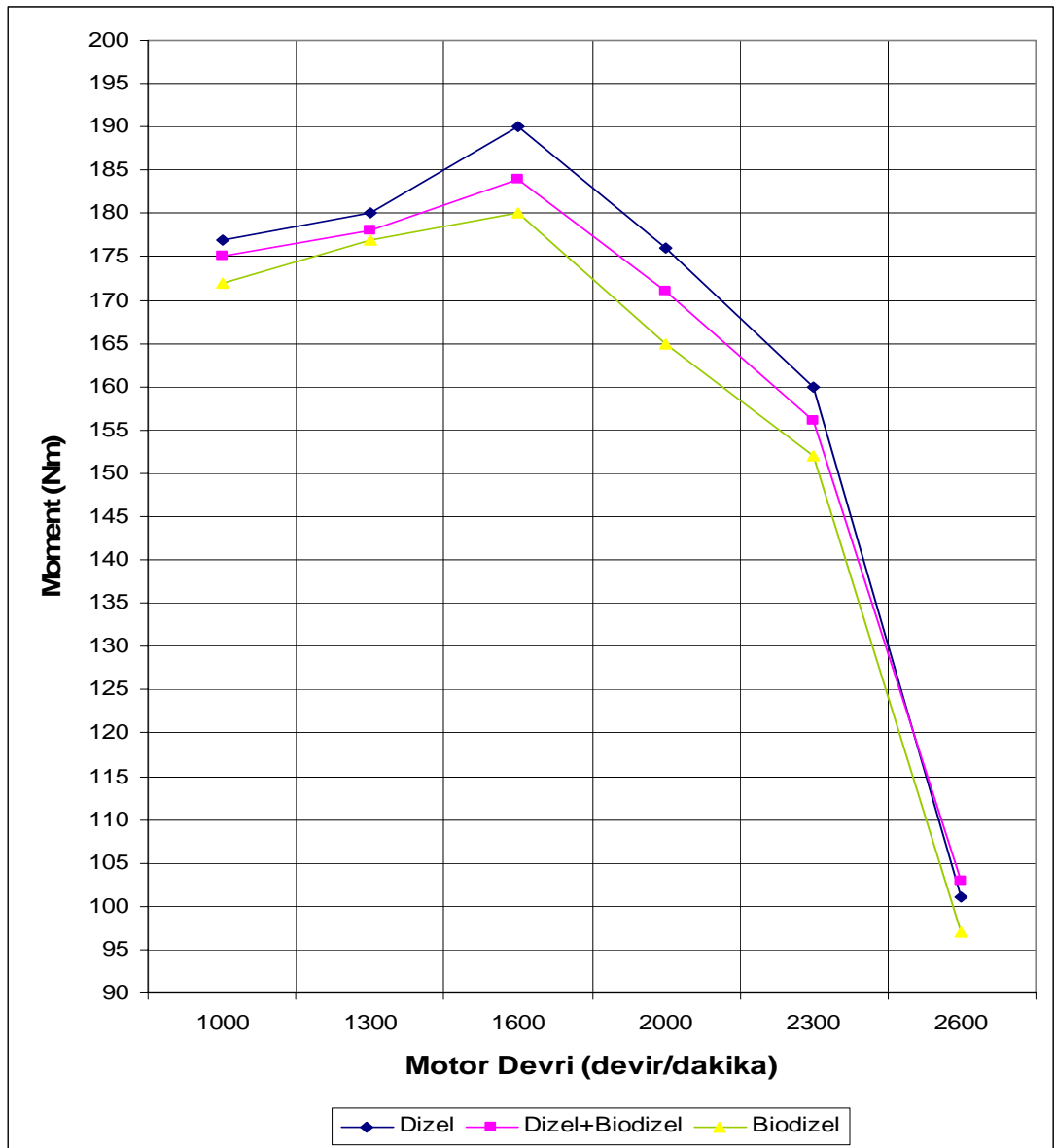
##### 3.1.1. Moment

Dizel yakıtı, karışım ve kanola yağı metil esterinin devire bağlı maksimum moment eğrileri ve ölçülen moment değerlerinin yakıt türüne göre değişimleri Şekil 3.1. ve Şekil 3.2'de görölmektedir. Yapılan deneylerde dizel yakıtına göre, %50 dizel yakıtı + %50 kanola yağı metil esteri karışımı kullanıldığında ve kanola yağı metil esteri kullanıldığında yakıt tüketiminin bir miktar arttığı tespit edilmiştir. Kanola yağı metil esteri karışımı ve kanola yağı metil esteri kullanıldığında elde edilen moment değerlerinin bir miktar düşük olmakla birlikte dizel yakıtı kullanıldığında elde edilen moment değerlerine yakın değerler elde edilmiştir.

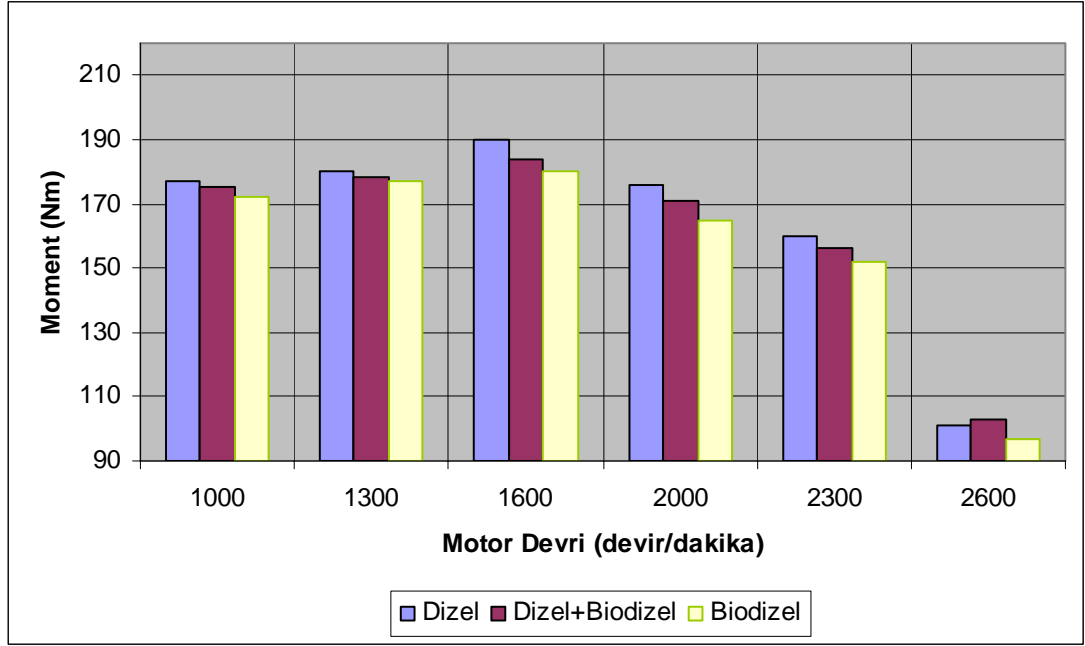
Her üç yakıt için maksimum moment değerleri motor hızı 1600 d/d iken elde edilmiştir. Maksimum moment değerleri dizel yakıtı için 190 Nm, %50 dizel yakıtı + %50 kanola yağı metil esteri için 184 Nm, kanola yağı metil esteri için 180 Nm'dir. Dizel yakıtı ile ölçülen moment değerine göre %50



dizel yakıtı + %50 kanola yağı metil esteri için moment farkı %2,1 ve kanola yağı metil esteri için ise %5,2'dir. Kanola yağı metil esteri ve %50 dizel yakıtı + %50 kanola yağı metil esteri yakıtları için elde edilen moment değerlerinin bir miktar düşük olması, kanola yağı metil esterinin yüksek viskoziteye sahip olması ve ısı değerinin düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Yakıtın yüksek viskoziteye sahip olması, yakıtın enjektörden püskürtülmesini güçleştirmekte ve iyi derecede atomizasyon sağlanmasını önlemektedir.



**Şekil 3.1.** Moment Değerlerinin Motor Devir Sayısı ile Değişimi

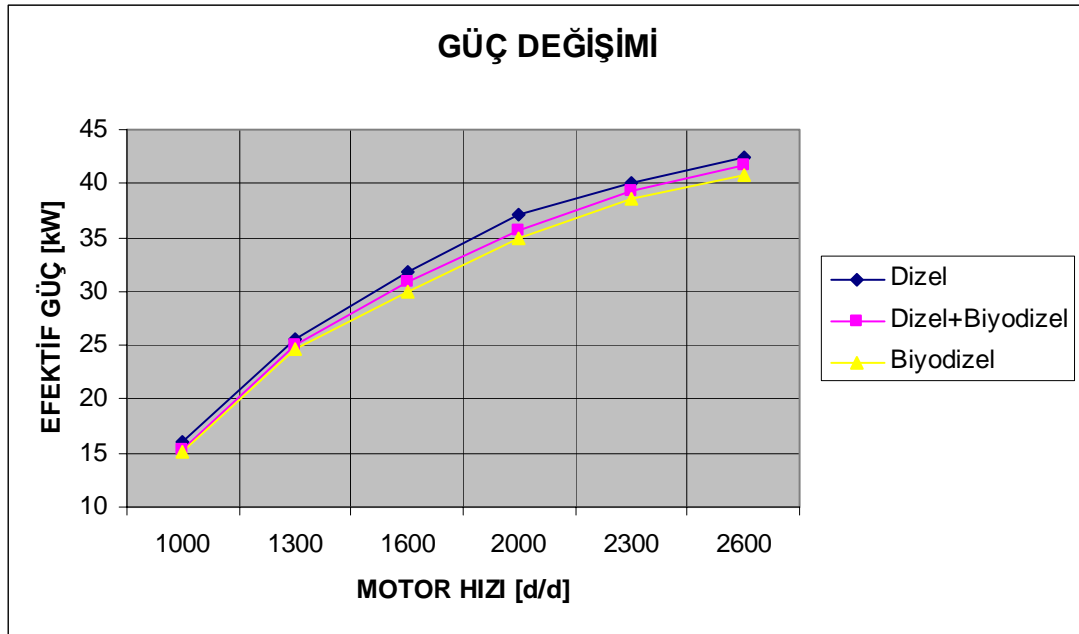


**Şekil 3.2.** Motor Devirlerine Göre Maksimum Moment Değerleri

### 3.1.2. Güç

Dizel yakıtı yerine % 50 dizel yakıtı + % 50 kanola yağı metil esteri karışımı ve kanola yağı metil esteri kullanımının dizel yakıtı göre devire bağlı güç değişimleri Şekil 3.3.'de görülmektedir. Yapılan deneylerde; dizel yakıtı, %50 dizel yakıtı + %50 kanola yağı metil esteri karışımı ve kanola yağı metil esteri kullanıldığında tespit edilen güç değerlerinin birbirlerine çok yakın olduğu görülmüştür. Dizel yakıtına göre, % 50 dizel yakıtı + % 50 kanola yağı metil esteri karışımı yakıtının ürettiği güç ortalama % 3 daha düşüktür. Dizel yakıtına göre kanola yağı metil esterinin ürettiği güç ise ortalama % 5 daha düşüktür. Dizel yakıtına göre, % 50 dizel yakıtı + % 50 kanola yağı metil esteri karışımı ve kanola yağı metil esteri kullanıldığında ortaya çıkan güç değerleri arasındaki farklar önemsiz kabul edilebilecek düzeyde olup, bu farklılıkların kanola yağı metil esterinin, düşük ısı değeri ile yüksek yoğunluk

ve yüksek viskozitesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Yüksek viskozite ve yoğunluk, yakıtın enjektörden daha büyük zerrecikler halinde püskürtülmesine sebep olmaktadır. Bu ise dizel motorlarda yanmayı etkileyen en önemli parametre olan tutuşma gecikmesini artırmakta ve böylece yanmanın kötüleşmesine sebep olmaktadır. Ayrıca kanola yağı metil esterinin ısı değeri, dizel yakıtının ısı değerinden düşük olması, kanola yağı metil esteri ve karışımı kullanıldığında elde edilen güç değerlerinin düşük çıkmasına sebep olmaktadır<sup>(33)</sup>.



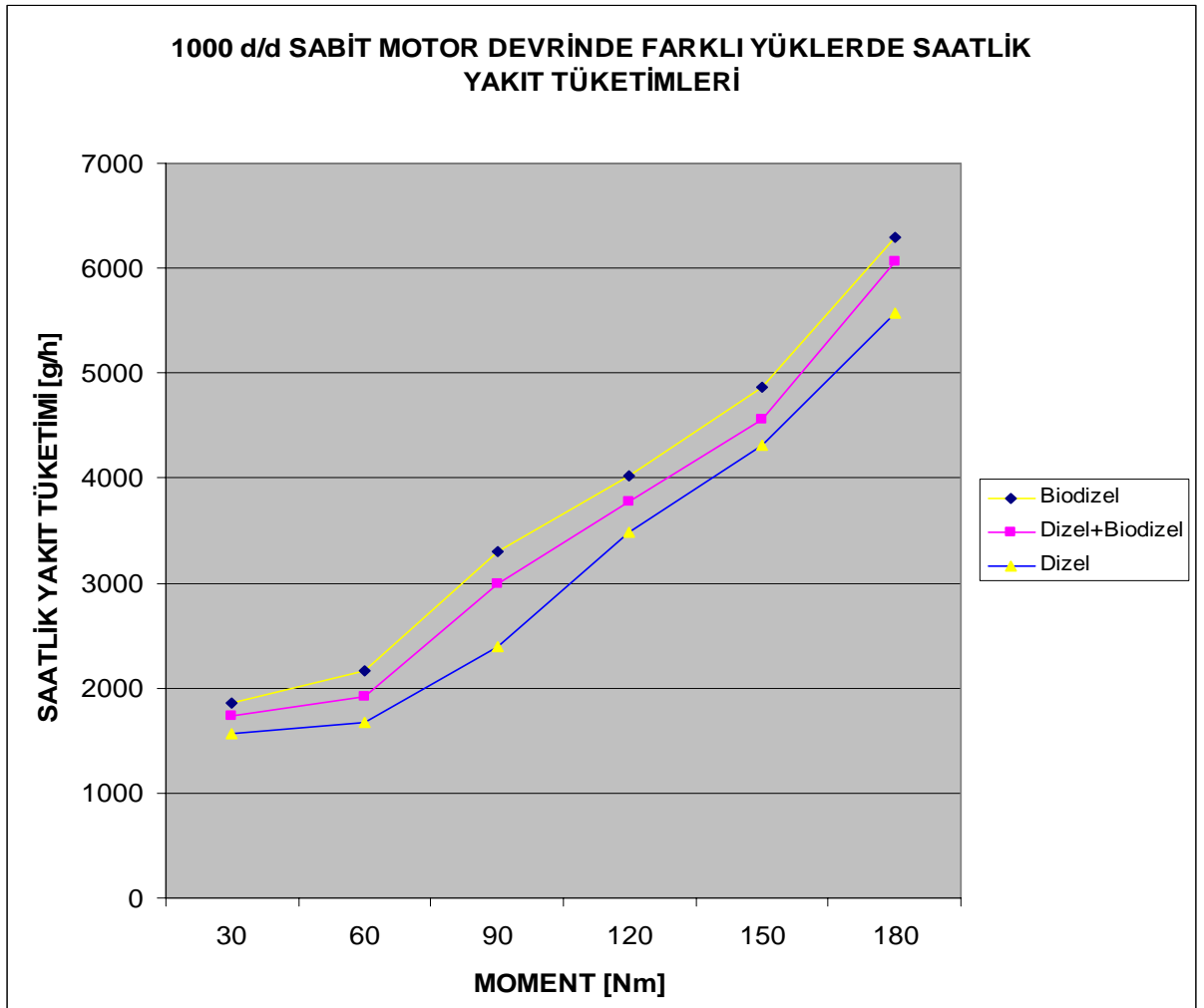
**Şekil 3.3.** Efektif Güç Değişimleri

### 3.1.3. Saatlik Yakıt Tüketimi

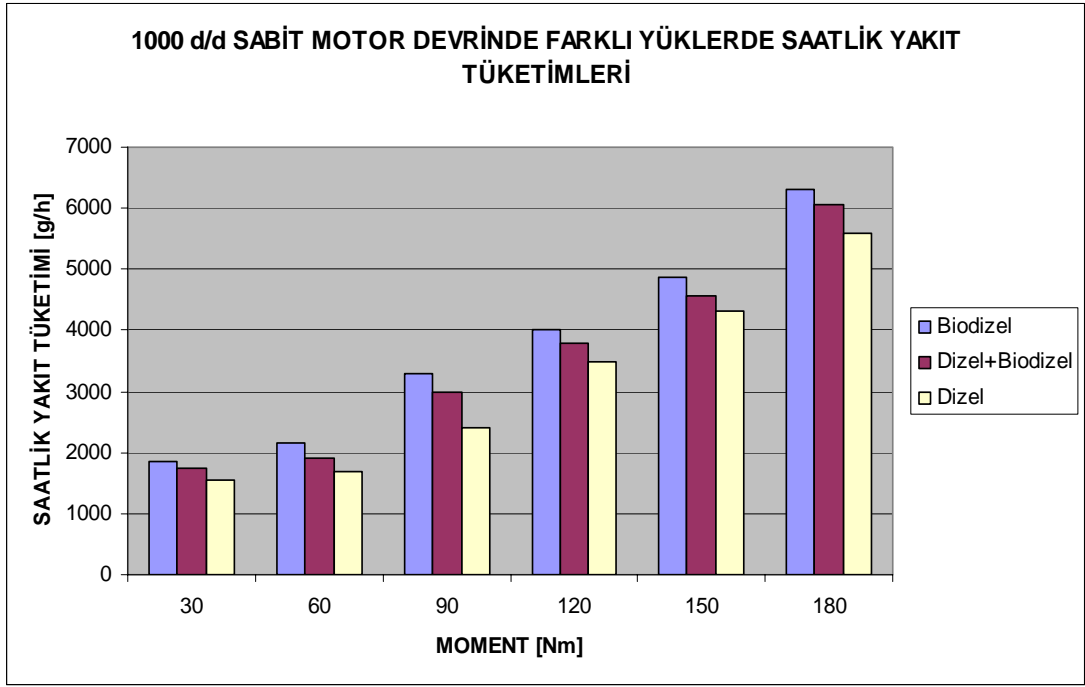
Dizel yakıtı, % 50 dizel yakıtı + % 50 kanola yağı metil esteri karışımı ve kanola yağı metil esterinin motor devrine bağlı saatlik yakıt tüketimi değişimleri Şekil 3.4.'de görülmektedir. Ölçüm yapılan bütün devir sayılarında % 50 dizel yakıtı + % 50 kanola yağı metil esteri karışımı yakıt tüketiminin ve

kanola yağı metil esterinin saatlik yakıt tüketiminin dizel yakıtının saatlik yakıt tüketiminden yüksek olduğu tespit edilmiştir.

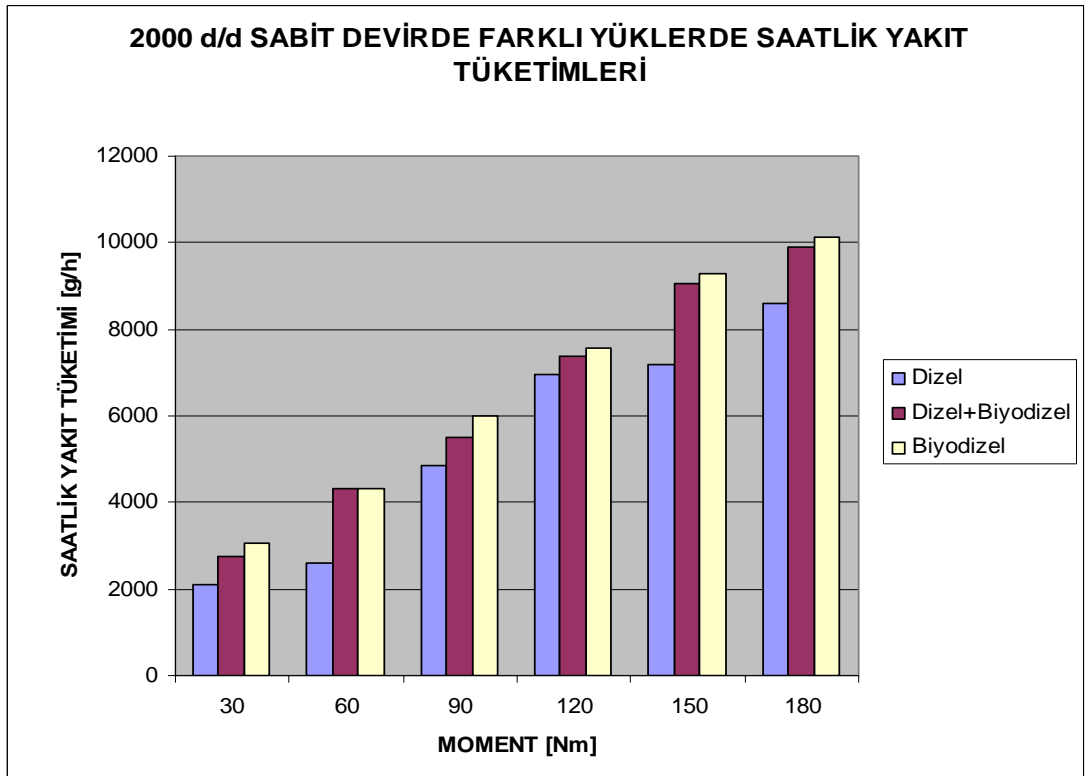
Kanola yağı metil esterinin saatlik yakıt tüketim değerlerinin, dizel yakıtı saatlik yakıt tüketim değerlerine göre ortalama % 12 oranında yüksek olduğu tespit edilmiştir, % 50 kanola yağı metil esteri + % 50 dizel yakıtı karışımı kullanıldığında ise saatlik yakıt tüketim değerlerinin, dizel yakıtı saatlik yakıt tüketim değerlerine göre ortalama % 8 oranında yüksek olduğu tespit edilmiştir.



**Şekil 3.4.** 1000 d/d Sabit Motor Devrinde Farklı Yüklerde Saatlik Yakıt Tüketimi Eğrileri



**Şekil 3.5.** 1000 d/d Sabit Motor Devrinde Farklı Yüklerde Saatlik Yakıt Tüketimleri



**Şekil 3.6.** 2000 d/d sabit motor devrinde farklı yüklerde saatlik yakıt tüketimleri

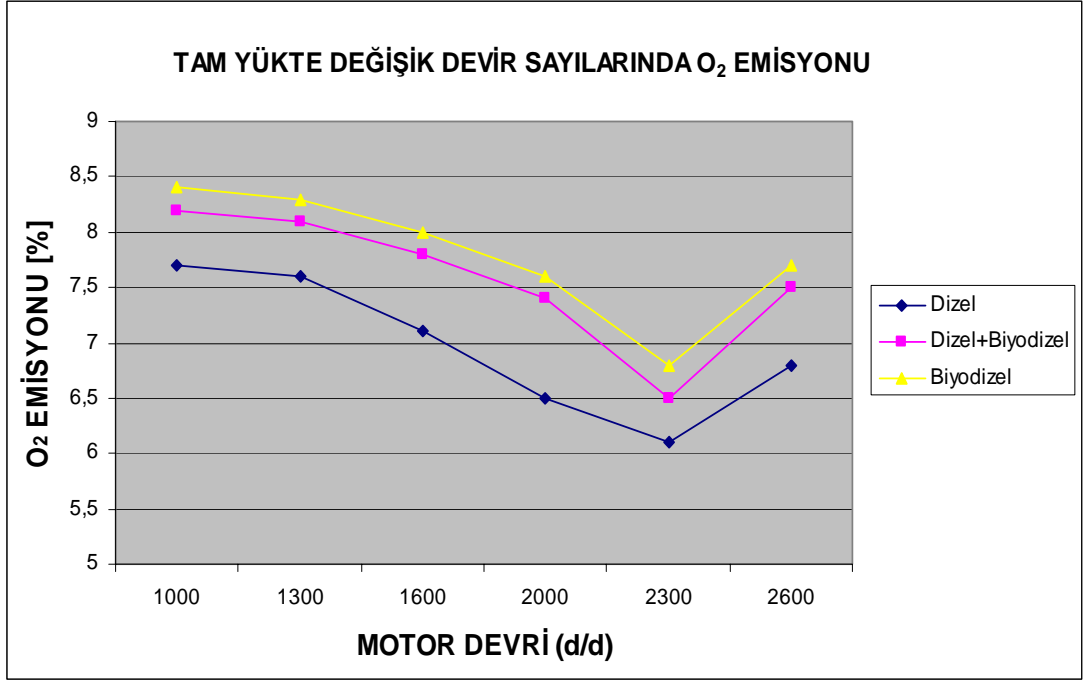
## 3.2. Biyodizelin Egzoz Emisyonlarına Etkileri

### 3.2.1. Oksijen (O<sub>2</sub>)

Dizel yakıtı, %50 dizel yakıtı + %50 kanola yağı metil esteri karışımı ve kanola yağı metil esterinin motor devir sayısına bağlı O<sub>2</sub> emisyon değişimleri Şekil 3.7.'de görülmektedir.

Ölçüm yapılan bütün devir sayılarında kanola yağı metil esterinin O<sub>2</sub> emisyon değerleri %50 dizel yakıtı + %50 kanola yağı metil esteri karışımı kullanımına göre yüksek görülmüştür. En düşük O<sub>2</sub> emisyon değerleri dizel yakıtı ile yapılan deneylerde ortaya çıkmıştır. Kanola yağı metil esterinin O<sub>2</sub> emisyon değerlerinin, dizel yakıtı kullanıldığında elde edilen O<sub>2</sub> emisyon değerlerine göre ortalama % 10,3 oranında yüksek olduğu tespit edilmiştir. %50 Kanola yağı metil esteri + %50 dizel yakıtı kullanıldığında ise elde edilen O<sub>2</sub> emisyon değerlerinin, dizel yakıtı kullanıldığında elde edilen O<sub>2</sub> emisyon değerlerine göre ortalama %7,4 oranında yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Kanola yağı metil esteri ve %50 dizel yakıtı + %50 kanola yağı metil esteri karışımının yakıt olarak kullanıldığı deneylerde O<sub>2</sub> emisyonlarının dizel yakıtı ile yapılan deneylere göre yüksek olması, kanola yağı metil esterinin kimyasal yapısında ortalama %10 oranında O<sub>2</sub> bulunmasından kaynaklanmaktadır.



**Şekil 3.7.** Değişik Devir Sayılarında O<sub>2</sub> Emisyonu Değişimleri

### 3.2.2. Azotoksitler (NO<sub>x</sub>)

Ölçüm yapılan bütün devir sayılarında %50 dizel yakıtı + %50 kanola yağı metil esteri karışımı ve kanola yağı metil esteri kullanıldığında elde edilen NO<sub>x</sub> emisyon değerlerinin, dizel yakıtının NO<sub>x</sub> emisyon değerlerine çok yakın olmasıyla birlikte, bu farkın çok düşük olduğu görülmüştür. Kanola yağı metil esterinin NO<sub>x</sub> emisyon değerlerinin, dizel yakıtı kullanıldığında elde edilen NO<sub>x</sub> emisyon değerlerine göre ortalama %1,7 oranında yüksek olduğu tespit edilmiştir. %50 Kanola yağı metil esteri + %50 dizel yakıtı kullanıldığında ise NO<sub>x</sub> emisyon değerlerinin, dizel yakıtı NO<sub>x</sub> emisyon değerlerine göre ortalama %1,2 oranında yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Yanma esnasında, sıcaklığın 1000 °C'ın üzerine çıkmasıyla hava yakıt karışımında azot açığa çıkmakta ve ortaya çıkan azot, oksijen ile tepkimeye girerek NO<sub>x</sub> emisyonunu meydana getirmektedir. Kanola yağı metil esterinin

yüksek setan sayısı nedeniyle bu yakıt veya karışımları kullanıldığında tutuşma gecikmesi kısılmakta ve bu süre içerisinde buharlaşan yakıt miktarı da azalmaktadır. Bu nedenle, yanma sonu basınç ve sıcaklığın düşmesiyle havanın azotu daha az NO<sub>x</sub> oluşturmaktadır. Buna karşın kanola yağı metil esterinin yapısında bulunan % 10 oranındaki O<sub>2</sub>, yanma esnasında ihtiyaç duyulan oksijenin yeterince sağlanmasına ve böylece dizel yakıtı göre daha iyi bir yanma veriminin ortaya çıkmasına neden olarak yanma sonu sıcaklık ve basıncının artışı sağlamaktadır. Bu durum ise NO<sub>x</sub> emisyonlarının artışına neden olmaktadır.

Bu nedenlerle kanola yağı metil esteri, % 50 kanola yağı metil esteri ve %50 dizel yakıt karışımları veya dizel yakıtı kullanıldığında NO<sub>x</sub> emisyonu bakımından birbirine yakın sonuçlar vermektedir.

### **3.2.3. Karbondioksit (CO<sub>2</sub>)**

Ölçüm yapılan bütün devir sayılarında % 50 dizel yakıtı + % 50 kanola yağı metil esteri karışımı ve kanola yağı metil esterinin CO<sub>2</sub> emisyon değerlerinin, dizel yakıtının CO<sub>2</sub> emisyon değerlerinden düşük olduğu görülmüştür.

Kanola yağı metil esterinin CO<sub>2</sub> emisyon değerlerinin, dizel yakıtı CO<sub>2</sub> emisyon değerlerine göre ortalama % 4,2 oranında düşük olduğu tespit edilmiştir.

%50 kanola yağı metil esteri + %50 dizel yakıtı kullanıldığında ise CO<sub>2</sub> emisyon değerlerinin, dizel yakıtı CO<sub>2</sub> emisyon değerlerine göre ortalama %2,8 oranında düşük olduğu tespit edilmiştir.

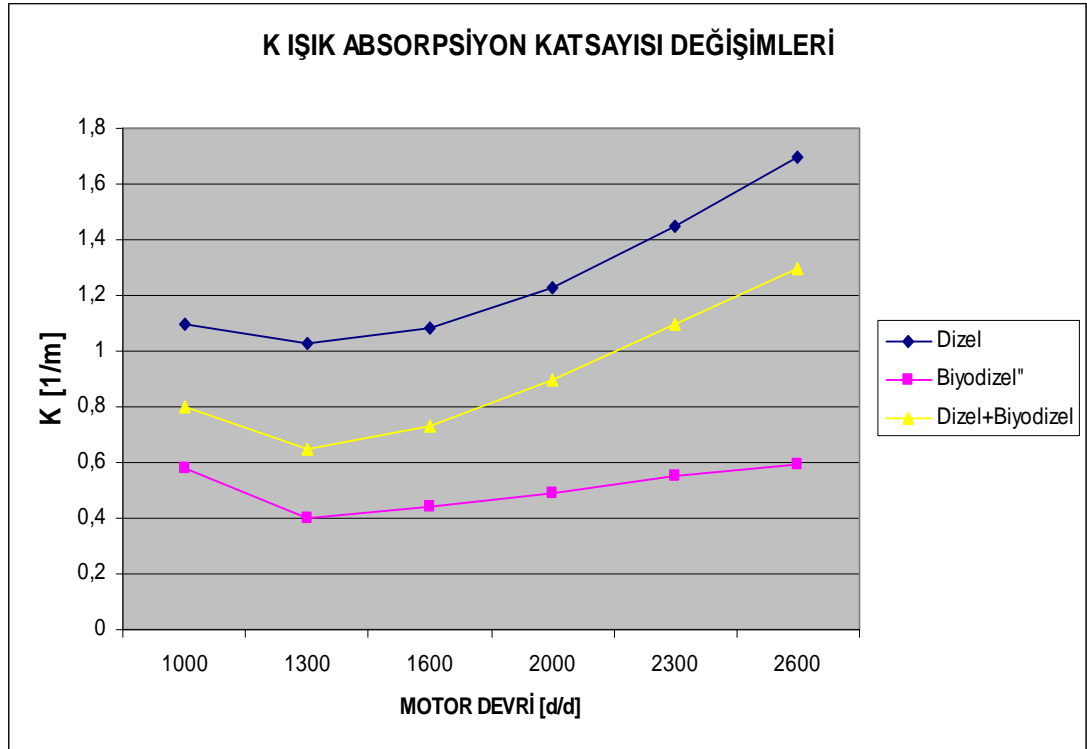


### 3.2.4. Işık Absorpsiyon Katsayısı (K)

Dizel yakıtı, %50 dizel yakıtı + %50 kanola yağı metil esterini karışımı ve kanola yağı metil esterinin devire bağlı ışık absorpsiyon katsayısı ( $K, m^{-1}$ ) değişimleri Şekil 3.5.'de görülmektedir.

Ölçüm yapılan bütün devir sayılarında kanola yağı metil esterinin K değerleri, %50 dizel yakıtı + %50 kanola yağı metil esterini karışımı kullanımına göre düşük görülmüştür. En yüksek K değerleri ise dizel yakıtı ile yapılan deneylerde ortaya çıkmıştır.

Kanola yağı metil esterinin K değerlerinin, dizel yakıtı K değerlerine göre ortalama %59,8 oranında düşük olduğu tespit edilmiştir. %50 kanola yağı metil esterini + %50 dizel yakıtı için ise K değerlerinin, dizel yakıtı K değerlerine göre ortalama %27,8 oranında düşük olduğu tespit edilmiştir.



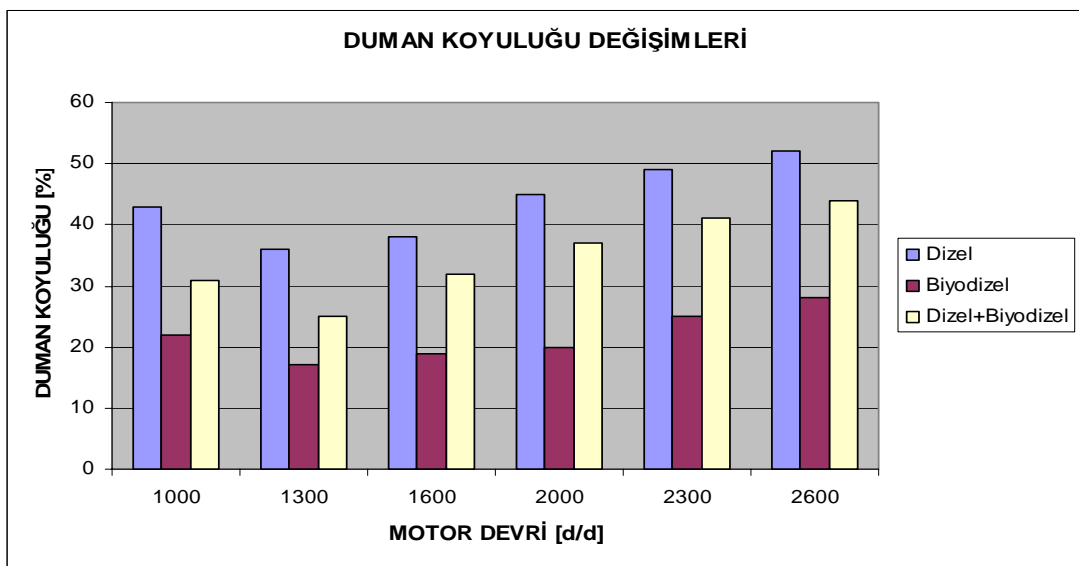
Şekil 3.8. Işık Absorpsiyon Katsayısı Değişimleri

### 3.2.5. Duman Koyuluğu (N)

Dizel yakıtı, %50 dizel yakıtı + %50 kanola yağı metil esterini karışımı ve kanola yağı metil esterinin devire bağlı duman koyuluğu değişimleri Şekil 3.6.'da g3r3lmektedir.

Duman koyuluğu, egzoz gazı içerisindeki Őeffaf olmayan parçacıkların kesitten geçerken karşılaştıkları ışığın aydınlatma Őiddetini azaltma y3zdesi olmakla birlikte, 3l3m yapılan b3t3n devir sayılarında kanola yağı metil esterinin duman koyuluğu değerleri, %50 dizel yakıtı + %50 kanola yağı metil esterini karışımı kullanımına g3re d3ř3k g3r3lm3řt3r. En y3ksek duman koyuluğu değerleri ise dizel yakıtı ile yapılan deneylerde ortaya çıkmıştır.

Kanola yağı metil esterinin duman koyuluğu değerlerinin, dizel yakıtı duman koyuluğu değerlerine g3re ortalama %50,2 oranında d3ř3k olduğu tespit edilmiştir. %50 kanola yağı metil esterini + %50 dizel yakıtı kullanıldığında ise duman koyuluğu değerlerinin, dizel yakıtı duman koyuluğu değerlerine g3re ortalama %20,1 oranında d3ř3k olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 3.9. Değişik Motor Devirlerinde Duman Koyuluğu Değişimleri

#### 4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Her geçen gün artan enerji taleplerinin, mevcut bilinen enerji kaynakları ile karşılanması belirli bir süre sonra mümkün olmayacaktır. Fosil kaynaklı enerji tüketimindeki artış, gün geçtikçe küresel ısınma ve iklim değişikliğine de neden olmaktadır. Tüm bu nedenlerle yeni, yenilenebilir ve temiz enerjilere ciddi bir ihtiyaç doğmaktadır.

Ülkemizdeki yıllık enerji ihtiyacı artışları da dünya ortalamaları ile benzer paralellikler göstermekle birlikte, mevcut yapılanma ile bu ihtiyaçların karşılanması mümkün görünmemektedir.

Ülkemizde özellikle kanola, ayçiçeği, soya gibi yağlı tohumlu bitkilerin enerji kaynağı oluşturmak üzere yetiştirilmesi açısından tarım sektörümüz uygun görünmektedir. Bu bağlamda çiftçilere yönelik çeşitli teşvikler ve yönlendirmeler yapılmaktadır.

Yukarıda ifade edilen bu durum göz önüne alınarak bu çalışmada; kanola bitkisinden elde edilen kanola yağından oluşturulan biyodizelin ve dizel karışımının alternatif yakıt olarak kullanılması ile dizel motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkileri incelenmiştir.

Kanola yağı metil esteri, dizel yakıtı ve bunların % 50 karışımı ile yapılan test sonuçlarına göre, kanola yağı metil esteri ve karışımlarının dizel motorlarında herhangi bir değişikliğe gidilmeden alternatif yakıt olarak kullanılabileceği teyit edilerek aşağıdaki sonuçlara varılmıştır:

Dizel yakıtı ile ölçülen moment değerine göre % 50 dizel yakıtı + % 50 kanola yağı metil esteri için moment % 2,1 azalmış ve kanola yağı metil

esteri için ise % 5,2 azalmıştır. Kanola yağı metil ester ve % 50 dizel yakıtı + % 50 kanola yağı metil ester yakıtları için elde edilen moment değerlerinin bir miktar düşük olması, kanola yağı metil esterinin yüksek viskoziteye sahip olması ve ısı değeri düşük olmasından kaynaklanmaktadır.

Yakıtın yüksek viskoziteye sahip olması, yakıtın enjektörden püskürtülmesini güçleştirmekte ve iyi derecede atomizasyon sağlanmasını önlemektedir.

Dizel yakıtına göre, % 50 dizel yakıtı + % 50 kanola yağı metil ester karışımı yakıtının ürettiği güç ortalama % 3 daha düşüktür. Dizel yakıtına göre kanola yağı metil esterinin ürettiği güç ise ortalama % 5 daha düşüktür.

Dizel yakıtına göre, % 50 dizel yakıtı + % 50 kanola yağı metil ester karışımı ve kanola yağı metil ester kullanıldığında ortaya çıkan güç değerleri arasında farklar çok büyük olmayıp, bu farklılıkların kanola yağı metil esterinin yüksek yoğunluk ve yüksek viskozitesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Yüksek viskozite ve yoğunluk, yakıtın enjektörden daha büyük zerrecikler halinde püskürtülmesine sebep olmaktadır. Bu ise dizel motorlarda yanmayı etkileyen en önemli parametre olan tutuşma gecikmesini artırmakta ve böylece yanmanın kötüleşmesine sebep olmaktadır. Ayrıca kanola yağı metil esterinin ısı değeri düşük olması, dizel yakıtının ısı değerinden düşük olması, kanola yağı metil ester ve karışımı kullanıldığında elde edilen güç değerlerinin düşük çıkmasına sebep olmaktadır<sup>(33)</sup>.

Kanola yağı metil esterinin saatlik yakıt tüketim değerlerinin, dizel yakıtı saatlik yakıt tüketim değerlerine göre ortalama % 12 oranında yüksek

olduğu tespit edilmiştir. % 50 kanola yağı metil esteri + % 50 dizel yakıtı karışımı kullanıldığında ise saatlik yakıt tüketim değerlerinin, dizel yakıtı saatlik yakıt tüketim değerlerine göre ortalama %8 oranında yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Kanola yağı metil esterinin O<sub>2</sub> emisyon değerlerinin, O<sub>2</sub> emisyon değerlerine göre ortalama % 10,3 oranında yüksek olduğu tespit edilmiştir.

% 50 Kanola yağı metil esteri + % 50 dizel yakıtı kullanıldığında ise özgül tüketim değerlerinin, dizel yakıtı O<sub>2</sub> emisyon değerlerine göre ortalama % 7,4 oranında yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Kanola yağı metil esteri ve % 50 dizel yakıtı + % 50 kanola yağı metil esteri karışımının yakıt olarak kullanıldığı deneylerde O<sub>2</sub> emisyonlarının dizel yakıtı ile yapılan deneylere göre yüksek olması, kanola yağı metil esterinin kimyasal yapısında ortalama %10 oranında O<sub>2</sub> bulunmasından kaynaklanmaktadır.

Kanola yağı metil esterinin CO<sub>2</sub> emisyon değerlerinin, dizel yakıtı CO<sub>2</sub> emisyon değerlerine göre ortalama % 4,2 oranında düşük olduğu tespit edilmiştir. % 50 kanola yağı metil esteri + % 50 dizel yakıtı kullanıldığında ise CO<sub>2</sub> emisyon değerlerinin, dizel yakıtı CO<sub>2</sub> emisyon değerlerine 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 oranında düşük olduğu tespit edilmiştir. % 50 kanola yağı metil esteri + % 50 dizel yakıtı kullanıldığında ise duman koyuluğu değerlerinin, dizel yakıtı duman koyuluğu değerlerine göre ortalama % 20,1 oranında düşük olduğu tespit edilmiştir.

Kanola yağı metil esterinin K değerlerinin, dizel yakıtı K değerlerine göre ortalama % 59,8 oranında düşük olduğu tespit edilmiştir. % 50 kanola yağı metil esteri + % 50 dizel yakıtı kullanıldığında ise K değerlerinin, dizel yakıtı K değerlerine göre ortalama % 27,8 oranında düşük olduğu tespit edilmiştir.

Kanola yağı metil esterinin NO<sub>x</sub> emisyon değerlerinin, dizel yakıtı NO<sub>x</sub> emisyon değerlerine göre ortalama % 1,7 oranında yüksek olduğu tespit edilmiştir. % 50 Kanola yağı metil esteri + % 50 dizel yakıtı kullanıldığında ise NO<sub>x</sub> emisyon değerlerinin, dizel yakıtı NO<sub>x</sub> emisyon değerlerine göre ortalama % 1,2 oranında yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Yanma esnasında sıcaklığın 1000 °C 'ın üzerine çıkmasıyla hava yakıt karışımında azot açığa çıkmakta ve ortaya çıkan azot, oksijen ile tepkimeye girerek NO<sub>x</sub> emisyonlarını meydana getirmektedir.

Kanola yağı metil esterinin yüksek setan sayısı nedeniyle bu yakıt 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<sub>x</sub> oluşturmaktadır.

Buna karşın kanola yağı metil esterinin yapısında bulunan % 10 oranındaki O<sub>2</sub> yanma esnasında ihtiyaç duyulan oksijenin yeterince sağlanmasına ve böylece dizel yakıtı göre daha iyi bir yanma veriminin ortaya çıkmasına neden olarak, yanma sonu sıcaklık ve basıncının artışı sağlayarak NO<sub>x</sub> emisyonlarının artışına neden olmaktadır. Bu nedenlerle kanola yağı metil esteri veya dizel yakıtı kullanıldığında NO<sub>x</sub> emisyonları bakımından birbirine yakın sonuçlar vermektedir.

## KAYNAKLAR

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. Tillem, 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, A.G. Phadatare, Biomass and Bioenergy, **27**, 393 (2004)
8. Kalligeros, S., Zannikos, F., Stournas, S., Lois, E., Anostopoulos, G., Teas, Ch., Sakellaropoulos, F. Biomass and Bioenergy, **24**, 141 (2003)
9. Shi, X., Pang, X., Mu, Y., He, H., Shuai, S., Wang, J., Chen, H., Li,R., Atmospheric Enviroment, **40**, 2567 (2006)
10. Oğuz, H., "Dizel Yakıtı - Ayçiçeği Yağı Karışımlarının Dizel Motorlarda Yakıt Olarak Kullanılma İmkânlarının Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya, (1998)
11. Schmidt, K., Gerpen, J.H.V., SAE Tech. Paper 961086 (1996)
12. Aytaç, Ş., "Küçük Güçlü Bir Dizel Motorunda Motorin ve Bitkisel Yağların Oransal Karışımlarının Yakıt Olarak Kullanılmasında Bazı Performans Değerlerinin Saptanması Üzerine Bir Araştırma, Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi, Edirne (1997)
13. Nwafor, O.M.I., Renewable Energy, **29**, 119 (2004)

14. Peterson, C.L., Reece, D.L., SAE Paper **961114** 805 (1996)
15. Thompson, J.C., Peterson, C.L., Reece, D.L., Beck, S.M., ASAE, **41040** 931 (1998)
16. Selim, M.Y.E., Radwan M.S., Elfeky, S.M.S., Renewable Energy, **28** 1401 (2003)
17. Yücesu, S., Altın, R., Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, **12** 1045 (1999)
18. Zang, Y., Gerpen, J.H.V., SAE Tech. Paper **960765** 782 (1996)
19. Radu,R., Mircea,Z., SAE Tech. Paper **972979** 381 (1997)
20. Altın, R., "Bitkisel Yağların Dizel Motorlarında Kullanılmasının Deneysel Olarak İncelenmesi", Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara (1998)
21. Ciğizoğlu, K.B., Özaktaş, T., Karaosmanoğlu, F., Energy Sources **19** 559 (1997)
22. Kaplan, C., "Ayçiçeği Yağı Metil Esterinin Dizel Motorlarında Alternatif Yakıt Olarak Kullanımı" Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli (2001)
23. Gümüş, M., "Dizel Motorlarda Tutuşma Gecikmesinin Silindir Basınç Seviyesine Etkisi" Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul (2005)
24. Karakuş N., "Yakıt Özelliklerinin Dizel Motor Performansına ve Emisyonlara Etkisi" Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara (2000)
25. Karaosmanoğlu, F., "Enerji ve Kojenerasyon Dergisi, ICC1 2002 Özel Sayısı, **10** 50 (2002)
26. Öğüt, H. ; Oğuz, H., "Biyodizel Üçüncü Milenyumun Yakıtı", Nobel Yayın Dağıtım 2. Baskı Ankara (2006)
27. Balcı, B., "Diesel Motor Yakıtı Olarak Kullanılan Atık Bitkisel Yağ Esterlerinin Maksimum Basınç ve Tutuşma Gecikmesi Açısından Motorin ile Karşılaştırılması", Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, (2005)



28. Fangrui Ma, Milford A. Hanna, Bioresource Technology, **70**, 1 (1999)
29. Işığür A., Karaosmanoğlu, F., Aksoy, H.A., Applied Biochemistry and Biotechnology, **103**, 45 (1994)
30. Schwab A.W., M.O.Bagby and B.Freedman, Fuel ,**66**, 1372 (1987)
31. Aydoğan, H., “ Dizel Motorlarında Çeşitli Yakıt Enjeksiyon Sistemlerinin Egzoz Emisyonlarına Etkilerinin Deneysel İncelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, (2006)
32. İçingür Y., “İçten Yanmalı Motorlarda Emisyon Kontrolleri”, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Eğitim Kitabı, Ankara, 3 (2001)
33. İleri, E., “Kanola Yağı Metil Esterinin Dizel Motor Performansı ve Emisyonlarına Etkilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, İzmir, (2005)