



**DİZEL YAKITI ve KANOLA BİYODİZELİNİN
MOTOR PERFORMANSI
ve TORK ARTIŞI
ÜZERİNE ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ**
Oğuzhan EROL
Doktora Tezi
Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Yılmaz BAYHAN

2016

**T.C.
NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

**DİZEL YAKITI ve KANOLA BİYODİZELİNİN
MOTOR PERFORMANSI ve TORK ARTIŞI ÜZERİNE ETKİLERİNİN
BELİRLENMESİ**

Oğuzhan EROL

BIYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: DOÇ. DR. YILMAZ BAYHAN

TEKİRDAĞ-2016

Her hakkı saklıdır



Bu tez NKÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından NKUBAP.00.24.DR.11.05 numaralı proje ile desteklenmiştir.

Doç. Dr. Yılmaz BAYHAN danışmanlığında Oğuzhan EROL tarafından hazırlanan “Dizel Yakıtı ve Kanola Biyodizelinin Motor Performansı ve Tork Artışı Üzerine Etkilerinin Belirlenmesi” isimli bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Doktora tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

Juri Başkanı : Prof. Dr. Bahattin AKDEMİR

İmza :

Üye : Prof. Dr. Abdullah SESSİZ

İmza :

Üye : Doç. Dr. Yılmaz BAYHAN

İmza :

Üye : Doç. Dr. Sarp Korkut SÜMER

İmza :

Üye : Yrd. Doç. Dr. Mehmet Recai DURGUT

İmza :

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu adına

Prof. Dr. Fatih KONUKCU

Enstitü Müdürü

ÖZET

Doktora Tezi

DİZEL YAKITI ve KANOLA BIYODİZELİNİN MOTOR PERFORMANSI ve TORK ARTIŞI ÜZERİNE ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ

Oğuzhan EROL

Namık Kemal Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Yılmaz BAYHAN

Bu çalışmada; Dizel yakıtı ve kanola biyodizelin motor performansı ve tork artışı üzerine etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, petrol kaynaklı dizel yakıtına belirli oranlarda kanola biodizelinin karıştırılmasıyla oluşan yakıtların, motor performans testleri ve tork artışı saptanmıştır. Bu çalışmada, dizel yakıtına, %5 (B5), %10 (B10), %20 (B20), %50 (B50), %80 (B80) oranlarında kanola biyodizeli karıştırılarak elde edilen yakıtlar, kanola biyodizeli (B100) ve dizel yakıtı kullanılmıştır. Bu yakıtlar 4 silindirli, direkt püskürtmeli ve hava soğutmalı bir dizel motorunda test edilmiştir. Dizel yakıtı ve B5, B10, B20, B50, B80, B100 yakıtlarının motorun hızına bağlı olarak güç, tork, yakıt tüketimi, motor tork artışı ve egzoz emisyon değerleri ölçülmüştür. Motorda yapılan testler TS 1231 no' lu standarda uygun şekilde yürütülmüştür. Araştırmada elde edilen tork değişimi, güç değişimi, yakıt tüketimi, tork artışı ve egzoz emisyon değişim değerleri yapılan istatistiksel analizlere göre farkları önemli bulunmuştur. Maksimum tork değerleri, 1700 d/dak' da 246,76 Nm ile B0 yakıtında iken en düşük değer ise B100 yakıtında 213,29 Nm olarak bulunmuştur. Maksimum güç değeri ise 3500 d/dak' daki motor hızında 66 kW olarak B0 yakıtında, minimum güç değeri ise 61,4 kW ile B100 yakıtında elde edilmiştir. Denemelerde elde edilen sonuçlara göre, dizel (B0), B5, B10, B20, B50, B80 ve biyodizel (B100) yakıtlarında motor tork artış değerleri sırasıyla, %27, %26, %25, %24, %23, %22 ve %21 olarak saptanmıştır. Minimum özgül yakıt tüketimi değerleri, 1700 d/dak' da 163,91 g/kWh B0 yakıtında, 219,63 g/kWh ile B100 yakıtında elde edilmiştir. Egzoz emisyon değişiminde elde edilen sonuçlara göre, B100 yakıtının CO, NO_x ve duman koyuluğu değerlerine bakıldığında, B0 yakıtına göre azalma göstermiştir. B0 yakıtı, motor performansı ve tork artışı yönünde daha iyi sonuçlar vermiştir.

Anahtar Kelime : Biyodiesel-Diesel Karışımları, Diesel Motor, Motor Performansı, Tork Artışı, Egzoz Emisyon

2016, 72

ABSTRACT

Ph.D. Thesis

DETERMINATION OF THE EFFECTS OF DIESEL FUEL AND CANOLA BIODIESEL ON ENGINE PERFORMANCE AND TORQUE RISE

Oğuzhan EROL

Namık Kemal University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Branch Of Biosystem Engineering Main Science

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Yılmaz BAYHAN

In this study, it was aimed to determine the effects of diesel fuel and canola biodiesel on engine performance and torque rise. For this purpose, engine performance tests and torque rise were determined for the fuels prepared by mixing certain ratios of canola biodiesel with the petroleum based diesel fuel. In this research, the fuels obtained by mixing %5 (B5), %10 (B10), %20 (B20), %50 (B50), %80 (B80) of canola biodiesel with diesel fuel (B0), canola biodiesel (B100) and diesel fuel had been used. These fuels were tested in a direct injection, air-cooled diesel engine with four cylinders. Depending on the engine speed, the power, torque, fuel consumption, exhaust emission values and the engine torque rise were measured for diesel fuel and B5, B10, B20, B50, B80, B100 fuels. The tests conducted on the engine were carried out according to TSE 1231 standard. The change values of torque, power, fuel consumption, torque rise and exhaust emission obtained in this study were found significantly different according to the statistical analysis performed. Whereas the maximum torque value was found for B0 as 246,76 Nm at 1700 cycle/min, the lowest value was found for B100 as 213,29 Nm. Also, the maximum power value was obtained for B0 fuel as 66 kW at 3500 cycle/min while the minimum power value was 61,4 kW for B100 fuel. According to the results obtained from the experiments, engine torque rise values of diesel (B0), B5, B10, B20, B50, B80 and biodiesel (B100) fuels were specified respectively as 27%, 26%, 25%, 24%, 23%, 22% and 21%. The minimum specific fuel consumption values were obtained as 163,91g/kWh for B0 fuel at 1700 cycle/min and 219,63 g/kWh for B100. CO, NO_x and smoke opacity values of B100 have decreased compared to B0 according to the results obtained from the exhaust emission changes. B0 fuel yielded better results in terms of engine performance and torque rise

Keywords : Biodiesel-Diesel Blends, Diesel Engine, Engine Performance, Torque Rise, Exhaust Emissions

2016, 72

İÇİNDEKİLER

| | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| ÖZET | i |
| ABSTRACT | ii |
| İÇİNDEKİLER | iii |
| ÇİZELGE DİZİNİ | vi |
| ŞEKİL DİZİNİ | vii |
| SİMGELER DİZİNİ | ix |
| ÖNSÖZ | x |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 1.1. Bitkisel Yağların Yakıt Olarak Kullanılmasının Nedenleri | 2 |
| 1.2. Biyodizel Üretim Teknikleri..... | 3 |
| 1.2.1. Seyreltme Yöntemi ile Bitkisel Yağların Yakıt Olarak Kullanımı..... | 4 |
| 1.2.2. Mikroemülsiyon Yöntemi ile Bitkisel Yağların Yakıt Olarak Kullanımı | 4 |
| 1.2.3. Piroliz Yöntemi ile Bitkisel Yağların Yakıt Olarak Kullanımı | 4 |
| 1.2.4. Transesterifikasyon Yöntemi ile Bitkisel Yağların Yakıt Olarak Kullanımı | 5 |
| 1.2.4.1. Alkali Katalizli Transesterifikasyon | 6 |
| 1.2.4.2. Asit Katalizli Transesterifikasyon | 7 |
| 1.2.4.3. Enzim Katalizli Transesterifikasyon | 7 |
| 1.2.5. Süper Kritik Yöntemi ile Bitkisel Yağların Yakıt Olarak Kullanımı | 8 |
| 1.3. Biyodizelin Çevresel Etkileri | 8 |
| 1.4. Motor Tork Artışı | 9 |
| 1.5. Araştırmanın Amacı | 11 |
| 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI | 12 |
| 3. MATERYAL VE YÖNTEM | 22 |

| | |
|---|-----------|
| 3.1. Materyal..... | 22 |
| 3.1.1. Dizel ve Biyodizel Yakıtları | 22 |
| 3.1.2. Deney Motorunun Teknik Özellikleri | 24 |
| 3.1.3. Deney Düzeneği | 25 |
| 3.1.4. Hidrolik Dinamometrenin Teknik Özellikleri | 26 |
| 3.1.5. Yakıt Tüketimi Ölçüm Sistemi..... | 27 |
| 3.1.6. Soğutma Kulesi | 28 |
| 3.1.7. Egzoz Emisyon Ölçüm Cihazı..... | 28 |
| 3.1.8. Egzoz Gazlarının Duman Koyuluğu Ölçüm Cihazı | 30 |
| 3.1.9. Araştırmada Kullanılan Diğer Cihazlar | 30 |
| 3.2. Yöntem | 31 |
| 3.2.1. Kanola Yağından Biyodizelin Üretilmesi | 31 |
| 3.2.2. Motor Testleri..... | 32 |
| 3.2.3. Motor Torkunun Belirlenmesi | 33 |
| 3.2.4. Motor Efektif Gücün Belirlenmesi | 34 |
| 3.2.5. Motor Yakıt Tüketiminin Belirlenmesi | 35 |
| 3.2.5.1 Saatlik Yakıt Tüketiminin Belirlenmesi | 35 |
| 3.2.5.2. Özgül Yakıt Tüketimi Belirlenmesi | 35 |
| 3.2.6. Motor Tork Artışının Belirlenmesi..... | 35 |
| 3.2.7. İstatistiksel Analizler | 37 |
| 4. ARAŞTIRMA BULGULARI | 38 |
| 4.1. Güç Değişimi | 38 |
| 4.2. Tork Değişimi..... | 40 |
| 4.3. Saatlik Yakıt Tüketimi Değişimi..... | 42 |
| 4.4. Özgül Yakıt Tüketim Değişimi | 44 |

| | |
|--|-----------|
| 4.5. Tork Artışı Değişimi..... | 45 |
| 4.6. Emisyon Değerlerinde Değişim..... | 48 |
| 4.6.1. Karbonmonoksit (CO) Değişimi | 48 |
| 4.6.2. Azot oksit (NO _x) Değişimi | 50 |
| 4.6.3. Duman Koyuluğu Değişimi..... | 52 |
| 5. TARTIŞMA..... | 54 |
| 5.1. Güç Değişimi İle İlgili Tartışma..... | 54 |
| 5.2. Tork Değişimi İle İlgili Tartışma | 54 |
| 5.3. Saatlik Yakıt Tüketimi İle İlgili Tartışma | 55 |
| 5.4. Özgül Yakıt Tüketimi İle İlgili Tartışma..... | 56 |
| 5.5. Tork Artışı Değişimi İle İlgili Tartışma | 56 |
| 5.6. Egzoz Emisyon Değişimi İle İlgili Tartışma | 57 |
| 5.6.1. Karbonmonoksit (CO) Emisyon Değişimi İle İlgili Tartışma..... | 57 |
| 5.6.2. Azot oksit (NO _x) Emisyon Değişimi İle İlgili Tartışma..... | 58 |
| 5.6.3. Duman Koyuluğu Değişimi İle İlgili Tartışma..... | 59 |
| 6. SONUÇ VE ÖNERİLER | 61 |
| 7. KAYNAKLAR..... | 64 |
| 8. EKLER | 68 |
| 9. ÖZGEÇMİŞ | 72 |

ÇİZELGE DİZİNİ

Sayfa

| | |
|--|----|
| Çizelge 1.1 : Ülkemizde işlenen ham petrol ve ithal edilen ham petrol miktarı | 2 |
| Çizelge 1.2 : Dizel yakıtının üretim miktarı | 2 |
| Çizelge 3.1 : B0, B5, B10, B20, B50, B80 ve B100 yakıtların analiz değerleri | 22 |
| Çizelge 3.2 : Deney motorun teknik özellikleri..... | 24 |
| Çizelge 3.3 : Hidrolik dinamometrenin teknik özellikleri..... | 26 |
| Çizelge 3.4 : Egzoz emisyon gaz analizi cihazın teknik özellikleri | 29 |
| Çizelge 3.5 : Egzoz duman koyuluğu ölçümünde kullanılan cihazın teknik özellikleri | 30 |
| Çizelge 3.6 : TS 1231 standardına göre, deney esnasında ölçülen değerler..... | 33 |
| Çizelge 4.1 : Dizel yakıtı ve biyodizel - dizel karışımı yakıtların motor hızına bağlı olarak efektif güç değerleri..... | 38 |
| Çizelge 4.2 : Dizel (B0) yakıtı ve biyodizel - dizel karışımı yakıtların motor hızına bağlı olarak tork değerleri..... | 40 |
| Çizelge 4.3 : Dizel (B0) yakıtı ve biyodizel - dizel karışımı yakıtların motor hızına bağlı olarak saatlik yakıt tüketim değerleri | 42 |
| Çizelge 4.4 : Dizel (B0) yakıtı ve biyodizel - dizel karışımı yakıtların motor hızına bağlı olarak özgül yakıt tüketim değerleri..... | 44 |
| Çizelge 4.5 : B0, B5, B10, B20, B50, B80 ve B100 yakıtların tork artışı değerleri | 46 |
| Çizelge 4.6 : Dizel (B0) yakıtı ve biyodizel - dizel karışımı yakıtların motor hızına bağlı olarak CO emisyon değerleri..... | 48 |
| Çizelge 4.7 : Dizel (B0) yakıtı ve biyodizel - dizel karışımı yakıtların motor hızına bağlı olarak NO _x emisyon değerleri | 50 |
| Çizelge 4.8 : Dizel (B0) yakıtı ve biyodizel - dizel karışımı yakıtların motor hızına bağlı olarak duman koyuluğu değerleri | 52 |

ŞEKİL DİZİNİ

Sayfa

| | |
|---|----|
| Şekil 1.1 : Trigliseritlerden piroliz sırasında oluşan parçalanma ürünleri..... | 5 |
| Şekil 1.2 : Transesterifikasyon yöntemi | 6 |
| Şekil 1.3 : 185 kW güce sahip traktörün motor karakteristik eğrisi | 10 |
| Şekil 3.1 : Denemede kullanılan diesel motorun görünüşü | 24 |
| Şekil 3.2 : Deney düzeneğinin genel görüntüsü | 25 |
| Şekil 3.3 : BT 190 tipi hidrolik dinamometre ve kontrol paneli..... | 27 |
| Şekil 3.4 : Yakıt tüketim ölçüm ünitesi ve yakıt depoları | 27 |
| Şekil 3.5 : BT 190 hidrolik dinamometre kullanılan soğutma kulesi | 28 |
| Şekil 3.6 : Mod 2200 egzoz emisyon gaz analizi cihazı..... | 29 |
| Şekil 3.7 : Karadeniz tarımsal araştırma enstitüsü biyodizel reaktörü | 31 |
| Şekil 3.8 : Test düzeneğinde döndürme torkunun ölçülmesi | 33 |
| Şekil 3.9 : Motorun çalışma koşullarındaki tork artışı gösterimi | 36 |
| Şekil 4.1 : Dizel (B0) yakıtı ve biyodizel - dizel karışımı yakıtların motor hızına bağlı olarak efektif güç değişimi | 39 |
| Şekil 4.2 : Dizel (B0) yakıtı ve biyodizel - dizel karışımı yakıtların motor hızına bağlı olarak tork değişimi | 41 |
| Şekil 4.3 : Dizel (B0) yakıtı ve biyodizel - dizel karışımı yakıtların motor hızına bağlı olarak saatlik yakıt tüketimi değişimi..... | 43 |
| Şekil 4.4 : Dizel (B0) yakıtı ve biyodizel - dizel karışımı yakıtların motor hızına bağlı olarak özgül yakıt tüketimi değişimi | 45 |
| Şekil 4.5 : Maksimum tork ile nominal hızdaki tork değerlerin değişimi..... | 46 |
| Şekil 4.6 : Kullanılan yakıtlara ait motorun nominal hızdaki tork değişimi | 47 |
| Şekil 4.7 : Kullanılan yakıtlara ait tork artışı ile maksimum tork eğrisindeki değişim..... | 47 |
| Şekil 4.8 : Dizel (B0) yakıtı ve biyodizel - dizel karışımı yakıtların motor hızına bağlı olarak CO emisyon değişimi | 49 |

Şekil 4.9 : Dizel (B0) yakıtı ve biyodizel - dizel karışımı yakıtların motor hızına bağlı olarak NO_x emisyon değişimi..... 51

Şekil 4.10: Dizel (B0) yakıtı ve biyodizel - dizel karışımı yakıtların motor hızına bağlı olarak duman koyuluğu değişimi 53



SİMGE DİZİNİ

| | |
|------------------|---|
| AFR | : Hava Yakıt Oranı |
| ASTM | : American Society for Testing and Materials |
| B _e | : Özgül Yakıt Tüketimi |
| B | : Saatlik Yakıt Tüketimi |
| B0 | : Dizel Yakıtı |
| B5 | : %5 Biyodizel + %95 Dizel |
| B10 | : %10 Biyodizel + %90 Dizel |
| B20 | : %20 Biyodizel + %80 Dizel |
| B50 | : %50 Biyodizel + %50 Dizel |
| B80 | : %80 Biyodizel + %20 Dizel |
| B100 | : %100 Biyodizel |
| CO | : Karbonmonoksit |
| CO ₂ | : Karbondioksit |
| EN | : Avrupa Standardı |
| F | : Hidrolik Güç Freninin Tork Kolunun Teraziye Uyguladığı Kuvvet |
| HC | : Hidrokarbon |
| HFk | : Hava Fazlalık Katsayısı |
| K | : Duman Koyuluğu |
| λ | : Hava Fazlalık Katsayısı |
| L | : Hidrolik Frenin Tork Kolu Uzunluğu |
| L/h | : Litre/Saat |
| M _d | : Motor Döndürme Torku |
| n | : Motor Hızı |
| NaOH | : Sodyum Hidroksit |
| NO _x | : Azot Oksit |
| P _e | : Efektif Güç |
| T _{max} | : Maksimum Tork Değeri |

T_{min} : Nominal Tork Değeri

T_r : Tork Artışı

TS : Türk Standartları

SO_x : Kükürt Oksit

ω : Açısal Hız



ÖNSÖZ

Bu çalışmada, transesterifikasyon metodu kullanılarak kanola yağından elde edilen biyodizel (B100), % 5 (B5), % 10 (B10), % 20 (B20), % 50 (B50), % 80 (B80) oranlarında biyodizel-dizel karışımı ve dizel (B0) yakıtı kullanılmıştır. Elde edilen yakıtların motor performansı, egzoz emisyon ve tork artışı üzerine etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Değişen karışım oranları ile dizel yakıtına göre motor tanıtım eğrileri olan güç, tork, tork artışı, yakıt tüketimindeki farklılaşmanın düzeyi incelemeye alınarak, dizel yakıtına alternatif oluşturabilmesi yönündeki ayrıntıların belirlenmesi amaçlanmaktadır.

Biyodizel, bitkisel yağların veya hayvansal yağların bir katalizator eşliğinde kısa zincirli bir alkol ile (metanol veya etanol) reaksiyonu sonucunda açığa çıkan yakıttır. Biyodizel kullanımı; ekonomik olması, çevre kirliliği açısından daha temiz bir yakıt olması ve dışa bağımlılık yerine öz kaynaklardan elde edilerek ülke ekonomisine çok yönlü katkıda bulunması açısından önem kazanmaktadır. Bu çalışmada, deneylerde kullanılmak üzere biyodizel üretimini gerçekleştiren, laboratuvarlarını açıp yardımcı olan Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Enerji Tarım Bölümü müdürü Sayın Mustafa ACAR ve personeline teşekkür ederim.

Bu araştırma sırasında eleştiri ve öneriyle beni yönlendiren, başta danışman hocam Sayın Doç. Dr. Yılmaz BAYHAN ve Sayın Doç. Dr. Sarp Korkut SÜMER' e; proje ekibinde yer alarak bu projeye destek ve emek veren değerli hocalarım Sayın Prof. Dr. Bahhattin AKDEMİR, Sayın Prof. Dr. Abdullah SESSİZ ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Mehmet Recai DURGUT' a teşekkür ederim.

NKUBAP.00.24.DR.11.05 no' lu doktora projemin gerçekleştirilmesinde maddi imkanları sağlayan, Namık Kemal Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğüne teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca laboratuvarın hazırlanmasında destek olan Namık Kemal Üniversitesi Çorlu Meslek Yüksekokulu Müdürü Sayın Doç. Dr. Tuncay GÜMÜŞ' e ve yardımlarından dolayı, bölümdeki mesai arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmada her anlamda en büyük desteği sevgili eşim Eda Hanife EROL' dan ve canım oğlum Adil Batuhan EROL' dan aldım. Sevginiz ve sabrınız için, hep yanımda olduğunuz için yürek dolusu teşekkürler, siz olmazsanız bu gücü bulamazdım.

Ocak 2016

Oğuzhan EROL

1. GİRİŞ

Günümüzde motorlu taşıt endüstrisinin temel enerji kaynağı petrol ürünleridir. Dünya petrol rezervlerinin belirli bölgelerde toplanmış olması, siyasi ve ekonomik nedenlerden dolayı zaman zaman petrol krizleri yaşanmasına neden olmuştur. Özellikle 1970'li yıllarda yaşanan petrol krizi sonunda, petrol ürünleri piyasadan çekilmiş ve buna paralel olarak da fiyatının artmasına neden olmuştur. Petrol kaynaklarındaki olumsuzluklar, alternatif yakıtların kullanımının yaygınlaşacağını göstermektedir (Sabancı 2006). Dünya nüfusunun hızla artması, sanayileşme ve fosil kaynaklarının aşırı kullanımına bağlı olarak yaşanan çevresel sorunların zaman içerisinde bölgesel ve ülkesel boyuttan uzaklaşarak küresel bir sorun haline gelmesi, hükümetlerin yenilenebilir enerji kaynaklarına bakış açısını değiştirmiştir. Özellikle, enerjide dışa bağımlı olan ülkeler için önemli bir fırsat olan yenilenebilir enerji kaynakları, yakalanan maliyet avantajlarıyla birlikte, ülkelerin gelişmesinde önemli bir itici faktördür. Dünya' da ve ülkemizde alternatif enerji kaynaklarında yaşanan olumlu gelişmeler olmaktadır. Bu bağlamda alternatif enerji kaynaklarının önemi daha çok artmaktadır. Gelişmiş ülkelerde, modern teknolojilerin ve fosil yakıtlar ile ekonomik olarak rekabet edebilir durumda olan biyoyakıtların kullanıldığı etkin biyoenerji dönüşümlerinin kullanımı artma eğilimindedir. 2000' li yıllardan sonra biyodizel üretimi, Dünya' da ve ülkemizde hız kazanmıştır. Biyodizel kullanımı; ekonomik olması, çevre kirliliği açısından daha temiz bir yakıt olması ve dışa bağımlılık yerine öz kaynaklardan elde edilerek ülke ekonomisine çok yönlü katkıda bulunması açısından önem kazanmaktadır. Biyodizel, hammaddesini yaygın olarak tarımsal ürünlerden alan, her türlü atık yağdan üretilebilen ve diğer alternatif enerji kaynaklarına oranla arz miktarı kolaylıkla ayarlanabilen ve depolanabilen önemli bir yakıttır. Biyodizel üretiminin rüzgar, güneş enerjisi gibi diğer alternatif enerji kaynakları üretimine kıyasla, daha az maliyetli ve kolay üretilebiliyor özellikte olması, üretiminin giderek yaygınlaşmasına katkı sağlamaktadır. Bununla birlikte, biyodizel üretiminin özellikle tarım, sanayi ve çevre sektörlerinin birlikte çalışmasına olanak vermesi, bu sektörlerle ilave istihdam ve gelir olanakları da sağlaması, biyodizel teknolojisinin hızlı gelişmesine neden olmaktadır. Biyodizel üretiminin artması sonucuyla, ülkemizde işlenen ham petrol ve ithal edilen ham petrol miktarı azalmaktadır. Ülkemizde işlenen ham petrol ve ithal edilen ham petrol miktarı, Çizelge 1.1' de gösterilmiştir. 2014 yılında, Ülkemizde günlük yaklaşık olarak 49000 Varil/gün ham petrol üretimi yapılmış; buna karşılık 718000 Varil /gün ham petrol tüketilmiş; 359000 varil/gün düzeyinde ham petrol ithalatı, 310000 varil /gün düzeyinde işlenmiş ürün ithalatı gerçekleşmiştir.

Çizelge 1.1. Ülkemizde işlenen ham petrol ve ithal edilen ham petrol miktarı (Anonim 2015a)

| Ham Petrol Temini (Varil/Gün) | 2012 | 2013 | 2014 |
|---|-------------|-------------|-------------|
| Yerli Üretim Toplam Miktarı | 47000 | 48000 | 49000 |
| Toplam İthal Edilen Ham Petrol Miktarı | 385000 | 376000 | 359000 |
| Diğer İşlenmiş Ürün İthalatı | 245500 | 290000 | 310000 |
| Toplam Ham Petrol | 678000 | 714000 | 718000 |
| Dışa Bağlılık (%) | 56,78 | 52,66 | 50,00 |

Çizelge 1.2. Dizel (B0) yakıtının üretim miktarı (Anonim 2015b)

| Ürünler (m³) | 2013 | 2014 | Değişim (%) |
|--------------------------------|-------------|-------------|--------------------|
| Dizel Yakıtı | 7636794 | 6077434 | - 20,4 |
| Dizel Yakıtı (Diğer) | 46230 | 44271 | - 4,2 |
| Toplamı (m³) | 7681024 | 6121705 | - 20,3 |

Tüketilen petrol içinde ithal edilen ham petrolün payı, 2012 – 2014 yıllı boyunca azalış göstermiştir. 2012 yılında işlenen ham petrol' ün %56,78' si ithal iken, 2014 yılında bu oran %50' dir. 2012 yılından itibaren petrolde dışa olan bağımlılık gittikçe azalmaktadır. Çizelge 1.2' de ise yıllara göre dizel (B0) yakıtının üretim miktarları verilmiştir. 2013 - 2014 yılları arasında petrol kökenli dizel (B0) yakıtında değişimin, %20,3 olarak azaldığı sonucuna ulaşılmıştır.

1.1. Bitkisel Yağların Yakıt Olarak Kullanılmasının Nedenleri

Ülkelerin ekonomik yapılarının temelini, dizel (B0) yakıtı kullanan sektörler oluşturmaktadır. Özellikle tarım ve taşımacılık krizlerinden en çok etkilenen ve insan yaşamıyla doğrudan ilişkisi olan hassas sektörlerdir. Bu nedenle dizel (B0) yakıtına alternatif

olarak kullanılan, bitkisel yağlar araştırmaların yeniden odak noktası haline gelmiştir. Ülkemizin zengin biyokütle kaynaklarına sahip bir tarım ülkesi olduğu göz önüne alınırsa, yenilenebilir enerji kaynaklarının alternatif motor yakıtı üretiminde değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır. Bitkisel yağların yakıt olarak kullanılmasının yaygınlaşması durumunda, yağ bitkilerinin üretiminin artırılması imkânı da doğmaktadır. Ayrıca herkesin özen göstermesi gereken çevrenin korunması konusunda bitkisel yağlar, organik kökenli olması nedeniyle çevreyi kirletmeden toprağa kazandırılabilir. Yapılan çalışmalarda bitkisel yağların emisyon değerleri, dizel (B0) yakıtına nazaran daha olumlu çıkmaktadır. Günümüzde ülkemizin petrol ihtiyacının çok büyük bir kısmının ithalat yoluyla karşılandığı dikkate alındığında, yerli tarım ürünlerinden elde edilecek biyoyakıtlar enerjide dışa bağımlılığı azaltacaktır. Mali anlamda ülke ekonomisi içinde büyük bir orana sahip enerji harcamalarının bir kısmı azalacak, kısacası cari açığın azalması yönünde bir katkı sağlayacaktır. Ülkemizde petrol ihtiyacının yüzde 90' nı ithalat yoluyla karşılanmakta olup, özellikle son yıllarda yerli kaynakların etkin bir şekilde kullanılması önem kazanmaktadır. Son yıllarda enerji tarımında artışın söz konusu olduğu, 2014 yılı içerisinde de 32240 ton biyodizelin piyasaya arz edildiği görülmüştür. Enerji çeşitlendirmesinde, yenilenebilir enerji kaynaklarının payını yükseltme yolunda, özellikle biyodizelin kullanılması, enerji sektöründe dışa bağımlılığın azaltılması açısından önemlidir (Anonim 2015c). Biyodizel, tarımsal sanayinin güçlenmesini sağlayarak ve kırsal alandan göçü azaltarak, tarımsal ürünlerden ve atıklardan enerji üretilebilmesi ile tarımsal üretimde çeşitliliği sağlayarak ekolojiye olumlu katkıda bulunması ve sürdürülebilir tarımsal yapı oluşturması, çiftçinin üretimine süreklilik kazandırması, yağ bitkileri tarımını yaygınlaştırması, ekim nöbetinin yaygınlaştırılarak toprak verimliliğinin artırılması gibi günümüzün birçok sorununa çare olabilecek özellikleri içinde barındırmaktadır.

1.2. Biyodizel Üretim Teknikleri

Bitkisel yağların dizel (B0) yakıtı yerine doğrudan kullanımındaki en büyük engellerden biri viskozitelerinin yüksek oluşudur. Yüksek viskozite silindire enjeksiyon sırasında damlacık boyutunda büyümeye neden olmakta ve bu da tam yanmayı engellemektedir. Bitkisel yağların dizel (B0) yakıt alternatifi olarak değerlendirilebilmesi için, öncelikle yüksek viskozite probleminin çözülmesi gerekmektedir. Buna göre yüksek viskozite problemi, ya motorda bir takım değişiklikler yaparak ya da saf bitkisel yağlara çeşitli yöntemler uygulanarak çözülmeye çalışılmaktadır. Bu yöntemler, seyreltme, mikroemülsiyon oluşturma, piroliz, transesterifikasyon ve süper kritik yöntemdir (Eliçin 2011).

1.2.1. Seyreltme Yöntemi ile Bitkisel Yağların Yakıt Olarak Kullanımı

Belirli oranlarda bitkisel ve atık yağların dizel (B0) yakıtıyla ve bir başka çözücü ile karıştırılarak inceltilmesi olayıdır. Genellikle bitkisel ve atık yağlar dizel (B0) yakıtı ile karıştırılmaktadır. Böylece dizel (B0) yakıt kullanımı da azaltılmış olmaktadır. Dizel (B0) yakıtı ve bitkisel yağdan elde edilen karışımlar ile yapılan çalışmalar incelendiğinde, karışımın ve dizel (B0) yakıtın özelliklerinin birbirine yakın olduğu çok önemli farklılık içermediği görülmüştür. Seyreltme yöntemiyle yapılan uygulamalarda en çok kullanılan bitkisel yağlardan örnek olarak ayçiçek yağı, soya yağı, aspir yağı, kolza yağı, yer fıstığı yağı ve kullanılmış kızartma atık yağlardır (Srivastava ve Prasad 2000).

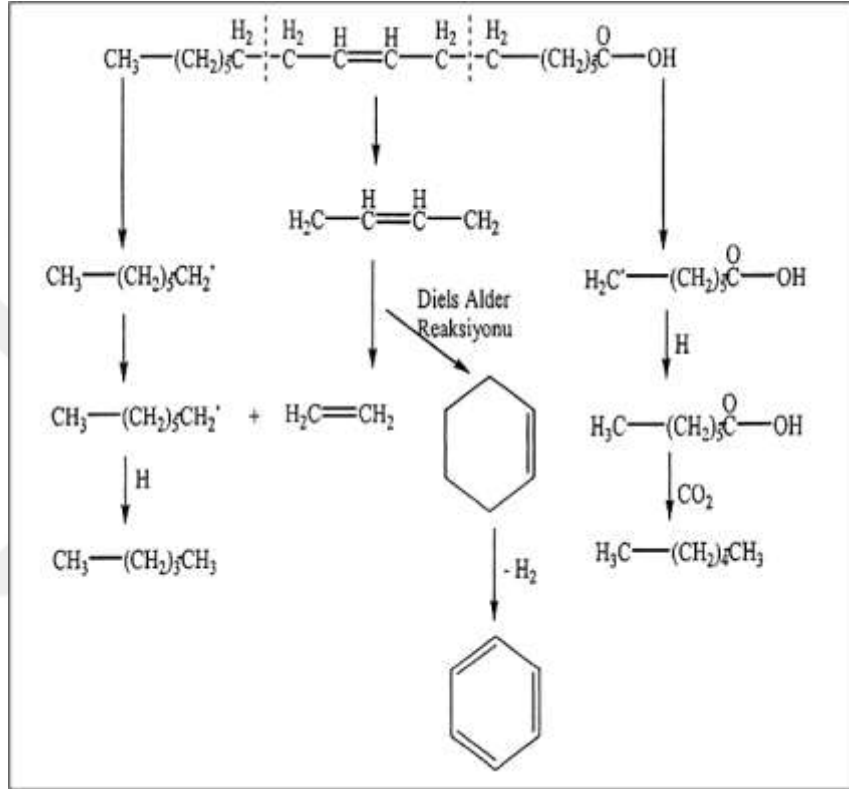
1.2.2. Mikroemülsiyon Yöntemi ile Bitkisel Yağların Yakıt Olarak Kullanımı

Bitkisel yağların viskozitesini düşürmek için, metanol veya etanol gibi kısa zincirli alkollerle mikroemülsiyon oluşturulur. Böylece viskozite değeri azalmaktadır. Metanolün bitki yağı ile olan emülsiyonu neredeyse dizel (B0) yakıtı kadar etkili olmaktadır. Mikroemülsiyonların içeriğindeki alkol, dizel (B0) yakıtından daha az hacimsel ısı kapasitesine ve yüksek buharlaşma gizli ısısına sahiptir. Bu nedenle yanma odasını soğutma eğilimindedir. Bu yöntemdeki sakınca, düşük sıcaklıklarda karışımın ayrışma eğiliminde olması ve alkollerin setan sayılarının az olmasıdır. Bu durum mikroemülsiyonda setan sayısını düşük tutmaktadır. Setan sayısının düşük olması da yanma hücresinde doğru noktada tutuşmayı engeller. Dolayısıyla kontrolsüz biçimde yanan karışım, gürültüye ve motor içinde hasara neden olur (Akgün ve ark. 2009).

1.2.3. Piroliz Yöntemi ile Bitkisel Yağların Yakıt Olarak Kullanımı

Piroliz yöntemi, yüksek sıcaklıklarda bileşiklerin büyük moleküllerden daha küçük moleküllere dönüştürülmesidir. Bitkisel yağların pirolizi iki amaçla gerçekleştirilmektedir. Birincisinde bitkisel yağlar, kapalı bir kap ortamında ısı etkisiyle parçalanmaktadır. İkincisinde standart maddeler kullanılarak damıtma ile bitkisel yağlar ısı olarak parçalanmaktadır. İkinci işlem uygulanarak elde edilen yakıt özellikleri dizele daha yakındır (Formo ve ark. 1979). Piroliz işleminde bileşik, ya ısı ya da ısı yanında katalizör kullanılarak havasız ortamda başka bir bileşiğe dönüşmektedir. Aynı anda ve peş peşe gerçekleşen birçok farklı reaksiyonun oluşması nedeniyle, piroliz işleminin mekanizmasını anlamak oldukça güçtür. Piroliz, aktif karbon üretiminde yüzyıllardan beri kullanılmaktadır. Üretilen maddenin miktarı, uygulanan metot ve reaksiyon parametrelerine bağlıdır. Yüksek miktarda katı ürün elde etmek için, hammadde düşük sıcaklıklarda yavaş tepkimeye sokulmaktadır. Hızlı piroliz

ise maksimum sıvı ürün elde etmek için uygulanmaktadır. Piroliz yönteminde sıvı ürün verimi, reaksiyon hızına bağlıdır. 450 ile 650°C gibi düşük sıcaklıklarda çok yüksek ısıtma hızlarında kısa sürelerde gerçekleştirilen hızlı piroliz tekniğinde sıvı ürün verimi yüksektir (Akdere 2006). Piroliz işlemlerinde, oluşan büyük moleküllü sıvı ürünlerin gaz halindeki daha küçük moleküllere parçalanması engellenerek, sıvı ürün veriminin artması gerçekleşmektedir (Şekil 1.1).



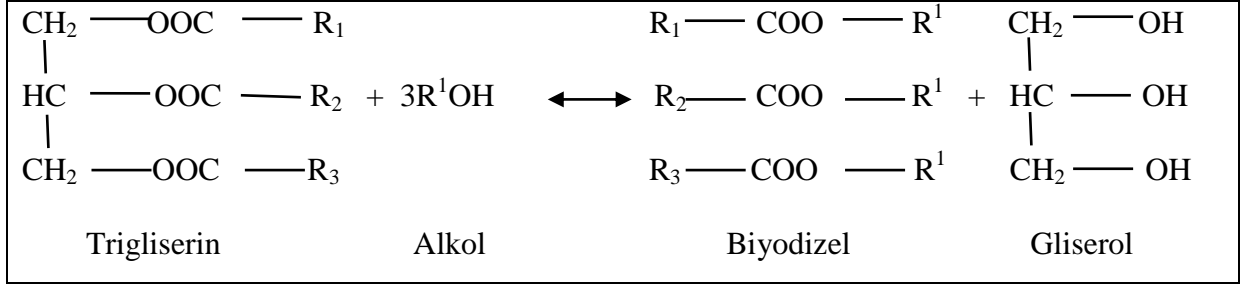
Şekil 1.1. Trigliseritlerden piroliz sırasında oluşan parçalanma (Aksoy 2010)

Pirolizin yöntemi zor olmaktadır. ve maliyeti yüksektir. Ayrıca, elde edilen ürünler kimyasal olarak benzin ve dizel yakıtı olan petrol ürünlerine benzemektedir. Piroliz sırasında oksijenin uzaklaştırılması oksijenlendirilmiş bir yakıtın kullanımının bazı çevresel faydalarını da yok eder (Zhenyi ve ark. 2004).

1.2.4. Transesterifikasyon Yöntemi ile Bitkisel Yağların Yakıt Olarak Kullanımı

Transesterifikasyon, bitkisel yağların monohidrik bir alkolle (metanol, etanol), katalizör (asidik, bazik katalizörler ve enzimler) varlığında esas ürün olarak yağ asidi esterleri ve gliserin vererek yeniden esterleştirilmesi işlemidir. Bu yöntem viskoziteyi azaltmada en etkili yöntemdir. Reaksiyonda yan ürün olarak di ve mono gliseridler, reaktan fazlası ve

serbest yağ asitleri oluşur. Kimyasal anlamda biyodizel, metil alkol ve bitkisel yağ esterlerinden yapılan metil esterdir (Çengelci ve ark. 2011). Metil ester ve gliserin oluşumu kimyasal olarak, Şekil 1.2' de verilmiştir.



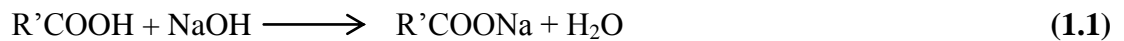
Şekil 1.2. Transesterifikasyon yöntemi (Alptekin ve Çanakçı 2006)

Transesterifikasyon işleminde, metanol ve etanol alkol olarak kullanılmaktadır. Polar olması, en kısa zincirli alkol olması, trigliseritlerle kolay reaksiyon vermesi sebebiyle metanol kullanımı daha yaygındır. Biyodizelin oluşum reaksiyonu verilmiştir (Alptekin ve Çanakçı 2006).

Transesterifikasyonda katalizörlü ve katalizörsüz olmak üzere iki yöntem vardır. Katalizörlü transesterifikasyon reaksiyonları daha çok alkali, asidik ve enzimatik katalizör kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Son zamanlarda yapılan çalışmalarda mikroporöz zirkonyum, sülfatlı zirkonyum ve titanyum temelli zeolit gibi heterojen katalizörlerde kullanılmaya başlanmıştır. Katalizörsüz reaksiyonlarda, süper kritik proses veya ko-solvent sistemleri kullanılmaktadır (Aksoy 2010).

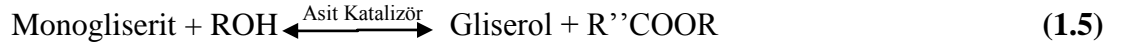
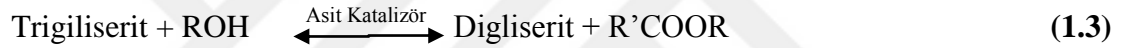
1.2.4.1. Alkali Katalizli Transesterifikasyon

Alkali katalizör olarak NaOH, KOH, karbonatlar ve alkoksitler (sodyum metoksit, sodyum etoksit, sodyum bütoksit) üretimde kullanılmaktadır. Alkali katalizörlü reaksiyonu, asit katalizörlü reaksiyona göre yaklaşık 4000 kez daha hızlı gerçekleştiğinden ticari olarak en fazla kullanılan yöntemdir (Körbitz 1999). Alkali katalizli transesterifikasyon yönteminde kullanılan materyal ve kimyasal maddelerin ucuz olması maliyeti düşürmektedir. Bitkisel ve hayvansal yağlar yapılarında az miktarda su ve serbest yağ asidi içerebilirler. Alkali katalizör serbest yağ asitleri ile reaksiyona girerek sabun oluşturur. Serbest yağ asitlerinin alkali katalizörle (NaOH) oluşturduğu sabunlaşma reaksiyonu (1.1) denkleminde gösterilmiştir.



1.2.4.2. Asit Katalizli Transesterifikasyon

Bitkisel veya hayvansal yağın yapısındaki serbest yağ asidi oranı %1' den fazla olduğu durumlarda biyodizel üretmek için asit katalizör tercih edilir. Transesterifikasyon reaksiyonlarında asidik katalizör olarak hidrojen klorür, sülfürik asit, sülfonik asit gibi bronsted asitleri kullanılır. Asit katalizörler, serbest yağ asitleri ve trigliseritleri yağ asidi metil esterine dönüştürebilmektedir, çünkü aynı anda hem esterleştirme, hem de transesterifikasyon reaksiyonu vermektedirler. Bu yöntem ile hem esterleştirme, hem de transesterifikasyon reaksiyonu elde edilmektedir. Aşağıda (1.2) denklemde, esterleştirme reaksiyonu gösterilmiştir. (1.3), (1.4), (1.5) denklemlerinde ise transesterifikasyon reaksiyonları gösterilmiştir. Yüksek asit değerine sahip serbest yağ asitlerinden yağ asidi metil esterleri oluşturmak için asit katalizör seçimi uygun olmaktadır (Haas ve ark. 2003).



Asit katalizli reaksiyon, karboksilik asitteki hidroksil grubu (-OH) ile alkolsi grubunun (-OR) yer değiştirdiği kondenzasyon reaksiyon grubudur. Biyodizel üretimi, tersinir, ikinci dereceden reaksiyondur. Esterifikasyonda suyun oluşumu reaksiyonun ters hidroliz yönüne kaymasına neden olur. Suyun oluşumu, reaksiyon sisteminde çözünme ile oluşan H_3O^+ , asit katalizörün deaktive olmasını sağlar. H_3O^+ , kimyasal kararlılığı yağ asidindeki karbonil grubunun protonlanmasını zorlaştırır, reaksiyon yavaşlar (Oliveira ve ark. 2010).

1.2.4.3. Enzim Katalizli Transesterifikasyon

Enzim katalizörlü tranesterifikasyonda, yağları yağ asitlerine parçalayan enzim olan lipaz kullanılmaktadır. Enzim katalizörlü reaksiyonlar, enzimin yapısı bozulmadan etki edebilmesi için yüksek sıcaklıklara çıkılmadan daha düşük sıcaklıklarda (30 - 40°C) oluşmaktadır (Yuji ve ark. 2002). Lipazlar, su-lipid ara yüzeyinde lipidlerin hidrolizini katalizleyen triaçilgliserol hidrolipazlardır. Reaksiyon, kimyasal artık ürün vermediğinden

çevre dostu olmaktadır. Candida antarctica dan izole edilen Novozim 435, Thermomyces lanuginosus dan elde edilen Lipozyme TL IM, Rhizomucor miehei elde edilen Lipozyme RM IM, Pseudomonas fluorescens dan izole edilen Amano AK gibi birçok immobilize lipaz sistemleri biyodizel eldesinde kullanılmaktadır (Türkan ve Kalay 2008).

1.2.5. Süper Kritik Yöntemi ile Bitkisel Yağların Yakıt Olarak Kullanımı

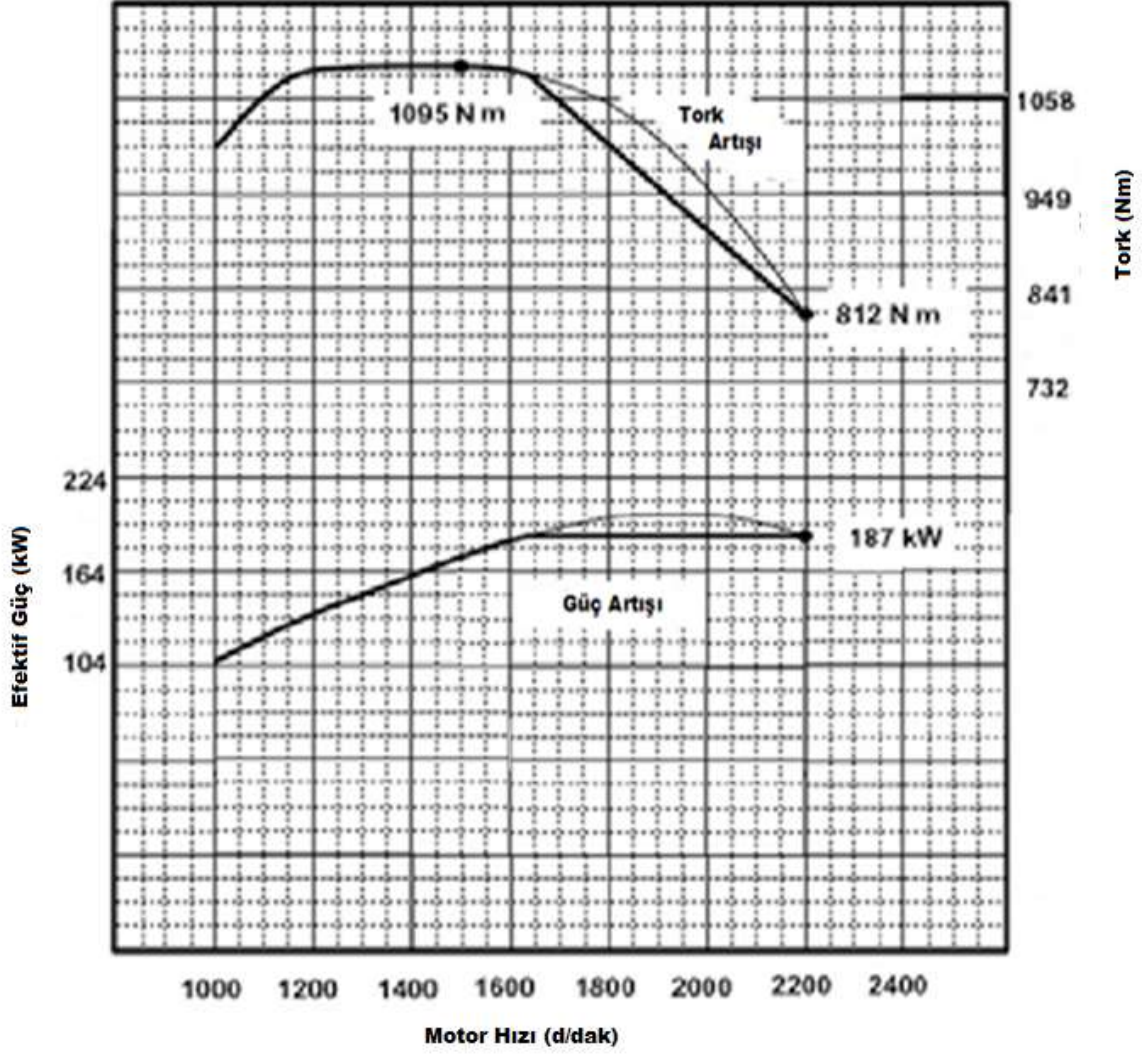
Bir sıvı yahut gaz, kritik noktalarını aşan sıcaklık ve basınç altında kalırsa, orada alışılmamış özelliklere rastlanır. Sıvı ve gaz fazları yerine, sadece tek bir akış fazı bulunur. Hidroksil grubu içeren su veya başlıca alkoller, süper asit görevi görürler. Bu tür katalizörsüz yöntemde alkol yağ oranı 42:1 olarak tespit edilmiştir. Süper kritik yönteminde, bitkisel yağlar transesterifikasyon yönteminden farklı olarak, katalizör kullanmadan 350°C gibi yüksek sıcaklık ve 240 saniye gibi kısa sürelerde gerçekleştirilmektedir (Oğuz 2004). Bu sistemin yatırım ve işletme maliyetleri son derece yüksek olup bunun yanında enerji tüketimi de oldukça fazladır.

1.3. Biyodizelin Çevresel Etkileri

Günümüz koşullarında, dünyanın en önemli çevre sorunu olarak sera etkisinden kaynaklanan küresel ısınma gösterilmektedir. Küresel ısınma, yanma sonucu ortaya çıkan CO₂ emisyonundan kaynaklanmaktadır. Ayrıca azot oksitler (NO_x) ve kükürt oksitler (SO_x), hem hava kirliliğine hem de asit yağmurlarına sebep olmaktadır. Son yıllarda fosil yakıt emisyonların çevreye ve halk sağlığı üzerine olumsuz etkileri artarak ciddi boyutlara ulaşmıştır. Yenilenebilir alternatif bir yakıt olarak bitkisel yağlardan elde edilen biyodizelin kullanılması ile diesel motorlardan kaynaklanan emisyonların zararları azaltılabilmektedir. Biyodizelin üretildiği yağlı tohum bitkisinin yetiştirilmesi esnasında fotosentez ile atmosferden CO₂ alınması, üretilen yakıtın kullanılması ile ortaya çıkan CO₂'nin dengelenmesi yönünde önemli bir fayda sağlamaktadır. Biyodizel yakıtın dizel yakıtı oranla daha düşük kükürt içermesinden dolayı SO_x emisyonları azalmakta, biyodizelin içerisinde bulunan oksijen ile daha iyi yanma sağlanarak karbonmonoksit (CO), duman koyuluğu ve partikül madde emisyonları azaltılabilmektedir. Biyodizel, dizel (B0) yakıtı kullanımından kaynaklanan ve insan sağlığını tehdit eden birçok çevresel faktörü ortadan kaldırmaktadır. Biyodizel emisyonlarında, potansiyel kanser nedeni olan polisiklik aromatik hidrokarbon ve türevlerinden kaynaklanan emisyonlarda %80 - 90 oranlarda azalmalar belirlenmiştir. Bu azalma değeri, dikkate alınması gereken bir orandır ve biyodizelin çevre dostu özelliğini sağlamaktadır (Akdere 2006).

1.4. Motor Tork Artışı

Diesel motorların çalışmasında, yanma odasında piston tarafından sıkıştırılan havanın üzerine enjektörler yakıtı püskürtür. Böylece Diesel motorunda 18/1 ile 26/1 arasında değişen bir sıkıştırma oranı elde edilirken, pistonların bağlı olduğu krank miline daha büyük tork uygulanır. Sıkıştırma oranının, yüksek basıncın ve dizel (B0) yakıtı setan sayısının yüksek olması, motor torkunun artmasına etki eden faktörlerdir. Diesel motorun yanma odalarında, daha yüksek sıcaklıklarda ve sıkıştırma oranlarında, daha büyük yanma basıncı meydana gelir. Bu basınç; motorun hızına, sıkıştırma oranına, silindir içerisine alınan yakıt-hava karışımının miktarına ve yanma verimine bağlıdır. Bu nedenle pistonlar üzerinden krank miline aktarılan tork artar (Demir 2013). Motor torkuyla, krank milinin açısal hızı yani devir sayısı ters orantılıdır. Motor torku, hız yükseldikçe belli bir hıza kadar artar ve bu hızdan sonra, motor hızı arttırılmaya devam edilirse tork azalmaya başlar. Bunun nedeni, hacimsel verimin azalması ve yüksek hızlarda motorun nefes alma kabiliyetinin düşmesidir. Motorun iş yapabilme kabiliyetinin ölçüsü, tork artışıdır. Motor hızı yükseldikçe, başlangıçta tork da artmaktadır. Diesel motorlarda ise yanma odasındaki sıkıştırılan yüksek basınçlı havanın içerisine, enjektörlerden yakıt püskürtülerek kuvvetli bir yanma elde edilir. Pistonun kurs içerisindeki hareket mesafesinin artması ve buna bağlı olarak piston kolunun uzamasıyla diesel motorun torku yükselir. Diesel motorların tork avantajı, motor hızının düşmesi nedeniyle azalabilmektedir. Motor hızı düşük iken, yanma odasına püskürtülen B0 yakıtı, odacığın belirli bir noktasından başlayıp yayılarak patlamayı oluşturur. Bu noktada patlamayı kuvvetlendirmek için enjektör basıncının arttırılması ve yakıtın yanma odasına daha hızlı gönderilmesi gerekmektedir. Motorlu taşıtlarda tork, özellikle yokuş yukarı tırmanma performanslarını etkileyen bir büyüklüktür. Sürücüler yüksek tork bir aracı kullanırken, yokuş yukarı yollarda daha az vites değiştirirler. Taşıt tam yüklü ağırlıkla yokuş yukarı çıkarken motor fazla hız kaybetmez. Motora tam yük verildiğinde, tork artışı olmadığında çekişte problem yaşar, hızda düşüş meydana gelir. Motor güç kaybeder. Tork artışı, silindiri besleyen yakıt miktarı ile tespit edilir. Tam yükte çalışan motora daha fazla yakıt miktarı enjekte edilerek, daha yüksek bir tork ile motorun nominal hızdaki torku elde edilebilir. Maksimum tork ile motorun nominal hızdaki torku arasındaki fark ise tork artışı olarak adlandırılır. Tork artışı denkleminde kullanılan değerler, Şekil 1.3' de görülmektedir.



Şekil 1.3. 185 kW güce sahip traktörün motor karakteristik eğrisi (Anonim 2015d)

Motor performans eğrisinde, maksimum tork 1095 Nm, motor hızı 1500 d/dak'dır. Traktör motorunun nominal torku 2200 d/dak olduğunda, 812 Nm olmaktadır. Traktörde ihtiyaç duyulan güç arttığında traktörün hızı düşmekte ve motorun maksimum tork hızı 1500 d/dak olmaktadır. Azalan motor hızı ile orantılı olarak traktörün torku artar. Değişken arazi koşullarında çalışırken ihtiyaç duyduğu tork ve hızda arazi koşullarına göre değişiklik gösterebilmektedir. Bu sebeple traktörün geliştirebileceği güç, değişken çalışma koşullarında büyük önem arz etmektedir. Hesaplamalarda da görüldüğü üzere tork artışı %26 olarak bulunmuştur (Anonim 2015d).

1.5. Araştırmanın Amacı

Dünyadaki nüfusun artması, sanayileşmenin hızla gelişmesi ve fosil kaynakların aşırı derecede kullanılmasına bağlı olarak yaşanan çevresel sorunların zaman içerisinde bölgesel ve ülkesel boyuttan uzaklaşarak küresel bir sorun haline gelmesi, yenilenebilir enerji kaynaklarına bakış açısını değiştirmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından biyodizelin son yıllarda üretimi Dünya’ da ve ülkemizde hız kazanmıştır. Biyodizel alternatif yakıt türlerinden birisidir. Biyodizel kullanımı; ekonomik olması, çevre kirliliği açısından daha temiz bir yakıt olması ve dışa bağımlılık yerine öz kaynaklardan elde edilerek ülke ekonomisine çok yönlü katkıda bulunması açısından önem kazanmaktadır. Biyodizel bitkisel ve hayvansal yağlardan üretilen ve diğer alternatif enerji kaynaklarına oranla arz miktarı kolaylıkla ayarlanabilen ve depolanabilen önemli bir yakıttır. Farklı oranlarda biyodizel kullanımıyla motor performansı ve tork artışının araştırılması, alternatif yakıt olarak kullanımında önemli rol oynar. Araştırmada kullanılacak olan biyodizel yakıtın üretimi, alkali katalizli transesterifikasyon metoduyla gerçekleştirilmiştir. Alkali katalizli transesterifikasyon yöntemi, kullanılan materyal ve kimyasal maddelerin ucuz olması, maliyeti düşürmesinden dolayı uygundur. Biyodizel üretimi için, Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı’na bağlı Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Enerji Tarım Laboratuvarındaki biyodizel üretim reaktöründen faydalanılmıştır. Bu araştırmada, transesterifikasyon metodu kullanılarak kanola yağından elde edilen biyodizel (B100), %5 (B5), %10 (B10), %20 (B20), %50 (B50), %80 (B80) oranlarında dizel - biyodizel karışımı ve B0 (dizel) yakıtı kullanılmıştır. Elde edilen yakıtların, motor performansı, egzoz emisyon ve tork artışı üzerine etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Yapılan testlerde, biyodizel ve farklı oranlarda biyodizel - dizel yakıt karışımları kullanılarak motor karakteristik özellikleri belirlenmiş ve güç, tork, tork artışı, yakıt tüketimi, egzoz emisyon parametreleri incelenerek dizel (B0) yakıtına alternatif oluşturabilme üzerine değerlendirmeler yapılmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Araştırma konusu ile ilgili önceki çalışmalar incelenmiş ve biyodizel üretimi, motor performansı, egzoz emisyonu ve tork artışı değerlendirmeleri dikkate alınarak 4 alt başlık altında sunulmuştur.

2.1. Biyodizel Üretimi İle İlgili Çalışmalar

Formo ve ark. (1979) yaptıkları çalışmada, piroliz yöntemi ile yüksek sıcaklıklarda bileşikler büyük moleküllerden daha küçük moleküllere dönüştürmüşlerdir. Bitkisel yağların pirolizi iki amaçla gerçekleştirilmektedir. Birincisinde bitkisel yağlar, kapalı bir kap ortamında ısı etkisiyle parçalanmaktadır. İkincisinde standart maddeler kullanılarak damıtma ile bitkisel yağlar ısı olarak parçalanmaktadır. Çalışmalarında ikinci işlem uygulanarak elde edilen yakıtın özelliklerinin dizele daha yakın olduğunu belirtmişlerdir.

Körbitz (1999) yaptığı çalışmada, alkali katalizör olarak NaOH, KOH, karbonatlar ve alkoksitleri (sodyum metoksit, sodyum etoksit, sodyum bütoksit v.b.) üretimde kullanmaktadır. Alkali katalizörlü reaksiyonu, asit katalizörlü reaksiyona göre yaklaşık 4000 kez daha hızlı gerçekleştiğinden ticari olarak en fazla kullanılan yöntem olarak açıklamıştır.

Srivastava ve Prasad (2000) yaptıkları çalışmada, belirli oranlarda bitkisel ve atık yağları dizel yakıtıyla ve bir başka çözücü ile karıştırarak inceltmişlerdir. Genellikle bitkisel ve atık yağlar dizel yakıtı ile karıştırılmaktadır. Böylece dizel yakıt kullanımı da azaltılmış olmaktadır. Seyreltme yöntemiyle elde edilen yakıtlarda, yakıt maliyeti dizel yakıtlara göre daha düşüktür. Bu yöntemle yapılan uygulamalarda en çok kullanılan bitkisel yağlara örnek olarak ayçiçek yağı, soya yağı, aspir yağı, kolza yağı, yer fıstığı yağı ve kullanılmış kızartma atık yağlar olduğunu belirtmişlerdir.

Yuji ve ark. (2002) yaptığı çalışmada, enzim katalizörlü transesterifikasyonda, yağları yağ asitlerine parçalayan enzim olan lipazın kullanılabilmesini ve bu reaksiyonların enzimin yapısı bozulmadan etki edebilmesi için yüksek sıcaklıklara ulaşmadan daha düşük sıcaklıklarda (30 - 40°C) meydana gelmesi gerektiğini belirtmişlerdir.

Haas ve ark. (2003) yaptıkları çalışmada, asit katalizörler, serbest yağ asitleri ve trigliseritleri yağ asidi metil esterine dönüştürebilmektedir, çünkü aynı anda hem esterleştirme, hem de transesterifikasyon reaksiyonu verdiğini belirtmişlerdir. Bu yöntem ile hem esterleştirme, hem de transesterifikasyon reaksiyonu elde edilmektedir. Bu nedenle

yüksek asit değerine sahip serbest yağ asitlerinden yağ asidi metil esterleri oluşturmak için asit katalizör seçimi uygun olduğunu belirtmişlerdir.

Oğuz (2004) yaptığı çalışmada, süper kritik yönteminde, bitkisel yağlar transesterifikasyon yönteminden farklı olarak, katalizör kullanmadan 350°C gibi yüksek sıcaklık ve 240 saniye gibi kısa sürelerde gerçekleştirilmekte olduğunu belirtmiştir.

Zhenyi ve ark. (2004) yaptığı çalışmada, Piroliz yönteminin zor olduğu ve maliyetin yüksek olduğunu belirtmiştir.. Ayrıca, elde edilen ürünler kimyasal olarak benzin ve dizel yakıtı olan petrol ürünlerine benzemektedir. Piroliz sırasında oksijenin uzaklaştırılması oksijenlendirilmiş bir yakıtın kullanımının bazı çevresel faydalarını da yok ettiğini açıklamıştır.

Akdere (2006) yaptığı çalışmada, pirolizin, gaz, sıvı ve katı ürün üretmek amacıyla oksijensiz ortamda organik maddelerin ısı bozundurulması olarak da tanımlandığını, pirolizin, aktif karbon üretiminde yüzyıllardan beri kullanıldığını açıklamıştır. Üretilen maddenin miktarının, uygulanan metot ve reaksiyon parametrelerine bağlı olduğunu ve yüksek miktarda katı ürün elde etmek için, hammaddenin düşük sıcaklıklarda yavaş tepkimeye sokulduğunu ve hızlı pirolizin ise maksimum sıvı ürün elde etmek için uygulandığını belirtmiştir.

Alptekin ve Çanakçı (2006) yaptıkları çalışmada, transesterifikasyon yönteminde, metanol ve etanol kullanılmakta olduğunu ve polar olması, en kısa zincirli olması, trigliseritlerle kolay olarak reaksiyon vermesi sebebiyle metanol kullanımını daha yaygın olduğunu belirtmiştir.

Sabancı ve ark. (2006) yaptıkları çalışmada, 1970' li yıllarda petrol darboğazı yaşandığını ve bu yıllarda yaşanan petrol krizi sonunda, petrol ürünlerinin piyasadan çekildiğini ve buna paralel olarak da fiyatının arttığını ve petrol kaynaklarındaki olumsuzlukların, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik çalışmaların hızlanmasına neden olduğunu belirtmiştir.

Türkan ve Kalay (2008) yaptıkları çalışmada, lipazlar, su-lipid arayüzeyinde lipidlerin hidrolizini katalizleyen triaçilgliserol hidrolazlardır. Reaksiyon sonrasında kimyasal artık ürün vermediğinden çevre dostu sayılmaktadırlar. Candida antarctica dan izole edilen Novozim 435, Thermomyces lanuginosus dan elde edilen Lipozyme TL IM, Rhizomucor miehei elde

edilen Lipozyme RM IM, Pseudomonas fluorescens dan izole edilen Amano AK gibi birçok immobilize lipaz sistemlerinin biyodizel eldesinde kullanıldığını açıklamışlardır.

Akgün ve ark. (2009) yaptıkları çalışmada, mikroemülsiyonlar, içerdiği alkolün dizel (B0) yakıtından daha az hacimsel ısı kapasitesine sahiptirler, fakat alkoller yüksek buharlaşma gizli ısısına sahiptir ve yanma odasını soğutma eğilimindedir. Bu yöntemdeki sakınca düşük sıcaklıklarda karışımın ayrışma eğiliminde olması ve alkollerin setan sayılarının az olmasıdır. Bu durum emülsiyonunda setan sayısının düşük olmasına neden olur. Setan sayısının düşük olması da yanma hücresinde doğru noktada tutuşmayı engeller. Dolayısıyla kontrolsüz biçimde yanan karışımın, gürültüye neden olduğunu ve motora zarar verdiğini belirtmişlerdir.

Aksoy (2010) yaptığı çalışmada, transesterifikasyon yönteminde, reaksiyon sıcaklığı alkolün kaynama noktasından yüksek olduğu durumlarda, alkol buharlaşmasıyla madde kaybı olacağından, alkolün fazla miktarda ortama eklenmesi gerektiğini ve katılacak alkol miktarının da katalizör türüne göre değişiklik göstermekte olduğunu belirtmiştir. Transesterifikasyonda katalizörlü ve katalizörsüz olmak üzere iki yöntem ile uygulanmaktadır. Katalizörlü transesterifikasyon reaksiyonları daha çok alkali, asidik ve enzimatik katalizör kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Son zamanlarda yapılan çalışmalarda mikroporöz zirkonyum, sülfatlı zirkonyum ve titanyum temelli zeolit gibi heterojen katalizörlerde kullanılmaya başlanmıştır. Katalizörsüz reaksiyonlarda, süper kritik proses veya ko-solvent sistemleri kullanılmakta olduğunu belirtmiştir.

Oliveira ve ark. (2010) yaptığı çalışmada, asit katalizli reaksiyonları, karboksilik asitteki hidroksil grubu (-OH) ile alkol grubunun (-OR) yer değiştirdiği kondenzasyon reaksiyonları olarak tanımlamışlardır. Biyodizel üretiminin, tersinir, ikinci dereceden reaksiyon olduğunu belirtmişlerdir. Esterifikasyonda suyun oluşumu reaksiyonun ters hidroliz yönüne kaymasına sebep olmaktadır. Suyun oluşumu ayrıca, reaksiyon sisteminde çözünme ile oluşan H_3O^+ yüzünden, asit katalizörün deaktive olmasına yardım ederek, H_3O^+ 'nın kimyasal kararlılığı yağ asidindeki karbonil grubunun protonlanmasını zorlaştırır, bu yüzden de reaksiyonun yavaşlamakta olduğu sonucuna varmışlardır.

Çengelci ve ark. (2011) yaptıkları çalışmada, transesterifikasyonun, bitkisel yağların monohidrik bir alkolle (metanol, etanol), katalizör (asidik, bazik katalizörler ve enzimler) varlığında esas ürün olarak yağ asidi esterleri ve gliserin vererek yeniden esterleştirilmesi işlemi olduğunu belirtmişlerdir. Bu yöntem viskoziteyi azaltmada en etkili yöntemdir.

Reaksiyonda yan ürün olarak di ve mono gliseridler, reaktan fazlası ve serbest yağ asitleri oluşur. Kimyasal anlamda biyodizelin, metil alkol ve bitkisel yağ esterlerinden yapılan metil ester olduğunu söylemişlerdir.

Eliçin (2011) yaptığı çalışmada bitkisel yağların B0 yakıt alternatifi olarak değerlendirilebilmesi için, öncelikle yüksek viskozite probleminin çözülmesi gerekmekte olduğunu belirtmiştir. Buna göre yüksek viskozite problemi, ya motorda bir takım değişiklikler yaparak ya da saf bitkisel yağlara çeşitli yöntemler uygulanarak çözülmeye çalışılmaktadır. Bu yöntemlerin sırasıyla, seyreltme, mikroemülsiyon oluşturma, piroliz, transesterifikasyon ve süper kritik yöntem olduğunu belirtmiştir.

2.2. Motor Performansı İle İlgili Çalışmalar

Alpgiray (2006) yapmış olduğu çalışmada Yakıt tüketimi deney düzeneğinde bulunan 50 ml' lik ölçme büreti ile hacimsel debi olarak ölçülmektedir. Bu süre kronometre ile hesaplanarak, 1 litre yakıtın harcanması için geçen süre için oranlanarak L/h' e çevrilir. Saatlik yakıt tüketiminin kg/h olarak elde edilebilmesi için, litre/saat olan saatlik yakıt tüketiminin kullanılan yakıtın deneme esnasında giriş sıcaklığındaki yoğunluk ile çarpımına eşit olduğunu belirtmiştir.

Bolat (2007) yaptığı çalışmasında, biyodizel karışım oranı arttıkça yakıtın ısı değerinin düştüğünü ve yüksek motor hızlarındaki yanma süresinin kısa olduğunu belirtmiştir. Bu nedenle, B50, B80 ve B100 yakıtlarının, nominal hıza yaklaştıkça güç ve tork değerleri azalırken, saatlik yakıt tüketim eğrisinin ise yükselmekte olduğunu belirtmiştir.

Karabektaş ve Terger (2007) yaptıkları çalışmada, B0 yakıtı ve soya yağından elde edilen biyodizel ile düşük ve yüksek motor hızlarında daha düşük tork değerleri ortaya çıktığını belirtmiştir. Elde edilirken, en yüksek tork değerleri 2200 - 2600 d/dak aralığında gerçekleşmiştir. Maksimum tork 2400 d/dak' da motor hızında B0 yakıtı oranla soya yağ metil esteri ile oluşan tork farkı %4,34 olarak belirlenmiştir. 1800 d/dak' da %2,20, 3200 d/dak' a ise %7,23 oranlarında daha düşük tork değerleri elde edilerek, soya yağ biyodizelin sahip olduğu düşük alt ısı değeri nedeniyle motor efektif gücünde olduğu gibi motor torkunda daha düşük değerler ortaya çıktığını belirtmişlerdir.

Koçak (2008) yaptığı çalışmasında, fındık yağından elde edilen biyodizelin, Diesel motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılabilirliğini test etmiştir. Biyodizel, 4 silindirli direk püskürtmeli ve turbo şarjlı bir diesel motorunda 1750 - 4500 d/dak arasında tam yük verilerek

teste tabi tutulmuştur. Test esnasında motor performans ve emisyon değerleri ölçülmüştür. Test sonuçlarına göre, biyodizel yakıtı ile elde edilen motor performans değerleri, dizel ((B0) yakıtı değerlerine yakındır. Tork ve güç değerlerine bakıldığında düşüş miktarı sırasıyla %1,16 ve %1,61 oranında düşüş göstermiştir. Motor gücündeki bu düşüşün nedeninin ise; viskozite, yoğunluk ve ısı değer gibi özelliklere bağlı olduğunu belirtmişlerdir.

Çengelci ve ark. (2011) yaptıkları çalışmada, biyodizel kullanımı ile motor gücünde B0 yakıtına göre 3000 d/dak' da, %6,27 oranında azalmaktadır. Bu motor gücündeki düşüşün nedeni; yakıtta ait viskozite, yoğunluk, viskozite ve ısı değeri gibi özelliklere bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Deneysel çalışma sonucunda, B100 yakıtın ısı değeri, B0 yakıtına göre, %14,61 daha düşük çıkmıştır. B100 yakıtın düşük ısı değere sahip olması, efektif motor gücünde azalmalara neden olmaktadır. B100 yakıtının viskozitesi ise, B0 yakıtına göre 1,77 kat daha büyük olduğunu belirtmişlerdir. Kinematik viskozite atomizasyon kalitesi, yakıt damlacık boyutunu da etkilemektedir. Yüksek viskozite kötü yakıt atomizasyonuna neden olmakta, yanma verimi azalmakta ve dolayısıyla motor gücü de azalmakta olduğunu belirtmişlerdir.

Eliçin (2011) yaptığı çalışmada, petrol kökenli B0 yakıtının, diğer yakıt karışımları kanola metil esterinin kullanıldığı ortamda ortaya çıkan güç değerleri arasındaki farkların kabul edilecek düzeyde olduğu, bu farklılıkların kanola yağı metil esterinin, ısı değeri ile yoğunluk ve yüksek viskozitesinden kaynaklandığını belirtmiştir. Ayrıca kanola yağı metil esterinin ısı değerinin, B0 yakıtının ısı değerinden düşük olması, kanola yağı metil esterini ve karışımı kullanıldığında elde edilen güç değerlerinin düşük çıktığını belirtmiştir.

Özer ve ark. (2011) yaptıkları çalışmada, B0 yakıtının içerisine katılan yakıt oranı arttıkça, özgül yakıt tüketiminde artmış olduğunu belirtmişlerdir. Özgül yakıt tüketiminin azalmasındaki en büyük etken kanola biyodizelin ısı değerinin standart B0 yakıtından düşük olmasını, standart B0 yakıtının içerisine katılan kanola yağ metil esterinin miktarı arttıkça yakıt tüketimi karışımın ısı enerjisinin düşmesinden dolayı artmaktadır. Diğer bir sebep de kanola yağı metil esterinin yoğunluğunun standart B0 yakıtından yüksek olmasıdır. Standart B0 yakıtın içerisine katılan kanola biyodizelin artması ile birlikte yakıt karışımının yoğunluğu artmakta olduğu, bu artma ile birlikte aynı hacimde daha fazla yakıt gönderilmekte bu da farklı yakıt oranlarda özgül yakıt tüketimi artacağını belirtmişlerdir.

Şahin (2013) yaptığı çalışmada, motorun verdiği döndürme torku (M_d) önce rotora tesir etmekte, daha sonra rotor ile stator arasındaki bulunan sıvı aracılığıyla stator dönmeye çalıştığını ve stator üzerinde bulunan kol yük hücresine baskı yaparak, bir devirde $2\pi r$ yolu boyunca kuvvet uygulamaktadır. Bu kuvvetin oluşturduğu tork, motorun döndürme torku olarak tanımlamıştır.

Behçet ve Çakmak (2014) yaptıkları çalışmada, bütün motor hızlarında yüksek ısı değerine sahip olmasından dolayı B0 yakıtın, karışım yakıtlarına göre daha fazla güç ürettiğini belirtmiştir. B0 yakıtı ile kıyaslandığında %50 oranında balık yağ ve fındık yağ metil esterleri karışım yakıtlarının kullanılmasıyla motor gücünde sırası ile %4,2 ve %5,7 azalma olduğunu, güçteki azalmanın nedeni, metil esterlerin B0 yakıtından daha yüksek yoğunluk ve viskoziteye sahip olmasından dolayı yakıt akış problemi olması, enjektörden standart B0 yakıtında olduğu gibi atomize edilerek püskürtülememesi ve ısı değerinin B0 yakıtından daha düşük olduğunu belirtmişlerdir.

Çelik ve ark. (2015) yaptıkları çalışmada biyodizelin n-heptan karışım yakıtlarına göre yüksek viskozite ve yoğunluğu; yakıtın silindir içerisindeki nüfusunu, atomizasyonu etkiler ve yakıt/hava karışımının kötüleşmesine sebep olur. Yakıtlara ilave edilen n-heptanın viskozite ve yoğunluğu, PH0 yakıtından düşüktür ve n-heptan ilave edilen yakıtların motor efektif gücün yüksek olması, atomizasyonunun iyi ve yanma verimliliğinin artmasının sonucu olduğunu belirtmişlerdir.

Sarıdemir ve Albayrak (2015) yaptıkları çalışmada kanola biyodizel, standart B0 yakıtının içerisine hacimsel olarak %20, %40 ve %60 oranlarında ilave edilerek, B0 yakıtı en düşük özgül yakıt tüketimine 2000 d/dak' da elde edildiğini belirtmiştir. Aynı motor hızında, B20, B40 ve B60 yakıtlarında, özgül yakıt tüketimi miktarlarında sırası ile %12,25, %21,15 ve %33,2 oranında artış olduğu belirlenmiştir. Kanola biyodizel karışımlı yakıtların yoğunluğu B0 yakıtından yüksek olması, özgül yakıt tüketimi artış göstermektedir. Ayrıca ısı değerlerinin B0 yakıtından düşük olması nedeniyle, aynı miktarda enerji elde etmek için daha fazla yakıt kullanmak gerekmesidir. Bu durum kanola biyodizel yakıt karışımları özgül yakıt tüketiminin, standart B0 yakıtına göre daha yüksek olmasına neden olduğunu belirtmiştir.

2.3. Motor Tork Artışı İle İlgili Çalışmalar

Costa ve Oliviera (2006) yaptıkları çalışmada, tavuk yağından elde edilen B100 yakıtı ve farklı oranlarda karıştırılarak biyodizel yakıtlarının, motor performansı açısından yakıt

tüketimindeki büyük değişikliklere, önemli güç kayıplarına ve tork değişimindeki azalmalara neden olduğunu, tork artışının motorun çalışma aralığında tam yükteki maksimum tork değeri ile nominal tork değeri arasındaki yüzdesel değişim olarak hesaplandığını yorumlamışlardır.

Bolat (2007) yaptığı çalışmada, tork artışı gibi bir parametreyi çalışmasında ele alarak, yakıtlar arasındaki maksimum tork farkının %3 oranı seviyesinde olduğunu ve motor iş başarısına bu sınırlı değişimin nasıl etkide bulunduğunu daha net biçimde yorumlamıştır. Tork artışını, maksimum tork değeri ile nominal hızdaki motor torkun değişimindeki yüzdesel ifadesi olarak tanımlamıştır. Yakıtın biyodizel yüzdesinde artışla birlikte kinematik viskozitesindeki artışın, enjektörlerde gerçekleşmesi gerekli atomizasyonu sınırlayıcı bir etkide bulunmasının, özellikle diesel yakıt pompalarında bir sorun oluşturduğunu belirtmiştir. Yakıt pompa kullanım ömrü ilerledikçe etkilerin ne yönde olacağını irdelenmediği bu çalışmada, yanma veriminin viskozite ile uğradığı düşüğe de bağlı olarak B80 ve B100 yakıtlarının efektif güç değerlerinde düşüş olduğunu, güçte yaşanan düşüşün, her bir genişleme zamanında elde edilen tork miktarı üzerinde de belirleyici olduğunu, tork değerlerinde, B0 yakıtla karıştırılan biyodizel miktarı arttıkça doğrusal olarak azaldığını, B50 yakıtının B0 yakıtla eşdeğer tork düzeylerini sağlarken; B2, B5, B10 ve B20 tork değerlerinin, B0 yakıtın tork çıktıları üzerinde seyrettiğini belirtmiştir.

Demir (2013) yaptığı çalışmada, diesel motorlarında, motor hızı arttırılmaya devam edilirse, tork azalmaya başlar. Bunun nedeni, hacimsel verimin azalmasıdır. Yani yüksek hızlarda motorun nefes alma kabiliyeti düşer. Diesel motorda 18/1 ile 26/1 arasında değişen bir sıkıştırma oranı elde edilirken, pistonların bağlı olduğu krank miline daha büyük döndürme kuvveti yani tork uygulanır. Sıkıştırma oranının, yüksek basıncın ve dizel (B0) yakıtının setan sayısının yüksek olması, motor torkunun artmasına neden olmaktadır. Ayrıca diesel motorun yanma odalarında, daha yüksek sıcaklıklarda ve sıkıştırma oranlarında, daha büyük yanma basıncı meydana gelir. Bu basınç; ana hatları ile motorun hızına, sıkıştırma oranına, silindir içerisine alınan yakıt - hava karışımının miktarına ve yanma verimine bağlıdır. Bu nedenle pistonlar üzerinden krank miline aktarılan tork artmakta olduğunu belirtmiştir.

FioreseI ve ark. (2012) yapmış oldukları çalışmada, regresyon denklemde artan biyodizel yakıtın oranına göre, maksimum tork ve maksimum güç değişimindeki azalmayla, motor tork artış değişimi de azaldığını belirtmiştir. Regresyon ($y = - 0,094249x + 245,641001$) denklemindeki bu düşüş, B0 yakıtından itibaren B5, B20, B40, B60, B80 ve B100

yakıtlarında da devam etmektedir. B0 yakıtı ile karıştırılan biyodizel oranı arttıkça tork artış değeri azalmaktadır. Biyodizel oranının artmasıyla, maksimum güç ve maksimum tork değişiminin azalacağını söylemişlerdir.

2.4. Egzoz Emisyona İle İlgili Çalışmalar

Xiao ve ark. (2000) yaptıkları çalışmada, yakıt olarak dizelin kullanımında duman koyuluğunun yüksek çıkmasının ana sebebinin, yakıtın içeriğindeki aromatik bileşiklerin gösterilebileceğinin, biyodizel yok denecek kadar az aromatik bileşik ve sülfür içermesinin is emisyonlarında önemli azalmalar sağladığını, böylece oksijenli yakıtların is ve partikül emisyonlarını azalttığını da belirtmişlerdir.

Krahl ve ark. (2002) yaptıkları çalışmada, kanola yağı biyodizel yakıtı ile Farymann motor tipi 18 D, hava soğutmalı, 4,2 kW, tek silindir, dört zamanlı DI diesel motor ve Fendt traktör tipi 306 LSA DI diesel motoru kullanmışlardır. Yapılan çalışmalarda biyodizel yakıtı kullanımı ile NO_x emisyonlarının arttığı tespit edilmiştir ve biyodizelin yüksek setan sayısından kaynaklandığı belirtilmiştir.

Oğuz (2004) yaptığı çalışmasında, TS 11365 standardına uygun olarak duman koyuluğu, egzoz gazı içerisinde bulunan, şeffaf olmayan parçacıkların, gazdan geçen ışığın aydınlatma şiddetini (aydınlanan birim yüzey için ışık akısını) azaltma yüzdesidir. Tam şeffaf gaz için duman koyuluğu %0 olmaktadır. Işığı tamamen absorbe ederek, yani geçirgen olmayan gaz için duman koyuluğu %100 olduğunu belirtmiştir.

Sezer (2004) yaptığı çalışmada, Briggs and Stratton-Vanguard marka dört zamanlı, tek silindirli deney motorunun emme havasına 0,5 – 1 – 1,5 bar basınçta O₂ ilave etmiştir. Motor deneyleri tam gaz ve yükte, 1400, 1800, 2200, 2600, 2800, 3000, 3400 ve 3600 d/dak' da yapılmıştır. İlave oksijen gazı ile, CO emisyonunda azalma meydana geldiği görülmüş, özellikle kısmi yükte sıfır emisyon sınırına yaklaşmıştır. CO₂ emisyonunda artış görülmüştür. Bu durum yanmanın iyileştiğini ve ısıl verimin arttığını göstermektedir. Egzozda görülen oksijen miktarında da artış meydana gelmiştir. Bu durumun ilave edilen oksijenin bir kısmının reaksiyona girmeden egzozdan atıldığına işaret olduğunu belirtmiştir.

Akdere (2006) yaptığı çalışmada, biyodizelin üretildiği yağlı tohum bitkisinin yetiştirilmesi esnasında fotosentez ile atmosferden CO₂ alınması, üretilen yakıtın kullanılması ile ortaya çıkan CO₂' nin dengelenmesi yönünden önemli olduğunu belirtmiştir. Biyodizelin içerisinde bulunan oksijen ile daha iyi yanma sağlanarak karbonmonoksit (CO), duman

koyuluğu ve partikül madde emisyonlarının azaldığını belirtmiştir. Biyodizelin, dizel (B0) yakıtı kullanımından kaynaklanan ve insan sağlığını tehdit eden birçok çevresel faktörü ortadan kaldırmakta olduğunu ve potansiyel kanser nedeni olan polisiklik aromatik hidrokarbon ve türevlerinden kaynaklanan emisyonlarda %80 - 90 oranlarda azalmalar saptandığını belirtmiştir. Bu azalma değeri dikkate alınması gereken bir oran olduğunu ve biyodizelin çevre dostu olduğunu belirtmiştir.

Karabektaş ve Ergen (2007) yaptıkları çalışmada, motor hızının 3000 d/dak' da, NO_x emisyonunun, soya yağ metil esteri kullanıldığında B0 yakıtına oranla %21,20 oranında artış olduğunu, tüm motor hızları göz önüne alındığında ortalama olarak %18,23 oranlarında arttığını belirtmiştir. NO_x emisyonunun artış oranı için en belirgin sebebin, B100 yakıtın içerdiği %10 civarındaki oksijen ve oluşan biyodizel - hava karışımındaki hava fazlalık katsayısı değeri yüksek olmasının neden olabileceğini, B100 yakıtının alternatif bir motor yakıtı olarak B0 yakıtına oranla gösterdiği en önemli sorunun da, kullanımı sonucu ortaya çıkan NO_x emisyonlarındaki artıştan kaynaklandığını belirtmiştir.

Aktaş ve Sekmen (2008) yaptıkları çalışmada, biyodizelin CO emisyonları B0 yakıtına göre daha düşük olarak ölçmüştür. B100 yakıtının oksijen içermesinin bu azalmanın temel sebebi olduğunu, diesel motorlar genellikle fakir karışımla çalıştığından CO emisyonunun düşük çıktığını belirtmişlerdir.

Kılıçkan ve ark. (2008) yaptıkları çalışmada, B0 yakıtı, pamuk yağı metil esteri ve pamuk yağı etil esteri yakıtlarının motor hızlarına bağlı denemelerde özellikle karışimli yakıtlar için yağ oranının artmasıyla duman koyuluğunda az da olsa bir artış gözlemlenmiştir. Yanma sonucu bazı pamuk yağı metil esteri ve pamuk yağı etil esteri yakıtlarının karışımlardaki duman miktarının B0 yakıtına göre daha fazla olduğunu, emme işleminin son sıcaklığına bağlı olarak silindirdeki havanın sıcaklığının arttığını ve hacimsel verimin düşerek silindire giren hava miktarını azalttığını, buna bağlı olarak da normal yanma sağlanmadığını belirtmişlerdir.

Usta ve ark. (2008) yaptıkları çalışmada, etanol ve iki farklı biyodizeli, standart B0 yakıtı ile karşılaştırmış, kullanılan yakıtların CO emisyonu değişiminin, B0 yakıtına göre azaldığını ve bu azalmanın temel sebebinin B100 yakıtın bünyesinde bulunan oksijenden kaynaklandığı sonucunu elde etmişlerdir

Özer ve ark. (2011) yaptıkları çalışmada, düşük ve orta motor hızlarında kanola yağı metil esteri içerisinde bulunan oksijenin, karışımın iyi yanmasına ve silindir sonu sıcaklığın yükselmesine neden olduğunu, silindir içerisine biriken ve yanmayan yakıt karışımlarının aniden yanmasının da NO_x emisyonlarının artmasına neden olan bir başka etmen olduğunu, yüksek motor hızlarında ise artan yanma periyodu ve yanmanın kötüleşmesi ile birlikte yanma sonu sıcaklığının azaldığını ve NO_x emisyonlarının da azaldığını belirtmiştir.

Aysal ve ark. (2014) yaptıkları çalışmada, içten yanmalı motorlardan kaynaklanan NO_x emisyonlarının birçoğu termal NO_x mekanizması yoluyla oluşmaktadır. Termal NO_x yanma odasındaki nitrojenin yüksek sıcaklıklarda oksidasyonu yoluyla oluşan NO_x olarak adlandırıldığını ve NO_x oluşum oranı yanma sıcaklığı, sıcaklığa nitrojenin maruz kalma süresi ve yanma odasındaki reaksiyon bölgelerindeki oksijen içeriğinin bir fonksiyonu olduğunu belirtmişlerdir.

Sarıdemir ve ark. (2015) yaptıkları çalışmada, kanola biyodizel karışimli yakıtların duman koyuluğu emisyonlarında, B0 yakıtı kullanımına göre tüm motor hızlarında önemli düşüşler olduğunu belirtmişlerdir. Motor hızı arttıkça, yanma kalitesi artarak duman koyuluğu azalmakta ve kanola biyodizel karışimli yakıtlar karışımların duman koyuluğu emisyonunda azalma, B100 yakıtı içerisinde bulunan oksijen nedeni ile, yakıtın zengin karışım bölgesinde daha verimli şekilde yanması ile açıklanabileceğini söylemişlerdir. B0 yakıtı kullanımı ile duman koyuluğunun yüksek çıkmasının ana nedeni olarak da, yakıtın içeriğindeki aromatik bileşikler gösterilebilir. Metil esterin yok denecek kadar az aromatik ve sülfür içermesi is emisyonlarında önemli azalmalar sağlamakta olduğunu belirtmişlerdir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Dizel ve Biyodizel Yakıtları

Denemelerde bu çalışma kapsamında Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Enerji Tarım Laboratuvarında, kanola yağından üretilen biyodizel ile piyasada satışa sunulan dizel (B0) yakıtları kullanılmıştır. Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsünde üretilen B100 yakıtın analiz sonuçları Ek 1’ de verilmiştir. Biyodizel - dizel yakıtı karışımlarının kinematik viskozite, parlama noktası, akma noktası değerleri, Tübitak Marmara Araştırma Merkezi Enerji Enstitüsü Yakıt Analiz Laboratuvarında yapılan analizler ile belirlenmiştir. Analiz sonuçları, Ek 2’ de verilmiştir. Yoğunluk değerleri 15°C’ de, dansimetre ölçüm cihazı ile ölçülmüştür. Kullanılan yakıtların ölçüm sonucunda belirlenen bazı özellikleri Çizelge 3.1’ de verilmiştir. B0 yakıtın fiziksel ve kimyasal özellikleri, Tüpraş Türkiye Petrolleri Anonim Şirketinden alınmıştır. B0 yakıtın fiziksel ve kimyasal özellikleri Ek 3’ de verilmiştir.

Çizelge 3.1. B0, B5, B10, B20, B50, B80 ve B100 yakıtların analiz değerleri

| Yakıtlar | B0 | B5 | B10 | B20 | B50 | B80 | B100 |
|--|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Yoğunluk (g/cm ³ , 15 °C) | 0,834 | 0,836 | 0,838 | 0,842 | 0,856 | 0,864 | 0,878 |
| Kinematik Viskozite (mm ² /s, 40°C) | 2,0...4,5 | 2,825 | 2,905 | 3,123 | 3,882 | 4,685 | 4,9 |
| Parlama Noktası (°C) | >55 | 61,5 | 64 | 67 | 77,5 | 90,5 | 150 |
| Akma Noktası (°C) | -35..-15 | -24 | -23 | -21 | -18 | -9 | -19 |
| Net Yanma Isısı (MJ/kg) | - | 45,92 | 45,51 | 44,78 | 42,88 | 40,97 | 40,004 |

Alkali Katalizli transestrifikasyon yöntemiyle elde edilen kanola biyodizelin özellikleri, dizel (B0) yakıtı özellikleri ile karşılaştırılmıştır. Kanola yağı metil esteri yakıtının yoğunluk değeri, B0 yakıtı göre artış göstermiştir. Kullanılan kanola biyodizel yakıt oranı

arttıkça, yoğunluk değeri artmaktadır. B0 yakıtı ile karşılaştırıldığında, B100 yakıtının viskozitesi daha yüksek çıkmıştır. Biyodizel - dizel yakıtı karışım oranı arttıkça, viskozite daha da yükselmiştir. Kanola biyodizel yakıtının viskozitesi ASTM 6751 ve EN 14214 biyodizel standartlarında belirtilen viskozite sınır değerleri içerisinde çıkmıştır (Anonim 2010a). Bu çalışmada kanola yağından üretilen biyodizelin sahip olduğu viskozite değeri literatürdeki çalışmalarda elde edilen viskozite değerleri ile benzerlik göstermektedir. B100 yakıtın sahip olduğu yoğunluk değeri EN 14214 standartlarında belirtilen sınır değerlerin arasında çıkmıştır. B100 yakıtın yoğunluğu, B0 yakıtı ile karşılaştırıldığında yaklaşık %5 oranında daha yüksek olduğu görülmektedir. B100 yakıtın parlama noktası, B0 yakıtından daha yüksektir. Yakıtların akmaya başladığı en düşük sıcaklık derecesine akma noktası denir. Akma noktası, motorun düşük sıcaklıklarda çalıştırılması sırasında önem kazanmaktadır. Yüksek akma noktasına sahip yakıtlar ön ısıtma yapılmadan kullanılmaları halinde başta ilk hareket zorlukları olmak üzere bazı problemlere neden olmaktadır. B0 yakıtının akma noktası, -35 ile -15°C arasındadır. B0 yakıtın akma noktası B100 yakıtından daha düşüktür. B100 yakıtının akma noktası, -19°C' ye kadar düşmüştür. biyodizel oranı arttıkça, yanma ısı düşmektedir. Elde edilen B100 yakıtı farklı oranlarda B0 yakıtı ile karıştırılarak kullanıldığında, diesel motoru üzerinde denemeler sürecinde herhangi bir modifikasyon yapılmamıştır.

3.1.2. Deney Motorunun Teknik Özellikleri

Deneyleyler, Namık Kemal Üniversitesi Çorlu Meslek Yüksekokulu Otomotiv Teknolojisi Programı Motor Test Laboratuvarında yapılmıştır. Yapılan deneyde test motoru olarak, dört silindirli, dört zamanlı, hava soğutmalı Fiat 50 NC marka bir diesel motoru kullanılmıştır (Şekil 3.1). Bu motor, Fiat marka kamyonette kullanıldığı gibi ve Fiat marka traktörde de kullanılmaktadır.



Şekil 3.1. Denemede kullanılan diesel motorun görünüşü

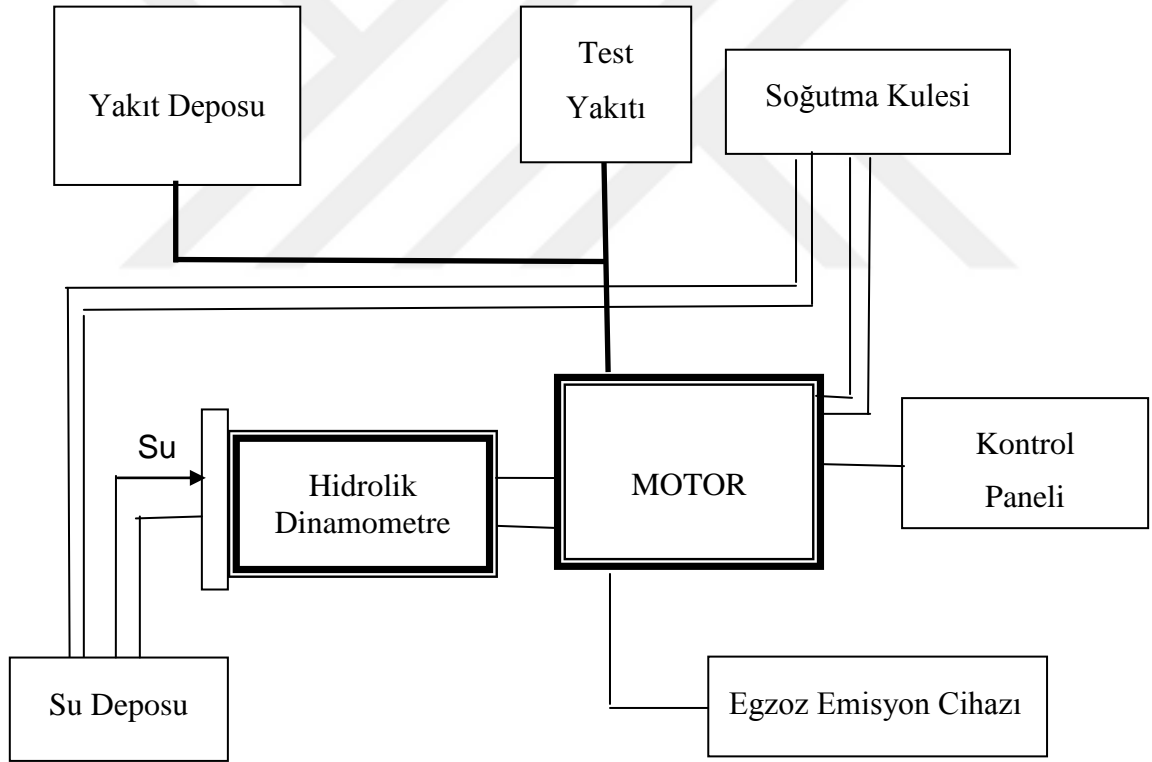
Araştırmada kullanılan diesel motora ait teknik özellikler Çizelge 3.2' de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Deney motorun teknik özellikleri

| | |
|-----------------------------|-------------------------------|
| Motor Tipi | Fiat 50 NC |
| Silindir Adedi | 4 |
| Tipi | Direkt Injection Diesel |
| Çap × Strok | 104×115 mm |
| Hacim (cm ³) | 3908 |
| Maksimum Motor Gücü (Hp) | 90 |
| En yüksek güçte motor hızı | 3500 d/dak |
| En yüksek torkta motor hızı | 1700 d/dak |
| Yakıt Pompası | Rotatif tip, otomatik avanslı |
| Hava Filtresi | Yağ banyolu, ön temizleyicili |

3.1.3. Deney Düzeneği

Dört silindirli diesel motorun yakıt deposu iptal edilerek harici bir depo hazırlanmıştır. Harici depodan dizel (B0) yakıtı besleme pompasına bir hat çekilmiştir. Besleme pompasından alınan bir hat yakıt ölçüm düzeneğine gitmektedir. Ölçüm düzeneğinden geçen dizel (B0) yakıtı enjeksiyon pompasına bir hat yardımıyla aktarılmıştır. Yakıt sisteminde geri dönüşten alınan başka bir hat tekrar yakıt ölçere verilmektedir. Ölçümü yapılan yakıt bilgileri elektronik güç ölçüm ünitesinde toplanmış ve toplanan veriler buradan bilgisayara aktarılmıştır (Şekil 3.2). Dinamometrenin şaft mili girişine bağlanan motor maksimum hızda çalıştırılmıştır. El ile kumanda ünitesi vasıtasıyla motor yüklenerek farklı hızlarda güç, tork ve yakıt tüketimi değerleri kaydedilebilmektedir. Her bir yakıt karışımı için denemeye başlanmadan önce denemesi yapılacak yakıt ile çalıştırılarak diğer yakıt türünden yakıt kalıntısının kalmamasına çalışılmıştır.



Şekil 3.2. Deney düzeneğinin genel şeması

3.1.4. Hidrolik Dinamometrenin Teknik Özellikleri

Araştırmada kullanılan BT 190 hidrolik dinamometrenin maksimum frenleme gücü 160 Hp ve maksimum hızı 6000 d/dak' ya sahip olan sulu tip bir modeldir (Şekil 3.3). Hidrolik dinamometrenin teknik özellikleri Çizelge 3.3' te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Hidrolik dinamometrenin teknik özellikleri

| | |
|------------------------------------|-------------------------------|
| Fren Modeli | BT190 |
| İmalat Yılı | 2002 |
| Maksimum Frenleme Gücü | 160 Hp |
| Maksimum Hızı | 6000 d/dak |
| Maksimum Tork | 750 Nm |
| Yük Hücresi Kapasitesi | 2500 N |
| Maksimum Güç İçin Su İhtiyacı | 2.4 m ³ /h |
| Fren Su Basıncı | 1-2 kg/cm ² |
| Maksimum Fren Suyu Çıkış Sıcaklığı | 60°C |
| Su Girişi | 1 ¼" |
| Su Çıkışı | 2" |
| Fren Kontrol Tipi | Kalaycı Fan Perdeleri İle |
| Ağırlık Sistemi | Metrik-Elektronik Yük Hücresi |
| Fan Adedi | 1 |
| Elektrik İhtiyacı | 220/380 V.50 Hz 3 Faz |
| Dönüş Yönü | Sağ Dönüşlü |
| Ölçüm Hassasiyeti | ±0,01 |

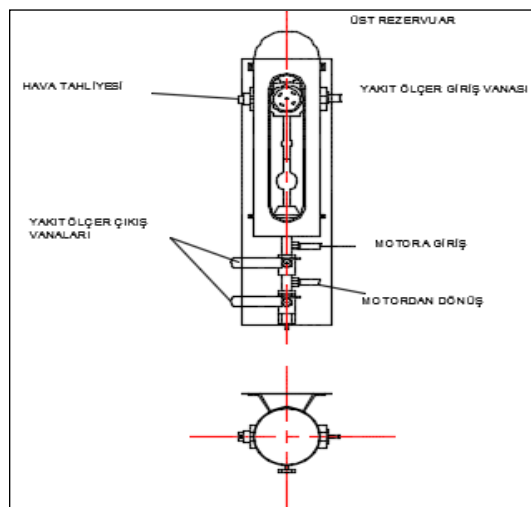


Şekil 3.3. BT 190 tipi hidrolik dinamometre ve kontrol paneli

Dinamometreye bağlı kontrol paneli bulunmaktadır. Kontrol paneli üzerinde motor hızı, torku, gücü, emme havası sıcaklığı, emme hava basıncı, motor yağ sıcaklığı, yağ basıncı, motor soğutma suyu giriş ve çıkış sıcaklıkları, egzoz gaz sıcaklığı, fren suyu giriş sıcaklığı ve fren suyu giriş basıncı değerlerini göstermektedir. Kontrol paneli üzerindeki düğmeler manuel olarak kullanılabilir.

3.1.5. Yakıt Tüketimi Ölçüm Sistemi

Yakıt deposundan gelen yakıt ölçme brütüne gelmektedir. Yakıt miktarı yakıt brütü üzerindeki mevcut olan 50 ml ve 100 ml' lik balondaki yakıtın tüketilmesiyle ölçülmektedir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Yakıt tüketimi ölçüm ünite şeması

3.1.6. Soğutma Kulesi

Denemede motorun soğutulabilmesi için motorun dışında bulunan bir soğutma kulesi kullanılmıştır (Şekil 3.5). Motor soğutma suyu giriş ve çıkış sıcaklıkları kontrol paneli üzerindeki ekrandan okunabilmektedir. Motor soğutma suyunun giriş ve çıkış sıcaklık değerleri ayarlandıktan sonra dijital termometre güç sıcaklık limit kontağı, selenoid valfe kumanda etmekte ve sıcak suyla karışması için su tankından taze soğuk su dolmaktadır. Taze soğuk su dolumu, soğutma suyunun alt limitine ulaşınca kadar devam etmektedir. Deneyler esnasında soğutma suyunun giriş ve çıkış sıcaklık değerleri 80 - 90 °C' dir.



Şekil 3.5. BT 190 hidrolik dinamometre kullanılan soğutma kulesi

3.1.7. Egzoz Emisyon Ölçüm Cihazı

Yakıtların yanması sonucu oluşan atık gazların ölçümü için Namık Kemal Üniversitesi Çorlu Meslek Yüksekokulu Otomotiv Teknoloji Laboratuvarında bulunan, Bilsa marka Mod 2200 egzoz emisyon gaz analiz cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.6). TS 11366 standardında belirtilen CO, CO₂, HC, O₂, Lamda ve AFR ölçümleri gerçekleştirilmektedir. Bilsa marka Mod 2200 egzoz emisyon gaz analiz cihazının bazı teknik özellikleri Çizelge 3.4 'de verilmiştir (Anonim 2011a).



Şekil 3.6. Mod 2200 egzoz emisyon gaz analizi cihazı

Çizelge 3.4. Egzoz emisyon gaz analizi cihazının teknik özellikleri

| Parametreler | Ölçme Sınırı | Ölçüm Hassasiyeti |
|-------------------------|----------------|-------------------|
| CO | 0 - %10 | %0,001 |
| CO ₂ | 0 - %20 | %0,01 |
| HC | 0 - 1000 ppm | 1 ppm |
| O ₂ | 0 - %25 | %0,01 |
| CO Corr | 0 - %10 | %0,001 |
| NO _x | 0 – 5000 ppm | 1 ppm |
| λ | 0,5 - 2.00 | 0,001 |
| AFR | 5 - 30 | - |
| Motor Yağ Isısı | 0 – 150°C | 1°C |
| Çalışma Ortam Sıcaklığı | 5 °C.....+50°C | %0,01 |

3.1.8. Egzoz Gazlarının Duman Koyuluğu Ölçüm Cihazı

Duman koyuluğu (K faktörü); egzoz gazı içerisinde bulunan parçacıkların, gazdan geçen ışığın aydınlatma şiddetini (aydınlanan birim yüzey için ışık akışını) azaltma yüzdesidir. Tam şeffaf gaz için duman koyuluğu %0' dır. Işığı tamamen absorbe eden, yani geçirgen olmayan gaz için duman koyuluğu %100' dür (Oğuz 2004). TS 11365 standardına göre K faktörü, ışık absorpsiyon katsayısı olup, egzoz gazı içerisinde bulunan, şeffaf olmayan parçacıkların, gazdan geçen ışığın aydınlatma şiddetinin (aydınlanan birim yüzey için ışık akışının) azaltılmasıyla, ilgili bir katsayıdır (Anonim 2011b). Egzoz gazlarının duman koyuluğunun ölçümünde, Mod 2100 marka cihaz kullanılmıştır. Mod 2100 emisyon cihazının ölçüm bileşenleri, ölçme aralıkları ve hassasiyetleri Çizelge 3.5' de verilmiştir.

Çizelge 3.5. Egzoz duman koyuluğu ölçümünde kullanılan cihazın teknik özellikleri

| Ölçüm | Ölçüm Aralığı | Ölçüm Hassasiyeti |
|-----------------------------|----------------|----------------------|
| Opasite (Pusluluk Derecesi) | %0 – 100 | %0,1 |
| K (Karartma Katsayısı) | 0 – 9,99 | 0,01 m ⁻¹ |
| Hız (d/dak) | 0 - 9990 d/dak | 10 d/dak |

3.1.9. Araştırmada Kullanılan Diğer Cihazlar

Deney esnasında tüketilen yakıtın ağırlığını ölçmek için BEL Engineering marka hassas terazi kullanılmıştır. Kapasite ölçümü 1000 g ve 0,01 g hassasiyetinde, dijital, elektrikli terazi kullanılmıştır.

Deney yakıt tüketiminin ölçülmesinde Sportline 2832 marka, 0,01 saniye hassasiyetinde dijital kronometre kullanılmıştır.

3.2. Yöntem

3.2.1. Kanola Yağından Biyodizelin Üretilmesi

Biyodizel üretimi için kullanılan kanola yağı Lüleburgaz/Kırklareli' de yağ üretimi yapan Bunge Gıda Yağ Şirketi' nden temin edilmiştir. Kanola yağından biyodizel üretimi için, Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı'na bağlı Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Enerji Tarım Laboratuvarındaki biyodizel üretim reaktöründen faydalanılmıştır. Kanola yağının biyodizel dönüştürülmesi ise transesterifikasyon yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Karadeniz tarımsal araştırma enstitüsü biyodizel üretim reaktörü

60 litre kanola yağı pilot tesiste bulunan yağ tankına konulmuştur. Buradan yağ reaktör tankına pompalanmıştır. Reaktörde yağ en iyi reaksiyon sıcaklığı (en iyi ester verimi) olan 60°C' ye kadar ısıtılmıştır. Termostat kontrolü sayesinde reaksiyon boyunca sıcaklığın sabit tutulması sağlanmıştır. Karıştırıcı ile karıştırılarak yağ sıcaklığının her yerde homojen olması sağlanmaya çalışılmıştır. Transesterifikasyon yönteminde ilk basamakta 60 litre kanola yağına hacimsel olarak %20' sine kadar tekabül eden 12 litre metil alkol ve 3,5 g/L oranında, 210 gram NaOH katalizör miktarı kullanılmıştır. Titrasyon testi ile belirlenen 210 gram sodyum hidroksit birlikte 12 litre metil alkol bir kaba konup tamamen çözününceye kadar karıştırılarak metoksit elde edilmiştir. Sonra katalizör tankında 60°C' ye kadar ısıtılmış olan 60 litre kanola yağı ve hazırlanan metoksit birbiriyle çok iyi karıştırılarak reaksiyon

başlatılmıştır. Karıştırma işleminde karıştırıcının hızı PLC sisteminden 80 d/dak' ya ayarlanmıştır. Reaktörde kanola yağı ve metoksit karışımı 120 dakika karıştırılmıştır. Sonra karıştırıcı ve ısıtıcı durdurulmuştur. Gliserinin çökmesi için 60 dakika beklenilmiş ve dışarı alınmıştır. Reaksiyon, bir nükleofilik yer değiştirme reaksiyonudur. Burada gliserin, metanol ile yer değiştirmekte ve biyodizel meydana gelmektedir. Faz ayırma işleminde, oluşan gliserin dibe çöker. Üst tarafta kalan biyodizel yakıtı alınır. Daha sonra ikinci aşamaya geçilir. İşlem sırasında, üç adet yıkama tankına alınan biyodizel, içinde kalan gliserinin tamamen alınması için yıkama işlemine tabi tutulur. Her yıkamada tank içerisindeki biyodizel yakıtı, ağırlığının %20' si oranında saf su ile 6 kez yıkama işlemine tabi tutulur. Yıkama işleminden sonra suyun çökmesi için 12 saat beklenmiştir. Çöken su, atık su tankına gönderilmiştir. Böylece yakıt içerisinde kalan gliserin tamamen alınmış olur. Dinlendirme/yıkama tankının ısıtıcısı çalıştırılmış, suyun kaynama noktası olan 100°C' de biyodizel ısıtılmıştır. Biyodizel ısıtılırken içinde buharlaşan su, dinlendirme/yıkama tankına bağlı olan vakum pompası yardımıyla dışarı tahliye edilmiştir. Daha sonra kanola yağından elde edilen biyodizel, biyodizel tankına bağlı olan yakıt filtresinden geçirilerek gönderilmiş ve böylece kanola yağından biyodizel üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu işlem daha önce belirtildiği gibi 60 litre kanola yağı için yapılmıştır. Araştırmamızda kullanılan toplam 300 litre kanola yağından biyodizel üretimi için yapılan çalışma, beş aşamada gerçekleştirilmiştir.

3.2.2. Motor Testleri

Motor Testleri, TS 1231 numaralı Türk Standardı dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir (Anonim 2010b). Denemeler, B0, B5, B10, B20, B50, B80 ve B100 yakıtı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her bir (her karışım için) denemede, motor gücü, tork, motor hızı, yakıt tüketimi, motor soğutma suyu giriş-çıkış sıcaklıkları, motor yağ sıcaklığı, egzoz emisyon değerleri, egzoz gaz sıcaklığı, ortam basıncı, ortam sıcaklığı ve ortam nemi ölçümü gerçekleştirilmiştir. Denemede, TS 1231 standardına göre, ortam sıcaklığı 23°C ve üzerindeki değerlerde yürütülmüştür. Bu ortam sıcaklığında motor çalışıp soğutma suyu çıkış sıcaklığı 85°C' ye ulaştığında, atmosferik basınç, hava nem oranı, hava sıcaklığı, motor hava giriş sıcaklığı, motor yağ sıcaklığı ve yakıt sıcaklığı ölçümleri yapılmıştır. Motor testlerinde ölçümler eş zamanlı olarak gerçekleştirilmiştir. Denemeler, 3 tekerrürlü olarak yürütülmüştür ve denemeler başlamadan önce motorun kararlı hale getirilmesi sağlanmıştır. TS 1231 standardına göre yapılan çalışmalar sırasındaki ortam koşulları Çizelge 3.6' da verilmiştir.

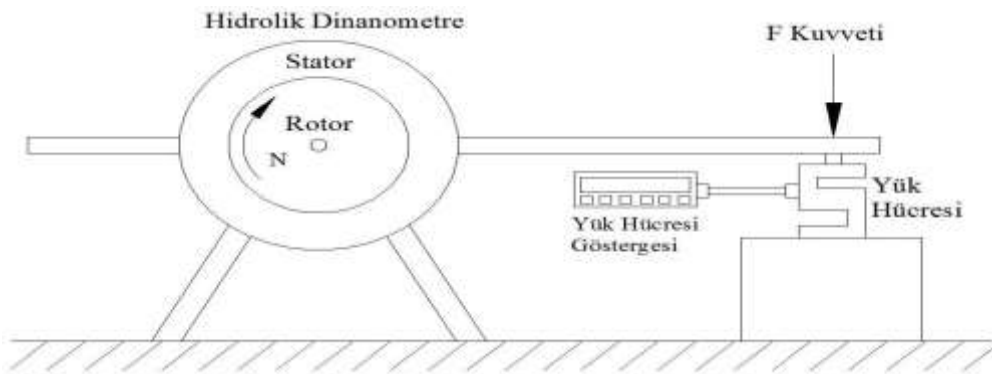
Çizelge 3.6. TS 1231 standardına göre, deney esnasında ölçülen değerler

| Ortalama Atmosferik Koşullar | |
|-------------------------------------|----------|
| Sıcaklık | 23°C |
| Basınç | 91,6 kPa |
| Bağıl Nem | %50 |
| Maksimum Sıcaklık | |
| Soğutma Suyu (Soğutucu Girişi) | 85°C |
| Motor Yağı (Yağ Soğutucu Girişi) | 115°C |
| Yakıt (Depo Dönüş) | 34°C |
| Hava Girişi (Hava Filtresi Girişi) | 30°C |

Denemelerde ölçümler eş zamanlı olarak yapılmıştır. Denemelerde ölçülen parametreler kullanılarak çalışmada irdelenmesi planlanan, saatlik yakıt tüketimi ve özgül yakıt tüketim değişimi hesaplanmıştır. Çizelge 3.6’ da belirlenen ortam koşulları, TS 1231 standardına göre çalışılabilir sınırlar arasındadır.

3.2.3. Motor Torkunun Belirlenmesi

Döndürme torku bir motorun iş yapabilme yeteneğini göstermektedir. Döndürme torku mekanik, hidrolik ve elektromanyetik dinamometreler yardımı ile ölçülebilmektedir. Hidrolik dinamometrelerde düşük sürtünmeli yatakla desteklenmiş rotor, hidrolik sürtünmeli olarak sabit olan statorla birleşiktir. Bu çalışma da, motor çıkış mili ile hidrolik dinamometrenin rotor flanşı arasına kardan mili monte edilerek, motorun dinamometre irtibatı sağlanmıştır. Şekil 3.8’ de Diesel motor torkunun ölçülmesinde kullanılan sistemin çalışma prensibi gösterilmektedir.



Şekil 3.8. Test düzeneğinde döndürme torkunun ölçülmesi (Özçelik 2011)

Motorun verdiği döndürme torku (M_d) önce rotora tesir etmekte, daha sonra rotor ile stator arasındaki bulunan sıvı aracılığıyla stator dönmeye çalışmaktadır. Stator üzerinde bulunan kol yük hücrelerine baskı yaparak, bir devirde, $2 \cdot \pi \cdot r$ yolu boyunca kuvvet uygulamaktadır. Bu kuvvetin oluşturduğu tork, motorun döndürme torku olarak ifade edilmektedir (Şahin 2013). Aşağıda verilen (3.1) denkleminde, Statoru döndürmeye çalışan F kuvvetinin oluşturduğu tork;

$$M_d = F \cdot L \quad (L = 716 \text{ mm}) \quad (3.1)$$

Burada;

M_d : Motor döndürme torku (Nm)

F: Hidrolik güç freninin tork kolu üzerinden teraziye uyguladığı kuvvet (N)

L: Hidrolik frenin tork kolu uzunluğu (m)

3.2.4. Motor Efektif Gücünün Belirlenmesi

Efektif güç, motorun güç çıkış noktası olan, volandan alınan güçtür. Bu güç, iç güçte dikkate alınmayan, sürtünme kayıpları ile yağlama, ateşleme ve subap mekanizması gibi yardımcı organlara harcanan güçlerin dikkate alınması durumundaki, gerçek motor gücüdür. Bu çalışmada, motor efektif güç değerleri, güç freni adı verilen hidrolik dinamometre ile ölçülerek bulunmuştur. Efektif güç (P_e), döndürme torku (M_d) ve açısal hızın (ω) fonksiyonudur.

Bu durumda motor efektif gücü (3.2) bağıntısı yardımıyla hesaplanmıştır.

$$P_e = M_d \cdot \omega \quad (3.2)$$

Motor hızı (n) d/dak cinsinden olduğunda açısal hız (3.3) bağıntısı yardımıyla hesaplanır.

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} = \frac{\pi \cdot n}{30} \quad (3.3)$$

Açısal hızı, denklem (3.2)' de yerine koyup birimi kW cinsine dönüştürsek (3.4) bağıntısı elde edilir.

$$P_e = M_d \cdot \frac{\pi \cdot n}{30} \cdot 10^{-3} = \frac{M_d \cdot n}{9549} \quad (3.4)$$

Burada;

- P_e : Efektif güç (kW),
 M_d : Motorun döndürme torku (Nm)' dir.
 n : Motor hızı (d/dak)

3.2.5. Motor Yakıt Tüketiminin Belirlenmesi

3.2.5.1. Saatlik Yakıt Tüketiminin Belirlenmesi

Hacim ölçülmesinde en basit yöntem, bir kap içerisinde hareket eden yakıt yüzeyinin iki ölçü çizgisi arasından geçme süresinin kronometre ile saptanmasıdır. Bu süreden hareket edilerek, saatlik yakıt tüketimi L/h olarak bulunur. Yakıt tüketimi deney düzeneğinde bulunan 50 ml' lik ölçme büreti ile hacimsel debi olarak ölçülmektedir. Bu değer 1 litre yakıtın harcanması için geçen süre için oranlanarak L/h'e çevrilir. Saatlik yakıt tüketiminin kg/h olarak elde edilebilmesi için, L/h olan saatlik yakıt tüketiminin kullanılan yakıtın deneme esnasında giriş sıcaklığındaki yoğunluk ile çarpımıdır (Alpgiray 2006).

3.2.5.2. Özgül Yakıt Tüketiminin Belirlenmesi

Özgül yakıt tüketimi (3.5) bağıntıyla hesaplanmaktadır (Çetinkaya 2004).

$$b_e = \frac{B \cdot 1000}{P_e} \quad (3.5)$$

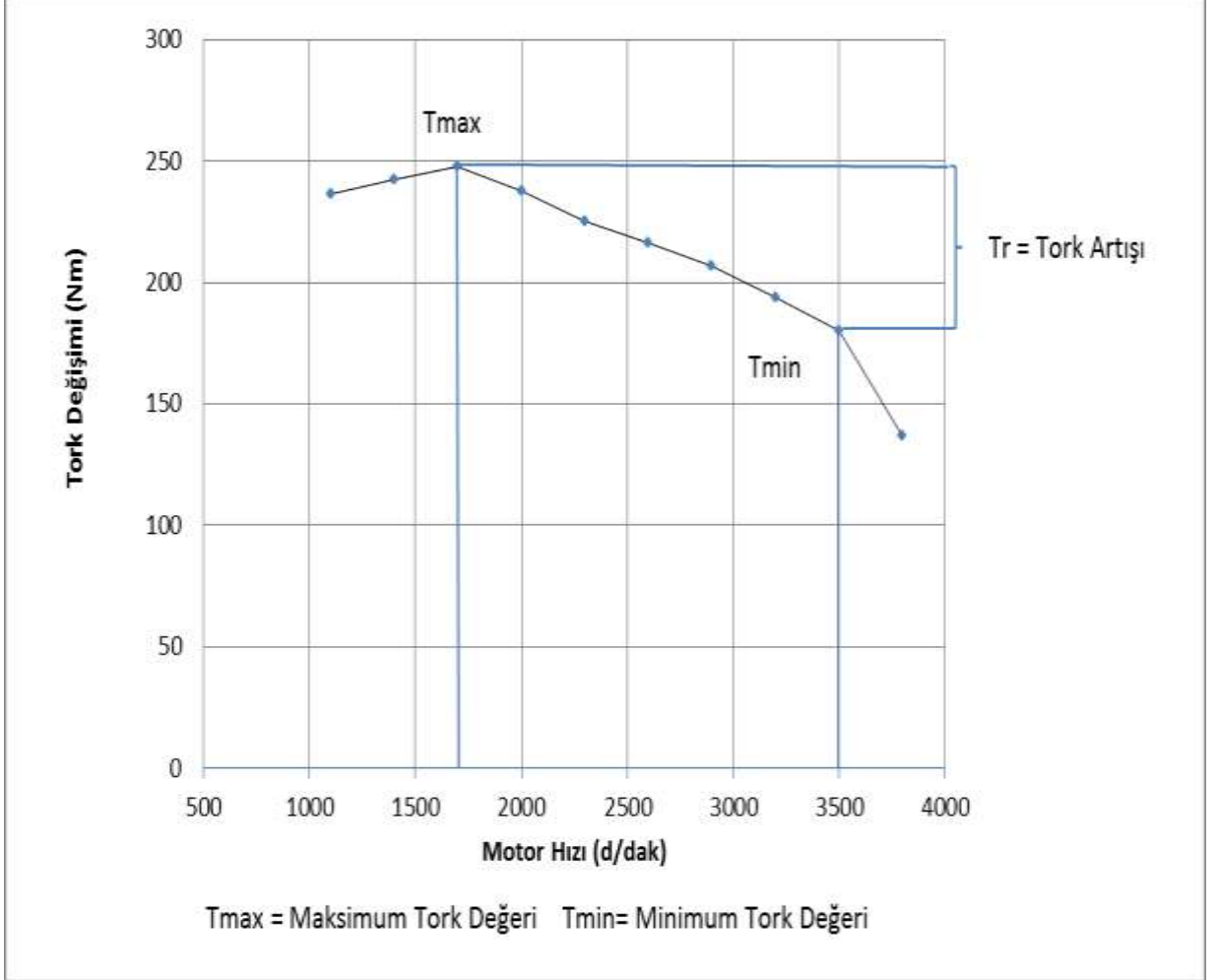
Burada;

- b_e : Özgül yakıt tüketimi, (g/kWh),
 B : Saatlik yakıt tüketimi, (kg/h),
 P_e : Efektif güç, (kW)' dir.

3.2.6. Motor Tork Artışının Belirlenmesi

Tork artışı; maksimum tork ile nominal motor hızındaki torkun yüzdesel değişim oranı olarak ifade edilmektedir. Şekil 3.9' da motor çalışma koşullarındaki tork artışı gösterilmektedir. Denemelerde motor, tam gazda ve yüksüz olarak çalıştırılmıştır. Daha sonra motor kademeli bir şekilde yüklenerek belirli hıza gelmesi sağlanmış, kararlı hale geldiği

zaman ölçümler kaydedilmiştir. Her bir denemede, nominal tork değeri ile maksimum tork değeri hesaplanmıştır. Tork artış değeri aşağıdaki (3.6) bağıntıyla hesaplanmıştır (Bolat 2007).



Şekil 3.9. Motorun çalışma koşullarındaki tork artışı gösterilişi

$$T_r = \frac{(T_{max} - T_{min})}{T_{max}} \cdot 100 \quad (3.6)$$

Burada;

T_r : Tork atışı (%)

T_{max} : Maksimum tork değeri (Nm)

T_{min} : Nominal tork değeri (Nm) 'dir.

3.2.7. İstatistik Analizler

Özelliklere ilişkin verilerin tanımlayıcı istatistikleri ortaya konarak ortalamalar arasındaki farkın belirlenmesi amacıyla Varyans Analiz Yöntemi (ANOVA) kullanılmıştır.

Yapılan analizde kullanılan matematik model (3.7) denkleminde verilmiştir.

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + e_{ij} \quad (3.7)$$

Burada;

Y_{ij} = i nci yakıt ile elde edilen sonuçlar,

μ = Beklenen ortalama

α_i = i nci yakıt

e_j = Şansa bağlı hata terimini ifade etmektedir.

Metotlar arasındaki farklılığın hangi grup ortalamaları arasında önemli olduğunun belirlenmesi amacıyla Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi kullanılmıştır (Düzgüneş ve ark. 1993). Araştırmada verilerinin analizinde SPSS (version 18.0 for Windows, SPSS Inc. Chicago, IL) paket programından yararlanılmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Denemelerde, B0 yakıtı ile B0 yakıtına farklı oranlarda karıştırılan biyodizel yakıtlarının motor performans testleri sonucunda güç, tork, saatlik yakıt tüketimi, özgül yakıt tüketimi, egzoz emisyonu ve motor tork artışı değerleri saptanmıştır. TS 1231 standardına göre yapılan denemelerde elde edilen veriler kullanılarak, parametreler arasındaki ilişkiler değerlendirilmiştir.

4.1. Güç Değişimi

Motor test denemelerinde, B0 yakıtı, B100 yakıtı ve B0 yakıtına farklı oranlarda karıştırılan biyodizel yakıtlarının, değişik motor hızlarına bağlı olarak elde edilen efektif güç değişiminin yapılan çoklu analiz karşılaştırma (Duncan) testi sonuçları Çizelge 4.1' de verilmiştir.

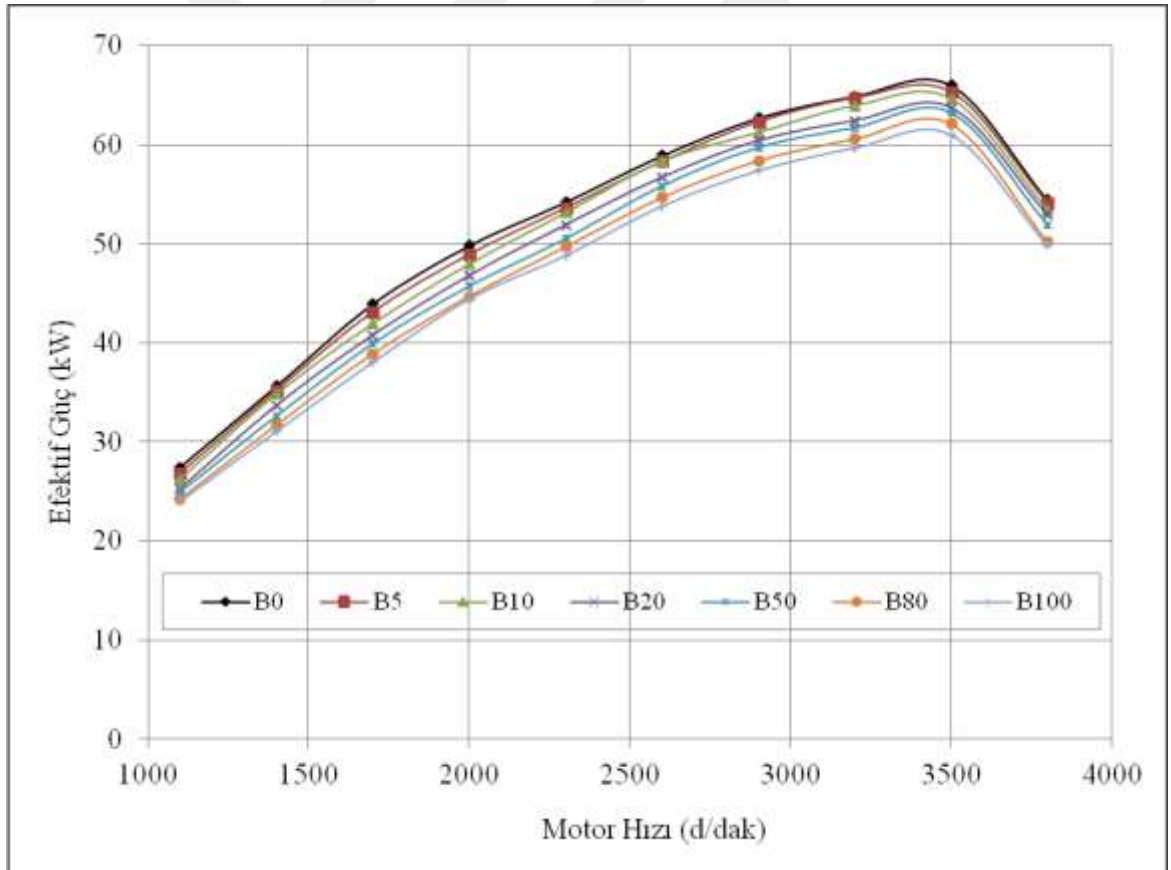
Çizelge 4.1. Dizel (B0) yakıtı ve biyodizel - dizel karışımı yakıtların motor hızına bağlı olarak efektif güç değerleri

| Motor Hızı (d/dak) | N | 1100 | 1400 | 1700 | 2000 | 2300 | 2600 | 2900 | 3200 | 3500 | 3800 | |
|--------------------|------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Ort + sh | 21 | 25,5** | 33,5** | 40,9** | 46,8** | 51,7** | 56,64** | 60,3** | 62,8** | 63,7** | 54,4** | |
| Efektif Güç (kW) | B0 | 3 | 27,4a | 35,6a | 43,9a | 49,8a | 54,2a | 58,9a | 62,7a | 64,9a | 66,0a | 54,4a |
| | B5 | 3 | 26,8b | 35,2b | 43,1b | 48,9b | 53,6b | 58,3b | 62,3b | 64,7a | 65,3b | 54,1b |
| | B10 | 3 | 26,2c | 34,8c | 41,9c | 47,9c | 53,1c | 58,3b | 61,2c | 63,9b | 64,6c | 53,4bc |
| | B20 | 3 | 25,3d | 33,7d | 40,8d | 46,8d | 51,9d | 56,7c | 60,4d | 62,4c | 63,7d | 52,9c |
| | B50 | 3 | 24,9e | 32,6e | 39,9e | 45,7e | 50,5e | 55,8d | 59,7e | 61,7d | 63,2d | 51,9d |
| | B80 | 3 | 24,2f | 31,7f | 38,9f | 44,7f | 49,7f | 54,7e | 58,4f | 60,6e | 62,1e | 50,2e |
| | B100 | 3 | 23,9g | 31,0g | 38,0g | 44,4f | 48,8g | 53,8f | 57,4g | 59,7f | 61,0f | 49,8e |

**P<0.01

Tüm motor hızlarında yapılan denemelerde, B0 yakıtının kullanımı ile elde edilen efektif güç değerinin diğer tüm biyodizel karışımı ile elde edilen güç değerlerinden yüksek olduğu gözlenmiştir. Yapılan varyans analizinde yakıtlar arasında güç değişiminde tüm hızlar bakımından istatistiksel farklılık olduğu gözlenmiştir (p<0.01). Gruplar arasındaki istatistiki

farklılığın belirlenmesi amacıyla yapılan Duncan çoklu karşılaştırma testine göre tüm grupların istatistik olarak farklı olduğu gözlenmiştir ($p < 0.01$). Denemede kullanılan bütün yakıtlarda en yüksek motor gücü değerleri, 3500 d/dak' da elde edilmiştir. Motor hızı 3500 d/dak' da iken, B0 yakıtının efektif güç değeri 66 kW' dır. Aynı hızda B100 yakıtıyla elde edilen efektif güç değeri 61,4 kW' dır. B100 yakıtının maksimum gücünde, B0 yakıtına göre %6,97 oranında azalma olmuştur. Aynı motor hızında B5 yakıtındaki efektif güç değeri, B0 yakıtına göre %1 oranında düşüş göstermiştir. Motor hızı 1700 d/dak' da, B0 yakıtının efektif güç değeri 43,9 kW' dır. Aynı motor hızında ise B100 yakıtında elde edilen efektif güç değeri 38 kW' dır. B100 yakıtı, B0 yakıtına göre %12,45 oranında azalma göstermiştir. Aynı motor hızında B5 yakıtındaki efektif güç değeri, B0 yakıtına göre %1,9 oranında düşüş gerçekleştirmiştir. Şekil 4.1 incelendiğinde efektif güç değişimi 3500 d/dak' ya kadar artış göstermiş, sonraki hızda azalmıştır. Tam gaz ve yük şartlarında gerçekleştirilen motor performans deneyinde efektif güç değişimi Şekil 4.1' de görülmektedir.



Şekil 4.1. Dizel (B0) yakıtı ve biyodizel - dizel karışımı yakıtların motor hızına bağlı olarak efektif güç değişimi

4.2. Tork Değişimi

Motor test denemelerinde, B0 yakıtı, B100 yakıtı ve B0 yakıtına farklı oranlarda karıştırılan biyodizel yakıtlarının, değişik motor hızlarına bağlı olarak elde edilen tork değişiminin yapılan çoklu analiz karşılaştırma (Duncan) testi sonuçları Çizelge 4.2’ de verilmiştir.

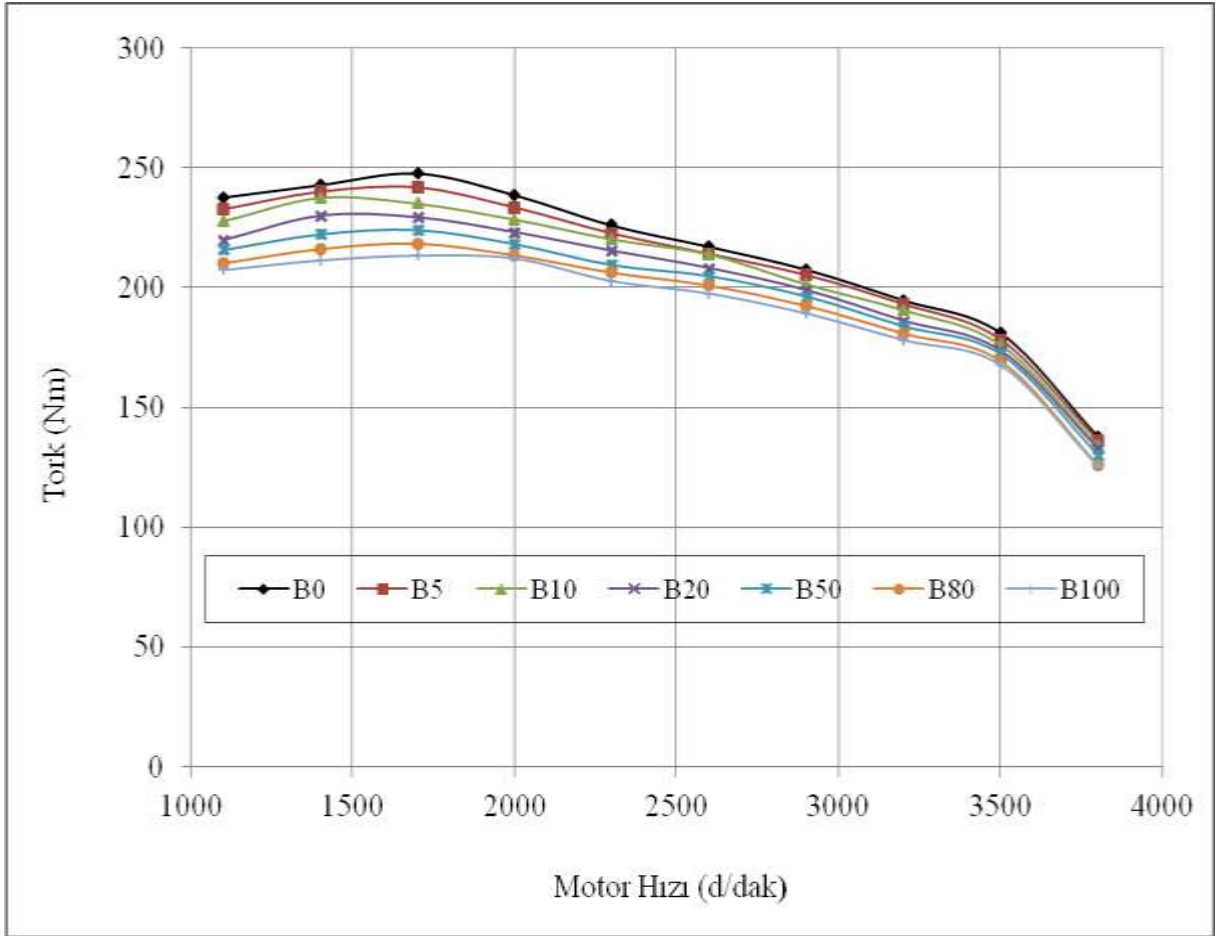
Çizelge 4.2. Dizel (B0) yakıtı ve biyodizel - dizel karışımı yakıtların motor hızına bağlı olarak tork değerleri

| Motor Hızı (d/dak) | N | 1100 | 1400 | 1700 | 2000 | 2300 | 2600 | 2900 | 3200 | 3500 | 3800 | |
|--------------------|------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Ort+sh | 21 | 221,63** | 228,66** | 230,01** | 223,97** | 214,69** | 208,11** | 198,77** | 186,83** | 174,05** | 131,79** | |
| Tork (Nm) | B0 | 3 | 237,76a | 242,99a | 247,80a | 238,73a | 226,00a | 217,15a | 207,57a | 194,75a | 181,01a | 137,76a |
| | B5 | 3 | 232,72b | 240,10b | 241,87b | 233,48b | 222,65b | 214,07b | 205,20b | 193,08a | 178,16b | 135,92b |
| | B10 | 3 | 227,87c | 237,64c | 235,17c | 228,57c | 220,33c | 213,98b | 201,50c | 190,76b | 176,20c | 134,20bc |
| | B20 | 3 | 219,85d | 230,10d | 229,42d | 223,21d | 215,47d | 208,27c | 199,05d | 186,28c | 173,74d | 132,88c |
| | B50 | 3 | 215,80e | 222,35e | 224,12e | 218,25e | 209,54e | 204,96d | 196,48e | 184,04d | 172,41d | 130,47d |
| | B80 | 3 | 210,21f | 216,13f | 218,38f | 213,48f | 206,27f | 200,89e | 192,44f | 180,90e | 169,34e | 126,05f |
| | B100 | 3 | 207,23g | 211,31g | 213,29g | 212,09f | 202,60g | 197,44f | 189,14g | 178,02f | 167,52f | 125,26f |

**P<0.01

Tüm motor hızlarında yapılan denemelerde B0 yakıtının kullanımı ile elde edilen efektif tork değerinin, diğer tüm biyodizel karışımı ile elde edilen tork değerlerinden yüksek olduğu gözlenmiştir. Yapılan varyans analizinde yakıtlar arasında tork değişiminin tüm hızlar bakımından istatistik farklılık gösterdiği gözlenmiştir ($p<0.01$). Gruplar arasındaki istatistik farklılığın belirlenmesi amacıyla yapılan Duncan çoklu karşılaştırma testine göre, tüm grupların istatistik olarak farklı olduğu gözlenmiştir ($p<0.01$). Motor denemelerinde elde edilen en yüksek tork değeri, motor hızı 1700 d/dak’ ya ulaştığında elde edilmiştir. Motor hızı 1700 d/dak olduğunda, B0 yakıtının efektif tork değeri 247,8 Nm’ dir. Aynı motor hızında B100 yakıtıyla elde edilen efektif tork değeri 213,29 Nm’ dir. Motor hızı 1700 d/dak iken,

B100 yakıtının tork değeri B0 yakıtına göre %13,92 oranında düşüş göstermiştir. Aynı motor hızında B5 yakıtının tork değeri, B0 yakıtına göre %2,39 oranında düşüş göstermiştir. B0 yakıtı ile yapılan çalışmada, motor hızı 3500 d/dak olduğunda tork değeri, 181,01 Nm' dir. B100 yakıtı ile yapılan çalışmada tork değeri, 167,52 Nm' dir. Motor hızı 3500 d/dak iken, B100 yakıtının tork değeri B0 yakıtına göre %7,45 oranında düşüş göstermiştir. Aynı motor hızında B5 yakıtındaki tork değeri, B0 yakıtına göre %1,57 oranında düşüş göstermiştir. Tam gaz ve yük şartlarında gerçekleştirilen motor performans deneyinde efektif tork değişimi Şekil 4.2' de görülmektedir.



Şekil 4.2. B0 (dizel) yakıtı ve biyodizel - dizel karışımı yakıtların motor hızına bağlı olarak tork değişimi

4.3. Saatlik Yakıt Tüketimi Değişimi

Motor test denemelerinde, B0 yakıtı, B100 yakıtı ve B0 yakıtına farklı oranlarda karıştırılan biyodizel yakıtlarının, değişik motor hızlarına bağlı olarak elde edilen saatlik yakıt tüketimi değişimin yapılan çoklu analiz karşılaştırma (Duncan) testi sonuçları Çizelge 4.3' de verilmiştir.

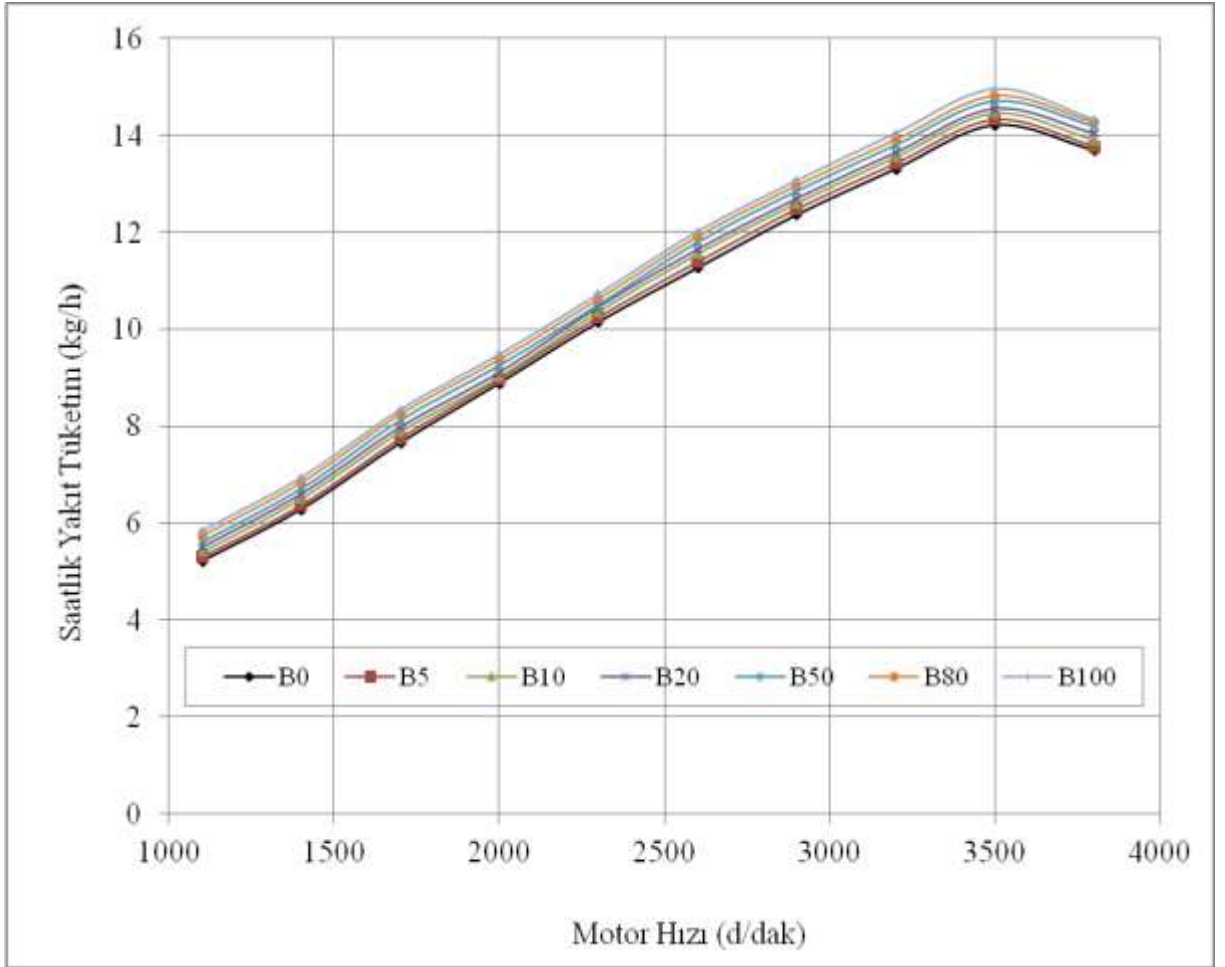
Çizelge 4.3. Dizel (B0) yakıtı ve biyodizel - dizel karışımı yakıtların motor hızına bağlı olarak saatlik yakıt tüketim değerleri

| Motor Hızı (d/dak) | N | 1100 | 1400 | 1700 | 2000 | 2300 | 2600 | 2900 | 3200 | 3500 | 3800 | |
|-------------------------------|------|--------------------|--------------------|-------------------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------|
| Ort+sh | 21 | 5,52 ^{ns} | 6,61 ^{ns} | 8,0 ^{ns} | 9,16 ^{ns} | 10,4 ^{ns} | 11,66 ^{ns} | 12,72 ^{ns} | 13,67 ^{ns} | 14,57 ^{ns} | 14,03 ^{ns} | |
| Saatlik Yakıt Tüketimi (kg/h) | B0 | 3 | 5,23a | 6,30a | 7,67a | 8,90a | 10,16a | 11,28a | 12,37a | 13,32a | 14,22a | 13,7a |
| | B5 | 3 | 5,30b | 6,37b | 7,75b | 8,97b | 10,25b | 11,39b | 12,48b | 13,42b | 14,32b | 13,77b |
| | B10 | 3 | 5,40c | 6,50c | 7,88c | 9,01c | 10,36c | 11,55c | 12,60c | 13,55c | 14,45c | 13,90c |
| | B20 | 3 | 5,50d | 6,6d | 7,98d | 9,11d | 10,46d | 11,65d | 12,70d | 13,65d | 14,55d | 14,04d |
| | B50 | 3 | 5,62e | 6,72e | 8,13e | 9,26e | 10,51e | 11,80e | 12,85e | 13,80e | 14,70e | 14,19e |
| | B80 | 3 | 5,74f | 6,84f | 8,25f | 9,38f | 10,63f | 11,92f | 12,97f | 13,92f | 14,82f | 14,28f |
| | B100 | 3 | 5,84g | 6,94g | 8,34g | 9,48g | 10,73g | 12,02g | 13,07g | 14,05g | 14,96g | 14,33g |

ns: İstatistik olarak önemli değil

Tüm motor hızlarında yapılan denemelerde B0 yakıtının kullanımı ile elde edilen saatlik yakıt tüketim değerinin diğer tüm biyodizel karışımı ile elde edilen saatlik yakıt tüketim değerlerinden düşük olduğu gözlenmiştir. Yapılan varyans analizinde yakıtlar arasında saatlik yakıt tüketiminin tüm hızlarda istatistik olarak farklı olmadığı gözlenmiştir ($p>0.05$). Gruplar arasındaki istatistik farklılığın belirlenmesi amacıyla yapılan Duncan çoklu karşılaştırma testine göre tüm grupların istatistik olarak farklı olmadığı gözlenmiştir ($p>0,05$). Denemede, en fazla yakıt tüketimi, 3500 d/dak' da gerçekleşmiştir. B0 yakıtının kullanımıyla motor hızı 3500 d/dak' da iken 14,22 kg/h' lik yakıt tüketmekte olup, B5 yakıt karışımında 14,32 kg/h, B10 yakıt karışımında 14,45 kg/h, B20 yakıt karışımında 14,55 kg/h, B50 yakıt

karışımında 14,70 kg/h, B80 yakıt karışımında 14,82 kg/h ve B100 yakıtında 14,96 kg/h' dır. Deneme sonucunda, motor hızı 3500 d/dak olduğunda, B100 yakıtının saatlik yakıt tüketim değeri, B0 yakıtına göre %4,9 oranında artış göstermiştir Aynı motor hızında B5 yakıtının saatlik yakıt tüketim değeri, B0 yakıtına göre %0,69 daha yüksektir. Motor test denemelerinde, B0 yakıtı, B100 yakıtı ve B0 yakıtına farklı oranlarda karıştırılan biyodizel yakıtlarının, değişik motor hızlarına bağlı olarak elde edilen saatlik yakıt tüketimi değişimi Şekil 4.3' de verilmiştir.



Şekil 4.3. Dizel (B0) yakıtı ve biyodizel - dizel karışımı yakıtların motor hızına bağlı olarak saatlik yakıt tüketimi değişimi

4.4. Özgül Yakıt Tüketim Değişimi

Motor test denemelerinde, B0 yakıtı, B100 yakıtı ve B0 yakıtına farklı oranlarda biyodizel yakıtlarının, değişik motor hızlarına bağlı olarak elde edilen özgül yakıt tüketimi değişiminin yapılan çoklu analiz karşılaştırma (Duncan) testi sonuçları Çizelge 4.4’ de verilmiştir.

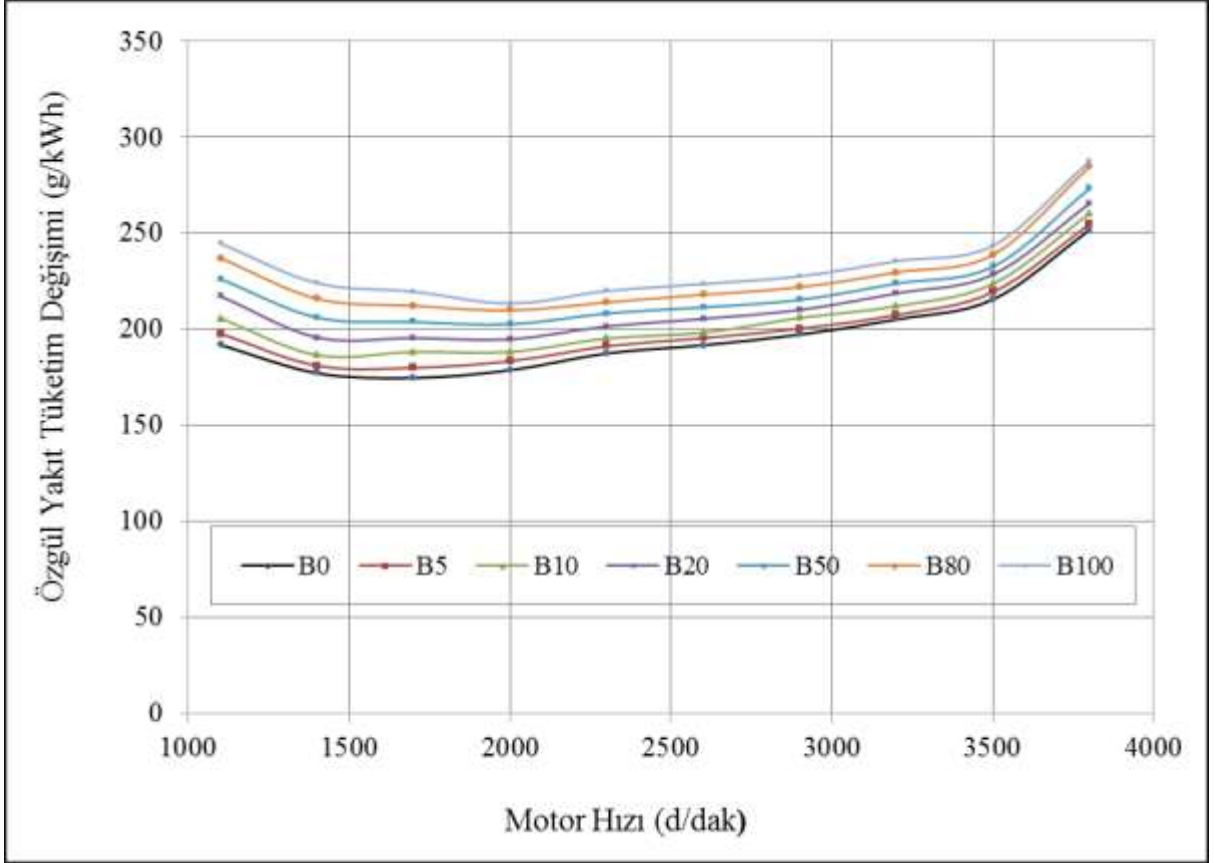
Çizelge 4.4. Dizel (B0) yakıtı ve biyodizel - dizel karışımı yakıtların motor hızına bağlı olarak özgül yakıt tüketim değerleri

| Motor Hızı (d/dak) | N | 1100 | 1400 | 1700 | 2000 | 2300 | 2600 | 2900 | 3200 | 3500 | 3800 | |
|------------------------------|------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--------|
| Ort + sh | 21 | 217,16** | 198,04** | 196,25** | 195,86** | 202,47** | 206,24** | 211,18** | 218,87** | 228,86** | 268,23** | |
| Özgül Yakıt Tüketimi (g/kWh) | B0 | 3 | 191,8a | 177,1a | 174,6a | 178,7a | 187,4a | 191,7a | 197,2a | 205,1a | 215,5a | 251,7a |
| | B5 | 3 | 197,7b | 181,0b | 179,9b | 183,4b | 191,1b | 195,4b | 200,3b | 207,4b | 219,3b | 254,6b |
| | B10 | 3 | 205,7c | 186,5c | 188,2c | 188,2c | 195,2c | 198,2c | 205,9c | 212,0c | 223,7c | 260,3c |
| | B20 | 3 | 217,2d | 195,7d | 195,4d | 194,8d | 201,5d | 205,4d | 210,1d | 218,7d | 228,5d | 265,5d |
| | B50 | 3 | 226,1e | 206,1e | 203,8e | 202,6e | 208,2e | 211,4e | 215,3e | 223,8e | 232,6e | 273,3e |
| | B80 | 3 | 237,0f | 215,9f | 212,2f | 209,8f | 214,0f | 218,0f | 221,9f | 229,6f | 238,8f | 284,7f |
| | B100 | 3 | 244,6g | 224,0g | 219,6g | 213,4g | 219,9g | 223,6g | 227,6g | 235,5g | 243,6g | 287,5g |

**P<0.01

Tüm motor hızlarında yapılan denemelerde B0 yakıtının kullanımı ile elde edilen özgül yakıt değerinin diğer tüm biyodizel karışımı ile elde edilen özgül yakıt değerlerinden düşük olduğu gözlenmiştir. Yapılan varyans analizinde yakıtlar arasında özgül yakıt tüketimi değişiminde tüm hızlar bakımından istatistik farklı olduğu gözlenmiştir (p<0.01). Gruplar arasındaki istatistik farklılığın belirlenmesi amacıyla yapılan Duncan çoklu karşılaştırma testine göre tüm grupların istatistik olarak farklı olduğu gözlenmiştir (p<0.01). Denemede, en düşük özgül yakıt tüketimi, 1700 d/dak’ da B0 yakıtında gerçekleşmiştir. B0 yakıtı

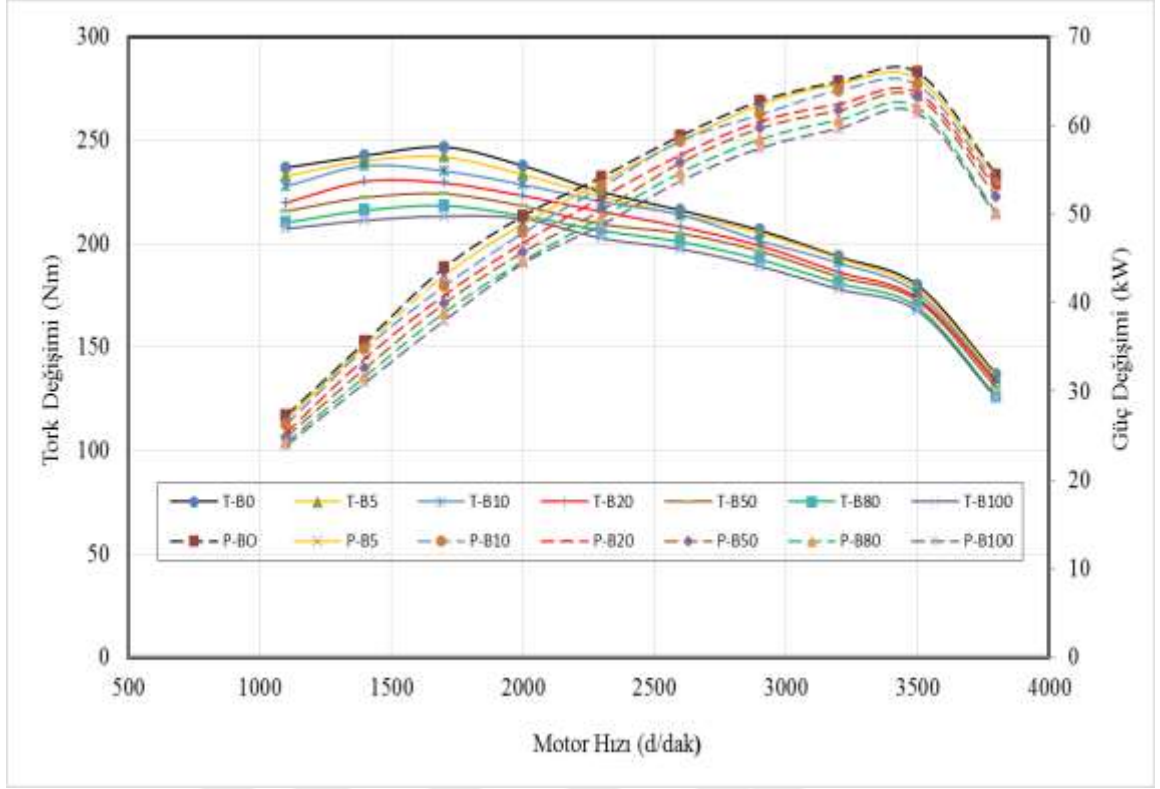
kullanımında motor hızı 1700 d/dak' da iken, özgül yakıt tüketimi 174,6 g/kWh olup, B5 yakıt karışımında 179,9 g/kWh, B10 yakıt karışımında 188,2 g/kWh, B20 yakıt karışımında 195,4 g/kWh, B50 yakıt karışımında 203,8 g/kWh, B80 yakıt karışımında 212,2 g/kWh ve B100 yakıtında ise 219,6 g/kWh değerleri saptanmıştır. Motor testlerinde, B0 yakıtı, B100 yakıtı ve B0 yakıtına farklı oranlarda karıştırılan biyodizel yakıtlarının, motor hızlarına bağlı, elde edilen özgül yakıt tüketimi değişimleri Şekil 4.4' de görülmektedir.



Şekil 4.4. Dizel (B0) yakıtı ve biyodizel - dizel karışımı yakıtların motor hızına bağlı olarak özgül yakıt tüketimi değişimi

4.5. Tork Artışı Değişimi

B0, B5, B10, B20, B50, B80 ve B100 alternatif yakıtlarının tork artış değeri, maksimum tork değeri ile nominal hızdaki tork değeri arasındaki yüzdesel değişimdir. Farklı oranlarda karıştırılan biyodizel - dizel yakıt kullanımında elde edilen en düşük tork değerleri, maksimum gücün ulaşıldığı 3500 d/dak' dır. B0 yakıtının maksimum güç değişimi B5, B10, B20, B50, B80 ve B100 yakıt karışımlarında gözlenmemektedir. Tüm yakıtlarda maksimum tork değişimi, 1700 d/dak' da sağlanmaktadır. Motor hızının 1700 d/dak' dan sonra tork eğrisinde düşüş meydana gelmiştir (Şekil 4.5).



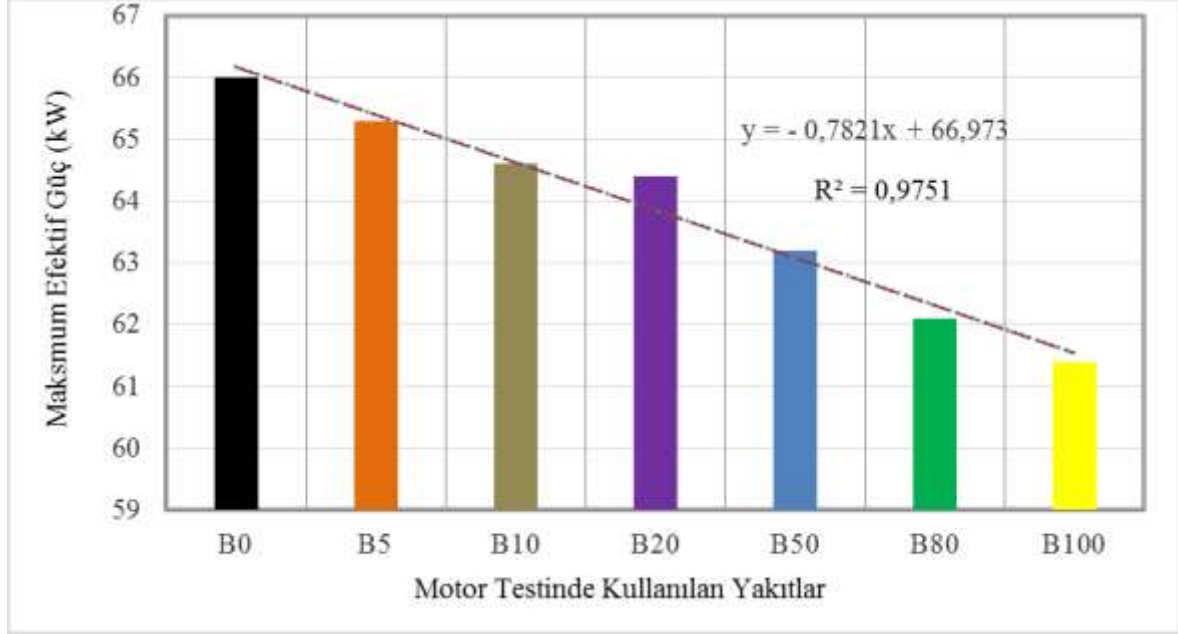
Şekil 4.5. Maksimum tork ile nominal hızdaki tork değerleri arasındaki değişimi

Tüm motor hızlarının ortalaması alındığında, B100, B80, B50, B20 yakıtlarının kullanımıyla, B0 yakıtına göre tork artışı değerlerinde sırası ile %22,2, %18,51, %14,81, %11,11 azalma olmuştur. B10 yakıtında tork artış değeri, B0 yakıtına göre %7,4 oranda azalma göstermiştir. B5 yakıtında ise bu azalma, %3,7 oranındadır. B0 yakıtının tork artış değeri, B5 yakıtına daha yakındır (Çizelge 4.5).

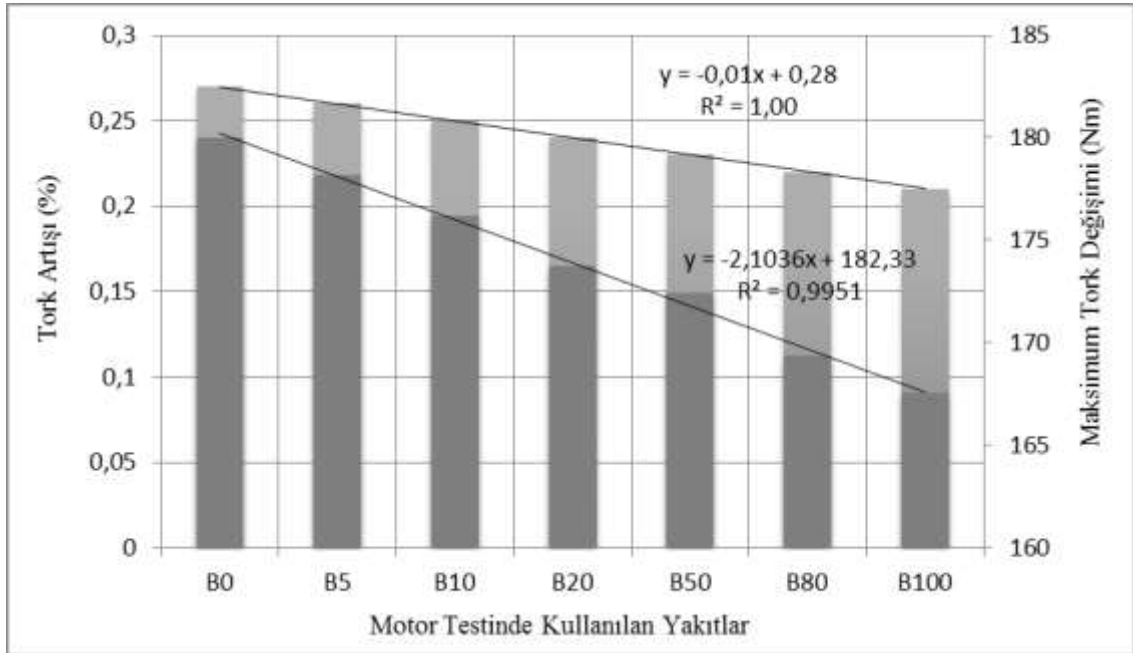
Çizelge 4.5. B0 yakıtı, B100 yakıtı ve biyodizel - dizel karışımı yakıtların tork artışı değerleri

| Yakıt Cinsi | Nominal Hızdaki Tork Değeri (Nm) | Maksimum Tork Değeri (Nm) | Tork Artışı (%) |
|-------------|----------------------------------|---------------------------|-------------------|
| B0 | 246,76 | 180,01 | 0,27 |
| B5 | 241,87 | 178,16 | 0,26 |
| B10 | 235,17 | 176,20 | 0,25 |
| B20 | 229,42 | 173,74 | 0,24 |
| B50 | 224,12 | 172,41 | 0,23 |
| B80 | 218,38 | 169,34 | 0,22 |
| B100 | 213,29 | 167,52 | 0,21 |

Biyodizel - dizel yakıt karışım oranı arttıkça, tork artışında azalma gözlenmiştir. Nominal motor hızı olduğunda tork değişimindeki azalma, $y = - 0,7821x + 66,973$ ($R^2 = 0,9751$) regresyon denklemi ile açıklanmaktadır (Şekil 4.6).



Şekil 4.6. Kullanılan yakıtlara ait motorun nominal hızındaki tork değişimi



Şekil 4.7. Kullanılan yakıtlara ait tork artışı ile maksimum tork eğrisindeki değişim

Motor hızı 3500 d/dak' ya ulaştığında kullanılan yakıtlardaki maksimum tork değişimindeki düşüş ise, $y = - 2,1036x+182,3$ ($R^2 = 0,9951$) regresyon denklemiyle hesaplanmıştır. Maksimum torkun yüzdesel değişimini veren $y = - 0,01x+0,28$ ($R^2 = 1,00$) regresyon denkleminde, düşüş devam etmiştir. Motor tork artışı ise, regresyon denklemindeki $y = - 0,01x+0,28$ ($R^2 = 1,00$) bu düşüş, B0 yakıtından itibaren B5, B10, B20, B50, B80 ve B100 yakıtlarında da devam etmektedir. B0 yakıtı ve biyodizel - dizel karışımı yakıt oranı arttıkça motor tork artış değeri de azalmaktadır (Şekil 4.7).

4.6. Emisyon Değerlerinde Değişim

Motor hızına bağlı olarak CO, NO_x ve duman koyuluğu değerleri saptanmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

4.6.1. Karbonmonoksit (CO) Değişimi

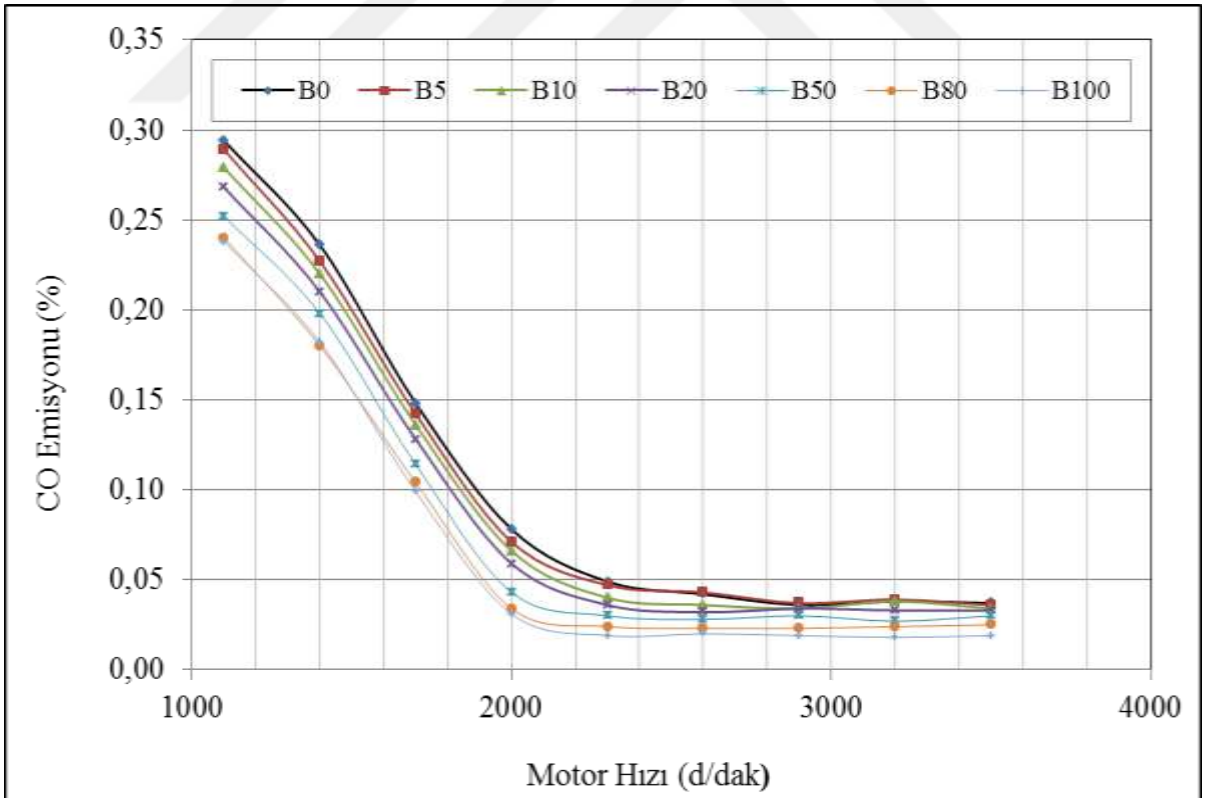
Motor test denemelerinde, B0 yakıtı, B100 yakıtı ve B0 yakıtına farklı oranlarda karıştırılan biyodizel yakıtlarının, değişik motor hızlarına bağlı olarak elde edilen CO emisyon değişiminin yapılan çoklu analiz karşılaştırma (Duncan) testi sonuçları Çizelge 4.6' de verilmiştir.

Çizelge 4.6. Dizel (B0) yakıtı ve biyodizel - dizel karışımı yakıtların motor hızına bağlı olarak CO emisyon değerleri

| Motor Hızı (d/dak) | N | 1100 | 1400 | 1700 | 2000 | 2300 | 2600 | 2900 | 3200 | 3500 | 3800 |
|------------------------|-------------|---------|---------|---------|---------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Ort + sh | 21 | 0,266** | 0,207** | 0,124** | 0,546** | 0,035 ^{ns} | 0,032 ^{ns} | 0,030 ^{ns} | 0,031 ^{ns} | 0,030 ^{ns} | 0,030 ^{ns} |
| CO Emisyonu (%) | B0 | 3 | 0,294a | 0,236a | 0,148a | 0,078a | 0,049a | 0,042a | 0,036a | 0,038a | 0,037a |
| | B5 | 3 | 0,289a | 0,227ab | 0,142ab | 0,071ab | 0,047a | 0,043ab | 0,037b | 0,039a | 0,036b |
| | B10 | 3 | 0,279ab | 0,220ab | 0,136ab | 0,066ab | 0,040ab | 0,036abc | 0,034c | 0,038a | 0,034c |
| | B20 | 3 | 0,268bc | 0,210bc | 0,128bc | 0,059bc | 0,036abc | 0,032abc | 0,034d | 0,033ab | 0,033d |
| | B50 | 3 | 0,252cd | 0,198cd | 0,114cd | 0,043cd | 0,030abc | 0,028abc | 0,03e | 0,027ab | 0,03e |
| | B80 | 3 | 0,240d | 0,180d | 0,104d | 0,034d | 0,024bc | 0,023bc | 0,023f | 0,024ab | 0,025f |
| | B100 | 3 | 0,238d | 0,182d | 0,099d | 0,031d | 0,019c | 0,02c | 0,019g | 0,018c | 0,019g |

**P<0.01, ns: önemli değil

Motor hızı 1100, 1400, 1700 ve 2000 d/dak yapılan denemelerde B0 yakıtının kullanımı ile elde edilen CO emisyon değerinin, diğer tüm biyodizel karışım yakıtlarından elde edilen CO emisyon değerlerinden yüksek olduğu gözlenmiştir. Yapılan varyans analizinde yakıtlar arasında CO emisyon değişiminde 1100, 1400, 1700 ve 2000 d/dak motor hızlarında istatistiksel farklılık olduğu gözlenmiştir ($p < 0.01$). Gruplar arasındaki istatistiksel farklılığın belirlenmesi amacıyla yapılan Duncan çoklu karşılaştırma testi yapılmış olup, buna göre tüm grupların istatistiksel olarak farklı olduğu gözlenmiştir. Diğer gruplarda ise istatistiksel farklılık olmadığı gözlenmiştir ($p > 0.05$). Motor hızı 1100, 1400, 1700, 2000, 2000 d/dak' ya kadar, karışım oranının artmasıyla, CO emisyonunun azaldığı görülmektedir. Motor hızı 3800 d/dak' da iken B100 ile B0 yakıtı arasındaki CO emisyon değişiminde, %48,6 azalma olmuştur. Motor hızı 1100 d/dak' da iken %27,52 oranında azalma olduğu saptanmıştır. B0 yakıtına göre, B5 yakıt denemesinde, tüm motor hızlarına bakıldığında, CO değişiminde %1,73 ile %5,4 oranları arasında düşüş olduğu görülmüştür. Motor testlerinde, B0 yakıtı, B100 yakıtı ve B0 yakıtına farklı oranlarda karıştırılan biyodizel yakıtlarının, motor hızlarına bağlı, elde edilen CO emisyon değişimi Şekil 4.8' de görülmektedir.



Şekil 4.8. Dizel (B0) yakıtı ve biyodizel - dizel karışımı yakıtların motor hızına bağlı olarak CO emisyon değişimi

4.6.2. Azot oksit (NO_x) Değişimi

Motor test denemelerinde, B0 yakıtı, B100 yakıtı ve B0 yakıtına farklı oranlarda karıştırılan biyodizel yakıtlarının, değişik motor hızlarına bağlı olarak elde edilen NO_x emisyon değişiminin yapılan çoklu analiz karşılaştırma (Duncan) testi sonuçları Çizelge 4.7' de verilmiştir.

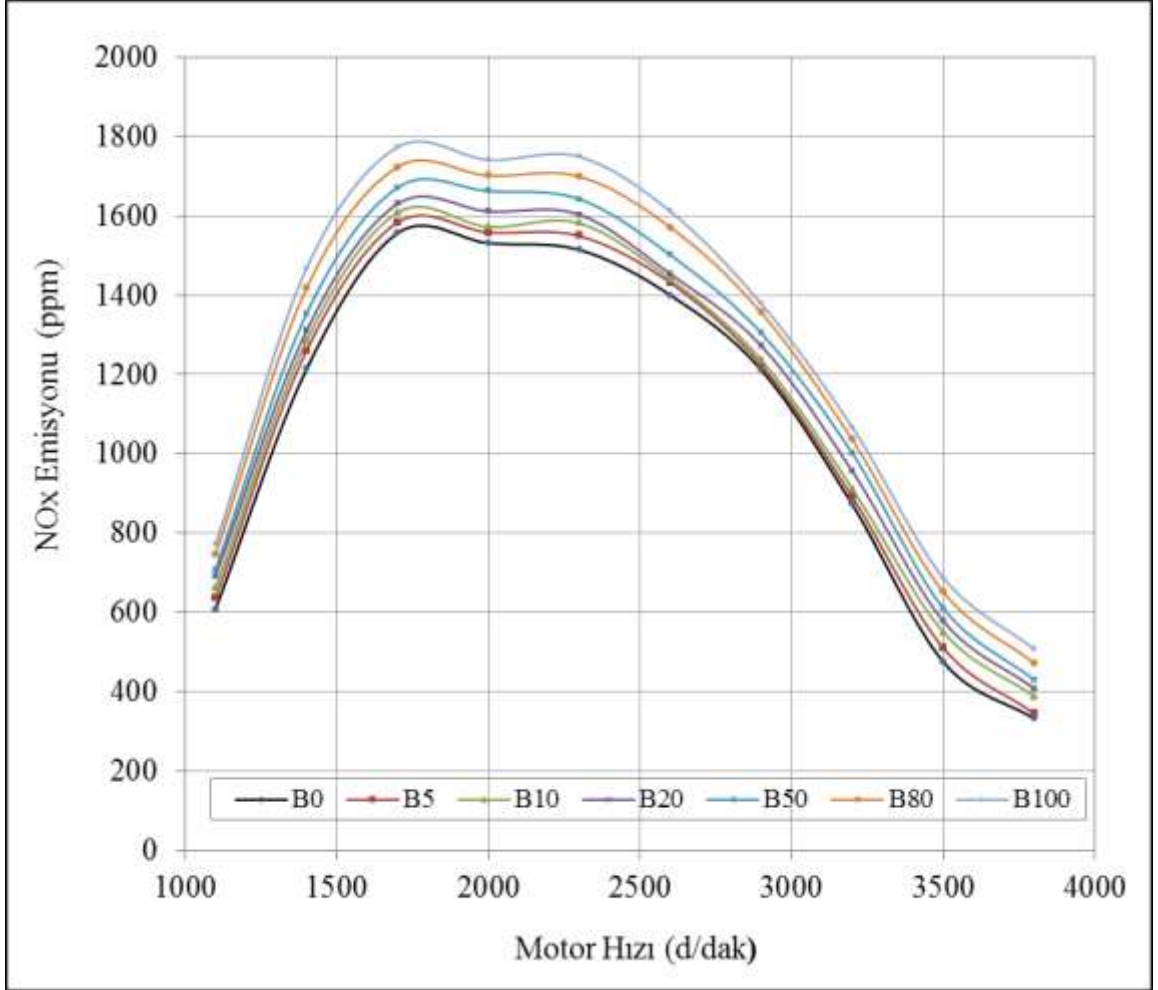
Çizelge 4.7. Dizel (B0) yakıtı ve biyodizel - dizel karışımı yakıtların motor hızına bağlı olarak NO_x emisyon değerleri

| Motor Hızı (d/dak) | N | 1100 | 1400 | 1700 | 2000 | 2300 | 2600 | 2900 | 3200 | 3500 | 3800 | |
|--------------------------------|------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|----------|------|
| Ort + sh | 21 | 688,86** | 1329,29** | 1649,14** | 1625,14** | 1619,57** | 1486,71** | 1282,86** | 962,00** | 580,14** | 411,71** | |
| NO _x Emisyonu (ppm) | B0 | 3 | 608a | 1213a | 1556a | 1531a | 1514a | 1400a | 1211a | 872a | 475a | 332a |
| | B5 | 3 | 636b | 1260b | 1583b | 1558b | 1549b | 1431b | 1223ab | 891b | 510b | 345a |
| | B10 | 3 | 661c | 1285c | 1608c | 1572b | 1581c | 1440bc | 1236b | 912c | 550c | 388b |
| | B20 | 3 | 691d | 1310d | 1630d | 1611c | 1603d | 1453c | 1272c | 956d | 578d | 408c |
| | B50 | 3 | 708d | 1353e | 1671e | 1662d | 1642e | 1501d | 1304d | 1001e | 610e | 430d |
| | B80 | 3 | 747e | 1417f | 1723f | 1701e | 1699f | 1571e | 1356e | 1035f | 651f | 472e |
| | B100 | 3 | 771f | 1467g | 1773g | 1741f | 1749g | 1611f | 1378f | 1067g | 687g | 507f |

**P<0.01

Tüm motor hızlarında yapılan denemelerde B0 yakıtının kullanımı ile elde edilen NO_x emisyon değerinin diğer tüm biyodizel karışımı ile elde edilen NO_x emisyon değerlerinden düşük olduğu gözlenmiştir. Yapılan varyans analizinde yakıtlar arasında NO_x emisyon değişiminin tüm motor hızlarında istatistiksel farklılık olduğu gözlenmiştir (p<0.01). Gruplar arasındaki istatistiksel farklılığın belirlenmesi amacıyla yapılan Duncan çoklu karşılaştırma testine göre tüm grupların istatistiksel olarak farklı olduğu gözlenmiştir (p<0.01). Motor hızı 1700 d/dak' ya kadar NO_x emisyonu artmıştır. 1700 d/dak' dan itibaren yüksek motor hızına kadar, oksijenin azalması ile NO_x emisyonları düşmüştür. B5 yakıt denemesinde, motor hızı

1700 d/dak iken NO_x emisyon değişiminde B0 yakıtına göre, %1,73 oranında azalma meydana gelmiştir. Motor hızı 3800 d/dak' da iken B100 yakıtı NO_x emisyon değeri, B0 yakıtından %34,5 artış göstermiştir. Motor hızı 1100 d/dak' da iken NO_x değeri %21,1 oranında artış olduğu saptanmıştır. NO_x yüksek sıcaklıkta (1800°K) alev sınırları boyunca oksijenin havadaki azot ile birleşmesiyle oluşur. Motor hızı 1700 d/dak' da iken hava fazlalık katsayısının yüksek olmasından dolayı, NO_x emisyonları artmıştır (Şekil 4.9).



Şekil 4.9. Dizel (B0) yakıtı ve biyodizel - dizel karışımı yakıtların motor hızına bağlı olarak NO_x emisyon değişimi

4.6.3. Duman Koyuluğu Değişimi

Motor test denemelerinde, B0 yakıtı, B100 yakıtı ve B0 yakıtına farklı oranlarda karıştırılan biyodizel yakıtlarının, değişik motor hızlarına bağlı olarak elde edilen duman koyuluğu değişiminin yapılan çoklu analiz karşılaştırma (Duncan) testi sonuçları Çizelge 4.8’ de verilmiştir.

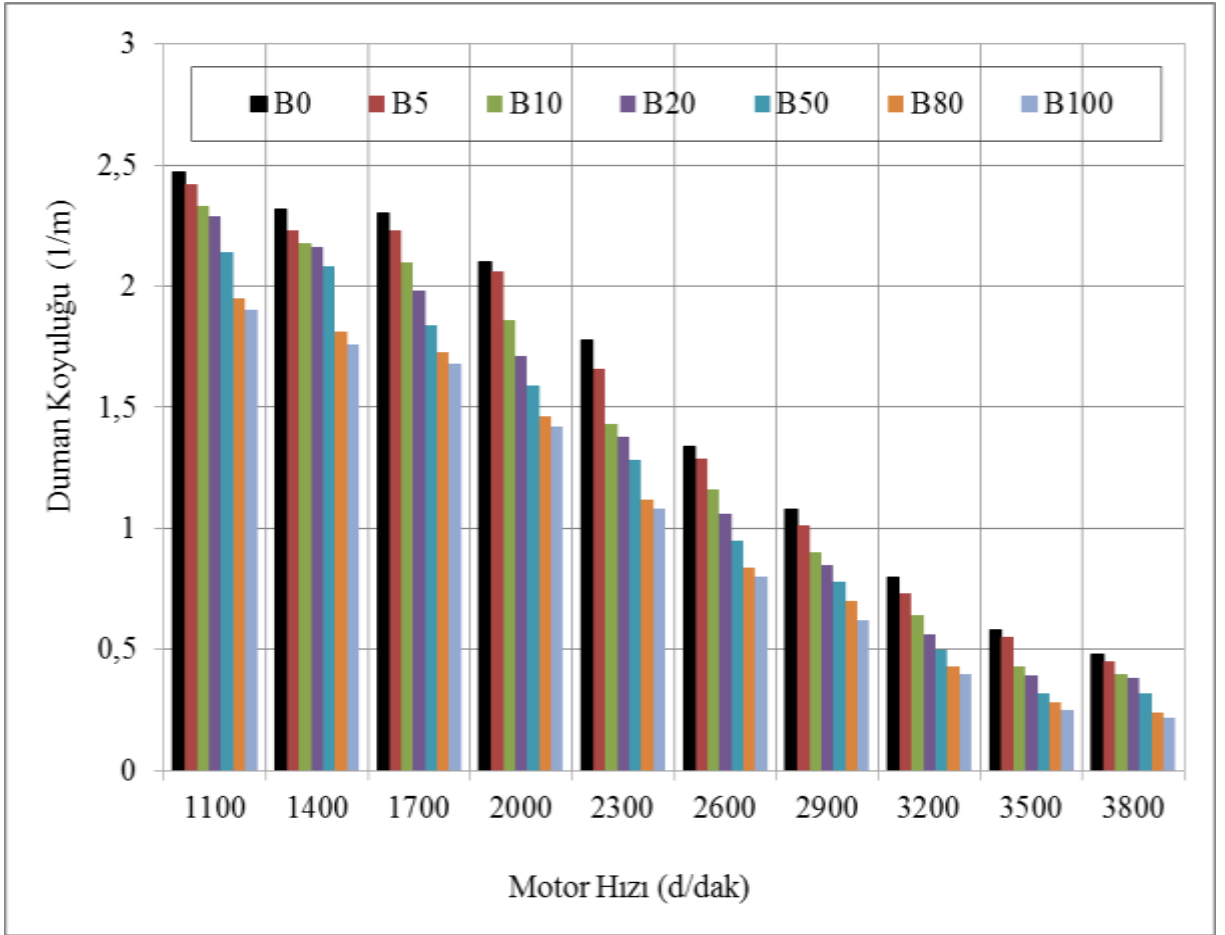
Çizelge 4.8. Dizel (B0) yakıtı ve biyodizel - dizel karışımı yakıtların motor hızına bağlı olarak duman koyuluğu değerleri

| Motor Hızı (d/dak) | N | 1100 | 1400 | 1700 | 2000 | 2300 | 2600 | 2900 | 3200 | 3500 | 3800 | |
|-----------------------------|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| Ort + sh | 21 | 2,21** | 2,07** | 1,98** | 1,74** | 1,39** | 1,06** | 0,85** | 0,58** | 0,40** | 0,35** | |
| Duman Koyuluğu (1/m) | B0 | 3 | 2,47a | 2,32a | 2,30a | 2,10a | 1,78a | 1,34a | 1,08a | 0,80a | 0,58a | 0,48a |
| | B5 | 3 | 2,42b | 2,23b | 2,23b | 2,06b | 1,66b | 1,29b | 1,01b | 0,73b | 0,55b | 0,45b |
| | B10 | 3 | 2,33c | 2,18c | 2,10c | 1,86c | 1,43c | 1,16c | 0,90c | 0,64c | 0,43c | 0,40c |
| | B20 | 3 | 2,29d | 2,16d | 1,98d | 1,71d | 1,38d | 1,06d | 0,85d | 0,56d | 0,39d | 0,38d |
| | B50 | 3 | 2,14e | 2,08e | 1,84e | 1,59e | 1,28e | 0,95e | 0,78e | 0,50e | 0,32e | 0,32e |
| | B80 | 3 | 1,95f | 1,81f | 1,73f | 1,46f | 1,12f | 0,84f | 0,70f | 0,43f | 0,28f | 0,24f |
| | B100 | 3 | 1,90g | 1,76g | 1,68g | 1,42g | 1,08g | 0,80g | 0,62g | 0,40g | 0,25g | 0,22g |

**P<0.01

Tüm motor hızlarında yapılan denemelerde B0 yakıtının kullanımı ile elde edilen duman koyuluğu değerlerinin diğer tüm biyodizel karışımı ile elde edilen duman koyuluğu değerlerine göre daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Yapılan varyans analizinde yakıtlar arasında duman koyuluğu değişiminin tüm hızlar bakımından istatistiksel açıdan farklı olduğu gözlenmiştir (p<0.01). Gruplar arasındaki istatistiksel farklılığın belirlenmesi amacıyla yapılan Duncan çoklu karşılaştırma testine göre tüm grupların istatistiksel olarak farklı olduğu gözlenmiştir (p<0.01). Denemelerde, motor hızı 3800 d/dak’ ya ulaştığında minimum değerde duman koyuluğu, motor hızı 1100 d/dak olduğunda, maksimum değerde duman koyuluğu elde edilmiştir. Diesel motorda farklı oranlarda biyodizel kullanımı, B0 yakıtına göre duman koyuluğunda azalma göstermiştir. B0 yakıtının duman koyuluğunun motor hızları 1100, 1400,

1700, 2100, 2400, 2700, 3000, 3500, 3800 d/dak olduğunda, B100 yakıtına göre sırası ile; %23, %24, %27, %32, %39, %40, %43, %50, %57, %54 artış göstermiştir. B0 yakıtına göre B5 yakıt denemesinde, motor hızı 1700 d/dak olduğunda duman koyuluğu değişiminde %1,90 oranında azalma meydana gelmiştir. Denemelerde, motorun hızı arttıkça duman koyuluğu da azalmaktadır. Bu durumun temel nedeni, biyodizelin oksijen içeriğinin yanma bölgelerinde gerekli oksijeni sağlayarak silindir içerisindeki oksitlenme miktarını artırmasıdır. Ayrıca, biyodizelin hemen hemen hiç aromatik bileşik içermemesi partikül ve is emisyonlarını da önemli ölçüde azaltmaktadır. Motor testlerinde, B0 yakıtı ve farklı oranlarda karıştırılan biyodizel yakıtlarının, motor hızlarına bağlı, elde edilen duman koyuluğu değişimi Şekil 4.10' da görülmektedir.



Şekil 4.10. Dizel (B0) yakıtı ve biyodizel - dizel karışımı yakıtların motor hızına bağlı olarak duman koyuluğu değişimi

5. TARTIŞMA

5.1. Güç Değişimi ile ilgili Tartışma

B0 yakıtının kullanımı ile elde edilen efektif güç değerleri, tüm denemelerde biyodizel karışımı ile elde edilen yakıtların güç değerlerinden yüksek olmuştur. B0 yakıtının, en yüksek motor gücü değeri, 3500 d/dak' da elde edilmiştir. Aynı motor hızında, B5, B10, B20, B50, B80 ve B100 yakıtlarının maksimum efektif güç değerleri, B0 yakıtından sırasıyla %1,06, %2,12, %3,48, %4,24, %5,90 ve %7,12 oranlarında azalma göstermiştir. B0 yakıtına karıştırılan kanola yağından elde edilen biyodizel oranı arttıkça güç oranında azalma meydana gelmiştir. Biyodizel yakıtın ısıl değerinin, B0 yakıtının ısıl değerinden düşük olması bunun nedenidir. Motor gücündeki düşmenin bir diğer sebebi ise kanola biyodizelin yoğunluk ve viskozitesinin B0 yakıtından yüksek olmasıdır. Yüksek viskozite ve yoğunluk yakıtın enjektörde istenilen düzeyde atomize olarak püskürtülmemesine neden olmaktadır. Bu durum yanmayı etkileyen tutuşmanın süresini uzatmakta ve yanmanın kötüleşmesine neden olmaktadır. Bu sonuçlara benzer olarak, Çengelci ve ark. (2011) yaptıkları çalışmada, biyodizel kullanımı ile motor gücünün, B0 yakıtına göre 3000 d/dak' da, %6,27 oranında azaldığını, motor gücündeki düşüşün nedeninin ise; viskozite, yoğunluk ve ısıl değer gibi özelliklere bağlı olduğu sonucunu elde etmişlerdir. Behçet ve Çakmak (2014) yaptıkları çalışmada B0 yakıtına kıyasla, balık yağı ve metil esteri karışımı yakıtların kullanılmasıyla motor gücünde %4,2 ve %5,7 oranında azalma olduğunu belirtmişlerdir. Eliçin (2011) yaptığı çalışmada, petrol kökenli B0 yakıtının, kanola biyodizelin kullanıldığı yakıt karışımları ortamında ortaya çıkan güç değerleri arasındaki farkların kabul edilecek düzeyde olduğunu, bu farklılıkların kanola biyodizel yakıtın ısıl değeri ile yoğunluk ve yüksek viskozitesinden kaynaklandığını belirtmiştir. Ayrıca kanola biyodizel yakıtın ısıl değerinin, B0 yakıtının ısıl değerinden düşük olması nedeni ile, kanola biyodizel ve biyodizel - dizel yakıt karışımı kullanıldığında elde edilen güç değerlerinin düşük çıktığını belirtmiştir.

5.2. Tork Değişimi ile İlgili Tartışma

Motor hızı 1700 d/dak olduğunda, B0 yakıtının efektif tork değeri 246,76 Nm' dir. Aynı motor hızında B100 yakıtıyla elde edilen efektif tork değeri 213,29 Nm' dir. Motor hızı 1700 d/dak iken, B100 yakıtında B0 yakıtına göre, tork değişiminde %13,56 oranında düşüş gerçekleşmiştir. B0 yakıtı ile yapılan çalışmada, motor hızı 3500 d/dak olduğunda tork değeri, 180,01 Nm' dir. B100 yakıtı ile yapılan çalışmada tork değeri, 167,52 Nm' dir. B0 ile B100 yakıtlarının kullanımı ile motorun nominal hızdaki tork değişiminde %6,93 oranında

azalma meydana gelmiştir. B0 yakıtının kullanımı ile elde edilen tork değerlerinin, tüm denemelerde biyodizel karışımı ile elde edilen yakıtların tork değerlerinden yüksek olduğu saptanmıştır. Karışımdaki biyodizel yüzdesi arttıkça motor torkunda azalma meydana geldiği görülmektedir. Bunun nedeni, B0 yakıtın ısı değerinin biyodizel yakıtların ısı değerinden yüksek olmasıdır. Bir diğer sebep ise kanola biyodizelin yoğunluk ve viskozitesinin standart B0 yakıtından yüksek olmasıdır. Yüksek viskozite ve yoğunluk kanola biyodizel yakıtının silindir içerisindeki nüfuzunu kötüleştirir. Bu nedenle yanma kötüleşmekte, bu durum motor torkunun düşmesine neden olmaktadır. Bu sonuçlara benzer olarak, Karabektaş ve ark. (2007) tarafından soya yağından elde edilen biyodizel - dizel yakıtı performansı karşılaştırmasında, maksimum torkun elde edildiği 2400 d/dak' da, B0 yakıtına oranla soya yağı biyodizelinin %4,34 düşük olduğunu belirtmişlerdir. 1800 d/dak' da %2,20, 3200 d/dak' da %7,23 oranlarında düşük tork değerleri sonucu elde edilmiştir. Koçak (2008) yaptığı çalışmada, fındık yağı metil esteri ve B0 yakıtı performansı karşılaştırmasında, denemenin 1750-4500 d/dak arasında tam yükte gerçekleştirildiğini ve fındık yağı metil esteri ile elde edilen motor performans değerlerinin B0 yakıtı değerlerine yakın olduğunu, tork değişimine bakıldığında ortalama azalma miktarının, %1,16 oranında gerçekleştiğini belirtmiştir. Çelik ve ark. (2015) yaptıkları çalışmada, biyodizelin n-heptan karışım yakıtlarına göre yüksek viskozite ve yoğunluğu; yakıtın silindir içerisindeki nüfuzunu, atomizasyonu etkilediğini ve yakıt/hava karışımının kötüleşmesine sebep olduğunu belirtmişlerdir.. Yakıtlara ilave edilen n-heptanın viskozite ve yoğunluğu, PH0 yakıtından düşüktür ve n-heptan ilave edilen yakıtların motor efektif gücünün yüksek olmasının, atomizasyonunun iyi ve yanma verimliliğinin artmasına sebep olduğunu açıklamışlardır.

5.3. Saatlik Yakıt Tüketimi ile İlgili Tartışma

Denemede kullanılan bütün yakıtlarda en yüksek yakıt tüketimi değerleri, 3500 d/dak' da elde edilmiştir. Buna göre B0'ın bu hızda yakıt tüketimi 14,22 kg/h'tir. Aynı hızda B100 yakıtı 14,96 kg/h' tir. Motor hızı 3500 d/dak' da iken, B100 yakıtının, B0 yakıtına göre saatlik yakıt tüketimi değişimi %4,9 oranında artış göstermiştir. Biyodizel kullanımının artmasıyla yakıt tüketimi de artmaktadır. Biyodizel karışımlarındaki yakıtların ısı değerlerinin düşük olması ve yüksek hızlarda yanma süresinin kısa olması yakıt sarfiyatını arttırır. Bu sonuçlara benzer olarak, Bolat (2007) yaptığı çalışmada, biyodizel karışım oranı arttıkça yakıtın ısı değerinin düştüğünü ve yüksek hızlarda yanma süresinin kısa olduğunu belirtmiştir. Bu nedenle, B50, B80 ve B100 yakıtlarının, nominal hıza yaklaştıkça güç ve tork değerleri azalırken, saatlik yakıt tüketim eğrisinin ise yükselmekte olduğunu belirtmiştir.

5.4. Özgül Yakıt Tüketimi ile İlgili Tartışma

Motor hızı 1700 d/dak' da iken, B0 yakıtının en düşük özgül yakıt tüketimi elde edilmiştir. B0 yakıtının özgül yakıt tüketimi, motor hızı 1700 d/dak olduğunda 173,91 g/kWh iken, B100 yakıtının ise 219,63 g/kWh değerindedir. Aynı motor hızında B100 yakıtı, B0 yakıtından %17,8 oranında artış göstermiştir. Karışım yakıtlarının özgül yakıt tüketimi B0 yakıtına göre daha yüksek çıkmıştır. B0 yakıtın içerisine katılan kanola biyodizel oranı arttıkça, yakıt karışımının yoğunluğu artmakta olduğundan aynı hacimde daha fazla yakıt gönderilmektedir. Özgül yakıt tüketiminin artmasındaki en büyük etken, kanola biyodizelin ısı değerinin, B0 yakıtından düşük olmasıdır. Ayrıca ısı değerlerinin B0 yakıtından düşük olması nedeniyle, aynı miktarda enerji elde etmek için daha fazla yakıt kullanılması gerekmektedir. Bu durum kanola biyodizel - dizel yakıt karışımlarının özgül yakıt tüketiminin, B0 yakıtına göre daha yüksek olmasına neden olmaktadır. Bu sonuçlara benzer olarak, Sarıdemir ve Albayrak (2015) yaptıkları çalışmada B0 yakıtının içerisine hacimsel olarak %20, %40 ve %60 oranlarında kanola biyodizel katmışlardır. Bu çalışmada B0 yakıtın en düşük özgül yakıt tüketimi 2000 d/dak' da elde edilmiştir. Bu motor hızında ise, B0 yakıtına göre B20, B40 ve B60 yakıtlarında, özgül yakıt tüketimi miktarlarında sırası ile %12,25, %21,15 ve %33,2 oranında artış olduğunu belirtmişlerdir. Özer ve ark. (2011) yaptıkları çalışmada ise B0 yakıtının içerisine katılan kanola biyodizel oranının artması ile birlikte, yakıt karışımının yoğunluğunun arttığını, bu artma ile birlikte aynı hacimde daha fazla yakıt gönderildiğini, bu durumda farklı yakıt oranlarında özgül yakıt tüketiminin arttığını belirtmişlerdir.

5.5. Tork Artışı Değişimi ile İlgili Tartışma

Kanola biyodizel - dizel karışım oranının artmasına göre yakıt tüketiminin yüksek olması, efektif güç tüketimindeki azalmadan kaynaklanır. Yakıtın biyodizel yüzdesinin artışıyla birlikte kinematik viskozitesindeki artışın, enjektörlerde gerçekleşmesi gerekli atomizasyonu sınırlayıcı bir etkide bulunması, özellikle yakıt pompalarında bir sorun oluşturduğu önemli bulunmuştur. Pompa kullanım ömrü ilerledikçe etkilerin ne yönde olacağını irdelenmediği bu çalışmada, yanma veriminin viskozite ile uğradığı düşüşüne bağlı olarak, B10, B20, B50, B80 ve B100 yakıtlarının güç miktarlarında düşüş olmaktadır. Maksimum tork ile nominal hızdaki tork eğrilerindeki değişimin azalması sebebiyle, motorun tork artış değişiminde düşüş meydana gelmektedir. B0 yakıtından itibaren biyodizel - dizel karışım oranının artmasıyla, motor tork artış değişimindeki düşüş $y = - 0,01x + 0,28$ ($R^2=1,00$) regresyon denklemiyle açıklanmıştır. B0 yakıtının tork artış değerinin, B5 yakıtına daha yakın olduğu belirlenmiştir.

Biyodizel oranının artmasıyla maksimum güç ve maksimum tork artışında değişim eğrileri azalma göstermiştir. Bu sonuçlara benzer olarak, Bolat (2007) yaptığı çalışmada, tork artışı parametresini ele alarak, yakıtlar arasındaki maksimum tork farklılığının %3 düzeyinde oluşunun motor iş başarısına nasıl etkide bulunduğunu daha net biçimde yorumlamıştır. Yaptığı çalışmasında, B80 ve B100 yakıtlarının güç miktarlarında düşüş, her bir genleşme zamanında elde edilen tork değerlerinde de, B0 yakıtı karıştırılan biyodizel miktarı arttıkça doğrusal olarak azalma olduğunu belirtmiştir. Fiorese I ve ark. (2012) yapmış oldukları çalışmada, regresyon denklemleri için biyodizel yakıtın artan oranına göre, maksimum tork ve maksimum güç değişimindeki azalmanın, motorun tork artış değişiminde düşüş meydana gelmesini sağlamakta olduğunu ve $(y = -0,094249x + 245,64)$ regresyon denkleminde bu düşüşün, kullanılan B0 yakıtından itibaren B5, B20, B40, B60, B80 ve B100 yakıtlarında da devam etmekte olduğunu belirtmiştir. Costa ve Oliviera (2006) yaptıkları çalışmada, tavuk yağından elde edilen biyodizelin farklı oranlarda karıştırılması ile elde edilen yakıtın; motor performansı açısından yakıt tüketimindeki büyük değişikliklerin önemli güç kayıplarına ve tork değişimindeki azalmalara neden olduğunu belirtmiştir. Tork artışının motorun çalışma aralığında tam yükteki maksimum tork değeri ile maksimum güçteki tork değeri arasındaki yüzdesel değişim olarak hesaplandığını yorumlamışlardır.

5.6. Egzoz Emisyon Değişimi İle İlgili Tartışma

5.6.1. Karbonmonoksit (CO) Emisyon Değişimi ile İlgili Tartışma

B0 yakıtına karıştırılan kanola biyodizelin ilavesi ile CO emisyonunun, motor hızı 1100, 1400, 1700, 2000, 2000 d/dak' ya kadar, her karışım oranı için azaldığı görülmektedir. Motor hızı 3800 d/dak' ya ulaştığında B100 yakıtı, B0 yakıtına göre %48,6 azalma göstermiştir. Motor hızı 1100 d/dak' da iken %27,52 oranında azalmıştır. CO emisyonunun yanma ürünleri arasında bulunmasının ana nedeni, hava - yakıt oranının düşük olmasıdır. Eksik yanma ürünü olan CO emisyonu düşük hızlarda tüm yakıtlar için yüksek seviyelerde iken motor hızının artmasıyla azalmaktadır. Motor hızı 2000 d/dak' ya ulaştıktan sonra, CO emisyon değeri, her yakıt karışım oranı için büyük oranda azalma göstermiştir. Motor hızı arttıkça, CO emisyonundaki azalmanın temel sebebi, biyodizelin bünyesindeki oksijen oranının yüksek olmasından kaynaklanır. Biyodizel yakıtlarının yapısındaki oksijenden dolayı yanma iyileşmekte ve CO emisyonu B0 yakıtına göre düşük olmaktadır. Bu sonuçlara benzer olarak, Aktaş ve Sekmen (2008) yaptıkları çalışmada, biyodizelin CO emisyonlarını B0 yakıtı göre daha düşük olarak ölçmüştür. Biyodizel yakıtının oksijen içermesinin bu azalmanın temel sebebi olduğunu, diesel motoru genellikle fakir karışımla çalıştığından CO

emisyununun düşük çıktığını belirtmişlerdir. Sezer (2004) yaptığı çalışmada, dört zamanlı, tek silindirli Briggs and Stratton-Vanguard marka deney motorunun emme havasına 0,5 - 1 - 1,5 bar basınçta, O₂ ilave etmiştir. İlave oksijenin CO emisyonunda düşüş meydana getirdiğini görmüş, özellikle kısmi yük durumunda sıfır emisyon sınırına yaklaştığını belirtmiştir. Usta ve ark. (2008) yaptıkları çalışmada, etanol ve iki farklı biyodizeli B0 yakıtı ile karşılaştırmış, kullanılan yakıtların CO emisyonu değişiminin, B0 yakıtına göre azaldığını ve bu azalmanın temel sebebinin biyodizelin bünyesinde bulunan oksijenden kaynaklandığı sonucunu elde etmişlerdir.

5.6.2. Azot oksit (NO_x) Emisyon Değişimi İle İlgili Tartışma

NO_x yüksek sıcaklıkta (1800°K) alev sınırları boyunca oksijenin havadaki azot ile birleşmesiyle oluşur. Yanma esnasında meydana gelen NO_x emisyonu, Motor hızı 1700 d/dak' da iken hava fazlalık katsayısının yüksek olmasından dolayı artmıştır. 1700 d/dak' dan itibaren yüksek motor hızlarına kadar, oksijenin azalması ile NO_x emisyonları düşmüştür. Motor hızı 3800 d/dak' da iken B100 yakıtı, B0 yakıtına göre %34,5 artış göstermiştir. Motor hızı 1100 d/dak' da iken, %21 oranında artış olduğu saptanmıştır. Yanma esnasında meydana gelen NO_x konsantrasyonu üzerinde etkisi önemli olan faktörler, yanma odasında ulaşılan yüksek sıcaklık ve hava - yakıt oranıdır. Bu nedenle NO_x emisyon gazlarını azaltmanın en iyi yöntemi yanma odası içindeki sıcaklığın 1800°C' ye çıkmasını önlemek veya yüksek sıcaklıklarda ulaşılan süreyi kısa tutmaktır. NO_x oluşumunu etkileyen diğer bir faktör de hava fazlalık katsayısıdır. HFK = 1,1 civarında olursa (bu durum azot ile oksijenin bulunması durumudur), NO_x emisyonu yükselmektedir. Bu değer arttıkça silindir içi sıcaklık, reaksiyona giren gaz miktarının azalması ile düşmekte ve NO_x emisyonunda hızlı bir şekilde azaldığı saptanmaktadır. Biyodizelin yapısında B0 yakıtına göre daha fazla oksijen bulunduğu için karışımdaki biyodizel miktarı arttıkça, NO_x emisyonu da artmıştır. Kanola biyodizel içerisindeki oksijen, düşük ve orta motor hızlarında, karışımın iyi yanmasına ve silindir sonu sıcaklığın yükselmesine neden olmaktadır. Silindir içerisine biriken ve yanmayan yakıt karışımlarının aniden yanması da NO_x emisyonlarını artırmaktadır. Yüksek motor hızında ise artan yanma periyodun ve yanmanın kötüleşmesi ile birlikte yanma sonu sıcaklığı azalmakta ve NO_x emisyonları azalmaktadır. Bu sonuçlara benzer olarak, Karabektaş ve Ergen (2007) yaptıkları çalışmada, motor hızı 3000 d/dak olduğunda, NO_x emisyonunun, soya yağ metil esteri kullanıldığında B0 yakıtına oranla %21,20 oranında artış gösterdiğini, tüm motor hızları göz önüne alındığında ise ortalama olarak %18,23 oranlarında arttığını belirtmişlerdir. NO_x emisyonunun artış oranı için en belirgin sebebin, biyodizelin içerdiği %10 civarındaki oksijen

miktarı ve oluşan biyodizel - hava karışımındaki hava fazlalık katsayısı değerinin yüksek olmasından kaynaklandığını belirtmişlerdir. Aysal ve ark. (2014) yaptıkları çalışmada, NO_x yanma odasındaki nitrojenin yüksek sıcaklıklarda oksidasyonu yoluyla oluşan NO_x olarak adlandırıldığını ve NO_x oluşum oranı yanma sıcaklığı, sıcaklığa nitrojenin maruz kalma süresi ve yanma odasındaki reaksiyon bölgelerindeki oksijen içeriğinin bir fonksiyonu olduğunu belirtmişlerdir. Özer ve ark. (2011) yaptıkları çalışmada, kanola yağ metil esterin içerisindeki oksijenin, düşük ve orta motor hızlarında, etanol ve iki farklı biyodizelin özellikleri B0 yakıt ile karşılaştırılmış, karışımın iyi yanmasına ve silindir sonu sıcaklığın yükselmesine neden olduğunu açıklamıştır. Silindir içerisine biriken ve yanmayan yakıt karışımlarının aniden yanması da NO_x emisyonun artmasına ve yüksek motor hızlarında ise artan yanma periyodunun ve yanmanın kötüleşmesi ile birlikte yanma sonu sıcaklığının azaldığını, buna bağlı olarak NO_x emisyonlarının azaldığını belirtmiştir. Krahl ve ark. (2002) yaptıkları çalışmada, kanola yağı biyodizeli yakıtı ile denemede Farymann motor tipi 18D, hava soğutmalı, 4,2 kW, tek silindir, dört zamanlı DI diesel motor ve Fendt traktör tipi 306 LSA DI diesel motor kullanmıştır. Yapılan çalışmalarda biyodizel yakıt kullanımı ile NO_x emisyonlarının arttığı tespit edilmiş ve biyodizelin yüksek setan sayısından kaynaklandığı belirtilmiştir.

5.6.3. Duman Koyuluğu Değişimi İle İlgili Tartışma

Yakıt içerisindeki oksijen içeriğinin yanma bölgelerinde gerekli oksijeni sağlayarak silindir içerisindeki oksitlenme miktarını artırması önemlidir. Ayrıca, biyodizelin hemen hemen hiç aromatik bileşik içermemesi partikül ve is emisyonlarında önemli azalmalar sağlamaktadır. B0 yakıtına karıştırılan biyodizel yakıt oranları arttıkça duman yoğunluğunun azaldığı tespit edilmiştir. Motorun hızı arttıkça, duman koyuluğu da azalmaktadır. Bu durumun temel nedeni, biyodizelin oksijen içeriğinin yanma bölgelerinde gerekli oksijeni sağlayarak silindir içerisindeki oksitlenme miktarını artırmasıdır. Ayrıca, biyodizelin hemen hemen hiç aromatik bileşik içermemesi partikül ve is emisyonlarını da önemli ölçüde azaltmaktadır. Yakıt olarak B0 yakıtın kullanımında duman koyuluğunun yüksek çıkmasının ana sebebi, yakıtın içeriğindeki aromatik bileşikler gösterilebilir. Biyodizel yakıtının yok denecek kadar az aromatik bileşikler ve sülfür içermesi is emisyonlarında önemli azalmalar sağlamaktadır. Bu sonuçlara benzer olarak, Xiao ve ark. (2000) yaptıkları çalışmada, yakıt olarak B0 yakıt kullanımında duman koyuluğunun yüksek çıkmasının ana sebebinin, yakıtın içeriğindeki aromatik bileşikler olduğunu belirtmişlerdir. Biyodizelin yok denecek kadar az aromatik bileşik ve sülfür içermesinin is emisyonlarında önemli azalmalar sağladığını, bu

sebeple, oksijenli yakıtların is ve partikül emisyonlarını azalttığını da belirtmişlerdir. Kılıçkan ve ark. (2008) yaptığı çalışmada, B0 yakıtı, pamuk yağı metil esteri ve pamuk yağı etil esteri yakıtlarının motor hızına bağlı denemelerde özellikle karışimli yakıtlar için yağ oranının artmasıyla duman yoğunluğunda az da olsa bir düşüş olduğunu gözlemlemiştir. Sarıdemir ve ark. (2015) yaptıkları çalışmada, kanola yağ metil esteri karışimli yakıtların duman koyuluğu değişiminde, B0 yakıtı kullanımına göre tüm motor hızlarında önemli düşüşler olduğunu belirtmişlerdir. Motor hızı arttıkça, yanma kalitesi artarak duman koyuluğu azalmakta ve kanola biyodizel ile karışimli yakıtların duman koyuluğu emisyonundaki azalmanın, kanola biyodizelde bulunan oksijen nedeni ile, yakıtın zengin karışım bölgesinde daha verimli şekilde yanması ile açıklanabileceğini söylemişlerdir.



6. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada kanola biyodizelinin; diesel motorunda herhangi bir modifikasyona gidilmeden alternatif yakıt olarak kullanılabilme olanakları araştırılmıştır. B0 yakıtına; %5, %10, %20, %50, %80 katılan kanola biyodizelin ve %100 oranlarda kanola biyodizelin değişik motor hızlarında deneme testleri yapılmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- B0 yakıtına karıştırılan biyodizel oranı arttıkça motorun gücünde azalma meydana gelmektedir. B5' den B100' e kadar değişen oranlarda biyodizel - dizel karışımı kullanımı arttıkça, motorun bütün hızlarında, B0 yakıt kullanımına göre efektif güç değişiminde bir azalma meydana gelmiştir. Yüksek motor hızlarında B5 yakıtının B0'a göre efektif güç değerlerinin bir miktar düşüş eğilimi gösterdiği belirlenmiştir. Yakıt pompa kullanım ömrü ilerledikçe etkilerin ne yönde olacağını irdelenmediği bu çalışmada, yanma veriminin viskozite ile uğradığı düşüşüne bağlı olarak, B10, B20, B50, B80 ve B100 yakıtlarının güç miktarlarında da düşüş olmaktadır.
- B0 yakıtıyla yapılan çalışmadaki efektif tork değeri, farklı oranlardaki biyodizel - dizel karışım yakıtına göre yüksek seviyelerdedir. Özellikle maksimum tork değerlerine ulaşıldığı düşük motor hızında (1700 d/dak), B0 yakıtı ile yapılan çalışmalardaki tork değerleri ile B5, B10, B20, B50, B80 ve B100 yakıt karışımları ile yapılan çalışmalardaki tork değerleri arasında fark olduğu saptanmıştır. Motor hızı 1700 d/dak iken, B0 ile B100 yakıtı arasında, tork değişiminde %13,92 oranında düşüş gerçekleşmiştir. Aynı motor hızında B5 yakıtının tork değişiminde, B0 yakıtına göre %2,39 oranında düşüş gerçekleşmiştir. B0 ile B5 tork değişimindeki farkın daha az olduğu saptanmıştır.
- Motor karakteristik eğrisinde elde edilen sonuçlara göre motor hızına bağlı olarak B5, B10, B20, B50, B80 ve B100 yakıtlarının saatlik yakıt tüketim değişiminin, B0 yakıtından daha fazla olduğu görülmektedir. Deneme sonucunda motor hızı 3500 d/dak' da, B100 yakıtının saatlik yakıt tüketimi değişimi, B0 yakıtından %13,56 oranında artış gerçekleştirmiştir. Aynı motor hızında B5 yakıtının saatlik yakıt tüketimi değişimi, B0 yakıtından %0,69 artış göstermiştir.
- B0 yakıtında en düşük özgül yakıt tüketimi değeri 1700 d/dak' da gerçekleşmiştir. Aynı motor hızında B100 yakıtının özgül yakıt tüketimi, B0 yakıtından %17,8 oranında artış göstermiştir. Karışım yakıtlarının özgül yakıt tüketimi B0 yakıtına göre daha yüksek çıkmıştır. Özgül yakıt tüketimi artışına en büyük etken, B100 yakıtın ısıl değeri, standart

B0 yakıtından daha düşük olmasıdır. Diğer bir sebep ise B100 yakıt yoğunluğunun standart B0 yakıtından yüksek olmasıdır.

- Tüm motor hızlarının ortalaması alındığında, B100, B80, B50, B20 yakıtlarının kullanımıyla, B0 yakıtına göre, tork artışı değerlerinde sırası ile %22,2, %18,51, %14,81, %11,11 azalma olmuştur. B10 yakıtında tork artış değeri, B0 yakıtına göre %7,4 oranda azalma göstermiştir. B5 yakıtında ise tork artışındaki azalma %3,7 oranındadır. B0 yakıtının tork artış değeri, B5 yakıtına daha yakındır. Karışımdaki biyodizel oranı arttıkça tork artış değeri azalmaktadır. Bunun nedeni; biyodizel oranının artışına göre yakıt tüketiminin yüksek olması, güç tüketiminin azalması ve yakıtın yanma verimliliğinin artmasıdır.
- B0 yakıtına kanola biyodizelin ilavesinde CO emisyonu, motor hızı 1100, 1400, 1700, 2000 d/dak' ya kadar, her karışım oranı için azalmıştır. Motor hızı 3800 d/dak' ya ulaştığında B100 yakıtı, B0 yakıtından %48,6 oranında azalma göstermiştir. Motor hızı 1100 d/dak' da ise CO emisyonu %27,52 oranında azalmıştır. Tüm motor hızlarında karışımdaki biyodizel oranı artması sonucunda, CO emisyon değeri azalmıştır. Bu azalmanın sonucunda, biyodizelin bünyesindeki oksijen oranının yüksek olmasından kaynaklanmaktadır.
- B0 yakıtı ile karıştırılan kanola biyodizel yakıtının 1100 d/dak - 1700 d/dak aralığında NO_x emisyonlarının arttığı görülmektedir. 1700 d/dak' dan itibaren yüksek motor hızlarına kadar, NO_x emisyonunun değeri azalmıştır.
- B0 yakıtının duman koyuluğu, motor hızları 1100, 1400, 1700, 2100, 2400, 2700, 3000, 3500, 3800 d/dak olduğunda, B100 yakıtına göre sırası ile; %23, %24, %27, %32, %39, %40, %43, %50, %57, %54 artış göstermiştir. B0 yakıtına göre B5 yakıt denemesinde, motor hızı 1700 d/dak olduğunda duman koyuluğu %1,90 oranında azalmıştır. B0 yakıtı ile karıştırılan kanola biyodizel yakıt oranları arttıkça duman koyuluğu azalmıştır. Biyodizel yakıt kullanımı sonucunda duman koyuluğunu azalmasının nedeni, biyodizelin hemen hemen hiç aromatik bileşik içermemesidir. Bu durum, partikül ve is emisyonlarında da önemli azalmalara neden olmaktadır.

Yapılan tüm yakıt denemelerinde B100 yakıtın, motor karakteristik eğrilerinde B0 yakıtına göre bir üstünlük sağlamadığı gibi, B0 yakıtı performansının gerisine düşüp sonuçları itibariyle seçenek olmaktan uzaklaşacak bir yakıt olduğunu göstermiştir. Bu araştırma sonuçlarına göre, B5 yakıtı ile yapılan denemeler sonucunda, motor performansı,

tork artışı ve egzoz emisyon değişimi yönünden, B0 yakıtına daha yakın değerler elde edilmiştir. Günümüz koşullarında B5 yakıtının, B0 yakıtına alternatif olarak kullanılması önerilebilir. Biyodizel yakıt kullanımı, kırsal kesimin sosyo - ekonomik yapısında iyileşme ve yerel iş imkanı, petrole bağımlılığı azaltmasıyla ülkeye ekonomik ve stratejik katkı sağlayacaktır.

Araştırma sonucunda elde edilen verilere dayanarak aşağıdaki önerilerde bulunmak mümkündür;

- B5 yakıtı motor üzerinde herhangi bir modifikasyona gerek kalmadan veya çok az bir değişiklik yapılarak kullanılabilir.
- Motor performans ve emisyon değerleri açısından B0 yakıtına yakın değerler elde edildiğinden alternatif yakıt olarak kullanılabilir.
- Biyodizel kullanımı daha temiz yanma ürünleri nedeniyle sürdürülebilir gelecek ve toplum sağlığına katkı yapacaktır.
- B5 yakıtı, çevre ve canlı yaşam açısından risk oluşturmaması, atık maddelerin değerlendirilmesine imkan sağlaması gibi nedenlerden dolayı alternatif yakıt olarak kullanılabilir.
- B5 yakıtı, özellikle taşımacılık sektörünün vazgeçilmezi olan B0 yakıtına alternatif yakıt olarak kullanılabilir.

7. KAYNAKLAR

- Akdere Y (2006). Soya Yağı Metil Esterinin Diesel Motorlarda Yakıt Olarak Kullanımının Deneysel Olarak Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Balıkesir.
- Akgün G, Bayındır H, Aydın H, Düz Z (2009). Hayvansal Yağlardan Biyodizel Üretimi ve Teknik Değerlerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Çalışma. Dicle Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır.
- Aksoy L (2010). Alternatif Enerji Kaynağı Olarak Biyodizel ve Üretim Prosesleri. *Electronic Journal of Vehicle Technologies*, 2: 45-52.
- Aktaş A, Sekmen Y (2008). Biyodizel İle Çalışan Bir Diesel Motorda Yakıt Püskürtme Avansının Performans ve Egzoz Emisyonlarına Etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23(1): 199-206.
- Alpgiray B (2006). Kanola Yağının Diesel Motorunun Performansına ve Emisyon Karakteristiklerine Etkilerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Tarım Makinaları Ana Bilim Dalı, Ankara.
- Alptekin E, Çanakçı M (2006), Biyodizel ve Türkiye' deki Durumu. *Mühendis ve Makina Dergisi*, 47: 57-64.
- Anonim (2010a). Sıvı Petrol Ürünleri - Yağ Asidi Metil Esterleri (YAME/Biyodizel) - Diesel Motorlarda ve Isıtma Uygulamalarında Kullanılan Özellikler ve Deney Yöntemleri <https://intweb.tse.org.tr/standard/standard/Standard.aspx>? Erişim Tarihi: 18.06.2014.
- Anonim (2010b). Türk Standardı. TS No: TS 1231. <https://www.intweb.tse.org.tr>. Erişim Tarihi: 02.03.2014.
- Anonim (2011a). ISO/TS11366:2011 Standardı. <http://www.en-standard.eu/iso-ts-11365> Erişim Tarihi: 30.04.2011.
- Anonim (2011b). ISO/TS11365:2011 Standardı. http://www.iso.org/iso/isocatalogue/catalogue_tc_details_detail.htm?Cnumber=54430. Erişim Tarihi: 30.04.2011.
- Anonim (2015a). Türkiye Petrolleri. http://www.tpao.gov.tr/tp5/docs/imaj/hp_dg_sektor_rpr_040515.pdf. Erişim Tarihi: 15.01.2015.

Anonim (2015b). Türkiye Petrolleri. http://www.tpao.gov.tr/tp5/docs/imaj/hp_dg_sektor_rpr_040515.pdf. Erişim Tarihi: 15.01.2015.

Anonim (2015c). 2014' te 32 Bin 240 Ton Biyodizel Piyasaya Sunuldu. www.bik.gov.tr/2014te-32bin-240-ton-biyodizel-piyasaya-sunuldu-haberi-92446. Erişim Tarihi: 11.07.2015.

Anonim (2015d). Making Sense of Diesel Engine Specifications <http://www.frontierpower.com/library-ref.htm>. Erişim Tarihi: 09.10.2015.

Aysal FE, Şahin A, Aksoy L, Yıldırım H (2014). Hardal Yağından Biyodizel Üretiminin Optimizasyonu ve Motor Performans Testleri, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bil, 14(2): 1-9.

Behçet R, Çakmak AV (2014). Bir Diesel Motorda Yakıt Olarak Kullanılan Balık Yağı Metil Esteri Karışımlarının Motor Performans ve Emisyonlarına Etkisi, Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 3(1): 15–23.

Bolat A (2007). Orta Segment Bir Tarım Traktöründe Biyodizelin Motor Performansı Üzerine Etkileri ve Biyodizelin Türkiye İçin Önemi. Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.

Çelik M, Solmaz H, Yücesu HS (2015). Pamuk Metil Esterine N-Heptan Katkısının Motor Performansı ve Yanma Karakteristiklerine Etkilerinin İncelenmesi Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi 30: 361-369.

Çengelci E, Bayrakçeken H, Aksoy F (2011). Bir Diesel Motorunda Hayvansal Yağ Metil Esterinin Kullanımının Motor Performansı ve Emisyonlarına Etkisi. *Electronic Journal of Vehicle Technologies*, 41-53.

Çetinkaya S (2013). Taşıtlar Mekaniği. Nobel Yayın Dağıtım No: 125: 27, Ankara.

Costa BJ, Oliveria SMM (2006). Produção De Biodiesel. Dossiê Técnico. Curitiba Tecpar: 27

Demir A (2013). Motorlarda Performans. <http://www.abdullahdemir.net/ders-notları/motor-ve-tasit-performans-testleri/motorlarda-performans>. Erişim Tarihi: 20.12.2013.

Düzgüneş O, Kesici T, Gürbüz F (1993). İstatistik Metotlar. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları:1291, Ders Kitabı: 369(2): 218.

- Eliçin AK (2011). Biyodizel Yakıtla Çalıştırılan Küçük Güçlü Bir Diesel Motorun Performans ve Emisyonuna Giriş Hava Basıncı Etkisinin Deneysel Olarak Araştırılması. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Fioresel DA, Dallmeyer AU, Romano LN, Schlosser JF, Machado PRM (2012). Performance of an Agricultural Tractor Engine in Dynamometer with Chicken Oil Biodiesel and Binary Mixtures with Diesel Oil, 42: 660-666.
- Formo WM, Jungermann E, Norris FA, Sonntag NOV (1979). Bailey's Industrial Oil and Fat Products, A.B.D, John Wiley & Sons: 99-159.
- Haas MJ, Michalski PJ, Runyon S, Nunez A, Scott KM (2003). Production of FAME From Acid Oil, a by - Product of Vegetable Oil Refining. J. Am. Oil Chem. Soc, 8: 97-102.
- Karabektaş M, Ergen G (2007). Soya Yağı Metil Esterinin Motor Performans Karakteristikleri ve NO_x Emisyonları Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 11: 21-26.
- Kılıçkan A, Eliçin AK, Erdoğan D (2008). Pamuk Yağı Motorin Karışımlarının ve Pamuk Yağı Esterlerinin Küçük Güçlü Bir Diesel Motorda Yakıt Olarak Kullanımı. Tarım Bilimleri Dergisi, 14: 237-245.
- Koçak MS (2005). Fındık Yağı Metil Esterinin Diesel Motorlarda Alternatif Yakıt Olarak Kullanımının Deneysel Olarak Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Körbitz W (1999). Biodiesel Production in Europa and North America an Encouraging Prospect. Renewable Energy, 16: 1078-1083.
- Krahl J, Bünger J, Schröder O, Murack A, Knothe G (2002). Exhaust Emission and Health Effects of Particulate Matter From Agricultural Tractors Operating on Rapeseed Oil Methyl Ester. JAOCS, 79: 717-725.
- Oliveira JFG, Lucena IL, Saboya RMA, Rodrigues ML, Torres AEB, Fernandes FAN, Cavalcante CL, Parente EJS (2010). Biodiesel Production From Waste Coconut Oil by Esterification with Ethanol: The Effect of Water Removal by Adsorption, Renewable Energy, 35, 11: 2581-2584.
- Oğuz H (2004). Tarım Kesiminde Yaygın Olarak Kullanılan Diesel Motorlarında Fındık Yağı Biyodizelinin Yakıt Olarak Kullanım İmkanlarının İncelenmesi. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi.Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

- Özçelik AE (2011). Aspir Biyodizelinin ve Motorinle Karışımlarının Tek Silindirli Bir Diesel Motorda Yağlama Yağına Etkilerinin Belirlenmesi. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Ana Bilim Dalı, Konya.
- Özer S, Vural E, Özdalyan B (2011). Diesel Motorlarında Kanola Yağı Metil Esteri - Dizel Yakıtı Karışımlarının Motor Performansına ve Egzoz Emisyonlarına Etkileri. Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi, 3: 9-18.
- Sabancı A, Atal M, Yaşar A (2006). Türkiye’ de Biyodizel Kullanım ve Olanakları. Tarım Makinaları Bilim Dergisi, 2 (1) : 33-39.
- Sarıdemir S, Albayrak S (2015). Kanola Yağı Metil Esteri ve Karışımlarının Motor Performans ve Egzoz Emisyonlarına Olan Etkileri, Journal of Advanced Technology Sciences, 4: 35-46.
- Sezer K (2004). Klasik Motorlarda Saf Oksijenin Verilmesinin İrdelenmesi. Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilim Uzmanlığı Tezi, Zonguldak.
- Srivastava A, Prasad R (2000). Triglycerides-Based Diesel Fuels, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 4: 111-133.
- Şahin S (2013). Keten Yağı Biyodizelinin ve Motorinle Karışımlarının Motor Performansına ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Konya.
- Türkan A, Kalay Ş (2008). Study of the Mechanism of Lipase-Catalyzed Methanolysis of Sunflower Oil in Tert-Butanol and Heptane. Turkish Journal of Biochemistry,33:45-49
- Usta N, Can Ö, Öztürk E (2004). Alternatif Diesel Motor Yakıtı Olarak Biyodizel ve Etanolün Karşılaştırılması. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 11: 325-334.
- Xiao Z, Ladommatos N, Zhao H (2000). The Effect of Aromatic Hydrocarbons and Oxygenates on Diesel Engine Emissions, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part D Journal of Automobile Engineering 214(3): 307-332.
- Yuji S, Yomi W, Akio S, Yoshio T (2002). Enzymatic Alcoholysis For Biodiesel Fuel Production and Application of The Reaction to Oil Processing. Journal of Molecular Catalysis B Enzymatic, 17: 133-142.
- Zhenyi C, Xing J, Shuyuan L, Li L (2004). Thermodynamics Calculation of The Pyrolysis of Vegetable Oils. Energy Sources, 26: 849-856.

8. EKLER

EK 1.

TC
GIDA TARIM VE HAYVANCILIK BAKANLIĞI
KARADENİZ TARIMSAL ARAŞTIRMA ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ
ENERJİ TARIMI ARAŞTIRMA MERKEZİ
ANALİZ RAPORU

SONUÇ TARİHİ : 26.07.2013
SAYI : 4
GELİŞ TARİHİ : 01.03.2013
GELDİĞİ YER : Namık Kemal Üniversitesi/Tekirdağ
NUMUNE TÜRÜ : Kolza Yağı (Biyodizel Üretimi ve Kalite Analizi)
NUMUNE SAYISI : 1
PARAMETRE SAYISI : 14 + Biyodizel Üretimi

Yukarıdaki tarihi ve kayıt numarası yazalı numuneye ait analiz sonuçları:

| No | Özellik | Birim | Sonuç |
|----|------------------------------|--------------------|--------|
| 1 | Ester İçeriği | %w/w | %90 |
| 2 | Yoğunluk | kg/m ³ | 878 |
| 3 | Kinematik Viskozite | mm ² /s | 4,9 |
| 4 | Sülfür İçeriği | mg/kg | 2,7 |
| 5 | Su İçeriği | mg/kg | 342,93 |
| 6 | Bakır Şerit Korozyon | | No:1 |
| 7 | Asit Sayısı | mg KOH/g | 342,93 |
| 8 | Yanma Isısı | Mj/kg | 40,004 |
| 9 | Akma Noktası | °C | -19 |
| 10 | Bulutlanma Noktası | °C | -2 |
| 11 | Soğuk Filtre Tıkanma Noktası | °C | -5,5 |
| 12 | Parlama Noktası | °C | 150 |
| 13 | Metanol İçeriği | %w/w | 0,010 |
| 14 | Iyot sayısı | g iyodür / 100g | 102,8 |



Laboratuvar Sorumlusu :

Adı soyadı : Dr. Ayşegül EFENDİOĞLU ÇELİK

Tarih:26.07.2013

İmzası: 



| | | | |
|---|--|--|-------------------------|
| Rapor no: | : 35487319-181.06.03-4084-10959 | | |
| Talep eden | : Namık Kemal Üniversitesi Çorlu MYO / Oğuzhan EROL | | |
| Talep edenin adresi | : Namık Kemal Üniversitesi Çorlu MYO Zafer Mah. (İstanbul Yolu Üzeri) 59860 - ÇORLU | | |
| Örnek | : Petrol Ürünü | Son kullanım tarihi | : - |
| Örnek sayısı | : 5 adet | Enstitü örnek kayıt no | : 14/821/1-5 |
| Örneğin getiriliş şekli | : Müşteri Tarafından | Kabul tarihi ve saati | : 11.11.2014 / 15:30 |
| Kabul anındaki durumu | : Mühürsüz ve Şarhlı | Analiz tarihi | : 11.11.2014-13.11.2014 |
| Şahit numune bilgileri : | <input type="checkbox"/> Müşteriye iade <input type="checkbox"/> Şahit numune mevcut <input checked="" type="checkbox"/> Şahit numune alınmamıştır | | |
| <p>Namık Kemal Üniversitesi Çorlu MYO / Oğuzhan EROL tarafından, biyodizel ve dizel karışım olarak belirtilen numuneye ait analiz sonuçları aşağıda verilmiştir.</p> | | | |
| 14/821/1 numaralı numune; 1. Numune (% 5 biyodizel - % 95 dizel) | | | |
| Analiz | Birimi | Analiz Sonucu | Analiz Metodu |
| Kinematik Viskozite (40°C) | mm ² /s | 2,825 | EN ISO 3104 |
| Parlama Noktası | °C | 61,5 | ASTM D 93 |
| Akma Noktası | °C | -24 | ISO 3016 |
| Net Yanma Isısı | Mj/kg | 45,92 | ASTM D 240 |
| 14/821/2 numaralı numune; 2. Numune (% 10 biyodizel - % 90 dizel) | | | |
| Analiz | Birimi | Analiz Sonucu | Analiz Metodu |
| Kinematik Viskozite (40°C) | mm ² /s | 2,905 | EN ISO 3104 |
| Parlama Noktası | °C | 61,5 | ASTM D 93 |
| Akma Noktası | °C | -24 | ISO 3016 |
| Net Yanma Isısı | Mj/kg | 45,51 | ASTM D 240 |
| 14/821/3 numaralı numune; 3. Numune (% 20 biyodizel - % 80 dizel) | | | |
| Analiz | Birimi | Analiz Sonucu | Analiz Metodu |
| Kinematik Viskozite (40°C) | mm ² /s | 3,123 | EN ISO 3104 |
| Parlama Noktası | °C | 64,5 | ASTM D 93 |
| Akma Noktası | °C | -27 | ISO 3016 |
| Net Yanma Isısı | Mj/kg | 44,78 | ASTM D 240 |
| Açıklamalar: | | | |
| Sorumlu İmzalar | | | |
|  53398 | |  53591 | |
| Bu rapor ve sonuçları talepte bulunan kuruluş ve müşterilerince ticaret ve reklam amaçları ile kullanılamaz. Rapor tamamen veya kısmen çoğaltılamaz/yayımlanamaz. Raporunda (*) işaretli analizler akredite edilmiştir. İmzasız analiz raporları geçersizdir. | | | |
| Bu rapor 3 sayfa olup, 2 asıl (1 asıl müşteriye, 1 asıl Enstitü arşivine) olarak hazırlanmıştır. | | | Sayfa 2/3 |



Rapor no : 35487319-181.06.03-4084-10959

14/821/4 numaralı numune; 4. numune (% 50 biyodizel - % 50 dizel)

| Analiz | Birimi | Analiz Sonucu | Analiz Metodu |
|----------------------------|--------------------|---------------|---------------|
| Kinematik Viskozite (40°C) | mm ² /s | 3,882 | EN ISO 3104 |
| Parlama Noktası | °C | 71,5 | ASTM D 93 |
| Akma Noktası | °C | -18 | ISO 3016 |
| Net Yanma Isısı | Mj/kg | 42,86 | ASTM D 240 |

14/821/5 numaralı numune; 5. Numune (% 80 biyodizel - % 20 dizel)

| Analiz | Birimi | Analiz Sonucu | Analiz Metodu |
|----------------------------|--------------------|---------------|---------------|
| Kinematik Viskozite (40°C) | mm ² /s | 4,885 | EN ISO 3104 |
| Parlama Noktası | °C | 90,5 | ASTM D 93 |
| Akma Noktası | °C | -9 | ISO 3016 |
| Net Yanma Isısı | Mj/kg | 40,97 | ASTM D 240 |

Açıklamalar:

Sorumlu İmzalar


53398


53591

Bu rapor ve sonuçları talepte bulunan kuruluş ve müşterilerince ticaret ve reklam amaçları ile kullanılamaz. Rapor tamamen veya kısmen çoğaltılamaz/yayınlanamaz. Raporda (*) işaretli analizler akredite edilmiştir. İmzasız analiz raporları geçersizdir.

Bu rapor 3 sayfa olup, 2 asıl (1 asıl müşteriye, 1 asıl Enstitü arşivine) olarak hazırlanmıştır.

Sayfa 3/3

P.K.21, 41470 GEBZE – KOCAELİ
T 0 262 677 20 00 F 0 262 641 23 09
<http://www.mam.gov.tr>

Ek 3.

Dizel Yakıtın Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

| Özellik | Birim | Değer | Sınır | Deney Yönetimi |
|--|--------------------|-----------------|--------|--|
| Yoğunluk (15 °C) | kg/m ³ | 820,0-845,0 | | TS 1013 EN ISO 3675 TS EN ISO 12185 |
| Polisiklik aromatik hidrokarbonlar | % (m/m) | 8 | En çok | TS EN 12916 |
| Parlama Noktası | °C | 55,0'dan yüksek | | TS EN ISO 2719 |
| Soğuk Filtre Tıkanma Noktası (SFTN) | °C | | | TS EN 116 |
| Kış (a) | | -15 | En çok | |
| Yaz (b) | | 5 | En çok | |
| Damıtma | | | | TS 1232 EN ISO 3405 |
| 250°C'ta elde edilen | % (V/V) | 65 | En çok | |
| 350°C'ta elde edilen | % (V/V) | 85 | En az | |
| % 95'in (hacim/hacim) elde edildiği sıcaklık | °C | 360 | En çok | |
| Kükürt içeriği | mg/kg | 10 | En çok | TS EN ISO 20846 TS EN ISO 20884 |
| Mangan içeriği | Mg/L | 2 | En çok | EN 16576 |
| Karbon Kalıntısı (% 10 damıtma kalıntısında) | % (m/m) | 0,3 | En çok | TS 6148 EN ISO 10370 |
| Viskozite (40 °C'ta) | mm ² /s | 2,000-4,500 | | TS 1451 EN ISO 3104 |
| Bakır Şerit Korozyon (50 °C'ta 3 saat) | Derece | No.1 | En çok | TS 2741 EN ISO 2160 |
| Kül içeriği | % (m/m) | 0,01 | En çok | TS EN ISO 6245 |
| Yağ asidi metil esterleri (YAME) içeriği | % (V/V) | 7 | En çok | TS EN 14078 |
| Setan sayısı | | 51 | En az | TS 10317 EN ISO 5165 TS EN 15195 |
| Setan İndisi | | 46 | En az | TS EN ISO 4264 |
| Su içeriği | mg/kg | 200 | En çok | TS 6147 EN ISO 12937 |
| Toplam Kirlilik | mg/kg | 24 | En çok | TS EN 12662 |
| Oksitlenme Kararlılığı | g/m ³ | 25 | En çok | TS EN ISO 12205 |
| | H | 20 | En az | TS EN 15751 (c) |
| Yağlayıcılık özelliği düzeltilmiş aşınma izi çapı (wsd 1,4), 60 °C' de | µm | 460 | En çok | TS EN ISO 12156-1 |

9. ÖZGEÇMİŞ

1971 yılı Kütahya ili, Tavşanlı ilçesinde doğdu. İlkokulu; Tekirdağ ili, Çorlu ilçesi'nde Sücahattin İlköğretimde okudu. Ortaokulu ve liseyi Çorlu Lisesi'nde 1987' de tamamladı. 1996 yılında, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği'nden mezun oldu. Atlas Halıcılık A.Ş. Çorlu fabrikasında, bakım - onarım mühendisi, olarak meslek hayatına başladı. Bu görevde, 2 yıl çalıştı ve askerlik hizmeti dolayısıyla işinden ayrıldı. 1999 yılında askerlik hizmetini yaptı. 2000 yılında Zorlu Korteks A.Ş. Lüleburgaz fabrikasında, yardımcı işletmelerde bakım – onarım mühendisi olarak çalıştı. Ağustos 2001'de görevinden ayrılarak, Trakya Üniversitesi Hayrabolu Meslek Yüksekokulu'nda öğretim görevlisi olarak göreve başladı. 2005 yılında Çorlu Meslek Yüksekokulu'na Otomotiv Teknolojisi Programının öğretim görevlisi olarak atandı. Namık Kemal Üniversitesi Çorlu Meslek Yüksekokulu'nda Otomotiv Teknolojisi Programında halen ders vermektedir. Evli ve bir çocuk babası olup, Çorlu' da ikamet etmektedir.