

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MOTORİN-FINDIKYAĞI METİLESTERİ KARIŞIMININ
YAKIT OLARAK KULLANILMASININ MOTOR
PERFORMANSI ÜZERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Abdurrahim ÇAYLAK

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA EĞİTİMİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Osman ELDOĞAN

Eylül 2006

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MOTORİN-FINDIKYAĞI METİLESTERİ KARIŞIMININ
YAKIT OLARAK KULLANILMASININ MOTOR
PERFORMANSI ÜZERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Abdurrahim ÇAYLAK

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA EĞİTİMİ

Eylül 2006

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MOTORİN-FINDIKYAĞI METİLESTERİ KARIŞIMININ
YAKIT OLARAK KULLANILMASININ MOTOR
PERFORMANSI ÜZERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Abdurrahim ÇAYLAK

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA EĞİTİMİ

Bu tez .. / .. /2006 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı

Üye

Üye

ÖNSÖZ

Fosil kökenli yakıtların sınırlı olması, petrol fiyatlarının sürekli yükselmesi ve dizel motorların gün geçtikçe çoğalması alternatif yakıt çalışmalarının yoğunlaşmasına sebep olmaktadır ve yapılan çalışmalardan büyük bir ilgiyi de bitkisel yağlardan elde edilen biyodizel görmektedir. Bu çalışmada fındık yağından elde edilen biyodizel tek silindirli direkt püskürtmeli bir dizel motorda denenmiş , motor performansı ve egzoz emisyon değişimleri ölçülmüştür.

Çalışmalarım sırasında büyük desteklerini gördüğüm Sn. Doç.Dr. Osman ELDOĞAN'a, Sn. Arş. Gör. Can HAŞİMOĞLU'na, Sn. Arş. Gör. Metin GÜMÜŞ'e ve Sn.Tek. Öğr. Suat GÜL'le teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım boyunca benden desteklerini esirgemeyen babama, anneme ve kardeşime en içten teşekkürlerimi sunarım.

Eylül, 2006

Abdurrahim ÇAYLAK

İÇİNDEKİLER

| | |
|---------------------------------------|-----|
| ÖNSÖZ | ii |
| İÇİNDEKİLER | iii |
| SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ | v |
| ŞEKİLLER LİSTESİ | vii |
| TABLolar LİSTESİ | ix |
| ÖZET | x |
| SUMMARY | xi |

BÖLÜM 1.

| | |
|---|----|
| GİRİŞ VE AMAÇ..... | 1 |
| 1.1. Ham yağ kullanılarak yapılan çalışmalar..... | 4 |
| 1.2. Seyreltme yöntemiyle yapılan çalışmalar..... | 6 |
| 1.3. Mikroemilsiyon yöntemiyle yapılan çalışmalar..... | 10 |
| 1.4. Transesterifikasyon yöntemiyle yapılan çalışmalar..... | 10 |

BÖLÜM 2.

| | |
|--|----|
| BİYOKÜTLE ENERJİSİ | 20 |
| 2.1. Biyodizel..... | 21 |
| 2.2. Biyodizelin Tarihçesi | 24 |
| 2.3. Biyodizel Özellikleri | 26 |
| 2.4. Biyodizel Maliyeti | 29 |
| 2.5. Fındık Bitkisi | 29 |
| 2.5.1.Fındığın Dünyadaki Yeri..... | 32 |
| 2.6. Bitkisel Yağların Viskozitelerini İyileştirme Yöntemleri..... | 32 |
| 2.6.1. Seyreltme | 32 |
| 2.6.2. Mikroemilsiyon | 34 |
| 2.6.3. Piroliz | 34 |
| 2.6.4. Transesterifikasyon | 35 |

BÖLÜM 3.

| | |
|---|----|
| DENEYSEL ÇALIŞMALAR | 38 |
| 3.1. Transesterifikasyon Yöntemiyle Fındık Yağından Biyodizel Üretimi | 38 |
| 3.2. Fındık Yağı Metil Esterinin Yakıt Özellikleri | 41 |
| 3.3. Motor Testleri | 44 |

BÖLÜM 4.

| | |
|-----------------------------|----|
| SONUÇLAR | 66 |
| 4.1. B 5 yakıtı için | 66 |
| 4.2. B 20 yakıtı için | 66 |
| 4.3. B 50 yakıtı için | 67 |

BÖLÜM 5.

| | |
|------------------------------------|----|
| TARTIŞMA VE DEĞERLENDİRMELER | 68 |
| KAYNAKLAR | 70 |
| EKLER..... | 76 |
| ÖZGEÇMİŞ | 80 |

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

| | |
|------------------------------------|-----------------------------------|
| CO | : Karbonmonoksit |
| CO₂ | : Karbondioksit |
| n | : Devir sayısı (d/d) |
| d | : Yoğunluk (kg / m ³) |
| F | : Kuvvet (N) |
| H₂SO₄ | : Sülfürik asit |
| L | : Motor kol boyu (m) |
| η | : Isıl Verim (%) |
| C₃H₅ | : Trigiliserid |
| KOH | : Potasyum hidroksit |
| N_aOH | : Sodyum hidroksit |
| NO | : Azot oksit |
| NO_x | : Azot oksitler |
| b_e | : Özgül yakıt tüketimi (g / kWh) |
| O₂ | : Oksijen |
| P_e | : Güç (kW) |
| PH | : Asit değeri |
| P_{me} | : Ortalama efektif basınç (kPa) |
| R-COOH | : Yağ asidi |
| t | : Zaman (s) |

| | |
|----------------------|---|
| V_s | : Silindir hacmi (litre) |
| V_y | : Tüketilen yakıt miktarı (m ³) |
| IDI | : İndirekt Enjeksiyon |
| DI | : Direkt Enjeksiyon |
| M_d | : Moment (Nm) |
| No 2-D | : Motorin |
| ASTM | : Amerikan Standardı |
| CFPP | : Soğukta Filtre Tıkanma Noktası |
| FYME | : Fındık Yağı Metil Esteri |
| PYME | : Pamuk Yağı Metil Esteri |
| SYME | : Soya Yağı Metil Esteri |
| AYME | : Ayçiçek Yağı Metil Esteri |
| DIN | : Alman Standardı |
| OEB | : Ortalama Efektif Basınç |
| ÖYT | : Özgül Yakıt Tüketimi |
| PM | : Partikül Madde |
| CFPP | : Soğukta Filtre Tıkanma Noktası |
| JME | : Jojoba Metil Esteri |
| B5 | : %5 FYME + %95 Motorin |
| B20 | : %20 FYME+ %80 Motorin |
| B50 | : %50 FYME+ %50 Motorin |

ŞEKİLLER LİSTESİ

| | |
|---|----|
| Şekil 2.1. Biyodizelin moleküler yapısı..... | 26 |
| Şekil 3.1. Biyodizel üretim anından bir görünüm (Esterleştirme reaksiyonu.)..... | 39 |
| Şekil 3.2. Biyodizel üretim anından bir görünüm (Yakıtın yıkanması).... | 39 |
| Şekil 3.3. Yakıtın üç faza ayrılması.(Üstte biyodizel,ortada gliserin,en altta su)..... | 40 |
| Şekil 3.4. Biyodizel üretim şeması..... | 41 |
| Şekil 3.5. Fındık yağı metil esteri yakıtı distilasyon testsonuçları..... | 43 |
| Şekil 3.6. Lombardini dizel deneymotoru..... | 45 |
| Şekil 3.7. Cussons deney tablosu..... | 46 |
| Şekil 3.8. Quintox emisyon cihazı.Ön konsolidasyon basıncının..... | 46 |
| Şekil 3.9.1. B5, B20 ,B50 ve Motorinin Devir sayısına bağlı olarak Moment değişimi..... | 49 |
| Şekil 3.9.2. B5, B20 ,B50 ve Motorinin Devir sayısına bağlı olarak Moment değişimi..... | 50 |
| Şekil 3.10.1 B5, B20, B50 ve Motorinin devir sayısına bağlı olarak Güç değişimi..... | 51 |
| Şekil 3.10.2. B5, B20, B50 ve Motorinin devir sayısına bağlı olarak Güç değişimi..... | 51 |
| Şekil 3.11.1. B5, B20, B50 ve Motorinin devir sayısına göre Isıl Verim değişimi | 52 |
| Şekil 3.11.2. B5, B20, B50 ve Motorinin devir sayısına göre Isıl Verim değişimi | 53 |
| Şekil 3.12.1. B5, B20, B50 ve Motorinin devir sayısına göre Ortalama Efektif Basınç değişimi..... | 54 |
| Şekil 3.12.2. B5, B20, B50 ve Motorinin devir sayısına göre Ortalama | |

| | |
|--|----|
| Efektif Basınç değişimi..... | 54 |
| Şekil 3.13.1 B5, B20, B50 ve Motorinin devir sayısına bağlı olarak Özgöl Yakıt Tüketimi değişimi..... | 55 |
| Şekil 3.13.2 B5, B20, B50 ve Motorinin devir sayısına bağlı olarak Özgöl Yakıt Tüketimi değişimi..... | 56 |
| Şekil 3.14.1. B5, B20 B50 ve Motorinin devir sayısına bağlı olarak Egzoz Sıcaklığı değişimi..... | 57 |
| Şekil 3.14.2. B5, B20 B50 ve Motorinin devir sayısına bağlı olarak Egzoz Sıcaklığı değişimi..... | 57 |
| Şekil 3.15.1. B5, B20, B50 ve Motorinin devir sayısına bağlı olarak NO emisyonu değişimi. | 58 |
| Şekil 3.15.2. B5, B20, B50 ve Motorinin devir sayısına bağlı olarak NO emisyonu değişimi. | 59 |
| Şekil 3.16.1. B5, B20, B50 ve Motorinin devir sayısına bağlı olarak NOx emisyonu değişimi..... | 59 |
| Şekil 3.16.2. B5, B20, B50 ve Motorinin devir sayısına bağlı olarak NOx emisyonu değişimi..... | 60 |
| Şekil 3.17.1. B5, B20, B50 ve Motorinin Devir sayısına bağlı olarak CO emisyonunu değişimi..... | 61 |
| Şekil 3.17.2. B5, B20, B50 ve Motorinin Devir sayısına bağlı olarak CO emisyonunu değişimi..... | 61 |
| Şekil 3.18.1. B5, B20, B50 ve Motorinin devir sayısına göre Karbondioksit değişimi..... | 62 |
| Şekil 3.18.2. B5, B20, B50 ve Motorinin devir sayısına göre Karbondioksit değişimi..... | 63 |
| Şekil 3.19.1. B5, B20, B50 ve Motorinin devir sayısına bağlı olarak O2 emisyonu değişimi..... | 64 |
| Şekil 3.19.2. B5, B20, B50 ve Motorinin devir sayısına bağlı olarak O2 emisyonu değişimi..... | 64 |

TABLolar LİSTESİ

| | |
|---|----|
| Tablo 2.1. Motorin ve biyomotorinin standart özellikleri..... | 28 |
| Tablo 2.2. Yakıt maliyetlerinin karşılaştırılması..... | 29 |
| Tablo 2.3. Başlıca Türk Fındık Kültür Çeşitlerinin Temel Bileşim Maddeleri | 31 |
| Tablo 2.4. Metanol , etanol ve butanolün transesterifikasyon ürünlerine ait yakıt özellikleri | 36 |
| Tablo 3.1. Motorin ve FYME'nin yakıt özellikleri..... | 42 |
| Tablo 3.2. Motorin ve çeşitli bitkisel yağların özellikleri..... | 44 |
| Tablo 3.3. Deney motorunun teknik özellikleri..... | 45 |
| Tablo 3.4. Dizel yakıtı ve karışım yakıtların özellikleri..... | 47 |

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Bitkisel yağlar, Viskozite, Alternatif Yakıt, Fındık Yağı Metil Esteri.

Fosil kökenli yakıtların enerji krizleri, petrol fiyatlarının sürekli artması ve dünyadaki petrol rezervlerinin 30 yıllık ömrünün kalması yani sınırlı rezervli olması nedeniyle, yeni motor yakıtı teknolojileri içinde bitkisel yağlar en önemli dizel yakıt alternatifi durumuna gelmiştir. Dizel motorlarında yenilenebilir alternatif yakıt olarak çeşitli bitkisel yağların kullanımı denenmektedir. Bitkisel yağların doğrudan kullanımında sahip oldukları yüksek viskozite çeşitli uygulama , yanma ve yakıt sistemi problemleri yaratmaktadır. Dizel motorlarında alternatif yakıt olarak bitkisel yağların kullanılması üzerine yapılan çalışmalar doğrultusunda, viskozitesi No 2D yakıtına yaklaşan fındık yağı metil esterini elde edilerek, elde edilen yakıttan No2D yakıtıyla karışımlar hazırlanarak; 4 zamanlı, tek silindri, hava soğutmalı, direkt püskürtmeli bir dizel motorunda kullanılmıştır. Deney motoru tam yük ve değişik devirlerde test edilmiştir. Motor devir sayısına bağlı olarak motor performansı, yakıt tüketimi, egzoz sıcaklık ve emisyon değerleri dizel yakıtı ile karşılaştırılmalı olarak verilmiştir. Elde edilen sonuçlar, fındık yağı metil esterinin özellikle motor performansı açısından, dizel yakıtına yakın özellikler gösterdiğini ve alternatif dizel yakıtı olarak kullanılabileceğini ortaya koymuştur.

AN INVESTIGATION OF USING HAZELNUT OIL METHYL ESTER AS AN ALTERNATIVE DIESEL FUEL FOR INTERNAL COMBUSTION ENGINES.

SUMMARY

Key words: Vegetable Oils, Viscosity, Alternative Fuel, Hazelnut Methyl Ester.

Because of limited fossil fuels and energy crises, vegetable oils are conserving their place in the technology of new engine fuels as a most important alternative of diesel fuels. Several vegetable oils are tested as an alternative renewable fuel for diesel engines. When vegetable oils are used directly, their higher viscosity causes several application and combustion and fuel line problems. By considering the studies on using vegetable oils as an alternative fuel for diesel engines, hazelnut methyl ester, which has approximately same with No 2D viscosity fuel, is obtained. Methyl ester mixtures were prepared by No 2D. They were used on four stroke, single cylinder, air-cooled, direct injection engine. This engine is tested for full loads and different revolutions. Engine performance, fuel consumption, temperature of exhaust and emission values are given as depending on engine revolution and are matched with the ones for diesel engines. Results show that hazelnut methyl ester has, especially from point of engine performance, close characteristics with diesel fuels and it could be used as an alternative diesel fuel.

BÖLÜM 1. GİRİŞ VE AMAÇ

Ülkelerin gelişme hızı, uyguladıkları ekonomik politika, siyasal gelişme, nüfus artışı, sahip oldukları enerji kaynakları ve iklim koşulları enerji kullanımını etkilemektedir ve bu sebeplerden dolayı dizel motorlar için alternatif yakıtların günümüzde çevresel problemlerden ve sosyo ekonomik durumlardan dolayı önemi gittikçe artmaktadır. Petrol rezervleri gün geçtikçe azalmakta, CO_2 emisyonları sebebiyle global ısınma artmaktadır. Bu nedenle dünya artık alternatif yakıtları özellikle ulaşım sektöründe ön plana almaya başlamıştır.

Enerji kaynaklarının ulusal kalkınma içindeki önemi, 1973 ve 1978 yıllarında yaşanan petrol krizleri ve fiyatlardaki ani artışlarla daha iyi anlaşılmıştır. 1972 yılında 9.2 \$/varil olan petrol fiyatı 1. Petrol krizi ile 32 \$/varil değerine, 1980 yılında ise 2. Petrol krizinin etkisi ile 53 \$/varil değerine ulaşmıştır. Bu krizler sonrasında fosil enerji kaynaklarının tükenebilirliği yanında, ucuz olmadığı da görülmüştür [1]. Enerji, sanayinin, üretimin, gelişmenin ve kalkınmanın en temel girdisi olup, gerek dünyada gerekse ülkemizde nüfus artışına, sanayileşmeye ve teknolojik gelişmelere paralel olarak enerji tüketimi artmaktadır. Buna karşılık geleneksel enerji kaynakları olan fosil yakıtların rezervleri ise gittikçe azalmaktadır. Günümüzde dünya enerji gereksiniminin % 80'i fosil yakıtlarla karşılanmaktadır. Dünyada bilinen petrol rezervlerinin ömrü 40 yıl, doğal gazın 61 yıl, kömürün ise 227 yıl olarak tahmin edilmektedir [2]. Birincil enerji rezervlerinin önemli ölçüde azalması, kaynakların yeryüzünde dengesiz bir dağılım göstermesi, ayrıca dünya nüfusunun sürekli artması, eldeki kaynakların daha iyi kullanılması ve bu kaynaklar için en yüksek verimi sağlayacak süreçler geliştirilmesi gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Günümüz dünya nüfusunun 2002 verilerine göre 6.5 milyar ve %75'i gelişmekte olan ülkelerde yaşamaktadır. 2020 yılına gelindiği zaman, bu rakamın 7.5 milyara ulaşacağı ve bu değerinde %83'ünün gelişmekte olan ülkelere ait olacağı tahmin edilmektedir [3]. Gelecekte gelişmiş olan ülkelerin yeni enerji teknolojilerini

uygulamaya koymaları ve alınan çeşitli tasarruf önlemleriyle birincil enerji kaynaklarına olan bağımlılıklarını azaltacağı, Türkiye'nin de içinde bulunduğu gelişmekte olan ülkelerin ise büyük bir enerji talebi yaratacağı düşünülmektedir [1].

Türkiye fosil enerji kaynakları açısından değerlendirildiğinde kendine yetebilen bir ülke konumunda değildir. Türkiye birincil enerji arzının %54'ü ithalatla karşılanmakta olup toplam tüketimde en büyük payı %49,7 ile petrol ve doğal gaz oluşturmaktadır. Türkiye'nin yerli ham petrol üretimi toplam ihtiyacın ancak %15-18'ini karşılamaktadır. Bu oran 1960'lı yıllardan bu yana yaklaşık aynı düzeyde seyretmektedir [4]. 1994 yılında enerji gereksiniminin ancak %45 yerli üretimle karşılanabilmiş ve açık dış alım ile kapatılmıştır. Aynı yıl toplam olarak 4 milyar dolardan fazla ödeme yapılan enerji dış alımı içerisinde, petrol %73 oranı ile ağırlığını göstermektedir. 1994'e ait istatistiklere göre ülkemizin 35.6 milyon ton üretilebilir petrolü kaldığı bilinmektedir. Bugünkü üretim düzeyi ile ek rezervlerin saptanmaması halinde, 10 yıl daha üretim yapabilecek kapasite bulunmaktadır. Petrol ürünleri içerisinde büyük miktar taşıtlar tarafından kullanılmaktadır. Türkiye kara taşımacılığında yaygın olarak motorin tüketilmektedir [5]. 2000 yılı itibariyle ülkemizdeki petrol ürünleri tüketiminin 30 milyon tona ulaştığı düşünülürse alternatif kaynaklara ilişkin; dışa bağımlılığımızı azaltacak, çalışmaların önemi ortaya çıkmaktadır [1].

Fosil enerji kaynaklarının yanı sıra yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının da değerlendirilmesi şarttır. Yeni ve yenilenebilir enerji, enerji kaynakları arasında en büyük teknik potansiyele biyokütle sahiptir. Ana bileşenleri, karbohidrat bileşikleri olan bitkisel veya hayvansal kökenli tüm maddeler "Biyokütle enerji kaynağı", bu kaynaklardan üretilen enerji ise "Biyokütle Enerjisi" olarak tanımlanmaktadır. Bitkisel biyokütle; yeşil bitkilerin güneş enerjisini fotosentez yolu ile doğrudan kimyasal enerjiye dönüştürerek depolaması sonucu oluşmaktadır. Bitki fotosentezi ile bir yılda 120 milyon ton kuru biyokütle oluşmaktadır [6,7]. Kuru biyokütlenin 60 milyon tonunu karbon oluşturmakta ve bu değer yaklaşık 1000 milyon varil petrol eşdeğerine karşılık gelerek, günümüz dünya petrol gereksiniminin 5 katından fazlasını oluşturmaktadır [1].

80'li yıllardan sonra, otomotiv sektörü yeni enerji kaynaklarından yararlanılmasına yönelik çalışmalara daha fazla ağırlık vermeye başlamış, benzin ve motorin üretimine yönelik alternatif biyokütle enerji çalışması hızlanmıştır. Biyokütle çıkışlı en önemli motorin alternatifi bitkisel yağlardır. Bitkisel yağların motorin alternatifi olarak kullanılma fikri 1900 yılına denk uzanmaktadır. Rudolf Diesel kendi ismiyle anılan motorlarda bitkisel yağları denemiş ancak petrolün bol ve ucuz olması nedeniyle uygulamaları sürdürmemiştir. Petrol krizleri ardından, bitkisel yağların yakıt alternatifi olarak kullanılması tekrar ön plana çıkmıştır. Bitkisel yağların enerji içeriklerinin motorin ile hemen hemen aynı düzeyde olmasına karşın, viskozitelerinin motorinden 10-20 kat yüksek olması ve soğuk iklim şartlarında katılaşma eğilimleri doğrudan motorda kullanımlarında sorunlara yol açmaktadır. Bitkisel yağların herhangi bir modifikasyona tabi tutulmadan kullanımlarında ortaya çıkan sorunlar; yakıt hattında ve filitrelerde vaks, fosfat gamları oluşumu, yakıt deposunda beklemede yağın polimerizasyonu veya kısmi oksidasyonu nedeniyle yağın viskozitesinin artması ve bunun sonucunda soğukta ilk hareket zorluğu, yanma odasında ısının veya serbest radikallerin etkisiyle polimerleşme ve bunun sonucunda kötü atomizasyon ve enjektörler üstünde koklaşma ve enjektörlerin tıkanması şeklinde sıralanabilir. Bitkisel yağın yanmasından önce gliserin ve yağ asitleri oluşur ve gliserinde yanarak çevreye zararlı bir madde olan akroleini oluşturur. Bu olumsuzluklardan dolayı, bitkisel yağlar ancak, rafine olarak ön yanma odalı diesel motorlarında bazı sınırlamalar ile birlikte değerlendirilebilmektedir. Araştırmalar sonucunda bitkisel yağların dizel motorunda saf halinde kullanılabileceği, fakat saf halinin motorda bazı problemler ortaya çıkardığından dolayı motorda bazı modifikasyonlar olması gerektiği belirlenmiş, bunun da maliyetinin çok yüksek olması araştırmacıları yakıt özelliklerini değiştirmeye itmiştir. Belirtilen sorunların çözümü için dört ayrı modifikasyon tekniği önerilmektedir. Bu teknikler Seyreltme, mikro emilsiyon oluşturma, piroliz ve transesterifikasyondur(esterleştirme). Yakıt özelliklerini iyileştirmek için yapılan araştırmalarda en önemli yol olarak esterleştirme yöntemi ön plana çıkmaktadır. Çünkü motorda hiçbir modifikasyona gerek duyulmadan kullanılabilmektedir. Bu yöntemle elde edilen dizel yakıtı biyodizel olarak adlandırılmaktadır[6].

Dizel motorlarda biyodizel uygulamaları üzerine yapılmış çok sayıda çalışmalar görmektedir. Bu çalışmalar çoğunlukla karşımıza yağın ham olarak kullanılması, seyreltme yöntemiyle viskozitenin düşürülerek dizel motorlarda kullanılması ve günümüzde en geçerli yöntem olan transesterifikasyon yöntemiyle karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışmalar sonucunda biyodizelin motor performansı, emisyon değerleri, biyodizelin motor ömrüne etkileri ve biyodizelin özellikleriyle ilgili bir ön bilgiye sahip olmaktadır. Bu çalışmalardan bazılarını burada sıralıyacak olursak;

1.1. Ham yağ kullanılarak yapılan çalışmalar.

Ham, gam ve vaksı giderilmiş ayçiçek ve keten yağlarını C.R: Engler ve çalışma grubu motorin alternatifi olarak denemişlerdir. Ham yağlar ile çalıştırılan motorların yağlama yağlarında kısa bir süre sonra katı partiküller belirlenmiş ve motor kısa süreli bir çalışma sonucunda durdurulmak zorunda kalmıştır. Gam ile gam ile vaksı giderilmiş yağların ise motorine benzer performans gösterdikleri saptanmıştır. Thomas W.Ryan ve çalışma grubu tarafından gerçekleştirilen benzer bir çalışmada ise çeşitli rafinasyon aşamalarından geçirilmiş soya, ayçiçek, keten ve yer fıstığı yağları için motor testleri yapılmıştır. En iyi sonucu gamı giderilmiş soya yağı ile elde edildiği ve yakıt besleme hattının ısıtılmasının yanma odasında karbon birikimini azalttığı sonucuna varılmıştır. Aynı çalışmada grubu tarafından gerçekleştirilen bir diğer çalışmada, bitkisel yağları ısıtmanın yakıtın silindire püskürtme özelliklerini olumlu yönde etkilediği ve 38 °C'de 36.6 olan setan sayısının 145 °C'de 39.3 'e çıkarak ASTM standartlarına göre minimum değer olan 40'a yaklaştığı belirtilmiştir. Denenen yağlardan enjektörlerde en az karbon birikimine yol açan yağın ise kısmen hidrojenleşmiş soya yağı olduğu saptanmıştır [1].

Bitkisel yağların dizel motorlarında doğrudan kullanılması hakkında ortaya çıkan genel görüş, direkt püskürtmeli motorlarla yapılan kısa süreli testlerde dizel yakıtına yakın sonuçlar elde edilmesine karşın uzun süreli denemelerde motorun tamamen tahribine kadar varan problemler problemlerin olduğu yönündedir. Ancak ön yanma odalı motorlarda yapılan uzun süreli denemelerde bitkisel yağların doğrudan kullanılmasının sakıncalı olmadığı görülmüş ve 1800 saatlik bir deneme sonucunda

hiçbir problemle karşılaşılmadığı bildirilmiştir. Genel olarak bitkisel yağların ön yanma odalı dizel motorlarında direkt püskürtmelilere göre çok daha uzun bir süre sorun yaratmadan kullanılabilceği kanısına varılmış olsa da bitkisel yağların yağlama yağına karışması ve niteliğini bozması konusu motor ömrü açısından önemini korumaktadır [1,8,9,10].

Ön yanma odalı 4 silindirli dizel motorunda fındık yağının motor yakıtı olarak kullanım olanakları araştırılmış, fındık yağının motor yakıtı olarak kullanımının uygun olduğu gözlenmiştir. Fındık yağı ile elde edilen çalışma sonuçları, motorinle yapılan çalışma sonuçları ile karşılaştırılmış. Buna göre; motorinle yapılan çalışma sonucu elde edilen moment ve güç değerlerinin fındık yağı ile yapılan çalışma sonuçlarından yüksek olduğu görülmüştür. Böyle bir sonucun alınmasının başlıca iki sebebi vardır. Birincisi, motorinin birim kilogramındaki enerji içeriğinin fındık yağının birim kilogram enerji içeriğinden yüksek olmasıdır. İkincisi ise, fındık yağının viskozite yüksekliğinin yanmayı olumsuz yönde etkilemesidir. Özgül yakıt tüketim eğrileri incelendiğinde; birim güç başına fındık yağı tüketiminin motorin tüketiminden yüksek olduğu, buna karşın birim güç başına %15 - 25 oranında fındık yağ tüketiminin fazla olduğu görülmüştür. Bu değerlerin daha aşağı değerlere çekilmesi, fındık yağ viskozite değerinin motorin viskozitesine yakınlaştırılması ile minimize edilebilir[11].

Hindistancevizi yağının, motorda hiçbir modifiye yapmadan alternatif dizel motor yakıtı olarak, direkt enjeksiyonlu motoru çalıştırmak için başarılı bir şekilde kullanılmıştır. Hindistan cevizi yağı-dizel yakıt karışımındaki hindistancevizi yağının miktarının arttırılmasının daha az duman ve daha az NO_x atıyla sonuçlandığı görülmüştür [12].

N.Sawa çalışmasında, basınç ateşlemeli, ön yanma odalı, CI motorlarda, ayçiçek yağı, palmye yağı, hint yağı ve terebentin karışımını alternatif yakıt olarak kullanarak yanma süresi, egzoz atığı ve motor performansında karışım yakıtın etkileri incelenmiştir. Deneysel sonuçlar gösterdi ki; hint yağı, ayçiçek yağı, palmye yağı gibi bitkisel yağlar ve terebentin karışımı yakıt, dizel yağdan elde edilen değerlere yakın, terebentin daha iyi ısısal yeterlilik ve NO_x artıkları göstermiştir.

Artan yakıt enjeksiyonuyla, basınç valfi freni ısı yeterliliğini arttırarak ateşleme gecikmesi ve yanma düzensizliği artmıştır. Sıvı-sıvı enjeksiyon tekniği, yüksek basınç valfiyle ön odanın duvarındaki spreycarpmasının arttığını ve yakıtın bir kısmının yanmadan önce ön yanma odasından ana yanma odasına kaçtığı gözlenmiştir [13].

Filtre edilmiş ham pamuk yağı ile dizel yakıtı 4 zamanlı, tek silindirli, direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda yakıt olarak kullanılarak motor performansı ve egzoz emisyonları dizel yakıtı ile karşılaştırılmalı olarak incelenmiştir. Her iki çalışmada 1300 d/d ve 1700 d/d esas alındığında motor, dizel yakıtı kullanıldığında pamuk yağı yakıtına göre efektif moment değeri sırasıyla %3 ve %14, efektif güç değeri %3 ve %11.7, özgül yakıt tüketimi %6 ve %27 daha iyi olduğu, özgül enerji maliyeti ise %43 ve %50 daha düşük olduğu görülmüştür. Duman koyuluğu esas alındığında ise dizel yakıtı daha iyi olduğu görülmektedir [10].

1.2. Seyreltme yöntemiyle yapılan çalışmalar.

M.Shyam ve arkadaşları tek silindirli, 4 stroklu direkt püskürtmeli Dizel motorunda %50 kolza yağı, %50 motorinden oluşan yakıt karışımını 324 saat süresince denemişlerdir. Araştırmacılar karışım yakıtın motorine yakın performans gösterdiğini, ancak deney süresinin ilerlemesiyle birlikte özgül yakıt tüketiminde ve egzoz sıcaklıklarında artış olduğunu belirtmektedir. 250 saatlik çalışma sonucunda yağlama yağı niçin yapılan analizlerde yağın kalınlaşması gibi herhangi olumsuz bir bulguya rastlanmadığını belirtmektedirler [1].

Ayçiçek yağı ve %20 ayçiçek yağı içeren motorin karışımı J.J.Bruwer ve çalışma grubu tarafından yapılan çalışmada 9 farklı tip traktörde denenmiştir. Ayçiçek yağı ile yapılan testlerde motorine yakın bir güç elde edildiği ve motor vuruntusunun belirgin olmadığı ancak yağlama yağının kalınlaştığı belirtilmiştir. Enjektör nozüllerinde karbon brikimi nedeniyle 278 saatlik çalışma sonrasında is emisyonunda bir artış olduğu ve yağlama yağının kirlendiği saptanmıştır. Araştırmacılar bu sorunu gidermek için yakıtta antioksidan maddeler katmışlar ancak yağın polimerize olmasıyla bu katkı maddelerinin etkisiz hale geldiği görülmüştür.

Bazı traktör tiplerinde uzun süreli çalışma sonucu enjektör nozüllerinde koklaşma oluşmuş ve bunun sonucunda da yakıt karışımının iyi püskürtülmeyle tam yanma oluşmadığı da sonuçlar arasında verilmektedir [1].

D.A.Kouremenos ve çalışma grubu tarafından yapılan çalışmada kullanılmış zeytin yağı motorin 1:3 ve 1:1 hacim oranlarında karıştırılmış ve karışımın özgül yakıt tüketimi, is, NO_x , HC ve CO emisyonları ön yanma odalı bir dizel motorunda farklı yüklerde ölçülmüştür. Motorin ile karşılaştırma yapıldığında, özgül yakıt tüketiminin bir miktar arttığı, is ve NO_x emisyonlarında bir düşüş HC emisyonlarında ise bir artış olduğu gözlenmiştir. Araştırmacılar 1:1 oranında hazırlanan karışımın motorine benzer karakteristikler verdiğini saptayarak tarımsal makinalar için bu karışım yakıt olarak önermişlerdir [1].

F. Karaosmanoğlu ve H.A.Aksoy tarafından yapılan bir diğer çalışmada kullanılmış kızartma yağı motorine hacimsel olarak %20 ve %40 oranlarında katılarak karışım yakıtlar hazırlanmıştır. Yakıt testleri sonrasında, %20 oranında kullanılmış yağ içeren karışımın No.2 motorin yakıt özellikleri gösterdiği belirtilmektedir [14].

A. Işığür ve çalışma arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, aspir yağı %10-90 oranlarında motorine katılarak deneyler yürütülmüştür. %20 oranında aspir yağı içeren karışımın motor performansları incelenmiş, güçte bir miktar düşüş ve buna bağlı olarak özgül yakıt tüketiminde bir artış görüldüğü ve uzun süreli motor test çalışmalarıyla karışımın alternatif yakıt olarak kullanılabilirliğinin incelenmesi gerektiği sonucu belirtilmektedir [15].

O.Deniz ve çalışma grubu tarafından yapılan çalışmada, %5 ile %80 arasındaki değişen oranlarda rafine soya yağı içeren motorin yağ karışımlarının motor karakteristiklerini tek silindirli, direkt püskürtmeli, 5.5 kW gücündeki dizel motorunda incelenmiştir. Motorin ve motorin – soya yağı karışımlarının performans değişimlerinde çok belirgin farklar söz konusu olmadığı, en yüksek moment ve gücün %40 yağ içeren karışım için elde edildiği belirtilmektedir [16,17,18].

S. Çetinkaya tarafından yapılan çalışmada ayçiçek yağı motorin 1:1 oranında karıştırılarak ön yanma odalı bir motorda denenmiştir. Enjektörlerden püskürtülmeden önce ısıtılan ayçiçek ve ayçiçek-motorin karışımının ön yanma odalı dizel motorunda kullanılabilir olduğu ancak yağın viskozitesinin yüksek oluşu nedeniyle akış ve atomizasyon gibi problemlerin bulunduğu saptanmıştır [19].

Dizel motorla karşılaştırıldığında, bitkisel yağ ile çalışan motorların daha az karbonmonoksit, yanmamış hidrokarbon ve partikül atıklar ürettiğini gösterdi. Bitkisel yağın tek sakıncası, petrole dayalı dizel yakıtlardan daha çok oksitlenmeye meyilli olmasıdır. Bu oksitlenme yakıtın asidik olmasına ve yakıt filtrelerini tıkaya bilecek, çözülmeyen yapışma ve tortu oluşmasına sebep olmaktadır. Çalışmada; motorun performansı ve atıklarında oksidize edilmiş bitkisel yağın etkisi değerlendirilmiştir. Bir John Deere 4276 T turbo şarjlı DI dizel motoru oksidize edilmiş ve oksidize edilmemiş bitkisel yağla çalıştırılarak performans ve atıkları 2 No'lu dizel yakıtı ile karşılaştırılmıştır. %20 karışımdaki saf bitkisel yağ ve petrole dayalı 2 No'lu yakıt iki farklı yükte ve üç enjeksiyon zamanında test edilmiştir. Saf bitkisel yağ ve onun karışımıyla çalışan motorun performansı aynı ısıda, 2 No dizel yakıtla aynı fakat yakıt tüketimi fazla çıkmıştır. Okside edilmemiş bitkisel yağ karşılaştırıldığında, okside edilmiş saf bitkisel yağ %15 daha az karbonmonoksit ve %16 daha az hidrokarbon ürettiği görülmüştür. Oksidize edilmiş ve edilmemiş bitkisel yağın duman atıkları, nitrojenin oksitleri arasında istatistiksel olarak önemli bir fark bulunmadığı belirtilmiştir [20].

Tek silindirli dört zamanlı direkt püskürtmeli bir dizel motorunda mısır yağı alternatif yakıt olarak dizel yakıtı ile karşılaştırmalı olarak test edilmiştir. Performans karakteristiklerini belirlemek amacıyla tam gaz-değişik hız testi, emisyon karakteristiklerini belirlemek amacıyla motor sabit hız-değişik yük testine tabi tutulmuştur. Yapılan testlerde mısır yağının performans değerlerinin dizel yakıtından bir miktar daha düşük olduğu fakat aradaki farkın çok fazla olmadığı ortaya çıkmıştır. Egzoz emisyonları dikkate alındığında ise mısır yağı ile yapılan testlerde karbonmonoksit (CO) ve duman koyuluğunun dizel yakıtı ile yapılan testlerde elde edilen sonuçlardan daha yüksek olduğu fakat mısır yağı ile yapılan testlerde azot oksit (NO_x) emisyonlarının daha düşük olduğu ortaya çıkmıştır. Mevcut durumu ile

kısa süreli çalışmalarda mısır yağının dizel motorlarında alternatif yakıt olarak kullanılabilceği ortaya çıkmıştır [21].

Kolza tohumu yağı, yüksek derecede ısı içerdiğinden dolayı dizel motor için alternatif bir kaynak olarak ümit vericidir. Doğrudan bir dizel yakıtı olarak kullanılabilir ve motorun yapısında hiçbir değışime ihtiyaç gerektirmez. Fakat, daha yüksek güç ve ısı yeterliliğini sağlamak için motorun gerekli çalışma parametreleri tekrar değıştirilmelidir. Çalışmada, %30 kolza yağı ve %70 dizel yağ karışımı bir S195 dizel motorda kullanılarak, iki çalışma koşulu altındaki 4 çalışma parametresinin optimum kombinasyonu kararlaştırıldı. 4 çalışma parametresinin 4'lü tepkili orthogonal testlerine dayanarak, özel yağ tüketimi veya ısı yeterliliğini etkileyen esas faktörün yakıt dağıtım aparatı olduğu, deneydeki iki çalışma şartı için aparatın optimum derecesinin yaklaşık 20 derece olduğu, saf dizel yağı ile çalışan motor için uygun olduğu görüldü. Kolza tohumu yağının akışkanlığı onun geniş ölçüde kabulünü engelleyen anahtar problemlerden biridir. Bu araştırmada sonucunda %30 kolza yağı ve %70 sıfır numara dizel yağı karışımının dizel yakıtı olarak kullanımının uygun olduğunu gösterdi [22].

J.Czerwinski, dizel yağına %30 kolza tohumu yağı ekleyerek yaptığı çalışmada, yüksek enjeksiyon şartlarında kısa gecikmeye sebep olmakta, ateşleme çoğu zaman değışmemektedir. Yanma oranı ve yanma ısısı daha düşük çıkmaktadır. CO, HC ve özellikle PM atıkları da artmaktadır. Kolza yağı ile olan güç kaybı önemsiz değerde gözlenmiştir. %15 kolza yağı karışimli yakıtla, dizel yakıtlara benzer atıklar elde etmek mümkündür. Fakat, %12,5'e varan bir güç kaybı olmaktadır. Uzun çalışmalar için, düşük yağlama ve bitkisel yağların aşındırıcılığı sebebiyle yağlama yağının adaptasyonu ve bazı materyaller gereklidir. İşlenmemiş kolza tohumu yağı ile çalışan motorun dayanıklılığı sorusu araştırılmalıdır [23].

M.H.Alma çalışmasında ham toll yağının ziftten arındırılmış toll yağı ile ticari dizel yakıt karışımlarının saf dizel yakıtlarına benzer bir yakıt performansı gösterdiği tespit edilmiştir. Toll yağı ve dizel yakıt karışımlarının spesifik yakıt tüketiminde %5-15 arasında bir artışa sahip olduğu gözlenmiştir. Toll yağı dizel yakıtı ile birlikte

kullanıldığında motor aşınmasında herhangi bir artış saptanmamıştır. Ayrıca, toll yağının dizel bir yakıt olarak kullanılması halinde önemli ölçüde motor depozitlerine rastlanmıştır [24].

1.3. Mikroemülsiyon yöntemiyle yapılan çalışmalar.

Bitkisel yağların çözücülerle sulandırılması ve mikroemülsiyonları yağın yoğunluğunu azaltır. Fakat, motor performansındaki bazı problemler devam eder. Gliseridin alkole olan molar oranı, katalist, reaksiyon ısısı ve basıncı, reaksiyon zamanı, reaksiyonun içerdiği bol miktardaki asit ve yağdaki su dönüştürmeyi etkileyen temel faktörlerdir [29,30]. Saf bitkisel yağ ve %10 metanol'ü bitkisel yağ karışımı IDI motorunda yapılan geniş çaplı araştırma, detaylarıyla incelenerek her ikisinde de çıkan dumanda önemli derecede düşüş ortaya çıkmıştır. Enjeksiyon zamanı iyi olduğunda daha iyi sonuçlar alınmıştır. Çalışma yakıtın kullanımının avantajlı olduğunu doğrulamaktadır [25].

1.4. Transesterifikasyon yöntemiyle yapılan çalışmalar.

Atık zeytin yağı metil esteriyile yanan direkt enjeksiyonlu bir Perkin dizel motorunun egzoz atıkları üstünde farklı çalışma koşullarında çalışmalar yapılmış. Kullanılmış zeytin yağından yapılan saf bitkisel yağların ve alışılagelmiş dizel yağların atıkları incelenmiştir. Sonuçlar, NO₂ oranının %81'e kadar çıkmasıyla bitkisel yağlardan çıkan atık oranının düştüğünü göstermiştir. NO %37.5'e kadar, SO₂ %57.7'ye kadar, CO₂ %8.6'ya kadar, CO %58.9'a kadar düşmüştür [7].

Bitkisel yağların dizel motorlarda doğrudan kullanımının başlıca sakıncaları yüksek viskoziteleri, yakıt sistemi oluşturdukları karbon birikimleri yağlama yağına karışıp yağın işlevinin yitirmesine sebep oldukları şeklinde sıralanabilir. Ester yakıtların kullanılması ile bu sakıncalardan ilk ikisi ortadan kalktığı halde yağlama yağının niteliğinin bozulmasına engel olmaktadır. Romano araştırmasında dizel motorları 200-250 saat bitkisel yağ metil esteri ile çalıştırılmasından sonra yağlama yağının yağlayıcı niteliğini kaybettiğini, oluşan jelimsi birikimlerin metal parçalarda aşınmaya neden olduğunu belirlemiştir yağlama yağındaki bozulma nedenleri de

araştırılmış ve nitelik değişiminden sorumlu olduğu sanılan organo metali bileşimlerin aslında bu olguya hiçbir katkılarının olmadığı anlaşılmıştır. Yağlama yağının kimyasal yapısının jelleşme oluşumunda etkili olabileceği araştırmanın bir başka aşamasında düşünülmüş ancak aynı nitelik değişmesinin naftenik yapılu bir yağlama yağıyla da meydana geldiği saptanmıştır [8].

Volkswagen-Brezilya tarafından dizel yakıt alternatifleri üzerinde yapılan çalışmalarda soya yağı metil ve etil esterleri laboratuvarında, VW Passat model binek otomobillerde ve VW II Van tipi dağıtım araçlarında 1.6 litrelik, 4 silindirli, ön yanma odalı dizel motorunda denenmiştir. Laboratuvarında gerçekleştirilen dayanıklılık testinde, ester yakıtla 1000 saat maksimum güç ve yaklaşık 300 saat maksimum moment konumunda çalıştırılmıştır. Toplam 1418 saat süreli dayanıklılık testi sırasında alınan 19 adet yağlama yağı örneğinin analizi sonucunda yağın viskozitesinin kabul edilebilir sınırlarda olduğu görülmüştür. Motor moment ve güç değerlerinin de bu tip testte beklenen aralıkta olduğu belirtilmektedir. Test süresi sonunda, motordaki aşınmanın VW spesifikasyonları dahilinde kaldığı ve Robert Bosch-Brezilya firması tarafından incelenen yakıt püskürtme donanımında yıpranma açısından normal düzeyde bulunduğu saptanmıştır. Laboratuvar denemesi haricinde VW passat dizel ester yakıtla 40500 km ve VW dizel van ise 5200 km kat etmişlerdir. Motor performans değerleri, motor gürültüsü, soğukta start durumu dizel yakıtı ile benzerlik göstermektedir. Egzoz emisyon ölçümlerinde ise dizel yakıtına göre CO emisyonlarında belirgin bir düşüş, NO_x emisyonlarında ise dizel yakıtına yakın değerlerin okunduğu bildirilmiştir [8].

Hawkins ve Fuls ayçiçek, mısır, pamuk, yerfıstığı, soya ve hint yağı metil ve etil esterleri ile Perkins 4.236 motorda dayanıklılık testleri yapmışlardır. Testlerin sonucunda, bitkisel yağ esterlerinin fiziksel yanma karakteristikleri açısından dizel yakıt alternatifleri olabilecekleri ancak, bu sonucun uzun süreli testler için geçerli sayılmayacağı kanısına varılarak ayçiçek yağı etil esterleri ile 1300 saat süreli motor deneyleri yapılmıştır. Kullanılan motor Masez ferguson marka bir traktörde Perkins 4.236 direkt püskürtmeli dizel motorudur. Yakıt enjektörleri, önerilenin aksine 600 saat sonunda bakımı yapılmadan bırakılmış ve 1200 saatten sonra incelendiğinde püskürtme memelerindeki karbon birikimlerinin dizel yakıtı ile oluşandan farklı

olmadığı belirlenmiştir. Motor performansının dizel yakıtı ile aynı düzeyde olduğu gözlenmiş ve ayçiçek yağı etil esterinin direkt püskürtmeli dizel motorları için iyi bir yakıt alternatifi olduğu sonucuna varılmıştır. Araştırmada, ayrıca, ayçiçek yağı etil esteri ile çalıştırılacak Perkins motorların üretici firma garantisi kapsamına alınmak istendiği de bildirilmektedir [8].

Nye, soya yağı esaslı kullanılmış kızartma yağında metanol ve NaOH katalizör kullanarak elde ettiği metil ester yakıt ile Volkswagen Rabbit marka 1981 model dizel binek otomobili 4157 km kullandığını bildirmiştir. Çoğunlukla şehir içinde ve bir miktarda otoyolda yapılan deneme sürüşlerinde, güçteki beklenen bir miktar azalma dışında hiçbir sorunla karşılaşmadığı, ayrıca deney bitiminde motor parçaları ve yakıt sisteminde yapılan incelemelerde de dizel yakıtında olduğundan farklı bir bulguya rastlanmadığı belirtilmektedir [14].

Saf jojoba yağı, jojoba metil esteri ve bunun gaz yağı ile karışımından yapılan yeni bir yakıt ile çalışan, direkt enjeksiyonlu olmayan bir motorun performansı ve yanma gürültüsünü incelemek için ilk defa bir deneysel araştırma yapılmıştır. Basınçla çalışan bir Ricardo Eb motoru, yanma basıncını ve artış oranlarını ve diğer çalışma parametrelerini ölçmek için düzenlenerek, test parametreleri karışımdaki jojoba metil ester yüzdesini, motor hızını, yükünü, enjeksiyon zamanını ve motorun basınç oranını içeriyordu. JME daha geç bir yanma gösterir. İncelenen bütün JME yakıtları için yük artırıldığından dolayı ön odalardaki max basınç artış oranı düşürülmüştür. Düşük yükte saf JME yakıtı, saf petrol ve ikisinin karışımına göre daha yüksek basınç artış oranı göstermektedir. Enjeksiyon zamanını arttırmak genellikle max basınç ve max basınç artış oranını arttırmaktadır. JME yakıtı incelenen bütün motor hızlarında petrole yakın dönme momenti ve gücünü üretti. Motorun çalışma düzgünlüğünü devirsel değişikliğinde olduğu kadar, üretilen dönme momenti ve gücü, yanma gürültüsü veya motorun düzgün çalışması ve sallanması açısından petrol yakıtının yerini tutabilecek yerde olduğu görüldü [26].

Klopfenstein ve Walker çalışmalarında, birçok bitkisel yağın yapısında ortak olarak bulunan yağ asitlerini esterlerini yakıt olarak denemiştir. Bu amaçla, ticari saflıktaki laurik, miristik, palmitik, stearik, linoleik ve linolenik asitlerin metil esterleri ile oleik

asit etil ve butil esterleri, tek silindirli, direkt püskürtmeli bir dizel motorunda kısa süreli motor performans testine tabi tutulmuştur. Deneysel sonuçlarına göre, metil palmitat, metil stearat ve butil oleat haricindeki tüm esterlerin ısı verimlerinin dizel yakıtına göre daha yüksek olduğu ve etil oleatın en yüksek ısı verime sahip bulunduğu gözlemlenmiştir. Çalışmanın sonucunda elde edilen verilere göre, oleik asit veya kısa zincirli doymuş asit içeriği daha yüksek olan bitkisel yağ çıkışlı etil esterlerin iyi dizel yakıt alternatifi olabileceği görüşüne varılmıştır [14].

Karaosmanoğlu ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada ayçiçek yağının dizel yakıt özellikleri araştırıldı ve ayçiçek yağının uzun süreli motor testleri yapıldı. Motor testleri 108:110m çap/dönme oranına sahip hava soğutmalı, tek silindirli (volume:1007cm³) direkt enjeksiyonlu dizel motorda, 50h için yarı yük şartı altında 1600rpm bir hızda yapıldı. Genel değerlendirme sonucunda ayçiçek yağının No.2-dizel yakıtıyla benzer yakıt özellikleri gösterdiği ve uzun süreli motor testlerinden ümit verici sonuçlar alındı. Bir diğer çalışmada ise, kolza bitkisinin sap ve meyvesinin pyrolytic yağının yakıt özellikleri sıvı hidrokarbon yakıtlarının önemli bir kaynağı olarak gösterildi [27,28].

G.Antolin ve arkadaşları transesterifikasyon yoluyla bitkisel yağ elde etmek için, ayçiçek yağının dönüşüm aşaması üzerinde, maksimum yöntem ürünüyle Avrupa standartlarına uygun yüksek kalitede bir bitkisel yağ elde etmek amacıyla, ısı şartları, reaksiyona giren unsurların oranı ve saflaştırma metotları gibi çok önemli değişkenlerin optimumlaştırılması için Taguchi'nin metodolojisi kullanılmıştır. Sonunda, dizel motorlarda yakıt olarak, sıvılık derecesi, yanma noktası, donma noktası, asit derecesi gibi özelliklerini test etmek için ayçiçeği metil esterleri karakterize edilmiştir. Sonuçta optimum şartlarda elde edilen bitkisel yağın, petrol yerine kullanılacak mükemmel bir alternatif olduğunu göstermiştir [29].

Bitkisel yağların metil ve etil esterlerinin diğer yeni ve saf motor yakıtı alternatifleri arasında birçok göze çarpan avantajları var. Yakıt karakterize bilgileri bitkisel ve dizel yağlar arasındaki benzerlik ve farkları gösteriyor. Bitkisel yağın özgül ağırlığı daha fazla, yanma ısısı düşük ve No.2 yakıtına göre yoğunluğu 1.3-2.1 daha fazladır.

Bitkisel yağların “pour” noktaları 274’ten 298K’e kadar değişir. Esterlerin hepsi No.2 yakıtından daha yüksek derecede enjektör yanmasına sahip olmuştur [30,31].

Yüksek viskoziteden dolayı püskürtme zorlukları ortaya çıkmakta ve iyi bir atomizasyon sağlanamadığı için iyi bir yanmada elde edilememektedir. Yapılan çalışmada ayçiçek yağı metil esterine dönüştürülmüştür. Viskozitesi dizel yakıtına yaklaşan ayçiçek yağı metil esteri, hacimsel olarak %50 oranında dizel yakıtı ile karıştırılmıştır. Elde edilen karışım, tek silindirli hava soğutmalı ve direkt püskürtmeli bir dizel motorunda değişik devir ve enjeksiyon basınçlarında denenmiş, motor performans değerleri ölçülmüştür. Tam yük ve değişik devirlerde yapılan deneylerde ayçiçek yağının metil esteri ile dizel yakıtı karışımında elde edilen moment değerinin %3-4 ve güç değerinin %3-7 arasında dizel yakıtından daha düşük, özgül yakıt tüketiminin ise yaklaşık %3 civarlarında yüksek olduğu belirlenmiştir. Moment ve güç bakımından 200 ve 175 bar enjeksiyon basıncının her iki yakıt için uygun olduğu görülmüştür. Yine diğer çalışmalarında, viskozite probleminin çözümü için ayçiçek yağından metil esteri elde edilmiş ve hacimsel olarak motorin ile %50 oranında karıştırılmıştır. Elde edilen karışım, tek silindirli hava soğutmalı direkt püskürtmeli bir dizel motorunun değişik devir ve enjeksiyon basınçlarında denenmiş olup motor egzoz gazı emisyonları ölçülmüştür. Bu değerler dizel yakıtı kullanımı ile ölçülen değerlerle karşılaştırılmıştır. Deney sonuçları ayçiçek yağı metil esteri ile dizel yakıtı karışımının dizel yakıtına göre kirletici miktarında bir düşüş olduğu göstermiştir. Egzoz gazı emisyonları dikkate alındığında çevre bakımından ayçiçek yağı metil esteriyile dizel yakıtı karışımının, dizel motorlarında, dizel yakıtına alternatif olarak kullanılabilceği görülmüştür [32,33,34].

Ayçiçek metil esterinin kısa süreli performans testlerinde dizel yakıtına yakın sonuçlar verildiği görülmüştür. Ham ayçiçek yağı metanol ve katalizör ile reaksiyona sokularak ham ayçiçek metil esteri elde edilmiştir. Fiziksel ve kimyasal özelliklerinin dizel yakıtına yakın olduğu görülmektedir. Maksimum motor momentinin ölçüldüğü 2400 d/d da dizel yakıtı ile ayçiçek metil esteri arasındaki tork değeri farkı %6, en yüksek gücün ölçüldüğü 3900 d/d da iki yakıt arasındaki efektif tork değeri farkı %3’ tür. Yine aynı devirlerde efektif güç arasındaki fark sırası ile %6.1 ve %8’ dir. Özgül

yakıt tüketiminde ise aynı devirlerde fark %30 dan fazladır. Bunun nedeni ise ayçiçek metil esterinin alt ısı değerini düşük olması sonucunda, birim güç başına tüketilen yakıt miktarının fazla olmasıdır. Duman koyuluklarına bakıldığında en yüksek moment ve en yüksek güç devirlerinin ölçüldüğü devirlerde sırası ile %8 ve %5 fark görülmüştür. Gürültü seviyelerinde; tüm devirlerde ayçiçek metil esteri, dizel yakıtına göre motoru daha sessiz çalıştırmaktadır [35].

Y.Ulusoy çalışmasında, dizel yakıtı ve kullanılmış kızartma yağından transesterifikasyon yöntemiyle elde edilen metil ester, Fiat Doblo model taşıtta (4 zamanlı, 4 silindirli ve 46 kW gücünde) kullanılarak, motor güç ve emisyon değerleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Araştırma sonucunda, biyodizel alternatif yakıt olarak dizel araçlarda kullanılmasının çevre açısından olumlu olduğu sonucuna varılmıştır. Diğer bir çalışmada, dizel yakıtı ve kızartma sonrası ayçiçek yağı ile metanol'ün kimyasal reaksiyonu sonucunda elde edilen ayçiçek yağı metil esteri yakıt olarak kullanılmıştır. Bu amaçla, tek silindirli, ön yanma odalı, 4 zamanlı 8 kW gücünde bir dizel motoru kullanılmıştır. Araştırmada deney motoru her iki yakıt ile tam yükte ve 9 farklı devirde test edilmiştir. Her iki yakıt için motor devir sayısına bağlı olarak güç,saatlik yakıt tüketimi, özgül yakıt tüketimi ve toplam verim değerleri ölçülerek, sonuçlar karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Elde edilen sonuçlar, kızartma sonrası ayçiçek yağı metil esteri yakıtının, dizel yakıtına benzer özellikler gösterdiğini ve kısa süreli performans testlerinde, dizel yakıtına alternatif olabileceğini göstermiştir [36,37].

R.Kuş ve arkadaşları, çeşitli bitkisel yağların ester yakıtlarını %25, %50, %75 oranlarında motorinle karıştırarak motor performans ve emisyon deneyleri yapmışlardır. Sonuç olarak motor gücü ,momenti , özgül yakıt tüketimi ve emisyon testlerinde motorine yakın değerler elde edilmiştir [38].

H.Şanlı ve arkadaşları, biyodizelin egzoz emisyonundaki NO_x artışının nedenleri üzerine yaptıkları çalışmada CO emisyonunda %20, HC emisyonunda %30, partikül maddede %40, is emisyonunda %50 azalma görmüşler. NO_x emisyonunda ise %15 lik bir artışla karşılaşmışlar ve bu artışın sebebi olarak ta yakıtın 1 derece önceden yanmaya başlıyor olmasına bağlamışlardır [39].

M.Karabektaş çalışmasında, %50 biyodizel %50 motorin karışımını 2 silindirli direkt püskürtmeli bir dizel motorunda denemiştir. Efektif verimde 1400 dev/dak da %2 lik bir düşüş, efektif güçte ise 2400 dev/dak da %3.2 lik bir azalma görülmüştür. Özgül yakıt tüketiminde ise 1800 dev/dak da %6 oranında artış belirlenmiştir [40].

D.Altı parmak ve arkadaşları mısır yağı metil esterini tek silindirli ve direkt püskürtmeli bir dizel motorunda 1800-3200 dev/dak arasında tam yük altında denemiş ve performans ve emisyon değerlerini ölçmüştür. Ölçülen tork ve güç değerlerinde dizel yakıtın değerlerine göre yakın değerler saptanmıştır [41].

Ciniviz ve arkadaşları çalışmalarında 4 silindirli, 4 zamanlı ve direk püskürtmeli bir dizel motorda yanma odası elemanlarından silindir kapak ve supapların seramik ile kaplanması sonucunda standart ve seramik kaplı bir dizel motorda performans ve emisyon değerlerini saptamışlardır. Sonuç olarak ta özgül yakıt tüketiminde %4 lük azalma, motor gücü ve torkunda %5 lik artış ve egzoz sıcaklıklarında ise %13 lük artış gerçekleşmiştir. Emisyonlarda ise HFK %3 ve dumanda %10 azalma NO_x te ise %10 artış gözlenmiştir [42].

H.S.Yücesu ve arkadaşları, pamuk yağı metil esteriyile dizel yakıtı karışımının dizel motorunda dizel yakıtına yakın moment, güç ve özgül yakıt tüketimi vermektedir. Motor performans değerleri karışım kullanıldığı vakit dizel yakıtına göre %1-4 oranında bir azalma göstermiştir. Tam gaz değişik devir sayılarında yapılan deneylerde maksimum moment devri olan 2200 d/d motor hızında PYME-DY karışımı kullanıldığında dizel yakıtına göre %2'lik bir azalma, maksimum güç devrinde %3'lük bir azalma ve aynı devirde (3100 d/d) özgül yakıt tüketiminde %4'lük bir artış mevcuttur. Genellikle dizel yakıtına karşılık karışımın moment ve güç düşüşü bütün devirlerde birbirine yakındır. Bu düşüş yakıtın ısıl değerinden kaynaklanmaktadır. Aynı zamanda karışımın viskozitesi yüksek olduğu için atomizasyon sırasında dizel yakıtına göre yakıt zerreciklerinin büyümesine bağlı olarak yanmanın kötüleşmesi sonucu moment ve güç düşüşü meydana gelmektedir.

Araştırma sonuçları, kısa ve uzun süreli çalışmalarda PYME dizel motorlarında alternatif yakıt olarak kullanılabilceğini göstermiştir [43,44].

F.Karaosmanoğlu ve arkadaşları çalışmalarında, ham ayçiçek yağının, ham pamuk yağının, ham soya fasulyesi yağının, rafine haşhaş yağının ve bu yağlardan elde edilen metil esterinin dizel yakıtının alternatifi olarak değerlendirme olasılığını araştırmışlardır. Tek silindri 4 zamanlı direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda alternatif yakıt olarak bitkisel yağ kullanımının etkileri ve bu yağların metil esterlerinin motor performansındaki, egzoz emisyonlarındaki etkisi 2D yakıtıyla karşılaştırılmıştır.

Buna göre; Esterleştirme yöntemiyle ham yağın özellikleri iyileştirilmiş, bu iyileştirmeler içerisinde viskozite düşürülerek, ısı değerinde bir artış ve yoğunluğunda bir düşüş gözlenmiştir. Bu özellikleriyle bitkisel yağların metil esterleri 2D dizel yakıtı ile benzer özellikler göstermiştir.

Bitkisel yağ kullanımı ile 2D dizel yakıtına göre karşılaştırdığımızda motor gücünde ve momentinde bir düşüş olmuştur. Fakat metil ester kullanılarak moment ve güçte daha yüksek karşılaştırılabilir değerler bulunmuştur. Metil esterle bulunan bu eğerler 2D dizel yakıtı ile benzerlik göstermektedir.

Bitkisel yağ ile yapılan test sonucunda duman yoğunluğu 2D yakıtına göre daha yüksektir. Fakat metil esteri kullanılarak duman yoğunluğunun bitkisel yağa göre daha düşük olduğu görülmüştür.

Bitkisel yağ kullanımında NO_x emisyonlarında düşüş, metil ester kullanımında ise NO_x emisyonunda bir artış olmuştur.

Motor güç ve moment değerinin 2D dizel yakıtına göre düşük olmasındaki en önemli sebep, bitkisel yağların ve onların metil esterinin ısı değerlerinin 2D dizel yakıtına göre düşük olmasıdır. Bitkisel yağların yüksek viskozitesi motor gücünün ve momentinin düşük olmasına bir sebeptir. Bunun nedeni ise, enjektörden püskürtülen yakıtın daha büyük partiküllerden oluşmasıdır. Böyle yüksek partiküller yüzünden

yakıtın buharlaşması ve yanma zamanı uzar buda motor gücünde ve momentinde düşmeye neden olur.

Bitkisel yağların spesifik enerji maliyeti 2D yakıtı ile hemen hemen aynı olmasına rağmen metil esterlerinin maliyeti 2D dizel yakıtından %15-20 daha fazladır.

Kısa dönem testlerinde bitkisel yağlar dizel motorunda kullanılarak, performans ve emisyon karakteristikleri incelendi. Bu çalışmanın sonucunda, bitkisel yağ metil esterleri dizel motorlarında kısa dönem kullanımları için uygun bulunmuştur [45,46].

Bitkisel yağ kökenli ester yakıtlar üzerine yapılan ve ana ham madde bitkisel yağın yapı ve özelliklerinden, üretilen ester yakıtların direkt püskürtmesi ve ön yanma odalı diğer motorlarında kısa ve uzun süreli performans testlerini, korozyon ve egzoz emisyon ölçümlerini de içeren oldukça geniş araştırmalar sonucunda ortaya çıkan genel görüş, bu yakıtların iyi bir dizel yakıt alternatifleri olabileceği doğrultusundadır.

Transesterifikasyon yöntemi ile kolza yağının alternatif motorin olarak kullanımı Avrupa ve Kuzey Amerika ülkelerinde önemli bir yere ulaşmıştır. Bu ülkelerdeki devlet destekli büyük projeler, biyokütle enerji programları ve uluslararası büyük üne sahip otomotiv firmalarının çalışmalarında konu geniş boyutta yer almaktadır [47]. Motor yakıtları için ,%85'i dış alımla karşılanan petrole bağımlı ülkemizde ise kalkınma planlama çalışmalarında ulusal kaynaklara dayalı alternatif motor yakıtı konusunun önemi sürekli vurgulanmaktaysa da henüz uygulamaya geçilmemiş olup, gelişmeler bilimsel düzeyde sürmektedir. Motorlu karayolu taşımacılığında yaygın olarak dizel motorlu taşıtların kullanılması, alternatif motorinlerin Türkiye için gerekliliğini ayrı bir açıdan daha ortaya koymaktadır.

Bu çalışmada Türkiye kökenli fındık yağ metil esteri ile geleneksel dizel yakıtı karışımlarının, motor performansı ve egzoz emisyonları üzerine etkisi incelenmiştir. Neden fındık yağı diye düşünecek olursak;

Fındık üretiminde, dünyadaki diğer fındık üreticilerine göre toplamda % 83 oranda en büyük paya sahibiz. Fakat bu kadar büyük paya sahip olmamıza rağmen fındık fiyatını belirlemek maalesef dünyadaki büyük çikolata üreticilerinin elinde bulunmaktadır. Bu konudaki eksikliğimizi lehimize döndürmek için fındık tüketimini iç piyasada arttırmak gerekmektedir. Tabii ki bu artış sadece kuruyemiş olarak tüketilmekle mümkün olmayacak, katma değer katmak gerekecektir. Bu katma değer en önemli ürünlerinden birisi ise mutfaklarımıza yeni giren fındık yağıdır. Bilindiği üzere biyodizel üretiminde en önemli kaynağı bitkisel yağlar oluşturmaktadır. Ülkemizin petrol ihtiyacı ise gün geçtikçe artmakta ve ekonomik açıdan günümüzde insanlar artık dizel araçları tercih etmektedir. Yalnız artan bu talep günümüzde motorin fiyatlarının neredeyse benzin fiyatlarını yakalamasına sebep olmuştur. Artan bu fiyatlar ise biyodizelin ön plana çıkmasına sebep olmaktadır. Bu çalışmada fındık yağının kullanılmasındaki amaç; biyodizel üretiminde çoğunlukla kullanılan bitkisel yağlardan kanola, ayçiçeği ve soya yağı gibi yağların arasına fındık yağı gibi yeni kullanılan bir yağında yer alması ve ülke ekonomisine fayda sağlama bileceği düşüncesiyle fındık yağının metilesteri kullanılmıştır. Bu amaçla transesterifikasyon tekniği ile biodizel elde edilmiştir.

BÖLÜM 2. BİYOKÜTLE ENERJİSİ

Güneş enerjisinin fotosentez yolu ile bitkilerde depolanması ile ortaya çıkan, bitkisel ve hayvansal kökenli tüm canlı organizmalara “biyokütle” denir. Diğer bir tanımla ise, biyokütle güneş enerjisinin dolaylı şekli olan organik karbondur. Biyokütleden üretilen enerji “biyokütle enerjisi” olarak tanımlanmaktadır. Biyokütle enerjisi yenilenebilir özelliktedir ve yenilenebilir enerji kaynakları büyük bir teknik potansiyele sahiptir. Biyokütlenin dünya genelinde kullanımı dikkate değer orandadır. Odun, bitkisel artıklar ve gübre pişirme işlemlerinde yaygın olarak gelişmekte olan ülkelerde kullanılmaktadır. Biyokütlenin gelişmiş ülkelerdeki yeri de önemlidir. Örneğin, Amerika Birleşik Devletleri’nde biyokütle kökenli enerji miktarı, nükleer enerji ile aynı orandadır, İsveç ise toplam enerji gereksiniminin %14’ünü biyokütleden karşılamaktadır. Ülkemizde odun, hayvan ve bitki artıkları uzun yıllardan beri ısıtma ve pişirme alanlarında etkin bir şekilde tüketilmektedir. Bu geleneksel enerji kaynağı, Türkiye birincil enerji tüketiminin %13’ünü ve konutlardaki enerji tüketiminin ise %40,5’ini karşılamaktadır.

Doğaları gereği çok çeşitli olan, deniz ve karada bulunabilen biyokütle enerji kaynaklarının en önemlileri odun, yağlı tohumlar, şekerli bitkiler, nişastalı bitkiler ile şehirselle ve endüstriyel atıklar şeklinde sıralanabilir. Bu kaynaklar içinde yağlı tohum bitkileri biyodizelle geçiş için önemli bir kaynak konumundadır. Bitkisel yağlar, doğrudan veya modifikasyon teknikleri (seyreltme, mikroemülsiyon oluşturma, piroliz ve transesterifikasyon) ile motorine ve fuel oile alternatif olarak değerlendirilmektedir. Bu konu, dizel motorun tarihsel gelişimi paralelinde sürekli incelenmiştir. Ancak petrol krizleri sonrasında konuya ilgi en üst düzeye ulaşmış, pek çok ülkede araştırma-geliştirme çalışmaları ve uygulamalar olumlu sonuçlar vermiştir [9].

2.1.Biyodizel

Günümüzde çevreye güvenli bir yakıt bulma çabaları yoğunlaşmıştır. Buna sebep global ısınma ve hızla azalan fosil yakıtlardır. Bunun için değişik araştırmalar yapılmış ve sonucunda en iyi yöntem olarak günümüzden yüz yıl önce bulunmuş olan biyodizel yakıtlar ön plana çıkmıştır. Biyodizel en eski görmezden gelinmiş yakıt kaynağıdır ve dünyanın şimdiki çevresel problemlerine çözüm sağlayacak bir potansiyele sahiptir.

Biyodizel oluşumunun en iyi yöntemi transesterifikasyondur. Bu yöntem etil alkol veya metil alkolün bitkisel yağlarla veya hayvansal yağlarla reaksiyona girmesini içerir. Bu reaksiyonu gerçekleştirmek için sodyum veya potasyum hidroksit katilizör olarak kullanılır. Sürecin sonunda gliserin ve biyodizel elde edilir.

Biyodizel yakıtlar 1990'lardan beri Avrupa'da önemli bir yol kat etmiştir. Bunun en büyük sebebi ise biyodizel yakıtlar daha temiz bir yanma sağlamaktadır ve biyodizel üretimi Avrupa'da bir meslek olarak gün geçtikçe artmaktadır. Biyodizelin Avrupa'da yaygınlaşmasında en önemli faktör ise Avrupa'da ki araç miktarlarının %35 ile %45'nin dizel yakıtıyla çalışmasıdır ve buna ek olarak Avrupa Birliği Kyoto anlaşmasına göre her yıl egzoz emisyonlarında kesin bir düşüş olacağını taahhüt etmiştir.

Avrupa ulusları yıllık olarak milyonlarca galon biyodizel kullanmaktadır. 1990 yıllarının başlarında Avrupa Birliğinin en büyük biyodizel kullanıcısı ve üreticisi Almanya olarak rapor edilmiştir. 2003 yılı verilerine göre Almanya'nın yıllık biyodizel üretimi 1,025 milyon ton en yakın takipçisi Fransa'nın ise 500 bin ton civarındadır. 2005 yılı verilerine göre ise Almanya'nın biyodizel üretimi 1,903milyon tona ulaşmış Fransa'nın üretiminde ise çok fazla bir artış görülmemiş 532 bin ton civarında kalmıştır. Bir diğer Avrupa Ülkesi olan İtalya ise büyük bir atakla yıllık üretimini 827 bin tona ulaştırmıştır. Biyodizel üretimi için Avrupa'da 3 milyon hektarlık arazi kullanılmakta ve Avrupa genelinde yıllık toplam 6,1 milyon tonluk biyodizel üretimi gerçekleştirilmektedir. Bugünkü yapılan araştırmalara göre bu

oranın artacağı gözlenmekte ve 2007 yılında 2,4 milyar dolarlık bir endüstri oluşacağı hesaplanmaktadır [48].

Biyodizel yakıtlar birçok faydaya sahiptirler. Biyodizel yakıtlar güvenlice kullanılabilir ve depolana bilirler. Çevresel olarak en fazla sağladığı faydalar ise; temiz saf biyodizel kullanımı partikül emisyonunu %40 olarak azaltır, artıkları toksit içermez ve çevreye zarar vermeden toprakta çözünebilirler. Aynı zamanda yapılan araştırmalar biyodizel kullanımı sonucunda akciğer ve cilt kanserlerinde düşüşü göstermektedir. Biyodizel aynı zamanda hava kirliliği oranında azaltır. Çünkü yakıtlarda daha az petrol ürünü kullanımı daha aza hava kirliliği demektir.

Endüstriyel olarak biyodizel şirketlere ve tüketicilere birçok fayda sağlamaktadır. Çünkü az bir miktar biyodizelle petrol kaynaklı dizel yakıtının karışımı yakıt özelliklerini iyileştirmektedir. Araştırmacılar belirli ürünlerde ve değişik koşullarda en iyi çalışma karışımını bulmak için değişik karışımlarla deneyler yapılmakta hatta bu karışım oranı 100% biyodizel oranına kadar arttırmaktadırlar. Bunlara ek olarak Çevresel Koruma Acentası dizel yakıtı içerisindeki sülfür oranını çevresel problemler yüzünden azaltmıştır ve sonucunda yakıtın yağlama özelliğinde azalmalara sebep olmuştur bu da motor ömürlerini önemli ölçüde etkilemektedir. Biyodizel yakıtı ise hiç sülfür içermemesine karşın çok iyi bir yağlayıcı özelliğe sahiptir bunun sonucunda motor ömürlerini uzatmaktadır. Biyodizel birçok firmaya faydalı bir yakıt olduğunu ispatlamış ve birçok firmanın makinelerin de kullanılmaktadır. Daha da fazlası biyodizel yakıtlar enerjiyi koruma bakımından endüstriye faydalı olmaktadır. Bunun nedeni ise sıradan dizel yakıtını kullanılan alanlarda kullanılan her galon biyodizel yenilenmeyen fosil enerji kaynaklarından dört kat fazla potansiyele sahiptir. Biyodizel tarafından yükseltelen enerji kaynakları endüstriyel iş verimliliğini de yükseltebilir ve bu yükseliş anında da çevre kirliliğini de azaltacaktır.

İnsan sağlığıyla da ilgili olarak; biyodizel yakıtlar % 75'le % 90 arasında daha az yanmamış hidrokarbonlar,% 78 oranda daha az karbondioksit, %50'yle %90 arasında daha az kansere sebep olan bileşikler ve hemen hemen % 100 daha az sülfürdioksit emisyonları yaymaktadır. Bu düşüş ise Çevresel Koruma Acentasının kurulduğundan berri en önemli amacı olmuştur. Dizel yakıtının yüksek emisyon miktarlarından

dolayı Birleşmiş Milletler Çevresel Koruma Acentası dizel partiküllerini elit sınıf kirlenme gurubu içerisinde değerlendirmeye başlamıştır çünkü dizel partikülleri insan sağlığıyla ilgili büyük riskler taşımakta ve özellikle akciğer kanserine ve solunumla ilgili bazı hastalıklara sebep olmaktadır.

Fakat her iyi buluş beraberinde dezavantajları da getirebilir. Biyodizel yakıtlar çevreye ve bizim sağlığınıza yardım edecek çözümler içermektedir fakat beraberinde dezavantajlarını da barındırmaktadır. Araştırmacılar biyodizel üretiminde ve biyodizel yakıtıyla yapılan testlerde birçok zorluklarla karşılaşmaktadırlar. Karşılaşılan en büyük problemlerden birisi ise biyodizel yakıtlardaki çeşitliliğidir. Biyodizelin pazarlanmasıyla ilgili Çevresel Koruma Acentası yeni yeni bazı standartlar getirmiştir. Çünkü bazı alanlarda biyodizel hala deneysel aşamalarda. Dezavantajlara ek olarak eğer yakıt içerisinde su bulunursa yakıt filtresinin tıkanmasına ve yakıt sisteminde oksitlenmeye sebep olmaktadır. Biyodizelle ilgili en büyük problemlerden bir diğeri ise; petrol esaslı dizel yakıtına göre yaklaşık %5 ile %7 arasında daha düşük güç elde edilmesi ve dizel yakıtına göre daha fazla azot oksitlere sebep olmasıdır.

Gelecekte, biyodizel yakıtlar hem endüstriyel hem de çevresel olarak doğru kullanılırsa yaşam kalitesini iyileştirecektir. Biyodizel yakıtlar binaların ısıtılmasında ve araçlarda yakıt olarak kullanılacaktır ve bunla ilgili çalışmalar günümüzde hala devam etmektedir. Amerika da kullanılan tarım araçlarında %20lik oranda biyodizel karışımı yakıtlar kullanılmaktadır. San Francisco ve Las Vegas'ta bulunan yakıt istasyonları müşterilerin araçlarına biyodizel karışımı yakıtlar sağlamaktadırlar ve California Long Beach'te bulunan bir hastanenin buhar kazanları ve jeneratörleri biyodizel yakıtla çalışmaktadır. Son olarak; biyodizel yakıtlar maden ocaklarında önemli bir yakıt kaynağı olarak kullanılabilirler. Çünkü petrol kökenli dizel yakıtının dumanı maden işçilerinin sağlığına çok zararlı olmaktadır.

Biyodizelin 100 yıllık geçmişi dünyanın şimdiki önemli çevresel problemlerine bir çözüm olabilir. Fosil kökenli yakıtların elde edilebilirliğinin sürekli azalmasına karşın, biyodizel yakıtlarının elde edilebilirliğindeki uygunluk mucizevi şaşılacak bir

durumdur. Biyodizel şimdiye kadar görmezden gelinmesine rağmen çevrenin en fazla ihtiyaç duyduğu yakıttır [49].

2.2.Biyodizelin Tarihçesi

Bitkisel yağların dizel motor yakıtı olarak ilk kez bu motorun yaratıcısı Rudolph Diesel tarafından 1900'lerde kullanıldığı bilinmektedir [49]. Ancak petrol kökenli yakıtın uzun yıllar boyunca ucuz ve bol miktarda bulunur olması motorun bu yakıt ile uyum sağlayacak biçimde geliştirilmesine neden olmuştur. Zaman zaman ortaya çıkan petrol darboğazları sırasında bitkisel yağların yakıt olarak kullanımı gündeme gelmişse de konuya ilişkin bilimsel çalışmalar 1970'lerdeki petrol krizi ile birlikte yoğunlaşmıştır.

1973 yılındaki OPEC petrol ambargosunun yeni petrol krizleri döneminin başlangıcını belirlemesi üzerine çeşitli ülkelerde ulusal kaynaklardan yararlanma, tarımsal potansiyeli değerlendirme, döviz tasarrufu sağlama ve gelecekteki enerji krizlerine hazırlıklı olma fikirleri önem kazanmaya başlamıştır. Ülkelerin ekonomik yapılarının temelini dizel yakıtı kullanan sektörler oluşturmaktadır. Özellikle tarım ve taşımacılık krizlerden en çok etkilenen ve insan yaşamı ile doğrudan ilişkisi olan hassas sektörlerdir. Bu nedenle dizel motorun ilk yakıtı bitkisel yağlar yeniden araştırmaların yeniden odak noktası olmuştur. Özellikle petrol kaynakları kıt olan Güney Afrika Cumhuriyeti (1981) ve Avustralya'da (1980, 1981) bu konu hakkında yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Bir zamanlar %100 yabancı petrole bağımlı olan Avustralya 2000 yılına kadar kendi kaynakların ile kendine yeter hale geleceğini ilan etmektedir.

Brezilya'da, benzin-etanol yada direkt etanolla çalışan otomobillerden sonra Volkswagen firması kendi üretimi dizel motorlu ticari taşıtlar ve kamyonlar için bu ülkenin zengin biyokütle kaynaklarına dayalı dizel yakıtı alternatifi üzerine yoğun araştırmalar başlatmıştır. Bu araştırmalarının amacı ya doğrudan ya da dizel yakıtı ile karışım halinde kullanılabilecek bir alternatif yakıt oluşturmaktır. Etanolün günümüz dizel motorlarında yakılmaya uygun olmaması ve dizel yakıtı ile karışım

oluşturmaması her ikisi ile de karışabilen bitkisel yağ metil ve etil esterlerinden faydalanmayı gündeme getirmiştir.

ABD’de de bitkisel yağların dizel yakıt alternatifi olabirliği üzerine yapılan çalışmalar hem üniversite ve araştırma enstitülerinde hem de John Deere, İnternational Harvester, Caterpillar ve Perkins gibi motor üreten büyük firmalar bünyesinde 1981,1982 yıllarında itibaren sürdürülmüştür.

1982’de Avustralya’da Tarım ve Orman Bakanlığının desteği ile yürütülen araştırmalarda kolza yağ metil esterinin iyi bir dizel yakıt alternatifi olabileceği ortaya konulunca ülkenin tarımsal fazlasını kolza ve ayçiçeği ekimi yönüne çevirerek 2000 yılına kadar hem dizel yakıtı alternatifi üretimine hem de kendi talebine yetecek ölçüde bitkisel yağ elde etmesi ön görülmüştür. 1988 yılında ise hem %10 kolza yağı katılmış dizel yakıtının çeşitli tipte 100 araç üzerinde denenmesi, hem de kolza yağ metil esterinin uzun süreli motor ve yol testleri gerçekleştirme aşamasına gelmiştir.

Almanya bitkisel yağların alternatif dizel yakıtı olarak değerlendirilmesi konusunda önemli çalışmaların önderliğini yapmaktadır. Devlet destekli büyük projeler, uluslar arası üne sahip otomobil firmalarının gerçekleştirdiği uygulamalar oldukça önemli sonuçlar vermiştir.

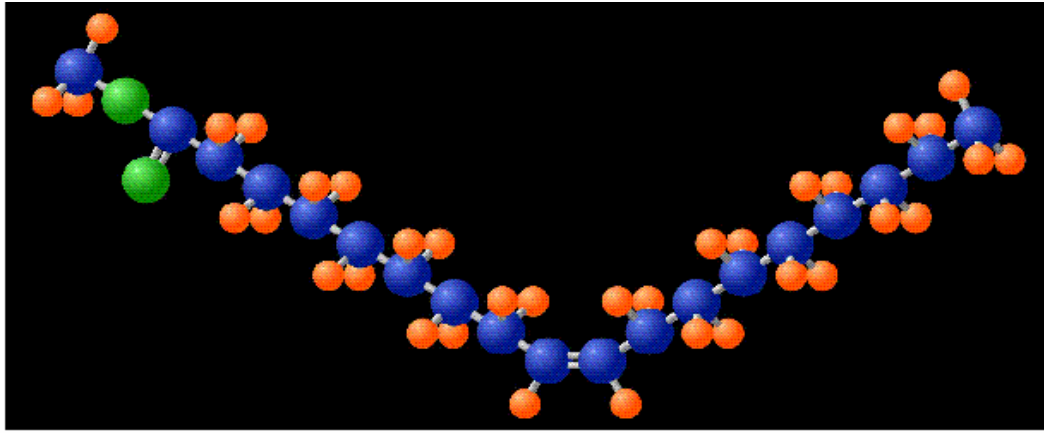
Günümüze değin yapılan çalışmalar ve bilgi birikiminin Avrupa da ki en önemli sonucu ise İtalya’da Endüstriyel ölçüde üreilmeye başlanan kolza, soya veya ayçiçek yağı metil esteri esaslı ilk biyo yakıttır. Diesel-Bi adı ile üretilip 19 Ağustos 1991 tarihinden itibaren İsviçre’de Zürih şehri belediye otobüslerinde kullanılmakta olan bu yakıt aynı zamanda çevre kirliliği testleri uygulanmaktadır. Aynı yakıt İtalya, Almanya ,Fransa ve Avusturya’da da çeşitli tip dizel motorlu taşıtlarda denenmekte ayrıca Milano İtalya’da bulunan Montedisan holding genel müdürlük binası bu yakıt ile ısıtılmaktadır.

Türkiye’de alternatif yakıt konusu Cumhuriyetin ilk yıllarında gündeme gelmiştir. 1936 yılında Atatürk’ün hazırlattığı 2. Beş yıllık kalkınma planında yakıtların ithal

yoluyla sağlanmaması, ülkenin ham madde kaynaklarından faydanılması ön görülmüştür. Ancak 2. Dünya savaşı ardından dünya ham petrol üretiminin artması, fiyatların düşmesi konunun ilgi görmemesine neden olmuştur. 1973 yılından sonra petrol fiyatlarındaki artış ve enerji krizleri sonucu bu konu çerçevesinde çeşitli girişimler olmuşsa da dizel yakıt alternatifi olarak bitkisel yağlardan yararlanma konusu ancak çok az sayıdaki bilimsel çalışma ile sınırlı kalmıştır [8].

2.3.Biyodizel Özellikleri

Biyodizel orta uzunlukta C16 – C18 yağ asidi zincirlerini içeren metil veya etil ester tipi bir yakıttır. Oksijene zincir yapısı biyodizeli, petrol kökenli motorinden ayırır. Biyodizel, motorine çok yakın ısıl değere, motorinden daha yüksek alevlenme noktasına sahiptir. Bu özellik biyodizeli kullanım – taşınım – depolanmasında daha güvenli bir yakıt yapar. Aşağıda biyodizelin temel özellikleri motorin özellikleri ile karşılaştırmalı olarak açıklanmaktadır.



Şekil 2.1.Biyodizelin moleküler yapısı [49].

Biyolojik Olarak Bozunabilirlik: Biyodizeli oluşturan C16 – C18 metil esterleri doğada kolayca ve hızla parçalanarak bozunur, 10000mg/l'ye kadar herhangi bir olumsuz mikrobiyolojik etki göstermezler. Suya bırakıldığında biyodizelin 28 günde %95'i, motorinin ise %40'ı bozunabilmektedir. Biyodizelin doğada bozunabilme özelliği dekstroza (şeker) benzemektedir.

Toksik etki: Biyodizelin olumsuz bir toksik etkisi bulunmamaktadır. Biyodizel için ağızdan alınmada öldürücü doz 17.4g biyodizel/kg vücut ağırlığı şeklindedir. Sofra tuzu için bu değer 1.75g tuz/kg vücut ağırlığı olup, tuz biyodizelden 10 kat daha yüksek öldürücü etkiye sahiptir. İnsanlar üzerinde yapılan elle temas testleri biyodizelin ciltte %4'lük sabun çözeltisinden daha az toksik etkisi olduğunu göstermiştir. Biyodizel toksik olmamasına karşın, biyodizel-motorin karışımlarının kullanımında; motorin için zorunlu olan standart koşulların (göz koruyucular, havalandırma sistemi vb.) kullanılması önerilmektedir.

Depolama: Motorin için gerekli depolama yöntem ve kuralları biyodizel için de geçerlidir. Biyodizel temiz, kuru, karanlık bir ortamda depolanmalı, aşırı sıcaktan kaçınılmalıdır. Depo tankı malzemesi olarak yumuşak çelik, paslanmaz çelik, florlanmış polietilen ve florlanmış polipropilen seçilebilir. Depolama, taşıma ve motor malzemelerinde bazı elastomerlerin, doğal ve butil kauçukların kullanımı sakıncalıdır; çünkü biyodizel bu malzemeleri parçalamaktadır. Bu gibi durumlarda biyodizelle uyumlu Viton B tipi elastomerik malzemelerin kullanımı önerilmektedir.

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

Motor Yakıtı Özellikleri: Biyodizel ısı değeri motorinin ısı değerine oldukça yakın değerde olup, biyodizelin setan sayısı motorinin setan sayısından daha yüksektir. Biyodizel kullanımı ile motorine yakın özgül yakıt tüketimi, güç ve moment değerleri elde edilirken, motor daha az vurutulu çalışmaktadır. Biyodizel motoru güç azaltıcı birikintilerden temizleme ve motorinden çok daha iyi yağlayıcılık özelliklerine sahiptir.

Standartlar: Biyodizel için Avusturya'da ÖNC 1190 Standardı, Almanya ve diğer Avrupa ülkelerinde DIN E 51606 standardı kullanılmakta olup, Amerika Birleşik Devletlerinde ASTM tarafından standart özellikleri belirlenmektedir. Tablo 2.1'de biyodizel ve motorin için standart özellikler karşılaştırmalı olarak verilmektedir.

Tablo 2.1 Motorin ve Biyodizelin standart özellikleri [50].

| Özellikler | Motorin (EN 590:1993) | Biyodizel (DIN E 51 606:1997) |
|--------------------------------------|--------------------------|----------------------------------|
| Yoğunluk, 15 °C, kg/m ³ | 820-860 | 875-900 |
| Viskozite, 40 °C, mm ² /s | 2.00-4.50 | 3.5-5.0 |
| Alevlenme Noktası, °C | >55 | >110 |
| Kükürt İçeriği, % | <0.20 | <0.01 |
| Oksijen İçeriği, % | 0.0 | 10.9 |
| Setan Sayısı | >49 | >49 |
| Isıl Değer, MJ/dm ³ | 35.6 | 32.9 |
| Verim, % | 38.2 | 40.7 |

Bahsedilen özellikleri yanında, biyodizelin ısı değeri motorine oldukça yakın değerde olup, biyodizelin setan sayısı motorinin setan sayısından daha yüksektir. Biyodizel motoru güç azaltıcı birikintilerden temizleme ve motorinden daha iyi yağlayıcılık özelliklerine sahiptir. Toksik olmayan, biyo çözünebilirliğe sahip, alevlenme noktası yüksek, güvenilir, çevre dostu ve aynı zamanda gliserin gibi çok değerli bir yan ürüne sahip olan bir yakıttır [50].

Biyodizel, saf ve motorin-biyodizel karışımları şeklinde yakıt olarak kullanılmaktadır. Bu yakıtlar aşağıdaki gibi adlandırılmaktadır:

- B5 : % 5 Biyodizel + % 95 Motorin
- B20 : % 20 Biyodizel + % 80 Motorin
- B50 : % 50 Biyodizel + % 50 Motorin
- B100 : %100 Biyodizel

2.4.Biyodizel maliyeti

Biyodizel yakıtın maliyetini; bitkisel yağ fiyatları, üretim süreci verimi, uygulanan vergi ve o ülkenin alternatif yakıt politikası belirlemektedir. Biyodizel Geliştirme Kuruluşu (Biyodizel Development Corporation-USA) tarafından yapılan “Otobüslerde Alternatif Yakıt Kullanımında Maliyet Karşılaştırılması” çalışması sonuçları Tablo 2.2 de verilmektedir. Tablodan görüldüğü gibi, biyodizel Dizel motorunda kullanılacak en ucuz alternatif yakıttır [51].

Tablo 2.2Yakıt maliyetlerinin karşılaştırılması [51].

| Maliyetler | Motorin | Biyodizel | Doğal Gaz | Elektrik |
|-----------------------------------|---------|-----------|-----------|----------|
| İlk yatırım maliyeti(\$) | 50000 | 50000 | 75000 | 200000 |
| Yıllık maliyet(\$) | 9650 | 9650 | 14475 | 38600 |
| Mil/yıl/Otobüs | 16500 | 16500 | 16500 | 16500 |
| Yakıt Maliyeti(\$) | 0.70 | 1.00 | 0.47 | 0.11 |
| İşletme Maliyeti/Yıl(\$) | 1540 | 2200 | 1156 | 1815 |
| Toplam Maliyet(\$) | 11190 | 11850 | 15631 | 40415 |
| Yıllık Maliyetteki değişimler(\$) | Temel | 660 | 4441 | 29235 |

2.5.Fındık Bitkisi

Fındık, kuzey kürenin sıcak bölgelerinde yetiştirilen Corylus (Corylus avellana L.) familyasına ait bir meyvedir. Fındığın tarihçesine bakıldığında, fındığın anavatanının neresi olduğu konusunda değişik görüşler vardır. Bazı bilim adamlarına göre; kültür fındığının anavatanı Çin olup, fındık Milattan Önce (MÖ) 2838 yılında İmparator ve Hakan sofralarının baş yemişi idi. Fındık büyük akınlarla İran’a oradan da Doğu Karadeniz’e getirilmiştir. Buna karşılık diğer bazı araştırmacılara göre fındığın anavatanı Anadolu, bazılarına göre İtalya ve bir kısmı da İsviçre olduğunu ileri

sürmüştür. Yabani fındığın bulunduğu Amerika'ya ise kültür fındığı Avrupa'dan götürülmüş, ekonomik anlamda yetiştiriciliği son 30-40 yılda önem kazanmıştır.

Kültür çeşitlerinin kaynağını oluşturan en önemli yabani türlerin Anadolu'da yayılmış olması; fındığın anayurdunun Anadolu olduğu görüşünü kuvvetlendirmektedir. Dünyanın en kaliteli fındık çeşitleri Anadolu'da elde edilmiş ve Anadolu'da yetiştirilmiştir. Dünyada ticari anlamda ilk fındık yetiştiriciliği ve ihracatı Anadolu'da başlamıştır. Daha da önemlisi, dünyada fındık üretimine en uygun en geniş ekolojik alan (iklim ve toprak) Anadolu'da bulunmaktadır [52].

Çağımızdan 24 yüzyıl önceye dayanan belgeler fındığın Karadeniz kıyılarının bir ürünü olduğunu gösterir. Benzeri kuruyemişlerden daha fazla besin değeri olan fındığın 600 yıldan beri ihracatçısı olan Türkiye bugün de dünyanın en büyük üreticisi ve ihracatçısıdır [53].

Fındık, ulusal ekonomimizde ve tarımımızda özel bir yeri olan geleneksel ihraç ürünümüz olmasına ilaveten aynı zaman da bileşenleri bakımından önemli bir besin ögesidir. Fındığın bileşenlerinin büyük bir kısmını yağ oluşturmaktadır.

Bitkisel yağlar, bitkilerin tohumlarından veya meyvalarından elde edilen ana komponenti trigliserid olan maddedir. Trigliserid yapı, bir cins yağ asidinden (oleik asit) oluşmuştur. Gerçekte trigliseridi oluşturan yağ asidi her zaman bir cins yağ asidi olmayıp, birden fazla cinsteki asitler düzensiz dağılım oluşturacak şekilde gliserin hidrosillerine bağlanmış durumdadır. Bitkisel yağların birbirinden farklı özellikte olmalarının sebebi trigliserid yapıda bulunan yağ asitlerinin cinsleri ve miktarlarındaki farklılıklardır. Bir trigliserid molekülünde gliserid (C_3H_5) kısmının molekül ağırlığı 41, yağ asidi kısmının ($R-COOH$) molekül ağırlığı ise 650 ile 970 arasındadır. Böylece yağ asitleri, bir trigliserid molekülünün ağırlıkça %94-96'sını oluşturur.

Yağ asitleri, yüksek karbon sayılı doymuş veya doymamış alifatik monokarboksilik asitlerdir. $C_nH_{2n+1}COOH$ veya $C_nH_{2n-a}COOH$ ($a=1,3,5...vb.$). Doğada bitkisel ve hayvansal kaynaklarda en fazla rastlanan yağ asitleri 8-18 karbon atomlu (çift karbon

sayılı) doymuş ve doymamış yağ asitleri karışımlarıdır. Doymuş yağ asitlerinin en çok rastlanan örnekleri kaprilik, raplik, lavrik, miristik, palmitik ve stearik asitler iken en çok rastlanan doymamış yağ asitlerine örnek olarak ise oleik, linoleik, risinoleik ve erustik asitler verilebilir.

Tablo 2.3 Başlıca Türk Fındık Kültür Çeşitlerinin Temel Bileşim Maddeleri (% olarak) [52]

| Kültür Çeşidi | Su | Kül | Protein | Yağ | Karbonhidrat |
|----------------------|-----------|------------|----------------|------------|---------------------|
| Tombul | 4,83 | 2,07 | 16,25 | 64,77 | 15,72 |
| Palas | 4,68 | 2,05 | 14,66 | 63,25 | 14,21 |
| Mincane | 4,56 | 1,90 | 15,67 | 63,64 | 12,22 |
| Çakıldak | 5,19 | 2,55 | 17,58 | 55,07 | 22,32 |
| Foşa | 4,90 | 2,16 | 16,45 | 57,70 | 15,35 |
| Uzunmusa | 4,55 | 2,12 | 14,60 | 66,40 | 12,77 |
| Kalnkara | 4,83 | 1,95 | 13,81 | 64,65 | 16,61 |
| Cavcava | 4,41 | 1,97 | 13,61 | 62,89 | 15,52 |
| Sivri | 4,65 | 2,05 | 15,98 | 66,28 | 10,88 |

Yağ miktarı fındıkta çeşitlere göre değişiklik gösterir. Giresun bölgesine ait tombul fındıkta yağ içeriği %68-70, sivri fındıkta %65.6, Trabzon bölgesine ait tombul fındıkta yağ içeriği %64.4 iken Ordu bölgesine ait tombul fındıkta %64.9 sivri fındıkta %64.6'dır. çeşitler içinde yağ içeriği en az olan %58.4 ile badem fındıktır. Yabancı orijinli İspanya fındıklarında da yağ oranına, fındığın yetiştirildiği çevre ve koşulların etkili olduğu bildirilmiştir [52].

Fındık, sahip olduğu yüksek yağ ve protein içeriği nedeniyle çok kıymetli bir gıda maddesidir. Çeşitlerine göre önemli bir ölçüde değişmekle birlikte Amerikan fındıklarında %60 yağ 18,2 protein %6,6 şeker ve %2,2 nişasta bulunduğu ve bu oranların İtalyan fındıkları için sırayla %57 yağ %14 protein %14-17 karbonhidrat olduğu tespit edilmiştir. Türk fındıklarında ise özellikle yağ oranlarının %60'ın oldukça üzerinde olduğu (tüm çeşitlerin ortalaması %64) tespit edilmiştir. Tablo 2.3 de bu değerler gösterilmiştir [53].

2.5.1.Fındığın Dünyadaki Yeri

Dünyanın en büyük fındık üreticisi ve ihracatçısı Türkiye'dir. Dünyada fındık üreten başlıca ülkeler Türkiye başta olmak üzere İtalya, İspanya, ABD ve Yunanistan'dır. Dünya fındık üretim alanının %82,96'sı ülkemizde, %10,81'i İtalya'da, %3,55'i İspanya'da, %1,86'sı ABD'de, %0,92'si Yunanistan'da bulunmaktadır. Buna karşılık bu ülkelerin fındık üretimindeki payları da aynı sıra ile %77,31; %15,6; %2,45; %3,93; ve %0,74'tür. Rusya, Romanya, İran ve Fransa'da da fındık yetiştirilmekte fakat bu ülkelerin dünya fındık ticaretinde etkinlikleri bulunmamaktadır [54].

Fındık, Türkiye'nin tarımında olduğu kadar genel ekonomisi ve sosyal yaşantısında da önemli derecede rol oynayan bir üründür. Fındık bir yandan tanındığı bölgede sevilen bir çerez, özellikle çikolata endüstrisinin önemli bir katkı unsuru; diğer taraftan da sahip olduğu yüksek yağ ve protein içeriği nedeniyle çok kıymetli bir gıda maddesidir [54].

2.6.Bitkisel Yağların Viskozitelerini İyileştirme Yöntemleri

Bitkisel yağlar yüksek viskozitesinden dolayı uzun süreli dizel motorlarında kullanılması mümkün değildir. Bu nedenle bitkisel yağların dizel motorunda kullanılması için viskozitesinin düşürülmesi gereklidir ve bunu için ısıl ve kimyasal olarak 2 yöntem uygulanmaktadır. Isıl yöntemde bitkisel yağa ön sıtma işlemi uygulanır ve böylelikle yağın viskozitesi düşürülerek dizel motora gönderilir. Kimyasal yöntemde ise seyreltme, mikroemilsiyon, piroliz ve transesterifikasyon teknikleri uygulanır.

2.6.1.Seyreltme

Bu yöntem bitkisel yağların belirli oranlarda dizel yakıtına karıştırılması olarak tanımlanır. Uygulamada yaygın kullanılan B20 yakıtı, Dizel içersine %20 oranında bitkisel yağ katılarak elde edilir. Bu şekilde elde edilen yakıtın dizel yakıtına göre maliyetinin daha düşük olduğu ve performans değerlerinin de dizel yakıtına yakın olduğu belirlenmiştir [16].

Bu yöntemde uygun bitkisel yağlar belirli oranlarda dizel yakıtına katılmakta ve viskozite düşürülmektedir. Bitkisel yağın dizel yakıtıyla seyreltilmesi birçok araştırmacı tarafından başarılı bir şekilde test edilmiştir. Ziejewski ve arkadaşlarının hacimce 25/75 oranında ayçiçek yağı dizel yakıt karışımı ile yürüttükleri çalışmada karışımın $40^{\circ}C$ deki viskozitesi $4,88 \text{ mm}^2 / s$ olarak tespit edilmiş ve ASTM standartlarında dizel yakıt için belirlenen üst sınır $4,0 \text{ mm}^2 / s$ olduğundan söz konusu karışımın direkt enjeksiyonlu dizel motorlarında kullanılamayacağı sonucuna varılmışlardır. Yapılan bir diğer çalışmada ise ağırlıkça %10 kolza yağı katılan dizel yakıtında önemli değişimler gözlenmiştir. Bu karışım ile dizel motorlarında yapılan laboratuvar çalışmaları da olumlu sonuçlar vermiş ve egzoz gazlarında da bazı iyileşmeler gözlenmiştir.

1980 yılında Caterpillar Brezilya şirketi ön yanma odalı motorlarda herhangi bir modifikasyonsuz tam gücü korumak için %10 bitkisel yağ karışımı kullanmıştır. %20 lik bitkisel yağ ve %80 dizel yakıtı karışımı başarılı olarak bulunmuştur. Yakıt sisteminde bazı ufak modifikasyonlar ile %100 bitkisel yağ kullanımının aynı zamanda olası olduğu ispatlanmıştır. Sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda saf bitkisel yağ kullanımı yakıt viskozitesi yüzünden önemli problemlere sebep olmaktadır. Yüksek viskozite ile karşılaşılan problemleri çözmeye mikroemülsiyon piroliz ve transesterifikasyon yöntemleri ön plana çıkmaktadır [55].

Yapılan bir diğer çalışmada ise H.L.Yücel; dizel motorlar için alternatif yakıt olarak pamuk yağı-motorin karışımlarının kullanılması ve sonucunda ortaya çıkabilecek problemlerin tespiti ile performans ve emisyon karakteristikleri üzerindeki etkilerinin tespitini amaçlamıştır. Sonuç olarak dizel motorlarda herhangi bir değişikliğe gidilmeden pamuk yağı-motorin karışımlarının kullanılabilirliği daha çok düşük pamuk yağı oranlarında mümkün olduğunu gözlemlemiştir. En büyük problem olarak yanma odasındaki kalıntı oluşumudur. Uzun süreli çalışmalar için pamuk yağı oranı %40'ı geçmemesi gerektiği sonucuna varılmış. Özellikle düşük pamuk yağı yüzdelisinde çalışıldığı zaman fazla bir problemin ortaya çıkmadığı görülmüştür. Dolayısıyla pamuk yağı-motorin karışımı içerisindeki pamuk yağı yüzdesinin az olması halinde veya problemlerin giderilmesi halinde pamuk yağı dizel motorlarda

alternatif yakıt olarak kullanılabilir. Pamuk yağının düşük sıcaklıklarda katılaşma eğilimi göstermesi, ön ısıtma yapılmasını veya kış aylarında kullanılmamasını gerektirir [56].

2.6.2.Mikroemülsiyon

Bitkisel yağlardaki yüksek viskozite problemini çözmek için mikroemülsiyon yönteminde metanol, etanol ve butanol gibi eritkenler kullanılmaktadır. Mikroemülsiyon, boyutları 1-150nm arasında olan optikçe izotropik sıvı mikro yapılarının koloidal denge dağılımı olup, normalde karışmayan iki sıvı veya bir veya daha fazla iyonlu veya iyonlu amfifilin bir araya gelmesi olarak ifade edilebilir. Bu da sprey karakteristiğini geliştirecektir. Bütün butanol hexanol ve actonalla yapılan mikro emülsiyonlar dizel motorlar için maksimum viskozite sınırlamasını karşılayacaktır. Czerwinski %53,3 ayçiçek yağı %13.3 etanol ve %33.4 butanol ile bir emülsiyon hazırlamıştır. Bu emülsiyonun setan sayısı 25, 40 derecedeki viskozitesi 6.3 sentistokesdur. Butonalda yüzde olarak bir artış yapıldığında ise daha düşük viskoziteler ve daha iyi sprey örnekleri gözlenmiştir. Bu karışım ile dizel motorlarında yapılan laboratuvar çalışmaları da olumlu sonuçlar vermiş ve egzoz gazlarında da bazı iyileşmeler gözlenmiştir [55,57].

2.6.3.Piroliz

Piroliz (termik parçalanma) ve katalitik kriting kimyasal bağların daha küçük moleküller oluşturmak üzere kırılması prosesidir. Diğer bir deyişle; piroliz bir maddenin başka bir maddeye sıcaklık veya katalizör yardımı ile dönüşme sürecidir. Piroliz yöntemi ufak molekülleri kırmak için kimyasal bağ bölünmelerini ve havanın veya oksijenin yokluğunda ısıtmayı kapsamaktadır. Bitkisel yağların piroliz ürünlerini elde etmek için iki yöntem vardır. Bunlardan birisi, bitkisel yağların ısı etkisiyle kapalı bir kaptan parçalamak, diğeri ise standart ASTM distilasyonu ile bitkisel yağları ısı parçalamak etkisinde tutmaktır. Pirolize edilecek materyaller; bitkisel yağlar, hayvansal yağlar, doğal yağ asitleri, yağ asitlerinin metilesterleri olabilir. Yağların pirolize yöntemi 100 yıldan daha fazladır, özellikle petrol kaynakları olmayan dünya bölgelerinde araştırılmaktadır. Birinci dünya savaşından

bu yana birçok araştırmacı motor yakıt uygulamalarında uygun ürünler elde etmek için bitkisel yağların pirolizi hakkında çalışmaktadır. Schwap ve ark. [58] yaptıkları çalışmada, pirolize soya yağının % 79 karbon ve % 11.88 hidrojen içerdiğini, piroliz işlemi ile setan sayısının 37,9'dan 43'e çıkarken, 38⁰C 'deki viskozitenin 32,6'dan 10,2 cST'ye (sınır değeri 38⁰C için 7,5 cST) düştüğünü belirtmişlerdir. Ayrıca kükürt, su, tortu ve bakır çubuk korozyonu değerlerinin istenilen seviyede olduğunu; fakat kül, karbon kalıntısı ve akma noktasının arzu edilen düzeyde olmadığını belirtmişlerdir. Yapılan bir diğer çalışmada saf bitkisel yağ ve %10 metanol'lü bitkisel yağ karışımı IDI motorunda yapılan geniş çaplı araştırma, detaylarıyla incelenerek her ikisinde de çıkan dumanda önemli derecede düşüş ortaya çıkmıştır.

2.6.4. Transesterifikasyon

Bitkisel yağların, diesel yakıt alternatifi olarak uygunlaştırılmasında izlenen en önemli kimyasal yöntemdir. Bu terim bir esterin, bir alkol(alkoliz), bir asit (asidoliz) veya bir diğer esterle (ester değişimi), genellikle katalizör yanında, reaksiyona girerek yeni bir ester veya esterler karışımı oluşturduğu reaksiyonları kapsar. Bitkisel yağların viskoziteleri, küçük molekül ağırlıklı alkollerle metil veya etil esterlerine dönüştürüldükleri alkoliz reaksiyonundan faydalanılarak düşürülebilir. Ayrıca bu dönüşüm reaksiyonunda oluşan gliserin gibi yan ürünleri değerlendirmekte olanaklıdır. Reaksiyonlar asidik (HCl, H₂SO₄) veya bazik (NaOH, KOH) katalizörler yanında gerçekteşir. Katalizörler reaksiyon hızlandırıcı, dönüşümü arttırıcı etki gösterirler. Bazik katalizörler kullanıldığında reaksiyon daha düşük sıcaklıklarda gerçekteşebilir. Alkoliz reaksiyonu transesterifikasyon ismi ile de tanınır [55,57]. Transesterifikasyon reaksiyonu için önemli parametreler yağ alkol mol oranı, katalizör cins ve miktarı, reaksiyon sıcaklığı olarak sıralanmaktadır. Freedman ve Pryde , soya ve ayçiçek yağları ile yaptıkları çalışmalarında %33metanol fazlası kullanarak %90 verim , %100 metanol fazlası ile %97 verim elde ettiklerini bildirmişler ve alkali katalizörlerle reaksiyonun asit katalizörlere göre çok daha çabuk ilerlediğini vurgulamışlardır. NAOH'nin ucuz olması nedeniyle katalizör olarak tercih edildiği araştırmada , 60⁰C reaksiyon sıcaklığında 1 saatte

%97 ester dönüşümü sağladığı aynı oranda bir dönüşümün 4 saatlik bir sürede ve $32^{\circ}C$ sıcaklıkta elde edilebileceği bildirilmiştir [59].

Transesterifikasyonda etkin parametrelerin ester verim ve saflığı üzerindeki rolünün incelendiği bir başka çalışmada ise, ham ve rafine pamuk, yer fıstığı, soya ve ayçiçek yağları alkali ve asit katalizörler kullanarak esterleştirilmiştir. Çalışmanın sonucunda, transesterifikasyon reaksiyonu için en uygun koşullar olarak 1:6 yağ/alkol mol oranı, yağın ağırlıkça %1'i kadar NaOH katalizör, $60^{\circ}C$ reaksiyon sıcaklığı ve 1 saat reaksiyon süresi önerilmektedir [59].

Transesterifikasyonda etkili parametrelerin incelenmesi sonucunda, bitkisel yağın asit değerinin uygun olması koşuluyla, alkali katalizör kullanımının asit katalizöre göre hayli üstün olduğu, düşük sıcaklıklarda, daha düşük mol oranları ile çalışarak oldukça kısa reaksiyon sürelerinde yüksek verimle ester elde edilebileceği görüşüne varılmıştır. Transesterifikasyon yöntemi ile elde edilen ester ürünleri yakıt özellikleri dizel yakıtına oldukça yaklaşmaktadır. Ester ürünlerin üst ısıl değerleri dizel yakıtından bir miktar düşüktür, alevlenme noktaları ile setan sayıları ise yüksektir. Soya yağı ile sırasıyla metanol , etanol ve butanolün transesterifikasyon ürünlerine ait yakıt özellikleri tablo 2.4'de dizel yakıtı ile karşılaştırmalı olarak verilmektedir

Tablo 2.4. Metanol , etanol ve butanolün transesterifikasyon ürünlerine ait yakıt özellikleri [8].

| Test | ASTM No. | No.2 Dizel Yakıtı | Metil Soyat | Etil Soyat | Butil Soyat |
|--------------------------------------|----------|-------------------|-------------|------------|-------------|
| Viskozite($40^{\circ}C$,cSt) | D445 | 2,39 | 4,08 | 4,41 | 5,24 |
| Üst Isıl DeğerMj/kg | D240 | 45,2 | 39,8 | 40,0 | 40,7 |
| Setan Sayısı | D613 | 45,8 | 46,2 | 48,2 | 51,7 |
| Akma noktası $^{\circ}C$ | D97 | -23 | -1 | -4 | -7 |
| <u>Alevlenme Noktası</u> $^{\circ}C$ | | | | | |
| Kapalı Kap | D93 | 78 | 141 | 160 | 157 |
| Açık Kap | D92 | 92 | 171 | 174 | 185 |
| Kükürt (ağır.% si) | D129 | 0,25 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Bakır Korozyon | D130 | 1-a | 1-a | 1-a | 1-a |

Bir çok araştırmacılar, kısa süreli motor testlerinde bitkisel yağı metil, etil ve butil esterleri ile oldukça başarılı sonuçlar elde ettiklerini ve karbon birikimlerinin normal kabul edilebilecek düzeylerde olduğunu bildirmektedir [8].

BÖLÜM 3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Fındık yağının, transesterifikasyon tekniği ile alternatif dizel yakıtı olarak değerlendirilebilirliğinin incelendiği deneysel çalışma üç aşamada gerçekleştirilmiştir.

1. Transesterifikasyon yöntemiyle fındık yağından biyodizel üretimi,
2. Biyodizelin yakıt özelliklerinin belirlenmesi,
3. Alternatif yakıtın motor testleri.

3.1. Transesterifikasyon Yöntemiyle Fındık Yağından Biyodizel Üretimi

Yakıt üretimi, Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Eğitimi Anabilim dalı laboratuvarında kurulan üretim düzeneğinde yapılmıştır. Biyodizelin hazırlanması işlemindeki ilk aşamada deney düzeneği olarak; 20 litre fındık yağı (çotanak marka), rezistanslı üretim kabı, 4 litre metanol, 70gr KOH, karıştırıcı, termometre, gaz maskesi, koruyucu gözlük, 10'ar litrelik 2 kap, el pompası, şırınga, asit, 10 litre saf su, akvaryum taşları ve akvaryum pompası tedarik edilmiştir. Ardından aşağıda belirtilen sırada biyodizel üretimine başlanmıştır.

- Yağ reaktöre dökülmüş ve reaktör içerisinde yaklaşık 1 saat ısıtılmıştır. (60 °C)
- Metil alkol içerisinde katalizör çözdürülmüştür. (2 lt metil alkol-35 gr KOH yada NaOH).Bu işlem yapılırken koruyucu gözlükle maske kullanılmıştır.
- Reaktör içerisindeki yağ sıcaklığı (60 °C) kontrol edilip karıştırıcı çalıştırılarak karıştırılmaya başlanmış (yaklaşık 1200 rpm) ve bu esnada içerisinde katalizör çözdürülerek elde edilen alkol-katalizör karışımı reaktör içerisine boşaltılmış, karıştırma işlemi 1 saat devam ettirilmiştir. Bu işlem yapılırken reaktörün yanında fazla bulunulmamaya ve bulunulan ortamın sürekli havalandırılmasına dikkat edilmiştir.

- 1 saat sonunda elde edilen karışım reaktörden ayrı bir hazneye alınıp gliserinin çökmesi için beklenmiştir..
- Gliserin çökdikten sonra üst kısımda kalan yağ, yıkama işlemi için farklı bir hazneye alınmıştır.
- Haznedeki yağa 1:1 ölçüğünde saf su ilave edilmiş ve bir akvaryum pompası vasıtasıyla içerisine hava üflenerek yakıt 10 saat süreyle yıkamaya bırakılmıştır. İşlem başlangıcında oluşan sabunun köpürmesini engellemek için, bir diğer ifade ile biyodizelin asidik ve bazik durumunu kontrol etmek için pH 7 olana kadar içerisine H_2SO_4 bir şırınga ile enjekte edilmiştir.



Şekil 3.1 Biyodizel üretim anından bir görünüm (Esterleştirme reaksiyonu.)



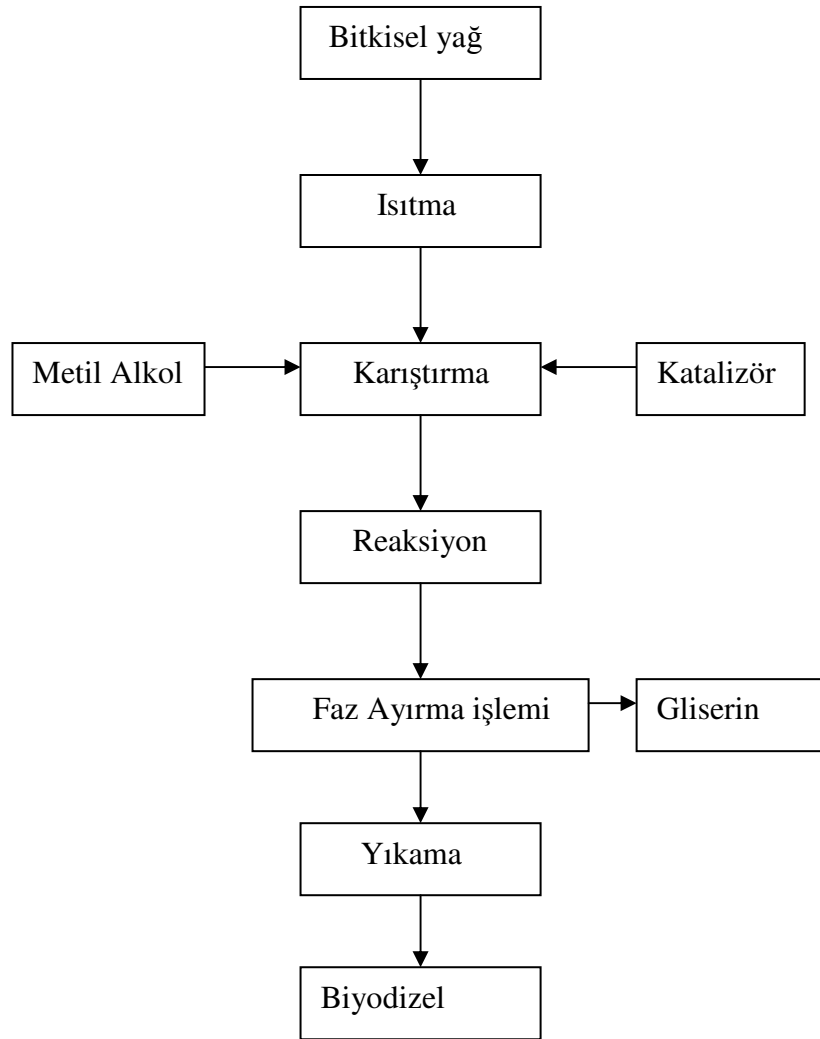
Şekil 3.2. Biyodizel üretim anından bir görünüm (Yakıtın yıkanması)

- İşlem sonunda su, sabun ve biyodizel olarak karışım 3 faza ayrılmıştır.



Şekil 3.3.Yakıtın üç faza ayrılması.(Üstte biyodizel,ortada gliserin,en altta su)

- En üst kısımda kalan biyodizel ayrı bir kaba alınarak son işlem olan kurutma işlemine geçilmiştir. Kurutma işleminde biyodizel içerisindeki suyun buharlaştırılması için yaklaşık 1 saat ısıtıcılı kaptaki 100 °C'de bekletilmiştir. Biyodizel artık bir dizel motorunda kullanılabilir bir duruma gelmiştir.



Şekil 3.4. Biyodizel üretim şeması.

3.2. Fındık Yağı Metil Esterinin Yakıt Özellikleri

Sakarya Üniversitesi Otomotiv Laboratuvarında üretilen fındık yağı metil esterinin yakıt analizleri TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi'nde 21 Ocak 2004 tarihinde analiz edilmiştir.(Rapor no:B.02.1.BAK.5.01.52.00/218).Analiz sonuçları Tablo3.1 de motorin ve fındık yağı metil esterinin yakıt özellikleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Üretilen fındık yağı metil esterinin yakıt özellikleri, motorin değerine yakın eş değerler vermiştir.

Tablo 3.1. Motorin ve FYME'nin yakıt özellikleri.

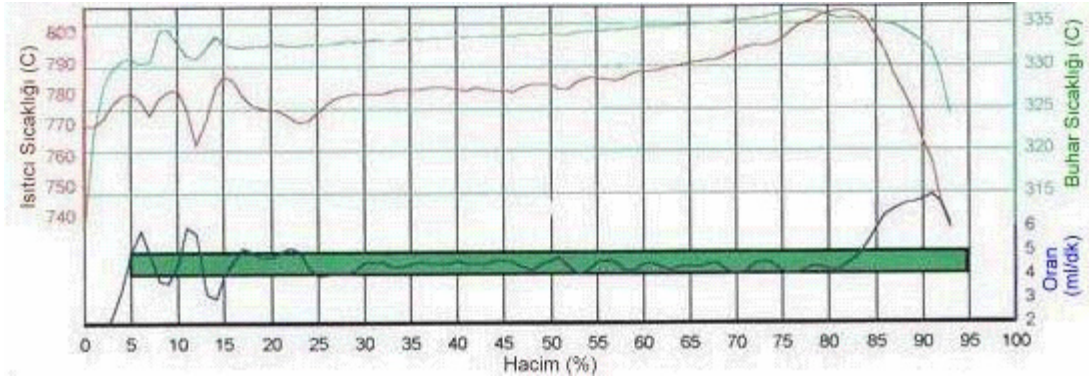
| Özellikler | Motorin (No 2-D) | FYME |
|---|------------------|-----------|
| Yoğunluk, g/cm ³ | 0,8400 | 0.8843 |
| Viskozite, mm ² /s, 40 °C | 3,25 (cSt) | 5.4 (cSt) |
| Alt ısııl değer, kj/kg | 42902 | 37235 |
| Parlama noktası, °C | 55 | 182.5 |
| CFFP, °C | | |
| Donma Noktası | -10 | -14 |
| Kül , % ağırlık | 0,01 | 0.008 |
| Tutuşma (setan) say. | 46 | >55 |
| Su miktarı, % hacim | 0,0002 | 0.002822 |

FYME, motorine oranla %10-15 daha az ısııl değere sahiptir, fakat %5-7 oranında daha fazla yoğunluğa sahiptir. Düşük ısııl değer sonucu, motor gücü ve torkunda bir miktar düşüş gözlenecektir. Fakat daha yüksek yoğunluk nedeniyle bu güç kaybı kısmen görmezden gelinecek bir düzeye inecektir.

FYME 'nin viskozitesi, motorine oranla daha yüksektir. Yüksek viskoziteden dolayı, yakıtın püskürtülmesinde damlacık büyüklük çapı etkilenmektedir. Bu da motorine göre daha kötü bir yanmaya sebep olacaktır.

FYME 'nin kullanımında, motorine oranla çok daha iyi tutuşma kabiliyeti ortaya çıkmaktadır. Çünkü setan sayısı motorine oranla daha yüksektir. Ancak, yüksek setan sayısı, erken tutuşmaya ve motorda vuruntuya sebep olacaktır.

FYME 'nin soğuk havada çalışma özellikleri, motorine oranla daha elverişsiz bir sonuç vermiştir. Bunun için uygun biyodizel yakıt katkısı veya yakıt ısıtma işlemi gerekmektedir. FYME'nin; CFPP noktasının düşüklüğü sebebiyle yakıt akışı motorine oranla daha zor olmaktadır. Bu sebeple soğuk havalarda çalışma zorluğu görülecektir.



Şekil 3.5. TUBİTAK Enerji Sistemleri ve Çevre Araştırma Enstitüsü'nden alınan FYME distilasyon test sonuçları.

Yakıtlarda ASTM D 86'ya göre distilasyon eğrileri saptanmıştır. FYME yakıtının testi sırasında, test sonuna doğru kriting olduğu distilasyon balonunda oluşan duman, is, koku, kararma ile anlaşılmaktadır. Şekil 3.5'te de grafik %80-85 aralığında kırmızı şerit dışına çıkmaktadır. Bu ısıl bozunmada kaynama sıcaklıkları da sabit kalmıştır. FYME yakıtının distilasyonun da 336-324 °C sıcaklık aralığında kriting gözlenmiştir.

Günümüzde bilindiği üzere çeşitli bitkisel yağlar ve metil esterleri dizel motorlarında yakıt olarak kullanılmaktadır. FYME yakıt özellikleri ve diğer bitkisel yağların özellikleri Tablo 3.2 de verilmiştir.

Tablo 3.2. Motorin ve çeşitli bitkisel yağların özellikleri [1].

| Bitkinin Adı | Özgül Ağırlığı (g/ml) | Kinematik Viskozite 40 °C, cSt - (mm ² /s) | Isıl değeri (kJ/kg) |
|------------------|-----------------------|---|---------------------|
| Motorin | 0.86 | 2.9 | 42540 |
| Ayçiçek yağı | 0.92 | 34.9 | 39644 |
| Soya yağı | 0.92 | 36,4 | 39390 |
| Fındık yağı | 0,91 | 30,9 | 33028 |
| Pamuk yağı | 0,91 | 37,4 | 37420 |
| Zeytin yağı | 0,91 | 46,5 | 37100 |
| Mısır yağı | 0,91 | 38,2 | 37875 |
| Yer fıstığı yağı | 0,91 | 37,2 | 37160 |
| Hurma yağı | 0,90 | 63,6 | 36553 |
| Haşhaş yağı | 0,92 | 56,0 | 38920 |
| Kolza yağı | 0,92 | 39,0 | 39913 |
| Linojenik Aspir | 0,93 | 32,3 | 39226 |
| Oleik Aspir | 0,92 | 42,1 | 39306 |
| AYME | 0,88 | 4,8 | 37690 |
| SYME | 0,88 | 4,1 | 39796 |
| PYME | 0,88 | 4,3 | 40763 |
| FYME | 0,88 | 2,8 | 39839 |

3.3.Motor Testleri

Motor testleri Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv laboratuvarında tek silindirli direkt püskürtmeli bir dizel motoru ve elektrikli bir dinamometre kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Motorin ve fındık yağı metil esteri karışımlarının motor testleri yapılmıştır. Sırasıyla denen yakıtlar %100 motorin, %5, %20, %50 FYME ve motorin karışımlarıdır. Deneyler tam yük altında yapılmıştır ve sonuç olarak moment, güç, ısı verim, ortalama efektif basınç, özgül yakıt tüketimi ve emisyon (CO, NO, NO_x, CO₂, O₂) eğrileri elde edilmiştir. Ölçümler sırasında motor çalışma şartlarının benzer tarzda olması ve çalışma şartlarının uygunluğu için yağ sıcaklığının elden geldiğince belirli sıcaklıklarda kalmasına çalışılmıştır. Deney öncesi motor yağı ve filtresi değiştirilmiştir. Ayrıca deney öncesinde motor motorin ve FYME ile yaklaşık olarak 15-20 dakika çalıştırılarak, motor uygun çalışma sıcaklığına geldikten sonra ölçümlere başlanmıştır.

Deneylerde bir test yatağı üzerinde bulunan ve Tablo 3.3'te teknik özellikleri verilen bir dizel motorundan yararlanılmıştır.

Tablo 3.3. Deney motorunun teknik özellikleri.

| Lombardini, 6LD 400 | |
|--------------------------------|-------------------------------|
| Çalışma prensibi | 4 zamanlı ,Direk enjeksiyonlu |
| Silindir sayısı | 1 |
| Sıkıştırma oranı | 18:1 |
| Silindir çapı | 86mm |
| Strok | 68mm |
| Enjektör açılma basıncı | 200 bar |
| Maksimum motor gücü | 6,25 kW (3600d/d) |
| Maksimum moment | 20 Nm (2200d/d) |



Şekil 3.6.Lombardini dizel deney motoru

Yukarıda teknik özellikleri verilen dizel motoru 4750 d/d 'ya kadar 24,1 Nm sabit tork veren bir alanda dönen doğru akım makinası olan bir dinamometre ile beraber çalışmaktadır. Motor miline bağlı olan bir çark vasıtasıyla dönen dinamometrenin yüklenmesi bir voltaj dönüştürücüsü ile sağlanmaktadır. Elde edilen kuvvet dinamometrenin merkezinden 0,25m mesafe de çalışan ve istenildiğinde kalibre yapılabilen yük hücreleri yardımı ile ölçülmektedir. Egzoz gazı bir boru ile bacaya verilmektedir. Motor devri, yağ sıcaklığı, yakıt tüketimi, emilen hava miktarı, moment ve güç değerleri Cussons deney tablosundan okunmaktadır.



Şekil 3.7.Cussons deney tablosu

Egzoz emisyonları ölçümü, bu borunun motor çıkışından yaklaşık 1m uzaklıktaki bölgede sürekli ölçüm yapan QUINTOX emisyon analizörü ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.8.Quintox emisyon cihazı.

Motor testleri, tam yük konumunda, 900 – 3600 d/d dönme sayısı aralığında 300d/d periyodik artışla gerçekleştirilmiştir.

Yakıtların motor karakteristikleri olan güç (P_e , kW), moment (M_d , Nm), özgül yakıt tüketimi (b_e , g/kWh), ortalama efektif basınç (P_{me} , kPa) ve ısı verim (η , %) dönme sayısının (n , d/d) bir fonksiyonu olarak incelenmiştir. Bu amaçla ölçülen $10^{-5} m^3$ yakıtın (V_y) motorda tüketimi için geçen süre ve elde edilen kuvvet (F , N) ile bu büyüklükler yardımıyla hesaplanan P_e , b_e , M_d , P_{me} ve motorun farklı yakıtları için ısı verimleri (η , %) dönme sayısının fonksiyonu olarak motorin ve FYME karışımları için hesaplanmıştır. Hazırlanan yakıt karışımının yoğunluk ve ısı değerleri tablo 3.4’de verilmektedir.

Tablo 3.4. Dizel yakıtı ve karışım yakıtların özellikleri.

| | Yoğunluk g/cm^3 | Isıl |
|-----------------------------|-------------------|----------|
| Dizel Yakıtı | 0,8400 | 42902 |
| FYME | 0,8843 | 37235 |
| %5 FME , %95 Dizel Yakıtı | 8422,15 | 42618,65 |
| %20 FYME , %80 Dizel Yakıtı | 8488,6 | 41768,6 |
| %50 FYME , %50 Dizel Yakıtı | 8621,5 | 40068,5 |

Örnek verilen motor test değerleri %50 FYME ve %50 dizel yakıtının karışımıyla hazırlanan yakıtla; tam yükte, 2700 devir/dk’da hesaplanmıştır.

Hesaplanan değerler:

1- Moment

$$M_d = F \times L$$

L:0,25 m (dinometre fren kol uzunluğu)

$$M_d = 79,9 \times 0,25 = 19,975 Nm$$

2- Güç

$$P_e = M_d \times \frac{2\pi n(d/d)}{60}$$

$$P_e = 19,975 \times \frac{2 \times 3,141 \times 2706}{60} = 5,659 kW$$

3-Özgül Yakıt Tüketimi

$$b_e = \frac{V_y \times d \times 3600}{t \times P_e}$$

$$b_e = \frac{10^{-5} (m^3) \times 862,15 (kg / m^3) \times 3600}{16(s) \times 5,659 (kW)} = 342,771 (g/kWh)$$

4-Ortalama Efektif Basınç

$$P_{me} = \frac{120 \times P_e}{V_s \times n}$$

Silindir hacmi (V_s) 0,395 litredir.

$$P_{me} = \frac{120 \times 5,659 (kW)}{0,395 \times 10^{-3} (m^3) \times 2706}$$

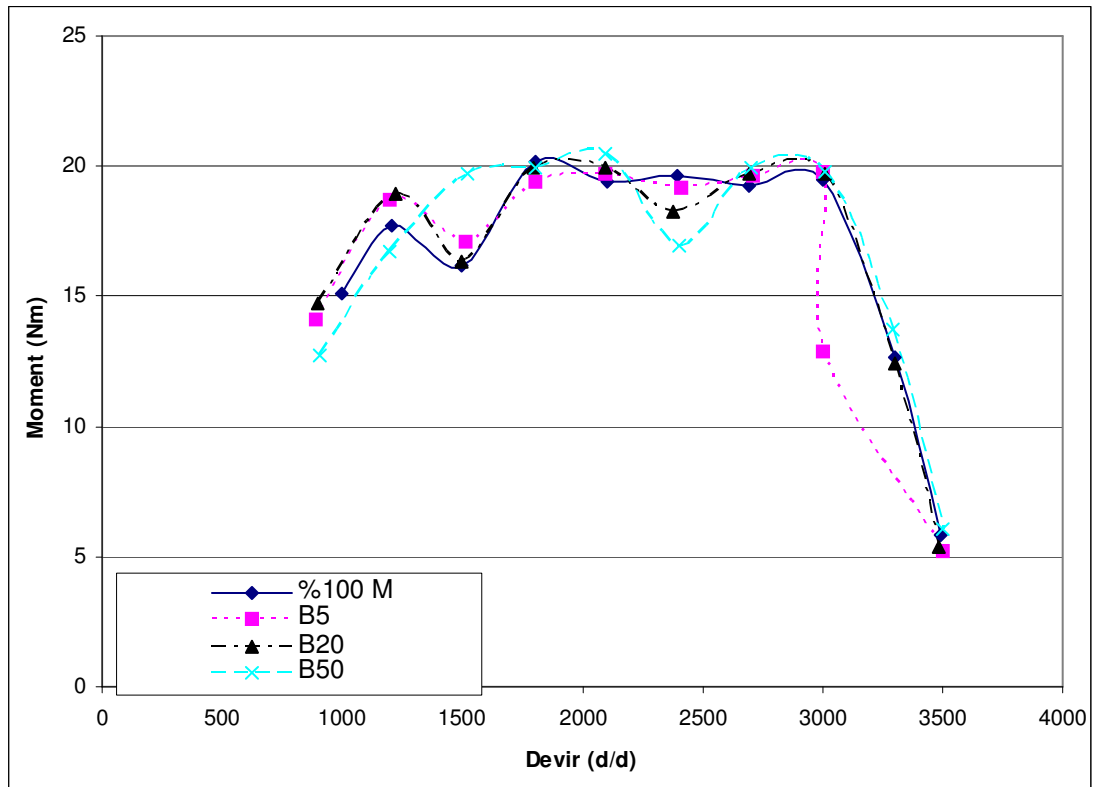
5-Isıl verim

$$\eta = \frac{\text{Güç}}{\text{Tüketilen Yakıt Miktarı} \times \text{Isıl Değ}} \times 100$$

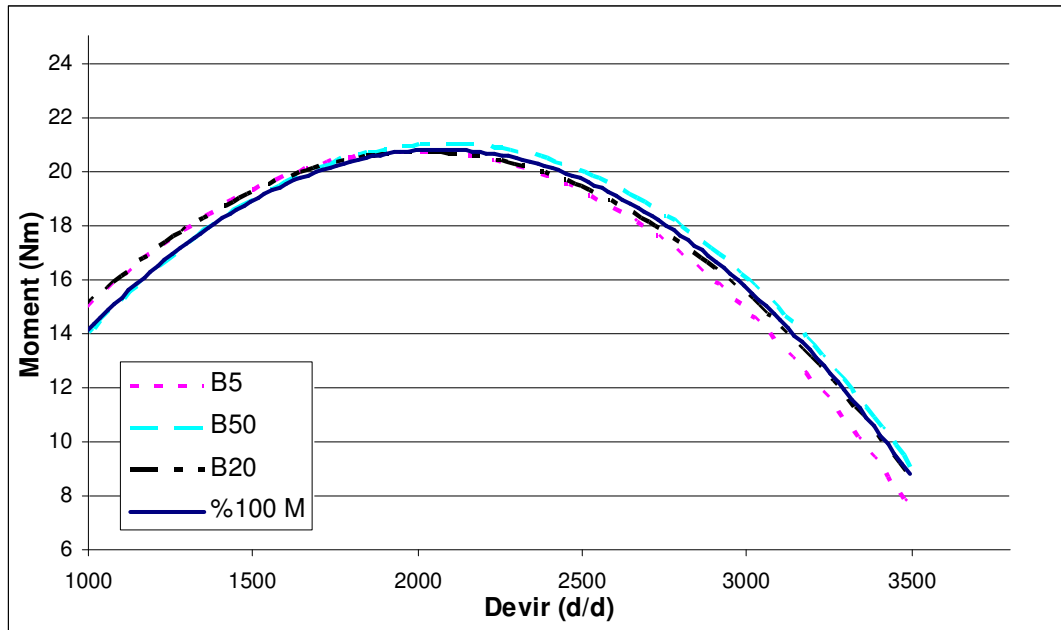
$$\eta = \frac{5,659(kW) \times 16(s) \frac{1MJ}{1000kJ}}{40,0685 \times 862,15 \times 10^{-5}} \times 100$$

$$\eta = \%26,21$$

Gerçekleştirilen motor testleri sonunda, yakıtların tam yük konumundaki P_e , b_e , M_d , P_{me} , η değerleri; egzoz gazı emisyon ölçümleri ve egzoz gazı sıcaklıkları şekil 3 9-19 deki grafiklerde gösterilmiştir. Grafiklerde gösterilen ilk eğriler gerçek değerlerden faydalanılarak, ikinci eğriler ise eğri uydurma yöntemi ile 2. ve 3. dereceden polinomlar olarak verilmiştir.



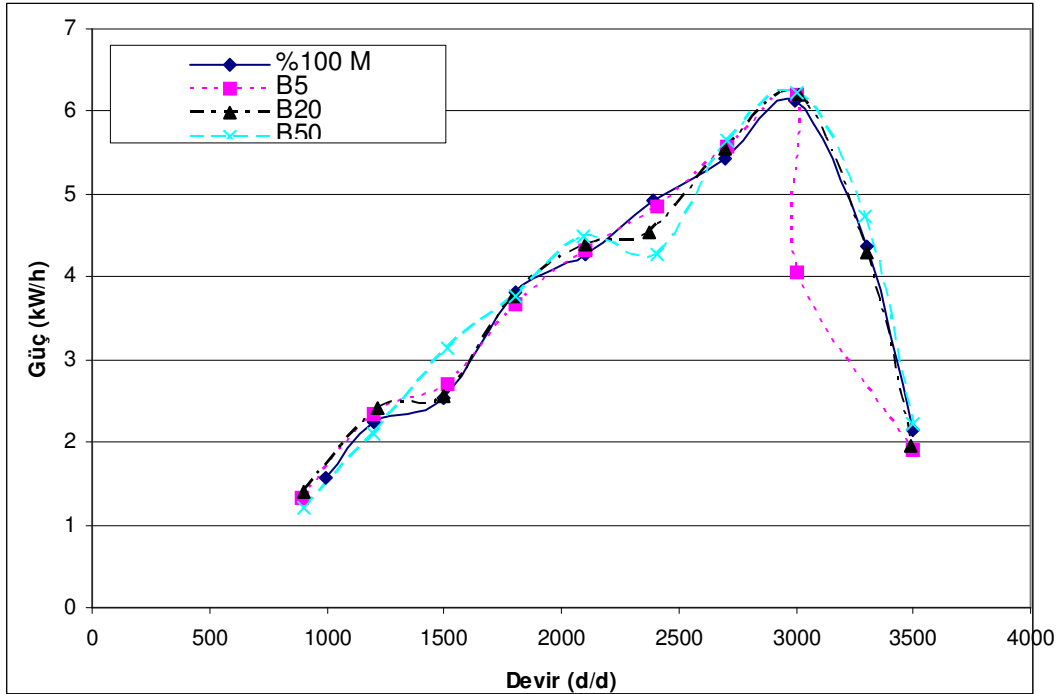
Şekil 3.9.1. B5, B20, B50 ve Motorinin Devir sayısına bağlı olarak Moment değişimi.



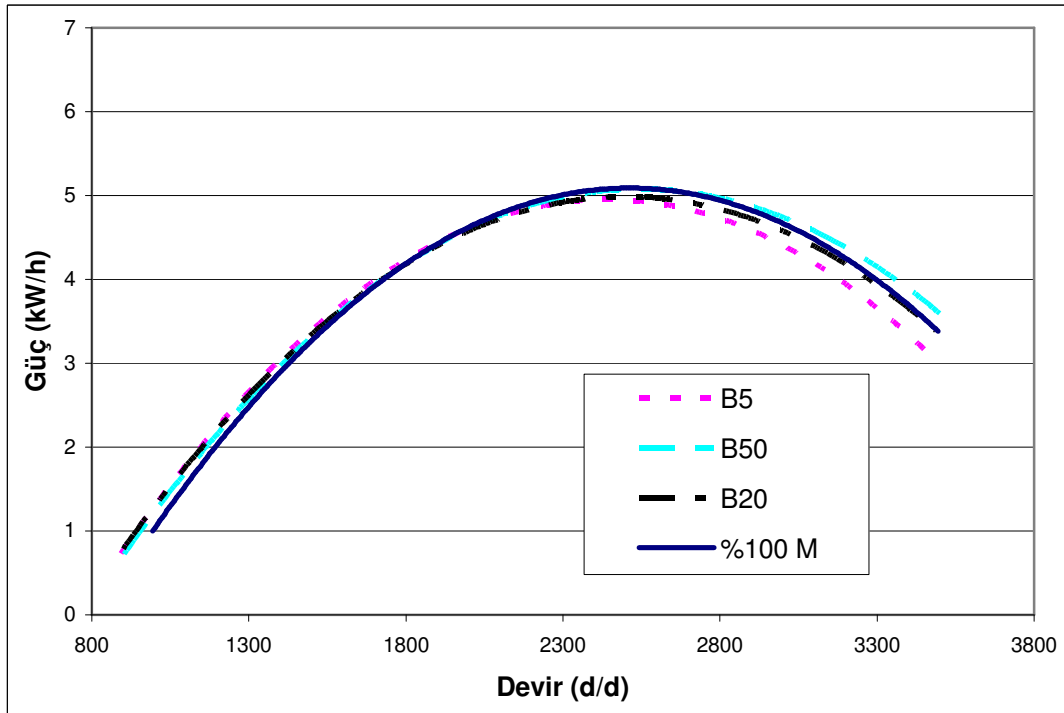
Şekil 3.9.2. B5, B20, B50 ve Motorinin Devir sayısına bağlı olarak Moment değişimi.

Tam yük konumunda maksimum moment dizel yakıtı için 1800 d/d 20,15 Nm iken, B5 yakıtında 3000 d/d'da 19,775 Nm, B 20 yakıtında 2100 d/d 'da 19,975 Nm, B50 yakıtında 1800 d/d'da 19,95 Nm olarak belirlenmiştir. Dizel yakıtına göre karşılaştıracak olursak moment miktarlarında, B5 yakıtında %2'lik, B20ve B50 yakıtında %1'lik bir düşüş vardır. Deneyin yapıldığı en düşük motor devri olan 900 d/d 'da dizel yakıtı 15,08 Nm moment üretirken; B5 yakıtı 14,125 Nm, B20yakıtı 14,75 Nm, B50 yakıtı12,7 Nm moment üretmişlerdir. B5 yakıtında %6'luk, B20 yakıtında %1'lik B50 yakıtında %16'luk düşüş gözlenmiştir. Genel olarak bütün devirler baz alınarak karşılaştırıldığında B5 yakıtında %0,13'lük artış, B20 yakıtında %0,09'luk bir düşüş, B50 yakıtında ise %0,28'lik bir artış görülmüştür. Genel olarak bakıldığında ise karışım yakıtlarıyla dizel yakıtı arasında önemli bir fark görülmemiş, birebir sonuçlar elde edilmiştir. FYME karışım yakıtlarının maksimum moment değerlerindeki düşüşü yakıtın ısıl değerinin düşük olmasına bağlıyabiliriz. Aynı zamanda karışımın viskozitesi yüksek olduğu için atomizasyon sırasında dizel yakıtına göre yakıt zerreciklerinin büyümesine bağlı olarak yanmanın kötüleşmesi sonucu moment düşüşü meydana gelmektedir. Yücesu [43] ve arkadaşları

Pamukyağı metilesteri ile yaptığı çalışmada moment miktarında %2'lik bir azalma görmüştür.

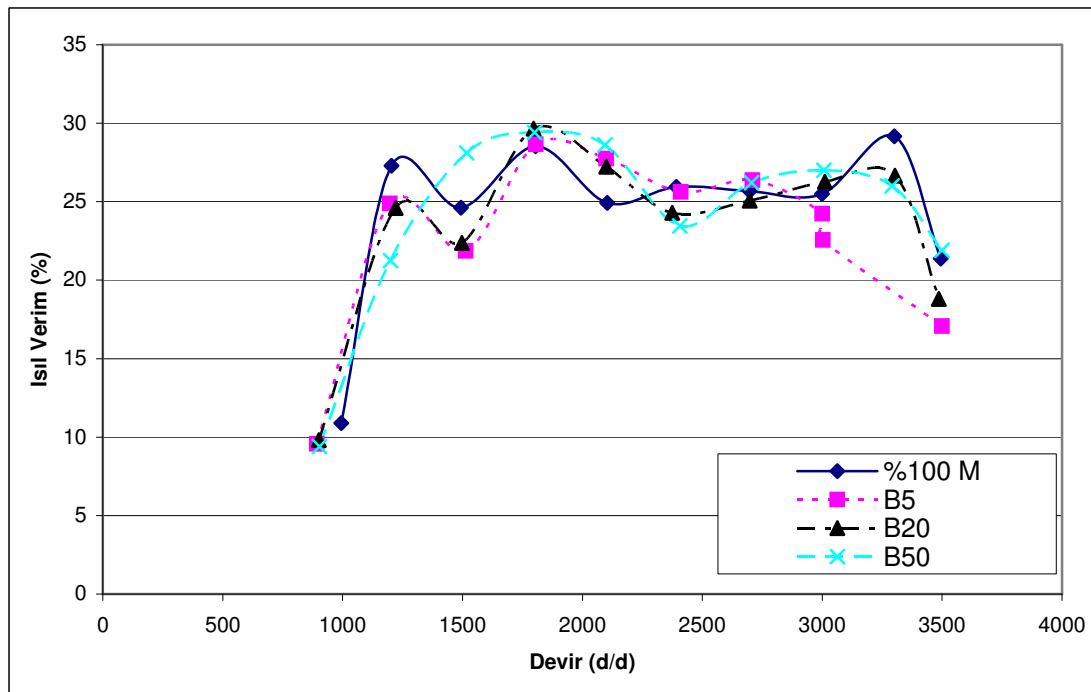


Şekil 3.10.1. B5, B20, B50 ve Motorinin devir sayısına bağlı olarak Güç değişimi.

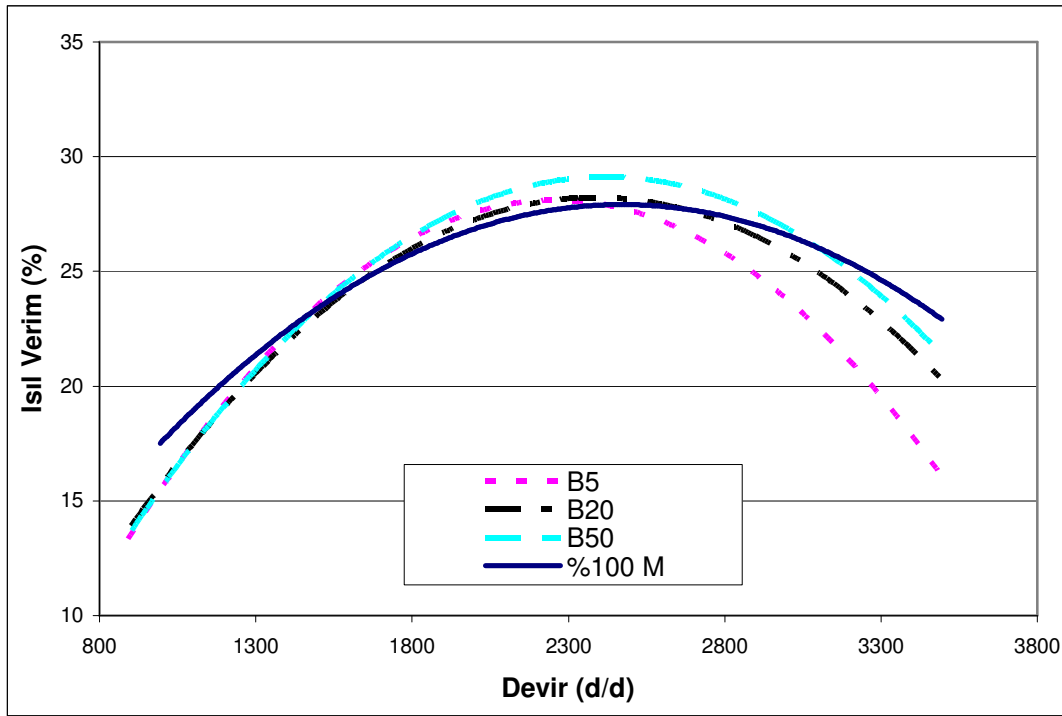


Şekil 3.10.2. B5, B20, B50 ve Motorinin devir sayısına bağlı olarak Güç değişimi.

Tam yük konumunda maksimum Güç dizel yakıtı için 3000 d/d' da ki 6,122 kW/h iken B5 yakıtında 3000 d/d'da 6,211 kW/h, B 20 yakıtında 3000 d/d 'da 6,210 kW/h, B50 yakıtında 3000 d/d'da 6,217 kW/h olarak belirlenmiştir. Dizel yakıtına göre karşılaştıracak olursak; B5,B20 ve B50 yakıtında yaklaşık.%1,5'luk bir güç artışı vardır. Deneyin yapıldığı en düşük motor devri olan 900 d/d 'da dizel yakıtı 1,57 kW/h güç üretirken; B5 yakıtı 1,32 kW/h, B20yakıtı 1,391 kW/h, B50 yakıtı1,20 kW/h'lik güç üretmişlerdir. B5 yakıtında %16'luk,B20 yakıtında %11'lik B50 yakıtında %24'lük düşüş gözlenmiştir. Genel olarak bütün devirler baz alınarak karşılaştırıldığında B5 yakıtında %1,25'lik bir artış, B20 yakıtında %0,09'luk düşüş, %0,94'lük artış görülmüştür ve genel olarak bakıldığında hemen hemen aynı sonuçlar alınmıştır. Oğuz [60] direkt püskürtmeli bir dizel motorunda fındık yağı metil esterini tam yük şartlarında denemiştir. Biyodizel kullanılması ile maksimum döndürme momentinde %9 luk azalma olurken motor gücü hemen hemen aynı kalmıştır.

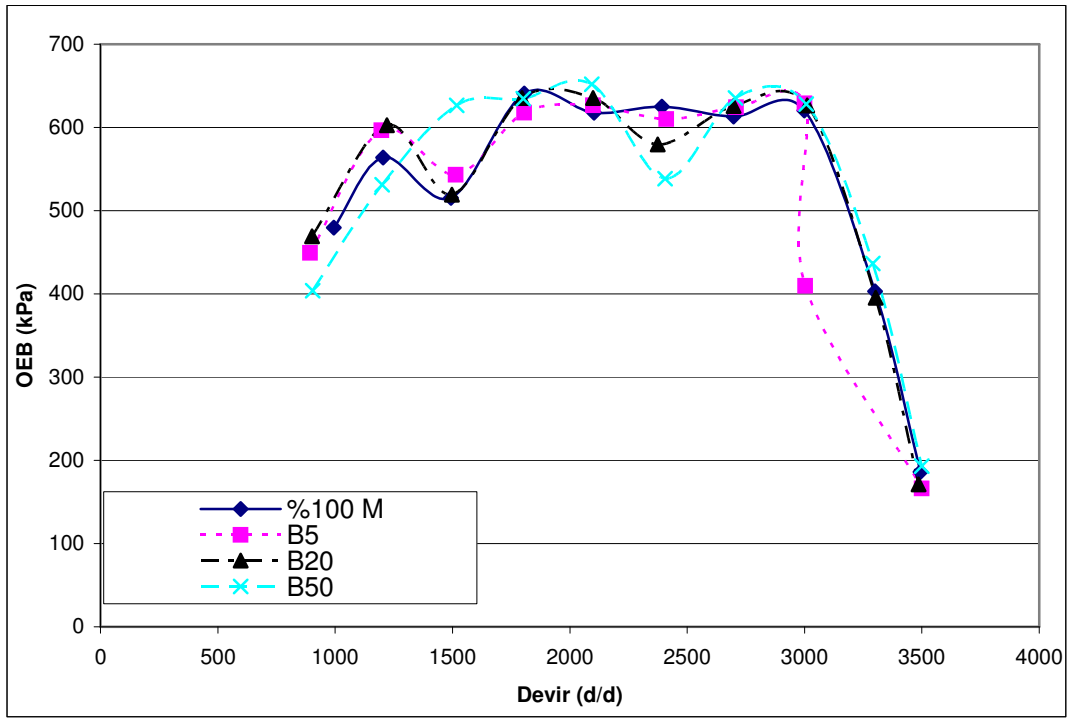


Şekil 3.11.1. B5, B20, B50 ve Motorinin devir sayısına göre Isıl Verim değişimi.

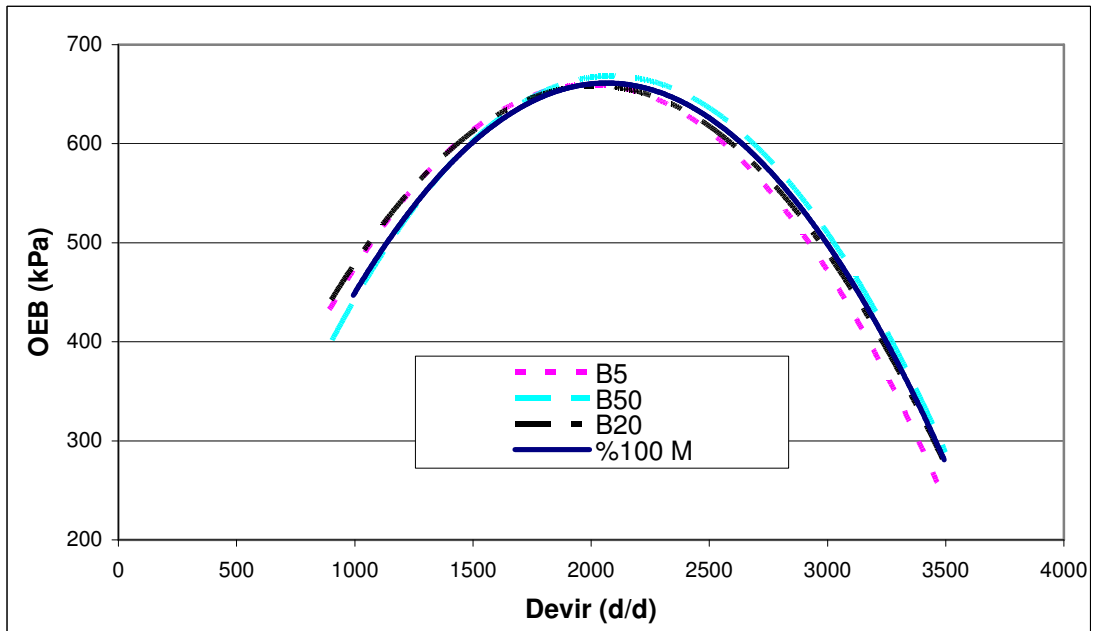


Şekil 3.11.2. B5, B20, B50 ve Motorinin devir sayısına göre Isıl Verim değişimi.

Tam yük konumunda maksimum ısıl verim dizel yakıtı için 3000 d/d'da %29,165 iken 1800d/d'da %28,530, B5 yakıtında 1800 d/d'da %28,652, B 20 yakıtında 1800 d/d 'da %29,662, B50 yakıtında 1800 d/d'da %29,402 olarak belirlenmiştir. Dizel yakıtına göre karşılaştıracak olursak ısıl verim miktarlarında 1800 d/d'da, B5 yakıtında %0,4'lük, B20 yakıtında %4'lükve B50 yakıtında %3' lük bir artış vardır. Deneyin yapıldığı en düşük motor devri olan 900 d/d 'da ısıl verim dizel yakıtı için %10,883 iken; B5 yakıtı %9,566, B20yakıtı %9,811, B50 yakıtı %9,395'dir. B5 yakıtında %12'lik, B20 yakıtında %10'luk B50 yakıtında %14 lük düşüş gözlenmiştir. Genel olarak bütün devirler baz alınarak karşılaştırıldığında B5 yakıtında % 6,28'lik azalma, B20 yakıtında % 3,72'lik azalma, B50 yakıtında % 1,03'lük azalma görülmüştür. Tabî ki ısıl verimdeki düşüşün temel nedeni tüketilen yakıt miktarının yüksek olması ve yakıtın alt ısıl değerinin dizel yakıtına göre düşük olmasına bağlıdır. Oğuz [60] direkt püskürtmeli bir dizel motorunda fındık yağı metil esterini tam yük şartlarında denenediği çalışmada dizel yakıtından aldığı verim %35,8 olurken, biyodizel için % 33,4 olmuştur.



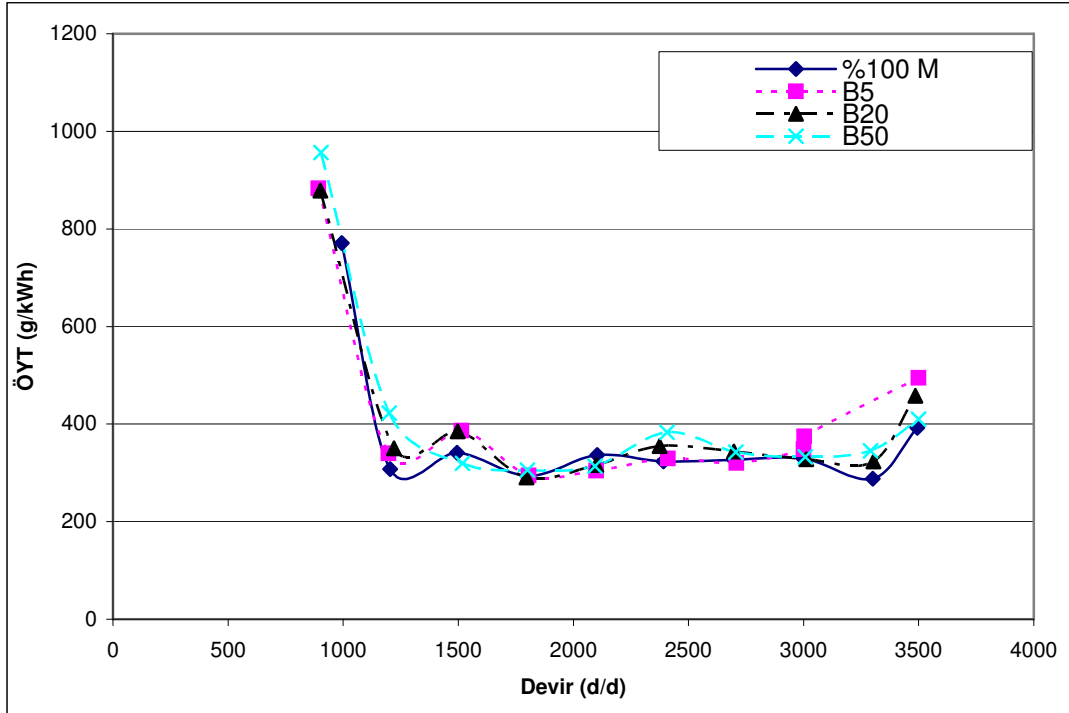
Şekil 3.12.1. B5, B20, B50 ve Motorinin devir sayısına göre Ortalama Efektif Basınç değişimi.



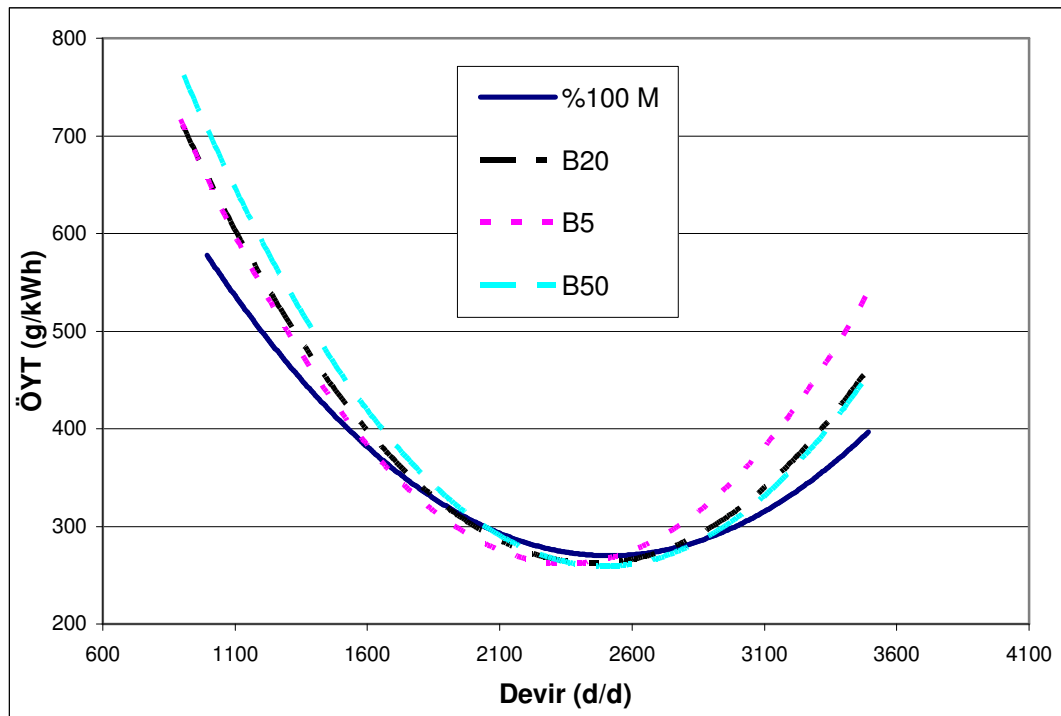
Şekil 3.12.2. B5, B20, B50 ve Motorinin devir sayısına göre Ortalama Efektif Basınç değişimi.

Tam yük konumunda maksimum ortalama efektif basınç dizel yakıtı için 1800 d/d 640,923 kPa iken, B5 yakıtında 3300 d/d'da 628,995 kPa, B 20 yakıtında 1800 d/d'da 635,357 kPa, B50 yakıtında 2100 d/d'da 652,026 kPa olarak belirlenmiştir.

Dizel yakıtına göre karşılaştıracak olursak ortalama efektif basınç miktarlarında, B5 yakıtında %2'lik, B20 yakıtında %1'lik düşüş ve B50 yakıtında %1.7'lik bir artış gözlemlenmiştir. Deneyin yapıldığı en düşük motor devri olan 900 d/d'da dizel yakıtı 479.499 kPa ortalama efektif basınç değerine sahip iken; B5 yakıtı 449.282 kPa, B20 yakıtı 469.162 kPa, B50 yakıtı 403.996 kPa'lık değerlere sahiptirler. B5 yakıtında %6,3'lük, B20 yakıtında %2,1'lik B50 yakıtında %15,7'lik düşüş gözlenmiştir. Genel olarak bütün devirler baz alınarak karşılaştırıldığında B5 yakıtında % 0,13'lük artış, B20 yakıtında % 0,09'lük azalma, B50 yakıtında 0,28'lik artış görülmüştür. Genel olarak güç değişiminde önemli bir fark olmadığından dizel yakıtıyla aynı karakteristik değerler alınmıştır.

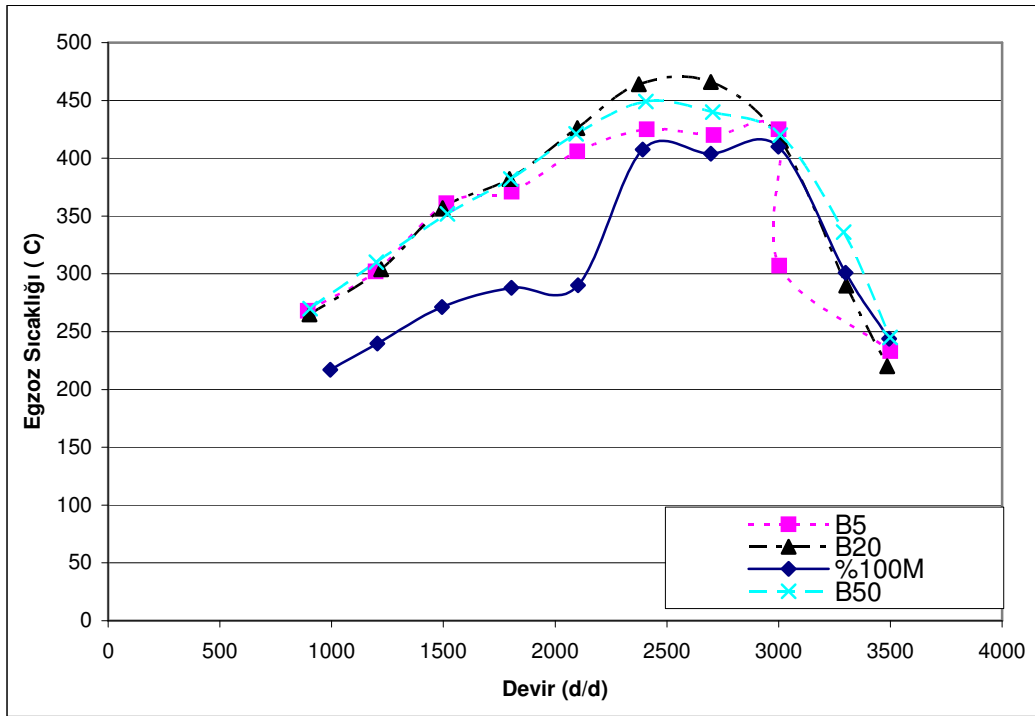


Şekil 3.13.1. B5, B20, B50 ve Motorinin devir sayısına bağlı olarak Özgül Yakıt Tüketimi değişimi.

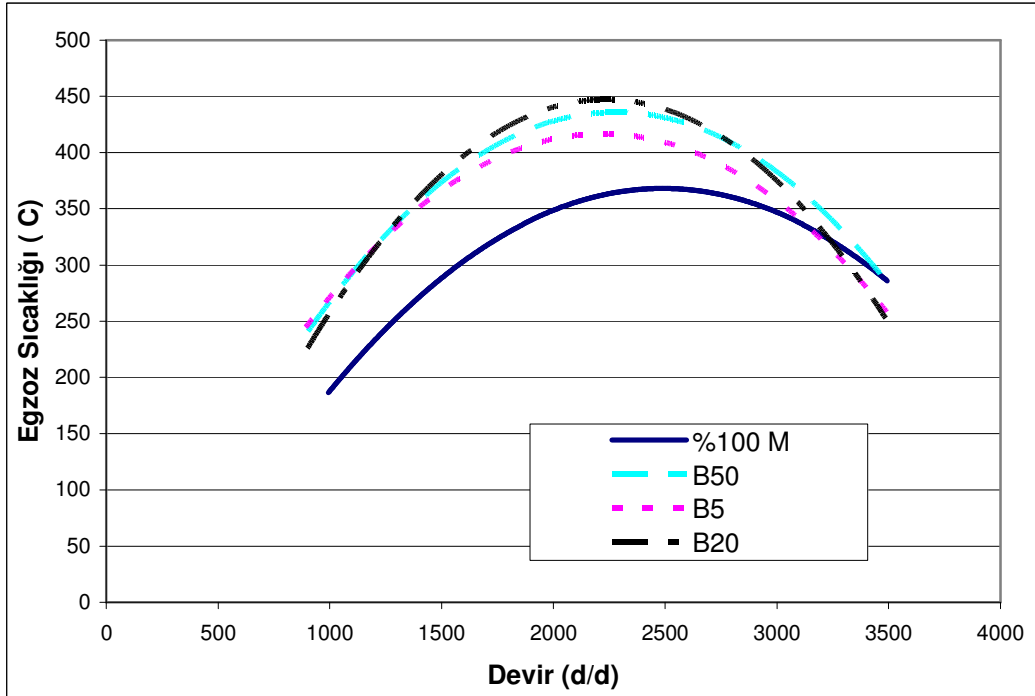


Şekil 3.13.2. B5, B20, B50 ve Motorinin devir sayısına bağlı olarak Özgül Yakıt Tüketimi değişimi.

Tam yük konumunda 2400 d/d'da özgül yakıt tüketimi dizel yakıtı için 323,413g/kWh iken, B5 yakıtında 2400 d/d'da 329,680 g/kWh, B 20 yakıtında 2400d/d'da 354,901 g/kWh, B50 yakıtında 2400 d/d'da 383,143 g/kWh olarak belirlenmiştir. Dizel yakıtına göre karşılaştıracak olursak özgül yakıt tüketimi miktarlarında, B5 yakıtında %2'lik, B20 yakıtında %9,7'lik ve B50 yakıtında %18,5'lik bir artış gözlemlenmiştir. Deneyin yapıldığı en düşük motor devri olan 900 d/d 'da dizel yakıtı 770,995 g/kWh özgül yakıt tüketimi değerine sahip iken; B5 yakıtı 883,01 g/kWh, B20 yakıtı 878,486 g/kWh, B50 yakıtı 956,319 g/kWh'lık değerlere sahiptirler. B5 yakıtında %14,5'lik, B20 yakıtında %13,9'luk B50 yakıtında %24'lük düşüş gözlenmiştir. Genel olarak bütün devirler baz alınarak karşılaştırıldığında B5 yakıtında %9,87'lik artış, B20 yakıtında % 8,60'lık artış, B50 yakıtında % 11,38'lik artış görülmüştür. Bu artışın en büyük sebebi olarak Biyodizelin yoğunluğunun dizel yakıtından daha yüksek olmasına bağlıya biliriz. Yine Oğuz [60] direkt püskürtmeli bir dizel motorunda fındık yağı metil esterini tam yük şartlarında denenediği çalışmada özgül yakıt tüketiminde %10,2'lik bir artış gözlenmiştir.

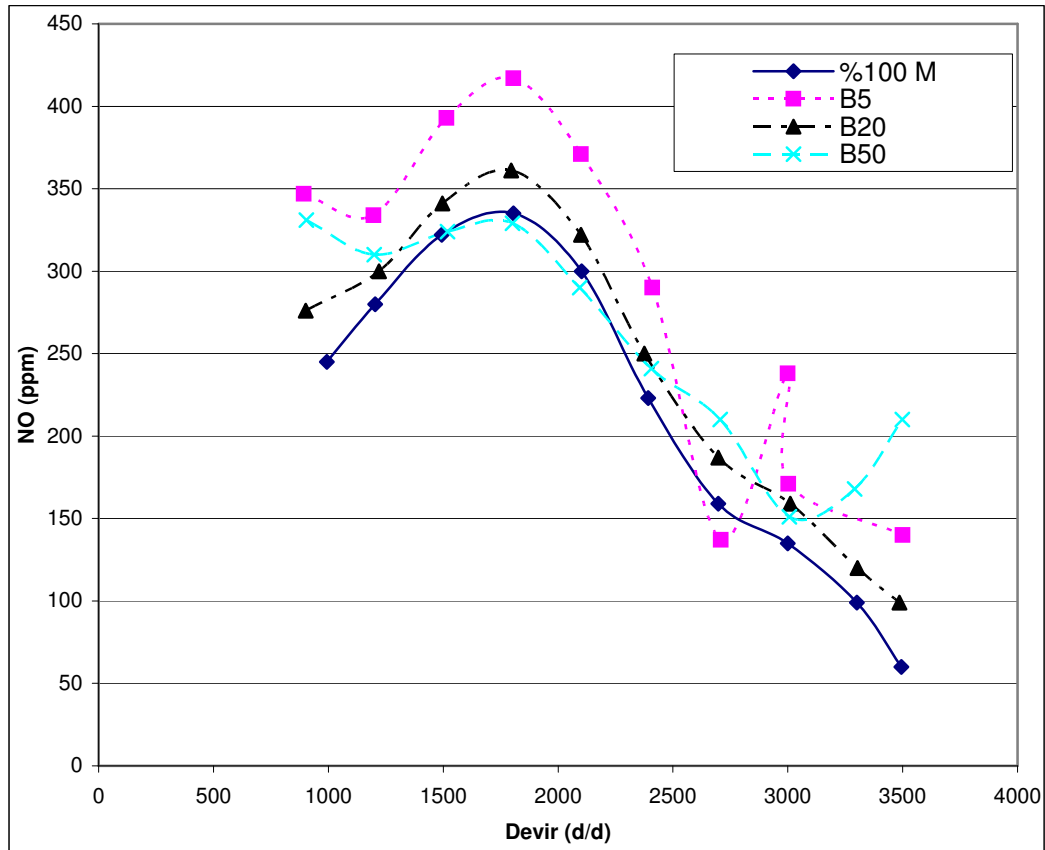


Şekil 3.14.1. B5, B20 B50 ve Motorinin devir sayısına bağlı olarak Egzoz Sıcaklığı değişimi.

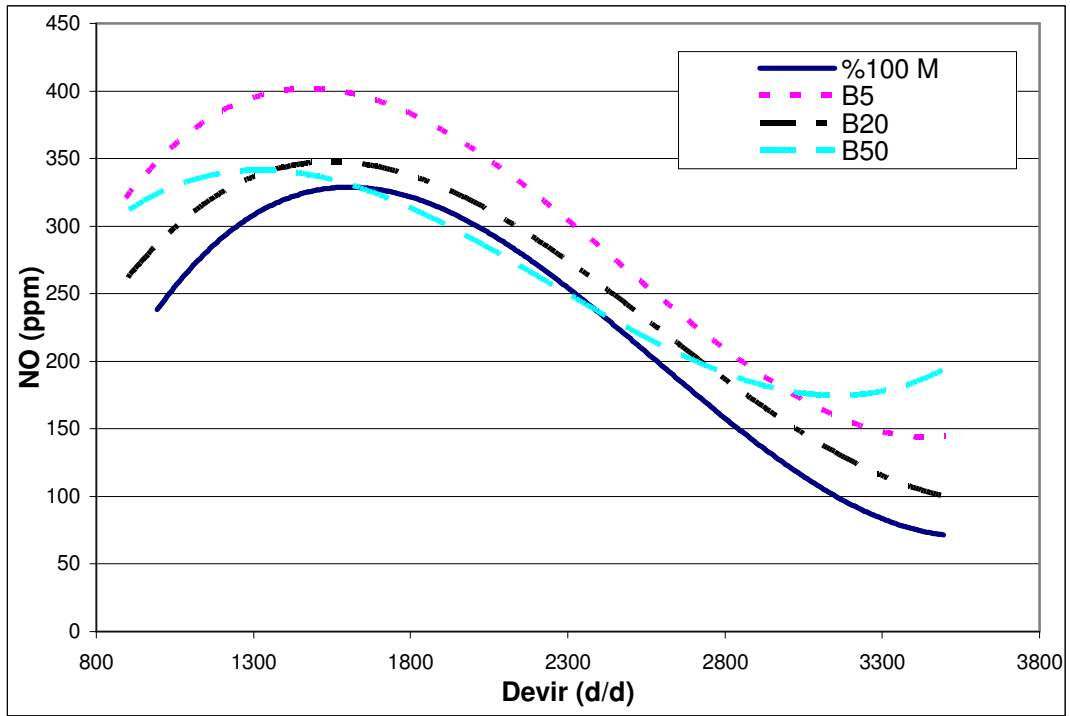


Şekil 3.14.2. B5, B20 B50 ve Motorinin devir sayısına bağlı olarak Egzoz Sıcaklığı değişimi.

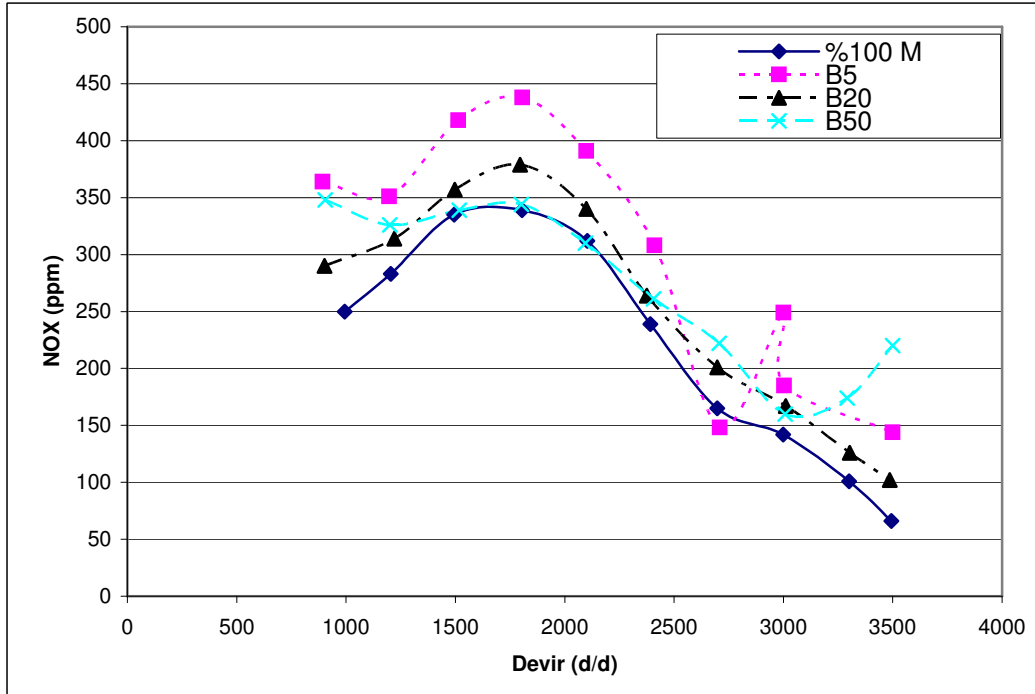
Biyodizel içerisinde yakıt özelliği olarak yaklaşık %10 oksijen bulunmaktadır ve biyodizel içerisinde bulunan oksijen yanma verimini arttırdığından dolayı B5 ve B20 yakıtlarında motorine göre egzoz sıcaklığında artış gözlenmiştir. Ancak yakıt içerisindeki biyodizelin artmasıyla yani B50 yakıtında egzoz sıcaklığında düşme gözlenmiş ve hemen hemen motorinle aynı değerlerde seyretmektedir. Bu düşüşün sebebini de biyodizelin özgül ısısının motorine göre daha düşük olmasına bağlanmaktadır.



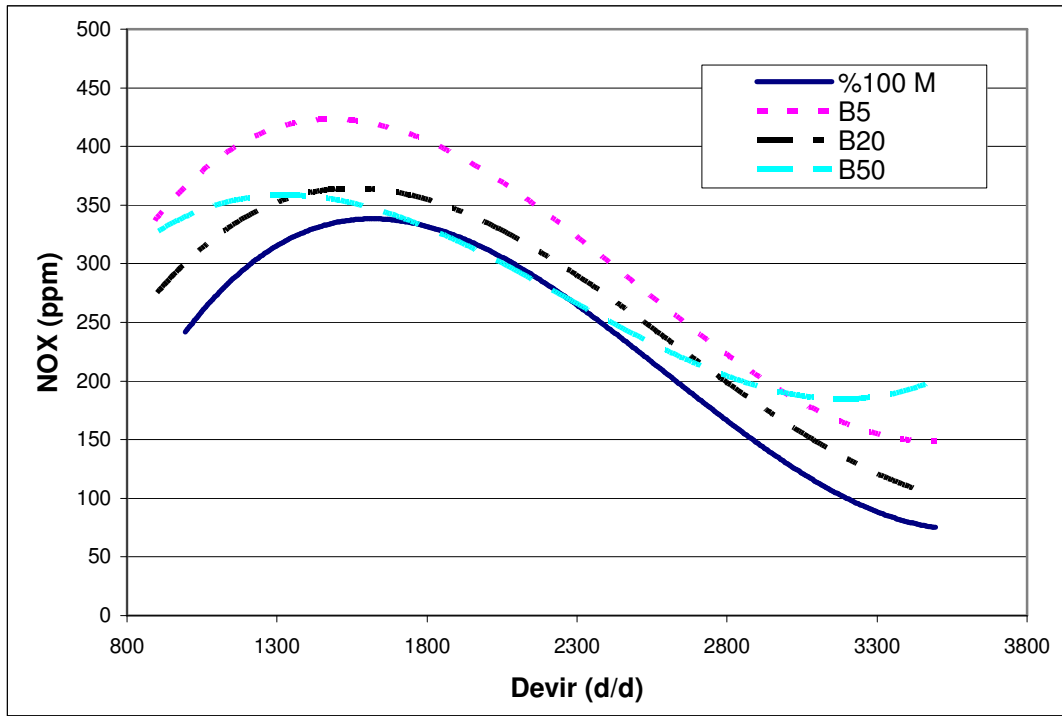
Şekil 3.15.1. B5, B20, B50 ve Motorinin devir sayısına bağlı olarak NO emisyonu değişimi.



Şekil 3.15.2. B5, B20, B50 ve Motorinin devir sayısına bağlı olarak NO emisyonu değişimi.



Şekil 3.16.1. B5, B20, B50 ve Motorinin devir sayısına bağlı olarak NOx emisyonu değişimi.



Şekil 3.16.2. B5, B20, B50 ve Motorinin devir sayısına bağlı olarak NO_x emisyonu değişimi.

Bilindiği üzere NO_x gazları NO ve NO₂ gazlarının toplamından meydana gelmektedir. NO ve NO_x gazlarını beraber yorumlayacak olursak, bu gazların oluşumunda 3 önemli faktör vardır. Bunlar;

-Sıcaklık

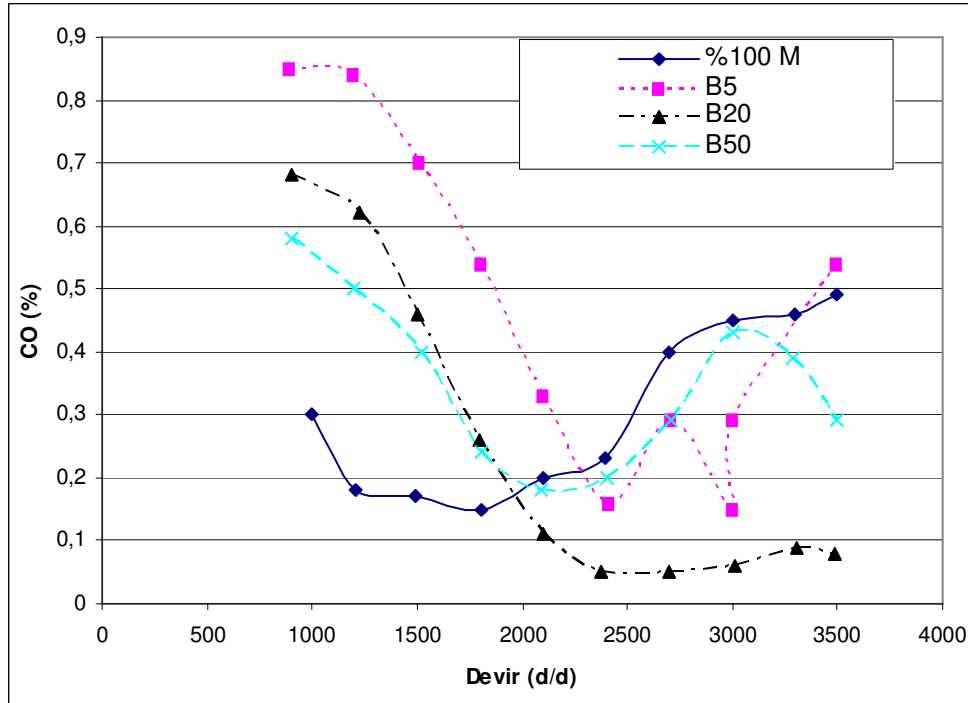
-Oksijen miktarı

-Zaman

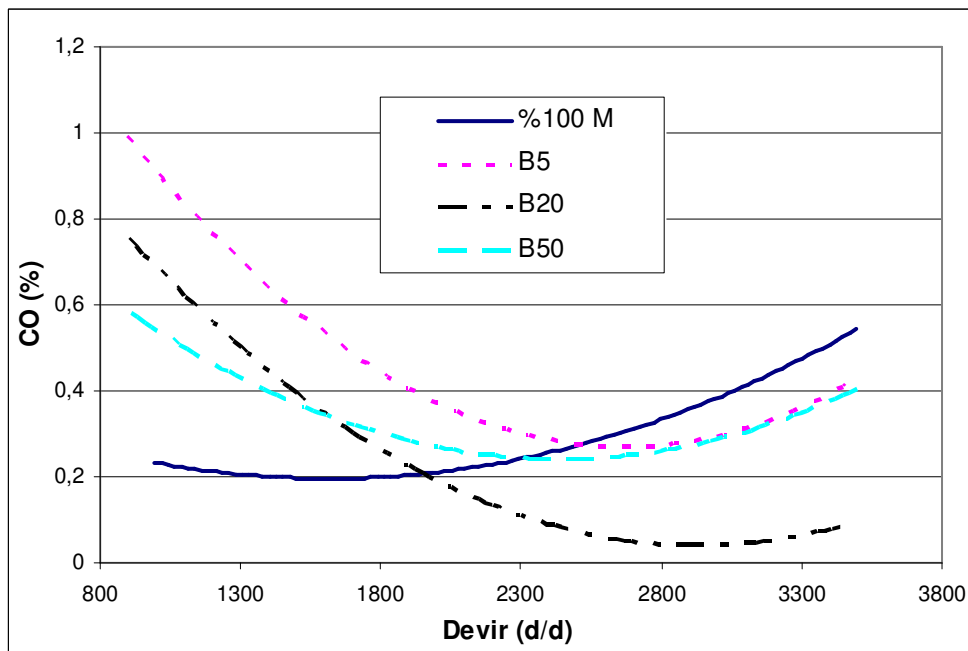
Biyodizel içerisinde yaklaşık %10 oranında bulunan oksijen yanma verimini arttırdığından, egzoz gaz sıcaklığıyla birlikte NO_x oluşumunu önemli derecede etkilemektedir ve bu etkileşim sonucunda NO_x gazlarında artış gözlenmiştir.

NO_x artışını H.Şanlı [39] ve arkadaşının yaptığı çalışmayla ilişkilendirecek olursak; biyodizelin ses iletim hızı yüksek ve sıkıştırılabilirliği ise düşük olduğundan, yakıt pompasından çıkan basınç dalgaları biyodizel içinde daha çabuk ilerleyecek ve biyodizel bu basınç dalgalarını kendi içinde daha az sönümleyecektir. Bunların sonucunda kritik basınç olarak adlandırılan enjektör iğnesi kalkma basıncına

(püskürtme basıncı) daha erken ulaşılmaktadır. Bunların sonucunda yanma daha erken başlamakta ve NO_x emisyonu artmaktadır [39].

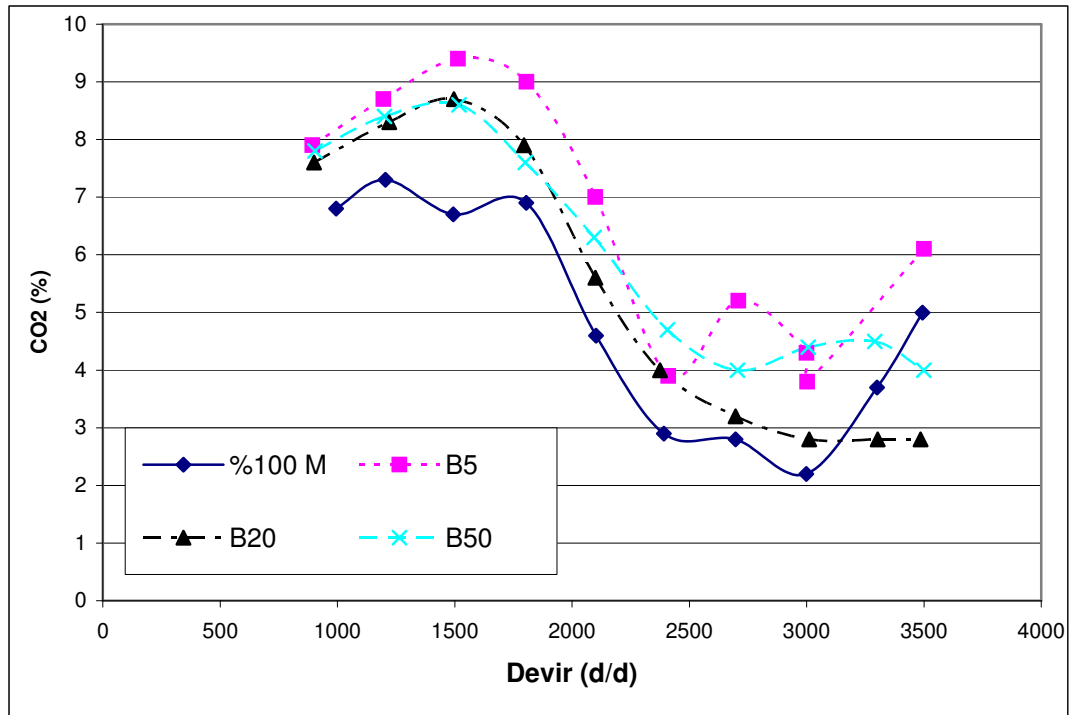


Şekil 3.17.1. B5, B20, B50 ve Motorinin Devir sayısına bağlı olarak CO emisyonunun değişimi.

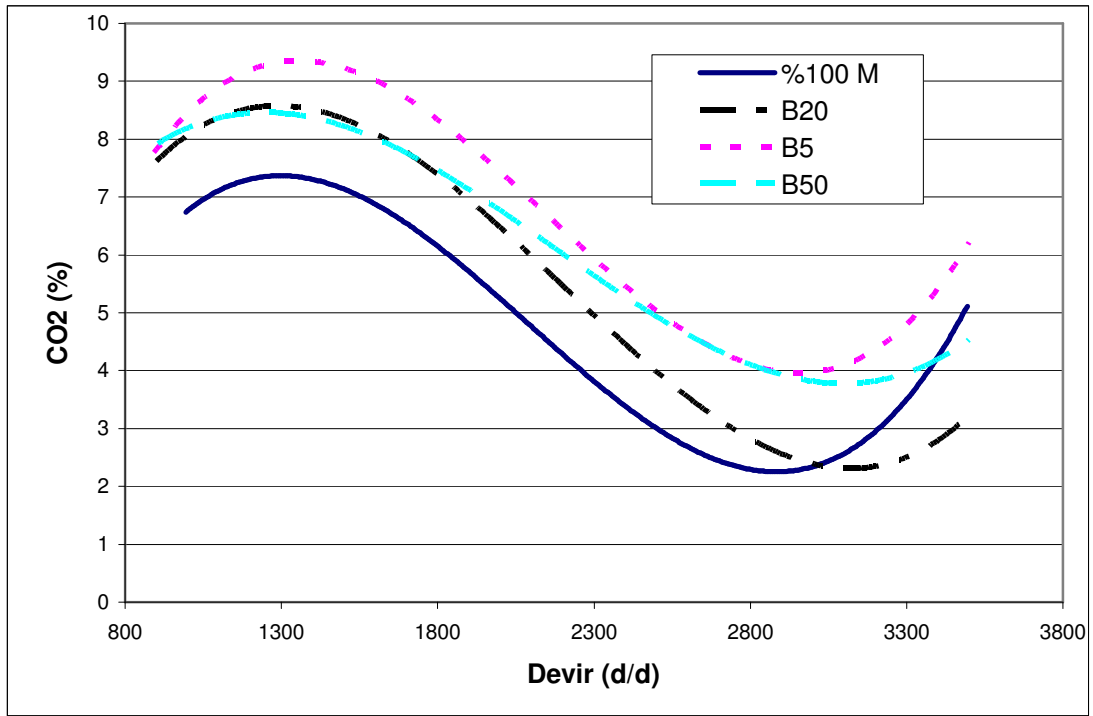


Şekil 3.17.2. B5, B20, B50 ve Motorinin Devir sayısına bağlı olarak CO emisyonunun değişimi.

Karbonmonoksit (CO) emisyonları içten yanmalı motorlarda birçok parametreye bağlı olmakla beraber hava/yakıt eşdeğer oranı ile değişim gösteren bir egzoz emisyonu ürünüdür. Yanma işlemi sırasında yakıtın tam yanmamasından kaynaklanır. Bunun ana nedeni ise oksijenin yetersiz olmasıdır. Bir diğer önemli etken ise yakıtın yüksek viskozitesinden dolayı iyi bir şekilde otomizasyon olmamasıdır. Biyodizelinde viskozitesinin yüksek olmasından dolayı CO emisyonlarında artış gözlenmiştir. Gaz sıcaklığının düşük olması yeterli oksijenin bulunmaması ve CO₂'e dönüşüm süresinin kısa olmasından dolayı yanmanın tamamlanmamış olması CO miktarını artırır. Zengin karışımlar için egzozdaki CO, karışım zenginleştikçe artan eşdeğer oranı ile düzenli bir şekilde yükselmektedir. Fakir karışımlar için egzozdaki CO konsantrasyonu eşdeğer oran ile az miktarda değişmektedir. Motorun yüksek devirlerinde biyodizel karışımları motorine göre daha düşük CO değeri gösterirken, düşük devirlerde biyodizel karışımlarında ki CO emisyon değeri artmıştır.

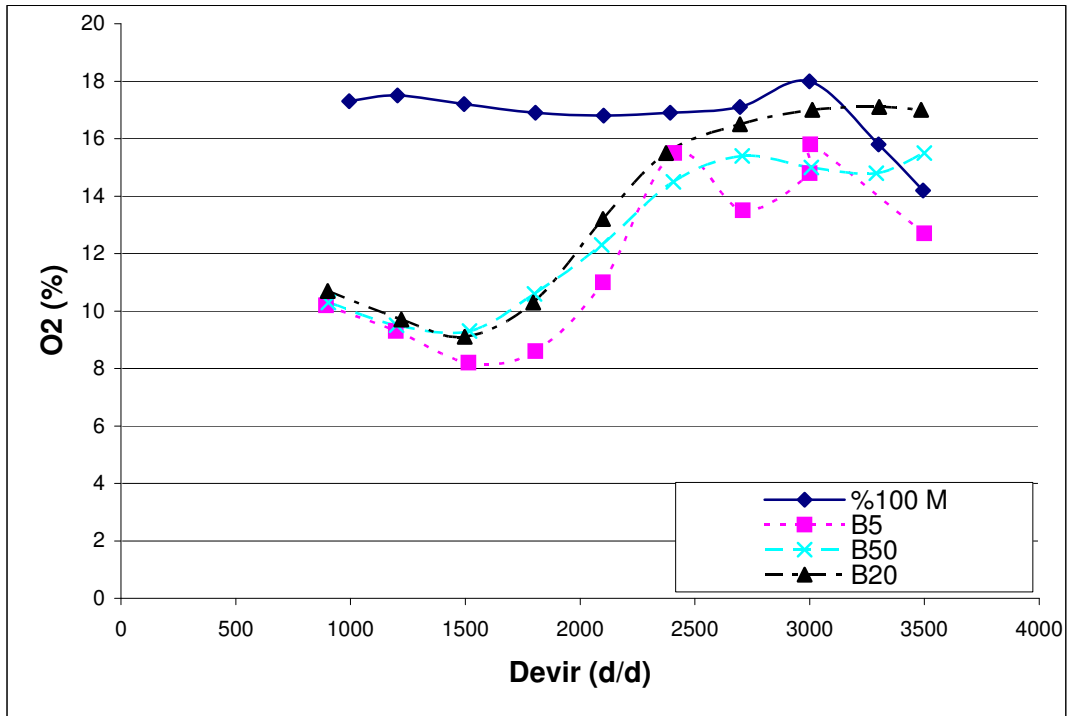


Şekil 3.18.1. B5, B20, B50 ve Motorinin devir sayısına göre Karbondioksit değişimi.

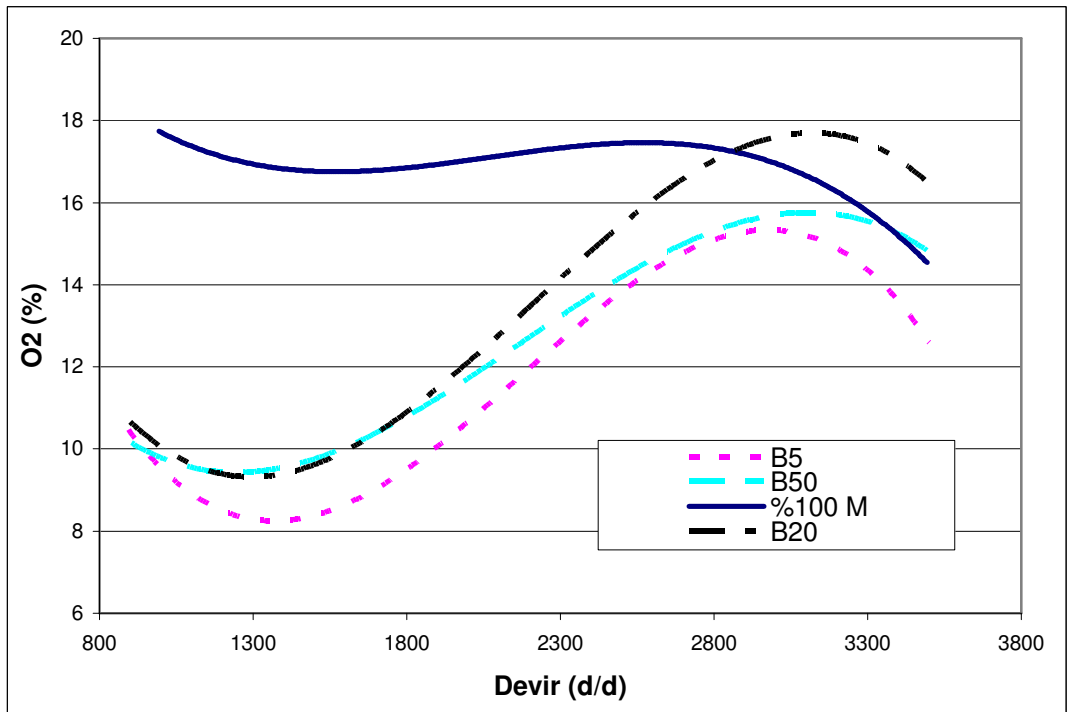


Şekil 3.18.2. B5, B20, B50 ve Motorinin devir sayısına göre Karbondioksit değişimi.

Bilindiği üzere CO_2 emisyonunun doğrudan insan sağlığı üzerine zararlı etkilere sahip değildir. Fakat CO_2 'in yaklaşık yarısı atmosferde birikerek CO_2 konsantrasyonunun artmasına sebep olur. Bu artışta sera etkisi yaratarak atmosferin giderek ısınmasına nedendir.. Motorumuzdaki CO_2 emisyonu yüksek devirlerde motorinle hemen hemen aynı karakteristikleri gösterdiyse de düşük devirlerde artış gözlenmiştir. Buna sebep olarak biyodizelde bol olarak bulunan oksijen yanma verimini arttırmasından dolayı CO_2 emisyonunu arttırmaktadır.



Şekil 3.19.1. B5, B20, B50 ve Motorinin devir sayısına bağlı olarak O2 emisyonu değişimi.



Şekil 3.19.2. B5, B20, B50 ve Motorinin devir sayısına bağlı olarak O2 emisyonu değişimi.

Egzoz emisyon ürünlerinden olan O_2 havanın ve yakıtın içinde bulunan oksijenden ibarettir. Deney sonucunda O_2 emisyonu FYME'de yükselen devirle beraber O_2 emisyonunda artış gözlenmiş ,dizel yakıtında düşük devirlerde FYME'ye göre artış yüksek devirlerde ise hemen hemen aynı özellikleri göstermiştir. Düşük devirlerde yanma zamanının uzun olmasından dolayı ve biyodizel içerisinde bulunan oksijenden dolayı yanma verimini arttırmış ve eksozdan çıkan O_2 miktarında azalma görülmüştür. Yüksek devirlerde yanma zamanının azalmasından dolayı O_2 tam olarak kullanılmamış ve miktarında artış görülmüştür.

BÖLÜM 4 SONUÇLAR

Motorin ve FYME karışımlarının; motor karakteristikleri ve egzoz gazı emisyonlarının değerlendirilmesi amacı ile, FYME karışımları ve motorin motor test ve egzoz gazı ölçüm sonuçlarından karşılaştırma grafikleri hazırlanmıştır. Şekil 3.9-3.19 arasında bu grafikler verilmektedir. Grafikleri topluca değerlendirdiğimizde FYME karışımlarının motorine göre artan ve azalan değerleri aşağıda verilmiştir. Bu değerler hesaplanırken ölçülen devir aralıklarındaki değerler toplanarak motorine göre yüzde olarak oranlanmıştır.

4.1. B 5 yakıtı için;

Moment değerinde % 0.13 artış,
Güç değerinde % 1,25 artış,
Özgül yakıt tüketimi değerinde % 9.87 artış,
Ortalama efektif basınç değerinde % 0.13 artış,
Isıl verim değerinde % 6.28 azalma,
CO emisyonu değerinde % 54.78 artış,
NO emisyonu değerinde % 31.51 artış,
NOx emisyonu değerinde % 34.22 artış,
CO₂ emisyonu değerinde % 33.53 artış,
O₂ emisyonu değerinde % 28.68 azalma olduğu görülmüştür.

4.2. B 20 yakıtı için;

Moment değerinde % 0.09 azalma,
Güç değerinde % 0.94 azalma,
Özgül yakıt tüketimi değerinde % 8.60 artış,

Ortalama efektif basınç değerinde % 0.09 azalma,
Isıl verim değerinde % 3.72 azalma,
CO emisyonu değerinde % 18.81 azalma,
NO emisyonu değerinde % 11.90 artış,
NOx emisyonu değerinde % 13.79 artış,
CO₂ emisyonu değerinde % 9.81 artış,
O₂ emisyonu değerinde % 18.84 azalma olduğu görülmüştür.

4.3. B 50 yakıtı için;

Moment değerinde % 0.28 artış,
Güç değerinde % 0.94 artış,
Özgül yakıt tüketimi değerinde %11.38 artış,
Ortalama efektif basınç değerinde % 0.28 artış,
Isıl verim değerinde %1.03 azalma,
CO emisyonu değerinde %15.51 artış,
NO emisyonu değerinde % 18.81 artış,
NOx emisyonu değerinde % 21.14 artış,
CO₂ emisyonu değerinde % 23.31 artış,
O₂ emisyonu değerinde % 24.15 azalma olduğu görülmüştür.

FYME ısııl değerinin motorin değerinden, düşük olması, aynı motor çalışma koşullarında, motorinden daha düşük güç elde edilmesine neden olmaktadır. Aynı nedenle moment ve ortalama efektif basınç değeri de FYME'i karışımalarında, motorine göre daha düşük çıkmıştır. Isıl değerinin düşük olması, FYME ile çalışmada özgül yakıt tüketiminin artışına neden olmaktadır. Ancak bu özellik ısııl verimin daha büyük olmasında etkili olmaktadır.

BÖLÜM 5. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu çalışmada fındık yağı metil esterinin alternatif dizel yakıtı olarak değerlendirilebilirliğini ortaya koymaktadır. Yeni-yenilenebilir enerji kaynağı olan bitkisel yağlar, günümüzün en önemli motorin alternatifidir. Bitkisel yağların, alternatif motorin olarak değerlendirme seçeneklerinden biri “transesterifikasyon tekniği” uygulamasıdır.

DeneySEL çalışma; fındık yağı metil esterinin yakıt özellikleri dizel yakıtı için gerekli standart analizler göz önüne alınarak yapılmıştır. Yakıt özellikleri biyodizel ve No.2 dizel yakıtı standart özellikleri ile uyumludur. Motor testleri kısa süreli ve tek bir motor tipinde 4 ayrı yakıt, tam yük konumunda yapılmış, motor performans ve emisyon değerleri ölçülmüştür. Özellikle emisyonlarda artış görülmesine rağmen, motor performans değeri dizel yakıtına eşdeğer oranda yakın çıkmıştır. Bu sonuçlar; motorlarda gerekli modifikasyonlar yapıldığı takdirde FYME iyi bir dizel yakıtı olabileceğini ortaya koymaktadır.

Ülkemizin petrol ihtiyacı ekonomiyi sarsan ve engelleyen bir durumdadır. Bir tarım ülkesi ve motor yakıtı tüketiminin çok büyük bir bölümünün dışa bağımlı olduğunu sürekli vurguladığımız Ülkemiz için, yerli kaynaklara dayalı biodizel araştırmalarının geliştirilerek yakıt politikamız içinde yer alması önemlidir. Bu bağlamda fındık yağını biodiesel olarak kullandığımızda yeterli miktarda ihraç edemediğimiz ve dünya üretiminde de büyük payı elinde bulundurduğumuz fındığın iç piyasada tüketiminin kolaylaştırılması sağlanarak, ülke tarımına ve ekonomisine olumlu yönde katkı sağlayacaktır. Sadece fındık değil, diğer biodiesel üretiminde kullanılan ürünlere yönelmek; tarım sektörünü geliştirmek, iç göçü engellemek, dışa bağımlılığı azaltmak, fabrika ve istihdam oluşturmak ve ülkemizin geleceği açısından büyük önem taşıyacaktır. Türkiye gibi geçmişte petrol, günümüzde petrol+doğalgaz ve

gelecekte doğalgaz bağımlısı olacak bir ũlkenin bugũnũ ve geleceği açısından bu felsefenin önemi daha iyi anlaşılmalıdır. Bu sebeple ũlkemizin geleceği açısından biyodizel araştırmaları geliştirilmeli ve ũretimi ve tũketimi teşvik edilmelidir.

KAYNAKLAR

- [1] CILIZOĞLU, K.B., “Dört Çeşit Bitkisel Yağın Motorin Alternatifi Olarak Kullanımı”, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, (1996) 8-16.
- [2] “Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları”, TMMOB Makina Mühendisleri Odası Enerji Yönetimi Sempozyumu, Kayseri, Haziran 2005
- [3] http://tr.wikipedia.org/wiki/Dunya_nufusu
- [4] “Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Enerji Hammaddeleri Alt Komisyonu Petrol ve Doğalgaz çalışma grubu raporu”, Ankara DPT , Haziran 1996
- [5] <http://www.tupras.com.tr>
- [6] ERTEKİN, S., “Bio Motorin Üretiminde Rafinasyon Aşamasının İncelenmesi”, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, (1995) 1-3.
- [7] DORADO, M.P., BALLESTEROS, E., ARNAL, J.M., GOMEZ, J., LOPEZ, F.J., “Exhaust emissions from a Diesel Engine Fueled with Transesterified waste Olive Oil”, *Fuel*, 82, (2003) 1311-1315.
- [8] IŞIĞIGÜR, A., “Türkiye Kökenli Aspir Tohum Yağlarının Transesterifikasyonu ve Dizel Yakıt Alternatifi Olarak Değerlendirilmesi”, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, (1992) 13-32.
- [9] KURT, G., “Ayçiçek Yağının Doğrudan Alternatif Yakıt Olarak Değerlendirilmesi”, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, (1997) 8-19.

- [10] ALTIN, R., YÜCESU S., “Pamuk Yağının Dizel Motorlarında Yakıt Olarak Kullanılması ve Motor Performansının Belirlenmesi”, Gazi Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Cilt 12, (1999) 117-131.
- [11] ÇETİN, M., YÜKSEL, F., CEVİZ, A., YÜKSEL, B., “Fındık Yağının Ön Yanma Odalı Dizel Motorda Yakıt Olarak Kullanılması”, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, İzmir, Türkiye, (2001) 140-146.
- [12] MACHACON, H.T.C., SHİGA, S., KARASAWA,T., NAKAMURA H., “Performance and Emission Characteristics of a Diesel Engine Fueled with Coconut Oil-Diesel Fuel Blend”, Biomass and Bioenergy, 20, (2001) 63-69.
- [13] ENOKİ, K., HAYASHİ, S., SAWA N., “Effective Utilization of Blended Plant Fuels for Pre-Combustion Chamber Compression Ignition Engines”, Alternative Fuels in CI and Heavy Duty Engines, 940330, (1994) 31-40.
- [14] KARAOSMANOĞLU, F., AKSOY, H.A., “Kullanılmış Kızartma Atık Yağının Seyreltme Yöntemi ile Alternatif Yakıt Olarak Değerlendirilmesi”, Türkiye 6.Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri I, İzmir, Türkiye, (1994).
- [15] İŞİĞİGÜR, A., KARAOSMANOĞLU, F., HAMDULLAHPUR, F., GÜLDER, L.Ö., AKSOY, H.A., “Safflower Seed Oil of Turkish Origin as a Diesel Fuel Alternative” Applied Biocemistry and Biotechnology, Vol.39/40, pp.89-105,1993.
- [16] ULUSOY, Y., ALİBAŞ, K., “Dizel Motorlarda Biodiesel Kullanımının Teknik ve Ekonomik Olarak İncelenmesi”, Uludağ Üniv. Ziraat Fakültesi Dergisi, (2002) 37-50.
- [17] DENİZ, O., BALIK, A., BENLİDAYI, M., “Alternatif Yakıt Olarak Rafine Soya Fasülyesi Yağı – Motorin Karışımlarının Dizel Motorlarında Kullanılması”, II. Yanma Sempozyumu, İstanbul, Türkiye, (1989) 349-355.
- [18] DENİZ, O., “Dizel Motorlarında Alternatif Yakıt Olarak Soya Yağı, Motorin + Soya Fasülyesi Yağı Motorin %10 Normal Benzin + Soya Fasülyesi Yağı Emülsiyonlarının Kullanılması ve Motor Performansına Etkisi” Doktora Tezi, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, (1989)
- [19] DENİZ, O., BALIK, A., BENDİDAYI, M., “Alternatif Yakıt Olarak Rafine Soya Yağı ve Motorin-Rafine Soya Yağı Karışımlarının Dizel Motorlarında Kullanılması” İkinci Yanma Sempozyumu,197-201,İstanbul,1989.

- [20] MONYEM, A., VAN GERPEN, J.H., “The Effect of Biodiesel Oxidation on Engine Performance and Emissions”, *Biomass and Bioenergy*, 20 (2001) 317-325.
- [21] ALTIN, R., YÜCESU, S., “Mısır Yağının Alternatif Yakıt Olarak Dizel Motorlarında Kullanımının Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarına Etkilerinin Deneysel İncelenmesi”, 6. Uluslar Arası Yanma Sempozyumu, İstanbul, Türkiye, (1999) 409-420.
- [22] HE, Y., BAO, Y.D., “Study on Rapeseed Oil as Alternative Fuel For a Single-Cylinder Diesel Engine”, *Science Direct, Renewable Energy*, 28, (2003) 1447-1453.
- [23] CZERWİNSKİ, J., “Performance of HD-DI-Diesel Engine with Addition of Ethanol and Rapeseed Oil”, *Alternative Fuels in CI and Heavy Duty Engines*, 940545, (1994) 41-53.
- [24] ALMA, M.H., “Kraft Kağıt Üretim Prosesi Atığı Toll Yağından Dizel Yakıtı Doğru”, IV. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, (2002) 899-906.
- [25] LAFORGİA, D., ARTDİTO, V., “Biodiesel Fueled IDI Engines; Performances, Emissions and Heat Release Investigation”, *Bioresource Technology*, 51 (1995) 53-59.
- [26] SELİM, M.Y.E., RADWAN, M.S., ELFEKY, S.M.S., “Combustion of Jojoba Methyl Ester in an İndirect İnjection Diesel Engine”, *Renewable Energy*, 28, (2003) 1401-1420.
- [27] KARAOSMANOĞLU, F., KURT, G., ÖZAKTAŞ, T., “Long Term CI Engine Test of Sunflower Oil”, *Renewable Energy*, 19 (2000) 219-221.
- [28] KARAOSMANOĞLU, F., TETİK, E; “Fuel Properties of Pyrolytic Oil of the Straw and stalk of Rape Plant”, *Renewable Energy*, 16 (1999) 1090-1093.
- [29] ANTOLİN, G., TİNAUT, F.V., BRÍCENO, Y., CASTANO, V., PEREZ, C., RAMÍREZ, A.I., “Optimisation of Biodiesel Production by Sunflower Oil Transesterification”, *Bioresource Technology*, 83, (2002) 111-114.

- [30] DEMİRBAŞ A., “Biodiesel Fuels from Vegetable Oils via Catalytic and Non-Catalytic Supercritical Alcohol Transesterifications and Other Methods; A Survey”, *Energy Conversion and Management*, 44, (2003) 2093-2109.
- [31] DEMİRBAŞ, A., “Biodiesel from Vegetable Oils Via Transesterification in Supercritical Methanol”, *Energy Conversion and Management*, 43, (2002) 2349-2356.
- [32] İLKILIÇ, C., YÜCESU, H.S., “Ayçiçek Yağı Metil Esteri ile Dizel Yakıtı Karışımının Farklı Enjeksiyon Basınçlarında Motor Performansına Etkisinin İncelenmesi”, 7. Uluslararası Yanma Sempozyumu, Ankara, Türkiye, (2002) 129-138.
- [33] İLKILIÇ, C., YÜCESU, H.S., “Değişik Enjeksiyon Basınçlarında Ayçiçek Yağı Metil Esteri ile Dizel Yakıtı Karışımının Dizel Motoru Egzoz Emisyonlarına Etkisinin İncelenmesi”, 7. Uluslararası Yanma Sempozyumu, Ankara, Türkiye, (2002) 182-192.
- [34] KALLİGEROS, S., ZANNİKOS, F., STOURNAS, S., LOİS, E., ANASTOPOULOS, G., TEAS, C., SAKELLAROPOULS, F., “An Investigation of Using Biodiesel/Marine Diesel Blends on the Performance of a Stationary Diesel Engine”, *Pergamon, Biomass and Bioenergy*, 24 (2003) 141-149.
- [35] YAMIK H., İÇİNGÜR, Y., “Dizel Motorlarında Alternatif Yakıt Olarak Yağ Esterlerinin Kullanımı”, 7. Uluslararası Yanma Sempozyumu, Ankara, Türkiye, (2002) 172-181.
- [36] ULUSOY, Y., TEKİN Y., “Kullanılmış Yağ Metil Esterinin Türkiye Şartlarında Dizel Motorlu bir Araçta Kullanımı ve Emisyon Sonuçları”, IV. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, Cilt II, (2002) 937-942.
- [37] ULUSOY, Y., “Kullanılmış Ayçiçek Yağı Metil Esterinin Alternatif Yakıt Olarak Kullanım Olanağı”, III. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, Cilt II, İstanbul, Türkiye, (2000) 633-640.
- [38] KUŞ, R., BAYRAKÇEKEN, H. ve DÜZGÜN, M., “Bitkisel Yağların Motorlu Taşıtlarda Kullanımı ve Emisyonlara Etkisi”, 8. Uluslararası Yanma sempozyumu, s. 623-633, Ankara, 2004.

- [39] ŞANLI, H. VE ÇANAKÇI, M., “Biyodizel Egzoz Emisyonundaki NOx Artışının Nedenleri Üzerine Bir Değerlendirme”, 8. Uluslar arası Yanma sempozyumu, s. 418-427, Ankara, 2004.
- [40] KARABEKTAŞ, M., “Dizel Motorunda Yakıt Olarak Biomotorin Kullanımının Motor Performansına Etkilerinin Belirlenmesi”, 8. Uluslar arası Yanma sempozyumu, s. 263-272, Ankara, 2004.
- [41] ALTIPARMAK, D., KESKİN, A. ve GÜRÜ, M., “Mısır Yağı Metil Esterinin Dizel Motorlarda Alternatif Yakıt Olarak Kullanımının Araştırılması”, 8. Uluslar arası Yanma sempozyumu, s. 377-384, Ankara, 2004.
- [42] CİNİVİZ, M., HAŞİMOĞLU, C. SALMAN, S. Ve ŞAHİN, F., “Bir Dizel Motorunda Deneysel Olarak Silindir Kapak ve Supaplarının Termal Bariyer Kaplanmasının Performans ve Emisyon Parametelerine Etkisinin Araştırılması”, 8. Uluslar arası Yanma sempozyumu, s. 133-144, Ankara, 2004.
- [43] İLKILIÇ, C., YÜCESU, S., “Pamuk Yağı Metil Esteri ile Dizel Yakıtı Karışımının Bir Dizel Motoru Performansına Etkisi”, Fırat Üniv. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 14, (2002) 199-205.
- [44] ALTIN, R., YÜCESU, S., “Ham Pamuk Yağı ve Pamuk Metil Esteri Yakıtlarının Dizel Motorlarında Kullanılabilirliğinin Deneysel Olarak Araştırılması”, 6.Uluslar Arası Yanma Sempozyumu, İstanbul, Türkiye, (1999) 43-57.
- [45] ALTIN, R., YÜCESU, H.S., ÖZÇİMEN, D., KARAOSMANOĞLU, F., “Some Raw Vegetable Oils and Their Methyl Esters Usage as an Alternative Diesel Fuel”, (2003)
- [46] ALTIN, R., ÇETİNKAYA, S., YÜCESU, H.S., “The Potential of Using Vegetable Oil Fuels as Fuel for Diesel Engines”, Energy Conversion and Management, 42, (2001) 529-538.
- [47] <http://www.biomotorin-biodiesel.com>
- [48] www.ebb.eu.org
- [49] www2.truman.edu
- [50] ÖZÇİMEN, D., KARAOSMANOĞLU, F., “Avrupa Birliği, Temiz Enerji ve Biyomotorin”, IV. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, Cilt II (2002) 927-934.

- [51] KARAOSMANOĞLU, F., “Türkiye İçin Çevre Dostu – Yenilenebilir Bir Yakıt Adayı; Biyomotorin”, *Ekojenerasyon Dünyası - Kojenerasyon Dergisi*, 10, İstanbul, Türkiye (2002) 50-56.
- [52] SARIYAR, L., “Bazı Küflerin Fındıkla Lipolitik Aktivitesinin İncelenmesi”, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, (1998) 1-8.
- [53] ÇETİN, M., “Fındığın Dönel Silindirde Kurutulmasının Teorik ve Deneysel Olarak İncelenmesi”, *Yüksek Lisans Tezi*, Erciyes Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, Türkiye, (1994) 3-9.
- [54] DEMİRAL, İ., ŞENSÖZ, S., “Fındık Küspesinin Sabit Yatak Reaktöründe Pirolyzi”, IV. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, (2002) 871-875.
- [55] SİPAHİER, A.N., “Kullanılmış Kızartma Yağının Alternatif Dizel Yakıtı Olarak Değerlendirilmesi”, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, (1990) 12-18.
- [56] YÜCEL, H.L., “Pamuk Yağı – Motorin Karışımlarının Alternatif Dizel Yakıtı Olarak Kullanılması”, IV. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, (2002) 945-952
- [57] RAMADHAS, A.S., JAYARAJ S., MURALEEDHARAN C., “Use of Vegetable Oils as I.C. Engine Fuels – A Review”, *Science Direct, Renewable Energy* 29 (2004) 727-742.
- [58] HAŞİMOĞLU, C., “Düşük Isı Kayıplı bir Dizel Motorunda Biyodizel Kullanımının Performans ve Emisyon Parametrelerine Etkisi”, *Doktora Tezi*, S.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, Türkiye, (2005)
- [59] AKDAĞ, A., “Kolza Yağı – Metanol Transesterifikasyon Reaksiyonu”, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, (1994) 11-16.
- [60] OĞUZ, H., “Tarım Kesiminde Yaygın Olarak Kullanılan Dizel Motorlarında Fındık Yağı Biyodizelinin Yakıt Olarak Kullanım İmkanlarının İncelenmesi” *Turk.J.Engin.Envirion.Sci.*, vol.25, pp.39-49,2001

EKLER

Ek A Motorin ve B5 yakıtının performans sonuçları

| Yakıt | Hız n (d/d) | Kuvvet F (N) | Egzoz Sıcaklığı C° | Yakıt Tüketimi (s) | Moment Md (Nm) | Güç Pe (kW) | Ö.Y.T. be (g/kWh) | O.E.B. Pme (kPa) | Isıl Verim h (%) |
|---------|----------------|-----------------|--------------------------|-----------------------|-------------------|----------------|----------------------|---------------------|---------------------|
| Motorin | 994 | 60,3 | 217 | 25 | 15,08 | 1,57 | 770,99 | 479,5 | 10,9 |
| | 1204 | 70,9 | 240 | 44 | 17,73 | 2,23 | 307,59 | 563,8 | 27,3 |
| | 1494 | 64,8 | 271 | 35 | 16,2 | 2,53 | 340,96 | 515,3 | 24,6 |
| | 1805 | 80,6 | 288 | 27 | 20,15 | 3,81 | 294,12 | 640,9 | 28,5 |
| | 2103 | 77,7 | 290 | 21 | 19,43 | 4,28 | 336,68 | 617,9 | 24,9 |
| | 2392 | 78,6 | 408 | 19 | 19,65 | 4,92 | 323,41 | 625 | 25,9 |
| | 2697 | 77,1 | 404 | 17 | 19,28 | 5,44 | 326,82 | 613,1 | 25,7 |
| | 2999 | 78 | 410 | 15 | 19,5 | 6,12 | 329,26 | 620,2 | 25,5 |
| | 3300 | 50,7 | 301 | 24 | 12,68 | 4,38 | 287,71 | 403,2 | 29,2 |
| | 3494 | 23,4 | 244 | 36 | 5,85 | 2,14 | 392,51 | 186,1 | 21,4 |
| | 893 | 56,5 | 268 | 26 | 14,13 | 1,32 | 883,01 | 449,3 | 9,6 |
| | 1197 | 75 | 302 | 38 | 18,75 | 2,35 | 339,55 | 596,4 | 24,9 |
| | 1514 | 68,3 | 361 | 29 | 17,08 | 2,71 | 386,27 | 543,1 | 21,9 |
| | 1806 | 77,7 | 371 | 28 | 19,43 | 3,67 | 294,81 | 617,9 | 28,7 |
| B5 | 2099 | 78,8 | 406 | 23 | 19,7 | 4,33 | 304,49 | 626,6 | 27,7 |
| | 2411 | 76,7 | 425 | 19 | 19,18 | 4,84 | 329,68 | 609,9 | 25,6 |
| | 2709 | 78,5 | 420 | 17 | 19,63 | 5,57 | 320,41 | 624,2 | 26,4 |
| | 3000 | 79,1 | 425 | 14 | 19,78 | 6,21 | 348,67 | 629 | 24,2 |
| | 3003 | 51,5 | 307 | 20 | 12,88 | 4,05 | 374,5 | 409,5 | 22,6 |
| | 3500 | 20,9 | 233 | 32 | 5,23 | 1,91 | 494,85 | 166,2 | 17,1 |
| | 893 | 56,5 | 268 | 26 | 14,13 | 1,32 | 883,01 | 449,3 | 9,6 |

Ek C Motorin ve B5 yakıtının emisyon sonuçları

| Yakıt | Hız n (d/d) | Motor Yağ Sıcaklığı (oC) | Egzoz Sıcaklığı C° | NO (ppm) | NOX (ppm) | CO (%) | CO2 (%) | O2 (%) |
|---------|----------------|-----------------------------|-----------------------|-------------|--------------|-----------|------------|-----------|
| | | | | | | | | |
| Motorin | 994 | 112 | 217 | 245 | 250 | 0,3 | 6,8 | 17,3 |
| | 1204 | 111 | 239,8 | 280 | 283 | 0,18 | 7,3 | 17,5 |
| | 1494 | 110 | 271,3 | 322 | 335 | 0,17 | 6,7 | 17,2 |
| | 1805 | 108 | 287,8 | 335 | 339 | 0,15 | 6,9 | 16,9 |
| | 2103 | 105 | 290,2 | 300 | 312 | 0,2 | 4,6 | 16,8 |
| | 2392 | 110 | 407,6 | 223 | 239 | 0,23 | 2,9 | 16,9 |
| | 2697 | 107 | 404 | 159 | 165 | 0,4 | 2,8 | 17,1 |
| | 2999 | 105 | 410 | 135 | 142 | 0,45 | 2,2 | 18 |
| | 3300 | 101 | 301 | 99 | 101 | 0,46 | 3,7 | 15,8 |
| | 3494 | 100 | 244 | 60 | 66 | 0,49 | 5 | 14,2 |
| | 893 | 116 | 268 | 347 | 364 | 0,85 | 7,9 | 10,2 |
| | 1197 | 113 | 302 | 334 | 351 | 0,84 | 8,7 | 9,3 |
| | 1514 | 111 | 361 | 393 | 418 | 0,7 | 9,4 | 8,2 |
| | 1806 | 109 | 371 | 417 | 438 | 0,54 | 9 | 8,6 |
| B5 | 2099 | 106 | 406 | 371 | 391 | 0,33 | 7 | 11 |
| | 2411 | 103 | 425 | 290 | 308 | 0,16 | 3,9 | 15,5 |
| | 2709 | 98 | 420 | 137 | 148 | 0,29 | 5,2 | 13,5 |
| | 3000 | 92 | 425 | 238 | 249 | 0,15 | 4,3 | 14,8 |
| | 3003 | 89 | 307 | 171 | 185 | 0,29 | 3,8 | 15,8 |
| | 3500 | 86 | 233 | 140 | 144 | 0,54 | 6,1 | 12,7 |

ÖZGEÇMİŞ

1978 yılında İstanbul'un Üsküdar ilçesinde doğdu. İlk öğrenimini Kuzguncuk İlköğretim okulunda, orta öğrenimini Halide Edip Adivar Lisesinde, Lise öğrenimini de Şişli Endüstri Meslek. Lisesi'nde tamamladı. Yüksek öğrenimini Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Bölümü Otomotiv Öğretmenliğini 2001 yılında tamamladı. 2002 Bahar yarıyılı döneminde, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitime, Yüksek Lisans öğrencisi olarak girdi. Yüksek Lisans öğrenimine devam etmektedir.