169388

T.C.

FIRAT ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DİZEL MOTORUNDA FINDIK YAĞI ESTERİNİN ALTERNATİF YAKIT OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİ

Arzu KEVEN

Tez Yöneticisi

Yrd.Doç.Dr. Cengiz ÖNER

YÜKSEK LİSANS TEZİ

OTOMOTİV ANABİLİM DALI

ELAZIĞ, 2005

T.C.

FIRAT ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DİZEL MOTORUNDA FINDIK YAĞI ESTERİNİN ALTERNATİF YAKIT OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİ

Arzu KEVEN

Yüksek Lisans Tezi

Otomotiv Anabilim Dalı

Bu tez, 22/06/2005 tarihinde aşağıda belirtilen jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile başarılı / başarısız olarak değerlendirilmiştir.

Danışman: Yrd.Doç.Dr. Cengiz ÖNER

Üye:

Üye:

Üye:

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ...24/06/05.....tarih ve 2005 – 1911 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

TEŞEKKÜR

Bu tez hazırlanırken bilhassa danışman hocam Yrd.Doç.Dr. Cengiz ÖNER'in derin bilgilerinden yararlanılmıştır. Kendisine teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim. Deneysel çalışmalarda yardımlarını esirgemeyen arkadaşım İlker SUGÖZÜ'ne, Bülent AKBAŞ'a, F.Ü. Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitim Bölümü hocalarıma ve diğer üyelerine, Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü öğretim üyesi Prof. Dr. Sait ÇELİK hocama teşekkür ederim.

Ayrıca her zaman teşvik ve desteklerini gördüğüm aileme ve bütün dostlarıma ne kadar teşekkür etsem azdır.

Arzu KEVEN

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

İÇİNDEKİLER.....I
ŞEKİLLER LİSTESİ III
TABLOLAR LİSTESİ IV
SİMGELER LİSTESİ V
KISATMALAR LİSTESİ VI
ÖZET.....VII
ABSTRACT VIII
1. GİRİŞ 1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI 2
3. YAKITLAR 12
3.1. Dizel Yakıtları 12
3.2. Dizel Yakıtlarından İstenen Özellikler 13
3.2.1. Uçuculuk 13
3.2.2. Karbon Artığı 13
3.2.3. Viskozite 14
3.2.4. Setan Sayısı.....14
3.2.5. Kükürt.....15
3.2.6. Yanma ve Tutuşma Özelliği 15
3.3. Bitkisel Yağların Özellikleri 16
3.3.1. Kinematik Viskozite 16
3.3.2. Setan Sayısı 16
3.3.3. Bitkisel yağların Isıl Değerleri 17
3.3.4. Fındık Yağının Özellikleri.....19
4. YANMA 20
4.1. Dizel Motorlarında Yanma 21
5. EGZOZ GAZ EMİSYONLARI VE ÇEVRE 23
5.1. Egzoz Gaz Emisyonları 23
5.1.1. Karbondioksit 23
5.1.2. Karbon Monoksit 24
5.1.3. Kükürt Oksitler 25

5.1.4. Nitrojen Oksitler 25
5.1.5. Partikül Emisyonu 27
5.1.6. İs 27
6. MATERYAL VE METOD 28
6.1. Deneyde Kullanılan Yakıtlar 28
6.1.1. Fındık Yağı Etil Esterinin Elde Edilmesi 28
6.2. Gaz Analiz Cihazı 30
6.3. Deney Seti 30
6.3.1. Dinamometre 30
6.3.2. Deney Motoru 31
6.4. Motor Momenti 31
6.5. Efektif Motor Gücü 31
7. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA 32
7.1. Motor Momenti 33
7.2. Motor Efektif Gücü 35
7.3. Egzoz Sıcaklığı 38
7.4. Azot Oksit (NO_X) Emisyonları 40
7.5. Karbondioksit 42
7.6. Karbon Monoksit (CO) 44
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 47
KAYNAKLAR 49
ÖZGEÇMİŞ 52

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 7.1. Motorin ve Fındık Yağı Etil Esteri Karışımlarının Kullanılmasından Elde edilen Motor Moment Eğrileri.....35
Şekil 7.2. Motorin ve Fındık Yağı Etil Esteri Karışımlarının Kullanılmasından Elde edilen Efektif Motor Gücü Eğrileri.....38
Şekil 7.3. Motorin ve Fındık Yağı Etil Esteri Karışımlarının Kullanılmasından Elde edilen Egzoz Gazı Sıcaklık Eğrileri.....40
Şekil 7.4. Motorin ve Fındık Yağı Etil Esteri Karışımlarının Kullanılmasından Elde edilen Azot Oksit (NO_X) Eğrileri.....42
Şekil 7.5. Motorin ve Fındık Yağı Etil Esteri Karışımlarının Kullanılmasından Elde edilen Karbondioksit Eğrileri.....43
Şekil 7.6. Motorin ve Fındık Yağı Etil Esteri Karışımlarının Kullanılmasından Elde edilen Karbon Monoksit (CO) Eğrileri.....46

TABLOLARIN LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 3.1. Bitkisel Yağların Bazı Özellikleri.....18
Tablo 3.2. Ham Fındık Yağına Ait Bazı Özelikler.....19
Tablo 6.1. Ham Fındık Yağı, Fındık Yağı Etil Esteri ve Motorinin Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.....29
Tablo 7.1. Motorin ve Karışım Yakıtlarından Elde Edilen Motor Moment Değerleri.....35
Tablo 7.2. Motorin ve Karışım Yakıtlarından Elde Edilen Efektif Motor Güç Değerleri 37
Tablo 7.3. Motorin ve Karışım Yakıtlarından Elde Edilen Egzoz Gazı Sıcaklık Değerleri.....39
Tablo 7.4. Motorin ve Karışım Yakıtlarından Elde Edilen Azot Oksit (NO_X) Değerleri.....42
Tablo 7.5. Motorin ve Karışım Yakıtlarından Elde Edilen Karbondioksit Değerleri.....43
Tablo 7.6. Motorin ve Karışım Yakıtlarından Elde Edilen Karbon Monoksit (CO) Değerleri.....45

SİMGELER

AFR, Hava – Yakıt oranı

°C, Sıcaklık (santigrat)

CO, Karbon monoksit

CO_2, Karbondioksit

HC, Hidrokarbon

NO_X, Azot oksit

P_e, Efektif motor gücü

P_i, İndike güç

P_{me}, Ortalama efektif basınç

P_{mi}, Ortalama indike basınç

n, Motor devir sayısı (dak^{-1})

$C_{15}H_{31}COOH$, Palmitik asit

$C_{17}H_{35}COOH$, Stearik asit

$C_{17}H_{33}COOH$, Oleik Asit

$C_{17}H_{31}COOH$, Linoleik asit

C_7H_8, Toulen

C_6H_{14}, n-Hegzan

Na_2SO_4, Sodyum Süfat

H_2SO, Sülfürik Asit

$KHCO_3$, Potasyum bikarbonat

NaCl, Sodyum klorür

KISALTMALAR

M, Motorin

FE, Fındık yağı etil esteri

DI, Düz yanma odalı

IDI, Ön yanma odalı

HFK, Hava fazlalık katsayısı

TG, Tutuşma gecikmesi

Ü.Ö.N., Üst ölü nokta

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DİZEL MOTORUNDA FINDIK YAĞI ESTERİNİN ALTERNATİF YAKIT OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİ

Arzu KEVEN

Fırat Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Otomotiv Anabilim Dalı

2005, Sayfa: 51

Günümüzde içten yanmalı motorlarda genellikle petrol ürünleri kullanılmaktadır. Petrol ürünlerinin giderek tükenmesi yenilenebilir enerji kaynaklarının araştırılmasına neden olmaktadır. Dizel motorlarında yenilenebilir enerji kaynağı olarak bitkisel yağlar kullanılmıştır.

Bu çalışmada ham fındık yağından fındık yağı etil esteri elde edilmiştir ve belirli oranlarda motorin ile karıştırılmıştır. Elde edilen bu karışım yakıtları tek silindirli, dört zamanlı, direkt püskürtmeli bir dizel motorunda kullanılarak bu yakıtların motor performansı ve egzoz emisyonları üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Sonuç olarak fındık yağı etil esteri ile motorin karışımlarının, yakıt enjeksiyon sisteminde yakıtın cinsine göre gerekli düzenlemeler yapıldıktan sonra dizel motorlarında kullanılabileceği ifade edilmiştir.

Anahtar Kelimeler : Alternatif yakıtlar, Dizel motorlar.

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

USABILITY OF HAZELNUT OİL ESTER AS ALTERNATİVE İN DİESEL ENGİNE

Arzu KEVEN

University of Fırat
The Institute of Natural Sciences
Main Science Branch of Otomotive

2005, Page: 51

Nowadays, petroleum products is used in internal combustion engines. The fact that petroleum products become less and less causes investigation of renewable energy sources. Vegetable oils have been used as alternative fuel in diesel engines.

In this work, it has been obtained hazelnut oil ethyl ester from raw hazelnut and mixed with diesel oil as definite proportions. This mixture fuels obtaining have been used in single cylinder, four – stroke cycle direct injected diesel engine and investigated influences of this mixture fuels on engine performance and exhaust gas emissions. Consequently, it has been stated that mixtures of hazelnut oil ethyl ester with diesel oil will be used in diesel engine after fuel injection system is regulated depending on fuel type.

Keywords: Alternative fuels, Hazelnut oil, Diesel engines.

1. GİRİŞ

Günümüzde petrol kökenli yakıtların tüketiminin gittikçe artması ve kendini yenileyememesinden dolayı petrol krizi kendini belli etmeye başlamıştır.

Türkiye'nin petrol rezervleri yetersiz durumdadır. Petrol ihtiyacımızın büyük bir bölümü dış ülkelerden temin edilmektedir. Bu durum yeni enerji kaynaklarının araştırılmasına neden olmaktadır. Bu yeni enerji kaynaklarının, petrolün aksine yenilenebilir olması ayrıca çevre kirliliğine yol açmaması ve insan sağlığını tehdit etmemesi büyük önem taşımaktadır. Otomotiv alanında petrol yerine kullanılabilecek yenilenebilir enerji kaynakları güneş enerjisi, hidrojen ve bitkisel yağlardır. Türkiye bir tarım ülkesi olduğundan dolayı otomotiv alanında bitkisel yağların yenilenebilir enerji kaynağı olarak kullanılması önem kazanmıştır.

Türkiye'de yaklaşık 2500 yıldan bu yana fındık yetiştiriciliği yapılmaktadır. İşte bu nedenle ülkemiz en değerli yabani türlerle dünya ticaretinde aranılan en kaliteli çeşitlerin yayılma alanıdır [41].

Türkiye yıllara göre 350-600 bin ton yıllık üretimi ile dünya fındık üretiminin % 65-70'ini, dünya fındık ticaretinin ise % 70-75'ini gerçekleştirmektedir. Fındık en uygun yetiştirme koşullarını ülkemizin Karadeniz Bölgesi'nde bulmuş olup, Giresun, Trabzon, Sakarya, Samsun ve Bolu illeri başta olmak üzere 13 ilde ekonomik anlamda yetiştirilmektedir. Özellikle Doğu Karadeniz Bölgesi'nin hemen tek tarımsal ürünü durumundadır. Türkiye, fındığın anavatanı olması özelliğiyle, oldukça zengin bir çeşitliliğe sahiptir. Fındığın ülkemizde erken başlayan yetiştiriciliği, zaman içinde doğal ya da üretici seleksiyonlarıyla, bugünkü çok değerli çeşitlerine sahip olmasını sağlamıştır. Dünyada en önemli fındık dikim bölgeleri; Türkiye, İtalya ve Amerika'dadır. Fındık dikimine ve yetiştirilmesine en uygun koşullara sahip ülkelerin başında Türkiye gelmektedir. Fındıkta %60-70 oranında yağ vardır [41].

Bitkisel yağlar, motor üzerinde hiçbir değişiklik yapmadan kullanılabilir. Bitkisel yağların viskozitesinin yüksek olması alternatif yakıt olarak kullanılmasını zorlaştırır. Mısır yağı, Pamuk yağı, Bezir yağı, Yer Fıstığı yağı, kolza yağı, susam yağı, soya yağı ve ayçiçek yağı gibi bitkisel yağların viskoziteleri 30 mm^2/s'den daha fazladır. Dizel motorlarında kullanılan dizel yakıtının viskozitesi yaklaşık olarak 3 mm^2/s'dir. Viskoziteleri yüksek olan bu tür bitkisel yağların viskoziteleri birtakım yöntemlerle inceltilmektedir. Diğer bitkisel yağlara kıyasla fındık yağının viskozitesi ise dizel yakıtına çok yakındır.

Fındığın, Türkiye'de bol miktarda bulunması dizel motorlarında kullanılmak üzere alternatif bir yakıt olabileceği düşüncesine sebep olmuştur. Ayrıca fındık yağının etil esterinin elde edilmesiyle dizel motorlarına uygun bir yakıt oluşturmak amaçlanmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Dizel motorlarında alternatif yakıt olarak bitkisel yağlar üzerine bir çok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda ayçiçeği, yerfistığı, susam, zeytinyağı, palmiye, pamuk çekirdeği, soya fasulyesi, kolza tohumu ve bu yağların esterleri alternatif dizel yakıtı olarak kullanılabileceği açıklanmıştır.

Bitkisel yağlar ya tek başına ya da dizel yakıtı karışımı olarak dizel motorlarında kullanıldığına dair bir çok çalışma vardır.

Altun [1], Susam yağının motorin ile karışımlarının dizel motorlarında yakıt olarak kullanılabilirliğini araştırmıştır. Ancak, motorin ile çalışmaya göre tasarlanmış mevcut dizel motorlarında susam yağının yakıt olarak kullanımı sırasında susam yağının bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerinden dolayı problemlerin ortaya çıktığını, ilk karşılaşılan sorunun yüksek viskozite olduğunu belirtmiştir. %75 susam yağı karışımının viskozitesinin yüksek olmasından dolayı yapılan testlerde motorun çalışma zorluğu çektiği görülmüştür. Yüksek yağ içeriğine sahip karışımlarda enjektör basıncının artırılması yani; yakıtın aynı çaptaki enjektör deliğinden daha yüksek basınçla püskürtülmesi, Pülverizasyon taneciklerini küçülttüğünden ve dolayısıyla viskozite yüksekliğinin sebep olduğu kötü püskürtme karakteristiklerini kısmen iyileştirdiğinden yapılacak çalışmalarda motorun standart püskürtme basıncının artırılarak performans ve emisyon değerlerinin iyileştirilebileceği belirtilmiştir.

He ve Bao (2002), kolza yağı ve dizel yakıtı karışımını (% 30 kolza yağı + % 70 dizel yakıtı) yakıt olarak tek silindirli bir dizel motorundaki çalışmalarında, dizel motor için alternatif yakıt kaynağı olarak kolza yağının umut verici olduğunu ve motor yapısında hiçbir değişiklik yapmadan dizel yakıtı olarak kullanılabileceğini, fakat, kolza yağının yüksek viskozitesinin onu geniş çaptaki uygulamalardan alıkoyan çok önemli bir problem olduğunu belirtmişlerdir [1].

Ulusoy (6), ayçiçeği, kolza, pamuk ve soya yağlarının dizel yakıtı ile %25, %50 ve %75'lik oranlardaki karışımları üzerine yaptığı çalışmada, bu bitkisel yağ karışımlarından elde edilen dönme momenti ve güç değerlerinin %100 dizel yakıtına göre düşük çıktığını, karışımdaki yağ oranı arttıkça bu farkın daha da arttığını belirtmiştir. Dizel yakıtına en yakın değerlerin %25'lik bitkisel yağ karışımlarından ve 1500-1900 devir sayıları arasında elde ettiğini belirtmiştir [43,1].

Akbaş [2], ham fındık yağını dizel motorlarında alternatif yakıt kullanmıştır. Bu çalışmada da fındık yağı belirli oranlarda motorin ile karıştırılmıştır. Deney sonuçlarına göre karışım yakıtlarından elde edilen motor momenti, motor gücü ve efektif verim değerlerinin motorine göre düşük olduğunu belirtmiştir. Bunun sebebini fındık yağının bazı özelliklerine (viskozite, yoğunluk, ısıl değer, parlama noktası) bağlamıştır.

Peterson ve arkadaşları (1983), kolza yağını bir dizel motorunda toplam 230 saat kullanmış ve viskozitenin yüksekliğinden dolayı silindir içinde atomizasyon zorluğu ile karşılaşmışlardır. Yağın ön ısıtmaya tabii tutulması halinde püskürtmenin biraz daha düzeldiği gözlenmiştir. Motor performansına etkisi ve yakıt tüketimi dizel yakıtına eşdeğer bir durum göstermiştir. Değişen motor devir sayıları ile maksimum güç deneylerinde çok kısa periyotlarda motor parçalarında bazı küçük hasarların olduğu gözlenmiştir. %30 kolza yağı ve %70 dizel yakıtı bileşimi ile tek silindirli bir motor başarılı bir şekilde 850 saat çalıştırılmıştır. Bu çalışma sonucu aşınma, yağlama yağı ve motor gücünde herhangi bir anormal durum görülmemiştir (54, 33,2).

Ford ve Blumberg'in (1982) yaptığı bir çalışmada turbo kompresörlü açık hücreli bir dizel motorunda dizel yakıtıyla, sekiz çeşit yakıt ve yakıt karışımı değerlendirmeye alınmıştır. Bunlar, hacimsel yüzde olarak, 30/70 pamuk yağı/dizel yakıtı, 50/50 pamuk yağı/dizel yakıtı, 65/35 pamuk yağı/dizel yakıtı, 80/20 pamuk yağı/dizel yakıtı, 50/50 pamuk yağı/pamuk metil esteri; 50/50 dizel yakıt/pamuk metil esteri ve %100 pamuk metil esteri yakıtlarıdır. Dizel yakıtına alternatif olarak seçilen bu yakıtların deney motorundaki uzun (200 saat) ve kısa süreli performansları ve emisyonları belirlenmiştir. Bu çalışmada, pamuk yağıyla yapılan, kısa süreli performans ve emisyon testlerinde, petrol esaslı dizel yakıtına benzer sonuçlar elde edilmiştir. Güç, egzoz gaz sıcaklığı ve yakıt tüketimi gibi standartlar göz önüne alındığında, deney yakıtlarının tümü yeterli görülmekle birlikte, özellikle yağların yakıt olarak kullanıldığı deneylerde, karbon birikintileri, aşınma veya yakıt sistemindeki problemler nedeniyle uzun sureli uygulamalar için iyi sonuç alınamadığı belirtilmektedir. İyileştirici bir ilave sistem geliştirilmediği veya yakıt sistemine ısıtıcı bir aygıt eklenmediği takdirde, düşük sıcaklıklarda pratik olarak kullanılamadığı belirlenmiştir. Birikinti problemlerinin tamamı, bitkisel yağların esterleştirilmesi yoluyla yok edilemeyeceği ve ticari bir ürün olarak değerlendirilmeden önce bu yakıtların birikinti problemlerin çözülmesi gerektiği belirtilmektedir [2].

Schlich, Hanna ve Schinstock, (1988) soya ve ayçiçek yağlarını dizel yakıtı ile hacimsel yüzde olarak 25/75 bitkisel yağ/dizel yakıtı karışımını, dizel motorlarında yaklaşık 200 saatlik bir teste tabi tutarak performans testleri yapmışlardır. Deneyde kullanılan soya ve ayçiçek yağının ısıl değerleri 39100 kJ/kg ve 39900 kJ/kg, dizel yakıtının ise 45010 kJ/kg, yağların yoğunluğu, soya yağının 0.846 kg/dm^3, ayçiçek yağının 0.842 kg/dm^3 ve dizel yakıtın ise 0.824 kg/dm^3 olduğu belirtilmektedir. Yapılan deneyde özgül enerji sarfiyatı ayçiçek yağı/dizel yakıtı karışımı, soya yağı/dizel yakıtı karışımından daha düşük olduğu, moment-devir grafiğinde ise ayçiçek yağı/dizel yakıtı karışımı olarak kullanıldığında elde edilen değerler ile soya yağı/dizel

yakıtı karışımı kullanıldığında elde edilen değerlerin, her ikisi yalnız dizel yakıtı kullanıldığında elde edilen değerlerden daha büyük olduğu görülmüştür [31,6,2].

Öner, tarafından yapılan çalışmada ayçiçek yağının mevcut dizel motorlarında kullanılabilirliği araştırılmıştır. Deneyler tek silindirli hava soğutmalı bir dizel motorunda gerçekleştirilmiştir. Dizel yakıtı ve ayçiçek yağı değişik işletme şartlarında yakılarak motor performansı ve egzoz emisyonları ölçülmüştür. Dizel yakıtı ve ayçiçek yağının aynı işletme şartlarında egzoz emisyon ve motor performanslarının farklı olduğu görülmüştür. Bu farklılığın ayçiçek yağının HC zincir yapısı, viskozitesi, yoğunluğu, ısıl değeri, buharlaşma basıncı ve buharlaşma sıcaklığı (kimyasal ve fiziksel özellikler) gibi özelliklerinin dizel yakıtına göre farklı olmasından ileri geldiği sonucuna varılmıştır. Dizel yakıtı ve ayçiçek yağı ile yapılan ölçümlerde her iki yakıt türü için özgül yakıt tüketiminin benzer karakteristik özellik gösterdiği ve düşük devirlerde yüksek olan özgül yakıt tüketiminin artan devir ile düştüğü görülmüştür. Bunun, artan devir sayısı ile birim zamandaki çevrim sayısının artması ve motor gücünün yükselmesinin doğal sonucu olduğu belirtilmiştir. Aynı zamanda özgül yakıt tüketiminin artan devir sayısı ile tekrar yükselmesinin yanma reaksiyonları için yeterince zaman bulunamamasından ileri geldiği belirtilmektedir. Bütün ölçüm noktalan için ayçiçek yağı kullanımında daha az yakıt tüketimi olduğu ve ısıl verimin de dizel yakıtına nazaran biraz daha yüksek olduğu görülmüştür. CO değerlerinin dizel yakıtına göre daha yüksek olduğu, is oranının düşük ve orta devirlerde dizel yakıtından yüksek olduğu ve yüksek devirlerde ise dizel yakıtından daha düşük olduğu, motor gücünün ise bütün devirler için dizel yakıtından biraz daha düşük olduğu gözlenmiştir. Sonuçta bazı olumsuzluklara rağmen motor ayarlarında yapılacak değişiklikler ve bazı düzenlemeler ile ayçiçek yağının dizel motorlarında kullanılabileceği görülmüştür [21].

Aydın ve Keskin tarafından yapılan çalışmada pamuk yağı metil esterinin dizel yakıtı ile 30/70, 50/50 ve 70/30 oranlarındaki karışımları tek silindirli bir dizel motorunda kullanılıp, motor performans ve egzoz emisyon değerleri ölçülerek elde edilen değerler dizel yakıtı ile karşılaştırılmıştır. Dört çeşit yakıt (30/70 PYME/DY, 50/50 PYME/DY, 70/30 PYME/DY, %100 DY) için de maksimum tork değeri olan 2200 d/d' da yapılan çalışmada sırasıyla 8.6 Nm, 8.6 Nm, 8.5 Nm ve 8.9 Nm tork elde edilmiştir. Yapılan deneylerde kullanılan bütün yakıt çeşitleri için maksimum güç 2500 d/d'de elde edilmiştir. Bu motor hızında dört çeşit yakıt için sırasıyla 2.13 kW, 2.12 kW, 2.08 kW ve 2.23 kW güç elde edilmiştir. Karışım yakıtlarıyla yüksek ve düşük motor devirlerinde elde edilen güç değerlerinin dizel yakıtı ile elde edilen değerlere yakın olduğu görülmüştür. Karışım yakıtların özgül yakıt tüketimlerinin dizel yakıtına göre daha yüksek olduğu bunun da bitkisel yağların alt ısıl değerlerinin dizel yakıtına göre düşük olmasından kaynaklandığı belirtilmektedir. Isıl

değerdeki %5-10 civarındaki farkın özgül yakıt tüketimini de yaklaşık aynı oranda arttırdığı görülmüştür. Karışım yakıtların kullanımı esnasında enjektör memesi çevresinde karbon birikintisi ve motor yağında incelmenin olduğu ve bu sorunu gidermek için yakıt püskürtme basıncının yükseltilmesi gerektiği belirtilmektedir [7].

Mazed tarafından (1984) yapılan çalışmada, çeşitli bitkisel yağların dizel motorlarda kısa ve uzun süreli motor performans ve emisyon testleri yapılmıştır. Araştırmada 2 silindirli, hava soğutmalı biri direkt püskürtmeli, diğeri ise indirekt püskürtmeli (ön yanma odalı) dizel motorları seçilmiştir. Deney esnasında yakıt olarak Philips 2 no'lu dizel yakıtı ile fıstık yağı, soya ve pamuk yağı kullanılmıştır. Deney esnasında motorlarda 10 ayrı bitkisel yağ/dizel yakıt karışımı kullanılmıştır. Her 4 yakıtın (dizel, fıstık yağı, soya ve pamuk yağı) direkt kullanılmakla birlikte dizel yakıt ile hacimsel olarak %10 bitkisel yağ (BY)/ %90 dizel yakıt (D), 25/75 BY/D, 75/25 B Y/D ve %100 BY yakıt karışımları kullanılarak motor performans değerleri ve emisyon değerleri ölçümü gerçekleştirilmiştir. Yakıt dağıtım sistemi dizayn edilerek ilk çalışma dizel ve sonra BY olacak şekilde düzenlenmiştir. Deney ASAE standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Motorun İlk çalışmasına dizel yakıtı ile başlanarak motorun referans değerleri tespiti için deney sonuçları not edilmiş, sonra bitkisel yağ/dizel yakıtı karışımları kullanılmıştır.

Düz yanma odalı motorda, sabit devirde (3000 d/d) karışımda bitkisel yağ oranı (hacimsel) arttığında motor çıkış gücünde dizel yakıta göre azalmalar görülmüştür. (10F-90D,10S-90D,10P-90D) karışımlarında birbirine yakın güç değerleri (3.32, 3.29, ve 3.07 kW) elde edildiği görülmüştür. Aynı sonuç 25BY/75D karışımında da görülmüştür. Özgül yakıt tüketiminde ise dizel yakıtına göre artışlar gözlenmiştir. Ön yanma odalı motorda ise sabit devirde (2500 d/d) BY karışım oranına bağlı olarak kısa süreli test esnasında %l-5 güç düşüşü olduğu, yakıt tüketiminde ise %1-14 arası bir artış olduğu görülmüştür [19,6,2].

Hemmerlein, Korte ve Richter (1991) tarafından kolza (rapseed oil) yağının modern dizel motorlarında yakıt olarak kullanım imkanları araştırılmıştır. Bu çalışmada dizel motorları 500-600 saat çalıştırılmıştır. Bitkisel yağ ile çalışan dizel motor fikrinde en son motor teknolojisinin mevcut yakıt kalitesine adapte edilmesi gerektiği belirtilmiştir. Deneyler neticesinde motor termik verimi incelendiğinde, kolza yağı ile çalışan bir dizel motorunun yalnız dizel yakıtı kullanılan bir dizel motoruna göre ısıl veriminin %2 daha yüksek olduğu, motor moment ve güç değerlerine bakıldığında ise bu performans parametrelerinin dizel yakıtı kullanıldığında kolza yağına göre biraz yüksek olduğu ve her iki çalışmadaki farkın önemsenemeyecek düzeyde olduğu belirtilmiştir. Bu araştırma neticesinde, kolza yağının fiziksel ve kimyasal olarak dizel yakıtına benzediği, ön yanma

odalı ve büyük silindirli motorlarda %100 kolza yağının dizel motoru yakıtı olarak sürekli kullanılabileceği ifade edilmektedir. Aynı zamanda iyi yanmayan bitkisel yağların, yağlama yağında incelme ve yanma odasında karbon birikintileri meydanagetirdiğive600saatlikdeney sonrasında piston segmanlarında ve gömleklerde karbon birikintisi oluştuğu görülmüştür. Kolza yağının yakıt olarak kullanıldığı 500 saat ve 600 saatlik test esnasında 155saatve 225 saat sonrası sırasıyla direkt ve indirekt püskürtmeli motorların arızalandıkları belirtilmiştir [13,6,2].

Bitkisel yağların yüksek viskoziteden dolayı püskürtme problemi ve düşük ateşleme kalitesine sahip oldukları için dizel motorlarında kullanımı uygun görülmemiştir. Ancak bitkisel yağların reçineden temizlenmesi, esterleştirilmesi veya motor geliştirme yoluna gidilmesi ile dizel motorlarında rahatlıkla kullanılabileceği belirtilmiştir. Yağın tam yanmama probleminin turboşarj veya oksijen zenginleştirilmesi ile ortadan kaldırılabileceği belirtilmiştir [35,14].

Yücel (1998) tarafından yapılan çalışmada pamuk yağının dizel motorlarında kullanılabilirliğini araştırmak için tabii emişli motorlar kullanılmıştır. Yapılan deneylerde performans ve emisyon ölçümü için Bedford ve Tempest 15VD marka iki dizel motor, motor elemanlarının durumlarım tespit için de Pancar marka bir dizel motor kullanılmıştır. Pancar marka motor ile yapılan deneylerde 25/75 Pamuk Yağı/ Dizel Yakıtı, 50/50 Pamuk Yağı/ Dizel Yakıtı, 75/25 Pamuk Yağı/ Dizel Yakıtı ve % 100 Dizel Yakıtı kullanılmıştır. 100 saatlik çalışma sonunda motorin ile çalışmada meydana gelen yanma odası, piston, supap ve enjektör kalıntıları kolay temizlenebildiği halde pamuk yağı karışımları ile çalışmada oluşan kalıntılar güçlükle temizlenebilmiştir. Yanma odası, piston, supap ve enjektörde oluşan kalıntının karbon olduğu hususunda kesin kanaate varılmıştır. Pamuk yağı oranı arttıkça segman yuvaları ve segman yüzeylerinde aşırı tortu olduğu ve 100 saatlik çalışmada segman yapışması ve segman kırılması olmadığı belirtilmektedir. Aynı zamanda egzoz supabı tablasında, piston tablasında ve silindir kafasında oluşan karbon miktarının artan pamuk yağı yüzdesi ile çoğaldığı ve aşırı kalıntılara bitkisel yağların yüksek viskozitesinin ve fakir atomizasyonunun sebep olduğu belirtilmektedir [2].

Bedford ve Tempest 15VD marka dizel motorlar ile yapılan çalışmada %100 Dizel Yakıtı, 10/90 Pamuk Yağı/ Dizel Yakıtı, 20/80 Pamuk Yağı/ Dizel Yakıtı, 30/70 Pamuk Yağı/ Dizel Yakıtı, 40/60 Pamuk Yağı/ Dizel Yakıtı, 50/50 Pamuk Yağı/ Dizel Yakıtı, 60/40 Pamuk Yağı/ Dizel Yakıtı karışımları kullanılmıştır. Deneyler neticesinde dizel yakıtı kullanımında, pamuk yağı karışımlarına nazaran CO ve HC emisyonlarının daha düşük olduğu, is ve NO_X emisyonlarının ise daha yüksek olduğu belirtilmektedir. Motor güç ve moment değerlerinin ve termik verimin de pamuk yağı karışımları kullanımında dizel yakıtına göre biraz düşük olduğu

belirtilmektedir. Aynı zamanda özgül yakıt sarfiyatının dizel yakıtına göre daha fazla olduğu ve bunun pamuk yağı karışımlarının yoğunluğundan kaynaklandığı ifade edilmektedir [37].

Quick, Wilson ve Woodmore (1982) tarafından, bitkisel yakıt olarak bezir yağının (linseed oil) tarım traktörlerinde yakıt olarak kullanımı üzerine çalışmalar yapılmıştır. Yapılan araştırmada, 5 mikrona kadar filtre edilmiş bezir yağı ile destile edilmiş bezir yağının tek silindirli direkt püskürtmeli Lombardini 720 NA motorunda performans değerleri tespit edilmiştir. Araştırmacılar, tork ve güç değerlerinin, destile edilmiş bezir yağının filtre edilmiş bezir (Linseed oil) yağından her çalışma şartlarında daha iyi olduğunu belirlemişlerdir. 1800 d/d da filtre edilmiş beziryağı île destile edilmiş yağın kullanıldığı motorda güç 4.5 kW ve 5 kW, özgül yakıt tüketimleri ise sırasıyla 0.34 l/kWh ve 0.27 l/kWh'dir. Yine 2900 d/d'da bu değerler sırasıyla güçte 6.8 kW ve 8 kW, özgül enerji tüketimin de ise 0,30 l/kWh ve 0.39 l/kWh olarak tespit edilmiştir [26,6,2].

Rakopolulos (1992) tarafından yapılan araştırmada, 4 zamanlı, direkt enjeksiyonlu, indirekt enjeksiyonlu ve türbülanslı yanma odalı dizel motorlarında yüzde olarak 25/75 ve 50/50 oranlarında atık zeytinyağı ve ticari dizel yakıtı karışımları kullanılmıştır. Bu karışımın (dizel+zeytinyağı) yakıt raketimi, azami basınç, egzoz sıcaklığı, egzoz dumanlaması, azot oksit (NO/NO_X), hidrokarbonlar (HC) ve karbon monoksit (CO) gibi egzoz gazı emisyon değerleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Her bir motorun performans ve egzoz emisyon parametrelerindeki farklılık belirlenmiş ve karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmada, bu karışımlar kullanıldığında düz yanma odalı (DI) ve ön yanma odalı (IDI) motorlarda özgül yakıt tüketiminde küçük bir artış olduğu, egzoz dumanında hafif bir artış olduğu, özellikle de değişmeyen maksimum basınç ve egzoz sıcaklığı gösterdiği belirtilmektedir. Ayrıca bu karışımlar kullanıldığında düz yanma odalı (DI) ve ön yanma odalı (IDI) motorların her ikisi için de azot oksit emisyonlarında (NO_X) hafif bir azalma olduğu, HC emisyonlarında artış görülmediği ve CO emisyonlarında ise önemli bir artış olmadığı belirtilmektedir [27,6].

Kucera ve arkadaşları (1982), değişik sıcaklıklarda kullanılan ayçiçek yağı ve karışımlarını tipik tarım traktörlerindeki dizel yakıt sistemleri için test etmişlerdir. Sonuçta yaz şartlarında ve ayçiçek yağının düşük yüzdelerinde olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Ayçiçek yağının yüksek yüzdeleri için ve soğuk ortam şartlarında sistemin dizaynında değişiklikler gerektiği belirtilmiştir [16,37,2].

Barsic ve Humke (1981) tarafından yapılan çalışmada ham soya yağı ve ham soya yağı/dizel yakıtı karışımları 6 silindirli, direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda kullanılıp, motor performans ve emisyon karakteristikleri dizel yakıtı ile karşılaştırılmıştır. Ham soya yağının viskozitesinin ve yoğunluğunun dizel yakıtına göre yüksek olmasından dolayı tam

gazda motor gücünde artış olduğu buna karşın özgül yakıt tüketiminin artığı ve aynı zamanda CO, HC ve partikül madde emisyonlarının dizel yakıtına göre yüksek olduğu, NOx emisyonlarının ise daha düşük olduğu belirtilmektedir [17,37,2].

Yücesu ve arkadaşları (1999) tarafından tek silindirli bir dizel motorunda alternatif yakıt olarak çeşitli bitkisel yağ ve esterlerinin motor performans ve egzoz emisyonlarını incelemişlerdir. Tam gaz-değişik devir ve sabit devir-değişik yük deneyleri sonucunda bitkisel yağların performans değerlerinin dizel yakıtından daha düşük olduğu, duman koyuluğunun ve NO_X emisyonlarının dizel yakıtına göre daha yüksek olduğu belirtilmektedir. Diğer taraftan bitkisel yağ esterlerinin motor performans değerlerinin ham yağlardan daha iyi ve dizel yakıtı performans değerlerine daha yakın olduğu belirtilmiştir [38,2].

Pryor ve arkadaşları (1983), küçük dizel motorlarında yakıt olarak soya yağı kullanılması üzerine araştırmalar yapmışlardır. Deneyde kullanılan soya yağı rafine edilmiş olup, ısıl değeri 30531 kJ/kg ve yoğunluğu 0.923 kg/dm^3, viskozitesi 60°C sıcaklıkta dizel yakıtından (#2D) 11 kez daha yüksek olduğu belirtilmektedir. Test motoru, Ford 2600 tarım traktörü motoru olup, deneyde soya yağı kullanıldığında #2 dizel yakıtına göre efektif gücün, % 3 daha yüksek olduğu, özgül yakıt tüketiminin %13-14 daha yüksek olduğu belirtilmektedir. Sonuç olarak; soya yağının kısa süreli kullanımlarda alternatif yakıt olarak kullanılabileceği, uzun süreli kullanımlarda segmanların yapıştığı, enjektör memelerinde karbon birikintisi oluştuğu görülmüştür. Test neticesinde enjektörde meydana gelen karbon birikintisinin soya yağı esterleri kullanıldığında daha az olduğu belirtilmektedir [25,6].

Bruwer ve arkadaşları (1981), ayçiçek yağını yakıt olarak kullandıkları bir araştırmada, bu yakıtın kısa süreli çalışmalarda dizel yakıtı ile karşılaştırılabilir özelliklere sahip olduğunu belirtmişlerdir. Uzun süreli çalışmalarda ise; yağlama yağı problemlerine, segmanların yapışmasına, enjektör memelerinin karbon atıklar ile tıkanmasına ve motorda mekanik olumsuzluklara sebep olduğu ifade edilmiştir. Ayrıca G.Afrika'da yapılan bir çalışmada, hava ile soğutmalı, ön yanma odalı bir motorun; %100 ayçiçek yağı ve %70 yükle, 2300 saat süreyle başarıyla çalıştığı belirtilmiştir. Bunun, ayçiçeğinin motor yakıtı olarak kullanılabilirliği konusundaki kuşkuları giderecek nitelikte önemli bir sonuç olduğu ifade edilmiştir [10,6].

Karaosmanoğlu ve arkadaşları (1992), kullanılmış kanola yağı ve kanola yağı/dizel yakıtı karışımlarını dizel motorlardaki performans ve emisyon durumlarını incelemişler ve 20/80 kanola yağı/dizel yakıtı karışımlarının dizel motorlarında kullanılabileceğini belirtmişlerdir [15,37,2].

Lowry (1990) tarafından, bitkisel yağların dizel motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılabilirliği, fiyatları ve sosyal etkileri incelenmiştir. Kısa süreli çalışmalarda bitkisel

yağların elverişli olduğu, uzun süreli çalışmalarda ise motor performansı ve ömrünün azaldığı belirtilmiştir [18,37,2].

Alibaş ve arkadaşları (1993) tarafından yapılan çalışmada motorin, yer fıstığı yağı/motorin ve ayçiçek yağı/motorin karışımlarının dizel motorlarında kullanılabilirliği araştırılmıştır. Yakıt pompasının maksimum yakıt gönderme oranında bitkisel yağ karışımlarından elde edilen güç değerlerinin yaklaşık olarak motorin ile çalışmadaki değerlere eşit olduğu hatta 50/50 bitkisel yağ/motorin karışım oranında motorine nazaran %6 daha fazla güç elde edildiği ancak özgül yakıt tüketiminde %20 daha yüksek değerlerin elde edildiği belirtilmektedir. Bitkisel yağ karışımları kullanıldığında CO, HC ve partikül madde oranının motorine göre yaklaşık olarak iki kat arttığı, NO_X emisyonları açısından ise fazla bir fark olmadığı belirtilmektedir [5,2].

Özaktaş, yaptığı çalışmada ayçiçek yağı, mısırözü yağı, zeytin yağı ve soya yağlarının motorin ile karışımlarından elde edilen yakıtların 6 silindirli bir dizel motorunda performans ve emisyon özelliklerini incelemiştir. Bitkisel yağ/motorin karışımlarının dizel motorunda kullanılması halinde motorine nazaran motor performansında düşme olmadığı ve is emisyonlarında önemli azalmalar meydana geldiği belirtilmektedir [22,2].

Ryon ve Bagby (1993) yaptıkları araştırmada, dört değişik bitkisel yağı, (ayçiçek yağı, bir kere rafine edilmiş pamuk yağı, soya yağı, fıstık yağı) yüksek basınç ve yüksek sıcaklığın bulunduğu ortamda azot içerisine enjekte etmişler, yakıt enjeksiyonu açısından aynı sonuçlan bulmuşlardır. Bu yağların enjeksiyon esnasında numuneleri toplanmış, numunelerin kimyasal analizleri, enjeksiyon işlemi sırasında yağlarda önemli kimyasal değişikliklerin oluştuğunu göstermiştir. C 18:2 ve C 18:3 yağlı asitlerde düşük molekül ağırlıklı bileşimlerin oluştuğu belirtilmektedir [28,6].

Schlick, Hanna ve Schnstock'in 1988 yılında yaptıkları bir araştırmada, direkt enjeksiyonlu bir motorda, mekanik olarak çıkarılmış ve rafine edilmiş soya ve ayçiçek yağı/#2 dizel yakıtıyla hacimsel olarak 25/75 oranında karıştırılarak kullanılmasının performansa etkilerini değerlendirmek üzere, verilerin elde edilmesi için, 200 saat süreyle sabit güç testi uygulanmıştır. Yanma odaları parçalarında görülen aşın birikintilerin, en azından deney yapılan motorda bu yakıtların kullanımını engelleyecek düzeyde olmadığı belirtilmektedir [31,6].

Schwab (1987), bitkisel yağların dizel yakıtı olarak kullanılması için uygulanacak metotlar ve yakıt özelliklerini ele almıştır. Bitkisel yağlar ile motorin arasın da viskozite yönünden önemli farklar olmasından dolayı bunların dizel motorlarda kullanılabilir hale getirilmesi gerektiğini ve bu konuda uygulanabilecek metotları belirtmiştir. Seyreltme,

mikroemülsiyon oluşturma, bağ parçalama ve ester transferi metotlarını ve elde edilen yakıtların fiziksel özelliklerini vermiştir [32,37,2].

Ziejewski ve Kaufman (1983), çalışmalarında yama odasında özellikle enjektöe memesinde karbon birikimi olduğunu belirtmişlerdir. Yakıt emisyonunun azalması sonucu, yanma veriminin düşmesi, yağlama yağının katılaşması, piston ve segman yapışması gibi problemlerin de ortaya çıktığı ve bu durumlara karşı yeni tedbirlerin alınması zorunlu hale gelmiştir. Bunun için de farklı deneylerin yapılması tavsiye edilmiştir [14].

Klopfenstein ve arkadaşları (1983), yağ asitleri olan laurik, myristik, sreatrik, linoleik ve linoleik asitlerin metil esteri, oleik asidin etil ve bütil esterlerini dizel motoru yakıtı olarak etkilerini ölçmek amacıyla dizel motorlarında yakmışlardır. Motor momenti ve güç düşüşü gibi olumsuz ve kirletici emisyonları düşüşü gibi olumlu sonuçlar bulmuşlardır [14]. Walker ve arkadaşları (1983), bitkisel yağları kısa süreli yüklerde oranlanmış hızlarda çalışan tek silindirli direkt enjeksiyonlu bir motorda deneyerek motor performansındaki etkilerini araştırmışlardır. Özgül yakıt tüketiminin ve termal etkilerin bu yakıtlar ile sınırlandığını görmüşlerdir [14].

Wagner (1984), soya yağı esterlerinin motor performansı ve yağlama üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Bitkisel yağ esterlerinin kendini meydana getiren ham bitkisel yağlardan daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmiştir [34,37,2].

Demirsoy ve Kındıroğlu (1997) tarafından yapılan çalışmada, ayçiçek, soya ve pamuk yağlarının motorin ile % 15 ve %20 oranlarındaki karışımları tek silindirli direkt püskürtmeli bir dizel motorunda kullanılmıştır. Ayçiçek ve soya yağlarının motorin ile karışımlarının, %100 motorin ile yaklaşık aynı güç değerlerini verdiği görülmüştür. %15 ayçiçek yağı karışımıyla da motorine göre daha fazla moment ve düşük devirlerde daha az, yüksek devirlerde daha fazla özgül yakıt sarfiyatı tespit edilmiştir. %20 ayçiçek yağı karışımlarının moment değeri düşük ve özgül yakıt tüketiminin fazla olduğu belirtilmiştir. Soya yağı/motorin karışımlarından elde edilen yakıtların moment değerlerinin %100 motorin değerlerine yakın olduğu, yakıt tüketiminin de %20 soya yağı karışımında arttığı görülmüştür. %15 pamuk yağı karışımında moment, güç ve yakıt sarfiyatı değerlerinin %100 motorin ve %20 pamuk yağı karışımına göre yüksek çıktığı belirtilmektedir [11,2].

Bitkisel yağlarla ilgili yapılan bir çok araştırmada motor aksamı üzerinde hiç bir değişiklik yapılmaksızın dizel yakıtları ile karşılaştırılabilir derecede önemli performanslar elde edilmiştir. Bitkisel yağların yüksek viskozitelerinden dolayı yakıt atomizasyonunun azalması sonucu, yanma veriminin düşmesi, yanma odasında özellikle enjektör memesinde karbon birikimi oluşması, yağlama yağının katılaşması, piston segman yapışması gibi problemlerin de ortaya çıktığı ve bu durumlara karşı yeni tedbirlerin alınması gerektiği belirtilmiştir. Son

zamanlarda kolza yağının metil, etil veya bütil esterleri uzun vadede kullanıldığı taktirde bu etkilerin azalacağı yapılan deneylerle ispatlanmıştır. Bu yakıtların formüllerindeki oksijen varlığı ve üretimindeki sülfür yokluğundan dolayı ester kullanımının çok ümit verici olduğu belirtilmektedir [14,24,39,2].

Aksoy ve arkadaşları (1988), Bitkisel yağlardan zeytin yağının motor yakıtı olarak kullanılması halinde bazı problemler ortaya çıktığını belirtmiştir. Yüksek viskoziteden dolayı iyi bir püskürtme olmayışı ile motorun enjektör memeleri ile silindirlerde karbon birikimleri görülmüştür. Buna karşılık bu yağın mono esterlerinin dizel motoru yakıtı olarak kullanılması önerilmiştir [14].

Yahya (1988) tarafından yapılan çalışmada, 4 silindirli sıra tipi 56 kW gücünde (2500 d/d) 17,2:1 sıkıştırma oranında John Deere traktör motorunda soya yağı metil esteri ve tallow metil esteri alternatif yakıt olarak kullanılmıştır. Bu çalışmada değişik püskürtme avans ve basınçlarında motor karakteristikleri ile emisyon değerlerinin #2 Philips dizel yakıtı ile karşılaştırılması yapılmıştır. Yakıtların fiziksel ve kimyasal özellikleri laboratuvarlarda ASTM metotlarına uygun test edilmiştir. Deneyler; püskürtme basınçları P_1:18.6± 0.69 MPa ve P_2:24.1± 0.69 MPa, Püskürtme avansları ise T_1 :19° ÜÖN'dan önce ve T_2: 14° ÜÖN'dan önce değerlerinde yapılmıştır. Deneyler sonucunda esterlerin viskozitelerinin yüksek olması ve ısıl değerlerinin düşük olmasından dolayı aynı motor gücünü elde edebilmek için yakıt tüketimlerinin dizel yakıtına göre daha fazla olacağı belirtilmektedir. Her iki yakıt enjeksiyon avansında, basıncın artmasıyla tüm yakıt tüketimlerinin %6,4-7 arasında azaldığı belirtilmektedir. Aynı zamanda düşük devirlerde her iki ester kullanıldığında efektif güç çıkışlarının %5,6-8 daha fazla olduğu görülmüştür [36,6,2].

3. YAKITLAR

Yakıldığı zaman enerji veren herhangi bir maddeye yakıt adı verilir. En çok kullanılan yakıtlar temelde hidrojen ve karbondan oluşur. Bu yakıtlara hidrokarbon adı verilir ve C_nH_m genel formülüyle belirtilir. Her fazda hidrokarbon yakıt vardır.

Sıvı hidrokarbon yakıt, genellikle değişik hidrokarbonların karışımı olmasına karşın, tek bir hidrokarbon olarak göz önüne alınır. Örneğin benzin, oktan, $C_8H_{18;}$ dizel yakıtı, dodekan, $C_{12}H_{26}$ olarak kabul edilir [3].

Sıvı hidrokarbonlar, bünyelerinde az miktarda O_2, N_2, S, H_2O ve bazı metalleri bulunduran ham petrol türevleridir. Aralarındaki belli başlı özellik farkları hidrojen ve karbon atomlarının sayıları ve bağlantı şekilleri ile belirlenmektedir.

İçten yanmalı pistonlu motorlarda yakıt enerjisinin ısı enerjisine dönüşümü silindir içinde yakıt ile hava arasındaki kimyasal reaksiyonla olur. Bunun için yakıt-hava karışımı en az kimyasal reaksiyon süresi kadar silindir içinde kalmalıdır. Bu nedenle motorlarda, yanma olayını kısa bir zaman içinde yerine getirebilecek özellikteki yakıtlar kullanılmalıdır. İçten yanmalı pistonlu motorlarda genel olarak sıvı hidrokarbonlar kullanılmaktadır [29].

Petrol ve türevlerinin içten yanmalı motorlarda yaygın kullanımı, ülkelerin, politik ve ticari münasebetlerinden dolayı yeni alternatif yakıt arayışlarına yönelmelerine neden olmuştur. Başta ABD ve Almanya olmak üzere pek çok ülkede; bitkisel yağların dizel motorlarında kullanımı üzerine araştırmalar yapılmaktadır [33].

Günümüzde çevre biliminin hızla yayılması nedeniyle, bitkisel yağların sülfür içermemesi ve çevreye zarar vermemesi de önemli bir alternatif yakıt olarak kullanım imkanlarının araştırılmasına katkıda bulunmuştur [27]. Bitkisel yağlar, meyve çiçeği ve tohum yağlarıdır.

3.1. Dizel Yakıtları (Motorin)

Karbon sayısı 8 ile 16 arasında olan sıvı HC bileşenlerini ihtiva eden bir karışımdır. Az miktarda kükürt, azot, kül, su ihtiva eden dizel yakıtı Türkiye'de mazot olarak isimlendirilmektedir, ayrıca dizel motorlarında alternatif yakıt olarak bitkisel yağlar da kullanılmaktadır [9].

3.2 Dizel Yakıtlarında İstenen Bazı Özellikler

3.2.1. Uçuculuk

Uçuculuk; dizel motorlarında kullanılan yakıtın yanması için yüksek oranda gerekmese de çalışmayı kolaylaştırmak ve dumansız bir yanma için gerekli olan iyi bir hava-yakıt karışımı sağlayabilmek amacıyla bir dereceye kadar gereklidir [6].

Yüksek uçuculuktaki yakıtlar; küçük güçlü, yüksek devirli otomotiv motorlarında kullanılmaktadır. Çünkü otomotiv motorlarında yük, hızlı bir şekilde değişebilir.Yüksek uçuculuktaki yakıtlar bu tür yüksek devirli motorlarda tam yanma nedeniyle daha iyi ekonomisi sağlar, az duman, koku, artık oluşturur, küçük miktarda kirlenme ve aşınmaya neden olurlar.

Herhangi bir yakıt motor silindirine püskürtüldüğü zaman, önce buharlaşır ve sonra tutuşarak yanar. Özellikle soğuk mevsimlerde veya soğuk ilk hareket koşullarında herhangi bir yakıt, püskürtme ile tutuşma arasındaki zaman aralığında, tümü ile buharlaşmaz veya tam yanma için verilen zaman aralığında buharlaşma yeterli olamaz. Bu gibi durumlarda, yanmayan veya kısmen yanan sıvı yakıt, beyaz veya gri dumana neden olur [4].

3.2.2. Karbon Artığı

Akaryakıt ısıtılıp buharlaştırıldıktan sonra uçucu maddeleri yakılır ve geriye bir takım artıklar kalır. Bunlara "Karbon Artıkları" adı verilir.

Eğer dizel yakıtları oldukça büyük bir miktar artık bırakacak maddeyi içeriyorsa, motor silindirlerinde eksik yanma sırasında karbon birikintileri meydana gelecektir.yakıtların artık bırakma eğilimi "Artık Katsayısı" ile belirlenir. Bu sayı Conradson adı verilen deney cihazıyla tespit edilir. Artıklar katsayısı ağır devirli, yüksek güçlü dizel motorlarında k=0,04 ve yüksek devirli dizel motorlarında ise k=0,005 dolaylarındadır.

Bir yakıtın yüksek karbon artığı vermesi; supap yuvaları, supaplar ve portlarda karbon yığılmalarına neden olur. Bu artıklar yağlama yağı ile birleşerek motor için zararlı yapışkan maddeleri oluştururlar. Yapışkan maddeler segmanlarla kanalları arasına girerek,oralarda katılaşma eğilimi gösterir ve segmanların yuvalarında hareketsiz kalmalarına neden olurlar. Karbon artıkları ayrıca , supap yuvalarında birikerek, oralarda supapların kapanmasına engel olan sert katmanlar oluştururlar. Bunun sonucu olarak dumanlı egzoz ve ilk hareket zorlukları başgösterir [4].

3.2.3. Viskozite

Bir yakıtın viskozitesi iç sürtünme direncidir veya yakıtın akmaya karşı gösterdiği dirençtir [4]. Dizel motorlarında silindire püskürtülen yakıt huzmesi içerisinde farklı boyutlarda yakıt parçaları oluşur. Bu parçacıkların büyüklüğünü temel olarak; enjeksiyon basıncı, enjektör memesi delik çapı ve viskozite belirler. Yakıt tanelerinin boyut ve miktarları bu parametreler değiştirilerek düzenlenir.

Yakıtın viskozitesi, yakıt bir enjektörden hava içine püskürtüldüğünde oluşacak yakıt huzmesini çok etkiler. Viskozite büyüdükçe yakıtın zerrelere ayrılması azalır, dolayısıyla iri yakıt zerreciklerinin miktarı fazlalaşır [9].

Yağlama, hareketli parçalar arasındaki sürtünme, aşınma ve kaçak gibi etkenler viskozite ile ilgilidir. Fakat püskürtme sisteminin temel elemanlarının, özellikle yüksek basınç pompasının plancır ve silindirlerinin yağlanması, akaryakıt tarafından sağlandığından, viskozitenin belirli bir değerden küçük olmaması gerekir. Yakıt püskürtme pompasının plancırı ile silindir arasına giren yakıt, viskozite ile ters orantılıdır. Bir başka değişle kaçakların artması, viskozitenin küçülmesi veya bunun tersi viskozitenin çoğalması, kaçakların azalması demektir. Bu nedenle çok küçük viskoziteli akaryakıtların, pompa kayıplarının çoğalmasına neden olacağı gerekçesiyle, dizel motorlarında kullanılmaları uygun değildir.

Diğer taraftan viskozite gereğinden küçük olmamalıdır. Çünkü viskozitenin artması, püskürtme sırasında büyük bir direncin meydana gelmesine neden olur. Bu istenmeyen yüksek viskozite belki hafif yakıtlar için iyi olabilir. Çünkü istenilen püskürtme sağlanıncaya kadar püskürtme basıncı yükseltilebilir. Çok ağır ve viskoz yakıtlar hava ile püskürtmeli motorlarda da kullanılır. Bu gibi durumlarda yakıtın iyice ısıtılması gerekir.

Sonuç olarak; dizel motorlarının yakıtlarında yüksek viskoziteli dumanlı egzoz, düşük viskozite ise enjektör iğnesi ve iğne silindirinin aşınmasına, yakıt pompası kaçaklarına ve alt karterdeki yağlanma yağının yakıt tarafından kirlenmesine neden olur [4].

3.2.4. Setan Sayısı

Dizel yakıtının tutuşma meylinin ölçüsü olarak setan sayısı kullanılmaktadır. Setan ($C_{16}H_{34}$) düz zincir yapıda parafin grubundan bir yakıt olup, setan sayısı 100 olarak kabul edilmiştir. Alfametilnaften'in ($C_{10}H_7CH_3$) ise setan sayısı sıfırdır [29].

Setan sayısı, setan ve alfametilen'den oluşan bir yakıt karışımında hacimsel olarak setan yüzdesidir. Alfametilnaften yakıt ile eş yanma özelliğinde olup, kömür katranının damıtılmasından elde edilen bir hidrokarbondur. Setan çok iyi, oysa alfametilnaften zayıf ya da fakir yanma özelliğindedir [4].

3.2.5. Kükürt

Piston segmanları ve silindir gömleklerinin aşınmasını hızlandırması, piston eteklerinde karbon artıkları ve karterde yağ çamuru oluşturması nedeniyle, dizel yakıtlarında kükürdün varlığı istenmez Bu nedenle yakıtların kükürt içeriklerine bir sınır konulmuştur.

Yapısında %5'ten az kükürt bulunan yakıtlarla çalıştırmada, makinelerin silindirlerinde sadece hafif birikintiler meydana gelmektedir. Eğer kükürt oranı bu değeri aşacak olursa, pistonların giderek kirlendiği, segman yuvalarının karbon artıkları ile dolmaya başladığı görülecektir. Kükürt oranının %1'den fazla olması durumunda, segmanların yuvalarında tutması veya takozlaşması olayı başlamaktadır.

Kükürt atmosferde yakıldığı zaman kükürt dioksit oluşur. Buna karşın yakıtlardaki kükürdün bir bölümü, yanma sırasında kükürt trioksidi oluşturur. Kükürt trioksit (SO_3) bir yandan yanma asitlerini oluştururken, diğer yandan da aşınmaların artmasına ve çamur oluşumuna neden olur [4].

3.2.6. Yanma ve Tutuşma Özelliği

Tutuşma özelliği yakıtın sıkıştırılmış hava içine püskürtüldüğünde yanmaya yatkınlığını gösterir. Yanma özelliği iyi olan bir yakıt, tutuşma gecikmesinin küçük oluşu nedeniyle derhal yanar. Fakir tutuşma özelliğindeki yakıtlar ise, büyük bir tutuşma gecikmesi oluşturarak yanarlar [4].

Dizel motorlarında yakıt buharı-hava karışımının sıkıştırma sonu basınç ve sıcaklığında kendi kendine tutuşabilmesi için ideal yakıtların tutuşma meyillerinin benzinin aksine yüksek olması istenir.tutuşma meylinin düşük, yani tutuşma gecikmesi (TG)'nin zaman olarak büyük olması durumunda yanma için ayrılabilen KMA aralığı azalır. Ayrıca TG süresince yanma odasında biriken ve ani olarak yanan yakıt miktarı da artacağından mekanik zorlamalara neden olan yüksek basınçlar ve ani basınç değişimleri ($dP/d\alpha$) ortaya çıkar (dizel vuruntusu).

Dizel yakıtın tutuşma meylinin ölçüsü olarak setan sayısı kullanılmaktadır. Setan ($C_{16}H_{34}$) düz zincir yapıda parafin grubunda bir yakır olup, setan sayısı 100 olarak kabul edilmiştir. Alfametilen'in ($C_{10}H_7CH_3$) ise setan sayısı sıfırdır. Bu iki yakıtın karışımının setan sayısı, hacimsel olarak, karışımın % setan miktarı ile belli olur [29].

3.3. Bitkisel Yağların Özellikleri

3.3.1. Kinematik Viskozite

Bitkisel yağların yakıt olarak kullanılmasında akla gelen ilk soru süreklilik problemidir. Bu problem bitkisel yağların yüksek viskozitesine bağlıdır. Genellikle yağların viskoziteleri, doymamışlık arttıkça azalmaktadır. Bitkisel yağların zincir uzunluklarının artışı ile viskozitenin arttığı, buna karşın çift bağ sayısının artışı ile viskozitenin düştüğü belirlenmiştir [28,6].

Yakıt taneciklerinin iri olması halinde yüksek buharlaşma hızlarında bile buharlaşmaları çok zaman alır. Özellikle yüksek devirlerde bu zamanı bulamayacakları için egzoz isli olur, silindirde çiğ karbon birikir. Cidarlar yeterince sıcak değilse ataletleri yüksek tanecikler cidara ulaşabilir ve emisyon daha kötü olur [9].

Bitkisel yağlar doymamışlık derecelerine göre yağlama yağında farklı oranlarda polimerleşerek yağın viskozitesini artırmakta bu da sonuçta motor arızalarına yol açmaktadır. Bitkisel yağların yakıt olarak kullanımında bir başka kısıtlayıcı faktör de düşük sıcaklıklarda katılaşma eğilimi göstermeleridir. Bu problemi dizel yakıtı ile karışım oluşturmak veya bir çeşit ön ısıtma uygulamak suretiyle çözüm getirilmektedir. Viskozite probleminin çözümü için genel olarak şu yöntemler önerilmektedir: Bitkisel yağlara belirli oranlarda dizel yakıtının karıştırılması, metil alkol ve etil alkol gibi kısa zincirli alkoller ile mikro emülsiyon oluşturulması, kimyasal bağların daha küçük moleküller oluşturmak üzere kırılması işlemi, bitkisel yağın küçük molekül ağırlıklı bir alkolle katalizör varlığında gliserin ve yağ asidi esteri oluşturmak üzere reaksiyona girmesi [32,37,2].

3.3.2. Setan Sayısı

Tablo 3.1. incelendiğinde bitkisel yağların setan sayılarının 34-42 arasında değiştiği görülmektedir. Motorinin setan sayısı ise yaklaşık olarak 47'dir.

Bitkisel yağların, setan sayısı, düşük donma süresi ve akma noktası gibi özellikleri dizel motorlarında alternatif yakıt olarak kullanımını ortaya koymaktadır.

Donma noktası sıcaklığı kış aylarında büyük önem taşır. Dizel motoru için -10 °C civarındadır. Bu sebeple dizel yakıtı kış koşullarında akıcılığının azalması veya donma gibi sorunlar ortaya çıkarmaktadır [29].

3.3.3. Bitkisel Yağların Isıl Değerleri (Yanma Isısı)

Bitkisel yağların alternatif yakıt olarak kullanılmasında ön önemli özelliklerinden biri de ısıl değerleridir. Tablo 3.1. incelendiğinde bitkisel yağların ısıl değerleri yaklaşık olarak 37500kj/kg-39500kj/kg arasında değişmektedir.

Bitkisel yağların ısıl değerleri birbirlerine yakındır. Dizel yakıtının ısıl değeri 42000-45000 kj/kg arasındadır. Dizel yakıtı ile bitkisel yağlarının ısıl değerleri arasında yaklaşık olarak %10 oranında bir fark vardır. Bitkisel yağların etil veya metil esterlerinin ısıl değerleri daha yüksek ve dizel yakıtına daha yakındır .

Örneğin; Ticari kaynaklardan elde edilen ayçiçek ve pamuk yağının ısıl değerleri sırasıyla 36327 kj/kg ve 36700 kj/kg olarak belirlenmiştir. Bu yağların metil esterlerinin ısıl değerleri ise 39342 kj/kg ve 40763 kj/kg'a yükselmiş ve buda alternatif yakıt kullanımında yağ esterlerini gerek viskozite gerekse ısıl değerler yönünden ön plana çıkarmaktadır [14].

Tablo 3.1 Bitkisel yağların bazı özellikleri [40,6].

Bitkisel yağlar	Viskozite (mm^2/s)	Setan Sayısı	Isıl Değeri (kj/kg)	Alevlenme Noktası (°C)	Yoğunluk (kg/l)	Karbon Artığı (% ağırlık)	Kükürt (% ağırlık)
Hint Yağı	297		37274	260	0,9537	0,22	0,01
Mısır Yağı	34,9	37,6	39500	277	0,9095	0,24	0,01
Pamuk Yağı	33,5	41,8	39468	234	0,9148	0,24	0,01
Bezir Yağı	27,2	34,6	39307	241	0,9236	0,22	0,01
Yer Fıstığı Yağı	39,2	41,8	39782	271	0,9026	0,24	0,01
Kolza Yağı	37,0	37,6	39709	246	0,9115	0,30	0,01
Aspir Yağı	31,3	41,3	39519	260	0,9144	0,25	0,01
Susam Yağı	35,5	40,2	39349	260	0,9133	0,25	0,01
Soya yağı	32,6	37,9	39623	254	0,9138	0,27	0,01
Ayçiçek Yağı	33,9	37,1	39575	274	0,9161	0,23	0,01
2 Nolu Dizel	2,7	47	45343	52	0,8400	<0,35	<0,01

(Ölçümler. 38 °C'ta Yapılmıştır.)

3.3.4. Fındık Yağının Özellikleri

Tablo 3.2. Ham fındık yağına ait bazı özellikleri [2].

Yağ asitleri	Kütlesel oran (%)	Kapalı formül	Karbon ve çift bağ sayısı	Molekül ağırlığı	Mol sayıları (küt./mol.ağ.)
Palmitik asit	5,55	$C_{15}H_{31}COOH$	16/0	256,42	0,0216
Stearik asit	2,66	$C_{17}H_{35}COOH$	18/0	284,47	0,0093
Oleik asit	80,79	$C_{17}H_{33}COOH$	18/1	282,48	0,2860
Linoleik asit	10,21	$C_{17}H_{31}COOH$	18/2	280,44	0,0364

Doymuş yağ asitleri : %8,46

Tekli doymamış yağ asitleri: %81,19

Çoklu doymamış yağ asitleri: %10,35

Yağ asitleri doymuş ve doymamış olarak iki gruba ayrılmaktadır. Doymamış yağlar gerek bitkilerde ve gerekse hayvanlarda aynı temel yapıya sahiptir. Yağ asidi adı verilen organik kimyasal birimlerin yağ içindeki sayıları ve dizilişleri arasında farklar vardır. Bu farklar, yağların birbirinden farklı özellikler göstermesine yol açar. Karbon, hidrojen ve oksijenin birbirine bağlı bir yapı oluşturarak meydana getirdiği yağ asitlerinde karbon önemli bir yer tutar. Karbon sayısı ve karbonlar arasındaki bağların çift veya tek oluşu "doymuş" veya "doymamış" adı verilen yağ türlerini meydana getirir. Eğer yağ doymamışlığın yüksek bir derecesine sahip ise motorun içinde hızlı bir şekilde polimerize olur. Doymamışlık miktarı hidrojen atomlarının yerleşmemiş olmasına bağlıdır. Bütün hidrojen atomları yerleşmiş ise yani her karbon atomu zinciri iki hidrojen atomunu tutmuş ise bu oluşum doymuş bir yağ asididir. Karbon atomlarının arasındaki çift bağ sayısı ne kadar fazla ise yağ asidi o kadar doymamış yani sıvı haldedir. Karbona hidrojen eklenmesi ile bu bağlar bire indirilirse o zaman doymuş yani katı yağ elde edilir. Doymamışlık miktarı yükselirken erime noktası düşer [21].

Palmitik ve stearik asidin çift bağ sayısı olmayıp doymuştur. Oleik yağ asidi bir çift bağa, linoleik asit iki çift bağa sahiptir.

4. YANMA

Yanma, yakıtın oksijenle birleştiği ve büyük miktarda enerjinin açığa çıktığı bir kimyasal reaksiyondur. Bir yanma işleminde, yanmanın tam olduğunu kabul ederek yapılan çözümlemenin sağladığı bazı bilgiler vardır. Yanma işlemi sırasında, eğer yakıt içindeki karbonun tümü CO_2'ye, hidrojenin tümü H_2O'ya ve varsa kükürdün tümü SO_2'ye dönüşüyorsa yanma tam yanmadır. Başka bir değişle, yakıt içinde bulunan yanabilecek tüm bileşenler tam olarak yanarlar. Yanma sonu ürünleri arasında yanmamış yakıt veya C, H_2, CO, ve OH gibi bileşenler varsa yanma işlemi tam değildir.

Yanma için yeterli olan oksijenin bulunmaması, yanmamasının tam olmamasının açık nedenlerinden biridir, fakat tek nedeni değildir. Hatta yanma odasında tam yanma için gerekli oksijenden daha çoğunun bulunduğu durumlarda bile, yanma tam olmayabilir. Bunun nedenlerinden biri, yakıtın ve oksijenin bir arada olduğu süre içinde yeterince karışmamasıdır. Yanmanın tam olmamasının bir başka nedeni de yüksek sıcaklıklarda önem kazanan ayrışmadır.

Hidrojen atomlarının oksijen atomlarını çekim kuvveti, karbon atomlarına oranla daha büyüktür. Bu nedenle yakıt içerisindeki hidrojen, ortamda tam yanma için gerekli olan oksijenden daha az oksijen bulunsa bile, tümüyle H_2O'ya dönüşür. Buna karşılık karbonun bir bölümü yanma sonu ürünleri arasında CO veya C parçacıkları olarak görülür.

Yanma işleminde kullanılan yakıt ve hava miktarı biliniyorsa, ayrıca yanma tam kabul edilebilirse, yanma sonu ürünlerinin oranlarının hesaplanması daha kolay olur. Bu durumda hiçbir ölçüme gerek kalmadan yanma denkleminde yer alan her elemente kütlenin korunumu denklemini uygulamak yeterlidir. Gerçek bir yanma işleminde ise yanma sonu ürünlerinin miktarlarının belirlenmesi daha zordur. Her şeyden önce, gerçek yanma işlemleri, fazla havanın olması durumunda bile tam değildir. Bu nedenle yanma sonu ürünlerini sadece kütlenin korunumu ilkesine göre belirtmek olanaksızdır. Bu durumda kalan tek seçenek, yanma sonu ürünlerinin miktarlarını doğrudan ölçmektir.

Yanma sonu ürünlerinin analizi genellikle orsat cihazı ile yapılır. Bu cihazda yanma sonu ürünlerinin bir örneği alınır, oda sıcaklık ve basıncına soğutularak hacmi ölçülür. Örneğin CO_2 için işlem yapılırsa, CO_2'yi soğuran bir kimyasal maddeyle bir araya getirilir. Geri kalan gazlar yeniden oda sıcaklığı ve basıncına getirilerek kapladıkları hacim ölçülür. Hacimdeki azalmanın önceki hacme oranı, CO_2'nin yanma sonu ürünleri içindeki hacimsel oranıdır. Mükemmel gaz davranışı kabul edilirse, bu aynı zamanda CO_2'nin mol oranıdır. Diğer gazların hacimsel oranları da yukarıdaki işlemi tekrarlayarak bulunur. Orsat analizinde gaz örneği her zaman su üzerine toplanır ve karışım doymuş haldedir. Bu nedenle suyun buhar basıncı tüm deney süresince sabit kalır. Böylece deney odasında su buharının varlığı göz ardı edilebilir ve

sonuçlar kuru esasa göre verilir. Yanma sırasında H_2O, her zaman yanma denkleminin dengesiyle bulunabilir [3].

4.1 Dizel Motorlarında Yanma

Dizel motorlarında yanma olayı, yanma odasına yakıtın püskürtülmeye başladığı andan, yanma ürünlerinin dışarıya atıldığı egzoz zamanı başlangıcına kadar geçen süre içerisindeki karmaşık fiziksel ve kimyasal olayları kapsamaktadır. Dizel motorlarında yanma odası içinde homojen bir karışım yoktur. Yüksek sıcaklık ve basınçtaki ortama püskürtülen yakıtın buharlaşmaya başlaması ile birlikte reaksiyonlar da oluşmaya başlamaktadır. Ancak başlangıçta, bu reaksiyonların hızı çok düşük olduğundan, basınçta belirgin bir artış görülmez. Tutuşma gecikmesi süresi sonunda, tutuşma başladığı anda yanma odasındaki alev gözlenebilir ve P-V diyagramında basınç artışı belirgin hale gelir.

Dizel motorlarında, yanmanın tutuşma gecikmesinden sonraki aşamasında, benzin motorlarında olduğu gibi yanmış bölgeden yanan bölgeye enerji ve kütle iletim sonucunda yanmanın belirli bir yön ve hızda gerçekleşmesi söz konusu değildir. Dizel motorlarında yanma olayını etkileyen ve yanmayı devam ettiren, yanma bölgesindeki sıcaklık, basınç, karışım oranı ve oksijen miktarını belirleyen yerel koşullardır. Ancak yanmanın gelişimi yerel koşullara bağlı olmakla, komşu bölgelerden olan ısı ve kütle iletimi ve yanma odasındaki hava hareketleri de bu gelişime etkin olmaktadır. Pistonun ÜÖN'ya yakın bir konumunda yanma odasına sıvı halinde püskürtülen yakıt demetini oluşturan damlacıklar ısınır ve buharlaşmaya başlar. Havanın karşı basıncı tarafından frenlenen demette, damlacıklar yavaşlar ve küçük damlacıklar demetin dış kısmına doğru yönelir. Tutuşma için gerekli hava-yakıt oranı sağlandığında ilk yanma burada başlar.

Dizel motorlarındaki yanma olayı dört faza ayrılarak incelenebilir:

- tutuşma gecikmesi,
- kontrolsüz yanma,
- difuzyon kontrollü yanma,
- art yanma

Burada, püskürtme başlangıcı noktasından, tutuşma başlangıcı noktasına kadarki süre tutuşma gecikmesi olarak tanımlanır. Tutuşma gecikmesi sonunda kontrolsüz yanma başlar ve genellikle maksimum basıncın olduğu noktaya kadar devam eder. Daha sonraki yanma fazı difüzyon kontrollü yanma fazı olup, bu fazın maksimum yanma odası sıcaklığına ulaşıncaya kadar devam ettiği kabul edilir. Genişlemenin ilerlemesi sonucu sıcaklığın düşmeye başlaması ile birlikte art yanma fazı başlar.

Dizel motorlarında verimli bir yanma için, yanma odasında yeterli hava ve yanma için yeterli süre bulunmalıdır. Ayrıca sıcaklıklarında yerel olarak yeterli düzeyde (yükseklikte) bulunması gerekmektedir. Yanma olayını yanma odasındaki ortalama değerlerden çok yerel koşullar etkilemektedir. Bu bakımdan motorun düşük dönme sayılarında hava hareketlerinin azlığı, yüksek dönme sayıların da ise yetersiz süre düşük volümetrik verim sonucu eksik kalan hava miktarı nedeniyle yanma verimi düşmektedir. Eksik yanmanın en belirgin sonucu is oluşumudur.

Geç yapılan püskürtme, ya da uzun süren TG sonunda yanmanın egzoz zamanına doğru uzaması da is oluşumuna neden olur.

İs motor elemanlarının ömrünü olumsuz etkiler, piston ve silindirleri aşındırır. İs ayrıca segman yuvalarına girerek aşındırır. Supap oturma yüzeylerinde birikerek supapların iyi kapanmasını önler. Bunu sonucu olarak, buradaki sıcak egzoz gazlarının oluşturduğu daimi akım supapların hasar görmesine neden olur. Ayrıca egzoz gazlan içindeki is partikülleri çevre sağlığı açısından zararlıdır.

İs ölçümü birim hacim egzoz gazlarındaki partiküllerin ağırlıkları ölçülerek kantitatif olarak veya foto elektronik yöntemlerle egzoz gazı koyuluğu ölçülerek kalitatif olarak yapılmaktadır [29].

5. EGZOZ GAZLARI VE ÇEVRE

Dizel makinelerinde ister doğrudan (direkt) isterse dolaylı (endirekt) püskürtme olsun, yakıt yüksek basınç akında, sıkıştırılarak yüksek sıcaklığa eriştirilmiş hava içerisine püskürtülür. Silindirdeki sıkıştırılmış havanın sıcaklığı, yakıtın tutuşma sıcaklığından yüksek olduğu için yanma başlar ve oluşturulan iş makinenin krank şaftına iletilir.

Yanma olayı; mümkün olan en az hava, maksimum ekonomi ve verilen bir devir sayısı ve piston deplasmanında maksimum gücü sağlamalıdır.

Yanma; yanmamış yakıt parçacıkları, karbonumsu madde birikimi ve dumanlı egzoza neden olacağından tam olmalıdır.

Yukarıda belirtilen gerekleri yerine getirebilmek için, yakıtın belirli bir kimyasal yapıya sahip olması gerekir. Bilindiği gibi, dizel yakıtları büyük oranda karbon ve hidrojen kapsayan karbonlu hidrojen olarak kabul edilebilirler.

Tam yanma sırasında karbonlu hidrojenlerin tümü karbondioksit ve su buharı oluşturur. Ancak yanmanın tam olmaması silindirlerde karbon monoksit oluşumuna da neden olur. Ayrıca, silindirlere fazla hava verilmesi nedeniyle "azot oksitler", yakıtların yapısındaki kükürt nedeniyle de "kükürt oksitler" oluşur [4].

5.1. Egzoz Gaz Emisyonları

Bir dizel motorunun silindirlerini terk eden egzoz gazlan sadece karbondioksit, su buharı, azot ve oksijen kapsamaz, ayrıca karbon monoksit, nitrojen oksitler, karbonlu hidrojenler, oksitlenmiş bileşikler, kükürt oksitler ve karbon da içerirler. Denilebilir ki dizel motorlarının yanma odalarında oluşan türlü tepkimeler sonucu, egzoz gazlan yüzlerce farklı bileşikler oluşmasına neden olur. Bunların içerisinde birçoğunun çevre ve insan sağlığına zararlı etkileri vardır [4].

5.1.1. Karbondioksit

Karbon ve hidrojenden oluşan karbonlu hidrojenlerin tam yanması sırasında yanma ürünleri karbondioksit, su buharı, oksijen ve nitrojen kapsar. Belirli bir miktardaki yakıtın tam yanması sırasında, belirli miktarda karbondioksit oluşur [4].

Karbondioksit, makine silindirlerinde yakılan yakıt miktarı ile kontrol edilebilir. Ne kadar çok yakıt yakılırsa, o kadar fazla karbondioksit üretilir. Dolayısıyla karbondioksit emisyonunun kontrol edilmesine gerek yoktur [4].

5.1.2. Karbon monoksit

Yanma sıcaklığı çok yüksek değerlere erişmediği taktirde ve tam yanma sırasında egzoz gazlan CO_2, H_2O, O_2 ve N_2 dışında çok az miktarda CO kapsayabilir. Eğer silindirlerdeki yanma yeterli olmayan hava ile gerçekleştirilirse, karbon monoksit meydana gelmesi kaçınılmaz olur.

Motor silindirlerinde karbon monoksit oluşmasının sebeplerinden biride "ayrışma" ya da "disosiasyon" olayıdır. Yüksek yanma sıcaklıklarında yanma ürünleri veya son ürünler olan CO_2 ve H_2O parçalanarak, element durumlarına dönüşürler ve bu dönüşme sırasında belirli miktarda ısı emerler. Böylece gazların basınç ve sıcaklığı, ayrışmadan önceki basınç ve sıcaklıktan daha düşük olur ve indike iş azalır. Ancak indike iş ayrışan elementlerin (C ve H) sonraki yanmaları sırasında kısmen normal değere erişir. Bu arada, karbondioksit ayrışması sırasında CO ve O, su buharının ayrışması sırasında da H ve O meydana gelir. CO_2 ve H_2O'nun ayrışması yüksek sıcaklıkta artar.

Disosiasyon olayı sırasında hidrojen, karbona göre daha aktif bir element olduğundan oksijen ile birleşerek karbondioksit meydana getirir. Ancak küçük bir bölümde açıkta kalır. Dolayısıyla 1800 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda disosiasyon ve ardından CO oluşumu başlar.

Yapılan araştırmalarda; t_z =2000 °C yanma sıcaklığı ve p_z =100 barlık yanma basıncında, karbondioksitin ayrışma derecesi %4 ve su buharının ki ise %1 olarak saptanmıştır.

Karbon monoksit renksiz, kokusuz ve çok zehirli bir gazdır. Kandaki hemoglobin , oksijene göre karbon monoksite 200 misli daha haristir.

Karbon monoksit insan sağlığına çok zararlı etkisi dışında, motorlarda önemli miktarda ısı kayıplarına da neden olmaktadır.

Daha önce de belirtildiği gibi, karbon monoksit eksik ya da zayıf yanma sonucu oluşur. Çoğu zaman dizel motorları fazla hava ile çalıştıklarından, karbon monoksit emisyonu düşük düzeydedir. Bu nedenle dizel motorları, yasal gerekleri karşılamada fazla bir zorlukla karşılaşmazlar.

Karbon monoksit derişimi; hava-yakıt karışımının 100/1 olduğu motorların düşük yüklerinde milyonda birkaç kısmı, türboşajlı, hava-yakıt oranının 25/1 olduğu doğrudan püskürtmeli motorlarda ve büyük yüklerde veya hava-yakıt karışımının 20/1 olduğu doğal emişli motorlarda 3000 ppm dolaylarındadır [4].

5.1.3.Kükürt Oksitler

Pratikte; dizel motorlarında kullanılan yakıtlar sadece C ve H' den oluşmazlar. Yapılarında küçük miktarda kükürt de bulunur. Yüksek devirli motorların hafif yakıtları %0,3, orta ve ağır devirli makinelerin yakıtları ise maksimumu %5 oranında kükürt içermektedirler. Yakıtlar içindeki kükürt bileşikleri silindirlerde tümüyle yanar, kükürt dioksit ve onunda oksijen alması sonucu kükürt trioksit oluştururlar.

Kükürt dioksit, solunduğu zaman zehirli, özellikle basınç altında gözlerde ve mukozada kuvvetli tahriş edici, tehlikeli biçimde hava kirletici bir gazdır. Kükürt trioksit ise; çok tehlikeli, dokular için zehirli bir gazdır. Sözü edilen gazlar su ile birleştikleri zaman sülfüroz (H_2SO_3) ve sülfürik asitleri (H_2S0_4) oluştururlar.

Büyük miktarda kükürt oksitleri; atmosfere verdikleri takdirde asit yağmurlarına da neden olmaktadırlar [4].

5.1.4.Nitrojen Oksitler

Yanmayı oluşturmak için dizel motorlarının silindirlerine, termodinamik olarak hesaplanan kuramsal hava miktarının çok daha fazlası verilir. Fazla hava katsayısı ile karakterize edilen gerçek miktardaki havada oksijenin bir bölümü nitrojenle tepkimeye girerek "Nitrik oksitler" ve bir miktar oksijen ise nitrojen dioksiti oluşturabilir.

Nitrojen veya azot oksitleri denilince: Nitrojen monoksit (N_2O), nitrik oksit (NO), nitrojen trioksit (N_2O_3), nitrojen dioksit (NO_2), dinitrojen pentoksit (N_2O_5), nitrojen tetroksit (N_3O4) ve dayanıksız olan NO_3 anlaşılmalıdır.

Bu oksitler, özellikle NO_2 yanma sırasında dizel ve benzin motorlarının silindirlerinde meydana gelen ve hava kirliliğinden sorumlu olan gazlardır.

Yukarıda sözü edilen gazlardan nitrojen (azot) dioksit (NO_2) çok zehirli, solunulduğunda öldürücü olabilen, havada maksimum 5 ppm miktarında bulunmasına müsaade edilen bir gazdır.

Nitrojen oksitleri emisyonu yanma odalarında iki mekanizma tarafından oluşturulur. Bunlardan biri "Zel dovich" ve diğeri ise hemen oluşan NO emisyonudur. Nitrojen oksitleri her iki halde de havadaki oksijen ve nitrojenin tepkimesinden oluşur:

$$O + N_2 = NO + N$$

$$N + O_2 = NO + O$$

şeklinde olur ve birinci tepkimeden nitrojen oksit miktarı tespit edilir. Bu mekanizma büyük oranda sıcaklık ve lineer olarak oksijen atomu derişimine bağlıdır ve yakıt türünden bağımsızdır.

Hemen oluşma mekanizması; moleküler nitrojen ile karbonlu hidrojen parçaları ile tepkimesini kapsar. Bu mekanizma sadece zayıf sıcaklığa bağlıdır ve dizel makinelerinde yakıtın zayıf yanması sonucu nispeten küçük oranda NO şeklinde görülür. Böylece Zel dovich mekanizması dizel motorlarından gelen nitrojen oksitlerin kontrolü için kullanılır. Çünkü nitrik oksitlerin büyük bir bölümü, yanma olayının başlangıcında meydana gelir.

Dizel motorları tarafından üretilen nitrik oksitlerin emisyonu, kontrol teknikleri daha çok diğer emisyonlar veya yakıt tüketimleri için geliştirildiklerinden, en zor kontrol edilebilen emisyonlardır.

Yakıt püskürtme zamanlaması, nitrik oksit emisyonlarını çok etkileyici bir etkendir. Püskürtme zamanlaması veya zamanlamasının geciktirilmesi, tüm dizel motorlarında, nitrik oksit emisyonunun azaltılmasını sağlayan yararlı bir yöntemdir. Doğrudan püskürtmeli motorlarda yanmanın üst ölü noktadan 5 derece önce üst ölü noktadan 2-4 derece sonraki aralıkta başlatılması duman oluşması ve yakıt tüketiminin artmasına neden olur. Oysa, ön yanma odalı veya endirekt püskürtmeli motorlarda bu durum NO_X emisyonlarını önemli şekilde azaltır. Çünkü bu tür makinelerde normal olarak geciktirilmiş zamanlamalar kullanılır. Ön yanma odalı veya endirekt püskürtmeli makinelerde yakıt ekonomisinde bir sorun oluşmaksızın yanma ÜÖN'dan 2 derece önce başlayıp ÜÖN'dan 5 derece sonraya kadar geciktirilebilmektedir. Daha fazla geciktirme nitrojen oksit emisyonlarını azaltır, fakat hızlı bir biçimde yanmamış karbonlu hidrojen emisyonlarının artmasına neden olur.

Püskürtme miktarı nitrik asit emisyonlarının artmasına neden olur. Püskürtme miktarı ile emisyon miktarı doğru orantılıdır. Bunun nedeni yakıtın veriliş periyodu sırasında yanma meydana geldiğinde, çok sıcak alevin daha büyük miktarda NO üretmesidir. Geciktirilen zamanlamada püskürtme miktarının çoğaltılması, duman, özgül yakıt tüketimini ve nitrojen oksit emisyonları arasında değiş tokuşa neden olacak şekilde yararlı olabilir. Enjektör meme delikleri veya orifis çaplarının değiştirilmesi de benzer etkileri oluşturur. Orifis çaplan küçültüldüğü zaman daha küçük yakıt partikül veya tanecikleri oluşur ve sonuçta daha fazla miktarda nitrik oksit emisyonu meydana gelir.

Daha yüksek yanma sıcaklıkları veren herhangi bir derişiklik, NO_X emisyonlarının artmasına neden olur. Dolayısıyla hava-yakıt oranının çoğalması da nitrojen oksitleri çoğaltır. Oysa ön yanma odalı motorlarda yakıtın daha zengin olmasına karşın daha az NO_X üretilir.

Sıkıştırma oranının arttırılması da benzer şekilde, çevrim sıcaklığını yükselttiğinden, NOx miktarının artmasına neden olur.

Aşın doldurma da benzer etkilere sahiptir, ancak giriş havası sıcaklığının düşürülmesi, çevrim sıcaklığını azalttığından, büyük yüklerde, ara soğutma uygulanarak N0x miktarı kontrol edilebilir [4].

5.1.5. Partikül Emisyonu

Partiküller; karbon ve ağır karbonlu hidrojenler ve yakıttaki kükürtten kaynaklanan az miktardaki sülfürik asitten oluşmaktadırlar.

Karbon ve ağır karbonlu hidrojenler, yakıtın silindirlerde tam yanmamasından oluşurlar. Genel olarak yakıt püskürtme ve yanma sistemlerinin optimizasyonu, partikül emisyonunun azalmasına neden olur.

Yakıtın kendisi de partikül emisyonuna neden olmaktadır. Örneğin yüksek kaynama sonu sıcaklığına sahip olan bir yakıt daha yüksek partikül emisyonu oluşturur [4].

5.1.6. İs

Dizel motorlarında verimli yanma için, yanma odasında yeterli hava ve yanma için yeterli süre bulunmalıdır. Ayrıca sıcaklıkların da yerel olarak yeterli düzeyde (yükseklikte) bulunması gerekmektedir. Yanma olayını yanma odasındaki ortalama değerlerden çok koşullar etkilemektedir. Bu bakımdan motorun düşük dönme sayılarında hava hareketlerinin azlığı, yüksek dönme sayıların da ise yetersiz süre ve düşük volümetrik verim sonuçu eksik kalan hava miktarı nedeniyle yanma verimi düşmektedir. Eksik yanmanın en belirgin sonucu is oluşumudur.

Geç yapılan püskürtme, ya da uzun süre TG sonucunda yanmanın egzoz zamanına doğru uzaması da is oluşumuma neden olur.

İs, motor elemanlarının ömrünü olumsuz etkiler, piston ve silindirleri aşındırır. İs ayrıca segman yuvalarına girerek segmanları aşındırır. Supap oturma yüzeylerinde birikerek supapların iyi kapanmasının önler. Bunun sonucu olarak, buradaki sıcak egzoz gazlarının oluşturduğu daimi akım supapların hasar görmesine neden olur. Ayrıca egzoz gazları içindeki is parikülleri çevre sağlığı açısından zararlıdır.

İs ölçümü birim hacim egzoz gazlarındaki partiküllerin ağırlıkları ölçülerek kantitatif olarak veya foto elektronik yöntemlerle egzoz gazı koyuluğu ölçülerek kalitatif olarak yapılmaktadır [29].

6. MATERYAL VE METOT

6.1. Deneyde Kullanılan Yakıtlar

Bitkisel yağların dizel yakıtı olarak kullanılmasını kimyasal ve fiziksel özellikleri belirler. Bu yağların dizel motorlarında alternatif yakıt olarak kullanılması için viskozite yanma ısısı, setan sayısı ve ısıl değeri gibi parametreler büyük bir önem taşır.

Yakıt olarak ham fındık yağından elde edilen fındık yağı etil esteri ve bunların belirli oranlardaki karışımları kullanılmıştır.

6.1.1. Fındık Yağı Etil Esterinin Elde Edilmesi

Yağ esteri elde etmek için kullanılan bazı kimyasal maddeler ve özellikleri [14];

	Kapalı formülü	**Kütlesel ağırlığı**	**Yoğunluğu**	**Kaynama noktası**
Toulen	C_7H_8	91,140 gr/mol	0,87 gr/ml	111 °C
n-Hegzan	C_6H_{14}	86,160 gr/mol	0,66 gr/ml	69 °C
Sodyum Süfat	Na_2SO_4	142,040 gr/mol	-	-
Sülfürik Asit	H_2SO	498,078 gr/mol	1,84 gr/ml	-
Potasyum bikarbonat	$KHCO_3$	100,115 gr/mol	-	-
Sodyum klorür	NaCl	58,442 gr/mol		

Fındık yağı etil esteri ev ortamında aşağıdaki şekilde hazırlanmıştır;

1. 1 litre fındık yağı ile yarım litre toluen (C_7H_8) karıştırılmıştır. Bu işlem yağı çözmek için yapılmıştır.
2. Toluenle çözülen fındık yağı 5 litrelik bir deney kabına aktarılmıştır. Diğer taraftan yağın 1 litresi için 1litre % 1'lik sülfürik asit ihtiva eden etanol hazırlanmıştır. Yani % 99 etil alkol ile % 1 sülfürik asit karıştırılmıştır. Bu karışım toluenle çözülen fındık yağı ile 5 litrelik deney kabında karıştırılmıştır.
3. Karışımın bulunduğu deney kabı sıkıca kapatılmıştır. Daha önce deney kabının kapağına sızdırmaz bir şekilde yerleştirilen hortumun diğer ucu dış ortama bırakılmıştır.
4. Hazırlanan bu deney kabı 60 °C'lik su banyosunda yaklaşık olarak 8 saat ısıtılarak bekletilmiştir.
5. Su banyosundan alınan karışım oda sıcaklığına gelene kadar bekletilmiştir. Sonra bu karışımın içerisine %5'lik sodyum klorür karıştırılmıştır. %5'lik sodyum klorür, %95

su ile %5 sodyum klorür karıştırılarak elde edilmiştir. (1 litre yağ için 2 litre sofra tuzu çözeltisi kullanılmıştır.)

6. Sonra karışıma 1 litre yağ için 2 litre n-hegzan (C_6H_{14}) ilave edilmiş ve karışım iyice karıştırılmıştır. Bu işlem faz oluşturmak için yapılmıştır. Daha sonra karışım, faz oluşumu için bir süre bekletilmiştir.
7. Alt faz ve üst faz olmak üzere iki faz oluşmuştur. Alt faz ve üst faz ayırma hunisi ile ayrılmıştır. Üst fazlar bir kaba konulmuştur. Alt fazlar ise herhangi bir işlem yapılmadan atılmıştır.
8. Üst faza yağın hacmi kadar %2'lik sodyum bikarbonat çözeltisi ilave edildikten sonra iyice karıştırılmıştır. Karışım fazların ayrılmasına ve dinlenmeye bırakılmıştır. Yağ asitlerinin korozif etkilerini gidermek için sodyum bikarbonat çözeltisi kullanılmıştır. Dinlenmeye bırakılan esterde bulunan asit ve diğer maddeler kabın dibine çökmüştür.
9. Fazlar oluştuktan sonra alt faz ayırma hunisi yardımı ile atılmıştır. Daha sonra elde edilen esterin motorda daha iyi yanması için sudan temizlenmesi gerekir. Bunun için üstteki ester fazına susuz sodyum sülfat ilave edilerek iyice karıştırılmıştır. Sonuçta üst faz kurutulmuştur.
10. Elde edilen etil ester karışımı kağıt süzgeçten geçirilerek sodyum sülfattan temizlenmiş ve fındık yağının etil esteri elde edilmiştir.

Elde edilen fındık yağı etil esteri ve ham fındık yağının tablo 6.1'deki değerleri F.Ü. Kimya Mühendisliği laboratuarında ölçülmüştür.

Tablo 6.1. Ham fındık yağı ve fındık yağı etil esterinin bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

	Ham fındık yağı	**Fındık yağı esteri**	**Motorin**
Özgül kütle (gr/ml)	0,915	0,803	0,830
Viskozite (cst) (mm_2/s)	3,3 cst (37,8 °C)	0,894 cst (37,8 °C)	4,3 mm_2/s (27 °C)
Isıl Değer (kj/kg)	40170	50880	43000
Parlama Noktası (°C)	115	30	58

6.2. Gaz Analiz Cihazı

Deneylerde egzoz gazlarının analizi için Madur marka GA-40 plus model cihaz kullanılmıştır. Bu cihaz ile aşağıdaki ölçümleri yapmak mümkündür.

Ortam sıcaklığı (°C)

Egzoz gazı sıcaklığı (°C)

O_2 (%)

CO_2 (%)

CO (ppm veya mg/m_3)

NO (ppm veya mg/m_3)

SO_2 (ppm veya mg/m_3)

NO_x (ppm veya mg/m_3)

Yanma verimi (%) ve AFR

6.3. Deney Seti

Deney seti, bir test yatağı,elektrikli dinamometre, gaz analiz cihazı, Lombardini 6 *LD* 400 marka bir dizel motor ve yardımcı araçlardan oluşmaktadır. Bu düzenek F.Ü. Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Otomotiv laboratuarında bulunmaktadır.

6.3.1. Dinamometre

4750 d/d'de 24,1 Nm sabit tork veren bir doğru akım makinesidir. Motor miline bağlı olan bir çark vasıtasıyla dönen dinamometrenin yüklenmesi bir voltaj döndürücüsü ile sağlanmaktadır. Elde edilen kuvvet, dinamometrenin merkezinden 0,25 metre mesafede çalışan istenildiğinde kalibre yapılabilen yük hücreleri yardımı ile ölçülür. Elde edilen kuvvet, moment kolu ile (0,25m) çarpılıp moment hesaplanır.

6.3.2. Deney Motoru

Tablo 6.2. Deney motorunun teknik özellikleri

Maka model	Lombardini, 6 LD 400
Çalışma prensibi	4 zamanlı, direkt enjeksiyonlu
Silindir Çapı x strok	86 mm x 68 mm
Silindir sayısı x silindir hacmi	1 x 395 cm^3
Sıkıştırma oranı	18:1
Maksimum tork	20 Nm (2200 d/d)
Enjektör püskürtme basıncı	200 bar
Minimum yağ basıncı	1- 1,5 kg/ cm^3

Deneyde, deney setini oluşturan elemanların bakım ve kontrolleri yapıldıktan sonra %100 motorin ile deneylere başlanmış ve motor çalışma sıcaklığına ulaştıktan sonra motora gaz verilerek elektrikli dinamometre ile yüklenmiştir. Deneyler 2600, 2800, 3000, 3200, 3400, 3600 d/d motor hızlarında karışım yakıtlar kullanılarak yapılmıştır. Bütün ölçüm devirlerinde motor, dinamometre vasıtasıyla yüklenmiştir. Her devir sayısında motorun kararlı çalışma şartlarında ölçümler yapılmıştır. Deneylerde enjeksiyon basıncı 200 bar değerindedir.

Deneyler sonucunda motor momenti, efektif motor gücü ve egzoz emisyon değerleri ölçülmüştür.

6.4 Motor Momenti

Md = F . L (Nm)

Md: Motorun döndürme momenti (Nm)

F: Fren Kuvveti (N)

L: Kuvvet kolu uzunluğu (0,25m)

6.5. Efektif Motor Gücü

Pe = (Md.n)/9549 (kw)

Pe: Motorun efektif gücü (kW)

N: Motorun devir sayısı (dak^{-1})

Md: Motorun dönme momenti (Nm)

7. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde motor performansı ve egzoz emisyon değerlerinin motor devri sayısına bağlı olarak değişimleri grafikler ve tablolar halinde gösterilmiştir.

Deney motorunda daha önce belirtildiği gibi yakıt olarak fındık yağı etil esteri (FE) ve motorin (M) kullanılmıştır. Bunların oranları aşağıdaki şekilde belirlenmiştir.

1. %100 motorin
2. %50M + %50FE
3. %75M +% 25FE
4. %25M + %75FE
5. %100FE

Başlangıçta %100M, %50M+%50FE ve %75M+%25FE deney motorunda sırasıyla kullanılarak motor performans ve egzoz emisyon ölçümleri yapılmıştır. Sonra Motorin ile fındık yağı esterleri karışımı içerisindeki fındık yağı etil esteri oranı %75'e çıkarılmış ve motor çalıştırılmıştır. %75 fındık yağı esteri karışımı ile motorun düzensiz çalıştığı görülmüş, emisyon ve performans ölçümleri yapılamamıştır. Yakıt olarak %100 fındık yağı kullanıldığında da deney motorunun düzensiz çalıştığı görülmüş ve yine ölçümler yapılamamıştır.

Dizel motorlarında yakıt enjeksiyon pompasında yakıt basıncını yükselten elemanlar çok küçük bir toleransla üretilmektedir. Deney motorunda yakıt enjektöre 200 bar basınçla gönderilmektedir. Çok hassas olarak işlenmiş olan pompa elemanlarının yağlanması için ayrı bir yağlama sistemi olmayıp pompa elemanları, yağlama özelliği de olan yakıt tarafından yağlanmaktadır. Dizel motorlarında kullanılan motorinin viskozitesi 4,3 mm^2/s (ölçüm sıcaklığı, 27 °C) olup yağlama için bu değer uygun gelmektedir. Fındık yağı etil esteri analiz sonuçlarına bakıldığında viskozitesinin 0,894 mm^2/s (ölçüm sıcaklığı, 37,8 °C) olduğu görülmektedir. Bu değerin motorine göre çok düşük olduğu dikkate alınırsa kullanılan karışım yakıt içerisindeki etil ester oranı arttıkça viskozitesi düşmektedir. Düşük viskozite pompa yağlamasını kötüleştirmektedir. Sonuçta pompa çıkış basıncının istenilen değere (200 bar) yükselmediği söylenebilir. Nitekim yakıt olarak sadece fındık yağı etil esteri kullanıldığında pompa basıncı enjektör püskürtme basıncına ulaşamadığından enjektörlerden yakıtın istenilen şekilde püsküremediği görülmüştür.

7.1. Motor Momenti

İçten yanmalı motorlarda piston üzerine etki eden ortalama basınçla piston tepe alanının çarpımı, pistonu doğrusal olarak hareket ettiren kuvveti vermektedir. Bu kuvvetin biyel konumuna göre biyel açısı kullanılarak hesaplanan bileşeni krank milini döndüren kuvvettir (bu kuvvet krank yarıçapına dik olmalıdır). Krank milini döndüren kuvvet ile krank yarıçapının çarpımı motor momentini vermektedir. Bu durumda motor momentini etkileyen en önemli faktörler, krankı döndüren kuvvet ve pistonun konumudur. Buna göre motor momenti ortalama indike basınca (P_{mi}) ve dolayısıyla ortalama efektif basınca (P_{me}) bağlı olarak değişmektedir.

Ortalama indike basınç (P_{mi}), motor performansının bir göstergesi olarak kullanılır. Oysa pratikte yaygın olarak ortalama efektif basınç (P_{me}) kullanılmaktadır. Ortalama efektif basınç, ortalama indike basıncın bir kısmı olarak kabul edilir, geri kalan kısım sürtünmeyi ve hareketli parçaların ataletini yenmek için kullanılır.

Ortalama efektif basınç, yanmanın bir fonksiyonu olarak değişir. Böylece yanmaya etki eden faktörler (sıkıştırma oranı, enjektör yapısı, püskürtme basıncı ve avansı, motor devri, türbülans, yakıtın viskozitesi, setan sayısı, yoğunluğu, ısıl değeri...) ortalama efektif basınca da etki edecektir.

Fındık yağı etil esteri, motorin ve bunların %25FE + %75M, %50FE + %50M ve %75FE + %25M şeklindeki karışımları deney motorunda kullanılmıştır. Deneyler sırasında elde edilen motor moment değerleri tablo 7.1.'de ve moment değerlerinin devir sayısı ile değişimi şekil 7.1.'de verilmiştir.

Şekil 7.1. incelendiğinde kullanılan bütün yakıtlar için moment değerlerinin düşük devirlerde düşük olduğu görülür. Düşük devirlerde yakıt tüketiminin ve buna bağlı olarak motor gücünün düşmesi motor momentini de düşürmektedir. Ayrıca daha yüksek devirlere göre gaz hızının az olması ve iyi bir yanma için gerekli olan türbülansın sağlanamaması moment üzerinde etkilidir. Motor devri arttıkça hava hareketleri artar ve yanma iyileşir. Devir sayısının artmasıyla motor momentinin de belirli bir değere kadar arttığı ve tekrar düştüğü görülmektedir. Yani devir sayısı arttıkça motor momenti de sürekli olarak artar diyemiyoruz. Motorlar için öyle bir devir sayısı vardır ki bu devir sayısında ortalama efektif basınç maksimumdur ve bu anda moment de maksimuma ulaşır. Motor bu devir sayısının altında veya üstünde çalıştırıldığında motor momenti düşer. Yük altında çok yüksek devirlere çıkıldığında devir sayısına bağlı olarak piston hızı artmaktadır. Bu durumda yanma reaksiyonlarının gerçekleşmesi için yeterli zaman bulunamaz. Dolayısıyla genişleme sürecinde yanma daha uzun devam etmekte ve ortalama efektif basınç düşmektedir.

Şekil 7.1.'de motor momenti eğrileri karşılaştırıldığında %50M + %50FE ve %75M + %25FE kullanıldığında elde edilen motor moment değerlerinin %100M göre daha yüksek

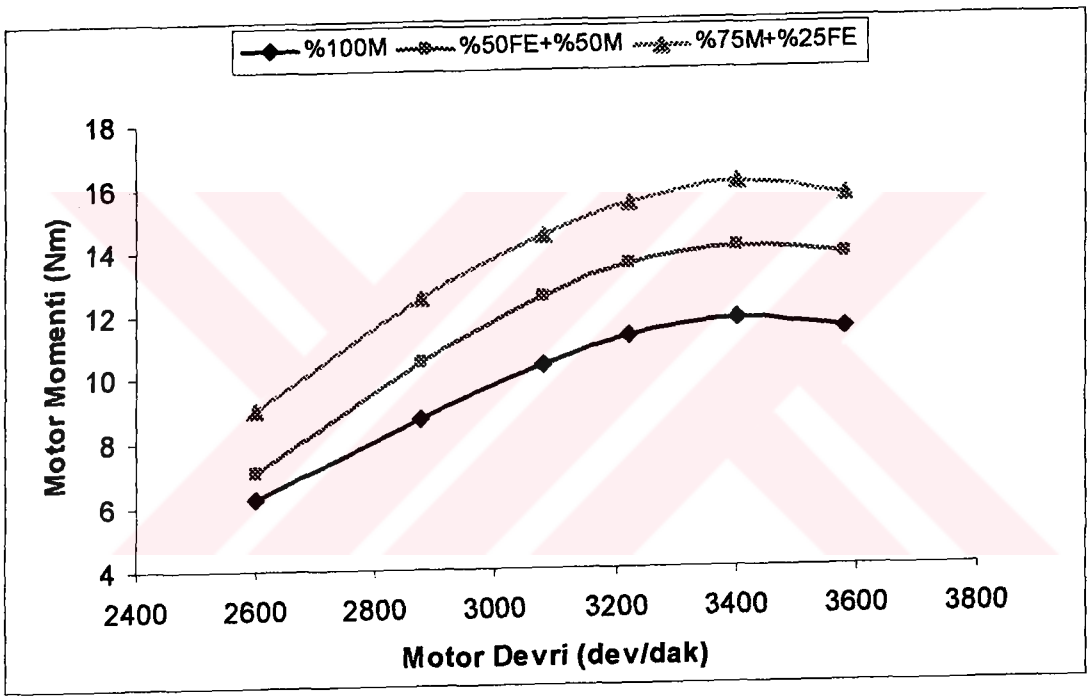
olduğu görülmektedir. Bu durum fındık yağı esterinin ısıl değerinin motorine göre daha yüksek olmasının bir sonucudur.

%50M + %50FE ile %75M + %25FE karşılaştırıldığında %75M + %25FE karışım yakıtının moment değerleri, %50M + %50FE karışım yakıtına göre daha fazladır. Bu durum düşük viskoziteye bağlanabilir. %50M + %50FE karışımının viskozitesi, %75M + %25FE karışımının viskozitesinde daha düşüktür. Viskozitenin belli bir değerin altına inmesi püskürtme sırasında yakıt taneciklerinin çok ince olmasına sebep olur. Bu durum yakıt taneciklerinin ataletini düşürür ve iyi bir yanma için gerekli olan karışım sağlanamaz çünkü çok düşük viskoziteli yakıtlar enjektörden püskürür püskürmez buharlaşır.

Şekil 7.1.'de %25M + %75FE ve %100FE'nin moment eğrileri görülmemektedir. Bu iki yakıt deney motorunda kullanılmıştır. Fakat deney motoru sabit bir devir ve yük altında çalıştırılamamıştır. Örneğin; motor devri önce yüksüz olarak 3000-3400 dev/dak'ya kadar çıkarılmıştır, sonra motor yüklenip yakıt verildiği halde kendiliğinden yaklaşık 1000 dev/dak'ya kadar düşmüştür. Yakıttaki fındık yağı esteri oranının yüksek olması karışım yakıtın viskozitesini düşürmüştür. Motorun böyle düzensiz çalışması, bu çok düşük viskozitenin bir sonucu olabilir. Kullanılan bu yakıtların viskozite değerleri motorininkinden yaklaşık 2-3,5 kat daha düşüktür. Düşük viskozitenin, püskürtülen yakıt taneciklerinin daha çabuk buharlaşmasına sebep olduğu önceden belirtilmişti. Yakıtın daha çabuk buharlaşması da tutuşma gecikmesinin (TG) çok kısa olmasına neden olur. Bu yüzden tutuşma gecikmesi sırasında biriken yakıt miktarı, iyi bir yanma için birikmesi gereken yakıt miktarından çok azdır. Bu durumda TG'den sonra gelen ani yanma sürecinde gereken basınç sağlanamaz. Çünkü normal TG süresi, ani yanma safhasındaki süreye göre daha fazla dolayısıyla püskürtülen yakıt miktarı da TG safhasında daha fazladır. Normal TG'de biriken bu yakıt ani yanma safhasında yanarak basınç yükselmesine neden olur. TG çok kısa olan yakıtlarda bu basınç yükselmesi oluşturulamaz. Bu durumun, motorun belirli bir devirde ya da yükte düzenli çalışmasına engel olacağı düşünülebilir. Karışım yakıttaki fındık yağı etil esteri oranı arttıkça bir eksik yanma ürünü olan CO'nun da artması bu düşünceyi güçlendirmektedir.

Tablo 7.1. Motorin ve Karışım Yakıtlarından Elde Edilen Motor Momenti Değerleri.

Devir (dak^{-1})	Motor Momenti (Nm)				
	%100M	%25FE+%75M	%50FE+%50M	%75FE+%25M	%100FE
2600	6,25	9	7,1	-	-
2800	8,74	12,5	10,6	-	-
3000	10,31	14,4	12,47	-	-
3200	11,12	15,45	13,5	-	-
3400	11,75	16,03	14	-	-
3600	11,6	15,63	13,78	-	-



Şekil 7.1. Motorin ve Fındık Yağı Etil Esteri - Motorin Karışımlarının Yakıt Olarak Kullanımından EldeEdilen Motor Moment Eğrileri

7.2. Motor Efektif Gücü

İçten yanmalı motorlarda indike güç (P_i), piston üzerinde çalışan akışkan tarafından yapılan işin gerçek değeridir. İndike güç (P_i) ile efektif güç (P_e) arasındaki fark mekanik sürtünme (piston, yataklar vb.) tarafından absorbe edilen güçtür. $P_e = P_{me}.H.A.n_ç.z$ şeklinde ifade edilmekte ve gücü etkileyen temel parametrelerin ortalama efektif basınç ve devir sayısı olduğu görülmektedir. P_{me} değeri, motorun issiz çalışması şartıyla ne kadar yüksek olursa dizel

motorunun iyilik derecesi o kadar artar. Bu yüzden is sınırını geçmeyecek şekilde yakıt miktarı artırılır.

Fındık yağı etil esteri, motorin ve bunların karışımları deney motorunda kullanılmıştır. Deneyler sırasında elde edilen motor güç değerleri tablo 7.2.'de ve güç değerlerinin devir sayısı ile değişimi şekil 7.2.'de verilmiştir.

Şekil 7.2'ye bakıldığında bütün yakıtlar için motor gücü eğrilerinin düşük devirlerde düşük olduğu ve devir sayısı arttıkça motor gücünün de arttığı görülmektedir. Bu, devir sayısının artması ile birim zamandaki çevrim sayısının artmasının doğal bir sonucudur. Devir sayısı arttıkça hava hareketlerinin de artması hava yakıt karışımının hazırlanması ve daha homojen bir karışım oluşumu üzerinde oldukça etkilidir. Motor devri arttıkça, yanma odası ve hava giriş şekline bağlı olarak yanma odasındaki hava hareketleri türbülans oluşturabilmektedir. Türbülanslı bir hareket hava yakıt karışımının daha homojen olmasını sağlamakta ve yakıt moleküllerinin hava içerisindeki oksijenle temasını artırmaktadır. Sonuçta yanma odası içerisinde yerel zengin karışımların azaldığı söylenebilir. Bütün bunlar yanmayı olumlu yönde etkilemektedir. Sonuçta devir artışı ile birlikte motor gücünün artması bilinen bir gerçektir. Yanmanın iyilik derecesinin belirlenmesinde yanma odası sıcaklığı bir ölçüt olarak kullanılabilmektedir. Şekil 7.3'e bakıldığında bütün yakıt türleri için artan motor devri ile egzoz gazı sıcaklığının arttığı görülmektedir. Bu, yüksek devirlerde daha iyi bir yanma olduğu tezinin bir kanıtı olarak ileri sürülebilir. Gerçi devir ve yük artışında yanma odasına giren yakıt miktarının artması yanma odası sıcaklığını artırmaktadır. Ancak bu parametrelerin bağımsız olarak düşünülmesi doğru değildir. Yanma mekanizması bir bütün olarak değerlendirilir.

Şekil 7.2 tekrar incelendiğinde motor gücünün belirli devirde maksimuma ulaştıktan sonra tekrar düştüğü görülmektedir. Yüksek devirlerde karışımın hazırlanması ve yanmanın tamamlanması için yeterli süre bulunamaz, bu sebeple yanma kötüleşir ve motor gücü düşmeye başlar. Ayrıca yüksek devirlerde yeteri kadar hava alınamaz (volümetrik verim düşer), bu da yanma verimini düşürür. Sonuçta belirli bir devirden sonra motor gücü düşmektedir.

Şekil 7.2.'de motor gücü eğrileri karşılaştırıldığında %50M + %50FE ve %75M + %25FE kullanıldığında elde edilen motor güç değerlerinin %100M göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum fındık yağı esterinin ısıl değerinin motorine göre daha yüksek olmasının bir sonucudur. Fakat %50FE + %50M karışımının ısıl değerinin, %25FE + %75M karışımından daha yüksek olmasına rağmen %25'lik FE karışım yakıtının kullanılması durumundaki motor gücünün %50'lik FE karışımına göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durumu şöyle açıklayabiliriz. Yakıtın ısıl değerinin artması demek, yanma sonu ürünlerinin sıcaklıklarının ve birim zamanda verilen enerjinin artması demektir. Bu, Silindir ve manifolt sıcaklığını artırarak silindire alınan dolguyu kütlesel olarak etkilemektedir. Sıcaklık artışının

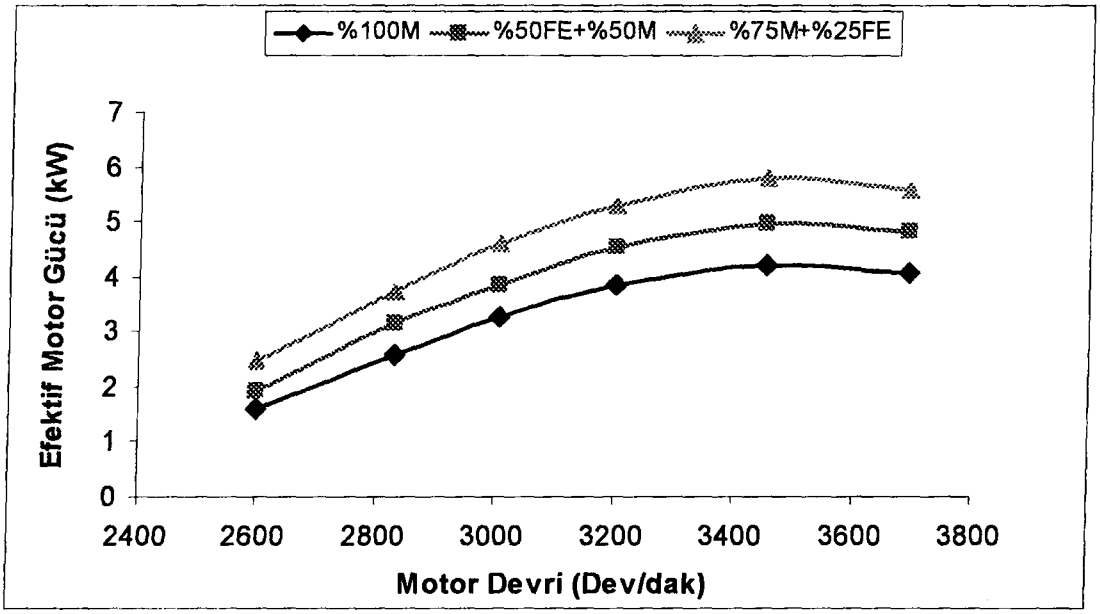
silindire giren havanın yoğunluğunun düşmesine ve silindire giren hava kütlesinin azalmasına sebep olduğu söylenebilir. Ayrıca %50FE + %50M'nin viskozitesinin ve parlama noktasının, %25FE + %75M'e daha düşük olmasının yanmayı olumsuz yönde etkileyeceği de göz önüne alındığında yakıt cinsine göre güç- devir değişiminin normal olduğu kabul edilebilir.

Yukarıda açıklananların bir sonucu olarak farklı yakıtların kullanılmasında motor momentini etkileyen tek faktörün yakıtların ısıl değerlerinin değil aynı zamanda yanmayı etkileyen faktörlerinde momenti etkilediği söylenebilir.

Düşük viskoziteli yakıt enjektörden püskürür püskürmez buharlaştığı için silindir içinde istenilen yere ulaşamaz ve yanma kötüleşir. Tutuşma gecikmesinin kısalması demek karışım için yeterli sürenin bulunamaması demektir. Bu durum yanma hızına etki edecektir. Bir yakıt ne kadar erken tutuşursa türbülans etkileri o kadar azalacaktır. Yukarıda belirtilen ve yanmayı olumsuz yönde etkileyen bu faktörler, karışım yakıtlarında daha fazla olduğundan %75FE + %25M karışımı ve sadece FE kullanıldığında motor düzenli olarak çalıştırılamamıştır.

Tablo7.2. Motorin ve Karışım Yakıtlarından Elde Edilen Efektif Motor Gücü Değerleri.

Devir (dak^{-1})	Efektif Motor Gücü (kW)				
	%100M	%25FE+%75M	%50FE+%50M	%75FE+%25M	%100FE
2600	1,6	2,45	1,93	-	-
2800	2,56	3,73	3,15	-	-
3000	3,26	4,6	3,85	-	-
3200	3,83	5,31	4,52	-	-
3400	4,2	5,82	4,96	-	-
3600	4,07	5,6	4,82	-	-



Şekil 7.2. Motorin ve Fındık Yağı Etil Esteri - Motorin Karışımlarının Yakıt Olarak Kullanımından EldeEdilen Efektif Motor Gücü Eğrileri

7.3. Egzoz Sıcaklığı

Belirlenmiş bir motorda egzoz gazlarının sıcaklığının devir sayısı ve yüke göre değiştiği bilinmektedir. Ayrıca yakıtların ısıl değerleri egzoz gazı sıcaklığını etkilemektedir.

Fındık yağı etil esteri, motorin ve bunların %25FE + %75M, %50FE + %50M ve %75FE + %25M şeklindeki karışımları kullanılarak yapılan deneyler sırasında elde edilen egzoz gazı sıcakları tablo 7.3.'de ve egzoz gazı sıcaklığının devir sayısı ile değişimi şekil 7.3.'de verilmiştir.

Şekil 7.3. incelendiğinde egzoz sıcaklığının düşük devirlerde düşük olduğu ve devir sayısı attıkça da sıcaklığın arttığı görülmektedir. Deney motoru önce yüksüz durumda çalıştırılmış daha sonra da yüklü olarak çalıştırılmıştır. Yüksüz durumda alınan ölçümlere göre egzoz gazı sıcaklığında fazla bir değişme görülmemiştir. Fakat motor yüklendikçe egzoz sıcaklık değerlerinin yükseldiği görülmüştür. Yakıt miktarı attıkça yanma sürecinde açığa çıkan ısı enerjisi atacak ve egzoz sıcaklığı da yükselecektir. Ayrıca yüksek devirlerde hava hareketlerinin artması yanma reaksiyonlarını etkilediğinden bunun sonucunda yanma sonu ürünlerinin sıcaklığının arttığı söylenebilir.

Motorlarda yanma ne kadar verimli olursa ortalama efektif basınç ve buna bağlı olarak güç ve egzoz sıcaklığı artar. Yanmanın kötü olduğu durumlarda ise ortalama efektif basınç ve güç düşer. Fakat yanmanın kötüleşmesi her zaman egzoz sıcaklığının düşeceği anlamına gelmez. Örneğin yakıtın viskozitenin istenilenden yüksek olması püskürtme sırasında iri

taneciklere ayrılmasına dolayısıyla yakın daha geç tutuşmasına ve yanmanın genişleme safhasında devam etmesine neden olur. Bu durum gücü düşürür. Fakat egzoz sıcaklığını yükseltir. Aynı olay yakıtın geç püskürtülmesi sırasında da gözlenir.

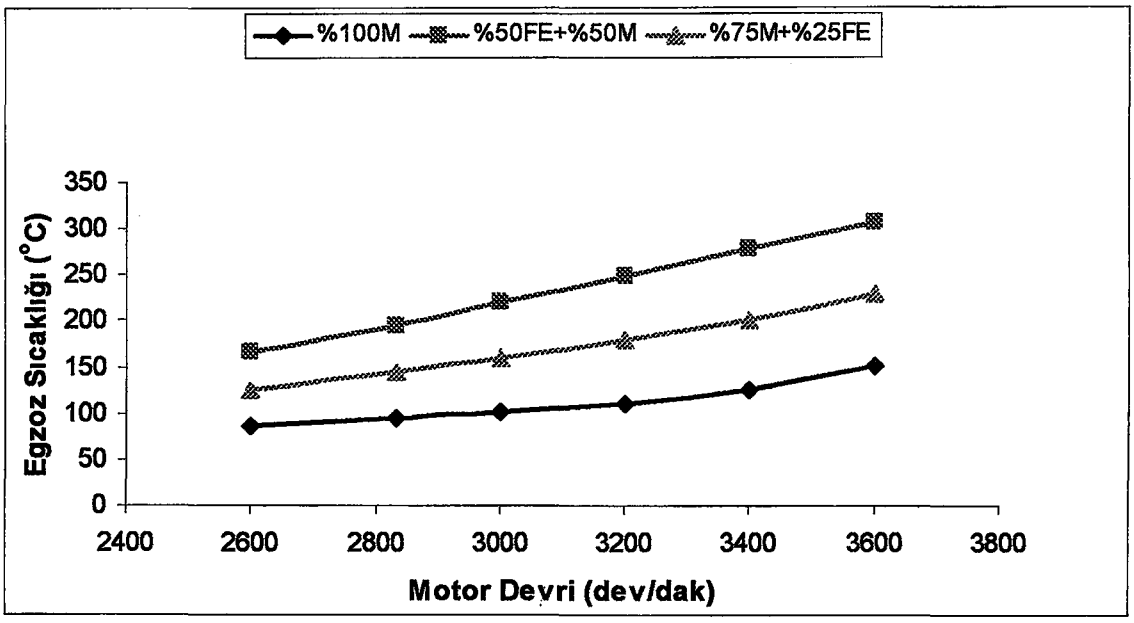
Deneysel çalışmalarda gücün düşmeğe başladığı devir sayısından daha yüksek devirlere çıkıldığında egzoz gazı sıcaklıklarının sürekli olarak arttığı görülmüştür.

Karışım yakıtta fındık yağı etil ester oranı attıkça egzoz sıcaklık değerlerinin de arttığı görülmektedir. Bunun nedeni de fındık yağı esterinin ısıl değerinin yüksek olmasına bağlanabilir. Isıl değeri yüksek olan yakıtlar daha fazla enerji vermekte ve dışarı atılan enerji de aynı oranda artmaktadır.

%50 fındık yağı esteri içeren karışımın egzoz sıcaklık değerleri, %25 fındık yağı esteri içeren karışıma göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Ancak, %50 FE katkılı yakıtın %25 FE katkılı yakıta göre güç ve moment değerlerinin düşük olduğu görülmektedir (şekil 7.1., şekil 7.2). Yüksek yanma sıcaklığının her zaman daha yüksek güç ve daha yüksek moment vermediği anlaşılmaktadır. Güç ve momenti etkileyen başka faktörlerinde olduğu gözardı edilmemelidir. Düşük viskozitenin püskürtme sırasında ve püskürtme sonrasında karışım teşkilini ve yanmayı olumsuz etkilediği söylenebilir. Sonuçta güç ve momentin düştüğü, fakat egzoz sıcaklık değerlerini düşürmediği görülmektedir. Bu durum; egzoz gazı sıcaklıklarının, devir sayısı, yük ve silindire verilen yakıt miktarına bağlı olarak artması doğal bir sonuçtur. Yanma safhasında yanamayan bir miktar yakıt genişleme safhasında yanmaya devam etmekte, buna bağlı olarak egzoz gazı sıcaklıkları yükselmektedir.

Tablo7.3. Motorin ve Karışım Yakıtlarından Elde Edilen Egzoz Gazı Sıcaklık Değerleri

Devir (dak^{-1})	Egzoz Sıcaklığı (°C)				
	%100M	%25FE+%75M	%50FE+%50M	%75FE+%25M	%100FE
2600	86	126	166	-	-
2800	94	144	194	-	-
3000	102	161	220	-	-
3200	110	179,5	249	-	-
3400	122	200	278	-	-
3600	152	229	306	-	-



Şekil 7.3. Motorin ve Fındık Yağı Etil Esteri - Motorin Karışımlarının Yakıt Olarak Kullanımından EldeEdilen Egzoz Sıcaklık Eğrileri

7.4. Azot Oksit (NO_X) Emisyonları

Silindir içerisindeki oksijen ile azot tepkimeye girerek azot oksitleri oluşturur. Azot oksitler insan sağlığını tehdit eden ve çevreyi kirleten gazlardır. Bu yüzden azot oksitlerin, havada mümkün olduğu kadar az olması istenir.

Azot oksit oluşumu püskürtülen yakıt miktarına, püskürtme zamanına, silindire alına hava miktarına ve sıcaklığa bağlıdır. NO_X oluşumu genellikle 1800 K' den daha yüksek sıcaklıklarda meydana gelmektedir.

Fındık yağı etil esteri, motorin ve bunların karışımlarının yakıt olarak kullanılması halinde deneyler sırasında ölçülen azot oksit değerleri tablo 7.4.'de ve azot oksit değerlerinin devir sayısı ile değişimi şekil 7.4.'de verilmiştir.

Şekil 7.4. incelendiğinde düşük devir sayılarında azot oksit emisyonlarının düşük olduğu ve devir sayısı attıkça bu emisyon değerlerinin belli bir devir sayısına kadar yükseldiği görülmektedir. Artan devir sayısıyla beraber hava hareketlerinin yanmayı iyileştirir, buna bağlı olarak sıcaklık yükselir ve NO_X miktarı da artmaya başlar. Devir ve yük artışı ile NO_X oluşum trendi bütün yakıt türleri için benzer eğilim göstermektedir.

Şekil 7.4'te karışım yakıtlar motorinle karşılaştırıldığında karışım yakıtların azot oksit değerleri motorine göre daha yüksektir. Bunun nedeni fındık yağı esterinin ısıl değerinin yüksek olması nedeniyle yanma sıcaklığının yüksek olmasına bağlanabilir. Motorin, %50FE + %50M

ve %25FE + %75M karışım yakıtı egzoz gazı sıcaklığı sıralamasının azot oksit oluşumunda değişmemesi sıcaklığın NO_X oluşumu üzerindeki etkisinin açık bir delili olarak gösterilebilir.

NO_X oluşumunun başlıca kaynaklarından birisi de hava içerisindeki azottur. Hava fazlalık katsayısı attıkça yanma odası içerisindeki azot miktarı artmaktadır. Dizel motorları fakir karışımla çalıştırıldığından, yani hava fazlalık katsayısının biden büyük ($\lambda>1$) olması, NO_X oluşumunu artırmaktadır. Devir sayısı ile volümetrik verim daha önce ifade edilmişti. Sadece volümetrik verim dikkate alındığında devir artışı ile NO_X oluşumunun düşmesi beklenir. Ancak bütün yakıt türleri için artan devir sayısı ile birlikte NO_X'in artması, NO_X oluşumunda sıcaklık artışının daha etkili olduğunun bir kanıtı olarak ileri sürülebilir. Nitekim %100M kullanıldığında daha düşük sıcaklık nedeniyle NO_X oluşumunda karışım yakıtlara göre artış eğiliminin düşük kalması bunun bir göstergesidir.

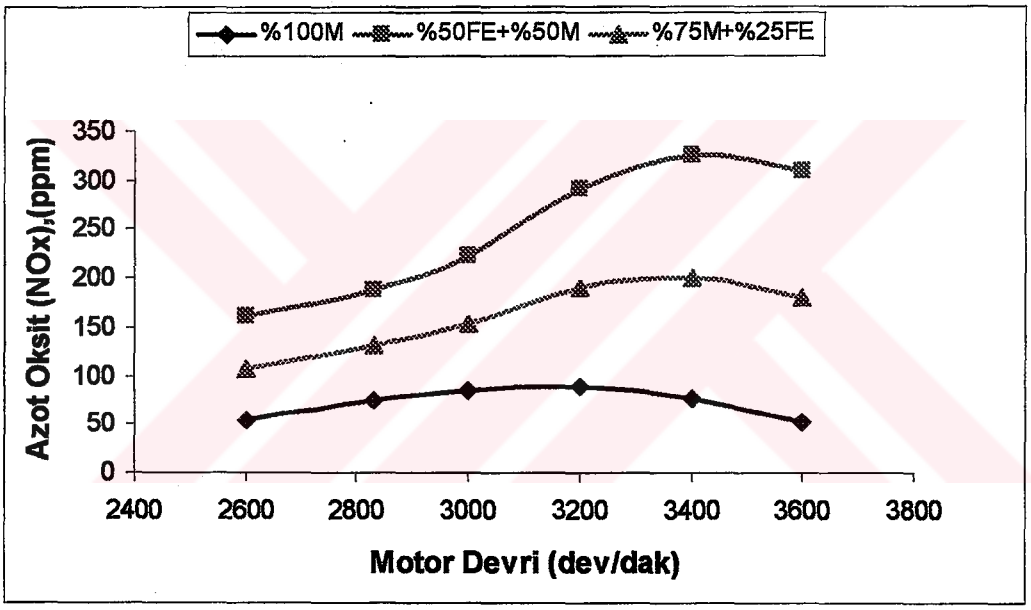
NO_X oluşumunda diğer bir faktör de yüksek sıcaklıkta kalma süresidir. Bütün yakıt türleri için yaklaşık 3400 devrin üzerine çıkıldığında NO_X değerinin düştüğü görülmektedir (şekil 7.4). Sıcaklık sürekli arttığı halde NO_X'in sürekli yükselmemesi, yüksek sıcaklıkta bekleme süresinin doğal bir sonucu olduğu şeklinde açıklanabilir.

Devir ve yük arttıkça yanma odası sıcaklığı artmaktadır. Bu, dizel motorlarında kontrolsüz yanma fazında hava-yakıt karışımının ani bir şekilde alev alarak yanmasına neden olur. Erken yanan karışım sıkıştırılarak sıcaklığı artırdığından NO_X oluşumu hızını artırır. Bütün yakıt türleri incelendiğinde karışım yakıtlarındaki NO_X oluşumunun %100 motorin kullanımına göre çok yüksek olması bu karışım yakıtlarının motorine göre daha erken tutuşmasına bağlanabilir.

Dizel motorlarında yanma ile ilgili CO_2'nin ısı kapasitesi, N_2'nin ısı kapasitesinin iki mislidir. Dizelin egzoz gazının bileşimi yük ile değişir. Boşta iken az miktarlarda CO_2 ve H_2O vardır. Yükte ise CO_2 ve H_2O konsantrasyonu yükseldiğinde ısı kapasitesi artar. Şekil 7.5'te görülen bütün yakıt türleri için yüksek devirlerde CO_2 konsantrasyonunun artması bu NO_X oluşum mekanizmasını desteklediği şeklinde yorumlanabilir.

Tablo7.4. Motorin ve Karışım Yakıtlarından Elde Edilen Azot Oksit (NO_X) Değerleri

Devir (dak^{-1})	Azot Oksit (NO_X), (ppm)				
	%100M	%25FE+%75M	%50FE+%50M	%75FE+%25M	%100FE
2600	55	114,5	161	-	-
2800	75	131,5	188	-	-
3000	84	153,5	223	-	-
3200	89	193	297	-	-
3400	76	198	320	-	-
3600	52	181	310	-	-



Şekil 7.4. Motorin ve Fındık Yağı Etil Esteri - Motorin Karışımlarının Yakıt Olarak Kullanımından EldeEdilen Azot Oksit Eğrileri

7.5. Karbondioksit

Fındık yağı etil esteri, motorin ve bunların karışımlarının yakıt olarak kullanılması sonucu ölçülen egzoz emisyonu içerisindeki karbondioksit değerlerinin devir sayısı ile değişimi şekil 7.5.'de verilmiştir.

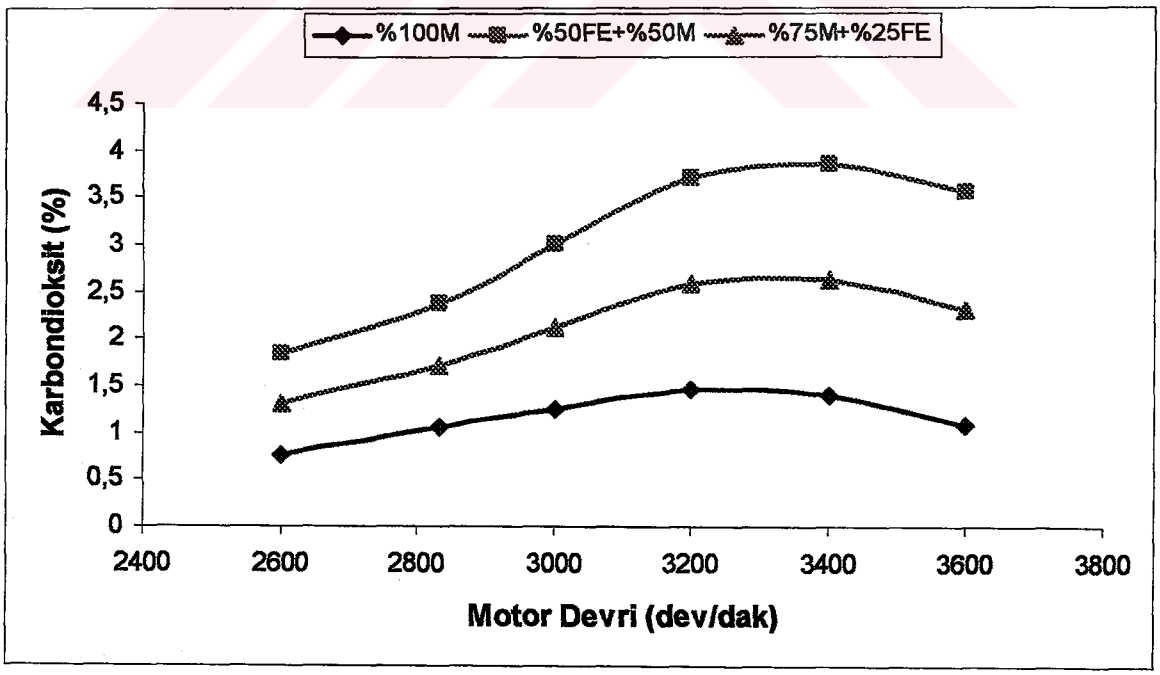
Şekil 7.5. incelendiğinde bütün yakıtlar için karbondioksit değerlerinin düşük devir sayılarında düşük olduğu ve devir sayısı attıkça max. bir değere kadar yükseldiği görülmektedir. Karbondioksit emisyonları yanma ile ilgilidir. Yakıtın tam yanması durumunda yanma ürünleri olarak CO_2, H_2O ve N_2 açığa çıkar.

Şekilde karışım yakıtlarının karbondioksit değerlerinin motorine göre yüksek olduğu görülmektedir. Karışım yakıtlarının ısıl değerinin motorine göre yüksek olması silindir içindeki sıcaklığı artırdığı böylece CO'nun, CO_2'e dönüşüm oranını da artırdığı söylenebilir.

CO oluşumunda yakıt cinsine göre aynı sıralamanın görülmesi ve CO oluşum konsantrasyonunun CO_2 konsantrasyonuna göre ters bir eğilim göstermesi bunun bir delili olarak gösterilebilir.

Tablo7.5. Motorin ve Karışım Yakıtlarından Elde Edilen Karbondioksit

Devir (dak^{-1})	Karbondioksit (CO_2), (%)				
	%100M	%25FE+%75M	%50FE+%50M	%75FE+%25M	%100FE
2600	0,77	1,3	1,83	-	-
2800	1,06	1,71	2,36	-	-
3000	1,25	2,12	2,99	-	-
3200	1,46	2,575	3,69	-	-
3400	1,4	2,565	3,73	-	-
3600	1,08	2,31	3,54	-	-



Şekil 7.5. Motorin ve Fındık Yağı Etil Esteri - Motorin Karışımlarının Yakıt Olarak Kullanımından EldeEdilen Karbondioksit Eğrileri

7.6. Karbon Monoksit (CO)

Karbon monoksit oluşumu yakıtın tam yanmamasından kaynaklanmaktadır. Yakıtın tam yanması durumunda yakıtta bulunan karbon atomlarının tamamı CO_2'ye dönüşür. Eğer Yanma ürünlerinde CO bulunuyorsa yakıt tam yanmamış demektir. Yanma sırasında yakıttaki karbon atomlarının ayrışması ve bu karbon atomlarının O_2 ile tepkimeye girebilmesi için yeteri kadar sıcaklık ve zamanın bulunması gerekir. Aksi takdirde CO_2 yerine CO'nun oluşum hızı artacaktır. Yükşek devirlerde CO_2 oluşumunun artması bu fikri desteklemektedir.

Karbon monoksit değerlerinin devir sayısı ile değişimi şekil 7.6.'de verilmiştir. Şekil 7.6 incelendiğinde bütün yakıtlar için düşük devirlerde karbon monoksit değerlerinin yüksek olduğu ve devir sayısı arttıkça düştüğü görülmektedir. Çünkü yüksek devirlerde CO'nun CO_2'ye dönüşümü artmaktadır. Motor devrinin düşük olması yanmanın kalitesini düşürmekte ve CO miktarını da yükseltmektedir.

Egzoz emisyonu içerisindeki CO oluşumu bir eksik yanma ürünüdür ve oluşum entalpisi CO_2'ye ve H_2O'ya göre çok düşüktür. Motorun temik verimi düşünüldüğünde CO oluşumu istenilmez. CO'nun arttığı devir ve yük aralığında yanma odası sıcaklığının düşmesi beklenir. Halbuki Şekil 7.3'te CO'nun düştüğü çalışma aralığında egzoz gazı sıcaklığının yükselmeğe devam ettiği görülmektedir. Bu aralıkta motor yükünün ve buna bağlı olarak birim zamanda tüketilen yakıt miktarının artması, sıcaklığı yükseltme yönünde etkileyeceği açıktır.

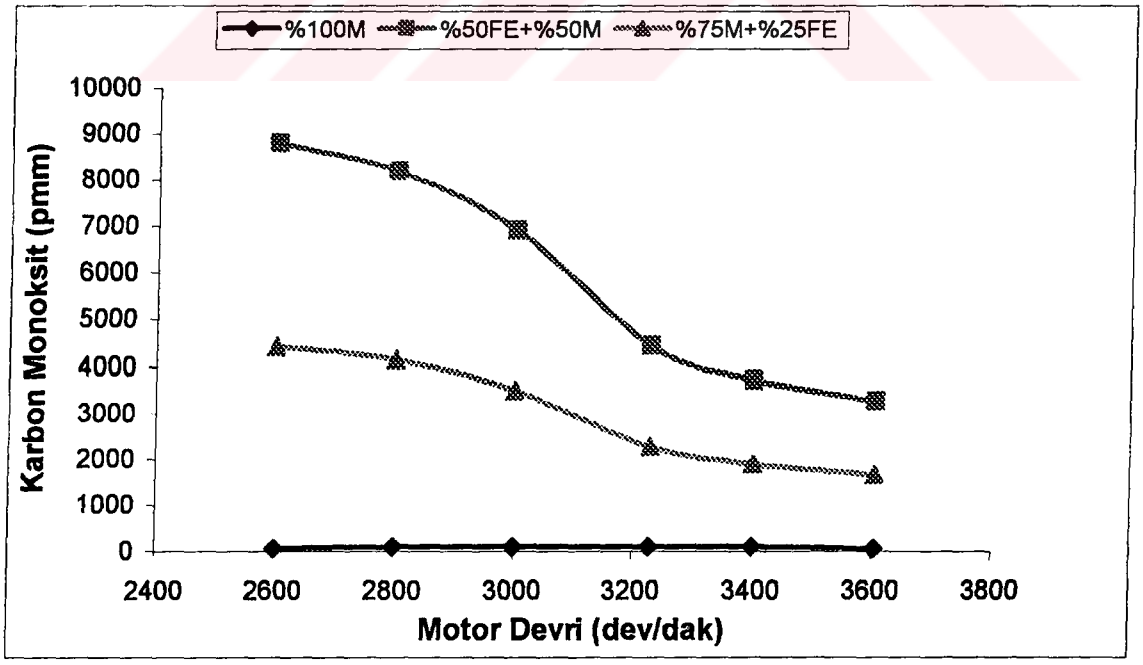
Şekil'de karışım yakıtların karbon monoksit değerlerinin motorine göre çok yüksek olduğu görülmektedir. Karışım yakıtlarının kullanılması silindir içindeki sıcaklığı artırmaktadır. Bu durumda yanma sonunda açığa çıkan CO_2, yüksek sıcaklıkta tekrar parçalanarak CO'ya dönüşmektedir. Düşük devirlerde bu oluşum daha fazladır. Çünkü CO_2'nin parçalanarak CO'ya dönüşmesi için yeterli zaman mevcuttur. Yüksek devirlere çıkıldıkça yanma kötüleşmekte ve CO değerleri artmaktadır. Fakat şekil 7.6. incelendiğinde bunun tam tersi olarak devir sayısı attıkça CO değerlerinin düştüğü görülmektedir. CO oluşumunu sadece yanmanın kötü oluşuna bağlayamayız, CO oluşumunun önemli sebeplerinden biri de yanma ürünü olan CO_2' ayrışmasıdır. Buna dayanarak yüksek devirlerdeki CO düşüşünü, CO_2'nin parçalanarak CO molekülünü oluşturacak kadar yeterli sürenin bulunamamasına bağlanabilir.

Şekil 7.6'da görülen bütün yakıt türleri için devir ve yüke bağlı olarak CO oluşumu, şekil 7.5'te görülen CO_2 oluşumu ile aynı sıralamayı takip ettiği görülmektedir; ancak CO_2 konsantrasyonunun CO konsantrasyonu ile zıt eğilim karakteristiğinde olduğu görülmektedir. Yani CO_2 artarken CO oranı düşmektedir. Bu durum CO ve CO_2 arasında sıkı bir ilişki olduğu tezinin doğal bir sonucudur.

Dizel motorlarında CO oluşumu önemsiz denecek kadar azdır. Nitekim deney motorlarında yakıt olarak motorin kullanıldığında bu durum açık olarak görülmektedir. Motorine fındık yağı etil esteri katıldığında katkı oranına bağlı olarak CO konsantrasyonunun çok fazla arttığı görülmektedir. Sadece egzoz emisyonundaki CO dikkate alındığında fındık yağı etil esteri veya motorinle karışımlarının kullanılamayacağı anlaşılmaktadır. Ancak emisyon gaz örneklerinin hemen egzoz manifoldu çıkışından alınarak amisyon ölçümlerinin yapılması da emisyon değerlerindeki aşırı yükselme üzerinde önemli bir katkıya sahip olduğu unutulmamalıdır.

Tablo7.6. Motorin ve Karışım Yakıtlarından Elde Edilen Karbon Monoksit değerleri.

Devir (dak^{-1})	Karbondioksit (CO_2), (%)				
	%100M	%25FE+%75M	%50FE+%50M	%75FE+%25M	%100FE
2600	75	4437	8800	-	-
2800	94	4142	8190	-	-
3000	97	3501	6905	-	-
3200	96	2268	4440	-	-
3400	96	1897	3698	-	-
3600	80	1684	3260	-	-



Şekil 7.6. Motorin ve Fındık Yağı Etil Esteri - Motorin Karışımlarının Yakıt Olarak Kullanımından EldeEdilen Karbon Monoksit Eğrileri

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, dizel motorunda alternatif yakıt olarak kullanılmak üzere ham fındık yağından fındık yağı etil esteri elde edilmiştir. Motorin, fındık yağı etil esteri ve bunların belirli oranlardaki karışımları tek silindirli bir dizel motorunda kullanılmıştır. Kullanılan her yakıt için deney motoru, değişik yük ve devirlerde çalıştırılarak motor performans ve emisyon değerleri ölçülmüştür.

Ölçümler değerlendirildiğinde; %25+%75M ve %50FE+%50M içeren karışım yakıtlarının motor momenti ve güç değerleri motorine göre yüksek çıkmıştır. Bu durum fındık yağı esterinin ısıl değerinin motorine göre daha yüksek olmasının bir sonucudur. %75 FE içeren karışım yakıtı ile % 100FE kullanıldığında deney motoru düzensiz çalıştığından ölçümler yapılamamıştır. Motorunun düzensiz çalışmasına fındık yağı esterinin düşük viskozitesinin sebep olduğu düşünülmüştür. Egzoz gazı sıcaklık değerlerinin, karışım yakıtlarındaki fındık yağı ester oranı arttıkça artığı görülmüş ve bu durum yakıtların ısıl değerlerine bağlanmıştır. Emisyon değerlerine gelince, karışım yakıtlarının kullanılması durumunda ölçülen NO_X, CO_2 ve CO değerleri motorine göre yüksek çıkmıştır. Özellikle CO değerleri, karışımdaki FE artışına bağlı olarak anormal şekilde yükselmiştir.

Bu çalışmaya göre fındık yağı etil esterinin dizel motorlarında alternatif yakıt olarak kullanılabilirliği üzerine aşağıdaki görüşler öne sürülür;

1. Türkiye, dünya fındık üretiminin yaklaşık olarak %70'ini gerçekleştirdiğinden fındık yağı önemli bir yenilenebilir enerji kaynağı olabilir.
2. Fındık yağı etil esterinin viskozitesi motorine göre çok düşüktür. Bu yüzden uygun enjektör delik çapı ve basıncı sağlanmadıkça dizel motorlarında alternatif yakıt olarak kullanılamaz.
3. Fındık yağı etil esterini ısıl değeri motorine göre yüksektir.
4. %25 FE içeren karışım yakıtının viskozitesi motorine daha yakın ve bu kaşımın ısıl değeri de motorine göre daha yüksektir. Sadece bunlar göz önüne alındığında motorda herhangi bir değişiklik yapmadan %25'lik FE karışım yakıtı alternatif yakıt olarak kullanılabilir.
5. FE karışım yakıtlarında NO_X ve CO değerleri motorine göre yüksektir. Sadece egzoz emisyonlarındaki CO dikkate alındığında motorda bir değişiklik yapmadan fındık yağı etil esterinin veya motorinle karışımının alternatif yakıt olarak kullanılamayacağı anlaşılmaktadır. Karışım yakıtlarında NO_X oluşum miktarını azaltmak için püskürtülen yakıt taneciklerinin çok küçük olmaması gerekir. Küçük yakıt tanecikleri NO_X

oluşumunu artırır. Bu yüzden uygun atomizasyon sağlanmalıdır. Ayrıca On yanma odası kullanarak karışımın daha zengin olması sağlanır dolayıyla daha az NO_X üretilir. Çünkü motor fakir karışımla çalıştığında NO_X oluşumu artmaktadır. NO_X oluşumunda püskürtme süresi de etkilidir. Fındık yağı etil esterinin viskozitesinin ve parlama noktasının düşük olması TG'ni kısalttığından yakıtın püskürtme süresini arttırabiliriz buda NO_X oluşumunu azaltır.

6. Karışım yakıtlarındaki FE oranının artmasıyla CO miktarı artmaktadır. Bunun için yakıt enjeksiyon sisteminde uygun düzenlemeler yapılabilir. Bu düzenlemelerin NO_X oluşumunu artırmamasına dikkat edilmelidir.

KAYNAKLAR

1. Altun, Ş., 2004, Motorin ve Susam Yağı Karışımlarının Dizel Motorlarında Kullanılabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 60s.
2. Akbaş, B., 2005, Ham Fındık Yağının Dizel Motorlarında Kullanılabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 82s.
3. Çengel, Y.A., ve Boles, M.A., 2002, Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik, İstanbul, 867s.
4. Küçükşahin, F., 1996, Dizel Motorları, İstanbul, 400s.
5. Alibaş, A., Eyüboğlu, V., Kayık, S., Bitkisel Yağların Motor Yakıtı Olarak kullanılabilme Olanakları, Mühendis ve Makine Dergisi, Cilt:34, Sayı:398.
6. Altın, R., 1998, Bitkisel Yağların Dizel Motorlarında Yakıt Olarak Kullanılmasının Deneysel Olarak İncelenmesi, Ankara.
7. Aydın, K., Keskin, A., 2000, Dizel Motorlarında Motorin, Bitkisel Yağlar ve Alkol Karışımlarının Performans ve Emisyon Etkilerinin Araştırılması,Yanma ve Hava Kirliliği Kontrolü V. Ulusal Sempozyumu, Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Elazığ.
8. Borat O., Balcı, M. ve Sürmen, A., 1994, Hava Kirlenmesi ve Kontrol Tekniği, Sınai ve Geliştirme Merkezi Genel Müdürlüğü, Yayın No.107.
9. Borat O., Balcı, M. ve Sürmen, A., 1994, İçten Yanmalı Motorlar,İstanbul, Ankara Bursa, 499s.
10. Bruwer, J.J., 1991, The Utilization of Sunflowerseed Oil as a Renewable Fuel for Diesel Engine, Michigan.
11. Demirsoy, M., Kındıroğlu, K., 1997, Dizel Motorlarında Alternatif Yakıt Olarak Değişik Yağların Kullanılması, Otomotiv Teknolojisi Bilim Haftası, Adana.
12. Ford, E.F., Blumberg, P.N., 1982, Performanse and Durability of a Turbocharged Diesel Fueled With Cotton Seed Oil Blends.
13. Hemmerlein, M., Korte, V., Richter, H.S., 1991, Performance Exhaust Emission and Durability of Modern Diesel Engines Running on Rapeseed Oil, SAE Paper, 910848.
14. İlkılıç, C., 1999, Çeşitli Alternatif Yakıtların Dizel Motoru Emisyonlarına Etkilerinin Teorik ve Deneysel İncelenmesi, Elazığ.
15. Karaosmanoğlu, F., Işığıgür, A., Aksoy H.A., Ulanılmış Kanola Yağının Dizel Yakıtı Olarak Kullanılması.

16. Kucera, H., Schunk, S., Pratt, G., 1982, The Effect of Sunflower Oil on a Diesel Fuel System, The Rise of Sunpower, North Dakota Farm Research Bimonthly Bulletin, Vol. 39, No: 6.
17. Barsic, N.J., Humke, A.L., 1981, Performance and Emission Characteristics of a Naturally Aspirated Diesel Engine With Vegetable Oil Fuels, SAE 810262.
18. Lowry, J.P.A., 1990, Alternative Fuels for Automotive end Stationary Engines in Developing Countries, Fuel for Automotive and Industrial Diesel Engines. Institution of Mechanical Engineers, Mechanical Engineering Publication.
19. Mazed, M.A., 1984, Test of Vegetable Oil as Fuel Indirect and Direct Injection Diesel Engine, Oklahama State Univercity.
20. Olson, C., 1982, Varnish Forming Properties of Sunflower Oil and How They Relate to Its Use as Fuel in Diesel Tractors, The Rise Sunpower, North Dakota Farm Research Bimonthly Bulletin, Vol. 39, No:6.
21. İlkılıç, C., Bayındır, H., Öner, C., 1997, Dizel motorlarında Alternatif Yakıt Olarak Ayçiçek Yağının Kullanılması , Otomotiv Teknolojisi Bilim Haftası, Çukurova Üniversitesi, Adana.
22. Özaktaş, T., Dizel Motorlarında Dört Çeşit Bitkisel Yağ Kullanılması, Mühendis ve Makine Dergisi, Cilt:39, Sayı:465.
23. Peterson, C.L., Auld, D.L., Korus, R.A., 1983, Winter Rape Oil Fuel for Diesel Engines; Recovery and Utilization, Vol.60, No: 8.
24. Police, G., Prati, M.V., Auriemma, M., Alfuso, S., 1993, Regulated Emissions of DI Diesel Engine Fuelled with Methly Ester of Rape Seed Oil, London.
25. Pryor, R.W., Hana, M.A., Schinstock, J.E., 1983, Soybeam Oil Fuel in a Smal Diesel Engine, ASAE.
26. Quick, G.R., Wilson, B.T., Woodmore, P.J., 1982, Injector-Fouling Propensity of Cetain Vegetable Oils add Derivaties as Fuels for Diesel Engines, ASAE.
27. Rakopolulos, C.D., 1992, Comparative Performance and Emission Studies When Using Olive Oil as Fuel Suplement in DI and IDI Diesel Engines, Renewable Energy, Vol:2, No:33.
28. Ryon, T.W., Bagby, M.O., 1993, Identification of Chemical Changes Occurring Durring the Transiet Injection of Selected Vegetable Oils, SAE Special Publ 958.
29. Safgönül, B., Ergeneman, M., Arslan, H.E., ve Soruşbay, C., 1996,İçten Yanmalı Motorlar, İstanbul.
30. Sapuan, S.M., Masjuki, H.H., Azlan, A., 1996, The Use of Palm Oil as Diesel Fuel Substitule, IMechE, Vol. 210.

31. Schlich, M.L., Hanna, M.A., Shinstock, J.L., 1988, Soybeam and Sunflower Oil Performance in Diesel Engine, ASAE.
32. Schwab, A.W., Babgy, M.O., Freedman, B., 1987, Preparation and Properties of Diesel Fuels from Vegetable Oils, Fuel Vol.66, Sayı:10.
33. Vellguth, G., 1984, Performance of vegetable Oils and Their Monoesters as Fuels for Diesel Engines, SAE Paper No:831358.
34. Wanger, L.E., Clark, J.S., Schrock, D.M., 1984, Effect of Soybean Oil Esters on the Performance, Lubrication Oil and Water of Diesel Engines, SAE 841385.
35. William A., Ani, F., 1990, The Use of palm Oil as Altenative Diesel Fuel, ImechE, London.
36. Yahya, A., 1988, Performance Characteristics of DI Diesel Engine Operation on Methly Soyoil and Methly Tallow Esters, Lowa State Universty, USA.
37. Yücel, H.L., 1998, Dizel Yakıtına Belli Oranlarda Karıştırılmış Pamuk Yağının Motor Performansı ve Emisyon Karakteristikleri Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması, Elazığ.
38. Yüsesu, H.S., Altın R., Çetinkaya, S., 1999, Dizel Motorlarında Alternatif Yakıt Olarak Bitkisel Yağ Kullanımının Deneysel İncelenmesi, TÜBİTAK, s.39-49.
39. Ziejewski, M., Kaufman, K.R., 1983, Laboratory Endurance Test of an Sunflower Oil Blend in an Diesel Engine, JAOCS, vol.60, no.8.
40. Georing, C.E., Schwab, B., Daughrt, M.J., Pryde, E.H., Heakin, A.J., 1982, Fuel Proporties of Eleven Vegetable Oils, American Society of Agricultural Enginers 0001-2351/82/2506-1472S02.00.
41. www.findik.com.tr.
42. He, Y., Bao, Y.D., 2002, Study On Rapeseed Oil as Alternative Fuel for a Single-Cylinder Diesel Engine, Renewable Energy 28(2003), 1447-1453p.
43. Ulusoy, Y.,1999, Ayçiçeği, Pamuk ve Soya Yağlarının Dizel Motorlarında Yakıt Olarak Kullanım Olanaklarının Belirlenmesi Üzerine Karşılaştırmalı Bir Araştırma, Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 119s.

ÖZGEÇMİŞ

Arzu KEVEN, 1975'te Köln'de doğdu. Lise öğrenimini Mehmet Akif Ersoy Lisesinde gördü. 1997 yılında F.Ü. Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu Bilgisayar Donanımı Bölümünden mezun oldu. 2002 yılında F.Ü. Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Otomotiv Öğretmenliği bölümünü bitirdi.