



**ALTERNATİF YAKIT KULLANIMININ BİR DİZEL MOTORUNUN
PERFORMANS VE EGZOZ EMİSYONUNA ETKİLERİNİN DENEYSEL
OLARAK İNCELENMESİ**

Aslan GÜR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ŞUBAT 2015

Aslan GÜR tarafından hazırlanan “ALTERNATİF YAKIT KULLANIMININ BİR DİZEL MOTORUNUN PERFORMANS VE EGZOZ EMİSYONUNA ETKİLERİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Makina Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Nuri YÜCEL

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Başkan: Prof. Dr. Haşmet TÜRKOĞLU

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Üye: Prof. Dr. H. Serdar YÜCESU

Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Tez Savunma Tarihi: 27 / 02 / 2015

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....
Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Aslan GÜR

27.02.2015

ALTERNATİF YAKIT KULLANIMININ BİR DİZEL MOTORUNUN
PERFORMANS VE EGZOZ EMİSYONUNA ETKİLERİNİN DENEYSEL
OLARAK İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Aslan GÜR

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Şubat 2015

ÖZET

Günümüzün en önemli sorunlarından biri motorlu taşıtlarda kullanılan petrol yakıtının tükenir bir kaynak olması ve yaydığı emisyonlar ile havayı kirletmesidir. Bu sorunların giderilmesi için motorlu taşıtlarda kullanılabilinecek alternatif yakıtlar günümüzün en önemli araştırma konularındandır. Bu çalışmada, fındık ve ayçiçek yağı belirli oranlarda (%5, 10, 15, 20, 25 ve 30) dizel yakıtına karıştırılarak elde edilen yakıt karışımlarının performans ve emisyon davranışı deneysel olarak incelenmiştir. Deneylerde, ANTOR marka 3 LD 510 model tek silindirli bir dizel motor kullanılmıştır. Motor yüklemesi hidrolik dinamometre ile sağlanmıştır. Referans olması açısından öncelikle dizel yakıtının motor performansı ve egzoz emisyonu testleri yapılmıştır. Daha sonra farklı oranlardaki biyodizel yakıtları ile deneyler tekrarlanmıştır. Yapılan deneyler neticesinde fındık ve ayçiçek yağının dizele karıştırılması ile motorun tork, güç ve mil veriminde azalma, mil özgül yakıt tüketiminde ise artma meydana geldiği gözlemlenmiştir. Egzoz emisyonu değerlerine bakıldığında, dizele fındık ve ayçiçek yağı karıştırılması ile HC emisyonları artmış, CO ve NO_x emisyonları azalmıştır. Çalışmada, biyoyakıtların arasındaki ilişkiyi daha iyi anlamamız açısından fındık yağı ile ayçiçek yağının %15 karışımlarının motor performansı ve egzoz emisyonu değerleri birbiri ile karşılaştırılıp grafik halinde gösterilmiştir. Çalışma neticesinde, maliyetinin uygun, ekim alanı potansiyelinin fazla olması ve bunun yanında fındık yağına oranla genel olarak daha iyi motor performansı ve emisyonu değerleri vermesi açısından ayçiçek yağının daha uygun bir alternatif yakıt olabileceği kanısına varılmıştır.

Bilim Kodu : 914.1.038

Anahtar Kelimeler : Alternatif yakıtlar, egzoz emisyonu, motor performansı

Sayfa Adedi : 73

Danışman : Prof. Dr. Nuri YÜCEL

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF PERFORMANCE AND EXHAUST EMISSION OF A DIESEL ENGINE WITH USE OF ALTERNATIVE FUEL

(M. Sc. Thesis)

Aslan GÜR

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

February 2015

ABSTRACT

One of the most important problems of today is that, petroleum-derived fuels used in motor vehicles is an exhaustible resource and their pollutions of emissions to the environment. The alternative fuels which can be used by motor vehicles in order to eliminate these problems are among the most important research areas at present. In this study, the performance and emission behavior of the fuel blends obtained by adding hazelnut oil and sunflower oil to the diesel fuel at specific ratios (% 5, 10,15, 20, 25 and 30) were investigate experimentally. For the experiments, ANTOR brand 3 LD 510 model, single-cylinder diesel engine was used. Engine load was provided by a hydraulic dynamometer. In order to get reference values, engine performance and exhaust emission tests were conducted for pure diesel fuel. Then, the experiments for the biofuels blends with different ratios were repeated again. The experiments showed that the torque, power and shaft efficiency of the engine decreased when diesel fuel was mixed with hazelnut oil and sunflower seed oil. It was observed that HC emissions increased, but CO and NOx emissions decreased with the mixing of hazelnut and sunflower oil to the diesel fuel. To see the effect of sunflower and hazelnut oil blends on the engine performance and exhaust emissions with %15 blends of hazelnut and sunflower oil were compared with each other and presented in graphics. As a result of the study, it is concluded that sunflower seed oil is a more feasible alternative fuel because it has a lower cost, it has a larger plantation area and in general it provides a better engine performance and lower emission values compared to hazelnut oil.

Science Code : 914.1.038

Key Words : Alternative fuels, exhaust emission, engine performance

Page Number : 73

Supervisor : Prof. Dr. Nuri YÜCEL

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca desteğini benden esirgemeyen ve bana yol gösteren değerli hocam Prof. Dr. Nuri YÜCEL'e saygı ve minnetlerimi sunarım. Çalışmalarımı yürütürken bilgisiyle desteğini esirgemeyen sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Nureddin DİNLER'e ve deneysel çalışmanın metot ve yöntemlerini anlatarak laboratuvardaki düzeneği etkin bir şekilde kullanmamı sağlayan sayın hocam Arş. Gör. Dr. Salih KARAASLAN'a teşekkürlerimi sunarım. Çalışma boyunca, beraber deneyleri yürüttüğümüz Arş. Gör. Fatih AKTAŞ'a, Makina Mühendisi Caner ERMAN'a, Makina Mühendisi Fatih SARITARLA'ya ve Makina Mühendisi Abdullah KARA'ya teşekkür ederim.

Çalışmalarımı gerçekleştirmek için bana gerekli izinleri veren Sanayi Eski Genel Müdürü Sayın Süfyan EMİROĞLU'na ve Sanayi Genel Müdürü Sayın Prof. Dr. İbrahim KILIÇASLAN'a teşekkür eder saygılarımı sunarım.

Son olarak, zor günlerimde hep yanımda olan, eğitim hayatımın boyunca maddi manevi desteklerini bir an olsun esirgemeyen kıymetli aileme şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	iv
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	3
3. GENEL BİLGİLER.....	11
3.1. Motor Emisyonları.....	11
3.1.1. Motor emisyonları ile ilgili yasal düzenlemeler.....	12
3.2. Biyodizel.....	17
3.2.1. Ayçiçek yağı.....	19
3.2.2. Fındık yağı.....	21
4. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	23
4.1. Deney Düzenegi.....	23
4.1.1. Motor.....	24
4.1.2. Dinamometre.....	26
4.1.3. Kontrol Ünitesi.....	27
4.1.4. Egzoz emisyon ölçüm cihazı.....	28
4.1.5. Yakıt tankı ve büret.....	30
4.1.6. Fan.....	30

	Sayfa
4.2. Deneylerin Yapılması.....	31
4.3. Hesaplamalar.....	34
5. BULGULAR.....	39
5.1. Ayçiçek Yağı ile İlgili Bulgular.....	39
5.1.1. Tork ve güç değerlerinin irdelenmesi.....	39
5.1.2. Mil özgül yakıt tüketimi değerlerinin irdelenmesi.....	41
5.1.3. Mil verimi değerlerinin irdelenmesi.....	43
5.1.4. HC Emisyonlarının irdelenmesi.....	44
5.1.5. CO Emisyonlarının irdelenmesi.....	45
5.1.6. NOx Emisyonlarının irdelenmesi.....	47
5.2. Fındık Yağı ile İlgili Bulgular.....	48
5.2.1. Tork ve güç değerlerinin irdelenmesi.....	48
5.2.2. Mil özgül yakıt tüketimi değerlerinin irdelenmesi.....	50
5.2.3. Mil verimi değerlerinin irdelenmesi.....	52
5.2.4. HC Emisyonlarının irdelenmesi.....	53
5.2.5. CO Emisyonlarının irdelenmesi.....	55
5.2.6. NOx Emisyonlarının irdelenmesi.....	56
5.3. Yakıtların Karşılaştırılması.....	58
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	65
KAYNAKLAR.....	70
ÖZGEÇMİŞ.....	73

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. 97/24/AT yönetmeliğine göre azami emisyon değerleri.....	14
Çizelge 3.2. Faz IIIA azami emisyon değerleri.....	14
Çizelge 3.3. Euro 5 sınır değerleri.....	15
Çizelge 3.4. ESC ve ELR deneyi sınır değerleri.....	16
Çizelge 3.5. ETC deneyi sınır değerleri.....	16
Çizelge 3.6. Euro 6 emisyon sınır değerleri.....	17
Çizelge 3.7. Başlıca biyodizel üretici ülkeler ve üretim miktarları.....	18
Çizelge 3.8. TS 886 standardına göre ayçiçek yağının kimyasal ve fiziksel özellikleri.	20
Çizelge 3.9. Dünya fındık üretimi (kabuklu / ton).....	21
Çizelge 3.10. Fındık yağı genel özellikleri.....	22
Çizelge 4.1. Motorun teknik özellikleri.....	25
Çizelge 4.2. Gaz analiz cihazı ölçme aralığı ve hassasiyeti.....	29
Çizelge 4.3. Eurodizel özellikleri.....	31

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 5.1. Saf dizel ve ayçiçek yağı karışımlarının tork değişimleri.....	39
Şekil 5.2. Saf dizel ve ayçiçek yağı karışımlarının güç değişimleri.....	40
Şekil 5.3. Saf dizel ve ayçiçek yağı karışımlarının MÖYT değişimleri.....	42
Şekil 5.4. Saf dizel ve ayçiçek yağı karışımlarının verim oranları.....	43
Şekil 5.5. Saf dizel ve ayçiçek yağı karışımlarının HC emisyonu değişimleri.....	44
Şekil 5.6. Saf dizel ve ayçiçek yağı karışımlarının CO emisyonu değişimleri.....	45
Şekil 5.7. Saf dizel ve ayçiçek yağı karışımlarının NOx emisyonu değişimleri.....	47
Şekil 5.8. Saf dizel ve fındık yağı karışımlarının tork değişimleri.....	49
Şekil 5.9. Saf dizel ve fındık yağı karışımlarının güç değişimleri.....	50
Şekil 5.10. Saf dizel ve fındık yağı karışımlarının MÖYT değişimleri.....	51
Şekil 5.11. Saf dizel ve fındık yağı karışımlarının verim değişimleri.....	52
Şekil 5.12. Saf dizel ve fındık yağı karışımlarının HC değişimleri.....	54
Şekil 5.13. Saf dizel ve fındık yağı karışımlarının CO değişimleri.....	55
Şekil 5.14. Saf dizel ve fındık yağı karışımlarının NOx değişimleri.....	56
Şekil 5.15. Dizel ve B15 yakıtlarının tork karşılaştırılmaları.....	58
Şekil 5.16. Dizel ve B15 yakıtlarının güç karşılaştırılmaları.....	59
Şekil 5.17. Dizel ve B15 yakıtlarının MÖYT karşılaştırılmaları.....	60
Şekil 5.18. Dizel ve B15 yakıtlarının verim karşılaştırılmaları.....	61
Şekil 5.19. Dizel ve B15 yakıtlarının HC emisyonu karşılaştırılmaları.....	62
Şekil 5.20. Dizel ve B15 yakıtlarının CO emisyonu karşılaştırılmaları.....	63
Şekil 5.21. Dizel ve B15 yakıtlarının NOx emisyonu karşılaştırılmaları.....	64

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. İlk dizel motor.....	11
Resim 4.1. Düzeneğin genel resmi.....	24
Resim 4.2. Deney düzeneğinde kullanılan motor.....	25
Resim 4.3. Dinamometre.....	26
Resim 4.4. Dinamometre yük kontrol vanaları ve yükleme ünitesi.....	27
Resim 4.5. Kontrol ünitesi.....	28
Resim 4.6. Egzoz emisyon cihazı.....	29
Resim 4.7. Yakıt deposu ve büret.....	30
Resim 4.8. Fan.....	31
Resim 4.9. Motor test programı.....	33
Resim 4.10. Egzoz hattı.....	34

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

BP	Mil gücü
cm³	Santimetre küp
cSt	Santistokes
g	Gram
kg	Kilogram
kJ	Kilo Joule
kW	Kilo Watt
m	Kütlesel debi (g/s)
N	Devir (dev/dak)
Nm	Newton-metre
Qc	Yakıt alt ısı değeri (kJ/kg)
s	Saniye
T	Tork (Nm)
v	Hacimsel debi (cm ³ /s)
η_B	Mil verimi (%)

Kısaltmalar

Açıklamalar

AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
BG	Beygir Gücü
B5	%5 Biyoyakıt + %95 Dizel
B10	%10 Biyoyakıt + %90 Dizel
B15	%15 Biyoyakıt + %85 Dizel
B20	%20 Biyoyakıt + %80 Dizel
B25	%25 Biyoyakıt + %75 Dizel

Kısaltmalar**Açıklamalar**

B30	%30 Biyoyakıt + %70 Dizel
CI	Sıkıştırma ateşlemeli
CO	Karbon monoksit
CO₂	Karbon dioksit
EEV	Enhanced Environmentally friendly Vehicles
ENVER	Enerji Verimliliği Derneği
EPDK	Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
ha	Hektar
HC	Hidrokarbon
IEA	International Energy Agency
MÖYT	Mil Özgöl Yakıt Tüketimi
MTBE	Metil Tersiyer Bütil Eteri
NH₃	Amonyak
NO	Azot oksit
NO_x	Azot oksitler
N₂	Azot
O₂	Oksijen
PAH	Polinükleer Aromatik Hidrokarbonlar
PI	Pozitif ateşlemeli
PM	Partikül madde
ppm	Parts per million
TL	Türk Lirası
TMO	Toprak Mahsulleri Ofisi
TSE	Türk Standardları Enstitüsü

1. GİRİŞ

Sanayi devriminden bugüne sanayileşmenin artması, bunun yanında kentlerin gelişmesi modern hayatı meydana getirmiş ve bize birçok kolaylıklar sağlamıştır. Sanayileşme ve kentleşme hayatımıza olumlu etkilerinin yanında olumsuz etkileri de getirmiştir. Bu olumsuz etkilerden en büyüğü enerji sorunlarıdır. Dünyadaki enerji kaynakları genel olarak ikiye ayrılabilir. Bunlardan birincisi yenilenebilir enerji kaynakları, diğeri ise yenilenemez enerji kaynaklarıdır. Yenilenebilir enerji kaynakları; Güneş, Rüzgâr, Hidrolik, Jeotermal ve Biyokütle (Biyodizel) olarak beşe, yenilenemez enerji kaynakları ise Fosil ve Nükleer olarak ikiye ayrılmaktadır (Öğüt ve Oğuz, 2006; 1).

Genel olarak yenilenebilir enerji kaynakları tükenmeyen, yenilenemez enerji kaynakları ise tükenen kaynaklardır. Günümüzde kullanılan enerjinin en büyük kaynağı petroldür. Petrolün tükenir bir kaynak olması, çevre kirliliğine neden olması ve uluslararası krizlerden etkilenecek fiyat istikrarının çabuk bozulması günümüzün en büyük sorunlarındadır. Dünyada petrolün kullanıldığı en büyük sektör ulaştırma sektörüdür. Ulaştırma sektöründe günde yaklaşık 15 milyon varil petrol kullanılmaktadır (International Energy Agency [IEA], 2013: 12). Ulaştırma sektörünün de en büyü aktörü motorlu taşıtlardır.

Gün geçtikçe artan enerji ihtiyacı ve enerji arzındaki yaşanacak zorlanmalar, petrolün tükenmesi, yaşanan çevre sorunları insanları harekete geçirmiş ve çözüm önerileri üretmeye yönlendirmiştir. Bunun yanında sadece fosil yakıtlar ile modern hayatın sürdürülebilir olmadığı kanıtlanmıştır (Enerji Verimliliği Derneği [ENVER], 2010: 11). Bu sorunların çözümü için dünya yenilenebilir enerji üzerine yoğunlaşmıştır. Özellikle ulaştırma sektörünün ana aktörü olan motorlu taşıtlarda yenilenebilir enerjinin kullanımı önem kazanmıştır.

Motorlu taşıtlarda kullanılabilecek yenilenebilir enerji kaynaklarından biri biyodizel yakıtlardır. Biyodizel yakıtların yenilenebilir olması ve çevre kirliliğine dizele oranla daha az katkı vermesi nedeni ile araçlarda kullanılması ya da dizele katkı maddesi olması düşünülmektedir. Günümüzde ağır hizmet ticari araç imalatçılarının birçoğu biyodizel katkılı yakıt kullanılan motorları araçlarında kullanmaktadırlar.

Biyodizel yakıtlar hem bitkisel kaynaklı hem de hayvansal kaynaklı olabilmektedirler. Biyodizel yakıtlarının olumlu yanları olduğu gibi olumsuz tarafları da mevcuttur. Bunların başında biyodizel yakıtlarının viskozitesinin ve yoğunluğun yüksek olması gelir. Viskozitesinin yüksek olmasından dolayı motor silindiri içerisinde geç atomize olur ve yanmayı kötüleştirir. Ayrıca, biyodizel yakıtların enerji değerleri petrole göre düşüktür. Bu durum motorda güç ve tork düşüklüklerine neden olabilmektedir.

Biyodizel yakıtların olumlu ve olumsuz yanları düşünülürken dünyada motorlu taşıtlardan meydana gelen çevre kirliliği göz önüne alınmalıdır. Biyodizel yakıtların petrol türevlerine göre daha çevreci olduğu bilinmektedir. Canlı hayatını tehdit eden çevre kirliliğinin azaltılması açısından biyodizel yakıtları ile ilgili daha fazla çalışma yapılması gerekmektedir.

Yapılan bu çalışmada biyodizel yakıtları kullanılarak motor emisyonların azaltılması ve emisyonlardaki iyileşmeye karşın motor torkunda, gücünde ve veriminde meydana gelecek kötüleşmelerin makul değerlerde kalması istenmiştir. Çalışma deneylere ve hesaplamalara dayanmaktadır. Deneyler Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü İçten Yanmalı Motorlar ve Otomotiv Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Laboratuvarında bulunan deney düzeneği kullanılmış olup, deney düzeneği ilerleyen sayfalarda ayrıntılı bir şekilde anlatılacaktır.

Deney düzeneğinde bulunan dizel motorda iki tür biyodizel yakıtı, dizel yakıtı karışım olarak kullanılmıştır. Bunlardan biri Ayçiçek yağı diğeri ise Fındık yağıdır. Ayçiçek ve fındık yağı dizel yakıtı belli oranlarda (%5-%10-%15-%20-%25-%30) karıştırılmış ve motora yakıt olarak verilmiştir. Motorun çalışması sırasında 1400, 1600, 1800, 2100, 2400 ve 2700 (dev/dak) devirlerinde emisyon ölçüm cihazı ile HC, CO ve NO_x emisyonları ölçülmüştür. Verileri düzenekten alan bilgisayar programı sayesinde aynı devirlerde motorun tork ve güç değerleri okunmuştur. Her karışımda motorun yakıt tüketimi süreölçer tutularak ölçülmüş ve mil özgül yakıt tüketimi hesaplanmıştır. Ayrıca, formülasyon ile her karışımın mil verimini bulunmuştur. Bunun yanında, karşılaştırma yapılabilmesi açısından ilk başta saf dizel yakıtının ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Dizel motorlarda emisyonun düşürülmesi için yapılacak işlemlerden biride yakıt üzerinde değişiklikler yapılmasıdır. Biyodizel yakıtlar bu açıdan bir alternatif olarak gösterilmektedir. Bu bilinçle, biyodizel yakıtların motorlarda kullanımı ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. İlkılıç, ayçiçek ve pamuk yağını bir dizel motorda denemiş, motor performansı ve emisyon değerlerinin incelemiştir. Yaptığı çalışmada, ham ayçiçek ve pamuk yağının metil esterini çıkartmış, bu yakıtları tek silindirli bir dizel motorunda, tam gaz, değişik devir ve enjeksiyon basınçlarında kullanmıştır. Kullandığı yakıt karışım oranları %50 Ayçiçek yağı + %50 Dizel, %100 Ayçiçek yağı, % 50 Pamuk yağı + % 50 Dizel ve %100 Pamuk yağı'dır. Ayrıca karşılaştırma yapılması açısından % 100 Dizel yakıtının deneylerini de gerçekleştirilmiştir. Yaptığı çalışma sonucunda, maksimum CO emisyonun olduğu devirde esterlerin dizel yakıtı oranla daha düşük CO emisyonu meydana getirdiği, NOx emisyonlarının, dizel yakıtı göre % 15-20 azaldığı ve duman koyuluğu bakımından esterlerin daha az duman koyuluğuna neden olduğunu tespit etmiştir. Moment değerleri incelendiğinde, maksimum moment devrinde (2200 dev/dak) %100 dizel yakıtı ile % 100 Pamuk yağı metil esterinin arasında % 4'lük bir düşüş olduğu, bu düşüşün % 100 Ayçiçek metil esterinde %9'a çıktığını görmüştür. % 50 Ayçiçek yağı + % 50 Dizel karışımı ile % 50 Pamuk yağı + % 50 Dizel karışımlarının ise % 100 Dizele yakın moment değerleri verdiği tespit etmiştir. Motor gücü irdelemiş ve değişik enjeksiyon basınçlarında, esterlerde %3 ile % 7 arasında güç kaybettiği görmüştür. Minimum özgül yakıt tüketimini incelemiş ve esterlerin % 4 ile % 11 arasında daha fazla yakıt yaktığını tespit etmiştir (İlkılıç, 1999).

Yücesu ve ark., yaptıkları çalışmada, tek silindirli bir motorda alternatif yakıt olarak bitkisel yağ kullanımının motor performansı ve egzoz emisyonları üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Yapılmış bu çalışmada dokuz çeşit bitkisel yağ kullanılmıştır. Bunlar; ham ayçiçek yağı, ham pamuk yağı, ham soya yağı ve bunlardan elde edilmiş ayçiçek yağı metil esterleri, pamuk yağı metil esterleri, soya yağı metil esterleri ile rafine edilmiş haşhaş, kanola ve mısır yağıdır. Motoru tam gaz değişik devirlerde ve sabit devir değişik yüklerde kullanmışlardır. Yapılan çalışma sonucunda; esterleme işlemi ile ham yağların özelliklerinde iyileşmeler görüldüğünü, viskozitelerin azaldığını, ısı değerlerinin biraz arttığını, yoğunluğu azaldığını ve böylece dizel yakıtına yakın özelliklerin elde edildiğini,

biyodizel yakıtların ilk harekete geçişte zorluklar yaşadığını, motor momentini, gücü ve veriminde biyodizle yakıtı kullanımı ile düşüşler yaşandığını, Biyodizel yakıtların duman koyuluğunu artırdığını ancak esterleme işleminden sonra bu koyulukta azalma meydana geldiğini ve biyodizel yakıtı kullanımı ile NO_x emisyonlarının önemli ölçüde azalma olduğunu tespit etmişlerdir (Yücesu ve diğerleri, 2001).

Bruwer ve ark., bir traktör motorunda deneysel olarak ayçiçek yağını yakıt olarak kullanmışlardır. İlk başta motorda hiçbir değişiklik yapmadan saf ayçiçek yağını yakıt olarak motora verilmiş ve motor 1000 saat çalıştırmışlardır. 1000 saatin sonunda motorda % 8'lik bir güç kaybı yaşandığı tespit etmişlerdir. Bruwer ve ark. bu durumu düzeltmek için motorun yakıt enjektörü ve pompasını değiştirmişler bile sonuç yine de değişmemiştir. Motor 1300 saat çalıştıktan sonra ise enjektörde büyük miktarda karbon birikintisi olduğunu gözlemlemişlerdir (Bruwer ve ark., 1980).

Eliçin ve Erdoğan, yaptıkları çalışmada, 4 zamanlı bir dizel motorda fındık yağı dizel karışımı ile fındık yağı etil ve metil esterlerinin yakıt olarak kullanmışlardır. Çalışmaları iki kısımdan gerçekleştirmişlerdir. İlk kısmın da fındık yağını dizel yakıtı ile belli oranlarda (%10, %20, %30, %40 ve %50) karıştırıp, her bir karışım için motor ve emisyon deneylerini yapmışlar, ikinci kısımda ise fındık yağı metil ve etil esterleri üzerinde motor ve emisyon deneylerini yapmışlardır. Yapılan deneyler sonucunda, fındık yağı/dizel karışımlarında fındık yağı oranının her % 10 artışında % 5'lik bir moment düşüşü olduğunu görmüşlerdir. Fındık yağı etil ve metil esterleri arasında moment açısından herhangi bir fark gözükmemiş ve dizel yakıtına göre % 5'lik bir moment kaybı gözlemlemişlerdir. Motor gücüne bakıldığında ise karışıma ilave edilen her % 10'luk fındık yağı ile beraber % 3'lük bir güç azalması tespit etmişlerdir. Fındık yağı etil ve metil esterinde ise güç azalması bakımından bir farklılık olmamış ve dizele göre % 6 daha düşük güç elde etmişlerdir. Fındık yağı karışımlarının yakıt tüketimine bakılmış ve her % 10'luk fındık yağı artışında saatlik yakıt tüketiminde % 5'lik bir artış ölçmüşlerdir. Buna karşılık fındık yağı etil esterinin dizel yakıtından % 11, metil esterinin ise % 6 daha fazla saatlik yakıt tüketimine sahip olduğunu belirlenmişlerdir. Fındık yağı karışımlarının ve etil / metil esterinin motor verimleri dizele oranla düşük çıkmıştır. CO emisyonlarını irdelemişler ve karışımda fındık yağı oranı arttıkça CO emisyonlarının azaldığı ve benzer durumun fındık yağı etil ve metil esterinde de meydana geldiğini görmüşlerdir. NO_x emisyonların da ise fındık yağı karışımlarının dizel yakıtına göre daha düşük emisyonlara neden olduğunu ancak

findık yağı esterlerinin karışımlara oranla daha fazla NO_x emisyonu meydana getirdiğini gözlemlemişlerdir (Eliçin ve Erdoğan, 2006).

İçingür ve Koçak, findık yağı metil esteri elde etmişler ve Land Rover TDI 110 marka dört zamanlı bir dizel motorda yakıt olarak kullanmışlardır. Yaptıkları deneylerde motorun moment, güç, özgül yakıt tüketimi gibi performans parametrelerinin yanında CO, NO_x, duman koyuluğu emisyonları ve egzoz sıcaklığını irdelenmişlerdir. Yaptıkları çalışma neticesinde, motorda findık yağı metil esteri kullanımı ile dizele oranla momentte % 1,16, güçte %1,61 azalma, yakıt tüketiminde ise %11,58 oranında artış tespit etmişlerdir. Findık yağı metil esteri ile yapılan tüm çalışmalarda egzoz sıcaklığı dizele göre düşük çıkmıştır. Esterin kullanımı ile dizele oranla, CO emisyonlarında ortalama %24,67 duman koyuluğunda ortalama % 61,80 ve NO_x emisyonlarında ortalama % 1,44 azalma elde etmişlerdir (İçingür ve Koçak, 2006).

Koncuk, yaptığı çalışmada çeşitli bitkisel yağları ve dizel karışımlarını dört zamanlı bir dizel motorda kullanmış, motor performansı ve egzoz emisyonu değerlerini irdelenmiştir. Kullandığı bitkisel yağlar; findık yağı, findık-ayçiçek karışım yağı (% 60 Findık yağı + %40 Ayçiçek yağı), soya yağı, atık ayçiçek kızartma yağı ve atık mısır kızartma yağıdır. Bitkisel yağların motor karakteristikleri ve egzoz emisyon değerleri dizel yakıtı ile karşılaştırılmıştır. İlave olarak findık yağı metil esteri ve atık ayçiçek kızartma yağı metil esteri dizel motorda kullanılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda; metil esterlerin motor gücünde azda olsa düşüşe neden olduğunu ve özgül yakıt tüketimini artırdığını, tüm bitkisel yağlardan elde edilen biyodizellerin, HC emisyonunun dizel yakıtının altında olduğunu, CO₂ emisyonunda önemli derecede azalttığı, buna karşın CO emisyonlarında azda olsa artış olduğu, biyodizeller arasında en iyi performansı ve en düşük emisyon seviyesini findık yağı metil esterinin verdiği tespit etmiştir. Bunun yanında, findık yağı-dizel karışımları ile yapılan deneylerde en yüksek performans ve en düşük emisyon B20 (%20 Findık yağı + % 80 Dizel) karışımında yakalamış, bu karışımında CO emisyonunda dizele göre azalma meydana geldiğini görmüştür (Koncuk, 2008).

Labeckas ve Slavinskans, yaptıkları çalışmada, dört silindirli, doğal emişli, su soğutmalı ve direk enjeksiyonlu bir dizel motorda, dizel yakıtı ile soğuk preslenmiş kolza tohumu yağını karşılaştırmıştır. Çalışmalarının sonucunda, motor tam yüklü iken ve kolza tohumu yağı kullanılırken, dizele oranla mil özgül yakıt tüketiminde % 12,2 ile % 12,8 arasında artış

gözlemlemişlerdir. Buna rağmen yaptıkları deneylerde, dizel yakıtı ile kolza tohumu yağının kullanılması ile motor termal verimi arasında büyük farklar meydana gelmediğini tespit etmişlerdir. Duman koyuluğu kolza tohumu yağı kullanımı ile ortalama % 27-35 azalmıştır. Kolza tohumu yağı 60 °C'ye ısıtıldığında yakıt filtresinden rahat bir geçiş sağladığı ve hafif yüklerde mil özgül yakıt tüketimini yüke göre % 7,4-11,7 arasında azalttığını görmüşlerdir. Yağı 90 °C'ye kadar ısıttıklarında ise performans açısından hiçbir avantajın meydana gelmediğini gözlemlemişlerdir (Labeckas ve Slavinskans, 2005).

Sayın, yaptığı çalışmada Ayçiçek yağı metil esterini ve dizel yakıtı ile belirli oranlarda karışımlarını bir dizel motorunda beş farklı hız ve tam yük testlerine tabi tutmuştur. Yakıt olarak; dizel yakıtı, % 10 ayçiçeği metil esteri + % 90 Dizel (B10), % 50 ayçiçeği metil esteri + % 50 Dizel ve % 100 ayçiçeği metil esteri (B100) kullanılmıştır. Yaptığı çalışma neticesinde; B10, B50 ve B100 yakıtlarının CO emisyonlarının dizel yakıtına göre düşük olduğu ve en düşük CO emisyonunun % 0,55 ile 2 200 dev/dak'da B100 yakıtında meydana geldiğini, biyodizel oranının artması ile HC emisyonlarında azalma olduğunu, duman koyuluğunda yakıtta biyodizel oranının artması ile azalma meydana geldiğini ve en iyi duman koyuluğu değerinin 1000 dev/dak'da % 91 ile B100 yakıtında görüldüğünü tespit etmiştir. Bunların yanında, biyodizellerin NOx emisyonunun artırdığını, B50 yakıtı dikkate alındığında dizele oranla ortalama % 10'luk bir artışın meydana geldiğini, CO₂ emisyonlarının yakıtta biyodizel katılımı ile arttığını, maksimum CO₂ emisyonunun, maksimum motor hızında % 11,25 ile B100 yakıtında meydana geldiğini görmüştür. Çalışmada mil özgül yakıt tüketimine bakılmış ve biyodizel katkısının MÖYT artırdığını tespit etmiştir. Minimum MÖYT 1300 dev/dak'da 312 g/kWh ile dizel yakıtında meydana gelmiştir (Sayın, 2012).

Öztürk ve Bilen, bir dizel motorunda kanola yağı metil esterinin kullanmışlardır. Yaptıkları deneylerde, %100 Dizel, % 50 Dizel + % 50 Biyodizel ve % 100 Biyodizel yakıtlarını aynı şartlar altında çeşitli devir ve yüklerde denemişlerdir. Çalışma neticesinde; biyodizelin saatlik yakıt tüketiminin, dizele oranla % 12, karışımın ise % 8 arttığını, Kanola yağı metil esterinin O₂ emisyonunun dizel yakıtına oranla ortalama % 10,3, karışımın ise % 7,4 oranında arttığını, biyodizelin CO₂ emisyonunun dizele oranla ortalama % 4,3, karışımın ise ortalama % 2,8 oranında düştüğünü, Kanola yağı metil esterinin duman koyuluğunun dizel yakıtına oranla % 50,2, karışımın ise % 20,1 azaldığını tespit etmişlerdir. Ayrıca, kanola yağı metil esterinin NOx emisyonunun, dizel yakıtına oranla ortalama % 1,7,

karışımın ise % 1,2 arttığını belirlemişlerdir (Öztürk ve Bilen, 2009).

Bayka ve Özdemir, yaptıkları çalışmadan kanola yağını dört silindirli, su soğutmalı, direk enjeksiyonlu bir dizel motorda kullanmış, motor performansı ve emisyon değerlerini incelemişlerdir. Kanola yağının yüksek viskozitesini düşürmek amacıyla yakıt motora vermeden önce ön ısıtmaya tabi tutmuşlardır. Bunun yanında gene viskozitenin düşürülmesi amacıyla kanola yağına % 30 etanol karıştırmışlardır. Motor tam yüklü ve çeşitli devirlerde çalıştırılmıştır. Egzoz emisyon ölçümlerinde 13 moddan oluşan ESC test çevrimi uygulanmıştır. Çalışmanın sonucunda, kanola yağının motor performansı düşürdüğünü, kanola yağına etanol ilavesi ile saf kanola yağına göre performansın iyileştiğini, ancak maksimum performans dizel yakıtında meydana geldiğini görmüşler ve en düşük enerji maliyetini kanola yağında hesaplamışlardır. Emisyonlara bakıldığında ise, kanola yağının HC emisyonlarını azalttığını, kanola yağına etanol katılması ile HC emisyonun arttığı gözlemlenmiş olsalar da en yüksek HC emisyonu dizel yakıtında okumuşlardır. En yüksek CO emisyonu kanola yağında meydana gelmiştir, kanola yağına etanol katılması ile CO emisyonunda düşüş meydana gelmiştir. Kanola yağı PM emisyonları artırmıştır ancak gene etanol kullanımı ile bu artış da düşüşler meydana gelmiştir. Bayka ve Özdemir, yaptıkları bu çalışma ile kanola yağının, motorda, hiçbir modifikasyon yapılmaksızın alternatif yakıt olarak kullanılabilirliğini göstermişlerdir (Bayka ve Özdemir, 2010).

Kegl, yaptığı çalışmada, biyodizelin, enjeksiyon, püskürtme ve motor karakteristikleri üzerinde, zararlı emisyonları azaltılması amacıyla, etkilerini incelemiştir. Çalışmasını bir otobüs motoru (MAN D 2566) üzerinde gerçekleştirmiştir. Biyodizelin enjeksiyon, yakıt püskürtme ve motor karakteristik özelliklerini 2 numaralı dizelin özelliklerine çeşitli şartlar altında kıyaslamıştır. Biyodizel olarak kolza tohumu yağını kullanmıştır. Enjeksiyon karakteristik analizi göstermiştir ki Biyodizel, dolum süresi, enjeksiyon süresi, enjeksiyon zamanı, ortalama enjeksiyon oranı ve enjeksiyon basıncını yükseltmiştir. Biyodizelin yapısı, enjeksiyon ötelemesini azaltmaya ve gelişmiş bir enjeksiyon zamanlamasına neden olmuştur. Ancak, biyodizel kullanımı ile hem enjeksiyon başlangıcındaki hem de enjeksiyon sonundaki yakıt dolumu düşük kalmıştır. Dizele orana biyodizel daha dar ve uzun bir yakıt püskürtme meydana getirmiştir. Bunun sebebi olarak ortalama enjeksiyon oranı ve enjeksiyon basıncının biyodizel’de yükselmesi gösterilmiştir. Ortalama enjeksiyon oranı ve enjeksiyon basıncının yüksek olması ile biyodizel duman ve NOx emisyonlarını

azaltmıştır. Bunun başarılması için enjeksiyon pompasının zamanlaması geciktirilmiştir. Böyle yapılarak diğer zararlı emisyonlar azaltılmış, yakıt tüketimi ve diğer motor özellikleri ise kabul edilebilir seviyelerde kalmıştır. Enjeksiyon pompasının zamanlamasının optimize edilmesi ve biyodizel kullanımı ile CO ve NO_x emisyonlarında % 25, HC emisyonlarında % 30 ve duman emisyonlarında % 50 azalma tespit etmiştir (Kegl, 2008).

Karaaslan ve ark., yaptıkları çalışmada alabalık yağı-dizel yakıtı karışımının bir dizel motorda alternatif yakıt olarak kullanabilirliğini irdelemişlerdir. Bu çalışmada biyodizel, optimum şartlarda, alabalık yağının metil alkol ile reaksiyonu sonucu üretilmiştir. Alabalık yağı metil ester - dizel yakıt karışımı tek silindirli indirek enjeksiyonlu bir motorda test edilmiş olup, motor egzoz emisyon değerleri farklı yüklerde ölçülmüştür. Çalışmalarında iki farklı egzoz emisyon ölçüm cihazı kullanmışlardır. CAPELEC cihazı ile CO ve NO_x, SUN MGA 1500 test cihazı ile de HC emisyonları ölçülmüştür. Ayrıca, egzoz hattına koyulan K-tipi ısı çifti ile, tüm yakıtlarda egzoz sıcaklık değerleri elde edilmiş, egzoz gazı sıcaklığı değişimleri ve O₂ tüketimi eğrileri çizilmiştir. Alabalık yağı metil ester %20, %40 ve %50 oranlarında dizel yakıtı ile karıştırılmış ve bu karışımlar ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Yaptıkları çalışmalar neticesinde, biyodizel-dizel karışımının, dizele oranla HC ve CO emisyonlarını azalttığını ve NO_x emisyonunu artırdığını tespit etmiştir. Bunların yanında, dizel yakıtına %20 oranında biyodizel katılması ile setan sayısının arttığı, biyodizelin ısı değeri dizel yakıtından çok az düşük olduğu, biyodizel ile yapılan bütün testlerin, biyodizelin hemen hemen bütün önemli özelliklerinin dizel yakıtına çok yakın olduğu belirtilmiş olup, dizel motorunda herhangi bir değişiklik yapmadan biyodizel karışımının kullanılabileceği tespit edilmiştir. Çalışmada B20 biyodizel-dizel karışımının optimum karışım olduğu ortaya çıkartılmıştır. B20 karışımı termal verimi iyileştirmiş, egzoz emisyonu ve mil özgül yakıt tüketimini azaltmıştır. Çalışmada, biyodizelin daha düşük kükürt içeriğine sahip olması nedeni ile, klasik dizel yakıtı ile kullanılamayan NO_x kontrol teknolojilerinin biyodizelde kullanılabileceği tespiti yapılmıştır (Karaaslan ve diğerleri, 2010).

Karaaslan ve ark., Metil Tersiyer Bütil Eteri (MTBE) belli oranlarda kurşunsuz benzine katılmasının motor performansı ve egzoz emisyonu üzerindeki etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. MTBE, kurşunsuz benzine hacimsel olarak, %5, %10 ve %14 oranlarında karıştırılmıştır. Deneylerinde dört zamanlı ve dört silindirli bir motor, hidrolik

dinamometre ve yükleme düzeneği kullanmışlardır. Yakıt tüketimi kronometre ile hesaplanmış, egzoz emisyon ölçümlerinde SUN MGA 1200 marka egzoz gazı analiz cihazı kullanmışlardır. Karaaslan ve ark. deneyleri iki grupta gerçekleştirmiştir. Birinci grup deneylerde motor tam açık gaz kelebeği konumunda çalıştırılmış ve hidrolik dinamometre ile frenlenerek 1440-3600 dev/dak aralığında belirlenen değerlerde ölçümler yapılmıştır. Bu grup deneylerde motor torku, yakıt tüketim miktarı ve zamanı ölçülmüştür. İkinci grup deneylerde, tam açık gaz kelebeği konumunda en yüksek torkun olduğu devir sabit motor devri olarak kabul edilmiş ve motor bu devirde çalıştırılmıştır. Dinamometre yardımıyla motor yükü 20% değiştirilerek tam yük-yüksüz (%100-%0) aralığında değiştirilerek egzoz emisyon ölçümleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda, MTBE karışımının motor torkunu artırdığı gözlemlenmiştir. Motor torkundaki bu artış karışım oranı ile doğru orantılı olmamıştır. Maksimum tork artışı %10 MTBE karışımında gerçekleşmiştir. Karaaslan ve ark. bunun nedeninin MTBE yüksek oktan sayısına sahip olması olarak açıklamışlardır. Çalışmada MTBE'nin hava/yakıt oranına etkisi irdelenmiş ve MTBE'nin hava/yakıt oranını fakirleştirdiğini tespit etmişlerdir. Mil verimine bakılmış ve MTBE'nin mil verimini olumlu etkilediği görülmüştür. Mil veriminin olumlu etkilenmesinin nedeni olarak MTBE'nin volümetrik verimi artırması, hava/yakıt oranını fakirleştirmesi ve yapısında oksijen bulundurması olarak göstermişlerdir. Yakıt tüketimi ve motor gücü konularında da MTBE katkısı olumlu etkiler meydana getirmiştir. Karaaslan ve ark. ikinci grup deneylerinde egzoz emisyonlarını irdemişlerdir. MTBE karışımları CO emisyonlarını azaltmış olup, çalışmada bunun nedeni olarak MTBE'nin hava fazlalık katsayısını artırması olarak belirtilmiştir. MTBE karışımları HC emisyonlarını azaltıcı etki göstermiş ve en büyük emisyon azalması %10 karışımında meydana gelmiştir. Karaaslan ve ark. bunun nedeni olarak MTBE'nin yanma verimini iyileştirmesi olarak göstermiştir (Karaaslan ve diğerleri, 2007).

Dinler ve Yücel, yaptıkları çalışmada %85 etanol-%15 benzin (E85) karışımını Ford marka 2264E tip karbüratörlü bir motorda kullanmış ve motor performansı değişimlerini incelemişlerdir. Deneylerde, tam açık gaz kelebeği konumunda, motorun devir sayısı 20 ile 64 dev/s arasında değiştirilerek hidrolik dinamometre üzerinde bulunan terazi ile tork değerleri okunmuştur. Dinler ve Yücel, bu değer yardımıyla motor torku, mil gücü, mil verimi ve özgül yakıt tüketimini hesaplamışlardır. Motor performansını önce benzin kullanılarak hesaplanmışlar daha sonra E85 karışımı ile deneyleri tekrar yapmışlardır. Yapılan deneyler sonucunda E85 karışımının benzine göre mil gücünü düşürdüğü tespit

edilmiş olup, bunun nedeni olarak etanolün ısı değeri benzine oranla düşük olduğu gösterilmiştir. E85 kullanımı ile mil özgül yakıt tüketimini de artmıştır. Bunun nedeni etanolün ısı değeri benzine oranla düşük olması olarak belirtilmiştir. Dinler ve Yücel, son olarak mil verimini irdelenmiş olup, E85 karışımının, benzinle oranla mil verimini düşürdüğü gösterilmiştir (Dinler ve Yücel, 2002).

Görüldüğü üzere biyodizellerin dizel motorlarında kullanımı ile ilgili birçok çalışma yapılmış ve yapılmaya da devam etmektedir. Literatür taramasından da anlaşılacağı şekilde biyodizeller ile ilgili çalışmalar ülkemizde olduğu kadar yurt dışında da ilgi görmektedir. Çalışmalara genel olarak bakıldığında, genel amaç emisyonların düşürülmesi, düşürülürken de motor karakteristiklerinin makul ölçüde kalması olmuştur.

3. GENEL BİLGİLER

3.1. Motor Emisyonları

Atmosfere yayılan kirliliğin çok büyük bir kısmını yol taşımacılığı sonucu ortaya çıkan emisyonlar oluşturmaktadır. Fosil yakıtları kullanarak hareket ve güç üretmek hiç de çevreci bir yol olmadığı gibi şu an toplumun yeterliliğine güvendiği toprak altındaki yakıt da sanılanın aksine çok uzun süre yetecek bir miktarda değildir. Gün geçtikçe artan araç sayısı hava kirliliğini olumsuz etkilemektedir. Genel olarak günümüzde araçlarda kullanılan motorlar iki türdür. Bunlar; benzinli ve dizel motorlardır. Sade elektrikli araç ve hibrit araç piyasaya çıkmış olsa da yaygınlaşamamıştır. Bu çalışma dizel motor üzerine olduğu için bu kısımda daha çok dizel motor emisyonlarından bahsedilecektir.

İlk dizel motor, 1892 yılında Alman mühendis Rudolf Diesel tarafından bulunmuş olup, ilk dizel motorun resmi Resim 3.1’de gösterilmektedir.



Resim 3.1. İlk dizel motor

Dizel motor emisyonları oldukça karmaşık karışımlardır. Dizel egzoz bileşimi büyük ölçüde motor tipi, kullanım şartları, yakıt, yağlama şartları ve emisyon kontrolü sistemlerinin kullanıp kullanılmadığına göre değişmektedir. Dizel emisyonları büyük oranda gaz ve partikül fazları arasında dağılmış olan organik ve inorganik bileşiklerden oluşmaktadır. Bunlar; CO, CO₂, NO_x, NH₃, uçucu organik bileşikler ve su buharı, HC, polinükleer aromatik hidrokarbonlar (PAH), karboksil bileşikler, organik asitler, halojenli organik bileşikler, kükürtdioksit ve dioksinlerdir. Bu emisyonların giderilmesi için yapılan işlemlerden başlıca olanları; motor tasarımında iyileştirilmeler, yakıt ön işlemleri, yanma işlemlerinin daha iyi ayarlanıp, basitleştirilmesi, yakıt formülünün iyileştirilmesi, alternatif yakıt kullanımı ve yanma sonrası cihaz kullanımıdır (Keskin ve Sağıroğlu, 2010).

Bu çalışma dizel motorun HC, CO ve NO_x emisyonları üzerine olduğu için bu emisyonların nasıl meydana geldiğinden biraz bahsetmek gerekmektedir. Hidrokarbonlar, yakıtların eksik yanması veya tutuşamaması sonucu meydana gelirler ve yaklaşık olarak motora giren yakıt miktarının %1-1,5'ini oluştururlar. Yanma odasını çevreleyen dar boşlukların sıkıştırma esnasında yakıt-hava karışımı ile dolması, yakıtın yağ tabakaları içinde absorpsiyonu, kalıntıların yağ filmi etkisi göstermesi, silindir içinde sıvı yakıt kalması ve supap yatak boşluklara karışım sızması şeklindeki mekanizmalar en önemli HC kaynaklarıdır. Karbon monoksit, yakıt içindeki karbonun tamamen yanmaması sonucu oluşan renksiz, kokusuz ve zehirli bir gaz olup ülke çapındaki bütün CO emisyonlarının yaklaşık % 60'ına, şehirlerde % 95 kadarına karayolu taşıtları sebebiyet vermektedir. CO emisyonları hava/yakıt oranına duyarlıdır. CO oluşumunu etkileyen en önemli faktör hava fazlalık katsayısıdır. Karışım zenginleştikçe CO oranı hızlı bir şekilde artar. NO_x, değişik miktarlarda azot ve oksijen içeren fazlaca reaktif bir gazdır. Hava yakıt karışımı içindeki NO_x, yanma odası sıcaklığı yaklaşık 1800 °C ye yükseldiğinde azot (N₂) ve oksijen (O₂)'nin birleşmesiyle oluşur. Eğer sıcaklık 1800 °C'nin üstüne yükselmez ise, N₂ ve O₂, NO gazını meydana getirmeden egzoz sisteminden dışarı atılır (Sert, 2008).

3.1.1. Motor emisyonları ile ilgili yasal düzenlemeler

Motorlu taşıtlardan çıkan emisyonların çevreye zarar vermesine karşın ülkeler harekete geçmiş ve gerekli tedbirleri almış ve almaya da devam etmektedirler. Ülkemizde, motorlu taşıtlardan kaynaklanan emisyonların azaltılması için araçlar üzerinde uygulanan beş adet yönetmelik bulunmaktadır.

Bunlar;

- 18.07.2003 tarih ve 25172 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan “İki veya Üç Tekerlekli Motorlu Araçların Bazı Aksam ve Özellikleri ile İlgili Tip Onayı Yönetmeliği (97/24/AT)”
- 20.07.2007 tarih ve 26588 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan “Tarım veya Orman Traktörlerini Tahrik Etmek Üzere Tasarlanan Motorlardan Çıkan Gaz Emisyonları ve Parçacık Kirleticilere Karşı Alınacak Tedbirlerle İlgili Tip Onayı Yönetmeliği (2000/25/AT)”
- 21.04.2009 tarihli ve 27207 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan “Hafif Yolcu ve Ticari Araçlardan Çıkan Emisyonlar (Euro 5 ve Euro 6) Bakımından ve Araç Tamir ve Bakım Bilgilerine Erişim Konusunda Motorlu Araçların Tip Onayına İlişkin Yönetmelik (715/2007/AT)”
- 24.10.2007 tarih ve 26680 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan “Ağır Hizmet Araçları ve Motorlarının Emisyonları (Euro IV ve Euro V) ile İlgili Tip Onayı Yönetmeliği (2005/55/AT)”
- 03.08.2011 tarih ve 28014 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan Ağır Hizmet Araçlarından Çıkan Emisyonlar (Euro 6) Bakımından ve Araç Tamir ve Bakım Bilgilerine Erişim Konusunda Motorlu Araçların Tip Onayına İlişkin Yönetmelik (595/2009/AT)’dir.

Bu yönetmelikler Avrupa Birliği kaynaklı olup, Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından ülkemizde uyumlaştırılmıştır. 97/24/AT yönetmeliği genel olarak motosiklet ve mopetlere uygulanmaktadır. Yönetmelik genel olup, 5. kısmı emisyonlar ile ilgilidir. Bu yönetmeliğin kapsamındaki araçlar için belirlenen azami emisyon değerler Çizelge 3.1’de gösterilmektedir. Türkiye’de uygulanan azami emisyon değerleri Avrupa Birliği ile aynı seviyede olup, genel olarak Euro 3 standardı şeklinde tanımlanmaktadır.

Çizelge 3.1. 97/24/AT yönetmeliğine göre azami emisyon değerleri

		Karbonmonoksit (CO) (g/km)	Hidrokarbon (HC) (g/km)	Azotoksitler (NOx) (g/km)
İki tekerlekli motosikletler için belirlenmiş limit değerler				
1.1.2007 tarihinden itibaren	Silindir Hacmi < 150 cm ³	5,5	1,2	0,3
	Silindir Hacmi ≥ 150 cm ³	5,5	1,0	0,3
1.1.2010 tarihinden itibaren	Silindir Hacmi < 150 cm ³	2,0	0,8	0,15
	Silindir Hacmi ≥ 150 cm ³	2,0	0,3	0,15
2006-2 BM/AEK	Maks. Hız < 130 km/h	2,62	0,75	0,17
	Maks. Hız ≥ 130 km/h	2,62	0,33	0,22
Üç ve dört tekerlekli pozitif ateşlemeli motosikletler için belirlenen limit değerler				
1.1.2007 tarihinden itibaren	Hepsi	7,0	1,5	0,4
Üç ve dört tekerlekli sıkıştırma ateşlemeli motosikletler için belirlenen limit değerler				
1.1.2007 tarihinden itibaren	Hepsi	2,0	1,0	0,65

2000/25/AT yönetmeliği ise traktörlere uygulanmaktadır. Ülkemizde traktör motorlarında Faz IIIA seviyesi geçerli olmakta olup, Faz IIIA azami emisyon değerleri Çizelge 3.2.'de verilmektedir.

Çizelge 3.2. Faz IIIA azami emisyon değerleri

Kategori: Net güç (P) (kW)	Karbon monoksit (CO) (g/kWh)	Hidrokarbonlar (HC) (g/kWh)	Azot oksitlerin (NOx) (g/kWh)	Parçacıklar (PT) (g/kWh)
H: 130 kW ≤ P ≤ 560 kW	3,5	4,0	4,0	0,2
I: 75 kW ≤ P < 130 kW	5,0	4,0	4,0	0,3
J: 37 kW ≤ P < 75 kW	5,0	4,7	4,7	0,4
K: 19 kW ≤ P < 37 kW	5,5	7,5	7,5	0,6

715/2007/AT yönetmeliği ise hafif yolcu ve ticari araçlar için çıkartılmıştır. Yönetmelik ile bu araçların Euro 5 ve Euro 6 emisyon standartları belirlenmiştir. Güncel olarak ülkemizde Euro 5 azami emisyon değerleri geçerli olmakta olup, Euro 5 azami emisyon değerleri Çizelge 3.3'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.3. Euro 5 sınır değerleri

Sınır Değerler															
		Karbon monoksit kütlesi (CO)		Hidro karbonların toplam kütlesi (THC)		Metan olmayan hidrokarbonların kütlesi (NMHC)		Azot oksitlerin kütlesi (NO _x)		Hidro karbonların ve azot oksitlerin birleşik kütlesi (THC + NO _x)		Parçacık maddenin kütlesi (PM)		Parçacık sayısı (P)	
		(mg/km)		(mg/km)		(mg/km)		(mg/km)		(mg/km)		(mg/km)		(#/km)	
Kate- gori	Sınıf	PI	CI	PI	CI	PI	CI	PI	CI	PI	CI	PI	CI	PI	CI
M	-	1000	500	100	-	68	-	60	180	-	230	5,0/4,5	5,0/4,5	-	6,0x10 ⁽¹¹⁾
N ₁	I	1000	500	100	-	68	-	60	180	-	230	5,0/4,5	5,0/4,5	-	6,0x10 ⁽¹¹⁾
	II	1810	630	130	-	90	-	75	235	-	295	5,0/4,5	5,0/4,5	-	6,0x10 ⁽¹¹⁾
	III	2270	740	160	-	108	-	82	280	-	350	5,0/4,5	5,0/4,5	-	6,0x10 ⁽¹¹⁾
N ₂		2270	740	160	-	108	-	82	280	-	350	5,0/4,5	5,0/4,5	-	6,0x10 ⁽¹¹⁾

2005/55/AT yönetmeliği ise ağır hizmet araçları için çıkartılmıştır ve bu araçların Euro 4 ve Euro 5 azami emisyon seviyelerini belirlemiştir. Ülkemizde Euro 5 emisyon seviyesi uygulanmaktadır. Yönetmelikte ESC, ELR ve ETC testleri tanımlanmakta olup, bu testler sonucunda araçların geçmemeleri gereken emisyon sınır değerleri Çizelge 3.4 ve Çizelge 3.5’de verilmektedir.

Çizelge 3.4. ESC ve ELR deneyi sınır değerleri

Satır	Karbon monoksit kütlesi (CO) g/kWh	Hidrokarboların kütlesi (HC) g/kWh	Azot oksitlerin kütlesi (NO _x) g/kWh	Parçacıkların kütlesi (PT) g/kWh	Duman m ⁻¹
A	2,1	0,66	5,0	0,10 0,13 ⁽¹⁾	0,8
B1	1,5	0,46	3,5	0,02	0,5
B2	1,5	0,46	2,0	0,02	0,5
C(EEV)	1,5	0,25	2,0	0,02	0,15
⁽¹⁾ Silindir başına 0,75 dm ³ ten az süpürme hacimli ve 3000 devir/dakika'dan fazla anma güç devirli olan motorlar için					

Çizelge 3.5. ETC deneyi sınır değerleri

Satır	Karbon monoksit kütlesi (CO) g/kWh	Metansız hidrokarboların kütlesi (NMHC) g/kWh	Metanın kütlesi (CH ₄) ⁽¹⁾ g/kWh	Azot oksitlerin kütlesi (NO _x) g/kWh	Parçacıkların kütlesi (PT) ⁽²⁾ g/kWh
A	5,45	0,78	1,6	5,0	0,16 0,21 ⁽³⁾
B1	4,0	0,55	1,1	3,5	0,03
B2	4,0	0,55	1,1	2,0	0,03
C(EEV)	3,0	0,40	0,65	2,0	0,02
⁽¹⁾ Sadece NG motorlar için. ⁽²⁾ Gaz yakıtlı motorlar için A, B1 ve B2 aşamalarında uygulanamaz. ⁽³⁾ Silindir başına 0,75 dm ³ ten daha az süpürme hacimli ve 3000 devir/dakika'dan daha fazla anma güç devirli olan motorlar için					

Çizelge 3.4 ve Çizelge 3.5’de, A satırı Euro III, B1 satırı Euro IV, B2 satırı Euro V ve C satırı çevre dostu EEV motor emisyon sınır değerlerini göstermektedir. 595/2009/AT de gene ağır hizmet araçları için çıkartılmış olup, ağır hizmet araçlarının Euro 6 azami emisyon seviyelerini belirlemektedir. Ülkemizde Euro 6 emisyon seviyeleri henüz uygulanmasa da 01.01.2015 tarihi itibari ile yavaş yavaş uygulamaya geçilecektir. Bu yönetmeliğe göre Euro 6 emisyon sınır değerleri Çizelge 3.6’de gösterilmektedir.

Çizelge 3.6. Euro 6 emisyon sınır değerleri

Sınır değerler								
	CO (mg/kWh)	THC (mg/kWh)	NMHC (mg/kWh)	CH ₄ (mg/kWh)	NO _x ⁽¹⁾ (mg/kWh)	NH ₃ (ppm)	PM kütlesi (g/kWh)	PM ⁽²⁾ Sayısı (#/kWh)
ESC (CI)	1500	130			400	10	10	
ETC (CI)	4000	160			400	10	10	
ETC (PI)	4000		160	500	400	10	10	
WHSC ⁽³⁾								
WHTC ⁽³⁾								
Not: PI: Pozitif ateşlemeli CI: Sıkıştırma ateşlemeli ⁽¹⁾ NO _x sınır değeri içindeki NO ₂ bileşeninin kabul edilebilir seviyesi sonraki bir aşamada belirlenecektir. ⁽²⁾ Sonraki aşamada belirtilecektir. ⁽³⁾ ESC ve ETC ile ilgili sınır değerleri değiştiren WHSC ve WHTC ile ilgili sınır değerler, güncel çevrimler (ESC ve ETC) ile ilgili ilişki faktörleri, bu Yönetmeliğin uygulama mevzuatı yürürlüğe konulduğunda belirlenecektir.								

3.2. Biyodizel

Biyodizel; “Bitkisel yağların yeni ya da kullanılmışlarından ve hayvansal yağlardan kimyasal yöntemler yardımıyla üretilen biyoyakıtlar kapsamında olan, çevre dostu ve yenilenebilir nitelikli sıvı halde bir yakıttır”. Uygulamada, biyomotorin, yeşil enerji, yeşil dizel, süper dizel, dizel-bi ya da halk deyimiyle yağ mazotu isimleriyle de anılmaktadır. Biyodizel, petrodizele göre giderek kabul görmektedir. Bunun başlıca nedenleri; yenilebilir olması, yerel imkânlarla üretilmesi, ayrışabilir ve zehirli olmaması, egzoz emisyonların da düşüşlere neden olması, atmosferde sera etkisine neden olmaması, parlama noktasının yüksek olması böylece taşıma ve kullanımda güvenli olması, motorlarda direk kullanılabilmesi ve yağlama özelliği iyi olmasıdır (Öğüt ve Oğuz, 2006: 25,26).

Biyodizelin kimyasal yapısı petrol kökenli, dizel yakıtından farklıdır. Biyodizel, orta uzunlukta C16-C18 yağ asidi zincirlerini içeren tipi bir yakıttır. Oksijene zincir yapısı biyodizeli, petrol kökenli dizelden ayırır. Biyodizel, çoğunlukla 16 ile 20 arasında karbona sahip hidrokarbon zincirlerinden oluşur ve ağırlığının yaklaşık % 11’ini oksijen oluşturur. Biyodizel, dizel motor yanma verimini ve emisyon oluşumunu olumsuz etkileyen kükürtlü, aromatik hidrokarbonları, metalleri ve ham petrol artıklarını bünyesinde içermez. Isıl değer, yoğunluk ve viskozite değerleri gibi özellikleri dizel yakıt değerlerine çok yakındır. Ayrıca dizel yakıtına göre setan sayısının daha yüksek ve daha az toksik olması önemli

yakıt özelliklerindendir.

Biyodizelin tarihsel gelişimine kısaca baktığımız zaman, Rudolf Diesel (1858-1913), 1893'te bitkisel yağlara göre tasarladığı motorunun denemesini gerçekleştirmiş ve 1900 yılında Paris Dünya Fuarı'nda yakıt olarak yer fıstığı yağını kullanan motorunu sergilemiştir. Böyle olmasına karşın, bitkisel yağların doğrudan yakıt olarak kullanımındaki zorluklara, petrol ürünlerinin kullanımının yaygınlaşması eklenince konu gündemden düşmüştür. Ancak, biyolojik yağların yakıt olarak kullanılabilmesi için bünyesindeki gliserinin uzaklaştırılması alanındaki akademik çalışmalar yine de devam etmiş ve bugün "BİYODİZEL" olarak adlandırılan yakıt için ilk patent Belçika'daki Brüksel Üniversitesinden G.Chavanne tarafından 31 Ağustos 1937 tarihinde alınmıştır. 1994 yıllarında yaşanan petrol krizleri alternatif enerji arayışlarını hızlandırmış ve "BİYODİZEL" tekrar gündeme taşınmıştır. Özellikle 2000 yılında Dünyada ham petrol ve ham kanola fiyatlarının kesişmesi dünyada biyodizeli ön plana çıkarmış ve yatırımlar büyük bir hızla başlamıştır (Gizlenci ve Acar, 2008).

Dünya biyodizel üretimi ülke ve ülke grupları bazında Çizelge 3.7'de verilmiştir. Dünya biyodizel üretiminde AB lider konumdadır. 2005 yılı itibarıyla dünya biyodizel üretimi 3525 milyon litre olup, bu üretimin 3121 milyon litresi AB ülkeleri tarafından gerçekleştirilmektedir. Biyodizel üretiminde ABD 290 milyon litre ile ikinci sırada yer almaktadır. AB ülkeleri içerisinde ise en önemli üretici ülke Almanya olup, bu ülkeyi Fransa izlemektedir.

Çizelge 3.7. Başlıca biyodizel üretici ülkeler ve üretim miktarları (Yaşar, 2009)

Ülke / Bölgeler	Biyodizel üretimi (milyon litre)	Toplam biyodizel üretimindeki payı (%)
Almaya	1921	54,5
Fransa	511	14,5
Diğer Avrupa ülkeleri	9-227	0,1-6,4
Avrupa birliği toplamı	3121	88,5
ABD	290	8,2
Diğer ülkeler	114	3,2
Dünya toplamı	3525	100

Ülkemizde biyodizelin gelişimine baktığımızı zaman, 20.12.2013 tarihinde yayımlanan petrol yasası ile Biyodizel ilk defa ulusal mevzuatımıza girmiştir. Bu yasaya istinaden yayımlanan petrol piyasası lisans yönetmeliğinde biyodizel akaryakıt olarak tanımlanmıştır. 2005 yılında TSE biyodizel ile ilgili iki adet standard yayımlanmıştır. Bunlar TS EN 14213 ve TS EN 14214 standardlarıdır. EPDK, 01.01.2007 tarihinden itibaren bu standardların uygulanmasını zorunlu hale getirmiştir (Akyarlı, 2007).

Bu çalışmada biyodizel yerine biyoyakıt, biyoyakıt olarak da Ayçiçek yağı ve fındık yağı kullanılmıştır. Bu nedenden dolayı bu yağlardan bahsetmemiz gerekmektedir.

3.2.1. Ayçiçek yağı

Türkiye’de tarımı yapılan yağlı tohumlu bitkiler grubunda; ayçiçeği, soya, susam, yer fıstığı, haşhaş, kanola, aspir ve pamuk çiğidi yer almaktadır. Ayçiçeği, yağlı tohumlu bitkiler içinde ekim alanı ve üretim miktarı bakımından birinci sırada yer almakta olup, içerdiği yüksek orandaki (%22-50) yağ miktarı nedeniyle, bitkisel ham yağ üretimi bakımından önemli bir yağ bitkisidir. Bitkisel yağ üretimimizin %46’sı ayçiçeğinden karşılanmaktadır (Kızıloğlu, 1992).

Dünyada 2013 yılında 13,6 milyon ton Ayçiçek yağı üretilmiştir. Ülkemizde ise bu rakam 708 bin ton’dur. Dünya Ayçiçek yağı üretiminde ilk sırayı 3533 bin ton üretim ile Ukrayna almaktadır. Ukrayna’yı 3237 bin ton üretim ile Rusya takip etmektedir. AB-27 ülkeleri ise 2640 bin ton üretim ile üçüncü sırada yer almaktadır. Ülkemizde Ayçiçek ekim alanı potansiyeli 1 450 000 ha olmasına rağmen, şu anki üretim alanı yaklaşık 600 000 ha’dır. Aradaki 850 000 ha alan düşünüldüğünde ülkemizde Ayçiçek tarımının daha çok geliştirilebileceği görülmektedir (Gümrük ve Ticaret Bakanlığı [GTB], 2012).

Ayçiçek yağının fiziksel ve kimyasal özelliklerine baktığımız zaman karşımıza TS 886 Ayçiçek yağı standardı çıkmaktadır. Bu standarda göre Ayçiçek yağı, edildiği bitki tipine ve üretimde uygulanan yöntemlere göre üç sınıfa ayrılmaktadırlar. Bunlar;

- Sınıf 1 (Ayçiçek yağı),
- Sınıf 2 (Orta oleik asit içerikli ayçiçek yağı),
- Sınıf 3 (Yüksek oleik asit içerikli ayçiçek yağı)

Standarda göre Ayçiçek yağı, açık sarı renkte, kendine özgü tat ve kokuda olmalıdır ve içerisinde gözle görülür yabancı madde içermemelidir. Ayrıca, Ayçiçek yağının fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.8’de gösterilmektedir.

Çizelge 3.8. TS 886 standardına göre ayçiçek yağının kimyasal ve fiziksel özellikleri

Özellikler	Değer		
	Sınıf 1	Sınıf 2	Sınıf 3
Özgül ağırlık	0,918 - 0,923 (20 °C/ 20 °C su)	0,914 - 0,916 (20 °C/ 20 °C su)	0,909 - 0,915 (25 °C/20 °C su)
Kırılma indisi, (n _D)	1,461 - 1,468 (40 °C)	1,461 - 1,471 (25 °C)	1,467 - 1,471 (25 °C)
Sabunlaşma sayısı, (mg KOH/g)	188 -194	190 - 191	182 – 194
İyot sayısı	118 -141	94 - 122	78 – 90
Sabunlaşmayan madde, (g/kg), en çok	15		
Yağ asitleri bileşimi, (toplam metil esteri cinsinden), % (m/m)			
-Laurik asit (C12:0), en çok	0,1	-	-
-Miristik asit (C14:0), en çok	0,2	1,0	0,1
-Palmitik asit (C16:0)	5,0 -7,6	4,0 - 5,5	2,6 - 5,0
-Palmitoleik asit (C16:1), en çok	0,3	0,05	0,1
-Margarik asit (C17:0), en çok	0,2	0,05	0,1
-Heptadesenoik asit (C17:1), en çok	0,1	0,06	0,1
-Stearik asit (C18:0)	2,7 - 6,5	2,1 - 5,0	2,9 - 6,2
-Oleik asit (C18:1)	14,0 - 39,4	43,1 - 71,8	75 - 90,7
-Linoleik asit (C18:2)	48,3 - 74,0	18,7 - 45,3	2,1 - 17,0
-Linolenik asit (C18:3), en çok	0,3	0,5	0,3
-Araşidik asit (C20:0)	0,1 - 0,5	0,2 - 0,4	0,2 - 0,5
- Gadeloik asit (C20:1)	0-0,3	0,2 – 0,3	0,1 – 0,5
-Behenik asit (C22:0)	0,3 - 1,5	0,6 - 1,1	0,5 - 1,6
-Erusik asit (C22:1), en çok	0,3	-	0,3
-Dekosedienoik asit (C22:2), en çok	0,3	0,09	-
-Lignoserik asit (C24:0), en çok	0,5	0,3 - 0,4	0,5
Rutubet ve uçucu madde, % (m/m), en çok	0,2		
Çözünmeyen safsızlıklar, % (m/m), en çok	0,05		
Sabun oranı, % (m/m), en çok	0,005		
Serbest yağ asitleri, (oleik asit cinsinden), % (m/m), en çok	0,3		
Peroksit sayısı, milieşdeğer (O ₂ /kg), en çok	10		
Mineral yağ (ppb), en çok	50		
Kurşun (mg/kg), en çok	0,1		
Sterol bileşimi (toplam sterol yüzdesi olarak)			
– Kolesterol, en çok	0,7	0,1 – 0,2	0,5
– Brassikasterol, en çok	0,2	0,1	0,3
– Kampasterol, en çok	6,5 - 13	9,1- 9,6	5,0 - 13,0
– Stigmasterol, en çok	6,0 - 13	9,0 - 9,3	4,5 - 13,0
– Beta – sitosterol, en çok	50,0 - 70,0	56,0 - 58,0	42,0 - 70,0
– Delta - 5 - avanesterol, en çok	En çok 6,9	4,8 - 5,3	1,5 - 6,9
– Delta - 7 - stigmastenol, en çok	6,5 - 24,0	7,7 - 7,9	6,5 - 24,0
– Delta - 7 - avanesterol, en çok	3,0 - 7,5	4,3 - 4,4	En çok 9,0
– Diğerleri, en çok	En çok 5,3	5,4 - 5,8	3,5 - 9,5
– Toplam sterol (mg/kg)	2400 - 5000	-	1700 – 5200

3.2.2. Fındık yağı

Fındık yağı fındıktan üretildiği için ilk başta fındık ile ilgili istatistiklerin verilmesi uygun olacaktır. Dünya fındık üretimi, 1960'lı yıllarda yaklaşık 250 bin ton civarında iken son 5 yıllık süreçte ortalama 797 bin tona çıkmıştır. Dünya fındık üretiminin yaklaşık %69'unu gerçekleştiren Türkiye'yi sırasıyla İtalya ve Azerbaycan takip etmekte olup, dünya fındık üretimi Çizelge 3.9'da gösterilmektedir. Türkiye'de fındık üretimi dalgalanmalar göstermekte olup, bu dalgalanma iklim şartları, fındık periyodisitesi gibi nedenlere bağlı olmaktadır (Toprak Mahsulleri Ofisi [TMO], 2013: 3-5).

Çizelge 3.9. Dünya fındık üretimi (kabuklu / ton) (TMO, 2013:3)

	2009	2010	2011	2012	2013	Ortalama
Türkiye	500 000	600 000	430 000	660 000	549 000	547 800
İtalya	85 000	87 200	140 000	84 000	120 000	103 240
Azerbaycan	30 000	25 000	55 000	40 000	35 000	37 000
Gürcistan	27 000	40 000	30 000	28 000	30 000	31 000
ABD	42 600	24 500	35 000	32 000	35 000	33 820
İspanya	18 000	20 000	22 000	16 000	19 500	19 100
Diğerleri	20 000	27 000	27 000	25 000	25 000	24 800
Toplam	722 600	823 700	739 000	885 000	813 500	796 760

Fındık yağı, fındıkların ekspellerde preslenmesinden sonra rafine edilmesi ile elde edilen kokusuz bir yağdır. Özellikle yağ asidi kompozisyonu açısından zeytinyağına benzer özelliklere sahiptir. Fındık zengini ülkemizde fındık yağı işleyen nispeten az sayıda fabrika bulunmakta ve ürünün büyük kısmı da ihraç edilmektedir (Seydim ve Ertekin, 2006).

Fındık yağının genel özelliklerine bakıldığında zaman karışımıza 1989 yılında yayımlanan TS 6581 Rafine Fındık Yağı standardı çıkmaktadır. Standarda göre fındık yağında olması gereken genel özellikler Çizelge 3.10'da gösterilmektedir.

Çizelge 3.10. Fındık yağı genel özellikleri

Özellikler	Rafine Fındık Yağı	
	En Az	En Çok
1. Duyusal	Tortusuz ve Berrak Açık sarı Kendine has hissedilir	
- Görünüş (20 °C)		
- Renk		
- Koku		
2. Fiziksel		
- Bağlı Yoğunluk (20 °C)		
- Kırılma indisi (20 °C)		
3. Kimyasal		
- Uçucu maddeler (%) (m/m)		
- Eterde çözünmeyen yabancı madde ve kül miktarı (%) (m/m)		
- İyot sayısı –wijs (100 g yağ için gerekli iyot,g)		
- Sabunlaşma sayısı		
- Sabunlaşmayan maddeler (%) (m/m)		
- Serbest yağ asitleri (% m/m oleik asit cinsinden)		
- Peroksit sayısı (1 kg yağdaki peroksit oksijeni, meq)		
- Sabun miktarı (Na-oleat olarak) % m/m		
- Mineral yağlar		
- Diğer yağlar		
- Yağ asitleri bileşimi (%) (m/m)		
. Palmitik		
. Palmitoleik		
. Stearik		
. Oleik		
. Linoleik		
- Metalik maddeler		
. Demir miktarı (1 kg yağda, mg)		
. Bakır miktarı (1 kg yağda, mg)		

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu bölümde deneysel çalışma ile ilgili bilgiler verilecektir. Çalışmada kullanılan deney düzeneği, yakıtların nasıl hazırlandığı ve deney işlemlerinin nasıl yapıldığı anlatılacaktır. Çalışma kapsamındaki deneyler Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İçten Yanmalı Motorlar ve Otomotiv Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Laboratuvar odası yeniden düzenlenmiş, laboratuvarında bulunan düzenekte düzenlemeler yapılmış ve yeniden devreye alınmıştır. Düzenek yeniden devreye alındıktan sonra çalışmalara başlanılmıştır.

4.1. Deney Düzeneği

Deneylere başlamadan önce ve deneyler esnasında laboratuvarında bulunan düzenekte iyileştirmeler ve onarımlar gerçekleştirilmiştir. Düzenekte bulunan motorun yağı iki defa değiştirilmiştir. Egzoz borusu, motor titreşiminden dolayı iki defa çatlamış ve iki defa kaynak yapılmıştır. Yakıt tankının düşmesine karşın duvara sabitlenmiştir. Birçok conta ve cıvata yenilenmiştir. Dinamometre borusunda çatlama meydana gelmiş ve yenisiyle değiştirilmiştir. Motor enjektöründen daha iyi verim alınması açısından enjektör bakıma götürülmüş ve akü gerektiği zamanlarda şarj edilmiştir. Sonuçta düzenek verimli bir şekilde çalıştırılmış ve deneyler tamamlanmıştır. Düzeneğin genel resmi Resim 4.1’de gösterilmekte olup, düzenekte bulunan kısımlar şunlardır;

- Motor
- Dinamometre
- Kontrol ünitesi
- Egzoz emisyon ölçüm cihazı
- Yakıt tankı ve büret
- Fan



Resim 4.1. Düzeneğin genel resmi

4.1.1. Motor

Deneylerde Anadolu Motor Üretim ve Pazarlama A.Ş. tarafından üretilen ANTOR marka 3 LD 510 tip tek silindirli dizel motor kullanılmıştır. Tip tanıtımında;

- 3: Motor grup numarası
- LD: Antor dizel
- 510: motor silindir hacmini (cc) temsil etmektedir.

Motor, tek silindirli, dört zamanlı, hava soğutmalı, direk püskürtmeli bir dizel motoru olup, maksimum torku 1800 dev/dak'da vermektedir. Marşla çalışabildiği gibi iple de çalışabilen bu motor rektifiye edilebilirdir. Motorun teknik özellikler Çizelge 4.1'de tablo halinde ve motorun resmi Resim 4.2 'de verilmektedir.

Çizelge 4.1. Motorun teknik özellikleri

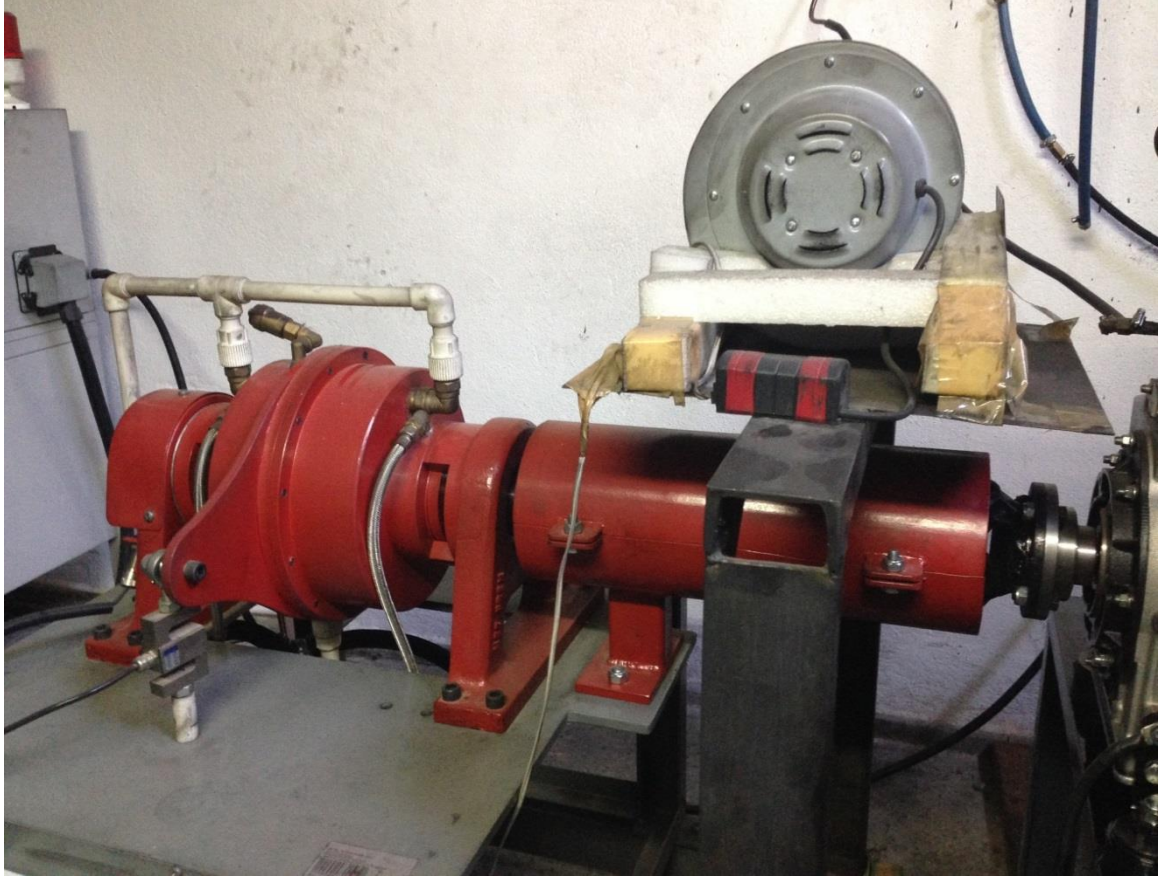
Teknik Özellikler	
Silindir Sayısı	1
Strok hacmi cm ³	510
Silindir çapı mm	85
Strok mm	90
Sıkıştırma oranı	17,5:1
Motor devri dev/dak	3000
Motor gücü BG	12
Maksimum tork kg.m	3,35@1800 dev/dak
Yakıt depo kapasitesi Litre	5,5
Özgül yakıt tüketimi gram/BG.h	190
Yağ tüketimi gram/h	10
Karter yağ kapasitesi Litre	1,75
Kuru ağırlık kg	60



Resim 4.2. Deney düzeneğinde kullanılan motor

4.1.2. Dinamometre

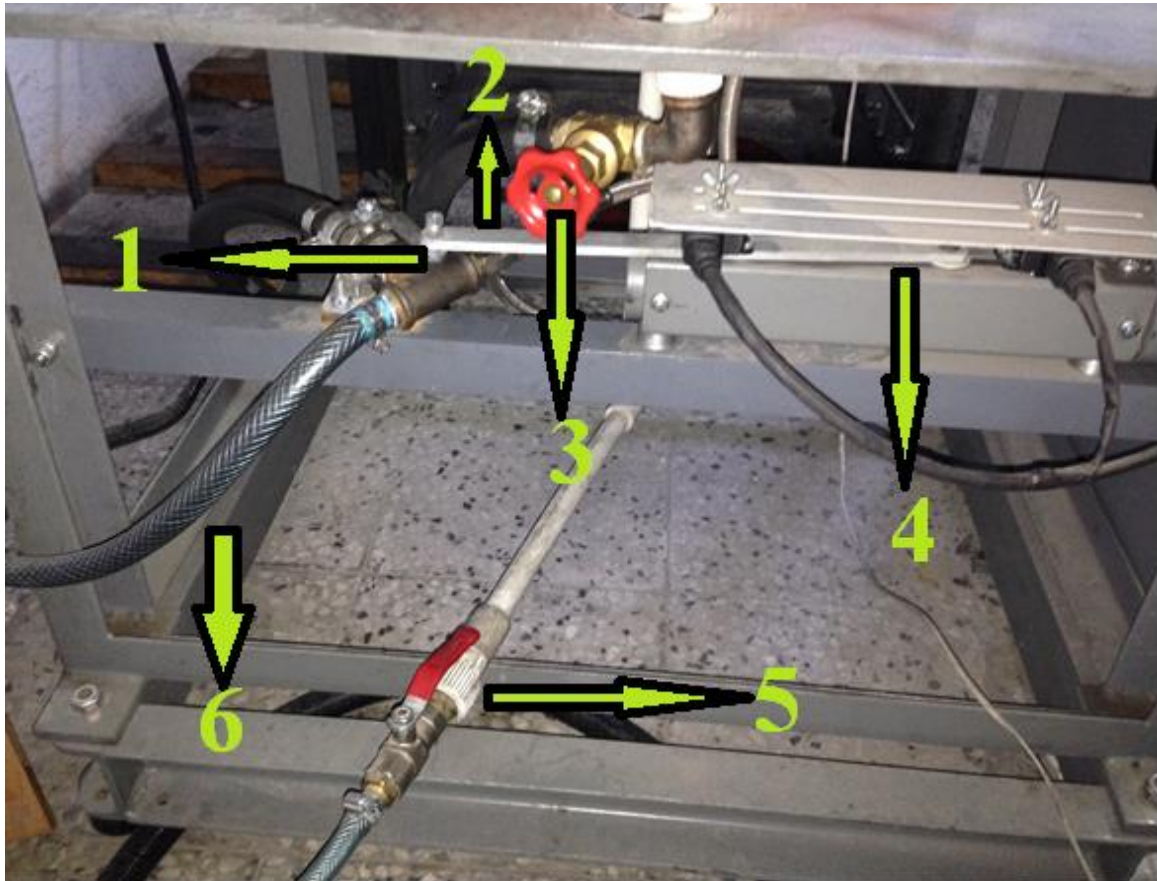
Deneyleerde su dinamometresi kullanılmakta olup, dinamometre için gerekli olan su şebeke suyundan sağlanmıştır. Dinamometreye gerekli yüklemelerin yapılması için su hattı ve vana düzenekleri kullanılmıştır. Dinamometre resmi Resim 4.3’de gösterilmektedir.



Resim 4.3. Dinamometre

Dinamometreden bahsederken, dinamometrenin su bağlantıları ve vanalarından da bahsetmemiz gerekmektedir. Dinamometrenin içerisinde gerekli basıncı ya da diğer bir deyimle su frenini sağlamak için çeşitli vanalar kullanılmıştır. Bu vanaların ve yükleme ünitesinin resmi Resim 4.4’te gösterilmektedir. Burada bir numaralı vana yk koluna bağlıdır ve yk kolu da kontrol ünitesindeki bilgisayardan kontrol edilmektedir. Kontrol nitesinden yükü arttırdıkça bu vana açılır ve dinamometrenin içerisine daha fazla su girer. İki numara ile gösterilen yerde küçük siyah bir vana bulunmaktadır. Bu vana sistem çalışmadan önce az bir miktar açılarak dinamometre içerisine su girmesi sağlanır. Böylece dinamometre içerisindeki keçeler ıslanır ve sistemin zarar görmesi engellenir. Üç numaralı

vana ise gene dinamometreye su girmesini sağlayan vanadır. Beş numaralı vana ise tahliye vanasıdır ve dinamometrenin içerisindeki suyu tahliye etmeye yarar. Üç ve beş numaralı vanaları kullanarak dinamometre içerisindeki basınç ayarlanabilir. Dört numara ile gösterilen kısım yük kontrol ünitesidir. Bu kısım bilgisayardan kontrol edilir ve bir numaralı vananın açılıp kapanmasını sağlar. Altı numara ile gösterilen hortum ise şebeke suyu hortumudur.



Resim 4.4. Dinamometre yük kontrol vanaları ve yükleme ünitesi

4.1.3. Kontrol Ünitesi

Kullanılan su dinamometresini kontrol etmek ve dinamometre ve yakıt tankındaki verilerin alınmasını sağlamak için kontrol ünitesi kullanılmış olup, kontrol ünitesi Resim 4.3’de gösterilmektedir. Kontrol ünitesinde açma/kapama düğmesi, acil durum düğmesi, bilgisayar ve monitör bulunmaktadır. Bilgisayarın içerisinde motor test programı bulunmakta olup, bu program ile dinamometre kontrol edilmekte, dinamometreden tork, güç, özgül yakıt tüketimi verileri alınmaktadır.



Resim 4.5. Kontrol ünitesi

4.1.4. Egzoz emisyon ölçüm cihazı

Deneylerde Capelec gaz analiz cihazı kullanılmış olup, cihaz Resim 4.6'da gösterilmektedir. Cihaz hem benzinli hem de dizel araçlarda kullanılabilir. Hem benzinli hem de dizelde egzoz gazı ölçümü, bunun yanında dizel araçlarda duman ölçümü yapabilmektedir. Ölçüm yaptığı parametreler; HC, CO, CO₂, O₂, LAMBDA, NO_x, N ve K (Duman koyuluğu)'dır. Cihaz ilk açıldığında sıfırlama yapmakta olup, bu birkaç dakika sürmektedir. Cihazın üzerindeki ekran ile parametrelerin değişimi görülmektedir. Ölçüm değerlerine ulaşıldığında PRINT tuşuna basılıp çıktı alınabilmektedir. Ayrıca, cihazda hafıza özelliği bulunmaktadır. Deney esnasında, ölçümleri hafıza alınabilir ve toplu halde yazdırılabilir. Cihaz OIML CLASS 1 standardında olup, cihazın ölçme aralığı ve hassasiyeti Çizelge 4.2'de gösterilmektedir.



Resim 4.6. Egzoz emisyon cihazı

Çizelge 4.2. Gaz analiz cihazı ölçme aralığı ve hassasiyeti (Erman, 2012)

Parametre	Ölçme aralığı	Ayrıcılık
HC	0-20000 ppm	1 ppm
CO	0-15 %	0,001 %
CO ₂	0-20 %	0,1 %
O ₂	0-21,7 %	0,01 %
LAMBDA	0,6-1,2	0,001
NO _x	0-5000 ppm	1 ppm
N	0-100 %	0,1 %
K	0-9,99 m ⁻¹	0,01 m ⁻¹

4.1.5. Yakıt tankı ve büret

Deneysel çalışmada motorun kendi yakıt deposu kullanılmamıştır. Bunun yerine kontrol ünitesine bağlı olan ve Resim 4.7’de sağ tarafta resmi bulunan yakıt deposu kullanılmıştır. Yakıt dolumu buradan sağlanmıştır. Yakıt deposundan motora direk yakıt verilmemiş yakıt deposu Resim 4.7’de sol tarafta bulunan bürete bağlanmış olup, yakıt büretten motora verilmiştir. Böylece büretten kronometre yardımıyla yakıt tüketimi ölçülmüştür.



Resim 4.7. Yakıt deposu ve büret

4.1.6. Fan

Daha önceki çalışmalarda motorun mevcut havalandırma kanalının kesilmesi gerekmiştir. Bu yüzden, hava soğutmalı motorun, yüksek sıcaklıklarda soğutma düzeyi azalmıştır. Bunun giderilmesi ve yüksek sıcaklıklarda motor bloğunun zarar görmemesi için harici bir fan kullanılmıştır. Bu fan dinamometre üzerine sabitlenmiş olup Resim 4.8’de gösterilmektedir.



Resim 4.8. Fan

4.2. Deneylerin Yapılması

Bu kısımda deneylerin nasıl yapıldığı hangi yöntem izlendiği anlatılacaktır. Deneylerde genel mantık; biyoyakıtları dizel ile karıştırmak ve bunu motora yakıt olarak vermek, daha sonrada egzoz emisyonu ve motor karakteristiklerini ölçmek şeklindedir. Deneylerde kullanılan biyoyakıtlar ayçiçek ve fındık yağıdır. Ayçiçek yağı TS 886 standardı, fındık yağı ise TS 6581 standardına uygundur. Dizel yakıtı olarak ise Eurodizel kullanılmış olup, Eurodizelin özellikleri Çizelge 4.3’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.3. Eurodizel özellikleri (Erman, 2012)

Özellik	Değer	Birim
Yoğunluk (15 °C)	820-845	kg/m ³
Viskozite (40 °C)	2-4,5	cSt
Parlama Noktası	Min. 55	°C
Setan Sayısı	Min. 51	
Isıl Değer	45,65	Mj/kg

Deneylere başlamadan önce bazı hazırlıklar yapmamız gerekmektedir. Bunlardan birisi yakıtları hazırlamaktır. Yakıt karışımları laboratuvarında bulunan ve bir litre kapasiteli bir beherde hazırlanmıştır. Karışım oranları %5, %10, %15, %20, %25 ve %30’dur. Ayçiçek ve fındık yağı saf dizele yukarıdaki oranlarla karıştırılmış ve B5, B10, B15, B20, B25, B30 yakıtları elde edilmiştir. Ayçiçek ve fındık yağı karışımlarının her bir oranı için tek tek test yapılmış, egzoz emisyonu ve motor karakteristikleri hesaplanmıştır. Daha açık bir şekilde

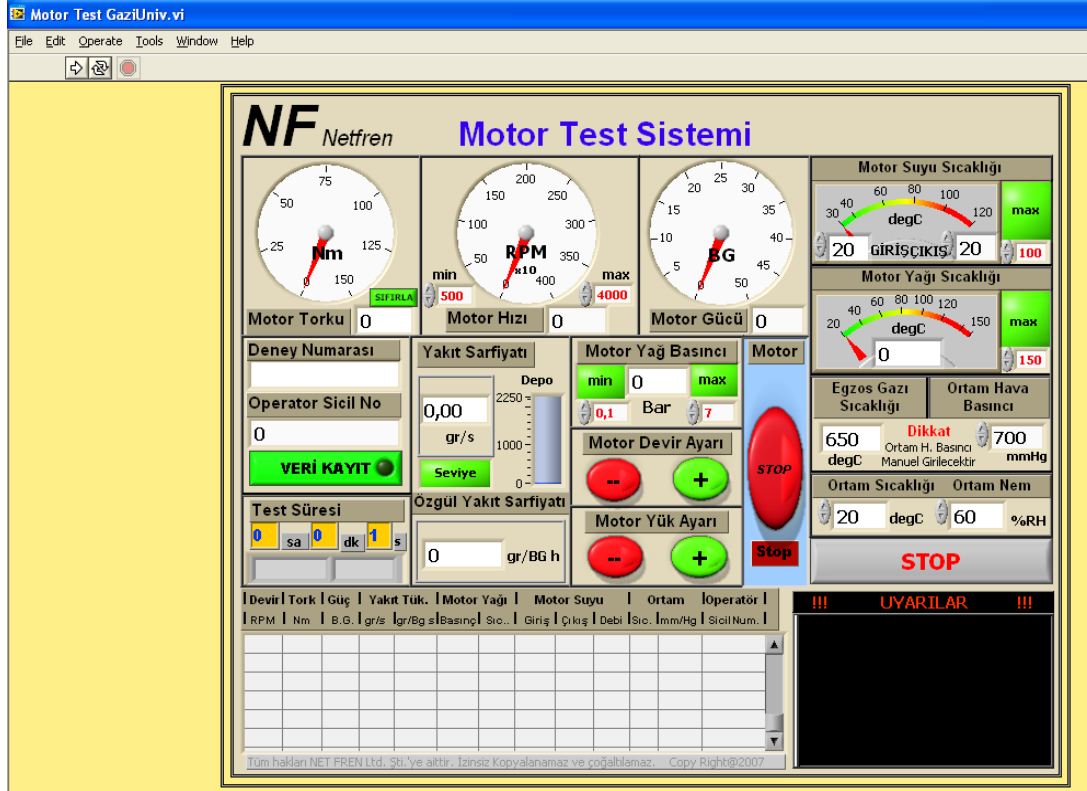
anlatılırsa, B5 ayçiçek yakıtı (%5 ayçiçek + %95 dizel) hazırlanması şu şekilde olmuştur; 1 litrelik behere 50 ml ayçiçek yağı dökülmüş ve üzeri 1 litreye gelinceye kadar dizel ile doldurulmuştur. Daha sonra karışım beherin içerisinde iyice karıştırılmıştır ve elde edilen bu karışım yakıt tankına boşaltılmıştır. Bu yakıt hazırlama ve deney seti ayçiçek ve fındık yağının her bir karışımı için gerçekleştirilmiştir. İlk başta referans olması açısından saf dizelin deneyleri yapılmıştır.

Her bir deneye başlamadan önce şebeke suyu vanası az bir şekilde açılması ve dinamometrenin zarar görmemesi açısından keçeleri ıslatılması gerekmektedir. Motorun akü bağlantısı kontrol edilmeli, motorun sıcak çalışmada zarar görmemesi için fan açılmalı ve sonrasında motor çalıştırılmalıdır. Yüksek bir titreşimle çalışan motorun, titreşiminin azaltılması açısından motora yarım gaz verilmeli ve motorun ısınması için 5 dakika çalıştırılmalıdır. 5 dakika çalıştıktan sonra motor tam gaz konumuna getirilmelidir.

Motora gelen yakıt direk yakıt tankından gelmemektedir. Yakıt tankından bürete, bürettende motora gelmektedir. Motor, tam gaz konumunda büretten gelen yakıtı yakmaya devam ederken, dinamometrenin içerisindeki basınç ayarlanmaya başlanır. Dinamometre içerisindeki basınç yani su freni, kontrol ünitesi ve dinamometre üzerindeki vanalarla vasıtası ile ayarlanır.

Dinamometre içerisindeki basıncın ayarlanması ile motorun devri ayarlanmaktadır. Dinamometre yüklendikçe motor devri azalmaktadır. Her bir deneyde motor yüksüz yani en yüksek devirde başlatılmış, daha sonra dinamometre yüklenerek devir düşürülmüş ve istenilen devirlere getirilmiştir. Ölçüm yapılan devirler 1400, 1600, 1800, 2100, 2400 ve 2700 dev/dak'dır.

Motor çalışmaya devam ederken, kontrol ünitesinde bulunan motor test programında, düzeneğin verileri kaydedilmektedir. Motor test programı sayesinde istediğimizde devirde hangi tork ve gücün elde edildiği kayıt altına alınmakta olup, motor test programının arayüzü Resim 4.9'da gösterilmektedir. Motor test programında "VERİ KAYIT" tuşuna basıldığında düzeneğe ilgili bilgileri kaydetmekte ve bunları çıktı halinde bize vermektedir. İstedığımız devirde hangi güç ve tork değerleri verildiği bu çıktılardan elde edilmiştir.



Resim 4.9. Motor test programı

İstenilen devirdeki yakıt tüketimi büret vasıtasıyla hesaplanmıştır. Büretin üzerinde 50 cm^3 'lük bir kısım bulunmaktadır. Motor, ölçüm yapılan devire geldiği zaman, kronometre yardımıyla 50 cm^3 'lük yakıtın kaç saniyede tükendiği belirlenmektedir.

Egzoz emisyon ölçümlerinde Capelec cihazının ucu kullanılmıştır. Motor egzoz hattında Capelec cihaz ucunun gireceği bir kısım mevcut olup, Resim 4.10'da gösterilmektedir. Motor ölçüm yapılan devire geldiği zaman bu kısma uç yerleştirilerek Capelec cihazına egzoz gazı verilmiştir. İstenilen devirde egzoz emisyon ölçümleri bu şekilde gerçekleştirilmiş, her karışım ve her devirde bu işlem tekrarlanmıştır. Egzoz emisyon ölçümü bittiğinde Capelec cihazında "PRINT" tuşuna basılarak emisyon sonuçları çıktı halinde alınmıştır.



Resim 4.10. Egzoz hattı

4.3. Hesaplamalar

Motorun Güç ve Tork değerlerini motor test programı sayesinde elde edilmektedir. Ancak, bu çalışmanın amaçları ve motor karakteristiklerinin ortaya çıkartılması açısından birçok hesaplama yapmamız gerekmektedir. Bu hesaplamalardan biri yakıt tüketimi hesabıdır. Daha öncede anlatıldığı gibi istenilen devirde yakıt tüketimi hesabı büret vasıtası ile yapılmıştır. Kronometre tutulmuş ve 50 cm^3 'lük yakıtın kaç saniyede tüketildiği hesaplanmıştır. Ancak, bu hacimsel debiyi vermiş olup, bunu kütleli debiye çevirmemiz gerekmektedir. Bu dönüşümü sağlamak için yoğunluk formülünden yararlanılmış olup, formül aşağıdaki gibidir;

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (4.1)$$

ρ = Yoğunluk (g/cm³)

m = Kütlesel debi (g/s)

v = Hacimsel debi (cm³/s)

Kütlesel debiyi hesaplamak için yakıtların yoğunluğunu bilmemiz gerekmektedir. Ayçiçek yağının yoğunluğu 20 °C'de 0,91779 gr/cm³'dür (Sağlamtaş, 2014). Fındık yağının yoğunluk değeri, TS 6581 standardına göre alınmış olup, bu değer 0,915 gr/cm³'dür. Literatür taramasından elde edilen bilgiye göre ise Eurodizel yakıtının yoğunluğu 0,82 gr/cm³'dür.

Biyodizelleri, eurodizel ile karışım olarak kullandığımız için, öncelikle karışımın yoğunluğunu hesaplamamız gerekmektedir. Tüm bu işlemleri bir örnekle açıklamamız gerekirse;

% 5 Ayçiçek yağı + % 95 Dizel (B5) karışımını ele alalım. Bu karışımın yoğunluğu;

$$\rho_{\text{karışım}} = 0,05 \times 0,91779 + 0,95 \times 0,82$$

$$\rho_{\text{karışım}} = 0,82489 \text{ g/cm}^3 \text{ çıkar.}$$

Motor 1400 dev/dak'da B5 ayçiçek karışımının 50 cm³'ünü 50 saniyede tüketirse, karışımın hacimsel debisi;

$$V_{\text{karışım}} = 50/50$$

$$V_{\text{karışım}} = 1 \text{ cm}^3/\text{s} \text{ elde edilir.}$$

Karışımın yoğunluğunu ve hacimsel debisini elde ettikten sonra Eş. 4.1'de yerine koyulursa,

$$0,82489 = m_{\text{karışım}} / 1$$

$$m_{\text{karışım}} = 0,82489 \text{ g/s'ye çıkar.}$$

Bu çalışmada, dizelin ve karışımların mil özgül yakıt tüketimi (MÖYT) ve verimi hesaplanıp birbiri ile karşılaştırılmıştır. MÖYT ve verim hesaplanırken mil gücü (BP) değerinin hesaplanmasına gerek vardır. Krank milinden alınan güce mil gücü diğer bir deyişle fren gücü denmekte olup, aşağıdaki formülünden hesaplanmaktadır.

$$BP = \frac{2\pi TN}{60000} \quad (4.2)$$

Burada;

BP: Mil gücü (Fren Gücü) (kW)

T: Tork (Nm)

N: Motor devri (dev/dak)

Örnek bir mil gücü hesabı yaparsak;

% 5 Ayçiçek yağı + % 95 Dizel (B5) karışımının 1400 dev/dak Torku 21,98 Nm olarak bilgisayardan okunmuştur. Eş. 4.2’de bu değeri yerine koyduğumuz zaman;

$$BP = \frac{2\pi \times 21,97932 \times 1400}{60000}$$

$BP=3,22 \text{ kW}$ çıkmaktadır.

Mil özgül yakıt tüketimi, motordan birim güç almak için gerekli olan yakıt miktarı olarak tanımlanmaktadır. MÖYT, genel olarak, kütleli debi ve mil gücüne bağlı olup, formülü aşağıdaki gibidir.

$$MÖYT = \frac{m}{BP} \times 3600 \quad (4.3)$$

Burada;

MÖYT: Mil özgül yakıt tüketimi (g/kWh)

m: Kütleli debi (g/s)

BP: Mil Gücü (kW)

Bunu da örneklendirmemiz gerekirse, daha önce kütleli debisi ve mil gücü hesaplanan B5 ayçiçek yağı karışımının 1400 dev/dak’da mil özgül yakıt tüketimi;

$$MÖYT = \frac{0,82489}{3,220703} \times 3600$$

$MÖYT = 922,0353 \text{ g/kWh}$ olarak hesaplanır.

Bu çalışmada son olarak mil verimi hesabı yapılmıştır. Mil verimi, motorun krank milinden alınan gücün, motorun harcadığı yakıtın toplam kimyasal enerjisine oranı olarak tanımlanmaktadır. Mil verimi hesabı yapılırken yakıtların, yakıt alt ısı değerlerini bilmemiz gerekmektedir. Dizelin yakıt alt ısı değeri 45650 kJ/kg'dır (Erman, 2012). Ayçiçek yağının alt ısı değeri ise 37000 kJ/kg'dır (Sağlamtaş, 2014). Fındık yağının alt ısı değeri ise yağ ambalajından 36790 kJ/kg olarak elde edilmiştir. Mil verimi formülü ise aşağıdaki gibidir.

$$\eta_B = \frac{BP}{Q_c \times m} \times 100 \quad (4.4)$$

Burada;

η_B : Mil verimi (%)

BP: Mil gücü (kW)

Q_c : Yakıt alt ısı değeri (kJ/kg)

m: Kütlesel debi (kg/s)

B5 ayçiçek karışımı örneğimizden devam edersek, öncelikle B5 karışımının yakıt alt ısı değerini hesaplamamız gerekmektedir. Altı ısı değeri şu şekilde hesaplanmaktadır.

$$Q_{\text{karışım}} = 0,05 \times Q_{\text{ayçiçek}} + 0,95 \times Q_{\text{dizel}}$$

$$Q_{\text{karışım}} = 0,05 \times 37000 + 0,95 \times 45650$$

$$Q_{\text{karışım}} = 45217,5 \text{ kJ/kg}$$

Daha önce 1400 dev/dak'da B5 karışımının mil gücü ve kütlesel debisi hesaplanmıştı, bu değerler Eş. 4.4'de yerine koyulursa;

$$\eta_B = \frac{3,220703}{45217,5 \times 0,82489} \times 100 \times 1000$$

$$\eta_B = \% 8,6347' \text{ lük bir mil verimi hesaplanır.}$$

Buradaki 1000 çarpanı kütlesel debiyi g/s'den kg/s'ye çevirmek için kullanılmıştır.

Bilgisayardaki motor test programı yardımı ile her karışımda motorun Tork ve Güç değerlerinin nasıl değiştiğini kolaylıkla görebilmekte iken, hacimsel debiyi büret ve kronometre yardımıyla ölçmemiz gerekmiştir. Ölçtüğümüz hacimsel debi, kütlesel debiye dönüştürülmüş ve kütlesel debi yukarıda gördüğümüz gibi birçok yerde işimize yaramıştır.

Diğer taraftan her karışım ve her devirde hesapladığımız mil gücünde çok kullandığımız parametreler arasına girmiştir.

Kütleli debi hesabında her bir karışımın yoğunluğunun hesaplanması gerekmektedir. Bu nedenle yakıtların yoğunluklarının önceden bilinmesi lazımdır. Mil gücü hesabında hangi devirde hangi tork değerinin olduğunun bilinmesi gerekmektedir. Bu konuda yazılım bize yardımcı olmuş ve bu değerleri sağlamıştır. Elde edilen mil gücü ve kütleli debi değerleriyle MÖYT hesaplanmıştır. Mil verimi hesaplanırken karşımıza yakıt alt ısı değeri diye bir parametre çıkmıştır. Karışımlarda bu parametrenin hesaplanması için yakıtların alt ısı değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Yakıtların alt ısı değerleri kullanılarak her karışımın alt ısı değerleri hesaplanmıştır. Altı ısı değeri hesaplanması ile mil verimi hesaplanmıştır. Bu çalışmada, yukarıdaki motor karakteristik değerleri her bir karışım için istenilen her bir devirde hesaplanmış ve grafik haline getirilmiştir.

5. BULGULAR

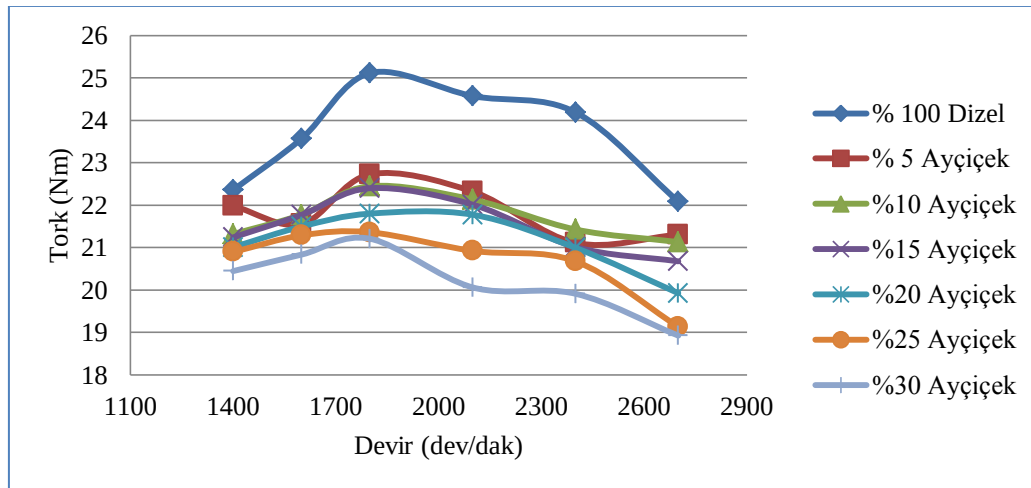
Yapılan deneyler sonucunda dizel yakıtı, ayçiçek ve fındık yağı karışımlarının motor performansı ve egzoz emisyonu değerleri elde edilmiş ve grafik haline dönüştürülmüştür. Elde edilen bulgular, motor performansında tork, güç, MÖYT, verim, egzoz emisyonlarında ise HC, CO ve NOx'dir. Deneyler her bir karışım için belirlenen devirlerde tekrarlanmıştır. Ölçüm yapılan devirler 1400, 1600, 1800, 2100, 2400 ve 2700 dev/dak'dır. Karışım oranları ise B5, B10, B15, B20, B25 ve B30'dur. Bu kısım iki ana başlık altında olacaktır. Bunlardan birincisi ayçiçek yağı ile ilgili bulguların irdelendiği kısımdır. İkincisi ise fındık yağı ile ilgili olan kısımdır.

5.1. Ayçiçek Yağı ile İlgili Bulgular

Bu kısımda Ayçiçek yağı ile saf dizel karışımlarının meydana getirdiği motor performansı ve egzoz emisyonları irdelenecektir.

5.1.1. Tork ve güç değerlerinin irdelenmesi

İstenilen devirde ayçiçek/dizel karışımlarının tork değerleri bilgisayarda bulunan motor test programının yardımı ile elde edilmiştir. Karşılaştırılma yapılması amacıyla ilk başta saf dizel yakıtının tork değerleri okunmuştur. Alınan veriler neticesinde oluşturulan grafik Şekil 5.1'de gösterilmektedir.



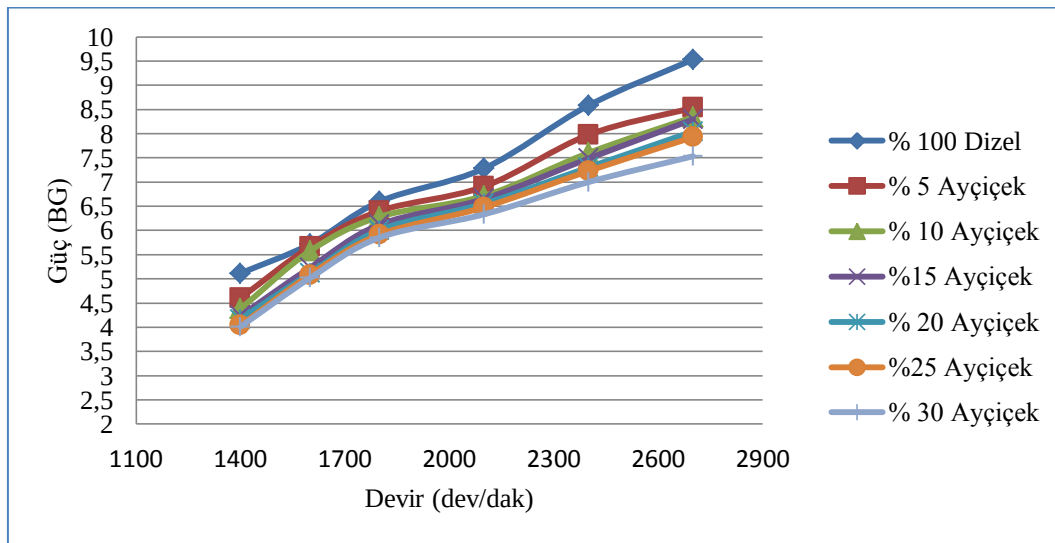
Şekil 5.1. Saf dizel ve ayçiçek yağı karışımlarının tork değişimleri

Grafik irdelendiği zaman, ayçiçek yağı karışımının tork değerlerinin saf dizele göre düşük olduğu görülmektedir. En yüksek tork değeri her devirde saf dizelde meydana gelmiştir. Saf dizelde ise en yüksek tork 1800 dev/dak'da gerçekleşmiş olup, değeri 25,11 Nm'dir. Karışımlarda da en yüksek tork değeri 1800 dev/dak'da meydana gelmiştir. 1800 dev/dak'da saf dizel ile karışımlar arasında bir kıyaslama yapıldığı zaman, dizele oranla;

- B5 ayçiçek yağı karışımında % 10'luk bir tork kaybı
- B10 ayçiçek yağı karışımında % 11'lik bir tork kaybı
- B15 ayçiçek yağı karışımında % 12'lik bir tork kaybı
- B20 ayçiçek yağı karışımında % 14'luk bir tork kaybı
- B25 ayçiçek yağı karışımında % 15'luk bir tork kaybı
- B30 ayçiçek yağı karışımında % 16'luk bir tork kaybı olduğu gözlemlenmiştir.

En düşük torklar 2700 dev/dak'da gerçekleşmiştir. 2700 dev/dak'da saf dizelde 22,084 Nm tork değeri ölçülmüştür. Karışımlar içerisinde 2700 dev/dak'da en düşük tork 18,9227 Nm'lik değeri ile B30 ayçiçek yağı karışımında meydana gelmiştir. Genel olarak söylemek gerekirse ayçiçek yağının dizel motorda tork değerini düşürdüğü ve karışımda ayçiçek oranının arttıkça düşüşün daha da arttığı gözlemlenmiştir.

Saf dizel ve ayçiçek yağı karışımlarının güç değerlerine baktığımız zaman karşımıza Şekil 5.2'deki grafik çıkmaktadır.



Şekil 5.2. Saf dizel ve ayçiçek yağı karışımlarının güç değişimleri

Güç değerleri irdelendiğinde, en yüksek güç değerinin saf dizelde meydana geldiği görülmektedir. Devirlere bakıldığı zaman saf dizel ve karışımlarda en yüksek güç 2700 dev/dak'da gerçekleşmiştir. Saf dizelde 9,53 BG güç elde edilmiştir. En düşük güç değeri saf dizel ve karışımlarda 1400 dev/dak'da meydana gelmiştir. Genel olarak grafiğe bakıldığında ayçiçek yağı karışım oranı arttıkça güçte azalma meydana gelmiştir. 2700 dev/dak'da saf dizel ile karışımlar karşılaştırıldığında, saf dizele oranla;

- % 5 ayçiçek yağı karışımında % 11 güç azalması
- % 10 ayçiçek yağı karışımında % 12 güç azalması
- % 15 ayçiçek yağı karışımında % 13 güç azalması
- % 20 ayçiçek yağı karışımında % 16 güç azalması
- % 25 ayçiçek yağı karışımında % 17 güç azalması
- % 30 ayçiçek yağı karışımında % 20 güç azalması tespit edilmiştir.

Ayçiçek yağı karışımlarının tork ve güç değerlerinin saf dizel yakıtına göre düşük çıkmasının en büyük nedeni biyoyakıtın ısıl değerinin dizel yakıtından düşük olmasıdır. Ayrıca, yüksek viskozitesinden dolayı biyoyakıt enjektörden daha iri zerrelili olarak püskürtülmektedir. Bu ise yakıtın buharlaşma ve yanma süresini uzatarak, yanmanın daha çok genişleme periyodunda olmasına ve böylece motor momenti ve gücünün düşmesine neden olmaktadır (Yücesu ve diğerleri, 2001).

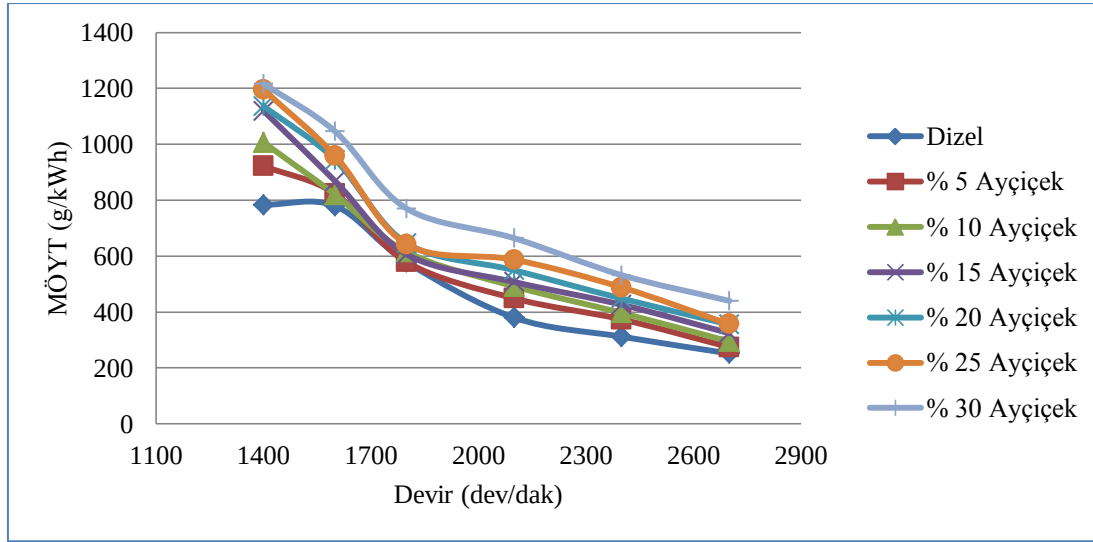
5.1.2. Mil özgül yakıt tüketimi değerlerinin irdelenmesi

Deneylerde elde edilen veriler neticesinde saf dizel ve ayçiçek yağı/dizel karışımlarının mil özgül yakıt tüketimi gr/kWh cinsinden hesaplanmış ve grafiğe dökülmüştür. Elde edilen grafik Şekil 5.3'de görülmektedir.

Yapılan hesaplamalar neticesinde saf dizel MÖYT değerinin karışımlara oranla düşük çıktığı görülmüştür. En yüksek MÖYT değerleri 1400 dev/dak'da gerçekleşmiş olup, saf dizel için bu değer 783,64 gr/kWh olmuştur. En düşük MÖYT değerleri ise 2700 dev/dak'da gerçekleşmiş olup, bu devirde saf dizel için okunan değer 251,60 gr/kWh'dir. Hesaplanan değerler incelendiğinde bazı istisnalar olsa da karışımda ayçiçek yağı oranının artması ile MÖYT'nin arttığı tespit edilmiştir.

En yüksek MÖYT'nin olduğu 1400 dev/dak'da saf dizel ile karışımları karşılaştırdığımız zaman, saf dizele oranla;

- % 5 ayçiçek yağı karışımında MÖYT'nin % 17 artışı
- % 10 ayçiçek yağı karışımında MÖYT'nin % 28 artışı
- % 15 ayçiçek yağı karışımında MÖYT'nin % 42 artışı
- % 20 ayçiçek yağı karışımında MÖYT'nin % 45 artışı
- % 25 ayçiçek yağı karışımında MÖYT'nin % 52 artışı
- % 30 ayçiçek yağı karışımında MÖYT'nin % 55 artışı görülmüştür.



Şekil 5.3. Saf dizel ve ayçiçek yağı karışımlarının MÖYT değişimleri

Görüldüğü üzere ayçiçek yağı karışımlarının mil özgül yakıt tüketimini artırmıştır. Bunun nedenleri araştırmamız gerekmektedir. Püskürtülen yakıtın yoğunluğu, miktarı, viskozitesi ve ısı değeri özgül yakıt tüketimini etkilemektedir. Ayçiçek yağının ısı değerin dizelden düşük olması nedeniyle aynı miktarda enerji elde etmek için daha fazla yakıt kullanmak gerekmektedir. Buda özgül yakıt tüketiminin dizel göre yüksek çıkmasına neden olmaktadır (Sugözü ve diğerleri, 2009). Ayrıca, ham ayçiçek yağının yoğunluğunun saf dizele göre daha yüksek olması hacimsel olarak püskürtülen yakıt miktarının kütleli olarak daha fazla çıkmasına neden olmuştur (Özsezen ve diğerleri, 2007).

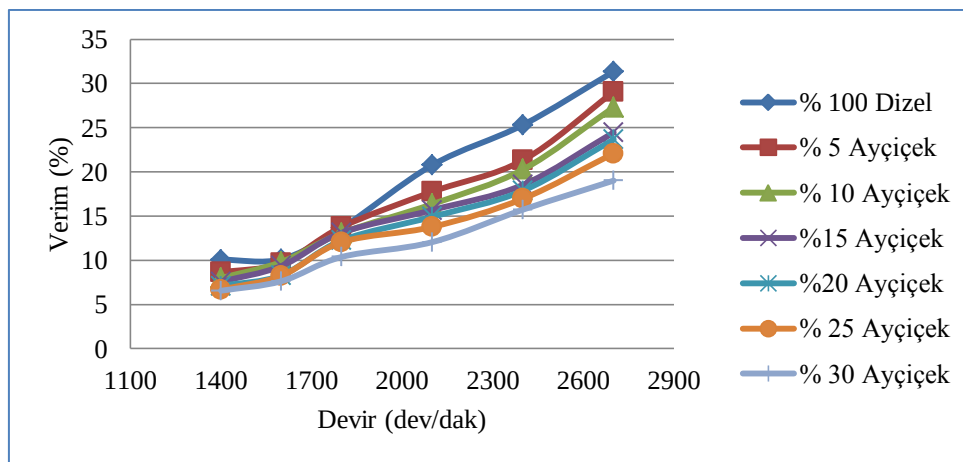
5.1.3. Mil verimi değerlerinin irdelenmesi

Deneylelerden alınan veriler ve bu verilere göre yapılan hesaplar sonucunda saf dizel ve ayçiçek/dizel karışımlarının dizel motordaki verimleri hesaplanmış olup, grafiği Şekil 5.4’de verilmiştir. En yüksek mil verimi saf dizel yakıtında 2700 dev/dak’da hesaplanmıştır. Bu değer % 31,34’tür. Aynı devirde karışımların verimlerine bakacak olursak;

- %5 ayçiçek yağı karışımının verimi % 29,05
- %10 ayçiçek yağı karışımının verimi % 27,31
- %15 ayçiçek yağı karışımının verimi % 24,46
- %20 ayçiçek yağı karışımının verimi % 23,66
- %25 ayçiçek yağı karışımının verimi % 22,08
- %30 ayçiçek yağı karışımının verimi % 19,01’dir.

Bu değerleri saf dizelin verimi ile kıyasladığımızda;

- %5 ayçiçek yağı karışımının veriminde % 2,29 azalma
- %10 ayçiçek yağı karışımının veriminde % 4,03 azalma
- %15 ayçiçek yağı karışımının veriminde % 6,88 azalma
- %20 ayçiçek yağı karışımının veriminde % 7,68 azalma
- %25 ayçiçek yağı karışımının veriminde % 9,26 azalma
- %30 ayçiçek yağı karışımının veriminde % 12,33 azalma meydana gelmiştir.

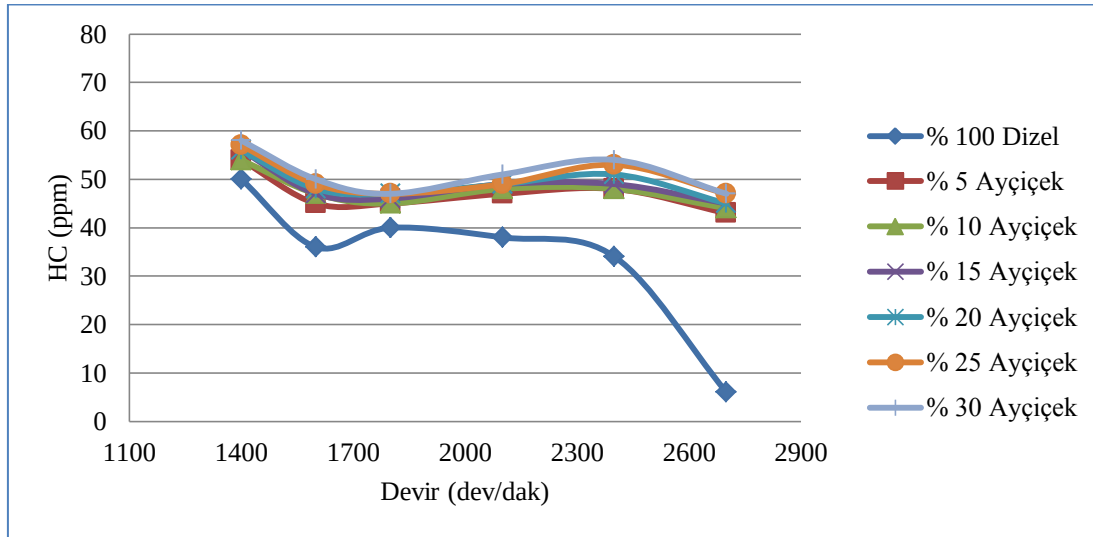


Şekil 5.4. Saf dizel ve ayçiçek yağı karışımlarının verim oranları

Görüldüğü üzere ayçiçek yağı karışım oranı artıkça verim düşmektedir. Bu durum yalnızca 2700 dev/dak'da değil tüm devirlerde gözlemlenmiştir. En yüksek verimim olduğu 2700 dev/dak'da saf dizel ile B30 ayçiçek karışımı arasında % 12,33'lük bir verim kaybı bulunmaktadır. Mil veriminin düşük çıkması nedenlerini incelediğimiz zaman, tork ve güç değerlerinin düşük çıkması nedenleri ile karşılaşırız. Bununla beraber, mil veriminin formülünün verildiği Eş. 4.4 incelememiz gerekmektedir. Ayçiçek yağı karışımı ile tork düşüşü yaşanmış ve doğal sonucu olarak mil gücünde düşmüştür. Bunun yanında ayçiçek yağı karışımı ile motorun yakıt tüketimi artmıştır. Bu iki değişimim Eş. 4.4'deki formülde değerlendirirsek mil veriminin düşüşünün nedenini anlayabiliriz.

5.1.4. HC Emisyonlarının irdelenmesi

Deneylede egzoz emisyonları Capelec cihazı sayesinde incelenmiştir. İncelenen emisyon parametrelerinden biri Hidrokarbonlardır. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen veriler Şekil 5.5'de grafik halinde verilmiştir. Şekil incelendiği zaman ayçiçek yağı karışımlarının, saf dizele oranla daha yüksek HC emisyonuna neden olduğu görülmektedir.



Şekil 5.5. Saf dizel ve ayçiçek yağı karışımlarının HC emisyonu değişimleri

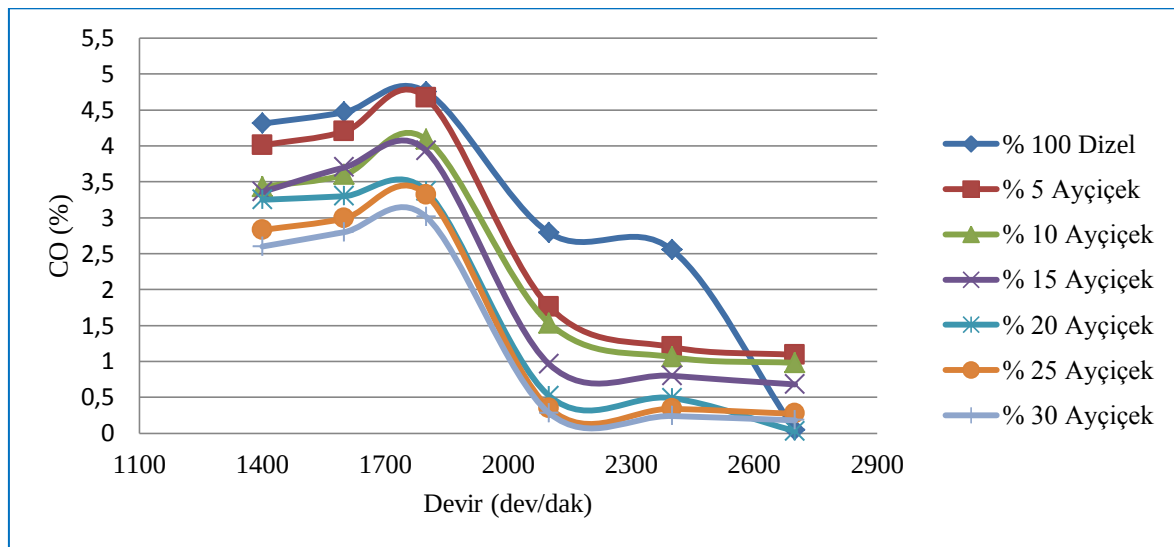
Saf dizelde ve ayçiçek yağı karışımlarında en yüksek HC emisyonu 1400 dev/dak'da gerçekleşmiştir. Bu devirde saf dizelde HC emisyon değeri 50 ppm'dir. Aynı devirde B30 ayçiçek yağı karışımında ise bu değer 58 ppm'e çıkmış olup, buda % 16'lık bir artışa tekabül etmektedir.

Ayçiçek yağının karışım oranı arttıkça HC emisyonlarında artış gözlemlenmiştir. Bunun neticesinde karışımlar içerisinde en yüksek HC emisyonu B30 ayçiçek yağı karışımında meydana gelmiştir. En düşük HC emisyon değerleri 2700 dev/dak'da gözlemlenmiştir. Bunun nedeni olarak yüksek devirde yanmanın iyileşmesi olarak düşünülmektedir. Saf dizelde 2700 dev/dak'da okunan HC emisyon değeri 6 ppm'dir. Aynı devirde B25 ve B30 ayçiçek yağı karışımlarının HC emisyon değeri ise 47 ppm'dir. Buda hemen hemen 8 kat emisyon artışına denk gelmektedir. Yüksek devirde saf dizelin yanmasının iyileşmesi HC emisyonlarını bu derece düşürmüştür.

Karışımlara bakıldığı zaman daha öncede söylendiği gibi, dizel yakıtında ayçiçek yağı oranı arttıkça HC emisyonu artmaktadır. Ancak, bu artışlar çok küçük miktarlarda olmaktadır. Genel olarak anlaşıldığı üzere ayçiçek yağı, motorun HC emisyonlarını olumlu yönde etkilememiştir. Bunun nedeninin Biyodizellerin atomizasyon problemi olduğu düşünülmektedir. İyi atomize olamayan biyodizel yakıtının bir kısmının yanma odasında yanmadığı ve dışarıya emisyon olarak çıktığı düşünülmektedir.

5.1.5. CO Emisyonlarının irdelenmesi

Egzoz emisyon cihazı ile incelenen parametrelerden biri de CO emisyonları olup, elde edilen veriler neticesinde oluşturulan grafik Şekil 5.6'da gösterilmektedir.



Şekil 5.6. Saf dizel ve ayçiçek yağı karışımlarının CO emisyonu değişimleri

Ayçiçek yağı karışımlarının ve saf dizelin CO emisyonlarına bakıldığı zaman ayçiçek yağının CO emisyonlarını düşürdüğü gözlemlenmektedir. En yüksek CO emisyonu karışımlarda ve saf dizelde 1800 dev/dak'da gerçekleşmiştir. Genel olarak grafiğe bakıldığı zaman 1800 dev/dak'ya kadar yükselen bir CO emisyonu görülürken 1800 dev/dak'dan sonra CO emisyonunda hızlı bir düşüş yaşanmıştır. Bu durum hem saf dizel hem de karışımlar için geçerlidir. Yüksek devirlerde egzoz gazı sıcaklığı yükseldiği için CO emisyonu azalmaktadır. Bununla beraber motor devrinin düşmesi ve yüklemenin artması ile yanmanın kalitesi düşmekte ve CO emisyonu artmaktadır (İlkılıç, 1999).

2700 dev/dak'da saf dizelin CO emisyonunda hızlı bir düşüş meydana gelmiş olup, bu devrideki karışımların CO emisyon değerlerinden daha düşük bir değer almıştır. 2700 dev/dak'da bu duruma tek uymayan karışım B20 ayçiçek yağı karışımı olsa da, saf dizelle arasındaki fark çok azdır. Saf dizel içerisinde ayçiçek yağı karışım oranı arttıkça CO emisyonu daha da azalmıştır.

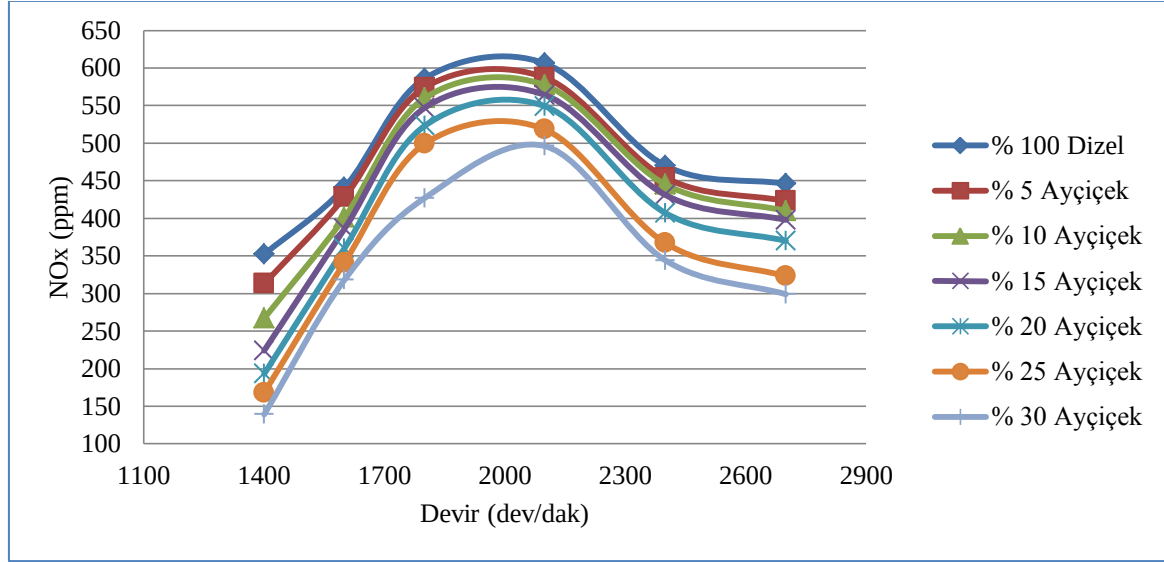
CO emisyonunun en fazla çıktığı 1800 dev/dak'da saf dizelin emisyon değeri % 4,75 çıkmıştır. Bu devirde saf dizel ile ayçiçek yağı karışımlarını karşılaştırdığımız zaman

- % 5 ayçiçek yağı karışımının CO emisyonunu %2
- % 10 ayçiçek yağı karışımının CO emisyonunu %14
- % 15 ayçiçek yağı karışımının CO emisyonunu %18
- % 20 ayçiçek yağı karışımının CO emisyonunu %30
- % 25 ayçiçek yağı karışımının CO emisyonunu %31
- % 30 ayçiçek yağı karışımının CO emisyonunu %37 azalttığı gözlemlenmiştir.

Görüldüğü üzere ayçiçek yağı CO emisyonlarını ciddi derecede düşürmüştür. CO emisyonu, yanma sırasında karbonun yeterli oksijen bulamamasından dolayı meydana gelmektedir. Yani CO emisyonun fazla olmasının nedeni oksijen yetersizliğidir. Ayçiçek yağı bileşiminde, dizel yakıtı oranla daha fazla oksijen bulunması nedeniyle ayçiçek yağı karışımlarının CO emisyon değerleri düşük çıkmıştır (Sayın, 2012). Bu durumun daha iyi anlanması açısından dizel yakıtı ve ayçiçek yağının kimyasal formüllerine bakmamız gerekmektedir. Dizel yakıtının kimyasal formülü $C_{16}H_{34}$, Ayçiçek yağının ise $C_{57}H_{103}O_6$ 'dır (Yücesu ve diğerleri, 2001). Görüldüğü gibi Ayçiçek yağı bünyesinde O_2 ihtiva etmektedir. Bu da CO emisyonlarını düşüren en önemli faktördür.

5.1.6. NOx Emisyonlarının İrdelenmesi

Çalışmada incelenen parametrelerden biri de NOx emisyonları olup, çıkan verilere göre oluşturulmuş grafik Şekil 5.7’de gösterilmektedir.



Şekil 5.7. Saf dizel ve ayçiçek yağı karışımlarının NOx emisyonu değişimleri

Grafik incelendiği zaman ayçiçek yağı karışımının motorun NOx emisyonlarını azalttığı görülmektedir. Grafikten de anlaşılabacağı üzere bütün devirlerde en yüksek NOx emisyonu saf dizelde meydana gelmiştir. Saf dizelde ayçiçek yağı oranı arttıkça NOx emisyonları dahada azalmaktadır. Saf dizel ve karışımlarda en yüksek NOx emisyonu 2100 dev/dak’da meydana gelmiştir. Bu devirde saf dizelde NOx emisyon değeri 606 ppm olarak okunmuştur. Aynı devirde;

- % 5 ayçiçek yağı karışımında 587 ppm
- % 10 ayçiçek yağı karışımında 577 ppm
- % 15 ayçiçek yağı karışımında 564 ppm
- % 20 ayçiçek yağı karışımında 549 ppm
- % 25 ayçiçek yağı karışımında 518 ppm
- % 30 ayçiçek yağı karışımında 496 ppm NOx emisyon değerleri elde edilmiştir.

Bu değerleri saf dizelin değeriyle oranladığımız zaman NOx emisyonlarında;

- % 5 ayçiçek yağı karışımında % 4 azalma
- % 10 ayçiçek yağı karışımında % 5 azalma
- % 15 ayçiçek yağı karışımında % 7 azalma
- % 20 ayçiçek yağı karışımında % 10 azalma
- % 25 ayçiçek yağı karışımında % 15 azalma
- % 30 ayçiçek yağı karışımında %19 azalma meydana gelmiştir.

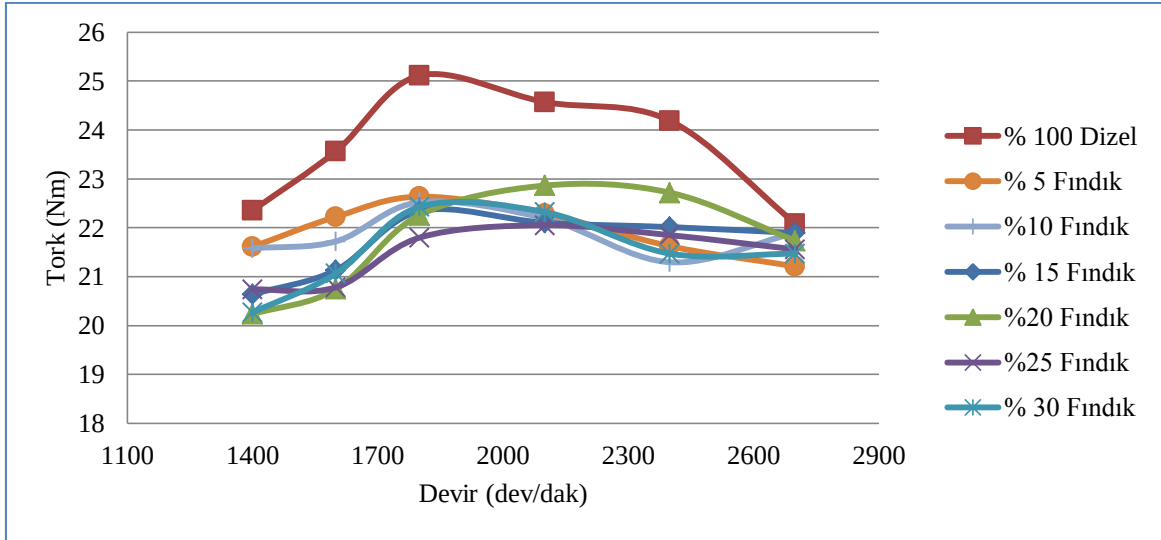
Ayçiçek yağının ısııl değerinin düşük olması ve iri zerrelı püskürmesi sonucunda, tutuşma gecikmesi periyodunun uzaması ve çevrimde makisumum basınç ve sıcaklığın düşmesi meydana gelmiştir. Bu nedenlerden dolayı ayçiçek yağı NOx emisyonlarını azaltmıştır (Yücesu ve diğerleri, 2001).

5.2. Fındık Yağı ile İlgili Bulgular

Ayçiçek yağı ile ilgili bulgulardan bahsettikten sonra bu kısımda fındık yağı ile ilgili bulgular anlatılacaktır. Fındık yağı dizelle belli oranlarda karıştırılmış ve yakıt olarak kullanılmıştır. Fındık yağı ile yapılan deneyler ayçiçek yağı ile yapılan deneylere benzemektedir. Karışım oranları aynı olup, fındık yağı dizele B5, B10, B15, B20, B25 ve B30 oranlarında karıştırılmıştır. Ölçüm alınan devirlerde ayçiçek yağı ile yapılan deneylerdeki devirlerle aynıdır. Fındık yağının tork, güç, MÖYT ve mil verimi gibi motor performansı ölçümleri ile HC, CO ve NOx gibi egzoz emisyonları ölçümleri yapılmıştır.

5.2.1. Tork ve güç değerlerinin irdelenmesi

Dizel ve fındık yağı karışımlarının tork değerleri irdelendiği zaman karışıma Şekil 5.8'deki grafik çıkmaktadır. Grafik incelendiğinde saf dizelin bütün devirlerde karışımlardan daha fazla tork ürettiği görülmektedir. Saf dizelde en yüksek tork 1800 dev/dak'da gerçekleşmiş olup, değeri 25,11 Nm'dir. Karışımların çoğunda da en yüksek tork 1800 dev/dak'da çıksa da B20 ve B25 fındık yağı karışımlarında en yüksek tork 2100 dev/dak'da gerçekleşmiştir. Ancak, karışımların tork değerlerindeki farklılıklar çok küçük miktardadır.



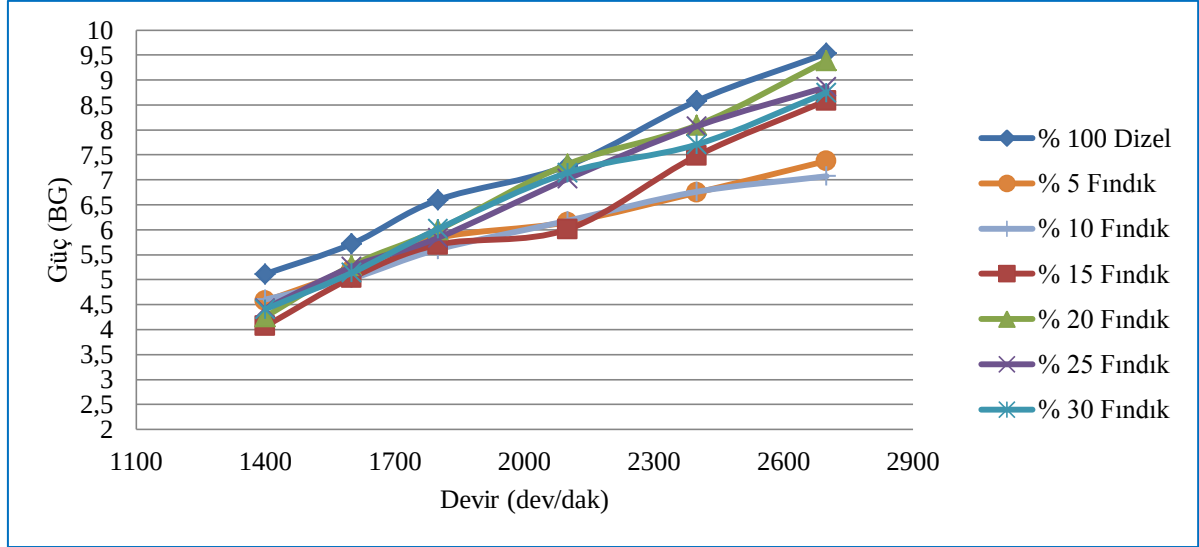
Şekil 5.8. Saf dizel ve fındık yağı karışımlarının tork değişimleri

Saf dizel yakıtının en yüksek torku verdiği 1800 dev/dak'da, saf dizele oranla;

- B5 fındık yağı karışımında % 10'luk bir tork kaybı
- B10 fındık yağı karışımında % 11'lik bir tork kaybı
- B15 fındık yağı karışımında % 12'lik bir tork kaybı
- B20 fındık yağı karışımında % 12'lik bir tork kaybı
- B25 fındık yağı karışımında % 14'luk bir tork kaybı
- B30 fındık yağı karışımında % 11'luk bir tork kaybı olduğu gözlemlenmiştir.

Grafiğe genel olarak bakıldığında fındık yağının motor torkunu düşürdüğü görülmektedir. Karışım oranı arttıkça tork kaybı artsada, bazı karışım ve devirlerde istisnalar da mevcuttur. Saf dizel ve fındık yağı karışımlarının motor gücü üzerindeki etkisi incelenmiş ve alınan veriler neticesinde oluşturulan grafik Şekil 5.9'da gösterilmektedir. Grafik incelendiğinde her devirde, saf dizelin güç değerlerinin karışımların güç değerlerinden fazla olduğu gözükmemektedir. Saf dizelde en yüksek güç 2700 dev/dak'da gerçekleşmiş olup, okunan değer 9,53 BG'dir. Karışımların içerisinde ise en yüksek güç B20 fındık yağı karışımında ve 2700 dev/dak'da gerçekleşmiş olup, elde edilen değer 9,38 BG'dir. Bu değer saf dizelde elde edilen en yüksek güç değerine çok yakındır.

Saf dizelde ve karışımlarda en düşük güç değerleri 1400 dev/dak'da gerçekleşmiştir. 1400 dev/dak'da saf dizelin güç değeri 5,11 BG olmuştur. Karışımlar içerisinde ise en düşük güç değeri B15 fındık yağı karışımında çıkmış olup, değeri 4,07 BG'dir.



Şekil 5.9. Saf dizel ve fındık yağı karışımlarının güç değişimleri

Güç değerlerinin en yüksek çıktığı 2700 dev/dak'da saf dizele oranla;

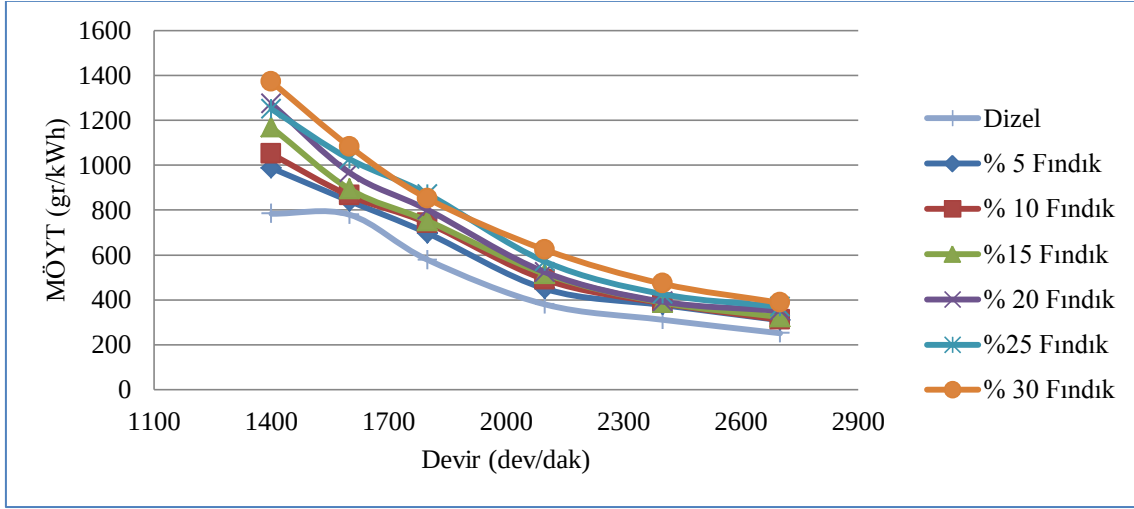
- % 5 fındık yağı karışımında % 23 güç azalması
- % 10 fındık yağı karışımında % 26 güç azalması
- % 15 fındık yağı karışımında % 10 güç azalması
- % 20 fındık yağı karışımında % 2 güç azalması
- % 25 fındık yağı karışımında % 8 güç azalması
- % 30 fındık yağı karışımında % 9 güç azalması tespit edilmiştir.

Genel olarak fındık yağı karışımları, dizele göre, motorun tork ve gücünü düşürmüştür. Bunun en temel nedeni fındık yağının ve dolayısı ile karışımların ısı değerlerinin dizelden daha düşük olmasıdır. Ayrıca, fındık yağının yüksek viskozitesinde dolayı, karışımlar silindirin içerisine iri zerrelili olarak püskürtülmekte olup, yakıtın buharlaşma ve yanma süresi uzamaktadır. Bu da motorun tork ve gücündeki düşüşüne neden olmaktadır (Eliçin ve Erdoğan, 2006).

5.2.2. Mil özgül yakıt tüketimi değerlerinin irdelenmesi

Saf dizel ile fındık yağı karışımlarının MÖYT hesaplanmış ve çıkan neticeler sonucunda Şekil 5.10'da gösterilen grafik oluşturulmuştur. Grafiğe bakıldığı zaman saf dizelin daha az yakıt tüketimine neden olduğu gözükmemektedir. En yüksek yakıt tüketimleri 1400 dev/dak'da gerçekleşmiştir. Devir yükseldikçe yakıt tüketimi azalmıştır. Saf dizelde

1400 dev/dak'da 783,63 gr/kWh yakıt tüketimi hesaplanmıştır.



Şekil 5.10. Saf dizel ve fındık yağı karışımlarının MÖYT değişimleri

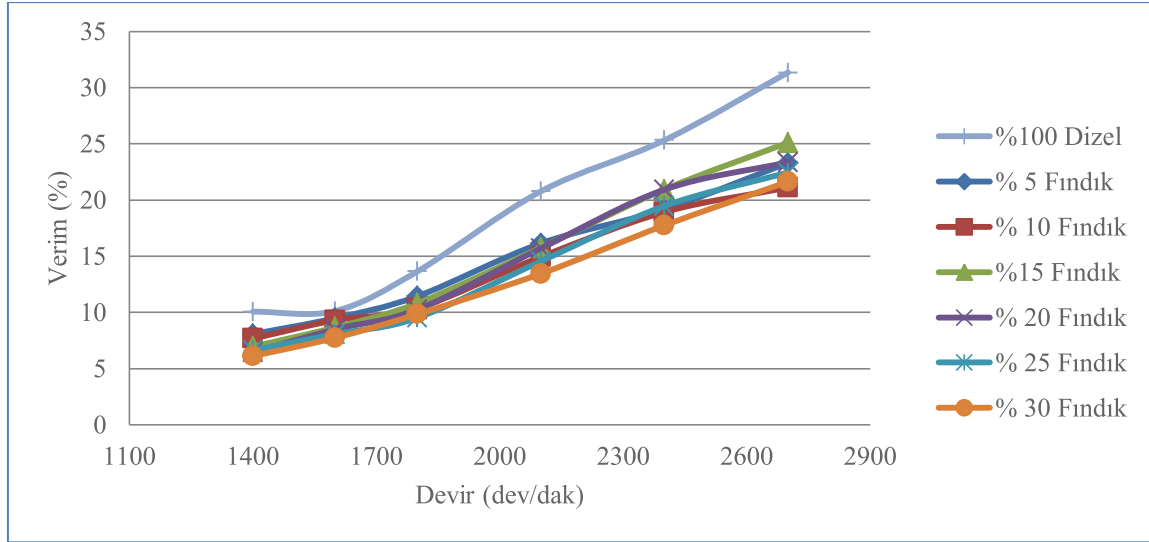
Yakıt tüketiminin en fazla olduğu 1400 dev/dak'da saf dizele oranla;

- % 5 fındık yağı karışımında MÖYT'nin % 25 artışı
- % 10 fındık yağı karışımında MÖYT'nin % 33 artışı
- % 15 fındık yağı karışımında MÖYT'nin % 49 artışı
- % 20 fındık yağı karışımında MÖYT'nin % 62 artışı
- % 25 fındık yağı karışımında MÖYT'nin % 59 artışı
- % 30 fındık yağı karışımında MÖYT'nin % 74 artışı görülmüştür.

Görüldüğü üzere fındık yağı karışımı mil özgül yakıt tüketimini artırmıştır. Fındık yağının dolayısıyla karışımların, dizele oranla daha düşük ısı değere sahip olması nedeniyle, aynı devirde çalışabilmesi için daha çok tüketilmesi gerekmektedir. Buda mil özgül yakıt tüketimini artıran sebep olarak düşünülmektedir. Düşünülen diğer bir sebep, fındık yağının dolayısıyla karışımların yoğunluğu saf dizelden yüksek olması ve aynı hacimde daha fazla kütleli yakıt tüketmesidir (İçingür ve Koçak, 2006). Çıkan MÖYT değerleri, literatür taramasına bakıldığı zaman yüksek gözükmemektedir. Bunun nedeni, daha önceki çalışmada silindir içinden gaz örneği alınabilmesi için, kullanılan motor bloğunun delinmiş olması ve bu çalışma kapsamında yapılan deneylerde kapatılmamış olması olarak düşünülmektedir. Aynı neden ayçiçek yağı ile yapılan çalışmalarda da geçerli olduğu düşünülmektedir.

5.2.3. Mil verimi değerlerinin irdelenmesi

Deneyleerde sonucunda fındık yağı karışımlarının mil verimi hesaplanmış ve saf dizel yakıtının mil verimiyle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalı grafik Şekil 5.11’de verilmektedir.



Şekil 5.11. Saf dizel ve fındık yağı karışımlarının verim değişimleri

Şekil 5.11 incelendiği zaman saf dizel yakıtının verimi her devirde bütün karışımların veriminden daha yüksek çıktığı görülmektedir. Saf dizle de ve karışımlarda devir sayısı yükseldikçe verimde yükselmiştir. Bunun nedeninin yüksek devirlerde yanmanın iyileşmesi olduğu düşünülmektedir. Bunun neticesi olarak en yüksek verimler 2700 dev/dak’da hesaplanmıştır. 2700 dev/dak’da saf dizelin verimi % 31,34 çıkmıştır. Aynı devirde karışımlar içerisinde en yüksek verim % 25,1’lik değer ile B15 fındık yağı karışımında meydana gelmiştir. Verimlerin en yüksek çıktığı devirde;

- %5 fındık yağı karışımının verimi % 23,29
- %10 fındık yağı karışımının verimi % 21,11
- %15 fındık yağı karışımının verimi % 25,10
- %20 fındık yağı karışımının verimi % 23,36
- %25 fındık yağı karışımının verimi % 22,44
- %30 fındık yağı karışımının verimi % 21,62’dir.

Bu oranları saf dizel ile kıyasladığımızda;

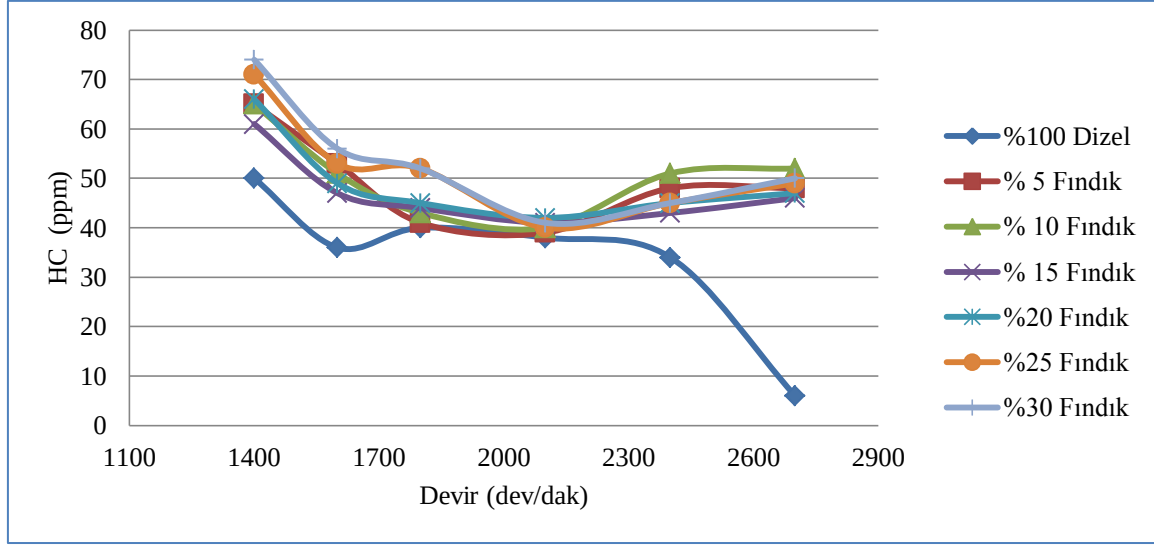
- %5 fındık yağı karışımının veriminde % 8,05 azalma
- %10 fındık yağı karışımının veriminde % 10,23 azalma
- %15 fındık yağı karışımının veriminde % 6,24 azalma
- %20 fındık yağı karışımının veriminde % 7,98 azalma
- %25 fındık yağı karışımının veriminde % 8,9 azalma
- %30 fındık yağı karışımının veriminde % 9,72 azalma meydana gelmiştir.

Fındık yağının mil verimini düşürmesini, ayçiçek yağında olduğu gibi Eş. 4.4'deki verim formülünü inceleyerek açıklanabileceği düşünülmektedir. Fındık yağı, motor torkunu düşürmüştür. Buna bağlantılı olarak mil gücü'de düşmüştür. Ayrıca, harcanan yakıtın kütleli debisinin artması ile mil veriminde düşüşler yaşanmıştır.

5.2.4. HC Emisyonlarının irdelenmesi

Egzoz emisyon cihazı ile fındık yağı karışımlarının neden olduğu HC emisyonları ölçülmüş ve saf dizelle kıyaslanması amacıyla grafik haline getirilmiştir. Elde edilen grafik Şekil 5.12'de gösterilmektedir. Şekil 5.12 incelendiği zaman, dizel ile karıştırılan fındık yağının, saf dizel oranla HC emisyonlarını artırdığı görülmektedir. En yüksek HC emisyonu, saf dizelde ve karışımlarda, başlangıç devri olan 1400 dev/dak'da gerçekleşmiştir. Devriler arasında lineer bir değişim olmamakla beraber, dalgalanmalar gözlemlenmektedir. Aynı durum karışım oranlarında da mevcuttur. En yüksek HC emisyonunun olduğu 1400 dev/dak'da saf dizelin emisyon değeri 50 ppm olarak ölçülmüştür. Aynı devride;

- %5 fındık yağı karışımının HC emisyonu 65 ppm
- %10 fındık yağı karışımının HC emisyonu 65 ppm
- %15 fındık yağı karışımının HC emisyonu 61 ppm
- %20 fındık yağı karışımının HC emisyonu 66 ppm
- %25 fındık yağı karışımının HC emisyonu 71 ppm
- %30 fındık yağı karışımının HC emisyonu 74 ppm olarak ölçülmüştür.



Şekil 5.12. Saf dizel ve fındık yağı karışımlarının HC değişimleri

1400 dev/dak'da saf dizele oranla;

- %5 fındık yağı karışımının HC emisyonu % 30
- %10 fındık yağı karışımının HC emisyonu %30
- %15 fındık yağı karışımının HC emisyonu % 22
- %20 fındık yağı karışımının HC emisyonu % 32
- %25 fındık yağı karışımının HC emisyonu % 42
- %30 fındık yağı karışımının HC emisyonu % 48 artış göstermiştir.

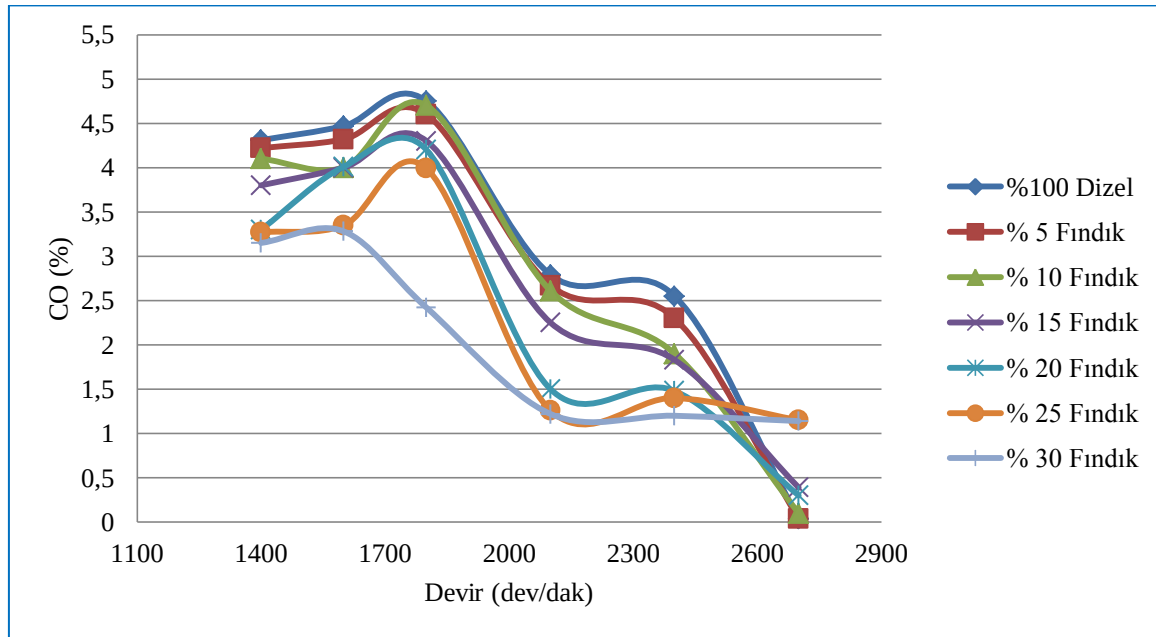
Saf dizelde en düşük HC emisyonu 2700 dev/dak'da gerçekleşmiştir. Saf dizelde, motor devri 2700 dev/dak'ya gelirken HC emisyonlarında keskin bir düşüş yaşanmış ve emisyon değeri 6 ppm'e kadar düşmüştür. Karışımlarda ise en düşük HC emisyon değerleri 2100 dev/dak'da gerçekleşmiş olup, bu devirde karışımların HC emisyon değerleri birbirine çok yakın çıkmıştır.

Fındık yağının HC emisyonlarını neden arttırdığı hususunda fazla literatür çalışması bulunmamakla beraber, bunun nedeninin ayçiçek yağında olduğu fındık yağının atomizasyon sıkıntısından meydana geldiği düşünülmektedir.

5.2.5. CO Emisyonlarının İrdelenmesi

Ölçümler sonucunda elde edilen saf dizelin ve karışımların CO emisyon değerlerinin grafiği Şekil 5.13’de gösterilmektedir. Şekil 5.13 incelendiği zaman fındık yağının CO emisyonlarını düşürdüğü görülmektedir. Ancak, 2700 dev/dak’da emisyon değerleri çok azalmakta ve bazı karışımlarda saf dizele oranla yüksek çıkmaktadır. Ancak, bu devirdeki değerlerin arasında önemli bir fark bulunmamaktadır.

Saf dizelde ve karışımlarda motor devri 1800 dev/dak’ya gelinceye kadar CO emisyonlarında artma, 1800 dev/dak’dan sonra ise azalma eğilimi görülmektedir. İstisna olarak B30 fındık yağı karışımında en yüksek değer 1600 dev/dak’da çıkmaktadır.



Şekil 5.13. Saf dizel ve fındık yağı karışımlarının CO değişimleri

B30 fındık karışımı hariç, CO emisyonun en yüksek çıktığı 1800 dev/dak’da saf dizelde 4,75 % emisyon değeri okunmuştur. Aynı devirde;

- %5 fındık yağı karışımının CO emisyonu 4,6 %
- %10 fındık yağı karışımının CO emisyonu 4,7 %
- %15 fındık yağı karışımının CO emisyonu 4,3 %
- %20 fındık yağı karışımının CO emisyonu 4,2 %
- %25 fındık yağı karışımının CO emisyonu 3,99 %
- %30 fındık yağı karışımının CO emisyonu 2,42 % olarak ölçülmüştür.

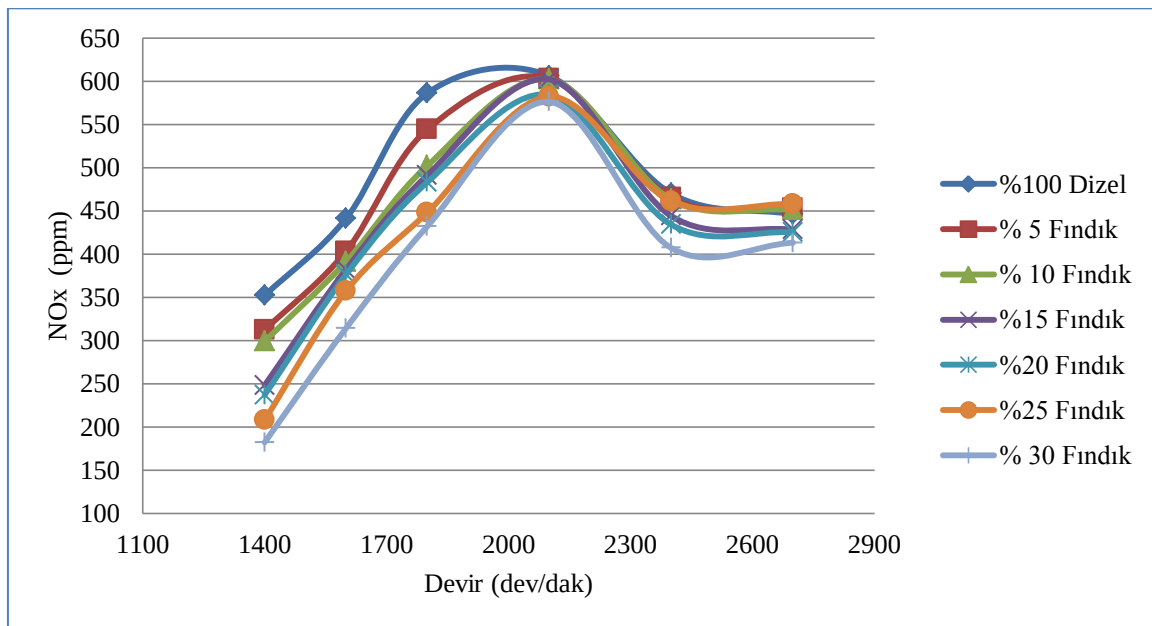
1800 dev/dak'da saf dizele oranla;

- %5 fındık yağı karışımının CO emisyonunda % 4 azalma
- %10 fındık yağı karışımının CO emisyonunda %2 azalma
- %15 fındık yağı karışımının CO emisyonunda % 10 azalma
- %20 fındık yağı karışımının CO emisyonunda % 12 azalma
- %25 fındık yağı karışımının CO emisyonunda % 16 azalma
- %30 fındık yağı karışımının CO emisyonunda % 50 azalma tespit edilmiştir.

Fındık yağının, CO emisyonun azaltmasındaki en önemli neden, fındık yağının, dizele oranla daha az karbon ihtiva etmesi ve daha fazla oksijen bulundurmasıdır. Yakıt yapısındaki oksijen tam yük durumunda yakıtın zengin olduğu bölgelerde, oksijen/yakıt oranını artırarak yanmanın iyileşmesini sağlamaktadır. Böylece CO emisyonunu azalmaktadır (Usta ve diğerleri, 2005).

5.2.6. NOx Emisyonlarının irdelenmesi

Çalışma kapsamında saf dizel ve fındık yağı karışımlarının neden olduğu NOx emisyonu değerleri incelenmiş ve elde edilen veriler Şekil 5.14'de verilen grafik haline dönüştürülmüştür.



Şekil 5.14. Saf dizel ve fındık yağı karışımlarının NOx değişimleri

Şekil 5.14 incelendiğinde fındık yağının, saf dizel yakıtına oranla NOx emisyonlarını düşürdüğü görülmektedir. Bu durum ölçüm yapılan bütün devirlerde benzerlik göstermektedir. Saf dizel ve karışımlarda 2100 dev/dak'ya kadar NOx emisyonlarında artış, bu devirden sonrada azalış görülmektedir. Saf dizel ve karışımlarda NOx emisyonlarının en yüksek çıktığı devir 2100 dev/dak'dır. Bu devirde saf dizelin NOx emisyon değeri 606 ppm'dır. Aynı devirde;

- %5 fındık yağı karışımının NOx emisyonu 603 ppm
- %10 fındık yağı karışımının NOx emisyonu 602 ppm
- %15 fındık yağı karışımının NOx emisyonu 602 ppm
- %20 fındık yağı karışımının NOx emisyonu 584 ppm
- %25 fındık yağı karışımının NOx emisyonu 582 ppm
- %30 fındık yağı karışımının NOx emisyonu 576 ppm olarak ölçülmüştür.

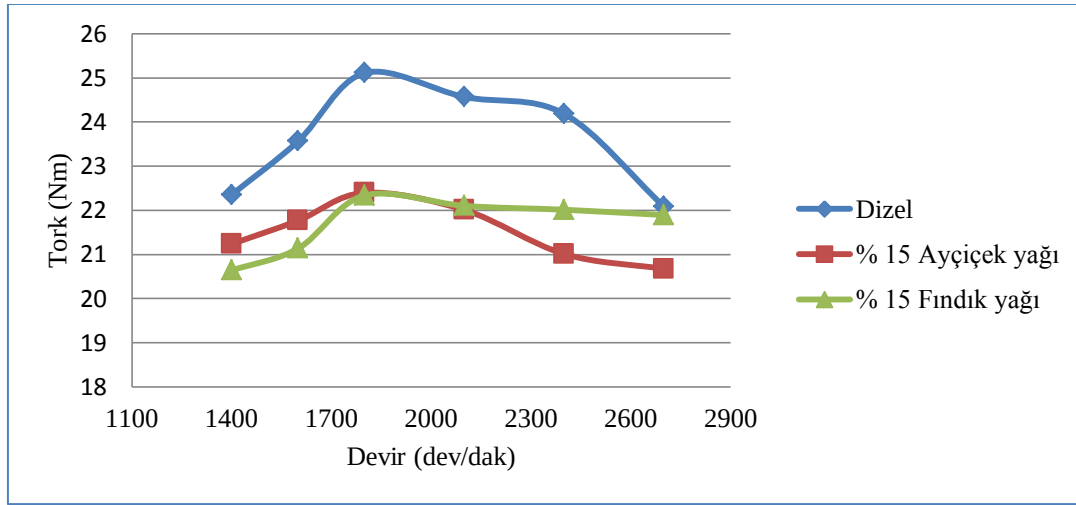
Bu değerler saf dizelin değerleri ile kıyaslanırsa;

- %5 fındık yağı karışımının NOx emisyonunda % 0,1 azalma
- %10 fındık yağı karışımının NOx emisyonunda % 0,1 azalma
- %15 fındık yağı karışımının NOx emisyonunda % 0,1 azalma
- %20 fındık yağı karışımının NOx emisyonunda % 0,04 azalma
- %25 fındık yağı karışımının NOx emisyonunda % 0,04 azalma
- %30 fındık yağı karışımının NOx emisyonunda % 0,05 azalma meydana getirdiği görülmektedir. Rakamlardan anlaşılacağı üzere fındık yağı karışımları NOx emisyonlarını çok az düşürmüştür.

NOx emisyonlarındaki azalışın az olsa da nedenlerine bakmak gerekmektedir. Fındık yağının NOx emisyonunu azaltmasındaki esas neden viskozitesinin yüksek olmasıdır. Yüksek viskoziteden dolayı yakıt kötü bir şekilde atomize olmakta ve yanmayı kötüleştirmektedir. Bunun sonucu olarak silindir içindeki sıcaklık düşmekte ve NOx emisyonları azalmaktadır (Koncuk, 2008).

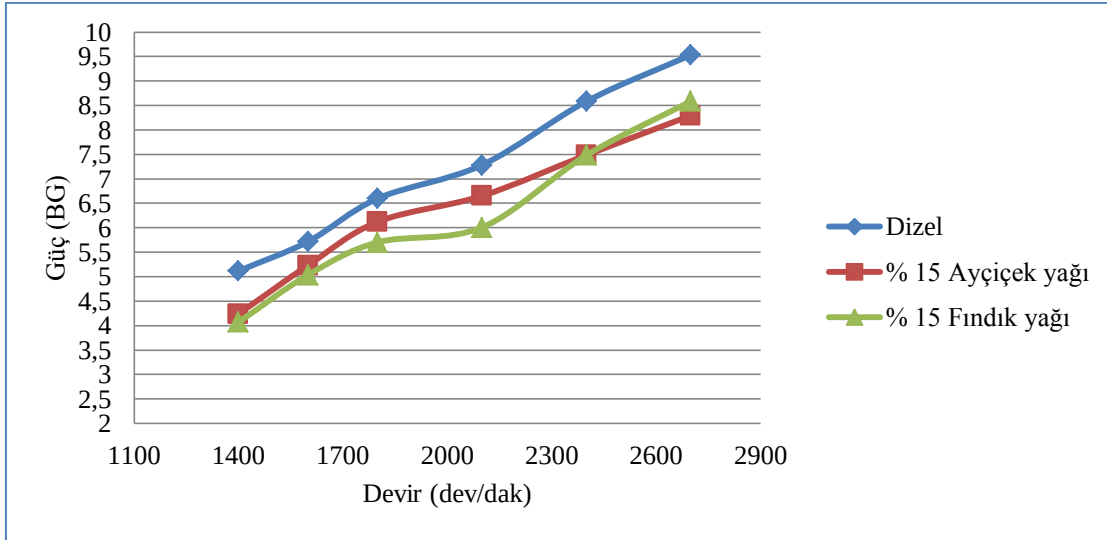
5.3. Yakıtların Karşılaştırılması

Daha önceki bölümlerde ayçiçek yağı karışımları-dizel ve fındık yağı karışımları-dizel karşılaştırmaları yapılmış, motor karakteristikleri ve egzoz emisyonları grafikleri çıkartılmıştır. Bu bölümde, dizel yakıtı, ayçiçek ve fındık yağı birbiri ile karşılaştırılacaktır. Karşılaştırmada ayçiçek ve fındık yağının %15 oranında dizele katılması ile edilen B15 yakıtının değerleri kullanılacaktır.



Şekil 5.15. Dizel ve B15 yakıtlarının tork karşılaştırmaları

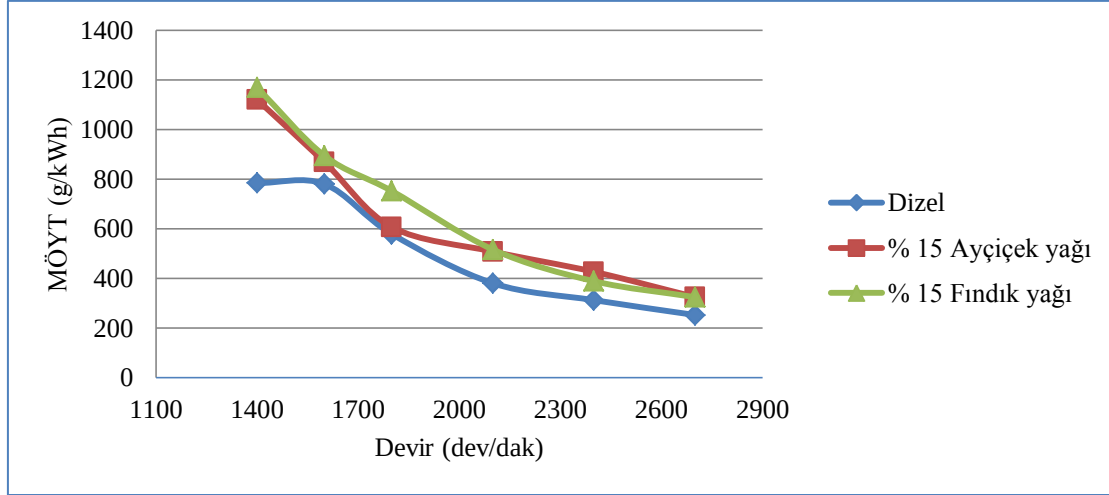
Şekil 5.15’de görüldüğü gibi dizel yakıtına % 15 oranında ayçiçek veya fındık yağı ilave edilmesi, saf dizele oranla, tüm devirlerde torku düşürmüştür. 1800 dev/dak’ya kadar B15 ayçiçek yağı karışımı, B15 fındık yağı karışımından daha fazla tork üretmiştir. 1800 dev/dak’dan sonra ise durum tersine dönmüş, B15 fındık yağı karışımında, ayçiçek yağı karışımına oranla daha fazla tork elde edilmiştir.



Şekil 5.16. Dizel ve B15 yakıtlarının güç karşılaştırmaları

Şekil 5.16’da dizel yakıtı ile B15 yakıtlarının güç karşılaştırmaları gösterilmektedir. Tüm devirlerde B15 yakıtları, saf dizele oranla güç kaybına neden olmuşlardır. Ayçiçek yağı karışımı ile fındık yağı karışımları ise birbirine yakın güç değerleri üretmiş olsalar da, 1800 ve 2100 dev/dak’lar da B15 ayçiçek yağı karışımından daha fazla güç elde edilmiştir.

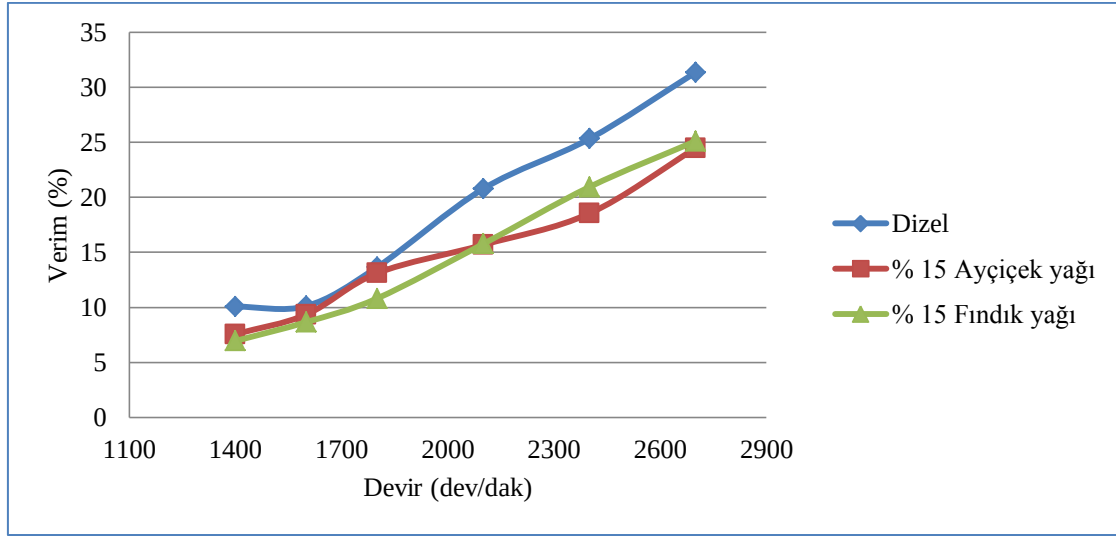
Fındık yağının alt ısı ve yoğunluk değeri ayçiçek yağından daha düşüktür. Düşük devirlerde, ayçiçek yağından daha fazla tork ve güç elde edilmesinin nedeni, ayçiçek yağının alt ısı değerinin fındık yağınınkinden daha yüksek olması olarak düşünülmektedir. Yüksek devirlerde ise fındık yağı ayçiçek yağından daha fazla tork ve güç üretmiştir. Bunun nedeni ise, fındık yağının yoğunluğunun azda olsa ayçiçek yağından daha az olması ve artan sıcaklık ile fındık yağının daha küçük zerreliliğe ayrılması ile yanmanın iyileşmesi olarak gösterilebilir.



Şekil 5.17. Dizel ve B15 yakıtlarının MÖYT karşılaştırılmaları

Saf dizel ve B15 karışımlarının MÖYT'lerinin karşılaştırıldığı Şekil 5.17'den anlaşılacağı üzere, saf dizele oranla B15 karışımları, tüm devirlerde yakıt tüketimini artırmıştır. Ayçiçek ve fındık yağı karışımlarının yakıt tüketimleri birbirine yakın çıkmış olsalar da, 1800 dev/dak'da ayçiçek yağı, fındık yağına oranla daha az yakıt tüketmiştir.

Ayçiçek ve fındık yağının MÖYT değerlerinin çok yakın çıkmasına rağmen, ayçiçek yağı fındık yağına oranla, motorun MÖYT değerini azda olsa iyileştirmiştir. Bunun nedeni, ayçiçek yağının alt ısı değerinin, fındık yağınınkinden daha yüksek olmasıdır. Böylece aynı değerde enerjiyi elde etmek için fındık yağına oranla daha az ayçiçek yağı tüketilmiştir. Ancak, fındık yağının yoğunluğunun, ayçiçek yağınınkinden daha düşük olması ile fındık yağının MÖYT değerleri, ayçiçek yağının değerlerine çok yaklaşmış ve yüksek devirlerde artan sıcaklık ile ayçiçek yağından daha düşük kalmıştır.

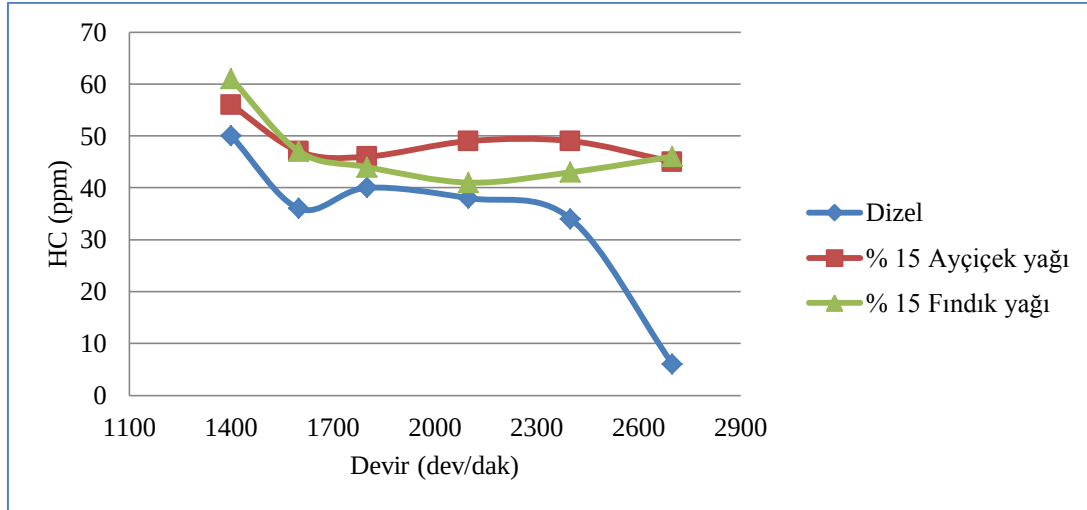


Şekil 5.18. Dizel ve B15 yakıtlarının verim karşılaştırılmaları

Şekil 5.18’de görüldüğü gibi B15 yakıtları, saf dizele oranla verimi düşürmüştür. B15 ayçiçek yağı karışımı düşük devirlerde fındık yağı karışımına oranla daha verimli iken yüksek devirlerde durum tersine dönmüş ve fındık yağı karışımı daha verimli olmuştur. Bu durum tork değişimi ile benzerlik göstermektedir.

Düşük devirlerde, ayçiçek yağının daha fazla tork üretmesi ve buna bağlı olarak mil gücünün fazla olması nedeni ile ayçiçek yağının mil verimi fındık yağına oranla yüksek çıkmıştır. Yüksek devirlerde ise durum tersine dönmüş ve tork değişimleri kısmında anlatılan nedenlerden dolayı fındık yağının torku yükselmiştir. Buna bağlı olarak da yüksek devirlerde fındık yağının mil verimi ayçiçek yağından fazla çıkmıştır.

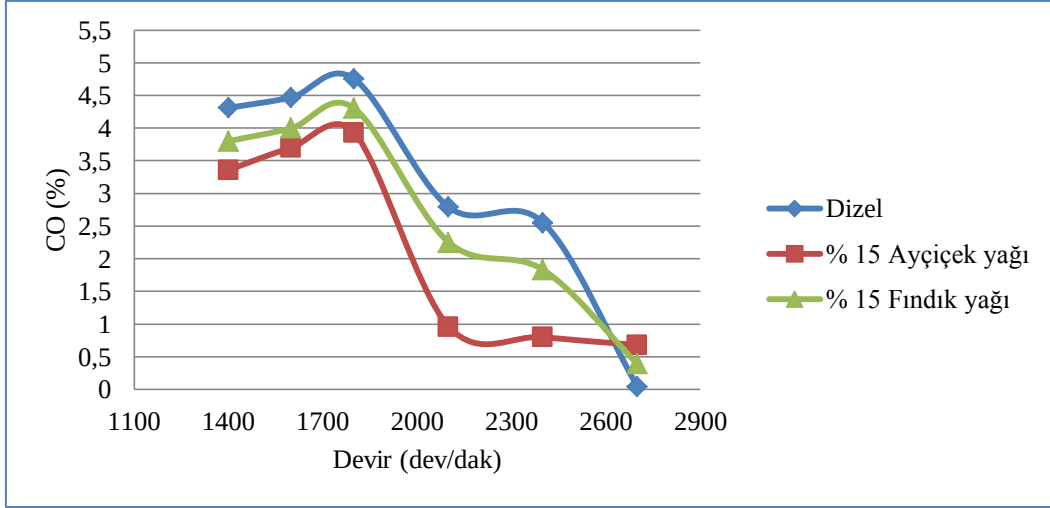
Yakıtların motor performansı değişimlerini karşılaştırdıktan sonra, egzoz emisyonu değişimlerinin karşılaştırılması yapılacaktır.



Şekil 5.19. Dizel ve B15 yakıtlarının HC emisyonu karşılaştırılmaları

Şekil 5.19’da saf dizel ve B15 yakıtlarının HC emisyon değişimleri gösterilmektedir. B15 yakıtları saf dizele oranla HC emisyonlarını artırmıştır. Ayçiçek ve fındık yağı karışımlarının HC emisyon değerleri birbirine yakın çıkmıştır. Ancak, 1800 dev/dak’dan sonra ayçiçek yağı karışımı, fındık yağına oranla daha fazla HC emisyonuna neden olmuştur.

Ayçiçek yağının, fındık yağına oranla daha fazla HC emisyonu meydana getirmesinin nedeni biyoyakıtların viskozite değerleridir. Ayçiçek yağının viskozite değeri 34,9 cSt (40°C), fındık yağının ise 30,9 cSt’dir (40°C) (Çaylak, 2006). Görüldüğü gibi ayçiçek yağının viskozite değeri fındık yağınınkinden yüksektir. Bu nedenle ayçiçek yağı daha fazla atomizasyon sorunu meydana getirmiş ve buna bağlı olarak daha fazla HC emisyonuna neden olmuştur.

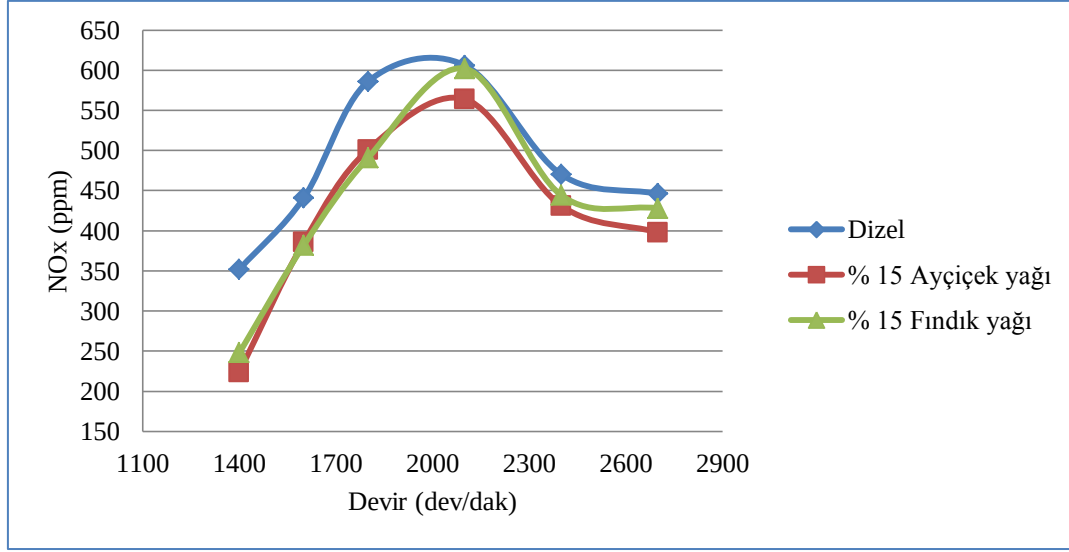


Şekil 5.20. Dizel ve B15 yakıtlarının CO emisyonu karşılaştırılmaları

Şekil 5.20’de saf dizel ile B15 yakıtlarının CO emisyonu değerleri karşılaştırılmıştır. Hem ayçiçek yağının hem de fındık yağının B15 karışımları, saf dizele oranla CO emisyonun azaltmıştır. 2700 dev/dak’da istisna haricinde en düşük CO emisyonu B15 ayçiçek yağı karışımında meydana gelmiştir. 2700 dev/dak’da emisyon değerleri çok düşük ve birbirine oldukça yakındır.

Fındık yağının kimyasal formülü ayçiçek yağının olduğu gibi $C_{57}H_{103}O_6$ ’dır (Öner ve diğerleri, 2007). İçerdiği Oksijen miktarının aynı olmasına rağmen ayçiçek yağının daha az CO emisyonuna neden olmasının sebebi, ayçiçek yağının altı ısıl değerinin fındık yağından daha yüksek olması, buna bağlı olarak yanma odasındaki ısının yükselmesi ile daha fazla HC’un yanmaya katılması olarak açıklanabilir.

Saf dizel ve B15 yakıtlarının NOx emisyonu karşılaştırılmaları aşağıda Şekil 5.21’de gösterilmektedir. Şekilden anlaşılabacağı üzere fındık ve ayçiçek yağı karışımları NOx emisyonlarını azaltmıştır. B15 fındık yağı karışımı ile B15 ayçiçek yağı karışımının NOx emisyon değerleri birbirine yakın çıkmakla beraber, 1800 dev/dak’da ayçiçek yağı, 2100 dev/dak’da ise fındık yağı karışımı daha fazla NOx emisyonuna neden olmuştur.



Şekil 5.21. Dizel ve B15 yakıtlarının NOx emisyonu karşılaştırılmaları

B15 yakıtlarının NOx değişimleri Şekil 5.21’de görüldüğü üzere birbirine çok yakın çıkmıştır. Ancak, 1800 dev/dak’dan sonra fındık yağı, ayçiçek yağından belirgin olarak daha fazla NOx emisyonuna neden olmuştur. Bunun nedeni fındık yağının viskozite değerinin ayçiçek yağınınkinden daha düşük olmasıdır. Düşük viskozite ve artan sıcaklık ile yanma iyileşmiş, silindir içerisindeki sıcaklık artmış ve buna bağlı olarak da NOx emisyonu fazlalaşmıştır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Gün geçtikçe artan sanayileşme ve kentleşme günümüz hayatını oldukça kolaylaştırmıştır. Ancak, bu durum çok büyük enerji ihtiyacını doğurmuştur. Şu anda dünyada en büyük enerji kaynağı petroldür ve petrol yenilenebilir enerji kaynağı değildir. Hatta yakın zamanda tükeneyeceği uzmanlar tarafından belirtilmektedir.

Petrolün yarattığı diğer sorunlardan biride hava kirliliğidir. Özellikle en çok kullanıldığı motorlu araçlar havayı olumsuz yönde etkilemektedir. Bu olumsuzluklar insanları harekete geçirmiş ve olumsuzlukların düzeltilmesi adına çalışmalar yapılmış ve yapılmaya da devam edilmektedir. Özellikle motorlu taşıtlar üzerinde uluslararası kuruluşlar ve ülkeler gerekli yasal düzenlemeler çıkartmış ve uygulamaktadırlar.

Motorlu taşıtlardaki olumsuzlukların giderilmesi için düşünülen yöntemlerden birisi de alternatif yakıtlardır. Alternatif yakıtlar içerisinde de biyoyakıtlar ön plana çıkmaktadır. Biyoyakıtların birçok avantajı vardır. Bunlardan en önemlileri yenilenebilir ve petrole göre daha çevreci olmasıdır.

Ülkemizde petrolün büyük kısmı ithal edilmektedir. Bu da dış ticaret açığına neden olmakta ve paramız petrol üreten ülkelere gitmektedir. Bu sıkıntının giderilmesi için yerli enerji kaynaklarına ihtiyacımız vardır. Bunu sağlayacak en önemli yakıt türü biyoyakıtlardır. Ancak, biyoyakıt kullanımından önce biyoyakıt tarımının geliştirilmesi gerekmektedir.

Bu çalışma, alternatif yakıt arayışında biyoyakıtların içten yanmalı bir motorda nasıl bir etki yarattığını göstermek amacıyla yapılmıştır. Çalışmada iki tür biyoyakıt kullanılmıştır. Bunlardan biri ayçiçek yağı, diğeri ise fındık yağıdır.

Ayçiçek yağı, ayçiçek bitkisinden elde edilmekte olup, ülkemizde bitkisel yağ üretiminin neredeyse yarısı ayçiçekten karşılanmaktadır. Ancak, ülkemizde ayçiçek ekim potansiyelinin yarısını bile kullanamamaktayız. Bu da ülkemizde ayçiçek tarımının daha da geliştirilebileceği ve ayçiçek ile biyodizel tarımı yapılabileceğini göstermektedir. Fındık yağı ise fındıktan üretilmekte olup, dünyanın en büyük fındık üreticisi ülkemizdir. Ancak,

ülkemizde findıktan findık yağı üretimi yapan kuruluş sayısı çok azdır.

Bu çalışma deneysel ve teorik hesaplamalar ile yapılmıştır. Deneyler Gazi Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümü İçten Yanmalı Motorlar ve Otomotiv Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan motor tek silindirli ve dört zamanlı bir motordur. Deneylerde genel mantık, biyoyakıtları saf dizel ile belirli oranlarda karıştırmak ve bu karışımı motora yakıt olarak vererek, belirli devirlerde ölçümler almak şeklindedir. Biyoyakıtlar B5, B10, B15, B20, B25 ve B30 oranlarında saf dizel ile karıştırılmıştır. Ölçüm alınan devirler ise 1400, 1600, 1800, 2100, 2400 ve 2700 dev/dak'dır.

Deneyler sonucunda, kontrol ünitesinden tork ve güç değerleri okunmuştur. Egzoz emisyon cihazından ise HC, CO ve NO_x emisyon değerleri alınmıştır. MÖYT ve mil verimi formülasyonlar ile hesaplanmıştır. Deneylere başlanıldığında, referans olması açısından ilk olarak saf dizel motora yakıt olarak verilmiş ve veri çıktıları kayıt altına alınmıştır.

Deneylerde kullanılan Eurodizelin ortalama litre fiyatı 4,26 TL'dir. Ayçiçek yağının ortalama litre fiyatı 4,36 TL ve findık yağının ortalama fiyatı ise 14,15 TL'dir. Bu rakamlara bakıldığında biyoyakıt kullanımının ekonomik olmadığı görülse de, biyoyakıt tarımın artırılması ile fiyatların düşürülebileceği düşünülmelidir. Ayrıca, biyoyakıtların diğer faydaları göz önüne alınmalıdır.

Yapılan deneyler sonucunda elde edilen sonuçları aşağıdaki gibi sıralayabiliriz;

- Ayçiçek ve findık yağı karışımları, saf dizele oranla motor torkunu ve gücünü düşürmüştür. Saf dizelde ve karışımlarda en yüksek torkun meydana geldiği 1800 dev/dak'da, ayçiçek yağı karışımlarında, saf dizele oranla ortalama % 13'lük bir tork kaybı meydana gelmiştir. Findık yağı karışımlarında ise düşüş oranı ortalama % 11,66'dır. Literatür çalışmalarına bakıldığı zaman, motorun tork ve güç değişimleri ile ilgili benzer bir durum Erman (2012) tarafından belirlenmiştir.
- Motorun Güç değerlerine baktığımız zaman, en yüksek güç değerlerinin çıktığı 2700 dev/dak'da ayçiçek yağı karışımları saf dizele oranla motor gücünü %14,83 düşürmüştür. Findık yağı karışımları ise motor gücünü ortalama %13 azaltmıştır.

- Motorun tork ve gücünde meydana gelen bu düşüşlerin en önemli nedeni biyoyakıtların ısı değeri düşük olmasıdır. Diğer bir neden ise biyoyakıtların yüksek viskozitesinden dolayı silindir içerisine iri zerrelili olarak püskürtülmesidir (Eliçin ve Erdoğan, 2006; Yücesu ve diğerleri, 2001).
- Çalışma neticesinde saf dizelin, ayçiçek ve fındık yağı karışımlarının MÖYT'i hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucunda karışımların MÖYT değerlerini artırdığı görülmüştür. En yüksek MÖYT'ün olduğu 1400 dev/dak'da saf dizele oranla fındık yağı karışımlarının MÖYT'ü ortalama % 50,3 oranında, ayçiçek yağı karışımlarının ise ortalama % 39, 83 oranında artırdığı hesaplanmıştır.
- Biyoyakıtların, yakıt tüketiminin fazla olmasının en büyük nedeni, biyoyakıtların dolayısı ile karışımların ısı değeri dizelden düşük olmasıdır. Bu nedenden dolayı aynı miktarda enerji elde etmek için daha çok yakıt tüketilmesi gerekmekte, buda yakıt tüketimini artırmaktadır. Diğer bir neden, biyoyakıtların yoğunluğunun dizele oranla yüksek olmasıdır. Böylece hacimsel olarak püskürtülen yakıt miktarı kütleli olarak da artmıştır (İçingür ve Koçak, 2006; Özsezen ve diğerleri, 2007; Sugözü ve diğerleri, 2009).
- Saf dizelin ve karışımların mil verimleri hesaplandığında, karışımların mil verimini düşürdüğü görülmüştür. En yüksek mil veriminin elde edildiği 2700 dev/dak'da dizele oranla ayçiçek yağı karışımlarında ortalama % 7,07 verim azalması, fındık yağı karışımlarında ise ortalama % 8,52 verim azalması tespit edilmiştir.
- Biyoyakıtların tork değerlerini düşürmesi, ayrıca harcanan yakıtın kütleli debisinin artması nedeni ile mil veriminin azaldığı düşünülmektedir.
- Egzoz emisyon ölçümlerine bakıldığı zaman biyoyakıtların HC emisyonlarında saf dizele oranla artışa neden olduğu tespit edilmiştir. Saf dizelde ve karışımlarda en yüksek HC emisyonu 1400 dev/dak'da meydana gelmiştir. 1400 dev/dak'da ayçiçek yağı karışımları, saf dizele oranla HC emisyonlarını ortalama % 11,6 artırmıştır. Fındık yağı karışımları ise HC emisyonlarını ortalama % 34 artırmıştır.

- Biyoyakıtların HC emisyonunu artırması hususunda literatürde kayda değer bilgi bulunmamış olup, bu artışın nedeninin biyoyakıtların viskozitesi yüksek olması neticesinde atomizasyon probleminden kaynaklandığı düşünülmektedir. İyi atomize olamayan yakıtın bir miktarı silindir içinde yanmadan kalmakta ve HC emisyonu olarak dışarı atılmaktadır.
- Çalışmada biyoyakıt katkısının CO emisyonlarını düşürdüğü gözlemlenmiştir. Ayçiçek yağı karışımlarında en yüksek CO emisyonu 1800 dev/dak'da gerçekleşmiştir. Fındık yağı karışımlarında da durum aynı iken istisna olarak B30 fındık yağı karışımında maksimum CO emisyon değeri 1600 dev/dak'da çıkmıştır. 1800 dev/dak'da fındık yağı karışımları, saf dizele oranla CO emisyonlarını ortalama % 4,035 düşürmüştür. Aynı devirde ayçiçek yağı karışımları ise CO emisyonlarını % 22 düşürmüştür.
- Biyoyakıtların CO emisyonlarını düşürmesinin ana nedeni, içerlerinde daha çok oksijen ihtiva etmesidir. Yakıtın yapısındaki oksijen, yakıtın zengin olduğu bölgelerde oksijen oranını artırarak yanmanın iyileşmesinin sağlamakta ve CO emisyonlarını düşürmektedir (Sayın, 2012; Usta ve diğerleri, 2005).
- NOx emisyonlarına bakıldığı zaman, biyoyakıt karışımlarının saf dizele göre NOx emisyonlarını azaltmıştır. Saf dizel, ayçiçek ve fındık yağı karışımlarında en yüksek NOx emisyonu 2100 dev/dak'da meydana gelmiştir. 2100 dev/dak'da ayçiçek yağı karışımları saf dizele oranla NOx emisyonlarını ortalama % 10 düşürmüştür. Aynı devirde fındık yağı karışımları ise NOx emisyonlarını % 0,07 azaltmıştır. Fındık yağı karışımları NOx emisyonlarını neredeyse hiç düşürmemiştir.
- Biyoyakıtların ısı değeri düşük olması ve iri zerreliliği püskürtülmesi sonucunda tutuşma gecikmesi periyodu uzamış ve çevrimde sıcaklık ve basınç kaybı meydana gelmiştir. Ayrıca, biyoyakıtların yüksek viskozitesi nedeni ile yanma kötüleşmiş, sıcaklığı düşürmüştür ve NOx emisyonları azalmıştır (Koncuk, 2008; Yücesu ve diğerleri, 2001).

Genel olarak baktığımızda biyoyakıt karışımları, dizel motorda herhangi bir değişiklik yapmadan kullanılmıştır. Ancak, biyoyakıtların viskozitelerinin yüksek olmasından dolayı meydana gelen olumsuzlukların giderilmesi için başka uygulamaların yapılması

gerekmektedir. Biyoyakıtların, motora yakıt olarak verilmeden önce ön ısıtmaya tutulmasının faydalı olacağı düşünülmekte ve bu konuda çalışma yapılması gerekmektedir. Bunun yanında, biyoyakıt kullanımının motora vereceği olumsuz etkilerin araştırılması için motor uzun süre çalıştırılmalı ve gözlemler yapılmalıdır.

Ayçiçek yağının ülkemizde ekim alanı potansiyelinin fazla olması, fiyatının uygun ve ekimi artıkça düşme ihtimalinin bulunması, bunun yanında fındık yağına oranla egzoz emisyonlarını daha da iyileştirmesi nedenleri ile ayçiçek yağının alternatif yakıt olarak kullanılması olumlu görülmektedir.

Fındık yağının, fiyatının çok yüksek olması ve düşme ihtimalinin bulunmaması, bunun yanında ayçiçek yağına oranla egzoz emisyonlarında daha az olumlu etki göstermesi nedenleri ile alternatif yakıt olarak kullanılması olumlu görülmemektedir.

KAYNAKLAR

- Akyarlı, A. (2007, 13 Aralık). *Türkiye’deki biyodizel sürecinin güncel durumu ve vizyon & strateji önerileri*. Biyoyakıtlar ve Biyoyakıt Teknolojileri Sempozyumunda sunuldu, Ankara.
- Bayka, D. ve Özdemir, A. (2010, 29 Haziran-2 Temmuz). *Experimental Investigation Of Use Of Canola Oil As A Diesel Fuel*. 14th International Conference on Machine Design and Production, Güzelyurt, KKTC.
- Bruwer, J.J., Boshoff, B.D., Hugo, F.J.C., DuPlessis, L.M., Fuls, J., Hawkins, C., VanderWalt, A.N. and Engelbert, A. (1980). The utilization of sunflower seed oil as renewable fuel diesel engine. *In Agricultural Energy*, 76-80.
- Çaylak, A. (2006). *Motorin-Fındıkyacı Metilesteri Karışımının Yakıt Olarak Kullanılmasının Motor Performansı Üzerine Etkilerinin İncelenmesi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Dinler, N. ve Yücel, N. (2002, Haziran). *Alternatif Yakıt Olarak E85’in Motor Performansı Üzerine Olan Etkisinin Deneysel İncelenmesi*. Otomotiv Teknolojileri Kongresinde sunuldu, Bursa.
- Eliçin, A.K. ve Erdoğan, D. (2006). Fındık yağı metil etil esterleri ile diesel yakıtı karışımlarının küçük güçlü bir diesel motorda yakıt olarak kullanım olanaklarının belirlenmesi. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 13(2), 137-146.
- Enerji Verimliliği Derneği. (2010). Türkiye Enerji ve Enerji Verimliliği Raporu; ENVER, Türkiye, 11.
- Erman, C. (2012). *Tek silindirli bir dizel motorda ön ısıtmalı biyodizel yakıt kullanımının motor performansı, egzoz emisyonları ve silindir-içi yanma üzerine etkisinin deneysel olarak incelenmesi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Gizlenci, Ş., Acar, M. (2008). Enerji bitkileri tarımı ve biyoyakıtlar, *Enerji Bitkileri ve Biyoyakıtlar Sektörel Rapor*, Samsun, 4-5.
- International Energy Agency. (2013). World Energy Outlook 2013; IEA, 2013 /12/544. Fransa, 12.
- İçingür, Y. ve Koçak, M.S. (2006). Fındık yağı metil esterinin dizel yakıtı alternatifi olarak performans ve emisyon parametrelerinin incelenmesi. *Politeknik Dergisi*, 9(2), 119-124.
- İlkılıç, C. (1999). *Çeşitli Alternatif Yakıtların Dizel Motor Emisyonlarına Etkilerinin Teorik ve Deneysel İncelenmesi*, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 109-111.

Karaaslan, S., Dinler, N. ve Yücel, N. (2007, 30 Mayıs-2 Haziran). *Kurşunsuz Benzine MTBE Katkısının Motor Performansı ve Egsoz Emisyonlarına Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi*, 16. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresinde sunuldu, Kayseri.

Karaaslan, S., Karirov, K. ve Yücel N. (2010). Emission Characteristics of Trout Oil Biodiesel-Diesel Fuel Blends in an IDI Compression Ignition Engine. *International Virtual Journal for Science, Technics and Innovations for the Industry*, 8(9), 13-16.

Kegl, B. (2008). Effects of biodiesel on emissions of a bus diesel engine. *Bioresource Technology*, 99 (2008), 863-873.

Keskin, A. Sağıroğlu, S. (2010). Dizel motorlarından kaynaklanan egzoz emisyonları ve kontrol yöntemleri. *Mühendis ve Makine Dergisi, Cilt 51, Sayı 606*.

Kızıloğlu, S. (1992). Türkiye Bitkisel Yağ Sanayi. *Hasad Dergisi*, 7(82), 28-30.

Koncuk, F. (2008). *Biyodizel üretimi ve dizel motorunda motor-yanma karakteristiklerinin incelenmesi*, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.

Labeckas, G. and Slavinskans, S. (2005). Performance of direct-injection off-road diesel engine on rapeseed oil. *Renewable Energy*, 849-863.

Öğüt, H. ve Oğuz, H. (2006). *Üçüncü Milenyum Yakıtı; Biyodizel*. (İkinci Baskı). Türkiye: NOBEL Yayınevi, 1.

Öğüt, H. ve Oğuz, H. (2006). *Üçüncü Milenyum Yakıtı; Biyodizel*. (İkinci Baskı). Türkiye: NOBEL Yayınevi, 25-26.

Öner, C., Can, İ., Koca, A. (2007). Ham Fındık Yağının Dizel Motorlarda Kullanılabilirliği. *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları*, 129-137.

Özsezen, A.N., Türkcan, A. ve Çanakçı, M. (2007, 28-31 Mayıs). *Ham ayçiçek yağı kullanılan bir dizel motorun performans ve emisyonları*. 1. Ulusal Yağlı Tohumlu Bitkiler ve Biyodizel Sempozyumunda sunuldu, Samsun.

Öztürk, M.G. ve Bilen, K. (2009). Kanola yağı metil esteri ve karışımlarının dizel motoru egzoz emisyonuna ve yakıt tüketimine etkisinin deneysel incelenmesi. *Int.J.Eng.Research & Development*, 1(1), 50-55.

Sağlamtaş, E. G. (2014, 12 Eylül). *Orkide ayçiçek yağı laboratuvar sorumlusu Elif Gülşen Sağlamtaş ile internet üzerinden yazışmalar*, Ankara.

Sayın, C. (2012). Diesel engine emissions improvements by the use of Sun flower methyl ester /diesel blends. *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 33(2), 83-88.

Sert, İ. (2008). *Balıkesir il merkezinde motorlu taşıtlardan kaynaklanan emisyon envanterinin hesaplanması*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.

Seydim, A.C. ve Ertekin, B. (2006). Farklı ambalaj kullanımının fındık yağının depolama stabilitesi üzerine etkisi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10-3 (2006), 341-345.

Sugözü, İ., Aksoy, F. ve Baydır, Ş.A. (2009). Bir dizel motorunda ayçiçeği metil esteri kullanımının motor performans ve emisyonlarına etkisi. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6(2), 49-56.

Toprak Mahsulleri Ofisi. (2013). Fındık sektörü raporu; TMO, Ankara, 3-5.

T.C. Gümrük ve Ticaret Bakanlığı. (2012). 2012 yılı ayçiçeği raporu; GTB, Ankara, 6-8.

Usta, N., Can, Ö. ve Öztürk, E. (2005). Alternatif dizel motor yakıtı olarak biyodizel ve etanolün karşılaştırılması. *Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 325-334.

Yaşar, B. (2009). *Alternatif enerji kaynağı olarak biyodizel üretim ve kullanım olanaklarının Türkiye tarımı ve AB uyum süreci açısından değerlendirilmesi*, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

Yücesu, H.S, Altın, R. ve Çetinkaya, S. (2001, Eylül). Dizel motorlarında alternatif yakıt olarak bitkisel yağ kullanımının deneysel incelenmesi. *Türk J Engin Environ Sci*, 39-49.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : GÜR, Aslan
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 20.11.1983, Rize
 Medeni hali : Bekâr
 Telefon : 0 (505) 658 00 80
 Faks : -
 e-mail : aslan.gur@sanayi.gov.tr



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / Makina Mühendisliği	Devam ediyor
Lisans	Osmangazi Üniversitesi / Makina Müh.	2006
Lise	Keçiören Lab. Sağlık Meslek Lisesi	2001

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2006-2007	Türk Silahlı Kuvvetleri	Yedek Subay
2007-2009	MNG Holding Tesisat A.Ş.	Proje Mühendisi
2009-Halen	Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı	Uzman

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Gür, A. (2013, 20-22 Kasım). *Karayolu ulaşımında enerji verimliliği ve enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi*. 3. Sanayi Şurasında sunuldu, Ankara.

Hobiler

Araştırma, Seyahat

