



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

**AYÇİÇEĞİ METİL ESTERİNİN MOTOR TİTREŞİMİNE VE
GÜRÜLTÜSÜNE OLAN ETKİLERİNİN DENEYSEL ANALİZİ**

EKREM ERDAL

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. SUAT SARIDEMİR**

DÜZCE, 2018

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AYÇİÇEĞİ METİL ESTERİNİN MOTOR TİTREŞİMİNE VE
GÜRÜLTÜSÜNE OLAN ETKİLERİNİN DENEYSEL ANALİZİ**

Ekrem ERDAL tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Suat SARIDEMİR

Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Suat SARIDEMİR

Düzce Üniversitesi

Prof. Dr. Hamit SARUHAN

Düzce Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Alaattin Osman EMİROĞLU

Abant İzzet Baysal Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 20/03/2018

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

Mart 2018

Ekrem ERDAL

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim ve bu tezin hazırlanması süresince gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Doç. Dr. Suat SARIDEMİR'e en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Bu çalışma boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen sevgili aileme ve çalışma arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması, Düzce Üniversitesi BAP-2016.07.04.493 numaralı Bilimsel Araştırma Projesiyle desteklenmiştir

Mart 2018

Ekrem ERDAL

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGELER LİSTESİ.....	ix
SİMGELER	x
KISALTMALAR.....	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. DİZEL MOTORLARINDA YANMA OLAYI	11
2.1. DİZEL MOTORLARDA YANMA OLAYI VE SAFHALARI	11
2.1.1. Tutuşma Gecikmesi Periyodu.....	12
2.1.2. Ani Yanma Periyodu	12
2.1.3. Kontrollü Yanma Periyodu.....	13
2.1.4. Art Yanma Periyodu	13
3. DİZEL MOTORLARDA KULLANILAN YAKITLAR.....	14
3.1. DİZEL MOTORLARDA KULLANILAN YAKITLAR.....	14
3.1.1. Viskozite.....	15
3.1.2. Yakıtın Enerji İçeriği.....	16
3.1.3. Setan Sayısı.....	16
3.1.4. Bulutlanma ve Akma Noktası.....	17
3.1.5. Parlama ve Alevlenme Noktası.....	17
3.1.6. Uçuculuk.....	18
3.1.7. Yoğunluk ve API Gravitesi	18
3.1.8. Kükürt miktarı ve Korozyon Etkisi.....	19
3.1.9. Su ve Tortu Miktarı.....	19
3.1.10. Yakıtın Kül İçeriği.....	19
3.1.11. Yağlayıcılık Özelliği ve Oksidasyon Kararlılığı.....	19

4. ALTERNATİF YAKIT ÇEŞİTLERİ ve BİTKİSEL YAĞLAR.....	20
4.1. BİYODİZEL.....	21
4.1.1. Biyodizelin Tanımı.....	21
4.1.2. Biyodizelin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	22
4.1.3. Biyodizel Kullanımının Çevresel Etkileri.....	23
4.1.4. Biyodizel Standartları.....	26
5. BİTKİSEL YAĞLARDAN BİYODİZEL ÜRETİMİ.....	29
5.1. BİTKİSEL YAĞLARIN YAKIT ÖZELLİKLERİ.....	29
5.1.1. Isıl Yöntem.....	30
5.1.2. Kimyasal Yöntemler	30
5.1.2.1. Seyreltme Yöntemi.....	30
5.1.2.2. Proliz Yöntemi.....	31
5.1.2.3. Mikroemülsiyon Yöntemi	31
5.1.2.4. Transesterifikasyon (Yeniden Esterleme) Yöntemi	31
6. TİTREŞİM VE GÜRÜLTÜ HAKKINDA GENEL BİLGİLER.....	34
6.1. PERİYOT	34
6.2. FREKANS	35
6.3. AÇISAL FREKANS	35
6.4. FAZ	35
6.5. GENLİK	35
6.5.1. Tepeden-Tepeye (Peak-To-Peak) değeri.....	36
6.5.2. Sıfırdan-Tepeye (Zero-To-Peak) değeri.....	36
6.5.3. Ortalama (Average) değeri	36
6.5.4. RMS (Root Mean Square -Karelerin Ortalamasının Karekökü)	36
6.5.5. Titreşimin Yer Değişimi-Deplasmanı (Displacement).....	36
6.5.6. Titreşimin Hızı (Velocity).....	37
6.5.7. Titreşimin İvmesi (Acceleration).....	37
6.6. HIZLI FOURIER DÖNÜŞÜMÜ (FFT)	37
6.7. ZAMAN DALGA FORMLARI	38
6.8. DALGA BOYU (λ)	38
7. TİTREŞİM ÖLÇÜMÜNDE KULLANILAN EKİPMANLAR.....	40
7.1. İVME ÖLÇERLER.....	41
7.2. HIZ ÖLÇERLER.....	41

7.3. DEPLASMAN ÖLÇERLER – EDDY AKIM TRANSDÜSERLERİ	42
8. MATERYAL VE YÖNTEM.....	44
8.1. BİYODİZEL ÜRETİMİ	44
8.2. MOTOR TEST ÜNİTESİ	47
8.3. TİTREŞİM VE GÜRÜLTÜ ÖLÇÜM EKİPMANLARI	49
9. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME.....	53
9.1.TİTREŞİM SONUÇLARI	53
9.2. MOTOR GÜRÜLTÜ SONUÇLARI.....	57
10. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	61
11. KAYNAKLAR.....	62
ÖZGEÇMİŞ	1

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Dünya biyodizel üretimi	3
Şekil 2.1. Dizel motorda basınç – Krank açısı ve püskürtme seyri	11
Şekil 4.1. Biyodizel yağ kaynakları	21
Şekil 4.2. Biyodizel kullanımında ham madde kaynaklarının % değerleri.	22
Şekil 4.3. Biyodizel döngüsü	24
Şekil 4.4. Biyodizel ile CO ₂ arasındaki ilişki	25
Şekil 5.1 Biyodizelin üretim şeması.	29
Şekil 5.2. Bitkisel yağların dizel motorlarda kullanılabilme yöntemleri.	30
Şekil 5.3. Bitkisel yağın transesterifikasyonu.....	33
Şekil 6.1. Basit harmonik hareket	34
Şekil 6.2. Genlik değerleri grafiği	36
Şekil 6.3. Deplasman, ivme ve hız eğrileri	37
Şekil 6.4. Hızlı fourier dönüşümü.....	38
Şekil 6.5. Farklı genliklerdeki dalgaların karşılaştırılması.	39
Şekil 7.1. Titreşim transdüserleri	40
Şekil 7.2. Transdüserlerin çalışma aralıkları.	41
Şekil 7.3. İvme Ölçerin iç yapısı.....	41
Şekil 7.4. Hız ölçer iç yapısı	42
Şekil 7.5. Eddy problemleri	42
Şekil 7.6. Taşınabilir veri toplayıcıları.....	43
Şekil 8.1. Biyodizel üretim düzeneği.....	44
Şekil 8.2. Biyodizel üretimi (esterleştirme reaksiyonu).	45
Şekil 8.3. Biyodizel içerisindeki gliserinin çökmüş hali.	46
Şekil 8.4. Gliserinden ayrılmış biyodizel.....	46
Şekil 8.5. Biyodizelin yıkanması ve saf sudan ayrışması.	47
Şekil 8.6. Üretilmiş olan ayçiçek yağı metil esteri (Biyodizel).	47
Şekil 8.7. Deney düzeneğinin şematik görünümü.	49
Şekil 8.8. Deney düzeneğinin resmi.....	49
Şekil 8.9. Titreşim ölçümünde kullanılan ekipmanlar.	50
Şekil 8.10. Brüel&Kjaer 4527 model piezoelektrik ivme ölçer.	51
Şekil 8.11. Svantek 104 model bir gürültü ölçüm cihazı (dozimetre).	52
Şekil 9.1. 1800 dev/dak motor devrinde Ch1’den alınan zaman bölgesi grafiği.....	54
Şekil 9.2. 1800 dev/dak motor devrinde Ch1’den alınan frekans bölgesi grafiği.	54
Şekil 9.3. Yakıt karışımları için toplam titreşim ortalama genlik değerleri	56
Şekil 9.4. Motor devrine bağlı olarak ortalama gürültü seviyesi.....	58
Şekil 9.5. 1400 dev/dak’da zamana bağlı olarak değişen gürültü seviyesi.....	58
Şekil 9.6. 1800 dev/dak’da zamana bağlı olarak değişen gürültü seviyesi.....	59
Şekil 9.7. 2200 dev/dak’da zamana bağlı olarak değişen gürültü seviyesi.....	59
Şekil 9.8. 2600 dev/dak’da zamana bağlı olarak değişen gürültü seviyesi.....	60

ÇİZELGELER LİSTESİ

Sayfa No

Çizelge 3.1. Dizel yakıt no.2 özellikleri	14
Çizelge 4.1. Biyodizel ve dizel yakıtların özellikleri	23
Çizelge 4.2. B100 ve B20'nin dizele göre emisyon değerlerinin azalma oranları	26
Çizelge 4.3. Çeşitli ülkelerdeki biyodizel standartları ile ilgili bazı parametler.....	27
Çizelge 4.4. Biyodizel Türk Standartları	28
Çizelge 8.1. Deney motorunun teknik özellikleri.	48
Çizelge 8.2. Elektrikli dinamometreye ait teknik özellikler.	48
Çizelge 8.3. İvme ölçere ait teknik özellikler.	51
Çizelge 8.4. Gürültü ölçüm cihazına ait teknik özellikler.	51
Çizelge 9.1. Tüm kanallardan elde edilen a_{RMS} titreşim değerleri.....	56

SİMGELER

a	İvme
a_t	Toplam titreşim değeri
C	Sönüm
C16–C18	Yağ Asidi (Palmitik Oleik Stearik Asit)
CH ₃ OH	Metanol
CH ₄	Metan
CO	Karbonmonoksit
CO ₂	Karbondioksit
dBA	Gürültü seviyesi
f	Frekans
F	Kuvvet
HC	Hidrokarbon
H ₂ SO ₄	Sülfürik asit
Hz	Hertz (Frekans birimi)
K	Rijitlik
KOH	Potasyum hidroksit
m	Kütle
NaOH	Sodyum hidroksit
NO	Azot oksit
NO _x	Azot oksitler
O ₂	Oksijen
pH	Asit değeri
RMS	Root Mean Square (Karelerin Ortalamasının Karekökü)
RPM	Revolution Per Minute (Dakikada devir sayısı)
SO _x	Kükürt Oksitler
t	Zaman
T	Periyot
V	Hız
X	Yer değiştirme genliği
ω	Açısal Frekans
ϕ	Faz
λ	Dalga Boyu

KISALTMALAR

API	American Petroleum Institute (Amerikan Petrol Enstitüsü)
ASTM	Amerika Test ve Malzeme Kurumu
AYME	Ayçiçek Yağı Metil Esteri
B0	% 100 Dizel Yakıt
B15	% 15 Biyodizel Katkılı Dizel Yakıt
B30	% 30 Biyodizel Katkılı Dizel Yakıt
BYME	Bitkisel Yağ Metil Esteri
CFPP	Cold Filter Plugging Point (Soğuk Filtre Tıkanma Noktası)
CNG	Sıkıştırılmış doğal gaz
CP	Cloud point (bulutlanma noktası)
dev/dak	Devir/Dakika
DIN	Alman Endüstri Normu ya da Alman Standartlar Enstitüsü
EN	European Norm (Avrupa Standartları)
FFT	Hızlı Fourier Dönüşümü
HY	Hayvansal Yağ
ISO	Uluslararası Standard Organizasyonu
LPG	Sıvılaştırılmış Petrol Gazı
PAH	Polisiklik Aromatik Hidrokarbon
TG	Tutuşma gecikmesi
TS	Türk Standartları
YAME	Yağ asidi metil ester
YAMAE	Yağ Asidi Mono Alkil Ester
Y/H	Yakıt/Hava

ÖZET

AYÇİÇEĞİ METİL ESTERİNİN MOTOR TİTREŞİMİNE VE GÜRÜLTÜSÜNE OLAN ETKİLERİNİN DENEYSEL ANALİZİ

Ekrem ERDAL

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Suat SARIDEMİR

Mart 2018, 65 sayfa

Günümüzde tüm dünyada enerji ihtiyacı ve motorlu taşıt sayısı gün geçtikçe artarak devam etmektedir. Dünya genelinde özellikle ticari enerji ihtiyacının büyük kısmı petrol kullanımı ile sağlanmaktadır. Petrol çoğunlukla motorlu taşıtlarda yakıt olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, dünya petrol rezervleri aşırı kullanıma bağlı olarak hızla tükenmektedir. Bu nedenlerle araştırmacılar motorlu taşıtlarda kullanılmak üzere önem kazanan alternatif yakıt arayışlarına gitmişlerdir. Bitkisel veya hayvansal yağlardan elde edilen biyodizel ile ilgili çok sayıda araştırma ve çalışma yapılmaktadır. Dizel yakıtlar geniş kullanım alanına sahip olmasından dolayı ülke ekonomisinde önemli bir yere sahiptir. Dizel motorlarında yanma patlamalı olduğundan dolayı, gürültülü ve titreşimli çalışırlar. Motor içindeki yanma süreci ile meydana gelen gürültü ve titreşim canlılar üzerinde uzun ve kısa süreli olumsuz etkiler oluşturmaktadır. Yakıtların özellikleri dizel motorlarda gürültü ve titreşime önemli derecede etki eder. Bu çalışmada, standart dizel yakıtı ve ayçiçek yağı metil esteri (Biyodizel) karışımlarının, tek silindirli bir dizel motorun gürültü ve titreşim emisyonlarına olan etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Deneyler standart dizel yakıtına hacimsel olarak % 15 ve % 30 oranlarında katılan ayçiçek yağı metil esteri yakıtları ile tam yük altında ve farklı motor devirlerinde yapılmıştır. Ayçiçek yağı metil esteri ve standart dizel yakıt karışım oranı arttıkça gürültü ve titreşim emisyonlarında düşüş görülmüştür.

Anahtar sözcükler: Ayçiçeği metil esteri, Dizel motor, Titreşim, Gürültü.

ABSTRACT

EXPERIMENTAL ANALYSIS OF SUNFLOWER METHYL ESTER TO ENGINE VIBRATION AND NOISE

Ekrem ERDAL

Duzce University

Institute Of Science And Technology , Department of Manufacturing Engineering

Master's Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Suat SARIDEMİR

March 2018, 65 pages

Nowadays, energy demand and the number of motor vehicles all over the world are increasing day by day. Worldwide, most of especially commercial energy needs are provided by the use of oil. Petroleum is mostly used as fuel in motor vehicles. In addition, the world oil reserves are rapidly depleting depending on overuse. For these reasons, researchers have gone to search for alternative fuels that are important for use in motor vehicles. There are many researches and studies on biodiesel obtained from vegetable or animal oils. Diesel fuels have an important role in the country's economy because of their wide use. Because diesel engines have bursts of combustion, they operate loudly and vibrate. Noise and vibration emissions caused by the combustion process in the engine cause long and short time negative effects on the living. The properties of fuels affect noise and vibration considerably in diesel engines. In this study, the effects of standard diesel fuel and sunflower oil methyl ester (Biodiesel) mixtures on the noise and vibration emissions of a single-cylinder diesel engine have been experimentally investigated. Experiments were carried out under full load and at different engine speeds with sunflower oil methyl ester fuels added to standard diesel fuel at 15 % and 30 % by volume. As the ratio of sunflower oil methyl ester and standard diesel fuel mixture increased, noise and vibration emissions decreased.

Keywords: Sunflower methyl esteri, Diesel engine, Vibration, Noise

1. GİRİŞ

Dizel yakıtlar dünya genelinde geniş kullanım alanına sahip olmasından dolayı kalkınma ve ekonomi yönünden önemli bir yere sahiptir. Dizel motorlar için yenilenebilir alternatif yakıt kaynakların biri de bitkisel ve hayvansal yağlardan üretilen biyodizel yakıtlardır. Biyodizel yakıtlar, çevre dostu olması ve dizel yakıtına daha yakın yanma karakteristik özelliğine sahip olması nedeni ile alternatif enerji/yakıt çalışmaları arasında en önemli araştırma ve geliştirme konularından biri haline gelmiştir. Bu alanda yapılan bilimsel çalışmaların önemini ve sayısı artmaktadır.

Tüm dünyada kalkınma ve ekonominin önemli etkenleri arasında yer alan enerji ihtiyacı ve motorlu taşıt sayısı gün geçtikçe artarak devam etmektedir. Ülkelerin enerji tüketimini etkileyen faktörler arasında; ülkelerindeki enerji kaynakları, gelişme yönündeki hızları, ekonomik ve siyasal yönden uyguladıkları politika ile gelişmeleri, iklim şartları ve nüfustaki artışları sayılabilir. Dünya genelinde ticari enerji ihtiyacının büyük kısmı petrol kullanımı ile sağlanmaktadır. Petrol çoğunlukla motorlu taşıtların yakıtı olarak kullanılmaktadır. Dünyadaki petrol rezervlerinin hızla tükenmekte olduğu bilinmektedir. Ayrıca petrol bazlı yakıtların aşırı kullanımında hava kirliliğine sebep olan egzoz emisyonlarının artmakta ve bu duruma bağlı olarak dünyanın ekolojik dengesinde bozulmalar olmaktadır. Bu nedenle araştırmacılar tarafından motorlu taşıtlarda kullanılmak üzere alternatif yakıt arayışlarına gidilmiştir [1].

İçten yanmalı motorlarda hareket, yanma odasında yanma süreci sonucunda oluşan yüksek basınçlı gazlar ile sağlandığından silindir içerisinde ani basınç değişimleri meydana gelmektedir. Dizel motorlarında ateşleme (yanma), benzinli motorlarda bulunan buji gibi ek bir kıvılcımla oluşmadığı, tutuşmanın kendi kendine yüksek basınç ve sıcaklık altında oluştuğu için silindir içerisindeki basınç çok yüksektir. Başka bir ifade ile dizel motorlarında yanma olayı; yanma odasına temiz hava gönderilir, sıkıştırma işlemi sonucunda yüksek sıcaklık ve yüksek basınçlı hava üzerine yakıt püskürtülerek yanma olayı gerçekleşmektedir. Yani, dizel motorlarında yanmanın gerçekleşebilmesi için yüksek sıkıştırma oranlarına ihtiyaç duyulur. Yanma olayın gerçekleşmesi için gerekli olan yüksek ve ani basınç değişimleri motor dış yüzeylerinde

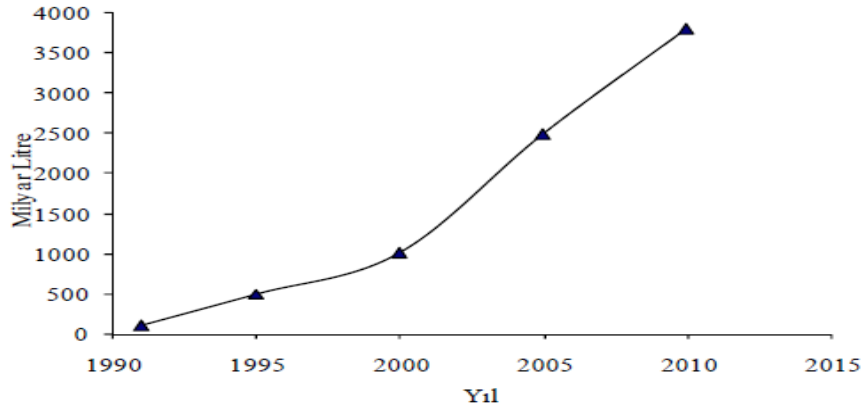
titreşimler meydana getirir ve bu oluşan titreşimler, havada basınç salınımları yaparak gürültünün ve sesin oluşmasına sebep olur. Bu durumlara bağlı olarak dizel motorlu taşıtların en önemli sorunlarından birisi de titreşim ve titreşimlere bağlı olarak oluşan gürültülerdir. Titreşim ve gürültü birbirinden bağımsız iki ayrı sorun gibi algılanmasına rağmen, biri diğerini tetiklediğinden dolayı birbirleri ile yakından bağlantılıdır. Gürültünün en temel kaynağını titreşim oluşturmaktadır. Oluşan titreşimler ve gürültüler, taşıt, motor (malzeme yorulması, kırılması, verimsiz enerji v.b.) ve insanlar/canlılar üzerinde (yorgunluk, sırt ağrısı, fizyolojik, psikolojik rahatsızlıklar v.b.) olumsuz etkiler meydana getirmektedirler. Sonuç olarak, titreşim genel olarak istenilmeyen bir durum olması dışında da gereğinden fazla enerji kullanımına sebep olur ve hava da salınan ses dalgalarının sonucunda diğer istenmeyen bir durum olan ses kirliliği yani gürültü meydana gelir. Tüm bu sebeplerden dolayı dizel motorlarında titreşim ve gürültü önemli bir araştırma konusu haline gelmiştir [2]-[4].

İçten yanmalı motorlarda meydana gelen gürültünün kaynakları üç ana başlık altında toplanabilir. Bunlar; mekanik sistemlerden kaynaklanan gürültü, yanma olayının sebep olduğu gürültü ve yardımcı kaynakların neden olduğu gürültülerdir. Dizel motorun yaydığı gürültü nedeninin etken bileşeni yanma gürültüsü olarak ifade edilebilir. Yanma başlangıcıyla meydana gelen basınç artışı silindirlerdeki gaz hareketlerini hızlandırır. Ani basınç artışı ile hareketlenen gazların yanma odası yan yüzeyinde ve piston yüzeyinde oluşturduğu kuvvetler motor bloğuna etki ederek titreşimleri meydana getirir. Bu sonuca bağlı olarak, ani basınç değişim oranı ne kadar büyük ve kuvvetli olursa sistem üzerinde oluşacak olan titreşim ve gürültü de o kadar büyük ve etkili olur [3], [4].

İçten yanmalı motorlarda oluşan titreşimler temel olarak iki sebepten dolayı meydana gelmektedir. Bunlardan ilki, yanma işlemi süresince meydana gelen ve piston ile silindir kapağına etki eden ani ve değişken silindir içi basınç farklılıkları, ikincisi ise doğrusal ve dairesel hareket gerçekleştiren motor parçalarının ataletlerinden, balanslılıklarından ve ivmesel değişimlerden ve etkileşimlerinden kaynaklı meydana gelen eylemsizlik ve dengesizlik sonucu ortaya çıkarttıkları kuvvetler olarak ifade edilebilir [5].

2005 yılı için dünyada 3762 milyon litre biyodizel üretimi yapılmıştır. Biyodizel üretimi 1991 yılından 2005 yılına kadar ciddi artış göstermiştir. Bu artış Şekil 1.1’de görülmektedir. Dünyada biyodizel üretiminde Almanya öncü ülke olup, onu sırasıyla Fransa, Amerika ve İtalya ülkeleri takip etmektedir. Bununla beraber Brezilya’da

biyodizel üretimi hızla artmaktadır. Avrupa Birliği bölgesinde farklı destek ve vergilendirme sistemleri uygulanarak biyodizel kullanımı teşvik edilmektedir [6].



Şekil 1.1. Dünya biyodizel üretimi [6].

Literatürde dizel motorlarda biyodizel kullanımı ve bu biyoyakıtların motor performansına ve emisyonlarına olan etkilerinin incelendiği birçok çalışma bulunmaktadır. Fakat biyodizel yakıt karışımlarının motor titreşimine ve gürültüsüne etkilerinin araştırıldığı ve incelendiği az sayıda çalışmaların yapıldığı anlaşılmaktadır.

Sarıdemir ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada, biyodizel yakıtın standart dizel yakıtı ile karıştırılması sonucunda; Ab0, Ab5, Ab15, Ab30 ve Ab50 karışımları elde edilmiş ve bu biyodizel yakıt karışımlarının farklı devirlerde (1250 dev/dak, 1750 dev/dak, 2250 dev/dak, 2750 dev/dak'larda), direkt enjeksiyonlu ve tek silindir bir dizel motorun titreşimine olan etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Motorda meydana gelen titreşim değeri, deneyde kullanılan bütün yakıtlar için motor devrinin artışına bağlı olarak artma gösterdiği görülmüş. Meydana gelen titreşim en büyük toplam değerinin Ab15 yakıt karışımında, titreşim en küçük toplam değerinin ise Ab50 yakıt karışımında meydana geldiği belirlenmiştir. Deneysel çalışmada kullanılan bütün yakıt karışımları için, titreşimin en büyük değerlerinin aksel yönde Ch2 kanalında, titreşimin en küçük değerlerinin ise yanal eksende Ch1 kanalında meydana geldiği belirtilmiştir [7].

Sarıdemir ve arkadaşlarının yapmış oldukları diğer bir çalışmada, farklı oranlarda elde ettikleri ayçiçeği yağı metil esteri (biyodizel) ile standart dizel yakıt karışımının, tam yük altında farklı devirlerde tek silindire sahip bir dizel motorun silindir içi basıncına, titreşim ve gürültüsüne olan etkileri incelenmiştir. Deneysel veriler sonucunda, motor devrine bağlı olarak motor titreşim değerinin de arttığının görüldüğü ve B25 ile tüm devirlerde en küçük silindir içi basınçlar elde edildiği belirtilmiştir. Tüm yakıtlar için

1400 dev/dak'daki maksimum silindir gaz basıncı, 1800 ve 2600 dev/dak'lerdeki silindir gaz basınçlarından daha büyük çıktığı bildirilmiştir [8].

Albayrak tarafından yapılan çalışmada, kanola yağı metil esteri (KYME), % 20, % 40 ve % 60 oranlarında hacimsel olarak standart dizel yakıtı karıştırılmasıyla oluşan karışım yakıtlarının, tek silindir bir dizel motorun farklı devir oranlarında ve tam yükte motor titreşim karakteristiğine olan etkileri incelenmiştir. Deneysel veriler sonucunda, titreşimin genlik değerlerinin, yakıt karışımlarının içerisindeki KYME oranıyla bağlantılı şekilde artış gösterdiği ve titreşimin en büyük genlik değerinin KYME60 yakıt karışımında meydana geldiği belirtilmiştir. Bu durumun, kanola yağı metil esterinin tutuşma gecikmesinin dizel yakıtına kıyasla daha yüksek değerde olması ile ilgili olduğu sonucuna varılmıştır [9].

Uludamar ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada, farklı oranlardaki biyodizel yakıt karışımlarının motor titreşim ve gürültüsüne olan etkileri araştırılmıştır. Deneysel veriler neticesinde, titreşimin ve gürültünün motor devrine bağlı olarak artış gösterdiği, yakıt karışımlarının içeriğindeki biyodizel oranının artmasına bağlı olarak motor titreşiminin ve gürültüsünün azaldığı belirtilmiştir [10].

Yıldırım ve arkadaşları, hacimsel olarak % 20 ve % 50 oranlardaki biyodizel-dizel yakıt karışımları ile saf % 100 (saf) biyodizelin, 6 silindirli bir motorun gürültü ve titreşim karakteristiklerine olan etkisini sabit devirde yüke bağlı olarak incelemişlerdir. Sonuçlar incelendiğinde, en büyük titreşim değerinin B20 yakıtı ile 100 Nm yük altında elde edildiği belirtilmiştir [11].

Shaikh ve arkadaşının yapmış olduğu çalışmada, biyodizel yakıt karışımlarının sabit devirde çalışan tek silindirli dizel bir motorun titreşimine ve gürültüsüne olan etkisi incelenmiştir. Deneysel çalışmaları sonucunda elde edilen veriler neticesinde, yakıt karışımının içeriğindeki biyodizel oranının artmasıyla gürültü ve titreşim değerlerinin azaldığı bildirilmiştir [12].

Yılmaz ve Morton, atık sebze yağlarından elde edilen biyodizelin farklı sıkıştırma oranlarında, farklı silindir sayılarına ve farklı soğutma sistemlerine sahip iki farklı dizel motorun performansına ve emisyonlarına olan etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Deneyler B0, B20 ve B100 yakıtları ile yapılmıştır. İki tip motorda da ısı verim biyodizelin kullanımıyla artmıştır. Tek silindirli motorda, iki silindirli motora göre ısı verim ise daha yüksek elde edilmiştir. Tüm testlerde yük artarken CO emisyonlarında

düşüş gözlemlenmiştir. Her iki motorda da yanmamış hidrokarbonların oranında yüklerle beraber kademeli bir düşüş olduğu belirtilmiştir [13].

Büyükkaya tarafından yapılan çalışmada, kolza yağının kullanıldığı bir dizel motorda performans ve emisyon değerleri deneysel olarak incelenmiştir. Deneyler kolza yağının standart dizel yakıt ile hacimsel olarak % 5, % 20 ve % 70 oranlarında karıştırılarak elde edilen yakıtlar ile gerçekleştirilmiştir. Deneyler için motorda konstrüksiyon açısından herhangi bir değişiklik yapılmamıştır. Ayrıca, % 20 karışım en iyi ısı verimi verirken, yakıt katkıları yakıt tüketimine olumsuz etki (% 11'e kadar artış) yapmıştır. Egzoz emisyonları açısından NO_x (azotoksitler) emisyonları da biyodizel kullanılmasıyla birlikte artış göstermiştir [14].

Çelikten ve Arslan tarafından yapılmış olan çalışmada, soya ve kanola yağı metil esterlerinin 4 silindirli direkt püskürtmeli dizel motorun, emisyonlarına ve performansına olan etkileri incelenmiştir. 1600 dev/dak'da maksimum torku dizel yakıtıyla kıyaslandığında; soya yağı metil esterinde % 8,4- kanola yağı metil esterinde % 4,7 oranında azaldığı, motor gücünün; kanola yağı metil esterinde % 9,7 ve soya yağı metil esterinde % 11,8 oranına kadar azaldığı bildirilmiştir. Özgül yakıt tüketimlerinin dizel yakıtıyla kıyaslandığında; soya yağı metil esterinde % 17,5 ve kanola yağı metil esterinde % 10,1 oranında arttığı bildirilmiştir. Duman koyuluğunun dizel yakıtı göre soya yağı metil esteri ile % 37 kadar azaldığı belirlenmiştir. CO emisyonunun dizel yakıtına kıyasla azalma oranı soya yağı metil esterinde % 39, kanola yağı metil esterinde % 27 oranında olduğu bildirilmiştir. NO_x emisyonları ise dizel yakıtına göre kanola yağı metil esteri ile % 22, soya yağı metil esteri ile % 33 oranında arttığı bildirilmiştir. Motorun en yüksek performans değeri standart dizel yakıtıyla sağlanmış, sonrasında kanola ve soya yağı metil esterlerinin motor performansları şeklinde sıralanmıştır. Kanola yağı metil esteri en düşük duman ve CO emisyon değerini vermiştir. Kanola ve soya yağı metil esterlerinin kullanımda NO_x değerlerinin arttığı bildirilmiştir [15].

Haşımoğlu ve arkadaşları, transesterifikasyon yöntemi ile rafine ayçiçeği yağından ürettikleri biyodizel yakıtın kısmi yük şartlarında aşırı doldurmalı direkt püskürtmeli bir dizel motorun egzoz emisyonuna ve performansına olan etkilerini deneysel olarak incelemiştir. Biyodizel yakıtın özgül yakıt tüketimini, efektif verimi ve NO_x emisyonunu artırdığı, egzoz gazı sıcaklığını ve duman koyuluğunu düşürdüğü belirtilmiştir [16].

Alpgiray ve Gürhan tarafından yapılan çalışmada, dizel yakıtıyla % 20, 40, 60, 80 oranları ile karıştırılarak seyreltilen kanola yağının tek silindir dizel motorun performansına ve emisyonlarına olan etkileri araştırılmıştır. Bununla birlikte, transesterifikasyon yöntemi ile üretilen kanola yağı metil esterinin motor performansına ve emisyonlarına olan etkileri incelenmiştir. Deneyler sonucunda dizel yakıtıyla kıyaslandığında; kanola yağı kullanımı ile motorun gücünde ve momentinde az da olsa düşüşlerin olduğu, yağ asidi metil esteri kullanımında ise; motorun gücünde ve momentinde ham kanola yağlarına kıyasla yüksek değerde ve dizel yakıtının değerine yakın değerde olduğu tespit edilmiştir. Kanola yağına uygulanan transesterifikasyon yönteminin sonucu olarak dizel yakıtına daha yakın değerler gösterdiği belirlenmiştir. Kanola yağı ile yapılan deneylerde duman koyuluğunun dizele kıyasla daha yüksek değerde olduğu, ama yağ asidi metil esterinin kullanımı ile duman yoğunluğunun seyreltme yöntemi ile oluşan yakıtlara kıyasla daha düşük değerlerde olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen veriler sonucunda, kanola yağı metil esterinin dizel yakıtına daha yakın değerlere (özelliklere) sahip olduğu bildirilmiştir [17].

Yücesu ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada, tek silindirli bir dizel motorda alternatif yakıt olarak kullanılan bitkisel yağın, motorun performansına ve egzoz emisyonlarına olan etkilerini tespit etmek için motor değişik devir-tam gaz ve değişik yük-sabit değer deneyleri yapılmıştır. Deneylerde standart dizel yakıtıyla birlikte dokuz çeşit bitkisel yağ (ham olarak ayçiçek, pamuk ve soya yağları ve bunların her birinden elde edilmiş olunan metil esterleri ile rafine edilmiş olan haşhaş, mısır ve kanola yağları) kullanılmıştır. Maksimum motor gücü 1700 dev/dak'da standart dizel yakıtı ile 7,41 kW elde edilmiştir. Bitkisel yağlarla elde edilen maksimum güç kanola yağı ile 7,1 kW, en düşük güç ise 6,58 kW ile soya yağı ve pamuk yağından elde edildiği belirtilmiştir. Standart dizel yakıtı ile yapılan deneylerde termik verim 1500 dev/dak'da % 35, bitkisel yağlarda ise 1300-1400 dev/dak'da % 34 olarak belirlenmiştir. Emisyon sonuçlarına bakıldığında duman koyuluğunun en düşük değeri % 29,3 ile standart dizel yakıtında elde edilmiştir. En düşük duman koyuluğu % 40,3 ile ayçiçek yağı metil esterinden, en yüksek değer ise % 51 mısır yağı ile elde edilmiştir. En yüksek NO_x değeri standart dizel yakıtı ile 2069 mg/Nm³ olarak tespit edilmiştir. Bitkisel yağlarla yapılan testlere bakıldığında ise metil esteri yakıtların NO_x değerleri ham yağların NO_x değerlerinden yüksek değerlerde olduğu belirtilmiştir [18].

Yamık, standart dizel yakıtı, ayçiçek yağı metil esteri ve etil esterinin tek silindir dizel motorun, tam yükte farklı devirlerde ve sabit devirde farklı yükler altında performans haritalarını çıkarmıştır. Tam yük değişik devir deneylerinde etil ester performansının dizel yakıtı ve metil estere göre daha düşük değerlerde olduğunu bildirmiştir. Emisyonlar bakımından etil esterinin emisyon değerlerinin metil esterinkine yakın değerlerde ölçüldüğü belirtilmiştir. Ayçiçek yağı metil esterinin ısı değeri ve özgül yakıt tüketiminin dizel yakıtına benzer değerler verdiği bildirilmiştir. Deneyler sırasında gürültü ölçümü yapılmış ve esterlerin gürültü seviyelerinin dizel yakıtından düşük olduğu bildirilmiştir. Her yakıt için maksimum momentin meydana geldiği optimum avans değerleri tespit edilmiştir. Metil esterinin performansının dizel yakıtına alternatif yakıt olarak kullanılabileceği, etil esterinin ise motor moment ve gücünün dizel yakıtına yakın değerlerde olduğu belirtilmiş fakat özgül yakıt tüketimlerinin dizel yakıtına kıyasla daha yüksek değerlerde olduğu bildirilmiştir [19].

Tarauş tarafından yapılan çalışmada, hayvansal yağ ve ayçiçeği yağı karışımından metil alkol kullanılarak NaOH katalizörlüğünde biyodizel üretimi yapılmıştır. Biyodizelin maliyetini hayvansal yağları kullanarak düşürebilmek için iç yağı çeşitli oranlarda ayçiçeği yağı ile karıştırılmıştır. % 100 HY (Hayvansal yağ), % 80 HY+% 20AY, (% 80 Hayvansal yağ + % 20 Ayçiçek yağı), % 60 HY+% 40AY, % 40 HY+% 60AY, % 20 HY + % 80AY ve % 100 AY (% 100 Ayçiçek yağı), olmak üzere hazırlanan altı karışımın viskozite, akma noktası, bulutlanma noktası (CP), soğuk filtre tıkanma noktası (CFPP), parlama noktası, ısı değeri, kükürt yüzdesi analizleri değerlendirilmiştir. Karışımındaki hayvansal yağ oranı arttıkça soğuk filtre tıkanma noktası, akma noktası, viskozite, bulutlanma noktası, kükürt yüzdesi ve ısı değeri artmıştır. Parlama noktası ise önce azalmış daha sonra artmıştır. Sonuçta, EN 14214 Standartlarını karşılayan metil ester üretimini sağlamak için hayvansal yağ ve ayçiçek yağı karışımının en az % 60 ayçiçeği yağı içermesi gerekliliği belirlenmiştir [20].

Şahin tarafından yapılan çalışmada, ham keten tohumu yağından biyodizel yakıt elde edilmiştir. Elde edilen biyodizel standart dizel yakıtıyla hacimsel oranlar ile karıştırılarak B2, B5, B20, B50 ve B100 yakıt karışımları elde edilmiştir. Deneyler neticesinde, keten tohumuyla elde edilen saf biyodizel ve karışımların fiziksel özellikleri ve dizel motorlarda yakıt olarak kullanılması sonucunda alınan motor performans değerleri standart dizel yakıtıyla benzer özellikler gösterdiği belirlenmiştir. Maksimum tork değerinin motorun ile 1000 dev/dak'da yaklaşık 59,6 Nm, B100 yakıtı

ile 1200 dev/dak'da yaklaşık 53,8 Nm olduğu belirtilmiştir. Maksimum gücün motorin ile 2100 dev/dak'da yaklaşık 10,96 kW, B100 yakıtı ile 2000 dev/dak'da yaklaşık 10,23 kW olduğu belirtilmiştir. Minimum özgül yakıt tüketimi değerleri incelendiğinde ise en düşük değerin, standart dizel yakıtı ile 1000 dev/dak'da yaklaşık 231,36 g/kWh iken, B100 yakıtı ile 1200 dev/dak'da yaklaşık 296,73 g/kWh olarak ölçülmüştür. Ölçümler genel olarak değerlendirildiğinde; deneyde kullanılan yakıtların içeriğindeki biyodizel oranının artmasıyla motor torkundaki azalma miktarının arttığı, biyodizel kullanımı ile motor gücünün azalma olduğu fakat özgül yakıt tüketiminde artma olduğu bildirilmiştir [21].

İlkılıç ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, aspir tohumundan transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel yakıt elde edilmiştir. Üretilen biyodizel yakıt, hacimsel olarak % 5, % 20 ve % 50 oranlarında saf dizelle karıştırılmıştır. Testler tek silindirli bir dizel motorda gerçekleştirilmiştir. Test sonuçlarında, hacimsel karışım oranı arttıkça yaklaşık olarak % 11'e varan performans (güç ve tork) kayıpları gözlenmiştir. En yüksek karışım oranında ise özgül yakıt tüketimlerinde artış görülmüştür. NO_x ve HC emisyonlarında bir miktar artış, partikül, CO ve is emisyonlarında kabul edilebilir oranlarda azalma olduğu bildirilmiştir [22].

Dobrucalı tarafından yapılan çalışmada, soya yağından elde edilen biyodizel yakıt ve Euro dizel hacimsel olarak karıştırılarak B10, B20, B50, B75 ve B100 yakıtları türetilmiştir. Elde edilen yakıt karışımlarının 4 zamanlı, direk püskürtmeli, tek silindirli ve sabit 3000 dev/dak devirli olarak çalışan, PM-15 modeli gemi dizel motorunun gürültüsüne, titreşimine ve performansına olan etkileri incelenmiştir. Deneyler sonucunda; performansları yönünden, B20 yakıtına kadar düşük oranlı olan biyodizel yakıtların motor üzerinde bir değişikliğe ihtiyaç duyulmaksızın kullanılabilir olduğu gözlenmiştir. Dizel motor yükü arttıkça motor titreşiminin arttığı ayrıca yakıtların içeriğindeki biyodizel oranının artışına bağlı olarak titreşimin Euro dizel yakıtına göre daha çok olduğu gözlenmiştir. Bu duruma gerekçe olarak; biyodizelin dizel yakıtına kıyasla, setan sayısının düşük olmasına bağlı olarak tutuşma gecikmesine yol açabileceği, ayrıca yakıt tüketiminin artmasıyla yüksek yoğunluk ve viskozitesiye sahip olan yakıt enjektörlerden pulvarize şeklinde püskürtmeyi sağlayamacağından silindirin içerisinde vuruntu olayını meydana getireceği değerlendirilmektedir. Diğer taraftan, dizel motorun yük artışlarına bağlı olarak ölçülen gürültü seviyesinde de artışlar olduğu ve Euro dizel yakıtıyla biyodizel karışımlarından ölçülen gürültü değerlerinde belirgin

bir fark oluşmadığı belirtilmiştir [23].

Sugözü ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada, ayçiçeği yağından üretilmiş metil ester (B100) ve B50 yakıtlarının, farklı motor devirlerinde 4 zamanlı, tek silindir bir dizel motorunun performansına ve emisyonlarına etkileri incelenmiştir. Deney yakıtlarının CO emisyonlarını, motor momentini ve gücünü düşürdüğü, NO_x emisyonlarını ve özgül yakıt tüketimini ise artırdığı belirtilmiştir. Sırasıyla B100 ve B50 yakıtının kullanımının dizel yakıtı ile kıyaslandığında; CO emisyonlarında, B100 yakıtı ile % 25,6'lık, B50 yakıtı ile de ortalama olarak % 16,3'lük bir azalma, NO_x emisyonlarında sırasıyla % 9,5 ve % 12,6'lık bir artış olduğu, ayrıca motor gücünde de dizel yakıtına kıyasla ortalama olarak yine sıra ile % 10 ve % 5'lik azalma olduğu belirtilmiştir. B100 ile B50 yakıtlarının özgül yakıt tüketiminlerinin dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında sırası ile % 34 ve % 25,8 daha fazla olduğu belirtilmiştir [24].

Radu ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, sebze yağlarından elde edilmiş biyodizele % 50 oranında metanol karışımının ve saf dizelin motor performansına ve emisyonlarına etkileri incelenmiştir. Deney sonucunda, saf dizelin güç ve tork değerleri biyodizel-metanol karışımına göre daha yüksek olduğu ortaya çıkmıştır. Biyo-yakıtın düşük ısı değerinden ötürü yakıt tüketimi dizele göre yüksek çıkmıştır. Silindir içi basınç ve ısı yayılımı değerlerinin ise dizelde silindir içi basınçlar daha yüksek seyrederken, ısı yayılımında bir krank açısından diğerine değişen bir grafik ortaya çıkmakta ve maksimum ısı yayılımları ise yine dizel yakıtta ortaya çıkmaktadır [25].

Taghizadeh ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, dizel yakıtına % 5, % 10, % 15, % 20, % 30, % 40, % 50 oranlarında katılan biyodizelin ve % 100 biyodizelin farklı motor devirlerinde, 6 silindirli bir dizel motorun titreşimine etkileri araştırılmıştır. Titreşim ölçümleri dikey, yatay ve eksenel yönde motor bloğuna monte edilmiş olan ivme ölçerler aracılığıyla yapılmıştır. Maksimum titreşim artışı motorun 1800 dev/dak ile 2000 dev/dak aralığındaki hızlarında elde edilmiştir. % 20 ve % 40 biyodizel içerikli yakıtlar ile en düşük ortalama titreşim genlikleri elde edilirken % 15, % 30 ve % 50 biyodizel içerikli yakıtlar ile en yüksek ortalama titreşim genlikleri elde edilmiştir [26].

Koç tarafından yapılan çalışmada, biyodizel kullanımının etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Yapılan test ve analizler neticesinde, biyodizel kullanılan motorun yağ analizleri sonucu, aşınma elementlerinin bazılarının yüksek olduğu belirlenmiştir. Biyodizel yakıtının dizel yakıtına göre yağlayıcılık özelliğinden dolayı, gömlek ve

segmanlarda bulunan Cr (krom) değerlerinin yüksek olması, biyodizel içerikli yakıtların silindirlerde gömlek aşınmalarını azalttığını göstermiştir. Titreşim değerleri eşit devirler için aynı koşullarda ölçülmüştür. 1700 dev/dak'a kadar biyodizel yakıt ve standart dizel yakıtın motor titreşimlerine olan etkisi değişken olup, 1700 dev/dak ile 2500 dev/dak arasında biyodizel motor daha titreşimli çalışmıştır. Biyodizel yakıtlı motorda 1300 dev/dak'da bir pik yükseliş görülürken, 1400 dev/dak ile 2100 dev/dak arasında hızlı bir yükseliş görülmüştür. Dizel yakıtlı motorda ise devirlere göre değişen bir titreşim gözlemlenmiştir. Sonuçta biyodizel yakıt kullanan motorun, dizel motora göre daha titreşimli çalıştığı değerlendirilmiştir [27].

Özsezen ve arkadaşları 75°C'deki ham ayçiçek yağının, doğal emişli, 4 silindirli, endirekt püskürtmeli bir dizel motorun egzoz emisyonlarına ve performansına olan etkilerini incelemişlerdir. Neticede, ham ayçiçek yağının kullanılmasıyla motor momentinde standart dizel yakıtına kıyasla ortalama % 1,36 ve efektif gücünde % 1,35 düşme meydana geldiği, özgül yakıt tüketiminde ise % 4,98 artma olduğu belirtilmiştir. Ham ayçiçek yağı kullanımıyla emisyon parametreleri olarak; HC'de % 33,66- CO₂'de % 2,05 ve duman yoğunluğunda % 4,52 azalış meydana gelirken, CO'de % 1,77 artış meydana geldiği belirtilmiştir. Sonuçlar açısından; kısa süreli kullanımlarda, ısıtıldıktan sonra kullanılan ham ayçiçek yağının motorun performansına ve emisyonlarına olumsuz şekilde etkilemediği belirtilmiştir [28].

Jindal tarafından yapılan çalışmada, saf dizel yakıt ve biyodizel yakıt karışımlarının sıkıştırma oranına ve püskürtme basıncına bağlı olarak motor titreşimine olan etkileri incelenmiştir. Tüm sonuçlar ele alındığında motor parametrelerinin titreşimi ciddi derecede etkilediği açık bir şekilde görülmüş ayrıca yüksek sıkıştırma oranının ve yüksek püskürtme basınçlarının da titreşimi azalttığı tespit edilmiştir [29].

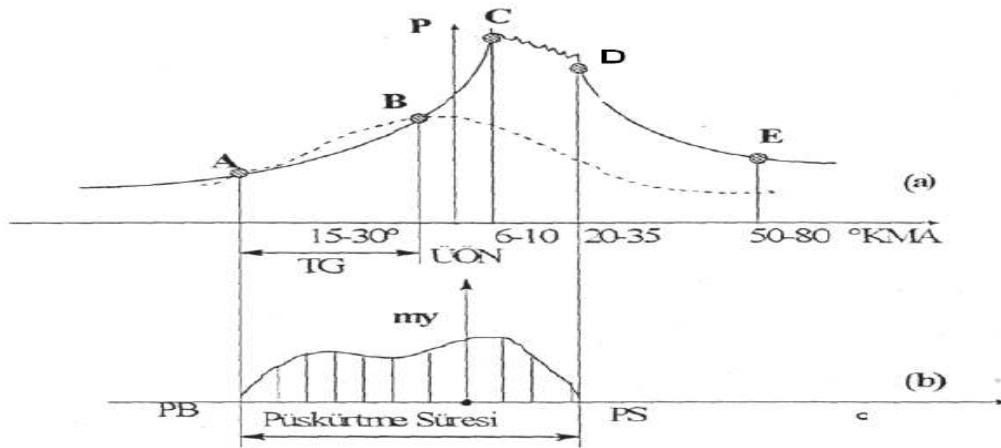
Redel-Macias ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, zeytin prina metil ester yağının direkt püskürtmeli dizel motorunun gürültüsüne ve egzoz emisyonlarına olan etkileri araştırılmıştır. Yüksek oranda zeytin prina metil esteri içeren yakıt karışımlarında CO emisyonu azalırken, NO_x oranının arttığı ve yakıt tüketiminin sabit kaldığı belirtilmiştir. Biyodizel karışımlarının hava ve gürültü kirliliğini azalttığı belirtilmiştir [30].

2. DİZEL MOTORLARINDA YANMA OLAYI

2.1. DİZEL MOTORLARDA YANMA OLAYI VE SAFHALARI

Dizel motorlarda silindirin içerisinde oluşan yüksek sıcaklık ve basınç altındaki havaya enjektörle püskürtülen yakıtın damlacıklar haline ayrılarak buharlaşması ve tutuşmasıyla yanma işlemi başlamaktadır. Sonrasında yanma olayı heterojen yanma (difüzyon alevi) şeklinde devam etmektedir [31].

Dizel motorlarında yanma ve egzoz emisyonlarının oluşumu kimyasal ve fiziksel etkileşimlerinin meydana getirdiği karmaşık bir olaydır. Kütle ve enerji iletimi esasına bağlı olarak yanmayı oluşturan fiziksel olaylar gerçekleşmektedir. Kimyasal reaksiyonların temeli yakıt ile oksidant arasındaki moleküler düzeydeki etkileşimlerdir. Bu tip motorlardaki yanma, yakıtın silindir içerisine püskürtülmesiyle başlar, devamında yanmadan sonra oluşan maddelerin dışarıya atılmasını sağlayan egzoz zamanının başlamasına kadar geçen sürede meydana gelen tüm olayları içerir. Yanma odasında homojen bir karışım oluşmamaktadır. Sıkıştırma oranı yüksek olduğundan yanma odasında yüksek sıcaklık ve basınç oluşur. Yanma odasına püskürtülen yakıtın buharlaşmasıyla birlikte reaksiyonlar da başlamaktadır. Şekil 2.1’de bir dizel motor için basınç - krank açısı diyagramı gösterilmiştir. Şekil üzerindeki PB ibaresi püskürtme başlangıcını, PS ibaresi ise püskürtme sonunu ifade etmektedir [32]-[35].



Şekil 2.1. Dizel motorda basınç – Krank açısı ve püskürtme seyri [34].

Dizel motorlarda yanma olayı dört farklı bölümde incelenmektedir. Şekil 2.1’de bu bölümler açık bir şekilde görülmektedir. Bunlar şöyledir:

- Tutuşma Gecikmesi Periyodu (A - B)
- Ani Yanma Periyodu (B - C)
- Kontrollü Yanma Periyodu (C - D)
- Art Yanma Periyodu (D - E) [32] –[34].

2.1.1. Tutuşma Gecikmesi Periyodu

Yakıtın püskürtüldüğü an ile tutuşma olayının başladığı anın arasında oluşan kısımdır. Püskürtme olayından sonra yakıtta buharlaşma oluşması için belli bir sürenin geçmesi gerekmektedir. Püskürtülen yakıt damlacıklarının çevresinde meydana gelen buhar tabakasında yanma olayı başlamaktadır. Yakıt kalitesi, basınç ve sıcaklık tutuşma gecikmesini(TG) etkileyen en önemli parametrelerdendir. Silindir içerisine püskürtülmüş olan yakıtın miktarı tutuşma gecikmesi sürecini değiştirmez. Yakıt, bu süreçte silindirler içerisine girer ve tutuşma olana kadar orada birikir [32]-[35].

2.1.2. Ani Yanma Periyodu

Tutuşma gecikmesi süresince yakıt silindir içerisine girerek buharlaşır ve devamında damlacıklar bölünerek parçacıklar halinde hava ile karışır. Yanmanın başladığı anda ise oksijen ile buluşan yakıt aniden yanmaya başlar. Bu ani yanmanın hızı silindirin içerisindeki basınç artış hızını da (dp/dt) belirler. Daha sonraki safhalarda bu değerlerden etkilendiğinden, tutuşma gecikmesinin dizel motorlarında yanma olayını yönlendiren en önemli parametre olduğu söylenebilir. O bakımdan kontrol edilmesi son derece önemlidir. Oluşan bu yüksek basınç artış hızı, motorun çalışan parçaları üzerinde aniden yükün binmesi neden olacağından dolayı motorun parçalarında tahribatlar meydana getirir. Bu olaya dizel vuruntusu adı verilir. Yanma olayının bu süreci tutuşma gecikmesi safhasına göre daha az bir sürede meydana geldiğinden yakıtın çoğunluğu tutuşma gecikmesi safhasında silindir içerisine gönderilmektedir. Bu bakımdan maksimum basınç durumunu tayin edecek olan tutuşma gecikmesi periyodur [32]-[35].

2.1.3. Kontrollü Yanma Periyodu

Tutuşma gecikmesinde püskürtülen yakıtın tamamen yanması ile birlikte kontrollü yanma periyoduna geçilmektedir. Ani yanma periyodu sonucunda silindir içerisindeki sıcaklık ve basınç oranları yüksek olduğundan püskürtülmüş olan yakıt oksijen ile temasa girince ani olarak yanmaktadır. Yanacak olan yakıt karışımının miktarıyla yanma olayı kontrol edilebilir. Bu periyodtaki yanmanın hızı yakıt hava karışımına bağlıdır. İstenen verimin yüksek olabilmesi için yanma olayının silindirin üst ölü noktasına olabildiğince yakın tamamlanması istenilen durumdur. Bu açıdan bu periyotta karışımın hızlı ve mükemmel olması istenilen durumdur [32]-[35].

2.1.4. Art Yanma Periyodu

Kontrollü yanma sonrasında silindir içinde bir miktar yakıt tam yakılamaz ve genişleme esnasında yakıtı yakacak hava girişiyle yanma devam eder. Motor veriminin yüksek olması için bu safhanın kısa olması istenilir. Çok uzun art yanma silindir yüzeylerini, silindir kapağını ve piston kafasının aşırı ısınmasına, segman yuvalarında karbon ve yapışkan artıklar oluşmasına neden olmaktadır [32]-[35].

3. DİZEL MOTORLARDA KULLANILAN YAKITLAR

3.1. DİZEL MOTORLARDA KULLANILAN YAKITLAR

İçten yanmalı motorlarda genel prensip olarak mekanik enerji oluşumunu sağlayan ısı enerjisi, silindir içerisine belirli oranlarda alınan yakıt ile hava karışımının kimyasal tepkimeleri sonucunda meydana gelir. Kullanılan yakıtın fiziksel ve kimyasal özellikleri silindir içerisinde meydana gelen yanma olayını ve sonucunda elde edilen enerjiyi direk olarak etkiler. Dizel yakıt, ham petrolün damıtılma sırasındaki 200 – 300 °C kaynama noktası aralığında alınanan üçüncü üründür. Parafin, aromatik ve naften grubu hidrokarbonlar dizel yakıtı için daha uygundur [36], [37].

Genel olarak dizel yakıtı ASTM (Amerikan Test ve Malzeme Kurumu - American Society for Testing and Materials) tarafından (ASTM D 975) No.1, No.2 ve No.4 şeklinde sınıflandırılmaktadır. Ulaştırma alanında kullanılan dizel motorlarda dizel No.2 yakıtı kullanılmaktadır. Biyodizel yakıtlarda genelde bu yakıt ile karıştırılarak kullanılır. Dizel yakıt No.2'nin genel özellikleri Çizelge 3.1'de gösterilmektedir [31].

Çizelge 3.1. Dizel yakıt no.2 özellikleri (ASTMD 975) [31].

Yakıt Özelliği	Değer
Kinematik Viskozite (mm^2/s , 40 °C de)	1,9 – 4,1
Yoğunluk (kg/m^3 , 15 °C de)	0,85
Su ve Tortu miktarı (% hacimce, mak.)	00,5
Toplam Kükürt (% kütlece, mak.)	00,5
Alevlenme Noktası (°C, min.)	52
Bulutlanma Noktası (°C)	(-15) – 5
Setan Sayısı	40-55
Kül (% kütlece)	0,01

Mümkün olabilecek en iyi düzeyde yanma olayını meydana getirebilmek için, hava ile reaksiyona (tepkimeye) girebilecek ve reaksiyonu gerçekleştirebilecek ideal yakıtların kullanılması gerekir. Yakıt özelliklerini etkileyen unsurlar aşağıda açıklanmıştır.

3.1.1. Viskozite

Viskozite, bir akışkanın sürtünme ve çekim kuvvetlerinin oluşturduğu akma eğilimine karşı gösterdiği iç direnç olarak tanımlanmaktadır. Başka bir ifade ile viskozite, sıvıların akmaya karşı gösterdiği dirençlerin ve iç sürtünmelerin bir ölçüsüdür ve dizel yakıt pompası ve enjeksiyon sisteminin performansını etkiler. Bu nedenle yakıtın viskozitesi, motorun performansını ve emisyonlarını da etkiler. Viskozite, kinematik ve dinamik olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Dinamik viskozite, 1 m uzaklıktaki iki düzlem arasındaki 1 m² alanlı sıvı tabakasını 1 m/s² hızla kaydırmak için gerekli olan Newton kuvvet olarak tanımlanır. Kinematik viskozite ise dinamik viskozitenin yoğunluğa oranı olarak tanımlanır. Ayrıca, kinematik viskozite genel olarak yakıtların viskozitelerini ifadesi etmek için kullanılır [37], [38]. Kullanılan yakıtın viskozitesi, enjektörlerden yakıt içerisine püskürtülen yakıtın taneciklere ayrılması ve homojen bir karışım oluşturmaya etki eden faktörlerdendir. Bu nedenle viskozite, silindir içerisinde meydana gelen yanmayı doğrudan ilgilendirmektedir. Kullanılan yakıtın viskozitesinin düşük olması daha iyi atomizasyon oluşmasını sağladığından dolayı yanma performansını yükseltir. Ancak viskozitenin çok düşük durumda olmasında ise, püskürtme sistemindeki farklı alanlarda kaçaklar görülebilmektedir. Viskozitenin büyük olması durumunda, yakıtın enjektörlerden püskürtülmesi zorlaşır. Özellikle soğuk havalarda yüksek viskoziteli yakıtlarda sorunlar yaşanabilmektedir. Yüksek viskozite, yanma kalitesini düşürerek yanmamış hidrokarbonların miktarını artırır. Dizel motorlarında kullanılan yakıtların, yakıt sistemini yağlama özellikleri olduğundan viskoziteleri yüksek, buna karşı enjektör deliklerinden püskürtülerek kolay parçalanmalarının sağlanması gerektiği içinse düşük olması gerekmektedir. Sıcaklık viskoziteye önemli derecede etki eden bir parametredir ve “Engler Derecesi” olarak ifade edilmektedir. Bu sebeple viskozite her zaman sıcaklıkla birlikte verilmektedir. Dizel yakıtlarının viskoziteleri 50 °C’de 1,5-5 Engler derecesi arasında olmalıdır. Viskoziteleri belirlenen Engler derecesinin üzerinde olan yakıtlar 40-100 °C’ye kadar ısıtılarak viskoziteleri düşürülür ve kullanılırlar [36]-[39].

3.1.2. Yakıtın Enerji İçeriği

Yakıtın enerji içeriği, kullanılacak olan yakıttan ne kadar enerji elde edilebileceğinin bir ölçüsüdür. Yakıtın enerji içeriği, yakıtın kalorifik değeri veya yakıtın alt ısı değeri veya yakıtın üst ısı değeri olarak ifade edilir. Çoğunlukla yakıtların enerji içeriğini göstermek için yaygın olarak kullanılan ifade alt ısı değeridir [36]-[38].

Yakıtın ısı değeri, kütlesinin veya birim hacminin verdiği enerji olarak ifade edilir ve yakıtın ısı değeri genellikle birim kütlesinin enerjisi ile verilmektedir (kJ/kg veya kcal/kg). Motorlardaki yanma sonu sıcaklıklarında su hep buhar halinde bulunacağından ısı değeri, alt ısı değeri olarak verilmelidir. Yakıtın yanması ile CO₂ ve su gibi ürünler oluşur. Alt ve üst ısı değeri arasındaki fark, yanma sonu ürünleri arasında yer alan suyun buharlaştırılması için gerekli enerjiyi yansıtır. Dizel motorlar için uygun görülen birçok alternatif yakıtın enerji içeriği farklıdır. Enerji içeriği yüksek yakıtlar genellikle daha iyi yakıt ekonomisi gösterirler [36]-[39].

3.1.3. Setan Sayısı

Dizel yakıtların en önemli özelliği olan setan sayısı, yakıtın tutuşmaya karşı eğilimi olarak tanımlanmaktadır. Diğer bir ifadeyle; sıkıştırma zamanı sonunda püskürtülen yakıtın dışardan başka bir etkiye gerek kalmadan kendiliğinden tutuşması olayıdır. Ayrıca setan sayısı, dizel motorlarda özellikle tutuşma gecikmesi üzerinde önemli bir etkiye sahip olmasından dolayı dizel motorlar için çok etkin parametrelerden biridir. Yakıt-hava karışımının kendi kendine tutuşabilme olayı için dizel yakıtlarının tutuşma eğilimlerinin yüksek olması istenir. Setan sayısının düşük olması durumunda, sıkıştırma zamanı sonunda silindir içerisindeki yanma odasında biriken yakıt miktarı artar. Aniden yanan çok miktardaki yakıt, mekanik zorlamalara neden olan yüksek basınçlar (dizel vuruntusu) oluşturur [36]-[40]. Yakıtın setan sayısı, aromatik içeriği ve yoğunluğu ile de bağlantılıdır. Yakıtın aromatik içeriği düşerken yoğunluğu da düşer ve genellikle setan sayısı artar. Yüksek setanlı dizel yakıtlar çoğunlukla, yakıtın parafin içeriğinin artırılması ile üretilir. Fakat yakıtın yüksek parafin içeriği akma ve bulutlanma noktasını olumsuz etkileyerek yakıtın jelleşmesine sebep olabilir. Yakıt jelleşmesini önlemek amacıyla, oksijence zengin katkıları yakıta eklenebilir. Yüksek setanlı yakıtlar, yakıtın tutuşma gecikme süresini azaltarak daha kolay tutuşmasını ve daha temiz yanmasını sağlar, yanma gürültüsünü azaltır ve egzoz emisyonlarını daha çok olumlu yönde etkiler. Ayrıca, dizel motorun soğuk havada ilk çalışmasını kolaylaştırmaktadır [38].

3.1.4. Bulutlanma ve Akma Noktası

Sıvıların soğutulduğunda kristalleşmesinin ilk görüldüğü en düşük sıcaklık bulutlanma noktası olarak ifade edilir. Yakıtın sıcaklığı tespit edilen bu sıcaklığın altına doğru düşmeye devam etmesi durumunda yakıt jelleşir ve akışkanlığı yavaşlayarak durur. Yakıt soğutulmaya devam edildiğinde, kristalleşme durumu olmaksızın akabildiği minimum sıcaklık akma noktası olarak ifade edilir. Özellikle düşük kükürtlü dizel yakıtların bulutlanma ve akma noktası daha yüksektir [31], [38].

Akma ya da katılaşma noktası, motorun soğuk havalarda çalıştırılması sırasında daha çok önem arz etmektedir. Standart dizel yakıtının özellikle soğuk havalarda akıcılık özelliğini kaybetmemesi gerekmektedir ve bu istenilen bir durumdur. Akma noktasının yüksek olması, yakıtın soğuk havalarda yakıt sisteminden akışını güçleştirerek motorun çalışmasını engelleyebilir. Bu durum katılaşma durumunda olarak ifade edilir ve gerekli yakıt akışı sağlanamadığından motor çalışması mümkün olmayacaktır. Akma noktasının sıcaklığı, motorun çalışmasını garanti alması için, bulunan sıcaklığının 5-10 °C altında olması gerekmektedir. Özellikle soğuk bölgelerde çalışan dizel motorlarında yakıtın akma noktasını düşürmek için yakıtın içerisine belirli oranlarda gaz yağı ve değişik kimyasal maddeler katılmaktadır [36], [37], [40].

3.1.5. Parlama ve Alevlenme Noktası

Parlama noktası, yakıtın hem alevlenme hem de uçuculuk özelliğinin bir göstergesi olduğu ifade edilebilir. Yakıtın parlama noktası, yakıtın yanması ve buharlaşma özelliği ile ilgili olduğu kadar güvenli bir şekilde depolanması ve taşınması ile de ilgilidir. Parlama noktası, yakıt bir kap içerisinde alttan ısıtılırken üstündeki yakıt buharına bir alev kaynağına maruz bırakıldığında tutuşabileceği en düşük sıcaklıktır. Başka bir ifade ile sıvı buharının parlayabilmesini sağlayacak bir atmosferin oluşturduğu en düşük sıcaklık olarak tanımlanabilir. Alevlenme noktası ise tutuşma buharının sönmeden devam edebildiği sıcaklığı olarak ve sıcaklığı parlama sıcaklığından biraz daha yüksektir. Dizel yakıtın alevlenme sıcaklığı ASTM-93'e göre 55 °C'nin altında olmamalıdır. Yüksek parlama noktasına sahip yakıtlar daha az uçucu iken, düşük parlama noktasına sahip yakıtlar daha çok uçucudur [36]-[40].

3.1.6. Uçuculuk

Sıvı yakıtların yanmadan önce buharlaşması gerekmektedir. Uçuculuk, sıvı yakıtların buharlaşabilme yeteneğini olarak ifade edilir. Yakıtın sıcaklığa bağlı olarak buharlaşma eğiliminin bir ölçüsü olan yakıtın uçuculuk özelliği soğuk havalarda motorun kolay çalışmasında önem arz etmektedir. Bu özelliğin yüksek olması durumu, yanma olayının daha verimli ve dumansız olmasını beraberinde getirmektedir. Yakıtın uçuculuk özelliği, hızlı buharlaşma ve düşük vizkoziteyi beraberinde getirmesinden dolayı dizel yakıtları için istenilen bir özelliktir. Fakat uçuculuk özelliğinin artmasına bağlı olarak setan sayısı azaldığından, dizel yakıtı için uçuculuk pek fazla istenilen bir özellik değildir [37]-[40].

3.1.7. Yoğunluk ve API Gravitesi

Yoğunluk, yakıtın birim hacminin ağırlığı olarak ifade edilir. Ayrıca, yoğunluk değeri sıcaklığa bağlıdır ve referans olarak 15 °C sıcaklıkta verilir. Yoğunluk, yanma olayına doğrudan etki etmemektedir. Fakat yoğunluk derecesi yüksek olan yakıtlar yapılarında çok miktarda karbon atomunu içerdiklerinden dolayı ısı değerleri yüksek olmaktadır. Ayrıca özgül ağırlıkları ne kadar küçük olur ise yakıtın tutuşması o kadar kolay olmaktadır. Genel olarak dizel yakıtlarının özgül ağırlıkları 0,815-0,934 gr/dm³ arasındadır. Yakıt yoğunluğu, yakıtın enerji içeriğinin bir göstergesi olarak da değerlendirilebilir. Yüksek yoğunluklu yakıt, genellikle yüksek enerji içeriğine sahiptir. Yakıtın özgül ağırlığı da yakıtın yoğunluğu ile ilişkilidir ve aynı hacimdeki yakıt ve suyun ağırlıklarının oranı şeklinde ifade edilir. Petrolün yoğunluk derecesine isim olarak verilen API gravitesi ise, Amerikan Petrol Enstitüsü'nün geliştirdiği petrol kalitesinin ölçümü olarak kullanılan bir ölçüdür ve özgül ağırlıkla ters orantılıdır. (Yani, petrol hafif ise API gravite değeri yüksektir. Petrol yoğunluğu arttıkça API gravite değerinde düşme olacaktır). Yakıt yoğunluğu, püskürtme zamanını, motor gücünü, yakıt tüketimini, yakıt-hava oranını ve is emisyonlarını etkiler. Is emisyonları üzerine olan etkisi daha fazladır. Dizel yakıtın yoğunluğunun artışı, silindire püskürtülen yakıtın kütlesini artıracığından yakıt/hava oranı zenginleşir ve is emisyonlarının artmasına sebep olur. Bunun yanında, motor çıkış gücü de yakıt yoğunluğunun artışı ile birlikte artış gösterir. Ancak, dizel motorlardaki is sınırının yakıt pompası üzerinden sınırlandırılması maksimum motor gücünü de sınırlar [36], [38], [40].

3.1.8. Kükürt miktarı ve Korozyon Etkisi

Dizel yakıtında bulunan kükürt oranı korozyon ile partikül oluşumunu artırıcı yönde etki ettiği için zararlı bir özelliktir. Özellikle düşük çalışma sıcaklıklarında motor parçaları üzerinde daha çok korozyon meydana getirmektedir. Ayrıca kükürtün sebep olduğu SO₂ emisyonları ve sülfürik asit (H₂SO₄), insan sağlığına ve doğaya zararlıdır. Bu sebeple yakıtın içeriğinde kükürt miktarının az olması istenen bir durumdur [31], [39], [40].

3.1.9. Su ve Tortu Miktarı

Yakıt içeriğinin temizlik durumunu gösteren önemli parametrelerdendir. Motorun enjeksiyon sistemleri üzerinde paslanma ve aşınmaya neden olabileceğinden dolayı yakıt içeriğinde su olması istenilmez. Yakıt içerisindeki tortu, enjeksiyon sisteminde birikerek filtrelerin tıkanmasına ve diğer motor parçalarının tahribatlarına sebep olabilir [31].

3.1.10. Yakıtın Kül İçeriği

Yakıt yandığında, yakıtın organik olmayan bileşenleri (metaller) ürün olarak kül oluştururlar. Başka bir ifade ile yakıtın kül içeriği, yanma olayından sonra yakıt içerisinde yanmamış olan materyallerin miktarlarını belirtir. Yakıt içeriğindeki kül oranı motorun hareketli parçaları üzerinde zımpara etkisi edeceğinden motorda aşınma meydana getirir ve is emisyonlarına da bir miktar etki eder. Ayrıca kül taneciklerinin boyutlarına bağlı olarak filtre ve enjektörlerde tıkanma meydana getirebilirler. Bu durumlara bağlı olarak uzun süreli motor çalışmalarında performans ve mekanik aksamlar üzerinde olumsuz etki meydana getireceği için yakıtın kül içeriğinin oldukça az oranda olması istenir [31], [38].

3.1.11. Yağlayıcılık Özelliği ve Oksidasyon Kararlılığı

Bu özellik, yakıtın yağlayıcı olarak ne ölçüde yağlama yaptığının bir göstergesidir ve dizel yakıt içerisindeki en önemli yağlayıcı bileşen kükürttür. Düşük kükürtlü veya yapısında hiç kükürt bulunmayan yakıtlarda olduğu gibi yakıtın kükürt içeriği azaltıldığında yakıtın yağlayıcılık özelliği de azalmaktadır. Yakıtın sahip olduğu yağlayıcılık özelliğini devam ettirmek veya iyileştirmek için, değişik organik bileşenlerden oluşan çeşitli katkı maddeleri kullanılmaktadır [38].

4. ALTERNATİF YAKIT ÇEŞİTLERİ VE BİTKİSEL YAĞLAR

Günümüzde yakıt olarak çoğunlukla fosil yakıtlar kullanılmaktadır. Kullanılan fosil yakıtların başında kömür, doğal gaz ve petrol bazlı yakıtlar gelmektedir. Kömür ve doğal gaz, genellikle sabit tesislerde ve konutların ısınmasında kullanılmaktadırlar. Petrol bazlı yakıtlar olan benzin ve dizel yakıtlar ise ulaşım için en önemli yakıtlardır. Gelecekte olması muhtemel petrol krizlerinden ve çevresel zararlarında etkilerinden kurtulabilmek üzere petrole bağımlılığın azalabilmesi için alternatif yakıt arayışları sürmektedir. Alternatif yakıtlar, hava kirliliğinin önlenmesi ve sınırlı sayıdaki petrol kaynağına olan arz ve talebi azaltmak için bir çözüm yolu olarak ortaya çıkmıştır.

Dizel motorlarda alternatif yakıt olarak;

- Biyodizel
- Bitkisel yağ dizel yakıtı karışımı
- Alkol dizel yakıtı karışımı
- Sıvılaştırılmış petrol gazı
- Sıkıştırılmış doğal gaz (CNG) kullanılabilir.

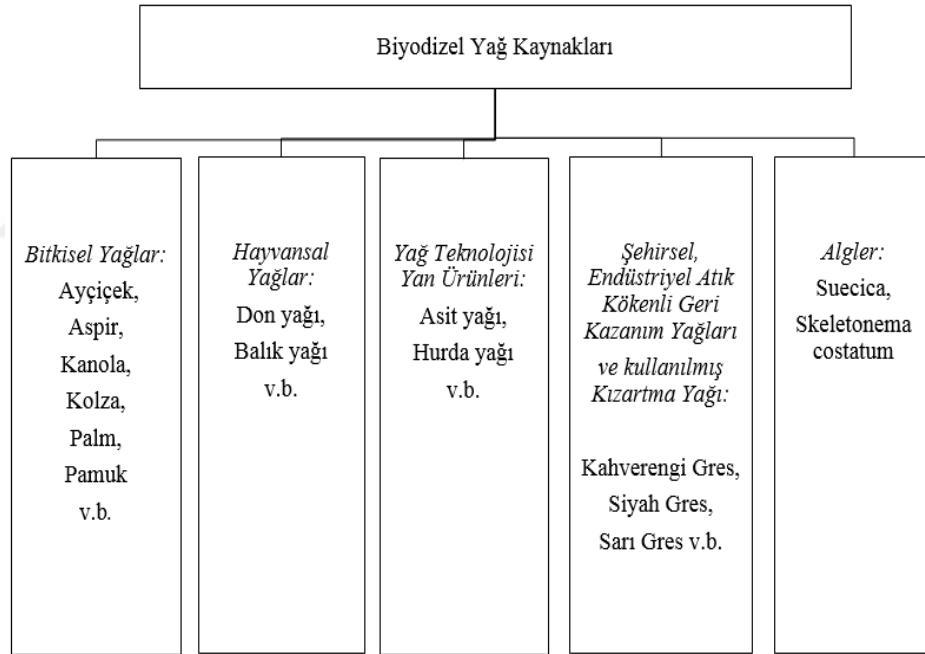
Motorda kullanılan alternatif yakıtlar araştırmacıların ilgilendikleri unsurların önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Özellikle motor tasarımlarında ciddi değişiklikler yapmadan kullanılacak alternatif yakıtların tespit edilmesi birçok araştırmacı için ilgi çeken konudur. Bu kapsamda dizel motorlarda kullanılmak üzere bitkisel veya hayvansal kaynaklı yağlar, bu yağların en genel hali ile esterifikasyon yöntemi (esterleştirme) ile biyodizel yakıtıya dönüştürülme faaliyetleri oldukça önemli bir konuma gelmiştir. Yağ kullanımının ve yüksek viskozite değerlerine sahip hacimsel yakıt karışımlarının egzoz emisyonlarında azaltıcı nitelikte etkiler sergilediği yapılan araştırmalar sayesinde ortaya çıkmıştır. Ayrıca motor performansı açısından bazı alternatif yakıt katkıları olumlu etkilere sebep olduğu görülmüştür. Ancak birçok araştırmada özellikle yakıt filtresi, yakıt pompası ve enjektörde yüksek viskozite kaynaklı tıkanma problemlerinin yaşandığı konusu üzerinde durulmaktadır.

4.1. BİYODİZEL

4.1.1. Biyodizelin Tanımı

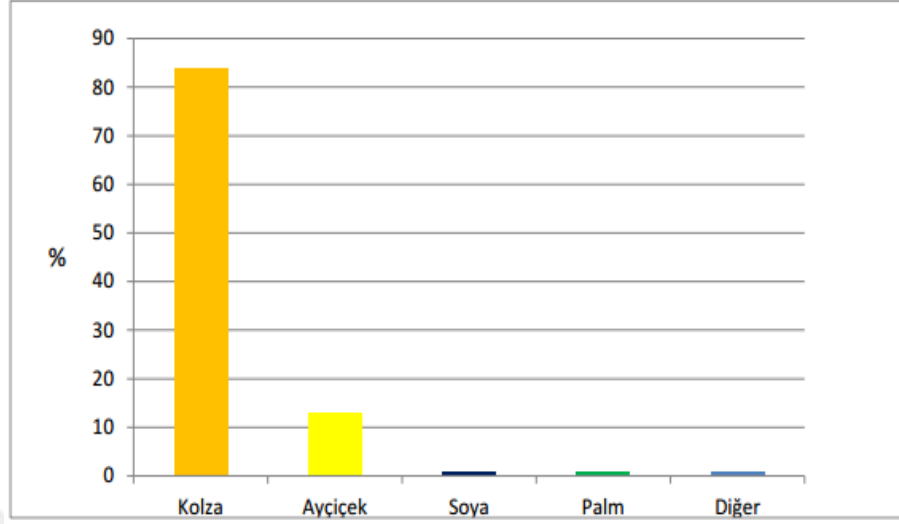
Dizel motorlar için biyokütle kökenli en etken ve önemli olan alternatif yakıt biyodizeldir. Biyodizel, yağ kaynaklarından üretilen kimyasal olarak yenilenebilen uzun zincirli yağlı asitlerin mono alkol esterleri olarak ifade edilir [15], [21]. Başka bir ifade ile Biyodizel; bitkisel (Ayçiçeği, kanola, soya, fındık, pamuk, mısır v.b bitkilerin) veya hayvansal kökenli yağların bir katalizör eşliğinde kısa zincirli bir alkol ile (metanol veya etanol) tepkimesi sonucuyla elde edilen ve alternatif olarak yakıt amacıyla kullanılan ürün olarak tanımlanır [39].

Biyodizelin yağ kaynaklarına ait örnekler Şekil 4.1’de gösterilmektedir. Biyodizel üretimi için hammadde olarak en çok kullanılan yağ kaynakları sırasıyla ayçiçek ve kanola yağıdır [6].



Şekil 4.1. Biyodizel yağ kaynakları [6].

Biyodizel üretiminde kullanılan hammadde kaynaklarının yüzdelik dilimdeki miktarına ilişkin grafik Şekil 4.2’de yer verilmiştir [41].



Şekil 4.2. Biyodizel kullanımında ham madde kaynaklarının % değerleri [41].

Biyodizel yakıtların içeriğinde petrol bulunmaz, fakat saf olarak ya da belli oranlarla petrol kökenli dizel yakıtla karıştırılmasıyla yakıt olarak kullanması sağlanabilir [42]. Biyodizel, dizel yakıtlı motorlar için herhangi bir teknik değişikliğe ihtiyaç duyulmadan veya ufak tefek değişiklikler yapılarak kullanması sağlanabilir. 1996 yılından önce üretilmiş olan bazı araçların parçalarında bulunan doğal kauçuk malzemesi biyodizelle uyumlu olarak kullanılması sağlanamamıştır. Kullanıldığında biyodizel, doğal kauçuk malzemesinden yapılan hortum ve contalarda tahribatlar meydana getirmiştir. Bu tahribatlar B20 (% 20 biyodizel - % 80 dizel) yakıtı ve bu yakıtan da daha düşük oranda olan biyodizel/dizel yakıt karışımlarında görülmemiştir. Ancak bu durumla birlikte, biyodizelin sahip olduğu çözücü özelliği nedeni ile dizel yakıtının depolanmasından kaynaklanan yakıt deposunun duvar ve borularındaki tortuları/kalıntıları çözeceğinden filtrelerin tıkanmasını önlemek için tedbirler alınması gerekmektedir [43].

4.1.2. Biyodizelin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Çizelge 4.1’de biyodizel ve dizelin yakıt özellikleri verilmiştir. Yakıt özellikleri arasında alevlenme noktası değerleri incelendiğinde, biyodizel parlama noktasının, dizel yakıtından daha yüksek (>110 °C) olduğu görülür. Biyodizel için bu özellik depolanma, taşınma ve kullanımda güvenli yakıt olmasını sağlamaktadır. Biyodizel,

dizel yakıtıyla her oranda karıştırılarak kullanılabilir ve dizel yakıtın kalitesi artırır. Yanma olayı sonucunda meydana gelen ve doğaya zarar veren emisyon gazlarının yayılmalarını azaltır ve motor parçaları üzerindeki yağlanmayı artırır. Motor gücünün azalmasına sebep olan birikintiler çözer. Biyodizel dizel yakıtı göre daha üstün yağlayıcılık özelliğine sahip olması, pompa ve enjektör sistemlerindeki yağlanma olayını daha iyi hale getirerek motorda meydana gelen aşınmaları ve yıpranmaları azaltır. Biyodizel sahip olduğu setan sayısının dizel yakıtının sahip olduğu setan sayısından yüksek olması nedeniyle tutuşma gecikmesini daha da kısaltarak silindir içerisinde oluşacak olan maksimum basınç artış oranını düşürür ve bu duruma bağlı olarak motor daha az vuruntulu çalışmasını sağlamaktadır. Ayrıca, biyodizelin ağırlığının yaklaşık % 11'ini oksijen oluşturmaktadır. Bu değer biyodizeli yüksek yanma özelliklerine sahip haline getirmektedir [36], [39], [42].

Çizelge 4.1. Biyodizel ve dizel yakıtların özellikleri [39].

Yakıt özelliği	Dizel	Biyodizel
Yakıt standardı	ASTM D 975	ASTM D 975
Yakıt bileşimi	C ₁₀ – C ₂₁ HC	C ₁₂ – C ₂₂ FAME
Alt ısı değeri (MJ/l)	36,6	32,6
Kinematik viskozite (40 °C'de)	1,3 – 1,4	1,9 – 6,0
Özgül ağırlık (15 °C'de)	0,85	0,88
Su (ppm)	161	Max % 0,05
Karbon (ağırlığının %'si)	87	77
Hidrojen (ağırlığının %'si)	13	12
Oksijen (ağırlığının %'si)	0	11
Kükürt (ağırlığının %'si) max.	0,005	0,0 – 0,0024
Kaynama noktası (°C)	188 - 343	182 - 338
Parlama noktası (°C)	60 – 80	100 - 170
Bulutlanma noktası (°C)	(-15) – (+15)	(-3) – (+12)
Akma noktası (°C)	(-35) – (-15)	(-15) – (+10)
Setan sayısı	40 – 55	48 - 65
Hava / Yakıt oranı	15	13

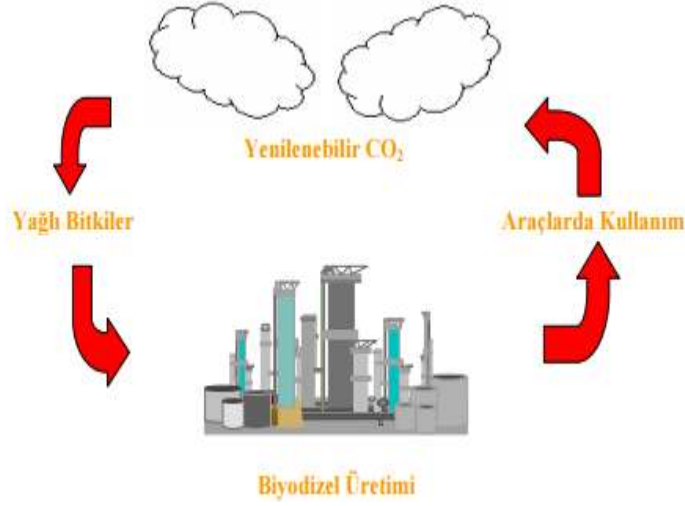
4.1.3. Biyodizel Kullanımının Çevresel Etkileri

Biyodizel yakıt, motordaki yanma verimini ve egzoz emisyonlarının oluşmasını artırıcı yönde tetikleyen aromatik hidrokarbonlar, metaller, ham petrol artıklar ve kükürt yapısında bulundurmaz. Bu özellikler kullanılan yakıtlardan kaynaklanan çevresel kirliliğin önlenmesi yönünden biyodizeli ideal yakıt olmasını sağlamaktadır [44]. Yanma

olayı sonucu oluşan ve sera gazları içerisinde önemli bir yere sahip olan CO₂, dünyada en etken doğa sorunu olarak bilenen küresel ısınma olayına yol açar. Aynı şekilde yanma sonucunda oluşan ve sera gazlarının içerisinde bulunan NO_x, CO, SO_x gazları da insan sağlığı açısından zarar ihtiva etmektedir. Biyodizel, kullanımı normal dizel yakıta göre yaşam döngüsünde karbondioksit emisyonlarını yaklaşık olarak % 80 oranında azaltmaktadır. Yakıt olarak biyodizel kullanıldığında diğer yakıtlarda olduğu gibi CO₂ gazı çevreye salınmaktadır. Ancak biyodizelin elde edilmesi için kullanılan tarımsal bitkiler, biyolojik olarak karbon döngüsü içerisinde fotosentez yoluyla çevredeki CO₂'yi kullandıktan sonra tekrardan karbon döngüsüne katması nedeni ile biyodizel kökenli yakıtlar sera etkisini arttıracak düzeyde etkilemez. Şekil 4.3'te biyodizel döngüsü ve Şekil 4.4'te biyodizel ile CO₂ arasındaki ilişkisi şematik olarak gösterilmektedir. Diğer taraftan biyodizelin yakılmasıyla atmosfere salınan CO, SO_x, toz ve yanmamış hidrokarbonlar daha az seviyededir. CO değeride dizel yakıtının yanması sonucuyla meydana gelen CO'den % 50 oranda daha düşük seviyededir. Ozon tabakası üzerinde olumsuz yöndeki etkilerin, biyodizelin kullanımıyla dizel yakıtına kıyasla % 50 daha az olduğundan bahsedilebilir. Ayrıca % 100 (saf) biyodizel yakıtın ağırlığının % 11 oranında oksijen içermesi, yakıtın tam olarak yanmasını sağladığından yanmamış emisyon oranını azaltır [9], [36], [44].



Şekil 4.3. Biyodizel döngüsü [36].



Şekil 4.4. Biyodizel ile CO₂ arasındaki ilişki [45].

Biyodizelin yakılması ile meydana gelen NO_x miktarı dizel yakıtı göre genel olarak % 13 oranına kadar arttığı bilinmektedir. Biyodizel yakıtın kullanılacak olan motora uygunluğuna bağlı olarak emisyon miktarları değişme göstermektedir. NO_x emisyonunun artmasının nedeni hala araştırılan bir konudur fakat biyodizel yakıtının özelliklerine bağlı olarak yakıt püskürtme avans ayarları değiştirilerek NO_x emisyonlarında azalma olduğu bilinmektedir. Biyodizel yapısında kükürt içermediğinden asit yağmuru oluşmasına da sebep olan kükürt dioksitler (SO_x) yok denecek kadar azdır. Ayrıca biyodizelde oluşan emisyonlarda, kansere sebep olan polisiklik aromatik hidrokarbon (PAH) ve kendisinin türevlerinden oluşan emisyonlarında % 80-90 oranlarında azalmalar olduğu gözlenmiştir. Biyodizel doğada % 99,6 oranında biyolojik olarak parçalalara ayrılabilir. Biyodizel sahip olduğu özelliği ile suda yaşayan canlılara yönelik bir toksik etkisi bulunmamaktadır. Ayrıca suya bırakılan biyodizelin 28 günlük bir sürecin sonunda % 95'i çözülürken, dizel yakıtta bu oran % 40'lara kadar düştüğü bilinmektedir. Bu nedenle, özellikle ABD ülkesinin birçok eyaletinde, göller ve nehirlerde ulaşım amaçlı kullanılan araçlarda saf biyodizel kullanımını zorunlu hale getirmiştir. Bir litre ham petrol, kullanılan içme suyunun bir milyon litresinin kirlenmesine sebep olabilmektedir [36], [39], [42].

B100 (Saf biyodizel) ve B20 (hacimsel olarak % 20 oranında biyodizel) kullanılmasıyla oluşabilecek egzoz emisyon değerlerinin standart dizel yakıtıyla karşılaştırmalı değerleri Çizelge 4.2'de gösterilmiştir [41].

Çizelge 4.2. B100 ve B20'nin dizele göre emisyon değerlerinin azalma oranları [41].

Özellikler	B100	B20
Yanmamış Hidrokarbonlar	-% 93	-% 30
Karbonmonoksit (CO)	-% 50	-% 20
Nitratlı maddeler (nPAH)	-% 90	-% 50
Hidrokarbonların ozon tabakasına etkisi	-% 50	-% 10
Sülfatlar	-% 100	-% 20
Polisiklik aromatikler hidrokarbonlar (PAH)	-% 80	-% 13
Azot oksitler (NO _x)	-% 13	+% 2
Partükül madde	% 0	-% 22

Biyodizelin standart dizele göre en önemli dezavantajı, % 10 oranında daha az enerji içeriğine sahip olmasıdır. Biyodizelin standart dizel yakıtı göre ısı değeri düşük olması yakıt sarfiyat artışına sebep olur. Bu durumların yanında biyodizelin akma ve bulutlanma noktası ile nitrojen oksit emisyonları da dizel yakıtı kıyasla yüksektir. Biyodizelin dizel yakıtı göre nispeten daha yüksek viskoziteye ve düşük uçuculuk özelliği sebebiyle enjektörlere daha yüksek basınç ihtiyacı gerekmektedir. Bu durumların enjektörler sistemlerinin tıkanmaları, karbon birikintisinin oluşması, yağlama yağında bozulma olması, enjeksiyon aşamasında atomizasyon yapısının bozulması ve böylece yanma olayının kötü olması da dezavantajlardandır [21], [44]. Ayrıca, biyodizelin sahip olduğu soğuk akış özelliği dizel yakıtına kıyasla daha kötüdür. Biyodizelin diğer bir dezavantajı da oksitlenmeye karşı eğilimi olmasıdır. Bu dezavantaj özelliği, genellikle yüksek sıcaklık değerlerinde hava ile buluşan biyodizelin hızlı şekilde oksitlenmeye başlamasını sağlamaktadır [41], [44], [46].

4.1.4. Biyodizel Standartları

Standartlara uygun biyodizel üretimi sayesinde en ideal yakıt elde edilmiş olacaktır. Yapılan araştırmalarla beraber bu standartlar iyileştirilebilmektedir. Bazı ülkelere göre biyodizel için geliştirilmiş standartları ile ilgili bazı parametreler Çizelge 4.3'te verilmiştir. EN 590, EN 14214 ve EN 14213 Avrupa Birliği ile DIN 51606 Alman ve ASTM D 6751 Amerikan Standartları yürürlüktedir. Ülkemizde ise Avrupa Birliği Standartları (EN standartları) baz alınarak hazırlanılmıştır. Ülkemizde yakıt biyodizeli için TS EN 14213, oto biyodizeli için TS EN 14214 standartları yürürlüktedir ve bu değerler Çizelge 4.4'te verilmiştir. TS EN 14214 standartına göre biyodizel TS 3082

(EN 590) standardına göre hacminin en fazla % 5 oranıyla motorinle harmanlama bileşeni olacak şekilde kullanılabilir [15], [20].

Çizelge 4.3. Çeşitli ülkelerdeki biyodizel standartları ile ilgili bazı parametler [36].

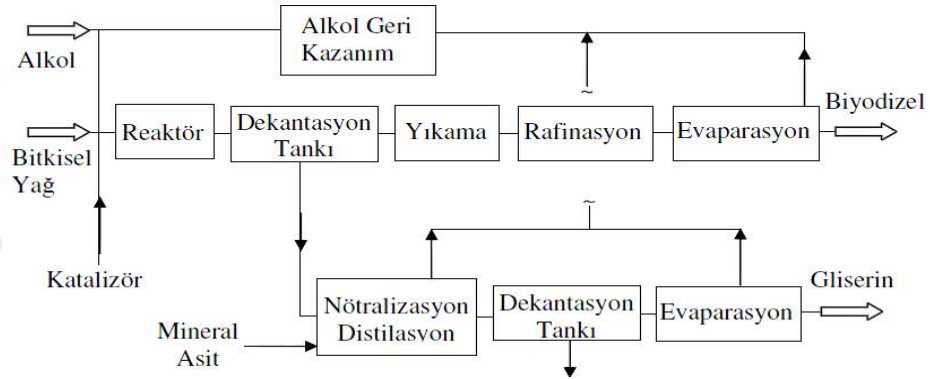
Özellikler	Avrupa	Fransa	Almanya	İtalya	İsveç	ABD
Standart	EN 14214	Journal Official	DIN V 51606	UNI 10635	SS 155436	ASTM D-6751
Tarih	2003	1997	1997	1996	1996	2002
Uygulama	YAME1	BYME2	YAME	BYME	BYME	YAMAE3
Yoğunluk, 15 °C, g/cm ³	0,86-0,90	0,87-0,90	0,875-0,90	0,86-0,90	0,87-0,90	-
Viskozite, 40 °C, mm ² /s	3,5-5	3,5-5	3,5-5	3,5-5	3,5-5	1,9-6
Alevlenme Noktası, °C	≥120	≥100	≥110	≥100	≥100	≥130
Soğukta Filt. Tıkanma Nok, °C	Özellik	-	0/-10/-20	-	-5	-
Akma Noktası, °C	-	≤-10	-	≤0 ≤-15	-	-
Setan Sayısı	≥ 51	≥ 49	≥ 49	-	≥ 48	≥ 47
Nötr.Say., mg KOH/g	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,6	≤ 0,8
Iyod Sayısı	≤120	≤115	≤115	-	≤125	-
Su, mg/kg	≤500	≤200	≤300	≤700	≤300	≤0,05 %
Fosfor, mg/kg	≤10	≤10	≤10	≤10	≤10	<0,001 %
Kükürt, Ağırlık %'si	≤10	-	≤0,01	≤0,01	≤0,001	≤0,050
Metanol, Ağırlık %'si	≤0,2	≤0,1	≤0,3	≤0,2	≤0,2	-
Monogliseritler, Ağırlık %'si	≤0,8	≤0,8	≤0,8	≤0,8	≤0,8	-
Digliseritler, Ağırlık %'si	≤0,2	≤0,2	≤0,4	≤0,2	≤0,1	-
Trigliserit, Ağırlık %'si	≤0,2	≤0,2	≤0,4	≤0,1	≤0,1	-
Toplam Gliserin, Ağırlık %'si	≤0,25	≤0,25	≤0,25	-	-	≤0,240
Ester, Ağırlık %'si	≥96,5	≥96,5	-	≥98	≥98	-
Gp I Metaller (Na, K), mg/kg	≤5	-	-	-	-	-
Oksidasyon Karar., h, 110 °C	Min.6 sa.	-	-	-	-	-

Çizelge 4.4. Biyodizel Türk Standartları [6].

Özellikler	TS EN 14213 Yakıt Biyodizel	TS EN 14214 Oto Biyodizel
Yoğunluk, 15 °C, kg/m ³	860 – 900	860 - 900
Kinematik viskozite, 40 °C, cSt	3,5 – 5,0	3,5 – 5,0
Alevlenme noktası, °C, en az	120	120
Soğukta filtre tıkanma noktası, °C	0	-10; 0 -10; -20
Akma noktası, °C, en çok	0	-
Karbon bakiye, ağırlık %'si, en çok	0,3	0,3
Bakır korozyon testi, en az	No:1	No:1
Oksidasyon stabilitesi, 110 °C, saat, en az	4	6
Setan sayısı, en az	-	51
Asit indisi, mg KOH/g, en çok	0,5	0,5
İyod indisi, en çok	130	120
Ester içeriği, ağırlık %'si, en az	96,5	96,5
Kükürt içeriği, mg/kg, en çok	10	10
Su içeriği, mg/kg, en çok	500	500
Sülfate kül içeriği, ağırlık %'si, en çok	0,02	0,02
Toplam Gliserin içeriği, ağırlık %'si, en çok	-	0,25
Fosfor içeriği, mg/kg, en çok	-	10
Metanol içeriği, mg/kg, en çok	-	0,2
Trigliserid içeriği, ağırlık %'si, en çok	0,02	0,2
Digliserid içeriği, ağırlık %'si, en çok	0,2	0,2
Monogliserid içeriği, ağırlık %'si, en çok	0,8	0,8
Grup I metaller (Na+K), mg/kg, en çok	-	5
Grup II metaller (Ca+Mg), mg/kg, en çok	-	5
Linolenik asit metil esteri miktarı, ağırlık %'si, en çok	-	12
Poli doymamış metil esteri miktarı, ağırlık %'si, en çok	1	1
Net yanma ısısı, hesaplanmış, MJ/kg, en az	35	-

5. BİTKİSEL YAĞLARDAN BİYODİZEL ÜRETİMİ

Biyodizel üretiminde bitkisel yağ olarak daha çok ayçiçek, kolza (kanola), soya ve atık kızartma yağları, alkol maddesi olarak metanol, katalizör maddesi olarak alkali katalizörler (potasyum veya sodyum hidroksit) kullanılmaktadır. Şekil 5.1’de biyodizel üretimi şematik olarak görülmektedir. Üretiminde teknojik olarak çok zorluk bulunmamaktadır. Ancak, üretim esnasındaki dikkat edilmesi gereken ve önem arz eden noktası elde edilen biyodizelin sahip olduğu saflık derecesidir. Bu sebeple rafinasyon işleminin önem kazandığı ve biyodizelin % 99 değerinin üzerinde saf üretilmesi gerektiği belirtilmektedir [39].



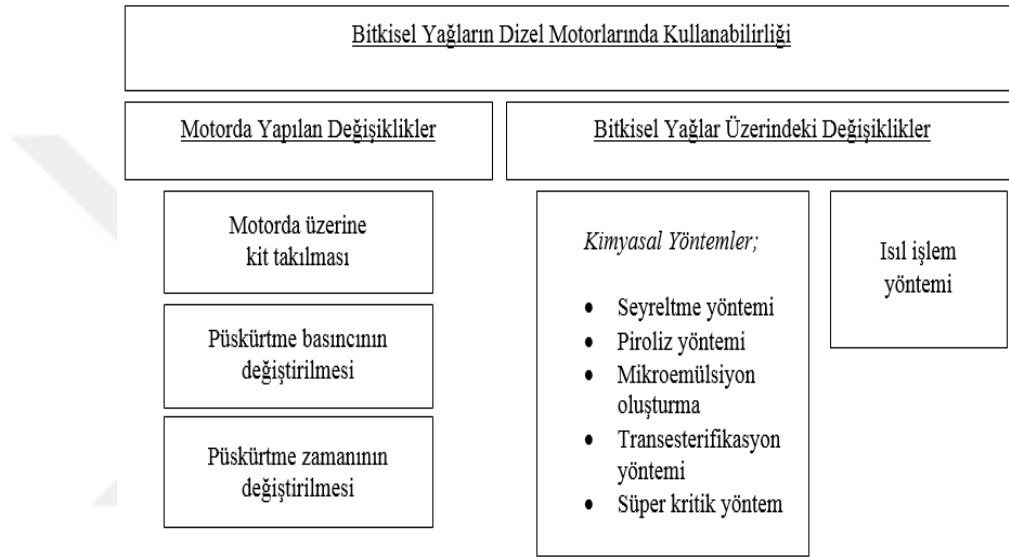
Şekil 5.1. Biyodizelin üretim şeması [39].

5.1. BİTKİSEL YAĞLARIN YAKIT ÖZELLİKLERİ

Bitkisel yağların, yoğunluk ve viskoziteleri dizele kıyasla yüksek, uçuculuk özelliği ve ısı değerleri ise düşüktür. Bu sebepler dikkate alındığında dizel motorlarında alternatif yakıt olarak kullanılacak bitkisel yağların kullanımı; enjektör sisteminde tıkanıklığa, yakıt atomizasyon yapısının bozulmasına, yağlama yağının bozulmasına, akış sorunlarına, yanma olayının kötüleşmesine ve motor performansının düşmesine neden olmaktadır [47].

Bu sorunları gidermek için, kullanılacak olan bitkisel yağların sahip oldukları yakıt özelliklerinin daha da iyileştirilmesi veya motor ayarlarında değişikliğe gidilmesi yönünde çalışmalar yapılmaktadır. Bitkisel yağların yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi

alanında yapılan çalışmaların çoğunluğu, bitkisel yağların sahip oldukları yüksek viskozitelerin azaltılması yönündedir. Bitkisel yağların viskozitesinin azaltılmasında, ısıl yöntem ve kimyasal yöntem ağırlıklı olarak kullanılmaktadır. Kimyasal yöntemlerde; seyreltme, proliz, mikroemülsiyon, transesterifikasyon (yeniden esterleme) ve süper kritik yöntemleri kullanılmaktadır. Şekil 5.2’de bitkisel yağların dizel motorlarda yakıt olarak kullanılabilmesi için uygulanan yöntemler şematik olarak gösterilmektedir. Transesterifikasyon (Esterleştirme) bu yöntemler arasında genellikle tercih edilen ve yaygın olarak kullanılan yöntemdir [9], [39], [48].



Şekil 5.2. Bitkisel yağların dizel motorlarda kullanılabilme yöntemleri [48].

5.1.1. Isıl Yöntem

Bu yöntem ile bitkisel yağların yakıt olarak kullanılabilmesi için ön ısıtma uygulanmasıyla sıcaklık derecelerinin yükseltilerek sahip oldukları viskozitelerinin azaltılması hedeflenmektedir. Fakat bu yöntem hareket halindeki aracın motorunda uygulanması sırasında problemler oluşmaktadır [44].

5.1.2. Kimyasal Yöntemler

5.1.2.1. Seyreltme Yöntemi

Seyreltme yöntemi, bitkisel yağların sahip olduğu yüksek viskozite değerini düşürmek amacıyla belirli oranlarda dizel yakıt veya organik bileşikler ile karıştırılarak inceltilmesi işlemidir. Ayrıca bu yöntemle elde edilen yakıtlarda dizel yakıt kullanımı azaltılmış olmakla birlikte, yakıt maliyeti standart dizel yakıtlara göre düşük olduğu ve

performans değerlerinin standart dizele yakın değerlerde olduğu tespit edilmiştir. Bu yöntemde en çok tercih edilen bitkisel yağlar olarak; ayçiçek, kanola, soya, aspir, yer fıstığı ve atık bitkisel yağları örnek olarak gsterelebilir [34], [37], [44].

5.1.2.2. Proliz Yöntemi

Piroliz, bir maddenin başka bir maddeye ısı veya asit katalizör ile ısı vasıtasıyla dönüşmesi işlemi olarak ifade edilir. Piroliz yönteminde, yağ molekülleri ısıtılarak (yüksek sıcaklıklarda) içerisindeki hava veya oksijen alınır ve kimyasal yapıları bozularak küçük moleküllü yapıları dönüştürülür. Bu sayede yağların viskoziteleri düşürülmüş olur. Piroliz kimyası, reaksiyon esnasında değişik reaksiyon yönleri ve çeşitli reaksiyon ürünleri açığa çıkabileceği için güçtür. Ayrıca da pahalı bir yöntemdir ve bu sebeplerden dolayı çok tercih edilen bir yöntem değildir. Tüm bunlara ek olarak, elde edilen ürün petrol türevli benzin ve dizel yakıtlarına kimyasal olarak benzer olduğu için piroliz işlemi esnasında içerisinden oksijenin alınmış olması oksijen içeren yakıtların çevreye sağlamış olduğu faydaları da ortadan kaldırmış olur [37], [44].

5.1.2.3. Mikroemülsiyon Yöntemi

Bitkisel yağların viskozite değerinin düşürülmesi için kısa zincirli etanol veya metanol gibi alkollerle karıştırılarak mikroemülsiyon oluşturulmaktadır. Mikroemülsiyon, normal şartlarda birbiriyle karışmayan iki sıvı ile bir veya daha fazla amfifilin bir araya gelmesi ile oluşmaktadır. Bu yöntem sayesinde petrolden bütünüyle bağımsız alternatif dizel yakıtları elde etmek mümkün olabilmektedir. Bu yöntemde, kullanılan alkollerin yapılarındaki setan sayısının düşük olması, emülsiyonun setan sayısını da düşürmektedir. Ayrıca, düşük sıcaklık değerlerinde karışımın ayrışma eğilimine sahip olması ve karışımın alkol içeriğine bağlı olarak ısıl değerinin standart dizel yakıtına göre düşük olması, güçte bir miktar düşmeye neden olmaktadır. Bu zellikleri nedeniyle de tercih edilmeyen bir yöntemdir [21], [34], [44].

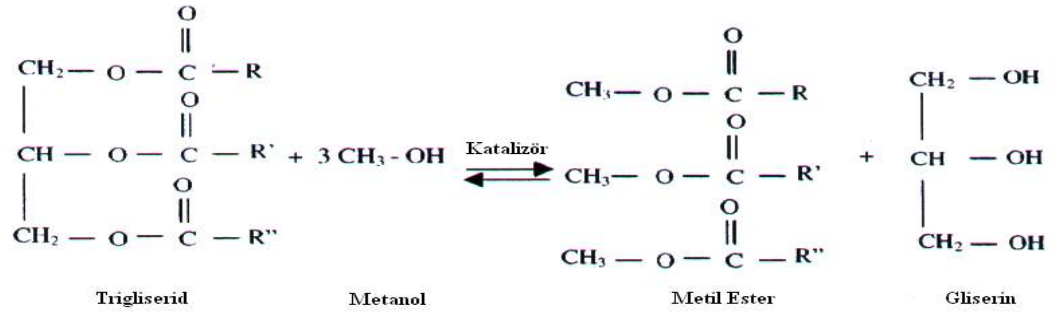
5.1.2.4. Transesterifikasyon (Yeniden Esterleme) Yöntemi

Bitkisel ve hayvansal yağların özelliklerinin iyileştirilerek dizel motorlarda alternatif yakıt uygulanmasında yaygın olarak kullanılan kimyasal yöntem transesterifikasyon ya da diğer bir adıyla alkoliz reaksiyonudur. Bitkisel yağlardan transesterifikasyon yöntemi sonucunda ürün olarak biyodizel üretilmektedir. Transesterifikasyon reaksiyonunda hammadde olarak kullanılacak yağ, monohidrik bir alkolle (etanol, metanol), katalizör (asidik, bazik katalizörler ile enzimler) varlığında ana ürünler olarak yağ asidi esterleri

ve gliserin vererek esterleşmektedir. Başka bir ifade ile Transesterifikasyon yöntemi; bitkisel yağların, katalizör aracılığıyla alkolle tepkimesi sağlanarak yeniden esterleştirilmesi işlemidir. Ayrıca bu yöntem viskoziteyi azaltma işleminde en önemli ve etkili yöntemdir [21], [34], [39].

Transesterifikasyon reaksiyonu, katalitik ve katalitik olmayan iki ana yöntemden meydana gelmektedir. Tepkimenin başlaması için bir katalizör kullanılması gerekir ve kullanılacak olan bu katalizör katı veya sıvı yağda zor çözülebildiği için çok önemli bir faktördür. Ayrıca kullanılan katalizör alkolün çözünürlüğünü arttırmakla beraber reaksiyon hızında da artış meydana getirmektedir. Katalitik transesterifikasyon yöntemi yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Ayrıca biyodizelin üretimi sırasında en çok kullanılan katalizörler ise sodyum hidroksit (NaOH) ya da potasyum hidroksittir (KOH)'tir [44], [46]. Bunun yanı sıra, asit katalizör de (sülfürik asit ve hidroklorik asit) kullanmak mümkündür. Ancak asit katalizörleri alkali katalizörlere kıyasla transesterifikasyon yönteminde daha yavaştır ve daha çok alkol gerektirir [46].

Transesterifikasyon çeşitli ardışık ve tersine çevrilebilir reaksiyonlardan oluşmaktadır. Bir bitkisel yağ molekülünün % 20'si gliserindir ve yapısı gliserin molekülüne bağlanmış üç esterden meydana gelmektedir. Bitkisel yağ molekülleri trigliserit ya da gliserol esterleri olarak ifade edilmektedir. Bitkisel yağın içeriğindeki bu gliserin, yağı kalınlaşmasını ve yapışkan hale gelmesini sağlayan bir yapıdadır. Bu sebeple transesterifikasyon işlemi sırasında, gliserinin bitkisel yağdan uzaklaştırılarak, yağın incilmesi ve özelliklerinin dizel yakıtına yakın hale getirilmesi sağlanmaktadır. Bu tepkimeler sonucunda trigliseridler sırasıyla; digliseritlere, monogliseride ve en sonunda da dibe çökmüş olan gliserole (gliserine) ve biyodizel ürününe dönüşmüş olmaktadır. Önemli bir yan ürün yan ürün olarak elde edilen gliserin, ısınmada veya kozmetik alanında hammadde olarak kullanılmaktadır. Şekil 5.3'te bitkisel yağın transesterifikasyonu görülmektedir [34]-[39], [44]. Stokiyometrik bir transesterifikasyon tepkimesinin gerçekleşmesi için alkol ve yağın mol oranının 3:1 olması gerekmektedir. Reaksiyonun sonucunda 3 mol yağ asidi esterleri (biyodizel) ve 1 mol gliserin elde edilir [21]. Rafine edilmiş olan yemek yağlarından biyodizel üretimi için kullanılacak olan katalizörün miktarı 1 litre yağ için 3,5 g'dır [31].



Şekil 5.3. Bitkisel yağın transesterifikasyonu [34].

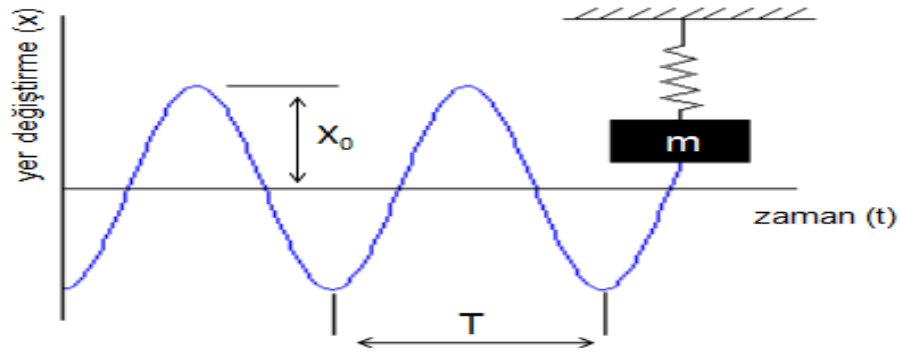
Alkol, transesterifikasyon reaksiyonu sırasında bitkisel yağda bulunan gliserinle yer değiştirir. Alkol olarak etanol, metanol, butanol ve propanol alkoller kullanılabilir. Biyodizel üretiminde metil alkol(metanol), uygun fiyatı, içerdiği fiziksel ve kimyasal avantaj özelliği ile daha sık kullanılır [21], [37].

Metil ester, metanol kullanılarak, etil ester ise etanol kullanılarak bitkisel yağlardan üretilen biyodizelleri ifade etmektedirler. Herhangi bir çeşit alkol ile bitkisel yağ esterlerinin birleşimi alkali ester olarak adlandırılır. Etil Ester üretmek için, % 30 oranında etil alkolün, metil esteri üretmek için ise, % 20 oranında metil alkolün, bitkisel yağların içerisine ilave edilmesi gerekmektedir [34], [37].

6. TİTREŞİM VE GÜRÜLTÜ HAKKINDA GENEL BİLGİLER

Titreşim ve gürültü birbirinden bağımsız iki ayrı sorun gibi algılanmasına rağmen, biri diğerini tetiklediğinden dolayı birbirleri ile yakından bağlantılıdır. Gürültünün en temel kaynağını titreşim oluşturmaktadır. Meydana gelen titreşim miktarının azaltılmasıyla oluşabilecek gürültü miktarını yaklaşık olarak iki kat azaltması sağlanmaktadır [5].

Bir kütle yay sisteminde, dış bir (F) kuvvete karşı nasıl tepki verdiğinin anlaşılması ve titreşimin ölçülüp analiz edilmesi ile birçok problem belirlenebilir ve çözümlenebilir. Titreşim olayı, belirli zaman dilimlerinde, bir kütlenin belirli bir mesafe arasında yaptığı salınım (gidip-gelme) hareketi olarak ifade edilebilir. En basit titreşim türü harmonik titreşim; bir denge durumundan eşit mesafede bulunan belirlenmiş olan iki yer arasında eşit süre dilimlerinde periyodik olarak tekrarlanarak devam eden hareket olarak ifade edilir. Şekil 6.1’de harmonik titreşim ve parametreleri gösterilmektedir. Meydana gelen titreşim hareketinde titreşimi belirleyen başlıca parametreler, frekans (f), periyot (T), faz(ϕ), zaman (t), açısal frekans (ω) ve yer değiştirme genliği (X) dir [49], [50].



Şekil 6.1. Basit harmonik hareket [49].

6.1. PERİYOT (T)

Titreşimi oluşturan hareketin tam bir tekrarının ne kadar zaman içerisinde meydana geldiğinin ölçüsüdür. Başka bir ifade ile titreşimin tekrarlanma süresine veya hareketinin kendini tekrar ettiği zaman aralığına Periyot denir ve T ile gösterilir. Birimi saniye (s)’dir [49], [50].

6.2. FREKANS (F)

Titreşim hareketinin birim zamanda tekrarlanan hareket sayısına frekans denir. Frekans iki farklı şekilde ifade edilebilmektedir.

- Bir saniyede titreşim hareketinin tekrarlanma miktarıdır ve birimi ise Hertz ($\text{Hz}=1/\text{s}$)'dir.
- Bir dakika zaman içerisinde titreşim hareketinde oluşan tekrarlanması miktarıdır ve RPM (Revolution Per Minute) birimi ile ifade edilir. $\text{RPM}/60 = \text{Hz}$ olarak dönüşümü yapılır.

Periyot ile frekans birbirlerinin tersi olan terimlerdir ve aralarında $f=1/T$ veya $T=1/f$ bağlantısı mevcuttur [49], [50].

6.3. AÇISAL FREKANS (Ω)

Dönen bir kütlenin birim sürede aldığı yolun (süpürdüğü açının) radyan cinsinden değeri olarak ifade edilir. Birimi radyan/saniye (rad/s)'dir. Açısal frekans ile frekans ve periyot arasındaki bağıntı;

$$\omega = 2\pi f = 2\pi/T \quad (6.1)$$

Şeklinde ifade edilmektedir [49], [50].

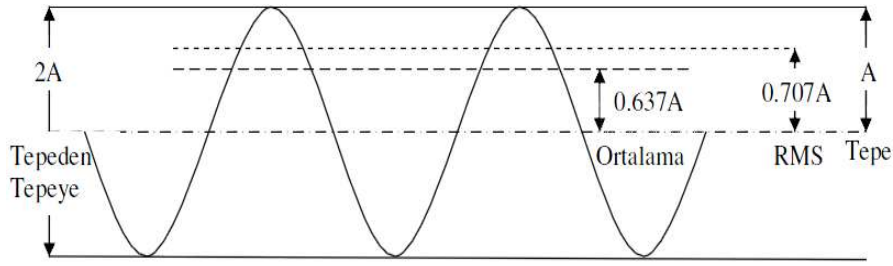
6.4. FAZ ($\emptyset$)

Referans olarak alınan bir noktadan iki hareketten birinin diğerinin hareketine göre ne kadar önce veya ne kadar sonra oluştuğunun ibaresidir. Derece ($0-360^\circ$) veya radyan ($0-2\pi$) cinsinden birimlendirilir [49], [50].

6.5. GENLİK (X)

Genlik, titreşimin şiddetinin göstergesi olarak ifade edilir. Başka bir ifade ile eğrinin üzerinde bulunan sıfır ile tepe noktaları arasındaki veya maksimum ve minimum tepeler arasındaki mesafedir. Genlik değerleri; Tepeden-Tepeye (Peak-To-Peak), Sıfırdan-Tepeye (Zero-To-Peak), Ortalama (Average) ve RMS (Root Mean Square ya da karelerin ortalamasının karekökü) olmak üzere 4 şekilde adlandırılmışlardır ve grafikleri

Şekil 6.2’de gösterilmiştir. Ayrıca titreşim genlik birimleri, ivme, yer değiştirme ve hız birimlerinden birisi de olabilir [50], [51].



Şekil 6.2. Genlik değerleri grafiği [51].

6.5.1. Tepeden-Tepeye (Peak-To-Peak) değer ($2X_0$)

Hareketin pozitif yöndeki tepe ile negatif yöndeki tepe noktaları arasında bulunan mesafeyi ifade eder. Titreşim yapan bir mekanizmanın titreşiminin toplam genlik değerini vermektedir. Sıfırdan-Tepeye (Zero-To-Peak) değerinin iki katı olur [49], [51].

6.5.2. Sıfırdan-Tepeye (Zero-To-Peak) değer (X_0)

Denge yani sıfır noktasına göre maksimum titreşim değeridir. Titreşimin ivmesinin veya hızının genlik değeri ifade etmek için kullanılır. Tepeden-Tepeye (Peak-To-Peak) değerinin yarısıdır [49], [51].

6.5.3. Ortalama (Average) değer

Belirli (t_1 - t_2) zaman aralıklarıyla ölçülmüş olan titreşim değerlerinin aritmetik ortalamasını ifade eder [49], [51].

6.5.4. RMS (Root Mean Square -Karelerin Ortalamasının Karekökü)

Belirli (t_1 - t_2) zaman aralıklarında ölçülen titreşim değerlerinin karelerinin ortalamasının karekökünü ifade eder. Titreşimin efektif değeridir. RMS değeri aşağıdaki denklem ile hesaplanır [49], [51].

$$X_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt} \quad (6.2)$$

6.5.5. Titreşimin Yer Değişimi-Deplasmanı (Displacement)

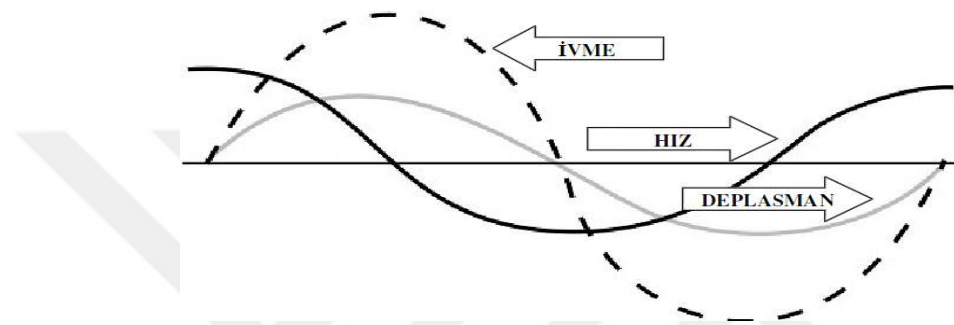
Üzerine bir kuvvet uygulanan basit harmonik hareketi yapan kütlenin, sıfır (denge) noktasına veya belirlenmiş olan bir referans noktasına göre yer değiştirme miktarıdır. Bir titreşimdeki deplasman verileri deplasman problemleri ile ölçülmektedir [49], [51].

6.5.6. Titreşimin Hızı (Velocity)

Genel bir tanımla titreşim hızı; bir kütlenin ne kadar hızlı sürede hareket yaptığıının ölçüsü veya kısaca birim zamanda alınan yol olarak ifade edilir. Bir harekette meydana gelen titreşim hızının verilerini ölçmek için hız transdüserleri kullanılır [49], [51].

6.5.7. Titreşimin İvmesi (Acceleration)

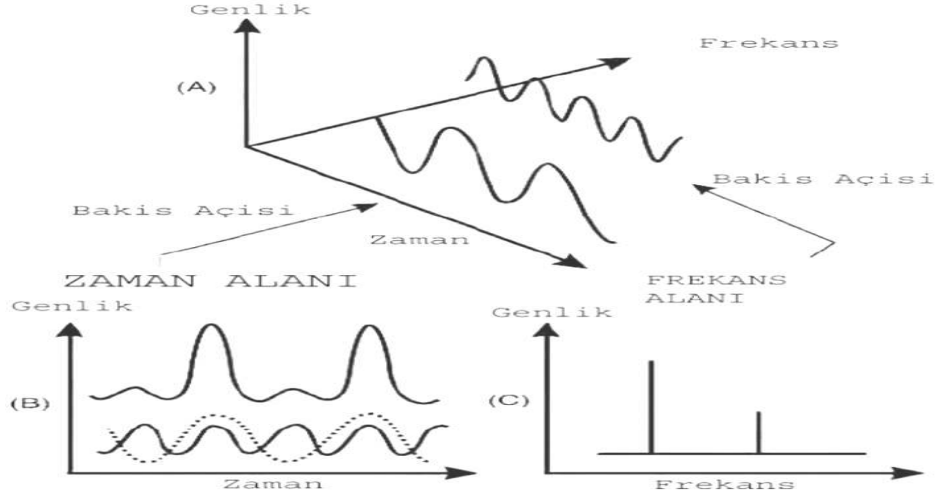
Birim zamanda hızda meydana gelen değişim miktarı ivmedir. Bir hareketteki titreşim ivme verileri ölçmek için ivme transdüserleri kullanılır [49], [51].



Şekil 6.3. Deplasman, ivme ve hız eğrileri [51].

6.6. HIZLI FOURIER DÖNÜŞÜMÜ (FFT)

Bir titreşimin sinyali ne kadar karmaşık yapıda olursa olsun, farklı frekanslarda ve genliklerde fazla sayıda basit harmonik oluşumların toplamı şeklinde belirtilir ve bu yöntem hızlı fourier dönüşümü (FFT) olarak ifade edilir. Yapılan titreşim ölçümleri her zaman analog (zaman alanı) şeklindedir ve hızlı fourier dönüşümü ile frekans alanına dönüştürülmesi sağlanmaktadır. Bu nedenle FFT örneklenmiş bir sinyal üzerindeki hesaplamadır. Verilen anlarda bir dalga genliğinin kayıt edilmesine örnekleme denilmektedir ve sonrasında kayıt yapılan noktalar ile bir eğri oluşturulmaktadır. Hızlı fourier dönüşümü (FFT) Şekil 6.4'te gösterilmektedir [50], [51].



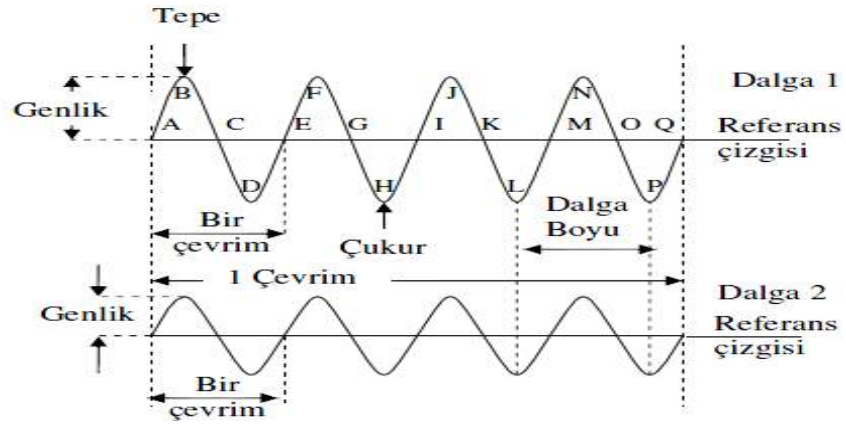
Şekil 6.4. Hızlı fourier dönüşümü [50].

6.7. ZAMAN DALGA FORMLARI

Zaman dalga formu titreşimin zamana göre deplasman, hız veya ivme grafiğini gösteren bir zaman aralığı sinyalıdır. Titreşim analizinin yapıldığı ilk zamanlarda zaman dalga formları osiloskoplar ile tespit edilmekte ve frekans bileşenleri elle hesaplanmaktaydı. Zaman dalga formu analizi genellikle benzer arızaya sahip olan ekipmanların dalga formu yapılarının karşılaştırılmasında kullanılmaktadır [49], [51].

6.8. DALGA BOYU (λ)

Bir dalga boyu verilen herhangi bir anda yanal bir dalganın bir çevriminde ortaya çıkan boşluktaki mesafesi olarak ifade edilir. Şekil 6.5'te (Dalga 1) A ve E arasındaki mesafe veya B ve F arasındaki mesafe bir dalga boyu olmaktadır. Dalga boyunu göstermek veya belirtmek için genellikle λ sembolü kullanılmaktadır [51].



Şekil 6.5. Farklı genliklerdeki dalgaların karşılaştırılması [55].

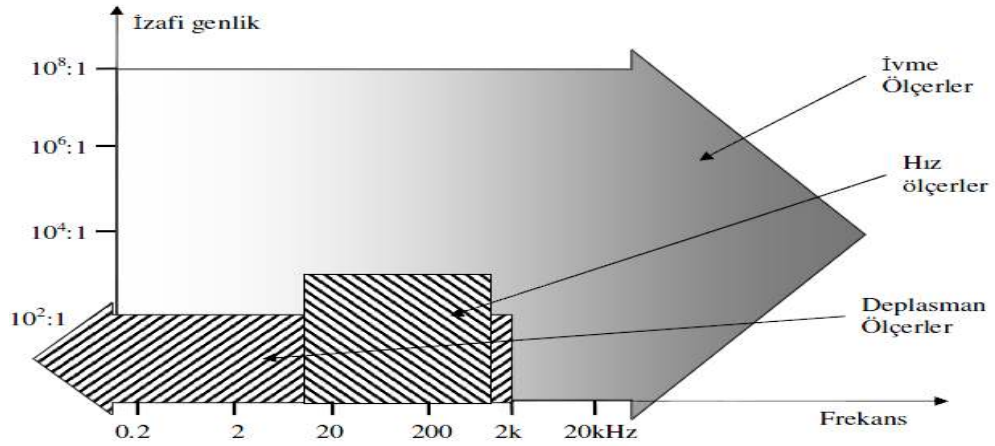
7. TİTREŞİM ÖLÇÜMÜNDE KULLANILAN EKİPMANLAR

Bir sistemin titreşiminin verilerinin toplanması, ölçülmesi ve değerlendirilmesi için titreşim analizi yapan sisteme sahip bir transdüser ve bir titreşim toplayıcı kullanılır. Transdüser, titreşim gibi bir enerji parametresini algılayarak onu başka bir enerji biçimine genellikle elektrik sinyallerine dönüştüren bir cihazdır (Şekil 7.1) [50], [51].



Şekil 7.1. Titreşim transdüserleri [51].

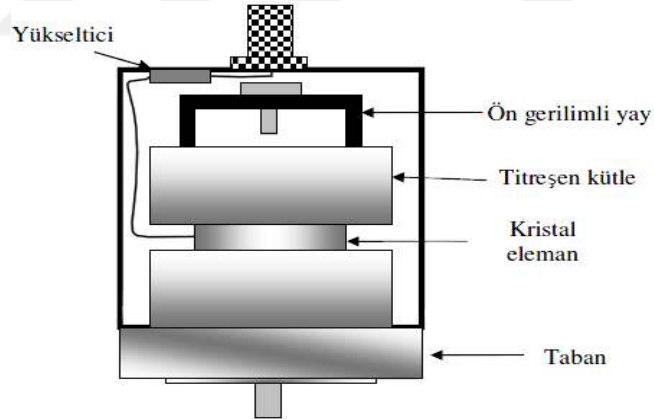
Genellikle kullanılan transdüserler; Hız Ölçerler (Velocity Transducers), İvme Ölçerler (Accelerometers) ve Deplasman Ölçerler – Eddy Akım Transdüserleridir. Tek bir transdüser tüm ölçümleri karşılayamaz. Bu duruma bağlı olarak titreşim ölçümü yapılırken dikkatli olunması gereken en önemli hususların başında yapılacak ölçüme en uygun transdüserin seçilmesidir. Şekil 7.2’de ivme, hız ve deplasman transdüserlerinin frekans bölgelerine göre performansları gösterilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı üzere deplasman transdüserleri frekansın düşük bölgesinde, hız transdüseri orta frekans bölgesinde, ivme transdüseri ise frekansın bütün bölgelerinde etkili performans göstermektedir [50], [51].



Şekil 7.2. Transdüserlerin çalışma aralıkları [50].

7.1. İVME ÖLÇERLER

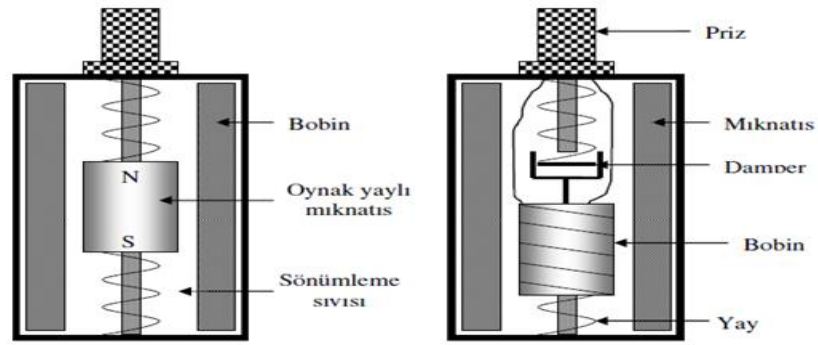
İvme ölçerler dönen ekipmanların titreşim ölçümlerinde yaygın biçimde kullanılan ve geniş bir frekans aralığında çalışan transdüserlerdir. Şekil 7.3'te bir ivme ölçerin iç yapısı gösterilmektedir. İvme ölçerler, mekaniksel hareketi gerilim sinyaline dönüştüren ataletle dayalı aktif olarak ölçüm yapan piezoelektrik elemanlardır [50], [51].



Şekil 7.3. İvme Ölçerin iç yapısı [55].

7.2. HIZ ÖLÇERLER

Hız ölçülmesi, dönen ekipmanın titreşiminin izlenmesi için yayın olarak kullanılır. Şekil 7.4'te bir hız ölçerin iç yapısı gösterilmektedir. Bobin, titreşimli bir hareketle manyetik alan içerisinde hareket etmeye zorlanırsa titreşimle orantılı olarak bir gerilim sinyali meydana getirir [50], [51].



Şekil 7.4. Hız ölçer iç yapısı [51].

7.3. DEPLASMAN ÖLÇERLER – EDDY AKIM TRANSDÜSERLERİ

Eddy akım transdüserleri, içerisinde kaymalı yataklar bulunduran döner ekipmanlarda titreşimin izlenmesi için tercih edilmektedir. Eddy akımlı transdüserleri sadece milin veya mile göre olan deplasmandan titreşim ölçümü yapmaktadır. Bir Eddy akım sistemi bir prob, uzatma kablosu ve osiloskoptan meydana gelmektedir. Şekil 7.5'te Eddy problemleri gösterilmektedir [50], [51].



Şekil 7.5. Eddy problemleri [51].

Titreşim transduserleri, bir ekipmanın fiziksel titreşim hareketini elektrik sinyaline çevirmektedir. Ancak bu sinyal ham haldedir ve ekipmanın koşulu ile anlamlı bilgilerin elde edilmesi için bir izleme cihazına ihtiyaç duyulmaktadır. Titreşim transduserü ve ekipman izleme yöntemi seçildikten sonraki adım bu ihtiyacı en iyi şekilde karşılayacak olan izleme, kayıt ve analiz yapacak cihazının seçilmesidir. Bu cihazlar ile ilgili genelde üç seçecek bulunmaktadır. Bunlar;

- Elde taşınabilen titreşim ölçerler ve analiz cihazları
- Sürekli olarak anında veriyi toplayan ve analiz yapan cihazları
- Taşınabilir veri toplayıcılar ve analiz cihazlarıdır (Şekil 7.6) [51].



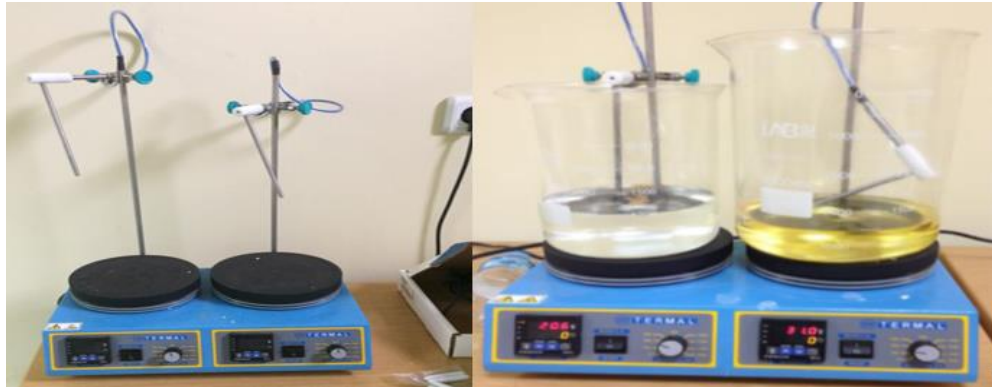
Şekil 7.6. Taşınabilir veri toplayıcıları [51].

8. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, transesterifikasyon yöntemi ile rafine edilmiş ayçiçek yağından ayçiçeği metil esteri (biyodizel) üretilmiştir. Üretilen ayçiçeği metil esteri (AYME), hacimsel olarak % 15 ve % 30 oranlarıyla standart dizel yakıt (B0) ile karıştırılarak B15 ve B30 yakıtları elde edilmiştir. Elde edilen biyodizel içerikli yakıtların, tam yük altında ve farklı devirlerde (1400 dev/dak, 1800 dev/dak, 2200 dev/dak, 2600 dev/dak) tek silindirli dizel bir motorun titreşimine ve gürültüsüne olan etkileri deneysel olarak incelenmiştir.

8.1. BİYODİZEL ÜRETİMİ

Transesterifikasyon (yeniden esterleme) yöntemi kullanılarak ayçiçek yağından biyodizel üretimi gerçekleştirilmiştir. Biyodizel (ayçiçeği metil esteri) üretimi Düzce Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İçten Yanmalı Motorlar Laboratuvarındaki Şekil 8.1’de görülen küçük ölçekli bir biyodizel üretim düzeneği kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 8.1. Biyodizel üretim düzeneği.

Ayçiçek yağından biyodizel üretimi, % 99,5 saflıkta metil alkol (metanol) ve alkali katalizör olarak da sodyum hidroksit (NaOH) kullanılarak 5 aşamalı olan ve birbirini takip eden işlem basamakları ile gerçekleştirilmiştir. Bu aşamalar sıralı ile % 99,5 saflıkta metil alkol (metanol) ile % 99,5 saflıkta katalizörün [sodyum hidroksit (NaOH)] karıştırılması, yağın ısıtıcılı manyetik karıştırıcı üzerinde bulunan kapasitesi 5 lt olan cam behere alınması, alkol/katalizör karışımının yağ üzerine ilave edilerek sabit

sıcaklıkta (55 °C) ve 600 dev/dak'da karıştırılması, reaksiyon (tepkime) sonunda biyodizel ile gliserinin ayrışması ve son basamak olarak biyodizelin yıkanması ile kurutulması işlemleridir. Biyodizel üretimi için kullanılacak olan rafine edilmiş ayçiçek yağının her bir litresi için 3.5 gram NaOH hassas terazide tartılarak toplam yağın hacimce % 20'si oranında hazırlanan metanol içerisine katılarak ısıtıcılı manyetik karıştırıcıda 35 °C'de tamamen çözünene kadar (bu süre yaklaşık 30 dakika) karıştırılmıştır. Cam beher içerisinde bulunan ayçiçek yağı, Şekil 8.2'de görülen sıcaklığı sabit olarak 55 °C olarak ayarlanmış olan ısıtıcılı manyetik karıştırıcı vasıtası ile karıştırılarak ısıtılmıştır. Daha sonra cam beher içerisinde bulunan ısıtılmış ayçiçek yağı numunesi üzerine hazırlanan metoksit karışım (metanol/NaOH) ilave edilmiştir. Karışım ısıtıcılı manyetik karıştırıcı vasıtası ile 600 dev/dak'da, 1 saat süresince 55 °C'de sıcaklıkta karıştırılarak transesterifikasyon işlemi yapılmıştır. Karışımından metanol kaybını önlemek için cam beherin üzeri kapatılmıştır.

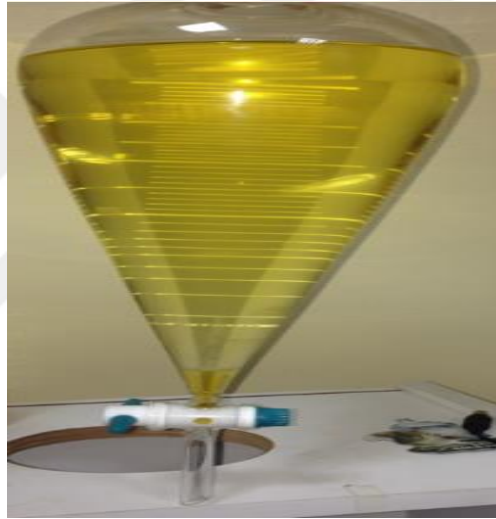


Şekil 8.2. Biyodizel üretimi (esterleştirme reaksiyonu).

Karıştırma işlemi son bulduktan sonra, karışımında bulunan biyodizel ve gliserinin ayrışması olayının gerçekleşmesi için karışım ayırma hunisine alınarak 8 saat bekletilmiştir. En az sekiz saat bekleme süresi sonunda ortaya biyodizel ve gliserin olarak iki ürün çıkmıştır. Şekil 8.3'te görüldüğü üzere faz ayrışması oluşması neticesinde biyodizel üretimin sırasında yan ürün olarak elde edilen gliserinin yoğunluğu biyodizelden daha büyük olması sebebi ile dibe çökmüştür ve biyodizel ile gliserin belirgin ince bir çizgi ile ayrılmıştır. Dibe çöken gliserin fazı ayırma hunisinin içresinden alınmıştır. Her bir litre biyodizel yakıt için 100 ml gliserin alınmıştır. Bu işlemler sonucunda kalan ürün olarak elde edilen biyodizel Şekil 8.4'te görülmektedir.



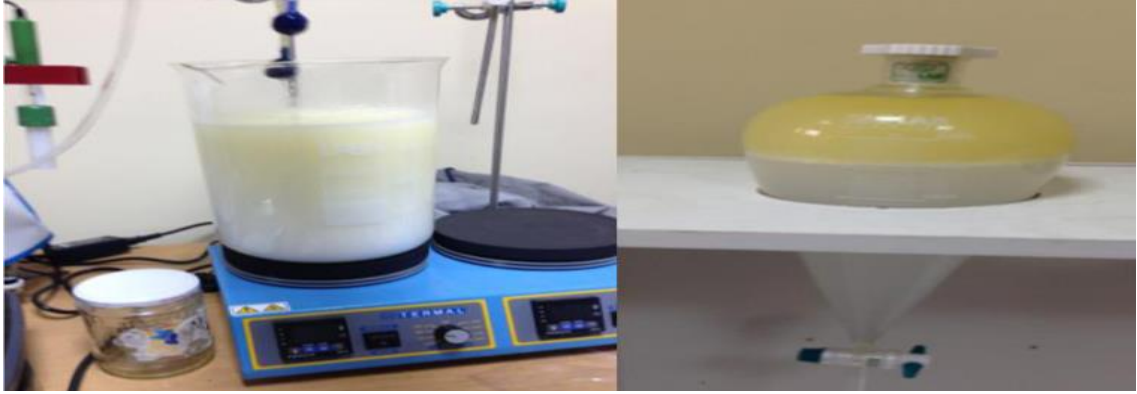
Şekil 8.3. Biyodizel içerisindeki gliserinin çökmüş hali.



Şekil 8.4. Gliserinden ayrılmış biyodizel.

Dibe çöken gliserinin alınmasıyla, biyodizelin içerisinde yine de kalması muhtemel olan gliserin ve tepkimeye girmemiş alkol, katalizör benzeri kalıntıların temizlenmesi için biyodizel, hacimce % 100'u kadar 30-35 °C sıcaklıkta ılık saf su ile yıkama işlemine tabi tutularak işlem gerçekleştirilmiştir. Yıkamada suyun reaktöre ilavesinden sonra, ısıtıcılı manyetik karıştırıcıda 35 °C ve 600 dev/dak'da su ve biyodizelin karışması sağlanmıştır (yaklaşık 20 dakika). Yıkama işlemleri sırasında biyodizel-saf su karışımının pH'ı 7'de sabit tutulması sağlanmıştır. Yıkamadan işleminden sonraki aşamada karışım, biyodizel içindeki kalıntıların suyla birlikte dibe çökmesini sağlamak için tekrardan askıya alınarak en az sekiz saat süre ile bekletilmiştir. Bekleme süresi sonrasında Şekil 8.5'te görüldüğü üzere yoğunluğu büyük olan saf su ayırma hunisinin

dibine çökmüştür. Dibe çöken saf su huninin alt kısmından alınmıştır.



Şekil 8.5. Biyodizelin yıkanması ve saf sudan ayrışması.

Bu yıkama işlemleri neticesinde, biyodizel içerisinde bulunan metil alkol ile suyun karışmış olma ihtimaline karşın; üretilen biyodizel yakıt 110 °C sıcaklığa kadar ısıtıcıli manyetik karıştırıcıda ısıtılarak ve 600 dev/dak'da 2 saat boyunca karıştırılarak metil alkol ve saf suyun buharlaştırılması sağlanmaktadır. Biyodizelin üretimi esnasında, her bir litre yağdan elde edilen biyodizel ve gliserin miktarları ile ilgili hesaplamalar neticesinde, 1000 ml yağ ve 200 ml katalizörlü metil alkol karışımından 1000 ml Ayçiçek yağı metil esteri ve 100 ml gliserin elde edildiği tespit edilmiştir. Üretilen biyodizelin son hali (Ayçiçek Yağı Metil Esteri) Şekil 8.6'da görülmektedir.



Şekil 8.6. Üretilmiş olan ayçiçek yağı metil esteri (Biyodizel).

8.2. MOTOR TEST ÜNİTESİ

Deneysel çalışmada kullanılan motor test düzeneğinde; tek silindirli, 4 zamanlı, direk enjeksiyonlu ve hava soğutmalı Antor marka 6LD400 model bir dizel motor ile 15 kW güç absorbe etme kapasitesine sahip olan Kemsan marka elektrikli bir dinamometre

kullanılmıştır. Deneysel çalışmalar öncesi test motorunun yakıt pompası ve enjektör ayarları katalog değerlerine göre yapılmıştır. Çizelge 8.1’de deney motoruna ait teknik özellikler, Çizelge 8.2’de elektrikli dinamometreye ait teknik özellikler verilmiştir. Şekil 8.7’de test düzeneğinin şematik görünümü, Şekil 8.8’de deney düzeneğinin resmi görülmektedir. Deney düzeneği kontrol panelinde, motor dönme sayısı ve dinamometreye etki eden kuvveti görüntüleyen dijital göstergeler, 100 ml’lik yakıt tüketimi ölçme büreti ve motor yük kontrol butonu bulunmaktadır. Ayrıca deney düzeneğine yerleştirilmiş olan K tipi termion elemanlar vasıtasıyla ortam sıcaklığı ve egzoz sıcaklığı, üç eksenli ivme ölçer ile titreşim ölçümleri ayrıca gürültü ölçüm cihazıyla motor gürültüsü ölçülmüştür.

Çizelge 8.1. Deney motorunun teknik özellikleri.

Marka	Antor
Model	6LD400
Silindir sayısı	1
Yanma odası	Direkt püskürtmeli
Yakıt	Dizel
Silindir çapı	86 mm
Silindir stroğu	68 mm
Silindir hacmi	395 cm ³
Sıkıştırma oranı	18:1
Özgöl Yakıt Sarfiyatı	2,1 L/saat
Maksimum tork (2200 dev/dak)	19,6 Nm
Nominal devir	3600 dev/dak
Maksimum güç	6,25 kW

Çizelge 8.2. Elektrikli dinamometreye ait teknik özellikler.

Markası	Kemsan
Maksimum frenleme gücü	15 kW
Maksimum Devir	6000 dev/dak
Yük hücresi modeli	Esit STCS 50 model (S tipi)
Yük hücresi kapasitesi	50 kg
Elektrik ihtiyacı	220/380 V. 50 Hz.





Şekil 8.10. Brüel & Kjaer 4527 model piezoelektrik ivme ölçer.

Çizelge 8.3. İvme ölçere ait teknik özellikler.

Özellik	Birim
İvme Ölçer Tipi	Brüel & Kjaer 4527
Frekans Aralığı	0,3 - 10000 Hz
Hassasiyet	10 mV/g
Sıcaklık Ölçüm Aralığı	-60 ile 180 °C
Ağırlık	6 gram
Elektrik Bağlantısı	1-4 28 UNF
Rezonans Frekansı	30 kHz

İvme ölçer deney motorunun silindir kapağı üzerine vidalı olarak montaj edilmiştir. Deney düzeneğinin şematik görünümünün yer aldığı Şekil 8.7'de ivme ölçerin; yatay (x-Ch1), eksenel (y-Ch2) ve dikey (z-Ch3) olmak üzere üç eksenini görülmektedir.

Şekil 8.11'de görülen Svantek 104 model bir gürültü ölçüm cihazı (dozimetre) ile deney motorunun gürültüsü ölçülmüştür. Gürültü ölçüm cihazına ait teknik özellikler Çizelge 8.4'te verilmiştir. Gürültü ölçümü için kullanılan Svantek 104 model cihaz, ISO 362-1:2007 standardına uygun olarak motor bloğundan 1 metre uzaklığa yerleştirilmiştir.

Çizelge 8.4. Gürültü ölçüm cihaza ait teknik özellikler.

Markası	Svantek SV 104
Filtreler	A, C ve Z
Zaman sabitleri	Yavaş, Hızlı, Impulse
Ölçüm aralığı	55 dBA RMS ÷ 140.1 dBA Pik
Frekans aralığı	30 Hz ÷ 8 kHz
Dinamik aralık	95 dB
Hafıza	8 GB



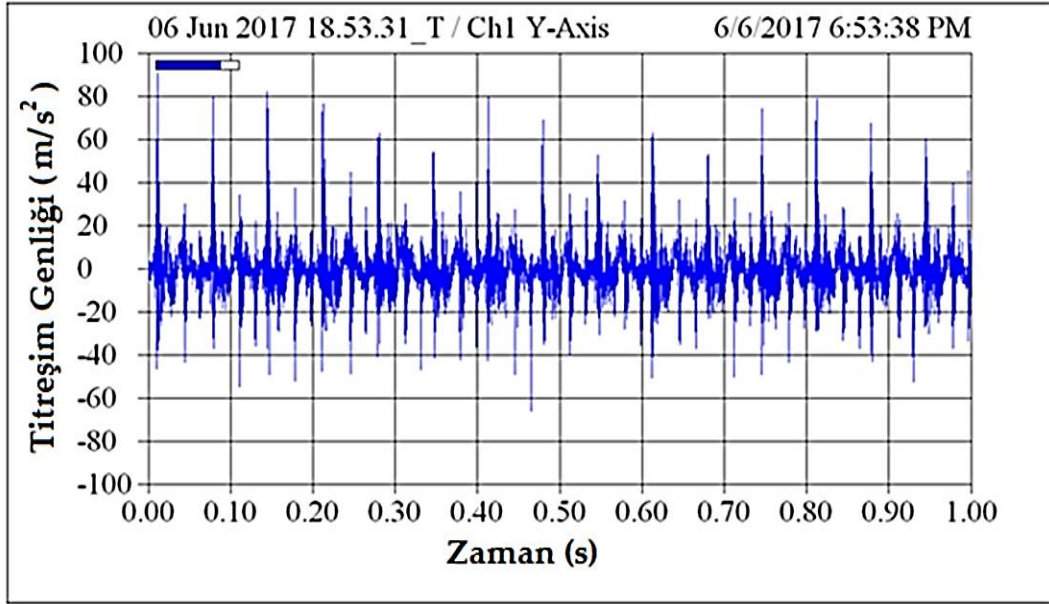
Şekil 8.11. Svantek 104 model bir gürültü ölçüm cihazı (dozimetre).

9. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada standart dizel yakıtı (B0) ile rafine edilmiş ayçiçek yağından transesterifikasyon yöntemi ile üretilen ayçiçeği yağı metil esteri (B100) hacimsel olarak % 15 ve % 30 oranlarında karıştırılarak B15, B30 yakıtları elde edilmiştir. Elde edilen yakıt karışımlarının, motor titreşimine ve gürültüsüne olan etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Deneyler tam yük altında 1400 dev/dak ile 2600 dev/dak aralığında yapılmıştır. Tüm deneyler, aynı şartlar altında ve motor yağının sıcaklığı 50 °C'ye ulaştığında yapılmıştır. Motor test ünitesine yerleştirilmiş olan K tipi termo elemanlar vasıtasıyla deney motor yağının sıcaklığı ölçülmüştür. Tüm deneylerin her biri aynı şartlar altında 3 kere tekrarlanarak ortalamaları alınmıştır.

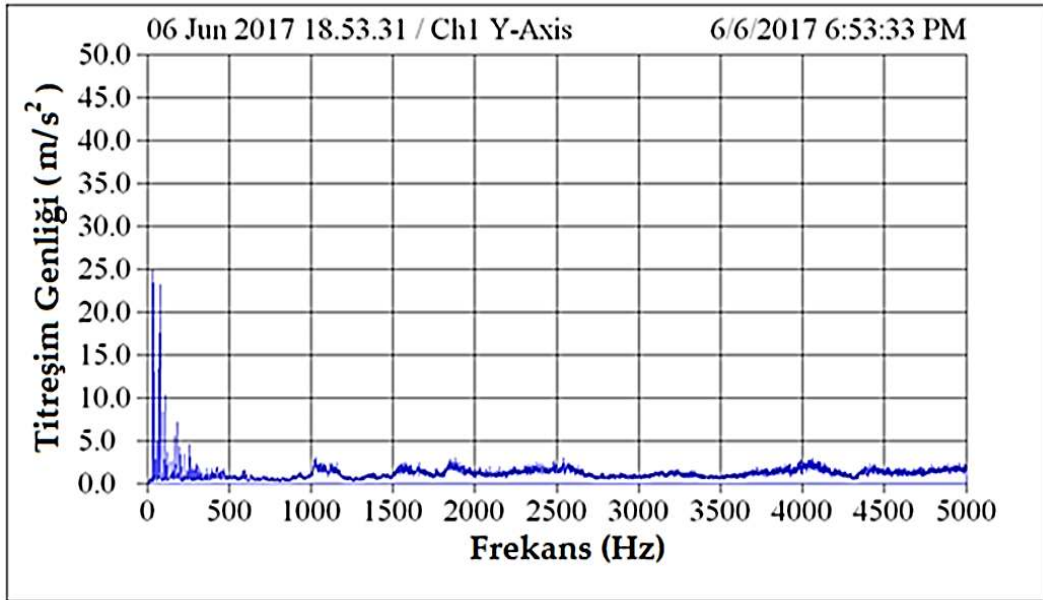
9.1.TİTREŞİM SONUÇLARI

İlk deneyler B0 ile yapılmıştır. Zaman bölgesi titreşim verileri belirlenen örnekleme frekansında 1,28 s boyunca kayıt altına alınmıştır. Yapılan tüm deneylerin her biri için ivme ölçerin her bir kanalından toplamda 16384 veri toplanmıştır. Şekil 9.1'de B0 ile 1800 dev/dak motor dönüş hızında 1 saniye içerisinde kanal Ch1'den alınan verilere göre elde edilen zaman bölgesi analiz grafiği gösterilmektedir. Zaman düzlemi, titreşimin zamana bağlı olarak ne kadar değişim gösterdiğini ifade eder. Motorun dakikadaki dönme sayısı 1800 dev/dak, 60'a bölündüğü zaman krank milinin 1 saniye içerisinde kendi eksenini etrafındaki dönme sayısı 30 devir/saniye olarak bulunur. Dört zamanlı motorların krank mili kendi eksenini etrafında 2 tur dönme hareketini gerçekleştirdiğinde, enjektör 1 kere yakıt püskürtmüş olmaktadır. Bu durum değerlendirildiği zaman enjektör 1 saniye içerisinde 15 defa yakıt püskürtmüş olur. Bu sebeple enjektörün her bir yakıt püskürtmesiyle meydana gelen yanma olayı sonunda, Şekil 9.1'de görüldüğü gibi 15 adet titreşim genlik bölgesi oluşmuştur.



Şekil 9.1. 1800 dev/dak motor devrinde Ch1'den alınan zaman bölgesi grafiği.

Şekil 9.2'de B0 ile 1800 dev/dak motor dönüş hızında Ch1 kanalından alınan zaman bölgesi verilerinin FFT analizi işlemi ile frekans bölgesi verilerine dönüştürülmesi sonucunda elde edilen, frekans bölgesi grafiği görülmektedir.



Şekil 9.2. 1800 dev/dak motor devrinde Ch1'den alınan frekans bölgesi grafiği.

Farklı motor devirlerinde tüm yakıtlardan alınan titreşim genlik değerlerinin karşılaştırılmasının yapılabilmesi için, yapılan tüm deneylerin her biri için ivme ölçerdeki kanalların her birinden ölçülen titreşim genlik değerlerinin ortalama karekök değerleri (RMS) hesaplanması yapılmıştır. Her bir kanaldan alınan zaman bölgesi genlik değerlerinin RMS'si, Eşitlik 9.1'de verilen denklem ile hesaplanması yapılmıştır.

$$a_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n a_k^2} \quad (9.1)$$

Burada;

a_{RMS} : İvme değerlerinin ortalama kareköküdür (m/s^2),

a_k : Zaman bölgesi verilerinin k'ncı değeridir (zaman bölgesinde tüm eksenlerdeki ivme ölçerden sayısal olarak alınmıştır),

n : Zaman bölgesi ivme değerlerinin sayısıdır (1,28 s süre için $n = 16384$).

Motorun her devri için, tüm eksenlerden alınan titreşim verileri Eşitlik 9.2'de yerlerine koyularak toplam titreşim ortalama değerleri atoplama (a_t) bulunmuştur. Tüm eksenlerdeki a_t değerini bulmak için, her bir eksenlerdeki ortalama karekök (RMS) ivme değerleri kullanılmıştır.

$$a_t = \sqrt{a_{RMS(x)}^2 + a_{RMS(y)}^2 + a_{RMS(z)}^2} \quad (9.2)$$

Burada; a_t , toplam titreşim ortalama değeri, $a_{RMS(x)}$, $a_{RMS(y)}$ ve $a_{RMS(z)}$, ise sırasıyla yatay, eksenel ve dikey yönlerdeki RMS ivme genlik değerleridir.

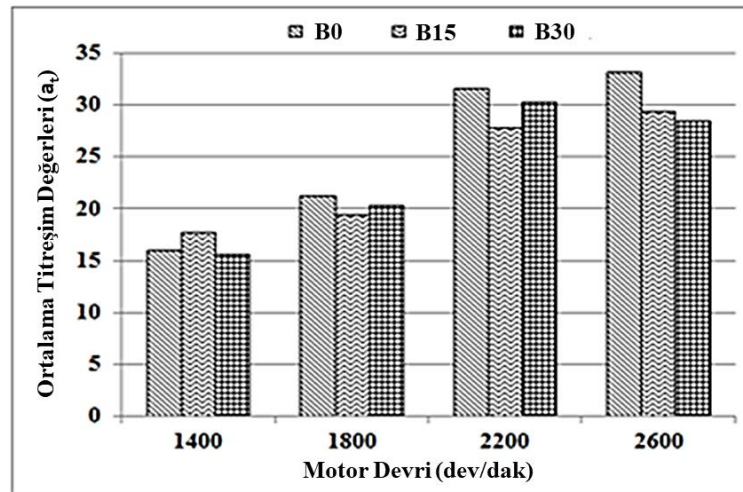
Çizelge 9.1'de motor devirlerine göre, tüm kanallardan elde edilmiş olan verilere istinaden hesaplanan a_{RMS} titreşim değerleri görülmektedir.

Çizelge 9.1'de anlaşılaçağı üzere (x, y, z) eksenlerinde, deneyde kullanılan tüm yakıtlarda motor titreşim değerinin genel olarak motor devrine bağılı artış gösterdiği belirlenmiştir. Tüm yakıtlar için, en büyük titreşim değerlerinin eksenel (y) yönde Ch2 kanalından, en küçük titreşim değerlerinin ise yanal (x) ekseninde Ch1 kanalından elde edildiğı görülmektedir. Bu durum, motorun eksenel yönünde diğer eksenlere kıyasla daha fazla salınım hareketi yaptığını göstermektedir. Deney motorun tek silindirli olmasından ve tam yük altında çalıştırılmasından dolayı eksenel yönde daha çok salınım hareketi yapmaktadır. Bundan dolayı, motor parçalarının üzerindeki en büyük atalet kuvvetleri eksenel yönde, en küçük atalet kuvvetlerinin ise yatay ekseninde oluşmaktadır.

Çizelge 9.1. Tüm kanallardan elde edilen a_{RMS} titreşim değerleri.

Yakıt	Devir (dev/dak)	Ch1 (x) (m/s ²)	Ch2 (y) (m/s ²)	Ch3 (z) (m/s ²)
B0	1400	8,39	9,90	9,20
B0	1800	12,08	13,20	11,20
B0	2200	17,11	20,10	17,20
B0	2600	19,20	19,64	18,40
B15	1400	9,64	9,90	8,12
B15	1800	11,13	12,09	10,10
B15	2200	14,80	18,42	14,50
B15	2600	14,59	19,40	16,50
B30	1400	8,12	10,09	8,60
B30	1800	10,25	13,45	11,10
B30	2200	14,74	19,29	18,10
B30	2600	12,84	18,34	17,50

Şekil 9.3'te B0, B15 ve B30 yakıtları için, toplam titreşim ortalama genlik değerleri görülmektedir. Şekilden de anlaşılacağı üzere, a_t deneyde kullanılan bütün yakıtlar için motor devrinin artışına bağlı olarak artış göstermektedir. Motorun devrine bağlı olarak artış gösteren motor parçalarına etki eden atalet kuvveti, a_t 'yide artırmıştır. 1400 dev/dak'nın dışındaki diğer bütün devirler için B0 yakıtı ile diğer yakıtlara göre daha büyük a_t değeri elde edilmiştir. Biyodizel içerikli yakıtlar ile yanma sonu basınç ve sıcaklığı azaldığı için, yanma şiddetine bağlı olan motor titreşim seviyesi de azalmaktadır.



Şekil 9.3. Yakıt karışımları için toplam titreşim ortalama genlik değerleri

9.2. MOTOR GÜRÜLTÜ SONUÇLARI

İçten yanmalı motorlar en önemli gürültü kaynaklarından biridir. İçten yanmalı motorlarda gürültü, silindir içerisinde meydana gelen basınç ve mekanik kuvvetlerle bağlantılıdır. Dizel motorlarda yanma süreci, en önemli gürültü kaynağı olarak kabul edilebilir. Yanma gürültüsü seviyesi, enjeksiyon zamanlaması ve tutuşma gecikmesi gibi parametrelere bağlı olan silindir basıncı artış oranına bağlıdır. Yanma olayının başlamasıyla aniden oluşan basınç artışı, yanma odası içerisindeki gazların hareketinin hızlanmasını sağlar. Silindir içerisinde aniden oluşan bu basınç artışı, yanma odası duvarını doğrudan etkileyerek, motor bloğunda titreşimlere neden olur. Oluşan bu titreşimler ortamda ses olayını meydana getirir. Ayrıca yanma ile başlayan basınç gradyanı, yanma odası içindeki gazı rezonansa sokabilir. Bu salınım yanma odası geometrisi ve gaz sıcaklığı ile kontrol edilir. Biyodizel yakıtların kimyasal ve fiziksel özellikleri yanma verimliliğini, dolayısıyla yanma gürültüsünü etkiler.

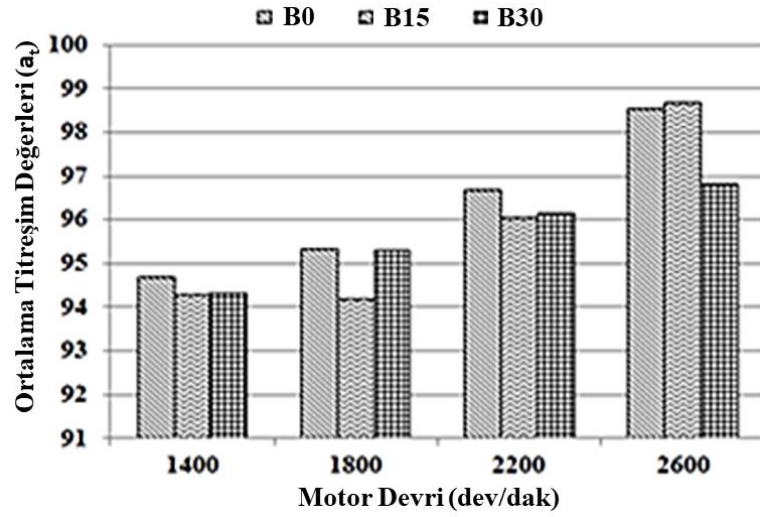
Yanma gürültüsü seviyesi, enjeksiyon zamanlaması ve tutuşma gecikmesi gibi parametrelere bağlı olan silindir basıncı artış oranına bağlıdır. Tutuşma gecikme süresinin uzun olması, yanma öncesi silindire daha fazla yakıt püskürtülmesine neden olur. Yanma öncesi silindirde yakıt birikmesi, yanma anında fazla miktardaki yakıtın aniden yanmasına neden olarak basınç artış oranının normalin üzerine çıkarak motorun vuruntulu ve gürültülü çalışmasına neden olur.

Deney yakıtlarının farklı motor devirlerine (1400 dev/dak, 1800 dev/dak, 2200 dev/dak, 2600 dev/dak) bağlı olarak ortalama gürültü seviyesi Şekil 9.4'te, zamana bağlı olarak değişen gürültü seviyeleri ise Şekil 9.5, Şekil 9.6, Şekil 9.7 ve Şekil 9.8'de verilmiştir.

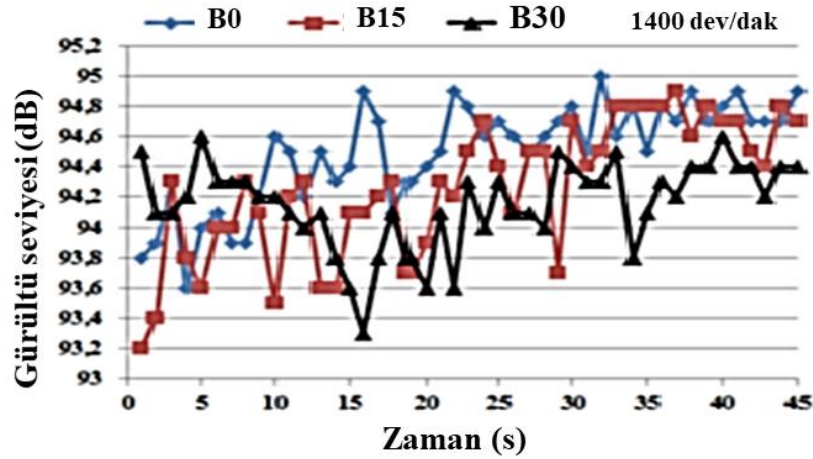
Yakıtların enjektörden püskürme karakteristiğini viskozite belirler. Viskozite, yakıt enjeksiyon başlangıcını ve enjeksiyon basıncını etkilemektedir. Yüksek viskozite, yakıtın damlacık çapını artırarak atomizasyonu olumsuz yönde etkiler. Ayrıca pompanın yakıt gönderme miktarını azaltarak daha az miktardaki yakıtın yanmasına neden olur. Bu nedenle, silindir içi basınç artış oranı ve maksimum yanma sonu basıncı düşerek yanma gürültüsü azalır. Damlacık büyüklüğü ve momentumuna bağlı olan yakıt püskürtme özellikleri, karışım-nüfuz oranını, buharlaşma oranını ve ısı transfer oranını etkiler. Bu özelliklerin herhangi birinin değişmesi, difüzyonal yanma rejimine karşı farklı ön karışım sürecine neden olur. Bu nedenle ön karışım işlemi esnasında daha az miktarda yakıt yanarak maksimum silindir basıncı azalır ve yanma gürültü seviyesi

düşer. Tüm bu nedenlerden dolayı karışım içeriğindeki biyodizel oranına bağlı olarak motor gürültü seviyesi genel anlamda düşmüştür. 2200 dev/dak'ya kadar B0 ile genelde daha büyük gürültü seviyelerine ulaşılmıştır.

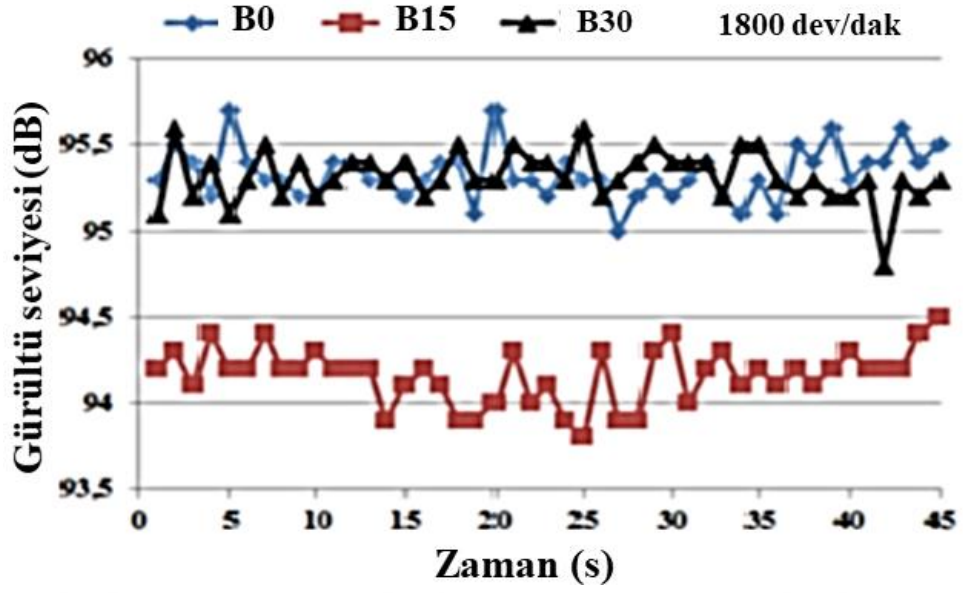
Şekil 9.4, Şekil 9.5, Şekil 9.6, Şekil 9.7 ve Şekil 9.8'den de analizılacağı üzere, yakıt karışımları içeriğindeki biyodizelin motor gürültüsünü düşürdüğü görülmektedir. Ayrıca, motor devrine bağlı olarak ortalama gürültü emisyon değeri artmaktadır. Bu durum, motor devrine bağlı olarak karışımın zenginleşmesinden ve dolayısı ile yanma basıncının artmasından kaynaklanmaktadır.



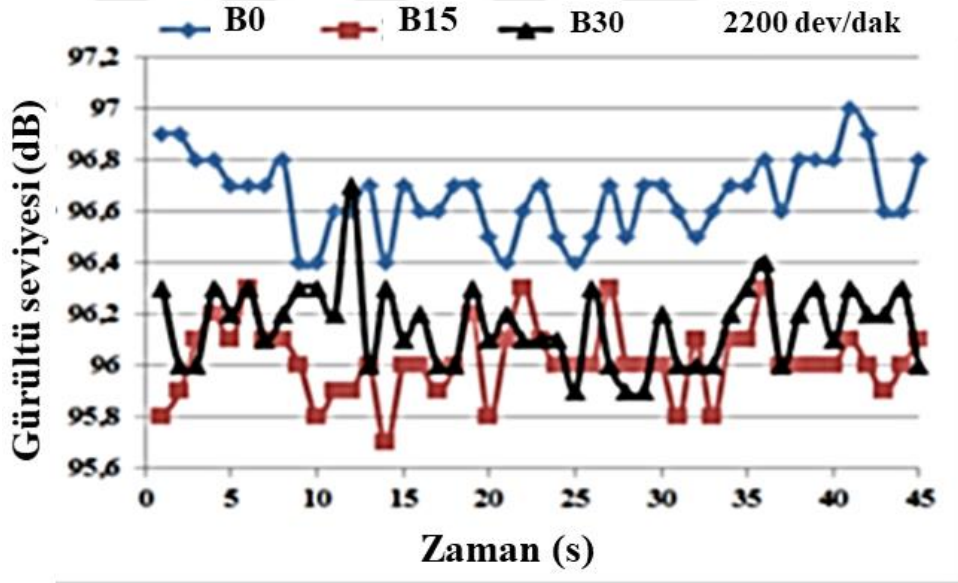
Şekil 9.4. Motor devrine bağlı olarak ortalama gürültü seviyesi.



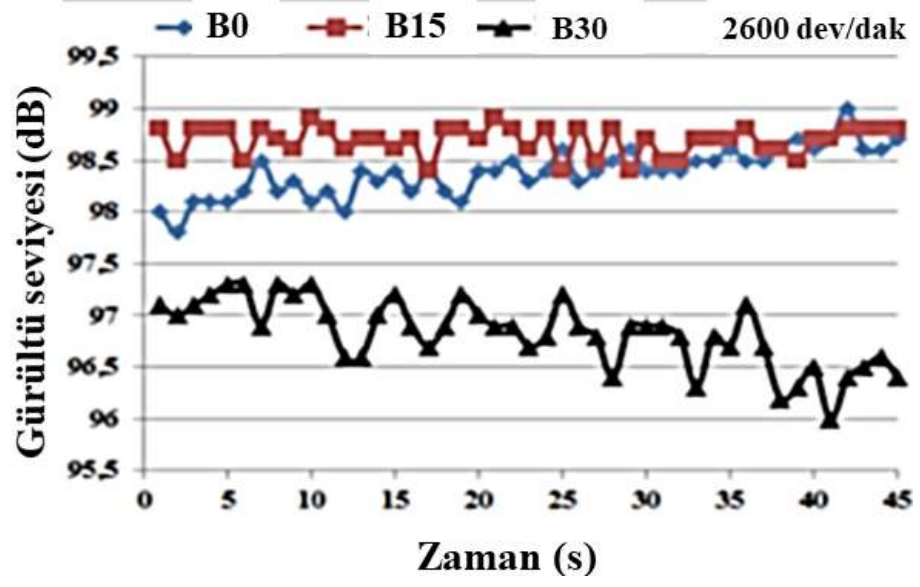
Şekil 9.5. 1400 dev/dak'da zamana bağlı olarak değışen gürültü seviyesi.



Şekil 9.6. 1800 dev/dak'da zamana bağlı olarak değişen gürültü seviyesi.



Şekil 9.7. 2200 dev/dak'da zamana bağlı olarak değişen gürültü seviyesi.



Şekil 9.8. 2600 dev/dak'da zamana bağlı olarak değişen gürültü seviyesi.

10. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, standart dizel yakıtı ile farklı oranlarda karıştırılan ayçiçek yağı metil esteri (Biyodizel) yakıtın tek silindirli dizel bir motorun tam yük altında ve farklı devirlerdeki titreşimine ve gürültüsüne olan etkileri incelenmiştir.

Deneyler sonucunda elde edilen verilerin incelendiğinde; 1400 dev/dak'nın dışındaki diğer bütün devirler için B0 (standart dizel) yakıtı ile deneyde kullanılan diğer yakıtlar olan biyodizel (B15 ve B30) yakıtlara göre daha büyük toplam titreşim ortalama genlik değeri (a_t) elde edilmiştir. Ayrıca, deneylerde kullanılan karışım içeriğindeki biyodizel oranına bağlı olarak motor gürültü seviyesi genel anlamda düşmüştür. 2200 dev/dak'ya kadar B0 (standart dizel) yakıtı ile genelde daha büyük gürültü seviyelerine ulaşılmıştır.

Silindir içinde gaz basınç gradyanını etkileyen yakıt yanma hızının kontrolü, yanma gürültüsünün azaltılması için önemli bir etkidir. Biyodizel içerikli yakıtların alt ısı değeri standart dizel yakıtın alt ısı değerinden daha düşük, yoğunluk ve viskozitesi ise daha yüksektir. Motor devrinin artmasına bağlı olarak artan motor parçaları üzerindeki atalet kuvvetleri, motor titreşim değerini de artırmaktadır. Bu nedenle devire bağlı olarak motor titreşim değerleri de artmaktadır. Biyodizel içerikli yakıtların yanma sonucu basınç ve sıcaklığını düşürmesi, yanma şiddetine bağlı olan motor titreşim ve gürültü seviyesini azaltmıştır.

Biyodizel içerikli yakıtlar ile hem motor titreşim hem de gürültü seviyesinin azalması yönünde sonuçlar elde edilmesi birbirlerini destekleyen sonuçlardır. Olumlu yönde birbirini destekleyen bu sonuçlar ve elde edilen veriler neticesinde ayçiçek yağı metil esterinin dizel motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

11. KAYNAKLAR

- [1] H. Ögüt ve R. Kuş, “Motorlu taşıtlarda alternatif yakıt kullanımı,” *II. Ulaşım ve Trafik Kongresi*, Ankara, Türkiye, 1999, ss. 149-161.
- [2] Ç. Diyaroglu, “Gemilerde ana makine kaynaklı titreşim ve gürültünün analizi,” Yüksek Lisans Tezi, Gemi İnşaat ve Gemi Makinaları Mühendisliği Bölümü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2009.
- [3] Ş. Arı, “Yanma odası tasarımının dizel motor gürültüsüne etkilerinin incelenmesi,” Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2011.
- [4] Y. E. Torun, “İçten yanmalı motorlarda yanma gürültüsü,” Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2015.
- [5] H. Solmaz, “Dört silindirli dört zamanlı bir dizel motorunun dinamik modeli ve titreşimlerinin incelenmesi,” Doktora Tezi, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2014.
- [6] A. İşler, “Kanola yağı etil esteri ve e-dizel,” Yüksek Lisans Tezi, Kimya Mühendisliği Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 2007.
- [7] S. Sarıdemir, N. Alçelik ve İ. Uygur, “Biyodizel - dizel yakıt karışımlarının motor titreşimine olan etkisinin incelenmesi,” *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, c. 13, s. 4, ss. 103-110, 2016.
- [8] S. Sarıdemir, S. Mert ve Ş. Mert, “Ayçiçeği metil esteri - dizel yakıt karışımlarının motor titreşimine ve gürültüsüne olan etkisi,” *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, c. 6, s. 2, ss. 54-62, 2017.
- [9] S. Albayrak ve S. Sarıdemir, “Kanola yağı metil esteri ve dizel yakıt karışımlarının motor titreşimine olan etkileri,” *İleri Teknolojileri Bilimleri Dergisi*, c. 5, s. 3, ss. 74-85, Aralık 2016.
- [10] E. Uludamar, E. Tosun and K. Aydın, “Experimental and regression analysis of noise and vibration of a compression ignition engine fuelled with various biodiesels,” *The Science and Technology of Fuel and Energy*, vol. 177, pp. 326-333, 2016.
- [11] H. Yıldırım, A. Çınar; Ö. Şaylı and H. Köylü, “Vibration and noise analysis of an engine fuelled with diesel and biodiesel blends - ICAME '15,” *International Conference On Advances in Mechanical Engineering*, İstanbul, 2015.
- [12] M. F. Shaikh and S. Umale, “Noise and vibration analysis of diesel engine using diesel and jatropha biodiesel,” *International Journal of Engineering Trends and Technology*, vol. 12, no. 5, pp. 228–323, 2014.
- [13] N. Yılmaz and B. Morton, “Comparative characteristics of compression ignited engines operating on biodiesel produced from waste vegetable oil,” *Biomass and Bioenergy*, vol. 35, no. 2, pp. 2194-2199, 2011.

- [14] E. Büyükkaya, "Effects of biodiesel on a DI diesel engine performance, emission and combustion characteristics," *The Science and Technology of Fuel and Energy*, vol. 89, pp. 3099-3105, 2010.
- [15] İ. Çelikten ve M. A. Arslan, "Dizel yakıtı, kanola yağı ve soya yağı metil esterlerinin direkt püskürtmeli bir dizel motorunda performans ve emisyonlarına etkilerinin incelenmesi," *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 23, s. 4, ss. 829-836, 2008.
- [16] C. Haşımoğlu, Y. İçingür ve İ. Özsert, "Turbo şarjlı bir dizel motorda yakıt olarak biyodizel kullanılması motor performans ve egzoz emisyonlarına etkisi," *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 23, s. 1, ss. 207-213, 2008.
- [17] B. Alpgiray ve R. Gürhan, "Kanola yağının dizel motorunun performansına ve emisyon karakteristiklerine etkilerinin belirlenmesi," *Tarım Bilimleri Dergisi*, c. 13, s. 3, ss. 231-239, 2007.
- [18] H. S. Yücesu, R. Altın ve S. Çetinkaya, "Dizel motorlarında alternatif yakıt olarak bitkisel yağ kullanımının deneysel incelenmesi," *Turkish Journal of Engineering Environment Science*, c. 25, ss. 39-49, 1999.
- [19] H. Yalık, "Dizel motorlarında alternatif yakıt olarak yağ esterlerinin kullanılma imkanlarının araştırılması," Doktora Tezi, Makine Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2002.
- [20] S. Tarauş, "Ayçiçeği yağı ve hayvansal yağ karışımlarından biyodizel üretimi," Yüksek Lisans Tezi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, Türkiye, 2008.
- [21] S. Şahin, "Keten yağı biyodizelinin ve motorinle karışımlarının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisinin araştırılması," Yüksek Lisans Tezi, Tarım Makineleri Bölümü, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2013.
- [22] C. İlkılıç, S. Aydın, R. Behçet and H. Aydın, "Biodiesel from safflower oil and its application in a diesel engine," *Fuel Processing Technology*, vol. 92, pp. 356-362, 2011.
- [23] E. Dobrucalı, "Biyodizelin bir gemi dizel motorunun performansına olan etkisinin deneysel olarak incelenmesi," Yüksek Lisans Tezi, Gemi İnşaatı Mühendisliği Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2007.
- [24] İ. Sugözü, F. Aksoy ve A. Ş. Baydır, "Bir dizel motorunda ayçiçeği metil esterinin kullanımının motor performans ve emisyonlarına etkisi," *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, c. 6, s. 2, ss. 49-56, 2009.
- [25] R. Radu, C. Petru, R. Edward, and M. Gheorghe, "Fueling an D.I. agricultural diesel engine with waste oil biodiesel: Effects over injection, combustion and engine characteristics," *Energy Conversion and Management*, vol. 50, pp. 2158-2166, 2009.
- [26] A. Taghizadeh, B. Ghobadian, T. Tavakoli and S. Mohtasebi, "Vibration analysis of a diesel engine using biodiesel and petrodiesel fuel blends," *The Science and Technology of Fuel and Energy*, vol. 102, pp. 414-422, 2012.
- [27] Ö. Koç, "Dizel motorlarda biyodizel kullanımının motora etkilerinin dizel yakıtı ile deneysel karşılaştırmalı olarak incelenmesi," Yüksek Lisans, Makine Mühendisliği, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, Türkiye 2010.

- [28] N. A. Özsezen, A. Türkcan ve M. Çanakçı, “Ham ayçiçek yağı kullanılan bir dizel motorun performans ve emisyonları,” *1. Ulusal Yağlı Tohumlu Bitkiler ve Biyodizel Sempozyumu, sunuldu*, Samsun, Türkiye, 2007, ss. 275-283.
- [29] S. Jindal, “Vibration signatures of a biodiesel fueled CI engine and effect of engine parameters,” *International Journal of Energy and Environment*, vol. 3, no. 1, pp. 151-160, 2012.
- [30] M. D. Redel *et al.*, “Air and noise pollution of a diesel engine fueled with olive pomace oil methyl ester and petrodiesel blends,” *The Science and Technology of Fuel and Energy*, vol. 95, pp. 615-621, 2011.
- [31] İ. Tillem, “Dizel motorlar için alternatif yakıt olarak biyodizel üretimi ve kullanımı,” Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği Bölümü, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye, 2005.
- [32] C. Ünal, “Örnek dizel motorda püskürtmenin fazlara ayrılmasının NO_x ve is oluşumuna etkisinin araştırılması” Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği Bölümü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2006.
- [33] İ. Sönmez, “Dizel motorlarına ilave oksijen verilmesinin motor performansı ve emisyonlarına etkisi,” Bilim Uzmanlığı Tezi, Makine Eğitimi Bölümü, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Zonguldak, Türkiye, 2006.
- [34] A. K. Eliçin, “Biyodizel yakıtla çalıştırılan küçük güçlü bir dizel motorun performans ve emisyonuna giriş hava basıncı etkisinin deneysel olarak araştırılması,” Doktora Tezi, Tarım Makinaları Bölümü, Ankara Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2011.
- [35] A. Aktaş ve Y. Sekmen, “Biyodizel ile çalışan bir dizel motorda yakıt püskürtme avansının performans ve egzoz emisyonlarına etkisi,” *Gazi Üniversitesi Müh. – Mim. Fakültesi Dergisi*, c. 23, s. 1, ss.199-206, 2008.
- [36] S. Albayrak, “Biyodizelin tek silindirli bir dizel motorun performans, emisyon ve titreşimlerine olan etkilerinin incelenmesi,” Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği Bölümü, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye, 2014.
- [37] E. Mutlu, “Dizel yakıtı, kanola yağı ve fındık yağı metil esterlerinin dizel motor performansına ve emisyonlarına etkilerinin deneysel incelenmesi,” Yüksek Lisans Tezi, Makine Eğitimi Bölümü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2010.
- [38] O. Doğan, “Atık taşıt lastiğinden üretilen pirolitik yakıtın bir dizel motorda kullanımının deneysel olarak araştırılması,” Doktora Tezi, Makine Eğitimi Bölümü, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye, 2012.
- [39] Y. Akdere, “Soya yağı metil esterinin dizel motorlarda yakıt olarak kullanımının deneysel olarak araştırılması,” Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği Bölümü, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, Türkiye, 2006.
- [40] A. Dinçbaş, “Biyodizel kullanımının dizel motoru üzerindeki etkilerinin uzun süreli testlerle ve motorinle karşılaştırmalı olarak incelenmesi,” Yüksek Lisans Tezi, Güneş Enerjisi Anabilim Dalı, Ege Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2007.
- [41] M. Arslan, “Laboratuvar ölçekli biyodizel üretim tesisinin projelendirilerek imal edilmesi ve yabancı zeytinden (oleaoleaster) üretilecek biyodizelin yakıt özelliklerinin belirlenmesi,” Yüksek Lisans Tezi, Tarım Makinaları Bölümü, Uludağ Üniversitesi, Bursa, Türkiye, 2015.

- [42] YEGM (eie). (22 Ocak 2016). [Online]. Erişim: <http://www.eie.gov.tr>
- [43] A. Yigit, “Bir dizel motorda lpg kullanılması ve farklı özellikteki pilot dizel yakıtının motor performans ve emisyonuna etkisinin incelenmesi,” Bilim Uzmanlığı Tezi, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye, 2008.
- [44] F. Çiçek, “Fungal Lipid Üretimi: Optimizasyon çalışmaları ve biyodizel üretiminde kullanılabilirliği,” Yüksek Lisans Tezi, Biyoloji Anabilim Dalı, Giresun Üniversitesi, Giresun, Türkiye, 2012.
- [45] EMO. (07 Şubat 2016). [Online]. Erişim: <http://www.emo.org.tr>
- [46] E. Alptekin ve M. Çanakçı, “Biyodizel ve Türkiye’deki durumu,” *Mühendis Makine Dergisi*, c. 47, s. 561, ss. 57-64, 2006.
- [47] N. Usta, Ö. Can ve E. Öztürk, “Alternatif dizel motor yakıtı olarak biyodizel ve etanolün karşılaştırılması,” *Pamukkale Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 11, s. 3, ss. 325-334, 2005.
- [48] A. K. Eliçin ve D. Erdoğan, “Fındık yağı metil ve etil esteri ile diesel yakıtı karışımlarının küçük güçlü bir diesel motorda yakıt olarak kullanım olanaklarının belirlenmesi,” *Tarım Bilimleri Dergisi*, c. 13, s. 2, ss. 137-146, 2007
- [49] M. Çimen, “Bilyeli rulman hasarlarının titreşim analizi ile tespiti ve gemi makinelerinde kestirimci bakım uygulaması,” Yüksek Lisans Tezi, Gemi İnş. ve Gemi Mak. Müh. Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2015.
- [50] E. Yıldırım, “Makinelerde titreşim analizi ile kestirimci bakım,” Yüksek Lisans, Makine Mühendisliği Bölümü, Celal Bayar Üniversitesi, Manisa, Türkiye, 2014.
- [51] S. Arslan, “Titreşim analizi ile fanlarda arıza teşhisi ve kestirimci bakım,” Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği Bölümü, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Zonguldak, Türkiye, 2010.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Ekrem ERDAL
Doğum Tarihi ve Yeri : 15.06.1981 - ADANA
E-posta : ekremmerdal@gmail.com

ÖRENİM DURUMU

Derece	Bölüm/Program	Okul/Üniversite	Mezuniyet
Yüksek Lisans	İmalat Mühendisliği	Düzce Üniversitesi	2018
Lisans	Otomotiv Öğretmenliği	Gazi Üniversitesi	2004
Lise	Makine Bölümü	Ceyhan Teknik Lisesi	1999