



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

**MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BİYODİZELİN TEK SİLİNDİRLİ BİR DİZEL MOTORUN  
PERFORMANS, EMİSYON VE TİTREŞİMLERİNE OLAN  
ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Serdar ALBAYRAK**

**ARALIK 2014**

**DÜZCE**

## **KABUL VE ONAY BELGESİ**

Serdar ALBAYRAK tarafından hazırlanan Biyodizelin Tek Silindirli Bir Dizel Motorun Performans, Emisyon ve Titreşimlerine Olan Etkilerinin İncelenmesi isimli lisansüstü tez çalışması, Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 16/12/2014 tarih ve 58105 sayılı kararı ile oluşturulan jüri tarafından Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Üye  
(Tez Danışmanı)  
Doç.Dr. Suat SARIDEMİR  
Düzce Üniversitesi

Üye  
Prof. Dr. Hamit SARUHAN  
Düzce Üniversitesi

Üye  
Yrd. Doç. Dr. Şenol MERT  
Düzce Üniversitesi

Tezin Savunulduğu Tarih: 26/12/2014

### **ONAY**

Bu tez ile Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Serdar ALBAYRAK' ın Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans derecesini almasını onamıştır.

Prof. Dr. Haldun MÜDERRİSOĞLU  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## **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.

26 Aralık 2014

Serdar ALBAYRAK

*Sevgili Aileme*

## **TEŞEKKÜR**

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

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

**26 Aralık 2014**

**Serdar ALBAYRAK**

<b>İÇİNDEKİLER</b>	<b><u>Sayfa</u></b>
<b>TEŞEKKÜR SAYFASI .....</b>	<b>1</b>
<b>İÇİNDEKİLER .....</b>	<b>2</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ .....</b>	<b>4</b>
<b>ÇİZELGE LİSTESİ .....</b>	<b>6</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ .....</b>	<b>7</b>
<b>ÖZET .....</b>	<b>8</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>9</b>
<b>EXTENDED ABSTRACT .....</b>	<b>10</b>
<b>1.GİRİŞ.....</b>	<b>12</b>
<b>1.1. AMAÇ VE KAPSAM.....</b>	<b>12</b>
<b>2. DİZEL MOTORLARINDA KULLANILAN YAKITLAR VE ÖZELLİKLERİ.....</b>	<b>20</b>
<b>2.1.DİZEL MOTORLARDA KULLANILAN YAKITLAR.....</b>	<b>20</b>
<b>2.1.1. Dizel Motorlarda Kullanılan Yakıtların Özellikleri.....</b>	<b>20</b>
2.1.1.1. <i>Vizkozite</i> .....	20
2.1.1.2. <i>Yakıtın Enerji İçeriği</i> .....	20
2.1.1.3. <i>Setan Sayısı</i> .....	21
2.1.1.4. <i>Akma Noktası</i> .....	21
2.1.1.5. <i>Yoğunluk ve API</i> .....	21
2.1.1.6. <i>Parlama ve Alevlenme Noktası</i> .....	22
2.1.1.7. <i>Uçuculuk</i> .....	22
2.1.1.8. <i>Korozyon Etkisi</i> .....	23
<b>2.2. BİYODİZEL.....</b>	<b>23</b>
<b>2.2.1. Biyodizelin Tanımı.....</b>	<b>23</b>
<b>2.2.2. Biyodizelin Özellikleri .....</b>	<b>24</b>
<b>2.2.3 Biyodizelin Çevresel Etkileri.....</b>	<b>24</b>
<b>2.2.4. Biyodizel Standartları.....</b>	<b>26</b>
<b>2.2.5 Bitkisel Yağların Yakıt Özelliklerini İyileştirme Yöntemleri.....</b>	<b>28</b>
2.2.5.1. <i>Transesterifikasyon (yeniden esterleme)</i> .....	28
2.2.5.2. <i>Seyreltme Yöntemi</i> .....	29

2.2.5.3. Mikroemülsiyon Yöntemi.....	29
2.2.5.4. Piroliz Yöntemi.....	30
2.2.5.5. Süperkritik Yöntem.....	30
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>31</b>
3.1. BİYODİZEL ÜRETİMİ .....	31
3.2. DİZEL MOTOR TEST ÜNİTESİ VE EMİSYON ÖLÇÜM CİHAZLARI .....	35
3.3. TİTREŞİM ÖLÇÜM EKİPMANLARI.....	38
3.4. MOTOR PERFORMANS HESAPLAMALARI.....	40
3.4.1. Moment ve Güç .....	40
3.4.2. Yakıt Tüketimi Ve Özgül Yakıt Tüketimi.....	41
<b>4. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME.....</b>	<b>43</b>
4.1. MOTOR PERFORMANS ÖLÇÜM SONUÇLARI .....	43
4.1.1. Moment ve Güç Değişimleri.....	43
4.1.2. Özgül Yakıt Tüketimi Değişimleri .....	46
4.2. EMİSYON DEĞİŞİMLERİ.....	47
4.2.1. Oksijen (O <sub>2</sub> ) Değişimleri .....	47
4.2.2. Karbonmonoksit (CO) Değişimleri .....	48
4.2.3. NO <sub>x</sub> Değişimleri.....	48
4.2.4. Karbondioksit (CO <sub>2</sub> ) Değişimleri.....	49
4.2.5. Yanmamış Hidrokarbon (HC) Değişimleri .....	50
4.2.6. Duman Yoğunluğu (K faktörü) Değişimleri.....	51
4.2.7. Lamda ( $\lambda$ ) Değeri .....	52
4.2.8. Egzoz Gazı Sıcaklığı Değişimleri.....	53
4.3. TİTREŞİM SONUÇLARI .....	54
<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>65</b>
<b>6. KAYNAKLAR.....</b>	<b>66</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>71</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1. Biyodizel döngüsü	26
Şekil 2.2. Bitkisel yağın transesterifikasyonu	28
Şekil 2.3. Biyodizel üretimi	29
Şekil 3.1. Biyodizel üretim düzeneği	31
Şekil 3.2. Biyodizel üretimi (Esterleştirme reaksiyonu)	32
Şekil 3.3. Biyodizel içerisindeki gliserinin çökmüş hali	33
Şekil 3.4. Gliserinden ayrılmış biyodizel	33
Şekil 3.5. Biyodizelin yıkanması ve saf sudan ayrışması	34
Şekil 3.6. Üretilen KYME	34
Şekil 3.7. Deney düzeneğinin şematik görünümü	36
Şekil 3.8. Deney sisteminin resmi	36
Şekil 3.9. K Test emisyon ölçüm cihazı	37
Şekil 3.10. K Test duman ölçer	37
Şekil 3.11. Titreşim ölçümünde kullanılan ekipmanlar	38
Şekil 3.12. İvme ölçerlerin motor üstündeki konumları	39
Şekil 3.12. Yük hücresinin görünümü	41
Şekil 3.13. Yakıt ölçüm düzeneği	42
Şekil 4.1. KYME oranının motor devrine bağlı olarak moment değişimi	44
Şekil 4.2. KYME oranının motor devrine bağlı olarak güç değişimi	45
Şekil 4.3. KYME oranının motor devrine bağlı olarak özgül yakıt tüketimine olan etkileri	46
Şekil 4.4. KYME oranının motor devrine bağlı olarak oksijene olan etkileri	47
Şekil 4.5. KYME oranının motor devrine bağlı olarak CO'ya olan etkileri	48
Şekil 4.6. KYME oranının motor devrine bağlı olarak NOx'e olan etkileri	49
Şekil 4.7. KYME oranının motor devrine bağlı olarak CO <sub>2</sub> 'ye olan etkileri	50
Şekil 4.8. KYME oranının motor devrine bağlı olarak hidrokarbonlara olan etkileri	51
Şekil 4.9. KYME oranının motor devrine bağlı olarak duman koyuluğuna olan etkileri	52



Şekil 4.10. KYME oranının motor devrine bağlı olarak lamda ya olan etkileri	53
Şekil 4.11. KYME oranının motor devrine bağlı olarak egzoz sıcaklığına olan etkileri	54
Şekil 4.12. Zaman bölgesi analiz grafikleri	55
Şekil 4.13. Standart dizel yakıtı ile elde edilen genlik spektrumları	56
Şekil 4.14. KYME20 ile elde edilen genlik spektrumları	57
Şekil 4.15. KYME40 ile elde edilen genlik spektrumları	58
Şekil 4.16. KYME60 ile elde edilen genlik spektrumları	59
Şekil 4.17. Tüm yakıt karışımları için ch3'den alınan verilere göre elde edilen frekans genlik spektrumları	60
Şekil 4.18. Kanal Ch3'den elde edilen titreşim spektrumunun en yüksek I. genlik tepe değerleri	61
Şekil 4.19. Kanal Ch3'den elde edilen titreşim spektrumunun en yüksek II. genlik tepe değerleri	63
Şekil 4.20. Standart dizel yakıtı için 2600 d/d'de tüm kanallar için harmonik frekansları	64

## ÇİZELGE LİSTESİ

	<b><u>Sayfa No</u></b>
Çizelge 2.1. Biyodizelin özellikleri	24
Çizelge 2.2. Biyodizel için geliştirilmiş ülke standartları	27
Çizelge 3.1. Deneylerde kullanılan dizel motorunun özellikleri	35
Çizelge 3.2. Gaz analiz cihazı ölçüm parametre ve aralıkları	38
Çizelge 4.1. Tüm Kanallar İçin Elde Edilen Maksimum I. Tepe Değerleri ve Frekansları	62
Çizelge 4.2. Tüm Kanallar İçin Elde Edilen Maksimum II. Tepe Değerleri ve Frekansları	63

## SİMGELER VE KISALTMALAR

Be	Özgül yakıt tüketimi (g / kWh)
CO	Karbonmonoksit
CO <sub>2</sub>	Karbondioksit
EPDK	Enerji Piyasası Denetleme Kurumu
F	Kuvvet (N)
G	Ağırlık (kg)
H	Isıl Verim ( % )
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Sülfürik asit
K	Işık absorpsiyon katsayısı
KOH	Potasyum hidroksit
KYME	Kanola yağı metil esteri
L	Motor kol boyu (m)
Md	Moment (Nm)
n	Devir sayısı (d/d)
NaOH	Sodyum hidroksit
Ne	Efektif motor gücü (kW, BG)
NO	Azot oksit
NO <sub>x</sub>	Azot oksitler
O <sub>2</sub>	Oksijen
Pe	Güç (kW)
PH	Asit değeri
Pme	Ortalama efektif basınç (kPa)
t	Zaman (s)
YAME	Yağ asidi metil esteri
YEGM	Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü
λ	Hava fazlalık katsayısı

## ÖZET

### **BİYODİZELİN TEK SİLİNDİRLİ BİR DİZEL MOTORUN PERFORMANS, EMİSYON VE TİTREŞİMLERİNE OLAN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

Serdar ALBAYRAK

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Suat SARIDEMİR

Aralık 2014, 71 sayfa

İçten yanmalı motorların esas yakıtını oluşturan petrol kökenli yakıtların sınırlı olması insanları alternatif yakıt bulmaya ve geliştirmeye teşvik etmektedir. Bitkisel yağlardan üretilen biyodizel yakıtlar, dizel motorlar için önemli yenilenebilir alternatif yakıtlardır. Biyodizel yakıtlar, oksijen içerikli, sülfür içermeyen, zehirleyici olmayan, bozunabilir, yüksek setan sayılı ve yağlayıcılık özelliklerine sahiptirler. Biyodizel, dizel yakıtı ile karıştırılarak veya saf olarak kullanılabilir.

Bu çalışmada, transesterifikasyon yöntemi ile kanola yağı metil esteri (KYME) üretilmiştir. Üretilen KYME standart dizel yakıtı ile hacimsel olarak %20, %40 ve %60 oranlarında karıştırılarak KYME20, KYME40, KYME60 yakıtları elde edilmiştir. Elde edilen yakıtların, tam yükte ve farklı devirlerde (1400 d/d, 2000 d/d, 2600 d/d, 3200 d/d) tek silindirli dizel bir motorun performansına, egzoz emisyonlarına ve titreşimine olan etkileri araştırılmıştır.

KYME ve standart dizel yakıt karışım oranı arttıkça, güç, tork, CO ve duman yoğunluğunda düşme, özgül yakıt tüketimi, HC ve NOx emisyonlarında artma görülmüştür. Maksimum motor titreşim genliği KYME60 ile elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, KYME'nin dizel yakıtına yakın özellikler gösterdiğini ve alternatif dizel yakıtı olarak kullanılabileceğini ortaya koymuştur.

**Anahtar sözcükler:** Biyodizel, Emisyon, Kanola yağı, Motor performansı, Titreşim

## **ABSTRACT**

### **INVESTIGATION EFFECT OF BIODIESEL ON A SINGLE CYLINDER DIESEL ENGINE PERFORMANCE EMISSIONS AND VIBRATIONS**

Serdar ALBAYRAK

Duzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Mechanical  
Engineering

Master of Science Thesis

Supervisor: Doç. Dr. Suat SARIDEMİR

December 2014, 71 pages

It's encouraged people to find alternative fuel and improve it that original petroleum fuel, which is the basic fuel of internal combustion engines, is limited. Biodiesel fuels can be produced from vegetable oils are important renewable alternative fuel for diesel engines. It is an oxygenated, sulfur-free, non-toxic, biodegradable, and renewable fuel with a higher cetan number and lubricity. Biodiesel can be used in pure form or mixed with diesel fuel.

In this study, canola oil methyl (COME) was produced with transesterification method. The produced canola oil methyl ester was blended in %20, %40 and %60 (in volume) with standard diesel fuel and COME20, COME40 and COME60 fuels were obtained. The blends were tested in the one cylinder diesel engine at 1400, 2000, 2600, 3200 rpm. The effects of blends on the performance, exhaust emissions and vibration of the engine were examined at full load.

When the ratio of canola oil methyl ester in standard diesel fuel is increase; reduction on engine power and torque, increase on specific fuel consumption, decreasing on CO, CO<sub>2</sub> and smoke density, increasing on HC and NO<sub>x</sub> emissions has been observed. The maximum engine vibration amplitude was obtained with COME60. The obtained results show that characteristics of canola oil methyl ester close with diesel fuels and it could be used as an alternative diesel fuel.

**Keywords:** Biodiesel, Canola oil, Emission, Engine performance, Vibration

## **EXTENDED ABSTRACT**

### **INVESTIGATION EFFECT OF BIODIESEL ON A SINGLE CYLINDER DIESEL ENGINE PERFORMANCE EMISSIONS AND VIBRATIONS**

Serdar ALBAYRAK

Duzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Mechanical  
Engineering

Master of Science Thesis

Supervisor: Doç. Dr. Suat SARIDEMİR

December 2014, 71 pages

#### **1. INTRODUCTION:**

Oil sector has a very important place in Turkey's economy and the world. However, a fossil fuels will run out in the near future. Clean and renewable energy studies have been continued since 1970 for reduced negative impact of fossil-based fuels on environment. An alternative fuel is technically applicable, environmentally safe and can be obtain easily and economically. Biodiesel is one of the alternative fuels and can be produce vegetable or animal oils. Vegetable oils are canola oil, sunflower oil, soybean oil, flax seed oil and cotton seed oil. Many studies have examined about biodiesel fuels on engine performance and exhaust emissions. But, a few studies have examined the effects of biodiesel fuels on engine vibration In this study, canola oil methyl ester (COME) was produced by transesterification method with refined canola oil. The effect of COME on the single cylinder diesel engine performance, exhaust emissions and vibration characteristics were experimentally investigated at full engine load and different engine speeds (1400 rpm, 2000 rpm, 2600 rpm, 3200 rpm).

#### **2. MATERIAL AND METHODS:**

In this study, the COME was produced transesterification method. The produced canola oil methyl ester was blended in %20, %40 and %60 (in volume) with standard diesel fuel and COME20, COME40 and COME60 fuels were obtained. The effect of different COME blended fuels on the single cylinder diesel engine's performance, exhaust emissions and vibration characteristics were experimentally investigated at a full engine load and different engine speeds. The COME was produced with a small-scale biodiesel production mechanism.

### **3. RESULT AND DISCUSSION**

The highest torque values were obtained with standard diesel fuel. In addition, the maximum torque value for all fuels 2200 rpm occurred. The torques values were obtained 19 Nm, 18 Nm, 17.6 Nm and 17 Nm with COME0, COME20, COME40, and COME60 respectively at 2200 rpm engine speed. The maximum power values were obtained 6.02 kW, 5.09 kW, 4.93 kW, and 4.6kW with COME0, COME20, COME40, and COME60 respectively at 3200 rpm engine speed. The specific fuel consumption is higher at low and high engine speeds then moderate engine speeds for all fuel blends. The NO<sub>x</sub> and HC emissions of COME blends are higher then standard diesel fuel. The CO emissions of COME blends are lower then standard diesel fuel.

### **4. CONCLUSION AND OUTLOOK:**

The torque and power values were decreased with the use of COME blended fuels compared to standard diesel fuel. O<sub>2</sub> content of exhaust gas was increased with COME blended fuels. Also, the exhaust gas temperature of COME blended fuels were obtained lower than standard diesel fuel. The highest NO<sub>x</sub> values were obtained with the use of COME60. The smoke density was decreased with the use of COME blended fuels. The maximum vibration amplitude value was obtained with COME60. The vibration amplitude was increased with engine speed.

# 1. GİRİŞ

## 1.1. AMAÇ VE KAPSAM

Petrol sektörü, gerek dünya ve gerekse Türkiye ekonomisinde çok önemli bir yere sahiptir. Ancak yakın gelecekte fosil kökenli yakıtların tükeneceği bilinen bir gerçektir. Fosil kökenli yakıtların yerini alabilecek, çevreye zararlı etkileri azaltılmış temiz ve yenilenebilir enerji kaynakları elde etmeye yönelik araştırmalar; özellikle 1970’li yıllardaki petrol bunalımından bu yana sürdürülmektedir. Bu çalışmalar elektrik enerjisi, güneş enerjisi, sıvılaştırılmış petrol gazları ve doğalgaz ile bitkisel yağlar üzerinde yoğunlaşmaktadır. Araştırmaları günümüze kadar uzanan alternatif yakıtlardan birisi de, yakıt olarak özellikle bitkisel ya da hayvansal kaynaklı yağlardan biyoyakıt (biyodizel) elde edilmesidir. Biyodizel, standart dizel yakıt ile benzer yanma özellikleri göstermektedir. Dizel yakıtlarda bulunan kükürt bileşikleri atmosfere yayılarak sülfürik asit yağmurlarına yol açarken, bitkisel yağların sülfür içerikleri sifira yakın olduğundan dolayı çevresel açıdan daha güvenlidir (Srivastava and Prasad, 2000).

Avrupa Birliği’nin 2003/30/EC direktifi ile 2005 sonunda piyasaya arz edilen fosil yakıtlara %2 oranında biyodizel eklenmesi zorunluluğu getirilmiştir (Anonim). Bununla birlikte, Resmi Gazetede yayımlanan 27 Eylül 2011 tarih ve 28067 sayılı “Motorin Türlerine İlişkin Teknik Düzenleme Tebliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Tebliğ”e göre Piyasaya akaryakıt olarak arz edilen motorin türlerinin, yerli tarım ürünlerinden üretilmiş yağ asidi metil esteri (YAME) içeriğinin: 1/1/2014 tarihi itibariyle en az %1, 1/1/2015 tarihi itibariyle en az %2, 1/1/2016 tarihi itibariyle en az %3 olması zorunludur (Anonim 2014).

Alternatif bir yakıt; teknik olarak uygulanabilir, ekonomik olarak geleneksel dizel yakıtla rekabet edebilir, çevresel açıdan güvenli ve kolay temin edilebilir olmalıdır. Bu kriterlerden yola çıkıldığında, trigliseritler (bitkisel ve hayvansal yağlar) ve türevleri, geleneksel dizel yakıtı alternatif olabilecek niteliktedir. Bitkisel yağların dizel motorlarda kullanımını yeni bir kavram değildir. Bitkisel yağların yakıt olarak kullanılabilirliği, Rudolf Diesel’in dizel motoru keşfetmesinden ve yer fıstığı yağını yakıt olarak kullandığı ilk dizel motorunu 1900 yılında “Paris Fuarı”nda tanıtmasından beri bilinmektedir. O dönemlerde petrolün bolluğu, bitkisel yağlara göre daha ucuz olması ve bitkisel yağların kullanımında ortaya çıkan bazı problemlerden dolayı bitkisel



yağların yaygın kullanımına geçilememiştir. Günümüzde ekonomik bir değer oluşturacak biyodizel üretim kaynakları; yağ bitkileri ve yağlı tohumlar, atık kızartma yağları ve hayvansal yağlardır. Bitkisel yağların başlıcaları: kanola yağı, ayçiçek yağı, aspir yağı, soya yağı, keten tohumu yağı ve pamuk tohumu yağıdır.

Literatürde farklı bitkisel yağlardan elde edilen biyodizel yakıtların motor performans ve egzoz emisyonlarına olan etkilerinin incelendiği birçok çalışma olmasına rağmen, biyodizel yakıt karışımlarının motor titreşimine olan etkilerinin incelendiği az sayıda çalışma olduğu görülmüştür. Scholl ve Sorenson (1993) tarafından yapılan çalışmada, bitkisel yağların metil esterleri, dizel motorlarında alternatif yakıt olarak denenmiştir. Direkt püskürtmeli bir dizel motorunda standart dizel yakıtı ile soya metil esterinin karşılaştırılması amaçlanan bu çalışmada, motor performansı, egzoz emisyonları ve ısı kayıpları araştırılmıştır. Yapılan deneysel çalışma ile, değişik enjektör meme çapları ve farklı enjeksiyon zamanlamasının motor performansına olan etkileri incelenmiştir. Sonuçta, soya metil esterinin HC emisyonu ve duman koyuluğu bakımından standart dizel yakıtından daha iyi olduğu görülmüştür (Scholl and Sorenson 1993). Hassett ve Hasan (1992) yaptıkları çalışmada, ayçiçeği metil ester üretimi yaparak dizel bir motorda denemişlerdir. Metil ester üretiminde, ayçiçeği yağı ile metil alkol karışımına sodyum ilave edilmiş ve bu karışım büyük bir kazanda 62-65 °C’ de 2 saat süreyle karıştırılmıştır. Karışımın dibinde gliserin birikmeye başlayınca karışım soğumaya bırakılmış ve dipte biriken gliserin karışımdan ayrılmıştır. Daha sonra karışım sıcak su ile yıkanarak karışımda kalan gliserin, reaksiyona girmeyen metanol ve katalizör ham esterden ayrılmıştır. Distilasyon yapılarak saf metil ester elde edilmiştir. Üretilen metil ester dizel motorda yakıt olarak kullanılmış ve testlerde motor orta yükte ve orta hızda iken performans değerleri tespit edilmiştir. El edilen değerlerin standart dizel yakıt kullanımı ile elde edilen değerlere yakın olduğu bildirilmiştir (Hasset D.J. ve Hasan R.A.1992). Altın ve arkadaşları (2001) tarafından yapılan çalışmada, enjeksiyon öncesinde ısıtılan ve enjeksiyon basıncı arttırılan ayçiçeği yağı ve ayçiçeği yağı + standart dizel yakıt karışımlarının türbülans odalı bir dizel motorun performansına olan etkileri incelenmiştir. Deney sonuçları, ayçiçeği yağı ve ayçiçeği yağı/standart dizel yakıt karışımlarının performans açısından motorine yakın olduğunu, ancak ayçiçeği yağının viskozitesinin yüksek oluşu, zamanla kuruma ve düşük sıcaklıklarda katılaşma eğilimi nedeniyle çözümlenmesi gereken akış ve atomizasyon problemleri olduğunu ortaya koymuştur (Altın vd., 2001). Çetinkaya (1994), yakıt olarak ayçiçeği yağı

kullanarak dizel motorlarının performansı üzerine çalışmıştır. 4 silindirli türbülans odalı bir traktör motorunda atomizasyon problemlerini gidermek için püskürtme basıncını arttırarak denemeler yapmıştır. Standart dizel, ayçiçeği yağı ve standart dizel+ ayçiçeği yağı karışımlarının devre bağlı olarak motor egzoz gaz sıcaklığına olan etkileri incelenmiştir. Ayçiçeği yağı ve standart dizel + ayçiçeği yağı karışımlarının egzoz sıcaklığının, motorinden %1.5 – 15 daha yüksek olduğunu saptamıştır. Bunun yanmanın gecikmesi dolayısı ile, egzoz zamanında yanmamış yakıt kalıntılarının fazla olmasından kaynaklanabileceğini belirtmiştir. Ayçiçeği yağı karışımı kullanımından sonra enjektör ve silindir kapağı sökülerek incelenmiş ve ince bir karbon tabakası ile kaplandığı görülmüştür. Bu tabakanın motorun çalışmasına engel olmayacağı belirtilmiştir (Çetinkaya 1994). Peterson ve arkadaşları (1995) tarafından yapılan çalışmada, soya etil esterinin 4 silindirli direkt püskürtmeli turbo şarjlı dizel bir motorun performans ve egzoz emisyonlarına olan etkisi incelenmiştir. Soya etil esteri ile, motor güç ve moment değerlerinde %5 azalma, yakıt tüketiminde %7 artış olduğu, emisyon testlerinde ise HC'nin %54, CO'nun % 46, NOx'in %14.7 oranlarında azaldığı, CO<sub>2</sub> değerinin ise % 14 arttığı bildirilmiştir (Peterson et al. 1995). Radu ve Mircea (1997) tarafından yapılan çalışmada, bitkisel yağların yenilenebilir olması, düşük oranda sülfür içermesi, güvenli depolanabilmesi ve sağlık açısından risk taşımamasından dolayı alternatif yakıt olarak kullanılabilirliği, fakat düşük ısı değeri ve yüksek viskozitelerinin dizel motorlarda problemler oluşturabileceğini bildirmişlerdir. Çalışmada, yağ asitleri alınmış ayçiçeği yağı ve ham ayçiçeği yağı ile bu iki yağın dizel yakıtı ile karıştırılması sonucu elde edilen yakıt karışımlarının % 20, % 40 ve tam yükte motor performansına olan etkileri incelenmiştir. Test sonuçlarında ayçiçeği yağı ve ayçiçeği yağı/dizel karışımlarının düşük yanma ısı ve yüksek viskoziteye sahip olduğu ve ham olarak kullanılan ayçiçeği yağının daha düşük güç, moment değerleri ve daha yüksek yakıt tüketimi değerleri verdiği belirtilmiştir (Mircea and Radu, 1997). Altın (1998), soya yağı metil esterlerinin viskozitelerini düşürmek için alkollerle karıştırmıştır. Elde ettiği yakıt karışımının motor performansına olan etkilerini, dizel yakıtı ile karşılaştırarak ölçmüştür. Soya yağı metil esteri kullanıldığında dizel yakıtı göre motor performansında çok az bir düşüş olduğu belirtilmiştir (Altın R. 1998). İleri (2005) tarafından yapılan çalışmada, kanola yağı metil esterinin dizel motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılabilirliği test edilmiştir. Kanola yağı metil esteri, 4 silindirli direkt püskürtmeli ve turbo şarjlı bir dizel motorunda 1750-4400 d/d arasında tam yük testine tabi tutulmuştur. Çalışmada kanola yağı metil esterinin, motor torkunu %0.63, gücünü ise %1.21 oranında düşürdüğü

belirtilmiştir. Özgül yakıt tüketiminde kanola yağı metil esteri ile %11.1 artış olduğu ifade edilmiştir. Kanola yağı metil esterinin ısı değerinin düşük ve yoğunluğunun yüksek olmasından dolayı, özgül yakıt tüketiminin yüksek olduğu bildirilmiştir. Ayrıca CO emisyonlarında ve duman yoğunluğunda sırasıyla %18.83 ve %58.75 oranında azalma olduğu ifade edilmiştir (İleri 2005). Koçak (2005) tarafından yapılan çalışmada, fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenen fındık yağı metil esteri, dizel motorlarda kullanılabilirliği test edilmiştir. Deneyler, 4 silindirli direkt püskürtmeli ve turbo şarjlı bir dizel motorunda 1750-4500 d/d arasında tam yükte yapılmıştır. Fındık yağı metil esteri ile elde edilen motor tork ve güç değerlerinin, dizel yakıtına göre sırasıyla %1.16 ve %1.61 düştüğü, özgül yakıt tüketiminin %11.8 arttığı ifade edilmiştir. Duman koyuluğu (is) oranının ise ortalama olarak %68.6 oranında azaldığı tespit edilmiştir (Koçak 2005). Alpgiray ve Gürhan (2007) tarafından yapılan çalışmada, yakıt olarak kullanılan kanola yağının tek silindirli bir dizel motorunun performans ve emisyon karakteristiklerine olan etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Bu amaçla, direkt püskürtmeli, 5.5 kW gücünde 4 zamanlı bir dizel motor kullanılmıştır. Araştırmada çalışmalar iki ana bölümden oluşmuştur. Birinci bölümde kanola yağı dizel yakıtına hacimsel olarak %20, 40, 60, 80 oranlarında karıştırılarak seyreltilmiş, daha sonra emisyon ve motor denemeleri yapılmıştır. İkinci bölümde ise, transesterifikasyon ile kanola yağı metil esteri elde edilmiş, emisyon ve motor performans deneyleri yapılmıştır. Sonuç olarak kanola yağı metil esteri ile motordan dizel yakıtına daha yakın performans değerleri elde edilmiştir (Alpgiray ve Gürhan 2007). Aksoy ve arkadaşları (2009) çalışmalarında, alternatif yakıt olarak kanola yağından metil esterleştirme yöntemi kullanılarak biyodizel üretimi gerçekleştirilmiştir. Biyodizel yakıtının viskozitesinin sıcaklığa bağlı olarak değişiminin incelenmesi için dinamik viskozite değerleri 20–100°C aralığında 10°C aralıklar ile ölçülmüştür. Viskozite ölçümü sonucunda kanola yağı metil esteri için 50°C ve 100°C ön ısıtma sıcaklıklarının uygulanması kararlaştırılmıştır. Ön ısıtmanın motor performans ve emisyonlarına etkileri tam yük ve değişken hız koşullarında incelemiştir. Deney sonuçlarına bakıldığında biyodizel ile standart dizel yakıtına göre motor torkunda, 23°C ve 50°C biyodizel sıcaklığında sırasıyla %7.63 ve %6.29 oranında azalma, motor gücünde %5.97 ve %4.32' lik bir azalma görülmüştür. Biyodizele ön ısıtma uygulanması ile motor momenti ve gücünde artış olduğu belirtilmiştir. 23°C'deki biyodizel yakıtı ile standart dizel yakıtına göre özgül yakıt tüketiminde %14.67 oranında artış, 50°C'deki biyodizel yakıtı ile standart dizel yakıtına göre %12.84 oranında azalma görülmüştür. CO emisyonu

dizel yakıtına göre, 23°C ve 50°C’deki biyodizel yakıt ile sırasıyla %4.4 ve %34 oranında azalmıştır. HC emisyonunda, 23°C’deki biyodizel ile %19.3 artış, 50°C’deki biyodizel ile %26.2 azalma olduğu belirtilmiştir (Aksoy ve diğ. 2009). Öztürk ve Bilen (2009) çalışmalarında, dizel motorlarında alternatif yakıt olarak kanola yağı metil esteri kullanmışlardır. %100 standart dizel, %50 standart dizel yakıtı + %50 biyodizel (karışım yakıtı) ve %100 biyodizel yakıtı kullanılarak yapılan deneylerde aynı şartlar altında bir dizel motorunda çeşitli devir ve yüklerde ölçümler yapılmıştır. Biyodizelin saatlik yakıt tüketim değerlerinin, dizel yakıtına göre ortalama %12; karışım yakıtı saatlik yakıt tüketim değerlerinin ise, dizel yakıtına göre ortalama %8 oranında yüksek olduğu tespit edilmiştir. NOx emisyonu, %100 biyodizel ile standart dizel yakıtına göre %1.7, karışım yakıtı ile standart dizel yakıtına göre %1.2 artmıştır. Duman yoğunluğu %100 biyodizel ile en düşük değerde çıkmıştır. En yüksek duman yoğunluğu, standart dizel yakıtında görülmüştür. Deneylerden elde edilen sonuçlar ile kanola yağı metil esterinin egzoz emisyonu açısından olumlu sonuçlar verdiği belirtilmiştir (Öztürk ve Bilen 2009). Özer ve arkadaşlarının (2011) yapmış oldukları çalışmada, kanola yağı metil esteri standart dizel yakıtı karışımlarının, tek silindirli sıkıştırma ile ateşlemeli direk püskürtmeli hava ile soğutmalı bir motorda alternatif yakıt olarak kullanılmasının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkileri incelenmiştir. Standart dizel yakıtının içerisine hacimsel olarak %25, %50, %75 oranında katılan kanola yağı metil esteri, tam yük, değişik devir testlerine tabi tutulmuş; motor gücü, motor momenti, fren özgül yakıt tüketimi, karbon monoksit (CO), azot oksit (NOx) ve duman yoğunluğunu karşılaştırmalı olarak incelemiştir. Yapılan çalışma sonuçları; standart dizel yakıtının içerisine katılan kanola yağı metil esteri arttıkça; motor gücünde ve motor momentinde azalma, fren özgül yakıt tüketiminde artma, CO ve HC emisyonunda azalma, NOx emisyonlarında ve duman yoğunluğunda artma olduğu belirtilmiştir (Özer ve diğ. 2011). Labeckas ve Slavinskas (2006) yapmış oldukları çalışmada, kanola tohumu yağından elde ettikleri biyodizeli %5, %10, %20 ve %35 oranlarında standart dizel yakıtına karıştırarak 4 silindirli bir dizel motorda test etmişlerdir. HC emisyonları tüm biyodizel karışımlarında daha düşük çıkarken, karışımdaki biyodizel oranı arttıkça NOx emisyonları artmıştır. Bu durumun biyodizelin yüksek viskozitesi ve içinde bulundurduğu oksijenden kaynaklandığı vurgulanmıştır. Biyodizel karışımlarının özgül yakıt tüketiminde artış tespit edilmiştir (Labeckas ve Slavinskas 2006). Örnek (2007) tarafından yapılan çalışmada, soya, kanola, pamuk ve atık ayçiçeği yağlarından üretilen biyodizeller standart dizel yakıt ile %5 oranında karıştırılmıştır. Çalışmada; %5 soya

biyodizeli + %95 standart dizel yakıtı, %5 kanola biyodizeli + %95 standart dizel yakıtı, %5 pamuk biyodizeli + %95 standart dizel yakıtı ve %5 atık yağ biyodizeli + %95 standart dizel yakıtı olarak 4 farklı yakıt karışımı kullanılmıştır. Hazırlanan karışımlar ve standart dizel yakıt, tam yükte ve 1500, 2200 ve 3000 d/d dizel motor ünitesinde test edilerek, biyodizel kullanımının motor egzoz emisyonları ve performansına etkileri ortaya konmuştur. Elde edilen sonuçlara bakıldığında, CO emisyonlarında ortalama %9-%14 ve is emisyonlarında %75 düşme görülmüş, SO<sub>2</sub> emisyonlarında biyodizel karışımları ile 8-17 ppm artış görülmüştür. Karışımdaki biyodizel oranının artması ile NO<sub>x</sub> emisyonlarında artış olduğu belirtilmiştir (Örnek 2007). Şahin (2013) yapmış olduğu çalışmada, saf biyodizel, standart dizel yakıtı ile karıştırılarak B2, B5, B20 ve B50 yakıt karışımları elde edilmiştir. Deney yakıtlarından elde edilen maksimum tork değerlerine bakıldığında, en yüksek değer motorin ile 1000 d/d' da yaklaşık 59.6 Nm iken, B100 yakıtı ile 1200 d/d' da yaklaşık 53.8 Nm olduğu belirtilmiştir. Maksimum güç değerlerine bakıldığında, en yüksek değer motorin ile 2100 d/d' da yaklaşık 10.96 kW iken, B100 yakıtı ile 2000 d/d' da yaklaşık 10.23 kW olarak ölçülmüştür. Minimum özgül yakıt tüketimi değerlerine bakıldığında ise en düşük değer, standart dizel yakıtı ile 1000 d/d' da yaklaşık 231.36 g/kWh iken, B100 yakıtı ile 1200 d/d' da yaklaşık 296.73 g/kWh olarak ölçülmüştür (Şahin 2013). Çelikten ve Arslan (2008) yapmış oldukları çalışmada, dizel yakıtına alternatif olarak kullanılan kanola ve soya yağı metil esterlerinin motor performans ve emisyon değişimlerine olan etkileri incelenmiştir. Standart dizel yakıtı ile yukarıda belirtilen metil esterler, 4 zamanlı ve 4 silindirli direkt püskürtmeli dizel motorunda denenmiştir. Elde edilen sonuçlara bakıldığında, dizel yakıtı ile sağlanmış en yüksek motor momenti 1600d/d' da 191Nm ve en yüksek güç değeri 34.2 kW, kanola ve soya yağı metil esterlerinin en yüksek moment değeri 1600 d/d' da sırasıyla 182 Nm ve 175 Nm, en yüksek güç değerleri ise sırasıyla 2400 d/d' da 33.4 kW ve 31.7 kW olarak belirtilmiştir. Ortalama tork miktarındaki düşüş, kanola yağı metil esterinde %4.3 iken soya yağı metil esterinde %8.5 olmuştur. Ortalama güç miktarındaki düşüş kanola için %4 ve soya için %8.4'tür. Emisyon değerlerine bakıldığında, maksimum motor tork devrinde CO emisyonu kanola yağı metil esterinde %27, soya yağı metil esterinde %39 oranında düşmüştür. Ayrıca NO<sub>x</sub> emisyonunda kanola yağı metil esterinde %13, soya yağı metil esterinde %20 civarında artış olmuştur (Çelikten ve Arslan 2008). Yücesu ve arkadaşları (1999) tarafından yapılan çalışmada, tek silindirli bir dizel motorunda alternatif yakıt olarak bitkisel yağ kullanımının, motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Maksimum

motor gücü 1700 d/d' da standart dizel yakıtı ile 7.41 kW olarak 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 edilmiştir. Standart dizel yakıtı ile yapılan testlerde termik verim 1500 d/d' da %35, bitkisel yağlarda ise 1300-1400 d/d' da %34 olarak belirlenmiştir. Emisyon sonuçlarına bakıldığında duman koyuluğu 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 NOx değeri standart dizel yakıtı ile 2069 mg/Nm<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir. Bitkisel yağlarla yapılan testlere bakıldığında ise metil esteri yakıtların NOx değerleri ham yağların NOx değerlerinden yüksek olduğu belirtilmiştir (Yücesu ve diğ. 1999). Öztürk ve Bilen (2009) tarafından yapılan çalışmada, dizel motorlarında alternatif yakıt olarak kanola yağı metil esteri kullanılmıştır. Deneyler %100 dizel, %50 dizel yakıtı + %50 biyodizel (karışım yakıtı) ve %100 biyodizel yakıtı ile aynı şartlar altında çeşitli devir ve yüklerde yapılmıştır. Deneyler sonucunda, dizel motorların belirgin bir revizyona ihtiyaç duyulmaksızın alternatif yakıt olarak dizel ve biyodizel karışımlarının kullanılmasına uygun olduğu ve kanola yağı metil esterinin egzoz emisyonu açısından olumlu sonuçlar verdiği belirtilmiştir (Öztürk ve Bilen 2009). 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 olan etkileri incelenmiştir. Titreşim ölçümleri motor bloğuna yatay, dikey ve eksenel yönde monte edilmiş ivme ölçerler ile yapılmıştır. İvme ölçerlerden alınan verilere göre zaman bölgesi analizi ve frekans analizleri yapılmıştır. Maksimum titreşim artışı motorun 1800 d/d ile 2000 d/d 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 (Taghizadeh and et. al. 2012). Taghizadeh ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, motor devrinin el ile kumandalı küçük bir tarla makinesinin titreşimine olan etkileri incelenmiştir. Motor devrinin artması ile yatay, dikey ve eksenel yönlerde motor titreşim değerlerinin arttığı belirtilmiştir (Taghizadeh, Tavakoli, Ghobadian 2010). Literatürde yapılan çalışmalara göre, dizel yakıtı özelliğine en çok yaklaşabilen bitkisel yağın seçimi, bitkisel yağların alternatif yakıt olarak kullanılmasında önem arz etmektedir. Çeşitli araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda, yağlar içerisinde keten tohumu yağı en düşük viskoziteye sahiptir. Ancak oksidasyon süresi çok düşük olduğundan kararsız bir yapı

göstermektedir. Ayrıca setan sayısı düşük bir değerdedir. Yüksek setan sayısı, yüksek oksitlenme süresi, düşük viskozite, düşük donma noktası ve düşük akma noktası gibi özellikler kanola yağı, mısır yağı, susam yağı, pamuk yağı ve soya yağlarını dizel yakıtı alternatifi olarak ön plana çıkarmaktadır. Ayçiçeği ve yer fıstığı yağları ise, bu yağlardan sonra tercih edilmektedir (Mohammed 1995).

Bu çalışmada, rafine edilmiş kanola yağından transesterifikasyon yöntemi ile KYME üretilmiştir. Üretilen KYME standart dizel yakıtı ile hacimsel olarak %20, %40 ve %60 oranlarında karıştırılarak KYME20, KYME40, KYME60 yakıtları elde edilmiştir. Elde edilen yakıtların, tam motor yükünde ve farklı devirlerde (1400 d/d, 2000 d/d, 2600 d/d, 3200 d/d) tek silindirli dizel bir motorun performansına, egzoz emisyonlarına ve titreşimine olan etkileri araştırılmıştır.

## 2. DİZEL MOTORLARINDA KULLANILAN YAKITLAR VE ÖZELLİKLERİ

### 2.1.DİZEL MOTORLARDA KULLANILAN YAKITLAR

#### 2.1.1. Dizel Motorlarda Kullanılan Yakıtların Özellikleri

İçten yanmalı motorlarda mekanik enerjiyi sağlayan ısı enerjisi, silindir içerisine belirli oranlarda alınmış olan yakıt ile hava arasındaki kimyasal reaksiyon sonucunda oluşur. Kullanılan yakıtın fiziksel ve kimyasal özellikleri silindirlerde oluşan yanma olayını ve neticede elde edilen enerjiyi doğrudan etkiler.

Ham petrolün damıtımı esnasında 200-300 °C kaynama noktası aralığında alınan üçüncü ana ürün dizel yakıttır. Parafin, aromatik ve naften grubu hidrokarbonlar dizel yakıtı için daha uygundur (Yamık 2002).

##### 2.1.1.1 Viskozite

Viskozite, akışa karşı iç direnci ifade eder. Dizel yakıt pompası ve enjeksiyon sistemini etkiler. Yakıtın viskozitesi, enjektörlerden yakıt içerisine püskürtülen yakıtın zerrelelere ayrılması ve homojen bir karışım oluşturmaya etki eden önemli faktörlerdendir. Bu nedenle viskozite, silindir içerisinde meydana gelen yanmayı doğrudan etkilemektedir. Yakıtın viskozitesinin düşük olması daha iyi atomizasyon oluşmasını sağladığından dolayı yanma performansını yükseltir. Fakat viskozitenin çok düşük olması durumunda ise, püskürtme sisteminin farklı bölgelerinde kaçaklar oluşabilmektedir. 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 yakıtlarının viskoziteleri 50 °C’ de 1,5-5 Engler derecesi olmalıdır. Viskoziteleri 5 Engler derecesinin üzerinde olan yakıtlar 40-100 °C’e kadar ısıtılarak kullanılırlar (Safgönül ve diğ. 1995, Doğan 2012).

##### 2.1.1.2. Yakıtın Enerji İçeriği

Yakıtın enerji içeriği, yakıttan ne kadar enerji elde edilebileceğinin bir ölçüsüdür. Yakıtın enerji içeriği, yakıtın kalorifik değeri veya yakıtın alt ısıl değeri veya yakıtın üst ısıl değeri olarak adlandırılır. Genellikle yakıtların enerji içeriğini göstermek için kullanılan yaygın ifade alt ısıl değerdir. Yanma sonucu oluşan ürünlerin, yanma öncesi referans bir sıcaklığa göre toplam entalpilerinin yakıt kütlelerine bölünmesiyle elde edilen



değere ısı değeri denir. Yakıtın yanması ile CO<sub>2</sub> 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. Örneğin kükürtsüz yakıtın enerji içeriği düşük kükürtlü yakıtın enerjisine göre çok az da olsa fazladır. Bu durum, kükürt uzaklaştırmanın bir sonucudur. Çünkü yakıt içerisindeki kükürdü oksitlemek için gereken yanma enerjisi azaltılmış olur. Enerji içeriği yüksek yakıtlar genellikle daha iyi yakıt ekonomisi gösterirler (Doğan 2012, Pireli 2006).

#### *2.1.1.3. Setan Sayısı*

Setan sayısı yakıtın tutuşmaya karşı meyilini ifade eder. Bir başka ifade ile sıkıştırma zamanı sonunda basıncı ve sıcaklığı artmış olan havanın içerisine püskürtülen motorinin kendi kendine tutuşma kabiliyetidir. Bu nedenle sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda kullanılacak yakıtlar için en önemli özelliklerinden birisidir. Dizel motorunda yakıt-hava karışımının kendi kendine tutuşabilmesi için dizel yakıtlarının tutuşma meyillerinin yüksek olması istenir. Setan sayısının düşük olması durumunda, sıkıştırma zamanı sonunda yanma odasında biriken yakıt miktarı artar. Aniden yanan çok miktardaki yakıt, mekanik zorlamalara neden olan yüksek basınçlar (dizel vuruntusu) oluşturur (Yamık 2002, Doğan 2012).

#### *2.1.1.4 Akma Noktası*

Akma yada katılma noktası, motorun düşük sıcaklıklarda çalıştırılması sırasında önem kazanmaktadır. Standart dizel yakıtının özellikle soğuk havalarda akıcılık özelliğini kaybetmemesi gerekir. Akma noktasının yüksek olması, yakıtın soğuk havalarda yakıt sisteminden akışını güçleştirerek motorun çalışmasını engelleyebilir. Özellikle soğuk bölgelerde çalışan dizel motorlarında yakıtın akma noktasını düşürmek için içerisine belirli oranlarda gaz yağı ve değişik kimyasal maddeler katılmaktadır (Pireli 2006, Dinçbaş 2007).

#### *2.1.1.5. Yoğunluk ve API*

Yoğunluk, yakıtın birim hacminin kütlesini ifade eder. Yoğunluk değeri sıcaklığa bağlıdır ve 15 °C referans sıcaklıkta verilir. Yakıt yoğunluğu, yakıtın enerji içeriğinin bir göstergesi olarak da sayılabilir. Genellikle yüksek yoğunluklu yakıt, yüksek enerji içeriğine sahiptir. Yakıtın özgül ağırlığı ise yakıtın yoğunluğu ile ilişkilidir ve aynı hacimdeki yakıt ağırlığının aynı hacimdeki suyun ağırlığına oranı şeklinde ifade edilir. Yakıtın özgül ağırlığı ne kadar küçük ise o kadar çabuk tutuşur. API gravitesi ise

Amerikan Petrol Enstitüsü'nün geliştirdiği bir ölçüdür ve özgül ağırlıkla ters orantılıdır. Dizel yakıt, çeşitli yoğunlukta ve moleküler ağırlıktaki birçok hidrokarbon bileşimlerinin karışımlarından oluşur ve yakıtın toplam yoğunluğu yakıt bileşiminin bir fonksiyonudur. Bu nedenle, yoğunluk özellikle setan sayısı, aromatik içerik, viskozite ve distilasyon karakteristikleri gibi değişkenlerle ilişkilidir. Genellikle yakıt yoğunluğu, püskürtme zamanını, motor gücünü, yakıt tüketimini, yakıt-hava oranını ve is emisyonlarını etkiler. Dizel motorlarda silindir içerisine püskürtülen yakıt miktarı yakıt pompası tarafından hacimsel olarak ölçülür. Bu yüzden, silindire gönderilen yakıt miktarını hacimsel olarak ölçen yakıt sistemleri için, yakıt yoğunluğundaki değişim yanma odasına püskürtülen yakıtın enerji içeriğinde değişime sebep olur. Bunun yanında, yakıtın yoğunluğu artırıldığında, püskürtülen yakıtın hüzmeye uzunluğuna karşı bir direnç oluşur, yakıt tanecikleri silindir içerisinde yavaş ilerler ve yakıtın silindir içerisindeki hüzmeye uzunluğu kısalmıştır. Bu durum püskürtülen yakıtın silindir içerisinde hava ile karışmasını ve buharlaşmasını zorlaştırır. Ayrıca, yakıt/hava oranının etkilediği bazı emisyonlarda (is, CO, CO<sub>2</sub> gibi) yakıt yoğunluğundan etkilenir. Bunun yanında, motor çıkış gücü de yakıt yoğunluğunun artışı ile birlikte artış gösterir. Ancak, sabit bir motor çıkış gücü için (silindire püskürtülen yakıt miktarı sabit ayarlandığında), yakıt yoğunluğunun azalması hacimsel olarak tüketilen yakıt miktarını artırır (Doğan 2012, Dinçbaş 2007).

#### *2.1.1.6. Parlama ve Alevlenme Noktası*

Parlama noktası, yakıtın hem alevlenme hem de uçuculuk özelliğinin bir göstergesidir. 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. Yüksek parlama noktasına sahip yakıtlar daha az uçucu iken, düşük parlama noktasına sahip yakıtlar daha çok uçucu olarak bilinir (Doğan 2012).

#### *2.1.1.7. Uçuculuk*

Uçuculuk yakıtın sıcaklığa bağlı olarak buharlaşma eğiliminin bir ölçüsü olarak kullanılmaktadır. Uçuculuk, hızlı buharlaşma ve düşük viskoziteyi beraberinde getirmesi açısından dizel yakıtları için istenilen bir özellik olmakla birlikte, genel olarak uçuculuk arttıkça setan sayısı azaldığından, dizel yakıtı için uçuculuk pek fazla istenilen bir özellik değildir. Motorun özellikle soğuk havalarda kolay çalışmasında kullanılan

yakıtın uçuculuk özelliği çok etkilidir. Uçuculuk özelliğinin yüksek olması, yanmanın daha verimli ve dumansız olmasını sağlamaktadır. Düşük uçuculuk özelliğine sahip yakıtlar en iyi gücü temin edebilmek ve dumanı azaltmak amacıyla yüksek hızlı motorlar için uygundur (Safgönül ve diğ. 1995).

#### *2.1.1.8. Korozyon Etkisi*

Standart dizel yakıtında bulunan kükürt miktarı korozif ve partikül oluşumunu artırıcı yönde etki eder. Bu nedenle zararlı bir özellik olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle düşük çalışma sıcaklıklarında motor parçalarında korozyona sebep olmaktadır. Kükürt miktarı ASTM 129' da ve IP 3362 ye göre motor hızına bağlı olarak yüksek hızlı motorlarda % 1'in altında olmalıdır (Yamık 2002).

## **2.2. BİYODİZEL**

### **2.2.1. Biyodizelin Tanımı**

Biyodizelin tarihi 1892' de Diesel motorun keşfiyle başlar. Buharla işleyen motorların tekeline son vermek üzere Rudolph Diesel tarafından Diesel motoru geliştirilmiştir. 1898'de Paris Dünya Fuarı'nda, yer fıstığı yağını yakıt olarak kullanan motor sergilenmiştir. Rudolph Diesel 1911'de bitkisel yağların motor yakıtı olarak kullanımının ülkelerin tarımının gelişiminin ciddi bir katkısı olacağını ve 1912'de bitkisel yağların motorlarda kullanımının önemsiz görünebileceğini, ancak bitkisel yağların zamanla petrol ve kömür katranı kadar önem kazanacağını ifade etmiştir (Alpgiray 2006). Biyodizel, kimyasal olarak yenilenebilir yağ kaynağından türetilen uzun zincirli yağlı asitlerin mono alkol esterleri olarak tanımlanmaktadır. Yani biyolojik kaynaklardan elde edilen ester tabanlı bir tür oksijenli yakıttır ve sıkıştırma ile ateşlemeli (dizel) motorlarda kullanılabilir (Conneman 2000). Dizel yakıtına en önemli alternatif yakıtın biyodizel olduğu ifade edilmektedir (Karaosmanoğlu, 2002). Biyodizel; bitkisel (kanola, soya, fındık, ayçiçeği, pamuk, mısır v.b bitkilerin) ya da hayvansal kökenli yağların bir katalizör eşliğinde kısa zincirli bir alkol ile (metanol veya etanol) reaksiyonu sonucunda açığa çıkan, yakıt amaçlı ürünün adıdır. Evsel kızartma yağları ve hayvansal yağlar da biyodizel hammaddesi olarak kullanılabilir. Biyodizel petrol içermez; fakat saf olarak veya her oranda petrol kökenli dizelle karıştırılarak yakıt olarak kullanılabilir. Saf biyodizel ve dizel-biyodizel karışımları herhangi bir dizel motoruna, motor üzerinde herhangi bir modifikasyona gerek kalmadan veya küçük değişiklikler yapılarak kullanılabilir (Anonim 2014).

### 2.2.2. Biyodizelin Özellikleri

Biyodizelin alevlenme noktası, dizelden daha yüksektir (>110 °C). Bu özellik biyodizelin kullanılması, taşınması ve depolanmasında daha güvenli bir yakıt olmasını sağlar. Biyodizel petrol kaynaklı dizel ile her oranda tam olarak karıştırılabilmektedir. Bu özellik petrol kaynaklı dizelin kalitesini yükseltir. Biyodizelin setan sayısı, dizelin setan sayısından daha yüksek olduğu için motor daha az vuruntulu çalışmaktadır. Biyodizel, dizel yakıt kullanan motorlarda herhangi bir teknik değişiklik yapılmadan veya küçük değişiklikler yapılarak kullanılabilir. 1996 yılı öncesinde üretilen bazı araçlarda kullanılan doğal kauçuk malzemesi biyodizel ile uyumlu kullanılamamıştır. Çünkü biyodizel, doğal kauçuktan yapılan hortum ve contaları tahrip etmiştir. Ancak, bu problemler B20 (%20 biyodizel - %80 dizel) ve daha düşük oranlı biyodizel/dizel karışımlarında görülmez. Biyodizel çözücü özelliği nedeniyle dizel yakıtın depolanmasından kaynaklanan yakıt deposu duvarlarındaki ve borulardaki kalıntıları (tortuları) çözdüğü için filtrelerin tıkanmamasına yönelik önlemler alınmalıdır. (Anonim 2014).

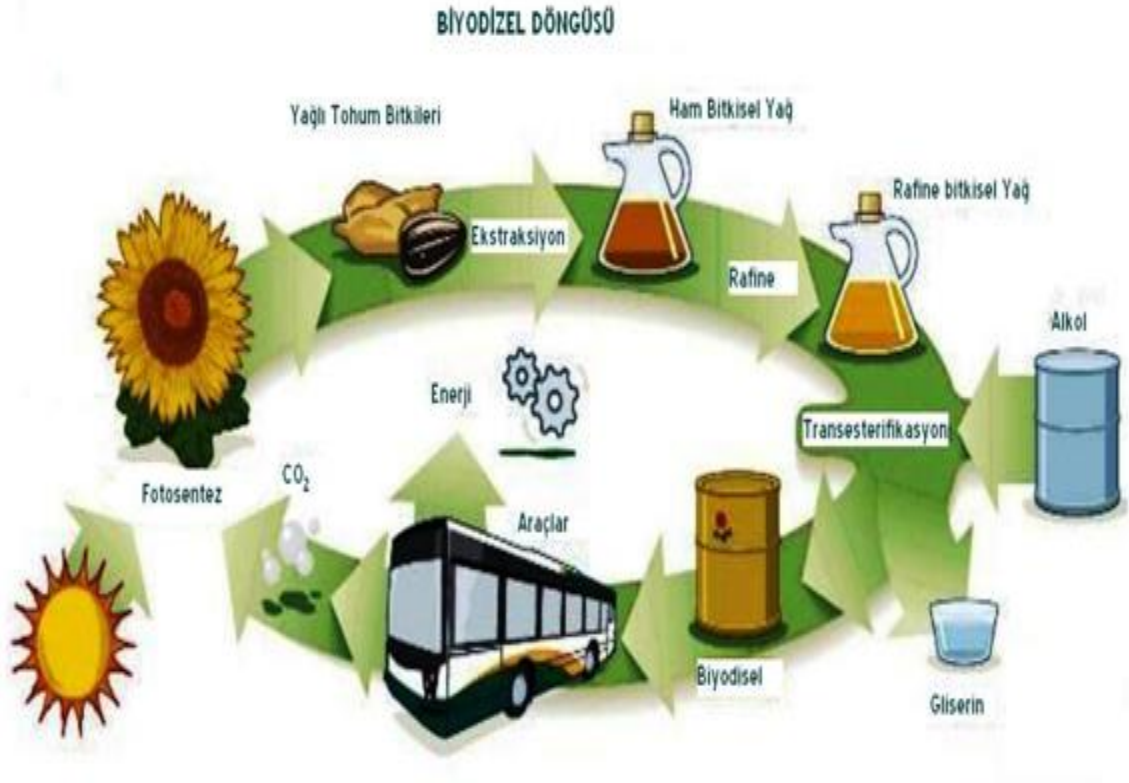
Çizelge 2.1. Biyodizelin özellikleri (Anonim 2014).

Yakıt Özellikleri	Birim	Sınır Değeri (min - max)	Biyodizel	Dizel
<b>Kapalı Formül</b>			$C_{19}H_{35,2}O_2$	$C_{12,226}H_{23,29}S_{0,0575}$
<b>Molekül Ağırlığı</b>	g/mol		296	120 - 320
<b>Alt Isıl Değeri</b>				
<b>Kütleli</b>	Mj/kg		37,1	42,7
<b>Hacimsel</b>	Mj/L		32,6	35,5
<b>Özgül Ağırlığı (15 °C)</b>	kg/L	0,875 - 0,90	0,87 - 0,88	0,82 - 0,86
<b>Kinematik Viskozite (40 °C)</b>	mm <sup>2</sup> /s	2 - 4,5	4,3	2,5 - 3,5
<b>Tutuşma Noktası</b>	°C	55 - ...	>100	>55
<b>Kükürt İçeriği</b>	% Kütleli	... - 0,05	<0,01	<0,05
<b>Tutuşma Katsayısı</b>	Setan Sayısı	49 - ...	>55	49 - 55
<b>Kül</b>	% Kütleli	... - 0,01	<0,01	<0,01
<b>Su Miktarı</b>	mg/kg	... - 200	<300	<200

### 2.2.3 Biyodizelin Çevresel Etkileri

Biyodizel, tarımsal bitkilerden elde edilmesi nedeniyle, fotosentez yolu ile CO<sub>2</sub>'yi dönüştürüp karbon döngüsünü hızlandırdığı için, sera etkisini artırıcı yönde etki göstermez. Tükettiğimiz biyodizelden atmosfere verilen CO<sub>2</sub>, biyodizel üretiminde

kullanılacak olan yağ bitkisi tarafından en fazla bir yıl içinde geri alınacaktır. Bu açıdan bakıldığında biyodizel üretimi, CO<sub>2</sub> emisyonları için doğal bir yutak olarak nitelendirilebilir ve dünyanın en önemli çevresel sorunlarından olan ve fosil yakıtların geri alınamayan CO<sub>2</sub> emisyonlarının yol açtığı sera etkisi sonucunda ortaya çıkan küresel ısınmadan kaynaklanan olumsuzlukların indirgenmesi bağlamında önemli katkılar sağlar. Şekil 2.1’de biyodizel döngüsü görülmektedir. Suyu bırakıldığında 28 günlük bir sürecin sonunda biyodizelin yüzde 95’i çözülürken, dizelde bu oran yüzde 40 mertebelerine kadar düşmektedir. Bakteriler tarafından kolayca ayrıştırılabildiği için çevre dostu olarak kabul edilen biyodizelin içerdiği kükürt miktarı, dizele oranla çok daha düşüktür. Bu da dizel yerine biyodizelin kullanılması durumunda, asit yağmuru gibi olumsuz çevresel etkilerin oluşmasını önler. Ayrıca CO emisyonlarının düştüğü, partikül madde ve yanmamış hidrokarbonların (HC) da daha az salındığı kanıtlanmıştır. Saf biyodizel ve dizel-biyodizel karışımı kullanımı ile CO, PM, HF ve SO<sub>x</sub> emisyonlarında azalma, NO<sub>x</sub> ve HC emisyonlarında ise artma görülmektedir. Sülfür emisyonu saf biyodizel kullanımında tamamen bertaraf edilebilmektedir. Bu çok önemli bir avantajdır. Bu emisyon özellikleri ile kanser yapıcı etkenler azalmakta ve kanser riski % 90’a varan oranlarda düşmektedir. Ozon tabakasına olan olumsuz etkiler biyodizel kullanımında dizel yakıtı nazaran % 50 daha azdır. Biyodizel, dizel yakıt kullanımından kaynaklanan ve insan sağlığını tehdit eden bir çok çevresel faktörü ortadan kaldırmaktadır (Anonim 2014).



Şekil 2.1. Biyodizel döngüsü (Anonim 2014).

#### 2.2.4. Biyodizel Standartları

Biyodizel için geliştirilmiş ülke standartları Çizelge 2.2' de görülmektedir. Ülkemizde TS EN 14214 Standardı ile biyodizel üretimi yapılmaktadır.

**Çizelge 2.2.** Biyodizel için geliştirilmiş ülke standartları (İleri, 2005).

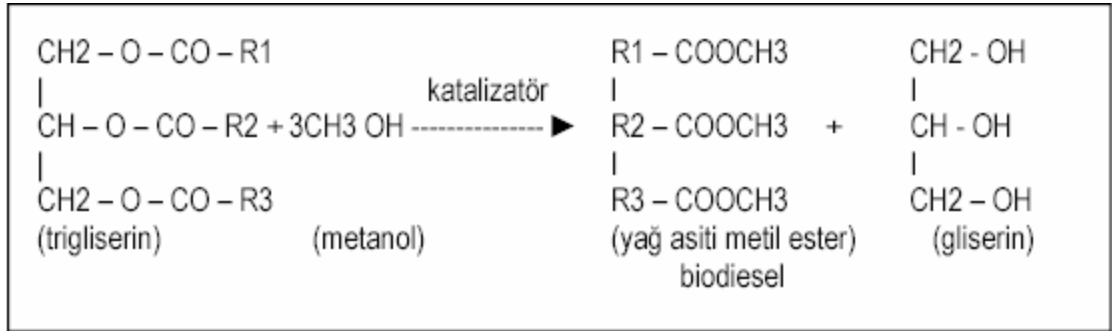
Özellikler	Avrupa	Avusturya	Fransa	Almanya	İtalya	İsveç	ABD
Standart	EN 14214	ON C 1191	Journal Official	DIN V 51606	UNI 10635	SS 155436	ASTM D-6751
Tarih	2003	Temmuz 1997	Eylül 1997	Eylül 1997	Kasım 1996	Kasım 1996	Ocak 2002
Uygulama	YAME <sub>1</sub>	YAME	BYME <sub>2</sub>	YAME	BYME	BYME	YAMAE <sub>3</sub>
Yoğunluk, 15 °C, g/cm <sup>3</sup>	0,86-0,90	0,85-0,89	0,87-0,90	0,875-0,90	0,86-0,90	0,87-0,90	-
Viskozite, 40 °C, mm <sup>2</sup> /s	3,5-5	3,5-5	3,5-5	3,5-5	3,5-5	3,5-5	1,9-6
Distilasyon, % 95, °C	-	-	≤360	-	≤360	-	≤360
Alevlenme Noktası, °C	≥120	≥100	≥100	≥110	≥100	≥100	≥130
Soğukta Filtre Tıkanma Noktası, °C	Ülkesel Özellik	0/-15	-	0/-10/-20	-	-5	-
Akma Noktası, °C	-	-	≤-10	-	≤0 ≤-15	-	-
Condration Kok Bakiyesi, Ağırlık %'si %100%10	≤0,3	≤0,05	≤0,3	≤0,05	≤0,5	-	≤0,05
Bakır Korozyon, 3h, 50 °C	1	-	1	-	-	-	≤No,3
Setan Sayısı	≥ 51	≥ 49	≥ 49	≥ 49	-	≥ 48	≥ 47
Nötralizasyon Sayısı, mgKOH/g	≤ 0,5	≤ 0,8	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,6	≤ 0,8
Alkalite, mg/kg	-	-	≤5	≤5	-	≤10	-
Iyod Sayısı	≤120	≤120	≤115	≤115	-	≤125	-
Su, mg/kg	≤500	-	≤200	≤300	≤700	≤300	≤0,05%
Fosfor, mg/kg	≤10	≤20	≤10	≤10	≤10	≤10	<0,001 % mass
Belirlenememiş Bileşenler, mg/kg	≤24	-	-	≤20	-	≤20	-
Kükürt, Ağırlık %'si	≤10 (mg/kg)	≤0,02	-	≤0,01	≤0,01	≤0,001	≤0,05
C18:3 ve Yüksek Doymamış Yağ Asitleri, Ağırlık %'si	-	≤15	-	-	-	-	-
C (x:4) ve Büyük Doymamış Yağ Asitleri, Ağırlık %'si	≤1	-	-	-	-	-	-
Okside Kül, Ağırlık %'si	-	-	-	-	≤0,01	≤0,01	-
Sülfate Kül, Ağırlık %'si	≤0,02	≤0,02	-	≤0,03	-	-	≤0,02
Metanol, Ağırlık %'si	≤0,2	≤0,2	≤0,1	≤0,3	≤0,2	≤0,2	-
Linoleik Asit Ağırlık %'si	≤12	-	-	-	-	-	-
Monogliseritler, Ağırlık %'si	≤0,8	-	≤0,8	≤0,8	≤0,8	≤0,8	-
Diğliseritler, 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	-
Serbest Gliserin, Ağırlık %'si	≤0,02	≤0,02	≤0,02	≤0,02	≤0,05	≤0,02	≤0,02
Toplam Gliserin, Ağırlık %'si	≤0,25	≤0,24	≤0,25	≤0,25	-	-	≤0,24
Ester, Ağırlık %'si	≥96,5	-	≥96,5	-	≥98	≥98	-
Gp I Metaller (Na,K), mg/kg	≤5	-	-	-	-	-	-
Gp II Metaller (Ca,Mg), mg/kg	≤5	-	-	-	-	-	-
Oksidasyon Kararlığı, h ,110°C	Minimum 6 saat	-	-	-	-	-	-

- 1) YAME : Yağ Asidi Metil Esteri
- 2) BYME : Bitkisel Yağ Metil Esteri
- 3) YAMAE : Yağ Asidi Mono Alkil Ester

## 2.2.5 Bitkisel Yağların Yakıt Özelliklerini İyileştirme Yöntemleri

### 2.2.5.1. Transesterifikasyon (yeniden esterleme)

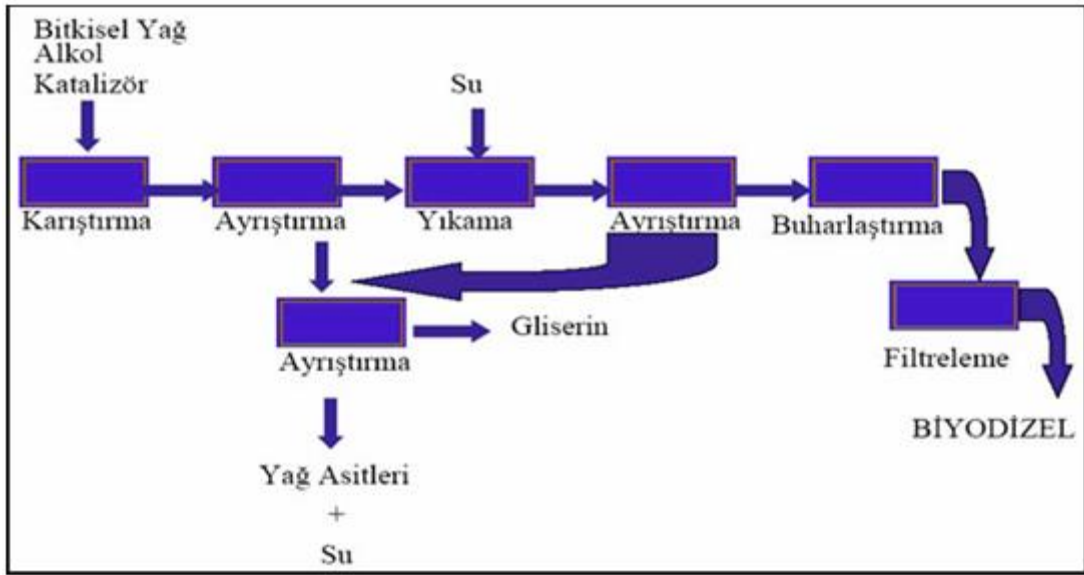
Bitkisel ve hayvansal yağların özelliklerinin iyileştirilmesinde izlenen en önemli kimyasal yöntemdir. Bitkisel yağlardan transesterifikasyon reaksiyonu ile biyodizel elde edilmektedir. Transesterifikasyon, bitkisel yağın küçük molekül ağırlıklı alkolle bir katalizör eşliğinde gliserin ve yağ asidi oluşturmak üzere reaksiyona girmesidir. Transesterifikasyon reaksiyonunda yağ, monohidrik bir alkolle (etanol, metanol), katalizör (asidik, bazik katalizörler ile enzimler) varlığında ana ürün olarak yağ asidi esterleri ve gliserin vererek esterleşir. Katalizör reaksiyonu hızlandırıcı ve dönüşümü artırıcı etkisi nedeniyle kullanılır. Ayrıca esterleşme reaksiyonunda yan ürün olarak di- ve monogliseridler, reaktan fazlası ve serbest yağ asitleri oluşur. Şekil 2.2’ de bitkisel yağın transesterifikasyonu görülmektedir. Bir bitkisel yağ molekülü, gliserin molekülüne bağlanmış üç esterden oluşmaktadır. Bitkisel yağ moleküllerine trigliserit ya da gliserol esterleri de denmektedir. Burada “tri” ifadesi üç esteri, “gliserit” ifadesi ise gliserini tanımlamaktadır (Gürleyük 2003).



Şekil 2.2. Bitkisel yağın transesterifikasyonu (Alibaş ve Ulusoy 2002).

Dizel motorların çoğu yağlamalı ve yüksek kükürt içeren yakıt sistemi üzerine tasarlanmıştır. Bu motorlarda biyodizel yakıtın kullanımı kükürt emisyonunu azaltırken yağlı içeriği ile motorun yağlanmasına da yardımcı olmaktadır. Şekil 2.3’ de biyodizel üretimi şematik olarak sunulmuştur. Üretimdeki en önemli nokta biyodizelin saflık derecesidir. Bu nedenle rafinasyon aşaması önem kazanmaktadır. Biyodizel %99 değeri üzerinde saf üretilmelidir (Karaosmanoğlu, 2002).





Şekil 2.3. Biyodizel üretimi (Anonim 2014).

#### 2.2.5.2 Seyreltme Yöntemi

Seyreltme yönteminde bitkisel yağlar belirli oranlarda standart dizel yakıtı ile karıştırılarak seyreltilmektedir. Bu sayede karışımın viskozitesi bir miktar düşürülmektedir. Ayrıca standart dizel yakıt kullanımı azaltılmış olmaktadır. Bu yöntemle elde edilen yakıtlarda yakıt maliyeti standart dizel yakıtlara göre daha düşük olduğu ve performans değerleri standart dizel yakıtına yakın olduğu belirlenmiştir. Seyreltme yöntemi uygulamalarında kanola yağı, ayçiçek yağı, soya yağı, aspir yağı, yer fıstığı yağı, atık bitkisel yağlar en çok tercih edilen yağlar olarak sayılabilir. (Alpgiray 2006, Çaylak A. 2006).

#### 2.2.5.3 Mikroemülsiyon Yöntemi

Mikroemülsiyon bitkisel yağın metanol ya da etanol gibi kısa zincirli alkollerle karıştırılarak viskozite değerinin düşürülmesi işlemidir. Mikroemülsiyon, normalde karışmayan iki sıvı ile bir veya daha fazla amfifilin bir araya gelmesi ile oluşur (Alibaş ve Ulusoy 1995). Tepkime sırasında düşük kaynama noktalı bileşenlerin buharlaşarak patlamasıyla spray karakteristikleri iyileşir. Alkollerin setan sayılarının düşük olması mikroemülsiyonunun setan sayısını düşürür. Ayrıca düşük sıcaklıklarda karışım ayrışma eğilimi gösterir (Erdoğan 1991). Tepkime sırasında düşük kaynama noktalı bileşenlerin buharlaşarak patlamasıyla spray karakteristikleri iyileşir. Bütanol, hegzanol ve oktanol ile gerçekleştirilen bütün mikroemülsiyonlarda dizel yakıtları için uygun en düşük viskoziteler elde edilir. Czerwinski'nin gerçekleştirmiş olduğu bir çalışmada, %53.3 ayçiçek yağı, %13.3 etanol, %33.4 bütanol kullanarak hazırlanmış

olduğu emülsiyonda, 40 °C'deki viskozitesi 6.3 cSt (centistokes) olarak gözlenmiştir. Karışımındaki bütanol yüzdesinin artırılması, düşük vizkozite ve daha iyi sprey örnekleri elde edilmesini mümkün kıldığı tespit edilmiştir (Ramadhas *et al.* 2004, Çaylak A. 2006).

#### *2.2.5.4 Piroliz Yöntemi*

Piroliz yönteminde moleküller yüksek sıcaklıkta daha küçük moleküllere parçalanmaktadır. Bu yöntem sayesinde viskozite oldukça düşürülmekte fakat işlemler ek gider gerektirmektedir. Bitkisel yağların piroliz ürünlerini elde etmek için iki yöntem vardır. Bunlardan birincisi, bitkisel yağları ısı etkisi ile kapalı bir kapta parçalamak; diğeri ise standart ASTM distilasyonu ile ısı parçalanma etkisinde tutmaktır (Ulusoy vd. 1999).

#### *2.2.5.5 Süperkritik Yöntem*

Süperkritik yöntemde bitkisel yağlar transesterifikasyon yönteminden farklı olarak, katalizör kullanmadan 350 °C gibi yüksek sıcaklık ve 240 saniye gibi kısa sürelerde gerçekleştirilmektedir (Kusdiana ve Saka 2000, Ülker 2007).

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, rafine edilmiş kanola yağından transesterifikasyon yöntemi ile KYME üretilmiştir. Üretilen KYME, standart dizel yakıtı ile hacimsel olarak %20, %40 ve %60 oranlarında karıştırılarak KYME20, KYME40, KYME60 yakıtları elde edilmiştir. Elde edilen yakıtların, tam yükte ve farklı devirlerde (1400 d/d, 2000 d/d, 2600 d/d, 3200 d/d) tek silindirli dizel bir motorun performansına, egzoz emisyonlarına ve titreşimine olan etkileri araştırılmıştır. Kanola yağından metil ester üretimi küçük ölçekli bir biyodizel üretim düzeneği ile gerçekleştirilmiştir.

#### 3.1. BİYODİZEL ÜRETİMİ

Bu çalışmada transesterifikasyon yöntemi ile rafine edilmiş kanola yağından biyodizel üretimi gerçekleştirilmiştir. Biyodizel üretimi Düzce Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İçten Yanmalı Motorlar Laboratuvarında bulunan ve Şekil 4.1'de görülen düzenek ile gerçekleştirilmiştir. Biyodizel üretiminde aşağıdaki işlem basamakları takip edilmiştir.



Şekil 3.1. Biyodizel üretim düzeneği.

Biyodizel üretimi 5 aşamada gerçekleştirilmiştir. Bu aşamalar %99.5 saflıkta alkol (metanol, (merck)) ile %99.5 saflıkta katalizörün (sodyum hidroksit (NaOH)) karıştırılması, yağın ısıtıcılı manyetik karıştırıcı üzerinde bulunan 5 lt kapasiteli cam behere alınması, alkol/katalizör karışımının yağ üzerine ilave edilerek sabit sıcaklıkta (55°C) ve 600 d/d'de karıştırılması, reaksiyon sonunda biyodizel ile gliserinin

ayrışması, biyodizelin yıkanması ve biyodizelin kurutulması işlemleridir. Yağın her bir litresi için 3.5 g NaOH hassas terazide tartılarak, toplam yağın hacimce %20'si kadar hazırlanan metanol içine katılarak ısıtıcıli manyetik karıştırıcıda 35 °C'de tamamen çözüne kadar (yaklaşık 30 dak.) karıştırılmıştır. Kanola yağı, Şekil 4.1'de görülen sıcaklığı 55°C'ye ayarlanmış ısıtıcıli manyetik karıştırıcı üzerine alınıp karıştırılarak ısıtılmıştır. Daha sonra ısıtılmış yağ üzerine metanol/NaOH karışımı ilave edilmiştir. Sistemden alkol kaybını önlemek için beherin üzeri kapatıldıktan sonra, ısıtıcıli manyetik karıştırıcı ile iki saat sabit sıcaklıkta, 600 d/d'de karıştırılmıştır (Şekil 4.2).



**Şekil 3.2.** Biyodizel üretimi (Esterleştirme reaksiyonu).

İki saat karıştırma işleminden sonra karışım, 2 lt kapasiteli ayırma hunisine alınarak biyodizel ve gliserinin ayrışması için 8 saat beklenmiştir. Sekiz saat sonunda ortaya iki ürün çıkmıştır. Bunlar biyodizel ve gliserindir (Şekil 4.3.). Gliserinin yoğunluğu biyodizelden daha büyük olduğundan dolayı, tabana çöken gliserin fazı ayırma hunisinin dibinden alınmıştır. Her bir litre biyodizel yakıt için 100 ml gliserin alınmıştır. Kalan ürün biyodizeldir (Şekil 3.4).

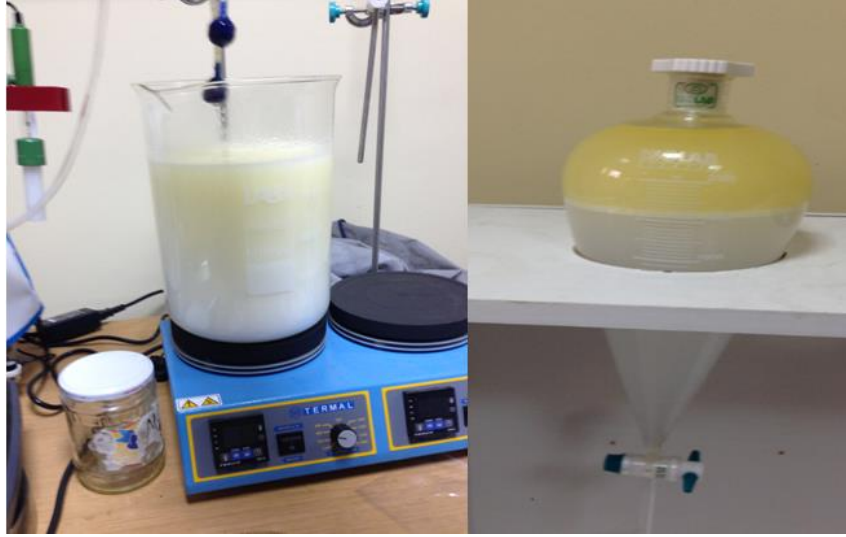


**Şekil 3.3.**Biyodizel içerisindeki gliserinin çökmüş hali.



**Şekil 3.4.** Gliserinden ayrılmış biyodizel.

Üretilen biyodizelin PH'ı, masa üstü Hanna marka PH metre ile 19 °C'de 9.5 ölçülmüştür. Biyodizel ile gliserin fazı ayrıldıktan sonra biyodizelde kalıntı, NaOH ve gliserin kalıntılarını uzaklaştırmak amacıyla, biyodizel 1/1 oranında saf su ile ısıtıcı manyetik karıştırıcıda 35°C ve 600 d/d'da 1 kez yıkanmıştır. Saf su-biyodizel karışımının PH'ının 7 olması için, öncelikle saf su içerisinde sülfirik asit ( $H_2SO_4$ ) eklenerek saf suyun PH'ı 5'e düşürülmüştür. Yıkama esnasında biyodizel-saf su karışımının PH'ı 7'de sabit tutulmuştur. Yıkamadan sonra saf su ile biyodizelin ayrışması için 8 saat bekleme yapılmıştır. Bekleme süresince yoğunluğu büyük olan saf su dibe çökmüştür (Şekil 4.5.). Dibe çöken saf su, ayırma hunisinin alt tarafından alınmıştır.



**Şekil 3.5.** Biyodizelin yıkanması ve saf sudan ayrışması.

Yıkama sonucu biyodizel içinde kalan suyu uzaklaştırmak için kurutma işlemi yapılmıştır. Yıkama yapılan biyodizel yaklaşık 75 °C'ye kadar ısıtıcıli manyetik karıştırıcıda ısıtılarak ve 600 d/d'da 2 saat boyunca karıştırılarak içeriğinde kalan saf su uzaklaştırılmıştır. Biyodizel üretimi çalışmalarında her bir litre yağdan elde edilen biyodizel ve gliserin miktarları ile ilgili hesaplamalar sonucunda, 1000 ml yağ ve 200 ml katalizörlü metil alkol karışımından 1000 ml kanola yağı metilesteri ve 100 ml gliserin elde edildiği tespit edilmiştir. Üretilen biyodizelin son hali (KYME) Şekil 3.6'da görülmektedir.



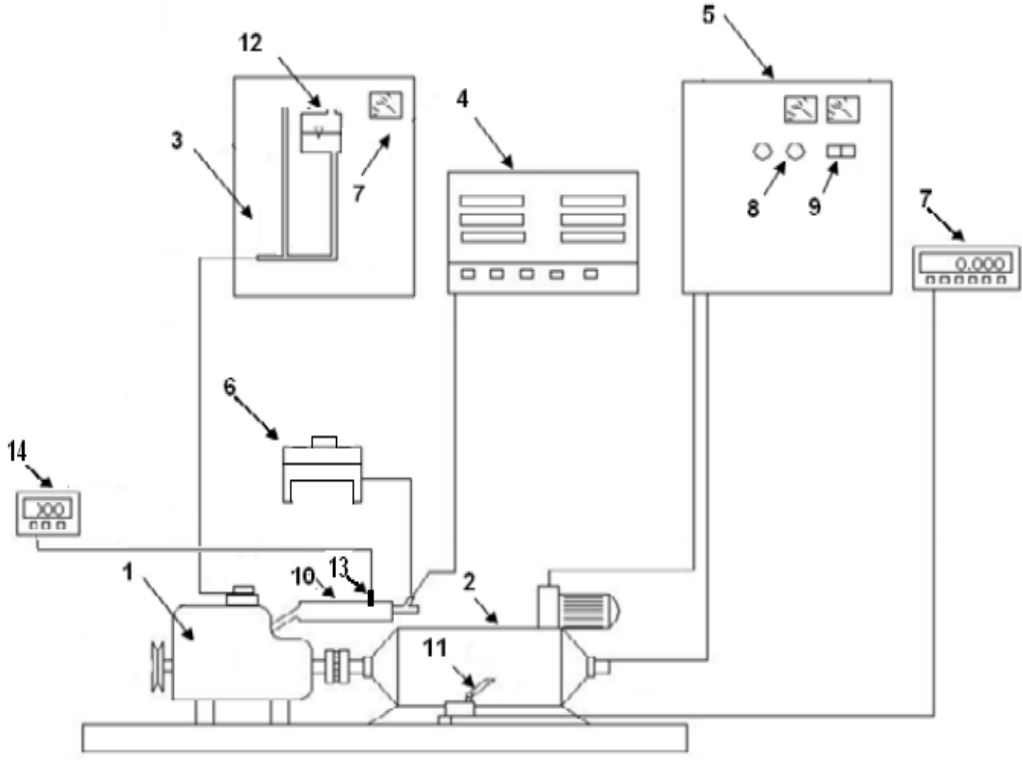
**Şekil 3.6.** Üretilen KYME.

### 3.2. DİZEL MOTOR TEST ÜNİTESİ VE EMİSYON ÖLÇÜM CİHAZLARI

Üretilen (KYME) hacimsel olarak %20, %40 ve %60 oranlarında standart dizel yakıt ile karıştırılarak bir motor test düzeneğinde test edilmiştir. Standart dizel yakıtına KYME ilavesinin motor performansına, egzoz emisyonlarına ve motor titreşimine olan etkileri incelenmiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılan motor test düzeneğinde; direk enjeksiyonlu, 4 zamanlı ve tek silindirli hava ile soğutmalı bir dizel motor ve 15 kW güç absorbe edebilen Kemsan marka bir elektrikli dinamometre kullanılmıştır. Çizelge 3.1’ de deney motoruna ait teknik özellikler, Şekil 3.7 ve 3.8’de deney düzeneği görülmektedir. Deney sistemi kontrol panelinde bulunan motor dönme sayısı ve dinamometreye etki eden kuvveti görüntüleyen dijital göstergeler, 100 ml’lik yakıt tüketimi ölçme büreti ve motor yük kontrol kolu bulunmaktadır. Ayrıca deney sistemine yerleştirilmiş olan K tipi termoelemanlar vasıtasıyla ortam sıcaklığı ve egzoz sıcaklığı ölçülebilmektedir.

Çizelge 3.1. Deneylerde kullanılan dizel motorunun 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 <sup>3</sup>
Sıkıştırma oranı	18:1
Özgül Yakıt Sarfiyatı	2,1L/saat
Maksimum tork (2200 d/d)	19,6 Nm
Nominal devir	3600 d/dk
Maksimum güç	6,25KW



**Şekil 3.7.** Deney düzeneğinin şematik görünümü (1-Dizel motor, 2-Elektrikli dinamometre, 3- Dereceli cam büret, 4-Egzoz gaz analizörü, 5-Kontrol paneli, 6- Duman koyuluğu ölçüm cihazı, 7-Devir göstergesi, 8-Marş anahtarı, 9- Yükleme anahtarı, 10-Egzoz borusu, 11-Yük hücresi (Load cell), 12-Yakıt deposu, 13- Termoeleman, 14-Sıcaklık göstergesi).



**Şekil 3.8.** Deney sisteminin resmi.



CO, HC, NO<sub>x</sub> ve O<sub>2</sub> emisyonları Şekil 3.9’de görülen, duman yoğunluğu ise Şekil 3.10’da görülen K Test emisyon ölçüm ve duman ölçer cihazları ile ölçülmüştür. Çizelge 3.2’de gaz analiz cihazı ölçüm parametre ve aralıkları verilmiştir.



Şekil 3.9. K Test emisyon ölçüm cihazı.



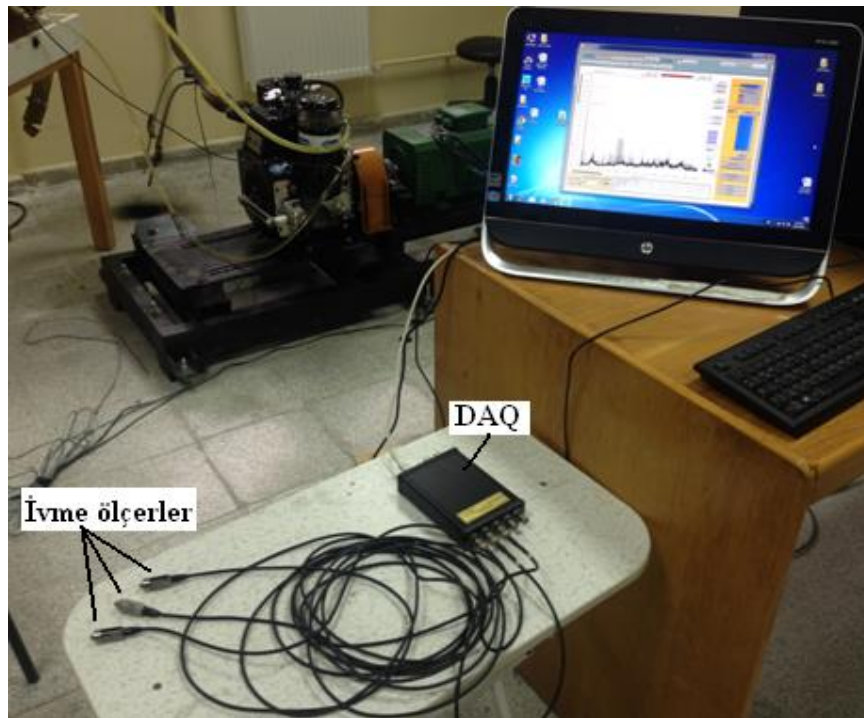
Şekil 3.10. K Test duman ölçer.

**Çizelge 3.2.** Gaz analiz cihazı ölçüm parametre ve aralıkları.

Marka	K Test
O <sub>2</sub> konsantrasyonu (%)	0-25 (%)
CO konsantrasyonu (%)	0-15 (%)
NO <sub>x</sub> konsantrasyonu (ppm)	0-5000 (ppm)
HC (ppm)	0-20.000(ppm)
CO <sub>2</sub> konsantrasyonu (%)	0-20 (%)
OPASİTE %	0 - 99.99
OPASİTE K	0 - 9.99
Lambda	0,5 - 2,0

### 3.3. TİTREŞİM ÖLÇÜM EKİPMANLARI

Şekil 3.11’de titreşim ölçümünde kullanılan ekipmanlar görülmektedir. Üç eksenli motor titreşimlerini ölçmek için 100 mV/g duyarlılığında ve 0.0 ila 10 kHz frekans aralığında ölçüm yapabilen üç adet 608A11 model ivme ölçer kullanılmıştır.



**Şekil 3.11.** Titreşim ölçümünde kullanılan ekipmanlar.

İvme sensörü, mekanik titreşimlerdeki kuvvet etkilerini belirleyen en iyi sensör tipidir. Genel amaçlı ivme ölçerlerin etki aralığı 1 – 10,000 Hz arasındadır. Genelde 1,000 Hz üzerinde titreşim verisi alınır ve ivme olarak analiz edilir (Altuntaş 2007). Şekil 3.10’da görülen veri toplama kartı DAQ (Data Acquisition), ivme ölçerlerin bağlandığı dört giriş kanalına ve hız sensörünün bağlandığı bir adet giriş kanalına sahiptir. Tüm kanallar eş zamanlı çalışabilmektedir. PCI bus (veri yolu) DAQ in yüksek hızda (102.4 K örnek/sn) olmasını sağlayacak şekildedir. Veriler VibraQuest™ yazılım ve donanım sistemi kullanılarak toplanmış ve Hanning filtreleme yöntemi ile filtrelenerek analiz edilmiştir. Şekil 3.12’de görüldüğü gibi ivme ölçerlerden ch1 yatay yönde, ch2 eksenel yönde ve ch3 dikey yönde motor üzerine 90° açı farkı ile vidalama yöntemiyle monte edilmişlerdir.



Şekil 3.12. İvme ölçerlerin motor üstündeki konumları.

Titreşim frekansları 6000 Hz’e kadar olanlar toplanmıştır. Bu değer spektrumdaki değişikliklerin gözlemlenmesi için yeterli ve hassas bir çözünürlüktür. Frekans sınırı, verilerin hangi hızla alınacağını gösterir. Motor üzerine monte edilen ivme sensörleriyle üç eksenle (x,y,z) 11.7 saniye süreyle, 6000 Hz örnekleme frekansında veri kaydedilmiştir. Deney verilerine Hanning çerçeveleme (windowing) uygulanmıştır.

Hanning, titreşim verileri için en sık kullanılan çerçeveleme yöntemidir. Bunun kullanılmasındaki amaç, titreşim kayıtlarının rasgele bir anda başlamasından ve bitmesinden dolayı, sinyallerin bileşimini oluşturan, yarım kalmış, periyodunu tamamlayamamış frekansların spektrum analizi üzerindeki bozucu etkisini azaltmaktır. Bu nedenle, veri gruplarının başlangıcındaki ve sonundaki değerler, ortasındaki değerlere göre daha küçük bir katsayı ile çarpılmıştır. Çözümleme işleminde, 6400 spektral (tayf) çizgisi belirlenmiştir. Spektrumun çözünürlüğü, spektrum çizmek için kullanılan çizgilerin sayısını göstermektedir. Yani çözünürlük değerinin artması spektrumlarda tepe değerlerin daha sık olmasını sağlamaktadır. Örnekleme oranı, frekans limitine eşittir ve ne kadar hızlı veri alınacağı belirlenirken kullanılan yazılım gereği 2.56 ile çarpılmıştır. Böylece örnekleme oranı, 15360 Hz=6000 Hz x 2.56 olarak belirlenmiştir (Saruhan ve diğ. 2014). Her bir deney için her bir ivme ölçerden toplam 180224 veri alınmıştır. Titreşim genlik değerleri gPk ölçeğinde alınmıştır.

### 3.4. MOTOR PERFORMANS HESAPLAMALARI

#### 3.4.1. Moment ve Güç

Deneyler sırasında motor yükte çalışırken, kuvvet değeri dinamometreye 0,17 m uzaklıktaki yük hücresinden okunmuştur. Motor momenti aşağıdaki eşitlikten hesaplanmaktadır;

$$M_e = F * g * L \quad (4.1)$$

Burada;

$M_e$  : Etkin Motor Momenti (Nm)

F : Load cell'den okunan kuvvet (kg)

L : Motor merkezinin load cell'e uzaklığı (m)

g: Yer çekim ivmesi ( $m/s^2$ )

Motor gücü ise aşağıdaki eşitlikten hesaplanmaktadır;

$$P_e = M_e * n / 9549 \quad (4.2)$$

Burada;

$P_e$  : Efektif motor gücü (kW)

$M_e$  : Etkin Motor momenti (Nm)

n : Motor devri (d/d)

Motor gücünün tespitinde çekme prensibine göre çalışan Esit STCS 50 model S tipi yük hücresi kullanılmıştır (Şekil 3.13).



Şekil 3.13. Yük hücresinin görünümü.

#### 3.4.2. Yakıt Tüketimi Ve Özgül Yakıt Tüketimi

Yakıt tüketiminin belirlenmesinde 1ml hassasiyetli 100 ml hacme sahip ölçekli bir cam büret ve % 1 hassasiyetli kronometre kullanılmıştır. Yakıt ölçümünde 60 s’de tüketilen yakıt miktarı baz alınmış ve motorun farklı yük ve devir şartlarında bu sürede ne kadar yakıt tükettiği cam büret ve kronometre yardımı ile tespit edilmiştir. 60 s’de hacimsel olarak tüketilen yakıt miktarı değeri kullanılarak saatlik yakıt tüketimi litre olarak belirlenmiştir. Belirlenen değer yakıtın yoğunluğu ile çarpılarak kg cinsinden saatlik yakıt tüketim miktarı elde edilmiştir.

Özgül yakıt tüketimi aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

$$b_e = B \times 1000 / P_e$$

Burada:

$b_e$  : Özgül yakıt tüketimi (g/kWh)

$B$  : Saatlik yakıt tüketimi (kg/h)

$P_e$  : Efektif motor gücü (kW)’dir.

Yakıt ölçüm düzeneği Şekil 3.14’de görölmektedir.



Şekil 3.14. Yakıt ölçüm düzeneği.

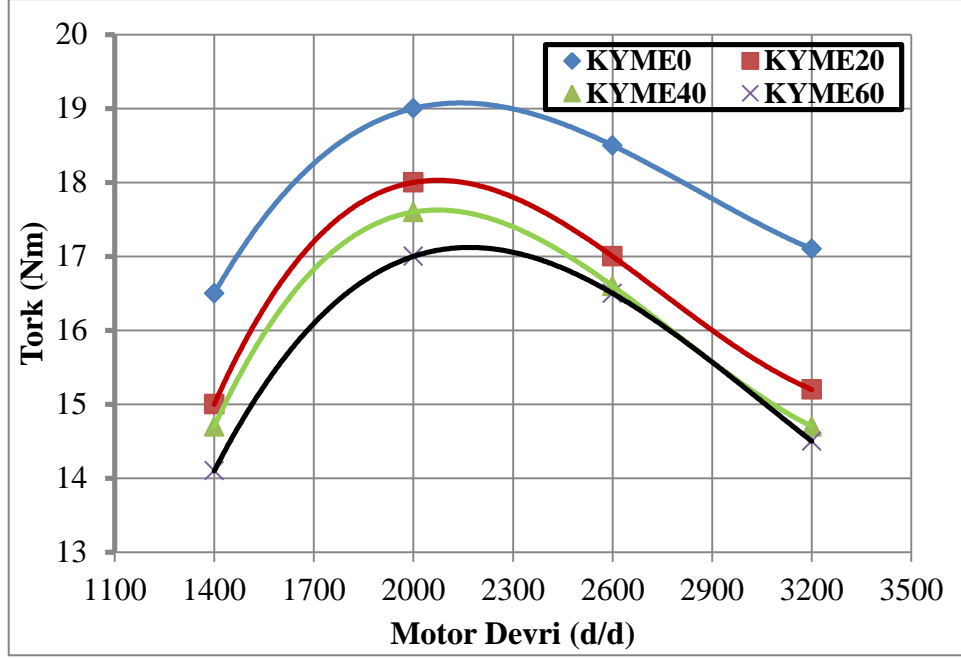
## 4. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, değişik oranlarda KYME- standart dizel yakıt karışımları kullanımının motor performansına, egzoz emisyonlarına ve motor titreşimine olan etkileri tam yükte ve farklı motor devirlerinde araştırılmıştır. Üretilen KYME hacimsel olarak %20, %40 ve %60 oranlarında standart dizel yakıt ile karıştırılmıştır. Karışımlarda faz ayrışması olmaması için yakıt karışımları her bir deney öncesinde hazırlanmıştır. Motor öncelikle 10 dakika süresince çalışma sıcaklığına gelene kadar tam yükte ve 3200 d/d'de standart dizel yakıtı ile çalıştırılmıştır. Dizel yakıt ile testlerde tam gaz konumunda 3200 d/d'de ölçümler yapıldıktan sonra, motor yükü artırılarak dönme sayısı 2600, 2000 ve 1400 d/d'ye düşürülerek ölçümler alınmıştır. Bütün yakıt karışımları için deneyler aynı şartlar altında yapılmıştır. Deneylere başlamadan önce yakıt enjeksiyon pompası, enjektör püskürtme basıncı (200 bar), püskürtme avansı (20°) ve supap boşlukları motor katalog değerlerine göre tekrar ayarlanmış ve motor yağı, yağ filtresi, hava filtresi değiştirilmiştir.

### 4.1. MOTOR PERFORMANS ÖLÇÜM SONUÇLARI

#### 4.1.1. Moment ve Güç Değişimleri

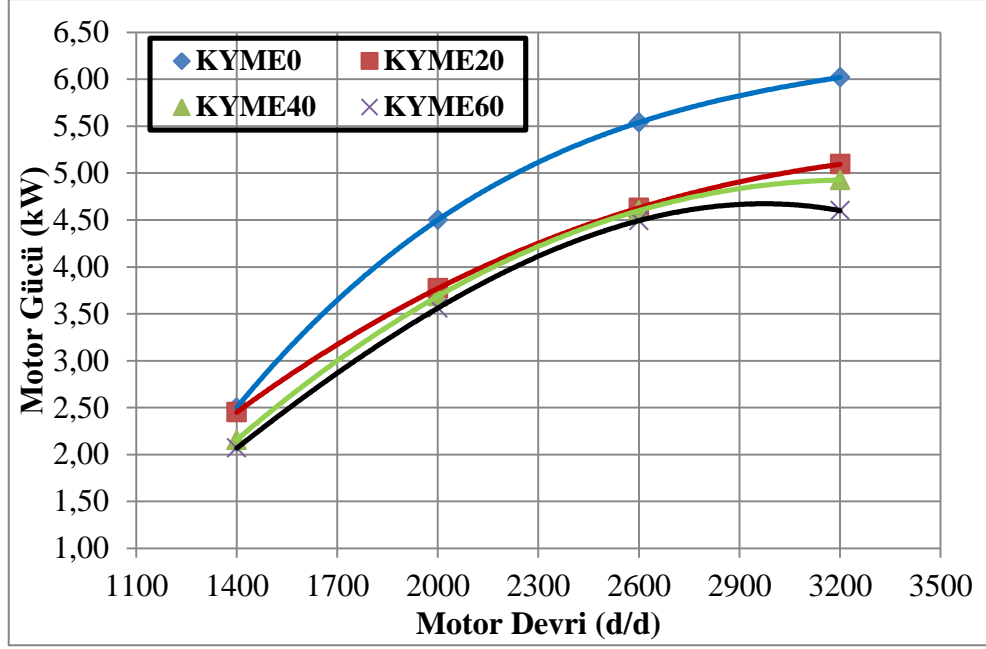
Farklı oranlardaki KYME/standart dizel yakıt karışımlarının, motor devrine bağlı olarak motor moment ve gücüne olan etkileri Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de görülmektedir. En yüksek moment değerlerine standart dizel yakıtı ile ulaşılmıştır. Şekil 4.1 incelendiğinde, karışımdaki biyodizel yüzdesi arttıkça motorun döndürme momentinde azalma meydana geldiği görülmektedir. Bunun nedeni standart dizel yakıtı ısı değerinin, KYME yakıt karışımlarının ısı değerinden yüksek olmasıdır (Özsezen, Çanakçı 2009, Aydın, Çakmak 2012). Standart dizel yakıtı ile 2000 d/d'de 19 Nm moment elde edilirken, aynı devirde KYME20 ile 18 Nm, KYME40 ile 17.6 Nm, KYME60 ile 17 Nm moment elde edilmiştir.



**Şekil 4.1.** KYME oranının motor devrine bağlı olarak moment değişimi.

Dizel yakıtına oranla KYME60 kullanımıyla maksimum tork azalması 3200 d/d' da % 15 olarak belirlenmiştir. KYME yakıt karışımlarının motor devir sayılarına bağlı olarak güç değişimleri Şekil 4.2'de görülmektedir. Devir sayısının artmasıyla her bir test yakıtı için motor gücünde artış meydana gelmiş ve maksimum güç 3200 d/d'da standart dizel yakıt ile elde edilmiştir. Motor devri arttıkça hava hareketlerinin artması ve yanmanın iyileşmesi ile tüm yakıt karışımları için motor gücü devre bağlı olarak artmıştır (Aydın, Çakmak2012). Sonuçlardan da anlaşılacağı üzere maksimum güç değeri tüm yakıtlar için 3200 d/d' da meydana gelmiştir. Standart dizel yakıtı ile yapılan denemelerde elde edilen maksimum güç 6.02 kW olarak elde edilmiştir. Maksimum motor devrinde KYME20 ile 5.09 kW, KYME40 ile 4.93 kW, KYME60 ile 4.6kW güç elde edilmiştir. Standart dizel yakıtına oranla KYME60 kullanımıyla maksimum güç azalması 3200 d/d' da %23.6 olarak belirlenmiştir.



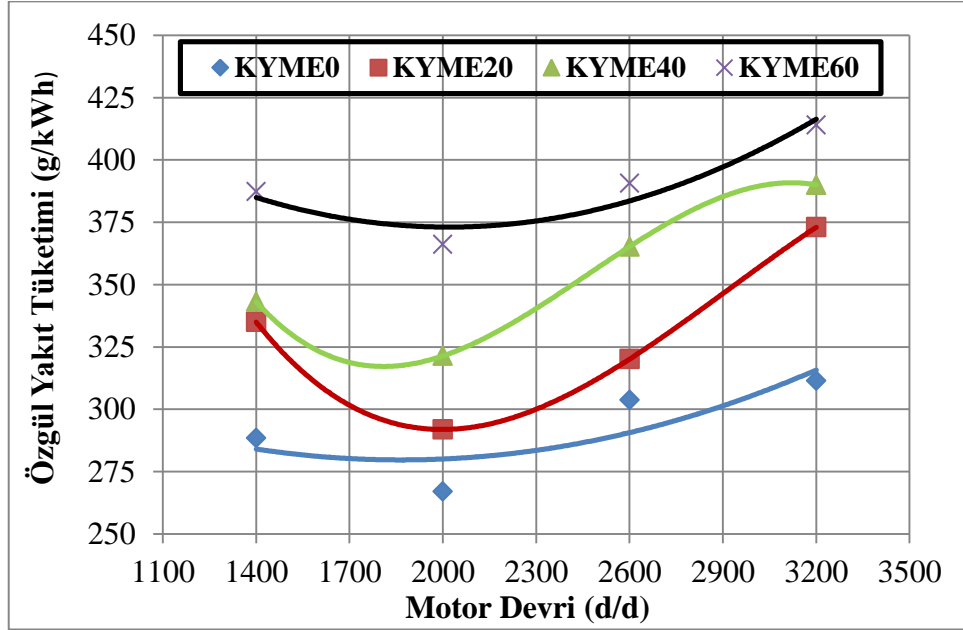


Şekil 4.2. KYME oranının motor devrine bağlı olarak güç değişimi.

Karışımlardaki KYME oranına bağlı olarak tork ve güçteki düşüşün KYME'nin yüksek yoğunluk ve viskozitesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Yüksek viskozite ve yoğunluk, yakıtın enjektörlerden istenilen şekilde atomize olarak püskürtülememesine neden olmaktadır. Bu durum yanmayı etkileyen tutuşma gecikmesinin süresini uzatmakta ve yanmanın kötüleşmesine sebep olmaktadır. Ayrıca KYME'nin ısıl değerinin standart dizelden daha düşük olması da güçteki düşüşün nedenlerinden biri olarak düşünülmektedir (Dinçbaş 2007).

#### 4.1.2. Özgül Yakıt Tüketimi Değişimleri

Farklı oranlardaki KYME/standart dizel yakıt karışımlarının motor devrine bağlı olarak özgül yakıt tüketimine olan etkileri Şekil 4.3'te görülmektedir.



Şekil 4.3. KYME oranının motor devrine bağlı olarak özgül yakıt tüketimine olan etkileri.

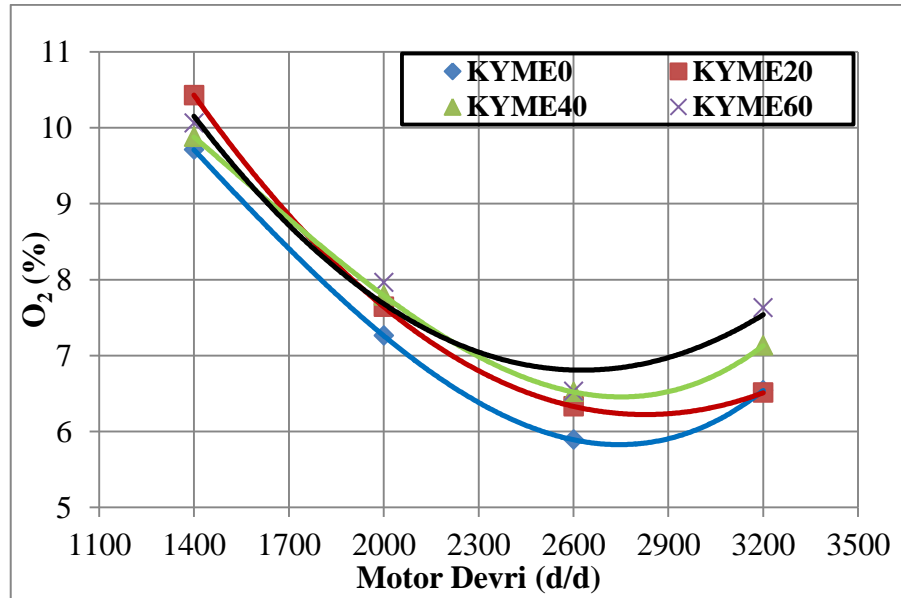
Özgül yakıt tüketimleri, düşük motor hızlarında yüksek değerde iken motor hızının artışı ile 2000 d/d' ye kadar azalmakta ve bu devirden sonra artmaktadır. Düşük devirlerde motor gücü düşük olduğundan dolayı, özgül yakıt tüketimi tüm yakıt karışımları için yüksektir. Bu durumun sebebi düşük devirlerde üretilen güç ile kullanılan yakıt arasındaki orandan kaynaklanmaktadır. Başka bir deyişle gücün çok düşük olması özgül yakıt tüketimi yüksek çıkmasına neden olmuştur. 2000 d/d' den sonra özgül yakıt tüketiminin artmasının sebebi ise, devir sayısının artması ile volumetrik verimin düşmesi ve sürtünme kuvvetlerinin artması ile motor gücünün düşmesidir. Bu durum özgül yakıt tüketimini arttırmaktadır. 2000 d/d' de standart dizel yakıtı ile en düşük özgül yakıt tüketimi(267 gr/kWh) değeri elde edilmiştir. Aynı devir için, KYME 20 ile 291.9 gr/kWh, KYME40 ile 321.4 gr/kWh, KYME60 ile 366.03 gr/kWh değerleri elde edilmiştir. Özgül yakıt tüketiminin KYME oranına bağlı olarak artmasının nedeni, KYME'nin yoğunluğunun standart dizel yakıtından yüksek olmasıdır. Ayrıca KYME'nin ısı değeri standart dizel yakıtın ısı değerinden düşük olması nedeniyle, aynı miktarda enerji elde etmek için motorun daha fazla KYME karışımı yakıt kullanması gerekmektedir (Sugözü , Aksoy , Baydır 2009).

## 4.2. EMİSYON DEĞİŞİMLERİ

Dizel motorlarından kaynaklanan  $O_2$ , CO,  $CO_2$ , HC,  $NO_x$  ve duman yoğunluğu (K) kirleticileri emisyon standartlarının temel parametreleridir. Bu emisyonların insanlar üzerinde olumsuz etkileri vardır. Yapılan deneyler ile motor devir sayısına bağlı olarak  $O_2$ , CO,  $CO_2$ ,  $NO_x$ , HC, Lamda, duman yoğunluğu ve egzoz sıcaklık değerlerinin motor devir sayılarına bağlı olarak değişimleri belirlenmiştir.

### 4.2.1. Oksijen ( $O_2$ ) Değişimleri

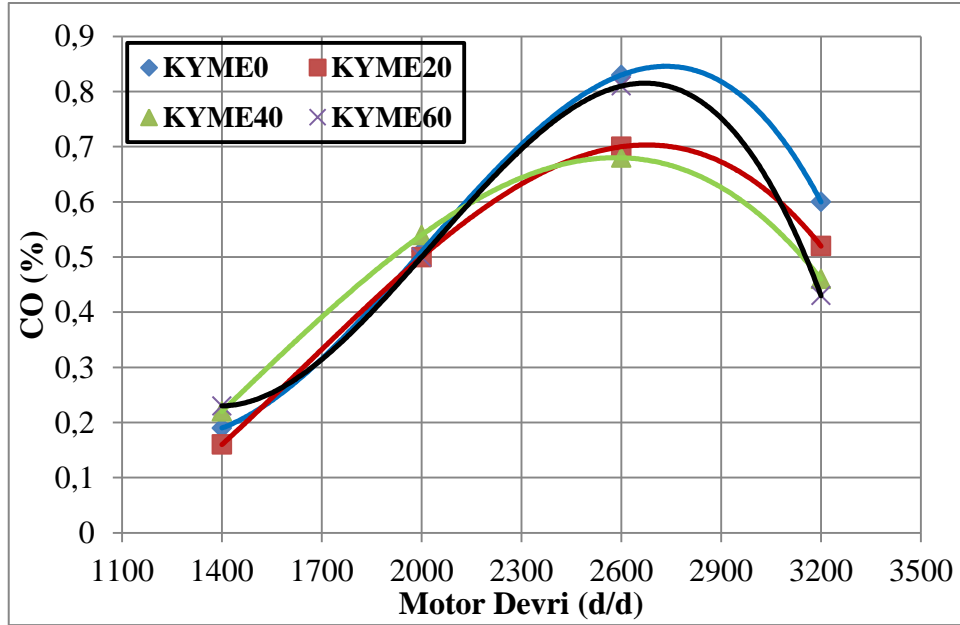
Şekil 4.4’de KYME karışımlı yakıtlardaki  $O_2$  miktarının, KYME oranına bağlı olarak tüm devirlerde standart dizel yakıtına göre fazla olduğu görülmektedir. Bu durumun temel sebebi KYME içerisinde  $O_2$ ’ bulunmasıdır. Düşük devirlerde volumetrik verim yüksek olduğundan dolayı, en yüksek  $O_2$  miktarı 1400 d/d’ da elde edilmiştir. 1400 d/d’ dan sonra tüm yakıtlar için  $O_2$  miktarı 2600 d/d’ ya kadar düşme eğilimine girmiştir. Devrin artışı ile yanma odasındaki türbülans artarak ideal karışım şartları oluşmakta ve yanma hızı artmaktadır. Bu nedenle yanma kalitesi artarak  $O_2$  tüketimi artmakta ve egzozdan atılan  $O_2$  miktarı azalmaktadır. 2600d/d’den sonra yanma süresinin krank açısı cinsinden azalmasından dolayı, yanma kalitesi düşerek  $O_2$  miktarında artış meydana gelmiştir.



Şekil 4.4. KYME oranının motor devrine bağlı olarak oksijene olan etkileri.

#### 4.2.2. Karbonmonoksit (CO) Değişimleri

İçten yanmalı motorlarda CO emisyonu, kullanılmayan kayıp kimyasal enerjiyi açıkladığı için önemli bir parametredir. Yanma ürünleri içerisinde CO'nun bulunmasının en önemli nedeni, yanma ortamındaki oksijenin yetersiz olması, bu nedenle yakıtın okside olamaması veya kısmen okside olmasıdır (Özsezen, Çanakçı 2008). Şekil 4.5'de motor devrine bağlı olarak elde edilen CO değişimleri verilmiştir.



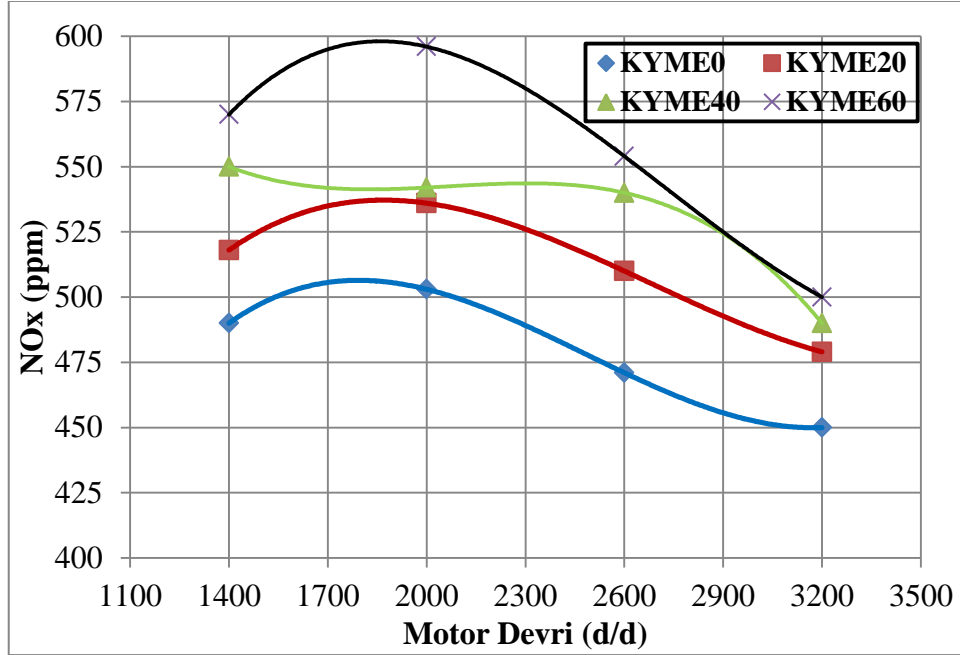
Şekil 4.5. KYME oranının motor devrine bağlı olarak CO'ya olan etkileri.

CO emisyonları tüm yakıt karışımları için 2600 d/d'ye kadar artıp, daha sonra düşme eğilimine girmiştir. Düşük devirlerde CO emisyonunun düşük olması, hacimsel verimin yüksek olmasına ve yanma süresinin yeterli olmasına bağlıdır. Devir arttıkça hacimsel verim ve yanma süresi azaldığından dolayı 2600 d/d'ye kadar CO emisyonları artmıştır. 2600 d/d'den sonra ise tüm yakıt karışımları için azaldığı görülmektedir. Bu azalmanın temel sebebi, artan devir sayısı ile daha iyi homojen karışımın oluşması ve bunun sonucunda yanmanın iyileşmesidir (Behçet, Aydın, Çakmak 2012). Standart dizel yakıtına göre, KYME60 kullanımıyla maksimum CO azalması 2600 d/d'de %28 olarak belirlenmiştir.

#### 4.2.3. NOx Değişimleri

NOx gazları NO ve 2NO gazlarının toplamından meydana gelmektedir. NO ve NOx gazlarının oluşumunda, oksijen miktarı, sıcaklık ve zaman olmak üzere 3 önemli faktör vardır. Silindir içi sıcaklığı 1600 K'yı aşması durumunda, yeterli oksijenin ve zamanın

olması halinde, oksijen azotla reaksiyona girerek NOx' leri oluşturmaktadır (Behçet, Çakmak 2011). Şekil 4.6'da KYME karışimli yakıtlardaki NOx miktarının, yakıt karışımlarındaki KYME oranına bağlı olarak tüm devirlerde standart dizel yakıtına göre fazla olduğu görülmektedir.



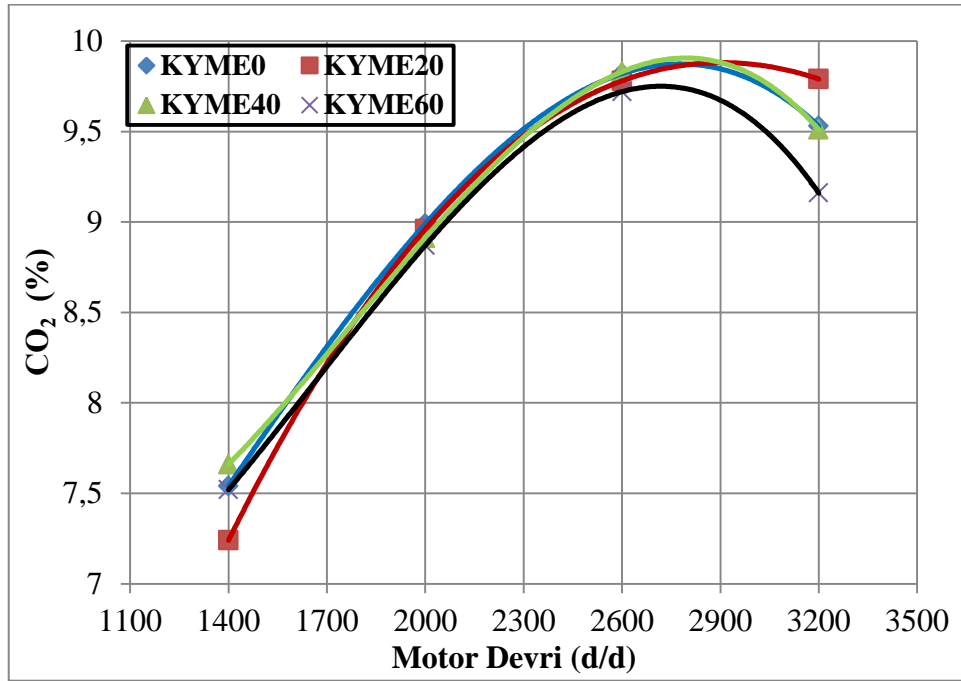
Şekil 4.6. KYME oranının motor devrine bağlı olarak NOx'e olan etkileri.

NOx emisyonları tüm yakıt karışımları için 2000 d/d' ya kadar artıp daha sonra düşme eğilimine girmiştir. KYME yakıt karışımlarının özgül yakıt tüketiminin standart dizel yakıtına göre daha yüksek olması ve içeriğindeki oksijenin yakıtça zengin bölgelerde gerekli oksijeni sağlaması, tam yanma (*stokiometrik*) bölgelerinin sayısını artırmaktadır. Böylece, yüksek ortam sıcaklığının elde edildiği bölge sayısı arttığından, daha yüksek miktarda azot oksit oluşumu gerçekleşebilmektedir (Özsezen, Çanakçı 2008). NOx'lerin 2000 d/d' den sonra düşme eğilimine girmesinin sebebi, devirin artmasına bağlı olarak yanma kalitesinin artması ve volumetrik verimin düşmesi nedeni ile yanma odasındaki O<sub>2</sub> miktarının azalmasıdır.

#### 4.2.4. Karbondioksit (CO<sub>2</sub>) Değişimleri

Dünyanın en önemli çevre sorunu olan küresel ısınmada temel etkenlerden biri, artan CO<sub>2</sub> emisyonunun atmosferde sera etkisi göstermesidir. Egzoz ürünleri arasında bulunan CO<sub>2</sub> tam yanmayı ifade ettiği içinde önemli bir parametredir. Şekil 4.7'de KYME

karışimli yakıtlardaki CO<sub>2</sub> miktarının, yakıt karışımlarındaki KYME oranına bağlı olarak değişimi görülmektedir.

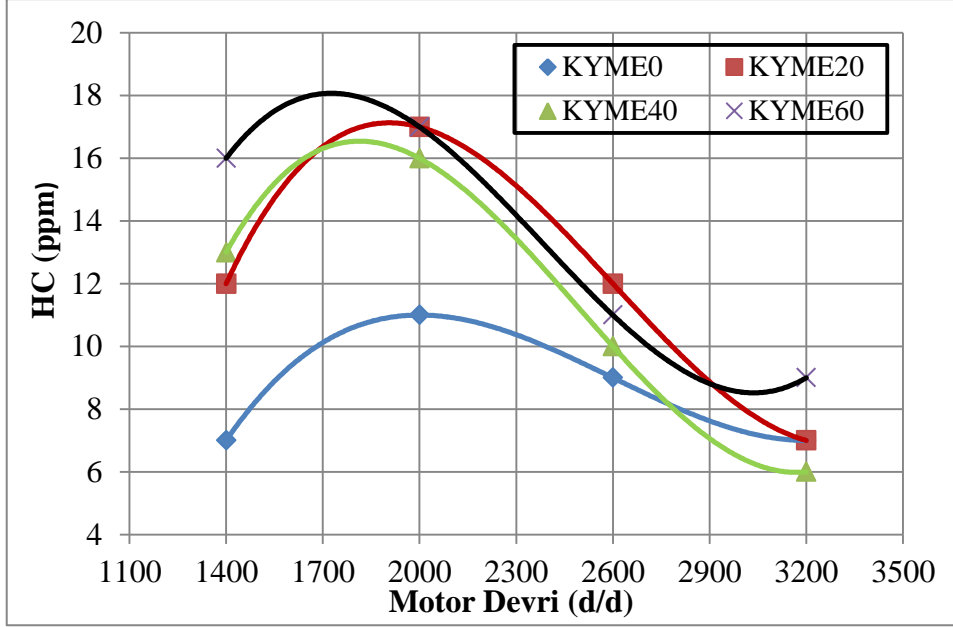


Şekil 4.7. ME oranının motor devrine bağlı olarak CO<sub>2</sub>' ye olan etkileri.

CO<sub>2</sub> emisyonu standart dizel yakıtına göre, KYME60 kullanımıyla 3200 d/d' de % 3.88 azalmıştır. KYME karışimli yakıtların CO<sub>2</sub> değerleri, düşük devirlerde standart dizel yakıtı ile yaklaşık aynı değerlerdedir. KYME içerisindeki karbon oranının dizel yakıtına göre bir miktar az olmasından dolayı, CO<sub>2</sub> değerleri standart dizel yakıtına göre bir miktar düşük çıkmıştır. Devrin artışına bağlı olarak volumetrik verim düşmekte, yeterli oksijen bulunmamakta ve CO<sub>2</sub>'ye dönüşüm süresi kısalmaktadır. Bu nedenle CO<sub>2</sub> emisyonları 2600 d/d'ye kadar artmaktadır. 2600 d/d'dan sonra yanma verimi arttığından dolayı CO<sub>2</sub> azalmaktadır.

#### 4.2.5. Yanmamış Hidrokarbon (HC) Değişimleri

Yanma ürünleri arasında yanmamış HC'lerin bulunmasının nedeni, yakıtın tutuşma sıcaklığına gelmemesi veya ortamda oksijenin yetersiz olmasından dolayı yakıtın okside olamaması veya yarı oksitlenmesidir (Özsezen, Çanakçı 2009). Şekil 4.8'de KYME karışimli yakıtlardaki HC miktarının, yakıt karışımlarındaki KYME oranına bağlı olarak değişimi görülmektedir. Genellikle tüm devirlerde, KYME karışimli yakıtların kullanılmasıyla elde edilen yanmamış HC emisyonu standart dizel yakıtına göre daha yüksek seviyededir.

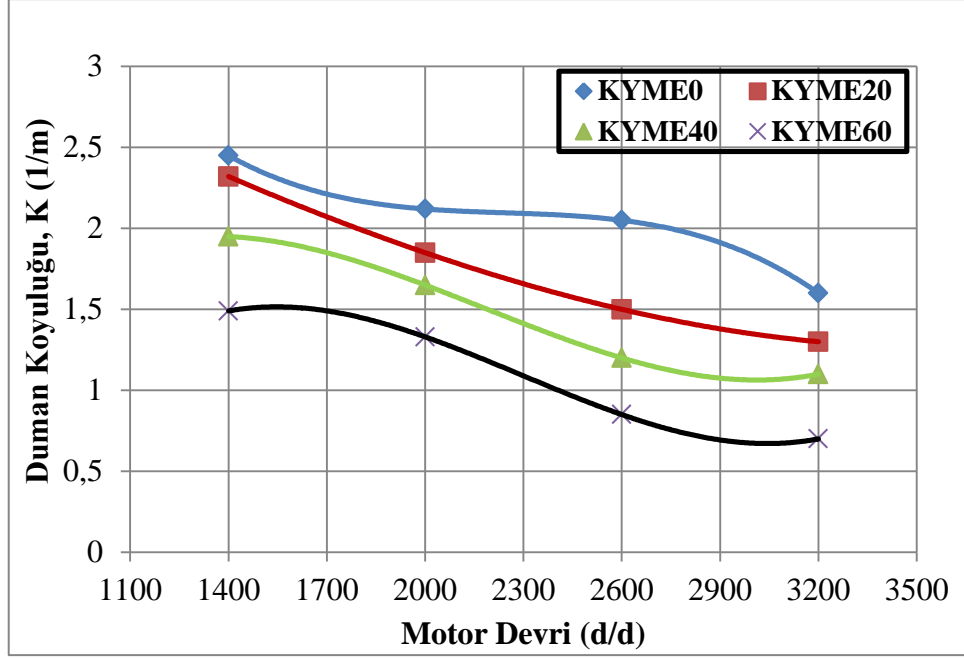


**Şekil 4.8.** KYME oranının motor devrine bağlı olarak hidrokarbonlara olan etkileri.

KYME kullanımıyla yanmamış HC emisyonunu artmasının temel nedeni KYME karışimli yakıtların yanma odasında hava ile yeterli bir karışım oluşturamamasıdır. Bu nedenle KYME içerikli yakıt karışımlarının HC oranı standart dizel yakıtı göre daha yüksek çıkmıştır (Altun 2010). 2000 d/d'den sonra yanma odasında oluşan türbülansın artmasına bağlı olarak yanma kalitesi artarak HC emisyonları düşmektedir.

#### 4.2.6. Duman Yoğunluğu (K faktörü) Değişimleri

Duman (is-karbon) koyuluğunun azalması, yanma veriminin bir miktar arttığına göstergesi olmakla birlikte, esasen hava kirliliğinin azalması yönünde önem taşımaktadır. Şekil 4.9'da KYME karışimli yakıtlardaki duman yoğunluğunun, yakıt karışımlarındaki KYME oranına bağlı olarak değişimi görülmektedir. Yakıt karışımlarındaki KYME oranının artmasına bağlı olarak, duman koyuluğunda düşüşler meydana gelmiştir. Motor devir sayısı arttıkça, yanma kalitesi artarak duman koyuluğu tüm yakıtlar için azalmaktadır. KYME kullanımı ile duman emisyonlarında azalmaktadır. Bu durum, KYME'nin içerisinde bulunan oksijenin, yakıtın zengin karışım bölgesinde yanmanın daha verimli şekilde gerçekleşmesi ile açıklanabilir.



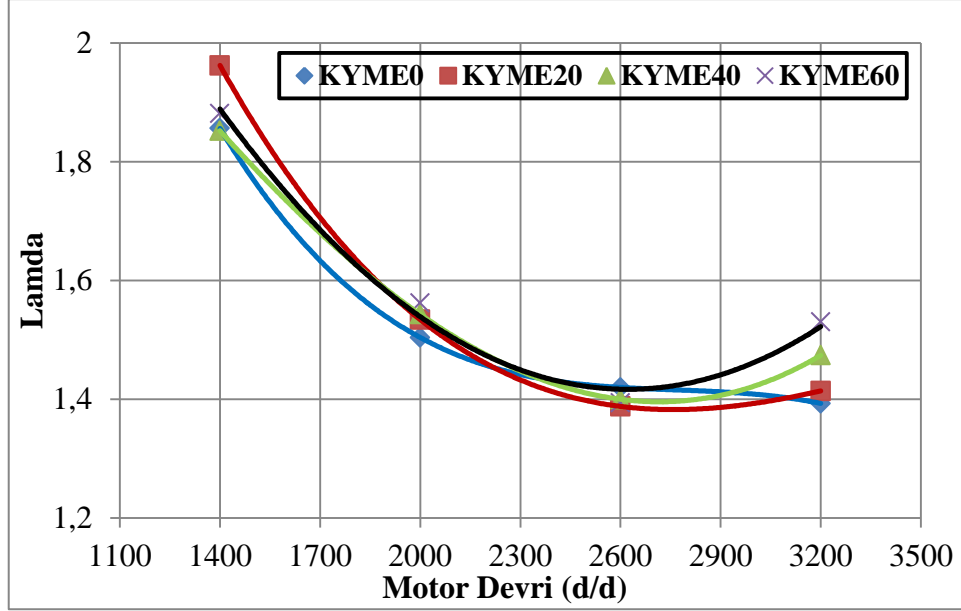
**Şekil 4.9.** KYME oranının motor devrine bağlı olarak duman koyuluğuna olan etkileri.

KYME'nin dizel yakıtta göre viskozitesinin yüksek olması, püskürtme (atomizasyon) yüzdesini düşürmektedir. Bu durum, KYME içerikli yakıt karışımlarının duman koyuluğu düşük çıkmasına neden olan diğer önemli bir faktördür. Standart dizel yakıt kullanımı ile duman koyuluğunun yüksek çıkmasının ana nedeni olarak da, yakıtın içeriğindeki aromatik bileşikler gösterilebilir. Metil esterin yok denecek kadar az aromatik ve sülfür içermesi duman emisyonlarında önemli azalmalar sağlamaktadır.

#### 4.2.7. Lamda ( $\lambda$ ) Değeri

Dizel motorlarda yanma odasına alınan hava miktarı emisyon değerlerini doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle lamda değeri dizel motorlarda yanma odası içerisine alınan hava miktarını belirleme açısından önemli bir parametredir. Düşük devirlerde  $O_2$  miktarı tüm yakıtlar için maksimum elde edilmişti. Bu durumun temel sebebi düşük devirlerde volumetrik verimin yüksek olmasıdır. Şekil 4.10'da KYME karışimli yakıtlardaki lamda değerinin, yakıt karışımlarındaki KYME oranına bağlı olarak değişimi görülmektedir. KYME içerisinde  $O_2$  bulunmasından dolayı, lamda değeri KYME karışimli yakıtlarda daha yüksektir.



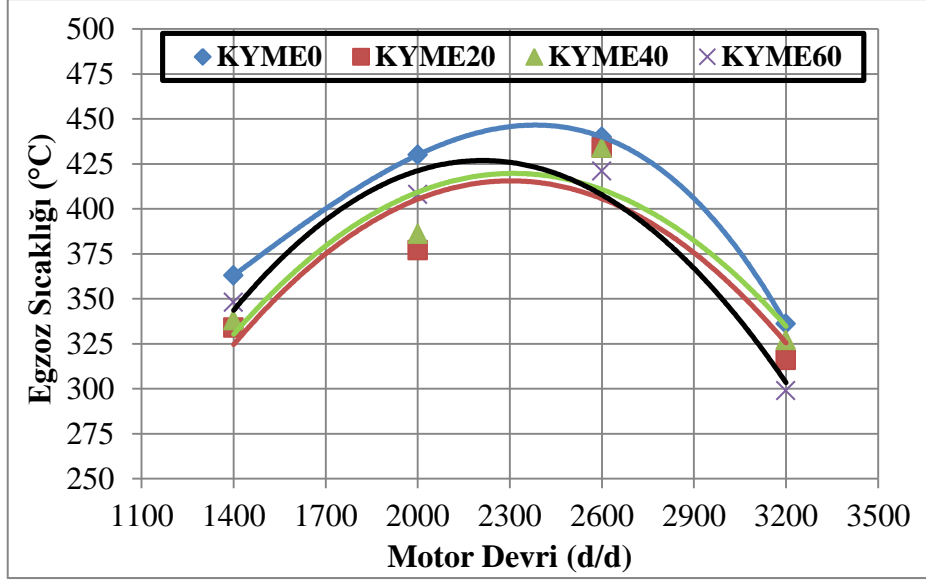


**Şekil 4.10.** KYME oranının motor devrine bağlı olarak lamda ya olan etkileri.

Tüm yakıtlar için devir arttıkça lamda değeri 2600 d/d' ye kadar düşme eğilimine girmiştir. Bu durumun temel sebebi ise volumetrik verimin düşmesi olarak açıklanabilir. Bu noktadan sonra dizel yakıtı yatay bir eğride devam ederken KYME karışımli yakıtlarda artış meydana gelmiştir.

#### 4.2.8. Egzoz Gazı Sıcaklığı Değişimleri

Egzoz gazlarının, çevreye çok yüksek sıcaklıklarda atılması istenmemektedir. Yüksek egzoz gazı sıcaklıkları, silindir içerisinde yanma zamanında yanmanın tümüyle gerçekleşemediğinin ve egzoz supapları açıldığında halen yanmanın devam ettiğinin bir göstergesidir. Şekil 4.11'de görüldüğü gibi, KYME karışımli yakıtlarda yanma sonucu oluşan egzoz gazlarının sıcaklığı, standart dizel yakıtının yanması sonucu oluşan egzoz gazı sıcaklığına göre daha düşüktür. Bu sonuç, KYME karışımli yakıtların, standart dizel yakıtına göre daha iyi yanma meydana getirdiğine işaret etmektedir. KYME, standart dizel yakıtına göre %10 daha fazla O<sub>2</sub> içermektedir. Bu nedenle KYME karışımli yakıtlar, yanma zamanında daha hızlı yanmaktadırlar. Bununla birlikte, KYME karışımli yakıtların ısıl değerleri, standart dizel yakıtına göre düşük olduğundan dolayı, tüm devirlerde egzoz gazı sıcaklıkları standart dizel yakıtına göre düşük çıkmıştır.

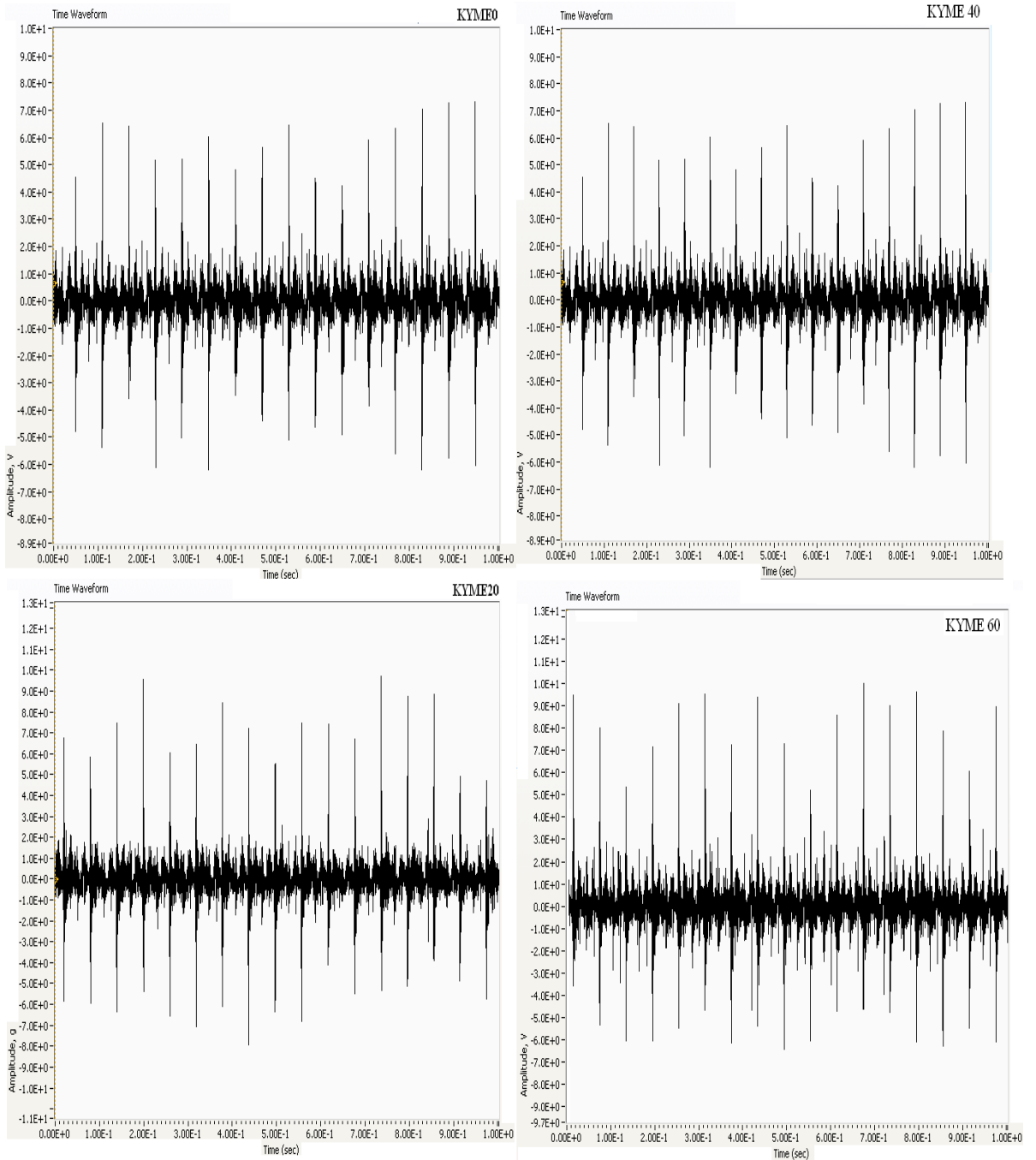


Şekil 4.11. KYME oranının motor devrine bağlı olarak egzoz sıcaklığına olan etkileri.

### 4.3. TİTREŞİM SONUÇLARI

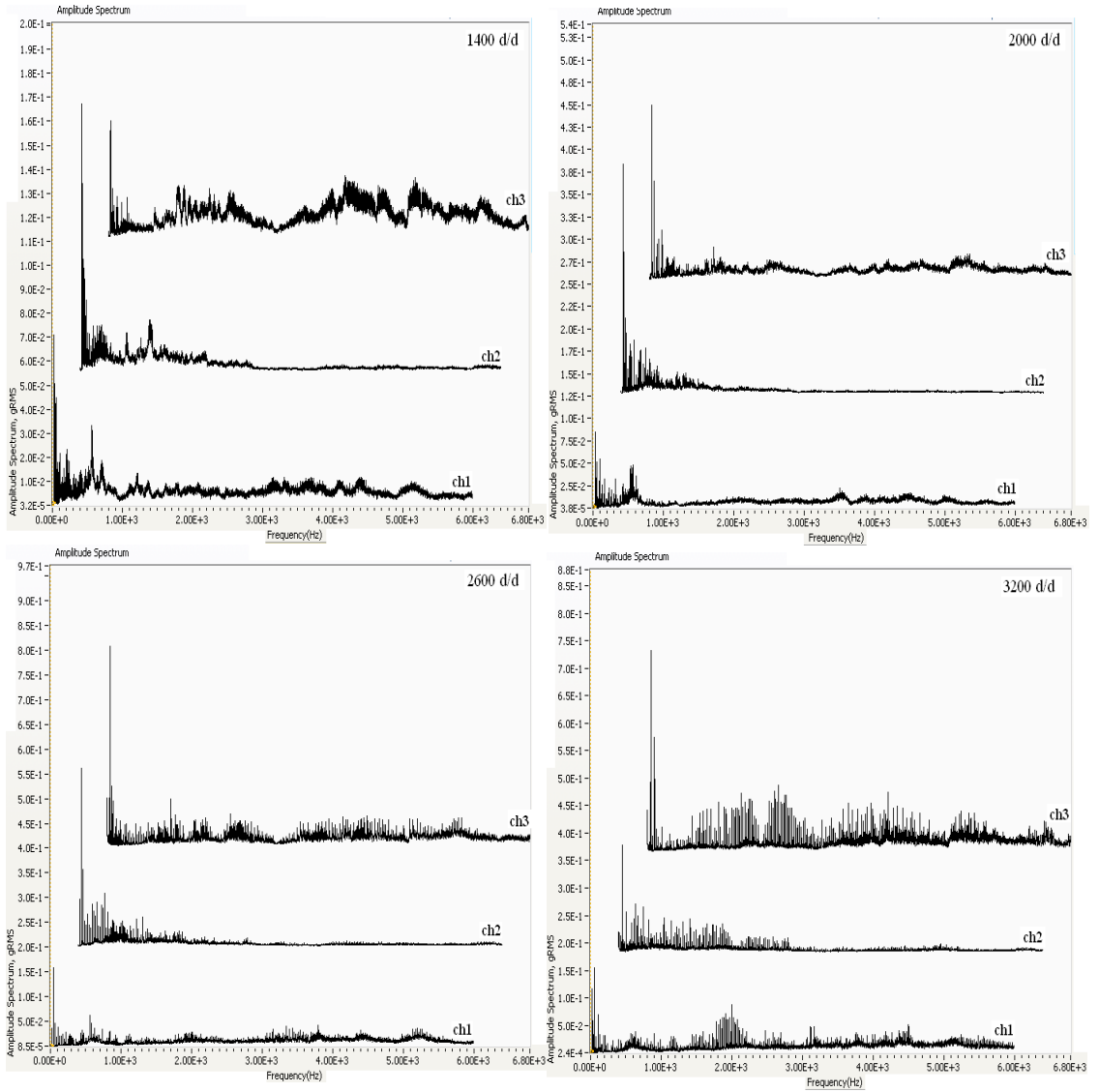
Standart dizel yakıtı ve farklı oranlarda KYME içerikli yakıtların motor titreşimine olan etkileri motor devrine bağlı olarak incelenmiştir. Şekil 4.12’de standart dizel yakıtı ve KYME içerikli yakıtlar için, 2000 d/d motor dönüş hızında 1 saniye içinde kanal  $ch_3$ ’ten alınan verilere göre elde edilen zaman bölgesi analiz grafikleri görülmektedir. Zaman düzlemi, titreşimin zamana bağlı olarak ne kadar değiştiğini gösterir. Dalga formundaki bilginin sayısı, grafiğin çözünürlüğü ve sürekliliğine, sürekliliği ise toplam zaman periyoduna bağlıdır. Dalga formunun çözünürlüğü veri nokta sayısı tarafından belirlenir. Bu nedenden dolayı, ne kadar çok örnek olursa o kadar detay oluşur (Dunton 1999). Motorun dakikadaki dönüş sayısı 2000 d/d, 60’a bölündüğünde krank milinin 1 saniyede kendi eksenine etrafındaki dönüş sayısı (33.33) bulunur. Dört zamanlı motorlarda krank milinin kendi eksenine etrafındaki 2 dönüşünde, enjektör 1 kere yakıt püskürtmektedir. Bu nedenle enjektör 1 saniyede 16.6 kere yakıt püskürtür. Enjektörün her bir yakıt püskürtmesi ile oluşan yanma sonucunda, Şekil 4.12’de görülen grafiklerde 16 veya 17 adet titreşim genliği oluşmuştur. Şekil 4.12’de görüldüğü gibi KYME0 ve KYME40 yakıtları ile birbirine yakın genlik değerleri elde edilmiştir. Ayrıca KYME20 ve KYME60 yakıtları ile de birbirine yakın genlik değerleri elde edilmiştir. En büyük maksimum genlik değeri KYME60 yakıtı ile elde edilmiştir. KYME, standart dizele göre daha büyük viskozite değerine sahiptir. Yüksek viskoziteli yakıtlar yanma odasında iyi atomize olamayarak yeterince buharlaşıp hava ile karışamazlar. Bu nedenle

yüksek vizkoziteli yakıtların tutuşma gecikme süreleri uzundur. Uzun tutuşma gecikmesi nedeniyle, ilk alev çekirdeğinin oluşma anına kadar yanma odasında daha fazla yakıt birikir. Biriken yakıt miktarının aniden yanması ile silindir içinde normale göre daha büyük basınçlar yani dizel vuruntusu oluşur. KYME60 yakıtının diğer yakıt karışımlarına göre tutuşma gecikme süresi daha uzun olduğundan dolayı, yanma sonucu silindir içinde ulaşılan maksimum basınç değeri de daha yüksektir. Bu nedenle KYME60 yakıtı ile daha büyük titreşim genlik değerine ulaşılmıştır.



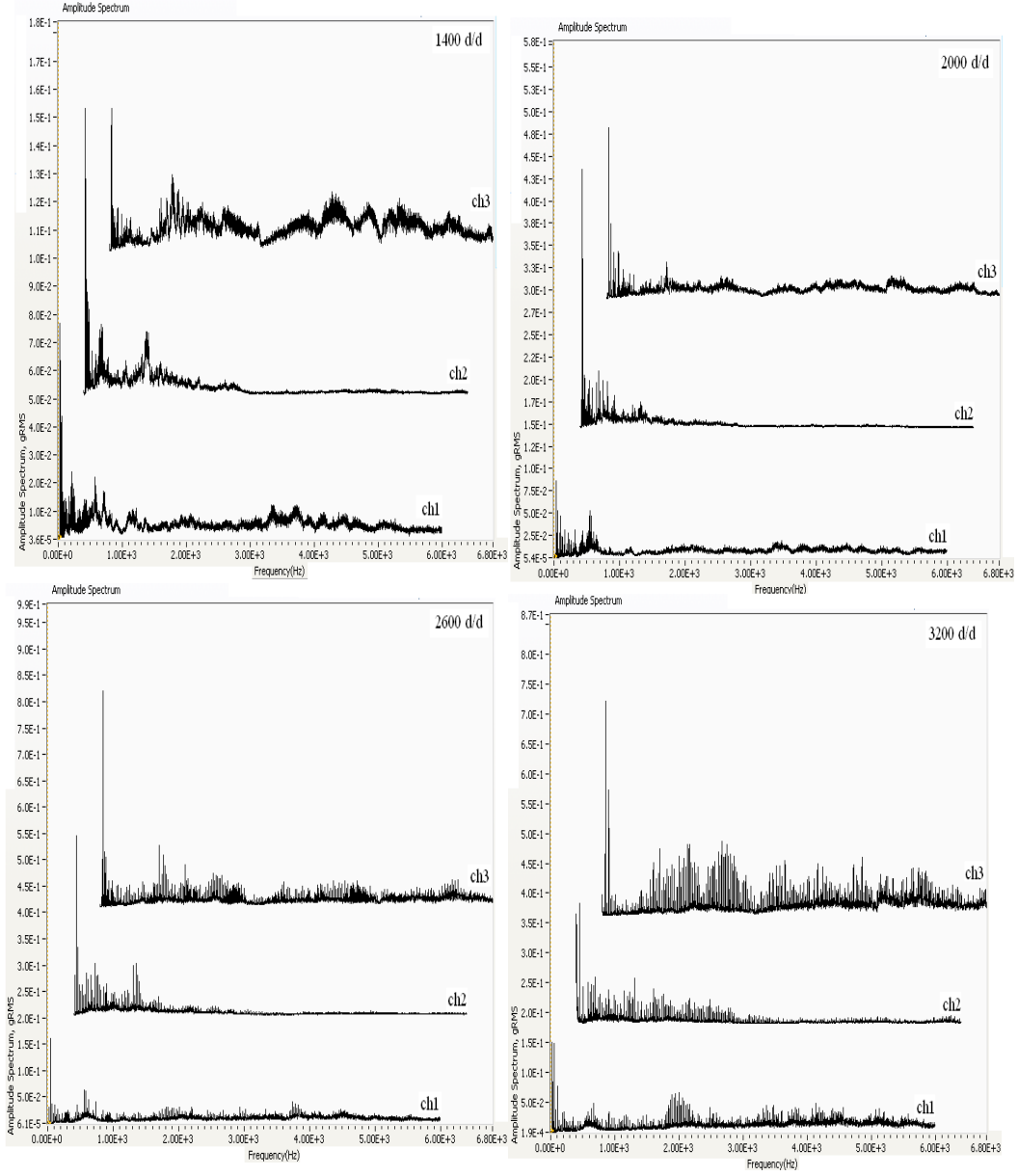
Şekil 4.12. Zaman bölgesi analiz grafikleri.

Şekil 4.13’de standart dizel yakıtı ile farklı motor devirleri için ch1, ch2 ve ch3 kanallarında elde edilen genlik spektrumları görülmektedir. Genlik, titreşimin şiddetini ifade eder. Eğri üzerindeki sıfır noktası ile tepe noktası arasındaki mesafedir. Bir dalgaının genliği, dalgaının yaydığı enerjinin miktarını bağıl olarak verir. Bir fonksiyonun değişkeni frekans ise bu fonksiyon frekans düzleminde ifade edilir. Frekans düzlemi titreşim mühendisliği açısından yorumlandığında, titreşim genliklerinin bir frekans aralığında, frekanslara göre dağılımını gösteren grafik anlamında kullanılmaktadır. Frekans düzlemi, fonksiyonun karakterlerini gösterir. Bir makinenin normalde sadece bir tane çalışma frekansı vardır. Ancak çalışma frekansı ve harmoniklerine ek olarak frekans düzleminde oluşan düzensizliklerin frekansları da görülür (Altuntaş 2007).



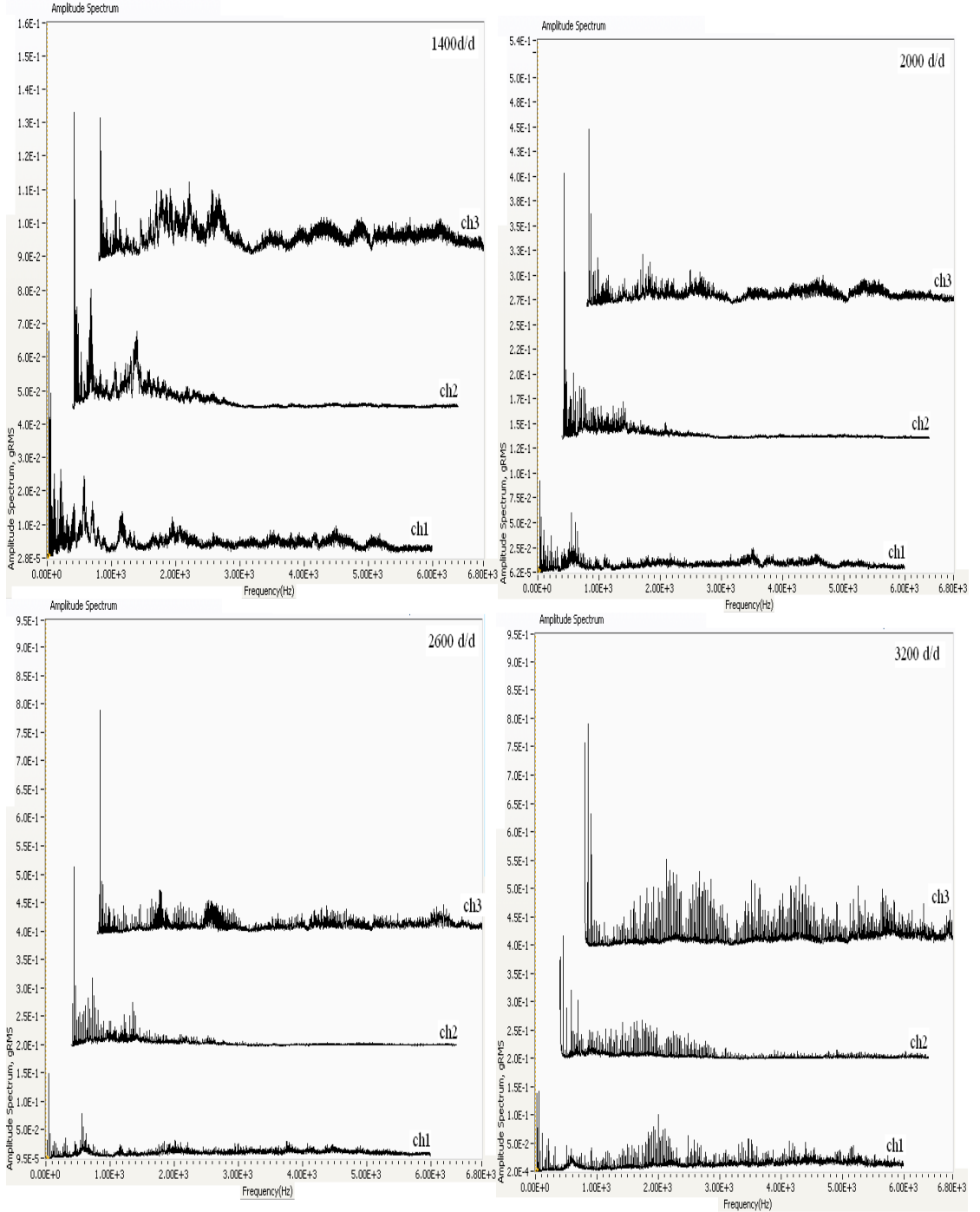
Şekil 4.13. Standart dizel yakıtı ile elde edilen genlik spektrumları.

Şekil 4.14'de KYME20 ile ch1, ch2 ve ch3 kanallarında elde edilen titreşim genlik spektrumları görülmektedir.



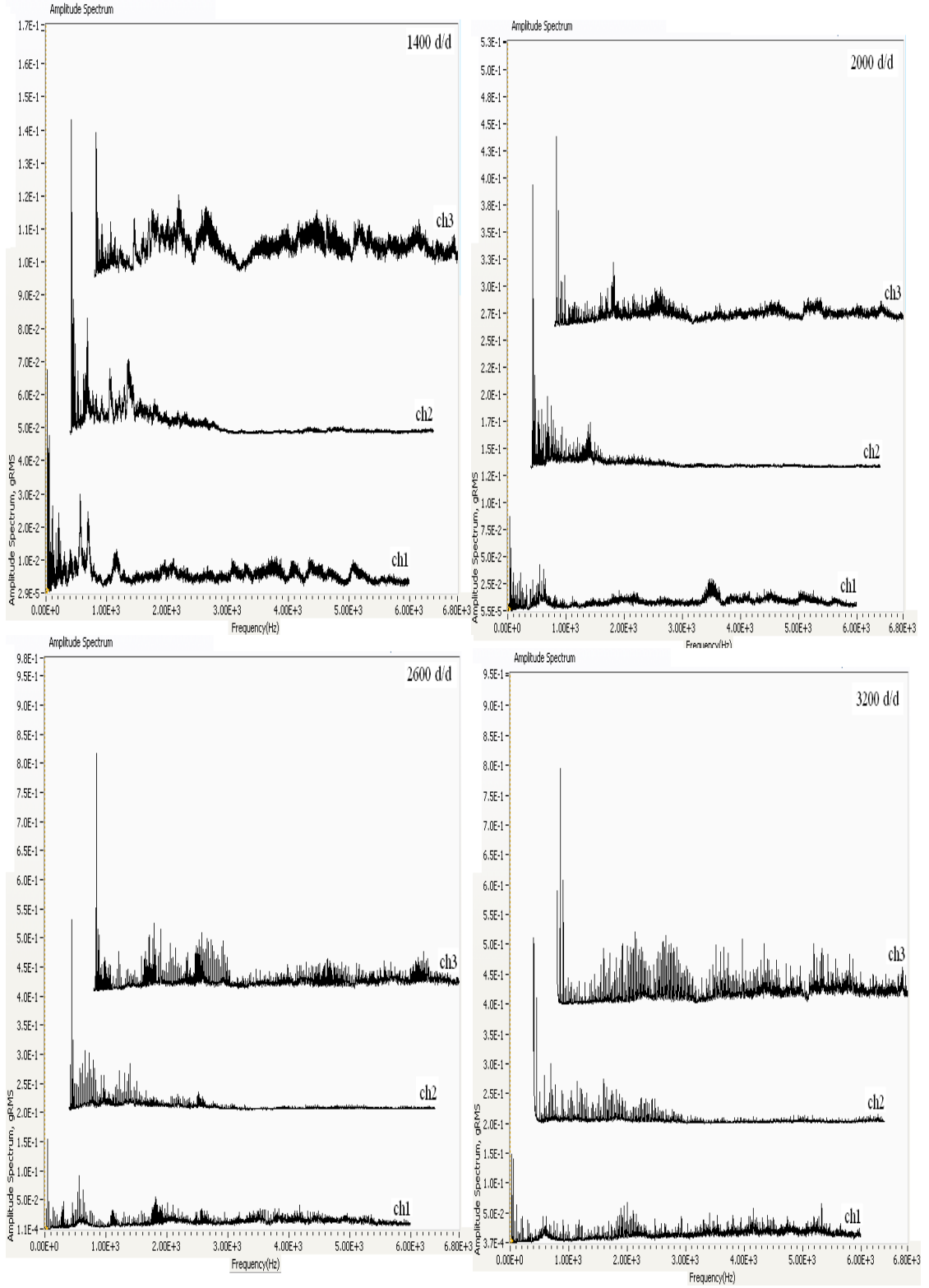
Şekil 4.14. KYME20 ile elde edilen genlik spektrumları.

Şekil 4.15’de KYME40 ile ch1, ch2 ve ch3 kanallarında elde edilen genlik spektrumları görülmektedir.



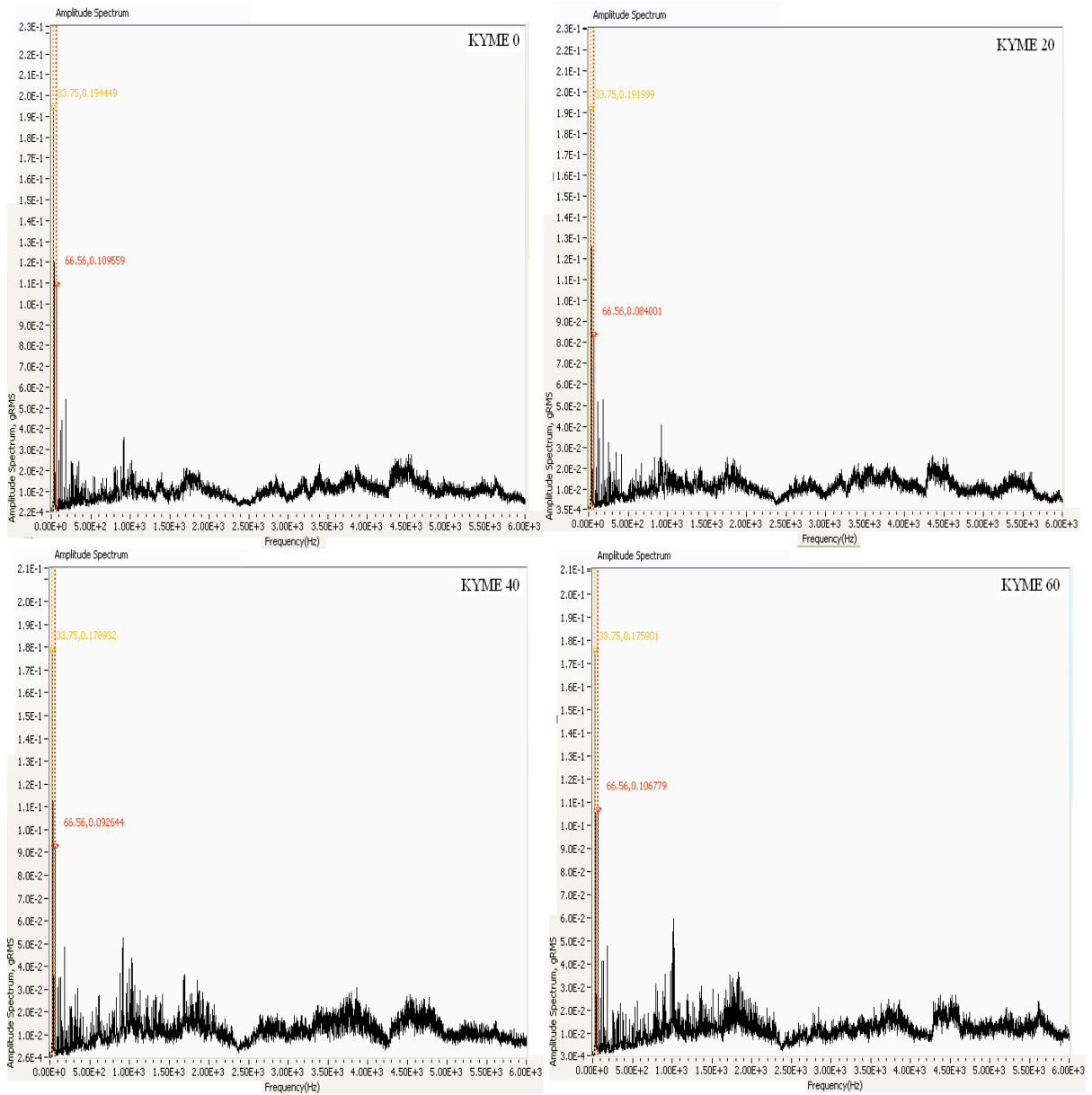
Şekil 4.15. KYME40 ile elde edilen genlik spektrumları.

Şekil 4.16'da KYME60 ile ch1, ch2 ve ch3 kanallarında elde edilen genlik spektrumları görülmektedir.



Şekil 4.16. KYME60 ile elde edilen genlik spektrumları.

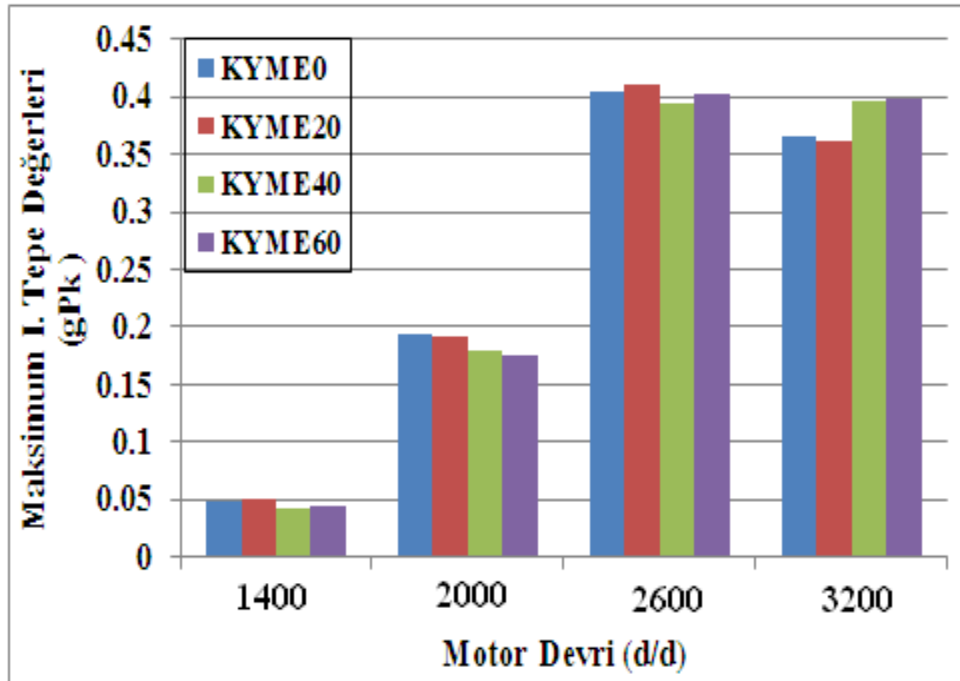
Şekil 4.13, 4.14, 4.15 ve 4.16’da görüldüğü gibi tüm kanallar için titreşim genlik değerleri 2600 d/d’ya kadar artmaktadır. Tüm şekiller için 3200 d/d’da elde edilen titreşim genlik değerleri 2600 d/d ile elde edilen değerlere yakındır. Şekil 4.17’de tüm yakıt karışımları için 2000 d/d motor devrinde, ch3’den alınan verilere göre elde edilen frekans genlik spektrumları görülmektedir. Şekil 4.17 incelendiğinde, genlik değerlerinin yakıt karışımları içeriğindeki KYME oranına bağlı olarak arttığı görülmektedir. En büyük titreşim genliği KYME60 yakıtı ile elde edilmiştir. Bu durumun KYME’nin tutuşma gecikmesinin standart dizel yakıtı göre büyük olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 4.17. Tüm yakıt karışımları için ch3’den alınan verilere göre elde edilen frekans genlik spektrumları.



Uzun süren tutuşma gecikmesi süresince yanma odasında daha fazla yakıt birikir. Silindirde biriken yakıtın aniden yanması ile silindir içerisindeki yanma basıncı daha yüksek değerleri ulaşılarak dizel vuruntusuna neden olmaktadır. Bu nedenle yakıt karışımları içerisindeki KYME oranının artması ile birlikte titreşim genlik değerleri de artmaktadır. Şekil 4.18’de bütün motor çalışma hızları ve bütün yakıt türleri için, 0-6 kHz arasında gRMS (root mean square) ölçeğinde kanal ch3’den elde edilen titreşim spektrumunun en yüksek ilk genlik tepe (first peak) değerleri verilmiştir. RMS titreşim seviyesi, bir spektrumdaki her bir tepenin karesi alınıp, toplandıktan sonra karekökü alınarak elde edilen bir değerdir (Karahana 2005). Tepe (peak) değer sıfır noktasına göre maksimum titreşimleri ifade eder. Titreşimin hızının veya ivmesinin genlik değerini ifade için kullanılır. Şekil 4.18’de görüldüğü gibi 2600 d/d’ye kadar ilk genlik tepe değerleri artmıştır. Motor devrinin artması ile birlikte artan yanma odası basıncından dolayı maksimum tepe (pik) değerleri de 2600 d/d’ye kadar artmıştır. Motor devrinin artmasıyla motor daha kararlı ve dengeli çalıştığından dolayı 3200 d/d’da titreşim I. tepe değerleri 2600 d/d’ya göre daha düşüktür.



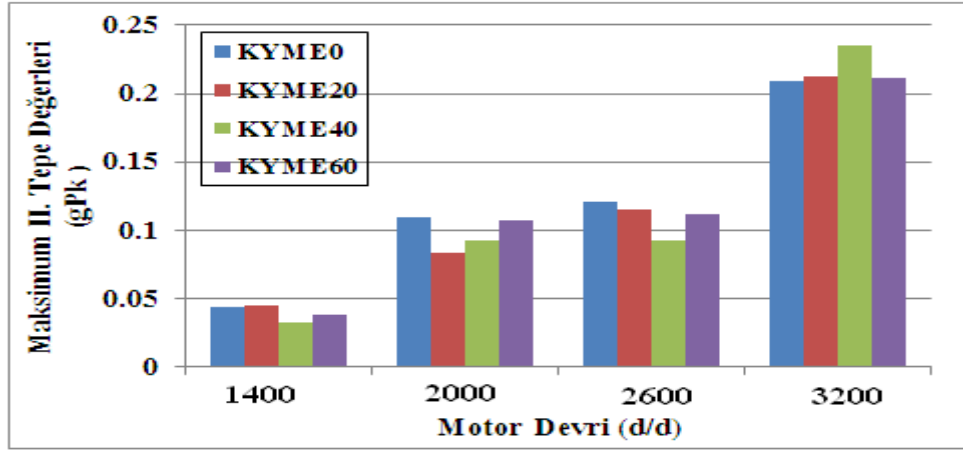
Şekil 4.18. Kanal Ch3’den elde edilen titreşim spektrumunun en yüksek I. genlik tepe değerleri.

Tablo 4.1’de tüm kanallar için elde edilen maksimum I. tepe değerleri ve frekansları görülmektedir. Tepe değerleri her bir motor devrinin katı olan frekans değerlerinde alınmıştır.

**Çizelge 4.1.** Tüm Kanallar İçin Elde Edilen Maksimum I. Tepe Değerleri ve Frekansları.

<b>Maksimum I. Tepe Değerleri (gPk )</b>								
<b>Motor Devri (d/d)</b>								
	<b>1400</b>		<b>2000</b>		<b>2600</b>		<b>3200</b>	
<b>KYME0</b>								
Ch	Freq.	Amp.	Freq.	Amp.	Freq.	Amp.	Freq.	Amp.
ch1	23.44	0.071093	33.75	0.08477	43.12	0.157574	53.44	0.154371
ch2	23.44	0.111586	33.75	0.255572	43.12	0.359616	53.44	0.194135
ch3	34.69	0.048718	33.75	0.194449	43.12	0.404308	53.44	0.366557
<b>KYME20</b>								
Ch	Freq.	Amp.	Freq.	Amp.	Freq.	Amp.	Freq.	Amp.
ch1	23.44	0.076708	33.75	0.085619	43.12	0.160288	53.44	0.149498
ch2	23.44	0.102204	33.75	0.29046	43.12	0.340902	53.44	0.201998
ch3	35.62	0.050921	33.75	0.191999	43.12	0.410497	53.44	0.360937
<b>KYME40</b>								
Ch	Freq.	Amp.	Freq.	Amp.	Freq.	Amp.	Freq.	Amp.
ch1	23.44	0.067519	33.75	0.092123	43.12	0.148054	53.44	0.14189
ch2	23.44	0.088766	33.75	0.268914	43.12	0.31613	53.44	0.217815
ch3	23.44	0.042727	33.75	0.178932	43.12	0.394	53.44	0.395506
<b>KYME60</b>								
Ch	Freq.	Amp.	Freq.	Amp.	Freq.	Amp.	Freq.	Amp.
ch1	23.44	0.067434	32.81	0.086653	43.12	0.152691	53.44	0.140999
ch2	23.44	0.095449	33.75	0.262586	43.12	0.322122	53.44	0.211881
ch3	23.44	0.043657	33.75	0.175901	43.12	0.403282	53.44	0.397761

Şekil 4.19’da bütün motor çalışma hızları ve bütün yakıt türleri için, 0-6 kHz arasında gRMS (root mean square) ölçeğinde kanal Ch1’den elde edilen titreşim spektrumunun en yüksek ikinci genlik tepe (second peak) değerleri verilmiştir. Şekil 4.19’da görüldüğü gibi titreşim spektrumunun en yüksek II. genlik tepe değerleri motor devrine bağlı olarak artmıştır. Tablo 4.2’de tüm kanallar için elde edilen maksimum II. tepe değerleri ve frekansları görülmektedir. Tepe değerleri her bir motor devrinin katı olan frekans değerlerinde alınmıştır.



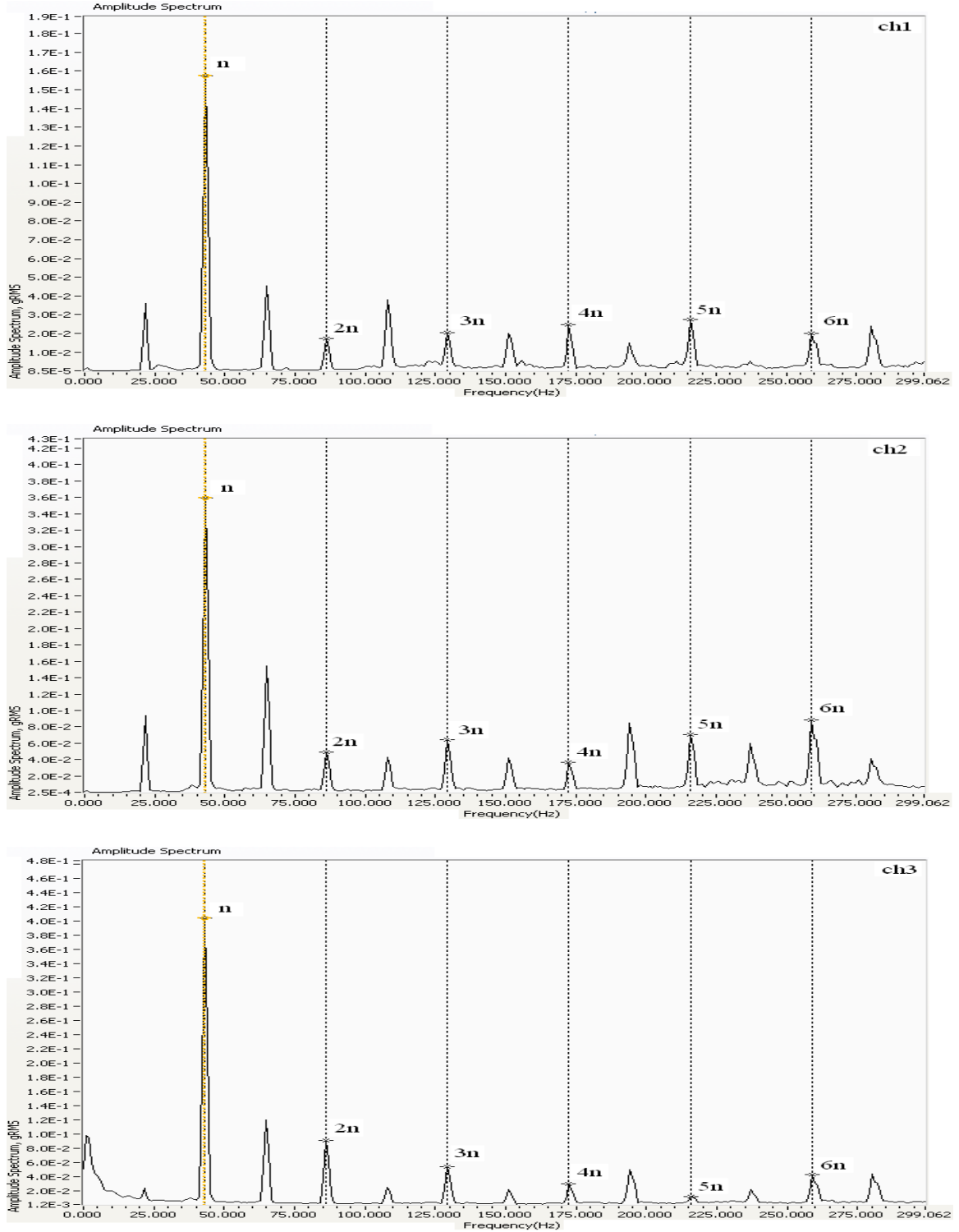
Şekil 4.19. Kanal Ch3'den elde edilen titreşim spektrumunun en yüksek II. genlik tepe değerleri.

Şekil 4.19'da görüldüğü gibi titreşim spektrumunun en yüksek II. genlik tepe değerleri motor devrine bağlı olarak artmıştır.

Çizelge 4.2. Tüm Kanallar İçin Elde Edilen Maksimum II. Tepe Değerleri ve Frekansları.

Maksimum II. Tepe Değerleri (gPk)								
Motor Devri (d/d)								
	1400		2000		2600		3200	
<b>KYME0</b>								
Ch	Freq.	Amp.	Freq.	Amp.	Freq.	Amp.	Freq.	Amp.
ch1	34.69	0.071093	100.31	0.055017	560.62	0.061332	26.25	0.117197
ch2	34.69	0.046532	66.56	0.084545	64.69	0.154207	240	0.087441
ch3	23.44	0.044544	66.56	0.109559	64.69	0.120572	106.87	0.208586
<b>KYME20</b>								
Ch	Freq.	Amp.	Freq.	Amp.	Freq.	Amp.	Freq.	Amp.
ch1	35.62	0.06341	50.62	0.052894	561.56	0.063612	26.25	0.14966
ch2	35.62	0.041397	285	0.064235	64.69	0.128078	293.44	0.079288
ch3	23.44	0.044863	66.56	0.084001	907.5	0.115745	106.87	0.212645
<b>KYME40</b>								
Ch	Freq.	Amp.	Freq.	Amp.	Freq.	Amp.	Freq.	Amp.
ch1	58.12	0.049054	550.31	0.059836	564.37	0.077918	26.25	0.13828
ch2	280.31	0.035933	66.56	0.069493	325.31	0.11935	186.56	0.121131
ch3	34.69	0.032711	66.56	0.092755	64.69	0.092755	106.87	0.235123
<b>KYME60</b>								
Ch	Freq.	Amp.	Freq.	Amp.	Freq.	Amp.	Freq.	Amp.
ch1	58.12	0.049054	550.31	0.059836	564.37	0.077918	26.25	0.13828
ch2	280.31	0.035933	66.56	0.069493	325.31	0.11935	186.56	0.121131
ch3	34.69	0.032711	66.56	0.092755	64.69	0.092755	106.87	0.235123

En basit titreşim çeşidi harmonik titreşimdir. Harmonik hareket, en basit formdaki harekettir. Hareketin eşit t zaman aralıklarında tekrarlamasına harmonik hareket denir (Karaçay 2006). Şekil 4.20’de standart dizel yakıtı için 2600 d/d’de bütün kanallar için harmonik frekansları verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi tüm harmonikler  $2600/60=43.33$  Hz ve katları frekansları değerlerinde oluşmuştur.



Şekil 4.20. Standart dizel yakıtı için 2600 d/d’de tüm kanallar için harmonik frekansları.

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

KYME kullanımı ile motor momenti ve gücünde standart dizel yakıtla düşüşler gözlemlenmiştir. Deneylerde, tüm yakıt karışımları için maksimum moment değerleri, 2000 d/d'da elde edilmiştir. Maksimum moment standart dizel yakıtı için 19 Nm, KYME20 için 18 Nm, KYME40 için 17.6 Nm ve KYME60 için 17 Nm elde edilmiştir. Dizel yakıtına göre, KYME içerikli yakıtlardan ortalama %12.25 daha düşük güç elde edilmiştir. KYME içerikli yakıtlardan elde edilen moment değerlerinin bir miktar düşük olması, KYME'nin ısı değerinin düşük olması ve yüksek viskoziteye-yoğunluğa sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Yüksek viskoziteye ve yoğunluk, yakıtın enjektörden püskürtülmesini zorlaştırarak, iyi derecede atomize olamamasına neden olmaktadır. Bu durumun yanma süresinin uzamasına ve dolayısı ile motor karakteristik değerlerinde düşümlere etkisi olmaktadır. KYME karışimli yakıtların özgül yakıt tüketimi değerlerinin, standart dizel yakıtı değerlerine göre yüksek olduğu görülmüştür. Özgül yakıt tüketiminin KYME oranına bağlı olarak artmasının nedeni, KYME'nin yoğunluğunun standart dizel yakıtından yüksek olmasıdır. Ayrıca KYME'nin ısı değerinin standart dizel yakıtın ısı değerinden düşük olması nedeniyle, aynı miktarda enerji elde etmek için motorun daha fazla KYME karışimli yakıt kullanması gerekmektedir. Tam yanmanın gerçekleşmemesi nedeniyle karışımların içerdiği KYME oranlarına bağlı olarak, egzoz gazı içerisinde bulunan O<sub>2</sub> miktarının ve CO<sub>2</sub> emisyonunda bir miktar arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, KYME karışimli yakıtların ısı değerleri düşük olduğu için, egzoz gazı sıcaklıkları dizel yakıtına göre düşük çıkmıştır. En yüksek NO<sub>x</sub> emisyonu, KYME60 yakıtının kullanımında görülmüştür. Yakıt karışımlarındaki KYME oranı arttıkça, NO<sub>x</sub> emisyonları artış göstermiştir. Duman koyuluğunun yakıt karışımları içerisindeki KYME oranına bağlı olarak düştüğü görülmüştür. En düşük titreşim genlik değeri standart dizel yakıtı ile 1400 d/d'da elde edilmiştir. Titreşim genlik değerinin, motor devri ile arttığı görülmüştür. Bu araştırmanın sonuçları, ülkemizde standart olarak kabul edilmiş KYME' nin belli oranlarında dizel yakıtı ile karıştırılarak dizel motorlarında kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

## 6. KAYNAKLAR

- Acarođlu, M., Alternatif Enerji Kaynakları, *Atlas Yayın Dağıtım*, 26, İstanbul(2003) 341.
- Alibaş K., Ulusoy Y., Bitkisel yağların Diesel motorlarda yakıt olarak kullanım olanakları, *Tarımsal Mekanizasyon 16. Ulusal Kongresi, Bursa*, 147 (1995) 5- 7.
- Alpgiray A., Gürhan R., Kanola yağının diesel motorunun performansına ve emisyon karakteristiklerine etkilerinin belirlenmesi, *Tarım Bilimleri Dergisi*, 13 (3) (2007) 231-239.
- Alpgiray B., Kanola yağı metil esterleri ve karışımlarının dizel motoru performansına etkisinin deneysel incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Ankara Üniversitesi (2006).
- Altın R., Bitkisel yağların dizel motorlarında kullanılmasının deneysel olarak incelenmesi, *Doktora Tezi*, Gazi Üniversitesi (1998).
- Altın R., Çetinkaya S. ve Yücesu S., The potential of using vegetable oil fuels as fuel for diesel engines, *Energy Conversion and Management* (2001) 529-538.
- Altuntaş Ö., Hava araçlarında dönel makinaların titreşim ve önemi, *Yüksek Lisans Tezi*, Anadolu Üniversitesi (2007).
- Anonim, <http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/biyodizel.aspx> (Erişim Tarihi:20 Aralık 2014).
- Apfelbeck R., Production and processing of plant oils and by-products to fuels, Biomass conversion for energy thermo chemical conversion, *Proceedings of the first technical consultation Cf CNRE*, Germany, October (1986) 14 – 17.
- Arslan S., Titreşim analizi ile fanlarda arıza teşhisi ve kestirimci bakım, *Yüksek Lisans Tezi*, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi (2010).
- Avcıoğlu, A.O., *Tarım traktörleri deney tekniği*. A.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Anabilim Dalı Lisansüstü eğitim ders kitabı, (2002).
- Behçet R., Çakmak A.V., Bir dizel motorda yakıt olarak kullanılan balık yağı metil esterleri karışımlarının motor performans ve emisyonlarına etkisi, *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, 16-18 May 2011, Elazığ, Turkey (2011) 162-165.

- Behçet R. , Aydın S. , Çakmak A., Bitkisel ve hayvansal atık yağlardan üretilen biyodizellerin tek silindirli bir dizel motorda yakıt olarak kullanılması, *Iğdır Üni. Fen Bilimleri Enst. Der. / Iğdır Univ. J. Inst. Sci. & Tech.* 2(4) (2012) 55-62.
- Conneman G., Grace J., Karszes J., Marshman S., Staehr E., Schosek S.M., Putnam L.D., Casey B., Degni J., 2000. Intensive grazing farms *New York 1999. EB 2000-11.Cornell University* (2011).
- Çelikten İ., Arslan M.A., Dizel yakıtı, kanola yağı ve soya yağı metil esterlerinin direkt püskürtmeli bir dizel motorunda performans ve emisyonlarına etkilerinin incelenmesi, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 23 (4) (2008) 829-836.
- Çetinkaya S., Ayçiçek yağının dizel yakıtı olarak kullanabilme potansiyeli, *Doçentlik Tez Takdimi*, Gazi Üniversitesi (1994).
- Demirbaş A., Biodiesel from vegetable oils via tranesterification in supercritical Methanol, *Energy Conversion and Management* 1620 (2001).
- Dinçbaş A., Biyodizel Kullanımının Dizel Motoru Üzerindeki Etkilerinin Uzun Süreli Testlerle Ve Motorinle Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Ege Üniversitesi, (2007).
- Doğan O., Atık taşıt lastiğinden üretilen pirolitik yakıtın bir dizel motorda kullanımının deneysel olarak araştırılması, *Doktora Tezi*, Karabük Üniversitesi, (2012).
- Dunton, T.A., *An introduction to time waveform analysis*, Universal Technologies Inc., A.B.D., (1999).
- Erdoğan, D., Bitkisel yağların Dizel motorlarında yakıt olarak kullanılması, *Tarımsal Mekanizasyon 13.Ulusal Kongresi, Bildiri Kitabı*, 25 – 27 Eylül, Konya (1991).
- Eliçin, A.K., Yakıt olarak kullanılan fındık yağı ile küçük güçlü bir dizel motorunun performans karakteristiklerinin belirlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Ankara Üniversitesi Ankara (2005).
- Freedman, B. and Pryde, E.H.,1982, Fatty Esters from Vegetable Oils for Use as A Diesel Fuel, Proceedings of the International Conference on Plant and Vegetable Oils as Fuels, American Society of Agricultural Engineers, Fargo, North Dakota,117-122.
- Gürleyük, S.S. ve Akpınar, S.,2003, *Yeni Enerji Kaynakları. Biyodizel*, II. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu Bildiriler Kitabı, ISBN. 975-395-643-6, 406-411 (2003).

- Ham Petrol Ve Doğal Gaz Sektör R., Türkiye üretilebilir petrol ve doğal gaz rezervi, *2013 Yılı Ham Petrol Ve Doğal Gaz Sektör Raporu*, Ankara-TÜRKİYE (2014).
- Hassett D.J., Hasan R.A., Sunflower Methyl Ester as Diesel Fuel, Vegetable Oils Fuels of The International Conference on Plant and Vegetable Oils as Fuel, *ASAE* (1992).
- İleri, E., Kanola yağı metil esterinin dizel motor performansı ve emisyonlarına etkilerinin deneysel olarak incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Ege Üniversitesi (2005).
- Karaçay T., Açısız temaslı rulmanlarla yataklanmış şaftların dinamiği ve rulman hatalarının deneysel analizi, *Doktora Tezi*, Gazi Üniversitesi (2006).
- Karahan M.M.F., Titreşim analizi ile makinalarda arıza teşhisi, *Yüksek Lisans Tezi*, Celal Bayar Üniversitesi (2005).
- Kusdiana D. and Saka S., A novel process of the biodiesel fuel production in supercritical methanol. 1st World conference and exhibition on biomass for energy and industry. 5-9 June Sevilla, Spain, I, 563-566 (2000).
- Koçak M.S., Fındık yağı metil esterinin dizel motorlarda alternatif yakıt olarak kullanımının deneysel olarak araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi, (2005).
- Labeckas G. and Slavinskis S. The effect of rapeseed oil methyl ester on direct injection diesel engine performance and exhaust emission, *Energy Conversion and Management*, 47 (2006) 1954-1967.
- Mohammed A.A., Yakıt olarak bazı bitkisel yağların Dizel motor performansına Etkileri, *Doktora Tezi*, Ankara Üniversitesi (1995).
- Oğuz, H., Tarım kesiminde yaygın olarak kullanılan dizel motorlarında fındık yağı biyodizelinin yakıt olarak kullanım imkanlarının incelenmesi, *Doktora Tezi*, Selçuk Üniversitesi (2004).
- Oğuz H., Dizel yakıtı ayçiçek yağı karışımlarının dizel motorlarında yakıt olarak kullanılma imkanlarının araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Selçuk Üniversitesi (1998).
- Özsezen A. N., Çanakçı M., Atık kızartma yağından elde edilen metil esterinin ön yanma odalı bir dizel motorda kullanımının performans ve emisyonlara etkisinin incelenmesi, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 23 (2) (2008) 395-404.



- Özsezen A., Çanakçı M., Atık palmiye ve kanola yağı metil esterlerinin kullanıldığı direkt püskürtmeli bir dizel motorda performans ve yanma, Gazi Üniversitesi, *Müh. Mim. Fak. Der.*,24(2) (2009) 278-282.
- Öztürk M.G., Bilen K., Kanola yağı metil esteri ve karışımlarının dizel motoru egzoz emisyonuna ve yakıt tüketimine etkisinin deneysel incelenmesi, *Int.J.Eng.Research & Development*, 1(1) (2009) 50-51.
- Örnek S.S., Dizel motorlarda biyodizel kullanımının egzoz emisyonlarına etkilerinin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Pamukkale Üniversitesi (2007).
- Ramadhas, A.S., Jayarah, S. and Muraleedharan, C.. Use of vegetable oils as I.C. engine fuels – A Review. *Renewable Energy*, 29 (2004) 727 – 742.
- Peterson C.L., Reece D.L, Moscow I.D., Potential of vegetable oils as a transportation fuel, *Pacific Rim TransTech Conference Pub By ASCE, USA*, (1995).
- Radu R., Mircea Z.,The use of sunflower oil in diesel engines, *SAE*, 972979 (1997).
- Srivastava A., Prasad R., Triglycerides-based diesel fuels, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 4 (2000) 111-133.
- Sugözü İ., Aksoy F. , Baydır Ş. A. Bir dizel motorunda ayçiçeği metil esteri kullanımının motor performans ve emisyonlarına etkisi, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6 (2) (2009) 49-56.
- Safgönül B., Ergeneman M., Arslan E. ve Soruşbay C. *İçten Yanmalı Motorlar*, Birsen Yayınevi, (1995).
- Saruhan H., Sarıdemir S., Çiçek A., Uygur İ., Vibration analysis of rolling element bearings defects, *Journal Of Applied Research And Technology*, (12) (2014) 384-395.
- Scholl K.W., Sorenson, S.C.,Combustion of soybean oil methyl ester in a direct injection diesel engine, *SAE*, 930934 (1993).
- Şahin S., Keten yağı biyodizelinin ve motorinle karışımlarının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisinin araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Selçuk Üniversitesi (2013).
- TSE 11365/Nisan 1994, Egzoz Gazı Kirleticileri, Trafikteki dizel motorlu taşıtlar için ölçüm metodu ve sınır değerleri, *TSE*, Ankara-TÜRKİYE (1994).

- Taghizadeh A., Tavakoli T., Ghobadian B., Analysis and evaluation of vibrations of power tiller in the stationary condition, *Iranian Biosys Eng*, 41 (2010) 27-37.
- Taghizadeh A., Ghobadian B., Tavakoli T., Mohtasebi S., Vibration analysis of a diesel engine using biodiesel and petrodiesel fuel blends, *Sci Verse Science Direct*, 102 (2012) 414-422.
- Ulusoy Y., Alibas K., Using various vegetable oil as alternative fuel in Diesel engine. *7th International Congrees on Agricultural Mechanization and Energy*, (1999) 297–301.
- Ulusoy Y., Alibaş K., Diesel Motorlarda Biodiesel Kullanımının Teknik ve Ekonomik Olarak İncelenmesi, *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, No.16, Bursa, (2002) 37-50.
- Yamık, H., Dizel motorlarında alternatif yakıt olarak yağ esterlerinin kullanılma imkanlarının araştırılması, G.Ü. Fen Bil. Enst., *Doktora Tezi*, Ankara (2002).
- Yücesu H.S., Altın R., Çetinkaya S., Dizel motorlarında alternatif yakıt olarak bitkisel yağ kullanımının deneysel incelenmesi. *Turkish journal of engineering environment science*, 25, (1999) 39 – 49.

# ÖZGEÇMİŞ

## Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : Serdar ALBAYRAK  
Uyruğu :T.C.  
Doğum tarihi ve yeri :05/03/1985 DÜZCE  
Telefon :05447410773  
Faks : -  
E-posta :serdaralbayrak81@gmail.com

## Eğitim

### Derece Eğitim Birimi Mezuniyet tarihi

Yüksek Lisans	Düzce Üniversitesi	2014
Lisans	Karabük Üniversitesi	2010
Lise	Kdz.Ereğli Anadolu Denizcilik Meslek Lisesi	2003