

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**BİR CRDI DİZEL MOTORDA OKSİJEN İÇERİKLİ YAKIT  
KARIŞIMLARININ ENJEKSİYON, PERFORMANS VE  
EMİSYON KARAKTERİSTİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**ZAFER AŞCI**

**KOCAELİ 2018**



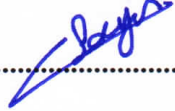
**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ**  
**ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**BİR CRDI DİZEL MOTORDA OKSİJEN İÇERİKLİ YAKIT**  
**KARIŞIMLARININ ENJEKSİYON, PERFORMANS VE**  
**EMİSYON KARAKTERİSTİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**ZAFER AŞCI**

**Yrd. Doç. Dr. Ertan ALPTEKİN**  
**Danışman, Kocaeli Üniversiteleri**  
**Prof. Dr. Mustafa ÇANAKCI**  
**Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi**  
**Prof. Dr. Cenk SAYIN**  
**Jüri Üyesi, Marmara Üniversitesi**

  
.....  
  
.....  
  
.....

**Tezin Savunulduğu Tarih: 03.01.2018**

## **ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR**

Dünya genelinde motorlu taşıtların sayısı hızla artmakta ve bu araçların egzoz emisyonlarından dolayı çevre kirliliği meydana gelmektedir. Son yıllarda daha da yükselen bu artış, emisyon seviyelerinin kontrol altına alınması için çözüm arayışına girilmesine yol açmıştır. Böylelikle Euro standartları kullanılmaya başlanmıştır. Birçok ülke emisyon seviyesini azaltmayı amaçlayan Kyoto Protokolü'nü onayladığından, otomotiv firmaları ve bilim insanları hava kirliliğinin azaltılması için çeşitli araştırmalar yapmaktadır. İçten yanmalı motorlarda kullanılan yakıtın yanma parametreleri emisyon seviyesini azaltıcı faktörlerden birisidir. Bu deneysel çalışmada da, günümüzde dizel motorlarda kullanılabilecek oksijen içerikli alternatif yakıtların bir CRDI dizel motorda katkı maddesi olarak kullanılabilirliği test edilmiştir.

Öncelikle, çalışma hayatımda ve yükseköğrenimim boyunca yanımda bulunan, tez çalışmalarımnda beraber çalıştığım, talihsiz bir kaza sonucu erken yaşta aramızdan ayrılmış olan Taner ARDA'yı rahmetle anmak isterim.

Bu konuda bana çalışma imkânı veren, değerli tecrübelerini ve katkılarını esirgemeyen danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Ertan ALPTEKİN'e, manevi desteğini her zaman yanımda hissettiren sevgili eşim Ayfer AŞCI'ya, hayatım boyunca beni her konuda destekleyen babam Sait AŞCI ve annem Yeter AŞCI'ya sonsuz minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

Ocak-2018

Zafer AŞCI

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ .....	v
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	vi
ÖZET.....	vii
ABSTRACT.....	viii
GİRİŞ .....	1
1. GENEL BİLGİLER .....	3
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....	8
3. ALTERNATİF YAKIT OLARAK BİYODİZEL, ETANOL VE SOLKETAL .....	15
3.1. Biyodizel .....	15
3.1.1. Biyodizel üretimi.....	16
3.1.2. Biyodizelin avantajları ve dezavantajları .....	18
3.1.3. Türkiye’de biyodizel .....	20
3.2.Etanol .....	20
3.2.1. Etanol üretimi.....	21
3.2.2. Türkiye’de etanol .....	23
3.3.Solketal.....	24
4. MATARYEL VE METOT .....	26
4.1. Test Aşaması .....	26
4.1.1. Test motoru .....	27
4.1.2. Testlerde kullanılan yakıtlar.....	27
4.1.3. Motor test düzeneği.....	28
4.2. Testler Sonucunda Elde Edilen Veriler ile Hesaplanan Değerler .....	32
4.2.1. Özgül yakıt tüketimi.....	32
4.2.2. Motor momenti .....	33
4.2.3. Efektif güç.....	34
4.2.4. Efektif verim .....	34
4.2.5. Isı dağılımı analizi ve filtreleme .....	35
5. BULGULAR VE TARTIŞMA .....	38
5.1.Özgül Yakıt Tüketimi Sonuçları .....	38
5.2.Efektif Verim Sonuçları .....	39
5.3.Enjeksiyon ve Yanma Sonuçları .....	40
5.4.Egzoz Emisyonları .....	48
5.4.1. CO Emisyonları.....	48
5.4.2. CO <sub>2</sub> Emisyonları .....	50
5.4.3. THC Emisyonları .....	50
5.4.4. NO <sub>x</sub> Emisyonları .....	51
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	53
KAYNAKLAR .....	56
KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER .....	62

ÖZGEÇMİŞ ..... 63



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	2015 Yılı Küresel Enerji Tüketim Oranları.....	3
Şekil 1.2.	2014 Yılı Bölgeler İtibariyle Rezerv Miktarları.....	4
Şekil 3.1.	Bitkisel yağların metanol ile transesterifikasyonu .....	17
Şekil 3.2.	Transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretiminde işlem aşamaları.....	18
Şekil 3.3.	Değişik hammaddelerden biyoetanol üretim aşamaları .....	22
Şekil 3.4.	Türkiye’de dizel, fuel oil tüketimi ve kurulu biyoetanol kapasitesi .....	23
Şekil 4.1.	Test motoru .....	27
Şekil 4.2.	KABS 15 yakıtı .....	28
Şekil 4.3.	KABE 15 yakıtı.....	28
Şekil 4.4.	Motor test düzeneği şematik görünümü .....	29
Şekil 4.5.	Testlerde kullanılan hidrolik dinamometre .....	29
Şekil 4.6.	Dinamometre kontrol panalei.....	30
Şekil 4.7.	Nem ve sıcaklık ölçer.....	30
Şekil 4.8.	AVL Egzoz emisyon cihazı.....	31
Şekil 4.9.	Silindir basınç ölçüm cihazı .....	32
Şekil 4.10.	Akım kelepçesi.....	32
Şekil 4.11.	Motor momentinin ölçülmesi .....	33
Şekil 4.12.	Silindir basınç grafiği.....	35
Şekil 4.13.	Yakıt hattı basınç grafiği .....	36
Şekil 4.14.	Isı dağılım grafiği .....	36
Şekil 5.1.	ÖYT değerlerinin karşılaştırılması.....	39
Şekil 5.2.	Efektif verim değerlerinin karşılaştırılması.....	40
Şekil 5.3.	Pilot enjeksiyon başlangıcı karşılaştırılması .....	41
Şekil 5.4.	Pilot enjeksiyon sonu karşılaştırılması .....	42
Şekil 5.5.	Ana enjeksiyon başlangıcı karşılaştırması .....	42
Şekil 5.6.	Ana enjeksiyon sonu karşılaştırması .....	43
Şekil 5.7.	Pilot enjeksiyon süresi (Mikrosaniye).....	43
Şekil 5.8.	Pilot enjeksiyon süresi (°KA).....	44
Şekil 5.9.	Ana enjeksiyon süresi (Mikrosaniye).....	44
Şekil 5.10.	Ana enjeksiyon süresi (°KA) .....	45
Şekil 5.11.	Silindir gaz basıncı ve ısı dağılımları karşılaştırması .....	46
Şekil 5.12.	CO Emisyonlarının karşılaştırılması .....	49
Şekil 5.13.	CO <sub>2</sub> Emisyonlarının karşılaştırılması.....	50
Şekil 5.14.	THC Emisyonlarının karşılaştırılması.....	51
Şekil 5.15.	NO <sub>x</sub> Emisyonlarının karşılaştırılması.....	52

## TABLULAR DİZİNİ

Tablo 1.1. Kullanılan yakıt türüne göre motorlu kara taşıt sayısı .....	4
Tablo 3.1. Ulaşım sektörü için modern alternative yakıtların bulunabilirlik karşılaştırması.....	18
Tablo 3.2. Çeşitli tahıllardan dünyadaki biyoetanol üretim potansiyeli.....	22
Tablo 3.3. Dünyadaki ilk 10 biyoetanol üreticisi ülkeler .....	24
Tablo 4.1. Test yakıtlarının temel özellikleri .....	26
Tablo 4.2. KAB yağ asit dağılımı.....	26
Tablo 4.3. Testlerde kullanılan motorun teknik özellikleri .....	27
Tablo 4.4. Hidrolik dinamometre özellikleri .....	29
Tablo 4.5. Egzoz emisyon cihazı özellikleri.....	31
Tablo 5.1. Yanma ve enjeksiyon sonuçları.....	48
Tablo 5.2. Test yakıtlarının hava fazlalık katsayısı ( $\lambda$ ) değerleri .....	49

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

$b_e$	: Özgül yakıt tüketimi (g/kWh)
$M_d$	: Motor momenti
$\eta_t$	: Efektif verim
$Q_g$	: Motora sürülen enerji miktarı
$Q_n$	: Net ısı dağılımı
$Q_t$	: Toplam ısı dağılımı

## KISALTMALAR

AB	: Avrupa Birliği
AEB	: Ana Enjeksiyon Başlangıcı
AEM	: Ana Enjeksiyon Miktarı
AES	: Ana Enjeksiyon Sonu
AYSK	: Avrupa Yerleşik Sistem Kontrolü
BSFC	: Brake Specific Fuel Consumption
CO	: Karbonmonoksit
CO <sub>2</sub>	: Karbondioksit
CRDI	: Common Rail Direkt Injection
DOK	: Dizel Oksidasyon Katalisti
E	: Etanol
EKÜ	: Elektronik Kontrol Ünitesi
HC	: Hidrokarbon
KA	: Krank Açısı
KAB	: Kanola-Aspir Biyodizel
M	: Motorin
MIDO	: Maksimum Isı Dağılım Oranı
MSB	: Maksimum Silindir Gaz Basıncı
NO <sub>x</sub>	: Azotoksit
O <sub>2</sub>	: Oksijen
ÖYT	: Özgül Yakıt Tüketimi
PEB	: Pilot Enjeksiyon Başlangıcı
PEM	: Pilot Enjeksiyon Miktarı
PES	: Pilot Enjeksiyon Sonu
PM	: Partikül Madde
S	: Solketal
TEP	: Ton Eşdeğer Petrol
YASÇ	: Yeni Avrupa Sürüş Çevrimi

## **BİR CRDI DİZEL MOTORDA OKSİJEN İÇERİKLİ YAKIT KARIŞIMLARININ ENJEKSİYON, PERFORMANS VE EMİSYON KARAKTERİSTİKLERİNİN İNCELENMESİ**

### **ÖZET**

Bu çalışmada, saf petrol kökenli motorin, kanola-aspir karışımı biyodizel, solketal ve etanol gibi oksijenli yakıt karışımları bir common rail dizel motorunda üç farklı motor devrinde (1500 dev/dk, 2000 dev/dk ve 2500 dev/dk) ve ortalama motor yükünde (100 Nm)'de test edilmiştir. Detaylı ve karşılaştırmalı enjeksiyon, yanma ve emisyon analizleri yapılmıştır. Sonuçlar, biyodizel ve biyodizelin oksijenli yakıtlarla olan karışımlarının (%15 etanol - %85 biyodizel ve %15 solketal - %85 biyodizel) özgül yakıt tüketimi (ÖYT) petrol kökenli motorine göre daha yüksek olduğu göstermektedir. Biyodizele solketal ve etanol ilave edilmesi ÖYT değerini arttırmıştır. Tüm test yakıtları için silindir basınçları birbirine yakındır. Ana ve pilot enjeksiyon karakteristikleri, motorin ve biyodizel kullanıldığında önemli ölçüde değişmiştir. Emisyon sonuçlarına göre, biyodizel motorine oranla daha düşük CO ve THC emisyonun salınımına rağmen yüksek miktarda NO<sub>x</sub> ve CO<sub>2</sub> emisyonu üretmektedir. Bununla beraber, solketal ve etanol yakıt karışımları biyodizele nazaran NO<sub>x</sub> emisyonunda artış göstermekte ve düşük CO<sub>2</sub>, CO ve THC emisyonları sağlamaktadır. Etanol-biyodizel ve solketal-biyodizel yakıt karışımları birbirlerine yakın sonuçlar vermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Biyodizel, Emisyon, Etanol, Solketal, Yanma

## **INSPECTION OF INJECTION, PERFORMANCE AND EMISSION CHARACTERISTICS OF USING OXYGENATED FUEL BLENDS IN A CRDI DIESEL ENGINE**

### **ABSTRACT**

In this study, pure petroleum diesel fuel, biodiesel obtained from canola-safflower biodiesel and oxygenated fuel additives such as ethanol and solketal were used. The fuels were tested in a common rail diesel engine. The test conditions were set at average engine load (100 Nm) and engine speed of 1500 rpm, 2000 rpm and 2500 rpm. According to test results, detailed and comparative injection, combustion, performance and emission analysis were performed. With regard to the results obtained, it was determined that brake specific fuel consumption (BSFC) of biodiesel and its blends with oxygenated fuels (15% solketal-85%biodiesel and 15% ethanol) were higher than those of petroleum diesel fuel. When solketal and ethanol were added to biodiesel, BSFC was increased. Maximum cylinder pressures were closed to each other for all test fuels. When biodiesel and diesel fuel were used, main and pilot injection characteristics of the test engine significantly changed. Despite of biodiesel emitted lower CO and THC emissions compared to diesel fuel, higher NO<sub>x</sub> and CO<sub>2</sub> emissions were obtained. Solketal and ethanol fuel blend show an increase in NO<sub>x</sub> emissions on average compared to biodiesel and decrease in CO<sub>2</sub>, CO and THC emissions. It was found that solketal-biodiesel and ethanol-biodiesel results are similar to each other.

**Keywords:** Biodiesel, Emission, Ethanol, Solketal, Combustion

## **GİRİŞ**

Dünyada ve ülkemizde nüfus artışı sürekli artış göstermektedir. Buna paralel olarak da enerji tüketimi yükselmektedir. Bununla birlikte genel çevre bilinci tüm toplumlarda oluşmuş durumdadır. Dünyadaki bu nüfus artışı devam ettiği sürece mevcut enerji kaynaklarının tüm insalığa bir süre sonra yetmez hale geleceği aşıkardır. 1970'lerde yaşanan petrol krizi de mevcut petrol kaynaklarına bağımlı olmamak gerektiğinin bir göstergesidir. Bunlara ek olarak, tüm toplumlarda çevre bilinci gelişmiş durumdadır. Gerek mevcut enerji kaynaklarının sonlu olması ve gerekse de mevcut enerji kaynaklarının çevre ve insan sağlığı açısından olumsuz etkilerinin olması alterantif yakıt arayışını zorunlu kılmıştır. Biyodizel, etanol ve solketal özellikle ulaşım sektöründe alternatif olarak kullanılabilir yakıtlardır.

Bu yüksek lisans tezinde, bir CRDI motorda (Common Rail Direkt Injection) motorun ortalama yük düzeyi olan 100 Nm yükte, ve araçların en fazla kullandığı devirler olan 1500, 2000 ve 2500 dev/dk motor devirlerinde önceden hazırlanmış olan alternatif yakıtların enjeksiyon, performans, emisyon ve yanma parametrelerinin motorine göre karşılaştırılması üzerinde çalışılmıştır. Testlerde saf motorin referans yakıtı olmak üzere, saf biyodizel, %15 etanol %85 biyodizel karışımı ve %15 solketal %85 biyodizel karışımı ile elde edilen yakıtlar kullanılmıştır.

Bu yüksek lisans tezi 6 bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde, petrol kökenli yakıtların Türkiye'de ve dünyadaki rezerv ömrü ve tüketim oranları, alternatif enerji arayışlarının gerekçeleri, biyodizel, etanol ve solketal hakkında temel bilgiler verilmiştir.

İkinci bölümde, literatürde biyodizel, etanol, solketal ve motorinin dizel motorlarında kullanılmasının motor performansına, yanma parametreleri ve emsiyon karakteristiklerine olan etkileri ile ilgili araştırmalara yer verilmiştir.

Üçüncü bölümde, alternatif yakıt olarak biyodizel, etanol ve solketalin Türkiye'deki durumu, üretimi ve özellikleri hakkında bilgiler yer almaktadır.

Dördüncü bölüm olan mataryel ve metot kısmında kullanılan yakıt karışımları, motor test sistemleri ve test şartları hakkında bilgilere yer verilmiştir.

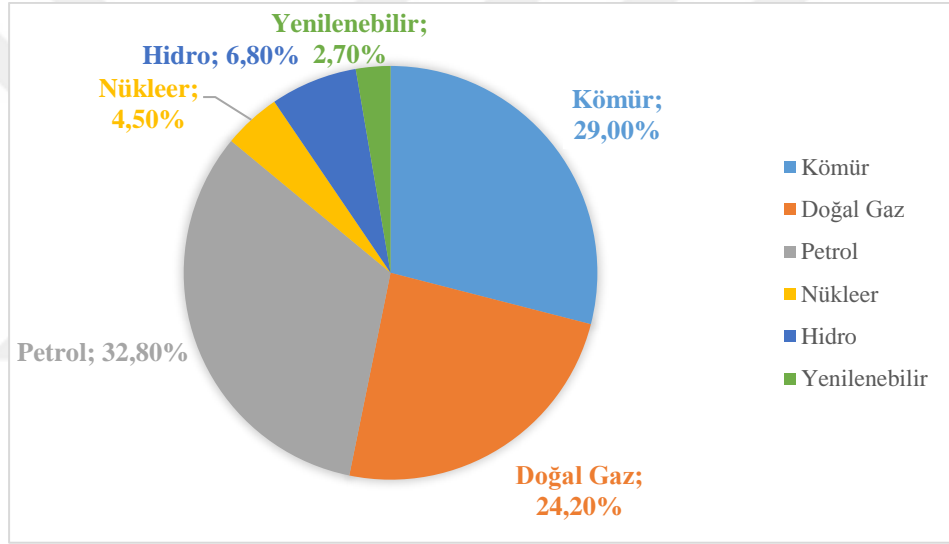
Beşinci bölümde, deney motorunda kullanılan yakıtların daha önceden belirlenmiş olan motor yük ve devir şartlarında enjeksiyon, motor performans, emisyon ve yanma karakteristikleri sonuçları değerlendirilmiştir.

Altıncı bölümde ise elde edilen veriler özetlenmiş ve değerlendirilmiştir. Bu sonuçlara göre, ileride yapılabilecek çalışmalar hakkında tavsiyelerde bulunulmuş



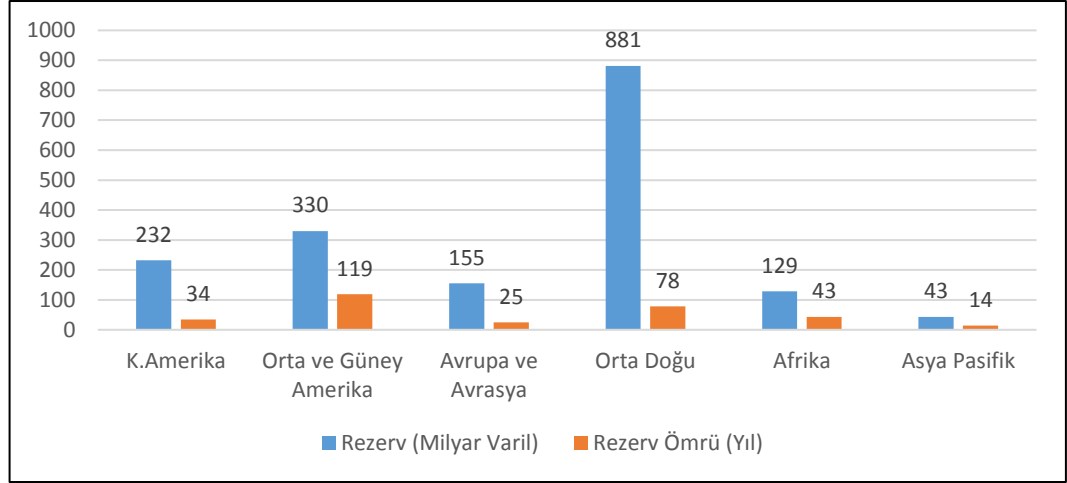
## 1. GENEL BİLGİLER

Petrol, özellikle içten yanmalı motorların kullanıldığı ulaşım sektöründe en önemli enerji kaynağıdır. 2015 yılı itibariyle, dünya enerji ihtiyacının yaklaşık %24,2'si doğal gazdan sağlanırken, petrol enerji ihtiyacının yaklaşık %32,8'lik kısmıyla birinci sırada yer almaktadır. Yapılan çeşitli araştırmalara göre petrolün uzun bir süre daha enerji tüketiminde birinci sırada yer alacağı anlaşılmaktadır. Şekil 1.1'de yıllık küresel enerji tüketim oranları verilmiştir [1].



Şekil 1.1. 2015 Yılı Küresel Enerji Tüketim Oranları

Petrol rezerv ömrü, ekonomik bakımdan üretilebilen rezervin, mevcut rezerve oranı ile elde edilir. Teknolojik gelişmelerle birlikte dünya petrol rezervi miktarı sürekli olarak artmaktadır. Dünya ham petrol rezervi BP verilerine göre yaklaşık 1,7 trilyon varil olarak verilmektedir. 2013 yılında rezerv ömrü yaklaşık olarak 53,3 yıl olarak kaydedilirken, yeni rezervlerin bulunması ile birlikte 2014 yılında petrol rezerv ömrü yaklaşık 56,8 yıl olarak kaydedilmiştir. Şekil 1.2'de Dünya petrol rezervlerinin bölgesel olarak dağılımı ve rezerv ömürleri verilmektedir [1].



Şekil 1.2. 2014 Yılı Bölgeler İtibariyle Rezerv Miktarları

Tablo 1.1’de görüldüğü gibi 2017 Ocak ayı sonu itibariyle alınan verilere göre, ülkemizde trafiğe kayıtlı 11 milyon 401 bin 452 adet içten yanmalı motora sahip araç bulunmaktadır. Bu değer, 2004 yılında ise 5 milyon 400 bin 440 olarak tespit edilmiştir [2]. Bu verilerden görüleceği üzere son 13 yılda sadece ülkemizde motorlu kara taşıt sayısı %100’ün üzerinde artış göstermiştir. 2017 verilerine göre, ülkemizde bulunan toplam araç sayısının yaklaşık %33,8’ini dizel, %26,7’sini benzinli ve %39,1’i LPG’li yakıt sistemine sahiptir.

Tablo 1.1. Kullanılan yakıt türüne göre motorlu kara taşıt sayısı [2]

Yıl	Toplam (Milyon)	Benzin (Milyon)	Dağılım (%)	Dizel (Milyon)	Dağılım (%)	LPG (Milyon)	Dağılım (%)	Bilinmeyen <sup>(2)</sup> (Milyon)	Dağılım (%)
2004	5,40	4,06	75,2	0,52	4,7	0,79	14,7	0,29	5,4
2005	5,77	3,88	67,3	0,39	6,8	1,25	21,8	0,35	4,1
2006	6,14	3,83	62,5	0,58	9,5	1,52	24,8	0,19	3,2
2007	6,47	3,71	57,4	0,76	11,8	1,82	28,2	0,16	2,6
2008	6,79	3,53	52,0	0,94	13,9	2,21	32,6	0,1	1,5
2009	7,09	3,73	47,6	1,11	15,7	2,52	35,6	0,082	1,2
2010	7,54	3,19	42,3	1,38	18,3	2,90	38,4	0,071	0,9
2011	8,11	3,03	37,4	1,75	21,6	3,25	40,2	0,061	0,8
2012	8,64	2,92	33,9	2,10	24,3	3,56	41,3	0,049	0,6
2013	9,28	2,88	31,1	2,49	26,9	3,85	41,5	0,045	0,5
2014	9,85	2,85	29,0	2,88	29,2	4,07	41,4	0,043	0,4
2015	10,58	2,92	27,6	3,34	31,6	4,27	40,3	0,043	0,4
2016	11,31	3,03	26,8	3,80	33,6	4,43	39,2	0,042	0,4
2017 <sup>(1)</sup>	11,40	3,04	26,7	3,85	33,8	4,45	39,1	42 823	0,4

(1) Veriler 2017 Ocak ayı sonu itibariyledir

(2) Yakıt türü bilinmeyenler, ruhsat işlemlerinde yakıt türü boş bırakılan veya sehven hatalı veri girişi yapılan otomobiller ile elektrikli otomobilleri kapsamaktadır.

Sektörel enerji tüketimi istatistikleri 2014 verilerine bakıldığında, sanayi ve hizmet sektöründe 2014 yılı içerisinde toplamda 100 milyon 734 bin 472 ton eşdeğer petrol (TEP) enerji tüketilmiştir [3].

Her ne kadar gelişen teknoloji ile birlikte dünya petrol rezervleri artış gösteriyorsa bile, gerek ısınma, gerekse de endüstriyel amaçla petrolün kullanılması ile birlikte her geçen gün dünya petrol rezervleri tükenmektedir. Buna karşılık da otomotiv endüstrisi içten yanmalı motora sahip araç üretimine hızla devam etmektedir. Bu tezat durum, içten yanmalı motorlarda enerji kaynağı olarak alternatif yakıtların kullanılması gerekliliğini ortaya çıkarmıştır ve bu alanda araştırmalar artmaktadır.

Bunun yanı sıra, 1974 ve 1979-1980 yıllarında dünyada yaşanan petrol krizleri nedeniyle petrol türevi yakıtlardaki fiyat artışı, içten yanmalı motorların icadından bu zamana kadar pek dikkate alınmayan yakıt tüketimi ve kilometre başına yakıt maliyetini ön plana çıkarmıştır. Böylelikle motor teknolojilerinde yakıt sarfiyatını düşürücü gelişmeler, daha küçük hacime sahip motorlar üretilmesi yönünde gelişmelerin yanı sıra, daha düşük maliyetli motor yakıtları arayışı önem kazanmıştır. Bu çalışmalar yakıt ekonomikliği konusunda ciddi gelişmeler sağlamıştır. Egzoz emisyonları sebebiyle oluşan küresel kirlenme dikkate alınması gereken önemli bir husustur. 1970'li yıllarda motorlu taşıtların egzoz emisyonlarını denetim altına alan yasal düzenlemeler getirilmiştir.

Türkiye ekonomisi gelişen ülke olması bakımından dünyada enerji tüketimi yüksek olan ülkeler arasında yer almaktadır. 2017 yılının ilk yarısına kadar geçen periyotta ülkemizde üretilen ham petrol miktarı yaklaşık olarak toplam 1,3 milyon varildir. Yine 2017 yılı ilk yarısı itibariyle ülkemizde bulunan ham petrol rezerv miktarı ise yaklaşık 332,8 milyon varile eşdeğer 48 milyon tondur. Yeni keşifler yapılmadığı sürece, mevcut tüketim hızı ile hâlihazırda bulunan petrol rezervlerimizin ömrü 18 yıldır. 2017 yılının ilk beş ayında tüketilen petrolün yaklaşık %7,7'si, doğal gazın ise sadece yaklaşık %0,6'sı yerli üretimden karşılanmaktadır [4]. Bu durum ülkemizin enerjide dışa bağlı olduğunu göstermektedir. Enerjide dışa bağımlılığın önüne geçebilmek için, petrol kökenli yakıtlara alternatif yakıtlar bulunması gerekmektedir. Biyodizel, etanol ve solketal petrol kökenli yakıtların yerine kullanılabilecek ideal alternatif yakıtlardır.

Biyodizel, bitkisel ve hayvansal yağlardan elde edilen, yenilenebilir ve çevreci özellikleri olan motorine alternatif bir yakıttır. Biyodizel, soya, ayçiçeği, hindistan cevizi, kolza, kenevir gibi yağlı tohum bitkilerinden elde edilen yağlardan elde edilebildiği gibi, hayvansal yağların metanol veya etanol gibi kısa zincirli alkollerle bir katalizör eşliğinde reaksiyona sokulmasıyla da elde edilebilmektedir. Ayrıca restoranlardaki kullanılmış yağlar da biyodizelin hammaddesi olarak kullanılabilir. Biyodizelin, motorinin yakıt olarak kullanıldığı kara ve deniz taşıtlarında kullanıldığı gibi konut ve sanayi sektöründe de kullanılması mümkündür. Ayrıca, kükürt içermediği için seralarda mükemmel bir yakıt olabilir. Dünyada biyodizel üretiminde Amerika birinci sırada yer alırken, Amerikayı sırasıyla Arjantin ve Brezilya takip etmektedir. AB ülkelerindeki biyodizel üretimi ise tüm dünyadaki üretimin %54'ünü sağlamaktadır. AB ülkelerinde sırasıyla Almanya, Fransa ve İspanya ilk üç sıradaki biyodizel üreticisi ülkelerdir. Ülkemizde 2012 yılı itibarıyla toplam 34 adet biyodizel üretimi için lisans almış işletme bulunmaktadır. Bu işletmelerin toplam üretim kapasitesi yaklaşık 561 bin tondur [5].

Etanol, şeker pancarı, mısır, buğday ve odunsular gibi, şeker nişasta veya selüloz özlü tarımsal maddelerin fermantasyonu sayesinde elde edilir. Renksiz, temiz ve zehirsiz bir ürün olan etanolün benzine göre ısı değeri daha düşüktür. Benzine belirli bir oranda harmanlanarak kullanılabilirdiği gibi, motorin içerisinde de katkı maddeleri kullanılarak kullanılması mümkündür. Etanol, özellikle benzin ile karıştırılarak ulaşım sektöründe kullanılabilirdiği gibi dizel motorlarında katkı maddesi olarak da kullanılabilir. Yakıt içerisinde etanol kullanılması, yakıttaki oksijen miktarını arttırmanın en kolay yoludur. Yakıttaki oksijen miktarının arttırılması ise yanmanın verimi için istenilen bir durumdur. İçten yanmalı motorlarda etanol kullanılması, egzozdan çıkan istenmeyen emisyonların azaltılmasına yardımcı olur. Dünyanın en büyük etanol üreticisi ve tüketicisi ülkesi Brezilya'dır. Brezilya'da yılda yaklaşık 4 milyar galon etanol üretilmektedir. Brezilya'daki araçların %40'ı etanol ile çalışmaktadır. Diğer araçlarda ise, yakıt içerisinde en az %20 oranında etanol bulunmaktadır. 2011 yılı verilerine göre ülkemizde lisanslı olarak etanol üretimi yapan 3 adet işletme bulunmaktadır. Türkiye'de, piyasaya akaryakıt olarak sunulan benzin türlerinin en az %3'ü yerli tarım ürünlerinden elde edilmiş etanol olması zorunluluğu vardır [6]. Türkiye'nin kurulu etanol üretim kapasitesi yaklaşık 149,5 milyon litredir. Bu değer, benzin

tüketimimizin yaklaşık %7'sini karşılayacak durumdadır. Ancak, şu an pazarda yer alan etanol, mevcut benzin tüketimimizin %1'inin çok altında bir değeri karşılayabilecek miktardadır.

Solketal, yoğunlaştırma asetonuyla reaksiyona sokulan gliserolün komşu iki hidroksil grubunun bir türevidir. Solketal benzin veya biyodizel ile karıştırılabilir. Günümüzde solketal gliserol ve asetonun asit katalizörü ile yoğunlaştırma reaksiyonu ile üretilmektedir [7].



## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Fosil kökenli ve sonlu bir yakıt olan motorine alternatif yakıt arayışları özellikle son yıllarda artış göstermiştir. Küresel kirliliğin giderek artması ve otoritelerin bunun önüne geçmek için çıkarmış oldukları yasal zorunluluklar gereği de, gerek otomotiv teknolojisinde gerekse de yakıt üretim alanında birçok araştırma ve geliştirme yapılmıştır ve halen yapılmaya devam edilmektedir. Ayrıca, petrol fiyatlarının gün geçtikçe artması petrole alternatif yakıt arayışının gereksinimleri arasında yer almaktadır.

Bu bölümde öncelikle motorin ve biyodizel yakıtlarının motor performans, emisyon ve yanma bakımından karşılaştırmaları ile ilgili literatür taraması yapılmış, daha sonra ise biyodizel yakıtına etanol eklenerek elde edilen yakıt karışımlarının motorin yakıtına göre, motor performans, emisyon ve yanma sonuçlarını içerir literatür taramasına yer verilmiştir. Solketal ile ilgili literatürde detaylı bir çalışma bulunamamıştır. Bu yüksek lisans çalışmasının yapılmasının bir sebebi de literatürde solketal yakıtı ile ilgili yanma, emisyon ve motor performans çalışmasının olmayışdır.

Chauhan ve diğ., [8] yapmış oldukları çalışmada, jatropha biyodizel ve motorin yakıtını motor performans, yanma ve emisyon bakımından karşılaştırmıştır. Deneyleerde motorin, jatropha biyodizel, %5 jatropha biyodizel-%95 motorin karışımı (B5), B10, B20 ve B30 yakıtları kullanılmıştır. Deneyleerde tek silindirli, doğal emişli ve hava soğutmalı bir motor kullanılmıştır. Motor modifiye edilmemiş olup iki modda çalışabilecek duruma çevrilmiştir. Motor yüksüz halde, %20, %40, %60, %80 ve %100 yükte olacak şekilde testler gerçekleştirilmiştir. Deneyleer sonunda maksimum silindir gaz basıncının biyodizel bazlı yakıtlarda daha düşük olduğu görülmüştür. Biyodizel kullanımı ile birlikte is emisyonlarının motorine göre düştüğü, motor yükü arttıkça da is emisyonlarının arttığı görülmüştür. Bütün deney şartlarında biyodizelin NO<sub>x</sub> seviyesinin motorinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Motor biyodizel ve biyodizel karışımları ile çalıştırıldığında, CO ve HC emisyonların motorine göre düştüğü gözlemlenmiştir.

Mikulski ve diğ., [9] yapmış oldukları çalışmada 4 zamanlı, turbo beslemeli, ara soğutmalı, 2,7 litre hacminde bir common-rail dizel motor kullanmışlardır. Motor testleri 50 Nm, 100 Nm ve 150 Nm motor yükünde gerçekleştirilmiştir. Testlerde biyodizel, %25 biyodizel-%75 motorin (B25), %50 biyodizel-%50 motorin (B50) ve %75 biyodizel-%25 motorin (B75) yakıt karışımları kullanılmıştır. Analiz edilen yakıtlar arasında, en düşük yakıt tüketimi motorin için gözlemlenmiştir. Motorinin özgül yakıt tüketimi B25, B50 ve B75 yakıtlarına göre sırasıyla yaklaşık ortalama %3,2, %8,5 ve %13,8 oranında daha düşük olduğu görülmüştür. Bunun sebebi biyodizelin ısıl değerinin motorine göre daha düşük olmasıdır. Bütün test koşullarında NO<sub>x</sub> emisyonları hariç, diğer egzoz emisyonlarında ve ısılıkte belirgin bir azalma olduğu görülmüştür. Yanma sırasında püskürtülen yakıt miktarı pilot ve ana enjeksiyon olarak paylaştırıldığında, düşük devir şartlarında biyodizel için emisyonlardaki düşüş daha yüksek oranda gerçekleşmiştir. Bütün yakıtlar için THC emisyonlarının motor yükü arttıkça azaldığı belirlenmiştir. B25-B75 yakıt karışımlarının THC emisyonları incelendiğinde, tüm ölçüm noktalarında motorin yakıtına göre daha düşük değerlere sahip oldukları görülmüştür. CO emisyonlarının motor devrinin artması ile arttığı ancak motor yükü arttıkça CO emisyonlarının azaldığı tespit edilmiştir.

Özçelik ve diğ., [10] yapmış oldukları çalışmada motorin, ketencik biyodizel ve B7 yakıtlarını kullanmışlardır. Testler sırasında 1.9 litre bir dizel motor kullanmışlardır. Tüm testleri tam gaz durumunda yapmışlardır. Genel olarak, motorin, B7 ve B100 yakıt karışımlarıyla elde edilen motor gücünün tüm motor devirlerinde birbirine yakın olduğunu belirlemişlerdir. Bununla birlikte, 2500 dev/dk motor devrinde B7 ve B100 yakıtları için motor gücünün motorinle karşılaştırıldığında sırasıyla yaklaşık %4,97 ve %14,39 daha düşük olduğunu tespit etmişlerdir. Bütün yakıtlar için en düşük ÖYT değerlerini 2000-2500 motor devir aralığında ölçmüşlerdir. Bu devirlerde, B7 ve B100 yakıtlarının ÖYT değerlerinin motorine göre sırasıyla yaklaşık %12,21 ve %56,25 oranında arttığını belirlemişlerdir. Emisyon değerlerine bakıldığında, motorinin CO<sub>2</sub> emisyon değerinin B7 ve B100 yakıtlarına oranla ortalama olarak %20 daha düşük olduğunu tespit etmişlerdir. B7 yakıtının motorine göre HC seviyesinin yaklaşık %37,5; B100 yakıtının ise yaklaşık %68,8 oranında daha az olduğu görülmüştür. B7

yakıtının NO<sub>x</sub> emisyonunun motorine göre ortalama olarak yaklaşık %17,6; B100 yakıtının ise yaklaşık %58,8 daha yüksek olduğunu görmüşlerdir.

How ve diğ., [11] yapmış oldukları deneysel çalışmada biyoetanollü biyodizel-motorin karışımı yakıtı katkı olarak kullanarak motor performans, emisyon ve yanma karakteristiklerini incelemişlerdir. Deneyler sırasında, dört silindirli, yüksek basınçlı common-rail direkt enjeksiyonlu (CRDI) dizel motoru kullanmışlardır. İki farklı yakıt karışımı oluşturmuşlardır. Bu yakıtlar; %20 hindistan cevizi biyodizel-%80 motorin karışımı (B20) ve %20 hindistan cevizi biyodizel-%5 etanol-%75 motorin karışımıdır (B20E5). Hazırladıkları yakıtları deney motorunda test ederek elde ettikleri verileri saf motorin yakıtının test sonuçları ile kıyaslamışlardır. Testleri kararlı durum şartlarında 2000 dev/dk sabit hızda, 0,17 MPa, 0,69 MPa ve 1,2 MPa motor yükünde gerçekleştirmişlerdir. Yapılan deney sonuçlarına göre B20 ve B20E5 yakıt karışımlarının ÖYT değerlerinin sırasıyla yaklaşık olarak %1,5-2,1 ve %2,0-2,7 daha fazla olduğu ve bu değerlerin tüm motor yüklerinde motorinden daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir. Biyodizel ve biyodizel-etanol karışımı yakıtların ısı verimlerinin motorine göre tüm motor yüklerinde daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Yakıt karışımına etanol eklenmesinin referans yakıt olan motorine göre ısı veriminde yaklaşık %3,0-5,4 oranında iyileştirme sağladığını belirlemişlerdir. Tüm motor yükü şartlarında hindistan cevizi biyodizelin NO<sub>x</sub> emisyonu değerlerinin motorine göre daha yüksek olduğunu görmüşlerdir. Yakıt karışımına etanol eklenmesinin NO<sub>x</sub> emisyonlarında nispeten düşüş sağladığını tespit etmişlerdir (yaklaşık %0,1-0,8). Biyodizel ve etanol-biyodizel karışımı kullanıldığında ısı emisyonlarının tüm motor yüklerinde düştüğü görülmüştür. Tüm test şartlarında, B20 ve B20E5 yakıt karışımları motorine göre egzozdan sırasıyla yaklaşık olarak %0,9-2,6 ve %2,7-%15,5 oranında daha düşük CO emisyonu oluşmasını sağlamıştır. Genel olarak yakıtların basınç ve ısı dağılımı eğrileri karşılaştırıldığında birbirine benzer ve yakın sonuçlar elde edildiği görülmüştür.

Ferreira ve diğ., [12] yapmış oldukları çalışmada, motorin ve biyodizel karışımı yakıtın yüksek basınçla silindire enjekte edilmesi ile birlikte emme manifolduna etanol püskürtülmesi aracılığı ile (manifolda enjeksiyon yöntemi) motorun performans ve emisyon değerlerini incelemişlerdir. Deneylerde tek silindirli ve dört zamanlı bir dizel jeneratör motoru kullanmışlardır. Testler, 1580 ± 10 W sabit motor yükünde ve 1800

$\pm 5$  dev/dk motor devrinde gerçekleştirilmiştir. Testler sırasında beş farklı yakıt kullanılmıştır. Testler öncelikle, emme manifolduna etanol püskürtmesi olmadan, %70 motorin ve %30 biyodizel (D70B30) ile yapılmıştır. Daha sonra, hazırlanan bu yakıt karışımına, miktarı artırılarak emme manifolduna püskürtme yöntemi ile ve elektronik enjektörlerin enjeksiyon zamanları kontrol altında tutularak etanol eklemiştirler. Bu yakıtlar ise, D70B30 yakıtı ile manifolda %5, %9 ve %15 etanol püskürtülerek hazırlanmıştır. Bunları sırasıyla D70B30-E5, D70B30-E9, D70B30-E15 olarak adlandırmışlardır. Bu çalışmada beşinci yakıt, D70B30 yakıtının setan sayısını arttırmak için hacimsel olarak %0,4 oranında katkı maddesi (Di-tert-bütül peroksit) eklenerek elde edilmiştir (D70B30-A0,4-E15). Etanol enjeksiyonu üst ölü noktayı (ÜÖN) 5 krank açısı ( $^{\circ}$ KA) geçtikten sonra başlayacak şekilde ayarlanmıştır. Sonuçlara bakıldığında, etanol ilavesi ile  $\text{NO}_x$  emisyonlarında ciddi bir düşüş sağlandığı görülmektedir. CO ve THC emisyonlarının ise biyodizel-motorin karışımına etanol ilavesi ile artış gösterdiğini gözlemlemiştirler. Etanol kullanımı  $\text{CO}_2$  emisyonlarında da belirgin bir azalma sağlamıştır.

Yılmaz ve diğ., [13] biyodizel-etanol-motorin karışımlarında etanol konsantrasyonun içten yanmalı bir dizel motorun egzoz emisyonlarına etkilerini incelemiştirler. Biyodizel ve motorini eşit yüzdelerde karıştırmışlar ve bu karışımda etanol miktarı %3, %5, %15 ve %25 olacak şekilde etanol eklemiştirler. Hazırladıkları yakıt karışımlarını, her bir etanol konsantrasyonu için sırasıyla BDE3, BDE5, BDE15 ve BDE25 olarak isimlendirmişlerdir. Testleri, iki silindirli, direkt enjeksiyonlu ve sıvı soğutmalı bir dizel jeneratör motorunda gerçekleştirmişlerdir. Genel olarak, bütün test koşullarında motor yükü arttırıldığında egzoz gazı sıcaklığının da arttığını gözlemlemiştirler. Test yakıtlarının egzoz sıcaklıkları arasında ise belirgin bir farkın olmadığını tespit etmişlerdir. Bütün test yakıtlarında motor yükü arttıkça CO emisyonlarının azaldığını gözlemlemiştirler. Motorin ile karşılaştırıldığında, etanol ilave edilmiş yakıtlarda CO emisyonunun daha yüksek olduğunu görmüşlerdir. Yüksek yüklerde, CO emisyonlarında yakıt tipi veya karışımına bağlı olarak önemli değişiklikler olmadığını tespit etmişlerdir. Tüm test şartlarında motor yükü arttıkça NO emisyonlarının da arttığı görülmüştür. Yakıt karışımlarında etanol ilavesi ile NO emisyonlarının motorine göre azaldığı tespit edilmiştir. Testler sırasında kullanılan yakıt karışımlarının yanmamış HC emisyonları açısından belirgin bir farklılığının

olmadığını, ancak özellikle %50 yükün altındaki yük değerlerinde yanmamış HC emisyonu değerlerinin yakıtlara göre büyük farklılıklar gösterdiğini ve en yüksek farklılığın ise motor yüksüz durumda çalışırken olduğu tespit edilmiştir. Biyodizel-motorin karışımlarına etanol eklenmesi durumunda, düşük konsantrasyonlarda yanmamış HC emisyonlarının azaldığı, yüksek konsantrasyonlarda ise arttığını gözlemlemişlerdir.

Randazzo ve Sodre, [14] yapmış oldukları çalışmada, motorin ve soya biyodizel yakıtları ile dört farklı karışım (B3, B5, B10 ve B20) hazırlamış ve bu yakıtları içten yanmalı bir dizel motorda kullanarak egzoz emisyonu karşılaştırması yapmışlardır. Ek olarak, B20 yakıtına %2 (B20E2) ve %5 (B20E5) konsantrasyonunda etanol karıştırmışlardır. Emisyon testlerini Yeni Avrupa Sürüş Çevrimine (YASC) göre yapmışlardır. Deneyle manuel vitesli, Avrupa Yerleşik Sistem Kontrolü (European On-Board Diagnostics) kısaca AYSK sistemine sahip bir araç kullanılmıştır. Araçta kullanılan motor, turbo beslemeli, ara soğutmalı, CRDI yakıt enjeksiyon sistemine sahip, 16 valfli, dört silindirli, 1.248 litre hacminde ve 17,6:1 sıkıştırma oranına sahip bir motordur. Motorun maksimum gücü 4000 dev/dk'da 62,6 kW, maksimum torku ise, 1750 dev/dk'da 200,1 Nm'dir. Emisyon testleri, araç şasi dinamometresine bağlı iken gerçekleştirilmiştir. YASC çevrimi, şehir içi ve şehir dışı kullanım çevrimi olmak üzere iki moddur. Araç şehirçi kullanım modunda ortalama 19 km/sa hızda 195 saniye boyunca toplam 1,013 km yol alacak şekilde kullanılmıştır. Bu testi art arda dört defa tekrarlayarak toplamda 780 saniye sürede 4,052 km yol yapacak kadar aracı çalıştırmışlardır. Aracı şehir dışı kullanım modunda, maksimum hız 120 km/sa olması kaydıyla ortalama 62,6 km/sa hızda, 400 saniye süresince toplamda araç 6,955 km yol yapacak kadar çalıştırmışlardır. Böylece, YASC emisyon testlerini 11 km boyunca ortalama 32,5 km/saat hızda simule etmişlerdir. Testler sonucunda, motorin içerisinde %10'a kadar biyodizel kullanımının CO<sub>2</sub> emisyonunu arttırdığını, B10 ve B20 yakıt karışımlarında ise birbirine yakın seviyede olduklarını tespit etmişlerdir. Bunun yanı sıra, B20 yakıtına etanol ilave edildiğinde CO<sub>2</sub> emisyonlarının önemli ölçüde azaldığını görmüşlerdir. Biyodizel karışımlarının CO emisyonlarının motorine kıyasla bir miktar daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra, B20 yakıtındaki etanol konsantrasyonunun artması ile CO emisyonlarının arttığı görülmüştür. B20 yakıtına

etanol ilave edilmesi halinde HC emisyonlarının arttığını, B10 ve B20 yakıtları için ise motorine kıyasla NO<sub>x</sub> emisyonlarının arttığını tespit etmişlerdir.

He ve diğ., [15] yapmış oldukları çalışmada, motorine farklı oranlarda etanol karıştırarak elde edilen yakıt karışımlarını deney motorunda test etmişlerdir. Deneyleerde kullanılan yakıtlar, saf motorin (E0), E10 ve E30'dur. Ayrıca, hazırlanan E10 ve E30 yakıt karışımlarının stabilitesini arttırmak ve setan sayısını değiştirmek için, %0,1 oranında katkı maddesi (izooktil nitrat) kullanılmıştır. Bu yakıt karışımlarını da sırasıyla E10AI ve E30AI olarak isimlendirmişlerdir. Testlerde dört silindirli, direk enjeksiyonlu ve sıkıştırma oranı 17,5 olan bir dizel motoru kullanılmıştır. Motorun maksimum torku 1700 dev/dk'da 245 Nm ve maksimum gücü ise 2800 dev/dk'da 59kW olarak verilmektedir. Motor testleri bir elektrikli dinamometrede ve 1700 dev/dk'da yapılmıştır. Yapılan çalışmaların sonucunda, yüksek yüklerde yakıt karışımlarının belirgin miktarda is ve NO<sub>x</sub> emisyonlarını düşürdüğünü tespit etmişlerdir. Motorun düşük yüklerinde ise, karışımların is emisyonlarının azalmasıındaki katkısının az olduğunu belirtmişlerdir.

Lei ve diğ., [16] yapmış oldukları çalışmada, motorin, biyodizel ve %5, %10 ve %15 oranında etanol veya metanol ile biyodizel karışımından elde edilen yakıtları dört silindirli, doğal emişli ve direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda test etmişlerdir. Deneyleer beş farklı motor yükünde ve 1800 dev/dk sabit motor hızında gerçekleştirilmiştir. Genel olarak, motorine nazaran yakıt karışımları için hem NO<sub>x</sub> hem de PM seviyelerinin düştüğü, biyodizel–metanol karışımlarının biyodizel–etanol karışımlarından daha efektif olduğu gözlemlenmiştir. NO<sub>x</sub> ve PM emisyonları alkol miktarının artmasıyla birlikte azalmıştır. Diğer yandan, karışımda daha yüksek oranda alkol kullanılması, HC ve CO emisyonlarını arttırmıştır. Dizel oksidasyon katalisti (DOK) kullanılmasıyla birlikte HC, CO ve PM emisyonlarının daha fazla azaltılabildiğini belirtmişlerdir.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, etanol ve biyodizelin dizel motorlarında kullanımına ilişkin birçok araştırma olduğu görülmektedir. Diğer yandan, solketalin dizel motorlarda kullanımı için yeterli miktarda araştırma olmadığı belirlenmiştir. Solketal ile ilgili olarak genellikle solketalin üretimi ve karakterize edilmesi hakkında yapılan çalışmalar olduğu bilinmektedir. Literatürdeki bu eksiklikten yola çıkılarak,

bu yüksek lisans tezinde solketal ve etanolün biyodizel ile karışımının motor performans, yanma, enjeksiyon ve emisyonlarına olan etkisi deneysel olarak incelenmiştir.



### **3. ALTERNATİF YAKIT OLARAK BİYODİZEL, ETANOL VE SOLKETAL**

Günümüzde petrol kökenli yakıtların giderek azalıyor olması ve bunun bilincinde olunması, alternatif yakıt arayışlarını hızlandırmaktadır. Hızla artan dünya nüfusu ve bunun yanı sıra gelişen sanayi ile birlikte enerji ihtiyaçlarının artması, mevcut kısıtlı kaynaklarla maalesef karşılanamayacak düzeye gelmektedir. Üretilen enerji ile tüketilen enerji arasındaki negatif fark giderek artmaktadır. Edinilen bilgilere göre, 2035 yılına gelindiğinde tüketilen enerji miktarı 1998 yılına oranla iki kat artmış olacaktır. Bu değer 2055 yılında ise üç kata kadar artmış olacağı tahmin edilmektedir [17]. 2006 yılı verilerine göre, dünya genelinde kişi başına düşen yıllık ortalama enerji tüketimi 2 ton petrol eşdeğeri seviyesine kadar ulaşmıştır [18]. Biyodizel, biyoetanol ve solketal alternatif yakıt veya katkı maddesi olarak ilgi çekici durumdadır.

Bu bölümde öncelikle biyodizel ve özellikleri, biyodizelin üretim yöntemleri, biyodizelin avantaj-dezavantajları ve biyodizelin Türkiye'deki durumu hakkında bilgi verilmiştir. Daha sonraki kısımlarda ise etanol ve solketal hakkında detaylı bilgilere yer verilmiştir.

#### **3.1. Biyodizel**

Biyodizel ilk olarak 1990'lı yıllarda Amerika Birleşik Devletleri'nde telaffuz edilmeye başlanmıştır. Bunun yanı sıra, AB'de 1980'li yıllarda çok yaygın olmamakla birlikte biyodizel üretildiği bilinmektedir. Teknoloji alanındaki hızlı gelişmeler ve AB'nin enerji ve çevre konusu üzerindeki hedeflerini gerçekleştirmesinde biyodizel önemli bir kaynak olmuştur [19].

Biyodizel, genellikle bitkisel veya hayvansal yağların bir alkol ve katalizör eşliğinde reaksiyona sokulması ile üretilir [20]. Biyodizelin fiziksel ve kimyasal özellikleri bakımından petrol kökenli dizel yakıtlarla benzerlikleri oldukça fazladır. Biyodizel dizel motorlarında doğrudan kullanılabilirliği gibi, motorin ile belirli oranlarda karıştırılıp kullanılabilir. Saf biyodizel kullanıldığında yakıt B100 olarak isimlendirilirken, %10 biyodizel ve %90 motorin kullanıldığında ise bu karışım B10 olarak adlandırılır. Aynı mantıkla, %15 biyodizel ve %85 motorin kullanılarak

oluşturulan karışıma ise B15 ismi verilmektedir. Aynı şartlarda, biyodizel ve motorinle çalışan iki motor karşılaştırıldığında, biyodizelin motorine göre daha az CO, HC ve PM emisyonu ürettiği görülmüştür [21, 22]. Biyodizel, motorinin yağlayıcı özelliğini arttırmaktadır. Böylelikle motor parçalarının ömrü de uzamaktadır [23]. Biyodizel ülkemizde ve Avrupa Birliği'nde EN14214 ve EN14213, Amerika'da ise ASTM D-6751 standartlarına göre tanımlanmaktadır. Transesterifikasyon işlemi sonrasında elde edilen ürünün biyodizel olarak adlandırılabilmesi için bu standartların tamamını sağlıyor olması gerekmektedir [24].

### **3.1.1. Biyodizel üretimi**

Bitkisel yağlardan biyodizel üretilmesi alanındaki çalışmaların büyük bir bölümünü yüksek viskozitenin azaltılması oluşturmaktadır. Viskozitenin azaltılması için ısıl ve kimyasal yollar kullanılmaktadır. Isıl yöntemde, yakıt olarak kullanılacak olan bitkisel yağın, ön ısıtma yöntemi ile sıcaklığının artırılıp viskozitesinin düşürülmesi hedeflenmektedir. Kimyasal yöntemlerde ise, transesterifikasyon, mikroemülsiyon, piroliz ve seyreltme yöntemleri kullanılmaktadır [25].

Seyreltme işlemi bitkisel yağların motorin, solvent ya da etanol gibi maddeler ile karıştırılması gerçekleştirilir. Piroliz yönteminde, moleküller yüksek sıcaklıklara eriştiğinde daha küçük moleküllere parçalanmaktadır. Böylelikle viskozite azalmakta ancak işlemler için ilave masraflar oluşmaktadır. Bitkisel yağların ısı etkisi ile parçalanması yönteminde, yağların özelliklerinin motorinin özelliklerine daha yakın olduğu görülmüştür [26]. Schwab ve Prasad, [27] yapmış oldukları çalışmada pirolize soya yağının yaklaşık %11,88 hidrojen ve %79 karbon içerdiği, piroliz işlemi ile setan sayısının yaklaşık 37,9'dan 43'e çıktığı ve viskozitenin üçte birine düştüğü belirlenmiştir. Ayrıca, kükürt, tortu, su ve bakır şerit korozyonu değerlerinin istenilen düzeyde olduğu; ancak buna karşın kül, karbon kalıntısı ve akma noktasının istenilen değerde olmadığı saptanmıştır.

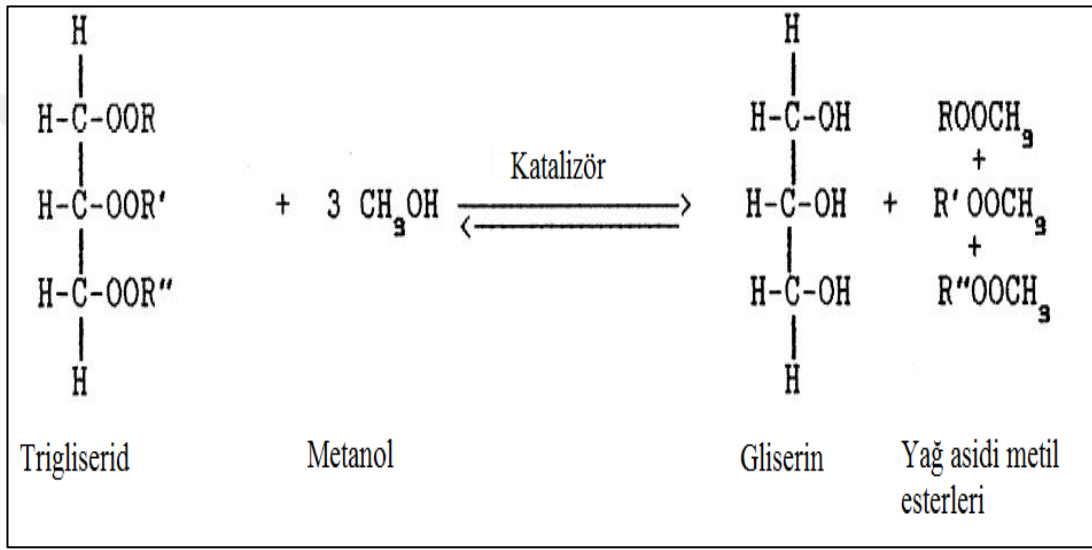
Transesterifikasyon yönetminde yağ herhangi bir alkolle bir katalizör kullanılarak reaksiyona sokulur. Bu yöntem viskoziteyi azaltmakta oldukça etkilidir. Transesterifikasyon yöntemi, biyodizel üretiminde kullanılan en yaygın yöntemdir ve bu yöntemle üretilen biyodizelin yakıt özellikleri motorine oldukça yakın

değerlerdedir. Transesterifikasyon reaksiyonunun genel denklemi aşağıdaki gibidir [28].

Katalizör

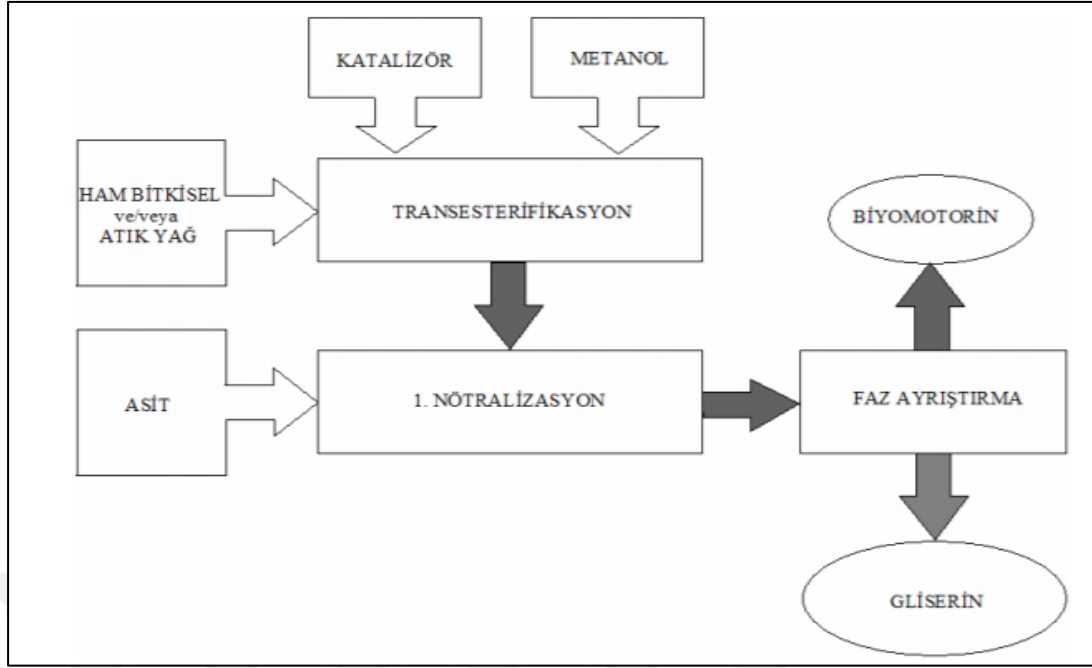


Yukarıda belirtilen reaksiyonda metanol kullanılırsa bu işleme metanoliz denir. Trigliseridin metanol ile reaksiyonu Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Yağ asidi metil esteri iyi bir alternatif dizel yakıtıdır [27].



Şekil 3.1. Bitkisel yağların metanol ile transesterifikasyonu

Transesterifikasyon bitkisel ve hayvansal yağları oluşturan trigliseritleri parçalayarak yani gliserolden ayrıştırılarak kullanılan alkoldeki alkil radikali ile yer değiştiren bir ester dönüşüm işlemidir. Özetle, gliserol esaslı triesterler alkil esaslı mono-esterlere dönüştürülür. Transesterifikasyon ile trigliseritler mono-esterlere dönüştürüldüğünde, molekül ağırlığının üçte bir oranında ve biyodizeller için büyük sorun olan viskozitenin ise sekiz kata kadar azaldığı görülmektedir. Aynı zamanda, uçuculuk özelliğinde de bir kısım iyileşmeler söz konusudur. Teorik olarak bir transesterifikasyonda 1 mol yağ için 3 mol alkol kullanılmaktadır. Bunun sonucu olarak ise, 3 mol biyodizel ve yan ürün olarak 1 mol gliserin elde edilir. Şekil 3.2'de transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretim işlem aşamaları gösterilmektedir [29].



Şekil 3.2. Transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretiminde işlem aşamaları

### 3.1.2. Biyodizelin avantajları ve dezavantajları

Günümüz ulaşım sektöründe kullanılmakta olan yakıtların karşılaştırılması Tablo 3.1’de görülmektedir. Tablodan da görüleceği gibi, bitkisel yağlardan elde edilen biyodizelin dizel motorlarda kullanılması için herhangi bir modifikasyona ihtiyaç bulunmadığından motorin yerine kullanılabilecek en iyi alternatif yakıt olduğu anlaşılmaktadır [30].

Tablo 3.1. Ulaşım sektörü için modern alternatif yakıtların bulunabilirlik karşılaştırılması

Yakıt Tipi	Mevcut Bulunabilirlik	Gelecekte Bulunabilirliği
Benzin	Çok iyi	Orta-zayıf
Sıkıştırılmış doğal gaz	Çok iyi	Orta
Hidrojen yakıt hücresi	Zayıf	Çok iyi
Biyodizel	Orta	Çok iyi

Yenilenebilir ve enerji tasarruflu bir yakıt olan biyodizel, birçok dizel motorunda herhangi bir modifikasyona ihtiyaç duymadan ya da çok küçük değişikliklerle kullanılabilir. Biyodizel hem tarımsal kaynaklardan hem de atıklardan elde edilebilmektedir. Sera gazına sebep olacak ürünlerin indirgenmiş olmasından dolayı biyodizel yakıtı için çevre dostu kavramı ortaya çıkmıştır [30]. Yenilenebilir, toksin etkisi olmayan ve doğada bozunabilir bir yakıt olan biyodizel gelecekte motorinin

yerini alabilecek potansiyelindedir. Bunun yanı sıra, biyodizelin motorine göre oldukça avantajlara da sahiptir. Bu avantajları; egzoz emisyonları, setan sayısı, parlama noktası ve yağlayıcı özellikleri olarak sıralanabilir. Alternatif bir yakıt olarak biyodizel, aromatik içermez ve yapısında %10-12 oranında oksijen içerir [31]. Biyodizel bu özellikleri ile birlikte motorine belirli oranlarda karıştırıldığında ve içten yanmalı motorlarda yakıt olarak kullanıldığında CO, HC emisyonları ve partikül madde miktarlarında azalma olduğu görülürken, ÖYT ile NO<sub>x</sub> emisyonlarında artma olduğu gözlenmiştir [32].

Biyodizelin diğer bir avantajı ise yağlayıcı özelliğidir. Biyodizelin yağlayıcı özelliğini etkileyen ana bileşikler, yağ asidi metil esteri ve monogliseritlerdir [33]. Yakıtların içerisinde bulunan sülfür, yanma sonrası egzozdan atıldığı sırada havadaki nem ile birleşerek asit yağmurlarına sebep olur. Biyodizel ise yapısında sülfür bulundurmamaktadır. Bu da biyodizelin çevreci bir yakıt olduğunun göstergesidir. Bunun yanı sıra, kozmetik ve ilaç sanayinde kullanılan gliserin, biyodizel üretiminde yan ürün olarak elde edilir [32].

Biyodizel doğada yaklaşık %99,6 oranında biyolojik olarak parçalanabilme özelliğine sahiptir. Biyodizeli oluşturan C16-C18 metil esteri rahatlıkla ve hızlı bir şekilde parçalanarak bozunur. Suyu bırakılan biyodizelin 28 günde %95'i bozunur. Bu değer motorin için 28 günde sadece %40'dır. Bu özelliği itibarıyla biyodizelin bozunabilme özelliği şekere benzemektedir [32].

Dezavantajları bakımından biyodizel incelendiğinde ise, soğuk akış özelliğinin motorine göre kötü olması göze çarpmaktadır. Bu durum, biyodizelin soğuk havalarda kullanılmasında sorunlara neden olmaktadır. Bunun yanı sıra, biyodizel yüksek miktarda doymuş yağ asidi içerdiğinden kış aylarında yakıt hattı borularında ve yakıt filtresinde tıkanmalara neden olabilir [34]. Biyodizel ayrıca oksitlenmeye karşı eğilimlidir. Havayla temasında özellikle yüksek sıcaklıklarda, biyodizel oksitlenmeye başlar. Biyodizelin parlama noktası motorine göre daha yüksektir. Bu özelliği yanmaya direk etki etmez, ancak biyodizeli depolama ve taşıma açısından daha güvenli hale getirmiştir [32].

### 3.1.3. Türkiye’de biyodizel

8 Mayıs 2003 tarihli ve 2003/30 EC nolu “Taşıtlarda Kullanılacak Biyoyakıtlar ve Diğer Yenilenebilir Yakıtlar” isimli AB yöndergesinde, alternatif motor yakıtlarının 31 Aralık 2005 tarihinden itibaren en az %2, 31 Aralık 2010 tarihinden sonra ise en az %5,75 oranında piyasada bulunması gerekliliği belirlenmiştir. AB’ye aday bir ülke olarak Türkiye, bu direktiflere uyan ülkelerin yeniliklerini yakından takip etmiştir. Ülkemizde çok uluslu otomotiv firmalarınca gerek araç ithal edilmekte gerekse de ülkemizde araç üretilmektedir. Aynı şekilde ülkemizde çok uluslu veya yerli petrol şirketlerinin ürettiği motor yakıtları kullanılmaktadır. Türkiye’de AB yakıt standartları olan benzin için TS EN 228, motorin için TS 3028-EN 590 standardı kullanılmaktadır. Bununla birlikte etanol ve biyodizel için 20 Aralık 2003’de petrol piyasaları kanunu, 17 Haziran 2004’de petrol piyasası lisans yönetmeliği, 10 Eylül 2004’de petrol piyasasında uygulanacak teknik kriterler hakkında yönetmelik, 19 Nisan 2005’de bitkisel atık yapıların kontrolü yönetmeliği, şeklinde bir çok yasal düzenlemeler yapılmıştır. Biyodizel standardı olarak TS EN14213 ve TS EN 14214 standartları kullanılmaktadır [35].

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu 2016 verilerine göre [36], ülkemizde 64 milyon 105 bin 372 ton biyodizel üretilip dağıtıcıya teslim edilmiştir. Türkiye Almanya’dan sonra Avrupa’da kurulu biyodizel üretim kapasitesi olarak dünya ikincisidir [37].

Ülkemizde biyodizel ile ilgili çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Özellikle üniversitelerde çok sayıda bilimsel araştırmalar yapılmaktadır. Bu araştırmalar biyodizel üreticiliğine ışık tutmaktadır. İstanbul Teknik Üniversitesi ve Kocaeli Üniversitesi’nde kullanılmış yağların değerlendirilip biyodizel üretilmesi, Sakarya Üniversitesi, Pamukkale Üniversitesi ve Marmara Üniversitesi’nde kayısı çekirdeği, ayçiçek, pamuk, fındık ve tütün yağlarından biyodizel üretimi gerçekleştirilmiştir [32]. Necmettin Erbakan Üniversitesinde iki aşamalı biyodizel üretimi otomasyonu sağlanmaktadır [38].

### 3.2. Etanol

Su ve benzinle çok iyi bir şekilde karışabilme özelliğine sahip olan etanol ( $C_2H_5OH$ ), renksiz ve yüksek derecede yanıcıdır. Biyoetanol kullanımı günümüzde yeni gibi algılanıyor olsa da ilk kullanım tarihi 1800’lü yıllara kadar dayanmaktadır. 1800’lü

yılların sonunda Henry Ford ve Nicholas Otto tarafından yapılan ilk arabalar etanol ile çalışmaktaydı [18].

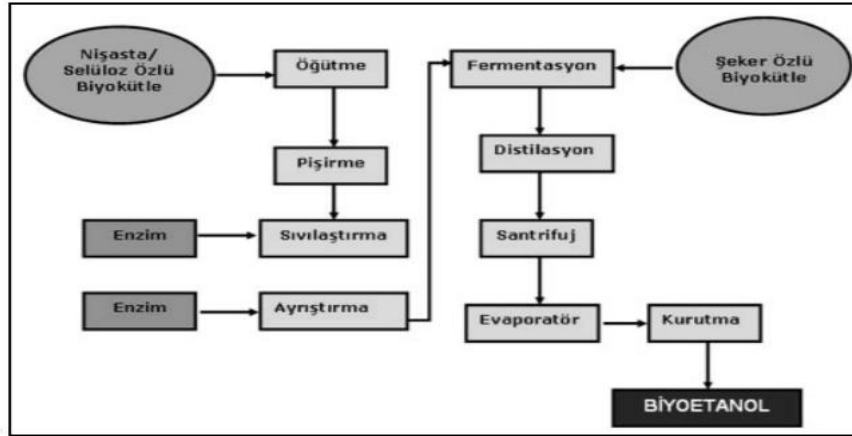
Etanol yüksek oktan sayısına sahiptir. Bu özelliği itibariyle benzin içerisinde oktan arttırıcı olarak kurşunun yerine kullanılmaktadır [39]. Biyoetanol %1'den az su içermektedir ve benzin ile istenilen oranda karıştırılabilir. Tüm benzinli motorlarda E10'a kadar (%10 Etanol, %90 Benzin) kullanımı rahatlıkla mümkündür. E10'dan fazla oranda ise, yakıt borularında bazı küçük değişiklikler yapılması gerekir. Ancak bu işlemin maliyeti, diğer alternatif yakıt dönüşüm sistemleri maliyetlerine oranla çok küçük bir miktardır.

Etanol temel olarak, şeker kamışı, mısır, şeker pancarı, arpa şekeri, nişasta ve selüloz gibi gıda maddelerinden üretilmektedir. Etanolün en belirgin avantajı oksijen içeriğinin ağırlığının %34'ü kadar olmasıdır [40]. Bu yakıtın mükemmel oktan kalitesi ve benzinli motorlar için daha iyi kaynama karakteristiği özelliğine sahip olması gibi birçok arzu edilir özelliği vardır. Diğer taraftan, motorin içerisinde etanol kullanılması setan sayısını, parlama noktasını ve motorinin viskozitesini azaltırken uçuculuğunu arttırmaktadır [40, 41]. Bununla birlikte, dizel motorunda etanol kullanılması daha iyi soğuk akış özellikleri ve daha düşük sülfür, duman ve partikül emisyonları sağlamaktadır [40, 41]. Fiziksel ve termodinamik karakteristiklerinden dolayı etanol dizel motorlar için alternatif bir yakıt olarak görülmemektedir. Ancak, son yıllarda teknolojinin de gelişmesi ile birlikte araştırmacılar etanol/dizel karışımlarının dizel motorlarda kullanımı üzerine araştırmalarını yoğunlaştırmışlardır [42]. Yeryüzünde üretilen toplam enerji miktarının %14'ü biyokütle enerjisidir. Bu %14'lük biyokütle enerjisinin ise, %74'lük bir ciddi bölümünü ise etanol oluşturmaktadır [43].

### **3.2.1. Etanol üretimi**

Biyoetanol, glukozun maya tarafından fermente edilmesi sonucu üretilir. Biyoetanolün değişik hammaddelerden üretilmesi Şekil 3.3'de verilmiştir. Bitkiler ve tahıllar güneş enerjisini kimyasal enerjiye çevirip fotosentez yoluyla bunu temel yapı taşlarına dönüştürürler. Glukoz genel olarak bitki ve tahıllarda tek başına bulunmaz. Bunun yerine, polisakkarit olarak nişasta veya selüloz olarak saklanmaktadır. Bu iki karmaşık karbonhidratın temel formülü aynıdır ( $C_6H_{10}O_5$ )<sub>n</sub> ve biyoetanol üretiminin

başarılı bir şekilde gerçekleşmesi için bu karbonhidratların glukoza ayrıştırılması gerekmektedir [18].



Şekil 3.3 Değişik hammaddelerden biyoetanol üretim aşamaları

Bütün hidrokarbonların fermantasyon yöntemi ile etanola dönüşmesi mümkündür. Bu dönüşüm şeker için basit ve kolay olurken, nişasta için ise kısmen zordur. Dönüşüm selülozda bir nebze daha zorlaşmaktadır. Her nasıl olursa olsun, etanolün üretim kaynakları aşağıdaki gibi sıralanabilir [44]. Genel olarak, biyoetanol içerisinde yeterli miktarda glukoz bulunduran veya glukoza dönüştürülebilecek şekerin bulunduğu (sukroz, nişasta, selüloz vb) maddelerden üretilir. Biyoetanol üretiminde kullanılan maddeler özetle üç ana grupta toplanabilir [18]. Bunlar; Surkoz içerikli maddeler (Şeker pancarı, süpürge darısı şerbeti, şeker kamışı vb.), Nişasta içeren maddeler (Buğday, mısır, arpa vb.), Lignoselülozik maddeler (Saman, odun, çimen vb.).

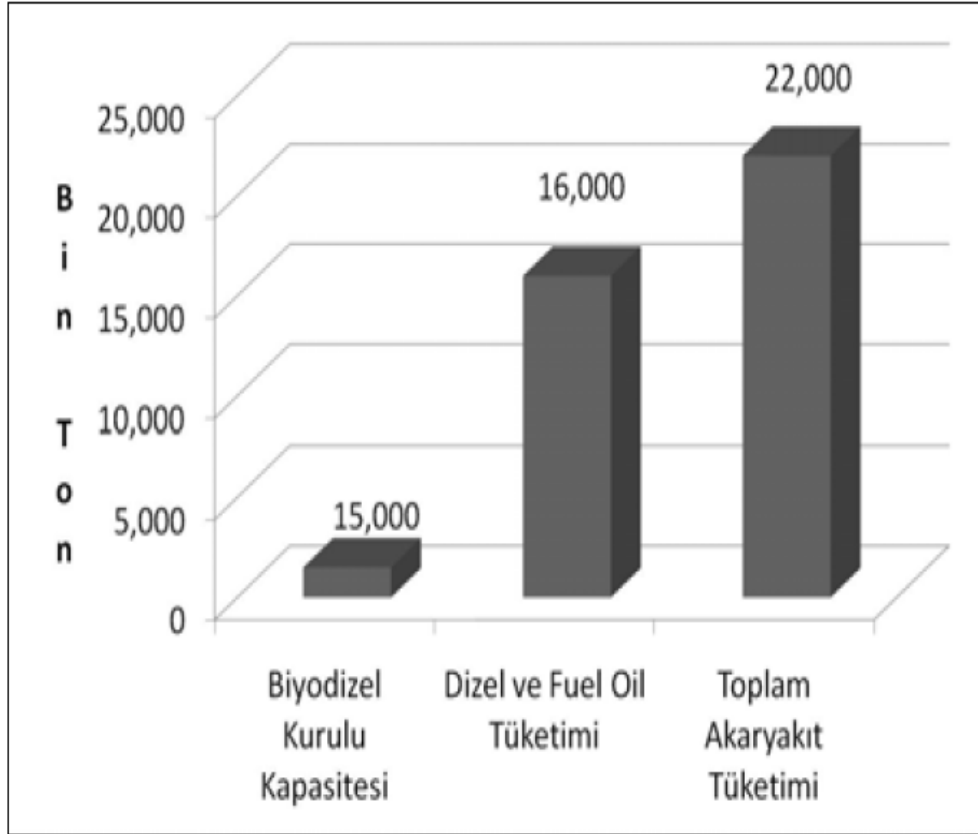
Günümüzde üretilmekte olan biyoetanolün neredeyse tamamına yakın bir bölümü tahıl kökenlidir. Çeşitli tahıllardan biyoetanol üretim potansiyeli Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2. Çeşitli Tahıllardan Dünyadaki Biyoetanol Üretim Potansiyeli, litre/ton

Tahıl	Biyoetanol üretim potansiyeli litre/ton tahıl
Arpa	250
Mısır	360
Patates	110
Şeker Pancarı	110
Buğday	340

### 3.2.2. Türkiye’de etanol

Türkiye gerek tarım potansiyeli gerekse de biyodizel ve biyoetanoldaki kurulu kapasiteleri itibariyle Avrupa Birliği (AB) için önemli bir tedarik merkezi olabilecek konumda ve kapasitededir. Doğru planlama ve düzenlemelerle Türkiye AB’nin biyoyakıt tedarikçisi olabilir. Türkiye’deki kurulu biyoetanol kapasitesi ve bunun dizel ve fuel oil ile olan karşılaştırması Şekil 3.4.’de verilmiştir [44].



Şekil 3.4. Türkiye’de dizel, fuel oil tüketimi ve kurulu biyoetanol kapasitesi

Dünyada enerji talebinin giderek artması sonucunda, küresel biyoetanol pazarı 2006 yılı verilerine göre 50 milyar litreye ulaşmıştır. Ayrıca, yapılan araştırmalarda bu miktarın 2020 yılı sonuna kadar 150 milyar litre seviyelerine geleceği tahmin edilmektedir. Biyoetanol üretiminin %49,6’sı Amerika Birleşik Devletleri’nde gerçekleşirken %38’i Brezilya’da gerçekleşmiştir. Tablo 3.3’de 2009 yılı verilerine göre dünyadaki ilk 10 sıraya giren biyoetanol üreticisi gösterilmektedir [18].

Tablo 3.3. Dünyadaki ilk 10 biyoetanol üreticisi ülkeler

Ülke	Yıllık Biyoetanol Üretimi, Milyon Litre	Dünyadaki Üretim İçerisindeki yüzdelik oranı (%)
Amerika Birleşik Devletleri	24600	49,6
Brezilya	19000	38,3
Avrupa Birliği Ülkeleri	2159	4,4
Çin	800	16,6
Tayland	300	0,6
Kolombiya	284	0,6
Hindistan	200	0,4
Avusturalya	100	0,2
Türkiye	30	0,1
Dünya Geneli	49595	100

Türkiye’de yıllık ortalama 3 milyon ton benzin tüketilmektedir. Bu değer litre cinsinden yaklaşık 4,2 milyar litre benzine denk gelmektedir. 1 litre benzinin eşdeğer enerjisi yaklaşık 1,65 litre biyoetanolden karşılanabilmektedir. Bu koşullarda, Türkiye’nin yıllık benzin ihtiyacını karşılayabilmek için 6,9 milyar litre biyoetanole ihtiyaç bulunmaktadır. Buna göre, %10 biyoetanol içeren benzin için ise 420 milyon litre biyoetanola ihtiyaç vardır [18].

Avrupa Komisyonu’nun EC-2003/30 sayılı kararına göre, 2020 yılına kadar bütün AB ülkelerinde taşımacılıkta kullanılan yakıtın yaklaşık %5,75’i yenilenebilir kaynaklarla sağlanacaktır. Burada da en büyük payın biyoetanole düşeceği öngörülmektedir. Eğer uygun altyapı olursa bu oran %10’a çıkarılacaktır. Bu değer bütün üye ve aday ülkeler için yasal zorunluluk olacaktır. Türkiye de Avrupa Birliği aday ülkesi olduğundan bu koşulları sağlamak zorundadır. Bu koşullar altında, Türkiye buğday hasadının %4 ve %7’lik kısımlarını kullanarak E5 ve E10 üretimini çok rahatlıkla sağlayabilir. Ayrıca, yapılan çalışmalara göre Türkiye’de biyoetanol üretimi için en uygun tahılların arpa ve buğday olduğu belirlenmiştir [18].

### 3.3. Solketal

Solketal, renksiz ve kokusuz bir sıvı olup, suda tamamen çözünür ve normal sıcaklık ve basınç altında stabildir. Düşük toksisite miktarından dolayı, benzin ve etanolün tek faz karışımını korumak için bir çözücü olarak yaygın bir şekilde kullanılır [45]. Biyodizel üretimi, yağ asidi metil esterleri elde etmek için bitkisel veya hayvansal

yağlardan trigliseridlerin transesterifikasyonu ile gerçekleştirilir. Bu proste, gliserol biyodizel üretiminde ana yan üründür ve miktarı ise elde edilen biyodizelin yaklaşık olarak %10'u kadardır [46]. Solketal ( $C_6H_{12}O_3$ ) motorine yakıt katkısı olarak kullanılabilir [47]. Solketal biyodizel veya motorine yakıt katkısı olarak kullanıldığında yakıtın soğuk akış özelliğini iyileştirir [48]. Biyoyakıt kullanımını teşvik etmek amacıyla, Avrupa ülkelerinde uygulanan yeni enerji mevzuatına göre 2020 yılı sonuna kadar trafikte kullanılan yakıtlarının %10'unun yenilenebilir yakıtlardan elde edilen yakıt içermesi gerekliliği vardır. Bu kapsamda, Avrupa Birliği ülkelerinde biyodizel üretiminin önümüzdeki senelerde katlanarak artması beklenmektedir. Artan biyodizel üretimi ile birlikte yan ürün olarak ortaya çıkan gliserin miktarında da büyük bir artış gerçekleşecektir [46]. Elde edilen bu gliserolün aktif ve etkin kullanım yöntemlerinden biri de gliserolden elde edilebilecek katkı maddelerini yakıt ile birlikte kullanmaktır.

Solketal, gliserinin iki komşu hidrosil grubunun kondansasyon asetonuyla reaksiyona girdiği bir türevidir [7]. Benzin, motorin ve biyodizel yakıtların forülasyonu için mükemmel bir bileşendir. Bu ürün yakıtın soğuk özelliklerini geliştirir, vizkoziteyi düşürür ve biyodizelin parlama noktasını ve oksidasyon kararlılığı için belirlenen gereklilikleri karşılar. [49]. Solketal, partikül emisyonunu azaltmak ve yakıtın soğukta akış özelliğini geliştirmek için benzin ve biyodizel için katkı maddesi olarak kullanılabilir [50]. Benzine eklendiğinde oksidasyon kararlılığını geliştirir, oktan sayısını artırır. Günümüzde solketal gliserol ve asetonun asit katalizörü ile yoğunlaştırma reaksiyonu ile üretilmektedir [7].

#### 4. MATERYAL VE METOT

Bu tez çalışmasında kullanılan motorin, yerel bir yakıt istasyonundan alınmıştır. Testlerde kullanılan biyodizel (kanola yağı ve aspir yağı karışımından %50 - %50 oranında üretilmiş)DB Tarımsal Enerji firmasından temin edilmiştir. Solketal ve etanolün saflık derecesi sırasıyla %97 ve %99,9 oranındadır. Motorin, solketal, etanol ve kanola-aspir biyodizel (KAB) ve biyodizelin solketal ve etanol ile karışımlarının temel yakıt özellikleri Tablo 4.1’de verilmiştir. Hazırlanan test yakıtları şu şekildedir: motorin (M), kanola-aspir biyodizel (KAB), solketal (S), etanol (E), KABS15 (%15 S, %85 KAB) ve KABE15 (%15 E, %85 KAB). KAB yakıtının ( $C_{18,94}H_{34,99}O_2$ ) yağ asidi dağılımı IUPAC 2.301 test metoduna göre ölçülmüş ve Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.1 Test yakıtlarının temel özellikleri

Yakıt	Yoğunluk (15°C, kg.m <sup>-3</sup> )	Viskozite (40°C, mm <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> )	Isıl Değer (MJ.kg <sup>-1</sup> )	Parlama Noktası (°C)
Test Yöntemi	ASTM D4052	ASTM D445	ASTM D240	ASTM D93
M	831,7	2,58	45,98	63
KAB	884,3	4,35	40,10	168
Etanol	793,4	1,16	29,58	< 25
Solketal	1071,1	5,21	25,91	84
KABE15	869,7	3,07	38,12	< 25
KABS15	906,8	4,42	37,82	95

Tablo 4.2 KAB yağ asit dağılımı

Ürün	Yağ Asidi Dağılımı (%)											
	16:0	16:1	18:0	18:1	18:2	18:3	20:0	20:1	22:0	20:5	24:0	24:1
KAB	5,87	0,16	2,05	40,78	45,16	3,75	0,50	0,80	0,34	0,30	0,15	0,14

##### 4.1. Test aşaması

Yapılan deneysel çalışma Kocaeli Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde, test motorunda, kullanılan yakıtlardan ve deney şartlarından bahsedilmiştir.

#### 4.1.1. Test motoru

Test yakıtları, su soğutmalı, turbo beslemeli, ara soğutmalı ve CRDI yakıt sistemine sahip bir dizel motorunda kullanılmıştır. Deney motorunun teknik özellikleri Tablo 4.3'de verilmiştir. Binek aracı olarak kullanılan taşıtlardaki dizel motorları çoğunlukla düşük ya da orta motor yüklerinde ve 1000-3000 dev/dk arasındaki motor hızlarında kullanılmaktadır. Bundan dolayı, motor testlerinde üç farklı motor devri (1500 dev/dk, 2000 dev/dk ve 2500 dev/dk) ve orta seviye motor yükü (100 Nm, maksimum motor yükünün %50'si) seçilmiştir. Motor testleri sırasında motorda herhangi bir modifikasyon yapılmamıştır. Motor test düzeneği Şekil 4.4'de gösterilmiştir.

Tablo 4.3. Testlerde kullanılan motorun teknik özellikleri

Motor	1,9 litre, Fiat JTD
Model	Direkt enjeksiyonlu, turbo beslemeli, ara soğutmalı, dört zamanlı, su soğutmalı, common-rail
Silindir Sayısı	4
Silindir Çapı - Strok	82 mm - 90,4 mm
Sıkıştırma Oranı	18,45:1
Maksimum Güç	77 kW, 4000 dev/dk
Maksimum Tork	205 Nm, 1750 dev/dk

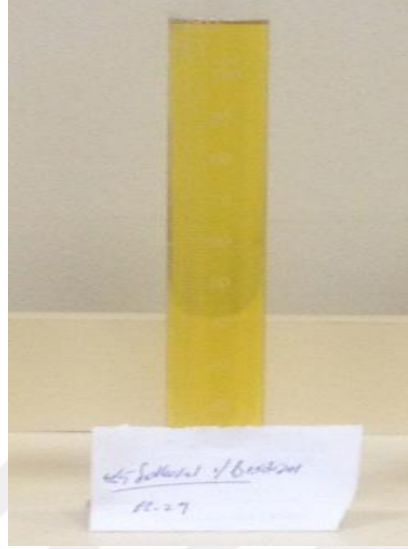


Şekil 4.1. Test motoru

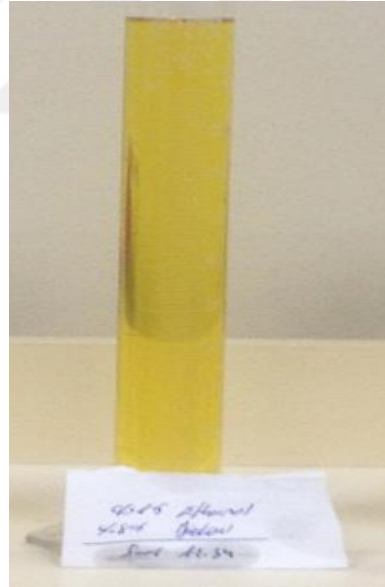
#### 4.1.2. Testlerde kullanılan yakıtlar

Bu tez çalışmasında, referans yakıt olarak motorin kullanılmıştır. Motor testlerinden önce, oda sıcaklığında test yakıtlarının faz ayrışması olup olmadığı gözlemlenmiştir. %15 etanol (KABE15) ve %15 solketal içeren biyodizel ve oksijen içerikli yakıt

karışımları (KABS15) bir hafta boyunca gözlemlenmiştir. Bir hafta sonunda karışımlarda ayrışma olmadığı görülmüştür. Bu nedenle yakıt tankında ilave bir karıştırıcıya gereksinim duyulmamıştır.



Şekil 4.2. KABS15 yakıtı



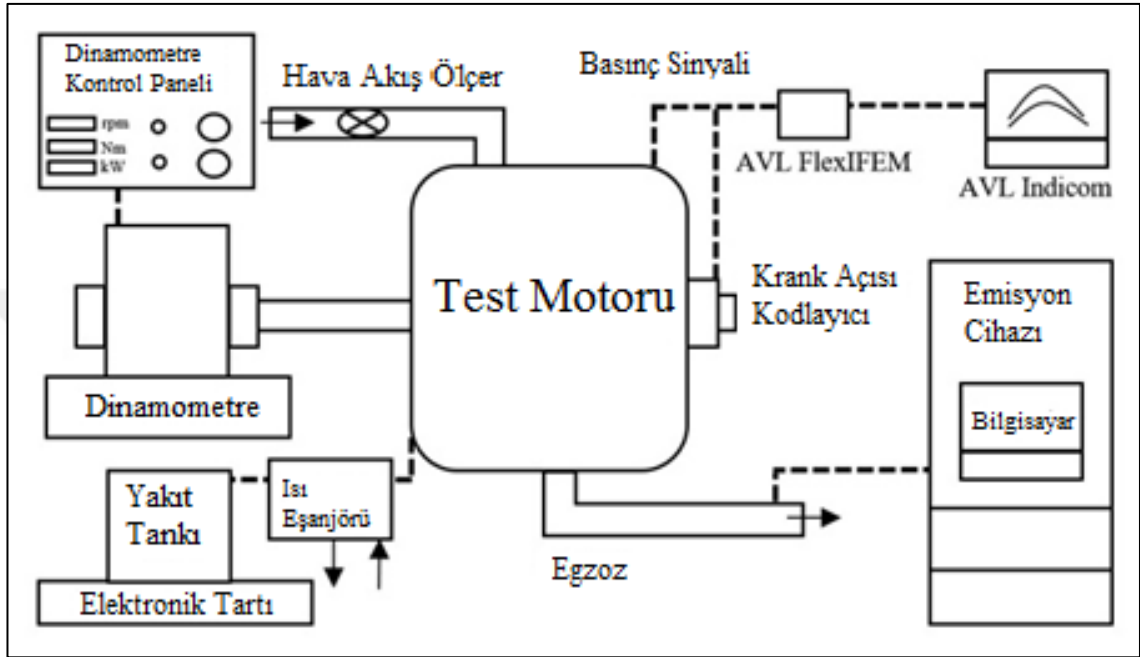
Şekil 4.3. KABE15 yakıtı

#### 4.1.3. Motor test düzeneği

Test düzeneğinin şematik resmi Şekil 4.4'de gösterilmiştir. Yapılan motor testlerinde Baturalp-Taylan marka BT-190 FR model sahip sulu tip hidrolik dinamometre kullanılmıştır (Şekil 4.5). Dinamometre ile ilgili teknik özellikler Tablo 4.4'de

verilmiştir. Bu dinamometrede, çark etrafındaki dolaşan suyun miktarı ve debisi kontrol edilerek motor yükleme işlemi gerçekleştirilmektedir.

Her test koşulu için, motor devri ve yükünü belirlenen ve istenilen değerde tutabilmek için dinamometreyi kontrol eden kontrol paneli kullanılmıştır (Şekil 4.6).



Şekil 4.4. Motor test düzeneği şematik görünümü

Tablo 4.4. Hidrolik Dinamometre Özellikleri

Model	BT-190 FR
Maksimum Güç	100 kW
Maksimum Yük	750 Nm
Maksimum Hız	6000 dev/dk
Yük Ölçümü	Yük Hücresi



Şekil 4.5. Testlerde kullanılan hidrolik dinamometre



Şekil 4.6. Dinamometre kontrol paneli

Giriş hava sıcaklığı, yakıt, motor yağı ve motor soğutma suyu sıcaklığını ölçmek için dijital indikatör ile birlikte K tipi ısılıçift kullanılmıştır. Hava giriş kütlesi AVL firmasının Flowsonix-Air model ürünü ile ölçülmüştür. Yakıt sıcaklığı bir ısı eşanjörü ile  $40^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$  civarında sabit tutulmuştur. Motorun yakıt tüketimi hassas terazi yardımıyla kütleli olarak ölçülmüştür. Tüm test şartlarında, hassas bir terazi ve kronometre kullanılarak, her bir test koşulu için takribi yirmi dakika boyunca motor çalıştırılmıştır. Bu süre zarfındaki yakıt tüketim değeri kütleli olarak ölçülmüş ve birim zamandaki yakıt tüketim değeri hesaplanmıştır. Her bir test şartı için en az üç defa test yapılmış ve her tekrarda kaydedilen değerlerin ortalaması alınmıştır. Çalışma ortamı sıcaklığı ve nemi Kimo marka (Şekil 4.7) nem ve sıcaklık ölçer ile sürekli kontrol edilmiştir.



Şekil 4.7. Nem ve sıcaklık ölçer

Tersler sırasında motor egzoz emisyon değerleri AVL SESAME FTIR (Şekil 4.8) emisyon cihazı ile toplanmıştır. Datarlar AVL firmasına ait bir bilgisayar programı vasıtasıyla bilgisayar ortamında kaydedilmiştir. Egzoz emisyon cihazının özellikleri Tablo 4.5’de verilmiştir.

Tablo 4.5. Egzoz emisyon cihazı özellikleri

Parametreler	Birim	Hassasiyet
THC	ppm	$< \pm \%2$ ölçülen değer veya $< \pm \%1$ tüm değer, hangisi daha küçükse
CO	ppm	Ölçülen değer $\pm \%2$ 'sinden daha iyi
CO <sub>2</sub>	%	Ölçülen değer $\pm \%2$ 'sinden daha iyi
NO <sub>x</sub>	ppm	Ölçülen değer $\pm \%2$ 'sinden daha iyi



Şekil 4.8. AVL Egzoz emisyon cihazı

Krank açısını belirlemek için, enkoder krank mili kasmağına bağlanmıştır. Motorun kızdırma bujisi yuvasına AVL marka bir basınç sensörü yerleştirilmiş ve AVL FlexIFEM Şekil 4.9’da gösterilen marka ölçüm cihazı ile silindir içi basınç ölçülmüştür. Enjektör sinyallerini okumak için bir akım kelepçesi (Şekil 4.10) kullanılmıştır. Enjeksiyon zamanlaması ve silindir içi basınç bilgilerini almak için AVL IndiCom marka yanma analiz programı kullanılmıştır. Her 0,2°KA’ında veri alacak şekilde, silindir basıncı için 50 motor çevriminin ortalamaverisi kullanılmıştır.



Şekil 4.9. Silindir içi basınç ölçüm cihazı



Şekil 4.10. Akım kelepçesi

## 4.2. Testler Sonucunda Elde Edilen Veriler ile Hesaplanan Değerler

Bu kısımda, motor testleri esnasında ölçülen veya hesaplanan değerlerden bahsedilmiştir.

### 4.2.1. Özgü Yakıt Tüketimi

Deney düzeneğinde hassas bir terazi ile motorun yaktığı yakıt miktarı g/s cinsinden hesaplanabilmektedir. Motorun farklı yük ve devir koşullarındaki yakıt tüketimini

hesaplayabilmek için bu değer kullanılmaktadır. Burada  $m$  saatte kullanılan yakıt miktarını (g/h) ve  $b_e$  motor gücünü (kW) vermektedir.

$$b_e = \frac{m_y}{P_e} \quad (4.1)$$

Bu formülde,

$b_e$  = Özgül yakıt tüketimi (g/kWh)

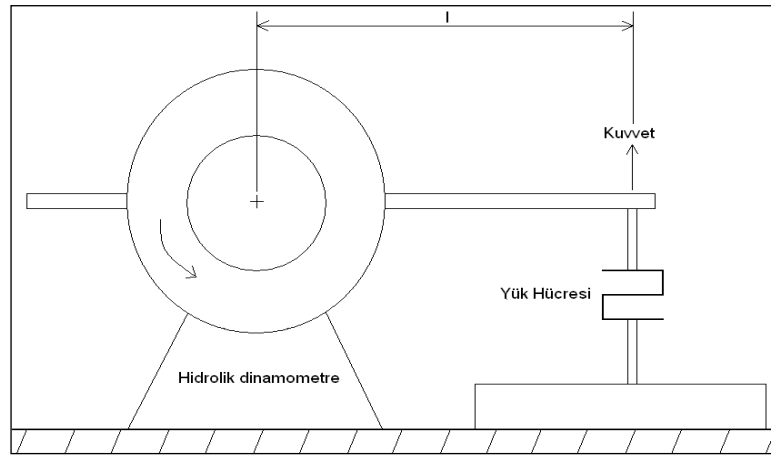
$m_y$  = Yakıt tüketimi (g/h)

$P_e$  = Efektif güç (kW)

olarak ifade edilmektedir.

#### 4.2.2 Motor Momenti

Moment, motorun iş yapabilme becerisini belirleyen bir parametredir. Motor momentini, motorun biyel kollarının krank miline uygulandıkları döndürme kuvveti olarak ifade edilir. Motor momentini ölçme bilmek için, mekanik sürtünmeli (prony freni), hidrolik, elektrikli, elektro mekanik vb. dinamometreler kullanılır. Yapılan bu tez çalışmasında, motorun momentini belirleyebilmek için hidrolik dinamometre kullanılmıştır. Hidrolik dinamometre stator ve rotor kısımlarından meydana gelmiştir. Rotor mili motorun volanına bağlanmıştır. Motorun torkunu belirlemede kullanılan sistemin şematik resmi Şekil 4.11'de verilmiştir.



Şekil 4.11 Motor momentinin ölçülmesi

$$M_d = F \times l \quad (4.2)$$

Bu formülde,  $M_d$  motor momentini,  $l$  uzunluğu,  $F$  ise kuvvetinin etki ettiği nokta ile dinamometre arasında mesafeyi göstermektedir.

### 4.2.3. Efektif Güç

Efektif güç, motorun volanından alınan faydalı güç olarak ifade edilir. Efektif güç, motorun momentini ve açısal hızına bağlı olarak değişmektedir. Hesaplaması aşağıda belirtilmiştir;

$$P_e = \omega \times M_d \quad (4.3)$$

Motor devri ( $n$ ), dev/dk biriminden olduğu için açısal hız şu şekilde belirtilir;

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times n}{60} = \frac{\pi \times n}{30} \left( \frac{1}{s} \right) \quad (4.4)$$

Açısal hızı 5.4 denkleminde yerine koyulursa ve birim kW olarak hesaplanırsa;

$$P_e = \frac{\pi \times n}{30} \times M_d \times 10^{-3} \quad (4.5)$$

$$P_e = \frac{n \times M_d}{9549,58} \text{ (kW)} \quad (4.6)$$

olarak elde edilir.

Burada;

$P_e$  : Efektif güç (kW)

$\omega$  : Açısal hız ( $\text{rad.s}^{-1}$ )

$n$  : Motor devri (dev/dk)

olarak ifade edilmektedir.

### 4.2.4. Efektif Verim

İçten yanmalı motorlarda motora sürülen yakıtın bir kısmı yanmamakta ve egzozdan atılmaktadır. Efektif verim, motordan alınan faydalı gücün motora sürülen enerji miktarına oranı olarak ifade edilir. Efektif verim aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır;

$$\eta_t = \frac{N_e \times 632}{H_u \times B} \quad (4.7)$$

Burada;

$N_e$  : Faydalı güç (BG)

632 : 1 beygir saatin Kcal olarak eş değeri

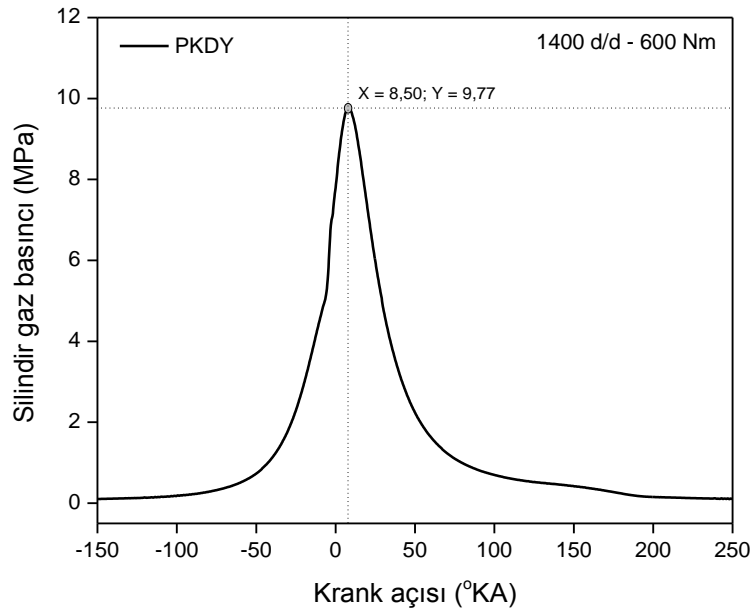
B : Motorun 1 saatte harcadığı yakıt miktarı (kg)

$H_u$  : Yakıtın yanma ısısı (kcal/kg)

olarak ifade etmektedir.

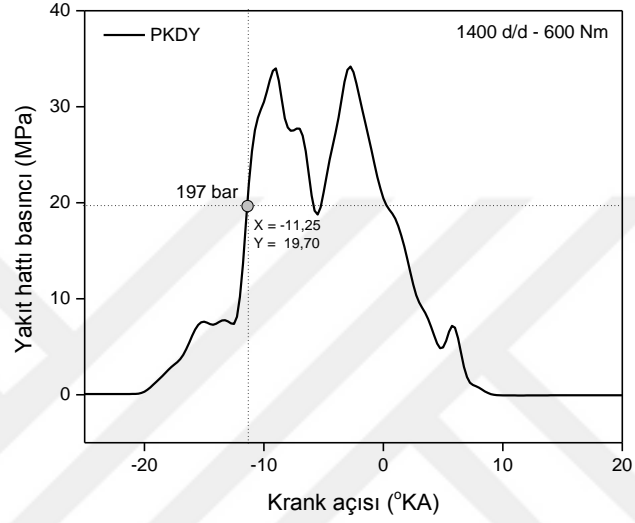
#### 4.2.5. Isı dağılımı analizi ve filtreleme

İçten yanmalı motorlarda ısı dağılımı analizi silindir basınç verileri kullanılarak yapılabilmektedir. Bu analizlerle, motorun aynı test şartlarında farklı yakıtların performansları karşılaştırılması mümkündür. Bu tez çalışmasında, silindir basınç verileri kullanılarak ısı dağılımı analizleri yapılmıştır. Ayrıca, ısı dağılımı verileri kullanılarak tutuşma gecikmesi hesaplanmıştır. Deneysel olarak elde edilmiş örnek bir basınç eğrisi grafiği Şekil 4.12'de verilmiştir. Şekilde de görüleceği üzere, silindir basınç eğrisi kullanılarak maksimum basınç ve maksimum basıncın olduğu yer krank açısı cinsinden belirlenmiştir.



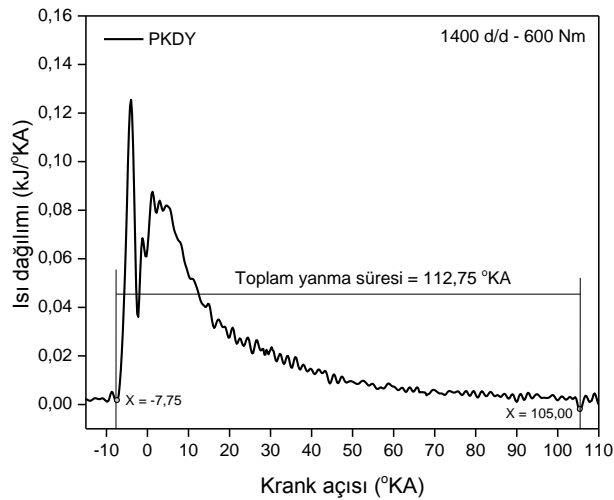
Şekil 4.12.Silindir basınç grafiği

Yakıt hattı basınç eğrilerinden enjektörün açılma zamanı tespit edilerek tutuşma gecikmesi hesaplanmıştır. Isı dağılımı sonuçlarına göre de yanmanın başlangıcı tespit edilmiştir. Yanma başlangıcı, ısıdağılım eğrisindeki yükselmenin başladığı nokta olarak kabul edilmiştir. Belirlenen bu iki nokta arasında krank açısı cinsinden tutuşma gecikmesi tespit edilmiştir. Örnek bir yakıt hattı basınç grafiği Şekil 4.13.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.13. Yakıt hattı basınç grafiği

Isı dağılım analizi termodinamiğin birinci kanunundan yararlanılarak hacmi bilinen bir silindirden alınan basınç verileriyle analiz edilebilmektedir. Örnek bir ısı dağılım grafiği Şekil 4.14.'de verilmiştir.



Şekil 4.14. Isı dağılım grafiği

Termodinamiğin I. kanununa göre:

$$\frac{dU}{dt} = \dot{Q}_t - \dot{W} \quad (4.8)$$

$$\frac{dQ_n}{dt} = \frac{dQ_t}{dt} - \frac{dQ_{wall}}{dt} = P \frac{dV}{dt} + \frac{dU}{dt} \quad (4.9)$$

Deklemi yazılır. Bu denklemde verilen U sistemdeki içenerjiyi ifade etmektedir. Net ısıdağılımı ( $Q_n$ ), toplam ısı dağılımı ( $Q_t$ ) ile silindir duvarlarına olan ısı transferi  $Q_{wall}$  arasındaki farktır ve piston üzerinde yapılan iş ile iç enerji değişiminin toplamına eşittir.

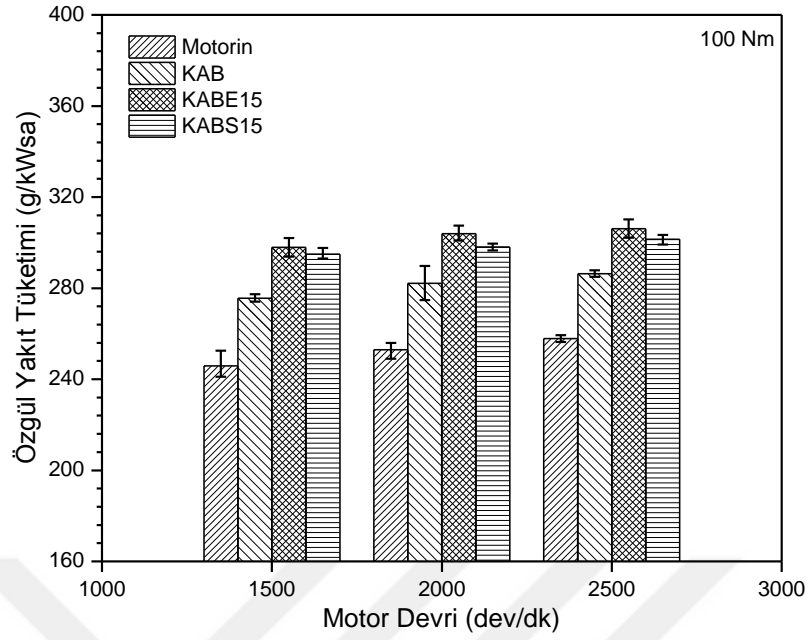


## 5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde deneyler sonrası elde edilen sonuçlar grafikler ve tablolar halinde sunulmuş ve test yakıtları arasında karşılaştırmalar yapılmıştır.

### 5.1. Özgül Yakıt Tüketimi Sonuçları

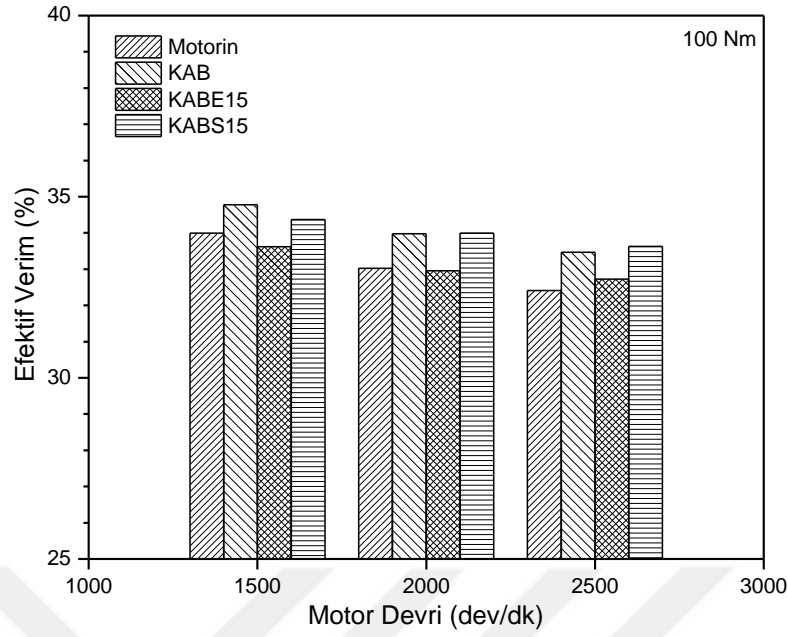
Özgül yakıt tüketimi (ÖYT), yakıt yakarak dönme yada şaft gücü üreten ana işletici bir makinanın yakıt verimliliğinin ölçüsüdür. Genellikle içten yanmalı motorların verimini şafttan elde edilen verimlilik ile karşılaştırmak için kullanılır. Yakıt tüketiminin üretilen enerjiye oranı ile elde edilir [51]. ÖYT, farklı yakıtların performansının karşılaştırması için önemli bir parametredir. ÖYT değerlerinin karşılaştırması Şekil 5.1’de gösterilmiştir. Şekilde de görüleceği üzere, ÖYT değerleri motor devrinin artması ile birlikte tüm test yakıtları için bir miktar artmıştır. Biyodizel ve karışımların ÖYT değerlerinin motorine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Benzer olarak, solketal ve etanolün biyodizele eklenmesi de ÖTY değerlerinin artmasına neden olmuştur. Tablo 4.1’de görüleceği üzere, biyodizelin ısı değeri motorine oranla ve ayrıca biyodizel yakıt karışımlarının ısı değerleri biyodizele kıyasla daha düşüktür. Bu durum, biyodizel ve biyodizel karışımlarının yakıt tüketim değerlerinin motorine göre daha yüksek olmasına sebep olmaktadır. Ayrıca, KABE15 ve KABS15 karışımları birbirine çok yakın ısı değerlere sahip oldukları için ÖYT değerleri de birbirine oldukça yakındır. Yılmaz N.’nin [52] yapmış olduğu çalışmalarda benzer sonuçlar görülmüştür. Yılmaz N. çalışmasında, biyodizel-metanol-motorin yakıt karışımı içerisinde metanol veya etanol konsantrasyonunun artması ile ÖYT değerlerinin de da arttığını gözlemlemiştir. Ayrıca Zhu I ve arkadaşları yaptıkları çalışmada [16] biyodizel-metanol ve biyodizel-etanol karışımlarının saf motorine göre daha yüksek ÖYT değerlerine sahip olduklarını belirtmişlerdir.



Şekil 5.1 ÖYT değerlerinin karşılaştırılması

## 5.2 Efektif Verim Sonuçları

Bütün test yakıtları için hesaplanan efektif verim değerleri Şekil 5.2’de gösterilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi efektif verim motor devrinin artması ile birlikte tüm test yakıtları için düşüş göstermiştir. Tüm test koşullarında elde edilen en yüksek efektif verim değeri KAB yakıtı kullanıldığında ve motor devri 1500 dev/dk iken elde edilmiştir. Motorine göre en yüksek efektif verim artışı KABS15 test yakıtı kullanıldığında ve motor devri 2500 dev/dk’da iken %3,76 olarak gerçekleşmiştir. KABE15 yakıtı ile yapılan testlerde ise, motorine çok yakın efektif verim değerleri elde edilmiştir. Monyem ve Gerpen [53] yapmış oldukları çalışmada benzer sonuçlar elde etmişlerdir. Buna karşın KAB ve KABS15 yakıtlarının termik verimleri motorine göre sırasıyla ortalama olarak %2,92 ve % 2,70 oranında artmıştır. Biyodizel, motorine göre daha fazla oksijen içerdiğinden yanma verimi artmıştır. Bu durum, motorda biyodizel yakıtı kullanıldığında daha yüksek efektif verim elde edilmesini sağlamıştır [54]. Biyodizel ve karışımı yakıtlar kendi içerisinde değerlendirildiğinde ise, KABS15 yakıtının efektif veriminin KAB yakıtına oranla çok az miktarda düşüş gösterdiği, KABE15 yakıtının ise yaklaşık %2,86 oranında düşüş gösterdiği tespit edilmiştir.



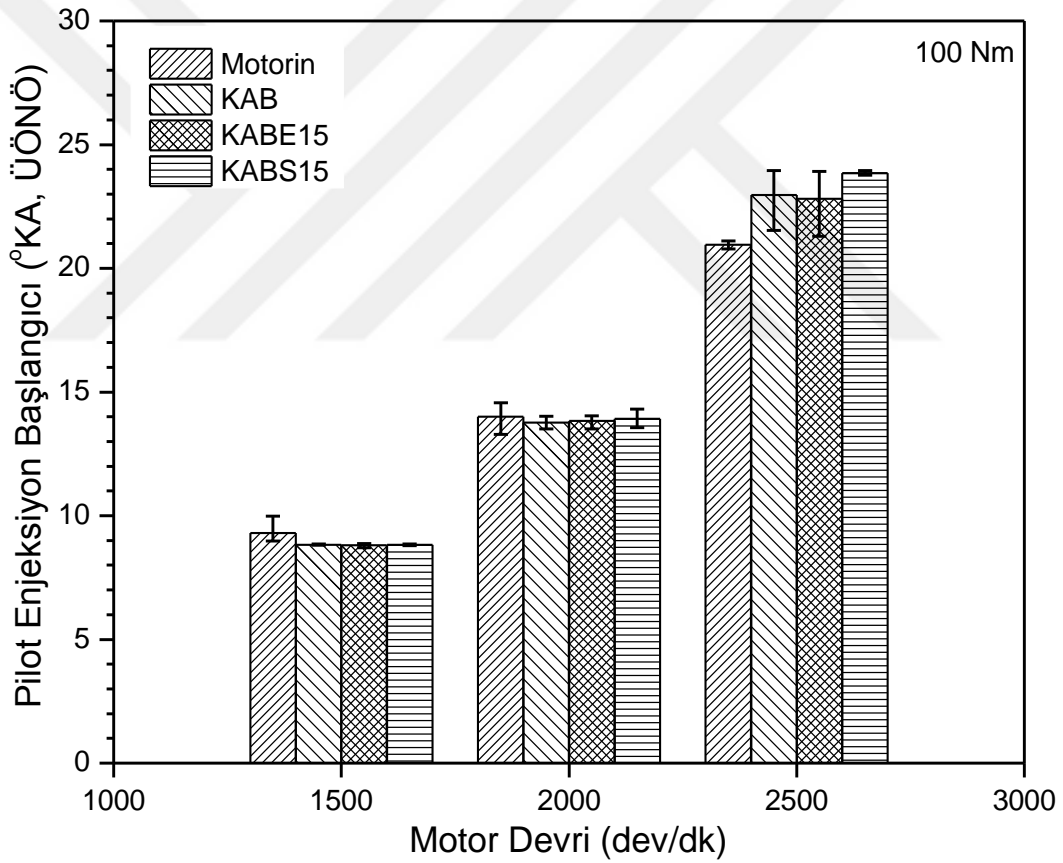
Şekil 5.2. Efektif verim değerlerinin karşılaştırması

### 5.3. Enjeksiyon ve yanma sonuçları

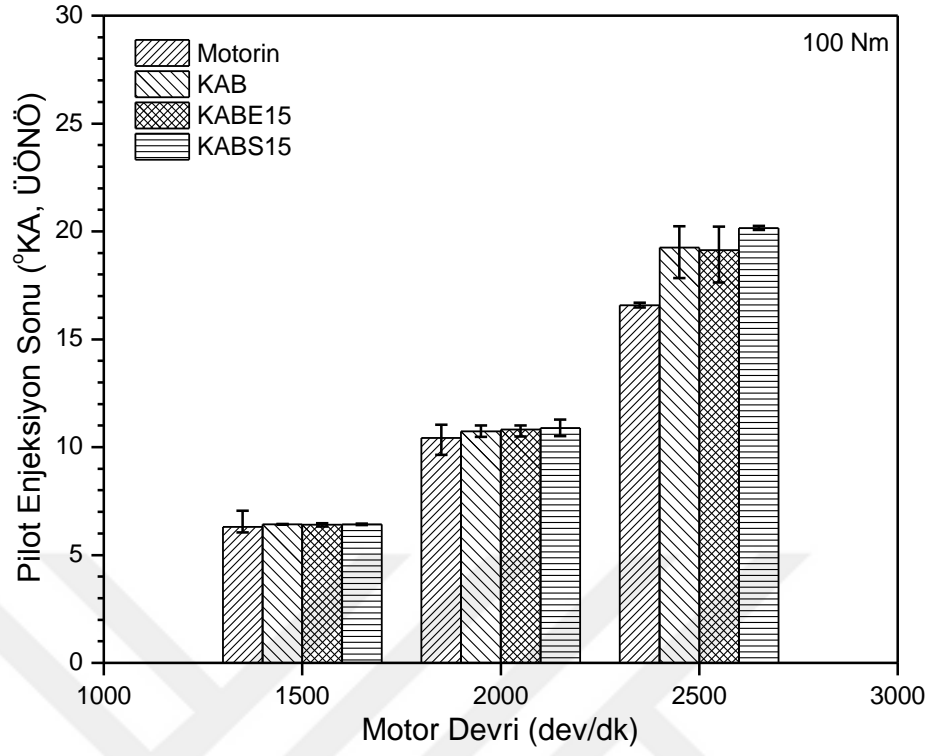
Bu çalışmada kullanılan test motorunda iki enjeksiyon yapılmaktadır. Bunlardan birincisi ön (pilot) enjeksiyon, diğeri ise ana enjeksiyondur. Bütün test yakıtlarının enjeksiyon karakteristikleri Şekil 5.3-5.10'da gösterilmiştir. Şekillerden de görüleceği üzere, iki aşamalı enjeksiyon prosesi yakıt tipinden veya karışımından etkilenmektedir. Yani, motor elektronik kontrol ünitesi (EKÜ) farklı yakıt tipleri ve özelliklerine farklı cevap vermektedir.

Şekil 5.3.'de görüldüğü gibi pilot enjeksiyon başlangıcı (PEB) motor devrinin artmasıyla birlikte üst ölü noktadan (ÜÖN) uzaklaşarak daha erken °KA değerlerinde gerçekleşmiştir. Şekil 5.4.'de gösterildiği gibi pilot enjeksiyon sonu (PES) değerleri değişimi de PEB değerlerine benzer eğilim göstermiştir. PEB ve PES sonuçları motor devri 1500 dev/dk ve 2000 dev/dk'da iken birbirine oldukça yakındır. Diğeri yandan, motorin için PEB ve PES özellikle 2500 dev/dk'da biyodizel ve biyodizel karışımlarına göre daha geç °KA değerlerinde elde edilmiştir. Pilot enjeksiyonun aksine, Şekil 5.5.'de görüldüğü gibi ana enjeksiyon başlangıcı (AEB) ve Şekil 5.6.'de olduğu gibi ana enjeksiyon sonu (AES) motor hızına göre farklı karakteristikler göstermektedir. Şekil 5.7. ve 5.8.'de görüldüğü gibi pilot enjeksiyon süresi ve yine şekil 5.9. ve Şekil 5.10.'da görüleceği gibi ana enjeksiyon süresi, krank açısı cinsinden

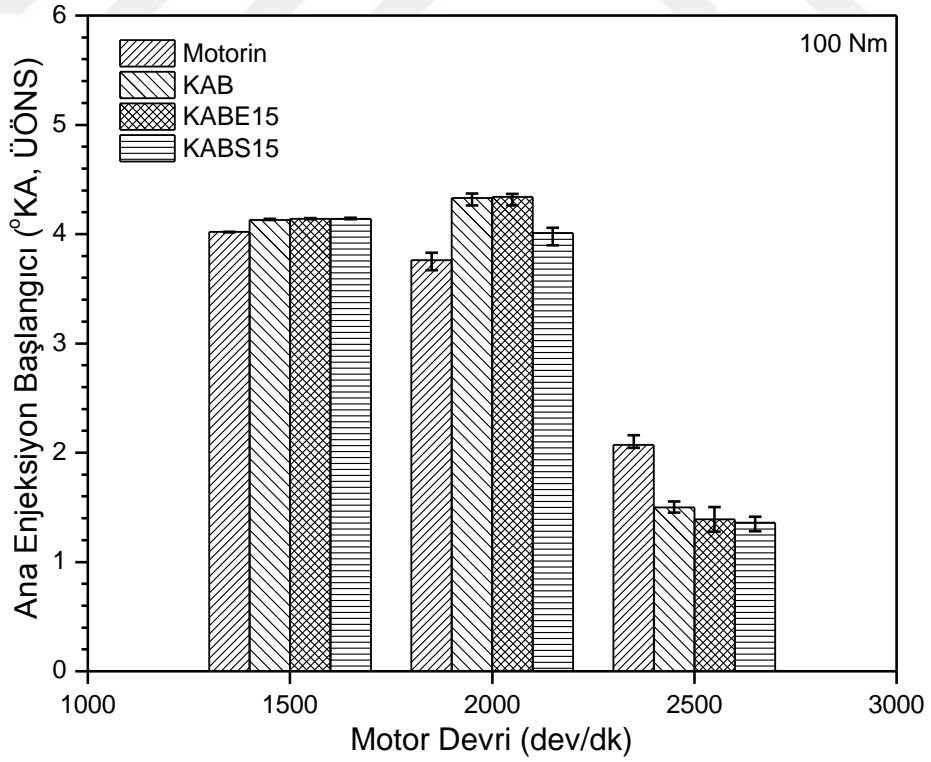
motor devri arttıkça artmakta, milisaniye cinsinden ise motor devri arttıkça azalmaktadır. Motorin yakıtı için pilot enjeksiyon ve ana enjeksiyon sürelerinin ikisi de biyodizel, KABE15 ve KABS15 yakıtlarına göre daha yüksektir. Tziourtzioumis ve Stamatelos [55] yapmış oldukları çalışmada %30 motorin %70 biyodizel karışımından oluşan yakıt kullandıklarında yakıt hattı basıncının 100 bara kadar çıktığını göstermişlerdir. Ayrıca yakıt hattı basıncı arasındaki fark motor devrine göre de değişkenlik göstermiştir. Han ve ark. [56] enjektörden püskürtülen yakıt miktarının doğrudan yakıt hattı basıncından etkilendiğini belirtmişlerdir. Bu durumda, bu tez çalışmasında pilot ve ana enjeksiyon sürelerinin doğrudan yakıt hattı basıncından etkilendiği söylenebilir.



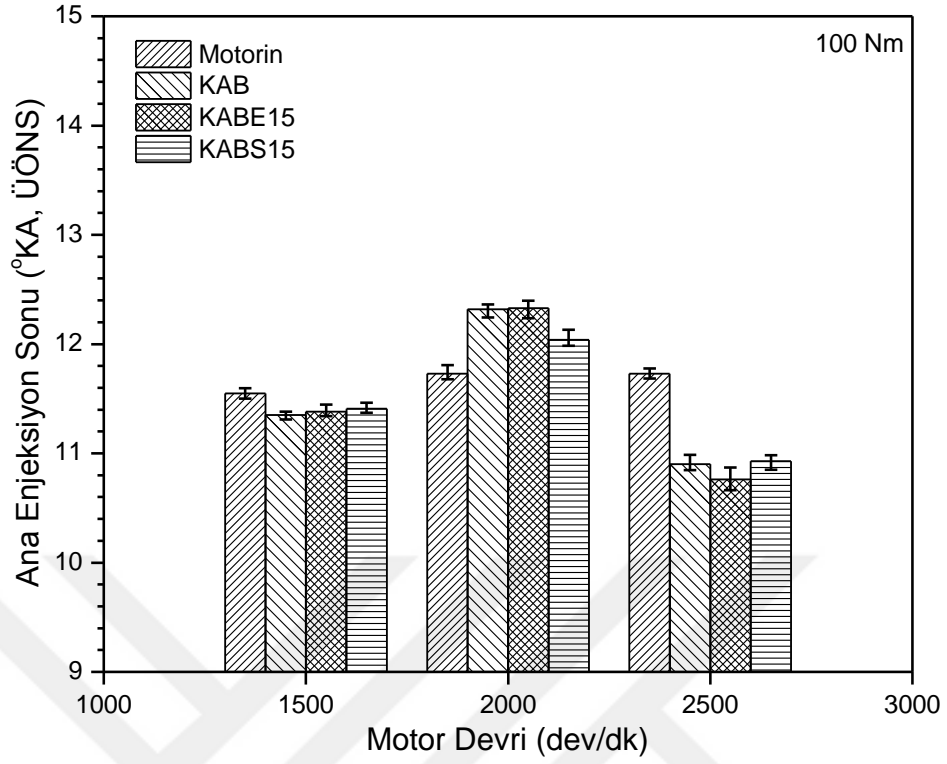
Şekil 5.3. Pilot enjeksiyon başlangıcı karşılaştırılması



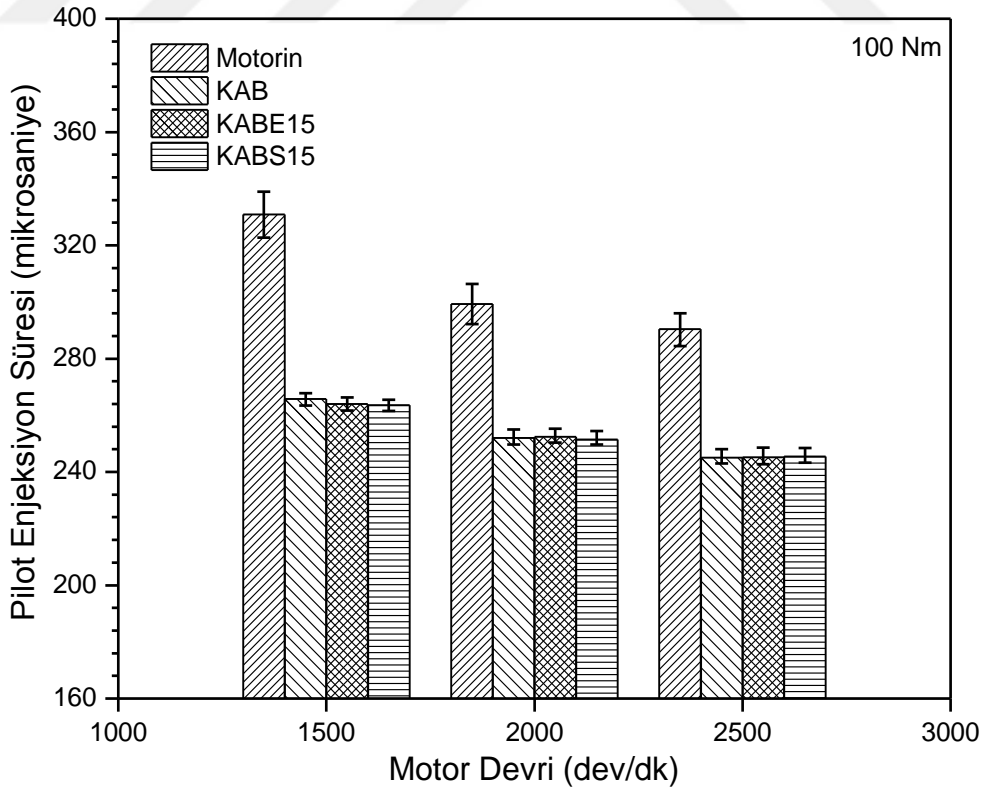
Şekil 5.4. Pilot enjeksiyon sonu karşılaştırılması



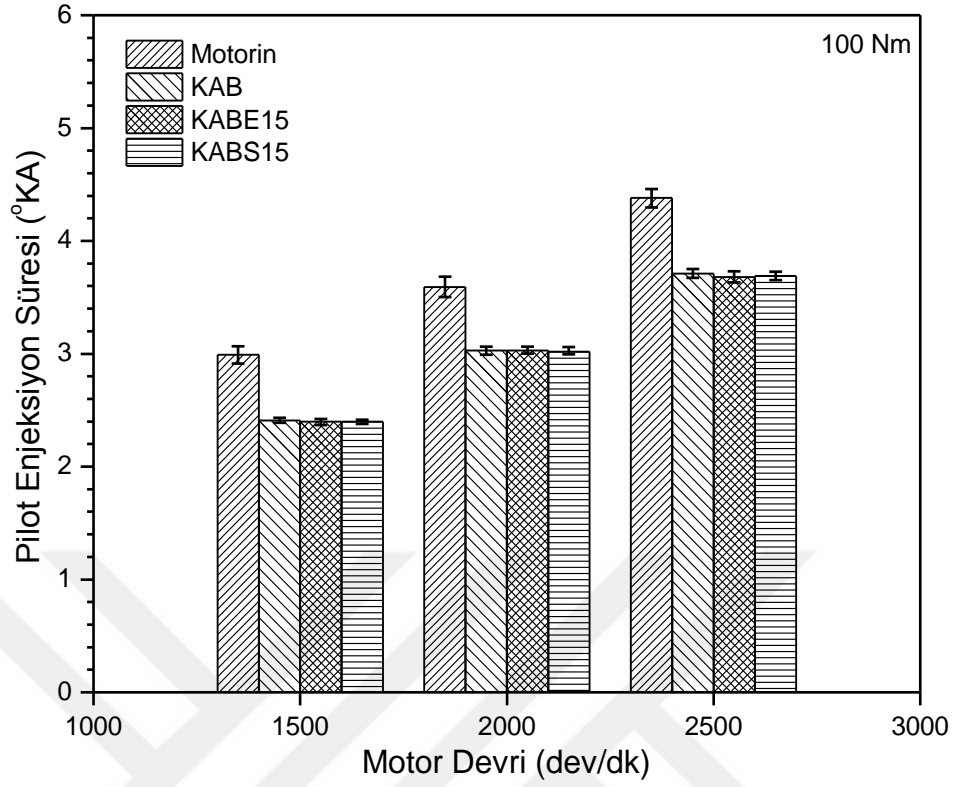
Şekil 5.5. Ana enjeksiyon başlangıcı karşılaştırılması



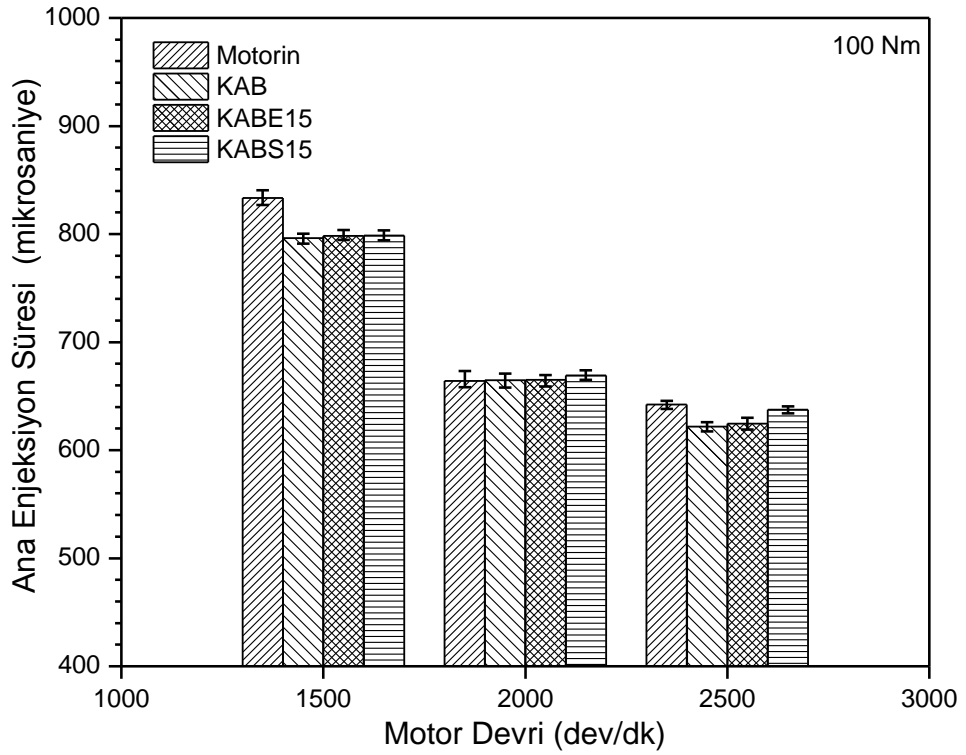
Şekil 5.6. Ana enjeksiyon sonu karşılaştırılması



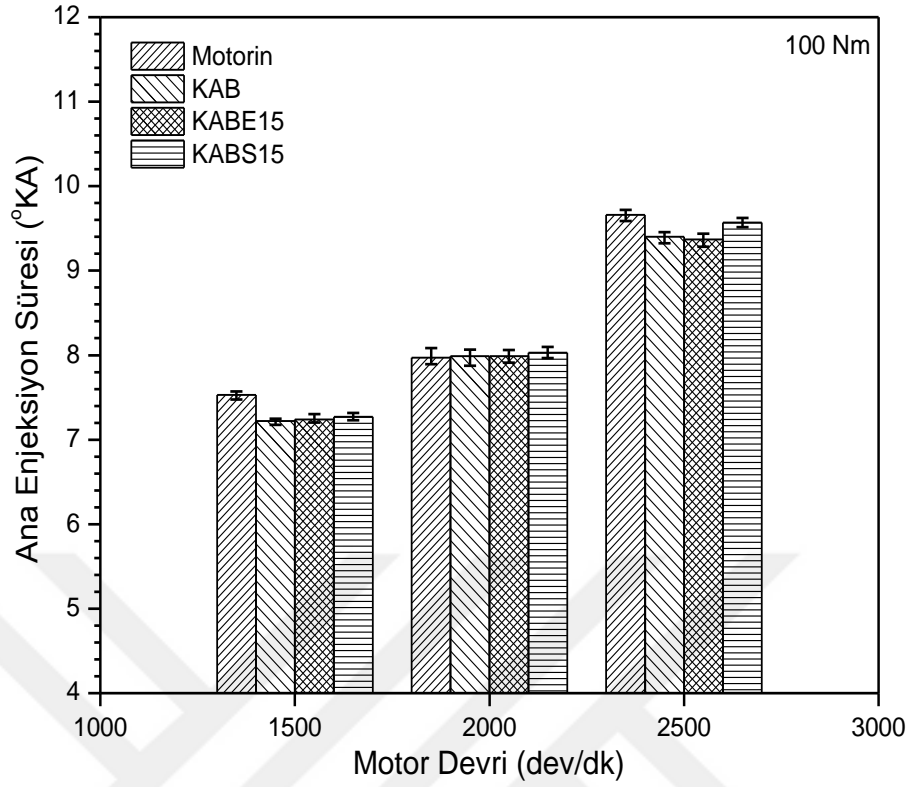
Şekil 5.7. Pilot enjeksiyon süresi (Mikrosaniye)



Şekil 5.8. Pilot enjeksiyon süresi (°KA)

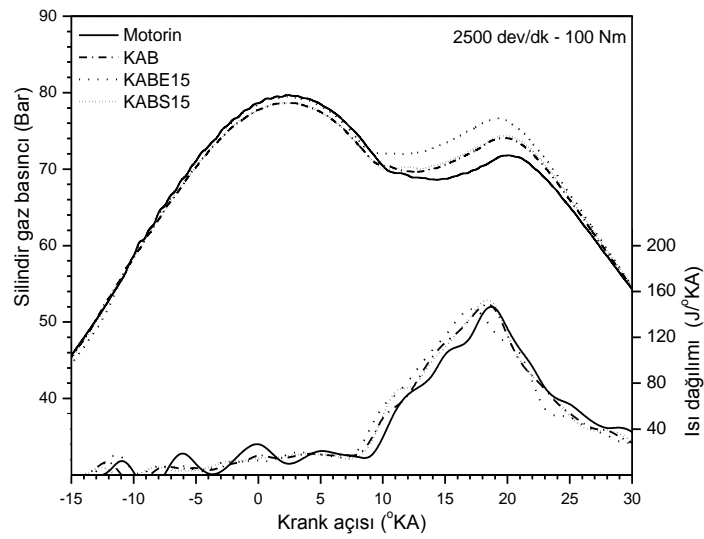
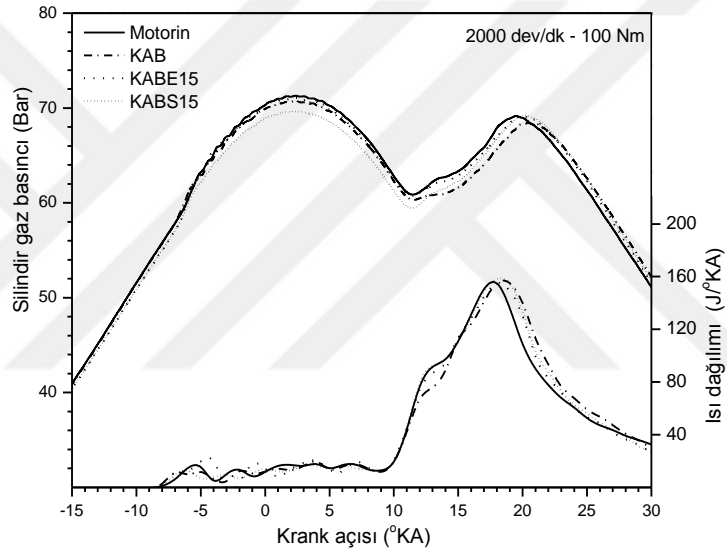
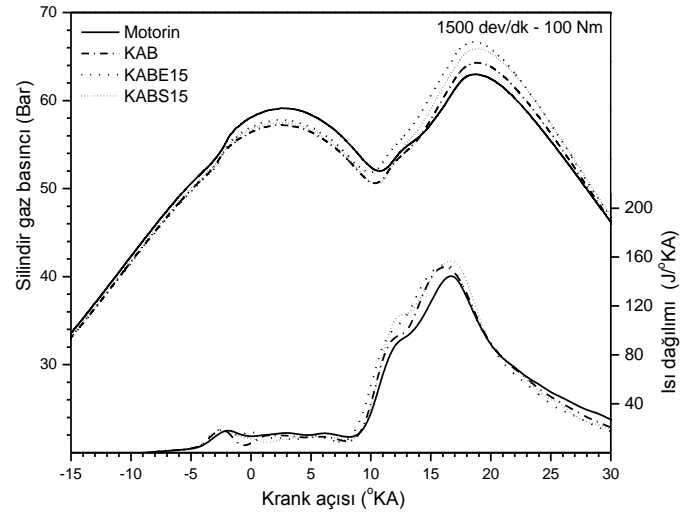


Şekil 5.9. Ana enjeksiyon süresi (Mikrosaniye)



Şekil 5.10. Ana enjeksiyon süresi (°KA)

Bütün test yakıtları için silindir basıncı ve ısı dağılımı değişimleri Şekil 5.11’de gösterilmiştir. Maksimum silindir gaz basıncı (MSB) motor devri arttıkça artış göstermiştir. MSB’nın °KA bakımından konumu ise motor devriyle birlikte değişmektedir. 1500 dev/dk için MSB değeri ilk pikte elde edilirken, bu değer 2000 ve 2500 dev/dk için ikinci pikte elde edilmektedir. Tüm test koşullarında, motorinin MSB değerleri ilk pikte diğer test yakıtlarından daha yüksek değere sahiptir. Buna karşın, biyodizel, KABE15 ve KABS15 için ikinci pikteki MSB değerleri ortalamada motorine göre daha yüksektir. Bununla beraber, bütün test yakıtlarında MSB değerlerinde küçük farklılıklar bulunmaktadır. Mancaruso ve ark. [57] yapmış oldukları çalışmada benzer sonuçları elde etmiştir. Farklı tip biyodizel ve motorin karışımları için basınç dalgalanmalarında belirgin farklılıklar olmadığını tespit etmişlerdir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, aynı test şartlarında test yakıtlarının MSB değerlerinin °KA cinsinden konumlarının birbirine yakın olduğu görülmektedir. Bu durumda, EKÜ’nün enjeksiyon karakteristiklerini gaz pedalı konumuna ve yakıt tipine bağlı olarak değiştirerek MSB değerinin pozisyonunu düzenlediği söylenebilir.



Şekil 5.11 Silindir gaz basıncı ve ısı dağılımları karşılaştırması

Isı dağılımı sonuçları incelendiğinde, tüm yakıtlar için maksimum ısı dağılım oranı (MIDO) ve °KA cinsinden konumlarının birbirine yakın olduğu görülmektedir. Aynı motor test koşullarında farklı yakıtlar için MIDO değerlerinin konumlarındaki değişiklik, 1 °KA'dan daha azdır. Literatürde de benzer sonuçlar elde edilmektedir. Mikulski ve ark. [58] biyodizel ve %25, %50 ve %75 biyodizel içeren motorin ile 100 Nm motor yükünde ve 1500 dev/dk da yapmış oldukları çalışmada, test yakıtları için MIDO ve °KA konumlarının birbirine yakın olduklarını tespit etmişlerdir.

Bu tez çalışmasında, tutuşma gecikmesi ana enjeksiyon başlangıcı ile %10 yanmış yakıt kesri (KA10) yani yanma başlangıcı arasında geçen süre olarak tanımlanmıştır [59]. Yanma süresi ise KA10 ile %90 yanmış yakıt kesri (KA90) yani yanma sonu arasında geçen süre olarak belirtilmiştir. Tabloda 5.1'de görüldüğü üzere, motor hızının artması ile birlikte tutuşma gecikmesi ( $\mu$ s) azalmıştır. KAB ve motorin yakıtlarının tutuşma gecikmesi değerlerinin birbirine yakın oldukları görülmektedir. KAB yakıtına solketal ilavesi tutuşma gecikmesini bir miktar arttırırken, KAB yakıtına etanol ilavesi tutuşma gecikmesi değerlerini bir miktar azaltmıştır. Bunun nedeni olarak KABE15 yakıtının yanma başlangıç değerlerinin KAB yakıtına nazaran daha erken krank açılarındaki gerçekleşmesi belirtilebilir. Yüksek pilot enjeksiyon miktarı, düşük viskozite ile birlikte artan uçuculuk, yüksek enjeksiyon oranı ve buna bağlı olarak ısı dağılımının daha hızlı olması KABE15 karışımı için yanma başlangıçlarının daha erken olmasının temel nedenleridir [60]. Bütün test şartlarında, motorinin yanma sonlarının daha geç krank açılarındaki gerçekleşmesi sonucu yanma süreleri de diğer yakıtlara nazaran daha fazla olmuştur. Biyodizel ve karışım yakıtların oksijen içeriği daha hızlı bir ısı dağılımına ve dolayısıyla daha kısa yanma süresine neden olmuştur [61].

Bir çevrim için pilot enjeksiyon miktarı (PEM) ve ana enjeksiyon miktarı (AEM) Tablo 5.1'de verilmiştir. Motor devrinin artmasıyla birlikte PEM'nin arttığını görülmektedir. Motorin ve KAB yakıtlarının PEM değerleri birbirine oldukça yakındır. Ancak KAB yakıtının AEM değerleri motorinden ortalama olarak yaklaşık %16,8 daha fazladır. KABE15 ve KABS15 yakıtları için PEM ve AEM değerleri bütün motor devirlerinde motorin ve biyodizel yakıtından daha yüksektir. Yukarıda da belirtildiği gibi, pilot enjeksiyon ve ana enjeksiyon süresi motorin için KAB yakıtından daha fazladır. Agarwal ve ark. [61] yapmış oldukları çalışmada, aynı

miktarda yakıtın silindirlere püskürtülmesinde biyodizelin enjeksiyon süresinin (ms) dizel motorindekinden daha kısa olduğunu tespit etmişlerdir. Bu da KAB yakıtının motorinden daha kısa pilot ve ana enjeksiyon süresine sahip olmasının bir nedeni olarak söylenebilir.

Sonuç olarak, enjeksiyon karakteristikleri motorda kullanılan yakıt cinsinden etkilenmektedir ve EKÜ yakıt tipine bağlı olarak farklı karakteristikler göstermektedir. Bu durumda, yakıt özellikleri; yakıt basıncına, enjeksiyon süresine ve silindirlere gönderilen yakıt miktarına etki etmektedir.

Tablo 5.1. Yanma ve enjeksiyon sonuçları

Yakıt	Motor Hızı (dev/dk)	Motor Yüklü (Nm)	Tutuşma Gecikmesi ( $\mu$ s)	KA10 ( $^{\circ}$ KA ÜÖNS)	KA90 ( $^{\circ}$ KA ÜÖNS)	Yanma Süresi ( $^{\circ}$ KA)	Pilot Enjeksiyon Miktarı (mg)	Ana Enjeksiyon Miktarı (mg)
M	1500	100	737,4	10,66	29,65	18,99	6,09	15,35
KAB	1500	100	748,4	10,87	27,40	16,53	6,02	18,02
KABE15	1500	100	694,5	10,39	26,58	16,19	6,46	19,53
KABS15	1500	100	762,9	11,01	26,56	15,55	6,38	19,34
M	2000	100	602,5	10,99	29,48	18,49	6,86	15,21
KAB	2000	100	576,3	11,25	28,59	17,34	6,76	17,84
KABE15	2000	100	533,0	10,74	27,88	17,14	7,29	19,21
KABS15	2000	100	608,4	11,31	27,9	16,59	7,10	18,90
M	2500	100	540,7	10,18	30,39	20,21	7,00	15,48
KAB	2500	100	552,5	9,79	28,20	18,41	7,06	17,92
KABE15	2500	100	488,5	8,72	27,38	18,66	7,53	19,17
KABE15	2500	100	567,8	9,88	28,02	18,14	7,31	18,98

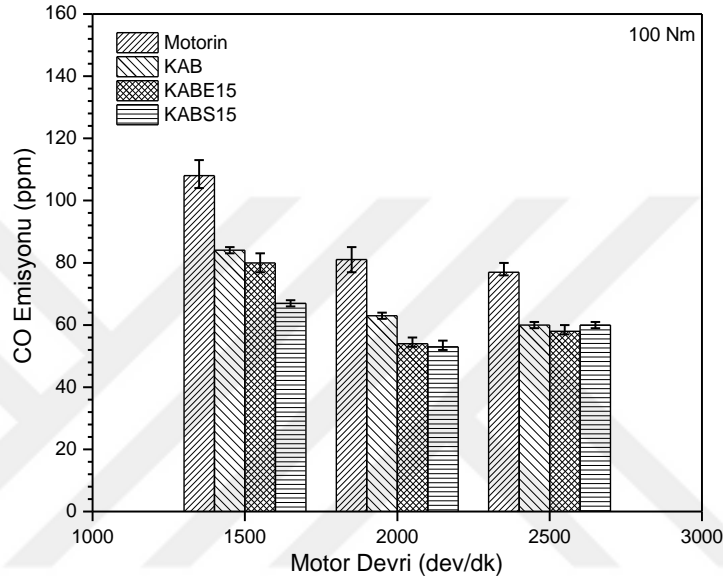
#### 5.4. Egzoz emisyonları

Bu çalışmada, karbon monoksit (CO), karbon dioksit (CO<sub>2</sub>), toplam hidrokarbonlar (THC) ve azot oksit (NO<sub>x</sub>) emisyonları ölçülmüştür. Testler sırasında kullanılan emisyon cihazı AVL Sesame FTIR'nin is emisyon ekipmanı bulunmadığından is emisyonlarının ölçümü yapılmamıştır. Testlere başlamadan önce gerekli gazlar ile egzoz emisyon cihazının kalibrasyonu yapılmıştır.

##### 5.4.1. CO Emisyonları

CO emisyonları önemli egzoz emisyonlardan birisidir. Yakıt-hava eşdeğerlik oranı CO emisyonunu etkileyen en önemli parametredir [62-63]. Şekil 5.12.'de görüldüğü gibi, motor devri arttıkça CO emisyonları azalmaktadır. Yanma sıcaklığının artması ve artan hava akışı daha düşük CO emisyonu sağlamıştır. Diğer taraftan, 2000 ve 2500 dev/dk test şartlarında elde edilen CO emisyonu sonuçları birbirine oldukça yakındır. Hava ve yakıt tüketim sonuçları hava/yakıt oranının yani buna bağlı olarak hava

fazlalık katsayısının ( $\lambda$ ) motor devrinin artmasıyla birlikte arttığını Tablo 5.2.'de gösterilmektedir. Hava fazlalık katsayısının motor devri 1500 dev/dak'dan 2000 dev/dk'ya geçerkenki artışının, motorun 2000 dev/dk şartından 2500 dev/dk şartına geçerkenki artışından daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu durumun motorun 2000 ve 2500 dev/dk'daki CO emisyon seviyelerinin birbirine yakın olmasının bir sebebi olduğu söylenebilir.



Şekil 5.12. CO Emisyonlarının karşılaştırılması

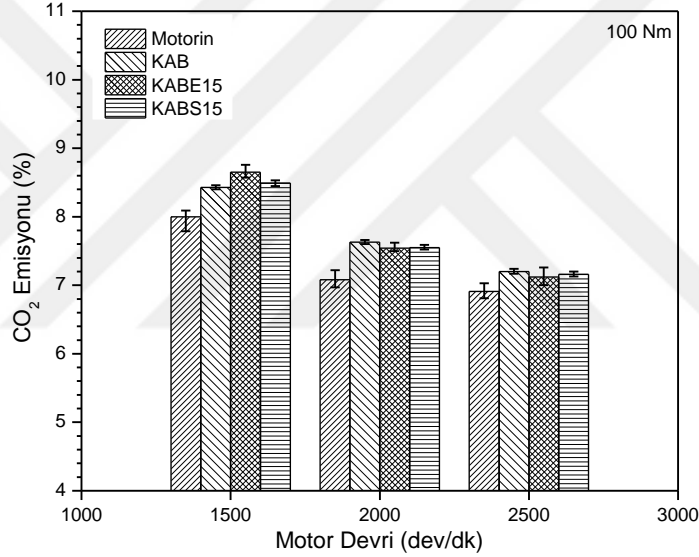
Tablo 5.2. Test yakıtlarının hava fazlalık katsayısı ( $\lambda$ ) değerleri

Motor Devri (dev/dk)	Motor Yüğü (Nm)	M	KAB	KABE15	KABS15
1500	100	1,56	1,61	1,50	1,55
2000	100	1,78	1,85	1,73	1,80
2500	100	1,81	1,89	1,78	1,84

Bütün test koşullarında, biyodizel ve karışımlarının CO emisyon seviyelerinin motorine göre daha düşük olduğu görülmüştür. Benzer şekilde, KABE15 ve KABS15 test yakıtlarının CO emisyon seviyeleri biyodizelinkinden daha düşüktür. Bunun nedeni olarak biyodizel ve oksijen içerikli yakıt karışımlarının yüksek oksijen içermesi gösterilebilir. Kütleli olarak biyodizel %10,9 oksijen içerirken, etanol ve solketal sırasıyla %34,8 ve %36,4 oksijen içermektedir. Biyodizel, KABE15 ve KABS15 yakıtlarının CO emisyonlarının motorine göre sırasıyla ortalama olarak yaklaşık %22,2, %28 ve %31,5 oranında düştüğü görülmektedir. Zhu L. ve arkadaşları [16] yaptıkları çalışmada benzer sonuçlar elde etmişlerdir.

### 5.4.2. CO<sub>2</sub> emisyonları

CO<sub>2</sub> emisyonları hidrokarbon yakıtların yanması sonucu açığa çıkan emisyonların ana ürünüdür. Şekil 5.13 sabit motor yükünde motor hızına bağlı olarak CO<sub>2</sub> emisyonlarının değişimini göstermektedir. Biyodizel, KABE15 ve KABS15 yakıtlarının CO<sub>2</sub> emisyonu değerlerinin tüm test koşullarında motorininkinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Biyodizel, KABE15 ve KABS15'nin CO<sub>2</sub> emisyonları motorine kıyasla ortalama olarak sırasıyla yaklaşık %5,8, %5,9 ve %5,5 oranında artmıştır. Biyodizel karışımları ile saf biyodizel karşılaştırıldığında, KABE15 ve KABS15 karışımlarının CO<sub>2</sub> emisyonlarının saf biyodizelinkine göre nispeten azaldığı belirlenmiştir.

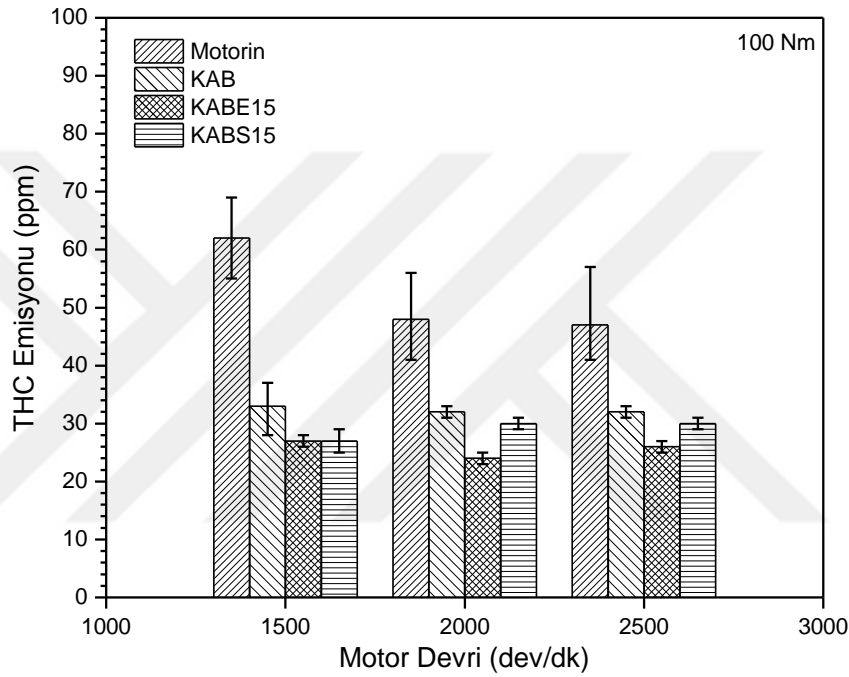


Şekil 5.13. CO<sub>2</sub> Emisyonlarının karşılaştırılması

### 5.4.3. THC emisyonları

Hidrokarbon emisyonları, hidrokarbon yakıtların tamamen yanmamasının bir ürünüdür. Zengin karışımda, yakıtta bulunan tüm karbonla reaksiyona girecek kadar oksijen bulunmadığından, sonuç olarak egzoz emisyonu ürünü olarak yüksek miktarda HC çıktığı görülür. Motor ilk çalıştığında bilinçli olarak çok zengin karışımda çalıştırıldığından, bu durum özellikle motorun ilk çalıştırılmasında ve ani ivmelenmelerde görülmektedir [63]. Test yakıtlarının THC emisyon değerleri Şekil 5.14.'de gösterilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı üzere, THC emisyonlarında motor hızının artması ile önemli ölçüde bir değişim görülmemektedir. Elde edilen sonuçlara

göre, saf motorinin THC emisyonları diğer test yakıtlarınıninkilerden oldukça yüksektir. Biyodizelin THC emisyonları saf motorine oranla %47 daha düşüktür. Solketal ve etanol karışımli yakıtların THC emisyonları ise biyodizele göre ortalama olarak sırasıyla yaklaşık %20,6 ve %10,2 daha düşüktür. Oksijen içerikli yakıtlar kullanılarak THC emisyonlarında saf motorine göre %56,5'e kadar bir azalma sağlanabilmektedir. Sayın C., Çanakcı M. [64] ve Ferreira V.P ve arkadaşları [12] yapmış oldukları çalışmalarda da THC emisyonları için benzer sonuçlar elde etmişlerdir.

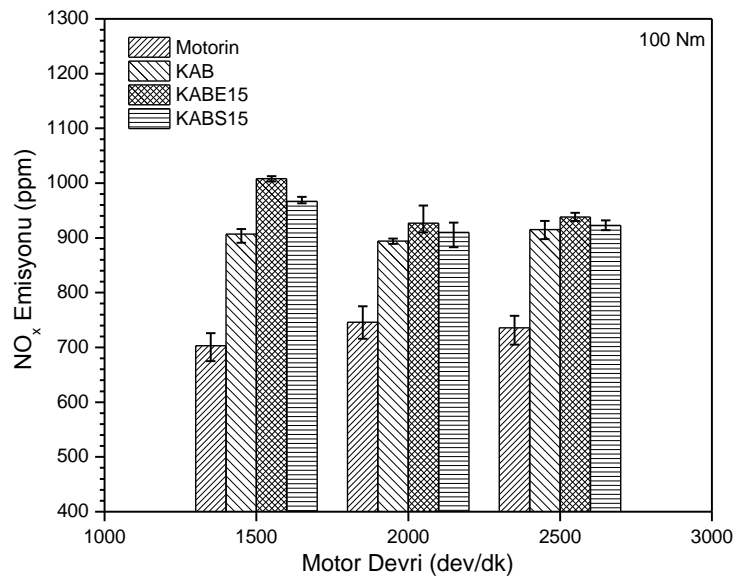


Şekil 5.14. THC emisyonlarının karşılaştırılması

#### 5.4.4. NO<sub>x</sub> emisyonları

NO<sub>x</sub> emisyonları yanma prosesinin bir sonucu olarak, azot ve oksijenin yanma odasındaki reaksiyonu sonucu oluşan ve istenmeyen bir emisyondur. NO<sub>x</sub> emisyonları genellikle havadaki azotdan kaynaklanmaktadır. Nitrojen aynı zamanda eser miktarda NH<sub>3</sub>, NC ve HCN içeren yakıt karışımlarında da azot bulunmaktadır, ancak bu NO<sub>x</sub> emisyonlarının oluşumu için çok küçük bir etkidir. NO<sub>x</sub> emisyonu, silindir basıncı, yanma sıcaklığı, hava-yakıt oranı ve yanma süresiyle doğrudan ilgilidir. Böylece, enjeksiyon zamanlamasının NO<sub>x</sub> emisyonları üzerinde çok güçlü bir etkisi olduğu anlaşılmaktadır [63].

Şekil 5.15’de motor testlerinde elde edilen NO<sub>x</sub> emisyonları gösterilmektedir. Şekilden de anlaşılacağı üzere, NO<sub>x</sub> emisyonlarında motor devrinin değişmesi ile birlikte önemli değişiklikler meydana gelmemiştir. Yukarıda belirtildiği gibi, test yakıtlarının MSB değeri motor devrinin artması ile artmaktadır. Bununla birlikte, motor hızının artması ile yanma basıncı artmasına rağmen, silindire olan kütleli hava akışının artması ve enjeksiyon karakteristiklerindeki değişiklik her bir motor devrinde NO<sub>x</sub> emisyonlarının birbirine yakın olmasına sebep olmaktadır. Tüm test koşullarında, biyodizel ve oksijenli yakıtlar kullanıldığında NO<sub>x</sub> seviyesinin arttığı görülmektedir. Biyodizel, KABE15 ve KABS15 kullanımı ile motorine kıyasla NO<sub>x</sub> seviyesi sırasıyla ortalama olarak %24,4, %31,7 ve %28,3 oranında arttırmıştır. NO<sub>x</sub> seviyesinin artmasının nedeni olarak, biyodizel ve karışımlarının yüksek oksijen içeriğine ve nispeten Tablo 5.2’de gösterildiği gibi oksijenli yakıtların yüksek  $\lambda$  değerine sahip olmaları gösterilebilir [61]. Yılmaz ve Sanchez [65] ve Bittle ark. [66] yapmış oldukları çalışmalarda biyodizel ve oksijenli yakıtların NO<sub>x</sub> emisyon seviyelerinin saf motorine göre daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Diğer yandan, Mangus ve ark. [67] biyodizel ve dizel karışımları ile yaptıkları çalışmada zamanlamaları değiştirerek biyodizel-dizel karışımı yakıtta NO<sub>x</sub> emisyonu değerinin düştüğünü belirtmişlerdir. Bu durum göz önüne alındığında, enjeksiyon karakteristiklerinde yapılacak bir kısım değişiklikler ile oksijenli yakıt karışımlarının yüksek NO<sub>x</sub> emisyonu dezavantajı ortadan kaldırılabilir.



Şekil 5.15. NO<sub>x</sub> emisyonlarının karşılaştırılması

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Günümüz şartlarında enerji ihtiyacının büyük çoğunluğu fosil kökenli yakıtlardan sağlanmaktadır. Fosil kökenli yakıtlar, gerek sonlu olması gerekse de çevre ve insan sağlığı açısından olumsuz sonuçlarının olması nedeniyle kendisine alternatif enerji kaynaklarının araştırılması gereksinimi ortaya çıkmıştır. Biyodizel, gerek yenilenebilir enerji kaynağı olması, gerekse de çevre açısından olumlu sonuçlarının olması bakımından motorine alternatif bir yakıt olarak kullanılabilir. Biyodizel üretimi sırasında yan ürün olarak üretilen biyodizelin neredeyse %10'u kadar gliserolün çıkması, bu yan ürünün değerlendirilmesi gereksinimini ortaya çıkarmıştır. Biyodizel üretiminden elde edilen yan ürün olan gliserolden solketal elde edilmesi ve solketalin biyodizel yakıtta katkı maddesi olarak kullanılıp değerlendirilmesi mümkündür.

Yapılan çalışma, dizel yakıtına alternatif olabilecek biyodizel yakıtına sırasıyla %15 oranında etanol ve %15 oranında solketal karıştırılarak elde edilen karışımlar, saf biyodizel ve saf dizel yakıtı bir dizel motorunda sabit yük ve farklı motor devirlerinde test edilmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlara göre;

ÖYT değerlerinin, motor devrinin artması ile birlikte tüm test yakıtları için nispeten arttığı görülmüştür. Biyodizel ve karışımlarının ÖYT tüketimi değerlerinin tüm test koşullarında motorine göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Efektif verimin motor devri artması ile birlikte tüm test yakıtları için düşüş göstermiştir. Elde edilen en yüksek efektif verim, KAB yakıtı kullanıldığında ve motor devri 1500 dev/dk iken elde edilmiştir. Motorine göre en yüksek efektif verim artışı motor 2500 dev/dk'da iken KABS15 yakıtı kullanıldığında %3,76 olarak elde edilmiştir. KABE15 yakıtının efektif veriminin motorine çok yakın olduğu görülmüştür.

Tutuşma gecikmesi, motor hızının artması ile birlikte azaldığı, KAB ve motorinin tutuşma gecikmesi sürelerinin birbirine yakın olduğu, KAB yakıtına solketal ilave edildiğinde tutuşma gecikmesinin bir miktar arttığı ancak aynı yakıtta etanol ilave edildiğinde ise tutuşma gecikmesinin bir miktar azaldığı görülmüştür.

Pilot enjeksiyon süresinin motor devrine bağılı olarak arttığı ve pilot enjeksiyon sonunun da motor devri ile daha erken krank açılarında gerçekleştiği tespit edilmiştir. Tüm test yakıtları için pilot enjeksiyon başlangıcı ve pilot enjeksiyon sonu sonuçları motor devri 1500 dev/dk ve 2000 dev/dk'da iken birbirlerine oldukça yakın oldukları gözlemlenmiştir. Ana enjeksiyonun başlangıcı ve ana enjeksiyonun sonu, motor devrine göre farklı karakteristikler göstermiştir. Krank açısı cinsinden, pilot ve ana enjeksiyon süreleri motor devri arttıkça arttığı halde, milisaniye cinsinden pilot enjeksiyon süresi ve ana enjeksiyon sürelerinin azaldığı tespit edilmiştir. Maksimum silindir gaz basıncı (MSB) motor devri arttıkça artış göstermektedir. Saf motorin maksimum silindir gaz basıncı, ilk pikte tüm test yakıtlarından daha yüksek değere çıkmıştır. Buna karşın, biyodizel ve karışımlarının ikinci pikteki ortalama basınç değeri, motorine göre daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Genel olarak, maksimum silindir gaz basınç değerleri birbirine çok yakın olduğu tespit edilmiştir.

Motor devri arttıkça pilot enjeksiyon miktarı da artış göstermiştir. Motorin ve biyodizel'in pilot enjeksiyon miktarları birbirine çok yakın olduğu görülmüştür. Biyodizel karışımı yakıtların pilot ve ana enjeksiyon miktarları tüm test koşullarında saf motorin ve biyodizelden daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

CO emisyonları motor devri arttıkça kayda değer ölçüde azaldığı tespit edilmiştir. 2000 dev/dk ve 2500 dev/dk'da ölçülen CO emisyonu seviyelerinin birbirlerine çok yakın sonuçlar doğurduğu görülmüştür. Bütün test koşullarında, biyodizel ve karışımlarının CO emisyonu seviyesinin saf motorine göre daha düşük olduğu belirlenmiştir. Bunun yanı sıra, biyodizel karışımı yakıtların CO emisyon seviyelerinin ise saf biyodizelden daha düşük olduğu yapılan tespitler arasındadır.

Biyodizel ve karışımı yakıtların, CO<sub>2</sub> emisyonları tüm test koşullarında motorinden daha yüksek olduğu görülmüştür. Biyodizel, KABE15 ve KABS15 yakıt karışımları, ortalama olarak motorinden sırasıyla %5,8, %5,9 ve %5,5 oranından daha yüksek CO<sub>2</sub> emisyonu sağlamaktadır. Biyodizel ve karışımları kendi içinde CO<sub>2</sub> emisyonu açısından karşılaştırıldığında, biyodizel karışımı yakıtların CO<sub>2</sub> emisyonlarının nispeten daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

Motor devri ile toplam hidrokarbon (THC) seviyesinin doğrudan bir ilgisinin olmadığı, motor devri arttıkça THC seviyesinde çok küçük değişiklikler olduğu

belirlenmiştir. THC seviyesini asıl etkileyenin ise test yakıtlarının özellikleri olduğu anlaşılmıştır. Saf motorinin THC seviyesinin diğer tüm test yakıtlarınınkinden oldukça yüksek olduğu görülmüştür. Biyodizelin THC seviyesinin saf motorine oranla %47 oranında daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Solketal ve etanol karışımı biyodizel yakıtında ise motorine göre sırasıyla %20,6 ve %10,2 daha düşük THC seviyesi belirlenmiştir.

Tüm test koşullarında, NO<sub>x</sub> seviyesinin motor devri ile doğrudan etkilenmediği, biyodizel, KABE15 ve KABS15 karışımı yakıtların NO<sub>x</sub> miktarının tüm test şartlarında motorine göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu miktarın, ortalama olarak motorine göre sırasıyla %24,4, %31,7 ve %28,3 seviyesinde yüksek olduğu belirlenmiştir. Bunu yanı sıra, biyodizel ve karışımı yakıtlar da kendi içerisinde karşılaştırıldığında ise, KABE15 ve KABS15 karışımı yakıtların NO<sub>x</sub> emisyonlarının ortalamada saf biyodizele göre sırasıyla %5,8 ve %3,1 daha yüksek olduğu saptanmıştır.

Özetle, biyodizel, etanol-biyodizel ve soketal-biyodizel yakıtlarının motorine kıyasla THC, CO emisyonlarının daha düşük olduğu, CO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonlarının ise daha yüksek olduğu görülmüştür. NO<sub>x</sub> emisyonlarının, Mangus M. [63] ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada tespit edildiği gibi, motorun enjeksiyon karakteristikleri ile oynanarak veya egzoz sonrası sistemler kullanıp egzoz içerisine üre solüsyonu eklenerek NO<sub>x</sub> ve üre solüsyonun tepkimeye girerek NO<sub>x</sub> miktarı azaltılır, ve yine aynı şekilde CO<sub>2</sub> emisyonları da egzoz sonrası sistemleri kullanarak yasal seviyelere düşürülebilirse, biyodizel, etanol-biyodizel ve solketal-biyodizel yakıt karışımları motorine alternatif bir yakıt olarak ticari amaçla kullanılması mümkün olabilir.

## KAYNAKLAR

- [1] <http://www.tpao.gov.tr/tp5/docs/rapor/sektorrapor3105.pdf>, (Ziyaret Tarihi: 15 Ağustos 2017).
- [2] <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=24596> (Ziyaret Tarihi: 18 Ağustos 2017).
- [3] <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=21587> (Ziyaret Tarihi : 18 Ağustos 2017).
- [4] <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Petrol> (Ziyaret Tarihi: 1 Temmuz 2017).
- [5] <http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/biyodizel.aspx> (Ziyaret Tarihi: 1 Temmuz 2017).
- [6] <http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/biyoetanol.aspx> (Ziyaret Tarihi: 30 Ağustos 2017).
- [7] Suriyaprapaddilok N., Kitiyanan B., Synthesis of Solketal From Glycerol and Its Reaction with Benzyl Alcohol, *Energy Procedia*, 2011, **9**, 63-69.
- [8] Chaunhan B. S., Kumar N., Cho H. M., A Studay on the Performance and Emission of a Diesel Engine Fueled with Jatropha Biodiesel Oil and Its Blends, *Energy*, 2012, **37**, 616-622.
- [9] Mikulski M., Duda K., Wierzbicki S., Performanace and Emission of a CRDI Diesel Engine Fuelled with Swine Lard Methyl Esters-Diesel Mixture, *Fuel*, 2016, **164**, 206-2019.
- [10] Özçelik A.E., Aydoğan H., Acaroğlu M., Determining the Performance, Emission and Combustion Properties of Camelina Biodiesel Blends, *Energy Conversion and Management*, 2015, **96**, 47-57.
- [11] How H.G., Masjuki H.H., Kalam M.A., Teoh Y.H., Engine Performance, Emission and Combustion Characteristics of a Common-Rail Diesel Engine Fuelled with Bioethanol as a Fuel Additive in Coconut Oil Biodiesel Blends, *The 6th International Conference On Applied Energy*, 2014, 61, 1655-1659.
- [12] Ferreira V.P, Martins J., Torres E.A., Performance and Emissions Analysis of Additional Ethanol Injection on a Diesel Engine Powered with a Blend of Diesel-Biodiesel, *Energy for Sustainable Development*, 2013, **17**, 649-657.

- [13] Yılmaz N., Vigil F.M., Donaldson A.B., Darabseh T., Investigation of CI Engine Emissions in Biodiesel-Ethanol-Diesel Blends as a Function of Ethanol Concentration, *Fuel*, 2014, **115**, 790-793.
- [14] Randazzo M. L., Sodre J.R., Exhaust Emission from a Diesel Powered Vehicle Fuelled by Soybean Biodiesel Blends (B3-B20) with Ethanol as an Additive (B20E2-B20E5), *Fuel*, 2011, **90**, 98-103.
- [15] He B., Shuai S., Wang J., He H., The Effect of Ethanol Blended Diesel Fuels on Emission From a Diesel Engine, *Atmospheric Environment*, 2003, **37**, 4965-4971.
- [16] Zhu L, Cheung C.S., Zhang W.G., Huang Z., Emissions Characteristics of a Dieseleengine Operating on Biodiesel and Biodiesel Blended with Ethanol and Methanol, *Science of the Total Environment*, 2010, **408**, 914-921.
- [17] <http://www.mfa.gov.tr/yenilenebilir-enerji-kaynaklari.tr.mfa> (Ziyaret Tarihi: 19 Temmuz 2017).
- [18] Melikoğlu M., Albostan A., Türkiye’de Biyoetanol Üretimi ve Potansiyelleri, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 2011, **26**(1) 151-160.
- [19] Yaşar B., Alternatif Enerji Kaynağı Olarak Biyodizel Üretim ve Kullanım Olanaklarının Türkiye Tarımı ve AB Uyum Süreci Açısından değerlendirilmesi, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2009, 244369.
- [20] Zu Y., Tang J., Zhu W., Zhang M., Liu C., Liu Y., Zhang W., Jia M., Graphite Oxide-Supported Cao Catalysts for Transesterification of Soybean Oil with Methanol, *Bioresource Technology*, 2011, **102**, 8939-8944.
- [21] Graboski M.S., McCormick R.L., Cumbustion of Fat and Vegetable Oil Derived Fuels in Diesel Engines, *Energy Combust*, 1998, **24**, 125-164.
- [22] Tomasevic A.V., Siler-Marinkovic S.S., Methanolysis of Used Frying Oil, *Fuel Processing Technology*, 2003, **81**, 1-6.
- [23] J.A. Kinast, Production of Biodiesels from Multiple Feedstocks and Properties of Biodiesels and Biodiesel/Diesel Blends, *National Renewable Energy Laboratory*, NRLE/SR-510-31430, Colorado, 2003.
- [24] Alptekin E., Çanakçı M., Farklı Hammaddelerden Üretilen Metil Ester ve Gliserinin Bazı Özelliklerinin Belirlenmesi, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 2008, **23**(3), 549-556.
- [25] Çengelci E., Bayrakçeken H., Aksoy F., Hayvansal ve Bitkisel Yağlardan Elde Edilen Biyodizelin Dizel Yakıtı ile Karıştırılması, *Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2011, **3**, 41-53.

- [26] Haşımoğlu C., Düşük Isı Kayıplı Bir Dizel Motorunda Biyodizel Kullanımının Performans ve Emisyon Parametrelerine Etkisi, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2005, 168055.
- [27] Srivastava A., Prasad R., Triglycerides-Based Diesel Fuels, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2000, **4**, 111-133.
- [28] Atakan A., Hardal Yağı Biyodizelinde Depolama Süresi ve Şartlarının Yakıt Özellikleri Üzerindeki Etkisinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2006, 183449.
- [29] Çanakçı M., Şanlı H., An Assessment About the Reason of NOx Rise in Biodiesel's Exhaust Emission, *Journal of Naval Science and Engineering*, 2005, **3**, 81-92.
- [30] Sarin A., *Biodiesel Production and Properties*, 1st ed., Henry Ling Limited, Dorchester United Kingdom, 2012.
- [31] Graboski M.S., McCormick R.L., Combustion of Fat and Vegetable Oil Derived Fuels in Diesel Engines, *Energy Combust. Sci.*, 1998, **24**, 125-164.
- [32] Alptekin E., Çanakçı M., Biyodizel ve Türkiye'deki Durumu, *Mühendis ve Makina*, 2006, **47** (561) , 57-64.
- [33] Hu J., Du Z., Li C., Min, E., Study on the Lubrication Properties of Biodiesel as Fuel Lubricity Enhancers, *Fuel*, 2005, **84**, 1601-1606.
- [34] Kerschbaum S., Rinke G., Measurement of the Temperature Dependent Viscosity of Biodiesel Fuels, *Fuel*, 2003, **83**, 287-291.
- [35] Karaosmanoğlu F., Biyoyakıt Teknolojisi ve İTÜ araştırmaları, International Atomic Energy Agency, [http://iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/\\_Public/41/103/41103129.pdf](http://iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/41/103/41103129.pdf), (Ziyaret Tarihi: 9 Kasım 2017).
- [36] <http://www.epdk.org.tr/TR/Dokuman/8079>, (Ziyaret Tarihi: 13 Eylül 2017).
- [37] [http://www.albiyobir.org.tr/trde\\_b3.htm](http://www.albiyobir.org.tr/trde_b3.htm) (Ziyaret Tarihi: 13 Eylül 2017).
- [38] Oğuz H., Özcan M., Yağcı M., Özkan A.O., Automation of the Two Stage Biodiesel Production Process, *International Journal of Automotive Engineering and Technologies*, 2015, **4**, 254-260.
- [39] Thomas V., Kwong A., Ethanol as a Lead Replacement: Phasing out Leaded Gasoline in Africa, *Energy Policy*, 2011, **29**, 1133-1143.
- [40] Shahir S.A., Masjuki H.H., Kalam M.A., Imran A., Rizwanul Fattah I.M., Sanjid A., Feasibility of Diesel–Biodiesel–Ethanol/Bioethanol Blend as Existing CI Engine Fuel: An Assessment of Properties, Material Compatibility, Safety and Combustion, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2014, **32**, 379–395.

- [41] Torres-Jimenez E., Jerman M.S., Gregorc A., Lisec I., Dorado M.P., Physical and Chemical Properties of Ethanol–Diesel Fuel Blends, *Fuel*, 2011, **90**, 795–802.
- [42] Xingcai L., Zhen H., Wugao Z., Degang L., The Influence of Ethanol Additives on the Performance and Combustion Characteristics of Diesel Engines, *Combustion Science and Technology*, 2004, **176**, 1309-1329.
- [43] Karagöl E.T., Kavaz İ., Dünyada ve Türkiye’de yenilenebilir enerji, SETA Siyaset, Ekenomi ve Toplum Araştırmaları Vakfı, <https://setav.org/assets/uploads/2017/04/YenilenebilirEnerji.pdf>, (Ziyaret Tarihi: 15 Ekim 2017).
- [44] [www.albiyobir.org.tr/biyoyakitlar01.htm](http://www.albiyobir.org.tr/biyoyakitlar01.htm), (Ziyaret Tarihi: 18 Ekim 2017).
- [45] Sandesh S., Halgeri A.B., Shanbhag G.V., Utilization of Renewable Resources: Condensation of Glycerol with Acetone at Room Temperature Catalyzed by Organic-Inorganic Hybrid Catalyst, *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 2015, **401**, 73-80.
- [46] Melero J.A., Vicente G., Morales G., Paniagua M., Bustamane J., Oxygenated Compounds Derived From Glycerol for Biodiesel Formulation: Influence on EN 14214 Quality Parameters, *Fuel*, 2010, **89**, 2011-2018.
- [47] Gadamsetti S., Rajan P.N., Rao G.R., Chary K.V.R., Acetalization of Glycerol with Acetone to Bio Fuel Additives Oversupported Molybdenum Phosphate Catalysts, *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 2015, **410**, 49-47.
- [48] Melero J.A., Vicente G., Morales G., Paniagua M., Bustamante J., Oxygenated Compounds Derived from Glycerol for Biodiesel Formulation: Influence on EN 14214 Quality Parameters, *Fuel*, 2010, **89**, 2011-2018.
- [49] Reddy P.S., Sudarsanam P., Mallesham B., Raju G., Reddy B.M., Acetalisation of Glycerol with Acetone Over Zirconia and Promoted Zirconia Catalysts Under Reaction Conditions, *Journal of industrial and Engineering Chemistry*, 2011, **17**, 377-381.
- [50] Nanda M.R., Yuan Z., Qin W., Ghaziaskar H.S., Poirier M., Xu C.C., Thermodynamic and Kinetic Studies of a Catalytic Process to Convert Glycerol into Solketal as an Oxygenated Fuel additive, *Fuel*, 2014, **117**, 470-477.
- [51] Özer S., Alkollerin İçten Yanmalı Motorlarda Alternatif Yakıt Olarak Kullanılması, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 2014, **19**(1), 97-114.
- [52] Yılmaz N., Comparative Analysis of Biodiesel-Ethanol-Diesel and Biodiesel-Metanol-Diesel Blends in a Diesel Engine, *Energy*, 2012, **40**, 210-213.

- [53] Monyem A., Gerpen J.H.V., The Effect of Biodiesel Oxidaton on Engine Performance and Emission, *Biomass and Bioenergy*, 2001, **20**, 317-325.
- [54] Emirođlu H., Bir Traktör Modelinde Yakıt Olarak Değişik Oranlarda Biodizel Kullanmanın Motor Karakteristiklerine Etkilerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aydın, 2007, 200685.
- [55] Tziourtzioumis D., Stamatelos A., Effects of a 70% Biodiesel Blend on the Fuel Injection System Operation During Steady-State and Transient Performance of a Common Rail Diesel Engine, *Energy Conversion and Management*, 2012, **60**, 56-67.
- [56] Han D., Duan Y., Wang C., Lin H., Huang Z., Wooldridge M.S., Eperimental Study of the Two-Stage Injection Process of Fatty Acid Esters of and Common Rail Injection System, *Fuel*, 2016, **163**, 214-222.
- [57] Mancaruso E., Sequino L., Vaglieco BM., First and Second Generation Biodiesel Spray Characterization in a Diesel Engine, *Fuel*, 2011, **90**, 2870-2883.
- [58] Mikulski M., Duda K., Wierzbicki S.. Performance and Emissions of a CRDI Dieseleengine Fuelled with Swine Lard Methyl Esters-Diesel Mixture, *Fuel*, 2016, **164**, 206-219.
- [59] Finesso R., Spessa E., Ignition Delay Prediction of Multiple Injections in Diesel Engines, *Fuel*, 2014, **119**, 170-190.
- [60] Park S.H., Sun H.K., Lee C. S., Nozzle Flow and Atomization Characteristics of Ethanol Blended Biodiesel Fuel, *Renewable Energy*, 2010, **35**, 144-150.
- [61] Agarwal A.K., Dhar A., Gupta J.G., Kim W.I., Choi K., Lee C.S., Park S., Effect of Fuelinjection Pressure andInjection Timing of Karanja Biodiesel Blends on Fuel Spray, Engine Performance, Emissions and Combustion Characteristics, *Energ Conversion and Management*, 2015, **91**, 302-314.
- [62] Heywood J.B, *Internal Cumbustion Engine Fundemantals*, 1st ed., McGraw-Hill, New York, 1988.
- [63] Pulkrabek W.W., *Engineering fundamentals of the Internal Combustion Engine*, 1st ed., Prentice Hall, New Jersey, 1997.
- [64] Sayın C., Çanakçı M., Effects of Injection Timing on the Engine Performançe and Exhaust Emissions of a Dual-Fuel Diesel Engine, *Energy Conversion and Management*, 2009, **50**, 203-2013.
- [65] Yılmaz N., Sanchez T.M., Analysis of Operating a Diesel Engine on Biodiesel-Ethanol and Biodiesel-Methanol Blends, *Energy*, 2012, **46**, 126-129.

- [66] Bittle J.A., Knight B.M., Jacobs T.J., Interesting Behavior of Biodiesel Ignition Delay and Combustion Duration, *Energy&Fuels*, 2010, **24**, 4166-4177.
- [67] Mangus M., Kiani F., Mattson J., Tabakh D., Depcik C., Peltier E. Stagg-Williams S., Investigation the Compression Ignition Combustion of Multiple Biodiesel/ULSD (Ultra-Low Sulfur Diesel) Blends Via Common-Rail Injection, *Energy*, 2015, **89**, 932-945.



## KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

- [1] Alptekin E., Aşcı Z., Şanlı H., Emission and performance analysis of a CRDI diesel engine fueled with blends of ethanol-biodiesel and solketal-biodiesel fuels, *International Conferance on Advances in Science and Arts 2017*, İstanbul, Turkey, 29-31 March 2017.



## ÖZGEÇMİŞ

1984 yılında, öğretmen bir baba ve ev hanımı bir annenin ikinci çocukları olarak Van'ın Özalp ilçesinin Örenburç köyünde dünyaya geldi. İlk, orta ve lise öğrenimini Ordu'da tamamladıktan sonra 2002 yılında kazandığı Dicle Üniversitesi Otomotiv Öğretmenliği bölümünden 2006 yılında mezun oldu. Mezuniyetinden sonra otomotiv sektöründe çalışma hayatına başladı. Farklı firmaların satış sonrası hizmetlerinde çeşitli görevler aldı. 2014 yılında Kocaeli Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği alanında yüksek lisans eğitimine başladı. Halen Cummins Inc firması Türkiye ofisinde çalışma hayatına devam etmektedir.

