

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNA ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BUJİ İLE ATEŞLEMELİ BİR MOTORDA,  
FARKLI ETANOL – BENZİN  
KARIŞIMLARI KULLANIMININ MOTOR PERFORMANS  
VE EGZOZ EMİSYONLARINA ETKİLERİNİN  
DENEYSEL ARAŞTIRILMASI

Evren KODANLI

AĞUSTOS 2016

Evren KODANLI

Yüksek Lisans Tezi

KÜ 2016

**Makina Anabilim Dalında** Evren KODANLI tarafından hazırlanan BUJİ İLE ATEŞLEMELİ BİR MOTORDA, FARKLI ETANOL – BENZİN KARIŞIMLARI KULLANIMININ MOTOR PERFORMANS VE EGZOZ EMİSYONLARINA ETKİLERİNİN DENEYSEL ARAŞTIRILMASI adlı Yüksek Lisans Tezinin Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

(Unvanı, Adı ve Soyadı, İmzası)

Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumu ve tezin **Yüksek Lisans Tezi** olarak bütün gereklilikleri yerine getirdiğini onaylarım.

(Unvanı, Adı ve Soyadı, İmzası)

Danışman

*Jüri Üyeleri*

Başkan : (Unvanı, Adı ve Soyadı, İmzası) \_\_\_\_\_

Üye (Danışman) : (Unvanı, Adı ve Soyadı, İmzası) \_\_\_\_\_

Üye : (Unvanı, Adı ve Soyadı, İmzası) \_\_\_\_\_

...../...../.....

Bu tez ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onaylamıştır.

(Unvanı, Adı ve Soyadı, İmzası)

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## ÖZET

### BUJİ İLE ATEŞLEMELİ BİR MOTORDA, FARKLI ETANOL – BENZİN KARIŞIMLARI KULLANIMININ MOTOR PERFORMANS VE EGZOZ EMİSYONLARINA ETKİLERİNİN DENEYSEL ARAŞTIRILMASI

KODANLI, Evren

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makina Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Battal DOĞAN

Ağustos 2016, 120 Sayfa

Gelecekte fosil yakıtlara alternatif olarak düşünülen ve çevre kirliliği açısından daha temiz bir yakıt olan etanol, saf olarak veya belirli oranlarda yakıtlarla karıştırılarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada, oktan sayısının fazla, egzoz emisyonlarının az ve etanolün tarımsal ürünlerden kolay elde edilebilmesi nedeni ile etanol kullanılmıştır. Benzine kütleli farklı oranlarda etanol (E0, E10, E20 ve E30) ilave edilerek hazırlanan yakıtlar kullanılmıştır. Dört silindirli dört zamanlı buji ateşlemeli bir motorda etanol karışımları (E10, E20 ve E30) ve normal yakıt (E0) kullanılarak motor tam yük altında performans ve emisyon testleri yapılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda motor torku, özgül yakıt tüketimi, yakıt ve soğutma suyu debileri, egzoz ve motor yüzey sıcaklığı ölçülmüştür. Termodinamiğin birinci ve ikinci yasa denklemleri ile deneylerden alınan veriler kullanılarak motor enerji dağılımı, soğutma sisteminden, egzozdan kaynaklanan tersinmezlikler ve ekserji dağılımı hesaplanmıştır. Deneyler ve teorik hesaplamalar sonucunda etanol ilaveli yakıtların benzine göre önemli bir güç kaybı olmaksızın CO, CO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonlarında azalmalar olduğu görülmüştür. Ancak etanol ilavesi ile silindir içerisindeki sıcaklığın azalmasının HC emisyonlarını arttırdığı ölçülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Benzin – Etanol Karışımları, Alternatif Yakıt, Egzoz Emisyonları, Motor Performansı, Ekserji

## ABSTRACT

### EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON EFFECT OF USING DIFFERENT ETHANOL – GASOLINE MIXING ON ENGINE PERFORMANCE AND EXHAUST EMISSIONS

KODANLI, Evren

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Machine, MSc Thesis

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Battal DOĞAN

August 2016, 120 pages

Ethanol, considered as an alternative to fossil fuels in the future and as a cleaner fuel for environmental pollution, is used in pure form or mixed with fuel in certain proportions. Because it has more octanes, less exhaust emissions and obtaining ethanol from agricultural products easily, ethanol was used in this study. Fuel, prepared by adding different ratios (E0, E10, E20 and E30) of ethanol to gasoline, was used. Using regular fuel (E0) and ethanol blends (E10, E20 and E30) on four stroke four cylinder spark ignition engine, performance and emission tests were performed under full load. Motor torque, specific fuel consumption, fuel and coolant flow rate, exhaust and the engine surface temperature were measured in experimental studies. Using data from the experiments with the first and second laws of thermodynamics equations, exergy distribution and irreversibility caused by exhaust and cooling system were calculated. Experimental results and theoretical calculations showed that the addition of ethanol fuel were reductions in CO, CO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> emissions than gasoline without significant power loss. However, it was seen that decreasing the temperature in the cylinder with addition of ethanol increases the HC emissions.

**Key Words:** Gasoline-Ethanol Blends, Alternative Fuels, Exhaust Emissions, Engine Performance, Exergy

## TEŞEKKÜR

Tezimin hazırlanması esnasında hiçbir yardımı esirgemeyen ve biz genç araştırmacılara büyük destek olan, bilimsel deney imkanlarını sonuna kadar bizlerin hizmetine veren, tez yöneticisi hocam, Sayın Yrd. Doç. Dr. Battal DOĞAN'a, tez çalışmalarım esnasında, bilimsel konularda daima yardımını gördüğüm hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Hayri YAMAN'a ve Sayın Prof. Dr. Sahir SALMAN'a, büyük fedakarlıklarla bana destek olan tezimi hazırlamam esnasında da yardımlarını esirgemeyen sevgili babam Erol KODANLI'ya, sevgili annem Gülşen KODANLI'ya ve sevgili ağabeyim Eren KODANLI'ya teşekkürü bir borç bilirim.



# İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

<b>ÖZET</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	ii
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	iii
<b>İÇİNDEKİLER DİZİNİ</b> .....	iv
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	vii
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	ix
<b>RESİMLER DİZİNİ</b> .....	xi
<b>SİMGELER DİZİNİ</b> .....	xii
<b>KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	xiv
<b>1. GİRİŞ</b> .....	1
1.1. Literatür Taraması .....	5
1.2. Biyoetanol .....	20
1.2.1. Biyoetanolün Üretim Aşamaları .....	20
1.2.2. Hazırlanış .....	21
1.2.3. Fermantasyon .....	22
1.2.4. Distilasyon .....	22
1.3. Türkiye’de Etanol Kullanımı ve Üretim Kapasitesi .....	23
1.4. Dünyada Etanol Kullanımı ve Üretim Kapasitesi .....	25
1.5. Biyoetanolün Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri .....	30
1.6. Etanolün Yakıt Olarak Kullanılması .....	32
1.7. Buji Ateşlemeli Motorlarda Yanma .....	34
1.7.1. Ateşleme Sistemi .....	34
1.7.1.1. Manyetolu Ateşleme Sistemi .....	34
1.7.1.2. Akülü Ateşleme Sistemi .....	35
1.7.1.3. Elektronik Ateşleme Sistemi.....	36
1.7.2. Distribütör .....	37
1.7.3. Ateşleme Avansı .....	38
1.7.4. Ateşleme Bobini.....	39
1.7.5. Buji.....	40

1.7.6. Yüksek Gerilim Kablolar .....	41
1.7.7. Karbüratörlü Yakıt Sistemi .....	42
1.7.7.1. Karbüratör .....	42
1.7.7.2. Yakıt Pompası .....	43
1.7.7.3. Yakıt Deposu .....	44
1.7.7.4. Yakıt Filtresi .....	45
1.8. Egzoz Emisyonları ve Çevreye Etkileri .....	46
1.8.1. Karbonmonoksit .....	47
1.8.2. Karbondioksit .....	48
1.8.3. Hidrokarbon .....	48
1.8.4. Diğer Gazlar .....	48
<b>2. MATERYAL VE METOT .....</b>	<b>50</b>
2.1. Materyal .....	50
2.1.1. Deney Ortamı .....	50
2.1.2. Deney Motoru .....	51
2.1.3. Dinamometre ve Kontrol Paneli .....	53
2.1.4. Kullanılan Ölçüm Cihazları .....	54
2.1.4.1. Terazi ve Kronometre .....	54
2.1.4.2. Hava Akışmetresi .....	55
2.1.4.3. Egzoz Emisyonları Ölçüm Cihazı .....	56
2.1.5. Deney Yakıtları .....	57
2.2. Metot .....	59
2.2.1. Motor Momenti .....	59
2.2.2. Efektif Güç .....	60
2.2.3. Fren Ortalama Efektif Basıncı .....	60
2.2.4. Özgül Yakıt Tüketimi .....	61
2.2.5. Efektif Verim .....	62
<b>3. ARAŞTIRMA BULGULARI .....</b>	<b>63</b>
3.1. Motor Momenti ve Efektif Güç .....	63
3.2. Özgül Yakıt Tüketimi .....	66
3.3. Efektif Verim .....	67

3.4. Egzoz Emisyonları .....	68
3.4.1. CO Emisyonlarının Değerlendirilmesi .....	68
3.4.2. HC Emisyonlarının Değerlendirilmesi .....	69
3.4.3. CO <sub>2</sub> Emisyonlarının Değerlendirilmesi .....	70
3.4.4. NO <sub>x</sub> Emisyonlarının Değerlendirilmesi .....	72
<b>4. ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ .....</b>	<b>74</b>
4.1. Enerji Analizi .....	74
4.2. Ekserji Analizi.....	77
<b>5. HATA ANALİZİ CHAUVENET KRİTERİ .....</b>	<b>83</b>
<b>6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>93</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>95</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>102</b>



## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİL</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Biyoetanol Üretim Aşamaları .....	23
1.2. Manyetolu Ateşleme Sistemi .....	35
1.3. Akülü Ateşleme Sistemi.....	36
1.4. Elektronik Ateşleme Sistemi.....	37
1.5. Distribitör .....	38
1.6. Ateşleme Avansı .....	39
1.7. Ateşleme Bobini.....	40
1.8. Buji.....	41
1.9. Yüksek Gerilim Kablo .....	42
1.10. Yakıt Deposu.....	44
1.11. Yakıt Filtresi .....	45
1.12. Motorlu Araçların Kirletici Etkileri .....	46
1.13. Karbonmonoksit.....	47
1.14. Karbondioksitler.....	48
1.15. Yüksek Isılarla Oluşan NO <sub>x</sub> 'ler .....	49
2.1. Deney Düzeneği Şematik Görüntüsü .....	52
3.1. Motorun Döndürme Momenti Grafiği .....	64
3.2. Motorun Efektif Güç Grafiği .....	65
3.3. Motorun Özgül Yakıt Tüketim Grafiği .....	67
3.4. Motorun Efektif Verim Grafiği.....	68
3.5. Motorun Devrine Bağlı Olarak CO Emisyonunun Değişimi.....	69
3.6. Motorun Devrine Bağlı Olarak HC Emisyonunun Değişimi.....	70
3.7. Motorun Devrine Bağlı Olarak CO <sub>2</sub> Emisyonunun Değişimi .....	71
3.8. Motorun Devrine Bağlı Olarak NO <sub>x</sub> Emisyonunun Değişimi .....	73
3.9. Motorun Devrine Bağlı Olarak λ Değişimi.....	73
4.1. Termodinamik Analizlerde Kullanılan Akış Şeması .....	75
4.2. Motor Devrine Bağlı Olarak Enerji Verimleri .....	76
4.3. Motor Devrine Bağlı Olarak Ekserji Verimleri .....	78
4.4. Farklı Motor Yüklerine Bağlı Soğutma Suyu Atılan Isı .....	79

4.5. Farklı Motor Yüklerine Bağlı Radyasyon İle Atılan Isı.....	79
4.6. Farklı Motor Yüklerine Bağlı Egzoz Gazı İle Atılan Isı Enerjisi .....	80
4.7. Farklı Motor Yüklerine Bağlı Soğutma Suyu İle Aktarılan Ekserji .....	81
4.8. Farklı Motor Yüklerine Bağlı Radyasyon İle Aktarılan Ekserji .....	81
4.9. Farklı Motor Yüklerine Bağlı Egzoz Gazı İle Aktarılan Ekserji .....	82
4.10. Farklı Motor Yüklerine Bağlı Ekserji Yok Oluşu.....	82



## ÇİZELGELER DİZİNİ

### ÇİZELGE

	<u>Sayfa</u>
1.1. Biyokütle Kaynaklarının Biyoetanol Potansiyelleri .....	21
1.2. Türkiye'deki 2016 Yılı 1. Dönem Biyoetanol Üretim, Tüketim Ve İhracat İstatistikleri (Ocak – Şubat – Mart), Milyon Litre .....	24
1.3. Türkiye'de Biyoetanol Üretimi .....	25
1.4. Avrupa Birliği Ülkelerinin Yıllara Göre Biyoetanol Üretim Dağılımı .....	27
1.5. Biyoetanol Kullanım Zorunlulukları Ve Yaygın Kullanımlar .....	30
1.6. Biyoetanolün Fiziksel Özellikleri .....	31
1.7. Biyoetanolün Kimyasal Özellikleri .....	31
1.8. Biyoetanolün Termal Özellikleri .....	32
1.9. Benzin Ve Biyoetanol Özellikleri .....	33
1.10. Önlem Alınmayan Egzoz Gazı Kirletici Yüzdeleri .....	47
2.1. Deney Motorunun Teknik Özellikleri .....	51
2.2. Sun MGA 1500 S Egzoz Gazı Analizörü Teknik Özellikleri .....	57
2.3. Test Yakıtlarının Çeşitli Özellikleri .....	58
2.4. Test Yakıtlarının Özellikleri .....	58
4.1. Motor Efektif Güç Değerleri Hesaplamalarında Kullanılan Ölçüm Değerleri .....	74
5.1. Motorun Döndürme Momentine Chauvenet Kriteri Uygulaması .....	84
5.2. Motor Efektif Güce Chauvenet Kriteri Uygulaması .....	84
5.3. Motor Özgül Yakıt Tüketimine Chauvenet Kriteri Uygulaması .....	85
5.4. Motor Efektif Verimine Chauvenet Kriteri Uygulaması .....	85
5.5. CO Emisyonunun Değişime Chauvenet Kriteri Uygulaması .....	86
5.6. HC Emisyonunun Değişime Chauvenet Kriteri Uygulaması .....	86
5.7. CO <sub>2</sub> Emisyonunun Değişime Chauvenet Kriteri Uygulaması .....	87
5.8. NO <sub>x</sub> Emisyonunun Değişime Chauvenet Kriteri Uygulaması .....	87
5.9. Motor Devrine Bağlı Enerji Verimine Chauvenet Kriteri Uygulaması .....	88
5.10. Motor Devrine Bağlı Ekserji Verimine Chauvenet Kriteri Uygulaması .....	88
5.11. Soğutma Suyu İle Atılan Isı Enerjisinin Chauvenet Kriteri Uygulaması .....	89
5.12. Radyasyon İle Atılan Isı Enerjisinin Chauvenet Kriteri Uygulaması .....	89

5.13. Egzoz İle Atılan Isı Enerjisinin Chauvenet Kriteri Uygulaması .....	90
5.14. Soğutma Suyuyla Atılan Isı İle Aktarılan Ekserjisinin Chauvenet Kriteri Uygulaması .....	90
5.15. Radyasyonla Atılan Isı İle Aktarılan Ekserjisinin Chauvenet Kriteri Uygulaması .....	91
5.16. Egzoz Gazıyla Atılan Isı İle Aktarılan Ekserjisinin Chauvenet Kriteri Uygulaması .....	91
5.17. Ekserji Yok Oluşunun Chauvenet Kriteri Uygulaması .....	92



## RESİMLER DİZİNİ

### RESİM

	<u>Sayfa</u>
2.1. Deney Motoru .....	52
2.2. Dinamometre Ve Deney Seti .....	53
2.3. Kontrol Paneli .....	54
2.4. Dijital Terazı Ve Kronometre .....	55
2.5. Hava Akışmetresi .....	55
2.6. Sun MGA 1500 S Marka Egzoz Gaz Analizörü Ve Bilgisayar Düzenegi ...	56



## SİMGELER DİZİNİ

$A_d$	İtici piston yüzey alanı
$A_p$	Piston yüzey alanı
$C_p$	Sabit basınçtaki akışkanın ısı kapasitesi
$C_v$	Sabit basınçtaki akışkanın ısı kapasitesi
$k$	Termal iletkenlik
$L$	Biyel kolu uzunluğu
$L_d$	Yer değiştirme biyel kolu uzunluğu
$m_a$	Akışkan ağırlığı
$m_p$	Piston ağırlığı
$N$	Silindir sayısı
$P_1, P_2, P_3, P_4,$	P-V diyagramında akışkanın belirli noktalardaki çalışma basıncı
$Q_{in}$	Giren ısı transferi
$Q_{out}$	Çıkan ısı transferi
$Q_{Rin}$	Rejeneratöre giren ısı transferi
$Q_{Rout}$	Rejeneratörden çıkan ısı transferi
$R$	Gaz sabiti
$r$	Piston yarıçapı
$R_0$	Oynak plaka yarıçapı
$R_i$	Oynak plaka burcu yarıçapı
$T_1, T_2, T_3, T_4,$	T-S diyagramında akışkanın belirli noktalarındaki sıcaklığı
$T_H$	Maksimum sıcaklık
$T_L$	Minimum sıcaklık
$V_1, V_2, V_3, V_4,$	P-V diyagramında akışkanın belirli noktalarındaki hacmi
$V_c$	Silindir sıkıştırma hacmi
$V_e$	Silindir genişleme hacmi

$\rho$	Yoğunluk
$\mu$	Gaz viskozitesi



## KISALTMALAR DİZİNİ

AB	Avrupa Birliği
ABE	Aseton – Butanol - Etanol
CO	Karbonmonoksit
CO <sub>2</sub>	Karbondioksit
CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> OH	Etanol
C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	Benzin
ÇDK	Çevrimsel Değişim Katsayısı
E0	%0 Etanol - %100 Benzin
E5	%5 Etanol - %95 Benzin
E10	%10 Etanol - %90 Benzin
E20	%20 Etanol - %80 Benzin
E25	%25 Etanol - %75 Benzin
E30	%30 Etanol - %70 Benzin
E50	%50 Etanol - %50 Benzin
E60	%60 Etanol - %40 Benzin
E100	%100 Etanol - %0 Benzin
FFV	Esnek Yakıtlı Araçlar
FÖYT	Fren Özgöl Yakıt Tüketimi
H/Y	Hava – Yakıt Oranı
HC	Hidrokarbon
KMA	Krank Mili Açısı
MTBE	Metanol Tersiyer Bütil Eter
MPA	Mega Paskal
N <sub>2</sub>	Azot
NO <sub>x</sub>	Azot Oksit



NPA	The National Petroleum Agency
O <sub>2</sub>	Oksijen
ÖYT	Özgöl Yakıt Tüketimi
RPM	Motor Devir Sayısı
TAPDK	Tütün ve Alkol Piyasası Düzenleme Kurumu
TEZKİM	Tez kim Tarımsal Kimya



# 1. GİRİŞ

Günümüzdeki taşıtlarda çoğunlukla fosil esaslı yakıtlar ile çalışan içten yanmalı motorlar kullanılmaktadır. Çevresel sorunların artması ve fosil kökenli yakıt rezervlerinin azalması alternatif enerji kaynakları arayışlarını hızlandırmıştır. Alkol esaslı metanol ve etanol gibi yakıtlar içten yanmalı motorlar için son yıllarda alternatif enerji kaynakları olarak tercih edilmektedir.

Toplam enerji ihtiyacının dünyada artmasına rağmen, enerji kaynaklarının hızlı bir şekilde tükendiği görülmektedir. Mevcut petrol rezervleri ve şuan ki üretim oranları dikkate alındığı zaman ortalama 40-45 yıl kadar bir talebi karşılayabilecek petrol rezervi olduğu öngörülmektedir. Bu sebeplerden yola çıkarak az olan petrol rezervlerinin yerini alabilecek yenilenebilir ve sürekliliği olan alternatif yakıtlara ihtiyaç vardır [1]. Fosil yakıtların kıt olması ve araştırmalar sonucunda bulunan alternatif enerji kaynaklarından biriside biyoetanoldür. Etanol hammaddesi tarım ürünüdür ve kolaylıkla bulunabilir. Otto motorlarında benzine belli oranlarda karıştırılarak veya %100 etanol olarak da kullanılabilir. Biyoetanol, tarım ürünlerindeki bulunan nişasta kaynağının şeker hammaddesine dönüşümü ile birlikte uygulanan fermentasyon işlemi sonucu elde edilmektedir. Şeker pancarı, buğday, şeker kamışı, patates, sap-saman-kabuk, mısır gibi odunsu özellikteki atıl veya atıl durumdaki maddeler biyoetanol üretiminde kullanılabilir.

Kimyasal formülü (structural formula)  $CH_3CH_2OH$  olan etanol, genellikle  $C_2H_5OH$  ve  $C_2H_6O$  şeklinde kısaltılmış kimyasal yapıda da kullanılmaktadır. Etanolün oktan ve oksijen sayısı benzinden ( $C_8H_{18}$ ) yüksek olmasına rağmen karbon ve hidrojen oranı daha düşüktür [2].

Dünyadaki bütün ülkeler artan talebi karşılamak için alternatif enerji kaynakları arayışlarına yönelmişlerdir. Yenilenebilir enerjiler, sonsuz olan güneş ışığı, rüzgâr türbini, gel-git akıntısı v.b kaynaklardan karşılanabilmektedir. Yeni yenilenebilir enerji kaynaklarından bir diğer enerji kaynağı ise diğerlerine alternatif olabilecek biyokütle ve biyoyakıtlardır.

Biyokütlesel olan enerji kaynakları, enerjiye çevrildiklerinde mevcutta oldukları fiziksel durumlarına göre katı, sıvı ve gaz olarak üç ana bölüme ayrılmaktadır. Sıvı olan biyoküteller genellikle araç motorlarında yakıt ana maddesi olarak kullanıldıklarından dolayı “biyoyakıt” olarak adlandırılmaktadır. Biyoyakıtlar petrol, kömür gibi doğal veya nükleer yakıtlardan farklı türde olarak, yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Biyoyakıtı başka bir şekilde isimlendirecek olursak hacimsel olarak içerdiklerinin en az %80 oranındaki, son on sene içerisinde birikmiş canlı hücrelerden elde edilen her türlü yakıttır. Biyoyakıtlar, biyodizel, biyoetanol biyodimetiler, biyometanol ve hammaddesi bitkisel yağlardan oluşmaktadır.

Otto motorlarda alternatif yakıtları ve yakıt sistemleri ile yapılan çalışmalarda amaç, yakıtın oktan sayısını yükselttikten sonra motor performansını iyileştirerek yüksek oktanda oluşan zararlı egzoz emisyonunu normal yakıtta göre azaltmaktır. Benzin motorları için kullanılan alkol esaslı farklı yakıt türleri etanol ve metanoldür. Etanolün ısı kapasitesinin daha fazla ve buharlaşma ısısının daha az olmasından dolayı etanol metil alkole göre daha uygun değerlere sahiptir. Yapılan deneyler ve araştırmalar taşıtlarda kullanılan normal yakıtta belirli oranlarda karıştırılan etanolün motor tasarımında herhangi bir değişikliğe gerek duyulmadığını göstermiştir.

İçten yanmalı motorlarda silindir içerisindeki karışımın sıcaklığı ve basıncı sıkıştırma oranlarına bağlı olarak değişmektedir. Motordan daha fazla güç sağlamak amacıyla sıkıştırma oranı artırılır. Fakat bu durum silindirin içerisindeki sıcaklık ve basınç yükselmesi tetikleyeceği için vuruntu riskini de ortaya çıkarmaktadır. Buji ile ateşlemeli motorlarda yüksek oktan sayısına sahip etanolün yakıt olarak kullanılması daha az vuruntu problemi çıkarmaktadır. Oktan sayısı fazla olduğu için sıkıştırma oranını arttırmaya gerek duyulmamaktadır [3].

Termodinamik Birinci Yasası etkileşim sırasında enerji bir biçimden başka bir biçime dönüştürülebileceğini, fakat enerji toplamının sabit kalacağını belirtir. Fakat bu durumda enerjinin iş yapabilme yeteneği olan ekserji sürekli olarak azalır. Benzinli bir motorda yakıt olarak %100 etanol ve farklı etanol karışımlarının kullanımını durumunda enerji dağılımları; soğutma, egzoz ve radyasyonla kaybedilen enerji miktarı tespit edilmesiyle en uygun çalışma aralığı belirlenir ve bu sayede

motordaki tersinmezlikler kayıp enerji miktarını artırdığı için sistemin ekserjisinin azalmasına sebep olur [4].

Yakıt olarak motorda kullanılan biyoetaol, motorlu taşıtların ortaya çıkışı ve Ford markasının model T uygulamasına kadar dayanır. Başlangıçta Amerika Birleşik Devletleri olmak üzere tarım ürünleri üretiminin fazla olduğu ülkelerdeki biyoetanollü yakıt 1970 yılının başlarına kadar kullanılmış olup, yine bu zamanda ortaya çıkan ilk büyük petrol krizi başlangıçta Brezilya ve diğer devletlerin stratejik ve enerji arz politikalarını etkilemiştir. 1980 yılı başında gerçekleşen ikinci petrol krizi ile üretim teknolojilerinde gelişim ile biyoetanol üretimindeki verim artışı sağlanarak biyoetanol katkılı yakıt kullanımı yaygınlaştırılmıştır.

Son günlerde ekonomik ve çevresel bütün katkılarından dolayı Brezilya'da yılda 20 milyon ton biyoetanol üretimi yapılmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri'nde 40 milyon ton ve Avrupa Birliğine bağlı ülkelerde ise 4 milyon ton biyoetanol üretimi yapılmaktadır.

Biyoetanol sektöründeki en büyük rol oynayan devlet ABD'dir. Brezilya 1930'lu yılların başından beri taşıt yakıtını biyoetanollü olarak kullanmaktadır. Brezilya'da üretilmiş olan biyoetanolün yaklaşık olarak 1/3'ünü ABD'ye göndermektedir. Japonya ve AB ülkeleri aynı zamanda Brezilya'dan biyoetanol tedarik eden ülkeler arasında yer almaktadır.

Fosil yakıt kaynaklarının kıt olması sebebiyle Avrupa Konseyi tarafından Direktif 2009/28/EC ile biyoyakıt kullanımı zorunlu hale getirilmiştir. Belirtilen bu doğrultuda, 2020 yılına kadar, sevkiyatlarda kullanılan yakıtlara biyoyakıt karıştırma miktarının %10 oranına çıkarılması ön görüşmüştür. Bunun yanında 23 Nisan 2009 tarihinde yürürlüğe giren 2009/30/EC direktifi ile Avrupa Konseyi mevcut yakıt özelliklerini formunu değiştirerek biyoetanol kullanım miktarını hacimsel olarak %10 oranına çıkartmıştır [5].

Kanunun ön gördüğü AB ülkelerinde de biyoyakıt kullanım şartı vardır. AB ülkelerinde yakıtlarda kullanılacak biyoetanol ilavesi 2010 yılında %2'den %5,75

oranına çıkarılmıştır. 2020 yılında ise %10 oranı ve 2030 yılında %25 oranına çıkması beklenmektedir [6].

Ülkemizdeki biyoetanol yakıtların durumu 7 Temmuz 2012 tarihinde yayınlanan 28346 sayılı resmi gazetede “Benzin Türlerine Etanol Harmanlanması Hakkında Tebliğ” ile birlikte

1. Rafineri lisansına sahip olanlar tarafından karasal bölgedeki tankerlerin dolum tankları aracılığıyla elde edilen benzin türlerinin,
2. Dağıtıcı lisansına sahip kişiler tarafından bayi tedarikçilere teslim edilen benzin türlerinin

01.01.2013 tarihinden itibaren en az %2

01.01.2014 tarihinden itibaren en az %3

miktarlarında yerel tarımsal hammaddelerden elde edilmiş maddelerin etanol içermesi zorunludur.” şeklinde bir bildiri yayımlandıktan sonra yasa yürürlüğe girmiştir.

Bu düzenleme ile biyoetanol karışım oranında 2013 yılından bu yana ülkemizde tüketim miktarı artmıştır. Biyoetanollü yakıtın tüketiminin artması ile, tarım sektörü ürünleri daha iyi bir şekilde değerlendirilmiştir. Böylece gayri safi milli hasılda artış olmuştur.

Benzin-etanol karışımlarının egzoz emisyonlarına etkisi incelendiğinde HC emisyonunda %30, CO emisyonunda %50 ve yakıt tüketiminde %15'e kadar azaltabilmektedir.

Literatürde buji ateşlemeli motorlarda yakıt olarak E0-E100 arasında farklı oranlarda karışım kullanılarak, motor performans ve emisyonlarına yönelik birçok deneysel çalışmanın yapıldığı görülmüştür. Ancak enerji dağılımlarını ve tersinmezlikleri ifade eden termodinamik analizlerinin olduğu çalışmalar sınırlıdır. Bu çalışmada E0, E10, E20 ve E30 yakıt karışımları farklı motor devirlerinde test edilerek, en uygun

motor performans ve emisyon değerlerinin tespiti yapılmıştır. Elde edilen deneysel sonuçlara göre enerji ve ekserji analizleri yardımıyla tersinmezlikler bulunmuştur. Tersinmezliklerin kaynağının tespiti yapılarak etanol-benzin karışımların kullanılabilirlik sınırı tespit edilmiştir. Karışım oranlarının belirli aralıklarda seçilmesinin sebebi en iyi emisyon değerlerini sağlayarak çevresel bir güç üretim sistemini tasarlamaktır.

### **1.1. Literatür Taraması**

Literatür çalışmasında, biyoetanol ve farklı oranlardaki biyoetanol-benzin karışımı (karışım yakıtları) yakıtların buji ile ateşlemeli motorlarda kullanımı ile ilgili olarak değişik marka, model ve farklı güçteki yakıt motorları üstünde oldukça fazla deneysel çalışma ve çalışma sonucuna göre araştırmalar yapılmıştır.

**Bielaczyc P. ve ark. [7]**, 2012 yılında yayınladıkları çalışmada benzinli bir motorda etanol-benzin fizikokimyasal çeşitlerinin motor ve egzoz emisyonlarına etkisini incelemiştir. Deneplerinde E5, E10, E25 ve E50 benzin etanol karışımı kullanarak egzoz gazındaki gaz ve katı kirletici konsantrasyonunu bulmuşlardır. Emisyon değerlerinin tüm yakıt karışımlarında değiştiğini bulmuşlardır. Etanol oranı arttıkça doğrusal olarak emisyon değerleri azaldığını bulmuşlardır.

**Masum B.M. ve ark. [8]**, 2013 yılında yaptıkları çalışmada benzinli bir motorda farklı etanol – benzin karışım yakıtlarında NO<sub>x</sub> emisyonuna etkisini incelemiştir. Deneplerinde E0, E5, E10, E15, E20, E25, E30, E40, E50, E60 ve E85 yakıtlarını kullanmışlardır. Sonuç olarak artan enerji ihtiyacı ile birlikte biyoyakıtların fosil yakıtlara göre daha verimli ve çevre kirliliğini oluşturucu etkisinin az olduğunu vurgulamışlardır.

**Huang Y. ve ark. [9]**, 2016 yılında yapmış oldukları çalışmada buji ateşlemeli bir motorda enerji analizi yapmışlardır. karışım yakıtları olarak E10, E25 ve E46 yakıtlarını kullanmışlardır. Motor devri 4000 d/d olmak şartıyla çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Yapılan çalışma sonucunda etanollü benzin oranı arttıkça ateşleme zamanının düştüğünü ve aynı zamanda emisyon değerlerinde de iyileşme

olduğu görülmüştür. Enerji analizinde etanollü benzin oranı arttıkça verim ve güç artışı olduğunu gözlemlemişlerdir.

**Fournier S. ve ark. [10]**, 2016 yılında yapmış oldukları çalışmada buji ile ateşlemeli bir motorda butanol-etanol-benzin karışımı ile aseton-butanol-etanol ve benzin karışımlarını kullanarak deneysel çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında karışım yakıtlarının oranlarını Butanol için %10, %20, %40, Etanol için %10, %20, %40, butanol-etanol karışımı için %10,%20,%40, aseton-butanol-etanol karışımı için %10, %20, %40 olarak belirlemişlerdir. Çalışma sonuçlarına göre %40 karışımlarda en düşük özgül yakıt tüketimi benzinde çıkmıştır. En yüksek özgül yakıt tüketimi ise aseton-butanol-etanol karışımında çıkmıştır. Birinci karışımda CO emisyonu ortalama olarak en yüksek değeri %40 butanol (B40) karışımında çıkmıştır. İkinci karışımda CO emisyonu ortalama olarak en yüksek değeri aseton-butanol-etanol %40 karışımında (ABE40) çıkmıştır. NO<sub>x</sub> değeri ise birinci karışımda ortalama olarak en yüksek değeri normal benzinde çıkmıştır. İkinci karışımda ortalama olarak en yüksek değeri aseton-butanol-etanol %20 karışımında (ABE 20) çıkmıştır.

**Phuangwongtrakul S. ve ark. [11]**, 2016 yılında yapmış oldukları çalışmada dört silindirli buji ateşlemeli bir motorda etanol-benzin karışımının motor performansına etkisini incelemiştir. Kullandıkları karışım yakıtları E10, E20, E30, E40, E50, E60, E70, E85 ve E100 yakıtlarını kullanmışlardır. Farklı motor devirlerinde farklı yakıt karışımları ile deneyi gerçekleştirmişlerdir. %15, %30, %45 ve %60 gaz kelebeği açıklığında ve dakikada 2000, 2500, 3000, 3500, 4000, 4500 ve 5000 motor devrinde gerçekleştirmiş oldukları deney sonucunda motor torku en fazla 3500 d/d'da %60 gaz E100 yakıtında gözlemişlerdir. Fren özgül yakıt tüketiminin en fazla olduğu değer ise %15 gaz kelebeği açıklığında 4500 d/d'da E100 yakıtında gözlemişlerdir. Deney sonuçlarına göre volumetrik verim en fazla %60 gaz kelebeği açıklığında 3500 d/d'da E100 yakıtındadır. Fren termal verimi ise en yüksek değerini %60 gaz kelebeği açıklığında 3500 d/d'da E50 yakıtında gözlemişlerdir.

**Elfasakhany A. [12]**, 2015 yılında yapmış olduğu çalışmada ethanol – metanol benzin karışımlarının dört silindirli buji ile ateşlemeli bir motordaki motor performansını ve emisyon değerlerine etkisini incelemiştir. Karışım yakıtları olarak

saf benzin, %3, %7, %10 oranındaki etanol ve metanol karışımı (E3, E7, E10, M3, M7, M10) ile etanol-metanol karışımlarını %3, %7, %10 oranında (EM3, EM7, EM10) kullanmıştır. Deneyler 2600-3450 d/d aralığında yapılmıştır. İlk dokuz deneyde dakikadaki devir sayısı 100 birim arttırılmış olup, son deney başlangıcında dakikadaki devir sayısı 50 birim arttırılmıştır. Toplamda 10 farklı devir kullanılmıştır. Tüm devirlerde E10 yakıtı ile yapılan deneyler için tork değeri en yüksek değerdedir. CO ve CO<sub>2</sub> emisyonu değeri en yüksek %10 metanol yakıtında çıkmıştır.

**Zhuang Y. ve Hong G. [13]**, 2013 yılında yapmış oldukları çalışmada dört zamanlı buji ile ateşlemeli bir motorda 3500, 4000, 4500 ve 5000 d/d çalışma aralığında E0, E10, E20, E30, E40, E50, E60, E70 karışım yakıtlarını kullanarak deneylerini gerçekleştirmişlerdir. Deney sonucunda volumetrik verim ve özgül yakıt tüketimi değerlerini bulmuşlardır. Devirlerde orta ve hafif derecede yükleme yapmışlardır. Sonuç olarak volumetrik verim en yüksek değerini E50 yakıtında 5000 d/d'da orta derecede yüklemeye gözlemişlerdir. En düşük volumetrik değerini ise E40 yakıtında 3500 d/d'da hafif derecede yüklemeye gözlemişlerdir.

En fazla özgül yakıt tüketimini E60 yakıtında 4500 d/d'da hafif derece yüklemeye gözlemişlerdir. En az yakıt tüketimini ise E0 yakıtında 3500 d/d'da orta derece yüklemeye gözlemişlerdir.

**Najafi G. ve ark. [14]**, 2016 yılında yapmış oldukları çalışmada dört zamanlı buji ateşlemeli bir motor kullanarak dört farklı yakıt karışımı ile beş farklı motor devrinde deney gerçekleştirmişlerdir. Kullandıkları yakıtlar E0, E5, E10, E15 ve E20 yakıtları olup, motor devirleri 1000, 2000, 3000, 4000 ve 5000 d/d olacak şekildedir. Ayrıca kullanılan etanol patatesten üretilmiş olup hidroliz ve fermantasyon işlemini deney aşamasında gerçekleştirmişlerdir. Deney sonuçlarında efektif güç değerini en yüksek E0 yakıtında 5000 d/d'da gözlemişlerdir. En yüksek tork değerini ise 3000 d/d'da E0 yakıtında gözlemişlerdir.

**Batmaz İ. [1]**, 2007 yılında benzinle çalışan bir motorlarda yakıtı hidrojen ekleyerek motordaki performans ve egzoz emisyonlarının etkisini deneysel olarak analiz



etmiştir. Bu çalışmada, dört zamanlı buji ateşlemeli ve tek silindirli benzinli motorda herhangi bir farklı yapısal dizayn değişikliğine gerek duymadan fazladan yakıt olarak hidrojen gazı kullanılmıştır. Bu ilave gaz ile sonuç olarak motordan atılan egzoz emisyonları ve motorun hidrojen ilavesi sonucu performansına bakılmıştır. Belirlenen oranlarda hidrojen miktarı değiştirilmeden emme manifoldunda ki hava ve yakıtsal karışıma %4, %8 ve %12 oranlarında hidrojen ilave edilmiştir. Tam gaz keleşbeği açıklığında yapılan deneyler ile motorda ilave yakıt olarak hidrojen kullanılması karbonmonoksit (CO) ve hidrokarbon (HC) emisyonları ile özgül yakıt tüketimini azaltmış olup, bununla beraber motor momenti, volümetrik verim ve çıkış gücünü azaltmıştır. Tüm ölçümler, motorda sisteme akuple olarak bağlı çalışan dinamometreyle yüklenerek yapılmıştır. Havadaki fazlalık katsayısı, havanın ve yakıtın debisi ölçülmesi ile hesaplanmıştır. Tamamı benzin ile çalışan motorlu taşıtların deneylerinde, tüm devir sayılarındaki karışımlar ayarlama vidasının vasıtasıyla yanma odasına giren benzin oranı farklılaştırılarak havanın fazlalık katsayısı 1 yani  $\lambda=1$  değerinde olması gerçekteleşmiştir. Motora uygulanan dakikadaki devir sayısı, dakikada 200 devir aralıklar ile 1800 d/d ile 3200 d/d aralığına kadar 8 farklı değer alarak ve yakıtta hidrojen eklemesi kütleşel olarak gerçekteleşmiştir. Hidrojen karışım oranları % 4, % 8, % 12'dir. Bu proseslerde gaz keleşbeği açıklığı %100'dür. Motorun mevcut çalışma değerleri ile yakıtta hidrojen ilavesi yapılarak deneyler yapılmıştır. Hidrojen gazı eklenerek yapılan ölçüm değerlerinde, ilave edilecek olan hidrojen gazı miktarı ayarlanıp, yakıttaki benzin oranı azaltılmış olup benzin – hidrojen yakıtı için lamda değeri ( $\lambda=1$ ) sabit tutulmuştur.

Deneyler sonucunda özgül yakıt tüketimi motorda dakikada 1800 devirde 328,7 g/kWh olarak bulunmuştur. Bulunan değer dakikada 2000 devirde 307,3 g/kWh değerine düşmüş olup devir sayısı arttıkça özgül yakıt tüketimi yükseldiği görülmüştür. En iyi özgül yakıt tüketimi devir sayısının 2000 devir olduğu yani maksimum momentin gözleendiği devir olmuştur. Benzin içerisine hidrojen gazının ilavesi ile özgül yakıt tüketiminde düşüş gözlemlenmiştir.

Karbonmonoksit emisyonları, motorun sabit değerleri için devir sayısı yükseldikçe karbonmonoksit oranları düşmüştür. Karışım yakıtı içindeki hidrojen gazının oranı arttıkça motorun dakikadaki orta ve yüksek devirleri için karbonmonoksit

emisyolları azalmıştır. Motor benzinle çalıştırılırken dakikada 1800 devirde % 3,3 oranında iken % 4 hidrojen eklemesi yapıldığı zaman % 2,02 oranına dūřmūřtır. Karışımdaki hidrojen miktarı arttıka karbonmonoksit emisyon değerlerinde iyileşmenin artmış olduğu gözlemlenmişlerdir. Dakikadaki orta ve yüksek devir sayılarında da bu azalma eğilimi gözlemlenmiştir.

Hidrokarbon emisyonlarında ise sabit motor değerlerine göre motor devir sayısı arttıka hidrokarbon emisyonunun azaldığı gözlemlenmiştir. Karışım yakıtı içerisindeki hidrojen gazı miktarı fazlaştıka hidrokarbon emisyon değerleri azalmıştır. Benzinli uygulamada dakikada 1800 devirde hidrokarbon miktarı 246 ppm değerindeyken, karışım yakıtına % 12 oranındaki hidrojen ilavesi ile hidrokarbon miktarı 130 ppm değerine dūřmektedir. Dakikada 3200 devirde benzinli uygulamada hidrokarbon miktarı 96 ppm değerindeyken, karışım yakıtına % 12 oranında hidrojen eklendiğinde hidrokarbon miktarı 44 ppm değerine dūřmūřtır. Karışım yakıtına hidrojen eklemesi ile beraber hidrokarbon emisyonlarındaki azalma çok ani bir şekilde gerçekleşmiştir.

**Erenoral R., zgren Y. [15]**, 2014 yılında yapmış oldukları çalışmada benzinli motorda etanol - benzin karışımı, mtbe - benzin karışımı ve metanol - benzin karışım yakıtlarının motor performanslarını ve sonucunda atıl olan egzoz gazlarına etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Karışım yakıtında benzine %10 oranında karıştırılan alkol ile ilgili bir çalışma yapmışlardır. Deneylerde kullandıkları alkoller metanol, etanol ve metil tersiyer bütil eter (MTBE)'dir. Yapılan bu deneylerde farklı oranlardaki karışım yakıtları tek silindirli buji ile ateşlemeli motorda kullanılarak elektrikli bir dinamometre ve gazı ölçecek olan bir gaz dedektörü kullanılmıştır. Farklı motor devirlerinde yaptıkları ölçümlerde motor performansı, motorun efektif gücü, özgül yakıt sarfiyatı, O<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyon değerlerinin ölçümünü yapmışlardır. Gaz kelebeği %100 açık pozisyonda alkol-benzin karışımı ile yapılan deneyde motor tork değerlerinin normal benzin ile yapılan deneylere göre daha yüksek çıktığı gözlemlenmiştir.

Dakikada ortalama 2500 devir ve 3500 motor devrinde motor momenti en yüksek değerlerini benzin ve MTBE-Benzin karışım yakıtlarında almıştır.

Özgül yakıt tüketimi, benzinli deneyde elde edilen değerleri ortalama olarak MTBE10 karışım yakıtından %6,99 oranına, E10 (%10 etanol - %90 benzin) karışım yakıtından %20,64 oranına ve M10 karışım yakıtında ise %17,50 oranında çıkmıştır.

Karbonmonoksit emisyonları normal benzinin uygulandığı deneylerde elde edilmiş CO emisyonu değerlerinin ortalama MTBE10 karışım yakıtına göre %1,48 oranına, E10 karışım yakıtına göre %37,66 oranına ve M10 karışım yakıtına göre %69,81 oranına daha yüksek çıktığı görülmüştür. Benzinin kullanıldığı deneylerden elde edilen CO<sub>2</sub> emisyonu değerlerinin ortalama MTBE10 karışım yakıtına göre %19,87 oranına, E10 karışım yakıtına göre %33,54 oranına ve M10 karışım yakıtına göre %23,84 oranına daha yüksek çıktığı görülmüştür.

**Örs İ. ve ark. [16]**, 2009 yılında yapmış oldukları deneyde elektronik ateşlemeye sahip ve yakıt sisteminin enjeksiyonlu olduğu bir motorda, karışım yakıtlar olarak benzin ve etanol karışımlarını kullanmışlardır. Deney sonuçlarına göre karışım yakıtlarının motor performansına, HC, CO ve CO<sub>2</sub> emisyonlarına etkisini araştırmışlardır. Karışım yakıtlarını hacimsel olarak oranlanmış olup deneylerde uygulanan karışım yakıtları %10 %20 ve %30 oranlarında etanol içeren benzin-etanol karışımlarıdır. Sonuçlara göre motor performans değerinde E0 karışım yakıtına göre en yüksek artış, 2. vites konumunda, saatte 20 km sabit hızda E20 karışım yakıtı ile %9,56 oranında ölçülmüştür. Motor performansı E0 karışım yakıtına göre en yüksek düşüş, 3. vites konumunda olup, saatte 40 km sabit hızda E30 karışım yakıtı ile %9,8 oranında ölçülmüştür. Emisyon değerlerine bakıldığı zaman CO emisyonu, E0 karışım yakıtına göre en yüksek düşüşü, 3. vites konumunda, E20 karışım yakıtı ile yaklaşık olarak 12,7 kat fark olduğu gözlemlenmiştir. Hidrokarbon emisyonunda, E0 karışım yakıtına göre en yüksek düşüş ise, 2. vites konumunda, saatte 20 km sabit hızda, E10 karışım yakıtı ile 9,2 kat olacak şekilde ölçülmüştür.

Yapılan deneyler sonucunda motora oksijen eklemesinin motor momentini arttırdığını gözlemlenmiştir. Bundan dolayı, motor performans değerleri, hacimsel olarak %10 ve %20 etanol karışımlarında yüksek olduğu görülmüştür. Fakat, hacimsel olarak %30 etanol karışımının motor performans değerleri diğer karışım

yakıtlardan daha azdır. Bunun sebebi, karışım yakıtındaki etanol oranının artmasıyla birlikte karışım yakıtına ait ısı alt değerinin düşmesidir.

2. vites konumunda optimum motor performans değerlerinin çıktısını E10 karışım yakıtı olduğu ortaya çıkmıştır. 3. Vites konumunda ise optimum motor performans değerleri E10 karışım yakıtı ile elde edilmiştir. 2. vites konumunda otomobilde en fazla kullanılan hız aralığı saatte 20-60 km olduğu görülmüştür. Saatteki bu km aralığında elde edilen karbonmonoksit emisyon değerlerine bakıldığı zaman en uygun değerleri E10 karışım yakıtı verdiği görülmüştür. 3. Vites konumunda en uygun karbonmonoksit değerleri E30 karışım yakıtında elde edilmiştir. 2. vites konumunda en uygun hidrokarbon emisyon değerleri E10 karışım yakıtı ile bulunmuştur. 3. vites konumunda E30 karışım yakıtıyla elde edilmiş olan hidrokarbon emisyon miktarları ideal olmuştur. Karbondioksit emisyonlarında 2. vites konumunda E30 karışım yakıtı ile, 3. vites konumunda ise E10 karışım yakıtıyla elde edilen miktarların en uygun olduğu gözlemlenmiştir. Bulunan bu değerlere göre; motordaki en uygun performans değerleri E10 karışım yakıtıyla olduğu gözlemlenmiştir.

**Balki M. ve ark. [17]**, 2012 yılında farklı alkol ve yakıt etkisine göre benzinli motorda emisyon ve performans değerlerini incelemişlerdir. Deneysel olarak yapılan çalışmada tam gaz kelebek açıklığında ve değişken motor devirlerinde yapılmıştır. %10, %15, %20, %25, %30 oranlarında benzin-metanol karışımı ile performans ve emisyon değerlerini ölçmüşlerdir.

Deneysinde benzin, saf etanol ve metanol yakıtlarını kullanmışlardır. Testlerde tek silindirli, 196 cc sıkıştırma oranı ile hava soğutmalı motor kullanılmıştır. En iyi değeri metanol ile elde edilen motor torku 11.76 Nm olduğu çıkmıştır.

Metanol ile maksimum yanma verimi değeri dakikada 2800 devirde 99,51% olduğu ortaya çıkmıştır.

Asgari emisyon değerlerinin muayenesinde elde edilen verilerden, etanol ve metanol kullanımı %13.6 oranlarında HC emisyonu azalmış ve %27.12 sırasıyla benzinle

çalışma ile karşılaştırıldığında CO emisyonu %29,07 ve %31,34 oranlarında azalmıştır.

Sonuç olarak karışım yakıtlarında yüksek motor devirlerinde daha iyi performans göstermiştir.

**Bayraktar H. [18]**, 2006 yılında yaptığı çalışmada benzin – etanol karışımının buji ateşlemeli motor üzerinde teorik çalışma yapmıştır.

Hesaplamalar sıkıştırma oranı ve nominal hızı, sırasıyla, 9.2 ve dakikada 5800 devir olan silindir düzeneğinde bir yanma odası, sahip olan bir otomobil buji ateşlemeli motor için gerçekleştirilmiştir. Benzine %25 oranında etanol eklenerek karışım elde edilmiştir.

**Bayraktar H. [19]**, 2005 yılında yaptığı çalışmada benzin ve etanol karışımının buji ateşlemeli motorda hem teorik hem de deneysel çalışmasını yapmıştır.

Buji ateşlemeli motorda performans ve emisyon değerleri incelenmiştir. Motor dakikada 1500 devir değerinde çalıştırılmış olup, etanol oranları, 1,5, 3, 4,5, 6, 7,5, 9, 10,5, 12 % değerlerinde belirlenmiştir. Sayısal uygulamalar %21 lik etanol değerine kadar yapılmıştır.

Tam gaz kelebek açıklığında yapılan deneyde %7,5 etanol değerinde en uygun motor performans değeri ve CO emisyon değeri elde edilmiştir. Teorik olarak bu değer %16,5 değerinde bulunmuştur.

**Al-Hasan M. [20]**, 2001 yılında yapmış olduğu çalışmada etanol-kurşunsuz benzin karışımlarının dört zamanlı dört silindirli buji ateşlemeli motor performansı ve emisyon değerine etkisini teorik olarak incelemiştir.

Fren egzoz ısı verim, fren gücü, motor torku ve fren özgül yakıt tüketimi, emisyonları karbonmonoksit (CO), karbondioksit (CO<sub>2</sub>) ve yanmamış

hidrokarbonlar değerleri analiz edilmiştir. Dakikada 1000 – 4000 devir arasında motor devirlerinde değerler ölçölmektedir.

Etanol ile kurşunsuz benzin karıştırma fren gücü, tork, hacimsel ve ısıl fren değerlerini artarken verimlilik ve yakıt tüketimi, fren özgül yakıt tüketimi ve denkliğini azalmıştır.

CO<sub>2</sub> konsantrasyonu artarken, CO ve HC emisyonları konsantrasyonları azalır. Yakıt karışımı %20 etanol değerinde motor performansı ve emisyon değerlerinde en iyi sonuçları vermiştir.

Etanol ve kurşunsuz benzin karışımında tüm motor hızlarında, yaklaşık %46.5 ve CO ve HC emisyonu, ortalama değerlerin %24.3 egzoz emisyonlarında önemli bir azalmaya yol açmıştır. Öte yandan, CO<sub>2</sub> emisyonları yaklaşık% 7,5 oranında arttığı göröşmüştür.

Sonuç olarak % 20 etanol yakıt karışım motor performansı ve egzoz emisyonlarının en iyi sonuçları vermiştir.

**Tse H. ve ark. [21]**, 2014 yılında yaptıkları çalışmada dizel – etanol karışımında yanma özellikleri ve partiköl incelemesi üzerinde durmuşlardır. %10 ve %20 oranında etanol karışımı ile motor testi 1800 d/d’da yapılmıştır.

Bu testte karışım yakıtı düşük kükürtlü dizel yakıt ve etanol karışımı ile kullanılan bir yakıttır. Beş motor yüklemeinde değerler elde edilmiştir.

**Çalışır A. ve Gümüş M. [22]**, 2009 yılında yaptıkları çalışmada, benzin ile çalışan motorda benzin ile metanol karışım yakıtlarının motor performansına etkisini ve egzoz gazı üzerindeki etkisini deneysel olarak çalışmışlardır.

Saf benzine %5, %10 ve %15 metanol karıştırılarak yapılan deneyde farklı ateşleme avansı değerlerinde teste tabi tutulmuştur. Deneyler, benzine karıştırılan metanol oranının artmasıyla motor torkunun arttığını göstermiştir. Karışımdaki metanolün

artmasıyla özgül yakıt tüketimi de artmaktadır. En ideal karışım %15 oranında metanol ile %85 oranında benzin karışımıyla birlikte avans ayarı 20° KMA olacak şekilde bulmuşlardır.

Farklı avans değeri ve farklı karışım oranlarıyla yapılan deneylerde em uygun verime %5 metil alkol ve %95 oranında benzin karışımıyla, avans ayarı 22.5° değerinde ulaşılmıştır. Karışıma metanol ilavesiyle emme dolgusunun sıcaklığı düşmekte ve dolgu yoğunluğu artmakta olduğu görülmüştür.

NO<sub>x</sub> değerlerine bakıldığında karışımdaki metanol oranının artmasıyla birlikte yanma sıcaklığı artmıştır. Sıcaklığın artmasıyla NO<sub>x</sub> oluşumunun arttığı gözlenmiştir. En iyi NO<sub>x</sub> emisyon değeri saf benzinden oluşan yakıtta ve 20° KMA avans değerinde minimum seviyede gözlemlenmiştir.

**Yüksel F. ve Yüksel B. [23]**, etanol-benzin karışımının karbüratörlü benzinli bir motorda kullanımının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisini incelemişlerdir. Etanol ve benzinin faz ayrışmasını engellemek için yeni bir karbüratör dizayn etmişlerdir. Dizayn edilen bu karbüratörün motor devrinin artırılmasıyla birlikte yakıt içerisindeki alkol oranını da artırdığını belirtmişlerdir. Motor ilk çalıştırıldığında sadece benzinle çalıştırılmış, motor devri arttıkça yakıt içerisindeki etanol oranı artmaya başlamıştır. Yakıt içerisinde etanol oranı arttıkça etanolün ısı değeri (26,7 Mj/Kg) benzinin ısı değerine (42,5 Mj/kg) göre daha düşük olduğundan dolayı özgül yakıt tüketiminin (ÖYT) arttığını, motor torku ve gücünün azaldığını, termal verimde ise önemli bir değişiklik olmadığını ifade etmişlerdir. Araştırmacılar, etanol içerisinde oksijen bulunduğu için yakıt içerisindeki etanol oranı arttıkça yaklaşık olarak %80 CO ve %50 HC emisyonlarında azalma meydana geldiğini, tam yanma reaksiyonları arttığı için %20 CO<sub>2</sub> emisyonunda artış olduğunu belirtmişlerdir.

**Topgül T. ve Yücesu H.S. [24]**, kurşunsuz benzin ve hacimsel olarak %60 etanol içeren etanol-kurşunsuz benzin karışımı (E60) kullanarak 8:1, 9:1, 10:1 sıkıştırma oranı ve farklı ateşleme zamanlarında motor momenti değişimini deneysel olarak incelemişlerdir. Deneyler 2000 ve 3500 d/d sabit motor hızlarında ve tam yükte

gerçekleştirilmiştir. Kurşunsuz benzin ve E60 yakıtları kullanımında maksimum motor momentini veren ateşleme zamanları arasında önemli bir fark olmadığını gözlemlemişlerdir. Topgül ve Yücesu 8:1 ve 9:1 sıkıştırma oranlarında ve rötarlı ateşleme zamanlarında E60 yakıtıyla daha yüksek motor momenti elde edildiğini, 10:1 sıkıştırma oranında ise; maksimum motor momentini veren ateşleme zamanından daha yüksek ateşleme avanslarında ve E60 yakıtının kullanımında motor momentinde daha fazla artış olduğunu ifade etmişlerdir. 2000 d/d motor devrinde maksimum motor momentinin 22 derece krank acısında (KA) ateşleme yapıldığında gerçekleştiğini, ateşleme zamanının avansa alınmasıyla 24 derece KMA'den itibaren kurşunsuz benzinde vuruntu gözlemlendiğini, bununla birlikte E60 yakıtıyla yapılan deneylerde ateşleme zamanı 36 derece KMA'ya kadar artırılmasına rağmen vuruntu olmadığını belirtmişlerdir.

**Yücesu H.S. ve ark. [25]**, yapmış oldukları çalışmada karışım yakıtlarını %10, %20, %40 ve %60 oranlarında etanol-benzin karışımının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisini araştırmışlardır. Altı farklı sıkıştırma oranı (8:1, 9:1, 10:1, 11:1, 12:1, 13:1) kullanılarak deneyler yapılmıştır. Araştırmacılar, kurşunsuz benzin kullanıldığında sıkıştırma oranının 11:1'e kadar artırılmasıyla birlikte motor torkunda da artış olduğunu, 8:1 sıkıştırma oranı ile 11:1 sıkıştırma oranı karşılaştırıldığında, 11:1 sıkıştırma oranında yaklaşık olarak %8 tork artışı olduğunu ifade etmişlerdir. Kurşunsuz benzin kullanımında 11:1 sıkıştırma oranı üzerindeki sıkıştırma oranlarında önemli bir değişiklik olmadığını gözlemişlerdir. E40 ve E60 etanol-benzin karışımlarında ise maksimum tork artısını 13:1 sıkıştırma oranında %14 olarak bulmuşlardır. Kurşunsuz benzin kullanımıyla minimum ÖYT 11:1 sıkıştırma oranında gerçekleşmiştir. E40 yakıtında minimum ÖYT'ni ise 2000 d/d' da 13:1 sıkıştırma oranında %15 olarak gözlemlemişlerdir. Sıkıştırma oranının artmasıyla birlikte, egzoz gazı sıcaklığında düşüş olduğunu fakat 10:1 sıkıştırma oranından itibaren sıkıştırma oranı arttıkça düşük oktana sayılı kurşunsuz benzin kullanımıyla detanasyon gerçekleştiği için egzoz gazı sıcaklığının arttığını ifade etmişlerdir. CO emisyonunda maksimum düşüş 2000 d/d'da E40 ve E60 yakıtı kullanımıyla %11, HC emisyonunda maksimum düşüş 5000d/d'da E40 yakıtında %9,9 ve E60 yakıtında %16,45 olarak gözlemlenmiştir.



**El-Emam S.H. ve Desoky A.A. [26]**, benzin, alkol (metanol, etanol), hidrojen ve amonyak'ın buji ile ateşlemeli bir motorda kullanımının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisini teorik ve deneysel olarak incelemişlerdir. Motor yakıtı olarak alkollerin seçilmesinin sebebini yüksek oktan sayısına sahip olmasına ve motorda küçük değişiklikler yapılarak kullanılmasına, hidrojenin seçilmesinin sebebini tutumsa aralığının yüksek olmasına ve içerisinde karbon bulundurmamasına, amonyak kullanımının sebebini de içerisinde karbon bulundurmadığından dolayı HC ve CO emisyonlarını azaltmasına bağlamışlardır. Ayrıca amonyak'ın 7,5 atm basınçta ve 25 derece Celsius sıcaklıkta sıvı fazda depolanabileceğini belirtmişlerdir. Yapılan deneysel çalışmada dört silindri, dört zamanlı, su soğutmalı ve 6,5:1 sıkıştırma oranına sahip bir motor kullanmışlardır. Maksimum silindir basıncının, sıcaklığının ve motor termik veriminin yakıt-hava oranına ve yakıt türüne bağlı olduğunu, ortalama efektif basıncın küçükten büyüğe doğru amonyak, metanol, etanol, benzin ve hidrojen şeklinde sıralandığını, termal veriminse küçükten büyüğe amonyak, hidrojen, benzin, etanol ve metanol şeklinde sıralandığını ifade etmişlerdir. Araştırmacılar kinetik NO konsantrasyonunun 0,9 yakıt-hava oranında maksimum olduğunu, en yüksek kinetik NO konsantrasyonunun hidrojen yakıtında, en düşük kinetik NO konsantrasyonunun ise amonyakta gerçekleştiğini gözlemlemişlerdir. Kinetik CO konsantrasyonunun yakıt hava oranı arttığında artış gösterdiğini, en yüksek CO konsantrasyonunun benzinde, en düşük CO konsantrasyonunun metanol kullanımında gerçekleştiğini ifade etmişlerdir.

**Ceviz M.A. ve Yüksel F. [27]**, etanol-benzin karışımının, benzinli bir motorda dönüşümsel değişimlere ve egzoz emisyonlarına etkisini araştırmışlardır. Testlerde dört zamanlı, dört silindri, 1,801 dm<sup>3</sup> hacme sahip buji ile ateşlemeli bir motor kullanmışlardır. Araştırmacılar çevrimsel değişimleri belirleyebilmek için 50 çevrimi göz önüne almışlar, ortalama efektif basıncı bulabilmek için KISTLER 6117BFD17 tip piezzo-elektrik basınç transdüseri kullanmışlar ve motoru sabit hızda (2000 d/d) hidrolik dinamometre ile yüklemişlerdir. Bu şartlarda en iyi çevrimsel değişim katsayısını (ÇDK) ve egzoz emisyonlarını %10 etanol ve %90 kurşunsuz benzin karışımında elde etmişlerdir. ÇDK'yı 2000 d/d'da kurşunsuz benzin için 3,077 olarak bulurlarken aynı şartlarda E10 karışımı için 2,352 bulmuşlardır. Araştırmacılar minimum ÇDK değerini E10 yakıt karışımında elde etmişlerdir. E10 karışımı

kullanılması durumunda HC emisyonunda %20,2 ve CO emisyonunun da %30,1 azalma sağlamışlardır.

**Earl W.B. [28]**, etanol ve metanolün içten yanmalı motor yakıtı olarak kullanılabilmesi için bu yakıtın bazı önemli özelliklerini incelemiştir. Metanol ve etanolun hidrokarbon yapısının benzinin hidrokarbon yapısına benzemediğini fakat bu alkollerin kimyasal olarak birçok özelliğinin suyun özelliklerine benzediğini ve suyla faz oluşturmadan karışabildiğini ifade etmiştir. Metanolün hava-yakıt oranı 6:1, etanolun hava-yakıt oranı 9:1 ve benzinin hava-yakıt oranı 14,7:1 olduğundan dolayı benzinle çalışan bir motorun hiçbir değişiklik yapılmaksızın bu alkollerle çalışmayacağını belirtmiştir. Metanol ve etanolun, benzin ve dizel yakıtına göre ısı değerinin daha düşük olduğunu, bu alkollerin buharlaşma gizli ısılarının benzine göre daha yüksek olduğunu ve bu yüzden alkollerin hava-yakıt karışımı oluşturabilmesi için ısı transfer yüzeylerinin daha büyük olması gerektiğini tespit etmiştir. Earl metanolün 112, etanolun 110 ve benzinin 90-100 araştırma oktan sayısı sahip olduğunu fakat bu alkollerin benzinle karışım oluşturduğunda 132 araştırma oktan sayısına sahip bir yakıt gibi davrandığını gözlemlemiştir. Alkollerin düşük setan sayısına sahip olduklarını, dizel yakıtı olarak kullanılmaya uygun olmadıklarını belirtmiştir. Ayrıca metanol ve etanolun oda sıcaklığında, içerisinde su bulunmayan benzinle çözünebileceği ifade edilmiştir. Düşük sıcaklıklarda karışımında su bulunması halinde (oda sıcaklığının altında) alkollerle benzin arasında faz ayrışması olacağını, ancak etanolun içersine butanol gibi katkı maddesi katılarak faz ayrışmasının önlenebileceğini söylemektedir. Metanol ve etanolun motorda kullanıldığında yanma sonu sıcaklığını düşürdüğünden dolayı, NO<sub>x</sub> emisyonunu, içerisinde oksijen bulundurmasından dolayı CO ve HC emisyonlarını azalttığını ifade etmiştir.

**Rajan S. ve Saniee F.F. [29]**, yakıt içerisinde bulunan suyun, etanol ve benzinin faz ayrışmasına, motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisini incelemişlerdir. Ayrıca karışımında faz ayrışması olmaksızın etanolun içerisinde bulunabilecek maksimum su miktarını da belirlemişlerdir. Deneylerde dört silindri, dört zamanlı, 8,44:1 sıkıştırma oranına sahip buji ile ateşlemeli bir motor kullanmışlardır. Araştırmacılar, karışım içerisindeki etanol oranının, etanol içerisindeki su miktarının bir fonksiyonu olduğunu, etanol içerisindeki su miktarı azaldıkça benzin-etanol

karışımı içindeki etanol miktarının faz ayrımı olmaksızın artırılabilineceğini belirtmişlerdir. Ayrıca karışıma izo propanol gibi çözücü maddeler eklenerek karışımın su bulundurma toleransının artırılabilceğini de ifade etmişlerdir. Etanol içerisindeki su oranı %6 olduğunda motorun sorunsuzca çalıştığını fakat bu oranın üzerine çıkıldığında motorun çalışmasında sorunlarla karşılaşıldığını belirtmişlerdir. Araştırmacılar etanol içerisinde oksijen bulundurduğu için HC emisyonunun azaldığını, karışıma bir miktar su eklendiğinde HC emisyonunun bir miktar arttığını fakat yine de benzin kullanımına göre HC emisyonunun daha düşük olduğunu ifade etmişlerdir.

**Shenghua L. ve ark. [30]**, üç silindirli, buji ile ateşlemeli bir motorda metanol-benzin karışımı (%10, %15, %20, %25 ve %30 metanol) kullanarak, karışımın motor performansı, egzoz emisyonları ve soğuk çalışma özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Motorda tasarımsal olarak farklı bir tasarım yapılmaksızın yakıt karışımındaki metanol miktarı fazlaştırıldığında motorun çıkış milinden alınan gücü ve motor tork değerinde azalmanın olduğunu ama tam yüklemde ateşleme avansının yükseltilmesi ile motor çıkış milinden alınan güç değeri ve motor torkunda iyileşme olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca metanol kullanımıyla birlikte termal verimin tüm çalışma şartlarında iyileştiğini de belirtmişlerdir. Araştırmacılar aynı motor devrinde (3000 d/d) ve kelebek açıklığında M20 karışımı ortalama efektif basıncının (0,91 MPa) benzinin ortalama efektif basıncından (0,88 MPa) daha yüksek olduğunu gözlemlenmiştir. Metanol ve benzin karışımlarının hidrokarbon ve karbonmonoksit emisyonlarını belirli bir oranda düşürdüğünü fakat katalizör dönüşüm verimini hissedilir derecede etkilemediğini ifade etmişlerdir. Ayrıca karışım içerisindeki metanol oranı arttıkça formaldehit emisyonunun arttığını gözlemlenmiştir.

**Koç ve ark. [31]**, çalışmalarında, benzin ve benzin-etanol karışım yakıtlarının (E50 ve E85), farklı sıkıştırma oranlarındaki (10:1 ve 11:1) motor performans ve kirletici emisyonlarına etkisi araştırmışlardır. Deney için, tek silindirli, dört zamanlı, buji ile ateşlemeli deneysel bir motor kullanmışlardır. Motor devrini, gaz kelebeği açık konumda 1500 ile 5000 d/d aralığında değiştirmişlerdir.

Motor test sonuçlarına göre, kurşunsuz benzinde etanol miktarının artması motor torku, gücü, yakıt tüketimini arttırmış ve karbonmonoksit (CO), nitrojen oksit (NO), hidrokarbon (HC) emisyonlarında düşürdüğünü tespit etmişlerdir. Ayrıca uygun sıkıştırma oranı yükseltmelerinde, etanol-benzin karışımlarının vuruntusuz çalıştığını tespit etmişlerdir. Sıkıştırma oranı 10:1 iken E50'nin torku 3000 d/d'ya kadar E85'den yüksek iken 3000 d/d'dan sonra E85'den düşük sonuç verdiğini görmüşlerdir. HC emisyon oranlarının yüksek motor devirlerinde E0,E50 ve E85'in birbirine yaklaştığı görmüşlerdir.

**Bilgin ve ark. [32]**, farklı sıkıştırma oranlarına (19:1, 21:1 ve 23:1) sahip etanol dizel karışımıyla çalışan bir dizel motorunun performansını deneysel olarak karşılaştırmışlardır. Araştırmacılar yaptığı bu çalışmada en iyi performans ve verimi veren optimum sıkıştırma oranı ve etanol miktarını belirlemeyi amaçlamışlardır. Yapılan deneysel çalışmada maksimum termal verimi %4 etanol için 21:1 sıkıştırma oranında %31,25 olarak, 23:1 sıkıştırma oranında ise %31,5 olarak belirlemişlerdir. Araştırmacılar termal verimdeki maksimum artışı 21:1 sıkıştırma ve %4 etanol oranında, 1200 d/d için % 3,5 ve 1500 d/d içinse % 4,5 olarak bulmuşlardır. Aynı şekilde OYT'deki maksimum düşüşü de 21:1 sıkıştırma ve %4 etanol oranında, 1200 d/d için % 2,5 ve 1500 d/d içinse %3 olarak belirlemişlerdir.

Bu çalışma, benzinli bir motorda miktarı günden güne azalan benzine alternatif olabilecek yenilenebilir enerji kaynağı olan etanol ve etanol karışımları kullanımında çalışma parametrelerinin motor performansı, egzoz emisyonları ve tekerlek tahrik kuvvetlerini araştırmaya yöneliktir. Farklı motor devirlerinde (2000-4500 d/d aralığında) ve çeşitli oranlarda hazırlanan (kütlesel olarak %0, %10, %20, %30 etanol içeren) etanol-kurşunsuz benzin karışım yakıtı ve yalnızca kurşunsuz benzin kullanımında motor performansı, özgül yakıt tüketimi, efektif güç ve egzoz emisyonları (CO, HC, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, λ) etkileri deneysel olarak incelenmiştir.

Bu araştırma ile önümüzdeki yıllarda daha fazla ihtiyaç duyulacak olan alternatif yakıtlardan etanolün hangi karışım oranında optimum çalışma sağlayacağını araştırılması yapılmıştır.

Diğer çalışmalardan farklı olarak bu çalışmada içten yanmalı, benzinli, buji ateşlemeli, dört zamanlı bir motorda etanol karışımlı yakıt ve normal benzin ile yapılan deney sonuçlarına göre elde edilen verilere göre termodinamik yasaları kullanarak enerji ve ekserji analizleri yapılmıştır.

## **1.2. Biyoetanol**

şekerli ve nişastalı bitkilerin özlerinden biyoetanol üretimi sağlanmaktadır. şeker kamışı, şeker pancarı, buğday, tatlı sorgum, mısır, patates, arpa gibi bitkiler biyoetanolün hammaddesini oluşturmaktadır. Bu hammaddelerin ilerinde şeker bulunanlar doğrudan fermantasyona tabi tutulmakta olup, nişasta içerenler ise önce glikoza dönüştürülerek daha sonra fermantasyona tabi tutulmaktadır [33]. Biyoetanol berrak, renksiz ve karakteristik bir kokuya sahiptir. Biyoetanol kaynağı nişastadır. Tarım rnlerinde elde edilmektedir ve benzine göre yüksek oktana sahip bir biyoyakıttır. Biyoetanolün kaynama noktası 78,5 C olup, donma noktası -114,1 C'dir.

Biyoetanol içten yanmalı motorlarda herhangi bir ek tasarıma gerek duymadan %10 oranında karıştırılarak taşıt motorlarına uygulanabilir. En çok kullanılan şekilleri E10 (%10 etanol - %90 kurşunsuz benzin) ve E85 (%85 etanol - %15 kurşunsuz benzin) Biyoetanol, nişastanın şekere dönüşümü ile birlikte fermantasyon işlemi sonucu oluşmaktadır.

### **1.2.1. Biyoetanolün retim Aşamaları**

Biyoetanol retimi; eğer hammadde yapısında direkt olarak nişasta varsa nişasta öncelikle şekere dönüştürülmesi gerekmektedir. Daha sonraki aşama ise şekerin direkt olarak fermantasyon işleminden geçirilmesi ile birlikte hammaddenin biyoetanole formuna geçişi sağlanır. Biyoetanolün hammaddesinin organik olması ve tabiatta eksiksiz olarak hızla çözünebilir olmasından dolayı yer altı, yer üstü su kaynaklarını ve çevreyi kirletmez [34].

Fermentasyon yöntemiyle oluşturulan etanol ile suda çözülmüş formda etanol yakıtı bulunur. Etanolü yakıt olarak kullanabilmek için suyun etanolden ayrıştırılması gerekmektedir. Basit bir şekilde damıtmak eski yöntemlerden biridir. Fakat bu yöntemde, su ve etanol karışımı azeotrop (sıvı ile buhar hallerindeki bileşimi aynı olan çözelti) olduğu için %95 ve %96 oranında saf olmasının ilerisine gitmek imkânsızdır. Karışımın damıtılması devam ettirilerek, %96 oranından daha saf etanol elde etmek mümkün değildir.

**Çizelge 1.1.** Biyokütle kaynaklarının biyoetanol potansiyelleri [33]

<b>Hammadde</b>	<b>Biyoetanol Kapasitesi(lt/ton)</b>
Şeker Kamışı	70
Patates	110
Şeker Pancarı	110
Arpa	250
Mısır	360
Buğday	340
Tatlı Sorgum	60
Pirinç	430
Diğer Selülozik Biyokütle	280

Biyoetanol üretimi 3 aşamadan oluşur. Tarım ürünlerinden karşılanan nişasta önce şeker hammadmesine dönüştürülüp, sonrasında şeker direkt fermentasyon sürecinden geçirilmesi ile biyoetanol oluşturulur.

### **1.2.2. Hazırlanış**

Hazırlama işleminde biyoetanol üretiminde kullanılacak olan nişasta kaynağı (mısır, buğday, patates vb.) değirmende öğütülerek enzim aracılığıyla elementer yapısına parçalanır. Böylece hammadde içerisinde ortaya çıkan nişasta ile daha verimli biyoetanol üretimi gerçekleştirilir. Oluşan bu nişasta başka bir enzim aracılığıyla şeker formuna dönüştürülür. Bu aşamada ayrıştırılmış nişasta, su ve enzim ile

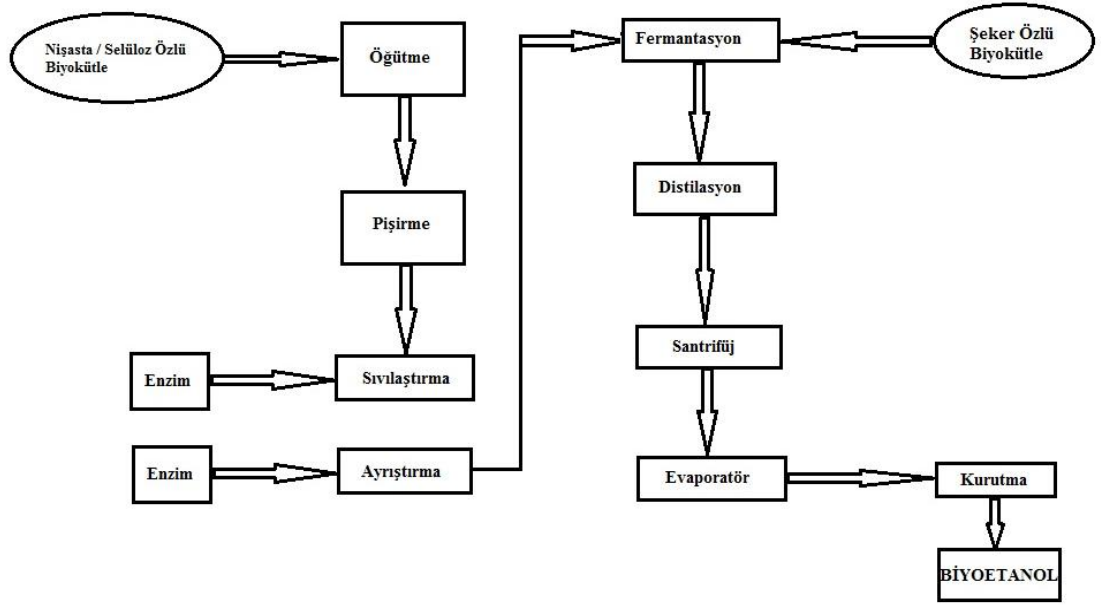
oluşturulan karışım durumundaki sıvı madde, içine bir miktar maya eklenerek oluşturulan karışım diğer aşama olan fermantasyon birimine geçirilir.

### **1.2.3. Fermantasyon**

Fermantasyon işleminde ilave edilen maya karışımda olan şeker elementlerini biyoetanol elementlerine dönüştürür. Bu aşama yaklaşık olarak 60 – 80 saat arasında gerçekleşir. Bu sürede yüksek verim ile maya oluşturması için gereken şartlar kontrol edilir. Fermantasyon işleminin bitiminde karışımdan %10 %12 oranı arasında biyoetanol elde edilmesi ön görölür. Ek olarak fermantasyon boyunca ortaya çıkan karbondioksit de ayrılmış olur.

### **1.2.4. Distilasyon**

Distilasyon bir diğer tanımı damıtmadır. Fermantasyon sonucunda elde edilen karışım distile işlemi gerçekleştirilerek mevcutta bulundurduğu biyoetanol karışımdan ayrılır. Karışımdaki ayırma aşaması damıtma kulelerindeki sıvı ısıtılmasıyla gerçekleşir. Biyoetanol, damıtma sonucu %95 ve %96 oranındaki fermantasyondan geçen karışımdan ayrılmış olur. Elek teknolojisi ile ayrılan biyoetanol içerisindeki su elementleri süzölüp biyoetanol saflığı %99,80 ve %99,95 oranına kadar arttırılır.



**Şekil 1.1.** Biyoetanol üretim aşamaları [35]

Etanol üretirken yapacağımız ilk adım, kullanacağımız hammaddeyi işlemden geçirerek hammaddeyi nişasta haline getirmektir. Nişasta olan hammadde sıvılaştırmak ve sakarifikasyon (hidroliz yöntemi ile nişastayı glikoza dönüştürmek) işlemlerine tabi tutulur. Eğer hammadde direkt olarak glikoz halindeyse rafine, sıvılaştırma ve sakarifikasyon işlemlerini yapmaya gerek yoktur. Glikoz haline gelen ürüne sonradan uygulanan işlemler ise sırasıyla, fermantasyon, distilasyon, dehidrasyon ve isteğe bağlı olarak uygulanan denaturasyon işlemleridir. Fermantasyon işlemi sırasında karbondioksit gazı açığa çıkmaktadır [36].

Etanolü benzin ile harmanlayabilmek adına, etanolün minimum %95 oranı ile %99.9 oranları arasında saflığına gerek duyulmaktadır. En sık kullanılan saflaştırma yöntemlerinden birisi, elementer elek ile fiziksel absorblama işlemidir.

### 1.3. Türkiye’de Etanol Kullanımı ve Üretim Kapasitesi

Ülkemizde henüz başlarında olan ve hala üstünde çalışmaların gerçekleştirildiği biyoetanol üretimi, benzin ile belirlenen miktarlarda harmanlanarak karışım yakıtı olarak motorlarda uygulanabilmektedir. Türkiye’de tüketilen enerjinin büyük bir



kısmı dışarıdan ithal edilmektedir. Dışarıdan ithal edilen bu kaynakların büyük çoğunluğu, fosil kaynaklıdır. Bu yüzden tüm dünya temiz enerji kaynakları üzerindeki araştırmalarda artış olmuştur. Bu yenilenebilir, temiz enerji kaynaklarından biride biyoetanoldür. Üretim ve kullanım bakımından da epey uygundur. Fakat biyoetanol üretimi Türkiye'deki durumlar, maddi ve yasal destek sorunları sebebiyle gelişmemektedir.

Tütün ve Alkol Piyasası Düzenleme Kurumu'ndan (TAPDK) alınan verilere göre; Türkiye biyoetanolünün üretim, tüketim ve ihracat miktarları Çizelge 1.2'de verilmiştir. Zorunlu harmanlama oranıyla birlikte, 2012 ve 2013 yılları tüketim miktarında doğal olarak çok büyük bir artış olmuştur. 2014 yılı biyoetanol tüketiminin ise yaklaşık olarak 80 milyon litre civarında olacağı tahmin edilmektedir.

**Çizelge 1.2.** Türkiye'deki 2016 yılı 1. dönem biyoetanol üretim, tüketim ve ihracat istatistikleri (Ocak – Şubat – Mart), milyon litre [37]

	<b>Ürün Adı</b>	<b>Miktar (litre mA)</b>
<b>Toplam Üretim</b>	Denatüre Edilmemiş Etil Alkol (Dökme)	21.660.056
<b>Toplam Satış</b>	Yakıt Biyoetanölü (Dökme)	17.696.791
	Sanayi Tipi Etil Alkol (Dökme)	932.066
	Sanayi Tipi Etil Alkol (Ambalajlı)	34.874
<b>Toplam İhracat</b>	Yakıt Biyoetanölü (Dökme)	-

Türkiye'de, biyoetanol sektöründe mevcuttaki araçlarda yakıt olarak kullanılabilen özellikte su bulunmayan biyoetanölü üreten üç farklı üretim alanı bulunmaktadır. Bu tesisler, Tarımsal Kimya Teknolojileri (TARKİM) Sanayi ve Ticaret A.Ş., Tez Kim Tarımsal Kimya İnşaat Sanayi ve Ticaret A.Ş. (TEZKİM) ve Konya Şeker Sanayi ve Ticaret A.Ş.'dir. Firmaların mevcutta hem üretici izinleri hem de dağıtım yetki belgeleri bulunmaktadır. Üretim kapasiteleri toplamı ise yaklaşık olarak 152 milyon

litre/yıl'dır [38]. Çizelge 1.3.'te firmaların hangi şehirde, hangi hammaddeden biyoetanol ürettiklerini gösteren üretim kapasiteleri yıllık olarak belirtilmiştir.

**Çizelge 1.3.** Türkiye'de biyoetanol üretimi

<b>Firma Adı</b>	<b>Üretim/yıl x 1000 L</b>	<b>Şehir</b>	<b>Hammadde</b>
Konya Şeker-Çumra Fabrikası	84000	Konya	Şekerpancarı
Tarımsal Kimya Teknolojileri (TARKİM)	40000	Bursa	Buğday-Mısır
Tezkim Tarımsal Kimya (TEZKİM)	26000	Adana	Buğday-Mısır

#### **1.4.Dünyada Etanol Kullanımı ve Üretim Kapasitesi**

Dünyada kullanılan biyoyakıtlar içerisinde en çok kullanılan yakıtlardan birisi biyoetanoldür. Biyoetanolün oluşturulmasının %95 oranından fazla tarım ürünlerinin prosten geçirilmesiyle oluşturulmaktadır. Dünyadaki biyoetanolün üretimi ve kullanım alanları Türkiye'deki üretim ve kullanım oranına göre çok fazladır. Fosil yakıtların kaynaklarının kıt olması ve azalması sonucunda dünyada yenilenebilir enerjiler konusunda ciddi araştırmalar ve denemeler gerçekleştirilmiştir. Dünyada birçok ülkede, taşıt motorlarının yakıtlarında biyoetanol kullanımı zorunlu hale getirilmiştir. Bu oran ise her ülkenin kendi etanol üretim büyüklüklerine göre belirlenmiştir.

Avrupa Birliği ülkelerinde toplamda 2008 yılındaki biyoetanol üretim miktarı 4,6 milyar litredir. Bu oran 9 Mayıs 2009 tarihiyle birlikte 6,08 milyar litre olmuştur[39]. Şeker pancarı biyoetanol üretiminde sıklıkla kullanılan hammaddelerden birisidir. Bununla birlikte İspanya'da artan enerji talebi dolayısıyla, son yıllarda yapılan girişimler sonucunda İspanya büyük bir üretim tesisine sahip olmuştur.

Dünyadaki en büyük etanol üreticisi ve tüketicisi olan Brezilya, 1980 yılından beri, şeker kamışı ile geniş kapsamlı etanol üretim tesisi faaliyettedir. Brezilya'da

ortalama olarak yılda 4 milyar galon etanol üretilmektedir. Brezilya aynı zamanda atıl olarak kalan ürünleri de değerlendirebilmektedir. Brezilya'da bulunan etanol üretim endüstrileri, şeker kamışından atıl olan şekerli sap kısımlardaki atıl maddeleri yakıp %34 oranında kullanılabilir enerjiyi elde ederler. Brezilya'da üretilen ve tüketilen etanolün yaygınlaştırılması hükümet teşvikiyle sağlanmaktadır. Brezilya'da kullanılan yakıtta kanunen en az %25'i alkol içermesi gerekmektedir. Brezilya galonu ortalama 1 dolardan etanol üretmektedir. Brezilya'daki kullanılan bütün yeni araçlarda ya alternatif yakıt ya da benzine eşdeğer saf haldeki etanolü yakacak özellikteki dizayn edilmiş motor vardır. Brezilya'da yoğun bir şekilde kullanılan etanol yakıtı ve elektrik üretiminde kullanılan etanol yan ürünleri, ülkenin petrole olan bağımlılığının az olmasını ve fosil yakıt kullanılmayarak bu sayede hava kirliliğini de azaltmada önemli katkıda bulunur [36].

İsveç biyoetanolü en çok kullanan Avrupa Birliği üye ülkelerinden birisidir. Genellikle E85 (%85 etanol - %15 yakıt) yakıtı kullanılmaktadır. Hükümet desteği ile İsveç, vatandaşlarının ilgisini biyoetanol çekmiştir. Bu ilgi sayesinde SAAB marka İsveç otomobil üreticisi de E85 (%85 etanol - %15 yakıt) ile çalışan özel araba üretimine başlamıştır [40].

Etanolün, ABD'de bulunabilirliği azdır. Etanol üretim tesisinin, ilk yatırım maliyetinin oldukça fazla olması sebebiyle, etanol üretiminin ilk başta maliyet açısından zararlı, etanol üreticileri için bir problem olarak görülmektedir. Benzin litre fiyatındaki artış ilerlediği sürece, etanolün benzine oranla karlı olmasında bir artış olacaktır. Toplamda 165.000 benzin istasyonundan sadece 685 istasyonda E85 (%85 etanol - %15 yakıt) pompası kullanılmaktadır. Etanol, şu anda yaygın olarak sadece etanolün işlendiği orta batı ülkelerinde ve Kaliforniya'da bulunmaktadır. Mayıs 2006 tarihinden itibaren, Birleşik Devletlerde yıllık ortalama olarak 1.8 milyon m<sup>3</sup> etanol üretim kapasitesi bulunmaktadır. Bunun üzerine yıllık gelişen teknoloji ve destekler vasıtasıyla, yaklaşık 760.000 m<sup>3</sup> kapasite eklenmeye devam edilmektedir. Ek olarak bir Amerikan şirketi Pacific Ethanolise etanol üretimi yatırımlarını hammadde kaynakları dolayısı ile daha fazla Batı Amerika'da sürdürmektedir [36].

Çizelge 1.4'te Avrupa Birliği ülkelerine ait yıllara göre biyoetanol üretimi gösterilmiştir. 2013-2014 yılları süresince biyoetanolün üretimini yapan devletler Almanya, ABD, Fransa, Brezilya, Arjantin, Hindistan, Çin, Kanada, Tayland, İngiltere olmuştur. 2013-2014 yılında en fazla biyoetanol üretimi yapan devlet Amerika'dır. 2013-2014 yılları arasında Çin ve Hindistan'da etanol üretim miktarı düşmüştür. Avrupa Birliği üye devletlerinin 2013 yılında ürettikleri toplam biyoetanol miktarı 88.458 milyon litre olup, 2014 yılında 94.639 milyon litredir.

**Çizelge 1.4.** Avrupa Birliği ülkelerinin yıllara göre biyoetanol üretim dağılımı [40]

Bölge	2013	2014	Ürün
<b>Milyon Litre</b>			
<b>ABD</b>	50.341	54.126	Mısır
<b>Brezilya</b>	23.721	26.328	Şeker kamışı
<b>Çin</b>	2.634	2.403	Mısır
<b>Kanada</b>	1.800	1.800	Mısır/Buğday
<b>Fransa</b>	904	1.180	Şeker pancarı/Buğday
<b>Tayland</b>	950	1.058	Şeker kamışı
<b>Almanya</b>	723	920	Şeker pancarı/Buğday
<b>İngiltere</b>	524	760	Şeker pancarı/Buğday
<b>Arjantin</b>	475	670	Şeker kamışı/Mısır
<b>Hindistan</b>	2.063	587	Şeker kamışı/Melas
<b>Toplam</b>	88.458	94.639	

Esnek yakıtlı araçlarda (FFV) E85 kullanımının haricinde, konsantrasyonlarında %10'dan daha yüksek etanol karışımları kullanan tek ülke Brezilya'dır. Brezilya'daki araçların yaklaşık olarak %20'si %100 etanol ile çalışmaktadır. Kalan araçlar ise eski tip motor tasarımı ve benzeri diğer sebepler dolayısı ile %22 etanol karışımında (%20-24 karışım aralığı) çalışmak üzere optimize edilmiştir [41].

Brezilya'nın ürettiği biyoetanol miktarı yaklaşık olarak yıllık 20 milyar litredir. Brezilya'nın Amerika ile yaptığı anlaşma doğrultusunda, Brezilya'da üretilmiş olan

biyoetanolün %66'sı Amerika'ya satılmaktadır. Brezilya'da kullanılan başlıca biyoetanol hammaddesi, iklim şartlarından dolayı sıcak ve ekvatorial koşullarda yetişen şeker kamışıdır [42].

Brezilya'da kullanılan sulu ve susuz özellikteki biyoetanol "The National Petroleum Agency" (NPA) tarafından belirlenmektedir. Taşıtlarda biyoetanol kullanım oranları, son zamanlarda genellikle %85 oranındadır. Biyoetanol üretimi 2008 yılında yaklaşık 27 milyar litredir.

ABD'de, 2014-2015 yılına kadar biyoetanol üretiminde birinci konumda olan Brezilya'yı geçerek, yıllık yaklaşık 39 milyar litreyle ilk sıraya yerleşmiştir. Amerika'da mevcutta 109 adet biyoetanol üretim tesisi vardır. 70 adet üretim tesisi hala inşaat durumundadır. ABD'deki hükümet tarafından zorunlu olan biyoetanol kullanımını %10 oranındadır. Amerika'da bazı yerleşim yerlerinde tarım faaliyetlerin fazla olması sebebiyle tarımda kullanılan yakıtlar için çıkarılan yasa 2008 yılı itibariyle yakıtta etanol ilavesi %20 oranındadır. Amerika'da üretimi en çok yapılan tarım ürünü mısırdır. Bu yüzden mısır etanol üretiminde en yaygın olarak kullanılan hammaddedir [43].

Hindistan'da, biyoetanol programı 2006 yılı Ekim ayında çıkarılan yasa ile etanolün yakıtta kullanım oranı %5'tir. Hindistan'ın yıllık üretim miktarı, yaklaşık 250 milyon litredir [44].

Çin'de toplam yakıt kullanımının %20'sini biyoetanol oluşturmaktadır. Çin'de son yıllardaki verilere göre biyoetanol üretimi yaklaşık 3,85 milyon tondur. Tayland'da enerji ihtiyacının artması ve fosil yakıtların kıt olması sebebiyle biyoetanol talebi giderek artmaktadır. Tayland'da yıllık 750 milyon litrelik ihtiyaç mevcuttur. Diğer taraftan Japonya, alternatif yakıt arayışları dolayısıyla özellikle sektörde lider ülkelerden biri olan Brezilya'daki biyoetanol üretim tesislerinin bazılarını satın almıştır. Biyoetanolü dışarıdan tedarik eden Japonya'da, yıllık olarak ortalama %10 oranında yakıt tüketimine karşılık gelen 6 milyon tonluk yakıtın biyoetanolden karşılanması öngörülmektedir. Japon Petrol Birliği, çevreci ve fosil olmayan bir yakıt

olan biyoetanölü yasal olarak yakıtta etanol karışımının yapılmasını onaylamıştır [45].

Etanol ülkelerde yakıt olarak üç şekilde kullanılır:

- 1) Devlet yasaları tarafından belirlenmiş oranlarda (hacimsel olarak % 5, %10 veya %25 gibi değişen oranlarda etanol) etanolün benzine karıştırılması ile elde edilerek kullanılması şeklinde,
- 2) Esnek yakıtlı araçlarda (FFV) E85 yakıtının kullanılması şeklinde,
- 3) E100 etanol yakıtlı araçlarda (FFV) (yanmayı iyileştirici ve diğer katkı maddeleri ilave edilmek suretiyle) kullanılması şeklindedir. Fakat E100 kullanılabilmesi için motorda tasarımsal değişime gidilmesi gerektiği söz konusudur.

**Çizelge 1.5.** Biyoetanol kullanım zorunlulukları ve yaygın kullanımlar

<b>Ülke</b>	<b>Kullanım Zorunluluk</b>	<b>ABD</b>	<b>E10-E85</b>	<b>AB Ülkeleri</b>
<b>Arjantin</b>	E5	<b>Florida</b>	E 15	<b>Avustralya</b> E10
<b>Avustralya</b>	E10	<b>Havai</b>	E 15	<b>Danimarka</b> E5
<b>Brezilya</b>	E20-E25	<b>Iova</b>	E 15	<b>Finlandiya</b> E5-E10
<b>Brezilya</b>	E85	<b>Kansas</b>	E 15	<b>Fransa</b> E5-E10
<b>Kanada</b>	E5	<b>Luisiana</b>	E 15	<b>Almanya</b> E5-E10
<b>Çin</b>	E10 (9 Bölge)	<b>Minnesota</b>	E 15	<b>İrlanda</b> E4
<b>Kolombiya</b>	E10	<b>Missuri</b>	E 15	<b>Romanya</b> E4
<b>Kostarika</b>	E7	<b>Montana</b>	E 15	<b>İsveç</b> E5
<b>Hindistan</b>	E5	<b>Oregon</b>	E 15	<b>İsveç</b> E85-E95
<b>Jameyka</b>	E10	<b>Wasington</b>	E 15	
<b>Yeni Zelanda</b>	E10			
<b>Pakistan</b>	E10			
<b>Paraguay</b>	E18-E24			
<b>Peru</b>	E8			
<b>Filipinler</b>	E10			

### 1.5. Biyoetanolün Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Yakıt türlerinden birisi biyoetanol ( $C_2H_5OH$ ) renksiz ve temiz bir sıvıdır. Toksik oranı az olmakla birlikte döküldüğü zaman çevresel kirlenmeye fosil yakıtlara göre daha az neden olmaktadır. Biyoetanol yüksek oktanlı bir yakıttır. Etanol yakıt içerisine kurşun yerine oktan artırıcı madde olarak katılmaktadır. Bu sayede kurşun sağınımı normal yakıtı göre daha az olmaktadır. Etanol ilavesi ile oktan sayısı arttığından dolayı yakıt ile etanolün karıştırılması sonunda yakıt verimi ve bu sayede motor performansı da artacaktır [46].

Özgül yakıt tüketimi, ısıl değeri 42,5 Mj/kg olan benzin ile ısıl değeri 26,7 Mj/kg olan etanolün karışım oranı arttıkça ısıl değerinin az olması sebebiyle artmaktadır. Isıl değerden dolayı motor torku ve motor gücü azalırken, motorun termal veriminde ise önemli bir değişiklik olmamaktadır [46]. Günümüzde üretilen bütün araçlar %10'luk etanol karışımı benzinle (E10) çalışabilmektedir. Motorda herhangi bir tasarımsal değişikliğe gidilmesi söz konusu değildir.

**Çizelge 1.6.** Biyoetanolün fiziksel özellikleri [47]

<b>Buhar Basıncı (38 °C)</b>	50 mm Hg
<b>Özgül Ağırlık (20)</b>	0,79 kg/dm <sup>3</sup>
<b>Dielektrik Katsayısı</b>	24,3
<b>Kaynama Noktası</b>	78,5 °C
<b>Suda Çözünme</b>	Sonsuz

**Çizelge 1.7.** Biyoetanolün kimyasal özellikleri [47]

<b>Formül</b>	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH
<b>Moleküler Ağırlık</b>	46,1
<b>Hidrojen</b>	%13,1
<b>Karbon</b>	%52,1
<b>Oksijen</b>	%34,8
<b>Stokiyometrik Hava/Etanol (kütlesel)</b>	9,0
<b>C/H oranı</b>	4



**Çizelge 1.8.** Biyoetanolün termal özellikleri [47]

<b>Kendi kendine tutuşma sıcaklığı(°C)</b>	425
<b>Alt ısı değeri (kJ/kg)</b>	26.784
<b>Donma noktası (°C)</b>	-115
<b>Özgül ısı (kJ/kg °C)</b>	2,5

### **1.6. Etanolün Yakıt Olarak Kullanılması**

Otomobillerde ve diğer taşıtlarda etanol hem tek başına hem de yakıt ile belirli oranlarda karıştırılarak da kullanılabilir.

Petrol rezervlerinin azalması ve artan enerji talebi alternatif yakıtlara olan ihtiyacı arttırmıştır. Benzin ile etanol farklı oranlarda karıştırılarak kullanılabilirler. En yaygın kullanımı E10 (%90 benzin - %10 etanol) yakıtı ve E85 (%15 benzin - %85 etanol) yakıt karışımlarıdır.

Biyoetanol yanması temiz bir yakıttır. Yanma sonucunda yapısında oksijen bulundurması ve sıcaklığının düşük olmasından dolayı yanma sonucu ürünler içerisinde daha az miktarda NO<sub>x</sub> (azotoksit) ve CO (karbonmonoksit) bulunur. Biyoetanol ve benzinin özellikleri Çizelge 1.9'da gösterilmiştir.

**Çizelge 1.9.** Benzin ve biyoetanol özellikleri [48]

Özellikler	Etanol	Benzin
Kimyasal formül	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub>
Molekül ağırlığı (kg/kmol)	46,06	100-105
Stokiyometrik H/Y oranı	9	14,7
Alt ısı değeri (kJ/kg)	26900	43400
Buhar basıncı (kpa, 38 °C)	15,9	48-103
Kendi kendine tutuşma sıcaklığı (°C)	425	257
Motor oktan sayısı (MOS)	89,7	82-94
Araştırma oktan sayısı (AOS)	108,6	88-100
Kaynama noktası (°C)	78,3	27-225
Donma noktası (°C)	-114,3	-40
Viskozite (mPa, 20 °C)	1,52	4-9
Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	788	732
Buharlaştırma ısı (kJ/kg)	960	360

Çizelge 1.9'da gösterilen karşılaştırmaya bakılacak olursa, biyoetanol taşıt motorlarında kullanılmasıyla motorun üstünde gerçekleşebilecek durumlar aşağıdaki gibi belirtilebilir. Benzine göre daha düşük ısı değere sahip olan biyoetanol aynı zamanda daha düşük stokiyometrik yakıt/hava oranına sahiptir. Bundan dolayı taşıt motorunda biyoetanol ile benzin karışımı kullanılması veya direkt etanol kullanılması şartında benzer motor performansını sağlamak için çok fazla yakıt ihtiyacı vardır. Fazla oktan sayısına sahip olan biyoetanol, setan sayısının çok düşük olması ve kendiliğinden tutunma direnci sebebiyle dizel motorlarında uygulamada problemler yaşanmasına neden olabilir. Kendiliğinde tutuşma direnci Otto motorlarda sıkıştırma oranının artırılmasına imkân sağladığı için biyoetanolün kullanımını Otto motorlarda daha idealdir [49].

Etanol ve benzini her oranda karıştırma imkânı vardır. Yakıt içeriğindeki etanol oranı arttıkça su toleransı da artar. Karışımlar normalde suya karşı duyarlıdır ve çok düşük

toleransa sahiptir. Su bulundurmayan etanol-benzin karışımlarını kullanmak en iyisidir. Karışımlar etanol yüzdesine bağlı olarak oktan sayısını yükseltmiştir.

## **1.7. Buji Ateşlemeli Motorlarda Yanma**

Buji ateşlemeli benzinli bir motorda, silindirlerin üst kısmında sıkıştırılan hava-yakıt karışımının tutuşması bujilerdeki kıvılcım ile gerçekleşir. Buji uçları arasındaki oluşan yüksek gerilimli kıvılcım, yanma odasındaki yanmayı başlatır.

Buji ile ateşlemeli motorlarda yanma odasına giren hava-yakıt karışımının alevlenmesi için sıkıştırma zamanının son evresinde ihtiyaç olan benzini tutuşturabilmek adına kıvılcımın oluşturulabilmesini sağlayan sisteme “ateşleme sistemi” denilmektedir.

Ateşleme sistemi, tutuşmanın sağlanabilmesi için yüksek voltaj gerekmesinin yanı sıra, oluşan yüksek voltajı motor silindirlerinin çalışma prensibine göre (buji ateşlemesi sırasına göre) zamanı gelen silindiri tutuşturup motorun farklı yük ve farklı devir durumlarına göre avans ayarını da yerine getirir [50].

Ateşleme sistemi 3 gruba ayrılır.

-Manyetolu ateşleme sistemi.

-Bataryalı (akülü) ateşleme sistemi.

-Elektronik ateşleme sistemi olmak üzere 3 gruba ayrılmaktadır.

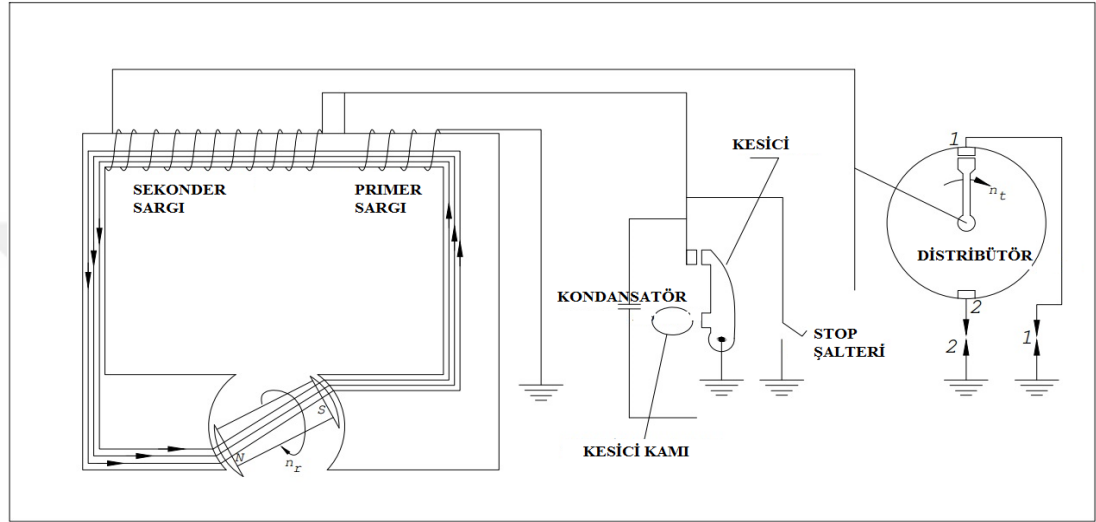
### **1.7.1. Ateşleme Sistemi**

#### **1.7.1.1.Manyetolu ateşleme sistemi**

Çift zamanlı küçük motorlarda genellikle manyetolu ateşleme sistemi kullanılır. Otomobillerde tercih edilen bir sistem olmamasının sebebi motorun tahrik sistemine

yetmemesinden kaynaklanmaktadır. Bu sistemde akümülatöre ihtiyaç duyulmaz. Bu yüzden çift zamanlı küçük motosiklet motorları ve tarımsal alanların biçilmesinde yaygın olarak kullanılan küçük çapta, kuvvetli, içten yanmalı motorlarda uygulanmaktadır.

Şekil 1.2.'de manyetolu ateşleme sisteminin şematik görünümü yer almaktadır.



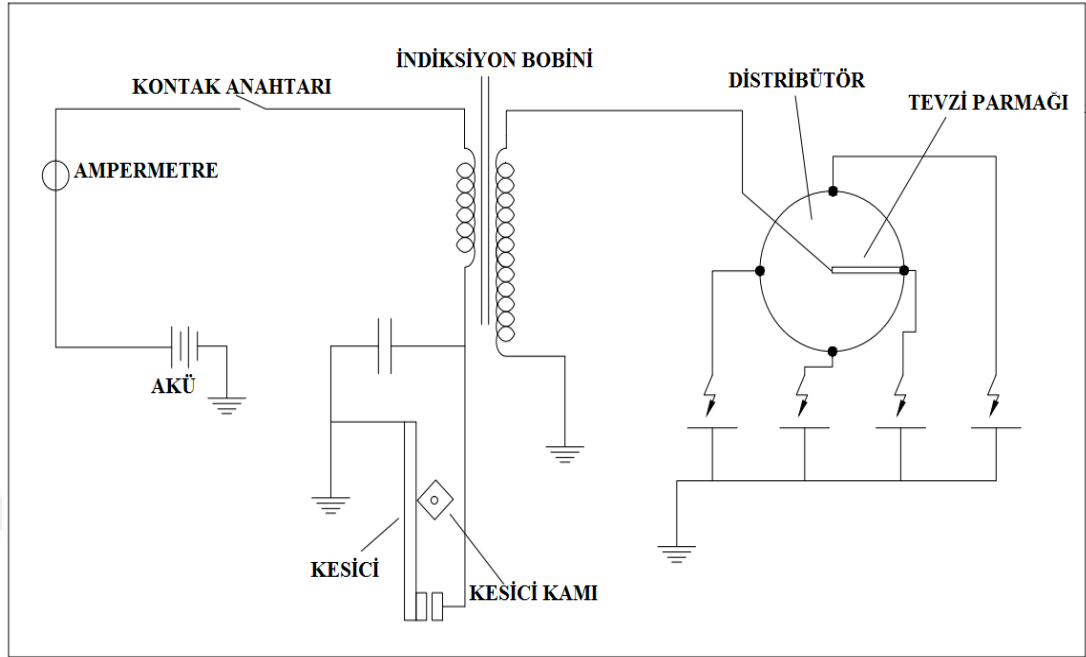
Şekil 1.2. Manyetolu ateşleme sistemi

### 1.7.1.2. Akülü Ateşleme Sistemi

Genellikle taşıt motorlarında kullanılan yaygın bir ateşleme sistemidir. Ateşleme sisteminde aküden bir primer akım anahtardan ateşleme bobini üzerinden geçip platin üzerinden şasi bağlantısına ulaşır. Gelen primer akım ateşleme bobini içinde ateşleme enerjisi olarak muhafaza edilir.

Ateşleme esnasında platin açılarak primer akımı kesilir. Bu sayede manyetik alan düşer, düşen manyetik alan ile primer ve sekonder sargıda gerilim oluşur. Sekonder gerilim ise ateşlemede uygulanır. Gelen sekonder akım bujinin merkezindeki elektroda iletilir. Gerilim çok fazla ise hava boşluğu iletken yapıda olur. Ateşleme kıvılcımı üzerinden atlayabilir [51]. Kıvılcım atlandığı zaman tutuşma gerçekleşmez.

Şekil 1.3.'te akülü ateşleme sisteminin şematik görünümü yer almaktadır.



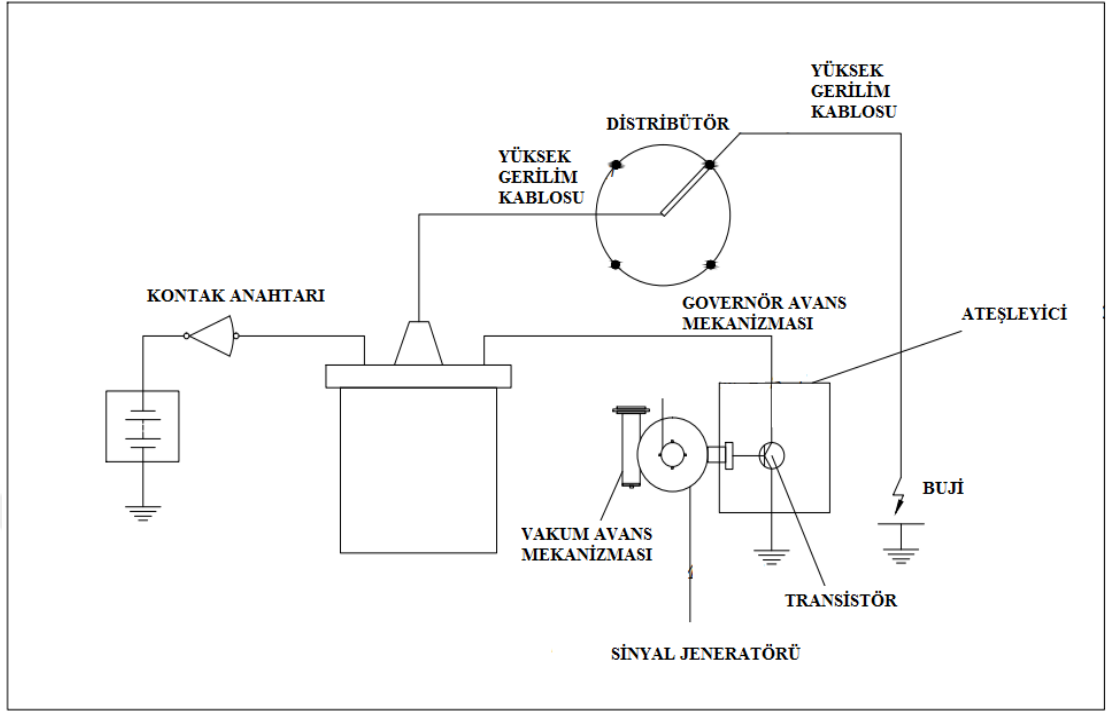
Şekil 1.3. Akülü ateşleme sistemi

### 1.7.1.3. Elektronik Ateşleme Sistemi

Klasik olan ateşleme sisteminin uygun türlerine karşılık elektronik ateşleme sistemlerinin mevcutta oldukça fazla çeşitleri vardır. Üç ayrı çeşitte elektronik ateşleme sistemi yer almaktadır. Birincisi primer akımın devre üzerinden geçen akımın kesilme tipine göre, ikinci elektronik ateşleme sistemi ateşleme avans tipine göre, üçüncü tip ateşleme sistemi ise sekonder devre geriliminin dağıtılması tipine göre sınıflandırılabilir [52].

Elektronik ateşlemelerde elektronik avans ayarı ile ateşlemenin sıralaması ve zamanlaması mükemmelleştirilmiştir. Bu sayede diğer sistemlere göre ateşleme zamanlaması ile daha verimli tutuşma sağlanmaktadır. Mekanik avans ve vakum etkilerinin kaldırıldığından bu sistemlerin çalışmasında oluşan kusur yoktur.

Şekil 1.4.'te elektronik ateşleme sisteminin şematik görünümü yer almaktadır.



Şekil 1.4. Elektronik ateşleme sistemi

### 1.7.2. Distribütör

Distribütör, üzerinde bulundurduğu görev çok önemlidir. Ateşleme sisteminin birinci devresi, ikinci devresi ve avans mekanizmasının parçalarını üzerinde bulundurduğu için üç ana görevi vardır.

Distribütör kamı, platinlerin çalışmasını sağlamaktadır. Distribütör kapağı üzerinde bulunan dağıtıcı soketler, tevzi makarası ve kömürlü ateşleme zamanı silindirin buji uçlarına bobinden geçen yüksek voltajı iletir. Bu sayede silindir yanma odasında tutuşma gerçekleşir.

Avans düzeni koordineli çalışarak motorun her farklı devrinde ihtiyaca uygun olan ateşlemenin avansını verir.

Distribütör ana parçaları 9'a ayrılır.

- Tevzi makarası
- Distribütör kapağı
- Distribütör kamı
- Platin tablası
- Distribütör mili
- Vakum avans tertibatı
- Mekanik avans tertibatı
- Kondansatör
- Distribütör gövdesi



Şekil 1.5. Distribütör

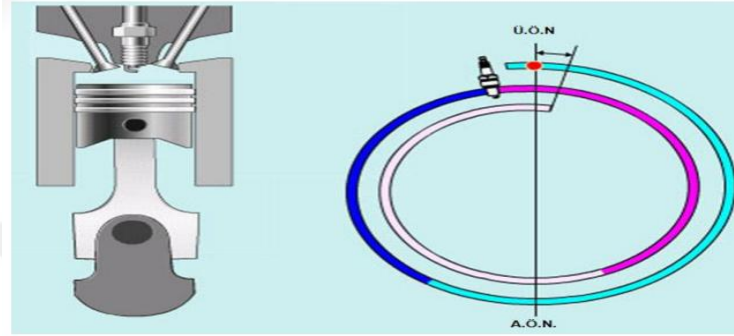
### 1.7.3. Ateşleme Avansı

Dakikada gerçekleşen her motor devrinde motor üzerinden minimum gücü alabilmek adına kademe kademe verilmesi gereken erken ateşleme miktarına “ateşleme avansı” denilmektedir.

Hava-yakıt karışımı buji ile ateşlendikten sonra tutuşan alevin yanma odasında her yerde yayılabilmesi adına belirli bir süreye ihtiyaç vardır. Bu süre ile birlikte birinci ateşleme zamanıyla yanma odasında en yüksek basınç oluşumu arasında bir zaman farkı vardır. Bütün silindirler içerisinde en yüksek basınç elde edildiği zaman üst ölü

noktadan yaklaşık 5 ile 10 derece sonra motorun çıkış gücü en yüksek olur. Fakat bu durum motor markası, modeli ve kapasitesine göre değişiklik göstermektedir. Ateşleme zamanı belirlenirken alevin içeride dağılma zamanında bilinmesi gereklidir.

Şekil 1.6.'da ateşleme avansı şematik görünümü yer almaktadır.



**Şekil 1.6.** Ateşleme avansı

Ateşleme zamanı avansı çok yüksek ise yanma odasında kendi kendine yanma olur. Bu olaya avans vurması denir. Fazla avans vurması sonucunda da motordaki bujilerin, supapların ve silindirlerin yanarak kullanılamaz hale gelmesine sebep olur.

Ateşleme zamanı geç oluşuyorsa en yüksek yanma basıncı, sistemdeki ateşleme avans değerinde sonra oluşur. Piston içerisindeki basınç ideal ateşleme avansına göre çok az olmakla birlikte, yakıt kullanımının fakir olmasına (yanmamış yakıtın egzozdan atılmasına) motor gücünün azalmasına ve böylece çekişin düşmesine neden olur.

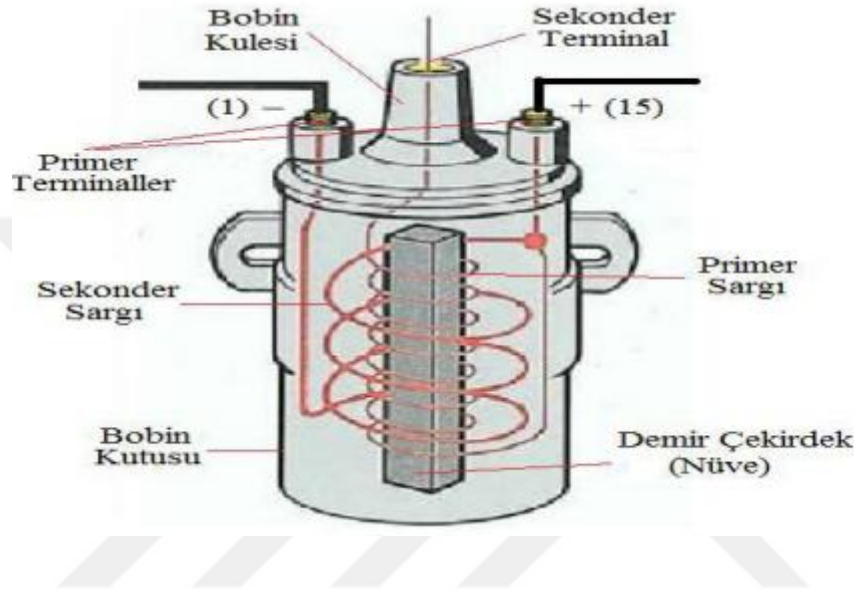
#### **1.7.4. Ateşleme Bobini**

Ateşleme bobini aküden gelen düşük voltajı, manyetik alanın değişen etkisiyle üzerinde bulundurduğu primer ve sekonder sargıların yardımıyla buji tırnaklarının



arasında kıvılcım oluşacak şekilde aküden aldığı voltajı yüksek voltaja çeviren devre elemanının ismine “ateşleme bobini” denilmektedir.

Klasik ateşleme sisteminde Şekil 1.7.’de görülen bobinler kullanılmaktadır. Bobinler aküden gelen düşük voltajı motorun tahrik olabilmesi için şart olan yüksek voltaja dönüştürme görevini üstlenir.



Şekil 1.7. Ateşleme bobini

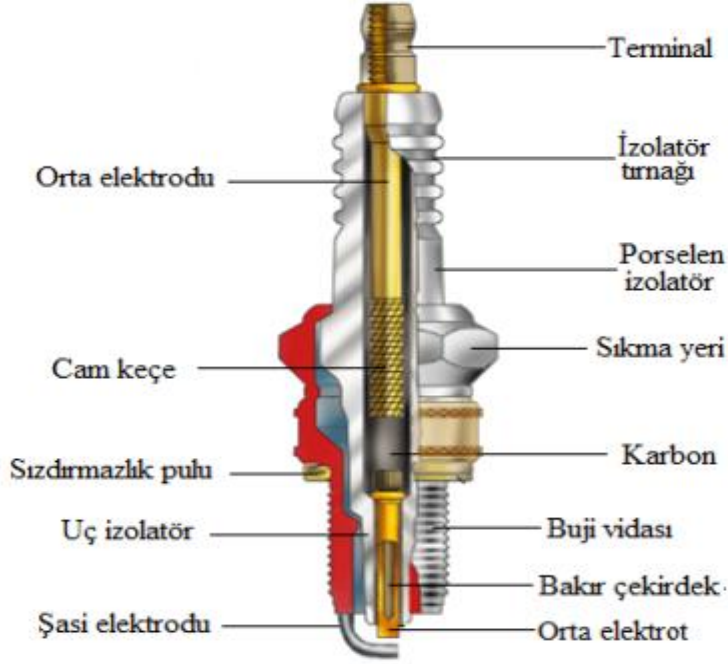
### 1.7.5. Buji

Buji, içten yanmalı motorlarda benzin ve hava karışımını tutuşturarak ateşleyen motor üzerinde sıralı olarak bulunan bir parçadır. Bujiler ateşleme bobininden gelen gerilimi yüksek elektrik iki farklı elektrot (tırnaklar) arasından atarak kıvılcımı meydana getirirler. Piston içerisindeki basınç etkisiyle yanma noktasına yakın olan yakıt kıvılcım aracılığı ile tutuşarak ateşlenir. Bu sayede motor yanma odasında yanma gerçekleşmiştir. Bujilerin motor tipine, kapasitesine ve modeline göre birçok çeşitleri vardır [52].

Bujiler genellikle 4 bölümden oluşurlar.

- Elektrik bağlantı ucu
- Bağlantı gövdesi ve dişleri
- Porselen yalıtıcı (izolatör)
- Elektrotlar

Şekil 1.8.'de standart bir bujinin şematik görünümü yer almaktadır.



**Şekil 1.8.** Buji

### 1.7.6. Yüksek Gerilim Kablolar

Yüksek gerilim kabloları distribütörden gelen yüksek voltajın bujilere düzgün bir şekilde ulaşmasını sağlar. Buji kablosu özel ipek ve tel kablo olmak üzere iki farklı çeşittir.

İletken olan tel kablo, içerisinde tel malzemenin kullanıldığı ve dışarısında belirli bir kalınlıkta izole olan bir kablodur.

İletken tel kabloya nazaran ipek kablo ise, grafitte bekletilmiş özel iplikli olan bir kablodur. 10.000 ohm dirence kadar direnç gösterebilir. Gösterilen bu direnç ile otomobil radyosunda ve diğer elektronik aksamalarda parazit olması önlenir. Ateşleme sisteminin üzerinde bulunan bu kablonun ateşleme sistemi üzerinde negatif bir etkisi yoktur [51].

Şekil 1.9.'da yüksek gerilim kablonun görünümü yer almaktadır.



**Şekil 1.9.** Yüksek gerilim kablo

### **1.7.7. Karbüratörlü Yakıt Sistemi**

Karbüratörlü yakıt sistemi, taşıt motorunun o anda gerekli olan yakıtını depolar ve depoladığı yakıtın silindirlerin üzerine hava-benzin karışımının orantısal olarak gelmesini sağlar.

Karbüratörlü yakıt sisteminin ana parçaları; karbüratör, yakıt pompası, yakıt deposu, yakıt filtresi, yakıt boruları ve bağlantılarından oluşmaktadır.

#### **1.7.7.1.Karbüratör**

İçten yanmalı motorlarda, yakıtı buharlaştırıp havayla karışmasını sağlayan bir parçadır.

Pistonların silindirler vasıtasıyla oluşan vakum gücüyle vakumlanan hava, karbüratörden geçerken belirli oranda benzini de birlikte geçirerek benzini buharlaştırır. Oluşan bu gaz karışımını borular vasıtasıyla silindirlere göndererek bujilerden gelen kıvılcımla gaz karışımını ateşlenir. Sonuç olarak karbüratör, emilecek hava ve karışacak benzin miktarını üzerinde bulunan mevcut düzenekler aracılığıyla otomatik olarak ayarlar.

Bir karbüratörün başlıca görevleri aşağıdaki gibidir.

-Soğuk hava şartlarında motorun kolayca ilk tahrike geçmesini sağlar.

-Düşük devirdeki motorun yüksüz bir şekilde hareketini sağlar.

-Değişen yük ve farklı motor devirlerinde motor için ihtiyaç olan farklı oranlardaki hava – yakıt karışımının oluşmasını sağlar.

-Yakıtı en küçük parçalara ayırır.

-Tüm yol şartlarında karbüratörün çalışmasını problemsiz olmasını ve yakıtta ekonomik tüketim olmasını sağlar.

-Motorun anlık olarak hızlanması ve anlık olarak yavaşlatılması durumlarında gerekli olan karışımın oransal ayarını yapar.

### **1.7.7.2.Yakıt Pompası**

Yakıt pompası başlıca görevlerinden birisi motora çalışması için gerekli yakıtı sağlar. Yakıtın sıcağdan kaynamasına engel olmak adına karbüratör ile pompa arasında yeterli miktarda basınç ayarlamasını yapar. Karışım esnasında buhardan dolayı oluşan kilitlenmeyi engelleyici görevi vardır.

Aşırı fazla basınç, karbüratörde bulunan şamandıranın iğnesi atıp, taşma seviyesinde fazla benzin dolup, aracın bu sayede fazla yakıt kullanmasına sebep olmaktadır. Mekanik ve elektrikli pompa olmak üzere iki farklı yakıt pompası vardır.

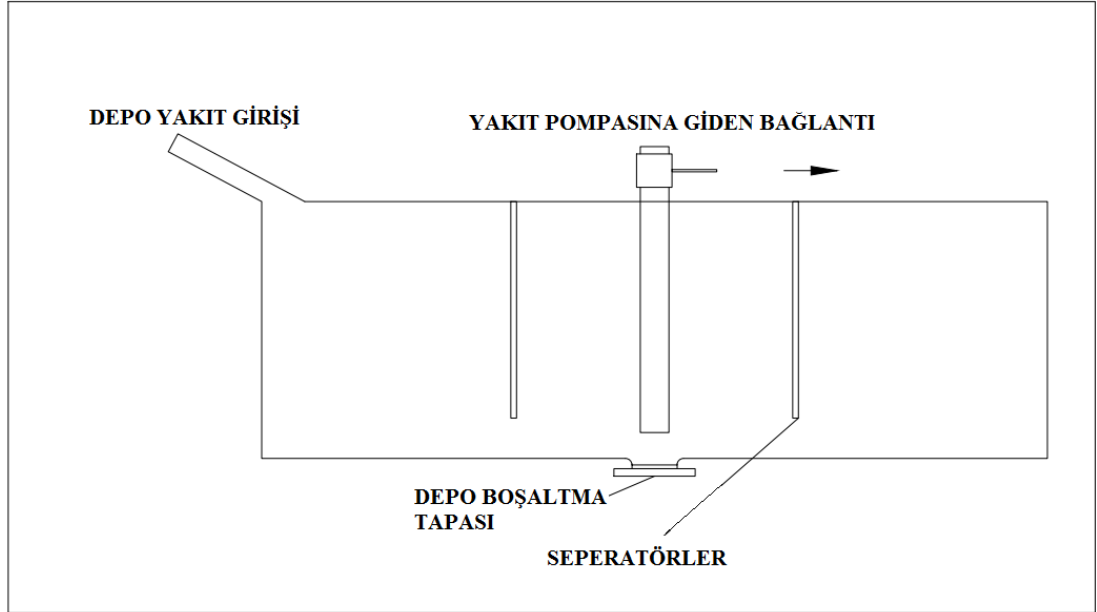
### 1.7.7.3.Yakıt Deposu

Taşıtlarda ve özellikle de yaygın olarak kullanılan otomobillerde, otomobil içinde kaplayacağı alan çok önemli olduğundan araçların tiplerine göre farklı yakıt düzenekleri vardır. Benzer model arabalarda bile farklı tipte yakıt sistemleri vardır. Yakıt çeşidine göre hem benzin hem de dizel motorlu taşıtlarda kullanılan motor tipine göre farklı yakıt depolarının tasarımı yapılabilir.

Otomobillerdeki yakıt depoları üretebilmek için iki farklı teknolojiler vardır.

- Düşük emisyon oranı sağlaması sebebiyle plastik yüksek yoğunluktaki polietilen yakıt tankları ile,
- Metal (çelik ya da hafif olması bakımından alüminyum) yakıt tankları mevcuttur.

Şekil 1.10.'da yakıt deposunun şematik görünümü yer almaktadır.



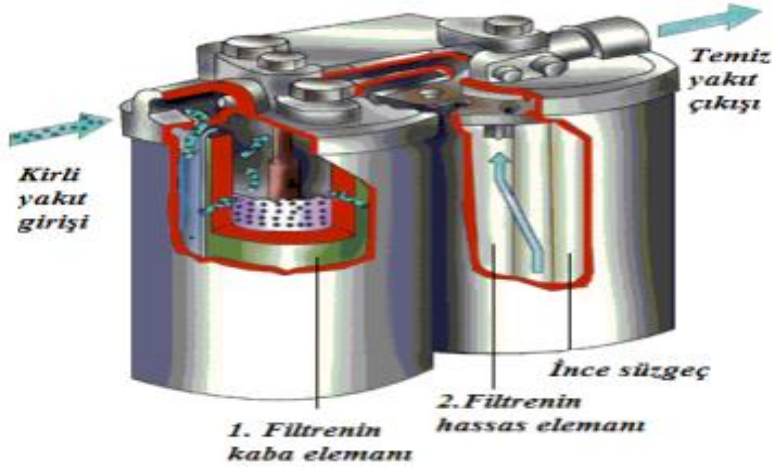
Şekil 1.10. Yakıt deposu

#### 1.7.7.4.Yakıt Filtresi

Düşük rafine olan ve filtrasyonu yeterli seviyede olmayan benzin pislik ve su içermektedir. Benzinde istenmeyen bu yabancı maddelerin karbüratöre girmesi ile birlikte karbüratör içinde bulunan boru kanalları, jetleri, memeleri vb. ekipmanları tıkararak motorda büyük problemlere neden olur. Bu problemlerin yaşanmaması için yakıt filtresinin görevi çok önemlidir. Yakıtta istenmeyen bu gibi maddeleri ayırtırmak için yakıt tankı ile yakıt pompasının arasında yakıt filtresi vardır.

Kullanılan filtreler yakıtın emiş hızını düşürmekle birlikte viskozitesi benzinden daha fazla olan kum, su ve diğer istenemeyen maddeleri tutar. İstenmeyen bu maddeler filtrenin dibine çöker. Yakıtı kirletici hafif maddeler ise filtre elemanı tarafından tutulur. Yakıt filtresi demonte edilip temizlenmez. Eskiyen yakıt filtreleri mutlaka yenisi ile değiştirilmelidir. Bazı marka araç modellerinde ikili filtreleme sistemi vardır. Bu sistemde yakıt diğer filtre sistemlerine göre temizdir. Bu da motorun ömrünü uzatan bir faktördür.

Şekil 1.11.'de yakıt filtresinin şematik görünümü yer almaktadır.



Şekil 1.11. Yakıt filtresi

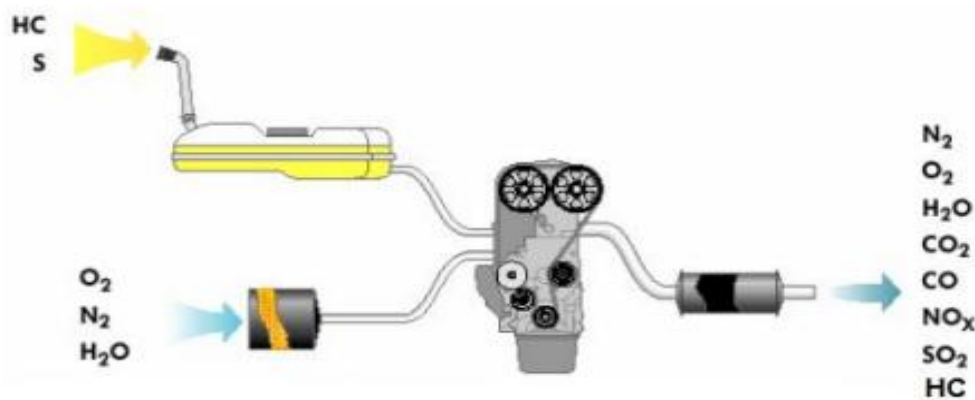
## 1.8.Egzoz Emisyonları ve Çevreye Etkileri

Egzoz gazları yanma işlemi sonucunda meydana gelen ve artık kullanılması mümkün olmayan gaz haldeki artık maddelerdir. İçten yanmalı motorlarda atık gazlara "egzoz gazı" denilmektedir.

Motorda yanma sonucu oluşup egzozdan atılan egzoz gazı su buharı, CO<sub>2</sub> ve NO<sub>2</sub> gibi çevreye zararı olmayan gazların yanında, çevre ve canlılar için zararlı olan karbonmonoksit (CO), azot oksit (NO<sub>x</sub>) ve hidrokarbonları da (HC) içerir.

Bu zararlı gazlar yeni tasarlanan taşıt motorunun toplam egzoz emisyonlarının sadece çok az bir bölümünü oluşturmaktadır. Bu bölüm benzinli motorda %1,1 ve dizel motorda %0,2 oranındadır. Egzoz emisyon gazının büyük bir kısmı su, azot ve karbondioksitten oluşmaktadır. Fakat, egzoz gazında bulunan az miktardaki tehlikeli maddelerin pasif hale gelmesi canlı hayatı için oldukça önemlidir. Araç motorlarından çıkan, çevre için zararlı olan bu maddeleri ciddi miktarda azaltmak için üç yollu katalizatör kullanılmaya başlanmıştır.

Şekil 1.12.'de motorlu araçlarda kirletici etkilerin şematik görünümü yer almaktadır.



Şekil 1.12. Motorlu araçların kirletici etkileri

Motorlu araçların egzoz gazı emisyonları vasıtasıyla yaymış olduğu kirlilik, son zamanlarda hava kirliliğinin başlıca sebeplerinde birisidir. Egzoz gazı emisyonları HC, CO ve NO<sub>x</sub> gazlarını barındırır. Çizelge 1.10.'da filtrasyonu sağlanmamış benzinli bir motorlu karasal taşıtta, egzoz gazı ile birlikte açığa çıkan kirletici gaz ürünleri ve hacimsel yüzde değerleri yer almaktadır.

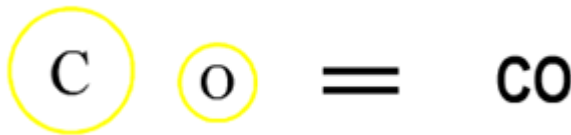
**Çizelge 1.10.** Önlem alınmayan egzoz gazı kirletici yüzdeleri

Ürünler	Hacimsel Yüzde
HC	0,05
CO	0,85
NO <sub>x</sub>	0,08
Katı partiküller	0,005

### 1.8.1. Karbonmonoksit (CO)

Yanma işlemi sonucunda egzoz gazlarından CO (karbonmonoksit) bulunmasının başlıca sebeplerinden birisi oksijen ve yakıtın tam olarak birleşmemesidir. CO (Karbonmonoksit) motorun silindirler üzerindeki fakir yanma sonunda, silindirlere gelen yakıtın belirli miktarının, silindirde yanarken yeterli seviyede olmayan oksijenden dolayı tam yanmanın gerçekleşmediği ve yakıt moleküllerinin çift yerine tek oksijen ile birleşmesiyle oluşan, egzozdan atılan zehirli bir gazdır.

Şekil 1.13'te CO oluşumunun şematik görünümü yer almaktadır.



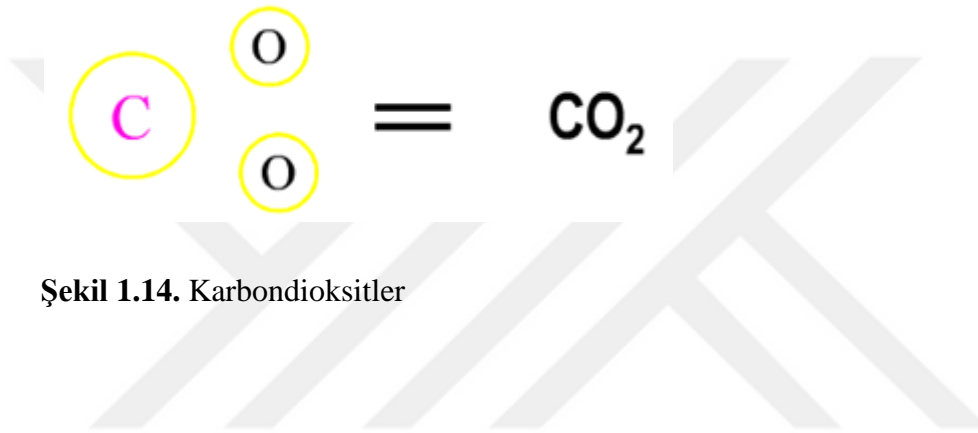
**Şekil 1.13.** Karbonmonoksit



### 1.8.2. Karbondioksit (CO<sub>2</sub>)

CO<sub>2</sub> (Karbondioksit) yanma ile birlikte egzozdan çıkan egzoz emisyonları içinde diğer gazlara göre minimum zararı bulunan bir gazdır. Karbondioksitler doğada bulunan bitki ve ağaçlar ile birlikte fotosentez yapılarak oksijen gazına dönüştürülmektedir. Fakat bu durum orman alanlarının giderek yok olmasıyla giderek azalmaktadır.

Şekil 1.14.'te CO<sub>2</sub> oluşumunun şematik görünümü yer almaktadır.



Şekil 1.14. Karbondioksitler

### 1.8.3. Hidrokarbon (HC)

Yakıtın eksiksiz olarak yanmaması ve benzinin hava ile birleşerek buhar fazına gelmesi durumunda meydana gelir. Motor silindirleri üzerindeki yakıtın fakir yanması sonucunda silindirlere alınan yakıtın belirli bir miktarının ateşleme sırasında yanmadan kalabilmesi ve egzoz borusundan benzin buharı olarak çığ bir şekilde atılmasıdır. Hidrokarbonlar, azot oksit ve güneş ışığının etkisiyle ozonlar meydana getirir.

### 1.8.4. Diğer Gazlar

Eksiksiz yanmanın gerçekleşmediği zamanlarda egzoz gazının değerleri arasında diğer farklı gazlarda gözlemlenmektedir. Bu gazların nasıl oluştuğuna dair nedenleri aşağıdaki gibidir.

-Yanmamış hidrokarbonlar

$C_nH_m$  (olefinler, parafinler ve aromatik hidrokarbonlar)

-Kısmen yanmış hidrokarbonlar

$C_nH_m.CHO$  (aldehit)

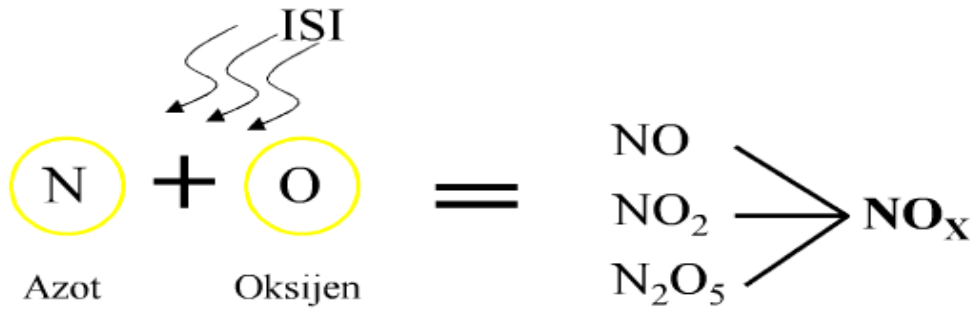
$C_nH_m.CO$  (keton)

$C_nH_m.COOH$  (karboksilik asitler)

CO (karbonmonoksit)

Bununla beraber buji ateşlemeli motorlarda yanma sonucu olarak Azot (N) ve su buharı ( $H_2O$ ) gibi maddelerde emisyon gazları arasındadır. Azot gazı yüksek sıcaklıklarda oksijenle birleşmesi sonucunda zararlı emisyon niteliğine sahip olmaktadır.

Şekil 1.15.'te yüksek ısılar sonucu oluşan azot oksitlerin şematik görünümü yer almaktadır.



Şekil 1.15. Yüksek ısılarla oluşan NO<sub>x</sub>'ler

## 2. MATERYAL ve METOT

Benzinli bir motor için farklı benzin ve etanol karışımlarının farklı devirlere göre motor performans, egzoz emisyon değerlerinin üzerindeki etkilerinin incelenmesi amacıyla deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir.

### 2.1. Materyal

#### 2.1.1. Deney Ortamı

Deneysel Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Otomotiv Mühendisliği Bölümüne ait motor laboratuvarında yapılmıştır. Deneysel Çizelge 2.1’de teknik özellikleri verilen dört silindirli dört zamanlı buji ile ateşlemeli benzinli motor kullanılmıştır. Deneysel, taşıt performans parametreleri “DIN 70020 ve TS 1231 İçten Yanmalı Motorlar-Muayene ve Deney Esasları” standartlarına uygun olarak ölçülmüştür.

TS 1231 ve DIN 70020 standardı, yeni imal edilmiş veya yenileştirilmiş içten yanmalı motorların muayene ve deneylerinde tatbik edilecek esasları ihtiva eder.

Deneysel doğru sonuçların alınabilmesi için motor belirli bir süre çalıştırılarak rejim sıcaklığına getirilmiştir. İstenilen çalışma sıcaklığına getirilen motor dinamometre ve kontrol paneli sayesinde tam yük altında farklı devirlere getirerek testler yapılmıştır. Her bir ölçüm için motorun kararlı sabit devire gelmesi beklenmiş ve sonuçlar alınmıştır.

Ölçümlerde ilk başta 95 oktan benzin kullanılmış daha sonra alternatif yakıtlı karışımlar uygulanmıştır. Alternatif yakıtlar E10 (%10 etanol - %90 benzin), E20 (%20 etanol - %80 benzin), E30 (%30 etanol - %70 benzin) karışımları kullanılmıştır.

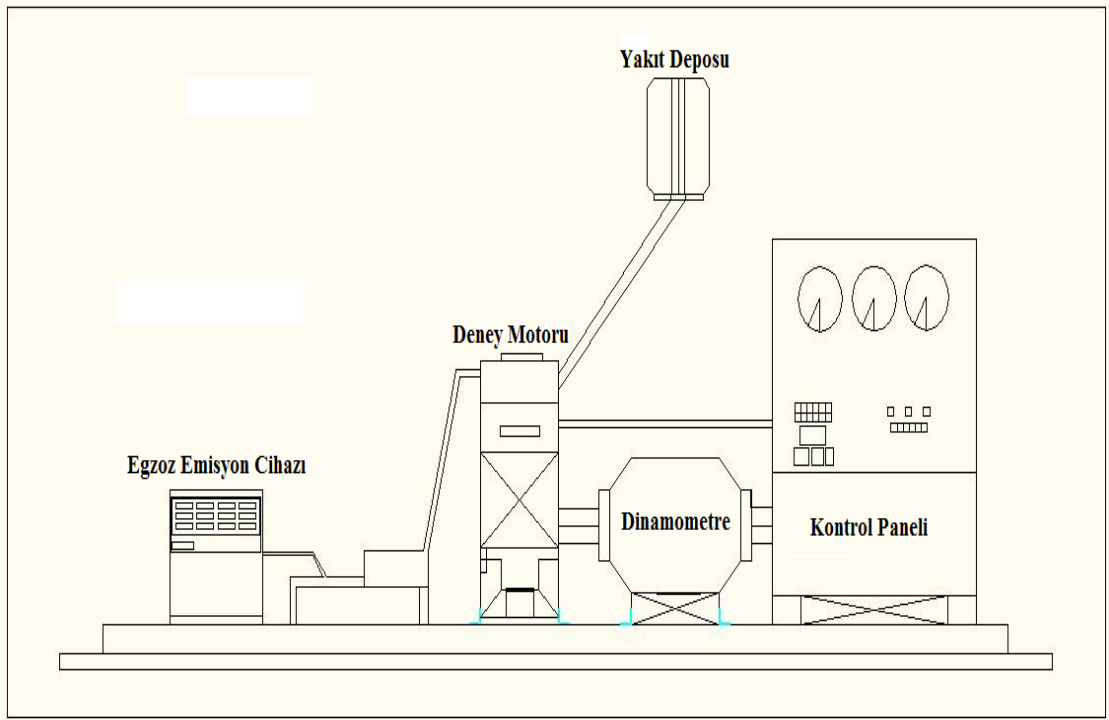
### 2.1.2. Deney Motoru

Deneyleerde Çizelge 2.1’de teknik özellikleri verilen ve dört silindirli bujiyle ateşlemeli bir motor kullanılmıştır.

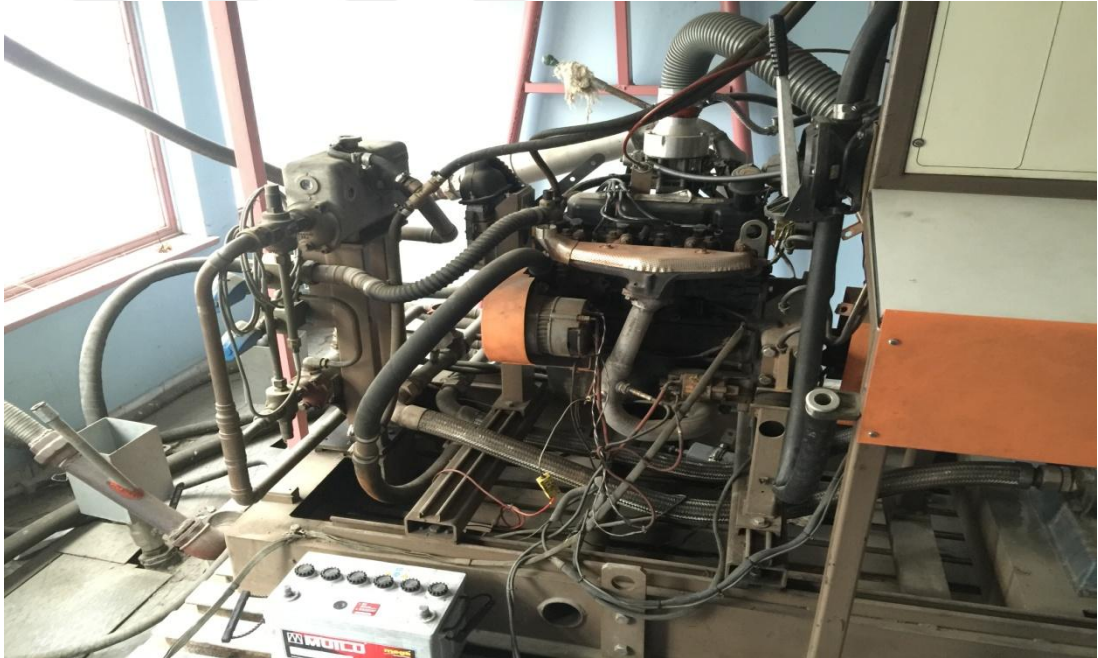
**Çizelge 2.1.** Deney motorunun teknik özellikleri

<b>Markası</b>	<b>FORD VSG 413</b>
<b>Motor Gücü</b>	43 kW 5000 rpm
<b>Motor Torku</b>	98 Nm 2500 rpm
<b>Silindir Çapı</b>	73,96 mm
<b>Strok Boyu</b>	75,48 mm
<b>Sıkıştırma Oranı</b>	8.8:1
<b>Silindir Hacmi</b>	1297 cc
<b>Ateşleme Sırası</b>	1-2-4-3
<b>Sıkıştırma Basıncı</b>	13-16 bar
<b>Rölanti Devri</b>	750 rpm
<b>Emme Açılması</b>	12° BTDC
<b>Emme Kapanması</b>	48° ABDC
<b>Egzoz Açılması</b>	47° BBDC
<b>Egzoz Kapanması</b>	13° ATDC

Deney düzeneğinin şematik olarak görüntüsü Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



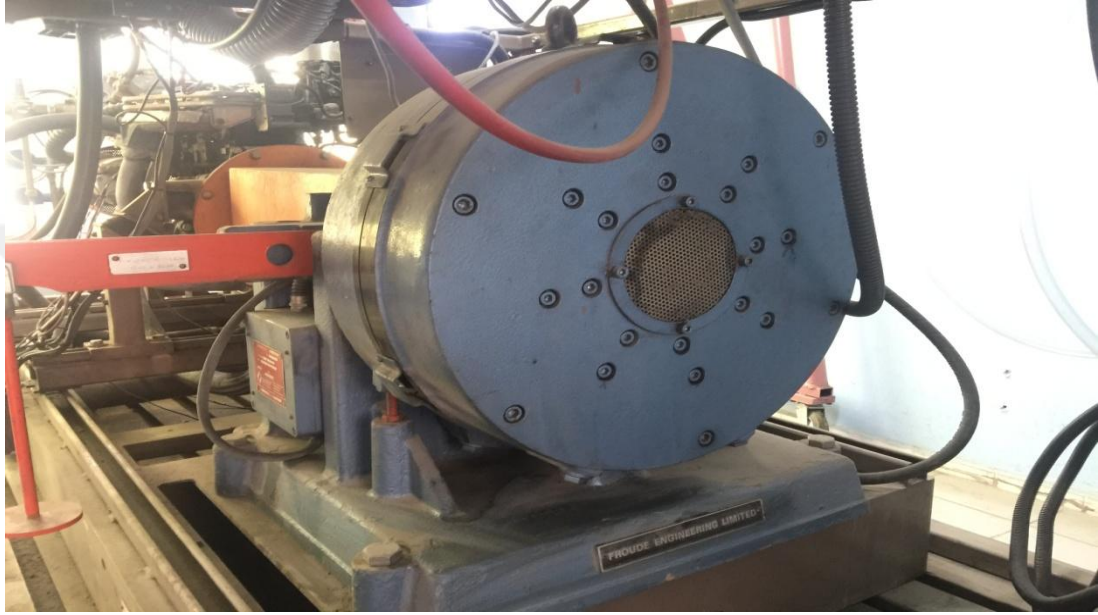
Şekil 2.1. Deney düzeneği şematik görüntüsü



Resim 2.1. Deney motoru

### 2.1.3. Dinamometre ve Kontrol Paneli

Deneysel çalışmalarda Cussons marka dinamometre kullanılmıştır. Dinamometre tam yük ve kısmi yüklerde yapılan testler için 1200 - 8000 d/d motor devrileri arasında maksimum 165 kW güce kadar frenleme kapasitesine sahip elektrikli (DC) bir cihazdır. Dinamometrenin ve deney setinin resmi Resim 2.2’de yer almaktadır.



**Resim 2.2.** Dinamometre ve deney seti

Deneilerin esnasında dikkate alınan parametrelerin (hava/yakıt oranı, giriş hava sıcaklığı, motor devri ve yükü, soğutma suyu ve yağlama yağı sıcaklıkları) değiştirilmesi ve kontrolünde Resim 2.3’te gösterilen kontrol paneli kullanılmıştır.



**Resim 2.3.** Kontrol paneli

Deneylere başlarken kontrol panelinin aktif edilmesi gerekmektedir. Motorun çalıştırılmadan önce gözle kontrolü sağlandıktan sonra motor yağ ve su pompaları kontrol panelindeki butonlar vasıtasıyla çalıştırılmaktadır. Dinamometre suyu açıldıktan sonra motor çalıştırılmıştır. Motor momenti, motor devri, yağ ve su sıcaklıkları kontrol paneli üzerinde yer alan analog ve dijital göstergeler ile belirlenebilmektedir. Ayrıca kontrol paneli üzerinde yer alan el kumandası ve dinamometre ayarı ile motor devri, motor yükü istenilen değerlere göstergeler yardımıyla ayarlanabilmektedir.

#### **2.1.4. Kullanılan Ölçüm Cihazları**

##### **2.1.4.1. Terazi ve kronometre**

Deneylerde kullanılan yakıtlar E0, E10, E20 ve E30 yakıtlarıdır. Deney sırasında yakıt tüketimi kütleli olarak ölçülmüştür. Ölçümde 30 kg kapasiteli 1 g taksimatlı Dikomsan marka JS-BM 30 modeli bir dijital terazi karışım yakıtlarını ölçmüştür.



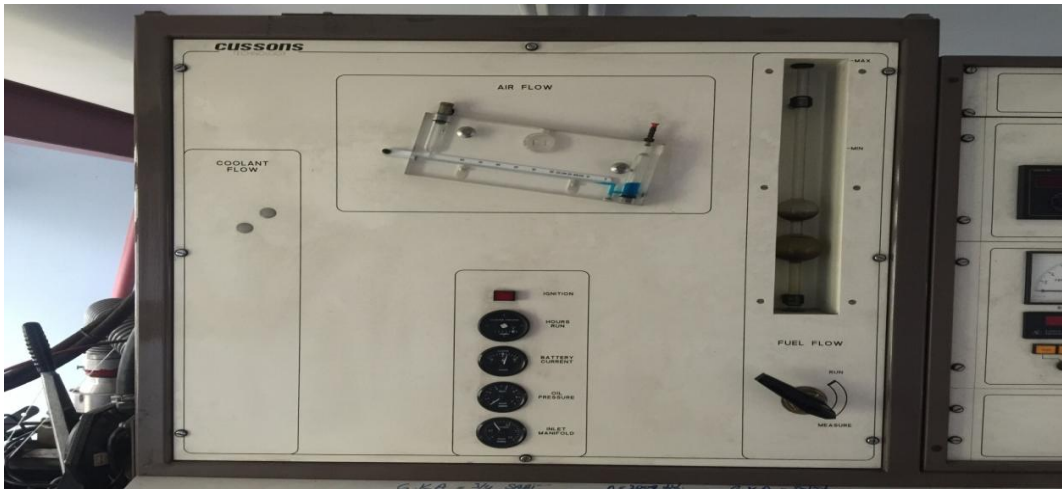
Yakıt tüketiminde süreyi belirlerken 1/100 saniye hassasiyetinde Voit 231 marka dijital kronometre kullanılmıştır. Resim 2.4’te dijital terazi ve kronometre görülmektedir.



**Resim 2.4.** Dijital terazi ve kronometre

#### 2.1.4.2. Hava akışmetresi

Hava tüketiminin ölçümünde kontrol paneli üzerinde yer alan 1 mm su sütunu hassasiyetine sahip Cussons marka hava akışmetresi kullanılmıştır.



**Resim 2.5.** Hava akışmetresi



### 2.1.4.3.Egzoz emisyonları ölçüm cihazı

Egzoz emisyon değerlerini ölçmek için SUN MGA 1500 S marka cihaz kullanılmıştır. Ayrıca sistem bilgisayar arayüzü ile adapte edilmiş olup değerler bilgisayar üzerinden kaydedilerek okunmuştur. Cihaz ve bilgisayar düzeneği Resim 2.6’da görülmektedir.

Deneylere başlamadan önce 220 volt şehir şebekesinde cihazlar 15 dakika çalıştırılarak kararlı duruma getirildikten sonra ölçüm işlemlerine başlanmıştır. Dinamometre ve emisyon ölçüm cihazının deneyler başlamadan önce kontrolleri ve kalibrasyonları yapılmıştır.

Cihazın diğer teknik özellikleri Çizelge 2.2’de gösterilmiştir.



**Resim 2.6.** Sun MGA 1500 S marka egzoz gaz analizörü ve bilgisayar düzeneği

**Çizelge 2.2.** Sun MGA 1500 S egzoz gazı analizörü teknik özellikleri

	<b>Ölçüm Aralığı</b>	<b>Hassasiyeti</b>
<b>CO (% hacimsel)</b>	0-% 14	%0,01
<b>CO<sub>2</sub> (% hacimsel)</b>	0-% 18	%0,01
<b>HC (ppm)</b>	0-9999	1
<b>O<sub>2</sub> (% hacimsel)</b>	0-25%	%0,1
<b>NO (ppm)</b>	0-5500	1

### **2.1.5. Deney Yakıtları**

Deneyleerde kurşunsuz benzin ve benzin – etanol karışımları kullanılmıştır. Kurşunsuz benzin emniyetten alınan izin ile Shell Benzin istasyonundan 95 oktanlı olarak temin edilmiştir. Karışımlarda herhangi bir faz ayrışması gözlenmemiştir. Karışımlar kütlelel olarak oluşturulmuştur.

E0 (% 100 oranında kurşunsuz benzin)

E10 (% 10 etanol - %90 kurşunsuz benzin karışımı)

E20 (% 20 etanol - %80 kurşunsuz benzin karışımı)

E30 (% 30 etanol - %70 kurşunsuz benzin karışımı)

Çalışmada kullanılan yakıtların çeşitli özellikleri Çizelge 2.3 ve Çizelge 2.4'te belirtilmiştir.

**Çizelge 2.3.** Test yakıtlarının çeşitli özellikleri

	<b>Yöntem</b>	<b>E0</b>	<b>E10</b>	<b>E20</b>	<b>E30</b>
<b>Görünüş</b>	Gözle muayene	Berrak	Berrak	Berrak	Berrak
<b>Distilasyon (% Hacim)</b>	TS 1232				
70 °C		24	40,2	39,3	38,5
100 °C		46,8	53,9	66	82,1
180 °C		97,6	97,3	98	98,1
<b>Yoğunluk (15 °C'de kg/m<sup>3</sup>)</b>	TS 6311	764,9	768	771,5	776,4
<b>Reid Buhar Basıncı (kPa)</b>	ASTM D 323	57,6	66,7	66,2	65,1
<b>Kurşun (g/L)</b>	IP 352	0,004	0,003	0,002	0
<b>Kükürt (% Ağırlıkça)</b>	TS 6838	0,012	0,017	0,022	0,024

**Çizelge 2.4.** Test yakıtlarının özellikleri

	<b>Yoğunluk</b>	<b>Kinematik Viskozite</b>	<b>Isıl Alt Değer</b>	<b>Yakıt - Su İçeriği</b>	<b>Bakır Şerit</b>
	(g/cm <sup>3</sup> )	(40°C – mm <sup>2</sup> /s)	(kJ/kg)	(ppm)	Korozyon
Etanol	0,793 (20°C)	1,221	36819,2	<%0,1	1a
E0	0,715 (15°C)	0,494	48104	775	1a
E10	0,75 (15°C)	0,634	39537	1084	1a
E20	0,752 (15°C)	0,641	38202,1	1501	1a
E30	0,757 (15°C)	0,662	37125,4	1764	1a

## 2.2. Metot

Deneyleer gerçekleştirilmeden önce deney cihazları, motor test düzeneği kalibre edilmiş ve standartlara uygunluğu sağlanmıştır. Motor test düzeneği ilk başta belirli çalışma sıcaklığına kadar çalıştırılmış olup daha sonradan deney sonuçları alınmaya başlanmıştır. Ölçümlerde ilk başta 95 oktan benzin kullanılmış daha sonra alternatif yakıtlı karışımlar uygulanmıştır. Altı farklı motor devrinde (2000-2500-3000-3500-4000-4500 d/d) farklı yakıt karışımları ile deney ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

### 2.2.1. Motor Momenti

Motor momenti kontrol panelinde yer alan dijital göstergelerden direkt olarak kaydedilmiştir. Ortam basıncı ile birlikte sıcaklık dikkate alınarak TS 1231 Standart'ına göre, buji ateşlemeli motorlar için verilen düzeltme faktörü kullanılmıştır.

$$K_d = \left(\frac{99}{P}\right)^{1,2} \cdot \left(\frac{T}{298}\right)^{0,6} \quad (2.1)$$

Bu eşitliğe göre P atmosferik basıncı olup, birimi kPa'dır. Atmosferik sıcaklık T ile ifade edilmektedir ve birimi Kelvin (K)'dir.

$$M = K_d \cdot M_0 \text{ (Nm)} \quad (2.2)$$

Tam yükte, 2000 d/d motor devrinde, E0 yakıtı kullanılarak, stokiyometrik hava/yakıt oranında (HFK=1), 8,8/1 sıkıştırma oranında ölçülen motor momenti 92,95 Nm olarak ölçülmüştür. Deneyin gerçekleştirildiği ortam basıncı 98 kPa ve sıcaklığı 22 ° C'dir. Elde edilen verilere göre Eşitlik 2.1 ve Eşitlik 2.2 ile hesaplanmıştır.

$$K_d = \left(\frac{99}{P}\right)^{1,2} \cdot \left(\frac{T}{298}\right)^{0,6} = \left(\frac{99}{98}\right)^{1,2} \cdot \left(\frac{295}{298}\right)^{0,6} = 1,012 \times 0,99 = 1,0059$$

$M = K_d \cdot M_0 = 1,0059 \cdot 92,95 = 93,5$  Nm olarak hesaplanmıştır.

### 2.2.2. Efektif Güç

Motorun yanma odasında birim zamanda elde edilen iş indike güçtür. Motorun volanından alınan güç efektif güçtür. Efektif güç ( $P_e$ ), döndürme momenti ( $M_d$ ) ve açısal hız ( $\omega$ ) çarpımı sonucu elde edilir.

$$P_e = \omega \cdot M_d \quad (2.3)$$

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \text{ (1/s)} \quad (2.4)$$

$$P_e = M_d \frac{2\pi n}{60 \cdot 1000} \text{ (kW)} \quad (2.5)$$

Tam yükte, 2000 d/d motor devrinde, E0 yakıtı kullanılarak, stokiyometrik hava/yakıt oranında (HFK=1), 8,8/1 sıkıştırma oranında elde edilen verilere Eşitlik 2.5 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$P_e = M_d \frac{2\pi n}{60 \cdot 1000} = 90 \frac{2\pi \cdot 2000}{60 \cdot 1000} = 18,84 \text{ kW olarak elde edilir.}$$

### 2.2.3. Fren Ortalama Efektif Basıncı

Gerçek motor çevrimindeki benzer bir  $P_e$  gücünü vermesi adına strok süresince pistonu tetiklemesi gereken bir basınç değeridir.

$$FOEB = \frac{P_e n_R \cdot 60}{V_K \cdot n} \text{ (kPa)} \quad (2.6)$$

Eşitlikte yer alan strok hacmi ( $V_K$ )

$$V_K = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot L = \frac{\pi \cdot 0,07396^2}{4} \cdot 0,07548 = 3,24 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

Tam yükte, 2000 d/d motor devrinde, E0 yakıtı kullanılarak, stokiyometrik hava/yakıt oranında (HFK=1), 8,8/1 sıkıştırma oranında elde edilen verilere Eşitlik 2.5'ten elde edilmiş 18,84 kW kullanılarak motorun strok hacmi ile Eşitlik 2.6 ile fren ortalama efektif basıncı hesaplanmıştır.

$$FOEB = \frac{P_{eNR} \cdot 60}{V_K \cdot n} = \frac{18,84 \cdot 2.60}{0,000324 \cdot 2000} = 3488 \text{ kPA olarak bulunur.}$$

#### 2.2.4. Özgül Yakıt Tüketimi

Motorun stabil çalışma durumunda kWh'lik iş başına tüketmesi gereken yakıtın gram cinsinden değeridir (g/kW.h). Eşitlik 2.7 ile hesaplanır.

$$FÖYT = \frac{\dot{m}_y}{P_e} \text{ (g/kWh)} \quad (2.7)$$

Tam yükte, 2000 d/d motor devrinde, E0 yakıtı kullanılarak, stokiyometrik hava/yakıt oranında (HFK=1), 8,8/1 sıkıştırma oranında motorun 161,92 g yakıt 2 dakikalık süre içerisinde tükettiği ölçülmüştür. Buna göre  $\dot{m}_y$ ,

$$\dot{m}_y = \frac{161,92 \cdot 60}{2} = 4857,73 \text{ g/h'dir.}$$

Eşitlik 2.5'teki motor gücü değerini Eşitlik 2.7'ye koyarsak. Fren özgül yakıt tüketimini bulmuş oluruz.

$$FÖYT = \frac{\dot{m}_y}{P_e} = \frac{4857,73}{18,84} = 257,84 \text{ g/kWh}$$

### 2.2.5. Efektif Verim

Motor milinden alınan gücün, motora verilmiş olan enerjisine oranına “Efektif Verim” denilmektedir.

$$\eta_e = \frac{P_e}{m_y \cdot H_u} \quad (2.8)$$

Tam yükte, 2000 d/d motor devrinde, E0 yakıtı kullanılarak, stokiyometrik hava/yakıt oranında (HFK=1), 8,8/1 sıkıştırma oranında bulunan verim.

Eşitlik 2.8 formülüne bilinen değerler yerleştirilirse efektif verim;

$$\eta_e = \frac{P_e}{m_y \cdot H_u} \cdot 1000 \cdot 3600 = \frac{18,84}{4857,73 \cdot 48104} \cdot 1000 \cdot 3600 = \%29,0 \text{ olarak bulunur.}$$

### 3. ARAŞTIRMA BULGULARI

#### 3.1. Motor Momenti ve Efektif Güç

Motorun iş yapabilme kabiliyetinin ölçüsü tork olarak tanımlanmaktadır. Bir motorda maksimum tork motorun orta devirleri civarında elde edilmektedir. İçten yanmalı motorlarda tork düşük ve yüksek devirlerde silindir içi dolgu miktarının azlığından ve yanma şartlarının bozulmasından dolayı düşük çıkmaktadır. Bu nedenle içten yanmalı motorlarda en verimli çalışma şartları orta devirler civarında elde edilmektedir. Düşük hızdan yüksek hıza doğru motor hızının artmasıyla tork değeri de artmaktadır.

Çalışmada yapılan deneylerde 95 oktan benzine karıştırılan etanol oranı arttıkça, motorun ilk harekete geçişinin zorlaştığı görülmüştür. Dinamometreden motor yükü değiştirilerek devirlerin artırılması sonucunda, motorun daha düzensiz çalıştığı görülmüştür.

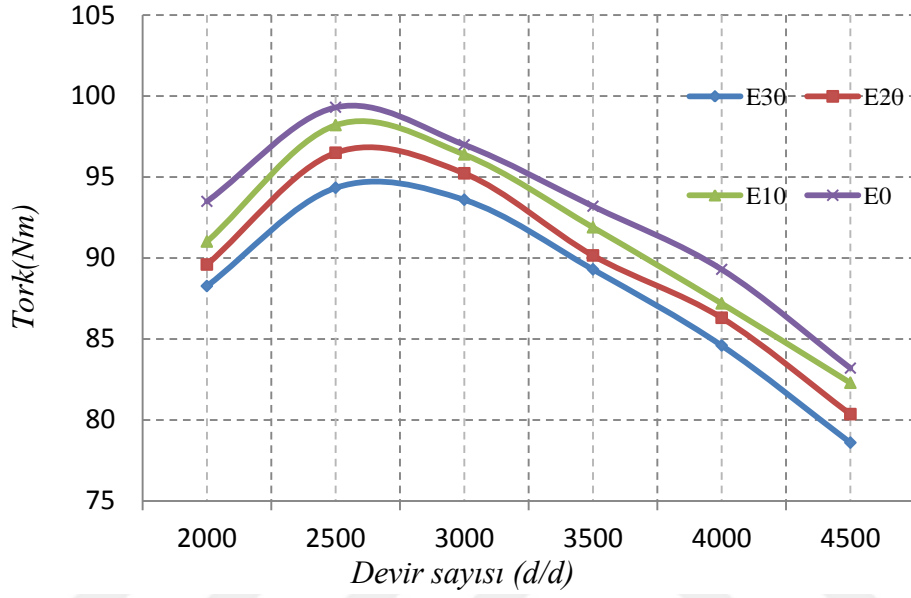
Etanolün yanma hızının benzinden fazla olması piston gaz basıncı ve ısı yayma miktarının daha fazla artmasına sebep olmaktadır. Bu durum benzinli çalışmaya göre etanol oranlarının artması ile birlikte motor torku ve sıcaklığını yükseltmektedir. Etanolün gizli buharlaşma ısısının yüksek olmasından dolayı etanol ilave edilmesiyle emme dolgusu sıcaklığı düşmekte ve emme yoğunluğu artmaktadır.

Alkollü yakıtların yapılarında oksijen bulunması ve bünyesinde yüksek buharlaşma ısısının bulunması, alkol yakıtı kullanıldığı vakit motor termik veriminin ve volumetrik verimin artmasına sebep olmaktadır. Benzin yakıtına kıyasla, alkollü yakıtların ısı değerleri düşüktür. Stokiyometrik hava/yakıt oranının fazla olması, motorun aynı çıkış gücü için daha fazla yakıt kullanmasına neden olur. Sonuç olarak bu durumda özgül yakıt tüketimini artırmaktadır [9].

Deney motorunun %100 gaz kelebeği açıklığında farklı devir sayısına göre motor momentinin değişimi Şekil 3.1’de verilmiştir.



Deney sonuçlarına göre motorun döndürme momenti %0'lık etanol (benzin) oranında 2500 d/d'da en yüksek değeri almıştır. En düşük değer ise %30 etanol-benzin karışım yakıtı ile yapılan ölçümde 4500 d/d'da elde edilmiştir. Grafik incelendiğinde her üç farklı yakıt karışımında maksimum motor momenti benzine göre sırasıyla E10 %2 E20 %3 ve E30 %5 azaldığı tespit edilmiştir.



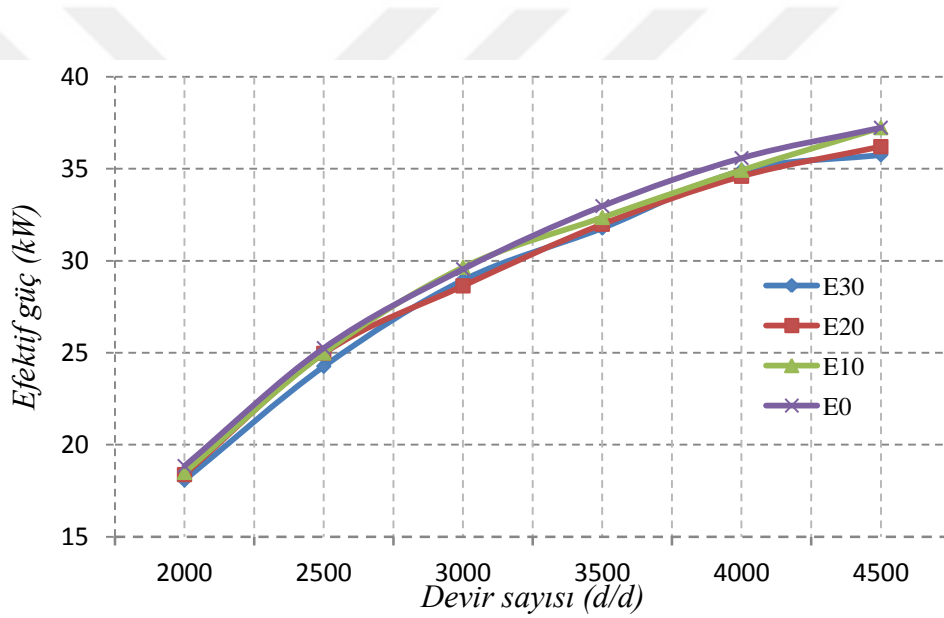
Şekil 3.1. Motorun döndürme momenti grafiği

İçten yanmalı motorlarda efektif güç ve moment devir sayısına bağlı olarak değişmektedir. Yakıt karışımındaki etanol oranı deney motorunun özgül yakıt tüketimini etkilemektedir. Benzinin alt ısı değeri etanolun yaklaşık 1,6 katı olduğundan dolayı, karışımındaki etanol miktarı yükseldikçe (E10, E20, E30) özgül yakıt tüketiminde de doğru orantılı arttığı görülmüştür.

Deneylerde 2000 d/d'da E0 yakıtı ile yapılan ölçümlerde E10 yakıtına göre %3 motor momentinin daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Dinamometrede motor yükü değiştirilerek 4500 d/d'da yapılan ölçümde en düşük motor momenti E30 yakıtında çıkmıştır.

Etanolün buharlaşma ısısının benzinden daha yüksek olması, soğuk iklim koşullarında motorun ilk harekete geçişini zorlaştırmaktadır. Biyokütleden elde edilen yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak bilinen etanol buji ile ateşlemeli motorlarda alternatif yakıt olarak değerlendirilmektedir. Benzine ilave edilen etanol miktarı arttıkça sıkıştırma oranına bağlı daha az motor vuruşu ortaya çıkar [53].

Motor efektif güç değerleri Şekil 3.2’de verilmiştir. Başlangıç ve bitiş devrinde (2000 – 4500 d/d) yakıt karışımlarına göre en iyi sonucu E10 yakıtı vermiştir. En düşük ortalama efektif güç değerleri E30 yakıtında görülmektedir. Aynı çalışma şartlarında yanma verimi daha yüksek olan etanol karışımlarından benzine göre daha yüksek güç elde edilebilmektedir.



Şekil 3.2. Motor efektif güç grafiği

Etanol – benzin karışımlarının ısısal değerinin benzine göre daha düşük olması sebebiyle tork azalması motor gücünü etkilemektedir.

### 3.2.Özgül Yakıt Tüketimi

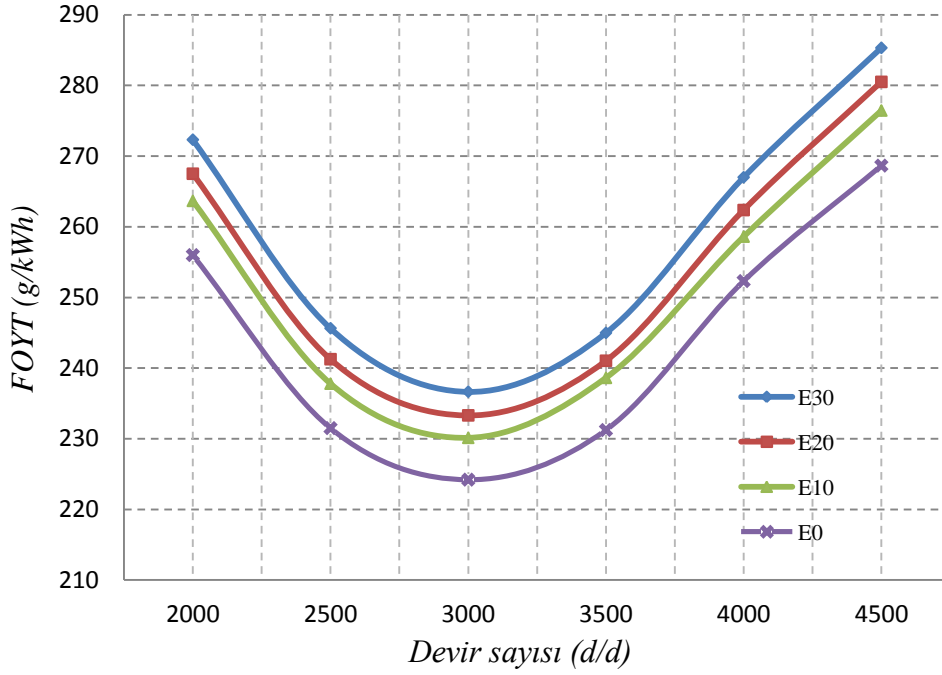
Fren özgül yakıt tüketimi, mevcut motorlarda kullanılan yakıtta kimyasal enerjisinin ısı enerjisine dönüşürkenki enerjinin ne kadarlık bir kısmının krank milindeki güce çevrildiğini gösterir. Mil özgül yakıt tüketimi ise benzer olarak motorun mil verimini belirleyen bir niteliktir [54].

İçten yanmalı motorlarda birim güç başına kullanılan yakıt miktarına fren özgül yakıt tüketimi denir. Çalışmada deneysel sonuçlardan elde edilen özgül yakıt tüketimi hesaplamaları Şekil 3.3'te verilmektedir. En yüksek fren özgül yakıt tüketimi 4500 d/d'da E30 karışımında, minimum yakıt tüketimi 3000 d/d'da E0 yakıtında belirlenmiştir. Bunun nedeni etanolün alt ısı değerinin benzinden düşük olmasındandır. İçten yanmalı motorlarda maksimum motor momentinin üretildiği devir aralığı en verimli çalışma bölgesi olarak kabul edilmektedir. Bu aralıkta volümetrik ve yanma veriminin yüksek olması özgül yakıt tüketimini düşürmekte, motor momentini artırmaktadır.

Biyometanol karışımlarının fren özgül yakıt tüketim değerinin fazla olmasının ana sebebi biyometanolün içeriğindeki enerjisinin %0 etanol (E0) yakıtına göre daha azdır.

Yakıt karışımındaki etanol oranı deney motorunun özgül yakıt tüketimini etkilemektedir. Benzinin alt ısı değeri etanolün yaklaşık 1,6 katı olduğundan dolayı, karışımındaki etanol miktarı yükseldikçe (E10, E20, E30) motordan aynı çıkış gücünün elde edilebilmesi için özgül yakıt tüketiminin arttığı görülmüştür.

İçten yanmalı motorlarda maksimum motor torkunun üretildiği devir aralığı en verimli çalışma bölgesi olarak kabul edilmektedir. Bu aralıkta volümetrik ve yanma veriminin yüksek olması özgül yakıt tüketimini düşürmekte, motor torkunu artırmaktadır.

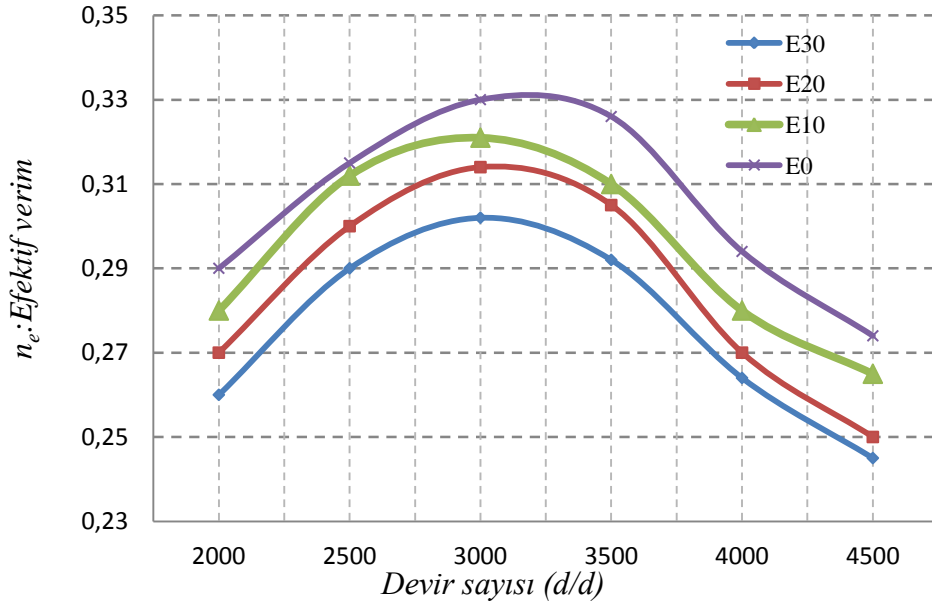


Şekil 3.3. Motorun özgül yakıt tüketim grafiği

### 3.3.Efektif Verim

İçten yanmalı motorlarda termik verim yakıtın yanması sonucuyla gerçekleşen ısı enerjisinin yararlı enerjiye dönüştürülme oranıdır. Etanol içeren deney yakıtlarında efektif verim, Şekil 3.4'te verildiği gibi benzin (E0) yakıtına göre daha yüksek olmaktadır. Bu artış özellikle düşük motor devirlerinde daha belirgindir. Etanolün düşük ısı değerine rağmen benzine kıyasla daha yüksek motor momenti ve efektif güç sağlaması efektif verimin artmasına katkıda bulunmaktadır.

Karışıma etanol ilavesiyle yakıtlarda güç artışına göre yakıt tüketimi fazla olsa da ısı değerindeki düşüş sebebiyle efektif verimde artış görülür. Efektif verim bakımından ortalama en yüksek değeri E0 yakıtı vermektedir. En yüksek efektif verimi 3000 d/d'da E0 yakıtı vermiştir.



**Şekil 3.4.** Motor efektif verim grafiği

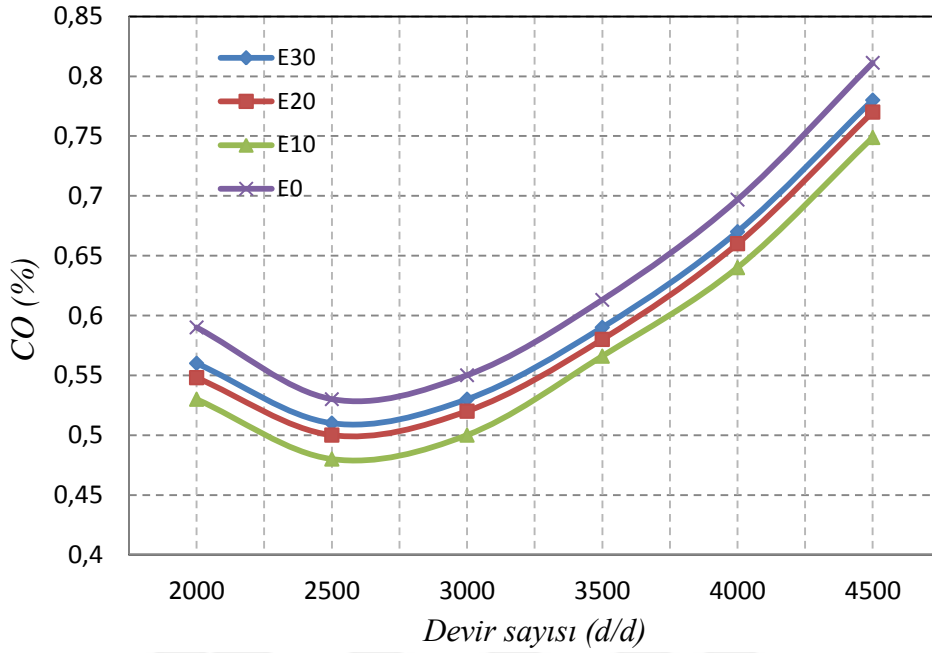
### 3.4.Egzoz Emisyonları

Çevre açısından değerlendirildiğinde içten yanmalı motorların hava kirliliğinde önemli etkisi bulunmaktadır. Son yıllarda fosil yakıtların çevreye olan zararlarının azaltılması amacıyla alternatif yakıt araştırmaları hız kazanmıştır. Çalışmada benzine ilave edilen etanol miktarlarının CO, HC, CO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> egzoz emisyonlarına etkisi incelenmiştir. Benzin-etanol karışımlarına bağlı olarak farklı konsantrasyonlar için emisyon değerlerindeki değişimler araştırılmıştır.

#### 3.4.1. CO emisyonlarının değerlendirilmesi

Tüm motor devirlerinde stokiyometrik hava/yakıt oranında gerçekleştirilen deneylerde CO emisyonu Şekil 3.5'te verildiği gibi motor devrine bağlı olarak değişim göstermektedir. Deneylerde artan motor devrine bağlı olarak etanol içeren karışımlarda CO emisyonu küçük bir artış gösterirken, E0 yakıtında daha yüksek değerler tespit edilmiştir.

CO emisyonunda, etanol içeren karışımlarda E0 yakıtına göre azalma görülürken, ortalama olarak maksimum azalma E10 yakıtıyla elde edilmiştir.

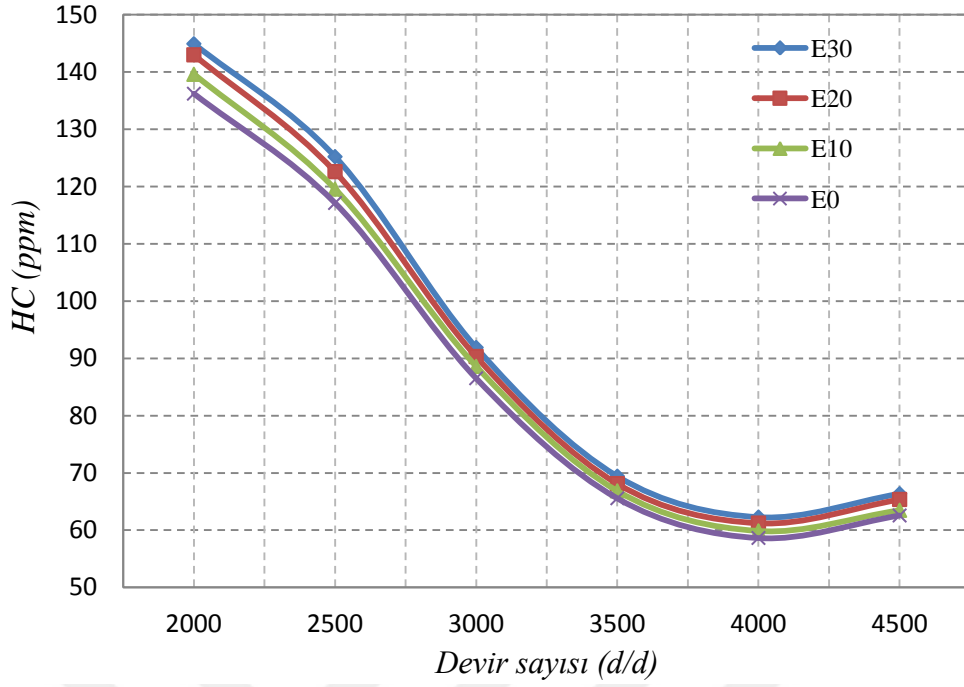


Şekil 3.5. Motor devrine bağlı olarak CO emisyonunun değişimi

### 3.4.2. HC emisyonlarının değerlendirilmesi

Hidrokarbon emisyonu egzozdan atılan yanmamış yakıtlardan oluşmaktadır.

HC emisyonunun motor devrine bağlı olarak değişimi Şekil 3.6'da görülmektedir. Stokiyometrik hava/yakıt oranında gerçekleştirilen deneylerde HC emisyonu, bütün test yakıtlarında Şekil 3.6'da verildiği gibi artan motor devrine bağlı olarak azalmaktadır. Motor devrinin artması ile birlikte silindir içerisinde daha homojen bir karışım meydana gelmesi nedeniyle HC emisyonları azalma eğilimi göstermektedir. HC emisyonlarının oluşumunda zaman kadar sıcaklık da büyük önem taşımaktadır. Silindir içerisindeki sıcaklığın artması HC emisyonlarının azaltmaktadır. E0 yakıtına göre ortalama olarak maksimum azalma E30 yakıtında görülmüştür. Minimum HC emisyon değeri 4000 d/d'da E0 yakıtında, maksimum HC emisyon değeri 2000 d/d'da E30 yakıtında görülmüştür.



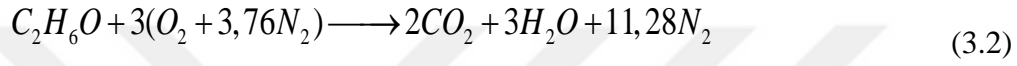
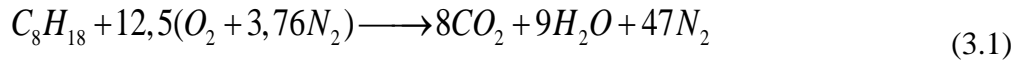
**Şekil 3.6.** Motor devrine bağlı olarak HC emisyonunun değişimi

Hidrokarbon emisyonundaki azalış, taşıtın hızındaki yükseliş ile beraber motoru belirli devrindeki yükseliş ile tarif edilebilir. Çünkü motorun devir sayısı arttıkça, pistonlar içindeki yakıtın yanma işlemi sonucunda yanmanın sonunda sıcaklığı artacak ve yanma uygun bir hal alacaktır. Böylece, etanoldaki oksijen gazının bileşeni karışımdaki hava oranını yükseltip karışımı belirli bir miktar fakir hale getirir. Silindirlerdeki yakıtın hacimsel olarak bünyesindeki hidrokarbon bileşiği azalır. Silindire alınan hidrokarbon bileşiği miktarındaki azalma yanma sonucunda medyana gelen hidrokarbon emisyonlarında azalış olmasına sebep olur. Bununla beraber etanollü yakıtlar kolayca buharlaşabilmesi ile yanmanın mükemmel olmasını sağlaması hidrokarbon gazının emisyonlarını azaltmıştır.

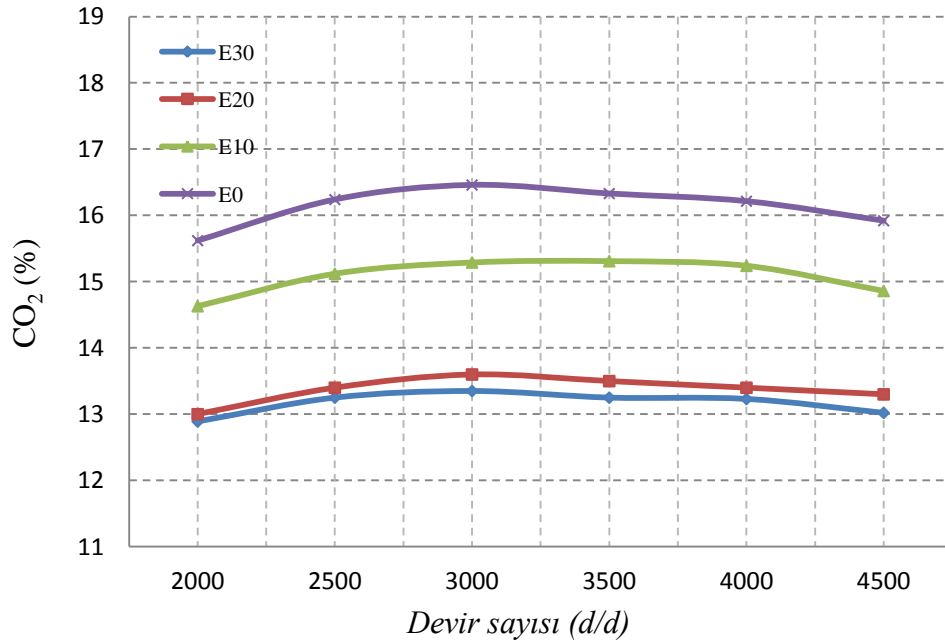
### 3.4.3. CO<sub>2</sub> emisyonlarının değerlendirilmesi

Karbon bileşikli yakıtlar yanma işlemi sonucunda CO<sub>2</sub> emisyonu açığa çıkar. CO<sub>2</sub> gazının emisyonunda artış olması silindirler üzerine alınan yakıt yanmasının tam

yanmaya daha yakın olduğunu belirtmektedir. Test motorunun Şekil 3.7.'de verilen deneysel sonuçlara göre en düşük CO<sub>2</sub> emisyon değeri dakikada 2000 devirde E30 yakıtında ölçülmüştür. En yüksek CO<sub>2</sub> emisyon değeri dakikada 2500 devirde E0 yakıtında ortaya çıkmıştır. Benzinin ve saf etanolün tam yanma denklemleri Eşitlik (3.1-3.2)'de verilmektedir. Yanma denklemlerinden her kg benzin başına 3,08 kg CO<sub>2</sub>, her kg saf etanol başına 1,91 kg CO<sub>2</sub> ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle benzine ilave edilen etanol CO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltmaktadır.



Etanollü yakıtlar kolayca buharlaşabildiği ve daha temiz yanmasından dolayı yanma olayı tam yanmaya daha yakın olacak ve CO<sub>2</sub> emisyon gazının değerleri daha az olacaktır.



Şekil 3.7. Motor devrine bağlı olarak CO<sub>2</sub> emisyonunun değişimi



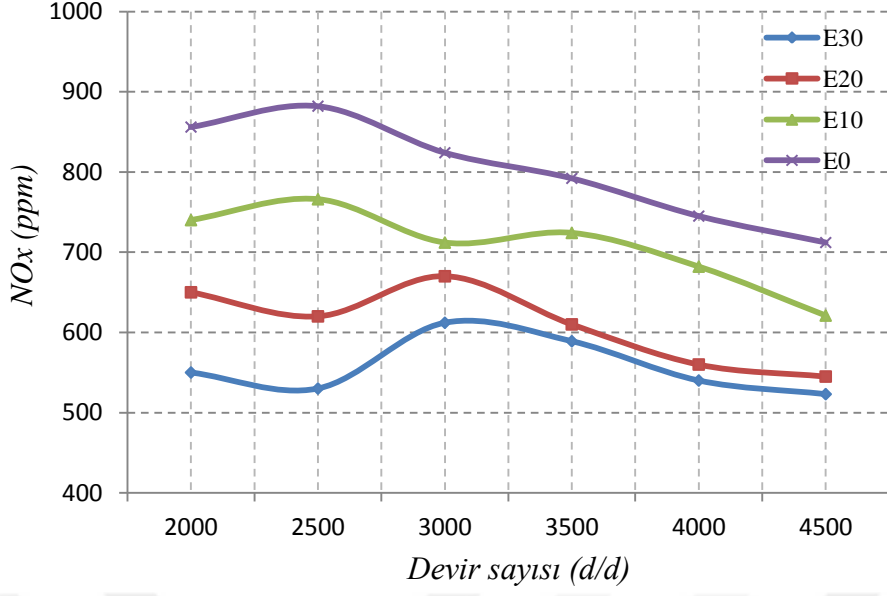
#### 3.4.4. NO<sub>x</sub> emisyonlarının değerlendirilmesi

Silindirde yüksek basınç ve sıcaklık yanma sırasında azotların oksijen ile tepkiye girmesi sonucu azotoksit oluşur. Azotoksitin oluşumu yüksek sıcaklık ve basınçtayken motora fazla yüklenmeler olması durumunda gerçekleşir. NO<sub>x</sub> oluşmasındaki diğer nedenler ise, ateşleme avans değerinin fazla olması, motora alınan hava sıcaklığının fazla olması, aşırı ısınan motor, EGR sisteminin hatalı olması ve hava – yakıt oranının fakir olmasıdır.

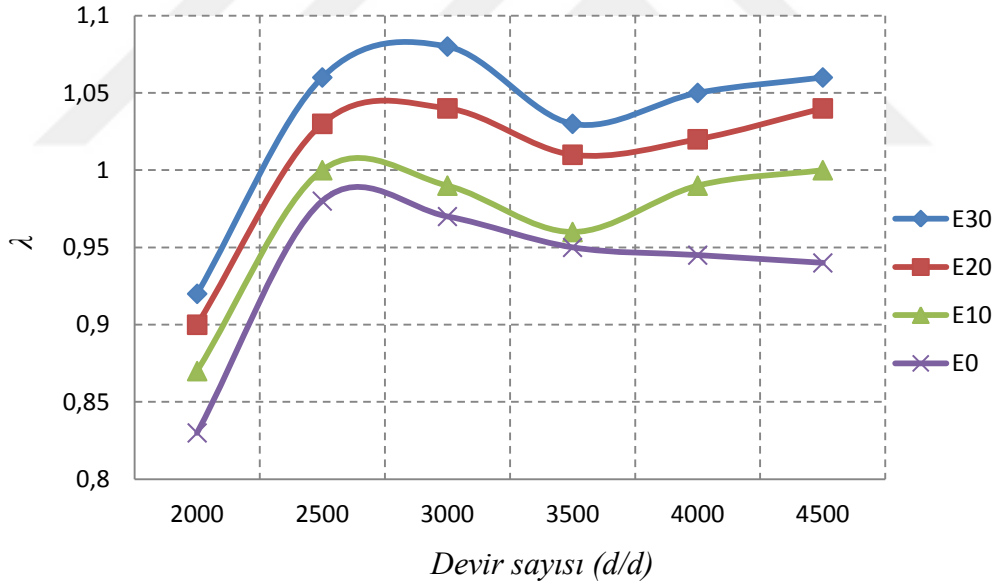
Etanol ve benzinli karışım yakıtlarında egzoz çıkışındaki NO<sub>x</sub> (azotoksit) gazı emisyonları, etanol yakıtının benzin yakıtına kıyasla daha fazla buharlaşma ısısına sahip olması sebebiyle düşüş göstermiştir. E10 (%10 etanol-%90 benzin) ve E30 (%30 etanol-%70 benzin) yakıtlarında katalitik konvertörün NO<sub>x</sub> emisyonlarını çevirebildiği birden fazla çalışma durumlarında E0'dan biraz daha az olduğu gözlenmiştir. Ama egzoz borusu çıkışındaki NO<sub>x</sub> emisyonları, üç yakıt için de birbirine çok benzer değerlerde kalmıştır [59].

Şekil 3.8'de motor devrine göre NO<sub>x</sub> gazı miktarlarının değişimi görülmektedir. NO<sub>x</sub> emisyonları bakımından tüm devirlerde en düşük sonuçları E30 yakıtı vermiştir. En yüksek değerler ise tüm devirler için E0 yakıtıdır.

Etanolün buharlaşmasının yüksek olması karışım sıcaklığını düşüreceğinden dolayı NO<sub>x</sub> emisyonları düşük çıkmaktadır.



Şekil 3.8. Motor devrine bağlı olarak NO<sub>x</sub> emisyonunun değişimi



Şekil 3.9. Motor devrine bağlı olarak  $\lambda$  değişimi

NO<sub>x</sub> emisyon değerlerinde  $1 < \lambda < 1,05$  aralığında değer alan veya daha yakın olan yakıtlar diğer yakıtlara göre daha yüksek değerler almışlardır. Artan silindir içi sıcaklığın etkisi ve yakıt içeriğindeki O<sub>2</sub>'nin fazlalığının etkisi etkili olmuştur.

## 4. ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ

Çalışmada deney motorunda dört farklı yakıt karışımı için yapılan ölçüm değerleri kullanılarak ekserji ve enerji analizleri yapılmıştır. Analizler yapılırken Çizelge 4.1.'de ölçülen değerler kullanılmıştır. Enerji analizinde motor kayıplarının egzoz gazları, soğutma suyu ve radyasyonla olduğu kabul edilmiştir.

**Çizelge 4.1.** Motor efektif güç değerleri hesaplamalarında kullanılan ölçüm değerleri

Özellik	Ölçülen Değerler
Soğutma Suyu Debisi	0,5 (kg/s)
Soğutma Suyu Motor Çıkış Sıcaklığı	346 (K)
Soğutma Suyu Motor Giriş Sıcaklığı	343 (K)

### 4.1. Enerji Analizi

İçten yanmalı motorlarda enerji analizleri yapılırken kullanılan genel kütle ve enerji denklemleri sırasıyla Eşitlik 4.1 - 4.2'de verilmiştir. Çalışmada birinci yasa hesaplamalarında aşağıdaki kabuller yapılmıştır.

- Motor sürekli rejim şartlarındadır.
- Silindir içerisindeki hava ve egzoz gazları ideal gaz olarak alınmıştır.
- Kinetik ve potansiyel enerji değişimleri göz ardı edilmiştir.

$$\sum \dot{m}_{giren} = \sum \dot{m}_{çıkan} \quad (4.1)$$

$$Q - \dot{W} = \sum \dot{m}_{çıkan} \cdot h_{çıkan} - \sum \dot{m}_{giren} \cdot h_{giren} \quad (4.2)$$

Çalışmada testleri yapılan buji ile ateşlemeli motorda kontrol hacmine giren enerji, farklı etanol-benzin karışımlarının alt ısıl değerlerinden yararlanarak Eşitlik 4.3'ten

hesaplanan kimyasal enerjiye eşittir. Motorda alınan net güç; açısal hız ve tork kullanılarak Eşitlik 4.4'ten hesaplanmıştır. Enerji verimi ise Eşitlik 4.5'ten hesaplanmıştır.

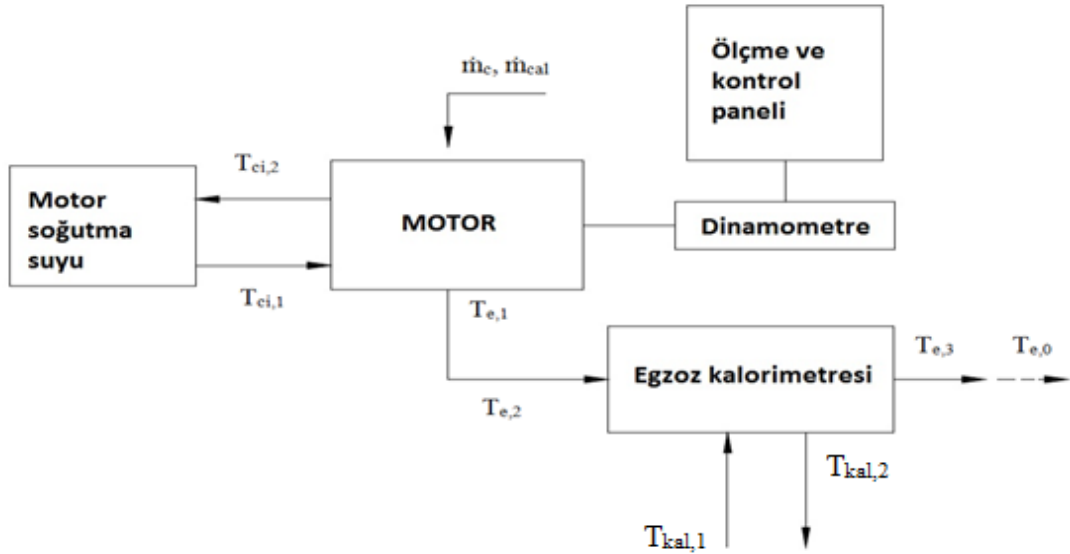
$$\dot{E}_{\text{yakıt}} = \dot{m}_{\text{yakıt}} \cdot Q_{\text{LVH}} \quad (4.3)$$

$$\dot{W} = \omega \cdot M \quad (4.4)$$

$$\text{Enerji verimi} = \frac{\text{Toplam enerji çıkışı}}{\text{Toplam enerji girişi}}$$

$$\eta_I = \frac{\sum \dot{E}_c}{\sum \dot{E}_g} \quad (4.5)$$

Şekil 4.1.'de termodinamik analizlerde kullanılan akış şeması yer almaktadır.



**Şekil 4.1.** Termodinamik analizlerde kullanılan akış şeması

Birinci yasa analizleri yapılırken Şekil 4.1.'de verilen akış şemasından görüldüğü gibi motordan soğutma suyu, egzoz gazı ve radyasyon yoluyla kaybedilen enerji toplam ısı kaybı olarak kabul edilmiştir. Çalışmada ısı kayıpları hesaplanırken;

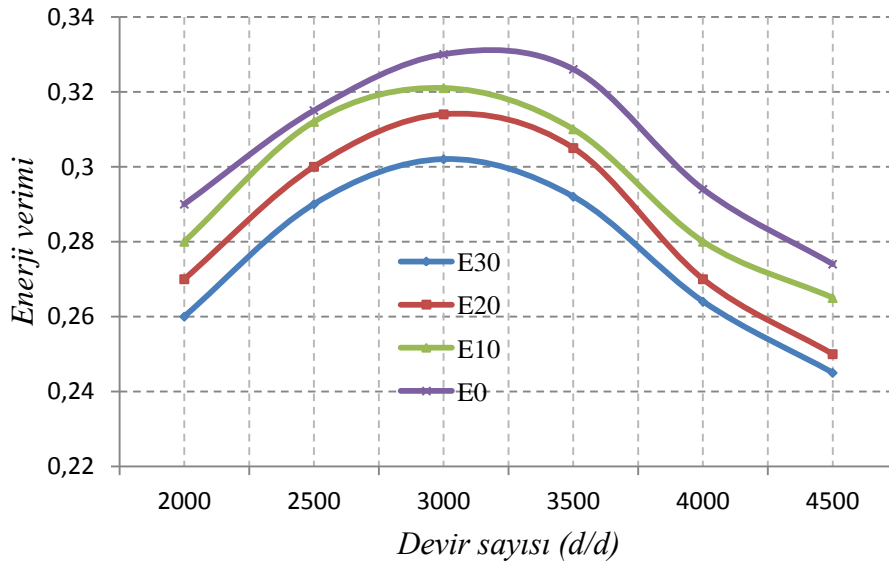
motordan soğutma suyu aracılığıyla atılan ısı enerjisi Eşitlik 4.6, egzoz ile atılan ısı enerjisi Eşitlik 4.7 ve radyasyonla atılan ısı enerjisi Eşitlik 4.8 kullanılmıştır.

$$\bar{Q}_{ci} = \dot{m}_c \cdot C_{p_c} (T_{ci,2} - T_{ci,1}) \quad (4.6)$$

$$\bar{Q}_e = \frac{\dot{m}_{kal} \cdot C_{p_{kal}} \cdot (T_{kal,2} - T_{kal,1})}{T_{e,2} - T_{e,3}} (T_{e,1} - T_{e,0}) \quad (4.7)$$

$$\bar{Q}_{rad} = \dot{E}_{yakıt} - \dot{W} - \bar{Q}_{ci} - \bar{Q}_e \quad (4.8)$$

Deney motorunun tam yükte farklı devrilerde Şekil 4.2.'de verilen enerji analizi sonuçlarına göre motora verilen yakıt miktarı arttıkça motordan daha fazla güç elde edilmektedir. Motor devrinin dakikada 2500 devire kadar enerji verimliliğinin arttığı, 2500 devirden sonra ise kayıpların artışına bağlı olarak düştüğü gözlemlenmiştir.



Şekil 4.2. Motor devrine bağlı olarak enerji verimleri

## 4.2. Ekserji Analizi

Çalışmada kullanılan buji ile ateşlemeli motorda etanol-benzin karışimli yakıtlardan elde edilen kimyasal enerjinin birinci yasa analizi ile enerji dengesi, ikinci yasa analiz yardımıyla maksimum kullanılabilirlik hesaplanmıştır. Yakıtın kimyasal enerjisinden elde edilen ısı enerjisinden motordaki tersinmezlikler çıkartılarak maksimum kullanılabilirlik hesaplanabilir [60].

Ekserji verimi Eşitlik 4.9'dan hesaplanabilir. Test motorunun Eşitlik 4.10 kullanılarak ekserji denkliği yazılabilir. Soğutma suyu ile olan ısı geçişine eşlik eden ekserji Eşitlik 4.11'dan hesaplanabilir.

$$\text{Ekserji verimi} = \frac{\text{Toplam ekserji girişi} - \text{Toplam ekserji kaybı}}{\text{Toplam ekserji girişi}}$$

$$\eta_{II} = 1 - \frac{\sum \dot{E}x_L}{\sum \dot{E}x_g} \quad (4.9)$$

$$\dot{X}_{ısı} - \dot{X}_{iş} + \sum \dot{m}_{giren} \psi_{giren} - \sum \dot{m}_{çıkan} \psi_{çıkan} - \dot{X}_{atıl} = 0 \quad (4.10)$$

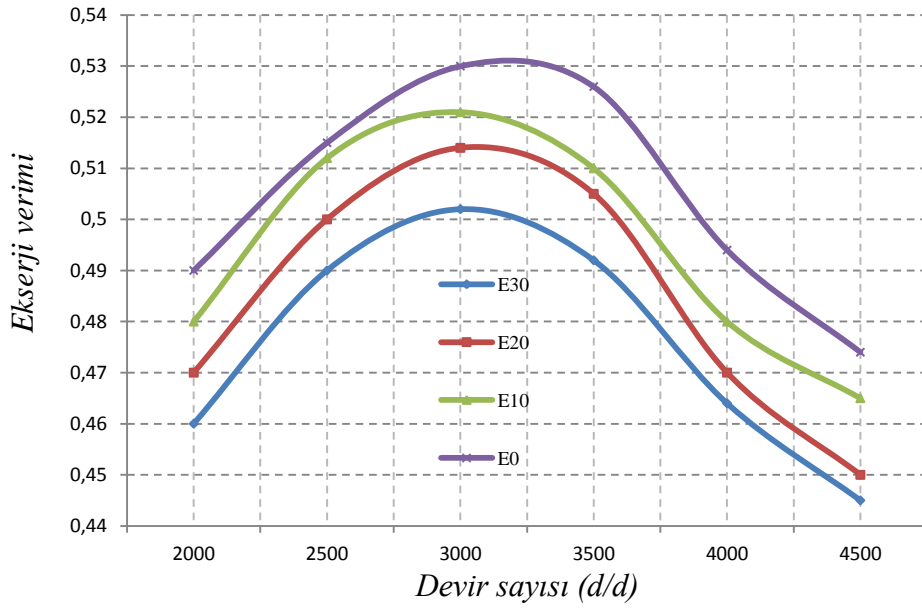
$$\dot{X}_{ci} = \sum \left(1 - \frac{T_0}{T_{cia}}\right) Q_{ci} \quad (4.11)$$

$$T_{cia} = \frac{(T_{ci,1} + T_{ci,2})}{2} \quad (4.12)$$

Motordan radyasyonla olan ekserji geçişi, motor yüzey sıcaklığının 90 °C olduğu bir anda Eşitlik 4.13'den hesaplanmıştır. Hesaplamalarda iş ile gerçekleşen ekserji geçişi motor gücüne eşit olarak alınmıştır. Motora giren yakıtın kimyasal enerjisi giren ekserji olarak kabul edilmiştir. Analizlerde test motoru için çevre şartları 20 °C olarak alınmıştır.

$$\dot{X}_{rad} = \sum \left(1 - \frac{T_0}{T_{motor}}\right) Q_{rad} \quad (4.13)$$

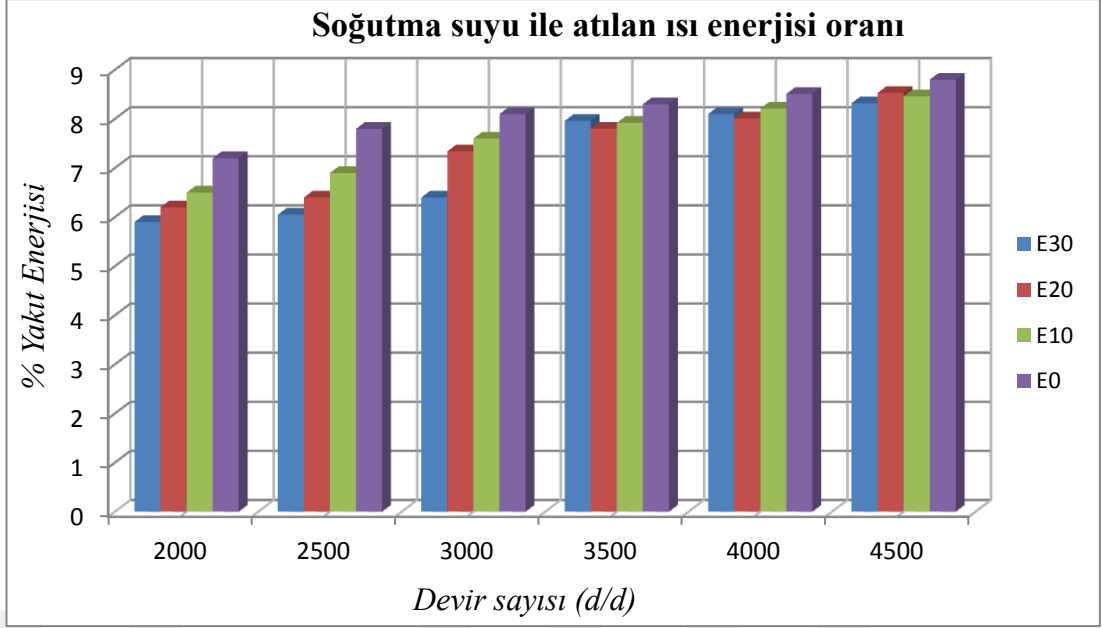
Şekil 4.3.'te verildiği gibi yakıt karışımlarının farklı motor devirleri için ekserji verimleri hesaplanmıştır. Yapılan analiz sonucu maksimum ekserji verimi dakikada 3000 devirde E0 yakıtı için 0,53 minimum ekserji ise dakikada 4500 devirde E30 yakıtında 0,45 olarak hesaplanmıştır. Literatür çalışmaları incelendiğinde ekserji veriminin, enerji veriminden daha büyük olduğu görülmektedir [61].



Şekil 4.3. Motor devrine bağlı olarak ekserji verimleri

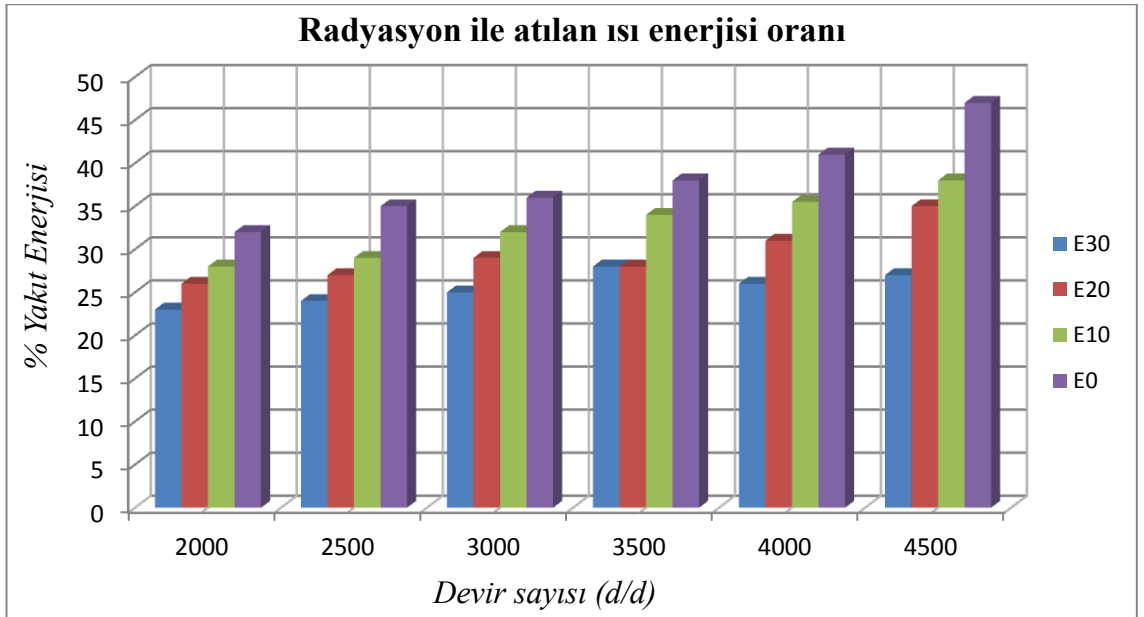
Farklı motor devirleri ve farklı yakıt türlerine göre hesaplama sonucunda soğutma suyu enerjisi Şekil 4.4.'te gösterilmiştir. Soğutma suyu enerji değerleri motor efektif güç değeri en yüksek olan E0 yakıtında (benzin) görülmektedir.

Efektif güç değeri arttıkça motor silindiri içerisindeki sıcaklık yükseleceğinden dolayı soğutma suyu enerjisi fazla olmuştur.



**Şekil 4.4.** Farklı motor yüklerine bağlı soğutma suyu ile atılan ısı

Deney motoru verim kaybı Şekil 4.5.'te radyasyon ile ısı atımı oranına göre yüzdesel olarak gösterilmiştir. Radyasyon ile atılan ısı enerjisi en fazla E0 yakıtı ile dakikada 4500 devirde %47 oranında hesaplanmış olup, devir arttıkça güç artmasından dolayı radyasyon ile atılan ısı yükselmiştir.

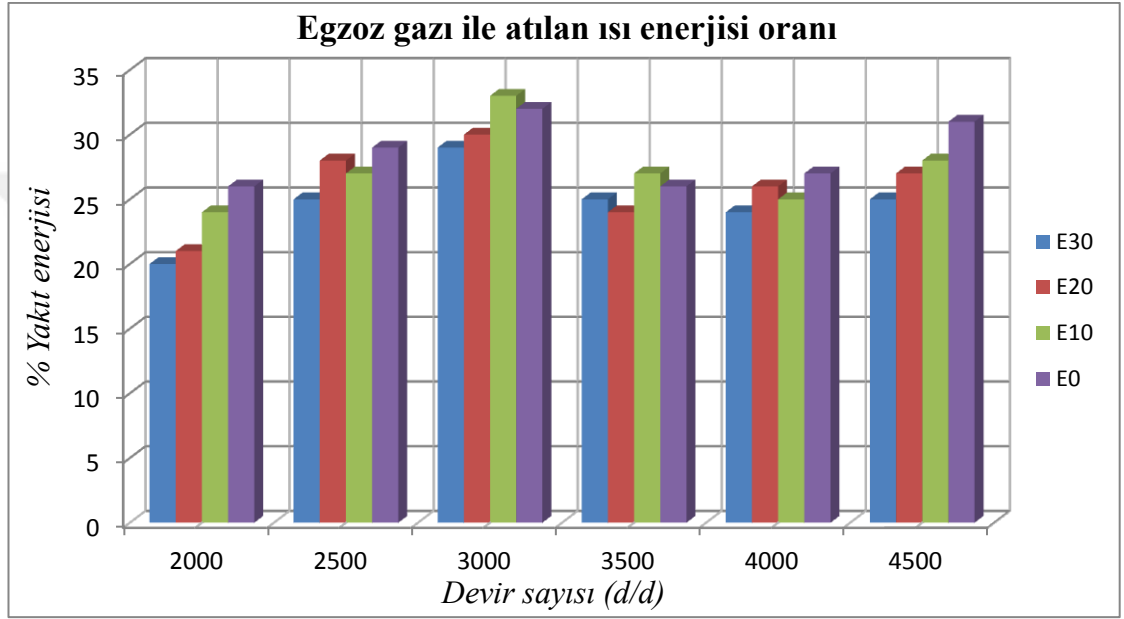


**Şekil 4.5.** Farklı motor yüklerine bağlı radyasyon ile atılan ısı enerjisi



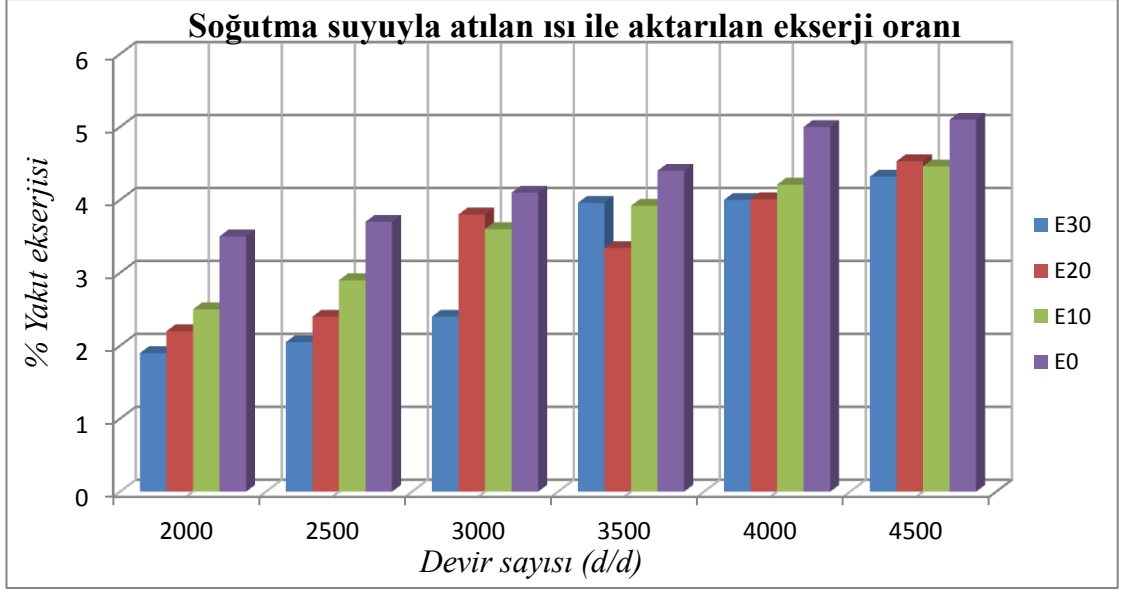
Yakıt yanması sonucunda oluşan yanma sonu ürünlerinin yüzdesel olarak mol kesirleri homojen su gazı dengesi yaklaşımı ile hesaplanmış olup egzoz enerjisi bulunmuştur. Motorlarda zengin karışım bölgelerinde veya fakir yanmalı çalışmaya tekabül eden hallerde yanma ürünleri arasında iki oksijen olmaktadır [62].

Şekil 4.6.'da farklı motor ve farklı yakıt karışımlarında egzoz gazı ile atılan ısı oranı yüzdesel olarak gösterilmiştir.

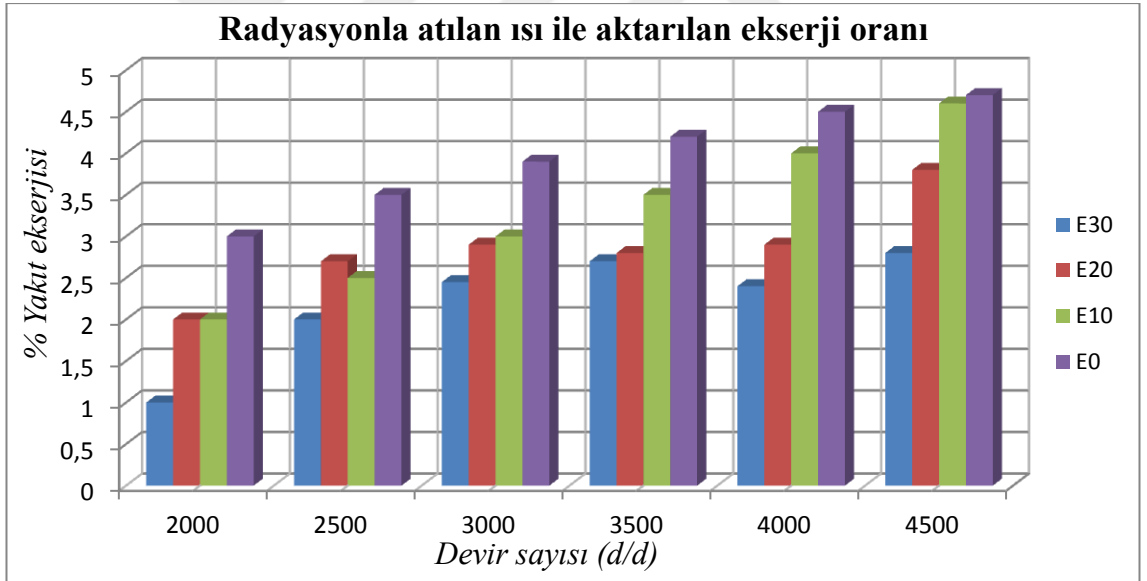


Şekil 4.6. Farklı motor yüklerine bağlı egzoz gazı ile atılan ısı enerjisi

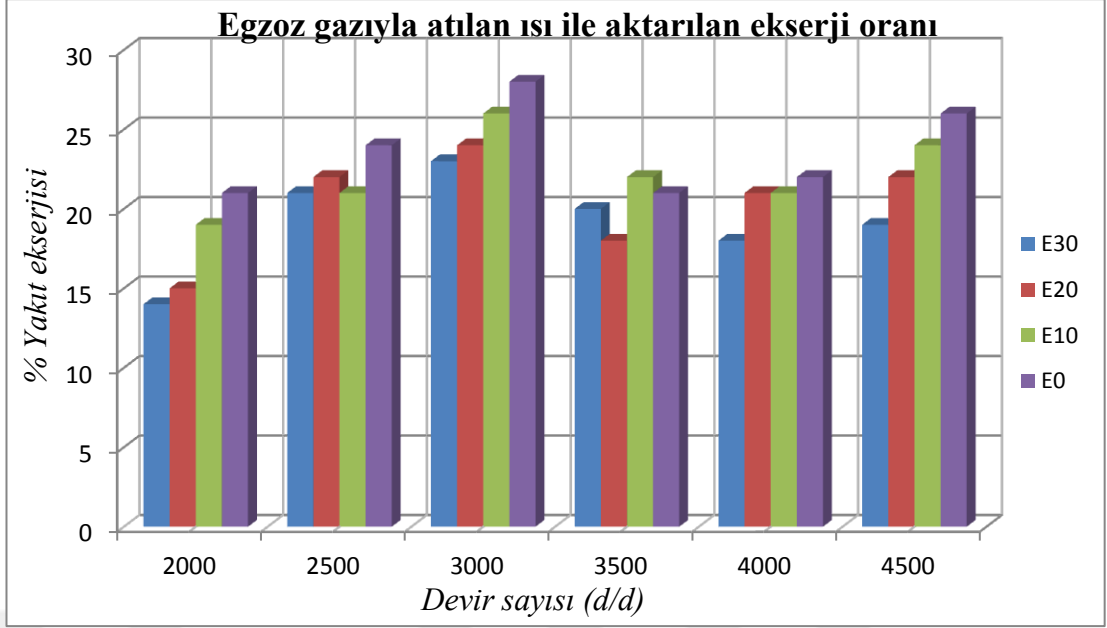
Şekil 4.7.'de soğutma suyu ile kaybolan ekserji oranı düşük devirlerde düşük olup, devir sayısı arttıkça bu oran artmaktadır. Soğutma suyu ile atılan ısı oranı da aynı eğilimi göstermektedir. Ortalama olarak soğutma suyu ile kaybolan ekserji %3-4 civarındadır. Şekil 4.8.'de radyasyonla ekserji kaybı görülmektedir. Şekil 4.9.'da egzoz gazı ile ekserji kayıp oranına göre dakikada 3000 devirde E0 yakıtında en yüksek değeri almıştır. Ortalama egzoz gazı ile ekserji kaybı %21 civarında hesaplanmıştır. Egzoz gazı ile ekserji kaybının diğer ekserji kayıplarından daha fazla olduğu görülmüştür.



**Şekil 4.7.** Farklı motor yüklerine bağlı soğutma suyu ile aktarılan ekserji

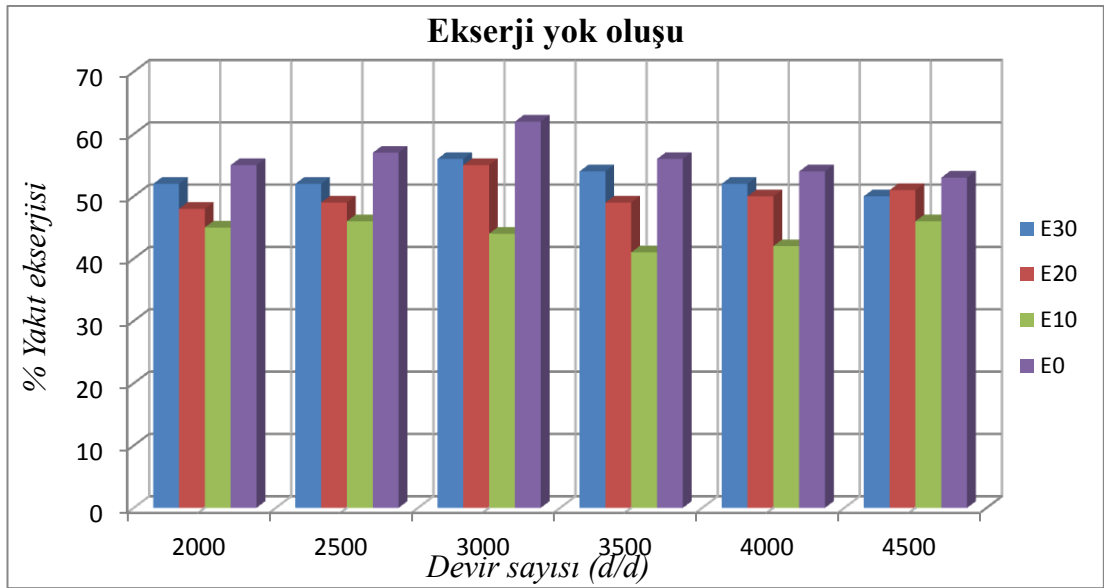


**Şekil 4.8.** Farklı motor yüklerine bağlı radyasyon ile aktarılan ekserji



**Şekil 4.9.** Farklı motor yüklerine bağlı egzoz gazı ile aktarılan ekserji

Ekserji analizi ile ısı ve kütle geçişi sırasında Şekil 4.10.'da verilen ekserji yok oluşu hesaplanmıştır. Şekil 4.10. incelendiğinde en fazla ekserji yok oluşu E0 yakıtında dakikada 3000 devirde olmuştur. Yanma sürecindeki tersinmezlik değerlerinin büyük olması ekserji yok oluşu oranlarının yüksek olmasına neden olmaktadır.



**Şekil 4.10.** Farklı motor yüklerine bağlı ekserji yok oluşu

## 5. HATA ANALİZİ CHAUVENET KRİTERİ

Bütün deneylerde elde edilen veriler belirli bir şekilde analiz edilmelidir. Deneyler yapıldıktan sonra deney sonuçlarının geçerliliğini bilmek amaçlı olarak Chauvenet Kriterini kullanılmıştır.

Chauvenet Kriteri, ölçüm sonuçlarında elde edilen deneysel sonuçların şüpheli olanlarının elimine edilmesi amacıyla kullanılmıştır.

Kriteri kullanabilmek için öncelikle yapılan deneye ait  $\sigma$  standart sapma ve bütün sonuçlara ait  $d_i$  sapmalarını bulunmuştur. Bundan sonra her bir deneysel bulgu kabul edilebilir maksimum sapmanın, standart sapmaya oranı  $d_{\max} / \sigma$  ile karşılaştırılmıştır.

\*Deney sonuçlarının aritmetik ortalaması Eşitlik 5.1 ile hesaplanmıştır [63].

$$\text{Aritmetik ortalama: } x_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (5.1)$$

\*Sapmaların mutlak ortalaması Eşitlik 5.2 ile hesaplanmıştır [63].

$$\text{Sapmaların mutlak ortalaması: } \overline{|d_i|} = \sum_{i=1}^n |x_i - x_m| \quad (5.2)$$

\*Standart sapma Eşitlik 5.3 ile hesaplanmıştır [63].

$$\text{Standart Sapma: } \sigma = \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - x_m)^2 \right]^{1/2} \quad (5.3)$$

\*Değişiklik Eşitlik 5.4 ile hesaplanmıştır [63].

$$\text{Değişiklik (varyans): } \sigma^2 \quad (5.4)$$

\*Örnek standart sapma Eşitlik 5.5 ile hesaplanmıştır [63].

$$\text{Örnek standart sapma: } \sigma = \left[ \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - x_m)^2 \right]^{1/2} \quad (5.5)$$

Hata analizinde Chauvenet Kriteri uygulanması sonucunda sonuçlar aşağıdaki gibidir.

Motorun döndürme momenti için tüm deney yakıtlarına göre Chauvenet Kriteri uygulanmasının sonuçları Çizelge 5.1.'de gösterilmiştir.

**Çizelge 5.1.** Motorun döndürme momentine Chauvenet Kriteri uygulaması

Yakıt Türü	E30	E20	E10	E0	Chauvenet Kriter Uygunluğu (<1,54)
	di/σ	di/σ	di/σ	di/σ	
2000	1,04	0,44	0,18	1,29	UYGUN
2500	1,27	0,27	0,52	1,02	UYGUN
3000	1,31	0,21	0,56	0,96	UYGUN
3500	1,05	0,56	0,43	1,18	UYGUN
4000	1,15	0,27	0,17	1,25	UYGUN
4500	1,22	0,37	0,58	1,02	UYGUN

Motorun efektif verimi için tüm deney yakıtlarına göre Chauvenet Kriteri uygulanmasının sonuçları Çizelge 5.2.'de gösterilmiştir.

**Çizelge 5.2.** Motor efektif güce Chauvenet Kriteri uygulaması

Yakıt Türü	E30	E20	E10	E0	Chauvenet Kriter Uygunluğu (<1,54)
	di/σ	di/σ	di/σ	di/σ	
2000	1,16	0,24	0,14	1,26	UYGUN
2500	1,42	0,23	0,28	0,92	UYGUN
3000	0,5	1,16	0,93	0,73	UYGUN
3500	0,94	0,55	0,15	1,34	UYGUN
4000	0,23	0,98	0,19	1,4	UYGUN
4500	1,14	0,55	0,84	0,84	UYGUN

Motorun özgül yakıt tüketimi için tüm deney yakıtlarına göre Chauvenet Kriteri uygulanmasının sonuçları Çizelge 5.3.'de gösterilmiştir.

**Çizelge 5.3.** Motor özgül yakıt tüketimine Chauvenet Kriteri uygulaması

Yakıt Türü	E30	E20	E10	E0	Chauvenet Kriter Uygunluğu (<1,54)
	di/σ	di/σ	di/σ	di/σ	
2000	1,08	0,38	0,18	1,29	UYGUN
2500	1,1	0,37	0,21	1,27	UYGUN
3000	1,05	0,42	0,18	1,3	UYGUN
3500	1,04	0,35	0,06	1,34	UYGUN
4000	1,12	0,37	0,24	1,25	UYGUN
4500	1,08	0,39	0,18	1,29	UYGUN

Motorun efektif verimi için tüm deney yakıtlarına göre Chauvenet Kriteri uygulanmasının sonuçları Çizelge 5.4.'de gösterilmiştir.

**Çizelge 5.4.** Motor efektif verimine Chauvenet Kriteri uygulaması

Yakıt Türü	E30	E20	E10	E0	Chauvenet Kriter Uygunluğu (<1,54)
	di/σ	di/σ	di/σ	di/σ	
2000	1,16	0,38	0,38	1,16	UYGUN
2500	1,24	0,37	0,67	0,94	UYGUN
3000	1,25	0,23	0,36	1,12	UYGUN
3500	1,16	0,23	0,13	1,26	UYGUN
4000	0,99	0,53	0,23	1,3	UYGUN
4500	1,01	0,64	0,49	1,16	UYGUN

Motorun CO emisyonu değişimi için tüm deney yakıtlarına göre Chauvenet Kriteri uygulanmasının sonuçları Çizelge 5.5.'de gösterilmiştir.

**Çizelge 5.5.** CO emisyonunun değişime Chauvenet Kriteri uygulaması

Yakıt Türü	E30	E20	E10	E0	Chauvenet Kriter Uygunluğu (<1,54)
	di/σ	di/σ	di/σ	di/σ	
2000	1,12	0,36	1,07	1,31	UYGUN
2500	0,24	0,24	1,2	1,2	UYGUN
3000	0,24	0,24	1,2	1,2	UYGUN
3500	1,14	0,37	1,07	1,3	UYGUN
4000	0,14	0,28	1,13	1,27	UYGUN
4500	0,1	0,29	1,1	1,3	UYGUN

Motorun HC emisyonu değişimi için tüm deney yakıtlarına göre Chauvenet Kriteri uygulanmasının sonuçları Çizelge 5.6.'da gösterilmiştir.

**Çizelge 5.6.** HC emisyonunun değişime Chauvenet Kriteri uygulaması

Yakıt Türü	E30	E20	E10	E0	Chauvenet Kriter Uygunluğu (<1,54)
	di/σ	di/σ	di/σ	di/σ	
2000	1,04	0,54	0,35	1,23	UYGUN
2500	1,16	0,42	0,44	1,13	UYGUN
3000	1,11	0,43	0,32	1,22	UYGUN
3500	1,16	0,38	0,38	1,16	UYGUN
4000	1,12	0,46	0,4	1,18	UYGUN
4500	1,11	0,53	0,56	1,08	UYGUN

Motorun CO<sub>2</sub> emisyonu değişimi için tüm deney yakıtlarına göre Chauvenet Kriteri uygulanmasının sonuçları Çizelge 5.7.'de gösterilmiştir.

**Çizelge 5.7.** CO<sub>2</sub> emisyonunun değişime Chauvenet Kriteri uygulaması

Yakıt Türü	E30	E20	E10	E0	Chauvenet Kriter Uygunluğu (<1,54)
	di/σ	di/σ	di/σ	di/σ	
2000	0,87	0,78	0,45	1,2	UYGUN
2500	0,88	0,77	0,43	1,21	UYGUN
3000	0,9	0,73	0,42	1,22	UYGUN
3500	0,91	0,74	0,48	1,17	UYGUN
4000	0,89	0,77	0,5	1,16	UYGUN
4500	0,92	0,72	0,42	1,21	UYGUN

Motorun NO<sub>x</sub> emisyonu değişimi için tüm deney yakıtlarına göre Chauvenet Kriteri uygulanmasının sonuçları Çizelge 5.8.'de gösterilmiştir.

**Çizelge 5.8.** NO<sub>x</sub> emisyonunun değişime Chauvenet Kriteri uygulaması

Yakıt Türü	E30	E20	E10	E0	Chauvenet Kriter Uygunluğu (<1,54)
	di/σ	di/σ	di/σ	di/σ	
2000	1,14	0,38	0,32	1,21	UYGUN
2500	1,09	0,51	0,43	1,17	UYGUN
3000	1,03	0,39	0,08	1,33	UYGUN
3500	0,94	0,72	0,47	1,18	UYGUN
4000	0,93	0,73	0,51	1,15	UYGUN
4500	0,9	0,65	0,24	1,31	UYGUN

Motorun devrine bağlı enerji verimi için tüm deney yakıtlarına göre Chauvenet Kriteri uygulanmasının sonuçları Çizelge 5.9.'da gösterilmiştir.



**Çizelge 5.9.** Motor devrine bağlı enerji verimine Chauvenet Kriteri uygulaması

Yakıt Türü	E30	E20	E10	E0	Chauvenet Kriter Uygunluğu (<1,54)
	di/σ	di/σ	di/σ	di/σ	
2000	1,16	0,38	0,39	1,16	UYGUN
2500	1,24	0,37	0,67	0,94	UYGUN
3000	1,25	0,23	0,36	1,12	UYGUN
3500	1,16	0,23	0,13	1,26	UYGUN
4000	0,99	0,53	0,23	1,3	UYGUN
4500	1,01	0,64	0,49	1,16	UYGUN

Motorun devrine bağlı ekserji verimi için tüm deney yakıtlarına göre Chauvenet Kriteri uygulanmasının sonuçları Çizelge 5.10.'da gösterilmiştir.

**Çizelge 5.10.** Motor devrine bağlı ekserji verimine Chauvenet Kriteri uygulaması

Yakıt Türü	E30	E20	E10	E0	Chauvenet Kriter Uygunluğu (<1,54)
	di/σ	di/σ	di/σ	di/σ	
2000	1,12	0,35	0,37	1,13	UYGUN
2500	1,2	0,35	0,62	0,92	UYGUN
3000	1,23	0,21	0,32	1,1	UYGUN
3500	1,11	0,2	0,11	1,21	UYGUN
4000	0,94	0,5	0,21	1,21	UYGUN
4500	1	0,62	0,42	1,12	UYGUN

Motorun soğutma suyu ile atılan ısı enerjisi için tüm deney yakıtlarına göre Chauvenet Kriteri uygulanmasının sonuçları Çizelge 5.11.'de gösterilmiştir.

**Çizelge 5.11.** Soğutma suyu ile atılan ısı enerjisinin Chauvenet Kriteri uygulaması

Yakıt Türü	E30	E20	E10	E0	Chauvenet Kriter Uygunluğu (<1,54)
	di/σ	di/σ	di/σ	di/σ	
2000	0,99	0,45	0,09	1,35	UYGUN
2500	0,97	0,51	0,15	1,33	UYGUN
3000	1,35	0,02	0,33	1,04	UYGUN
3500	0,16	0,91	0,35	1,42	UYGUN
4000	0,49	0,91	0,01	1,39	UYGUN
4500	1,03	0,01	0,33	1,35	UYGUN

Motorun radyasyon ile atılan ısı enerjisi için tüm deney yakıtlarına göre Chauvenet Kriteri uygulanmasının sonuçları Çizelge 5.12.'de gösterilmiştir.

**Çizelge 5.12.** Radyasyon ile atılan ısı enerjisinin Chauvenet Kriteri uygulaması

Yakıt Türü	E30	E20	E10	E0	Chauvenet Kriter Uygunluğu (<1,54)
	di/σ	di/σ	di/σ	di/σ	
2000	1,13	0,33	0,2	1,26	UYGUN
2500	1,02	0,38	0,05	1,35	UYGUN
3000	1,18	0,32	0,32	1,18	UYGUN
3500	0,81	0,82	0,41	1,23	UYGUN
4000	1,15	0,37	0,33	1,19	UYGUN
4500	1,18	0,21	0,15	1,24	UYGUN

Motorun egzoz gazı ile atılan ısı enerjisi için tüm deney yakıtlarına göre Chauvenet Kriteri uygulanmasının sonuçları Çizelge 5.13.'de gösterilmiştir.

**Çizelge 5.13.** Egzoz ile atılan ısı enerjisinin Chauvenet Kriteri uygulaması

Yakıt Türü	E30	E20	E10	E0	Chauvenet Kriter Uygunluğu (<1,54)
	di/σ	di/σ	di/σ	di/σ	
2000	1	0,64	0,45	1,18	UYGUN
2500	1,32	0,44	0,15	1,03	UYGUN
3000	1,1	0,55	1,1	0,55	UYGUN
3500	0,39	1,16	1,16	0,39	UYGUN
4000	1,16	0,38	0,39	1,16	UYGUN
4500	1,1	0,3	0,1	1,3	UYGUN

Motorun soğutma suyuyla atılan ısı ile aktarılan ekserjisi için tüm deney yakıtlarına göre Chauvenet Kriteri uygulanmasının sonuçları Çizelge 5.14.'de gösterilmiştir.

**Çizelge 5.14.** Soğutma suyuyla atılan ısı ile aktarılan ekserjisinin Chauvenet Kriteri uygulaması

Yakıt Türü	E30	E20	E10	E0	Chauvenet Kriter Uygunluğu (<1,54)
	di/σ	di/σ	di/σ	di/σ	
2000	0,9	0,47	0,04	1,4	UYGUN
2500	1	0,51	0,19	1,31	UYGUN
3000	1,44	0,44	0,17	0,84	UYGUN
3500	0,13	1,3	0,04	1,14	UYGUN
4000	0,65	0,62	0,2	1,47	UYGUN
4500	0,82	0,21	0,42	1,45	UYGUN

Motorun radyasyonla atılan ısı ile aktarılan ekserjisi için tüm deney yakıtlarına göre Chauvenet Kriteri uygulanmasının sonuçları Çizelge 5.15.'de gösterilmiştir.

**Çizelge 5.15.** Radyasyonla atılan ısı ile aktarılan ekserjisinin Chauvenet Kriteri uygulaması

Yakıt Türü	E30	E20	E10	E0	Chauvenet Kriter Uygunluğu (<1,54)
	di/σ	di/σ	di/σ	di/σ	
2000	1,23	0,1	0,1	1,23	UYGUN
2500	1,08	0,04	0,28	1,32	UYGUN
3000	1,01	0,27	0,1	1,38	UYGUN
3500	0,86	0,72	0,29	1,29	UYGUN
4000	1,09	0,57	0,57	1,08	UYGUN
4500	1,33	0,2	0,71	0,82	UYGUN

Motorun egzoz gazıyla atılan ısı ile aktarılan ekserjisi için tüm deney yakıtlarına göre Chauvenet Kriteri uygulanmasının sonuçları Çizelge 5.16.'da gösterilmiştir.

**Çizelge 5.16.** Egzoz gazıyla atılan ısı ile aktarılan ekserjisinin Chauvenet Kriteri uygulaması

Yakıt Türü	E30	E20	E10	E0	Chauvenet Kriter Uygunluğu (<1,54)
	di/σ	di/σ	di/σ	di/σ	
2000	0,98	0,68	0,53	1,14	UYGUN
2500	0,7	0,1	0,7	1,41	UYGUN
3000	1,02	0,56	0,34	1,24	UYGUN
3500	0,15	1,32	1,03	0,44	UYGUN
4000	1,44	0,29	0,29	0,87	UYGUN
4500	1,26	0,25	0,42	1,09	UYGUN

Ekserji yok oluşu için tüm deney yakıtlarına göre Chauvenet Kriteri uygulanmasının sonuçları Çizelge 5.17.'de gösterilmiştir.

**Çizelge 5.17.** Ekserji yok oluşunun Chauvenet Kriteri uygulaması

Yakıt Türü	E30	E20	E10	E0	Chauvenet Kriter Uygunluğu (<1,54)
	di/σ	di/σ	di/σ	di/σ	
2000	0,46	0,46	1,14	1,14	UYGUN
2500	0,21	0,43	1,07	1,28	UYGUN
3000	0,23	0,1	1,37	1,03	UYGUN
3500	0,6	0,15	1,35	0,9	UYGUN
4000	0,48	0,1	1,43	0,86	UYGUN
4500	0,01	0,34	1,36	1,02	UYGUN

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Biyokütleden elde edilen etanol yenilenebilir enerji kaynağı olarak buji ile ateşlemeli motorlarda alternatif yakıt olarak değerlendirilmektedir. Benzine kıyasla daha az alev sıcaklığını bulundurması  $NO_x$  emisyonlarının ve ısı kaybının azalmasını sağlar. Benzine ilave edilen etanol miktarı arttıkça sıkıştırma oranına bağlı daha az motor vuruntusu ortaya çıkar. Etanolün buharlaşma ısısının benzinden daha yüksek olması soğuk iklim koşullarında motorun ilk harekete geçişini güçleştirmektedir.

Bu çalışmada buji ateşlemeli benzinli bir motorda alternatif yakıt olarak benzin-etanol karışımlarının performans ve emisyona etkileri araştırılmıştır. Deneylerin gerçekleştirildiği motorda motor devrine göre motor momenti ve efektif gücün değişimi tam yükte, 9/1 sıkıştırma oranında, stokiyometrik hava/yakıt oranında ve maksimum motor momentini veren ateşleme zamanında incelenmiştir. En yüksek motor momenti tüm test yakıtlarında 2500 d/d motor devrinde elde edilirken, 3000 d/d motor devri aralığında da maksimum motor momentine yakın bir değerler elde edilmiştir. En yüksek motor momenti 2500 d/d'da E10 yakıtı (96,6 Nm) kullanımında görülmüştür. Yüksek motor devirlerinde artış eğilimi azalsa da efektif güç, tüm yakıtlarda 4500 d/d motor devrine kadar artış göstermektedir. En yüksek efektif güç E10 yakıtıyla 4500 d/d'de 38,151 kW olarak elde edilirken, E0 yakıtına göre efektif güç %2,4 artmıştır.

Aynı deney şartlarında E0 yakıtı ile karşılaştırıldığında, karışımdaki etanol miktarlarına bağlı olarak fren özgül yakıt tüketimi artış göstermektedir. Etanolün alt ısı değeri benzinden yaklaşık %24 daha düşüktür. Oluşturulan karışımlarda hacimsel olarak etanol miktarı arttıkça karışımın ısı değeri azalmakta ve yakıt tüketimi artış göstermektedir.

Efektif verim, E0 yakıtına göre etanol içeren yakıtlarda daha iyi sonuçlar vermiştir. Bu artış özellikle düşük motor devirlerinde daha belirgindir. E0 yakıtıyla karşılaştırıldığında ortalama olarak efektif verimde en yüksek artış 2500 d/d'da %9,9 ile E30 yakıtında görülmüştür.

CO emisyonu, genel olarak deney sırasında hava/yakıt oranında ortaya çıkan küçük değişimlerden etkilenmektedir. Düşük motor devirlerinde E0 yakıtına göre etanol içeren karışımlarda CO emisyonunda azalma görülmüştür.

CO<sub>2</sub> emisyonu, genel olarak yanma olayının tam olarak gerçekleşmesi sonucu ortaya çıkar. Düşük motor devrinde (2000 d/d) etanollü yakıtların CO<sub>2</sub> emisyon değeri en düşük değerleri almıştır.

HC emisyonu, bütün test yakıtlarında artan motor devrine bağlı olarak azalmaktadır. Ayrıca etanol içeren karışımlarda HC emisyonu daha düşük elde edilmiştir.

Kurşunsuz benzine kıyasla etanolün yüksek oktanlı olması, motorun gücü ve motorun verimi bakımından, motorun daha fazla sıkıştırma oranlarında çalıştırılabilmesine olanak sağlamaktadır. Etanol-kurşunsuz benzin karışımlarıyla özellikle yüksek sıkıştırma oranlarında motor performansının nasıl etkileneceğini görebilmek amacıyla sıkıştırma oranı 9/1'e kadar arttırılmıştır.

## KAYNAKÇA

- [1] Batmaz, İ., “Buji Ateşlemeli Motorlarda Yakıtta Hidrojen İlavesinin Motor Performansına ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin Deneysel Analizi” Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 22(1):137-147, 2007.
- [2] Li, J., Gong, C. M., Su, Y., Dou, H. L., and Liu, X. J., “Effect of injection and ignition timings on performance and emissions from a spark-ignition engine fueled with methanol”, Fuel 2010;89:3919-25.
- [3] Yousufuddin, S., and Mehdi, S. N., “Effect of ignition timing, equivalence ratio, and compression ratio on the performance and emission characteristics of variable compression ratio SI engine using ethanol-unleaded gasoline blends”, IJE Trans B Appl 2008;21(1):97-106.
- [4] Karimi, M.N., and Sandeep Kumar, K., “Exergy destruction and chemical irreversibilities during combustion in spark-ignition engine using oxygenated and hydrocarbon fuels”, Int. J. Mech. & Ind. Eng 2.3: 7-11, 2012.
- [5] Official Journal of EU, “Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the Promotion of the Use of Energy from Renewable Sources and Amending and Subsequently Repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC”, Vol.52, No.L140, 2009.
- [6] Onurbaş Avcıoğlu, A., Türker, U., Atasoy, Z. Ve Koçtürk, D., “Tarımsal Kökenli Yenilenebilir Enerjiler-Biyoyakıtlar”, Nobel Yayınevi ISBN: 978-605-5426-71-2, 519 s, 2011, Ankara.
- [7] Bielaczyc P., Woodburn J., Klimkiewicz D., Pajdowski P., Szczotka A., “An examination of the effect of ethanol–gasoline blends' physicochemical properties on emissions from a light-duty spark ignition engine”, Fuel Processing Technology 107 50–63, 2013.



[8] Masum B.M., Masjuki H.H., Kalam M.A., Rizwanul Fattah I.M., Palash S.M., Abedin M.J., “Effect of ethanol–gasoline blend on NOx emission in SI engine”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 24, 209–222, 2013.

[9] Huang Y., Hong G., Huang R., “Effect of injection timing on mixture formation and combustion in an ethanol direct injection plus gasoline port injection (EDI+GPI) engine”, *Elsevier, Energy* 111, 92-103, 2016.

[10] Fournier S., Simon G., Seers P., “Evaluation of low concentrations of ethanol, butanol, BE, and ABE blended with gasoline in a direct-injection, spark-ignition engine”, *Elsevier Fuel* 181, 396–407, 2016.

[11] Phuangwongtrakul S., Wechsato W., Sethaput T., Suktang K., Wongwises S., “Experimental study on spark-ignition engine performance for optimal mixing ratio of ethanol-gasoline blended fuels”, *Elsevier Applied Thermal Engineering* 100, 869-879, 2015.

[12] Elfakhany A., “Investigations on the effects of ethanol-methanol-gasoline blends in a spark-ignition engine: Performance and emissions analysis”, *Elsevier Engineering Science and Technology, an International Journal* 18, 713-719, 2015.

[13] Zhuang Y., Hong G., “Primary investigation to leverage effect of using ethanol fuel on reducing gasoline fuel consumption”, *Elsevier Fuel* 105, 425–431, 2013.

[14] Najafi G., Ghobadian B., Moosavian A., Yusaf T., Mamat R., Kettner M., Azmi W.H., “SVM and ANFIS for prediction of performance and exhaust emissions of a SI engine with gasoline-ethanol blended fuels”, *Elsevier Applied Thermal Engineering* 95, 186-203, 2016.

[15] Erenoral, R., ve Özgören, Y.Ö., “Buji İle Ateşlemeli Motorlarda Etanol – Benzin, Mtbe – Benzin Ve Metanol – Benzin Karışımlarının Motor Performansı Ve

Egzoz Emisyonlarına Etkisi”, Vol: 11, No: 1, 2014 (11-22). Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, Afyon Kocatepe Üniversitesi.

[16] Örs, İ., ve ark., “Yakıt Olarak Benzin – Etanol Karışımlarının Taşıt Performansı Ve Egzoz Emisyonlarına Etkisi”, Politeknik Dergisi Cilt:12 Sayı: 1 s.13-19, 2009.

[17] Balki, M. ve ark., “The effect of different alcohol fuels on the performance, e emission and combustion characteristics of a gasoline engine”, Volume 115, January 2014, Pages 901–906.

[18] Bayraktar, H., “Theoretical investigation of flame propagation process in an SI engine running on gasoline – ethanol blends”, Renewable Energy 32, 758–771, 2007.

[19] Bayraktar, H., “Experimental and theoretical investigation of using gasoline – ethanol blends in spark – ignitions engines”, Renewable Energy 30, 1733–1747, 2005.

[20] Al Hasan, M., “Effect of ethanol – unleaded gasoline blends on engine performance and exhaust emission. Energy Conversion and Management 44, 1547–1561, 2003.

[21] TSE, H., ve ark., “Investigation on the combustion characteristics and particulate emissions from a diesel engine fueled with diesel – biodiesel – ethanol blends”, Energy 83, 343-350, 2015.

[22] Çalışır, A. ve Gümüş, M., “Buji Ateşlemeli Bir Motorda Benzin – Metanol Karışımlarının Motor Performansı Ve Egzoz Emisyonları Üzerine Etkisi”, 5. Uluslar arası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS’09), 11-15 Mayıs 2009, Karabük.

[23] Yüksel, F., Yüksel, B., “The Use of Ethanol-gasoline Blend as A Fuel in An SI Engine”, Renewable Energy, Vol.29, 1181-1191, 2004.

[24] Topgül, T., Yücesu, H.S., “Etanol-benzin Karışımı Kullanılan Buji ile Ateşlemeli Bir Motorda Sıkıştırma Oranı ve Ateşleme Zamanının Motor Momentine Etkisi”, III. Ege Enerji Sempozyumu, Muğla, 542-553, 2006.

- [25] Yücesu, H.S., Topgül, T., Çınar, C., Okur, M., “Effect of Ethanol gasoline Blends on Engine Performance and Exhaust Emissions in Different Compression Ratios”, Applied Thermal Engineering, Vol.26, 2272-2278, 2006.
- [26] El-Emam, S.H., Desoky, A.A., “A Study on the Combustion of Alternative Fuels in Spark-ignition Engines”, International Journal of Hydrogen Energy, Vol.10, 497-504, 1985.
- [27] Ceviz, M.A., Yüksel, F., “Effects of Ethanol-Unleaded Gasoline Blends on Cyclic Variability and Emissions in a SI Engine”, Applied Thermal Engineering, 25:917-925, 2005.
- [28] Earl, W.B., “Alcohol Use in Engines”, Energy in Agriculture, Vol.3, 351-362, 1984.
- [29] Rajan, S., Saniee, F.F., “Water-ethanol-gasoline Blends as Spark Ignition Engine Fuels”, Fuel, Vol.62, 117-121, 1983.
- [30] Shenghua, L., Cuty Clemente, E.R., Tiegang, H., Yanjv, W., “Study of Spark Ignition Engine Fueled with Methanol/gasoline Fuel Blends”, Applied Thermal Engineering, Vol.27, 1904-1910, 2007.
- [31] Koç, M., Sekmen, Y., Topgül, T., Yücesu, S.H., “The effects of ethanol – unleaded gasoline blends on engine performance and exhaust emissions in a spark – igniton engine.” Renewable Energy 34, 2101–2106, 2009
- [32] Bilgin, A., Durgun, O., Sahin, Z., “Dizel Yakıtına MTBE Katılmasının Motor Performansına Etkisi”, ULIBTK’ 01 13. Ulusal Isı Bilim ve Tekniği Kongresi, Bildiriler Kitabı, 141-146 Konya, 2001.
- [33] Balat, M., Balat, H. ve Öz, C., 2007. “Progress in Bioethanol Processing, Progress in Energy and Combustion Science”, 551-573pp
- [34] Sheehan, J. and Himmel, M., “Enzymes, Energy, and the Environment: A Strategic Perspective on the U.S. Department of Energy’s Research and Development Activities for Bioethanol. Biotechnology Center for Fuels and

Chemicals, National Renewable Energy Laboratory”, Golden, Colorado 80401, Biotechnol. Prog. 15, 817-827, 1999.

[35] Dias, M.O.S., Cavalett, O., Filho, R.M., Bonomi, A., “Integrated First and Second Generation Ethanol Production from Sugarcane” Chemical Engineering Transactions Vol. 37, 2014.

[36] Wyman, C.E., Hinman N.D., “Ethanol: fundamentals of production from renewable feedstocks and use as a transportation fuel. Appl Biochem Biotechnol”, 24-25:735-42, 1988.

[37] Anonim, “Tütün ve Alkol Piyasası Düzenleme Kurumu (TAPDK)”, <http://www.tapdk.gov.tr/tr/piyasa-duzenlemeleri/alkol-piyasasi/resmi-istatistikler.aspx> (Erişim tarihi: 23.07.2016)

[38] Akalın, B., Seyrekbasan, A., 2015. “Dünyadaki Biyoetanol Politikalarının Türkiye Koşulları ile Karşılaştırmalı İncelenmesi ve Türkiye Şartlarına Uygunluk Açısından Biyoetanol Üretiminde Kullanılan Hammaddelerin Değerlendirilmesi”, U.Ü. ZİRAAT Fakültesi Dergisi, Cilt 29, Sayı 1, 157-168, 2015. (Journal of Agricultural Faculty of Uludag University)

[39] Jia, L.W., Shen, M.Q., Wang, J., Lin, M.Q., “Influence Of Ethanol-Gasoline Blended Fuel On Emission Characteristics From A Four-Stroke Motorcycle Engine”, Journal Of Hazardous Materials A123 29-34, 2005.

[40] Anonim European Bioethanol Fuel Association, [www.ebio.org/statistics.php?id=5](http://www.ebio.org/statistics.php?id=5) (Erişim tarihi: 13.04.2016)

[41] Jeuland, N., Montagne, X., Gautrot, X., “Potentiality of Ethanol as a Fuel for Dedicated Engine Oil & Gas Science and Technology – Rev. IFP”, Vol. 59 No. 6, pp. 559-570, 2004.

[42] Kammen, D.M., “Bioenergy in Developing Countries: Experiences and Prospects in Bioenergy and Agriculture: Promises and Challenges”, 2006.

[43] Anonim “Biomass Program, Biofuels, Energy Efficiency and Renewable Energy”, U.S. Department of Energy, 2009.

- [44] Chatanta, D.K., Attri, C., Gopal, K., Devi, M., Gupta, G. And Bahalla, T.C., “Bioethanol Production from Apple Pomace left after Juice Extraction, The Internet Journal of Microbiology” Volume 5 Num. 2., 2008
- [45] Koizumi, T. and Ohga, K., “Biofuel Programms in China, Malaysia and Japan”, Nihon University of Japan, 2008.
- [46] Ciniviz M., Salman S., Çarman K., “Dizel Motorlarında Dizel Yakıtı + LPG Kullanımının Performans ve Emisyona Etkisi”, Selçuk Teknik Online Dergisi / ISSN 1302- 6178, Volume 2, Number:1 – 2001.
- [47] Anonim, “Alcohol Quality Assurance, Technical Services and Regulatory Affairs Department”, February 1, 2008.
- [48] Regalbuto C, Pennisi, Wigg MB, Kyritsis D. “Experimental Investigation Of Butanol Isomer Combustion In Spark Ignition Engines”, SAE Technical Paper 2012-01-1271; 2012.
- [49] Batmaz İ., Yavuzcan G., ve Murcak A., “Dizel Motorlarda Hidrojen Yakıtının Kullanılmasının Egzoz Emisyonlarına Etkisinin İncelenmesi”, 8. Yanma Sempozyumu, Ankara 326-344, 2004.
- [50] Deniz O. “İçten Yanmalı Motorlar Ders Notları” Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2008.
- [51] YOLAÇAN F., “Ateşleme Sistemleri (Motor Ayarları Teknolojisi Ders notları)”, Gazi Üniversitesi TEF Otomotiv ABD, 1998.
- [52] Dalaylı, K. ve ark., “Ateşleme Sistemi”, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü, 2007.
- [53] Sezer, K., “Klasik Motorlara Saf Oksijen Verilmesinin İrdelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 2004.
- [54] Kutlar, O.A., Ergeneman, M., Arslan, H., Mutlu, M., “Taşıt Egzozundan Kaynaklanan Kirleticiler”, Birsen Yayınevi, İstanbul, 1998.

- [55] Fanick, E.R., Whitney, K.A., Bailey, B.K., “Particulate Characterization Using Five Fuels”, SAE Paper No: 961089, 1996.
- [56] Schifter, I., Diaz, L., Vera, M., Guzman, E., Lopez- Salinas, E., “Fuel Formulation and Vehicle Exhaust Emissions in Mexico”, Fuel, 83:2065-2074, 2004.
- [57] Topgöl, T., “Buji ile Ateşlemeli Motorlarda Etil Alkol- Benzin Karışımı Kullanımında Optimum Çalışma Parametrelerinin Araştırılması”, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2006.
- [58] Koç, M., “E85 ve E50 Kullanımının Yüksek Sıkıştırma Oranlarında Benzin Motoru Performansına Etkisinin Deneysel İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2006.
- [59] He, B., Wang, J., Hao, J., Yan, X. and Xiao, J., “A study on emission characteristics of an EFI engine with ethanol blended gasoline fuels”, Atmospheric Environment, 37 (7): 949-957, 2003.
- [60] Özel, G., et al. “Bir dizel motorunun motor hızı ve yüküne bağlı termodinamik değerlendirilmesi”, 7 th Automotive Technologies congress, 26-27 May 2014.
- [61] Kopaç, M., and Köktürk, L., “Determination of optimum speed of an internal combustion engine by exergy analysis”, International Journal of Exergy 2.1, 40-54, 2005.
- [62] Bang-Quan, H., Jian-Xin, W., Ji-Ming, H., XiaoGuang, Y., and Jian-Hua, X., “A study on emission characteristics of an EFI engine with ethanol blended gasoline fuels”, Atmospheric Environment, Vol. 37, No 7, 949-957, 2003.
- [63] Genceli, O.F. “Ölçme Tekniği”. 37-38. Birsen Yayınevi, İstanbul, 2008.

## ÖZGEÇMİŞ

**Adı Soyadı** : Evren KODANLI  
**Doğum Tarihi** : 04.11.1990  
**Telefon** : 05372380608 / 05549500738  
**e-mail** : evrenkodarli@gmail.com  
**Yabancı Dil** : İngilizce Okuma (iyi), Anlama (iyi), Konuşma (iyi)

**Eğitim Durumu** :Lisans. Kırıkkale Üniversitesi, 2013 / Kırıkkale Üniversitesi, 2013 / Anadolu Üniversitesi, 2013

**Lisans** :Endüstri Mühendisi (Anadal), Makina Mühendisi (Çift Anadal), İşletme (Açıköğretim)

**Yüksek Lisans** :Kırıkkale Üniversitesi, Makina Mühendisliği (hala devam ediyor.)

### **Ulusal Bildiriler** :

1. Doğan B., Kodanlı E., “Kırıkkale Üniversitesi Yerleşkesinde Güneş Enerjisi Destekli Elektrik Üretim Sistemi Tasarımı” IV. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi,2014

### **Projeler** :

1. Kırıkkale Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi ameliyathane çizelgelemesi çalışması (bitirme projesi)
2. Kırıkkale Üniversitesi yerleşkesinde güneş enerjisinden elektrik üretiminin uygunluğu çalışması (bitirme projesi)
3. Kırıkkale’de bir anaokulunda toplam kalite yönetimine ait bir çalışma
4. Çok ölçütlü karar verme tekniklerinin kullanılması ile Kırıkkale’nin geliştirilmesi ve güzelleştirilmesi çalışması
5. Kırıkkale Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü’nün geliştirilmesine yönelik öğrencilere yapılan anket çalışması

**Burslar/Başarılar :**

1.İTÜ Ulusal Vaka Çalışması Yarışması UCARI'13 finalisti

**Araştırma Alanları :** Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Alternatif Yakıtlar

