



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

**ETİL ALKOL-BENZİN KARIŞIMLARI İLE ÇALIŞAN BİR
MOTORUN PERFORMANS VE EGZOZ EMİSYONLARINA
SUPAP KURSUNUN ETKİLERİ**

BÜLENT ERYAKALI

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. SUAT SARIDEMİR**

DÜZCE, 2018

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİL ALKOL-BENZİN KARIŞIMLARI İLE ÇALIŞAN BİR
MOTORUN PERFORMANS VE EGZOZ EMİSYONLARINA
SUPAP KURSUNUN ETKİLERİ

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

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Suat SARIDEMİR

Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Hamit SARUHAN

Düzce Üniversitesi

Doç. Dr. Suat SARIDEMİR

Düzce Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Alaattin Osman EMİROĞLU

Abant İzzet Baysal Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 20/03/2018

BEYAN

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

20 Mart 2018

Bülent ERYAKALI

TEŞEKKÜR

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

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

Bu tez çalışması Düzce Üniversitesi BAP-2013.07.04.168 numaralı Bilimsel Araştırma Projesiyle desteklenmiştir.

20 Mart 2018

Bülent ERYAKALI

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ŞEKİL LİSTESİ.....	VII
ÇİZELGE LİSTESİ.....	VIII
KISALTMALAR.....	IX
SİMGELER	X
ÖZET	XI
ABSTRACT	XII
1. GİRİŞ.....	1
2. AMAÇ VE KAPSAM.....	4
3. ETANOL(ETİL ALKOL)	12
3.1. ETANOL VE BENZİNİN YAKIT KARAKTERİSTİKLERİ	20
3.1.1. Yakıtın Özgül Kütlesi Açısı Kararlılığı	20
3.1.2. Yoğunluk	20
3.1.3. Oktan Sayısı.....	21
3.1.4. Isıl Değer	22
3.1.5. Stokiyometrik Hava/Yakıt Oranı	22
3.1.6. Buharlaşma Isısı.....	22
3.1.7. Kendi Kendine Tutuşma Sıcaklığı	23
3.1.8. Kaynama Noktası.....	23
3.1.9. Donma Noktası	23
3.2. ETANOLÜN ÇEVREYE VE EMİSYON DEĞERLERİNE ETKİLERİ	23
4. KAM (EKSANTRİK) MİLİ.....	25
5. MATERYAL VE YÖNTEM	32
5.1. DENEY ORTAMI VE DENEY ARAÇLARI	33
5.2. MOTOR PERFORMANS HESAPLAMALARI	36
5.2.1. Moment	36
5.2.2. Güç	36

6. BULGULAR	39
6.1. MOTOR GÜÇ VE TORK DEĞERLERİNİN DEĞİŞİMLERİ.....	39
6.2. ÖZGÜL YAKIT TÜKETİM DEĞERLERİ.....	43
6.3. EGZOZ EMİSYON DEĞERLERİNDE GÖRÜLEN DEĞİŞİMLER	44
6.3.1. Karbonmonoksit (CO) Emisyonu	44
6.3.2. Karbondioksit (CO₂) Emisyonu	46
6.3.3. Hidrokarbon (HC) Emisyonu	48
7. SONUÇ VE TARTIŞMA.....	50
8. KAYNAKLAR.....	52
ÖZGEÇMİŞ	56



ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 4.1. Hidrolik iticili bir supap sistemine ait kam milinin motor üzerindeki konumu.....	25
Şekil 4.2. Standart bir motora ait kam mili.....	26
Şekil 4.3. Honda GX390 model dört zamanlı tek silindirli benzinli motora ait kam mili.	26
Şekil 4.4. Kam profili yükseltılarak modifiye edilmiş kam mili.	27
Şekil 4.5. Kamın kısımları.	28
Şekil 4.6. Değişken supap zamanlaması için kullanılan kam milleri.	29
Şekil 4.7. İki farklı kam profili.	30
Şekil 4.8. Kam Dört zamanlı bir motorda emme ve egzoz suplarının açılma-kapanma diyagramı.	31
Şekil 5.1. Orjinal ve modifiye kam çıkıntıları.	32
Şekil 5.2. Deney düzeneğinin şematik görünümü	34
Şekil 5.3. Deney düzeneğinin resmi.	35
Şekil 5.4. K test emisyon ölçüm cihazı.....	35
Şekil 5.5. Yük hücresinin görünümü.	37
Şekil 5.6. Yakıt ölçüm düzeneği.	38
Şekil 6.1. Karışım yakıtların orijinal ve modifiyeli kam mili ile kullanımının motor gücü üzerindeki etkisi.....	39
Şekil 6.2. Karışım yakıtların motor torku üzerindeki etkisi.	42
Şekil 6.3. Karışım yakıtların motor özgül yakıt tüketimi üzerine etkileri.	43
Şekil 6.4. Karışım yakıtların CO emisyon değerlerine etkisi.	45
Şekil 6.5. Karışım yakıtların CO ₂ emisyon değerlerine etkisi.....	47
Şekil 6.6. Karışım yakıtların HC emisyon değerlerine etkisi.	48

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 1.1. Biyoetanol üretiminde öncü ülkeler ve hammadde kaynakları	2
Çizelge 3.1. Türkiyedeki tarıma uygun fakat kullanılmayan arazilerde biyoetanol üretim potansiyeli.	14
Çizelge 3.2. Etanol üretiminde şeker içeren kaynaklar ve etanol verimleri.	17
Çizelge 3.3. Biyokütle bileşenlerinin oranı.	17
Çizelge 3.5. Etanol yakıtının farklı karışımlarının benzinli motorlarda kullanılması için gerekli olan düzenlemeler.	18
Çizelge 3.6. Benzin ve etanole ait fiziksel özellikler ile kimyasal özellikler.	19
Çizelge 5.1. Deney motorunun teknik özellikleri.	33
Çizelge 5.2. Elektrikli dinamometreye ait teknik özellikler.	34
Çizelge 5.3. Elektrikli dinamometreye ait teknik özellikler.	36
Çizelge 6.1. Tüm yakıt karışımlarının kam miline bağlı olarak güç değerleri.	41
Çizelge 6.2. Tüm yakıt karışımlarının kam miline bağlı olarak tork değerleri.	42
Çizelge 6.3. Tüm yakıt karışımlarının kam miline bağlı olarak FÖYT değerleri.	44
Çizelge 6.4. Tüm yakıt karışımlarının kam miline bağlı olarak CO emisyon değerleri.	46
Çizelge 6.5. Tüm yakıt karışımlarının kam miline bağlı olarak CO ₂ değerleri.	47
Çizelge 6.6. Tüm yakıt karışımlarının kam miline bağlı olarak HC değerleri.	49

KISALTMALAR

A.Ş	Anonim şirket
BG	Beygir gücü
CNG	Sıkıştırılmış doğalgaz
E0	% 100 Kurşunsuz benzin
E5	% 5 Etanol katkılı benzin
E10	% 10 Etanol katkılı benzin
E20	% 20 Etanol katkılı benzin
E30	% 30 Etanol katkılı benzin
E40	% 40 Etanol katkılı benzin
ETBE	Etil tersiyer bütül eter
FÖYT	Fren ortalama yakıt tüketimi
H/C	Hidro/Karbon
LPG	Sıkıştırılmış petrol gazı
MTBE	Metil tersiyer bütül eter
ÖTV	Özel tüketim vergisi
PPM	Partikül madde sayısı
TAPDK	Tütün ve alkol piyasası denetleme kurumu
TARKİM	Tarımsal kimya teknolojileri enstitüsü
TEZKİM	Tarımsal kimya inşaat sanayi
TEKEL	Tütün, tütün mamülleri, tuz ve alkol işletmeleri

SİMGELER

Be	Özgül yakıt tüketimi
cm^3	Santimetreküp
C_7H_{17}	Kurşunsuz benzin
C_2H_5OH	Etanol
CO	Karbonmonoksit
Dev/dak	Devir/dakika
g	Yerçekimi ivmesi (m/sn)
gr	Gram
gr/MJ	Gram/megajoule
h	Saat
HC	Hidrokarbon
kg	Kilogram
kJ/kg	Kilojoule/kilogram
km/h	Kilometre/saat
kPa	Kilo paskal
kW/h	Kilowatt/saat
M	Moment
mm	Milimetre
mPa	Mega paskal
Mj/kg	Megajoule/kilogram
Mj/L	Megajoule/litre
n	Motor devri
NOx	Azot oksit
Pe	Efektif motor gücü
Pb	Kurşun
SOx	Kükürtoksit
°C	Santigrat derece
λ	Hava fazlalık katsayısı

ÖZET

ETİL ALKOL-BENZİN KARIŞIMLARI İLE ÇALIŞAN BİR MOTORUN PERFORMANS VE EGZoz EMİSYONLARINA SUPAP KURSUNUN ETKİLERİ

Bülent ERYAKALI

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Suat SARIDEMİR

Mart 2018, 53 sayfa

Nüfus artışı ve teknolojinin gelişmesiyle birlikte enerji ihtiyacı her geçen gün artmaktadır. Fosil yakıt kaynaklarının tükenebilir olması, çevre kirliliğinden dolayı ekolojik dengenin bozulması, enerji fiyatlarının yükselmesi gibi nedenler enerji kaynaklarını daha verimli kullanmaya ve alternatif enerji kaynakları bulmaya zorlamaktadır. Biyokütle kaynaklardan enerji üretme fikri, taşıt kaynaklı zararlı egzoz gazı emisyonlarının azalmasını sağlayarak çevreyi daha az kirleten ucuz ve yenilenebilir enerji kaynağı doğmasını sağlamıştır. Biyoetanol taşıtlarda benzinle belirli oranlarda karıştırılarak kullanılabilir. Taşıtlarda benzin-biyoetanol karışımı kullanımı, fosil kökenli yakıt kullanımını ve sera gazı oluşumlarını büyük miktarda azaltabilir. Bu çalışmada tek silindirli benzinli bir motor için alternatif bir kam mili imal edilmiştir. Her iki kam mili için, farklı oranlardaki etanol-benzin karışımı (E0, E10, E20, E30 ve E40) yakıtların motor performansına ve egzoz emisyon değerlerine olan etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Etanol içerikli yakıtların her iki kam mili için egzoz emisyonlarını azalttığı, yüksek devirlerde yakıt sarfiyatını artırdığı ve motor gücünü düşürdüğü görülmüştür.

Anahtar sözcükler: Egzoz emisyonu, Etanol, Kam mili, Motor performansı.

ABSTRACT

THE EFFECTS OF VALVE COURSE TO PERFORMANCE AND EXHAUST EMISSIONS OF AN ENGINE RUNNING WITH ETHYL ALCOHOL-GASOLINE MIXTURES

Bülent ERYAKALI

Düzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Mechanical

Engineering

Master's Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Suat SARIDEMİR

March 2018, 53 pages

As global population goes up and the technology improves, the energy demand increases globally with each passing day. The use of available energy resources more efficiently and exploration of alternative energy sources have become the defining economical and environmental issue of our times due to exhaustible fossil fuel resources, deterioration of ecological balance resulting from environmental pollution and increasing in the cost of energy. The idea of generating energy from biomass resources has enabled to expose more ecological and cost-effective energy resources, thereby mitigating the emissions of vehicle-based gases. Bioethanol can be used in vehicles at certain ratios together with petrol. The use of gasoline-bioethanol mixtures in vehicles can largely reduce the use of fossil fuel and the emission of greenhouse gases. In this survey, an alternative camshaft for a single-cylinder petrol engine was manufactured. For both camshafts, the effects of ethanol-gasoline mixture fuels (E0, E10, E20, E30 and E40) at different proportions on engine performance and exhaust emission values have been experimentally explored. It has concluded that ethanol-containing fuels reduce exhaust emissions for both camshafts, increase fuel consumption at high speeds and decrease engine power.

Keywords: Camshaft, Engine performance, Ethanol, Exhaust emissions.

1. GİRİŞ

Günlük hayatımızda enerjiye duyulan ihtiyaç, insan nüfusunun artışı ve çağın özelliğine göre gelişen teknolojiyle birlikte her geçen gün artmaktadır. Dünya enerji ihtiyacının büyük bir kısmı, petrol, kömür ve doğal gaz gibi fosil kökenli yakıtlardan karşılanmakla birlikte, nükleer ve hidrolik enerji de kullanılmaktadır.

Günümüzde enerji kaynaklarının %90'ını fosil kökenli yakıtların oluşturduğu ve fosil yakıtlarında %45'inin petrol türevli yakıtlar olduğu bilinmektedir. Fosil yakıtlar içerisinde petrol türevli yakıt oranının artmış olması ve bu oranın ileriki yıllarda %58 seviyelerine çıkması öngörülmektedir. Bu durumda fosil yakıt kaynaklarının gelecekte tükenebilir durumda olduğunu işaret etmektedir. Fosil yakıt kullanımının küresel ısınma ve iklim değişikliği gibi çevre üzerinde görülen olumsuz etkileri yanında, fiyat artışı da insanlığı enerji ihtiyacını karşılamak için alternatif ve yenilenebilir enerji kaynakları arayışına itmektedir [1].

Dünya üzerinde bulunan enerji kaynaklarını yenilenebilen ve yenilenemeyen kaynaklar olmak üzere iki bölümde ele almak mümkündür. Fosil kökenli petrol, kömür doğal gaz gibi kaynaklar yenilenemeyen enerji kaynaklarıdır. Dünyada doğal halde bulunup, çoğu yaşamın bir parçası olarak görülen güneş, su (jeotermal, hidrolik vb), rüzgar, nükleer, dalga, hidrojen ve biokütle kaynakları ise yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Biokütle kaynaklar bu enerji kaynakları içinde en yüksek teknik potansiyele sahip olan enerji kaynağıdır. Biyoyakıt üretim teknolojisi kullanılarak biyokütle enerji kaynakları doğrudan ya da dönüştürülmüş ürünler ile değerlendirilir. Uluslararası Enerji Ajansının yapmış olduğu bir çalışmaya göre, 2000-2030 yılları arasında enerji kaynakları içerisinde fosil enerji kaynaklarının payının %85 oranında, doğalgazın payının ise %60 seviyelerinde, yenilenebilir enerji kaynakları payının ise %15 oranında olacağı tahmin edilmektedir [2].

Fosil kökenli yakıtların yerini alabilecek, çevreci ve yenilenebilir enerji kaynakları bulmaya yönelik çalışmalar daha çok alternatif enerji kaynakları üzerine olup çoğunlukla elektrik enerjisi, güneş enerjisi, sıvılaştırılmış petrol gazları ve doğalgaz ile bitkisel yağlar, biyoetanol, biyogaz ve biyodizel üzerine yoğunlaşmaktadır. Motorlu

taşıtlarda kullanılabilen alternatif yakıtlar; alkoller (metanol, etanol), doğal gaz (CNG), sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG), hidrojen ve bitkisel yağlardır. Bu grupta yer alan biyoetanol ve biyodizel son zamanlarda dünya ülkelerinde önemli miktarlarda üretilerek özellikle motorlu araçlarda yakıt olarak kullanılmaktadır [3]. Biyoetanol benzin içerisine hacimsel olarak %5 (E5) ile %85 (E85) arasında değişen oranlarında doğrudan ilave edilmek suretiyle kullanılır. Biyoetanol yakıt içerisine şayet motorlarda değişiklik yapılmamışsa %5 (E5), değişiklik yapılmışsa %85 (E85) oranında katılır [3]. Bu oran ülkelere göre değişiklik göstermektedir. Avrupa Birliği ülkelerinde %5 (E5), ABD ülkelerinde %10 (E10) oranlarında kullanıldığı bilinmektedir. Türkiye’de ise benzine yasal olarak izin verilen %5 oranında karıştırılarak kullanılabilir. Biyoetanol ayrıca MTBE (Metil-terciyer-butil-eter) maddesine katkı olarak da kullanılmaktadır. ETBE (Etil-terciyer-butil-eter) maddesi yakıtın oktan seviyesini yükseltmek ve yanmayı iyileştirmek için sentetik olarak üretilen bir maddedir. Biyoetanol, ETBE’in içeriğinin %45’ini oluşturmaktadır. Böylece biyoetanolün akaryakıttaki miktarı %10’u bulmaktadır [3], [4]. Çizelge 1.1’de Biyoetanol üretiminde öncü ülkeler ve hammadde kaynakları verilmiştir.

Çizelge 1.1. Biyoetanol üretiminde öncü ülkeler ve hammadde kaynakları

ÜLKE	HAMMADDE	KULLANIM YÜZDESİ
Brezilya	Şeker kamışı	100
ABD	Mısır	98
Çin	Mısır	70
	Buğday	30
Avrupa	Buğday	48
	Şeker Pancarı	29
Kanada	Mısır	70
	Buğday	30

Dünyada biyoetanol üretimi başta Brezilya olmak üzere ABD, Kanada, AB ülkeleri, G.Afrika Cumhuriyeti, Çin, Hindistan ve Tayland’da yapılmaktadır. İsveç, İspanya, Fransa, Almanya, İtalya ve Rusya gibi ülkeler üretimlerini artırmak için çaba gösterdikleri bilinmektedir. Hammadde olarak şeker pancarı ve hububat ürünleri başta olmak üzere melas da kullanılmaktadır. Melas, G.Afrika Cumhuriyeti’nde biyoetanol

retiminde kullanılan hammaddenin %70'ini oluşturmaktadır. Brezilya 2004 yılında dünyada en fazla biyoetanol üreten ve tüketen ülke olmuştur. Yıllık retimi yaklaşık 15 milyar litredir. Brezilya'da yeni araçların birçoğu benzin yerine biyoetanol yakabilecek özelliktedir. Bu nedenle de benzine %20-25 ila %85 oranında karıştırılabilmektedir [4].



2. AMAÇ VE KAPSAM

Literatür çalışmaları incelendiğinde alternatif yakıtlar ve motor performansını artırma yönünde birçok çalışma yapıldığı görülmekle birlikte yakıt olarak benzin-etanol karışımı ile birlikte kam mili profilinin değiştirilerek yapılan bir çalışmaya rastlanılmamaktadır.

Topgül (1996) tarafından yapılan çalışmada yakıt olarak benzin kullanılan buji ateşlemeli bir motorda karışım yakıt (etilalkol-benzin) kullanımının motor performansı üzerindeki etkisi, egzoz emisyonları açısından meydana gelecek değişimler, ısı kayıplarına ve silindir basınçlarına etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Hacimsel olarak %0, %10, %20, %40 ve %60 (E0, E10, E20, E40 ve E60) etanol içeren etanol-kurşunsuz benzin karışımları hazırlanmıştır. Deneysel çalışmada dört zamanlı, tek silindirli, değişken sıkıştırma oranlı, buji ateşlemeli ve enjeksiyonlu Hydra marka motor kullanılmıştır. Deneyler, farklı motor devri ve farklı motor yüklerinde sıkıştırma oranı, ateşleme zamanı, hava fazlalık katsayısı ve hava giriş sıcaklığı değiştirilerek yapılmıştır.

Deney sonuçları performans yönünden değerlendirildiğinde motorun düşük sıkıştırma oranlarında en yüksek momentin elde edildiği ateşleme zamanı, yakıtlar arasında önemli bir farklılık göstermemiştir. Özellikle yüksek sıkıştırma oranlarında ve düşük motor devirlerinde, motor performansı motor yakıtı olarak kullanılan yakıtın içerdiği etanol miktarı ile orantılı olarak arttığı görülmüştür. Tüm yakıtlar için en yüksek motor momentinin elde edildiği ateşleme zamanında hava-yakıt karışım oranı ve giriş hava sıcaklığının motor performansı ve egzoz emisyon değerlerinin değişiminde etkinliklerinin benzer olduğu belirtilmiştir. Kurşunsuz benzinle karşılaştırıldığında, etanol-benzin karışımları kullanımında ısı kayıplarının azaldığı belirtilmiştir. En iyi vuruş dayanımına ve en yüksek motor momentine (31.48 Nm) sahip olan E60 yakıtı ile maksimum silindir basıncı elde edilmiştir [1].

Türköz (2012) tarafından yapılan çalışmada, etanol-benzin karışimli yakıtların ve farklı avans açılarının motor performansı, yanma karakteristiği ve egzoz emisyonları üzerinde olan etkileri araştırılmıştır. Deneylerde dört zamanlı, dört silindirli, buji ile ateşlemeli bir motor kullanılmıştır. Çalışmanın ilk bölümünde hacimsel olarak %5, %10, %30 ve

%85 (E5, E10, E30 ve E85) etanol içeren etanol-kurşunsuz benzin karışımı yakıtların motor performansı üzerindeki etkisi, yanma karakteristiği ile egzoz emisyonları üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir. İkinci bölümde ise, farklı avans açılarının E10 ve E85 yakıtlarında performans ve emisyon açısından durumları araştırılmıştır. Yakıttaki etanol miktarının artışına bağlı olarak güç ve moment değerlerinin arttığı, etanolün ısı değerinin düşüklüğü nedeniyle volümetrik verimde düşüş, efektif verimde ise artış olduğu saptanmıştır. Etanolün ısıl değerinin düşük oluşu nedeniyle, özgül yakıt tüketiminin $\lambda=1$ sabit tutulduğunda arttığı belirtilmiştir. Etanol katkılı yakıtlarda daha düşük CO, HC ve NOx salınımı olduğu belirtilmiştir [2].

Çolak (2006) tarafından yapılan çalışmada, buji ile ateşlemeli bir motorda farklı sıkıştırma oranlarında yakıt olarak etanol kullanımının performans ve emisyon değerleri üzerine etkisi incelenmiştir. Deneylerde Lombardini LA250 model tek silindirli, buji ile ateşlemeli, dört zamanlı, sıkıştırma oranı 4/1 ila 10/1 arasında değişebilen motor kullanılmıştır. Motor avansını değiştirebilmek için manyetolu ateşleme sistemi yerine distribütör ilave edilmiştir. Deney yakıtı olarak %100 saflıkta etanol kullanılmıştır. Deneyler sonucunda, aynı sıkıştırma oranında etanol kullanımı ile motor momentinde yaklaşık %8'lik bir düşüş, yüksek sıkıştırma oranında ise yaklaşık %24'lük bir moment artışı olduğu bildirilmiştir. Ayrıca, etanol ile motorda güç düşüklüğü meydana geldiği, fakat sıkıştırma oranının artırılmasıyla (10/1) benzinli çalışmaya göre %25'lik bir güç artışı olduğu gözlenmiştir. Etanolün yakıt tüketiminin benzine göre daha fazla olduğu gözlenmiştir. Egzoz emisyon değerleri bakımından etanolün benzine göre CO, CO₂ ve NOx miktarlarını düşürdüğü, etanolün soğutucu etkisinden dolayı HC miktarını artırdığı sonucuna ulaşılmıştır [3].

Örs (2007) tarafından yapılan çalışmada, benzin-etanol karışımlarının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisi incelenmiştir. Çalışmada, 95 oktan kurşunsuz benzin ile %99,9 saflıkta Merk marka etanol hacimsel olarak %0, %10, %20 ve %30 oranlarında karıştırılarak E0, E10, E20 ve E30 yakıt karışımları elde edilmiştir. Deney için dört silindirli, buji ateşlemeli, sıralı tip enjeksiyonlu Fiat Albea marka bir araç kullanılmıştır. E10 ve E20 yakıtları kullanıldığında tekerlek tahrik gücünün, her bir vites durumunda kurşunsuz benzine göre %9,56 oranına kadar arttığı, E30 yakıtı kullanıldığında ise %7 oranında bir azalma olduğu ifade edilmiştir. Etanolün ağırlıkça yaklaşık %40 oksijen içermesi tekerlek tahrik kuvvetinin artmasına, etanol-benzin karışımı içinde etanol miktarının %30' un üzerine çıkmasıyla oksijen miktarının

artmasına rağmen alt ısı değerinin azalması ve sıkıştırma oranının artırılamaması ve yanma sonu basıncının azalmasından dolayı motor momentinin düştüğü belirtilmiştir [4].

Çelikten (2008) tarafından yapılan çalışmada, biyoetanol-benzin karışımlarının bazı yakıt özellikleri deneysel olarak araştırılmıştır. Deney için hacimce %1, %2, %3, %4, %5, %10, %15, %20, %30, %40, %50, %60, %70, %80, %85, %100 biyoetanol içeren E1, E2, E3, E4, E5, E10, E15, E20, E30, E40, E50, E60, E70, E80, E85 ve E100 yakıtları kullanılmıştır. Yakıtlar yoğunluk, alt ısı değeri, su içeriği, karbon, hidrojen, kükürt arasındaki etkileşimleri yönünden deneysel olarak incelenmiştir. Deney sonuçlarına bakıldığında E0'dan başlayarak E100 yakıtına kadar yakıt yoğunluğunun, su miktarının, karışımdaki biyoetanol miktarına bağlı doğru oranda arttığı, alt ısı değerinin %38,5 oranına kadar düştüğü görülmüştür. Egzoz emisyonları açısından bakıldığında E0'dan başlayarak E100 yakıtına kadar karbon miktarında azalma, hidrojen ve kükürt miktarında artma olduğu bildirilmiştir [5].

Keskin ve Reşitoğlu (2009) yaptıkları çalışmada bütanol, etanol ve benzin karışımlarının buji ile ateşlemeli motorlarda özgül yakıt tüketimi ve egzoz emisyonlarına olan etkisini deneysel olarak incelemiştir. Deney yakıtı olarak hacimce sırasıyla %50-%40-%10, %50-%30-%20, %50-%20-%30 ve %50-%10-%40 oranında hazırlanan benzin, bütanol ve etanol karışımları kullanılmıştır. Deney motoru olarak dört zamanlı tek silindirli buji ile ateşlemeli benzinli bir motor kullanılmıştır. Deneyler motorun üç farklı yük (600W,1200W,1800W) altında gerçekleştirilmiştir. Karışım yakıtlarının ısı değerlerinin düşük oluşu nedeniyle özgül yakıt tüketiminde artış olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, karışım yakıtlarının CO değerlerinde önemli oranda azalma, CO₂ ve HC değerlerinde artış, NO_x değerlerinde azalma ve O₂ değerlerinde bir değişim olmadığı bildirilmiştir [6].

Bayraktar (1991) benzin, etil alkol, izopropanol karışımlarının efektif güç, efektif verim, özgül yakıt tüketimi ve egzoz emisyonlarına etkisini deneysel olarak incelemiştir. Deney için benzin ve dizel motoru olarak kullanılabilen 0,7634 lt hacminde, tek silindirli, değişken sıkıştırma oranlı motor kullanılmıştır. Benzin motoru kullanımında sıkıştırma oranı 7,5-11,5 aralığında ayarlanabilmektedir. Deneyler 8-8.5- 9 – 9.5 – 10 sıkıştırma oranlarında, 1/1, 3/4 ve 1/2 gaz kolu konumlarında ve 900, 1000, 1100, 1200, 1300, 1400, 1500 dev/dak'da yapılmıştır. Deney yakıtı olarak önce %100 benzin daha sonra sırasıyla hacimce %2, %4, %6, %8 etil alkol, %0.0, % 0.5, % 1 propanol ve

benzin karışımları kullanılmıştır. Sonuçta karışım yakıtların yüksek sıkıştırma oranlarında %100 benzin kullanımına göre daha yüksek güç ürettiği, efektif verimde artış sağladığı, özgül yakıt tüketimini azalttığı belirtilmiştir. CO oranında %35 miktarında bir azalma görülmüştür. Karışım yakıtların olumlu yönlerinin yanında etil alkolün su içermesi motor parçaları üzerinde korozif etkilere, soğukta ilk hareket zorluğuna, benzin-etil alkol karışımının tam homojen elde edilemeyeşinden motorda güç düşüşüne ve teklemelere neden olduğu bildirilmiştir [7].

Örs, Tarakçioğlu ve Ciniviz (2009) tarafından yapılan çalışmada, benzin-etanol karışımı kullanımının, Fiat marka bir taşıtın tekerlek tahrik kuvvetine ve egzoz emisyonlarına etkilerini incelemişlerdir. Deney yakıtı olarak 95 oktan kurşunsuz benzin ile Merk marka %99,9 saflıkta etanol kullanmışlardır. Deney yakıtları hacimsel olarak sırasıyla; %100-%0, %90-%10, %80-%20, %70-%30 kurşunsuz benzin-etanol oranında karıştırılarak E0, E10, E20, E30 yakıtları hazırlanmıştır. Deneyler aracın 2. vites konumunda 20, 40, 60 ve 80 km/h hızda, 3. vites konumunda 40, 60, 80, 100 ve 115 km/h hızda gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda tekerlek tahrik gücünde E10 ve E20 yakıtları ile artış, E30 yakıtı ile düşüş olduğu belirtilmiştir. E10 ve E20 yakıtlarındaki performans artışının etanolün %35 oksijen içermesinden, E30 yakıtındaki performans düşüşünün ise karışımdaki etanol miktarının artmasıyla alt ısı değerinin düşmesinden kaynaklandığı belirtilmiştir. Egzoz emisyonları açısından karışım yakıtların kullanımında CO, HC ve NOx değerlerinde düşüş olduğu ifade edilmiştir [8].

Avcıoğlu ve Göktürk (2012) yaptıkları çalışmada şeker pancarı, buğday, arpa, mısır ve patatesten üretilmiş biyoetanollerin, benzinle farklı oranlarda karıştırılarak buji ile ateşlemeli bir motorda yakıt olarak kullanımının egzoz emisyonlarına etkilerini incelemişlerdir. Deney motoru olarak tek silindiri, buji ile ateşlemeli, 5.4 HP gücünde, HondaGX160 benzinli bir motor kullanılmıştır. Deney yakıtı olarak hacimsel olarak %0, %5, %10, %15, ve %20 oranlarında karıştırılmış 95 oktan kurşunsuz benzin ve biyoetanol yakıt karışımları kullanılmıştır. Deneyler tam yükte farklı motor devirlerinde yapılmıştır. Benzin içerisindeki biyoetanol oranına bağlı olarak motor gücünde azalma olduğu, özgül yakıt tüketiminin ise arttığı belirtilmiştir. Egzoz emisyonlarına bakıldığında ise karışımdaki biyoetanol oranı arttıkça CO, CO₂, NOx değerlerinde azalma olduğunu tespit etmişlerdir [9].

Karabektaş (2003) metanol ve etanolün buji ile ateşlemeli motorlarda kullanım özelliklerini araştırarak egzoz emisyonu ve motor performansı açısından etkilerini

incelemiştir. Alkol yakıt kullanımının motor performansı açısından benzine oranla efektif güç, tork, yakıt tüketimi, volümetrik verim ve ısı verimi artırdığı, özgül yakıt tüketimini ise düşürdüğü tespit edilmiştir. Yanmanın iyi olması sonucu CO ve HC değerlerinde azalma, CO₂ değerlerinde artış, NO_x değerlerinde ise deney şartlarına bağlı olarak artış ve azalma olduğu belirtilmektedir. Sonuç olarak alkol yakıt kullanımının benzine oranla motor performansı ve egzoz emisyonları açısından daha iyi sonuçlar verdiği belirtilmiştir [10].

Bayındır (1998) benzinli motorlarda yakıt olarak benzin ve etanol-benzin karışımı yakıtlarının kullanılmasının motor karakteristiği ve hava kirliliğine olan etkilerini deneysel olarak incelemiştir. Deneylerde 7,35 kW gücünde tek silindirli bir motor kullanmıştır. Etanol-benzin karışımından en iyi verimi alabilmek amacıyla, emme manifoldu deney süresince kademeli olarak ısıtılmış ve yakıt deposuna bir mikser eklenerek etanol-benzin karışımında faz ayrışması önlenmiştir. Deney motorunda sıkıştırma oranını değiştirmek amacıyla yanma odası hacmi küçültülmüş bir silindir kapağı imal edilmiştir. Böylece 6:1, 7:1, 8:1 sıkıştırma oranları elde edilmiştir. Deney sırasında ateşleme avansı kademeli olarak 5° ile 10° arasında değiştirilmiştir. Deney yakıtları hacimsel olarak sırasıyla etanol-benzin olmak üzere %10-%90 (E10), %20-%80 (E20), %30-%70 (E30) oranlarında hazırlanmıştır. Deneyler önce benzinle 1/4, 1/1, 1/2 yük altında, 1500, 2000, 2500, 3000 ve 3500 dev/dak'da yapılmış, devir ve kelebek açıklığı aynı olmak üzere etanol-benzin karışımları kullanılarak tamamlanmıştır. Orijinal sıkıştırma oranı ve ateşleme avans değerinde etanol-benzin karışımlarının benzine göre volümetrik verimi artırdığı, CO ve HC emisyonlarını düşürdüğü, motor gücü ve momentini de düşürdüğü belirtilmiştir. Sıkıştırma oranının artırılmasıyla doğru orantılı olarak, termik verimde ve motor gücünde artış saptamıştır. Etanol-benzin karışımlarında bu artışın daha fazla olduğu görülmüştür. En yüksek motor gücünün E20 yakıtında, 8:1 sıkıştırma oranında, emme manifoldu ısıtılma durumunda $\lambda=0,931$ değerinde elde edildiğini tespit etmiştir [11].

Şenbahçe (2013) tarafından yapılan çalışmada, buji ile ateşlemeli motorlarda alkol yakıt kullanımının performansa ve emisyonlara olan etkileri literatür taraması ile incelenmiştir. Etanol-benzin karışımlarının düşük devirlerde motor performansını arttırdığı tespit edilmiştir. %60 etanol-bezin karışımı ile en iyi vuruş dayanımına sahip silindir basıncı elde edilirken, etanol oranına bağlı olarak fren özgül yakıt tüketiminin arttığı belirtilmiştir. Etanolün termik verimi ve volümetrik verimi artırdığı belirtilmiştir.

Ayrıca sıkıştırma oranı 10/1 ve üzerine çıkartılıp hacimsel olarak %20 etanollü yakıt kullanıldığında en yüksek motor performansı elde edildiği belirtilmiştir. Etanolün CO, CO₂ ve NO_x değerlerini düşürdüğü, çalışma şartlarına bağlı olarak HC değerlerini de artırdığı belirtilmiştir [12].

Eyidoğan (2009) alkol karışimli yakıtların (etanol-benzin, metanol-benzin) buji ile ateşlemeli bir motorun performansı ve egzoz emisyonlarına etkilerini araştırmıştır. Deneylerde buji ateşlemeli Honda Civic marka bir araç kullanmıştır. Deney verileri, elektro manyetik tip saşi dinamometresi kullanılarak alınmıştır. Deney yakıtı olarak 95 oktan kurşunsuz benzin ve hacimce %5 ve %10 etanol içeren (E5, E10) yakıt karışımları ile aynı oranda metanol-benzin (M5, M10) yakıt karışımları kullanılmıştır. Deneyler 60, 80, 100 km/h tekerlek dönüş hızlarında yapılmıştır. Tekerlek dönüş hızının artışıyla, tüm yakıtlar için motor çıkış gücünün ve özgül yakıt tüketiminin artmaya başladığı belirtilmiştir. Volümetrik verimin de hız artışıyla birlikte, deney yakıtlarının hepsinde azaldığı görülmüştür. CO emisyonunda 60 ve 80 km/h hızlarda artış olduğu, 100 km/h hızda ise bir değişme olmadığı belirtilmiştir. En yüksek CO emisyonunun 60 ve 80 km/h hızlarda benzin kullanımında olduğu saptanmıştır. CO₂ emisyonunda önemli bir değişiklik olmadığı gözlenmiştir. HC emisyonlarında ise araçta hız artışıyla birlikte azalma meydana geldiği, en yüksek HC emisyon değerinin benzinde, en düşük E10 yakıtında olduğu belirtilmiştir [13].

Bayraktar (2005) çalışmasında buji ile ateşlemeli bir motorda etanol-benzin karışımının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisini deneysel olarak incelemiştir. Deney motoru olarak buji ile ateşlemeli, tek silindirli, dört zamanlı, sıkıştırma oranı 7,75:1-8,25:1 olan bir motor kullanmıştır. Deney yakıtı olarak hacimce %1,5-%3-%4,5-%6-%7,5-%9-%10,5 ve %12 oranında etanol karıştırılmış etanol-benzin karışımları kullanmıştır. Deneyler 1500 dev/dak'da, tam yük altında ve 10° ateşleme avansında yapılmıştır. Bayraktar, deneysel çalışmalarda elde ettiği verileri teorik modellerle karşılaştırmıştır. Bu çalışma sonucunda teorik ve deneysel çalışma verilerinin yaklaşık olarak %6 farkla birbirine çok yakın olduğunu tespit etmiştir. Teorik modelin deneysel verilerle yakın sonuçlar saptamasına bağlı olarak modelin etanol-benzin karışımlarının buji ile ateşlemeli bir motorda yakıt olarak kullanılması durumunda birçok parametrenin hesaplanmasında kullanılabileceğini bildirmiştir. Motor performansı açısından etanol-benzin karışımının içerisindeki oksijen miktarının artmasına bağlı olarak yanma süresinin azalacağını ve yanmanın iyileşeceğini, silindir içi basıncın ve sıcaklığın

artacağını belirtmiştir. Egzoz emisyonlarına bakıldığında etanol-benzin karışımı yakıtların CO emisyonunu azalttığını, NO emisyonlarını ise yanma sonu sıcaklığına bağlı olarak artırdığını tespit etmiştir. Emisyonlar açısından etanol içerisinde su bulundurmasından dolayı oluşan faz ayrışmasının motorda güç düşüşüne neden olduğunu bundan dolayı teorik modelle deneysel çalışma sonuçlarının birbirinden farklı sonuçlar verebileceğini belirtmiştir [14].

Eyidoğan ve arkadaşları (2011) çalışmalarında, hacimce %5 ve %10 oranında etanol-benzin (E5-E10) ve metanol-benzin (M5-M10) karışımlarının motor performansı, yanma karakteristiği ve egzoz emisyonlarına etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Deneyleri dört silindirli, buji ile ateşlemeli motora sahip bir taşıtta şasi dinamometresi kullanarak 80 km/h taşıt hızında ve 5, 10, 15, 20 kW taşıt çıkış gücünde gerçekleştirmişlerdir. Karışım yakıtlarla yapmış oldukları deneylerde elde edilen sonuçları benzine yapılan test sonuçları ile karşılaştırmışlardır. Eyidoğan ve arkadaşları deney sonuçlarına göre alkol yakıt kullanımında egzoz ve egzoz gazı sıcaklıklarında benzine göre azalma, fren özgül yakıt tüketiminde ve ısı veriminde E10, M5 ve M10 yakıtlarında benzine göre artış, E5 yakıtında ise azalma olduğunu, 80 km/h taşıt hızında 10, 15, 20 kW taşıt çıkış güçlerinde maksimum silindir gaz basıncının benzine çalışmada, 5 kW çıkış gücünde ise M10 yakıtında olduğunu, ayrıca tüm çıkış güçlerinde en düşük maksimum ısı yayılma oranının benzine çalışmada ortaya çıktığı bildirilmiştir. Tüm taşıt çıkış güçlerinde karışım yakıt kullanımında CO ve HC emisyonlarında benzine göre azalma olduğu, NOx emisyonunda ise M10 yakıtı hariç diğer karışım yakıtlarda benzine göre azalma olduğunu belirtmişlerdir [15].

İmrağ (2006) çalışmasında etanol-benzin karışımı yakıtların motor gücü ve torku, motor verimi, özgül yakıt tüketimi, ortalama efektif basınç, egzoz emisyonu ve egzoz sıcaklığı üzerine etkilerini deneysel olarak incelemiştir. Deney için 2495 cc hacminde, dört silindirli, buji ile ateşlemeli karbüratörlü Land Rover marka motor kullanmıştır. Deney yakıtı olarak benzin ve hacimce %5, %10 ve %20 etanol-benzin içeren E0, E5, E10 ve E20 yakıt karışımları kullanmıştır. Deney sonuçlarına göre motor gücü ve torkunda maksimum artışın (3,8 HP / 3,93 N.m) E10 yakıtı ile yapılan deneyde elde edildiğini, buna dayanarak benzin içerisine karıştırılan alkolün motor gücü ve torkunda kısmi bir artış sağladığını ve özgül yakıt tüketimini artırdığı belirtilmiştir. E20 yakıtında CO ve HC değerlerinde alkol karışımı yakıtlarda düşüş gözlemlendiğini, CO2 değerlerinde ise artış olduğu belirtilmiştir. Maksimum verimin 3000 dev/dak'da E10 yakıtı ile, en düşük

verimin ise E0 yakıtı ile elde edildiği belirtilmiştir. Alkol karışumlu yakıtların, ortalama efektif basıncı yükselttiğini belirtilmiştir [16].

Guerrieri ve arkadaşları (1995) tarafından yapılan çalışmada, hacimsel olarak %10 ila %40 oranlarında karıştırılmış benzin-etanol karışımlarının yakıt ekonomisi ve egzoz emisyonlarına olan etkileri incelenmiştir. Egzoz emisyonlarında karışımdaki etanol miktarıyla doğru orantılı bir değişim olduğu, yakıt karışımı içerisinde etanolün en yüksek (%40) olduğu durumda HC oranında %30, CO oranında %50 azalma ve yakıt ekonomisinde ise %15 azalma olduğu bildirilmiştir [18].

Kelly ve arkadaşları (1996) tarafından yapılan çalışmada, hacimce %50 ve %85 oranlarında karıştırılmış etanol-benzin karışımlarının, ticari markası Chevrolet Lumina olan bir aracın egzoz emisyonlarına olan etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel sonuçlarına göre yakıt olarak %85 etanol-benzin karışımı kullanımında, saf benzin kullanımına göre NO_x emisyonunda %32, CO emisyonunda ise %24 azalma olduğu bildirilmiştir [19].

Heiseh ve arkadaşları (2002) tarafından yapılan çalışmada, hacimce %5, %10, %20 ve %30 oranında etanol-benzin karışımlarının motor performansı ve egzoz emisyonlarına olan etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel sonuçlarda 1.6 lt silindir hacmine sahip, sıkıştırma oranı 9,5:1 olan benzinli bir motor kullanılmıştır. HC ve CO emisyonlarının etanol-benzin karışımı içerisindeki etanol miktarının artmasına bağlı olarak düştüğü, NO_x emisyonunun ise motor çalışma şartlarına bağlı olarak değiştiği belirtilmiştir [20].

Schifter ve arkadaşları (2004) tarafından yapılan çalışmada, farklı oranlarda karıştırılmış (max. %85 etanol) etanol-benzin karışımlarının birinci, ikinci ve üçüncü nesil yakıt sistemi kullanan farklı araçlarda egzoz emisyonlarına olan etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel sonuçlarında CO, HC ve NO_x emisyonlarına bakıldığında birinci, ikinci ve üçüncü nesil yakıt sistemine sahip araçlarda sırasıyla CO emisyonlarında %20, %8, %9 azalma; NO_x emisyonlarında %7.6, %6, %14 oranında artış; HC emisyonlarında ise %9, %2.5 ve %1.2 oranlarında artış olduğu belirtilmiştir [21].

3. ETANOL(ETİL ALKOL)

Biyoeanolün taşıtlarda motor yakıtı olarak kullanılmaya başlanması, içten yanmalı motorların insanlığın kullanımına sunulduğu dönemlere kadar dayanır. Biyoyakıt grubundan olan etanolün ortaya çıkması 18. yüzyılın sonlarında Lavoisier'in, şekerin fermantasyonu işleminde etanol ve karbondioksitin oluştuğunu fark etmesi ile olmuştur. 1815 yılında ise Gay-Lussac'ın $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2$ biçimindeki fermantasyon formülünü ilk kez ortaya koyması ile de biyoeanol anlaşılmaya başlanmıştır [29]. Nikolas Otto tarafından 1897 yılında icat edilmiş olan içten yanmalı motorda biyoeanol ilk defa yakıt olarak kullanılmaya başlanmış, daha sonraları benzin ile biyoeanol karıştırılarak benzine çalışan motorlarda başarıyla kullanılmıştır, Henry Ford alkollerin içten yanmalı motorlarda yakıt olarak kullanılabileceğini tasarımlarında dikkate almıştır. Otomotiv sanayinin ilk seri üretim modelini hayata geçiren Henry Ford T modeli adını verdiği aracı, benzin-alkol ve karışım yakıtlar ile çalışabilecek şekilde üretmiştir [29].

Biyoeanolün yakıt olarak kullanımına ilişkin bilimsel çalışmalar İkinci Dünya Savaşı yılları ile birlikte başlayıp artarak günümüze kadar devam etmiştir. Yakıt alkolü biyokütle enerji kaynaklarından üretilen etilalkolü (biyoeanol) ifade etmektedir. Biyoeanol yapısında şeker ve nişasta barındıran bitkilerin fermente edilmesi yoluyla ya da selülozik kaynakların asidik hidrolizi ile üretilmektedir. Şeker pancarı, şeker kamışı, buğday, mısır, patates, sap-saman-kabuk gibi odunsu atıklar ve odun biyoeanol üretiminde kullanılan başlıca kaynaklardır. Şeker üretimi sürecinde meydana gelen melas da biyoeanol üretiminde önemli bir alkol hammaddesidir. Alkol yakıtlar, 1931 yılında yapılan Ziraat Kongresi'nde ilk defa ülkemizin gündeminde yer almıştır. 1930'lu yıllardan sonra ekonomik nedenlerden dolayı biyoeanol kullanımı azalmış, ancak 1970'lerde meydana gelen dünya petrol krizi nedeniyle biyoeanol yeniden alternatif yakıt olarak kullanılmaya başlanmıştır [3]. 1942 yılında Türk Silahlı Kuvvetleri bünyesinde kullanılan araçlarda benzine %20 oranında biyoeanol katılmıştır. Türkiye'de alkol üretimi ve satışının 4250 sayılı yasaya göre devlet denetimi altında olduğundan, Türkiye'nin alkol ihtiyacını Tekel Genel Müdürlüğü karşılıyordu. Dönemin Sanayi ve Teknoloji Bakanı Orhan Alp 12 Ağustos 1978 tarihinde benzine

%20 oranında alkol katılması ile ilgili olarak, "Alkol karıştırılmış benzin kullanımı, otomobil motorlarında daha iyi sonuç vermektedir. Bunun için benzin kullanacak taşıtların motorlarında herhangi bir değişiklik yapılmasına ihtiyaç yoktur" şeklinde bir açıklama yapmıştır. Türkiye Şeker Fabrikaları "Yakıt Amaçlı Alkol Üretimi" projesini yatırım planına alarak yeni fabrikalarının kurulmasını ve mevcut fabrikaların üretimlerinin artırılmasına yönelik çalışma başlatmıştır. Yapılan bu çalışmalar uzun süreli olamamıştır. Biyoetanol üretimi ülkemizde sürekli planlamalarımız dahilinde olsa da bilimsel çalışmalarla sınırlı kalmıştır. 2001 yılında Tütün, Tütün Mamulleri, Tuz ve Alkol İşletmeleri TEKEL A.Ş.'nin kurulmasının ardından devlet işletmeleri özelleştirilmeye başlanmış ve kamuya ait şirket hisseleri özel teşebbüsü açılmıştır. 3 Ocak 2002 tarihli ve 4733 Sayılı kanun ile de T.C. Tütün, Tütün Mamulleri ve Alkollü İçkiler Piyasası Düzenleme Kurumu- TAPDK kurulmuştur. TAPDK ülkemizdeki alkol üretimi-kullanımı ve satışı için tüm esasları düzenlemekte ve denetlemektedir. İçecek olarak tüketilecek alkol üretimi özel teşebbüse bırakılmıştır. Türkiye'de yakıt alkolü (biyoetanol) üretim lisansına sahip, Buğday ve mısırdan biyoetanol üreten, yıllık 30.000 m³ kapasiteli ilk üretici firma TARKİM-Tarımsal Kimya Teknolojileri San.ve Tic. A.Ş.'dir [30].

Türkiye'de Tarımsal Kimya Teknolojileri (TARKİM) Sanayi ve Ticaret A.Ş., Tarımsal Kimya (TEZKİM) İnşaat Sanayi ve Tic. A.Ş. ve Konya Şeker Sanayi ve Tic. A.Ş. araçlarda kullanılabilir nitelikte yakıt alkolü olarak ve susuz biyoetanol üretimi yapabilmektedirler. Bu fabrikalar haricinde Türkiye'de biyoetanol üretimini şeker fabrikaları gerçekleştirmektedir. Şeker pancarından şeker üretilmesi aşamasında elde edilen ara ürünler (şerbet veya melas) fermante edilerek biyoetanol üretimi gerçekleştirilmektedir [30], [32].

Dünyada üretilen etanolün yaklaşık %80'i yakıt alkolü olarak kullanılmaktadır [22]. Dünyada biyoetanol üretimi ve kullanımı Türkiye'ye oranla oldukça yüksektir. Türkiye'de çok yeni olan biyoetanol, ülkemizde benzine yasal olarak izin verilen %5 oranında karıştırılarak kullanılabilir niteliktedir. Bununla beraber %2 oranında ÖTV indirimi sağlanmıştır. Bu nedenle, üretilmiş olan biyoetanolün tamamı kullanılamamaktadır. Biyoetanol çok fazla talep olmaması üretimini de kesintiye uğratmıştır. Türkiye'de biyoetanolü kullanan tek ticari işletme Petrol Ofisi'dir. %2 oranında etanol içeren etanol-benzin karışımının araç yakıtı olarak kullanılmasını sağlamaktadır [23].

Türkiye, alternatif enerji kaynakları içinde büyük biyokütle potansiyeline sahiptir. Bu avantajının yanında enerjide dışa bağımlı bir ülkedir ve Türkiye toplam enerjisinin yaklaşık %80'ini ithal eden bir ülke olup, dışa bağımlılığı sürekli artmaktadır. Tarımsal üretimde, kırsal kalkınmanın desteklemesi, çeşitliliğin artırılması ve yem sanayine ham madde desteği sağlanması dışa bağımlılığın azaltılması yönünde büyük önem taşımaktadır. Biyoyakıt üretimi Türkiye’de kırsal kesimin ekonomisinin güçlenmesi ve iş imkânlarının gelişmesini, ayrıca yan sanayinin de gelişmesine katkıda bulunabilecek öncelikli seçenek olarak görülmektedir [31]. Çizelge 3.1’de Türkiye’deki tarıma uygun fakat kullanılmayan arazilerde biyoetanol üretim potansiyeli verilmiştir.

Çizelge 3.1. Türkiyedeki tarıma uygun fakat kullanılmayan arazilerde biyoetanol üretim potansiyeli.

Tahıl	Rekolte Ton/Hektar	Biyoeanol Üretim Potansiyeli (Ton)		Benzin İhtiyacını Karşılama Oranı (%)	
		Hasadın %100’ü kullanılırsa	Hasadının %20’si kullanılırsa	Hasadın %100’ü kullanılırsa	Hasadının %20’si kullanılırsa
Arpa	2,204	1047	209	15	3
Mısır	6,838	4677	935	68	14
Patates	27,642	5777	1155	84	17
Şeker Pancarı	41,539	8682	1736	126	25
Buğday	21,282	13748	2750	200	40
Toplam		-	6786	494	99

Etanol, fiziksel olarak 46,07 g/mol molekül ağırlığı olan, 0,789 g/cm³ yoğunlukta, donma noktası -114 °C ve 78 °C kaynama noktası olan renksiz, uçucu ve yanıcı bir sıvı olup motorlu araçlarda yakıt olarak ve çeşitli kimyasalların üretiminde kullanılan iki karbonlu (C₂H₅OH) bir alkoldür. Etanol ve biyoetanolün kimyasal olarak molekül yapıları aynıdır. Üretim metodlarının farklı olması nedeniyle literatürde etanol ve biyoetanol olarak adlandırılmışlardır. Etanol petrokimyasal, biyoetanol ise bitkisel kökenli maddelerden mayalanma yöntemiyle elde edilen alkole verilen isimdir [25]. Ham petrol, kömür ve doğal gazın petrokimyasal olarak hidrosyonu ile sentetik etil alkol üretilmektedir. Biyoetanol üretimi ise, biokütle enerji kaynaklarından (tahıllar, melas, meyveler, şeker kamışı, selüloz gibi) mayalanma (fermantasyon) yöntemiyle mikroorganizmalar tarafından şekerlerin fermante edildikten sonra damıtılması ile

gerçekleştirilmektedir. Fermantasyon, organik bileşiklerin biyolojik katalizörlerin (enzim) etkisiyle daha basit bileşiklere ayrıştırılmasıdır. Mayalar ve bakterilerin bazı türleri, şekerleri birtakım işlemlerle karbondioksit ve etanole dönüştürmektedirler [1], [32].

Fermantasyon biyokimya ve mikrobiyoloji dallarında farklı biçimde tanımlanmaktadır. Biyokimya alanında, organik bileşiklerin parçalanması sonucu enerji üretimi olarak tanımlanırken, endüstriyel mikrobiyolojide biyolojik değişim anlamıyla tanımlanmaktadır [36], [37]. Fermantasyon teknolojisinin gelişmesi başta antibiyotik, vitamin, bitki hormonu, aminoasit ve enzimler olmak üzere yeni maddelerin üretilmesine imkan vermektedir [32].

Fermantasyonda amaç en az hammadde ile fazla ürünü kısa sürede elde etmektir. Fermantasyon süresi ve üretim ortamının yapısı yapılacak işlemin uygulanma yöntemi ve kullanılan mikroorganizmaya bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Üretimde en fazla ürünün elde edilebilmesi ve mikroorganizmaların gelişimini sağlamak için gereken üretim ortamı en uygun şekilde ve tam olarak belirlenmek zorundadır. Fermantasyon işlemi için gereken üretim ortamı uygun olmadığı takdirde, fermantasyon ürünü verimli elde edilemeyecek veya mikroorganizma büyümesi az olacaktır. Üretim ortamının; substrattan ürün ya da biyokütleyi hızlı bir şekilde ve maksimum verim elde ederek üretebilmesi, süreç sonunda oluşan istenmeyen yan ürün miktarının en az olmasını sağlayabilecek, uzun süre kararlı kalabilmesi, hazırlanma ve sterilizasyon aşamasının sorunsuz olması, fermantasyon sürecinde havalandırma, karıştırma ve saflaştırma aşamalarında olumsuz bir durum yaşanmasını önleyebilecek nitelikte olması istenmektedir [32].

Alkollü içecekler ve yakıt alkolü olarak kullanılan etanolün çoğunluğu, etanol fermantasyonu ile üretilmektedir. Etanol fermantasyonu, çeşitli karbonhidratlardan mikroorganizmaların enerji üretmek amacıyla bir dizi metabolik süreçlerden geçerek, etanol ve karbondioksit oluşturdukları biyolojik bir süreçtir. Etanol üretebilen en iyi maddeler; mayalar, *saccharomyces cerevisiae*, *saccharomyces bayanus*, *kluveromyces marxianus*, *pichia stipitis* gibi mikroorganizmalar ve *zymomonas mobilis*, *clostridium ljungdahli* gibi bakterilerdir. Etanol fermantasyonu metabolik döngü içerisinde glikolizi içermektedir. Glikoz stoplazmada maya hücreleri ile bir dizi tepkimeye girerek pürivata dönüşür. Maya hücreleri oksijensiz solunum yapabilirler. Bundan dolayı pürivik asit kademesinden daha ileri bir parçalanma sağlayabilirler. Fermantasyon sürecinde son

elektron alıcısı, hayvanlarda laktik asit, mayalarda etanol, bazı bakterilerde gliserol veya sirke bakterilerinde asetik asittir. Mayalarda meydana gelen glikoliz oluşumunda, pürivik asit önce karbondioksit (CO₂) gazı çıkararak asetaldehite dönüşür ve asetaldehit etanole indirgenir [39]. Bu oksijensiz solunum döngüsüne “Etanol Fermantasyonu” denir [32].

Ucuz olması nedeniyle Dünya genelinde karbonhidratlardan etanol üretimine olan ilgi gittikçe artmaktadır [40]. Etanol fermantasyonu için gerekli olan hammaddeleri üç ana grupta sınıflandırmak mümkündür. Bunlar; yapısında şeker bulunan hammaddeler (şeker kamışı, şeker pancarı, süpürge darısı ve meyveler), yapısında nişasta bulunan hammaddeler (patates, pirinç ve mısır, buğday, arpa gibi tahıllar) ve lignoselülozik biyokütledir (tarım ve ağaç endüstrinde elde edilen atık ürünler, çim, odun ve odunsu bitkiler, mısır ve buğday sapları, otlar). Etanol, çoğunlukla şeker ve nişasta gibi 1. nesil hammaddelerden üretilmektedir. Bu maddelerin dezavantajlı yönü ise fiyat bakımından pahalı olmalarıdır. Bu nedenle etanol fermantasyonu için şeker ve nişasta gibi hammaddelere alternatif olarak 2. nesil atık biyokütle hammaddeleri kullanılabilir. 2. nesil atık biyokütle hammaddeleri ise başlıca lignoselülozik atıklardır ve en büyük kaynakları altı karbonlu heksoz ve beş karbonlu pentoz şekerleridir. Lignoselülozik hammaddeler selüloz, hemiselüloz ve lignin gibi karbonhidrat polimerlerinin birleşimi olması nedeniyle seyreltik asitler ve enzimlerle hidroliz edilerek fermante edilebilir şekerlere dönüştürülebilirler [32].

Melas, yaklaşık %45-50 civarında şeker içeren ve alkol üretilmesini sağlayan özellikle şeker fabrikalarının yan ürünü olan bir maddedir. Melas, sulandırılarak fermantasyon kazanlarına alınmış olan maya üzerine eklenerek fermantasyona bırakılır. Yaklaşık 10-14 saat süren fermantasyon işleminden sonra tek hücreli mikroskobik canlılar olan maya, melastaki şekeri CO₂ ve etanole dönüştürmüş olur. Burada meydana gelen mayşe %7-8 alkol içermektedir. Oluşan bu mayşe seperatörden geçirilip mayadan ayrılır ve damıtım kolonlarında distile edilerek alkol derecesi 92 olan ham biyoetanol elde edilir [11].

Biyoeanolün içerisinde yüksek miktarda oksijen barındırması ve oktan sayısının yüksek olması zararlı egzoz emisyonlarının fosil kökenli yakıtlara göre daha düşük olmasını sağlar. Çizelge 3.2’de etanol üretiminde şeker içeren kaynaklar ve etanol verimleri gösterilmiştir [2]. Çizelge 3.3’te ise biyokütle bileşenlerinin oranı gösterilmiştir [8].

Çizelge 3.2. Etanol üretiminde şeker içeren kaynaklar ve etanol verimleri [2].

Kaynak Verimi (100 g)	Etanol
Glikoz	40 – 48 g
Sakkaroz	45 – 47 g
Ş.Pancarı Melası (%50 sakkaroz)	20 – 24 g
Mısır	40 – 42 g
Buğday	36 – 38 g
Patates	40 – 42 g

Çizelge 3.3. Biyokütle bileşenlerinin oranı [8].

Materyal	6 Karbonlu Şekerler	5 Karbonlu Şekerler	Lignin, Kül
Sert Odunlar	%39-50	%18-28	%15-28 %0,3-1,0
Yumuşak Odunlar	%41-57	%8-12	%24-27 %0,1-0,4
Tarımsal Atıklar	%30-42	%12-39	%11-29 %2-18

Biyoetanol, araçlarda saf halde yakıt olarak kullanılmakla birlikte benzin içerisine karıştırılarak yakıt katkı maddesi olarak da kullanılmaktadır. Etanol, yakıt katkı maddesi olarak benzin ile çok iyi uyum sağlayabilen bir karışım bileşeni olması yanında oktan sayısı, alevlenme hızı ve buharlaşma ısısı yüksek bir yakıt alkolüdür. Sahip olduğu bu özelliklerden dolayı yanma odası içerisinde daha kısa yanma süreleri sağlayarak yanma sonunda benzine göre daha yüksek verim alınmasını sağlar. Yakıt sisteminin temiz tutulması ve yüksek performanslı çalışmasını sağlar. Buharlaşma ısısı benzine göre yüksek olan etanolün alev sıcaklığı benzine göre düşüktür. Etanolün oksijen içeriğinin yüksek olmasından dolayı (%35) karışımın yanması için ihtiyaç duyulan hava benzine göre daha azdır [31], [33]. Çizelge 3.4'te etanol yakıtının farklı karışımlarının benzinli motorlarda kullanılması için gerekli olan düzenlemeler verilmiştir.

Çizelge 3.4. Etanol yakıtının farklı karışımlarının benzinli motorlarda kullanılması için gerekli olan düzenlemeler [2].

Etanol Yakıtı	Karbüratör	Yakıt Enjeksiyon	Yakıt Pompası	Yakıt-Basınç	Yakıt Filtresi	Ateşleme	Buharlaştırıcı	Yakıt Tankı	Katalitik	Ana Motor	Motor Yağı	Emme	Egzoz Sistemi	Soğukta	
≤ %5	BÜTÜN ARAÇLAR İÇİN														
%5-10	15-20 YAŞ ÜZERİNDEKİ ARAÇLAR İÇİN														
%10-15															
%25-85															
≥ %85															
Değişimi	<input checked="" type="checkbox"/>	gerekli							<input type="checkbox"/>	Değişimi gerekli olmayabilir					

Çizelge 3.4'te görüldüğü gibi araç yakıtı olarak alkol yakıtların kullanılabilmesi için aracın mekanik yapısında, motor ve düzeneklerinde bir kısım değişim gerekebilir. Benzinli araçların yapıları, yakıt olarak benzin kullanmaya uygun bir tasarımla üretilirler. Alkol yakıtların araç yakıtı olarak kullanılmak istenmesi durumunda, alkol yakıtların kimyasal özellikleri bakımından ve yakıttan en iyi performansı elde etmek için araçlarda gereken değişimlerin yapılması gerekmektedir. Çizelge 3.4'te yakıt karışımı içerisindeki etanol oranındaki artışla birlikte aracın motor ve diğer sistemlerinde yapılması gerekli olan değişimler gösterilmektedir. Araç yakıtı olarak alkol yakıtlar kullanılmak üzere özel üretilmiş araçlar için aracın motor ve diğer sistemlerinde değişime ihtiyaç duyulmamaktadır [2].

Etanol benzinin oktan sayısının artırılması ve egzoz emisyonu zararlarının azaltılması amacıyla araçlarda yakıt olarak kullanılmaktadır. Alkollerin buharlaşma ısısının benzine göre yüksek olması, silindir içerisine alınan yakıt hava karışımı üzerinde soğutucu bir

etki yaparak volümetrik verimi artırmaktadır. Alkollerin ısı değerinin petrol kökenli yakıtlara göre düşük olması özgül yakıt tüketimini artırmaktadır [6]. Etanol ve benzine ait fiziksel özellikler ile kimyasal özellikler Çizelge 3.5’te gösterilmiştir [23].

Çizelge 3.5. Benzin ve etanole ait fiziksel özellikler ile kimyasal özellikler.

ÖZELLİKLER	BİRİM	KUŞUNSUZ BENZİN	ETANOL
Kimyasal formülü	-	C_8H_{18}	C_2H_5OH
Karbon içeriği	% kütleli	85-88	52,2
Hidrojen içeriği	% kütleli	12-15	13,1
Oksijen içeriği	% kütleli	-	34,7
Yoğunluk (15 ° C)	kg / m ³	750,8	809,9
Araştırma oktan sayısı	-	95	108,6
Motor oktan sayısı	-	85	89,7
Ortalama oktan sayısı	-	90	99,15
Alt ısı değeri (Kütleli)	Mj / kg	42,6	26,7
Alt ısı değeri (Hacimsel)	Mj / L	31,98	21,62
Stokiyometrik hava / yakıt oranı	-	14,7	9
Buharlaşma gizli ısısı	kJ / kg	349	923
Kendi kendine tutuşma sıcaklığı	°C	257	423
Kaynama noktası	°C	45-207	78
Donma noktası	°C	-40	-114,3
Buhar basıncı	kPa - 38 °C	48-103	15,9
Viskozite	mPas - 20 °C	0,4-0,8	1,52

Etanolün oktan sayısının ve buharlaşma ısısının benzine göre daha yüksek oluşu, benzinle karıştırılarak kullanıldığında daha yüksek çıkış gücü ve performans sağlar. Daha zengin bir hava yakıt oranı ayarlanabilir. Bununla beraber etanolün ısı değerinin benzine göre düşük oluşu nedeniyle yakıt olarak kullanılması durumunda verimi düşüktür. 1 kg etanolün tam yanabilmesi için yaklaşık 7,6 m³ hava gerekli iken 1 kg benzinin tam yanabilmesi için ise 12,8 m³ hava gerekmektedir. Etanolün yanması esnasında içinde yeterli hava bulunmazsa su ve aldehit oluşmaktadır. Hava miktarının

daha da azalması durumunda ise sirke asidi ve su oluşmaktadır. Aldehitler indirgendiklerinde alkole, yükseltgendiklerinde ise aside dönüşebilen bileşiklerdir. Bu etkiden dolayı yakıt olarak etanol kullanılacaksa hava miktarının ayarlanmasına dikkat edilmesi gerekir. Hava ne kadar iyi ayarlanırsa sirke asidi ve aldehit oluşumu o derece az olacaktır. Yakıt olarak etanol ve benzin karışımı kullanıldığında yanma sonucu ortaya çıkan oksijen benzin tarafından kullanılacağından asit ve aldehit oluşumu ortaya çıkmayacaktır [11].

Biyoetanolün içinde su bulundurması nedeniyle motor parçaları üzerinde korozyona neden olması en önemli dezavantajdır. Korozyon daha çok yakıt donanımı ve emme sistemi üzerindeki etkili olmaktadır. Bu nedenle yakıt ve emme sisteminin korunması için korozyona dayanıklı malzemelerle kaplanması gerekir. Biyoetanolün nem tutuculuk özelliğinin yüksek oluşu, karışım yakıtlarda(benzin-etanol) faz ayrışmasını meydana getirmektedir. Bununla birlikte su içermeyen alkol ve benzin karışımlarında faz ayrışması oluşmamaktadır [23].

Etanolün buharlaşma gizli ısısı metanolden 1,3 kat daha azdır. Bu nedenle buharlaşma esnasında emme manifoldundan daha az ısı çekmesi soğukta ilk hareket kolaylığı sağlamaktadır [24].

3.1. ETANOL VE BENZİNİN YAKIT KARAKTERİSTİKLERİ

3.1.1. Yakıtın Özgül Kütlesi Açısı Kararlılığı

Yakıtın özgül kütlesi 20°C sıcaklık ve 101.325 kPa basınç altında birim hacimdeki yakıt ağırlığının, aynı hacimdeki suyun ağırlığına oranıdır. Yakıtın fiziksel ve kimyasal yapısı ile tutuşma kabiliyeti özellikleri hakkında bilgi verir. Yakıtın kimyasal yapısında moleküller içerisindeki hidrojen atomu sayısı (H/C oranı) arttıkça özgül ağırlık azalmaktadır. API sayısı Amerikan standartlarında özgül ağırlık ölçüsü olarak kullanılmaktadır.

3.1.2. Yoğunluk

Etanol ile benzin karışımı yakıtlarda karışım oluşturulduğunda yoğunluk farklarından kaynaklanan bir faz ayrışması oluşur. Etanol benzin karışımı yakıt depolanmak üzere yakıt deposu içerisine konulduğunda, etanolün yoğunluğunun benzinin yoğunluğundan fazla olması nedeniyle bir süre sonra alkol deponun alt kısmında, benzin ise deponun üst

kısımında toplanır. Alkolün deponun alt kısmında olmasından dolayı motora giden yakıt benzinden ayrılan alkol olmaktadır. Bunun sonucunda da motor yakıt ihtiyacını yalnız alkolle karşılama durumundadır. Bu durumda etanolün alt ısıl değerinin düşük olmasından dolayı motor gücünde azalma ve dolayısıyla motorda teklemeler meydana getirir. Faz ayrışması durumu motorun ilk hareketi almasını güçleştirir [3].

Etanol-benzin karışımlarının yoğunluğu sıcaklık ile doğrusal yönde değişmektedir. Karışım içerisinde alkol oranının artması ve sıcaklığın düşmesi ile yoğunluk artar. Benzinin yoğunluğu sıcaklık değişimlerinde etanole göre daha karardır ve sıcaklığa göre yoğunluk değişimi azdır. Etanol ise sıcaklık değişimlerinde kararsız yapıdadır ve yoğunluğu çok fazla değişir. Karışım içerisinde etanol oranı arttıkça yoğunluk değişimi de doğru orantılı olarak artmaktadır. Faz ayrışmasını önlemek ve karışımın homojen olmasını sağlamak için alkol-benzin karışımı yakıtlar içerisinde çeşitli katkı maddeleri katılır. Faz ayrışma sıcaklığını düşürebilecek etkili katkı maddeleri ise okalıptus yağı, izobütanol, n-bütanol, izopropanol, tersiyel bütanol ve siklohegzanoldür [3].

3.1.3. Oktan Sayısı

Motorlarda iş zamanında yakıtın kendi kendine tutuşması istenmeyen bir durumdur. Yanmanın verimli olması için motorun sıkıştırma zamanı sonunda istenilen zamanda buji ile ateşleme yapılarak yanmanın kontrollü yapılması gerekir. Bu esnada yakıtın kendi kendine tutuşması vuruntuya neden olacaktır. Vuruntulu yanma üzerine en önemli etkiyi yakıtın fiziksel ve kimyasal özellikleri yapmaktadır. Oktan sayısı yakıtın yanma sonunda vuruntuya karşı gösterdiği direnci belirler. Oktan sayısı yükseldikçe vuruntuya karşı direnç artar. Yakıtın kendi kendine tutuşma özelliği oktan sayısı ile ifade edilir. Motorlarda gücü artırmanın bir yolu da sıkıştırma oranının artırılmasıdır. Sıkıştırma oranının artırılması için de yakıt oktan sayısının artırılması gerekmektedir. Yüksek performanslı motorlar yüksek sıkıştırma oranına sahiptirler ve bu nedenle bu tür motorlarda yüksek oktanlı yakıt kullanılmaktadır [28].

Biyometanolün yüksek oktan sayısına sahip olmasından dolayı petrol ürünlerinin tüketimini azaltmak, yakıtın oktan sayısını artırmak ve karbon emisyonunu azaltmak amacıyla benzine farklı oranlarda karıştırılabilmektedir. Benzine %10 biyometanol ilave edildiğinde oktan sayısı 2 birim artmaktadır. Bununla beraber yakıtlara oktan artırmak amacıyla katılan toksik ve kanserojen etkileri olan benzen, metil tersiyer butil eter (MTBE) ve kurşun gibi kimyasal maddelerin kullanımını ortadan kaldırır [29].

3.1.4. Isıl Değer

Isıl değer, yanma sonunda yanma odasında yakılan birim yakıt kütlesinin ne kadarının ısıya dönüştüğünü gösteren ölçü birimidir. Motor yakıtlarında aranan en önemli özelliklerden biriside verimli bir yanma aralığına sahip olmasıdır. Yakıtların ısı değerleri motorlarda tork ve moment, fren termik verimi, egzoz gazı sıcaklığı ve emisyonları etkileyen en önemli parametrelerden birisidir. Alkollerin yapılarında yüksek oksijen bulundurmasından dolayı ısı değerleri benzin ve dizel yakıtlara göre daha düşüktür [27].

3.1.5. Stokiyometrik Hava/Yakıt Oranı

Yanmanın tam olarak gerçekleşmesi için gereken en uygun hava yakıt karışım oranı stokiyometrik/ideal hava-yakıt karışımı olarak ifade edilir. Benzin için stokiyometrik oran 14.5/1 iken etanolün stokiyometrik hava-yakıt oranı ise 9/1'dir. 1 kg etanolün tam olarak yanabilmesi için ihtiyaç duyulan hava miktarı 7.6 m³ iken aynı miktarda benzin için gereken hava miktarı ise 12.8 m³'tür. Etanol kullanılan motorlar, etanolün yüksek miktarda (%35) oksijen içermesinden dolayı saf benzin kullanılan motorlara göre daha az havaya ihtiyaç duyarlar [1], [11].

3.1.6. Buharlaşma Isısı

Etanolün buharlaşma ısısı benzine göre daha yüksektir. Yakıt zerrecikleri buharlaşma için ortamdan aldıkları ısı nedeniyle giriş hava sıcaklığını düşürerek hava yoğunluğunun artmasını sağlar. Bu durum benzin ile çalışan motorlarda etanol kullanımında motor çıkış gücünde performans artışı sağlar. Ayrıca yanma sıcaklığının düşmesini sağlayarak yanma zamanında vuruntu oluşma durumunu azaltarak egzoz emisyonları içerisindeki azotoksit (NO_x) miktarının düşmesini sağlar [25], [29].

Yakıt olarak etanol kullanımı, etanolün buharlaşma ısısının benzine göre yüksek, buhar basıncının ise düşük oluşundan dolayı soğukta buharlaşmayı güçleştirir. Etanolün stokiyometrik hava-yakıt oranı 9/1'dir. Bu oranının 9/1 olmasından dolayı yakıt olarak etanol kullanılan araçlarda benzine göre daha fazla yakıtı ihtiyaç duyulmaktadır.

Buharlaşma esnasında emme manifoldundan daha az ısı çekmesi soğukta ilk hareket kolaylığı sağlamaktadır. Soğuk havalarda ilk hareketi kolaylaştırmak ve sürüş esnasında meydana gelebilecek problemleri azaltmak için motora zengin karışım verilir. Soğuk hava koşullarında yanma odasında gönderilen buhar haldeki hava-yakıt oranı,

hazırlanan hava-yakıt oranlarının tümünden fakirdir. Yakıt karışımı içerisindeki uçucu bileşenler düşük sıcaklıkta kolay buharlaşırlar, karışım içerisinde eklenen ekstra yakıt yanma odasında tutuşabilir bir karışım meydana getirebilir [1].

3.1.7. Kendi Kendine Tutuşma Sıcaklığı

Yakıtta kendi kendine alev meydana gelmesi oksidasyonun sonucudur. Oksidasyon ekzotermik (dışarıya ısı veren) bir reaksiyondur. Oksidasyon sonucu açığa çıkan ısının ortama atılan ısıdan büyük olması halinde yakıt ısınmaya başlar.

3.1.8. Kaynama Noktası

Etanolün kaynama sıcaklığı 78 °C'dir. Benzinin kaynama noktası ise, daha geniş bir sıcaklık aralığına yayılmıştır. Benzinin yapısında bulunan hidrokarbonların kaynama noktalarının düşük olması etanole göre daha çabuk tutuşmasını sağlar. Etanol benzine göre daha düşük parlama eşiğine sahip bir yakıttır. Benzinin parlama noktası -43 °C iken etanolün 13 °C'dir. Ayrıca etanolün buhar basıncı benzinden daha düşüktür [1].

3.1.9. Donma Noktası

Benzinin donma noktası -40°C etanolün donma noktası ise -114°C dir [1]. Yakıt soğudukça giderek berraklığını kaybederek koyu bir renk alır. Bu durumun iki sebebi vardır. Bunlar yakıtın viskozitesinin artması yani akışkanlığını kaybetmesi ve HC moleküllerin kristalleşmesi yani wax oluşumudur. Etanolün donma noktasının benzinden düşük oluşu benzine göre etanole bir üstünlük sağlamamaktadır.

3.2. ETANOLÜN ÇEVREYE VE EMİSYON DEĞERLERİNE ETKİLERİ

Şehirlerde hava kirliliğinin büyük bir bölümünü, motorlu araçlardan kaynaklanan egzoz emisyonları oluşturmaktadır. Bu kirleticilerin özellikleri ve yoğunlukları motor tipine, motor ayarına, kullanım tarzına, yakıt bileşimine ve atmosferik şartlara bağlıdır. Motorlu taşıtlar çevreyi; egzoz emisyonları, yakıt-yağ buharı, kurşun bileşikleri, asbest ve lastik tozları, aşınma, paslanma ve korozyon sonucu oluşan gaz, sıvı ve katı atıklarla kirletmektedir. Bu kirleticilerin en etkin ve zararlı olanları, egzoz gazında bulunan CO, HC, NOx ve PPM (is, duman vb.) dir. Bunlardan NOx ve PM emisyonları daha çok dizel motorlarından kaynaklanmaktadır.

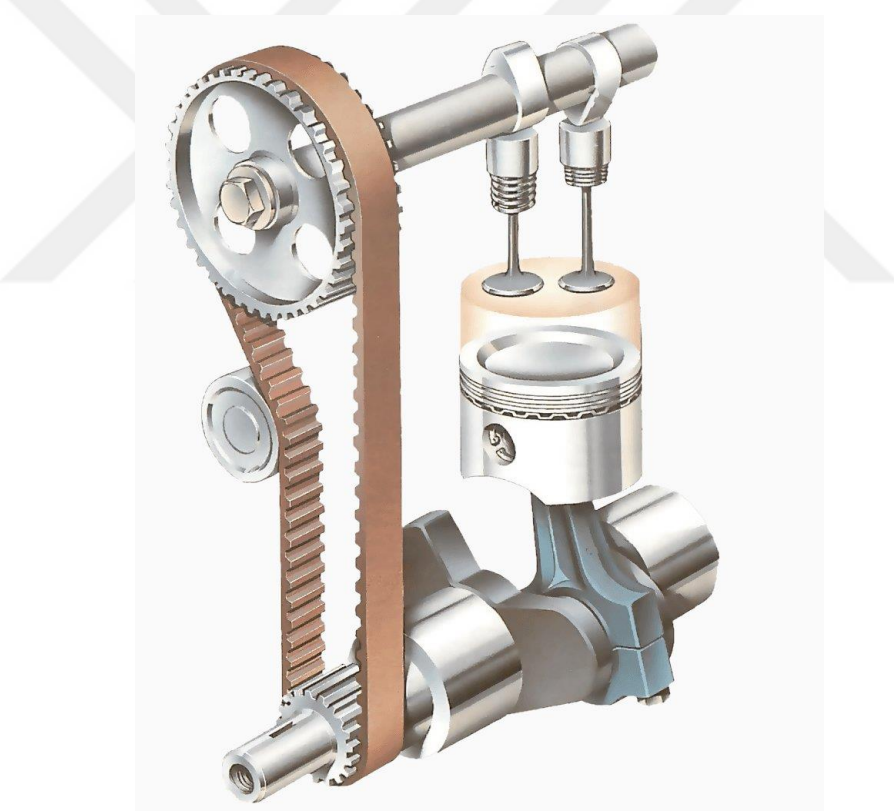
Benzinli ve dizel motorlu taşıtlarda yanma sonucu ortaya çıkan egzoz emisyonları,

havayı kirleten en önemli etkenlerin başında gelmektedir. Motorlarda yakıtın yanmasıyla ortaya çıkan egzoz emisyonları, azot oksit (NO_x), karbon monoksit (CO), hidrokarbon (HC), partikül madde (PPM), kükürt oksit (SO_x) ve kurşun (Pb) içerir. Bu emisyonlar çevreyi kirletmenin yanında insan sağlığı ve ekolojik sisteme ciddi zararlar vermektedir.

Motorlarda yanma zamanı sonunda oluşan egzoz gazları incelendiğinde, biyoetanolün yakıt olarak kullanılmasının benzin kullanımına kıyasla daha çevreci olduğu anlaşılmaktadır. Biyoetanol, insan sağlığını tehlikeye atan başta karbonmonoksit olmak üzere yanma sonucu ortaya çıkan diğer uçucu organik bileşikler ile toksik maddeler ve partikül maddelerin yayılmalarını azaltmaktadır. Taşıtlarda yakıt olarak biyokütle kullanımının yenilenemeyen enerji kaynaklarının tüketimini ve dolayısıyla sera gazı salınımını azalttığı, böylece şehirlerdeki hava kirliliğinin azalması ve hava kalitesinin iyileşmesine önemli ölçüde fayda sağladığı görülmüştür. Biyoenerji üretiminde ortaya çıkan karbon salınımı, fosil yakıt üretiminde ortaya çıkan salınımdan daha azdır. Biyoetanol üretimi ve yakıt olarak kullanımının benzine göre de %82-85 daha az emisyon ortaya çıkardığı, biyodizel üretimi ve kullanımı ile de motorine göre %41-78 arası daha az emisyon ortaya çıkardığı bilinmektedir.

4. KAM (EKSANTRİK) MİLİ

Kam milli krank milinden aldığı hareket ile supapların istenilen zamanda açılıp kapanmasını sağlar. Bu görevi ile beraber üzerinde bulunan helis dişli ve yardımcı bir kam yardımıyla yağ pompası, yakıt pompası ve ateşleme distribütörüne hareket veren hareketli bir motor parçasıdır. Kam mili üzerindeki çıkıntılar doğrudan ya da farklı sistemler kullanılarak supap sapı üzerine basarak supapların zamanlarına göre açılıp kapanmasını sağlamaktadır. Kam mili motorun tasarımına bağlı olarak silindir kapağı ya da motor bloğu üzerine yataklandırılır. Şekil 4.1’de iticili bir supap sistemine ait kam milinin motor üzerindeki konumu gösterilmiştir [44].



Şekil 4.1. Hidrolik iticili bir supap sistemine ait kam milinin motor üzerindeki konumu.

Kam mili hareketini dişli sistem, zincir dişli sistem ve zincir kayış sistemi yardımıyla krank milinden almaktadır. Dört zamanlı bir motorda bir çevrimin oluşması için krank milinin 720° dönmesi gerekirken kam mili 360° dönmektedir. Bir çevrimin oluşması için krank mili iki tur dönerken kam mili bir tur dönmektedir. Motorun tasarımına göre

değişmekle birlikte her dört zamanlı motorda bir tane kam mili bulunmaktadır. Supap sayısı ve konumuna göre emme ve egzoz supaplarına ayrı ayrı kullanılmak üzere iki kam mili de kullanılabilir [39]. Şekil 4.2’de standart bir motora ait kam mili örneği gösterilmiştir. Şekil 4.3’de deney motoru olarak kullanılan Honda GX 390 model dört zamanlı, tek silindirli benzinli motora ait kam mili gösterilmiştir. Şekil 4.3’te Honda GX390 model dört zamanlı tek silindirli benzinli motora ait kam mili gösterilmiştir [45]. Şekil 4.4’te kam profili yükseltılarak modifiye edilmiş kam mili görülmektedir



Şekil 4.2. Standart bir motora ait kam mili.



Şekil 4.3. Honda GX390 model dört zamanlı tek silindirli benzinli motora ait kam mili.

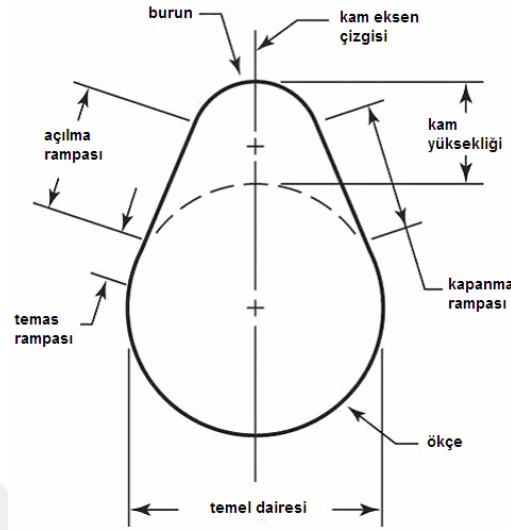


Şekil 4.4. Kam profili yükseltılarak modifiye edilmiş kam mili.

Kam mili imalatında genel olarak uygulanan imalat yöntemleri dökme ve preste dövme metotlarıdır. Malzeme olarak çelik alaşımları ve grafitli dökme demir kullanılır. Kam mili üzerinde motor tasarımına göre yatakların yağlanabilmesi için muylular, supapların açılıp kapanmasını sağlayan kam çıkıntıları, yağ pompası, distribütör ve yakıt pompasına hareket verecek helis dişli ya da ayrı bir kam çıkıntısı bulunmaktadır. Kam çıkıntılarının yüzeyi özel bir şekilde sertleştirilip taşlanarak hassas pürüzsüz ve sertleştirilmek suretiyle yüksek sıcaklıkta ve sürtünmeye dayanıklı hale getirilir [39].

Bu imalat metotlarının yanında kam milli üretiminde; çelik silindir bloklarının işlenerek boşaltılması ve montajlı kam mili üretim yöntemleri de uygulanmaktadır. Kam mili imalatında dövme çelik metodu ile üretim sınırlı sayıdadır. Bu yöntemle üretilen kam milleri ağır şartlarda çalışan iş makineleri, çekiciler ve deniz araçları motorlarında kullanıldığından az miktarda talep edilmektedir [40].

Şekil 4.5'te kam miline ait kısımlar isimleri ile gösterilmiştir. Kam mili gövdesi temel dairesi, kamın supap üzerine bastığı yüzey burun, temel dairesi ve burun arasında kalan kenarlar kam milinin dönüş yönüne bağlı olarak açılma rampası ve kapanma rampası olarak isimlendirilmiştir [39].



Şekil 4.5. Kamın kısımları.

Silindir hacmine göre silindir içerisine alınması gereken teorik hava miktarının, gerçekte silindir içerisine alınan hava miktarına oranı hacimsel (volümetrik) verim olarak ifade edilir. Hacimsel (volümetrik) verimin motor torku ve gücü üzerinde önemli etkisi bulunmaktadır. Kullanılan yakıt türü, yakıtın buharlaşma miktarı, hava-yakıt karışım (λ) oranı, buharlaşma gizli ısısı, sıkıştırma oranı, supap zamanlaması ve motor devri ve motor tasarımı gibi etkenler volümetrik verimi etkilemektedir. Motor tasarımında egzoz ve emme manifoldlarının biçimi, kam mili ve supaplar ve supap sisteminin geometrik yapısı ve özellikle emme supaplarının tasarımı volümetrik verimi etkileyen önemli noktalar. Motorun volümetrik verimi azalırsa, performans düşer, yakıt tüketimi artar; bu sebeple motorlarda volümetrik verimin tüm motor devir aralıklarında yeterince yüksek olması istenir. Volümetrik verim yüksek olursa, tork ve güç de artacaktır; çünkü yanma daha verimli gerçekleşecektir [41].

Supap mekanizması sabit olan motorlar için volümetrik verim belirli bir devir aralığında olacak şekilde supap zamanlaması yapılır. Bu çalışma aralığının altında ya da üstünde çalışmalarda motor düşük volümetrik verim ile çalışır. Motorun her devir aralığında volümetrik verimin yüksek olmasını sağlamak için silindir içerisine alınan hava miktarını en yüksek volümetrik verim değerlerine yakın miktarlara yükseltmesi

gerekir. Bunun sağlanabilmesi için motoru devir durumuna göre supapların açık kalma sürelerini, açma kapama zamanlarını kontrol edebilen değişken supap zamanlaması olarak adlandırılan sistemler geliştirilmiştir. Motorun tüm çalışma devirlerinde silindir içerisine alınan hava miktarı olabildiğince artırılmakta böylece volümetrik verim ve dolayısı ile motor performansı yükseltilebilmektedir [42].

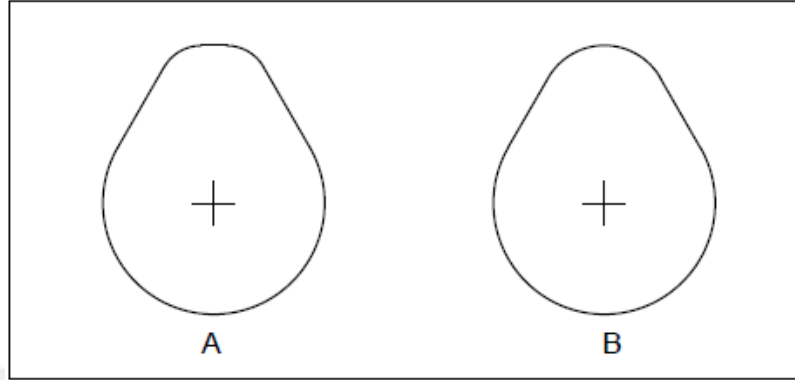
Volümetrik verim ve motor performansını arttırmak için supaplar ve supap sistemlerinin geliştirilmesine yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Her bir silindir için emme ve egzoz supabı sayıları artırılarak silindirlere daha fazla hava yakıt karışımı alınması ve yanma sonucu oluşan gazların daha hızlı şekilde silindir içerisinden uzaklaştırılarak motor performansının artırılması amaçlanmaktadır [42]. Motor devri yükseldikçe pistonun hızı artacağından silindirlere alınacak karışımın hızı ve hareket enerjisi de değişecektir. Bu durumu kontrol edebilmek, performans düşüşünü engellemek için birden fazla supap kullanılmasının yanında supapların açılmasını ve kapanmasını kontrol edebilecek Değişken Supap Zamanlaması (Variable Valve Timing, VVT) sistemi geliştirilmiştir. Bu sistem motor devrine göre supapların açık kalma sürelerini ve ne kadar açılacağını belirleyebilmektedir. Böylece motorun tüm çalışma şartlarında her devir için gerekli yakıt hava karışım miktarının silindirlere alınmasını sağlayarak volümetrik verimi ve motor performansını artırabilmektedir. Değişken supap zamanlamasına ait kam mili Şekil 4.6'da görülmektedir [39].



Şekil 4.6. Değişken supap zamanlaması için kullanılan kam milleri.

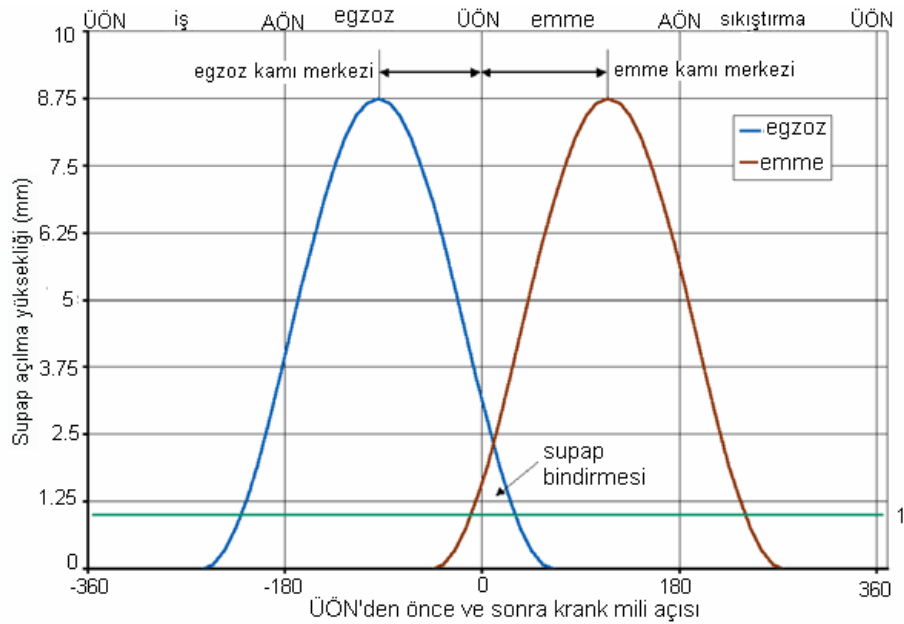
VVT sisteminde kam profili şekli emme ve egzoz supaplarının açık kalma süresi ile açılmaya başladığı ve kapanma noktasını belirler. Şekil 4.7'de profilleri farklı kam milleri kesiti görülmektedir. Şekil 4.7 A'da görülen düz burun profiline sahip kam mili bu yapısından dolayı supapların daha hızlı açılıp kapanmasını sağlamakta ve supabın açık kalma süresini uzatmaktadır. Geniş burun profilli daha çok yakıt hava karışımının

silindir içerisine daha hızlı alınmasında ve yanma sonucu oluşan gazların daha hızlı silindir dışına atılmasında daha verimlidir. Şekil 4.7 B’de görülen sivri burun yapısına sahip kam milinde ise kam açısının küçük olmasından dolayı supap daha kısa süre açık kalmaktadır.



Şekil 4.7. İki farklı kam profili.

Şekil 4.8’de dört zamanlı bir motorun supap diyagramı gösterilmiştir [39]. Emme, sıkıştırma, iş ve egzoz zamanlarının meydana gelmesi sürecinde supap bindirmesi ve emme ve egzoz supaplarının açılma ve kapanma periyotları diyagramda görülmektedir. Kamların profili emme ve egzoz supaplarının açık kalma sürelerini etkilemektedir. Egzoz zamanında piston ÜÖN’ da egzoz supabı kapanmaya başlarken emme supabı ise açılmaya başlamaktadır. Böylece her iki supap da beraberce bir an açık kalmaktadırlar. Motorlarda tasarıma bağlı olarak supap bindirme periyodu farklılık göstermektedir.



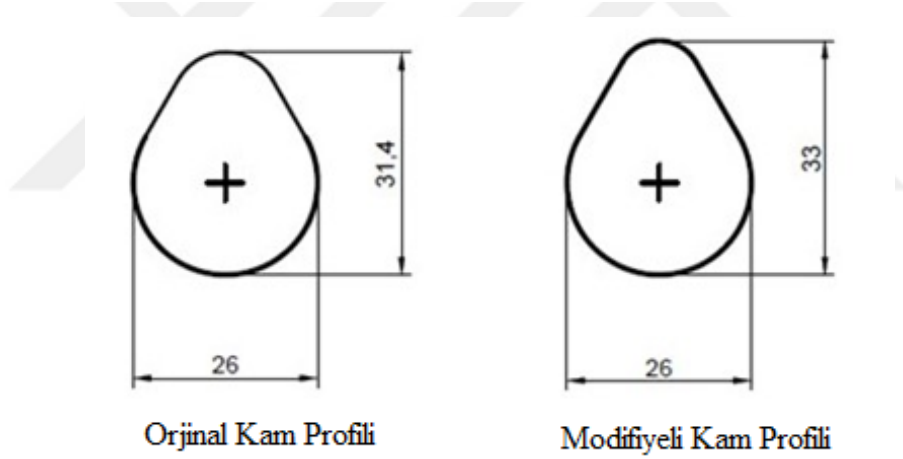
Şekil 4.8. Kam Dört zamanlı bir motorda emme ve egzoz suplarının açılma-kapanma diyagramı.



5. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada benzin ve değişik oranlarda hazırlanan benzin-etanol karışımlı yakıtların, kam profiline bağlı olarak tek silindirli, dört zamanlı, benzinli bir motorun tam yükte ve farklı devirlerde (1250 dev/dak, 1750 dev/dak, 2250 dev/dak, 2750 dev/dak, 3250 dev/dak, 3750 dev/dak) motor performansı ve egzoz emisyonları üzerine etkileri incelenmiştir.

Çalışmanın ilk aşamasında deney motoruna ait ikinci bir kam mili kullanılarak bu mil üzerindeki emme ve egzoz kamlarının burun kısımları kaynak dolgu yöntemiyle doldurularak 1.6 mm yükseltilmiştir. Taşlama işlemi uygulanarak yüzey pürüzlüğü giderildikten sonra kam yüzeylerine ısıl işlem uygulanarak kam yüzeyleri sertleştirilmiştir. Şekil 5.1’de orijinal ve modifiye kam çıkıntıları gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Orjinal ve modifiye kam çıkıntıları.

Bu amaçla deney yakıtı olarak saf benzin(E0) ve sırasıyla hacimsel olarak %10, %20, %30 ve %40 etanol içeren benzin-etanol karışımları (E10, E20, E30, E40) hazırlanmıştır. Kullanılan etanol (Merck) %99 saflıktadır. Yakıt karışımları faz ayrışmasını önlemek için deneylerden hemen önce hazırlanmıştır. İlk deneyler orjinal kam mili ile yapılmıştır. Motor devri tam gaz açıklığında 3750 dev/dak’ya kadar yükseltildikten sonra, dinamometre ile kademeli olarak yüklenerek 500 dev/dak aralıklar ile motor devri 1250 dev/dak’ya kadar düşürülmüştür. Karışım yakıtları (E0, E10, E20, E30, E40) ve modifiyeli kam mili ile tüm deneyler aynı şartlar altında yapılmıştır. Deneylerin gerçekleştirilmesi sırasında ortam sıcaklığı 20 °C olarak

ölçülmüştür. Deneilerin başlamasından önce motorun uygun çalışma sıcaklığına gelmesi için 10-15 dakika kadar çalıştırılmıştır. Deneilerin tümü motor yağı sıcaklığı 50 °C'ye ulaştığında yapılarak her bir deneyin aynı şartlarda yapılması sağlanmıştır. Yapılan deneyler aynı şartlar altında üçer kez tekrar edilerek, bu ölçümlerden elde edilen verilerin aritmetik ortalaması alınmıştır.

5.1. DENEY ORTAMI VE DENEY ARAÇLARI

Deneiler Düzce Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Makine ve İmalat Mühendisliği Bölümü İçten Yanmalı Motorlar laboratuvarında aynı şartlar altında gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan deney düzeneğinde; benzinli, tek silindirli, 4 zamanlı ve hava soğutmalı, ticari markası HONDA GX390 olan bir motor ve 15 kW güç sönmüleyebilen elektrikli bir dinamometre bulunmaktadır. Deney motorunun teknik özellikleri Çizelge 5.1'de gösterilmiştir.

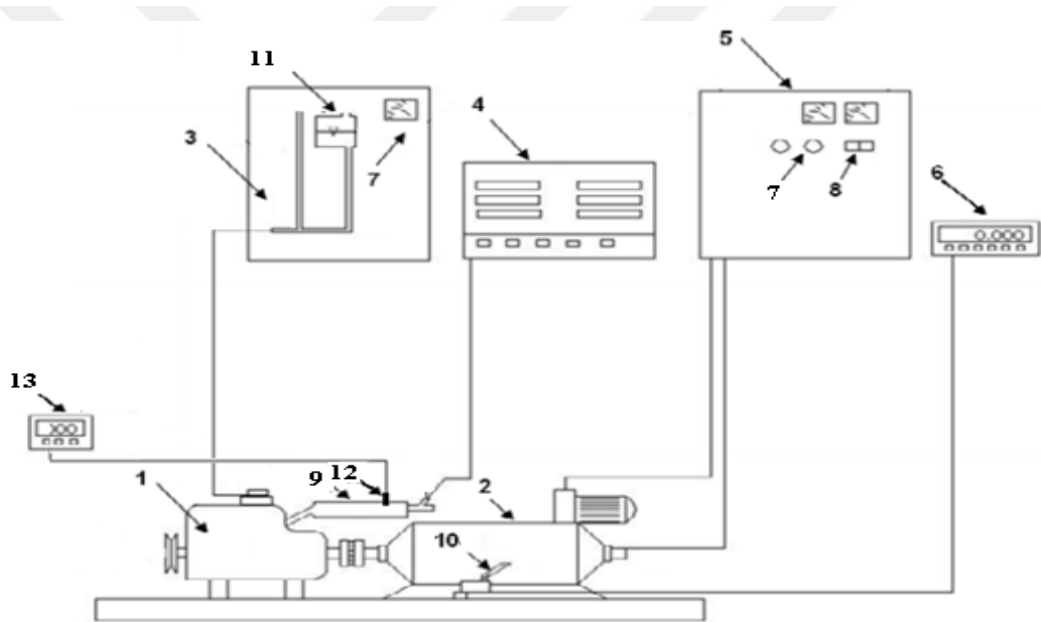
Çizelge 5.1. Deney motorunun teknik özellikleri.

Marka	Honda
Model	GX 390 H VTE5
Motor tipi	4 zamanlı OHV
Ateşleme sistemi	Elektronik
Silindir sayısı	1
Yanma odası	Direkt püskürtmeli
Yakıt Cinsi	Kurşunsuz Benzin
Silindir çapı x strok	86x64 mm
Kurs hacmi	389 cm ³
Sıkıştırma oranı	8.0:1
Özgül Yakıt Sarfiyatı	230 gr/BG-h
Maksimum tork	2.7 N.m (2500 dev/dak)
Nominal devir	3600 dev/dak
Maksimum Motor Gücü	9,6 kW

Çizelge 5.2'de elektrikli dinamometrenin teknik özellikleri, Şekil 5.2.'de ise deney ünitesinin şematik görünüşü gösterilmiştir.

Çizelge 5.2. Elektrikli dinamometreye ait teknik özellikler.

Marka	Kemsan
Frenleme gücü (Maksimum)	15 kW
Devir (Maksimum)	6000 dev/dak
Model (Yük hücresi)	Esit STCS 50 (S Type)
Kapasite (Yük hücresi)	50 kg
Gerekli Olan Elektrik	220/380 Volt. 50 Hz.
Dönüş yönü	Sağ



- | | | | |
|---------------------------|---------------------|------------------|-------------------------|
| 1. Motor | 5. Kontrol paneli | 9. Egzoz borusu | 13. Sıcaklık göstergesi |
| 2. Elektrikli dinamometre | 6. Hız göstergesi | 10. Yük sensörü | |
| 3. Yakıt ölçüm büreti | 7. Marş anahtarı | 11. Yakıt deposu | |
| 4. Egzoz emisyon cihazı | 8. Yükleme anahtarı | 12. Termokupl | |

Şekil 5.2. Deney düzeneğinin şematik görünümü

Deney ünitesi, motor devri ile dinamometreye uygulanan kuvveti gösteren dijital göstergeler, yakıt tüketimini ölçen 100 ml kapasiteye sahip yakıt ölçme büreti ile bir kontrol panelinden meydana gelmektedir. Deney düzeneğinin resmi Şekil 5.3'te gösterilmiştir.



Şekil 5.3. Deney düzeneğinin resmi.

Egzoz emisyon değerleri, ticari markası K Test olan emisyon ölçüm cihazı ile ölçülmüştür. Şekil 5.4'te K test emisyon ölçüm cihazı gösterilmiştir. K Test Egzoz emisyon ölçüm cihazının teknik özellikleri Çizelge 5.3'te verilmiştir



Şekil 5.4. K test emisyon ölçüm cihazı.

Çizelge 5.3. Elektrikli dinamometreye ait teknik özellikler.

Marka	K Test
O ₂ konsantrasyonu (%)	0-25 (%)
CO konsantrasyonu (%)	0-15 (%)
HC (ppm)	0-20.000 (ppm)
CO ₂ konsantrasyonu (%)	0-20 (%)
Lambda	0,5-2,0

5.2. MOTOR PERFORMANS HESAPLAMALARI

5.2.1. Moment

Motor momenti Esit STCS 50 model S tipi yük hücresi ile ölçülmüştür. Şekil 5.5'te yük hücresi gösterilmiştir. Motor moment değeri Denklem (5.1) ile hesaplanır.

$$M_e = F \cdot g \cdot L \quad (5.1)$$

Denklem (5.1)'de M_e etkin motor momenti (N.m), F yük hücresinden okunan kuvvet (kg), L motor merkezinin yük hücresine uzaklığı (m), g yerçekim ivmesidir (m/s^2).

5.2.2. Güç

Krank mili çıkışından alınan motor gücüne faydalı güç, efektif güç veya fren gücü denir. Efektif güç Denklem (5.2)'ye göre hesaplanır.

$$P_e = M_e \cdot n / 9549 \quad (5.2)$$

Denklem (5.2)'de P_e efektif motor gücü (kW), M_e etkin motor momenti (N.m), n motor devridir(dev/dak).



Şekil 5.5. Yük hücresinin görünümü.

Yakıt tüketiminin belirlenmesinde 1ml hassasiyetli 100 ml hacme sahip ölçekli bir cam büret ve %1 hassasiyetli kronometre kullanılmıştır. Yakıt ölçüm düzeneği Şekil 5.6'da verilmiştir. Yakıt ölçümünde 60 s'de tüketilen yakıt miktarı baz alınmış ve motorun farklı yük ve devir şartlarında bu sürede ne kadar yakıt tükettiği cam büret ve kronometre yardımı ile tespit edilmiştir. 60 s'de hacimsel olarak tüketilen yakıt miktarı değeri kullanılarak saatlik yakıt tüketimi litre olarak belirlenmiştir. Belirlenen değer yakıtın yoğunluğu ile çarpılarak kg cinsinden saatlik yakıt tüketim miktarı elde edilmiştir. Özgül yakıt tüketimi Denklem (5.3)'e göre hesaplanmıştır.

$$b_e = B \cdot 1000 / P_e \quad (5.3)$$

Denklem (5.3)'te b_e özgül yakıt tüketimi (g/kW.h), B saatlik yakıt tüketimi (kg/h),

P_e ise efektif motor gücüdür (kW).

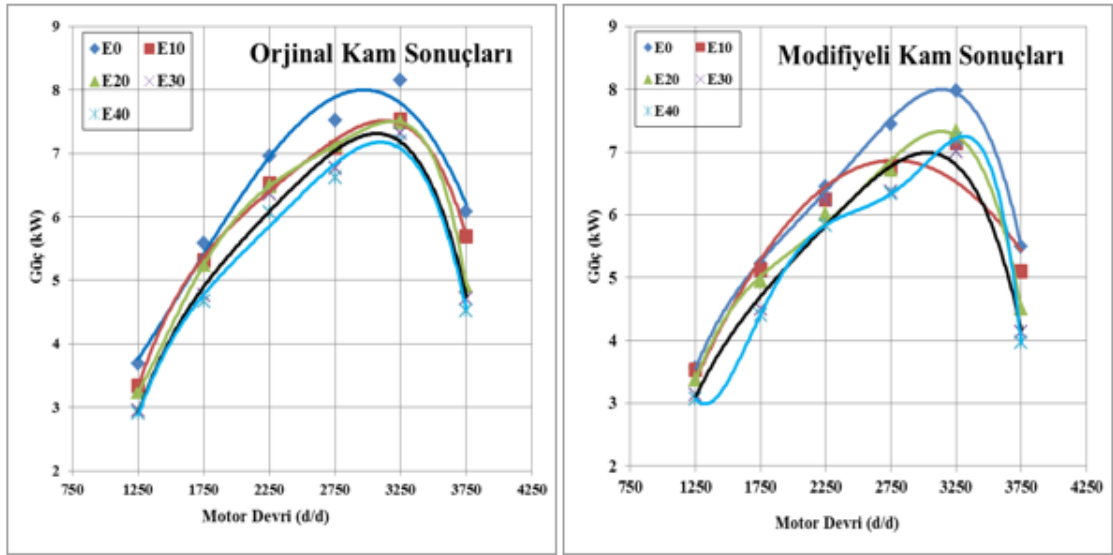


Şekil 5.6. Yakıt ölçüm düzeneği.

6. BULGULAR

6.1. MOTOR GÜÇ VE TORK DEĞERLERİNİN DEĞİŞİMLERİ

Orijinal kam mili ve kam çıkıntısı yükseltılarak modifiye edilmiş kam mili kullanılarak yapılan deneyler sonunda motor devri ve kullanılan yakıt türüne göre ölçülen güç değişimleri Şekil 6.1’de görülmektedir.



Şekil 6.1. Karışım yakıtların orijinal ve modifiyeli kam mili ile kullanımının motor gücü üzerindeki etkisi.

Orijinal kam mili kullanılarak yapılan ilk deneyde, tüm devirlerinde E0 yakıtı ile en yüksek gücün elde edildiği görülmektedir. 1250 dev/dak'da 3,69 kW güç üreten motor, 3250 dev/dak'da 8,15 kW güç üretmiştir. 3250 dev/dak'dan sonra volümetrik verimin düşmesine ve sürtünme kuvvetlerinin artmasına bağlı olarak motor gücü azalmaya başlamıştır. Şekil 6.1'de E10 yakıtı ile E0 yakıtına göre motorun daha az güç ürettiği görülmektedir. 1250 dev/dak'da, 3,34 kW güç üretilmiş, 3250 dev/dak'da maksimum 7,53 kW güce ulaşılmış ve bu noktadan sonra devir artışıyla ters orantılı olarak gücün düştüğü görülmüştür. 3750 dev/dak'da 5,69 kW güç üretilmiştir. Yakıt karışımı içerisinde etanol miktarına bağlı olarak güçte düşüş olduğu görülmektedir.

E20 yakıtında motorun ürettiği gücü E10 yakıtında elde edilen değerlere çok yakın olduğu görülmektedir. Maksimum güç 3250 dev/dak'da üretilmiş olup 7,49 kW'dır. E30 yakıtı ile 1250 dev/dak'da 2,95 kW güç üretildiği ve 3250 dev/dak'da 7,32 kW güç üretildiği görülmektedir. E40 yakıtında ise üretilen gücün, tüm yakıtlara göre daha düşük değerde olduğu görülmektedir. 1250 dev/dak'da 2,91 kW, 3250 dev/dak'da ise 7,18 kW güç üretilmiştir.

Şekil 6.1'de modifiyeli kam sonuçları grafiği incelendiğinde, E0 yakıtı ile en yüksek güç değerlerinin elde edildiği görülmektedir. 1250 dev/dak'da 3,56 kW, 3750 dev/dak'da 5,50 kW güç elde edilmiştir. Maksimum güç ise 3250 dev/dak'da 7,98 kW olarak ölçülmüştür. Modifiyeli kam kullanılarak yapılan deneylerde E0, E10, E20, E30 ve E40 yakıtları içerisinde en iyi performansı E0 yakıtı göstermiştir. E10 yakıtında 1250 dev/dak'da 3,53 kW güç üretilirken, 2750 dev/dak'da 6,77 kW güç elde edilmiştir. 2750 dev/dak'dan sonra motor devrinin yükselmesiyle birlikte güç kaybı oluşmaya başlamıştır. E20 yakıtında 1250 dev/dak'da 3,38 kW güç üretilmiş ve 3250 dev/dak'da 7,33 kW güce ulaşılmıştır. Yükselen motor devir ile beraber 3250 dev/dak'dan sonra hızlı bir güç kaybı başlamış ve 3750 dev/dak'da 4,52 kW güç elde edilebilmiştir.

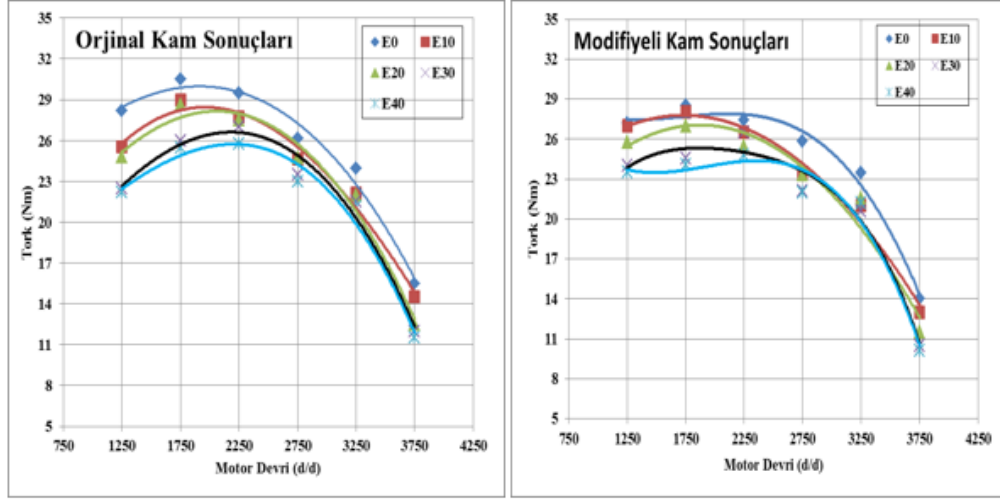
E30 yakıtında 1250 dev/dak'da E0, E10 ve E20 yakıtlarından daha az olmak üzere 3,14 kW güç üretilmiştir. 3250 dev/dak'da maksimum güce ulaşılarak 7 kW güç elde edilmiştir. Bu noktadan sonra motor devri 3750 dev/dak'ya yükselmesi sürecinde güç kaybı başlamış ve 3750 dev/dak'da 4,13 kW güç elde edilmiştir. E40 yakıtında 3250 dev/dak'ya kadar düzenli bir yükselişle 7,22 kW güce ulaşılmıştır. 3750 dev/dak' da 3,97 kW güç elde edilmiştir. Çizelge 6.1'de orijinal ve modifiyeli kam profilleri ile devre bağlı olarak tüm yakıt karışımları ile elde edilen güç değerleri verilmiştir. Orijinal kam mili kullanılarak yapılan deneylerde karışım içerisindeki etanol miktarının artmasının motor gücü üzerinde gücü artırıcı bir etkisi olmadığı, yükselen motor devri ile birlikte gücün düşmesine neden olduğu anlaşılmaktadır. Bu duruma etanolün alt ısı değerinin düşük olması neden olmaktadır. Bu sebeple etanol içeren karışım yakıtların kullanımında yanma sonucunda daha düşük enerji oluşmakta ve ateşleme zamanında daha az enerji meydana gelmektedir [36].

Çizelge 6.1. Tüm yakıt karışımlarının kam miline bağlı olarak güç değerleri.

Motor devri (dev/dak)	Güç (N.m)									
	E0 (ORJİNAL)	E0 (MODİFİYE)	E10 (ORJİNAL)	E10 (MODİFİYE)	E20 (ORJİNAL)	E20 (MODİFİYE)	E30 (ORJİNAL)	E30 (MODİFİYE)	E40 (ORJİNAL)	E40 (MODİFİYE)
1250	3,69	3,56	3,34	3,53	3,25	3,38	2,95	3,14	2,91	3,08
1750	5,59	5,22	5,31	5,13	5,25	4,95	4,76	4,50	4,67	4,41
2250	6,95	6,46	6,53	6,24	6,48	6,01	6,36	6,24	6,07	5,84
2750	7,53	7,45	7,08	6,77	7,13	6,72	6,77	6,36	6,62	6,34
3250	8,15	7,98	7,53	7,15	7,49	7,33	7,32	7,00	7,18	7,22
3750	6,09	5,50	5,69	5,11	4,91	4,52	4,71	4,13	4,52	3,97

Şekil 6.2 ve Çizelge 6.2’de orjinal ve modifiyeli kam mili ile elde edilen tork değerleri görülmektedir. Orjinal kam mili ile yapılan deneylerde en yüksek tork değerinin E0 yakıtında elde edildiği görülmektedir. 1250 dev/dak’da 28,21 N.m tork üretilirken motor devrinin yükselmesi ile birlikte 2250 dev/dak’dan sonra tork düşmeye başlamıştır. 3750 dev/dak’da 15,5 N.m tork değeri meydana gelmiştir. E10 yakıtında 1250 dev/dak’da 25,52 N.m ölçülen tork 1750 dev/dak üzerindeki devirlerde sürekli düşerek 3750 dev/dak’da 14,5 N.m olarak ölçülmüştür. E20 yakıtında E10 yakıtında elde edilen tork değerlerine çok yakın değerler ölçülmüştür. 3750 dev/dak’da ölçülen tork 12,5 N.m’dir. E30 yakıtında 1250 dev/dak’da 22,50 N.m tork üretilmiş, 2250 dev/dak’da 27 N.m tork üretilmiş, yükselen devir ile ters orantılı olarak tork düşmeye başlamıştır. 3750 dev/dak’ da üretilen tork ise 21 N.m olmuştur. E40 yakıtında ise en düşük tork değerleri elde edilmiştir. 1250 dev/dak’da 22,2 N.m tork üretilmiş, devir 2250 dev/dak’ya yükselene kadar tork değeri 25,74 N.m’ye yükselirken bu devirden sonra düşük tork değerleri elde edilmiştir. 3750 dev/dak’ da elde edilen tork değeri 11,5 Nm olmuştur.

Şekil 6.2’de modifiye kam mili ile yapılan deney sonuçları incelendiğinde her iki deney sonucunda tork değerlerinin düştüğü görülmektedir. E0, E10, E20, E30 ve E40 yakıtlarında her iki kam mili ile yapılan deneylerde motorun ürettiği tork değerleri 1250 dev/dak için 23 N.m ile 28 N.m aralığında olmuştur. Yine her iki deney durumu için tüm yakıtlarda motorun ürettiği 3750 dev/dak’da elde edilen tork değerleri 10 N.m ile 14 N.m aralığında ölçülmüştür. Çizelge 6.2’de karışım yakıtlar ile orjinal ve modifiyeli kam mili kullanımının motor torkuna etkileri verilmiştir.



Şekil 6.2. Karışım yakıtların motor torku üzerindeki etkisi.

Çizelge 6.2. Tüm yakıt karışımlarının kam miline bağlı olarak tork değerleri.

Motor devri (dev/dak)	Tork (N.m)									
	E0 (ORJİNAL)	E0 (MODİFİYE)	E10 (ORJİNAL)	E10 (MODİFİYE)	E20 (ORJİNAL)	E20 (MODİFİYE)	E30 (ORJİNAL)	E30 (MODİFİYE)	E40 (ORJİNAL)	E40 (MODİFİYE)
1250	28,21	27,18	25,52	27,00	24,80	25,80	22,50	24,00	22,20	23,50
1750	30,50	28,50	29,00	28,00	28,64	27,00	26,00	24,54	25,50	24,07
2250	29,50	27,40	27,72	26,50	27,52	25,50	27,00	26,50	25,74	24,78
2750	26,13	25,86	24,60	23,50	24,76	23,34	23,50	22,10	23,00	22,00
3250	23,94	23,45	22,13	21,00	22,00	21,55	21,50	20,58	21,10	21,21
3750	15,50	14,00	14,50	13,00	12,50	11,50	12,00	10,51	11,50	10,10

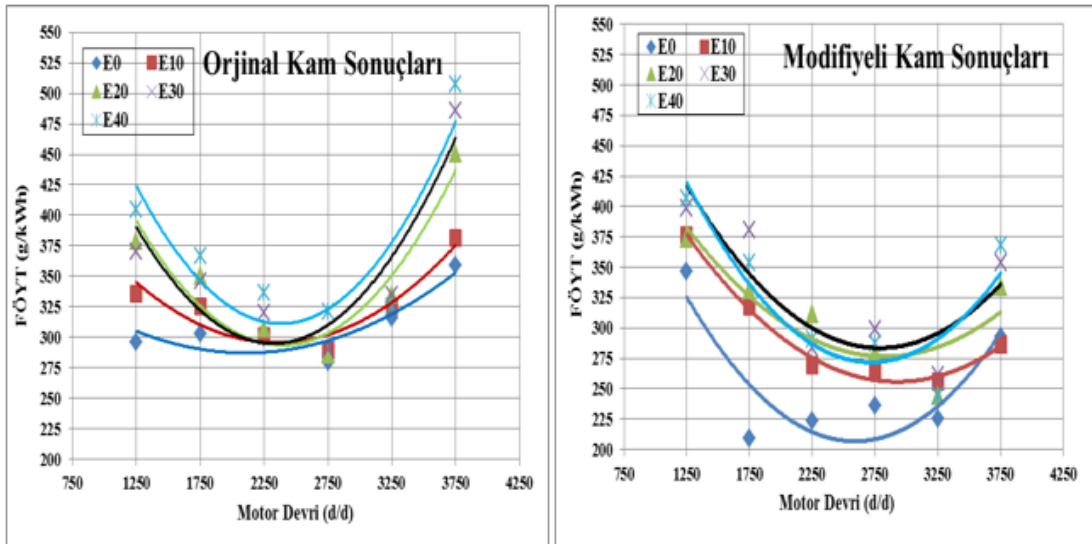
Şekil 6.2’de görüldüğü gibi modifiyeli kam milinin kurs miktarı 1.6 mm daha fazla olmasına rağmen tüm devirlerdeki güç ve tork değerleri daha düşük elde edilmiştir. Bu durumun modifiyeli kam profilinin orjinal kam profiline göre daha sivri yapıda olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Sivri kam profili emme supabının maksimum kurs anında daha kısa süre açık kalmasına neden olarak volümetrik verimin düşmesine sebep olmuştur. Ayrıca yuvasına daha hızlı oturan supabın atalet kuvveti yay kuvvetini yenerek supabın yuvasında sıçrama yapmasına neden olduğu düşünülmektedir. Bu durumda yine volümetrik verimi düşürerek motor gücünü ve torkunu düşürmüştür.

6.2. ÖZGÜL YAKIT TÜKETİM DEĞERLERİ

Şekil 6.3'te orijinal ve modifiye edilmiş kam milleri ile farklı oranlarda etanol-benzin karışımı yakıt kullanımının özgül yakıt tüketimi üzerindeki etkileri grafik olarak gösterilmiştir.

Orijinal kam mili kullanılarak yapılan deney sonuçlarında en az FÖYT'nin E0 yakıtında olduğu görülmektedir. 1250 dev/dak'da 296 g/kWh , 3750 dev/dak'da 359 g/kWh yakıt tüketimi gerçekleşmiştir. E10 yakıtında 1250 dev/dak'da 335 g/kWh FÖYT gerçekleşmiş, 1750 dev/dak'dan sonra düşme eğilimine girmiştir. 3750 dev/dak'da 381 g/kWh FÖYT olduğu görülmüştür. E20 yakıtında yakıt tüketiminin daha da fazlaştığı görülmektedir. 1250 dev/dak'da 379 g/kWh FÖYT değeri görülmüştür. E30 yakıtında FÖYT değerleri 1250 dev/dak'da 370 g/kWh'dır. Motor devri yükselmeye devam etikçe yakıt tüketimi artarak 3750 dev/dak'da 486 g/kWh'ye ulaşmıştır. E40 yakıtında FÖYT değerleri her motor devrinde en yüksek seviyededir. 1250 dev/dak'da 404 g/kWh olan yakıt tüketimi 3750 d /d'da ise 507 g/kWh'ye ulaşmıştır.

Kam profili yükseltılarak modifiye edilen kam mili ile yapılan deneylerde özgül yakıt tüketiminin orijinal kam mili ile yapılan deneylere göre daha düşük olduğu Şekil 6.3'te görülmektedir. E0, E10, E20, E30 ve E40 yakıtları ile yapılan deneylerde en düşük FÖYT değerinin E0 yakıtında, en yüksek FÖYT değerinin ise E40 yakıtında olduğu görülmektedir. E0 yakıtı ile yapılan deneyde 1250 dev/dak'da FÖYT 347 g/kWh'dır. 3750 dev/dak'da ise 293 g/kWh olmuştur.



Şekil 6.3. Karışım yakıtların motor özgül yakıt tüketimi üzerine etkileri.

Çizelge 6.3'te görülen değerlere bakıldığında yakıt karışımlarının tümünde en az özgül yakıt tüketimi, en yüksek tork devri seviyelerindedir. Bunun yanında yine yakıt karışımlarının tümünde özgül yakıt tüketiminin, motorun en yüksek ve en düşük devirlerinde arttığı görülmektedir. Motorun düşük devirlerde az güç üretmesi, yüksek devirlerde sürtünme kuvvetlerinin artması ve volümetrik verimin de azalmasından dolayı kullanılan tüm yakıtlarda özgül yakıt tüketimi artmıştır. Yakıt karışımı içerisinde etanol miktarı arttıkça, yanma sonucu elde edilen enerji düşmekte, böylece motor aynı şartlar altında çalışmasına rağmen daha fazla yakıt tüketerek aynı gücü verebilmektedir. Alkoller yapılarında yüksek miktarda oksijen bulundurduklarından ısı değerleri petrol kökenli yakıtlara göre düşüktür. Özgül yakıt tüketiminin artmasının nedeni etanolün alt ısı değerinin benzine nazaran daha düşük olmasından kaynaklanmaktadır [37].

Çizelge 6.3. Tüm yakıt karışımlarının kam miline bağlı olarak FÖYT değerleri.

Motor devri (dev/dak)	FÖYT (g/kWh)									
	E0 (ORJİNAL)	E0 (MODİFİYE)	E10 (ORJİNAL)	E10 (MODİFİYE)	E20 (ORJİNAL)	E20 (MODİFİYE)	E30 (ORJİNAL)	E30 (MODİFİYE)	E40 (ORJİNAL)	E40 (MODİFİYE)
1250	295,98	346,83	335,63	376,30	378,88	373,08	370,08	398,83	404,67	406,34
1750	302,71	248,90	325,51	317,65	350,56	331,44	346,28	380,89	366,77	353,62
2250	299,24	223,04	301,31	269,05	306,89	311,23	320,19	283,47	336,85	291,15
2750	279,86	236,32	289,08	264,49	286,09	279,69	290,35	298,53	320,82	287,26
3250	315,91	225,53	325,35	256,04	334,95	244,05	334,81	261,26	325,01	243,83
3750	359,12	292,84	381,08	285,98	450,81	334,35	485,94	353,73	507,07	368,09

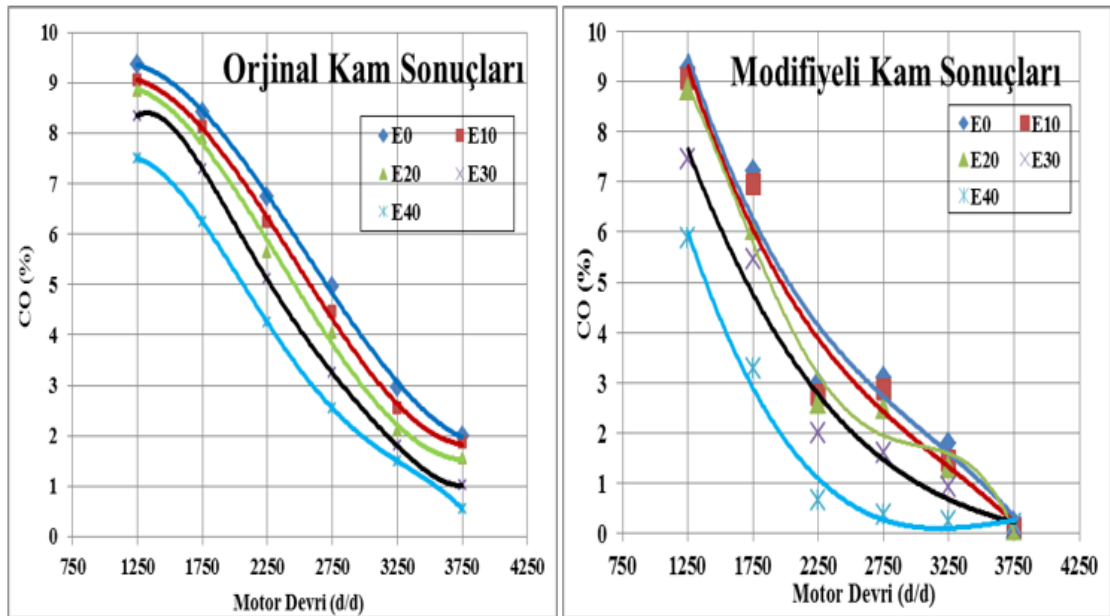
6.3. EGZOZ EMİSYON DEĞERLERİNDE GÖRÜLEN DEĞİŞİMLER

6.3.1. Karbonmonoksit (CO) Emisyonu

Orijinal ve modifiyeli kam mili ile yapılan deneylerde elde edilen karbonmonoksit (CO) emisyon değerlerinin değişimleri Şekil 6.4'te görülmektedir. Şekilde yakıt karışımları içerisindeki etanol miktarına bağlı olarak CO oranının düştüğü görülmektedir. Ayrıca tüm deneylerde motor devrinin yükselmesi ile birlikte CO oranı da düşmüştür. Orijinal kam mili ile yapılan deneylerde en yüksek CO oranının E0 yakıtında olduğu görülmektedir. Yanma sonucu oluşan egzoz gazları içinde 1250 dev/dak'da %9,37 CO mevcuttur. 1750 dev/dak'da %8,42, 2250 dev/dak'da %6,74, 2750 dev/dak'da %5, 3250 dev/dak'da %3 ve 3750 dev/dak'da ise %2 CO tespit edilmiştir. E10 yakıtında E0

yakıtına göre egzoz gazları içinde daha az CO bulunduğu görülmektedir. 1250 dev/dak'da egzoz gazları içinde %9, 1750 /d'de %8,13, 2250 dev/dak'da % 6,23, 2750 dev/dak'da % 4,45, 3250 dev/dak'da % 2,55 ve 3750 dev/dak'da ise %1,85 CO tespit edilmiştir. E20 yakıtında 1250 dev/dak'da yaklaşık %9, 1750 dev/dak'da %8, 2250 dev/dak'da %5,65, 2750 dev/dak'da %4, 3250 dev/dak'da %2 ve 3750 dev/dak'da ise %1,55 CO tespit edilmiştir. E30 yakıtında egzoz gazları içinde tespit edilen CO oranı 1250 dev/dak'da %8,35, 1750 dev/dak'da %7,3, 2250 dev/dak'da %5, 2750 dev/dak'da %3,25, 3250 dev/dak'da %1,8 ve 3750 dev/dak'da %1'dir. Etanol oranı en yüksek olan E40 yakıtında diğer karışımlara göre egzoz gazları içinde en az CO olduğu grafikte görülmektedir. Egzoz gazları içinde tespit edilen CO oranı 1250 dev/dak'da %7,5, 1750 dev/dak'da %6,25, 2250 dev/dak'da %4,25, 2750 dev/dak'da %2,55, 3250 dev/dak'da %1,5 ve 3750 dev/dak'da ise %0,55'tir.

Modifiyeli kam mili ile yapılan deneylerde CO oranının yine yakıt karışımı içindeki etanol miktarına ve motor devrine bağlı olarak düştüğü görülmüştür. Ayrıca CO emisyonlarının orijinal kam miline göre modifiyeli kam ile daha düşük değerlerde olduğu görülmektedir.



Şekil 6.4. Karışım yakıtların CO emisyon değerlerine etkisi.

Çizelge 6.4'te tüm yakıt karışımlarının kam miline bağlı olarak CO emisyon değerleri verilmiştir.

Bakıldığında kimyasal yapılarında benzinin etenolden fazla karbon(C) içerdiği

görülmektedir. Yanma sonucunda benzin ve etanolün içerdiği karbon, oksijen ile tepkimeye girerek yeterli oksijen (O_2) olmaması durumunda karbonmonoksit (CO) dönüşür. Etanolün benzinden daha az karbon (C) içermesi nedeniyle karışım yakıt içerisinde bulunan etanol miktarı ile orantılı olarak CO emisyonu azalır. Bununla birlikte etanolün buharlaşma gizli ısısının yüksek olması ve içerdiği yüksek oksijen (O_2), yanma için gerekli olan havanın silindir içerisine alınması sırasında soğumasını sağlayarak volümetrik verimi artırır. Volümetrik verimin artması yanma için gerekli olan daha fazla oksijenin silindir içerisine alınmasını sağlar. Böylece yeterli oksijen bulunduğundan tam yanma sağlanacağı için CO emisyonları düşmektedir. Etanolün yapısında yüksek oranda oksijen barındırması (%35) da yanmanın iyileşmesini sağlayarak yanma sonunda daha az CO emisyonunun meydana gelmesine katkı sağlar [38].

Çizelge 6.4. Tüm yakıt karışımlarının kam miline bağlı olarak CO emisyon değerleri.

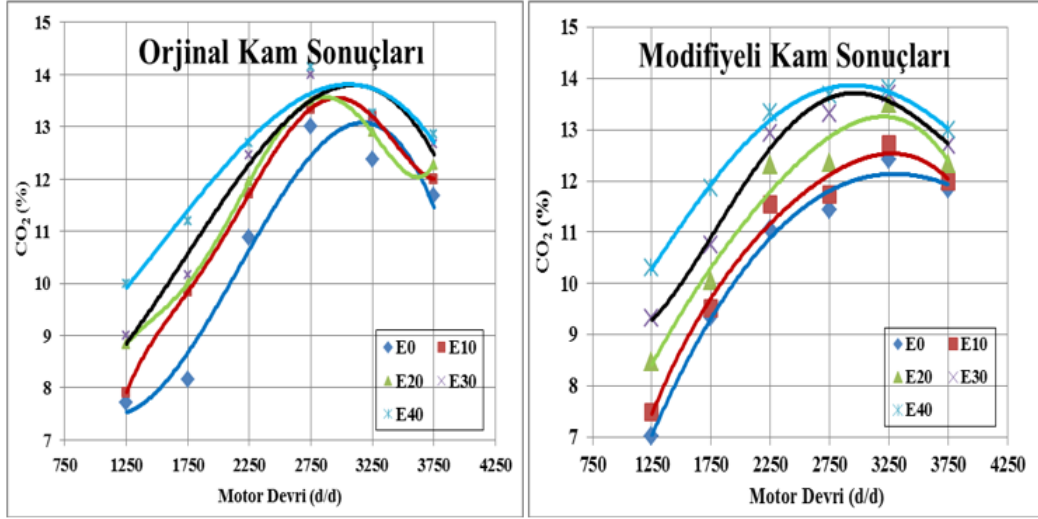
Motor devri (dev/dak)	CO (%)									
	E0 (ORJİNAL)	E0 (MODİFİYE)	E10 (ORJİNAL)	E10 (MODİFİYE)	E20 (ORJİNAL)	E20 (MODİFİYE)	E30 (ORJİNAL)	E30 (MODİFİYE)	E40 (ORJİNAL)	E40 (MODİFİYE)
1250	9,37	9,25	9,05	9,05	8,85	8,85	8,35	7,44	7,50	5,89
1750	8,42	7,21	8,13	6,95	7,90	6,05	7,30	5,45	6,25	3,28
2250	6,74	3,00	6,23	2,75	5,65	2,60	5,10	2,00	4,25	0,65
2750	4,96	3,10	4,45	2,85	4,05	2,50	3,25	1,61	2,55	0,36
3250	2,95	1,78	2,55	1,45	2,1	1,31	1,8	0,91	1,5	0,23
3750	2	0,22	1,85	0,12	1,55	0,08	1,01	0,11	0,55	0,20

6.3.2. Karbondioksit (CO_2) Emisyonu

Tüm yakıt karışımları için karbondioksit (CO_2) emisyon değerlerinin değişimleri Şekil 6.5'te gösterilmektedir. Şekildeki grafik incelendiğinde orijinal kam mili ile yapılan deneylerde en yüksek CO_2 oranının etanol oranı en yüksek olan E40 yakıtında olduğu görülmektedir. En düşük CO_2 ise E0 yakıtında olduğu görülmektedir.

Orijinal kam mili ile yapılan deneylerde, E0 yakıtında CO_2 oranının 1250 dev/dak'da %7,71, 2750 dev/dak'da %10,88 ve 3750 dev/dak'da ise %11,67'dir. E10 yakıtında CO_2 oranının 1250 dev/dak'da %7,9, 2750 dev/dak'da %13,3 ve 3750 dev/dak'da ise %12'dir. E20 yakıtında CO_2 oranı 1250 dev/dak'da %8,83, 2750 dev/dak'da %13,5 ve 3750 dev/dak'da ise %12,27'dir. E30 yakıtında CO_2 oranı 1250 dev/dak'da %9, 2750

dev/dak'da %14 ve 3750 dev/dak'da ise %12,66'dır. E40 yakıtında CO₂ oranının 1250 dev/dak'da %10, 2750 dev/dak'da %14,15 ve 3750 dev/dak'da %12,85'dir. Modifiye kam mili ile yapılan deneylerde ise orjinal kam mili ile yapılan deneyler arasında bariz bir fark görülmektedir.



Şekil 6.5. Karışım yakıtların CO₂ emisyon değerlerine etkisi.

Çizelge 6.5'te tüm yakıt karışımlarının kam miline bağlı olarak CO₂ değerleri görülmektedir.

Çizelge 6.5. Tüm yakıt karışımlarının kam miline bağlı olarak CO₂ değerleri.

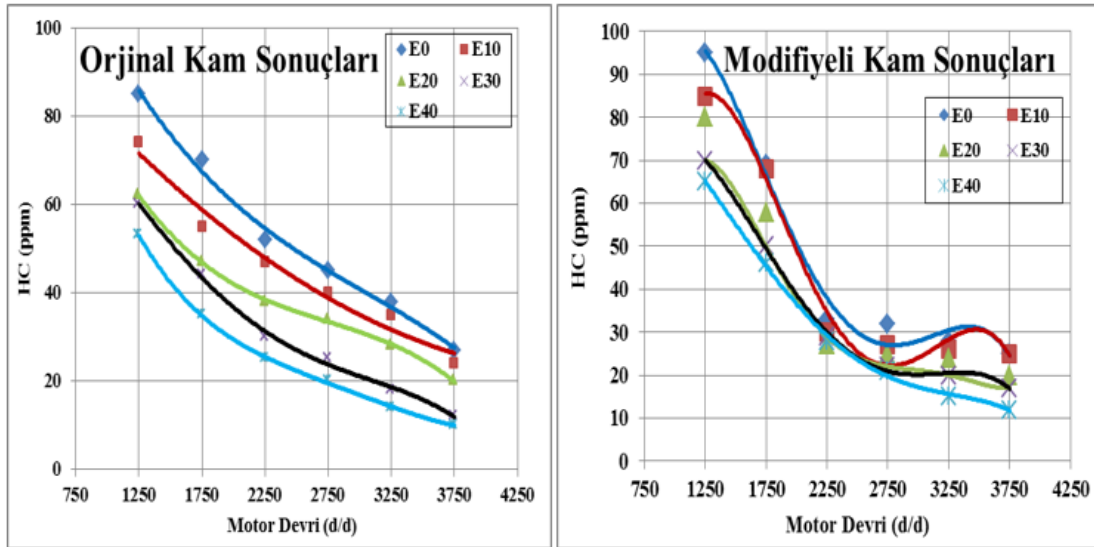
Motor devri (dev/dak)	CO ₂ (%)									
	E0 (ORJİNAL)	E0 (MODİFİYE)	E10 (ORJİNAL)	E10 (MODİFİYE)	E20 (ORJİNAL)	E20 (MODİFİYE)	E30 (ORJİNAL)	E30 (MODİFİYE)	E40 (ORJİNAL)	E40 (MODİFİYE)
1250	7,71	7,02	7,91	7,5	8,83	8,47	9	9,32	10	10,3
1750	8,16	9,35	9,84	9,53	10	10,06	10,15	10,76	11,2	11,87
2250	10,88	11,05	11,72	11,55	11,95	12,3	12,46	12,93	12,69	13,33
2750	13	11,44	13,35	11,74	13,5	12,35	14	13,32	14,15	13,67
3250	12,38	12,42	13,2	12,72	12,89	13,5	13,15	13,7	13,25	13,8
3750	11,67	11,85	12	12	12,27	12,34	12,66	12,7	12,85	13

Karışım içerisindeki etanol miktarına bağlı CO₂ emisyonlarında artış meydana gelmiştir. Şekil 6.6'da motor özgül yakıt tüketimi değerlerinde görüldüğü gibi yüksek devirlerde etanol içeren karışımlarda FÖYT değerleri artmıştır. Bu durum motordan aynı çıkış gücünü elde edebilmek için daha fazla oksijen içerikli yakıt kullanılmasından

kaynaklanmaktadır. Etanol içerikli yakıtların FÖYT'yi artırması, yanma sonunda CO₂ emisyonlarını artırmaktadır.

6.3.3. Hidrokarbon (HC) Emisyonu

Şekil 6.6'da karışım yakıtların hidrokarbon (HC) emisyonlarının değerlerine etkisi görülmektedir. Orijinal kam mili ile yapılan deneylerde, E0 yakıtında HC oranı 1250 dev/dak'da 80 ppm, 2750 dev/dak'da 45 ppm ve 3750 dev/dak'da ise 27 ppm'dir. E10 HC oranı 1250 dev/dak'da 74 ppm, 2750 dev/dak'da 40 ppm ve 3750 dev/dak'da ise 24 ppm'dir. E20 yakıtında HC oranı 1250 dev/dak'da 62 ppm, 2750 dev/dak'da 34 ppm ve 3750 dev/dak'da 20 ppm'dir. E30 yakıtında HC oranı 1250 dev/dak'da 60 ppm, 2750 dev/dak'da 25 ppm ve 3750 dev/dak'da ise 12 ppm'dir. E40 yakıtında HC oranı 1250 dev/dak'da 53 ppm, 2750 dev/dak'da 20 ppm ve 3750 dev/dak'da 10 ppm'dir



Şekil 6.6. Karışım yakıtların HC emisyon değerlerine etkisi.

Tüm yakıt karışımları için elde edilen emisyon değerleri içerisindeki hidrokarbon (HC) emisyon değerlerinin değişimleri Çizelge 6.6'da gösterilmektedir. Çizelge 6.6 incelendiğinde, orijinal ve modifiyeli kam için HC emisyonlarının motor devri ve karışım içerisindeki etanol miktarına göre azaldığı görülmektedir. HC emisyonu oluşumunun nedeni, silindir içerisinde yanma için gerekli olan havanın yetersiz oluşundan kaynaklı yanmanın tam gerçekleşmemesidir. Yükselen motor devri ile birlikte etanol miktarı fazla olan karışımlarda HC emisyonlarındaki azalmanın nedeni ise, etanolün yapısında yüksek oksijen içermesi ve motor devrinin artmasıyla beraber yanma sıcaklığında da yükselme meydana gelmesinden kaynaklanmaktadır. Motor

devrinin artması ile birlikte yanma odasında oluşan türbülansın artması yanma kalitesini iyileştirmekte, böylece yanma sonucu ortaya çıkan egzoz emisyonları içerisindeki HC miktarı azalmaktadır.

Çizelge 6.6. Tüm yakıt karışımlarının kam miline bağlı olarak HC değerleri.

Motor devri (dev/dak)	HC (ppm)									
	E0 (ORJİNAL)	E0 (MODİFİYE)	E10 (ORJİNAL)	E10 (MODİFİYE)	E20 (ORJİNAL)	E20 (MODİFİYE)	E30 (ORJİNAL)	E30 (MODİFİYE)	E40 (ORJİNAL)	E40 (MODİFİYE)
1250	85	95	74	85	62	80	60	70	53	65
1750	70	69	55	68	47	58	44	50	35	46
2250	52	33	47	30	38	27	30	29	25	28
2750	45	32	40	27	34	25	25	22	20	21
3250	38	28	35	26	28	24	18	20	14	15
3750	27	25	24	25	20	20	12	17	10	12

7. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışmada elde edilen veriler motor gücü ve tork açısından değerlendirildiğinde, deneylerin her aşamasında E0 yakıtında 1250 dev/dak ile 3750 dev/dak arasındaki devirlerde E10, E20, E30 ve E40 yakıtlarına göre daha yüksek gücün elde edildiği görülmektedir. E10, E20, E30 ve E40 yakıtlarında güç ve tork değerleri 2250 dev/dak'dan sonra düşmeye başlamıştır. Bu durum etanolün yakıt olarak kullanılmasının motorda güç ve tork artışı sağlamadığını göstermiştir. Etanolün benzine göre daha az alt ısısal değere sahip olması ve yanma sonucu saf benzine kıyasla daha düşük enerji açığa çıkarması motor performansının düşmesine neden olmaktadır. Kam milinin kurs miktarı 1,6 mm yükseltilerek supapların yüksek devirlerde daha fazla süre açık kalmasını sağlayıp volümetrik verimin artırılması amaçlanmış olmasına rağmen, tüm devirlerdeki güç ve tork değerleri daha düşük elde edilmiştir. Bu durum modifiyeli kam profilinin orjinal kam profiline göre daha sivri yapıda olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Sivri burun yapısı, supapların daha kısa süre açık kalmasına ve supapların kapanma esnasında sıçrama yapmasına neden olmuştur. Bu durum volümetrik verimin düşmesine sebep olarak motor gücünü ve torkunu düşürmüştür.

Özgül yakıt tüketimi yakıt cinsine göre değerlendirildiğinde orijinal ve modifiyeli kam mili ile yapılan deneylerde E0, E10, E20, E30 ve E40 yakıt karışımlarının tümünde en az özgül yakıt tüketiminin E0 yakıtında, en yüksek özgül yakıt tüketiminin ise etanol oranı en yüksek olan E40 yakıtında olduğu görülmektedir. Yakıt karışımlarının tümünde özgül yakıt tüketiminin, motorun en yüksek ve en düşük devirlerinde arttığı görülmektedir. Yakıt karışımı içerisinde etanol miktarı arttıkça, yanma sonucu elde edilen enerji düşmekte, böylece motor aynı şartlar altında çalışmasına rağmen daha fazla yakıt tüketerek aynı gücü verebilmektedir. Motorun düşük devirlerde az güç üretmesi, yüksek devirlerde ise sürtünme kuvvetlerinin artması ve volümetrik verimin de düşmesinden dolayı tüm yakıtlarda özgül yakıt tüketimi artmıştır.

Egzoz emisyon değerlerine baktığımızda ise her iki kam mili ile yapılan deneylerde genel olarak yüksek motor devirlerinde ve etanol içeren E10, E20, E30 ve E40 yakıtlarında CO ve HC emisyon değerlerinin düşük olduğu tespit edilmiştir. Etanolün oksijen içermesi nedeniyle karışımda fakirleştirici etki yapmaktadır. Bu sebeple yanma

sonucu meydana gelen CO ve HC emisyon değerleri düşük çıkmaktadır. CO emisyonu en yüksek E0 yakıtı kullanımında meydana gelmektedir. CO emisyonlarının yakıt karışımı içindeki etanol miktarına ve motor devir sayısına bağlı olarak düştüğü ve devir sayısının artmasıyla birlikte tüm deney sonuçlarında CO oranının azaldığı görülmektedir. CO emisyonu, silindirlere alınan oksijenin miktarı ile doğru orantılıdır. Etanolün benzinden daha az karbon (C) atomu içermesi, karışım içerisinde toplam (C) atomu miktarının benzine göre daha az olması CO emisyonunu azaltan etkilerden biridir.

CO₂ emisyonlarına bakıldığında orijinal kam mili ile yapılan deneylerde en yüksek CO₂ oranının etanol oranı en yüksek olan E40 yakıtında oluştuğu görülmektedir. En düşük CO₂ ise E0 yakıtında olduğu görülmektedir. Modifiye kam mili ile yapılan deneylerde ise orijinal kam mili ile yapılan deneyler arasında bariz bir fark görülmemektedir. CO₂ emisyonlarında görülen azalma esasen yanmanın iyi olduğunu göstermektedir. Etanol katkılı yakıtların daha kolay buharlaşabilmesi ve daha temiz yanması, yanmayı iyileştirecek CO₂ emisyonlarını düşürmektedir.

Tüm deneylerde her iki kam mili ile yapılan deneylerde E0, E10, E20, E30 ve E40 yakıtlarında HC emisyonundaki azalma motor devrindeki artışla bağlantılıdır. Motor devrinin artması ile birlikte yanma odasında oluşan türbülansın artması, yanma kalitesini iyileştirmekte ve böylece yanma sonucu ortaya çıkan egzoz emisyonları içerisindeki HC miktarı azalmaktadır.

Sonuç olarak yakıt olarak etanol kullanımı belirli bir orana kadar yanmayı iyileştirmekte ve CO₂ hariç yanma sonucu meydana gelen zararlı egzoz emisyonlarını ve motor performansını azaltmaktadır.

8. KAYNAKLAR

- [1] T. Topgöl, "Buji ile ateşlemeli motorlarda etil alkol-benzin karışımı kullanımında optimum çalışma parametrelerinin araştırılması," Doktora tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2006.
- [2] N. Türköz, "Etanol-benzin karışımlarının motor performansı ve emisyonlarına etkisi," Yüksek lisans tezi, Uludağ Üniversitesi, Bursa, Türkiye, 2012.
- [3] A. Çolak, "Buji ile ateşlemeli bir motorda farklı sıkıştırma oranlarında etanol kullanımının performans ve emisyonlara etkisinin incelenmesi," Bilim uzmanlığı tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Zonguldak, Türkiye, 2006.
- [4] İ. Örs, "Benzin-etanol karışımlarının taşıt performansına ve egzoz emisyonlarına etkisi," Doktora tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2007.
- [5] H. Çelikten, "Biyometanol benzin karışımlarının bazı yakıt özelliklerinin belirlenmesi," Doktora tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2008.
- [6] A. Keskin, İ. A. Reşitoğlu ve M. Özcanlı, "Bütanol, etanol ve benzin karışımlarının buji ile ateşlemeli motorlarda özgül yakıt tüketimi ve emisyona olan etkisi," *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 24, s. 1, 2009.
- [7] H. Bayraktar, "Motorlarda benzin, etil alkol, izoprapanol karışımlarının kullanılması," Makine yüksek Mühendisliği unvan tezi, Trabzon, Türkiye, 1991.
- [8] İ. Örs, N. Tarakçıoğlu ve M. Ciniviz, "Yakıt olarak benzin-etanol karışımlarının taşıt performansı ve egzoz emisyonlarına etkisi," *Politeknik Dergisi*, c. 12, s. 1, 2009.
- [9] D. Koçtürk ve A. O. Avcıoğlu "Benzin motorlarında biyometanol kullanımının çevresel etkilerinin belirlenmesi," *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, c. 4, s. 2, ss. 65-74, 2012.
- [10] M. Karabektaş, "Etanol ve metanolün buji ile ateşlemeli motor yakıtı olarak kullanımı," *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 7, s. 1, 2003.
- [11] H. Bayındır, "Etanol-benzin karışımlarının benzinli motorlarda motor karakteristikleri ve hava kirliliğine etkileri," Doktora tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye, 1998.
- [12] A. Şenbahçe, "Alkol yakıtların buji ile ateşlemeli motorlarda kullanımının performans ve emisyonlara etkisinin incelenmesi," Yüksek lisans tezi, İstanbul, Türkiye, 2013.
- [13] M. Eyidoğan, "Etanol-benzin ve metanol-benzin karışımlarının buji ile ateşlemeli bir motorun yanma karakteristiği ve egzoz emisyonlarına etkisinin incelenmesi," Yüksek lisans tezi, Kocaeli, Türkiye, 2009.

- [14] H. Bayraktar, "Experimental and theoretical investigation of using gasoline-ethanol blends in spark ignition engines, " *Renewable Energy*, vol. 30, no. 11, pp. 1733-1747, 2005.
- [15] M. Eyidoğan, M. Çanakçı, A. N. Özsezen, E. Alpekin, A. Türkcan ve İ. Kılıçaslan, "Etanol-benzin ve metanol-benzin karışımlarının buji ile ateşlemeli bir motorun yanma parametrelerinde ve egzoz emisyonlarına etkisinin incelenmesi," *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 26, s. 3, 2011.
- [16] H. İmrağ, "Benzinli motorlarda biyoetanol kullanımının motor karakteristik değrelerine ve egzoz emisyonlarına etkilerinin araştırılması, " Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir niveritesi, Balıkesir, Türkiye, 2006.
- [17] S. G. Pouloupoulos, D. P. Samaras and C. J. Philippopoulos, "Regulated and unregulated emission from an internal combustion engine operating on ethanol-tontaining fuels," *Atmospheric Environment*, vol 35. no. 26, pp. 4399-4406, 2001.
- [18] D. A. Guerrieri, P. J. Caffrey and V. Rao, "Investigation in to the vehicle exhaust emmissions of high percantage ethanol blends," *SAE Technical Paper*, no. 950777, 1995.
- [19] K. J. Kelly, B. K. Bailey and T. Coburn, "Federal test procedure emission test result from ethanol varieble-flue vehicle chevrolet luminas," *SAE Technical Paper*, no. 961092, 1996.
- [20] W. D. Heiseh, R. H. Chen, T. L. Wu and T. H. Lin., "Engine performance and pollutant emission of an SI engine using ethanol-gasoline blended fuels," *Atmospheric Environment*, vol. 36. pp. 403-410, 2002.
- [21] I. Schifter, L. Diaz, M. Vera, E. Guzman and E. L. Salinas, "Fuel formulation and vehicle exhaust emissions in Mexico," *Fuel*, vol. 83, no. 14, pp. 2065-2074 ,2004.
- [22] F. Ar, "Biyoetanol kullanım zorunluluğunun trk ekonomisinde yaratacağı etkiler," *Saudi Med Journal*, vol. 33, pp. 3-8, 2012.
- [23] D. Koçtürk, "Farklı özelliklerdeki etanol-benzin karışımı yakıtların buji ile ateşlemeli motorlarda kullanılmasının çevresel ve ekonomik yönden değerlendirilmesi," Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2011.
- [24] H. Bayrakçeken ve R. Kuş, "Taşıtlarda kullanılan alternatif yakıtlar, " *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, vol. 6, no. 1, pp. 125-144, 2006.
- [25] M. Melikoğlu ve A. Albostan, "Türkiye'de biyoetanol üretimi ve potansiyeli," *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 26, s. 1, ss. 151-160, 2011.
- [26] D. Koçtürk ve O. A. Avcıoğlu, "Benzin motorlarında biyoetanol kullanımının çevresel etkilerinin belirlenmesi, " *Ankara niversitesi Çevrebilimleri Dergisi*, c. 4 s. 2, ss. 65-74, 2012.
- [27] S. zer , "Alkollerin içten yanmalı motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılması," *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 19, s. 1, ss. 97-114, 2014.
- [28] . Karadağ, "Tüpraş'ta otomatik benzin paçalı sistemi modellemesi, " Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2008.
- [29] G. Bengisu, "Alternatif yakıt kaynağı olarak biyoetanol, " *Alinteri Zirai Bilimler*

Dergisi, c. 27, s. 2, ss. 43-52, 2014.

- [30] F. Karaosmanoğlu, C. Seventürk, F. Ar ve M. Çalışkan, “İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Çalıştay ve Sergisi, Bildiriler ve Sunumlar,” Enerji Enstitüsü Yayınları No:2006/1
- [31] M. Çetin ve H. Kuş, “ Biyoetanol yakıtların emisyon karakteristikleri ve Erzincan’ın biyoetanol yakıt üretim potansiyeli,” *Erzincan University Journal of Science and Technology*, c. 3, s. 1, ss. 19-35, 2010.
- [32] M. Yiğitoğlu, M. İnal ve M. Gökgöz, “Alternatif bir enerji kaynağı olarak biyoetanol,” *Kırıkkale Üniversitesi Bilimde Gelişmeler Dergisi*, c.1, s. 1, 2012.
- [33] M. Melikoğlu ve A. Albostan, “Türkiye’de biyoetanol üretimi ve potansiyeli,” *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 26, s. 1, pp. 151-160, 2011.
- [34] A. O. Adıgüzel, “Lignoselülozik biyokütleden biyoetanol üretimi,” *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, c. 2, s. 2, 2013
- [35] A. Koçtürk ve A. O. Avcıoğlu , “Benzin motorlarında biyoetanol kullanımının çevresel etkilerinin belirlenmesi,” *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, c. 4, s. 2, pp. 65-74, 2012.
- [36] C. İlkılıç, “Performance and emissions characteristics of biofuel blend in a CI engine,” *Energy Education Science and Technology Part A Energy Science and Research*, vol. 28, no. 1, pp. 1369-378, 2011.
- [37] A. Al-Farayedhi, A. M. Al-Dawood and P. Gandhidasan, “Experimental investigation of SI engine performance using oxygenated fuel,” *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, vol. 126, pp. 178–190, 2004.
- [38] M. Eyidogan, A. N. Özsezen, M. Canakci and A. Turkcan, “Impact of alcohol–gasoline fuel blends on the performance and combustion characteristics of an SI engine,” *Fuel*, vol. 89, pp. 2713–2720, 2010.
- [39] S. H. Yücesu, Oto 142 motor teknolojisi, *Ders Notları*, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Anabilim Dalı.
- [40] B. Uça, “Otomatik sıkı geçme bağlantıları ile montajlı kam milinin üretilmesi,” Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas, Türkiye, 2016.
- [41] O. Borat, M. Balcı, M ve A. Sürmen, *İçten Yanmalı Motorlar*, 2. baskı, Ankara, Türkiye: Teknik Eğitim Vakfı Yayınları, 1995.
- [42] A. Koca ve F. Gün, “Değişken supap zamanlamasının motor performansına etkilerinin deneysel incelenmesi,” *Politeknik Dergisi*, c. 9, s. 4 ss 271-277, 2006.
- [43] R. Arslan, A. Sürmen ve A. Avcı “Dizel motorlarında supap zamanlamasının volümetrik verim üzerindeki etkilerinin deneysel olarak incelenmesi,” *5. Yanma Sempozyumu*, Bursa, Türkiye, 1997, ss. 299-311.
- [44] (2017, 15 March). Online. [Available]: <http://thewomenssecrets.com/asia-pacific-automobile-engine-valve-market-share-2018-2023-eaton-fuji-oozx-nittan-mahle-asian-and-rane/>
- [45] (2017, 24 July). Online. [Available]: <http://tr.zjbo-xing.com/camshaft/general-gasoline-camshaft/6kw-single-cylinder-engine-camshaft.html>.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Bülent ERYAKALI
Doğum Tarihi ve Yeri : 25.05.1978- DÜZCE
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : erylakali@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Makine Müh.	Düzce Üniversitesi	2018
Lisans	Makine Eğitimi	Marmara Üniversitesi	2001
Lise	Motorlu Araçlar	Düzce Endüstri Meslek Lisesi	1994