

**T.C.  
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**YAKIT KATKI MADDELERİNİN MOTOR PERFORMANS VE EGZOZ  
EMİSYONLARINA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

**Orhan GANIYEV**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİMDALİ**

**SAMSUN  
2019**

**Her hakkı saklıdır.**

## TEZ ONAYI

Orhan GANIYEV tarafından hazırlanan “**YAKIT KATKI MADDELERİNİN MOTOR PERFORMANS VE EGZOZ EMİSYONLARINA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**” adlı tez çalışması 22/08/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** Doç. Dr. Hakan ÖZCAN  
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

### Jüri Üyeleri

### İmza

**Başkan** Prof. Dr. Bahattin TOPALOĞLU  
Ondokuz Mayıs Üniversitesi  
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı .....

**Üye** Doç. Dr. Hakan ÖZCAN  
Ondokuz Mayıs Üniversitesi  
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı .....

**Üye** Dr. Öğr. Üyesi Bilal SUNGUR  
Samsun Üniversitesi  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı .....

Yukarıdaki sonucu onaylarım. / /2019

**Prof. Dr. Bahtiyar ÖZTÜRK**  
Enstitü Müdürü

## **ETİK BEYAN**

Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tezi içindeki bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakların atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.



28/09/2019

Orhan GANİYEV

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### YAKIT KATKI MADDELERİNİN MOTOR PERFORMANSI VE EGZOZ EMİSYONLARINA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Orhan Ganiyev

Ondokuz Mayıs Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Hakan Özcan

Yapılan bu tez çalışmasında oksijenli yakıt olarak etil asetat ve metil asetatın Kirloskar Oil Engines Ltd. tarafından üretilen ve 0,661 cc motor hacmine sahip dört zamanlı buji ateşlemeli motorun performans ve emisyonlarına etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Kirloskar motor, tek silindirli, 4 zamanlı, su soğutmalı, model TV1, strok ve çapı sırasıyla 110 mm ve 87,5 mm dir. Etil asetat ve metil asetat, kurşunsuz saf benzin ile %5 ve %10 hacimsel oranlarda karıştırılarak elde edilen numunelerin yoğunluk ve ısı değerleri ölçülmüştür. Aynı zamanda bu yakıtların distilasyon eğrileri de elde edilmiştir. Yakıtın vuruntu direnci artırmak, CO, HC ve PM emisyonlarını azaltmak için rafinerilerde, benzin farklı oranlarda farklı oksijenli yakıtlar ile harmanlanmaktadır. Bu çalışmada, oksijenli yakıt katkı maddeleri olarak etil asetat ve metil asetatın buji ateşlemeli motorun performansı ve emisyonları üzerindeki etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Deneyler 1500 d/dk sabit motor hızında ve dört farklı yükte ( 104, 207, 311 ve 414 kPa) gerçekleştirilmiştir. Motorda herhangi bir modifikasyon yapılmamıştır. Tüm deneyler sabit sıkıştırma oranı (8:1) ve ateşleme avansında gerçekleştirilmiştir. Deneyler sırasında hava debisi, yakıt debisi, motor momenti, devir sayısı ile CO, HC, CO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonları ölçülmüştür. Elde edilen deney sonuçlarına göre oksijenli yakıtların kurşunsuz benzine %5 ve %10 oranında eklenmesinin motorun fren özgül yakıt tüketiminin ve NO<sub>x</sub> emisyonlarının arttığı, efektif verim, CO ve HC emisyonlarının ise azaldığı görülmüştür. Elde edilen bu bulgular, literatürde diğer oksijenli yakıt katkılarının kullanılması ile elde edilen sonuçlarla uyumaktadır. Bu nedenle etil asetatın ve metil asetatın %5 ve %10 oranında benzine katılarak kullanılabileceği görülmüştür.

Haziran 2019, 61 sayfa

Anahtar Kelimeler: Metil asetat, Etil asetat, Buji ateşlemeli motor, Performans, Oksijenli Yakıt, Benzin, Performans, Emisyon

## ABSTRACT

Master's Thesis Dissertation

### INVESTIGATION OF FUEL ADDITIVES'S EFFECTS ON ENGINE PERFORMANCE AND EXHAUST EMISSIONS

Orhan GANIYEV

Ondokuz Mayıs University  
Institute of Science  
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Hakan Özcan

Two fuel samples are utilized to test the performance and outflow of 0.661 cc engine which was manufactured by Kirloskar Oil Engines Ltd. Kirloskar engine, 1 type cylinder, 4 stroke gasoline water cooled, Model TV1, volume of stroke and bore respectively 110 mm, 87.5 mm. These fuel samples are comprise of ethyl-acetate and methyl acetate fuel samples obtained by blending immaculate gasoline with methyl acetate and ethyl acetate in ratios of 5% and 10% on premise of total volume of the fuel. We have investigated oxygenated fuel additives in this study, the impacts of the oxygenated fuel additives on the performance and emissions of SI (Spark Ignition) were tentatively researched by mixing ethyl acetate with gasoline at 5% and 10% on a volumetric proportion. With respect to the experimental results obtained at 1500 rpm and five divers loads appeared that the supplement of ethyl acetate to unleaded gasoline increased the brake specific fuel consumption and NO<sub>x</sub> emissions, while decreased the effective efficiency, CO and HC emissions. That can be said, ethyl acetate can be utilized as a new oxygenated fuel additive since similar results are obtained in literature when other oxygenated fuel additives are used in SI engines. The other goal of this article is to investigate the utilize of methyl acetate as oxygenated fuel mix up for base gasoline in SI engine. The impacts of methyl acetate on engine performance parameters (brake specific fuel consumption, brake thermal efficiency and energy consumption rate) and exhaust emissions (CO, HC, CO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub>) of SI engine have been tentatively investigated. Engine test were performed on a single cylinder, water cooled, spark-ignition test engine at steady moderate speed; 1500 rpm for distinctive loads; 104, 207, 311 and 414 kPa charged the engine with base gasoline, M5 (95% base gasoline + 5% methyl acetate) and M10 (90% base gasoline + 10% methyl acetate). The conclusion indicate that addition of methyl acetate to base gasoline boost the brake specific fuel consumption although decrease the brake thermal efficiency of the motor. In addition to, it was moreover observed that methyl acetate adjunct has not a great influence on HC emissions, nevertheless, reduces CO and rising up CO<sub>2</sub> emissions. NO<sub>x</sub> outcome indicated a dramatic increment in the level of NO<sub>x</sub> emissions with the supplement of methyl acetate.

June 2019, 61 pages

Key Words: Methyl acetate, Ethyl acetate, Spark ignition engine, Performance,  
Oxygenated Fuel, Gasoline, Emissions

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum bu çalışma boyunca her türlü yardım ve desteği ile sürekli yanımda olan, tüm bilgi birikimi, deneyimi ve içtenliğiyle bana yol gösteren, danışman hocam Sayın Doç. Dr. Hakan ÖZCAN'a teşekkür ederim.

Yüksek lisans tez döneminde bana yol gösteren ve yardımcı olan Öğr. Gör. Abdülvahap ÇAKMAK'a, tezimin deney çalışmaları esnasında bana büyük desteği olan Dr. Murat KAPUSUZ'a teşekkürlerimi sunarım.

Gösterdikleri emek ve manevi desteklerinden dolayı bugünlere gelmemi sağlayan, annem ve babama sonsuz teşekkür ederim.

Haziran 2019, Samsun

Orhan Ganiyev

## İÇİNDEKİLER DİZİNİ

### Sayfa No

ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR .....	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ .....	iv
SEMBOLLER .....	v
KISALTMALAR .....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	viii
1. GİRİŞ .....	1
2. GENEL BİLGİLER .....	6
2.1 İçten yanmalı motorların kısa tarihçesi .....	6
2.2 Buji ateşlemeli motorlar .....	11
2.3 Dört zamanlı buji ateşlemeli motorun çalışma prensibi .....	15
3. TEZ KAPSAMINDA MOTORLARDA KULLANILAN KİMYASALLARIN FİZİKSEL-KİMYASAL ÖZELLİKLERİ VE TARİHÇESİ .....	18
3.1 Deney motorunda kullanılan kimyasalların fiziksel özellikleri .....	18
3.1.1 Etil asetatın fiziksel ve kimyasal özellikleri .....	18
3.1.2 Metil asetatın fiziksel ve kimyasal özellikleri .....	20
3.1.3 Benzinin fiziksel ve kimyasal özellikleri .....	21
3.1.4 Benzin katkıları .....	22
4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....	24
5. MATERYAL VE YÖNTEM .....	30
5.1 Motor performansı ve emisyon testlerinde kullanılan cihaz ve ekipmanlar .....	30
5.1.1 Deney motorunun özellikleri .....	32
5.1.2 Yakıt tüketim ölçüm cihazı .....	34
5.1.3 Egzoz gazı ölçüm cihazı .....	34
5.2 Motor performans parametreleri .....	36
5.2.1 Fren motor gücü .....	36
5.2.2 Fren termal verim .....	36
5.2.3 Özgül yakıt tüketimi .....	36
5.3 Belirsizlik analizi .....	37
6. BULGULAR ve TARTIŞMA .....	38
6.1 Metil asetat- benzin karışımlarının distilasyon eğrisi .....	38
6.1.1 Metil asetatın motor performansı etkisi .....	40
6.1.2 Metil asetatın egzoz emisyonlarına etkisi .....	43
6.2. Etil asetat- benzin karışımlarının distilasyon eğrilerinin incelenmesi .....	47
6.2.1 Etil asetatın motor performansı etkisi .....	48
6.2.2 Etil asetatın egzoz emisyonlarına etkisi .....	50
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	53
KAYNAKLAR .....	56
ÖZGEÇMİŞ .....	

## SEMBOLLER

D	Çap
F	Kuvvet
rpm	Motor Devir Sayısı (devir/dakika)
P	Yanma Odası İçindeki Basınç (kPa)
P <sub>b</sub>	Fren güç (kW)
T	Tork (Nm)
t	Zaman (saniye)
v	Özgül Hacim (m <sup>3</sup> .kg <sup>-1</sup> )
V <sub>h</sub>	Yanma Odası Hacmi (cm <sup>3</sup> )
η <sub>e</sub>	Efektif Verim
x	Strok
ε	Sıkıştırma Oranı

## KISALTMALAR

BDC	Alt Ölü Nokta
BMEP	Fren ortalama efektif basıncı
BSFC	Özgöl yakıt tüketimi
CO	Karbon monoksit
CO <sub>2</sub>	Karbondioksit
d/dk	Dakikadaki Devir Sayısı
EGR	Egzoz Gazı Resirkülasyonu
ETBE	Etil Tert Butil Ester
G	Saf Benzin
HC	Hidrokarbon
HFK	Hava Fazlalık Katsayısı
KMA	Krank Mili Açısı
LPG	Sıvılaştırılmış Petrol Gazı
MTBE	Metil Tert Butil Ester
NO	Azot oksit
NO <sub>2</sub>	Azot dioksit
ÖYT	Özgöl Yakıt Tüketimi
PPM	Milyondaki partikül sayısı
SI	Buji Ateşlemeli Motor
TAME	Tersiyer Amil Metil Eter
TBA	Tersiyer Butil Alkol
TDC	Üst Ölü Nokta

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa No

Şekil 2.1. Henry FORD fabrikasınının 1903 yılında yaptığı dört silindirli otomobil.....	9
Şekil 2.2. 2 zamanlı motorun genel görünüşü .....	11
Şekil 2.3. Benzinli motorun genel görünüşü.....	12
Şekil 2.4. Karbüratörün yapısı.....	13
Şekil 2.5. 4 zamanlı benzinli motorun çalışma prensibi.....	17
Şekil 5.1. Deney düzeneğinin şematik görünüşü.....	30
Şekil 5.2. Deney test ünitesinin genel görünümü.....	32
Şekil 5.3. Deney motoru dinamometresinin genel görünümü.....	33
Şekil 5.4. Yakıt tüketim ölçüm cihazının genel görünümü.....	34
Şekil 5.5. Egzoz gaz ölçüm cihazı.....	35
Şekil 6.1. Benzin M5 ve M10 oranda karışım için damıtma eğrisi.....	38
Şekil 6.2. Farklı yüklerde motorun özgül yakıt tüketimi .....	40
Şekil 6.3. Farklı yüklerde motorun saat başına enerji tüketimi.....	41
Şekil 6.4. Farklı yüklerde motorun fren termal verimliliği.....	42
Şekil 6.5. Test edilen yakıtlar için CO emisyonu.....	44
Şekil 6.6. Test edilen yakıtlar için HC emisyonu.....	45
Şekil 6.7. Test edilen yakıtlar için CO2 emisyonu.....	46
Şekil 6.8. Test edilen yakıtlar için NOx emisyonu.....	47
Şekil 6.9. Benzin E5 ve E10 oranda karışım için damıtma eğrisi.....	47
Şekil 6.10. Test yakıtlarının ortalama efektif basınca (kPA) bağlı olarak özgül yakıt tüketiminin değişim grafiği.....	49
Şekil 6.11. Test yakıtlarının motorun efektif verimine etkisi.....	49
Şekil 6.12. Test yakıtları için CO emisyonlarının değişimi.....	51
Şekil 6.13. Test yakıtları için HC emisyonlarının değişimi.....	52
Şekil 6.14. Test yakıtları için NOx emisyonlarının değişimi.....	53

## ÇİZELGELER LİSTESİ

	<b><u>Sayfa No</u></b>
Çizelge 3.1. Etil asetatın özellikleri.....	19
Çizelge 3.2. Metil asetatın özellikleri.....	20
Çizelge 3.3. Benzinin özellikleri .....	21
Çizelge 5.1. Test motorunun ve ölçme sisteminin detaylı özellikleri.....	31
Çizelge 5.2. Egzoz gaz analizatörünün ölçüm aralığı ve hassasiyeti.....	35
Çizelge 5.3. Ölçüm hassasiyetleri ve hesaplanan sonuçların belirsizlikleri.....	37
Çizelge 6.1. Benzin-metil asetat karışımlarının bilinen yakıt özellikleri.....	39
Çizelge 6.2. Kurşunsuz benzin ve etil asetat karışımlarının yakıt özellikleri.....	48



## 1. GİRİŞ

İnsanoğlunun günlük yaşantısını sürdürebilmesi çeşitli enerji kaynaklarına ihtiyaç duymaktadır. Enerji talebinde, sınırlı miktarda olan fosil kökenli enerji kaynaklarına rağmen sürekli olarak bir artış gözlemlenmektedir. Petrol yakıtlarının yüksek maliyeti ve enerji tüketimi sırasındaki yanma reaksiyonlarından dolayı ortaya çıkan gazların, insan sağlığına zararlı olması ve çevre kirliliğine sebebiyet vermeleri nedeniyle alternatif enerji kaynakları üzerine yapılan çalışmalar daha da önem ve hız kazanmaya başlamıştır. Bu sebeplerle birlikte kullanılması planlanan alternatif yakıt türlerinin, yenilenebilir kaynaklardan üretilmesi ve mevcut olarak kullanılmakta olan teknoloji için önemli bir yapısal değişiklik de meydana getirmemesi gerekmektedir. Petrole alternatif olarak kullanılacak başlıca motor yakıtları; alkoller, doğalgaz, biyogaz, hidrojen ve bitkisel yağlardır. Bu başlıca motor yakıtları, yaygın kullanımlarından dolayı ucuz ve bol miktarlarda üretilebilmeleri gerekmektedir. Bununla birlikte yüksek verim elde edilebilmesi için ısıl değerlerinin de yüksek olması gerekir.

Motor yakıtlarının, yanma kalitesini ve vuruntu direncini benzindeki oktan sayısı belirler. Teknik anlamda, benzinin vuruntu kalitesinin değerlendirilmesi için kullanılan bir ölçüttür. Motor performansının düşmesinden ve motorun hasar görmesinden kaçınmak için kullanılacak olan alternatif yakıtın belli bir oktan sayısına sahip olması gerekmektedir. İlerleyen bölümlerde daha detaylı anlatılacağı gibi buji ateşlemeli motorlardaki sıkıştırma zamanında motor içerisindeki yakıt ve hava karışımının sıcaklığı sıkıştırma süreci boyunca artar. Ancak silindir içerisinde bulunan yakıt ve hava karışımı zamanından önce tutuşursa vuruntu meydana gelir ve hem motorun performansının düşmesine hem de motor parçalarının hasara uğramasına sebebiyet verir. Oluşabilecek vuruntunun önüne geçmek için kullanılacak yakıtın vuruntu direncinin yüksek gerekmektedir.

Benzin ile çalışan motorların icadını takip eden süreç içerisinde, mucitler motor içinde kullanılan yakıt için de çalışmalara başlamışlardır. 1916 yılında General Motors'da çalışan Amerikalı makine ve kimya mühendisi Thomas Midgley, kullanılan benzin içine eklenen iyot ile oktan sayısının arttırılabileceğini ve bu

sayede vuruntunun azaltılabileceğini keşfetmiştir. Ancak o dönemlerde iyotun pahalı olması ve genel olarak motor parçalarında korozyona sebebiyet vermesi yüzünden katkı maddesi olarak kullanılmasından vazgeçilmiştir. Çalışmalarına devam eden Midgley, iyotun dışında kurşun tetra-etilin ( $Pb(C_2H_5)_4$ ) de aynı zamanda vuruntu önleyici özelliğini keşfetmiştir ve bu madde Birleşik Petrol Şirketleri tarafında kullanılmaya başlanmıştır. Ancak yaygın olarak benzin içerisinde kullanılmaya başlanan kurşun tetra-etilin çevreye ve insan sağlığına zarar verdiği tespit edilmiş ve ardından gelen süreçte aşama aşama azaltılarak kullanımı 1996 yılında yasaklanmıştır. Gelen yasaklama ile birlikte, benzin içerisinde oktan arttırıcı katkı maddeleri arayışı hızlanmıştı (Kılıçarslan, vd, 2002).

Metil siklo pentadienil mangan trikarbonil (MMT) ilk başlarda kurşun tetra-etil için alternatif olacak şekilde kurşunlu benzin için katkı maddesi olarak piyasaya sürülmüştür. Takip edilen zaman içerisinde ise kurşunsuz benzinlerde oktan arttırıcı olarak kullanılmaya başlanmıştır. Ancak daha sonralarında yapılan araştırmalar ile birlikte MMT içerisinde bulunan yüksek miktarlardaki manganezin insan sinir sistemi için zararlı olduğu kanısına varılmıştır. Yalnız bu maddenin uzun süreli kullanımlarda insan sinir sistemindeki etkisi tam olarak net olmadığından dolayı, petrol şirketleri ortaya çıkan tartışmalardan kaçınmak sebebiyle bu maddeyi kullanmaya pek yanaşmamaktadırlar. İnsan sağlığına etkisinin yanı sıra, katalitik konvertörlü araçlarda da yanma sırasında ortaya çıkan mangan oksit sebebiyle MMT'nin kullanılmaması önerilmektedir. Bu gelişmeler ile birlikte 1998 yılında Amerikan Çevre Koruma Örgütü (EPA), MMT'yi toplum ve çevre sağlığına tehdit olarak gördüğün açıklamıştır ve bu açıklama ile birlikte rafineri sektörü yeni katkı maddesi bulma arayışına girmiştir (Baydır, vd, 2009).

Gelişen teknoloji ile yakıt tüketim eğilimi ve fosil yakıt kaynaklarının sınırlı olması göz önüne alınması ile alternatif enerji kaynakları arayışı da hız kazanmıştır. Bununla birlikte hidrojen, metanol, etanol, LPG ve çeşitli bitkisel yağlar alternatif yakıt türleri olarak araçlarda kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle buji ile ateşlemeli motorlarda, etanol-benzin karışımlarının kullanılması ile motorların genel olarak motor torku ve emisyonlarında çok belli bir artış farkı gözlemlenmez iken alkollerin ısı değerlerinin benzine oranla daha düşük olması sebebiyle, tüketilen özgül yakıt aynı kalmasına rağmen, alkol içindeki oksijenin tepkimeye katılması ile ortaya çıkan karbonmonoksit (CO) ve hidrokarbon (HC) emisyonlarında göz ile görülür

miktarlarda azalmalar olduğu belirlenmiştir (Eyidoğan, vd, 2011). Karbonmonoksit ve hidrokarbon emisyonunun, benzinli motorlara oranla çok daha az olması sebebi ile Güney Amerika lkelerinde etanolun belli oranlarda kullanım zorunluluğu getirilmiştir ve bu sayede de tüketime yaygınlaşmıştır. Yapılan gözlemler sonucunda, mevcut fosil kaynaklarının sınırlı olması ve buna rağmen artan araç sayısına bağlı olarak fosil kaynaklara talebin her geçen gün daha da artması ve son günlerde taşıtlardan kaynaklı emisyonlara getirilen ciddi kısıtlamalar ile birlikte alternatif yakıt kullanımına teşvik artmıştır.

Alternatif yakıt kullanımının prensibinde, doğrudan olarak yakıtta değişiklik yapmak ve dolaylı olarak da motordaki yanma sonucunda ortaya çıkan maddelerin arzu edilen seviyelere yakın olarak elde etmek yatar. Gün geçtikçe artan taşıt ihtiyacı ile birlikte taşıtlardaki kirletici egzoz emisyonlarına gelen ciddi kısıtlamalar ile bir takım önlemler de alınmaya başlanmıştır ve bu alınan önlemleri, kaynak öncesi, kaynağında nlem ve kaynak sonrası olarak üç ayrı kategoriye ayrılabilir. Kirletici egzoz emisyonları önleyici olarak kullanılan alternatif yakıt kullanımını ise kaynak öncesi kontrol yöntemi içerisinde değerlendirebilir ve motor içerisinde kullanılan yakıt birleşiminin, kirletici emisyonu azaltılmasını hedef olarak hazırlanması olarak da tanımlanabilir.

Ulaştırma sektörü için talep edilen petrol bazlı yakıtlar, küresel enerji talebinin ana kaynaklarından biridir ve her geçen gün daha da artan bu talebin karşılanabilmesi için fosil yakıtların kullanımının ve fosil yakıtların yanması yüzünden ortaya çıkan ve çevreye salınan egzoz emisyonlarının azaltılması gerekmektedir. Bu sebeplerden ötürü petrol bazlı yakıtlar yerine yenilenebilir yakıtların ya da en azından belirli oranlarda karıştırılarak kullanılmaları teşvik edilmelidir. Yenilenebilir oksijenli yakıtlar da enerji krizi, küresel ısınma, fosil yakıtların yüksek maliyeti ve emisyon salınımına getirilen sıkı denetimler yüzünden geçtiğimiz yıllar boyunca yüksek ilgi görmüşlerdir. Yenilenebilir oksijenli yakıtların, yerli kaynaklar ile üretilmelerinin kolay olması sayesinde yabancı kaynaklara olan enerji bağımlılığını azaltması ve bunlardan ayrı olarak da benzine oranla yanması sonucunda atmosfere salınan CO, HC ve PM değerlerinin daha düşük olması nedeniyle bir çok ülke tarafından nakliye sektöründe kullanılmak üzere tercih edilmeye başlamıştır.

Egzoz emisyonlarını azaltmak ve yakıtın vuruntu direncini artırmak için genel olarak alkoller ve eterler tercih edilmektedir (akmak ve zcan 2018). Alkol ve

eterler arasından en çok bilinen ve kullanılanı ise etanoldür. Etanol, kullanılan tarımsal ürünlerden, yiyecek-içecek ve belediye çöplerinden elde edilen atıklardan fermantasyon işlemi ile kolayca elde edilebilen bir maddedir. Kolay ve yaygın olarak elde edilmesinden kaynaklı olarak etanol günümüzde, başta ABD olmak üzere, Brezilya, Kanada ve Hindistan gibi bir çok ülkede yakıt olarak kullanılmaktadır. Bunlarla birlikte etanol, benzin ile karıştırılarak vuruntu direncini arttırmasını ve yakıt yanmasını geliştirmesi de hedeflenmiştir ve bir çok ülkede de yaygın şekilde kullanılmaya başlanmıştır (Özer, 2014). Etanolün kullanılması dışında, metanol, butanol, ETBE ve MTBE gibi alkoller ve eterler de yakıtın oktan sayısını arttırmak için benzin ile karıştırılarak kullanılır (Çakmak ve Özcan 2018). Bütün bunlara bağlı olarak; Avrupa Birliği ve ABD'de, benzin %3.7 oranında oksijen içerecek şekilde üretilir.

Oksijenli yakıtlar, harmanlandıkları yakıtın bazı temel özelliklerini etkilemeyi hedef alan fiziksel ve kimyasal yakıt özelliklerine sahiptirler. Bu sayede de yukarıda bahsedildiği gibi motor performansını ve emisyon salınımını olumlu yönde etkilemeyi amaçlarlar. Oksijenli yakıt olarak kullanılan, alkol ve eterler içlerinde barındırdıkları oksijen içeriği sayesinde yanma verimi artar ve CO, HC ve PM gibi yanma sonucunda ortaya çıkan emisyonlar azalır. Bununla birlikte benzin ile karıştırıldıklarında elde edilen yüksek oktan sayesinde de harmanlanmış yakıtın vuruntu direnci artar (Çakmak ve Özcan 2018).

Alkol ve eterlerin yukarıda bahsedilen çeşitli avantajlarının yanı sıra bir takım olumsuz etkileri de vardır. Bu olumsuz etkilere örnek olarak; benzin ve alkol karışımlarının kullanılması sırasında Reid buhar basıncının artması gözlemlenir ve bunun sonucunda buharlaşma yoluyla gerçekleşen HC emisyon salınımı artar. Çevreye etkilerini göz önüne alındığında, MTBE gibi maddelerin su içerisinde yüksek çözünürlüğe sahip olmalarından dolayı, depolama tanklarından sızıp yeraltı sularını kirletme olasılıklarına sahiptirler. Alkol ve eterlerin kimyasal yapılarından dolayı da benzine oranla ısıtma değerleri daha düşüktür. Bununla birlikte yine moleküler yapılarından kaynaklı olarak benzinle de homojen şekilde karışması da zordur. Hatta daha düşük sıcaklıklarda ise faz ayrımları bile gözlemlenebilir (Şen, 2007).

Her ne kadar alternatif oksijenli yakıtlarının kullanılması bir takım dezavantajlar doğursa da yukarıda açıklandığı gibi sağladığı avantajlar bakımından da ilgili araştırmalar her geçen gün artarak devam etmektedir.

Yapılan araştırmalar ışığında, etanol, metanol gibi yeni bir oksijenli yakıt olarak metil asetatın ve etil asetatın da kullanılabilceği ortaya çıkmıştır. Hatta diğer oksijenli yakıt katkılarına göre de bazı önemli avantajları vardır.

Metil asetat ve etil asetat, oksijenli bir yakıt katkısı olarak alkol ve eterlerin yerini alabileceğinden, bu çalışmanın amacı, buji ateşleme motorda bu yakıt katkılarının kullanılabilirliğini araştırmaktır. Aslında bir karboksilat ester olan metil etanoatın ( $C_3H_6O_2$ ) bilinen diğer bir adı da metil asetatdır ve atmosfer basıncının bulunduğu bir ortamda, bir asit katalizör yardımı ile metanol ve asetik asitin sıvı fazda kimyasal reaksiyonundan üretilmektedir. Endüstriyel olarak ise metil asetat, asetik asit üretiminin yan ürünü olarak metanolün karbonilasyonu ile de üretilebilir. Metil asetatın sağladığı en önemli avantajlardan biri Reid buhar basıncına herhangi bir etki yapmadan, bir oktan güçlendirici olarak kullanılmasıdır. ETBE ve MTBE ile maliyet bakımından kıyaslandığında daha ucuza elde edilir ve hatta ETBE/MTBE ye oranla daha düşük uçuculuğa da sahiptir. Metil asetatın dışında etil asetat da yakıt katkısı olarak kullanılabilir. Etil asetatın, etanol-benzin karışımlarına ilave edilerek yapılan deneylerde bu karışımların etanol-benzin karışımlarına oranla bir takım avantajlar sağladığı gözlemlenmiştir. Etil asetat- etanol-benzin karışımlarında; su toleransında artış, etanol-benzin karışımlarında düşük sıcaklıklarda gözlemlenen faz ayrışmasının önlenmesi, oktan sayısının artması, buhar basıncının düşmesi gibi olumlu etkiler gözlemlenmiştir (Amine vd.2018). Gözlemlenen olumlu etkiler, etil asetatın, potansiyel bir etanol-benzin faz sabitleyicisi ya da katkı maddesi olarak kullanılmasının önünü açmıştır (Çakmak, vd. 2018).

## 2. GENEL BİLGİLER

### 2.1. İçten Yanmalı Motorların Kısa Tarihçesi

İnsanoğlu, tarihin başlangıcından bu yana yaşamını sürdürebilmek için ortaya çıkan ihtiyaçlarını karşılamak ve kendi yaşam koşullarını daha iyi bir duruma getirebilmek için durmadan çalışmıştır. İnsanoğlunun zekâsı ve kolektif bir akılın yardımı ile ateşin bulunması ile başlayan macera tekerleğin icadı, yazının bulunması, fizik ve matematikte ilerleme, buhar kuvvetinden yararlanarak alet ve makinelerin yapımı ve uzayın keşfi ile devam etmiştir. 3500 yıl önce tekerleğin icadı ile başlayan bu serüven, insanoğlunun yıllar içinde devamlı bir arayışı ve en kolay ulaşım ve taşıma yolunu bulabilmek için durmadan çalışması ile günümüze kadar gelmiştir. İnsanlığın bugün yakalamış olduğu bu modern uygarlık düzeyinin temel taşı olan tekerleğin çalışma prensibinde, sürtünmeyi en aza indirerek taşınması gereken kütle için uygulanacak kuvveti minimuma indirmek yatar. Mesela 500 kg ağırlığındaki bir kütleyi çekerek sürükleyebilmek için yaklaşık olarak 200 kg kuvvete ihtiyaç duyulması gibi. Halbuki, basit bir tahta tekerlek kullanılarak bu yükü sadece 40 kg kuvvet kullanılarak, bununla birlikte eğer bu yük ray üzerinde hareket eden çelik bir tekerlek üzerinde olsaydı sadece 4 kg kuvvet uygulanılarak taşınabilirdi (Kılıçarslan, vd, 2002).

Buhar ile çalışan motorların icadına kadar geçen sürede, tekerlek kullanılarak yapılan taşımalarda insan ve hayvan güçlerinden faydalanılmıştır. Fakat, 18. Yüzyılın ikinci yarısına buhar gücü damgasını vurmuştur. Bunun ile birlikte gelen endüstriyel devrim sırasında, buhar gücü ile çalışan motorlar, su ve rüzgâr ile çalışan motorların yerini almaya başlamış ve 19. yüzyılın sonlarına doğru endüstriye tamamen hâkim olmaya başlamıştır. Bu gelişmeler ışığında bir çok farklı tasarımda buhar ile çalışan motor tasarımları geliştirilmiştir. Bunlardan biri de İngiltere’de yaşayan aynı zamanda kimyacı, mimar ve bilim adamı olan Sir G. Gurney tarafından yapılmış olup, tasarlanan kazan sistemi ile kok yerine daha az duman çıkartan kömürlerin kullanılmasına olanak sağlamıştır. Elde edilen teknolojik gelişmeler ışığında; buhar ile çalışan motorlar 19. Yüzyıl yaşantısına adapte edilerek fayton ve şehirlerarası otobüs yolculukları için bile kullanılmaya başlanmıştır, ancak daha

sonrasında bu tarz motorların raylı sistem taşımacılığı için daha elverişli olduğuna kanaat getirilmiştir.

Otomobilin icadı da insanoğlunun teknoloji tarihinde önemli bir kırılma noktasını temsil eder. Yalnız otomobilin gelişme tarihlerini net bir şekilde bilinmesi aynı anda farklı kişiler tarafından ortaya atılan fikirler ve tasarımlar yüzünden oldukça zordur. Aynı şekilde otomobilin keşfinin bir kişi ya da ülkeye ait etme fikri de doğru değildir. Tarih boyunca birçok bilim adamı, günümüzde kullanılan otomobillerin son halini almasına kadar geçen sürede bu otomobillerin tasarımında ve imalatında rol almıştır. Kolektif bir bilgi akışı sayesinde, bir önceki bilim adamının bilgisine daha sonrasında gelenin yeni bilgileri eklenerek günümüz teknolojisi ile otomobiller ortaya çıkmıştır. İlk otomobillere oranla günümüz otomobilleri daha az yakıt tüketerek daha hızlı gidebilmektedirler. Ayrıca daha ekonomik ve güvenlik açısından da çok daha gelişmişlerdir. Otomobil, İngilizce iki kelime olan AUTO (self) ve MOBIL (kinetikcilik) birleşmesinden meydana gelmiştir ve kendi başına hareket eden anlamını taşır. Tekerleğin icadı ile başlayan taşımacılık ilk önce hayvanlar yardımı ile yapılmıştır. Hayvanların kullanılmadığı yerlerde ise taşıma için gereken enerji rüzgâr gücünden elde edilmiştir. Hatta, 1600 yılları civarında Hollandalı bir mucit karada yelken ile hareket eden bir araç bile yapmıştır ve bu araç ile 34 km/h hıza ulaşmıştır. Daha sonralarında ise taşıma için talep edilen enerji buhar gücünden sağlanarak endüstriyel devrimin önü açılmıştır. Günümüzde kullandığımız modern otomobillerin ilkel bir versiyonunu ilk kez Fransız mühendis Nicholas-Joseph Cugnot tarafından icat edilmiştir. Cugnot bu otomobili aslında bir top arabası olarak tasarlamıştır. Cugnot'un tasarımındaki otomobil sadece 3 tekerlekten oluşmaktadır ve dört yolcu kapasitesine sahiptir. Buhar ile çalışan motoru, iki adet silindir yardımı ile hareket enerji sağlamaktadır. Cugnot'un icat ettiği otomobil, motorun krankından elde edilen enerjinin, bir zincir yardımı ile ilerisinde bulunan tek tekerleğe iletilip, aracın hareket etmesi prensibi ile çalışmaktadır. İlk otomobil icadından sonra Cugnot çalışmalarına devam etmiştir ve ikinci olarak tasarladığı otomobili, bugün hala "Paris Sanayi Müzesi'nde" sergilenmektedir. Cugnot'un dışında neredeyse eş zamanlı olarak Amerikalı Oliver Evins ve İngiliz Richard Trevithick de buharla çalışan ve yolcu taşınmasına imkân tanıyan otomobiller geliştirmişlerdir. Bu geliştirilen otomobillerin ortak noktası ise hepsinin motorlarında enerji üretmek için buhardan faydalanılmasıdır. Bu tarz

motorların bir diğeri adı da dıştan yanmalı motorlardır. İçten yanmalı motorların icadı havagazının elde edilmesine kadar mümkün olmadı. 1796 yılında katı yakıtlardan elde edilen havagazı sayesinde, içten yanmalı motorların gelişmesine de olanak sağlanmış oldu ve bununla birlikte 1860 yılında Fransız mühendis Jean Etienne Lenoir tarafından ilk kez havagazı ile çalışan içten yanmalı motor icat edilmiş oldu. Lenoir' in içten yanmalı motoru, havagazını sıkıştırma olmadan yakmasından dolayı sadece 1.5 beygir gücüne sahiptir. Gazların sıkıştırılarak yakılması sonucunda daha fazla beygir gücü elde edilebileceği fikri ise William Bennet tarafından ortaya atılmıştır. Ortaya atılan fikri daha sonrasında ise Dugold Clerk geliştirmiştir.

Dört zamanlı motorun çalışma prensibinin esası, ilk olarak 1862 yılında Fransız fen adamı Alphonse Beau de Rochas ortaya atmıştır, fakat daha sonrasında Nikolaus-August Otto tarafından yapılarak, 1877 yılında ise patenti alınmıştır. Otto'nun tasarladığı motor, havagazı sıkıştırılmasından sonra ateşleme yaptığı için motorun gücü ve verimi artırılmıştır. Tasarlanan motorun devri dakikada yaklaşık olarak 150-200 devir civarında olduğu gözlemlenmiştir. İlk dört zamanlı motorun mucidi olan Otto'nun adı daha sonrasında benzin ile çalışan motorlara verilip, bu motorların çevrimine de "Otto Cycle " denilmiştir. Yalnız Otto'nun tasarladığı motorun, elde edilen devir sayısı yüzünden bir otomobil içinde kullanılması çok da uygun değildi. Daha sonrasında Otto'nun yanından ayrılıp, kendi atölyesini kurup yoluna devam eden Gottlieb Daimler, 1883 yılında tasarladığı motor ile motor devrini dakikada 800-1000 devir/dakika seviyelerine çıkartarak otomobiller için kullanılabilir türde bir motor tasarlamıştır. Daimler tasarımında, motorun yanma odasına bir bakır çubuk yerleştirmiştir ve dışarıdan bu bakır çubuğu ısıtarak motorun ateşlenmesini bu bakır çubuktan sağlamıştır. Bu ateşleme sistemine "sıcak boru ateşlemesi" adı verilmiştir. Bu motor günümüzde, Mercedes Fabrikası müzesinde sergilenmektedir. Bu devirde bir motor otomobillerde kullanılabilir ancak yakıt olarak havagazının kullanılması çok da pratik bir durum oluşturmamaktaydı. Avrupa'da bu çalışmalar hızla devam ederken Amerikalı mühendis George Brayton, kullanılan havagazına alternatif olarak benzin ile çalışan bir motor tasarladı. Bundan sonra gelen bütün çalışmalar ise havagazının yerine benzinin kullanılabilmesi için gereken karbüratörlerin icadına doğru gitti. Karbüratörler, sıvı yakıtı daha küçük zerreler haline getirilip, daha sonra bu küçük zerrelerin hava ile harmanlanması işine yararmaktadırlar. Hava ile karışan benzin buharı, motorun içerisinde daha kolay yanabilir duruma gelir. Daha

sonrasında yapılan çalışmalarda, Daimler yakıt buharı ile karışan havayı, yakıt daha sıvı durumda ile yakıt içerisine itmeyi denemiş ve daha sonrasında hava ile karışan sıvı yakıtı zerreciklerine ayırmak için de ateşlemeden önce sıcak boruya temas ettirerek gaz haline getirmeyi denemiştir. Forrest ise daha farklı bir yol deneyerek, filit tulummasının çalışma esasına dayanarak yakıtı hava akımı içerisine püskürtmüştür. Daimler ile Wilhelm Maybach bir araya gelerek, günümüzde kullanılan benzeyen şamandıralı karbüratörü tasarladılar. Karl Benz adlı diğer bir Alman, Daimler'in tasarladığı motoru ve Forrest'in tasarladığı karbüratörü alıp bunları dört teker üzerine birleştirdi ve böylece 1886 yılında ilk defa içten yanmalı motorların en geniş uygulama sahası olan otomobil meydana gelmiş oldu. Benz'in tasarladığı ilk otomobilden 7 yıl sonra Amerika'da da Charles Duryea tarafından Amerika'nın ilk otomobili yapılmış oldu. Henry Ford'un tasarladığı ilk otomobili ise Detroit sokaklarında ilk kez 1896 yılında görülmeye başlanmıştır.



Şekil 2.1. Henry FORD fabrikasınının 1903 yılında yaptığı dört silindirli otomobil. (Setright, 2004)

Henry Ford 1903 yılında fabrikasını genişleterek, daha ucuz fiyatlara sahip otomobiller yapmaya başlamıştır ve bunları T modeli adıyla piyasa sunmuştur. Şekil 2.1'de Henry Ford'un piyasa sürdüğü T modeli otomobilinin bir fotoğrafı gösterilmiştir (Setright, 2004; Performans Mains Oto Dergisi, 1994).

İlk otomobillerin piyasa sürülmeye başlanmasından sonra otomobillerin gelişimi daha da hızlı bir tempoda devam etmiştir. 1887 yılında Zöhringer tarafından yapılan alçak voltajlı manyeto gaz motorlarına monte edilmiş ve bunu takip eden 10

yıl içerisinde de bu alçak voltajlı manyeto benzin motorlarına adapte edilmiştir. 1897 yılında otomobillere fenerler eklenerek aydınlatılma sağlanmıştır ve 1901 yılından itibaren de bu aydınlatma karpit lambaları ile sağlanmaya başlamıştır. 1901 yılında mühendis Gottlob Honold tarafından bulunan yüksek voltajlı manyeto, 1902 yılından itibaren motorlara eklenerek buji ile ateşlenen elektrikli ateşleme sistemine geçilmiştir. Bu sayede motorun gücü de arttırılmış olmuştur. Bu gelişmeler daha sonrasında; 1911’de Cadillac’ın marş motoru kullanmaya başlaması, 1914’te dinamonun icadı ile karpit lambalar yerine farların kullanılmaya başlanması, elektrikli kornaların icadı ve elektrikli cam silecekler ile devam etmiştir.

Otomobilleri tarihsel gelişimi süresince, bu yarışın içerisinde bir çok ülke dahil olmuştur ve çeşitli modeller ve şekillerde otomobillerin üretimi başlamıştır. Günümüzün teknolojisine sahip otomobillerin motorları, yapısı ve donanımı bakımından çeşitlilik gösterebilirler bile hala çalışma prensibi olarak Otto’nun ortaya koyduğu dört zamanlı çalışma prensibini esas alır.

İçten yanmalı motorlar adlarını, dıştan yanmalı motorların aksine yakıtın motor içinde kendine ait sınırlı bir alan içerisinde “yanma odası” adı verilen bir bölgede yakılmasından dolayı alırlar. İçten yanmalı motorların çalışma prensibi ise yanma odasında yakılan yakıt tarafından oluşturulan basıncın, piston-biyel-krank mekanizmasını hareket ettirmesine bağlıdır.

Buhar kazanlı motorlar gibi dıştan yanmalı motorlarda, yakıtın yanma işlemi motorun dışarısında gerçekleşmektedir. Yanma işleminin, daha sonrasında motorun iç kısmına taşınması ile birlikte dıştan yanmalı motorlara kıyasla daha kompakt motor tasarımları yapılabilmiş ve günümüz otomobillerin oluşması için öncü olmuşlardır.

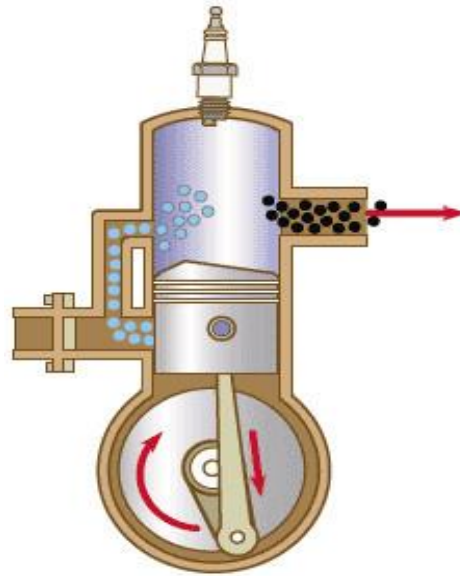
İlk tasarlanan otomobillerde kullanılan motorların içinde bulunan silindir adetleri günümüzdekilere kıyasla daha az sayıda olup, sıkıştırma oranları ve güçleri de daha düşüktü, ayrıca da kullanılan malzemelerden dolayı da ağırdılar. Zaman içerisinde malzeme biliminin ilerlemesi ile kullanılan demir ve çeliğe oranla daha dayanıklı ama ağırlık bakımından daha hafif malzemelerin üretilmesi ile daha hafif motorlar ve bununla birlikte daha hafif otomobiller yapılmaya başlandı. Gün geçtikçe otomobillerin üretim maliyeti düşürülüp, her ekonomik sınıfa hitap edebilecek seviyelere indirildikçe otomobillere olan talep de artmaya başladı. Bu

neden ile otomobillerin seri imalatı da başlamış oldu. İçten yanmalı motorun icadı ile ilk yapılan otomobilin üzerinden sadece bir asır geçmesine rağmen bu kısa sürede teknolojik olarak çok büyük gelişmeler kaydedilmiştir ve gelişen yeni teknolojiler ve araştırmalar ışığında daha da devam edeceği aşikardır. (Performans Mais Oto Dergisi, 1994)

## 2.2. Buji Ateşlemeli Motorlar

Buji ateşlemeli motorlar bir adıyla benzin motoru olarak da bilinirler ve bu motorlar 4 stroklu ve 2 stroklu olarak iki ana gruba ayrılırlar. 2 stroklu motorlara oranla, 4 stroklu motorların daha geniş bir kullanım alanı vardır ve özellikle otomobillerde bu tarz motorlar tercih edilirler.

2 stroklu motorlar, 4 stroklu motorlardan farklı olarak motor içerisindeki pistonun lineer hareketi sebebiyle, 4 stroklu motorlarda meydana gelen emme, sıkıştırma, yanma ve egzoz işlemlerini 2 strokta meydana getirirler. Bu motor tiplerinde emme ve egzoz supapları yoktur ve bu sebeple emme ve egzoz basamakları motor içerisindeki basınç farkı sayesinde yapılır. Şekil 2.1' de iki zamanlı motorun şeması verilmiştir.



Şekil 2.2. İki zamanlı motorun genel görünüşü (Generating Leads, 2013)

Silindir içerisindeki pistonun yukarı hareketi sırasında, silindir içerisinde bulunan karışımı yukarı doğru sıkıştırmaya başlar. Aynı zamanda yukarı doğru

hareket eden piston ile krank bölümünde vakum oluşur ve oluşan basınç farkından dolayı krank içerisinde yakıt, hava ve yağ karışımı dolar. Sıkıştırılan karışım daha sonrasında buji ile ateşlenerek patlama oluşması sağlanır ve çıkan enerji pistonu aşağıya doğru iter. Aşağıya doğru itilen piston ile egzoz çıkışı açılır ve emiş ağzı kapanır. Piston ile aşağıda sıkışan karışım, taşıma cebinin açılması ile pistonun üst kısmına dolar ve çevrim tamamlanır.



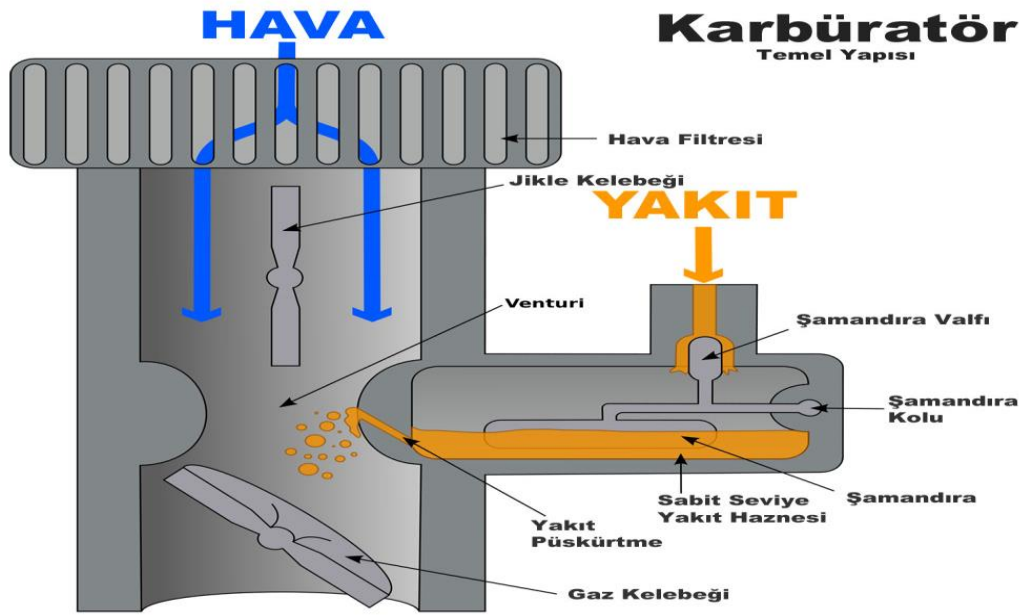
Şekil 2.3. Benzinli motorun genel görünüşü (Generating Leads, 2013)

Dört zamanlı buji ateşlemeli motorunun ana elemanları Şekil 2.2.'de temel olarak gösterilmektedir. Motorun ana yapısını oluşturan motor gövdesi (Şekil 2.2), genel yapı olarak silindirlere ve krank milini taşımak için tasarlanan üst karterden oluşur. Bütün bu ana yapılar döküm yolu ile imal edilir. Silindir içerisinde ise piston bulunur ve öteleme hareketini yapması için tasarlanan pistonlar genel olarak hafif metal alaşımlarından yapılırlar. Motorun içerisinde bulunan biyel kolunun büyük ve küçük olmak üzere iki farklı başı vardır ve küçük olan başı piston pernosu yardımı ile pistonla bağlanmıştır. Biyel kolunun büyük başı ise biyel yatağı yardımı ile krank muylusuna bağlanmıştır. Krank milini oluşturan ana yapılar ise, ana yataklar, muylu yatakları, krank kolları ve karşı ağırlıklardır. Silindirin kafası ise kafa civataları ve

saplamaları sayesinde motor bloğu üzerine bağlanmıştır. Silindir kafası içinde buji yuvaları, emme ve egzoz kanallarını bulundurur.

Silindir kafası içerisinde ayrıca, emme ve egzoz supapları da bulunmaktadır. Ayrıca silindir kafası içerisinde bulunan supapların yeterli sıklıkta kapanmalarını sağlayan supap yayları da silindir kafası içerisinde yer almaktadır. Supaplar, kam milinin dönmesi ve külbütör yardımı ile açılırlar. Supapların açılmasına yardımcı olan kam mili, eski motor tasarımlarında motor gövdesinde bulunurken, yeni tasarımlarda ise silindir kafasının içine konulmuştur. Kam milinin hareketini de dişliler, dişli kayış veya bir zincir yardımı ile krank milinden alır.

Emme havası, hava filtresinden geçerek karbüratöre gelmektedir. Karbüratör içerisinde benzin ve havanın karıştırılması sağlanır ve karbüratör içerisinde başlayan bu karışma olayı karbüratörden sonra gelen emme kanallarında da devam eder. Karbüratörün çıkış tarafında bulunan gaz kelebeği kullanılarak motora daha az veya daha çok hava - yakıt karışımı girmesi ve motor yükünün değişmesi sağlanmaktadır. Karbüratörün yapısı Şekil 2.3'te gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Karbüratörün yapısı (Karbüratör nedir, 2015)

Motor içerisinde bulunan yakıtın, yanma tepkimesine girmesi sonucunda oluşan yanma ürünleri daha sonrasında egzoz supabının açılmasıyla dışarı atılır. Yanma tepkimesi sonucunda silindir ve silindir kafası ısınır. Isınan parçalar ise ya hava ya da su kullanılarak soğutulur. Silindir soğutmak için kullanılan soğutma suyu,

döngüsünün sonunda silindir kafasından ısınmış bir şekilde çıkar. Isınan soğutma suyu daha sonrasında termostattan geçerek radyatörün üst kısmına gider. Radyatörde soğutulan su daha sonra tekrar aynı döngü içerisinde kullanılmak üzere dolaşım pompası tarafından emilir ve önce silindirler arasında bulunan soğutma kanallarına ve daha sonrasında da silindir kafasına gönderilir.

Motorda yanma; yakıt-hava karışımının, ateşleme sistemi tarafından tutuşturulması ile başlar. Ateşleme sisteminde her silindir için kısa süreli yüksek gerilim üretilmekte ve kam milinden hareketini alan bir dağıtım makarası ile veya elektronik olarak bu yüksek gerilim ateşleme sırası gelen silindirin bujisine gönderilmektedir. Motorun yağlanması kam milinden veya krank milinden hareketini alan dişli tip yağ pompası ile sağlanmaktadır. Yağlama yağı alt karterde toplanmakta ve yağlama pompası tarafından buradan emilmektedir (Deniz, 2008).

İçten yanmalı motorların işlevi yakıtın kimyasal enerjisini kinetik enerjiye çevirmektir. Karbüratör ve yakıt enjeksiyonu yardımı ile elde edilen yakıt-hava karışımı daha sonrasında motor içinde bulunan piston tarafından sıkıştırılır ve sıkıştırılan yakıt-hava karışımı buji yardımı ile ateşlenir. Sıkıştırılıp, yüksek basınç altında buji tarafından tutuşturulan yakıt-hava karışımı yine bir yüksek basınç ortamı oluşturur ve bu oluşan yüksek basınç, piston-biyel-krank sistemini hareket ettirmek amacı ile kullanılır. Bu sayede hareket enerji elde edilmiş olunur. Dizel motorlar da ise ateşleme işlemi için buji kullanılmaz. Bunun yerine piston içerisine alınan ve sıkıştırılan havaya daha sonrasında enjeksiyon ile yakıt püskürtülür. Tutuşma ve yanma, piston tarafından sıkıştırılarak basınç ve sıcaklığı yükseltelen havanın içine tutuşma kabiliyeti yüksek yakıtın püskürtülmesi ile sağlanır.

Geçmişten günümüze kadar geçen sürede, içten yanmalı motorlarda kullanılan yakıt türü de gazyağı, benzin, mazot ve LPG gibi olmuştur. Otomobilin ilk üretilmeye başlandığı tarihten bu yana kadar geçen sürede gelişen teknoloji ile motorların tasarımları ve buna bağlı olarak kullanılan yakıt türleri de değişim göstermiştir ve gelecek yıllar içerisinde de göstermeye devam edecektir. Günümüzde ise yeni bir teknoloji olan hybrid ve elektrik ile çalışan motorlar geliştirilmiş olup bu motorlara bağlı yeni teknoloji otomobiller de üretilmeye başlanmıştır. Hatta bir çok uzak doğu ülkesinde ve Avrupa'da da benzin ile çalışan arabalara oranla hızla yaygınlaşmaya başlamışlardır.

### 2.3. Dört Zamanlı Buji Ateşlemeli Motorun Çalışma Prensibi

Benzin motorları Otto Çevrimi prensibine göre çalışmaktadır. Bu çevrimi oluşturan zamanlar emme zamanı, sıkıştırma zamanı, yanma ve genişleme zamanı ve egzoz zamanıdır. Bu zamanlar Şekil 2.4'te şekilsel olarak gösterilmiş ve aşağıda açıklanmıştır.

**Emme Zamanı:** Bu zaman dilimi içerisinde motorun içinde bulunan piston en üst konumda ölü noktadır. Piston bu durumda iken hava-yakıtı karışımı silindir içine alınmaya başlanır ve pistonun alt ölü noktaya kadar gitmesine kadar bu emme işlemi devam eder. Pistonun, alt ölü noktaya ilerleyişi sırasında silindir içerisinde bir alçak basınç durumu oluşur. Oluşan alçak basınç durumundan kaynaklı olarak hava silindirin içine doğru akmaya başlar. Alçak basınç noktasına ilerleyen hava, karbüratörden geçtiği sırada ana memeden emilen ve küçük zerreler halinde bulunan benzin ile karışarak yoluna devam edip silindir içine dolar. İster karbüratör sayesinde olsun isterse de püskürtülerek olsun yakıt ve hava karışımı her zaman silindirin içerisinde sabit bir oranda olması istenir. Silindirin içerisinde alınan dolgu (hava-yakıt karışımı) miktarı da motorun gücünü belirler ve motorun gücünü azaltılmak istenildiği durumlarda silindirin içerisine daha az dolgu alınır. Bu işlem de emme kanalı kesit alanını daraltma görevi gören bir kelebek (gaz kelebeği) yardımı ile yapılır.

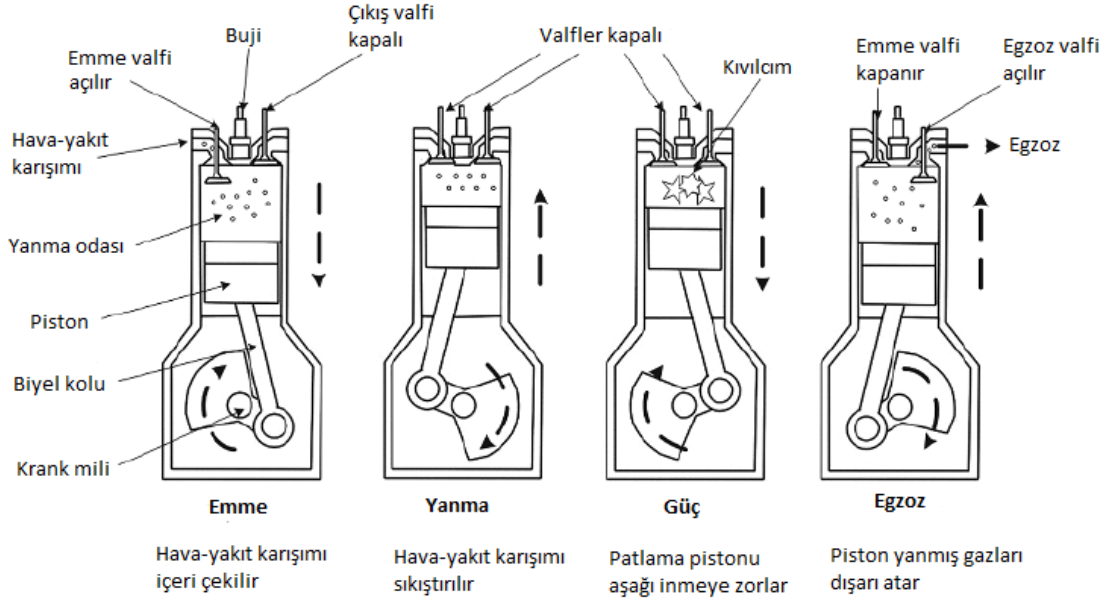
**Sıkıştırma Zamanı:** Emme zamanı sırasında piston silindiri içerisine emilen yakıt-hava karışımı, bu zaman dilimi içerisinde sıkıştırılarak ortamda yüksek basınç elde edilmeye çalışılır. Bu işlem piston yardımı ile yapılır ve alt ölü noktada bulunan piston bu sefer üst ölü noktasına doğru hareket eder ve sıkıştırma işlemi başlar. Sıkıştırma işlemi sırasında piston içerisinde bulunan karışımın daralan hacim ile bağlı olarak sıcaklığı ve basıncı artar. Sıkıştırma işlemi sırasında piston silindir içerisinde belli bir noktaya geldiğinde, basıncı ve sıcaklığı artan karışıma buji tarafından ateşleme yapılır ve sıkıştırma zamanı sona erer. Sıkıştırma işlemi sonunda silindir içerisinde bulunan karışımın basıncı ve sıcaklığı yaklaşık olarak 1.0-1.4 MPa ve 550-750 K civarlarındadır.

**Yanma ve genişleme zamanı:** Bu zaman içerisinde, yakıt hava karışımı piston üst ölü noktaya gelmeden hemen önce, bir buji ile ateşlenir. İçten yanmalı motorların çalışma evrelerindeki en önemli zaman dilimi yanmadır. Çünkü yanma işlemi

sırasında kimyasal enerjiye sahip yakıt, kimyasal enerjisini ısı enerjisine çevirir ve oluşan ısı enerji sayesinde de mekanik enerji elde edilir. Yanma sonucunda oluşan yüksek basınç bu sefer pistonu alt ölü noktaya doğru itmeye başlar ve bu sayede krank mili yardımı ile faydalı iş elde edilir. Erken ateşleme, ateşleme avansı  $\alpha_A = 0-55^\circ$  KMA aralığında olup, devir sayısının düşmesi ile bu açı da küçülmektedir. Bu noktada hava-yakıt karışımı tutuşur ancak dolgunun tamamı birden yanmaz. Dolayısıyla yanma olayı, ideal çevrimdeki gibi sabit hacimde olmayıp politropik bir işlem olarak devam eder. Yanma sonucu oluşan maksimum basınç üst ölü noktadan sonra  $12-15^\circ$  KMA'da gerçekleşir. Basınç artışı üst ölü noktadan çok daha sonra, genişleme sırasında meydana gelecek olursa maksimum güçte düşme olur. Çünkü pistonun alt ölü noktaya doğru hareket etmesi sonucu artan hacim nedeniyle istenilen basınç yükselişi sağlanamaz. Ateşlemeyi bu nedenle erken yapmak gerekmektedir. Genişleme zamanında ise artan yüksek basınç yüzünden piston alt ölü noktaya doğru itilmeye başlanır ve artan hacim sebebiyle de basınç ve sıcaklık düşer. Yanma sırasında oluşan basınç ve sıcaklık değerleri 3.0-7.0 MPa ve 2200-2300 K değerleri arasındadır. Daha sonrasında ise genişleme evresi gelmiş ve bu durumda ise basınç ve sıcaklık değerleri 0.4-0.6 MPa ve 1100-1300 K'e kadar gerilediği gözlemlenmiştir.

**Egzoz zamanı:** Genişleme zamanı sırasında piston alt ölü noktaya doğru ilerlerken supaplar kapalıdır, ancak piston alt ölü noktasına ulaşmadan önce egzoz supabı açılır. Supabın erken açılmasına “egzoz supabı açılma avansı (EgAA)” denir. Yüksek devirli motorlarda egzoz açılma avansı  $\alpha_{EgAA}=20-70^\circ$  KMA'dır. Egzoz supabı açıldığında basınçlı egzoz gazlarının bir kısmı kendiliğinden egzoz supabından dışarı çıkar. Piston, alt ölü noktadan üst ölü noktaya hareketi ile silindir içinde kalan diğer egzoz gazları dışarıya atar. Egzoz gazlarının tamamının silindirden atılmasına zaman bırakmak için egzoz supabı üst ölü noktadan kısa bir süre sonra kapanır. Bu gecikmeye “egzoz supabı kapanma gecikmesi (EgKG)” denir. Egzoz kapanma gecikmesi motorun dönme sayısına bağlı olarak  $\alpha_{EgKG}=10-15^\circ$  KMA değerleri arasındadır. Buna rağmen egzoz zamanı içinde gazların tamamı silindirden dışarı atılamaz. Bir miktar gaz daima silindirde kalır. Buna artık gaz denir. Egzoz işlemlerinin sonuna doğru, piston üst ölü noktaya ilerlerken, silindir içindeki gazların basıncı ve sıcaklığı 0.105-0.11 MPa ve 700-1000 K arasında değerler alır (Safgönül, vd, 2013).

#### 4 Zamanlı Benzinli Motor



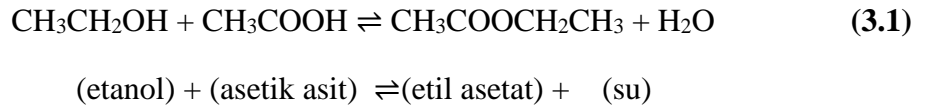
Şekil 2.5. Dört zamanlı benzinli motorun çalışma prensibi (Mühendis Gözünden:4 Zamanlı Benzin Motor (Otto Motor), 2018)

### 3. TEZ KAPSAMINDA MOTORLARDA KULLANILAN KİMYASALLARIN FİZİKSEL VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİ VE TARİHÇESİ

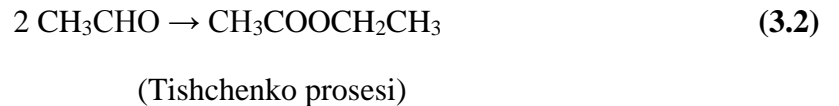
#### 3.1. Deney Motorunda Kullanılan Kimyasalların Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

##### 3.1.1. Etil asetatın fiziksel ve kimyasal özellikleri

Etil asetat,  $\text{CH}_3\text{COOCH}_2\text{CH}_3$  açık formülüne sahip bir organik bileşiktir. Etil asetat güçlü bir solvent olup, asetik asit ve etanolün türevidir. Etil asetat'ın güçlü bir solvent olmasından kaynaklı olarak endüstri alanında yaygın kullanılan bir maddedir. Endüstri alanlarında yaygın olmasından kaynaklı olarak yılda yaklaşık olarak 2 milyon ton etil asetat üretimi gerçekleştirilmektedir ve üretiminin büyük bir yüzdesini Atlantik ve Avrupa ülkeleri karşılamaktalar. Etil asetat'ın üretim yönetimi ve üretim işlemi 3 farklı yöntem ile gerçekleştirilebilir. Birinci yöntem, asetik asitin etanol ile esterleşme reaksiyonu ile yapılır ve bu reaksiyon bir asit katalizörü etkisinde gerçekleşir. Katalizör olarak, sülfürik asit, hidroklorik asit ya da sülfonik asit kullanılır. Toplam esterleşme işlemi yaklaşık olarak %65 oranında verimle yapılır. Aşağıda esterleşme reaksiyonu verilmiştir:



İkinci yöntem ise asetaldehitin alüminyum trioksit katalizörlüğünde parçalanarak etil asetat üretimidir. Bu işlemin adına Tishchenko işlemi denir ve aşağıdaki kimyasal formülasyon ile gösterilir:



Tishchenko işlemi gerçekleşirken bakır veya paladyum bazlı katalizörler kullanılabilir.

Üçüncü yöntem ise ilk iki yöntemle oranla daha sık kullanılan bir yöntem olup etilenin, asetik asit ile kil ya da heteroploy asit katalizörlüğünde olan reaksiyonu ile gerçekleşmektedir.



Bu yöntem sık kullanılmakla birlikte bazı dezavantajları da beraberinde getirir, çünkü bu reaksiyon sırasında etilen ve asetik asiti ayrı ayrı tanklarda beslemek ve asetik asitin kolay elde edilemeyeşi gibi faktörler öne çıkmaktadır. Bu nedenlerden dolayı günümüz sanayisinde yeni teknolojiler kullanılmakta olup BP şirketinin AVADA HULL metodu ya da DAVY işleme teknolojisi gibi yöntemler kullanılarak asetaldehit dehidrojenize edilerek etil asetat elde edilebilir.

**Üretim İşlemi:** Etil asetat üretiminde, reaktör içine asetik asit ve etanol eklendikten sonra katalizör olarak konsantre sülfürik asit ile bu karışım beslenir. Bu sayede reaktörde iyi bir karışım elde edilir. Elde edilen karışım daha sonra reaksiyon ürünü olarak kolonun en üstünden soğutma aparatından geçirilerek etil asetat ve su elde edilir. Etil asetat ve su karışımı kondenserden geçirilir ve bu işleminde ardından distilasyon kolonuna beslenerek etil asetat ve suyu kaynama noktaları farkından yararlanılarak ayırma işlemine tabii tutulur. Distilasyon kolonundan rafineri etil asetat üretilmiş olur, ayrıca distilasyon kolonunda riflax (geri dönüşüm) yapılarak da alkol ve esteri de geri kazanılır. Çizelge 3.1’de etil asetatın fiziksel ve kimyasal özelliklerinin gösterildiği bir tablo verilmiştir. (Riemenschneider, 2005; MSDS-Etil Asetat; NIOSH, 1996)

Çizelge 3.1. Etil asetatın özellikleri (Etil Asetat, 2017; Metil Asetat, 2015)

	Özellikler
Moleküler formülü	$\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$
Görünüş	Sıvı
Dış görünüş	Renksiz
Suda çözünürlüğü	8,3 g/100 mL (20 ° C)
Buhar basıncı	9.73 kPa
Erime noktası	-83,6 ° C, 190 K
Bağıl yoğunluk	0.9006 g/mL (20 ° C)
Donma noktası	-83.97° C
Kaynama noktası	77.11°C
Parlama noktası	24 ° C (-4 ° C kapalı kapta)
Viskozite	0.45 cP ( 20°C)

### 3.1.2. Metil asetatın fiziksel ve kimyasal özellikleri

Asetik asit metil esteri olarak da bilinen, metil asetat karboksilli bir esterdir ve  $\text{CH}_3\text{COOCH}_3$  formülü ile ifade edilir. Metil asetat, genel yapısı itibari ile yanıcı bir özelliğe sahiptir. Sahip olduğu hoş kokunun yanında metil asetat endüstride yapıştırıcı ve oje sökücü olarak yaygın bir biçimde kullanılmaktadır. Metil asetat da aynı etil asetat gibi zayıf polar ve lipofilik özelliklere sahiptir. Ancak metil asetat, etil asetata oranla daha fazla toksik özelliğe sahip olmakla birlikte aynı zamanda da su içinde de etil asetata göre daha fazla çözünürlüğe sahiptir. Oda sıcaklığındaki ortam koşullarında metil asetat, su içinde %25 oranında bir çözünürlüğe sahiptir ve ortam sıcaklığı arttıkça bu oran da artış gösterir. Zayıf polar ve lipofilik özelliklere sahip olmasından kaynaklı olarak metil asetat da aynı etil asetat gibi solvent olarak kullanılır, ancak etil asetata göre daha toksik olması ve su içinde daha fazla çözülmeye eğilim göstermesinden kaynaklı olarak daha az tercih edilir. Metil asetat, iki farklı yoldan elde edilebilir. Bunlardan birincisi, atmosfer basıncına sahip ortamda, metanol ve asetik asitin bir asit katalizör yardımı ile oluşturulan kimyasal reaksiyondur. İkinci yol ise asetik asit üretiminin yan ürünü olarak elde edilen metanolün karbonilasyonu ile de üretilebilir. Çizelge 3.2’de metil asetatın kimyasal ve fiziksel özelliklerinin bulunduğu tabloyu bulabilirsiniz.

Çizelge 3.2. Metil asetatın özellikleri (Etil Asetat, Metil Asetat, 2015)

	Özellikler
Moleküler formülü	$\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2$
Molar kütle	74.08 gr/mol
Görünüm	Renksiz sıvı
Kırılma indeksi ( nD )	1.361
Parlama noktası	14 C
Suda çözünürlük	~ %25 (20 °C)
Koku	Kokulu, meyveli
Kaynama noktası	56.9 ° C (134.4 ° F; 330.0 K)
Ergime noktası	-98 ° C’den (-144 ° F 175 K)
Yoğunluk	0.932 gr/cm <sup>3</sup>

### 3.1.3. Benzinin fiziksel ve kimyasal özellikleri

Benzin motorlarda, yakıt olarak kullanılan benzinin hava-yakıt karışımı işlemi bakımından uçucu ve vuruntuya dayanıklı olması bakımından da kendi kendine tutuşma eğiliminin az olması istenilen özellikler arasındadır. (Bayraktar, 1991). Çizelge 3.3 benzinin genel özelliklerini göstermektedir.

Çizelge 3.3. Benzinin özellikleri (Özer, 2014)

Özellik	
Kimyasal formülü	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> - C <sub>12</sub> H <sub>26</sub>
Mol kütlesi	-
C/H oranı	~0.556
Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	732
Isıl değeri (MJ/kg)	43.4
Stokiyometrik oran (H/Y oranı)	14.7
Buharlaşma ısısı (kJ/kg)	360
Kendi kendine tutuşma sıcaklığı (°C)	257
Araştırma oktan sayısı (AOS)	95
Motor oktan sayısı (MOS)	82-94
Kaynama noktası (°C)	27-255
Parlama noktası	-40 ile -46C
Donma noktası (°C)	-40
Viskozite (mPa s, 20°C)	4-9
Buhar basıncı (kPa, 38°C)	48-108
Kinematik Viskozite (mm <sup>2</sup> / s, 40°C)	0.37-0.44

### 3.1.4. Benzin katkıları

Motorlarda kullanılan yakıtlar, motorun içerisindeki yanma odalarında çok kısa sürede yanma reaksiyonuna girerler. Bu sebeple çok kısa sürede gerçekleşen bu tepkimeden olabildiğince yüksek verim alınabilmesi için motor yakıtlarının motorun yapısına uygun olmaları gerekmektedir ve genellikle motor performansını iyileştirici özelliklere de sahip olmaları istenmektedir. Bu durumda motor yakıtları olarak kullanılacak maddelerin bir takım özellikleri kendi içlerinde barındırmaları gerekmektedir.

- Kullanılacak olan yakıt her türlü ortam koşuluna uyum sağlayabilmeli. Örneğin, benzin motorlarında kullanılacak yakıt, her türlü hava koşulunda, karbüratör içerisinde bulunan yakıt kolayca buharlaşıp homojen şekilde hava ile karışabilmelidir.
- Motorun ilk harekete geçişini kolayca sağlayabilmeli ve yüksek vuruş direncine sahip olmalıdır.
- Çevre dostu olmalı ve egzoz emisyonlarının salınımları düşük olmalıdır.
- Kullanılacak yakıtın ısı değeri yüksek olmalıdır.
- Üretimi, depolanması ve taşınması kolay bir şekilde olmalıdır.
- Üretim, depolama ve taşınma maliyetleri de ucuz olmalıdır.

Benzinin oktan sayısı, teknik olarak tanımlandığında benzinin vuruş kalitesini değerlendirmek için kullanılan bir ölçü birimidir. Motorlarda kullanılan yakıtın oktan sayısı, o yakıtın yanma kalitesini ve zor koşullara dayanma yeteneğini (kendi kendine tutuşma direnci) belirten bir ölçüdür. Bu sebeple benzinin oktan sayısını arttırmak için 1979 yılından günümüze kadar geçen sürede oksijenatlar kullanılmaktadır ve kullanılan oksijenatların oranları %2-%8 arasında sınırlı bir orana sahiptir. Oksijenatların kullanımı ile CO emisyonlarının özellikle soğuk havalarda kontrol altında tutulabildiği gözlemlenmiştir ve bu sebepten ötürü kullanımının yaygınlaşması için teşvik edilmiştir. Oksijenli bileşen olarak çoğunlukla benzine kıyasla düşük molekül ağırlıklı alkoller ve eterler tercih edilmektedir. Bunlara örnek olarak alkoller, metanol, etanol, tersiyer bütül alkol (TBA) örnek verilebilir. Eterler içerisinde çoğunlukla tersiyer eterler tercih edilirken, metil tersiyer bütül eter (MTBE), etil tersiyer bütül eter (ETBE), tersiyer amil metil

eter (TAME) ve tersiyer amil eter' de sık kullanılan oksijenli bileşenlerdir. Alkoller de eterler gibi yakıtın içerisinde oksijenli bileşen olarak karıştırılıp kullanılabilirler ancak eterlerin alkollere oranla daha fazla avantajları olduğu gözlemlenmiştir (Karaaslan, 2012; Çakmak ve Özcan, 2018).

- Eterler alkollere kıyasla daha düşük buhar basınçlarına sahiptirler.
- Eterler alkollere göre daha yüksek yanma ısısına sahiptirler.
- Eterler alkollere oranla benzin ile daha homojen karışmaktadır ve benzin ile karışımları sonucunda herhangi bir faz oluşumu oluşmaz.



#### 4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Günümüzde hızlı bir şekilde artan enerji ihtiyacına rağmen, bu enerjinin büyük bir kısmı hala fosil yakıtlar sayesinde elde edilmektedir, ancak artan ihtiyaca rağmen giderek azalan fosil yakıtlar yüzünden alternatif enerji kaynakları arayışı da hız kazanmıştır. Yapılan alternatif enerji arayışı araştırmalarına rağmen, içten yanmalı motorların sıkça kullanıldığı taşımacılık ve ulaşım sektörlerinin ana enerji kaynağı da hala fosil yakıtlar sayesinde karşılanmaktadır. Bu sebeplerden ötürü alternatif bir enerji kaynağı bulunana kadar geçen sürede yakıt katkılarının geliştirilmesi çalışmaları da büyük ilgi görmektedir. 20. Yüzyılın başlarında başlayan yakıt katkısı geliştirme araştırmalarının esas amaçları yakıtın yanma verimliliğini ve motorun çalışmasının iyileştirmesini kapsamaktadır. İlk katkı maddeleri olarak iyot, etil alkol ve kurşun tetra etil kullanılmıştır. İlk kez 1916 yılında Thomas Midgley yakıtın içerisine iyot karıştırarak motorun vuruntusunun azaldığını gözlemlemiştir, ancak iyotun çok pahalı bir madde olması ve motor içerisinde korozyona sebebiyet vermesinden kaynaklı olarak kullanılmasından vazgeçilmiştir. Bunu takip eden yıl içerisinde Midgley ve Kettering, bu sefer benzin içerisine etil alkol karıştırmıştır. Etil alkol karıştırılan yakıtın, benzine oranla daha yüksek sıkıştırma oranlarında kullanılabilceği fark edilmiştir ve bu yakıtın motorun içerisinde daha temiz yandığı tespit edilmiştir. 1921 yılında ise kurşun tetra etilin vuruntu direncini arttırdığı keşfedilmiştir. 1925 yılında ise Kettering'in "Synthol" adını verdiği madde yakıt ile karıştırıldığında hem vuruntu direncinin artmasına hem de yakıt tasarrufu artmasına neden olmuştur. Benzine kıyasla Synthol ve benzin karışımı kullanılan motorda %20-30 oranlarında yakıt tasarrufu elde edildiği gözlemlenmiştir, ancak petrol şirketleri tarafından benzin kullanımı teşvik edilmesi amacı ile katkı maddesi olarak Synthol yerine kurşun tetra etil kullanılması tercih edilmiştir. Yalnız yakıt katkısı olarak kullanılan kurşun tetra etilin, yıllar içinde insan ve çevre sağlığına olan zararları tespit edilmiş olup, en sonunda 1996 yılında kullanımı yasaklanmıştır. Etanol-benzin karışımından oluşan yakıt, motorun torkunda sağladığı artış ve bununla birlikte yanma tepkimesi sonucu Oksijen ile tepkimeye girerek oluşan egzoz

emisyona salınımlarında sağladığı azalma ile kullanılabilirliğini arttırmıştır (Calam, 2011).

Ham petrolün distilasyonundan elde edilen “White Spirit” diye adlandırılan ve organik solvent olan madde de benzin için katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. Aksoy ve arkadaşları, (Aksoy, vd, 2008) tarafından White spirit eklenerek oluşturulan yakıtın motora yaptığı etkiler araştırılmış olup, elde edilen sonuçlar ışığında bu katkı maddesi sayesinde motor torku ve gücünün arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca White spirit katkı maddeli yakıt kullanılan motorda HC emisyonlarında artış gözlemlenirken, CO emisyonlarının da azaldığı tespit edilmiştir (Calam, 2011). Terebetin ise, ilk yakıt katkı maddesi arayışı başladığı zaman kullanılmış olup daha sonrasında petrol kökenli yakıtların bol olması sebebiyle kullanımına ara verilmiştir, ancak günümüzde yakıt katkı maddeleri arayışı hızlandığı için tekrar gündeme gelmiştir. Terebetinin, yapılan araştırmalar sonucunda motorun performansına olumlu etkiler yaptığı gözlemlenmiştir. Yalnız Terebetin kullanılan motorlarda HC ve NOx emisyonlarında artış tespit edilmiş, fakat bu duruma karşılık olarak CO emisyonunun azaldığı görülmüştür (Karaaslan, 2012).

Ayhan ve çalışma arkadaşları, ise buji ile ateşlemeli bir motor kullanarak, terebetin katkılı yakıtın bu motor üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Yaptıkları çalışma ile terebetin kullanılan yakıtın, güç moment ve özgül yakıt tüketimi gibi motor performans parametrelerine olumlu etkiler sağladığını gözlemlemişlerdir (Baydır, 2009). Yaptıkları deneylerde motor performanslarının yanı sıra egzoz emisyon etkilerini de incelemişlerdir ve CO emisyonlarında kurşunsuz benzine kıyasla azalma, HC emisyonlarında ise kurşunsuz benzine oranla artma tespit etmişlerdir (Baydır, 2009).

Çetinkaya ve Çetin, (Çetinkaya, vd, 1999) ise yakıt katkı maddesi olarak metanol kullanmışlardır. Yaptıkları deneylerde metanol-benzin karışımının, buji ile ateşlemeli motorlardaki etkisi araştırılmıştır. Yaptıkları deneysel çalışmada 1,2 litre Anadolu motoru ve kütleli olarak %0, 30, 50, 75, 100 metanol içeren yakıt karışımları kullanmışlardır. Deneyler tam gaz konumu açıklığı ve değişik motor hızlarında (2000, 2500, 3000, 3500, 4000, 4500 d/dk) yapılmıştır. Deneyler sonucunda metanol oranı arttıkça ilk hareket zorluğu ve yüksek devirlerde düzensiz çalışma tespit edilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda, artan metanol oranına bağlı olarak motor torkunda arttığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte

metanolün sahip olduğu alt ısı değerinin benzine oranla daha düşük olmasından kaynaklı olarak, karışımdaki artan metanol oranına bağlı olarak özgül yakıt tüketimi de artmıştır. Ayrıca benzine karıştırılan metanol miktarı arttıkça volümetrik verimde de artış görülmüş maksimum verim %50 karışım oranında ve 3000 d/dk da elde edilmiştir. İlk harekete geçiş kolaylığı ve yüksek devirlerde düzenli çalışma açısından, %50 metanol karışımının en uygun yakıt olduğu bildirilmiştir. (Çalışır, 2008).

1997 yılında Abdel-Rahman tarafından yapılan çalışmada, farklı etanol oranları içeren katkılı benzin karışımlarının, farklı sıkıştırma oranlarında motor performansına olan etkileri araştırılmıştır. Yakıt karışım maddesi olarak etanol kullanmasından kaynaklı olarak, deney süresince herhangi bir faz ayrışımı gözlenmemiştir. Yapılan deneylerde, gaz kelebeği tam açık konuma getirilmiştir ve motor devri ise 2150 d/dk ile sabitlenmiştir ve bu şartlar çerçevesinde farklı sıkıştırma oranlarında indikatör diyagramında oluşan değişimleri incelemişlerdir. Yaptıkları deneyler sonucunda, benzine ilave edilen etanol'ün oktan sayısını arttırdığını tespit etmişlerdir. Ancak etanolün buharlaşma ısı, benzine oranla daha yüksek olmasından dolayı karışımın ısı değeri azalmıştır. Bu durumda da motorun performansının olumsuz etkilendiği anlaşılmıştır.

2000 yılında ise Al-Baghdadi, dört zamanlı olarak çalışan buji ateşlemeli motorun performansını ve egzoz emisyon değerlerini, farklı hacimsel oranlarda ve farklı kütle oranlarında Hidrojen içeren yakıtlar kullanarak incelemiştir. Hidrojen-etanol yakıt karışımı kullanılarak yapılan tüm deneylerde motor performans parametrelerinde benzine oranlar iyileşme olduğunu tespit etmiştir. Egzoz emisyonlarını incelediğinde ise CO ve NO<sub>x</sub> ortalama %30 ve üzerinde değerlerde bir azalma görülmüştür. Ek olarak özgül yakıt tüketiminde de %58.5 azalma, ısı veriminde de %4.72 ile %10.1 arasında artış olduğunu belirtmiştir

Al-Hasan (2003) çalışmasında, kurşunsuz benzine hacimce %2.5-25 oranları arasında etanol ilave ederek etanol katkılı benzinin motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkilerini incelemiştir. 3/4 gaz kelebeği açıklığında ve dört farklı motor devirlerinde (1000, 2000, 3000 ve 4000 d/dk) yapmış olduğu deneyler sonucunda, hacim olarak en yüksek değere sahip etanol-benzin karışımının, motor gücünde yaklaşık olarak %8.3 oranında, bununla beraber ısı veriminde ve hacimsel verimde sırasıyla %9 ve %7 oranında artışlar tespit etmiştir. Ayrıca yakıt

tüketimindeki ortalama %5.7'lik artışa rağmen özgül yakıt tüketiminde %2,4 oranında bir azalma da gözlemlenmiştir. Egzoz emisyonları incelendiğinde ise CO ve HC emisyonlarında kayda değer azalmalar olurken CO<sub>2</sub> emisyonunda ise sadece %7.5 oranında artış görülmüştür. Yapılan çalışmalar sonucunda hem motor performans değerleri hem de egzoz emisyon değerleri bakımından en iyi sonuçların hacimce %20 etanol içeren karışımdan elde edildiğini belirtmiştir (Örs, 2009).

Yakıt karışımları ile ilgili deneysel çalışmalar ile aynı zamanda teorik olarak da bir takım çalışmalar yapılmıştır ve bu çalışmalar matematiksel modellemeye dayalı olarak gerçekleştirilmiştir. Bayraktar, (Bayraktar, 1997) kendi doktora tezi çalışmasında, yakıt katkı maddesi olarak etanol kullanmıştır ve etanol-benzin karışımının yakıt olarak kullanılmasının motorlardaki yanma ve motor çevrimi üzerindeki etkilerini matematiksel olarak detaylı bir şekilde incelemiştir. Yaptığı çalışmalarda termodinamik kanunlarının birinci maddesine bağlı olarak çalışan ve sanki boyutlu çevrim modelini içeren buji ateşlemeli çevrim modeli geliştirmiştir. Bayraktar geliştirdiği bu modeli ayrıca tek silindirli ve dört silindirli benzin motorlarına da adapte etmiştir. Geliştirdiği model ile belirli oranlarda etanol içeren benzin karışımlarının motor performansı üzerine olumlu etkileri olduğunu hesaplamıştır. Efektif güçte en fazla artışı; tek silindirli deney motoru kullanıldığında, 9:1 sıkıştırma oranında ve 1500 d/dk motor hızında %25 etanol içeren karışımda %5.03 olarak, taşıt motorunda ise 9.2:1 sıkıştırma oranında ve 5800 d/dk motor hızında %25 etanol içeren karışımda %11.52 olarak hesaplamıştır. Deney motorunun özgül yakıt tüketiminde en fazla azalma 9 sıkıştırma oranında ve 1500 d/dk motor hızında %8 oranında etanol içeren karışımda %0.912 olarak, taşıt motorunda ise 9.2:1 sıkıştırma oranında ve 5800 d/dk de %25 etanol içeren karışımla %5.52 olarak hesaplamıştır (Çolak, 2008).

Alasfour yaptığı çalışmada hacimsel olarak %30 oranında metanol ve bütanolü benzine karıştırmış ve karışımı değişik eşdeğerlilik oranlarında (0.8–1.3) buji ateşlemeli, yakıt enjeksiyon sistemine sahip, tek silindirli Hydra marka deney motorunda yakarak özgül yakıt tüketimi, egzoz gazı sıcaklığı ve termik verimlerinin deneysel olarak incelemiştir. Çalışmasının sonucunda zengin karışımlarda metanol-benzin karışımının özgül yakıt tüketimi yüksek çıkmıştır. Egzoz gaz sıcaklığı eşdeğerlilik oranı 1.1 civarında maksimum olarak tespit edilmiş ve bu durumda bütanol-benzin karışımının egzoz gazı sıcaklığı daha yüksek çıkmıştır. Ayrıca fren

termik verimi zengin karışım oranlarında azalmış ve bütanol-benzin karışımında daha yüksek çıkmıştır. Ortalama efektif basınç maksimum değerine eşdeğerlilik oranı 1,1 civarında ulaşmış bu durumda bütanol–benzin karışımı daha iyi bir sonuç vermiştir. Volümetrik verim fakir karışımlarda daha yüksek çıkmış ve motorun termik verimi eşdeğerlilik oranı 1.0 civarında bütanol-benzin karışımı kullanıldığında saf benzine göre %4.5 civarında bir azalma göstermiştir (Şenbahçe, 2014).

Brown ve arkadaşları ise buji ateşlemeli motorlara odaklanarak, bu motorlarda oluşan yanma ve alev hızını değerlendirmek için bir çevrim modeli geliştirmişlerdir. Çalışmalarında türbülanslı yanmanın fiziksel modeli, Ricardo E6 motorundan alınan deney bilgilerine karşılık geliştirilmiş ve onaylanmıştır. Çoğu test izo-oktan kullanılarak, değişik hava-yakıt oranlarında ve ateşleme zamanlarında, tam gaz kelebeği konumu açıklığı (GKA) ve kısmi gaz kelebeği açıklıklarında yapılmıştır. Tam GKA yapılan testlerin bazılarında metanol ve tolüen de kullanılmıştır. Metanol ve tolüenele yapılan testler izo-oktana göre önemsiz derecede farklılıklar göstermiştir fakat bu değişimlerinde eşdeğerlilik oranındaki 0.1'lik değişime bağlanabileceği, ayrıca metanol kullanıldığında oldukça yüksek ortalama efektif basınç elde edildiğini ve yanma hızının oldukça yükseldiğini bildirilmiştir (Çınar, 2013).

Günümüzde gelişen motor teknolojisi ve buna bağlı olarak gelişen emisyon kontrol sistemlerine rağmen belirlenen emisyon standardının karşılanması için yakıt bileşiminin değiştirilmesi gerekmektedir (Çakmak ve Özcan, 2018). Benzinin bileşiminde bulunan ve vuruğu direnci yüksek olan aromatik hidrokarbonlar ve olefinler azaltılarak yakıtın uçuculuğunun ve düzensiz emisyonlarının azaltılması sağlanır (Nadim, vd, 2001). Ancak bu yakıtın vuruğu direncinin azalmasına neden olur. Yakıtın oktan sayısını artırtmak, CO, HC ve PM emisyonlarını azaltmak için rafineri işlemi sırasında benzine oksijenli yakıt katkıları eklenir. Oksijenli yakıt katkıları yapılarındaki oksijen sayesinde daha iyi bir yanma gerçekleşmesine yol açarak, tepkime sırasında ortaya çıkan egzoz emisyonlarının azalmasına sebebiyet verir ve bu sayede hava kirliliğinin azaltılması sağlanır (Surisetty vd, 2011; Çakmak ve Özcan, 2018). Bu nedenle çoğu ülkelerde benzine farklı oranlarda oksijenli yakıt katkılarının eklenmesi zorunlu olmuştur. Örneğin; ABD ve Avrupa ülkelerinde piyasaya sürülen benzinin oksijen oranı kütlece %3.7'dir (Union, 2009). Türkiye'de

TÜPRAŞ tarafında üretilen benzinde kütlece %2.7 oranında oksijen bulunur (Çakmak ve Özcan, 2018).

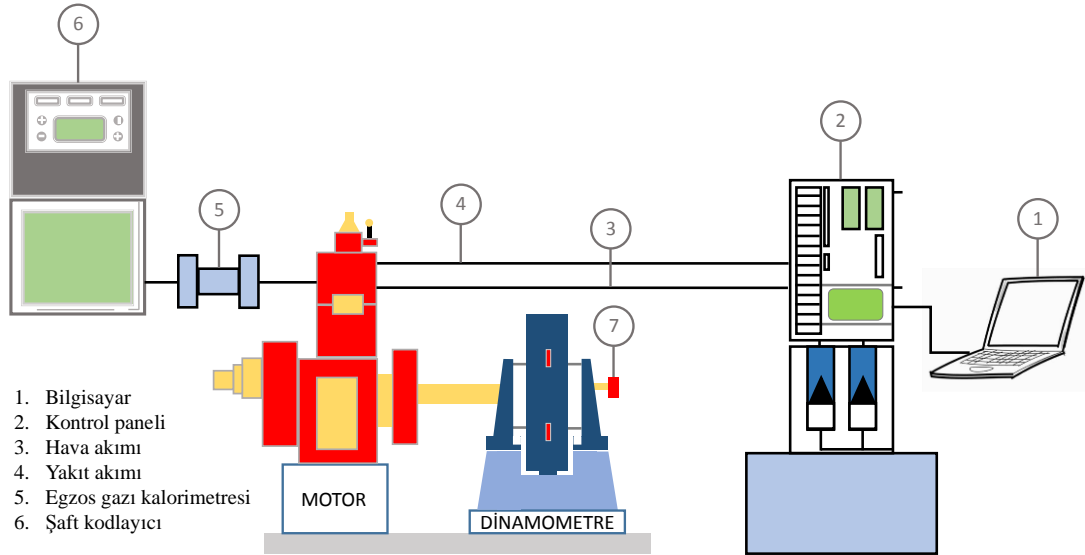
Oksijenli yakıt katkı maddesi olarak kullanılan etil asetat ve metil asetatın benzin ile karıştırılması durumunda Reid buhar basıncını arttırmadan, yakıtın oktan sayısını yükseltmesi diğer katkı maddelerine göre kıyasla etil ve metil asetat bakımından büyük avantaj sağlar (Dabbagh vd, 2013; Olson vd, 2003). Etil asetatın ve metil asetatın oksijenli yakıt katkı maddesi olarak kullanılması hem ekonomik hem de motor performansı açısından bir çok avantaj sağlamasına rağmen, literatür araştırmalarında; bu katkı maddelerinin benzin motorunun performans ve emisyonlarına etkilerini detaylı şekilde inceleyen bir çalışmaya ulaşamamıştır. Bu tez çalışmasında, etil asetat ve metil asetatın yeni bir oksijenli yakıt katkı maddesi olarak benzin motorunun performans ve emisyonlarına etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Tez çalışması sırasında iki farklı oranlarda (%5 ve %10) karıştırılan etil asetat ve metil asetat benzin karışımları kullanılmıştır ve bu karışım oranlarına bağlı olarak performans ve emisyon etkileri detaylı şekilde gözlemlenmiştir.

## 5. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışması kapsamındaki deneyler, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümü, Enerji Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

### 5.1. Motor Performansı ve Egzoz Emisyon Deneylerinde Kullanılan Cihaz ve Ekipmanlar

Bu tez çalışmasında, saf benzin, %5 ve %10 (M5 ve M10) oranında metil asetat içeren benzin-metil asetat karışımları, %5 ve %10 (E5 ve E10) oranında etil asetat içeren benzin-etil asetat karışımları kullanılmıştır. Motor deneyleri, tek silindir, su soğutmalı, dört zamanlı ve buji ateşlemeli motorda gerçekleştirilmiştir. Test motorunun ve ölçüm sisteminin ayrıntılı özellikleri Çizelge 5.1 de listelenmiştir. Deney düzeneğinin şematik çizimi ise Şekil 5.1'de verilmiştir.



Şekil 5.1. Deney düzeneğinin şematik görünüşü

Motor test üzerinde herhangi bir değişiklik yapılmamıştır. Motoru yüklemek için su soğutmalı Eddy akımı dinamometresi kullanılmıştır. Motor performansı ve emisyon deneyleri, 1500 d/dk'da (orta hız) ve dört farklı fren ortalama efektif basınçlarında (104, 207, 311 ve 414 kPa) gerçekleştirilmiştir. Bu test koşullarında,

her bir test yakıtı kullanımını için aynı fren gücünü elde etmek için gaz kelebeği konumu sabitlenmiştir.

Çizelge 5.1. Test motorunun ve ölçme sisteminin detaylı özellikleri

	Özellikler
Tipi	Tek silindirli, su soğutmalı, 4 zamanlı
Boyutları: çap/strok, mm	87.5/110
Sıkıştırma oranı	8:1, sıkıştırma oranı varyasyonu: 6:1-10:1
Silindir hacmi, cm <sup>3</sup>	661
Maksimum fren gücü	4.5 kW @ 1800 d/dk
Ateşleme zamanlaması	10 ° üst ölü noktadan önce, ateşleme varyasyonu: 0-70 ° üst ölü noktadan önce
Dinamometre	Su soğutmalı Eddy akımı
Hız, d/dk	1500 d/dk, hız skalası: 1200-1800 d/dk

Tüm testler, sabit ateşleme avansı (10 ° üst ölü noktadan önce) ve sıkıştırma oranı (8:1) altında gerçekleştirilmiştir. Deneyler sırasında, kararlı durum koşullarına ulaşıldıktan sonra tüm veriler alınmıştır ve her ölçüm noktasında tüm ölçümler en az üç kez tekrarlanmıştır ve sistematik hatayı en aza indirmek için ortalama değerler kullanılmıştır. Karbon monoksit (CO), hidrokarbon (HC), karbon dioksit (CO<sub>2</sub>) ve azot oksitler (NO<sub>x</sub>) gibi gaz emisyonları, bir egzoz gazı analizörü kullanılarak ölçülmüştür. Egzoz gaz analiz cihazının ölçüm aralığı ve doğruluğu Çizelge 5.2’de verilmiştir.

### 5.1.1. Deney motorunun özellikleri

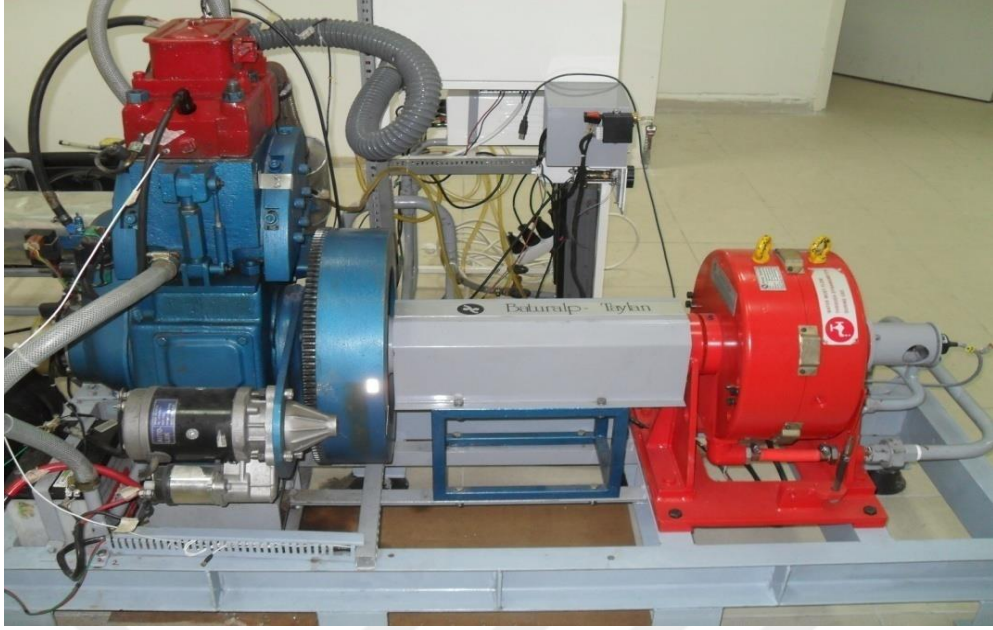
Deneylerde tek silindirli 4 zamanlı Baturalp-Taylan firmasının tarafından üretilen araştırma motoru kullanılmıştır. Bu deney motorunun genel görünüşü Şekil 5.2’de verilmiştir.



Şekil 5.2. Deney test ünitesinin genel görünümü

Motorların performans karakteristikleri olan efektif güç, moment ve özgül yakıt tüketiminin motor devrine bağlı olarak tespit edilebilmesi için motorun yüklenerek çıkış milindeki momentin belirlenmesi gerekmektedir. Yükleme sistemleri genelde dinamometre veya 'fren' adını almakta olup, motorun çıkış miline uygulanan kuvvete de yük adı verilmektedir. Motorun döndürme momentine eşdeğerdeki fren momenti ölçülerek motorun ürettiği iş ve güç bulunabilir (Borat, 1994).

Elektromanyetik dinamometreler ebatlarına göre oldukça yüksek güç ölçüm kapasitesine sahiptirler. Eddy Current dinamometrelerinin araştırma laboratuvarlarında oldukça geniş bir kullanım alanı vardır. Şekil 5.3'te Eddy Current dinamometresinin genel görünüşü verilmiştir. Bu tip dinamometreler, diğer türleri ile karşılaştırıldığında, daha basit ve robotik bir yapıya sahip oldukları görülmektedir (Plint, vd, 1995). Eddy Current dinamometrelerinin yükleme sistemlerinde bulunan stator sargılarının beslenmesi gerekmektedir. Doğru akım üreten bir elektrik şebekesi ya da doğru akım üretici sayesinde bu işlem kolaylıkla yapılabilir. Bu tarz dinamometrelerde dinamometrenin büyüklüğüne ve sistemin ayarlarına göre tamlık, tam yüklemde  $\% \pm 3$  ila  $\% \pm 5$  oranları arasında değişmektedir (Magtrol, 2005).



Şekil 5.3. Deney motoru ve dinamometrenin genel görünümü

Eddy Current dinamometreleri ile hidrolik dinamometrelerin farkları şunlardır; Hidrolik dinamometrelerin düşük devirlerde çalışma alanları Eddy Current'a göre daha azdır. Hidrolik dinamometrelerin kontrol sistemi Eddy Current'a göre daha zordur. İstenilen yükleme koşuluna hemen cevap veremezler. Aynı yükleme koşulu için hidrolik dinamometreler Eddy Current dinamometresine göre daha hantal ve nispeten daha randımsızdır (Superflow, 2005).

#### 5.1.2. Yakıt tüketim ölçüm cihazı

Motor deneylerinde en önemli husulardan biri de yakıt tüketiminin birim zamana göre belirlenmesidir. Şekil 5.4.'de bu tez çalışması sırasında kullanılan yakıt tüketim ölçüm sistemi gösterilmektedir. Şekil 5.4'te de görüldüğü üzere, yakıt tüketim ölçüm sistemi, yakıt deposu, yakıt büreti, akış kontrol vanası ve bağlantı borularından oluşmaktadır. Sistem yakıtla doldurulduğunda akış vanası açık konumdadır ve yakıt ölçüm büreti ile yakıt deposundaki benzinin üst seviyeleri eşittir. Sistemin çalışması, belirlenen miktardaki (bu manometrede 50 ml) yakıtın tüketim süresinin ölçülmesi esasına dayanır.



Şekil 5.4. Yakıt tüketim ölçüm ünitesinin genel görünümü

### 5.1.3. Egzoz gazı ölçüm cihazı

Egzoz gazları, motor içerisinde bulunan yakıtın yüksek basınç altında ateşlenerek yanma tepkimesi sonucunda ortaya çıkan artık gazlardır. Atmosfere salınan bu gazlar genel olarak, azot oksit (NO veya NO<sub>x</sub>), karbonmonoksit (CO), yanmamış hidrokarbon (HC) ve PM10 yada PM2.5 gibi partiküllerden oluşmaktadırlar.

Emisyonlar, egzoz gazlarının analiz edilmesi sonucunda belirlenirler. Bu analiz işlemi için Şekil 5.5' de gösterilen KTEST emisyon cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz hem dizel hem de benzinli motorlarda kullanılabilir. Bu emisyon ölçüm cihazı ile yapılan analiz sayesinde çıkan emisyon değerleri yine Çizelge 5.2'te de gösterildiği gibi ppm ya da hacim yüzdesi olarak ifade edilmiştir.

Çizelge 5.2'te, egzoz gaz analiz cihazının ölçüm aralığı ve hassasiyeti gösterilmektedir. Çizelgede verilen ölçüm aralıkları ppm ya da hacim yüzdesi ile ölçülmektedir.



Şekil 5.5. Egzoz gaz ölçüm cihazı

Çizelge 5.2. Egzoz gazı ölçüm cihazının ölçüm aralığı ve hassasiyeti

Emisyonlar	Ölçüm Aralığı	Hassasiyet
CO	%0-10 hacim.	%0.001
CO <sub>2</sub>	%0-20 hacim	%0.01
HC	0-4000 ppm	1 ppm
O <sub>2</sub>	%0-25 hacim	%0.01
NO <sub>x</sub>	0-5000 ppm	1 ppm

## 5.2. Motor Performans Parametreleri

### 5.2.1. Fren motor gücü (Efektif motor gücü)

Motorlarda yanma sırasında kimyasal enerji mekanik enerjiye dönüştürülür. Ancak bu enerjinin bir kısmı sürtünmeye ve ısı kayıplarına harcanır. Fren motor gücü ise krank mili üzerinden alınan gücü ifade eder ve motorun performansının bir göstergesi olup aşağıdaki formül ile hesaplanabilir:

$$P_f = 2\pi N\tau/60 \quad (5.1)$$

Bu formülde N ile gösterilen motorun hızı (d/k)ve  $\tau$  ise motor milinden elde edilen tork'u (Nm) temsil eder.

### 5.2.2. Fren termal verim (Efektif verim)

Termal verim ise yakıtın yanması sonucunda oluşan ısı enerjisinin faydalı iş haline dönme oranına denir ve aşağıdaki şekilde hesaplanır;

$$\eta = \frac{P_f}{\dot{m}_y Q_{AID}} \quad (5.2)$$

Bu formülde  $\dot{m}_y$  yakıt tüketimini(kg/s) ve  $Q_{AID}$  yakıtın sahip olduğu alt ısı değerini temsil eder. Benzin için alt ısı değer 43000 kJ/kg olarak alınmıştır.

### 5.2.3. Özgül yakıt tüketimi

Özgül yakıt tüketimi, motorun birim güç başına harcadığı yakıt miktarına denir ve aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$\text{öyt} = \frac{\dot{m}_y}{P_f} \quad (5.3)$$

## 5.3. Belirsizlik Analizi

Tüm deneysel çalışmalarda elde edilen tüm veriler, deneysel hata olarak tanımladığımız bir belirsizlik değeri ile ölçülürler. Deneysel çalışmalardaki veriler ile birlikte oluşan bu hatalar ve belirsizlikler ölçüm cihazından, kalibrasyondan, test koşulundan ve prosedürden, gözlemden ve okumadan kaynaklı ortaya çıkabilirler. Ölçülen ve hesaplanan verilerin doğruluğunu ispatlamak için belirsizlik analizi de

yapılmıştır. Çalışma boyunca tüm ölçüm sonuçları üçer defa tekrarlanmış, ölçülen değerlerin ortalamaları alınarak hata miktarları minimuma indirilmeye çalışılmıştır.

$$U_R = \left[ \left( \frac{\partial R}{\partial i_1} u_1 \right)^2 + \left( \frac{\partial R}{\partial i_2} u_2 \right)^2 + \left( \frac{\partial R}{\partial i_3} u_3 \right)^2 + \dots + \left( \frac{\partial R}{\partial i_n} u_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (5.4)$$

Burada  $U_R$  hesaplanan  $R$ ,  $i_1$ ,  $i_2$ ,  $i_3, \dots$ ,  $i_n$  sonuçlarının toplam belirsizliği, bağımsız değişkenlerdir,  $u_1$ ,  $u_2$ ,  $u_3, \dots$ ,  $u_n$  her bağımsız değişkenin belirsizlikleridir. Hesaplanan sonuçların belirsizlikleri ve ölçüm doğruluğu Çizelge 5.3'te verilmiştir.

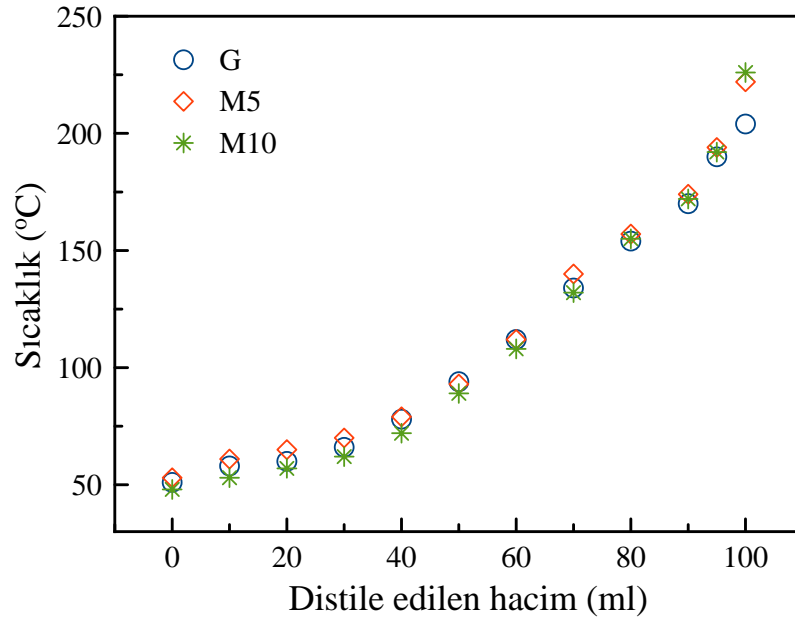
Çizelge 5.3. Ölçüm hassasiyetleri ve hesaplanan sonuçların belirsizlikleri

<b>Ölçümler</b>	<b>Doğruluk</b>
Fren Torku (Nm)	%±1.5
Motor Hızı (d/dk)	%±0.06
$\dot{m}_{air}$ (kg/h)	%±0.2
$\dot{m}_{fuel}$ (cc/min)	%±0.25
$P_{cyl}$ (bar)	%±0.2
<b>Hesaplanmış Parametreler</b>	<b>Belirsizlik</b>
Fren Gücü (kW)	%<±1.5
FÖYT (gr/kWh <sup>-1</sup> )	%<±1.52
Fren Termal Verimliliği	%<±1.6

## 6. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 6.1. Metil Asetat- Benzin Karışımlarının Distilasyon Eğrilerinin İncelenmesi

Bu araştırma çalışması için gerekli olan kurşunsuz benzin ihtiyacı bir yerel istasyondan sağlanmıştır. Yerel bir kimyasal şirket olan TEKKİM'den %99.5 saflıkta metil asetat ve etil asetat temin edilmiştir. İlk olarak kurşunsuz benzine (Gasoline) hacim olarak %5 oranında metil asetat karıştırılarak M5 karışımı elde edilmiştir. Daha sonra yine aynı şekilde kurşunsuz benzine (G) bu sefer %10 oranında metil asetat karıştırılarak M10 karışımı elde edilmiştir. İkinci olarak, M5 ve M10 yakıtlarının alt ısıl değeri ve yoğunluğu, ASTM D 240 ve ASTM D 4052 standartlarını takip ederek, laboratuvarımızda belirlenmiştir. Ölçülen değerler aşağıdaki Çizelge 6.1'de verilmiştir. Karışımların diğer fiziksel ve kimyasal yakıt özellikleri literatür araştırması sayesinde elde edilmiştir. Şekil 6.1'de test yakıtlarının damıtma eğrilerinin bir grafiği de gösterilmektedir.



Şekil 6.1. Benzin M5 ve M10 oranda karışım için damıtma eğrisi

Test yakıtlarının ölçülen yakıt özelliklerinin, EN 228 benzin özelliklerine uygun olduğu görülmüştür. Ayrıca bu çalışmada, test yakıtlarının damıtma eğrileri LAB-KITS Damıtma Test Cihazı (Model: PT-SYD-6536) kullanılarak araştırılmıştır ve Damıtma eğrisi, buji ateşlemeli motorunun motor performansını ve buharlaşma

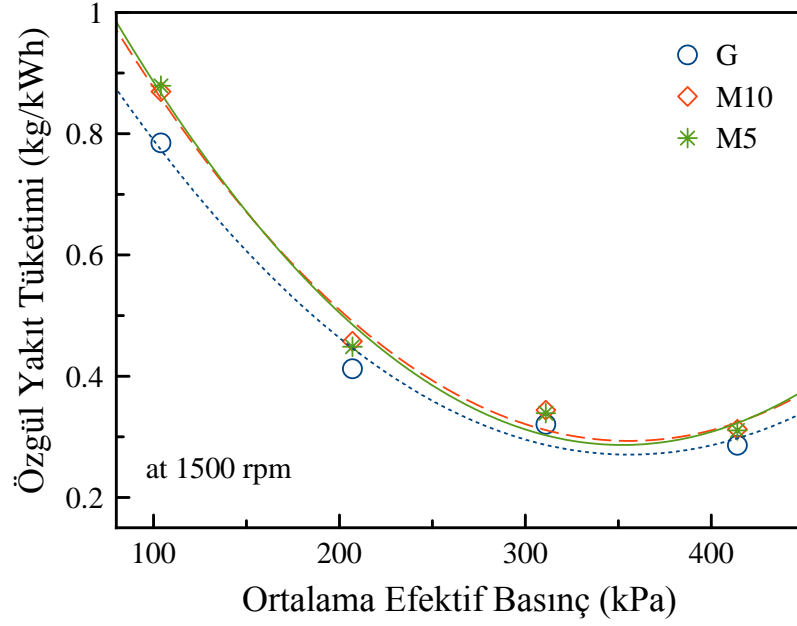
emisyollarını etkileyen önemli bir özelliktir. Benzin, farklı hidrokarbonlar içerir ve her bir hidrokarbon molekülü, farklı sıcaklıklarda buharlaşır. Hafif fraksiyonlar (buharlaşan hacminin %0 ila %40'ı) motorun soğuk çalıştırma performansını iyileştirir ancak tüm çalışma koşullarında yüksek uçuculuk arzu edilmez, çünkü silindirdeki havayı yerini kaplayarak hacimsel verimi azaltır ve yakıt sisteminde buhar kilidine neden olur. Orta kısım (~%40 ila ~%80) motor ısınmasını, aracın hızlanma performansını ve yakıt tasarrufunu etkiler. Yağlama yağı seyreltmesi, karbon birikintileri oluşumu ve uçucu organik bileşikler (VOC) ağır bir fraksiyona bağlıdır (~%80 ila ~%100). Şekil 6.1, benzin, M5 ve M10 için damıtma eğrilerini göstermektedir. Test yakıtının damıtma eğrileri karşılaştırıldığında, aralarında çok az fark olduğu bulunmuştur. Tüm test yakıtlarının damıtma özellikleri EN 228 şartnamesine uygundur. Bununla birlikte, M5'in damıtma sıcaklığı, M10 ve benzinden biraz daha yüksektir. Ek olarak damıtma sıcaklıklarının, benzine harmanlanmış metil asetat hacmiyle orantılı olmadığı da dikkat çekmektedir. Bu, metil asetatın benzinde çözüldüğünü ve yeni kimyasal bağların oluştuğunu gösterebilir. Metil asetatın %10'a kadar olan konsantrasyonları, benzinin sıcaklık-buharlaşma eğrisini önemli ölçüde etkilemez, bu da karıştırma yakıtı olarak metil asetatın kullanılmasını mümkün kılar.

Çizelge 6.1. Benzin-Metil asetat karışımlarının belirlenen yakıt özellikleri

Özellik	Benzin	M5	M10	Metil asetat
Kimyasal Formül	-	-	-	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>
Mol kütlesi, kg/kmol	95-120	-	-	74.08
Yoğunluk, kg/m <sup>3</sup>	720-760	734	745	940
20 °C'de buharlaşma gizli ısı, kJ / kg	307	-	-	410
Stokiyometrik hava / yakıt oranı	14.6	-	-	6.52
Alt ısı değeri, kJ / kg	43000	41615	40270	21500
Araştırma oktan sayısı	95>	-	-	110
Motor oktan sayısı	85>	-	-	-

### 6.1.1. Metil asetatın motor performansı etkisi

Frene özgül yakıt tüketimi önemli bir motor performans parametresidir ve birim saatte tüketilen yakıt miktarına bağlı olarak üretilen efektif gücü verir. Şekil 6.2’de kullanılan 3 farklı çeşit yakıt türlerinin, fren ortalama etkili basıncına göre değişen özgül yakıt tüketimini göstermektedir.



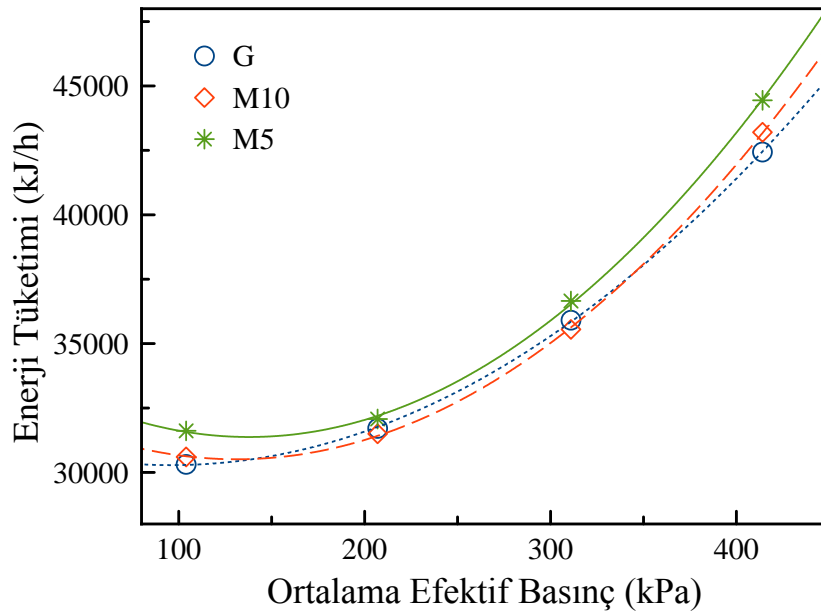
Şekil 6.2. Farklı yüklerde test edilen yakıtlar için özgül yakıt tüketimi

Şekil 6.2’deki ölçümler detaylı olarak incelendiğinde, daha yüksek enerji içerdiğinden dolayı benzinin, bütün değişen yük değerlerinde M5 ve M10’a göre daha az fren özgül yakıt tüketimine sebebiyet verdiği gözlemlenmiştir. M5 ve M10 yakıtları kullanılarak yapılan ölçümlerde ise frene özgül yakıt tüketiminde sırasıyla %9.61 ve %9.68 değerlerinde artışlar gözlemlenmiştir. M5 ve M10 yakıtları, benzin ile kıyaslandıklarında daha düşük oranda enerji değerlerine sahiptirler ve bu sebepten dolayı daha yüksek yoğunluklu benzin ile karşılaştırıldıklarında aynı gücün elde edilebilmesi için benzine oranla daha fazla yakıt tüketilmesi gerekmiştir. Öte yandan bütün yakıt türlerinin, frene özgül yakıt tüketimi grafik eğrileri incelendiğinde, hepsinde aynı tarzda artan yük miktarına göre aynı değişim eğilimi görülmektedir. Gaz kelebeğinin kısmi açılmasından dolayı, daha düşük yükler ve dolayısıyla düşük hacimsel verim, frene özgül yakıt tüketiminde bir artışa neden olur. Ancak yüksek yüklerde, gaz kelebeği valfinin daha fazla açılmasıyla pompa kayıpları azalır ve bu

da motor performansını olumlu etkiler. Ek olarak, harman yakıtlarının gizli buharlaşma ile ilgili olan soğutma etkisi, yüksek yüklerde hacimsel verim üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Bu noktalarda, yüksek hacimsel verimliliğin faydaları daha az yakıt tüketimi ve daha az emisyonudur.

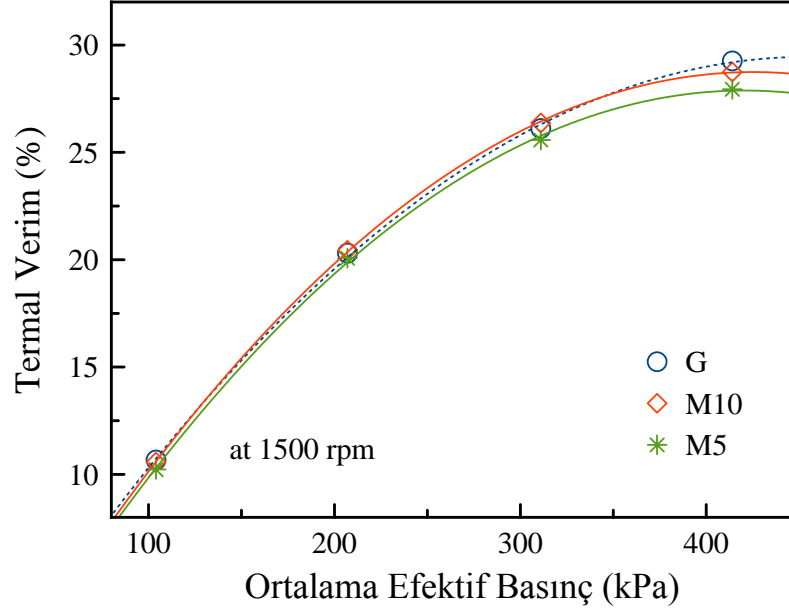
Deney sisteminde kullanılan yakıtlar, farklı yoğunluklara ve ısınma değerlerine sahip oldukları için deney verilerine enerji bazında karşılaştırmak daha net sonuçlar elde edilmesi açısından daha anlamlı olur. Bu duruma bağlı olarak, test yakıtlarının birim saatte motor enerjisi tüketimi üzerindeki etkisi eşit fren gücü için hesaplanmıştır ve bu hesapların sonuçları Şekil 6.3’ te gösterilmiştir.

Şekil 6.3’te gösterildiği gibi M5, hem benzin hem de M10 yakıt türü ile karşılaştırıldığında daha fazla enerji tüketimi göstermiştir. M5 kullanıldığında harcanan enerji miktarı, benzin ve M10 yakıtlarının kullandıkları enerji miktarı ile karşılaştırıldığı zaman sırası ile %4.72 ve %1.8 oranlarında artış gözlemlenmiştir. Enerji tüketimindeki artış, yakıtın yoğunluğuna, enerji içeriğine ve yakıtın yanma performansına bağlıdır. M10’un en düşük enerji içeriğine ve en yüksek yoğunluğuna rağmen, enerji tüketimini M5’e kıyasla daha azdır. Bu durum, M10’un yanmayı arttıran en yüksek oksijen içeriğine sahip olmasına bağlıdır. Bütün bu sonuçlar ışığında, motorun M5’te, M10’dan daha verimli çalıştığı sonucunu çıkarabiliriz. Bu etkiyi Şekil 6.4’te daha açık şekilde görebiliriz.



Şekil 6.3. Farklı yüklerde test edilen yakıtlar için motorun saat başına enerji tüketimi

Şekil 6.4'te, motor hızını sabit tutarak, yükü arttırarak fren gücü arttırılmıştır. Fren gücünü arttırmak için silindirin içine daha fazla dolgu akışı oldu ve bu da doğal olarak enerji tüketiminde artışa sebebiyet vermiştir. Motorun her bir yakıt için çeşitli yüklerdeki fren ısı verimliliği Şekil 6.4'de karşılaştırılmıştır.



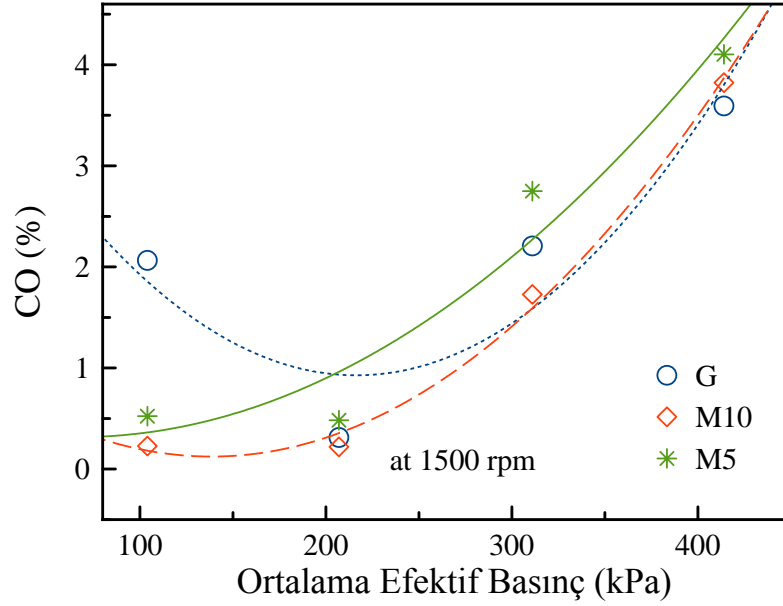
Şekil 6.4. Farklı yüklerde test edilen yakıtlar için motorun fren termal verimliliği

Grafiğin değişim eğrileri incelendiği zaman, ne tür bir yakıtın kullanıldığına bakılmaksızın fren termal verimliliğindeki değişikliklerin benzer davranışlar gösterdiği görülmüştür, ancak kullanılan yakıtlardan elde edilen rakamsal değerler incelendiğinde büyük ölçüde farklar olduğunu görülür. Yine Şekil 6.4'e referansla, metil asetat ilavesinin, benzinle karşılaştırıldığında metil asetatın daha düşük ısıtma değerinden ötürü tüm yük aralığı boyunca bu etkinin termal verimde bir azalmaya yol açtığı fark edilebilir. Motorun, M5 ve M10 ile motorun ısı verimindeki ortalama düşüşün, benzinle kıyaslandığında sırasıyla %2.92 ve %0.26 olduğu hesaplanmıştır. Yukarıda belirtildiği gibi, bunun nedenleri, harmanlanmış yakıtların daha düşük enerji içeriğidir. Ancak, M5 kullanımıyla fren termal verimliliğindeki azalmanın M10'dan daha yüksek olması ilginçtir. Bu sonucun ana sebebi, yakıtın oksijen içeriği olabilir. Yakıttaki kütleli oksijen içeriği yanma verimliliğini etkileyen önemli bir faktördür. M10'daki daha yüksek oksijen içeriği, yanmanın tamamlanmasını artırır ve bu da daha yüksek fren termal verimliliği sağlar. Ayrıca, fren termal verimliliğinde

önemli bir azalma olmadan daha fazla yenilenebilir yakıt kullanılacağından M10'un M5'e üstün olduğu sonucuna varılabilir.

### **6.1.2. Metil asetatın egzoz emisyonlarına etkisi**

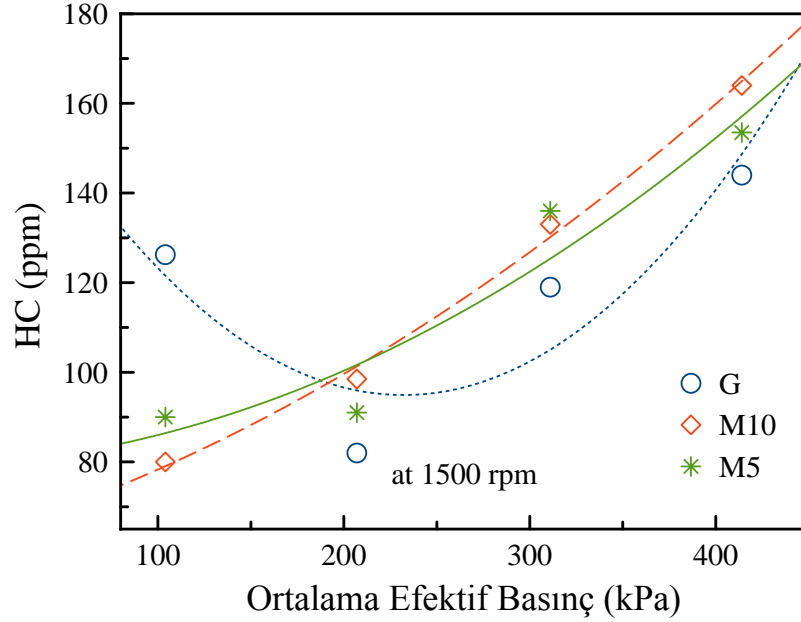
Karbonmonoksit (CO) emisyonu, motor içerisinde yakıtın eksik yanma tepkimesi sonucunda oluşur. Yetersiz yanma, kötü hava-yakıt karışımı, yerel zengin karışım, düşük yanma sıcaklığı ve yüksek karbon-hidrojen oranından kaynaklı olarak karbonmonoksit oluşur ve genel olarak istenmeyen bir emisyondur. Karbon monoksit oluşumu motor içerisindeki kimyasal tepkimenin enerji kaybını temsil eder. Şekil 6.5'de, bu tez çalışması için hazırlanan test yakıtları için CO emisyon ölçüm değerlerini farklı yüklerdeki değişim grafiği gösterilmiştir. Şekil 6.5'teki grafiğe göre uygulanan yük miktarı arttıkça, kullanılan yakıt türünden bağımsız olarak CO emisyonlarının arttığı gözlemlenmiştir. CO'nun CO<sub>2</sub>'ye göre daha fazla oksidasyonunu sağlayan yakıtın oksijen içeriğine bağlı olarak M5 ve M10 için özellikle düşük yüklerde (104 ve 207 kPa) CO emisyonlarında azalma gözlemlenmiştir. M5 ve M10 için ortalama CO emisyonu seviyesi, kullanılan benzine göre %3.91 ve %26.66 oranlarında daha düşüktür. Bununla birlikte, motor yüksek yüklerde M5 ile çalıştırıldığında, benzin ve M10 ile karşılaştırıldığında CO emisyonlarının arttığı gözlemlenmiştir. M5 yakıtı kullanılan motorda yüksek yüklerdeki testlerin sonucunda CO emisyonlarındaki artış, benzin kullanımına kıyasla M5 ve M10 çalışması için aynı fren gücünü elde etmek için silindire daha fazla yakıtın gönderilmesi ile açıklanabilir. M10'daki yüksek oksijen içeriğinden dolayı yanma artar ve bu nedenle CO emisyonlarında özellikle en düşük yükte %90 oranlarında azalmaya neden olur. Bu M10 yakıtının, M5 ve benzinden daha iyi yanma kabiliyetine sahip olduğunu gösterir.



Şekil 6.5. 1500 d/dk ve farklı yüklerde test edilen yakıtlar için CO emisyonu

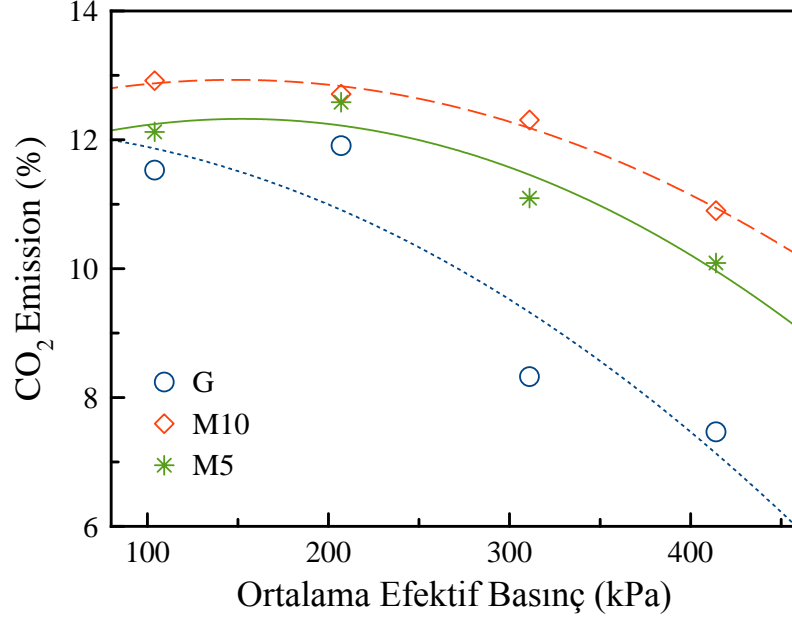
İçten yanmalı motorlarda yanma sonucunda karbonmonoksitin yanı sıra HC emisyonları da oluşur. HC emisyonlarının oluşumu temel olarak hava-yakıt oranına, yakıt tipine, yanma odası geometrisine ve motor çalışma parametrelerine bağlıdır. Şekil 6.6'da farklı yük oranlarına bağlı olarak benzin, M5 ve M10 yakıtları kullanıldığında oluşan HC emisyonlarının grafiği gösterilmiştir. Düşük yük kullanıldığı zaman, M5 ve M10 yakıtları, benzine kıyasla HC emisyonları bakımından çok büyük avantajlara sahip olduğu görülmüştür. Minimum yükte, M5 ve M10, benzine oranla yaklaşık olarak sırası ile %36.8 ve %46.9 oranlarında daha az HC emisyonu ürettiği görülmüştür. Bu durum ancak harmanlanmış yakıtların içerdiği oksijen miktarı ile açıklanabilir. Ancak yük miktarı arttıkça, M5 ve M10 yakıtlarının HC emisyon eğrileri lineer bir artış göstererek, benzin kullanılarak elde edilen HC emisyon değerlerini yakalamış hatta geçmişlerdir. Bu, yüksek yüklerde harmanlanmış yakıtlarla önemli oksidasyonun meydana gelmediğine dair kanıt olarak görülebilir. Yanma odasında yakıtın oksidasyon oranı da yakıt-hava oranına ve yanma odası sıcaklığına bağlıdır. M5 ve M10 için maksimum yükte yakıt debisi, sırasıyla, benzine göre %6.58 ve %7.15 daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Uygulanan yük miktarı arttıkça, benzin ile elde edilen güç miktarını yakalayabilmek için daha düşük enerji içeriğine sahip olan M5 ve M10 yakıtlarına daha fazla miktarda ihtiyaç duyulmuştur ve yüksek yakıt tüketimi M5 ve M10 için HC emisyonlarının artmasına sebebiyet vermiş olabilir. Ek olarak, M5 ve M10 için daha

düşük enerji içeriği ve daha yüksek buharlaşma ısısı nedeniyle silindir sıcaklığında azalma, yüksek HC emisyonlarının bir başka nedeni olabilir. Ancak, ortalama HC emisyonları karşılaştırıldığında, test yakıtları arasında önemli farklılıklar yoktur.



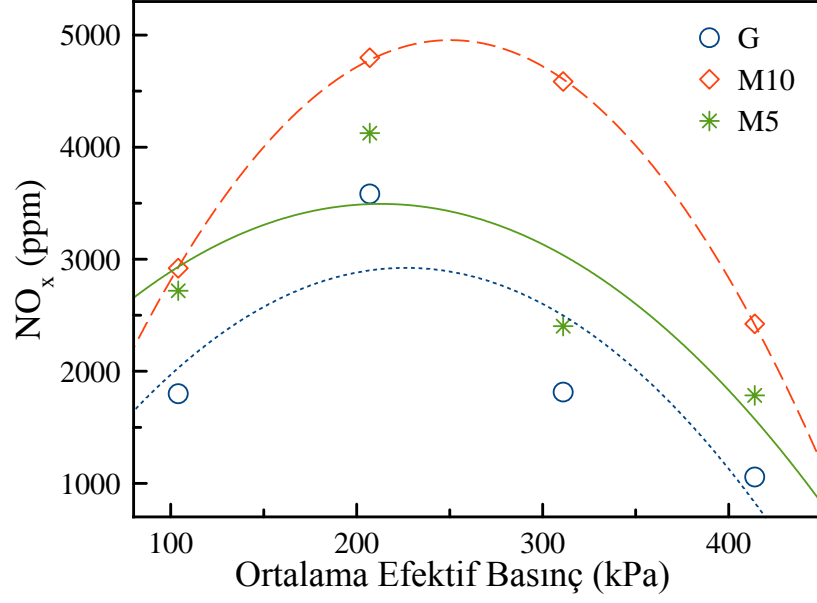
Şekil 6.6. 1500 d/dk ve farklı yüklerde test edilen yakıtlar için HC emisyonu

Karbondiyoksit, hidrokarbon yakıtların tamam yanmasıyla üretildiğinden, CO<sub>2</sub> enerji dönüşümü açısından arzu edilen bir yanma ürünüdür. CO<sub>2</sub>, bir motor kirletici emisyonu olarak sınıflandırılmamış olsa da, Dünya'nın ısısında değişikliklere yol açan temel sera gazı emisyonlarından biridir. Aslında, içten yanmalı motorlardaki CO<sub>2</sub> emisyonları, yakıttaki karbon-hidrojen oranına ve yanma sıcaklığına büyük ölçüde bağlıdır. Şekil 6.7'de, test yakıtlarının CO<sub>2</sub> emisyonları üzerindeki etkisini göstermektedir. Bu şekilde görüldüğü üzere M5 ve M10 tüm yük aralığında benzinden daha fazla CO<sub>2</sub> emisyonu üretir. CO<sub>2</sub> emisyonlarının M5 ve M10 kullanımı ile sırasıyla %14.87 ve %9.89 arttığı belirlenmiştir. Yakıttaki oksijen içeriği yanma veriminin artmasına dolayısıyla CO<sub>2</sub> emisyon seviyesinin yükselmesine neden olmuş olabilir.



Şekil 6.7. 1500 d/dk ve yüklerde test edilen yakıtlar için CO<sub>2</sub> emisyonu

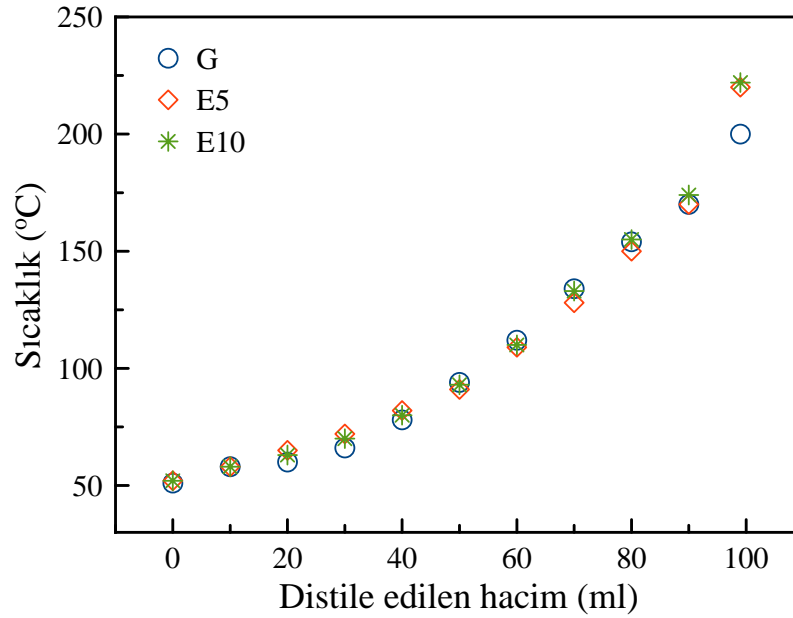
NO<sub>x</sub> emisyonlarını etkileyen en önemli faktörler yanma odasında yakıt-hava oranı, yanma sıcaklığı ve oksijen konsantrasyonudur . Her ne kadar yanma sıcaklığı zengin karışım oranında ( $\phi = 1.1$ ) meydana gelse de NO<sub>x</sub> emisyonları yanma sıcaklığının yüksek olduğu ve oksijen konsantrasyonunun yüksek olduğu hafif fakir karışım durumunda ( $\phi = 0.9$ ) zirve yapar. Böylece, oksijen konsantrasyonunun, silindir sıcaklığından ziyade NO<sub>x</sub> oluşumu üzerinde daha baskın olduğu sonucuna varılabilir. Şekil 6.8'de, M5 ve M10 yakıtlarının kullanıldığı motor tarafından yayılan NO<sub>x</sub> emisyonlarının, tüm yüklerde benzinden önemli ölçüde daha yüksek olduğu görülmektedir. M5 ve M10 kullanımı ile yanma odasının içinde daha yüksek oksijen konsantrasyonu yüksek NO<sub>x</sub> emisyonlarının nedenleridir. Maksimum NO<sub>x</sub> emisyonu, 207 kPa'lık bir yükte M10 yakıtı kullanıldığı zaman 4798 ppm olarak ölçüldü. Aynı yükte M5 ve benzinli NO<sub>x</sub> emisyonları sırasıyla 4125 ppm ve 3583 ppm'dir. Tüm yük aralığı dikkate alınarak, M10 ve M5'in NO<sub>x</sub> emisyonları, benzinden %78.4 ve %34.85 oranında yüksektir. Bunun daha iyi bir yanma belirtisi olarak görülebilmesine rağmen, M5 ve M10'dan gelen yüksek NO<sub>x</sub> emisyonları oksijenli yakıt olarak metil asetatın faydalarını azaltmaktadır.



Şekil 6.8. 1500 d/dk ve yüklerde test edilen yakıtlar için NOx emisyonu

## 6.2. Etil Asetat- Benzin Karışımlarının Distilasyon Eğrilerinin İncelenmesi

Benzin, E5 ve E10 yakıtlarının distilasyon eğrileri Şekil 6.9'da verilmiştir. Tüm test yakıtlarının distilasyon sıcaklıkları EN 228 standardına uygun olduğu belirlenmiştir.



Şekil 6.9. Benzin E5 ve E10 oranda karışım için damıtma eğrisi

Bu tez çalışmasında, etil asetat hacimsel olarak %5 ve %10 oranında kurşunsuz benzine ilave edilerek E5 ve E10 yakıt karışımları hazırlanmıştır. Motor deneylerinde, E5, E10 ve referans yakıt olarak kurşunsuz benzin (G) kullanılmıştır. E5 ve E10 test yakıtlarının alt ısı değeri ASTM D 240 standartlarına göre OMÜ Kimya Mühendisliği Laboratuvarında, yoğunlukları ise ASTM D 4052 standartlarına göre OMÜ Makine Mühendisliği Laboratuvarında ölçülmüştür. Çizelge 6.2'de kurşunsuz benzinin etil asetat karışımlarının belirlenen yakıt özellikleri verilmiştir.

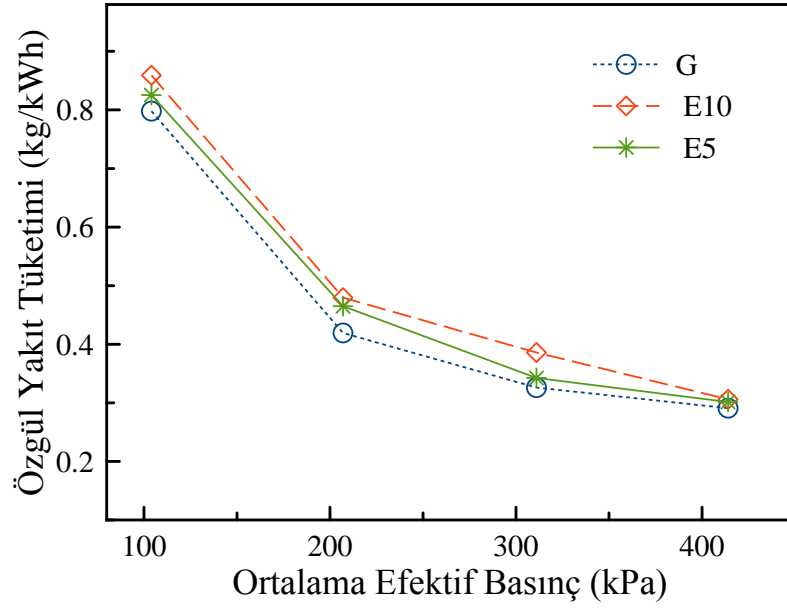
Çizelge 6.2. Kurşunsuz benzinin etil asetat karışımlarının belirlenen yakıt özellikleri

Özellik	Benzin	Etil Asetat	E5	E10
Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> ) @ 20 °C	723	906	732	741
Atl Isıl Değer (kJ/kg)	43000	23790	41911	40848

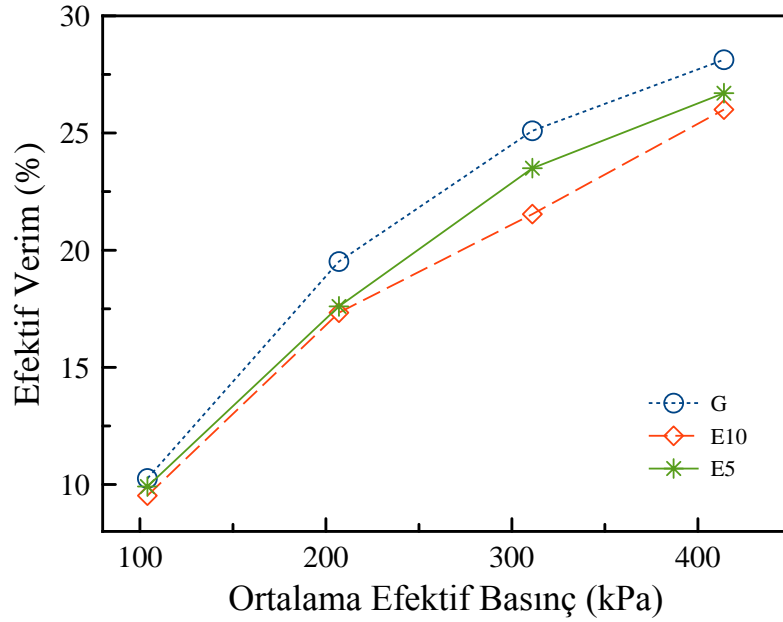
### 6.2.1. Etil asetatın motor performansı etkisi

Hacimsel olarak 2 farklı oranlarda benzin ile karıştırılarak elde edilen etil asetat-benzin karışımları, sabit 1500 d/dk sabit hızdaki motor kullanılarak, özgül yakıt tüketimlerinin değişen ortalama efektif basınca göre değişim grafiği Şekil 6.10'da verilmiştir. Test motorunda yakıt olarak kullanılan, etil asetat karıştırılarak oluşturulan yakıt karışımları ve benzinin, motor yükü arttırıldığında aynı davranış eğilimi gösterdiği gözlemlenmiştir. Yapılan ölçümler sonucunda, artan motor yükü karşısından kullanılan bütün yakıtlar için özgül yakıt tüketiminin azaldığı tespit edilmiştir. Motor yükünün artması durumunda, daha az miktardaki motor yükü durumunda elde edilen güce ulaşmak için silindire gönderilen dolgu miktarının da artması gerekmektedir. Ancak yüksek yüklerde özellikle kısılma kayıplarının azalması ile motor gücünün yakıt tüketimine oranla daha hızlı artması tüm yakıtların özgül yakıt tüketimini düşürmüştür. E5 ve E10 yakıt karışımları benzine oranla düşük ısı değeriyle sahip olmalarından dolayı tüm yüklerde benzine göre daha yüksek özgül yakıt tüketimine sahiptirler. Tüm yüklerin ortalaması alındığında E5 ve E10 kullanımında benzine göre özgül yakıt tüketimi sırasıyla %5.45 ve %10.72

oranında artmıştır. Özgül yakıt tüketiminin artmasında E5 ve E10 yakıtlarının yüksek yoğunlukları da etkili olmuştur.



Şekil 6.10. Test yakıtlarının ortalama efektif basınca (kPa) bağlı olarak özgül yakıt tüketiminin değişimi



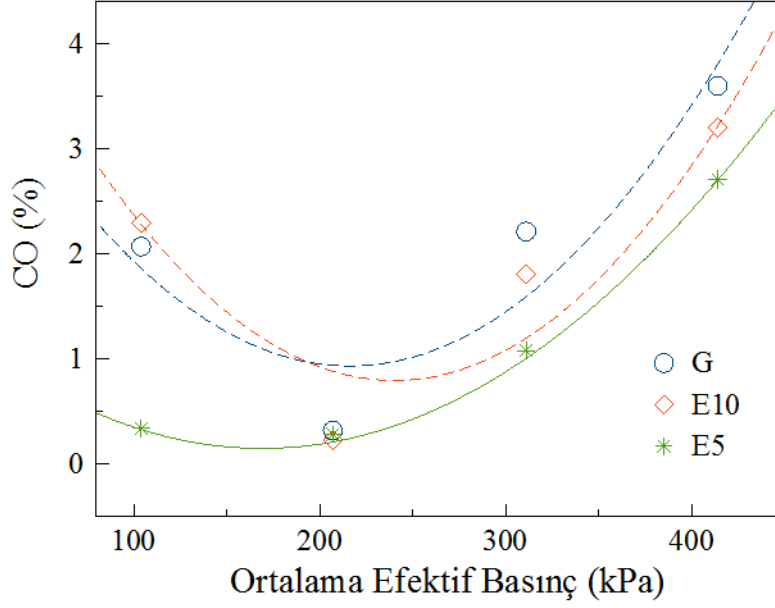
Şekil 6.11. Test yakıtlarının motorun efektif verimine etkisi

Katkı maddesi karıştırılmış yakıtların sabit motor hızında tükettikleri özgül yakıt tüketimi belirlendikten sonra yine aynı şekilde 1500 d/dk'da sabitlenen motor

hızında bu sefer kullanılan yakıtların efektif verimleri belirlenmiştir. Bu noktada efektif verim diye tanımladığımız parametre, motorun çalışması için kullanılan yakıt enerjisinin yararlı işe dönüştürülme oranını gösterir. Şekil 6.11 değişen motor yüküne bağlı olarak elde edilen efektif verimleri göstermektedir. Şekil 6.11'den de anlaşıldığı üzere yakıtın içindeki katkı maddesi oranından kısmen bağımsız olarak, motorun yükü arttıkça motorun efektif gücü artacağından dolayı, tüm yakıtlar için elde edilen efektif verim de artmıştır. Benzin, E5 ve E10 yakıtları için maksimum efektif verim 414 kPa ortalama efektif basıncında sırasıyla %28.13, %26.7 ve %26 olarak belirlenmiştir. Eter ve alkol gibi oksijenli yakıtların yüksek alev hızlarına rağmen (Jia, 2005), yüksek gizli buharlaşma ısıları ve düşük ısı değerlerinden dolayı alevin gelişimi ve ilerlemesi yavaşlayabilir (Solmaz, 2015). Alevin yavaş ilerlemesi ısı transferini artırarak efektif verimin düşmesine neden olur (Solmaz, 2015). Ayrıca basit moleküllü oksijenli yakıtlar sabit kaynama noktasına sahiptir ve oksijen içeriği sayesinde daha fazla yakıtın yanmaya katılarak yanmanın normalden daha uzun sürmesine neden olmaktadır (Eyidogan, 2010). Benzine etil asetat eklenmesi durumunda efektif verimin düşmesinin nedeni yanmanın (ısı yayılımının) genişleme strokuna doğru uzaması olduğu düşünülmektedir. Bu durum egzoz gazları sıcaklığını ve dolayısıyla egzoz gazları ile atılan ısının artmasına neden olmuştur. Benzin, E5 ve E10 kullanımında maksimum yükte egzoz gazları sıcaklığı sırasıyla 372 °C, 378 °C ve 384 °C olarak ölçülmüştür. Dolayısı ile benzin-etil asetat karışımlarının egzoz gazları ile atılan ısının artmasına ve bu nedenle efektif verimin düşmesine neden olduğu düşünülmektedir. Fakat, E5 ve E10 kullanımında yüksek sıkıştırma oranı ve aynı zamanda bu yakıtlar için optimum ateşleme avansı seçilerek motorun efektif veriminin artırılması mümkündür.

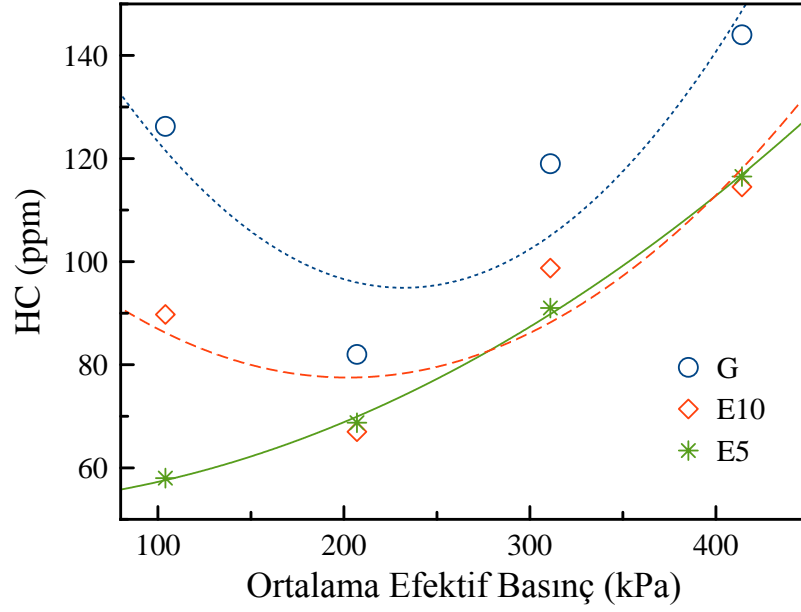
### **6.2.2. Etil Asetatın egzoz emisyonlarına etkisi**

Kısmi yanma ürünü olan CO, yakıtın kullanılmayan kimyasal enerjisidir. İçten yanmalı motorlarda CO oluşumu büyük oranda hava/yakıt oranına ve motorun çalışma şartlarına bağlıdır (Canakci, 2013; Calam, 2015). Şekil 6.12'de kullanılan test yakıtları için CO emisyonlarının değişimi verilmiştir.



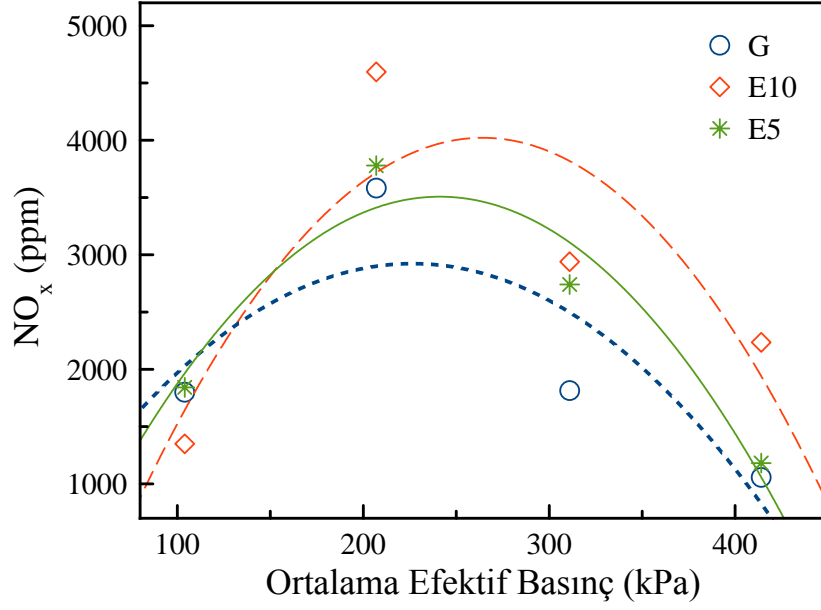
Şekil 6.12. Test yakıtları için CO emisyonlarının değişimi

Şekil 6.12 daha detaylı olarak incelendiğinde, E5 ve E10 yakıtlarının içeriğindeki etil asetatın kaynaklı olarak bulunan oksijen içeriği, yakıtın yanma verimini artırır. Bu sebeple de artan verime bağlı olarak benzine kıyasla bu yakıtların kullanıldığı testlerde CO egzoz emisyon salınımı daha düşük olduğu görülmüştür. CO egzoz emisyon değerleri karşılaştırıldığı zaman, E5 ve E10 yakıtlarının benzine kıyasla sırasıyla %46 ve %8 oranlarında azalma meydana gelmiştir. Bu noktada ilgi çekici olan kısım, E10 yakıtının, E5 yakıtına kıyasla daha fazla oksijen içeriğine sahip olmasına rağmen CO salınımı, E5 yakıtı kullanılarak elde edilen CO salınımına kıyasla çok daha fazla olmasıdır. CO emisyonu oluşumu aynı zamanda silindir içindeki gazların sıcaklığına bağlıdır. Silindir içi sıcaklık arttıkça yakıtın oksidasyonu hızlanarak karbon monoksit in karbondioksit e dönüşümü artar. Etil asetatın yüksek buharlaşma ısısı ve düşük ısıl değerinden dolayı silindir içi sıcaklığının düştüğü ve bu nedenle E10 kullanımında daha fazla CO emisyonunun oluştuğu düşünülmektedir. Yüksek yüklerde silindire alınan karışımın zengin olması CO emisyonlarının artmasına neden olmuştur.



Şekil 6.13. Test yakıtları için HC emisyonlarının değişimi

Yakıt katkı maddesi olarak etil asetat kullanılarak oluşturulan yakıtların, HC emisyonlarına etkisi de bu tez çalışması sırasında incelenmiştir. Şekil 6.13'te test yakıtlarının HC emisyonlarına etkisi görülmektedir. Motorlarda farklı HC emisyonu kaynağı olmasına karşın egzoz gazları içindeki HC emisyonları büyük oranda heterojen hava-yakıt karışımı nedeni ile gerçekleşen eksik yanma sonucu oluşur (Çanakçı, 2013). Etil asetatın kütlece %36'lık kısmı oksijenden oluşmaktadır. Moleküler yapıdaki bu oksijen içeriği, yakıtın oksitlenmesinde havadaki oksijene göre daha etkilidir (Alptekin, 2017; Jia, 2005). Bu nedenle E5 ve E10 yakıtlarının kullanımı ile benzine göre HC emisyonunda ortalama olarak %29 ve %22 oranında azalma meydana gelmiştir. Bu durum oksijenli yakıtların egzoz emisyonları üzerindeki en önemli etkilerinden biridir.



Şekil 6.14. Test yakıtları için NO<sub>x</sub> emisyonlarının değişimi

NO<sub>x</sub> oluşumu daha çok silindir içindeki oksijen konsantrasyonu, yanma sıcaklığı ve yanma süresine bağlıdır (Ferguson, 2015). İçten yanmalı motorlarda maksimum yanma sıcaklığı stokiometrik karışımında ( $\lambda=1$ ) gerçekleşmesine rağmen maksimum NO<sub>x</sub> emisyonu karışımın hafif fakir olduğu durumda ( $\lambda=1,1$ ) meydana gelmektedir (Pulkrabek, 2013). Buradan NO<sub>x</sub> emisyonu oluşumunda sıcaklıktan daha çok oksijen konsantrasyonunun etkili olduğu sonucuna varılabilir. Oksijenli yakıtların kullanılması durumunda silindir içinde oksijen konsantrasyonunun artması daha fazla NO<sub>x</sub> emisyonu oluşumuna neden olabilir (Alptekin, 2017). E5 ve E10 kullanımında benzine göre NO<sub>x</sub> emisyonlarında ortalama olarak sırasıyla %16 ve %35 oranında artış meydana gelmiştir. Tüm yakıtlar için maksimum NO<sub>x</sub> emisyonu 207-311 kPa efektif basınç aralığında gerçekleşmiştir. Bu efektif basınç aralığında CO ve HC emisyonlarının azalması iyi bir yanma gerçekleştiğinin bir işaretidir. Bu ortalama efektif basınç aralığında yanma sıcaklığının artması NO<sub>x</sub> oluşumunu hızlandırmıştır.

## 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında oksijenli yakıt katkısı olarak metil asetat ve etil asetatın buji ateşlemeli motor performans ve egzoz emisyonlarına etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Metil asetat ve etil asetat kurşunsuz benzine hacimsel olarak %5 ve %10 oranında karıştırılmıştır. Bu karışım yakıtlarının yoğunluk, ısıl değer ve distilasyon eğrileri de belirlenmiştir. Tüm bulgular değerlendirildiğinde elde edilen sonuçlar aşağıdaki ifade edilmiştir.

- Kurşunsuz benzine metil asetat ve etil asetat ilavesi ile karışım yakıtlarının yoğunluğu artmış, ısıl değeri ise azalmıştır.
- Karışım yakıtlarının distilasyon eğrileri benzin distilasyon eğrisi ile benzer karakteristikte olduğu görülmüştür.
- Elde edilen veriler sayesinde, test yakıtları için damıtma özelliklerinin aynı olduğu ancak M5'in damıtma sıcaklığı, M10 ve kurşunsuz benzine oranla biraz daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.
- M5 ve M10 kullanıldığı zaman motor, benzin kullanılan durumdaki aynı etkili gücü elde etmek için daha fazla yakıt kullanmıştır.
- M5 ve M10 fren özgül yakıt tüketimi arttığında da yakıt ısıl verimliliği, benzin değerinden daha düşük ısınma değerine bağlı olarak azalmıştır.
- Fren termal verimliliği ile ilgili olarak, M10 kullanılan durumda M5'e oranla daha yüksek değerler elde edilir ki bu da metil asetatın bu anlamda %10'a varan oranda benzin ikamesi olarak önemli bir avantajı olduğu anlamına gelir.
- Tüm yük aralığında metil asetat-benzin karışımları, benzinden daha fazla CO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonu ürettiği gözlemlenmiştir.
- Ayrıca, tüm çalışma koşullarında karışımdaki yüksek orandaki metil asetatın, en yüksek oksijen içeriğine bağlı olarak daha büyük CO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonlarının olduğu da gözlemlenmiştir.

Genel bir değerlendirme yapıldığında, elde edilen veriler sayesinde metil asetatın motor performansı ve egzoz emisyonları bakımından alkoller ve eterler üzerinde üstün görünmediği söylenebilir. Bu çalışma, sınırlı deneysel verilere

dayanmaktadır bu nedenle elde edilen sonuçlar sınırlıdır. Gelecekteki çalışmalar için, sıkıştırma oranı, karıştırma oranı ve kıvılcım zamanlaması motor performansını arttırmak ve egzoz emisyonları bakımından optimizasyon çalışmalar yapılabilir.

Bu tezin ana çalışma konusu olarak, yeni bir oksijenli yakıt katkısı olarak etil asetatın benzin motorunun performans ve emisyonlarına etkisi ele alınmıştır. Tez konusuna bağlı olarak farklı oranlarda elde edilmiş iki farklı etil-asetat-benzin karışımı ve buna bağlı olarak kontrollü deney olanağı sağlamak amacı ile kurşunsuz benzin kullanılmıştır.

- Benzin ile etil-asetat karışımı ile yapılan deneylerde, motorun özgül yakıtın tüketimin miktarında artış ve buna bağlı olarak da efektif veriminde de azalma gözlemlenmiştir.
- Deneylerde kullanılan E5 ve E10 yakıtlarının içinde bulunan oksijen miktarına bağlı olarak CO ve HC emisyonlarında büyük oranda bir azalma tespit edilmiştir.
- Aynı zamanda NO<sub>x</sub> oranında ise 35%' e varan bir artış olduğu da gözlemlenmiştir.
- Elde edilen deney sonuçları ışığında, etil-asetatın yüksek vuruntu direncine sahip olması ve oksijen içeriği sayesinde oksijenli yakıt katkılarında alternatif bir seçenek olabileceği sonucuna varabiliriz.

Bu yapılan tez çalışmasında etil-asetatın oksijenli yakıt katkılarında alternatif bir seçenek olabileceğini temel olarak göstermiş bulunmaktayız. Ancak devamında, etil-asetat-benzin karışımının genel olarak taşıtlarda kullanımına başlanmasından önce yakıt özelliklerinin ayrıntılı bir şekilde belirlenmesi, motor performansı ve emisyonu üzerindeki etkisinin iyice anlaşılabilmesi için detaylı şekilde incelenmesi ve en önemli insan ve çevre sağlığı açısından etkilerinin iyice araştırılması lazımdır

## KAYNAKLAR

- Ajav, E. A., Singh B. and Bhattacharya T. K. 1998. Performance of a stationary diesel engine using vaporized ethanol as supplementary fuel. *Biomass and Bioenergy*, 15(6), pp. 493-502.
- Amine, M., Awad E. N., Ibrahim V. and Barakat Y. 2018. Effect of ethyl acetate addition on phase stability, octane number and volatility criteria of ethanol-gasoline blends. *Egyptian Journal of Petroleum*, 27(4), 567-572.
- Anonim, 2014. Merck Etil Asetat. [www.molarkimya.com/metil-asetat-99f](http://www.molarkimya.com/metil-asetat-99f). (Erişim tarihi:01.02.2018).
- Awad, O. I., Mamat R., Noor M. M., Ibrahim T. K. and Yusri I. M. 2018. The impacts of compression ratio on the performance and emissions of ice powered by oxygenated fuels : A review. *J. Energy Inst.*, 91(1), pp. 19–32.
- Baydır, Ş. A., Aksoy F., Bayrakçeken H. ve Özgören Y. Ö. 2009. Farklı Yük Koşullarında Buji İle Ateşlemeli Motora Terebentin İlavesinin Motor Performans ve Emisyonlarına Etkisi. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (İats'09), Karabük, Türkiye.
- Borat, O., Balcı M. ve Sürmen A. 1992. *İçten yanmalı motorlar*. Teknik Eğitim Vakfı Yayınları, Cilt 1, Ankara.
- Calam, A., İcingür Y., Topgül Y. ve Solmaz H. 2011. Benzine Powermax Katkısının Motor Performansına Etkisinin İncelenmesi. 6th International Advanced Technologies Symposium, 16-18 May, Elazığ, Türkiye.
- Corkwell, K.C., Jackson M.M. and Daly D.T. 2003. Review of Exhaust Emissions of Compression Ignition Engines Operating on E Diesel Fuel Blends. *SAE Paper*, No. 2003-01- 3283.
- Çakmak, A. ve Özcan H. 2018. Benzin için oksijenli yakıt katkıları. *Politeknik Dergisi*, 21(4), 831-840.
- Çakmak, A., Kapusuz M., Ganiyev O. and Özcan H. 2018. Effects of Methyl Acetate as Oxygenated Fuel Blending on Performance and Emissions of SI Engine. *Environmental and Climate Technologies*, 22(1), 55-68.
- Çakmak, A., Kapusuz M., Ganiyev O., and Özcan H. 2018. Investigation of Usability of the Ethyl Acetate as Oxygenated Fuel Additive. 9<sup>th</sup> International Technologies Congress (OTEKON), 7-8 May, Bursa, Turkey.
- Çakmak, A., Kapusuz M., Ganiyev O., and Özcan H. 2018. Effect of Ethyl Acetate-Gasoline Blends on Energy (Thermal) Balance of an SI Engine. 1<sup>st</sup> International Technology Sciences and Design Symposium, 27-29 June, Giresun, Turkey.

- Çalışır, A. ve Gümüş M. 2008. Buji Ateşlemeli bir Motorda Benzin Metanol Karışımlarının Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarına Üzerine Etkisi. 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), Karabük, Türkiye.
- Çanakçı, M., Özsezen A. N., Alptekin E. and Eyidoğan M. 2013. Impact of alcohol gasoline fuel blends on the exhaust emission of an SI engine. *Renewable Energy*, 52:111-117.
- Çınar, C., Uyumaz A. and Solmaz H. 2013. The Investigation of The Effects of RON 45 Fuel on Combustion and Engine Performance in a HCCI Gasoline Engine. 7th International Advanced Technologies Symposium, 30 Ekim – 1 Kasım, İstanbul, Türkiye.
- Çolak, A. ve Çelik M. B. 2008. Buji Ateşlemeli Bir Motorda Alternatif Yakıt Olarak Saf Etanolun Kullanılması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23(3), 619-626.
- Da Silva, R., Cataluña R., De Menezes E. W., Samios D. and Piatnicki C. M. S. 2005. Effect of additives on the antiknock properties and Reid vapor pressure of gasoline. *Fuel*, 84(7–8), pp. 951–959.
- Deniz, O. 2008. İçten Yanmalı Motorlar Ders Notları. Yıldız Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi, İstanbul, Türkiye.
- Dört zamanlı benzinli motorun çalışma prensibi (Mühendis Gözünden:4 amanlı Benzin Motor (Otto Motor), 2018. <http://muhendisgozunden1.blogspot.com>). (Erişim tarihi: 04.05.2018)
- Etil Asetat: Ayın Molekülü. 2017. <http://www.chm.bris.ac.uk/motm/ethylacetate/ethylh>. (Erişim tarihi: 07.02.2017)
- Etil Asetat, Metil Asetat, 2015. [https://tr.wikipedia.org/wiki/Etil\\_asetat](https://tr.wikipedia.org/wiki/Etil_asetat). [www.molarkimya.com/metil-asetat-99f](http://www.molarkimya.com/metil-asetat-99f). (Erişim tarihi: 01.10.2017)
- European Union, 2009. DIRECTIVE 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council. *Off. J. Eur. Union*, 5(1), p. L 140/16-L 140/62.
- Eyidoğan, M., Çanakçı M., Özsezen A. N., Alptekin E., Türkcan A. ve Kılıçaslan İ. 2011. Etanol-Benzin ve Metanol-Benzin Karışımlarının Buji ile Ateşlemeli Bir Motorun Yanma Parametrelerine ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin İncelenmesi. *Gazi Üniv. Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 26(3), 499-507.
- Generating Leads; The Fuel that Powers Sale, 2013. [www.cccinc.com/2013/12/03/generating-leads-the-fuel-that-powers-sales](http://www.cccinc.com/2013/12/03/generating-leads-the-fuel-that-powers-sales) Susan MCPerson. (Erişim tarihi:21.10.2017).

- Gülüm, M., Bilgin A., and Çakmak A. 2015. Comparison of Optimum Reaction Parameters of Corn Oil Biodiesels Produced by Using Sodium Hydroxide (NaOH ) and Potassium Hydroxide (KOH ). *J. Fac. Eng. Archit. Gazi Univ.*, 30(3), pp. 503–511.
- Heywood, J.B. 1988. *Internal Combustion Engine Fundamentals*. McGraw-Hill, New York, 491-558.
- Hoekstra R. L., Blarigan P. V. and Mulligan N. 1996. NO<sub>x</sub> Emissions and Efficiency of Hydrogen, Natural Gas, and Hydrogen/Natural Gas Blended Fuels. *International Spring Fuels & Lubricants Meeting*, Dearborn, Michigan.
- How the Heart of the Car Beats, 2017. [www.toc.edu.my/news-event/2017/how-the-heart-of-the-car-beats-the-internal-combustion-engine](http://www.toc.edu.my/news-event/2017/how-the-heart-of-the-car-beats-the-internal-combustion-engine). (Erişim tarihi: 22.10.2018).
- Huss, R. S., Chen F., Malone M. F., and Doherty M. F. 2003. Reactive distillation for methyl acetate production. *Computers and Chemical Engineering*, 27:1855–1866.
- Karaaslan, E. 2012. Benzin Katkı Maddelerinin Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarına Etkilerinin Deneysel Olarak Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Makina Eğitimi Anabilim Dalı, Ankara.
- Karbüratör nedir, 2015. [www.lafsozluk.com/2014/01/karburator-nedir-ne-demektir-karburator](http://www.lafsozluk.com/2014/01/karburator-nedir-ne-demektir-karburator). (Erişim tarihi: 30.05.2017).
- Kimyevi Maddeler Pazarlama ve Ticaret LTD ŞTİ. 2007. Etil Asetat güvenlik bilgi formu. [https://tr.wikipedia.org/wiki/Etil\\_asetat](https://tr.wikipedia.org/wiki/Etil_asetat). (erişim tarihi: 11.03.2017)
- Kirkpatrick, C.R. and Kirkpatrick A.T. 2001. *Internal Combustion Engines*. John Wiley & Sons, Inc.
- Kılıçarslan, G., Kolip A. 2002. İçten Yanmalı Motorlarda, Alternatif Enerji Olarak Kullanılabilecek, Akol Ve Hidrojenin İncelenmesi. *SAU Fen Bilimleri Enstiusü Dergisi*, 6(2).
- Li, D., Zhen H., Lu X., Zhang W. and Yang J. 2005. Physiochemical properties of ethanol-diesel blend fuel and its effect on performance and emissions of diesel engines. *Renewable Energy*, 30(6), pp. 967-976.
- Mccormick, R. L. and Parish R. 2001. Advanced Petroleum Based Fuels Program and Renewable Diesel Program Milestone Report: Technical Barriers to the Use of Ethanol in Diesel Fuel. *NREL/MP*, 540-32674.
- Mohammadi, M. A., Shioji M., Nakai Y., Ishikura W. and Tabo E. 2007. Performance and combustion characteristics of a direct injection SI hydrogen engine. *Int. Journal of Hydrogen Energy*, 296-304.

- Mužíková, Z., Pospíšil M. and Šebor G. 2009. Volatility and phase stability of petrol blends with ethanol. *Fuel*, 88(8), pp. 1351–1356.
- NIOSH scientists. 1996. *NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM)*. Fourth Edition.
- Örs, İ., Tarakçıoğlu N., ve Ciniviz M. 2009. Yakıt Olarak Benzin – Etanol Karışımlarının Taşıt Performansı ve Egzoz Emisyonlarına Etkisi *Politeknik Dergisi*, 12(1), 13-19.
- Özer, S. 2014. Alkollerin İçten Yanmalı Motorlarda Alternatif Yakıt Olarak Kullanılması. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 19(1).
- Özsezen, A. N. and Çanakçı M. 2011. Performance and combustion characteristics of alcohol e gasoline blends at wide-open throttle *Energy*, 36(5), pp. 2747–2752.
- Performans Mais OTO Dergisi, 1994. İçten Yanmalı Motorların Tarihçesi Sayı:63, “<https://www.turkcebilgi.org/ottaromobil/teknik-bilgiler/icten-yanmalı-motorların-tarihçesi-6725.html>. (Erişim tarihi: 23.08.2017)
- Pulkrabek, W. W. (2004). Engineering fundamentals of the internal combustion engine.
- Rakopoulos, C. D., Antonopoulos K., Rakopoulos D. C., and Hountalas D. T. 2008. Multi-zone modeling of combustion and emissions formation in DI diesel engine operating on ethanol diesel fuel blends. *Energy Conversion and Management*, 49(4), pp. 625-643.
- Rakopoulos, D.C., Rakopoulos C.D., Kakaras E.C., ve Giakoumis E.G. 2008. Effects of ethanol-diesel fuel blends on the performance and exhaust emissions of heavy duty DI diesel engine. *Energy Conversion and Management*, 49(11), pp. 3155-3162.
- Reşitoğlu, İ. A. 2010. Atık Yağlarda Üretilmiş Biyodizelin Dizel Motor Performans Ve Emisyonuna Etkisinin Deneysel Olarak Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin.
- Riemenschneider, W. and Bolt H. M. 2005. Esters, Organic. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, Wiley-VCH, Weinheim, doi: 10.1002/14356007.a09\_565.pub2.
- Rodríguez-antón, L. M., Gutiérrez-martín F., and Martínez-arevalo C. 2015. Experimental determination of some physical properties of gasoline, ethanol and ETBE ternary blends. *Fuel*, 156: 81–86.
- Rodríguez-antón, L. M., Gutiérrez-martín F., and Doce Y. 2016. Physical properties of gasoline , isobutanol and ETBE binary blends in comparison with gasoline ethanol blends. *Fuel*, 166:73–78.
- Safgönül, B., Ergeneman M., Arslan E. ve Soruşbay C. 201. İçten yanmalı

motorlar. Birsen Yayınevi, Mühendislik ve Teknik Kitaplar.

- Sayın, C., Gumus M. and Canakçı M. 2010. Effect of Fuel Injection Timing on the Emissions of a Direct-Injection (DI) Diesel Engine Fueled with Canola Oil Methyl Ester-Diesel Fuel Blends. *Energy & Fuels*, 24:2675-2682.
- Sayın, C. and Çanakçı M. 2009. Effects of injection timing on the engine performance and exhaust emissions of a dual-fuel diesel engine. *Energy Conversion and Management*, 50(1), pp. 203-213.
- Setright, L. J. K. 2004. Drive On!: A Social History of the Motor Car. *Granta Books*, ISBN 1-86207-698-7.
- Song, C.L., Zhou Y.C., Huang R.J., Wang Y. Q., Huang Q.F., Lü G. and Liu K.M. 2007. Influence of ethanoldiesel blended fuels on diesel exhaust emissions and mutagenic and genotoxic activities of particulate extracts. *Journal of Hazardous Materials*, 149(2), pp. 355-363.
- Surisetty, V. R., Dalai A. K., and Kozinski J. 2011. Alcohols as alternative fuels: An overview. *Appl. Catal. A Gen.*, 404(1-2), pp. 1-11.
- Şen, N. 2007. Benzin Katkı Maddesi Etil Tersiyer Bütil Eter (Etbe) Sentezi Ve Reaksiyon Kinetiğinin İncelenmesi. Gazi Üniveritesi Kimya Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Şenbahçe ,A., Temür M. ve Sayın C. 2014. Alkol Yakıtların Buji Ateşlemeli Motorlarda Kullanımının Performans ve Emisyonlara Etkisinin İncelenmesi. *Marmara Fen Bilimleri Dergisi*, 1:20-29, doi:10.7240/mufbed.60276.
- The History of Steam-Powered Cars, 2012, <http://inventors.about.com/library/weekly/aacarssteama.htm>. (Erişim Tarihi: 23.06.2017)
- Usta, N., Can Ö. ve Öztürk E. 2004. Alternatif Dizel Motor Yakıtı Olarak Biyodizel ve Etanolün Karşılaştırılması. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 11(3).
- Wang, H. Xu, Daniel R., Ghafourian A. and Martin J. 2013. Combustion characteristics and emissions of 2-methylfuran compared to 2 , 5-dimethylfuran , gasoline and ethanol in a DISI engine Combustion Duration n Duration. *Fuel*, 103: 200-211.
- Welch, A.B., and Wallace J.S. 1990. Performance Characteristics of a Hydrogen-Fueled Diesel Engine with Ignition Assist. International Fuels and Lubricants Meeting and Exposition, Tulsa, Oklahoma.
- Wei, H., Feng D., Shu G., Pan M., Guo Y., Gao D., and Li W. 2014. Experimental investigation on the combustion and emissions characteristics of 2-methylfuran gasoline blend fuel in spark-ignition engine. *Appl. Energy*, 132:317-324.

Yumrutas, R., Hakkı M. and Hakan O. 2008. Investigation of purified sulfate turpentine on engine performance and exhaust emission. *Fuel*, 87:252–259.



## ÖZGEÇMİŞ

**Adı Soyadı:** Orhan Ganiyev

**Doğum Yeri :** Azərbaycan , Siyezen

**Doğum Tarihi:** 21.03.1993

**Medeni Hali:** Evli

**Bildiği Yabancı Diller:** English, Russian,Turkish,Azerbaijani,Deutsch(A1)

### **Eğitim Durumu**

**Lise :** Siyezen, 2 N Mikayıl Müşiq adına orta okul (1999-2010)

**Lisans :** Azərbaycan Devlet Petrol Akademisi (2010-2014)

**Çalıştığı Kurum:** UBOC petroleum company

**İletişim Bilgileri:**Azərbaycan,Bakü [Orkhanganiyev21@gmail.com](mailto:Orkhanganiyev21@gmail.com),  
[o.qaniyev@socar-umid.com](mailto:o.qaniyev@socar-umid.com)