

**T. C.
İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

**BUJİ ATEŞLEMELİ MOTORLARDA BENZİN ALKOL
KARIŞIMLARININ KULLANIMININ MOTOR
PERFORMANSINA ETKİSİNİN TEORİK İNCELEMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

Ahmed Firas İbrahim ALOBAIDI

Danışman

Prof. Dr. Bedri YÜKSEL

İstanbul – 2022

TEZ TANITIM FORMU

Yazar Adı Soyadı : Ahmed Firas İbrahim ALOBAIDI

Tezin Dili : Türkçe

Tezin Adı : Buji Ateşlemeli Motorlarda Benzin Alkol Karışımlarının Kullanımının Motor Performansına Etkisinin Teorik İncelemesi

Enstitü : İstanbul Gelişim Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Anabilim Dalı : Mekatronik Mühendisliği

Tezin Türü : Yüksek Lisans

Tezin Tarihi : 26.10.2022

Sayfa Sayısı : 160

Tez : Prof. Dr. Bedri YÜKSEL

Danışmanları

Dizin Terimleri : Buji Ateşlemeli Motor, Benzin, Alkol, Yakıt, Küresel Isınma, Enerji

Türkçe Özet : Dünya ve ülkemizin enerji sorunu ve küresel ısınmayla ilgili endişeler, araştırmacıları temiz alternatif enerji kaynaklarını araştırmaya yöneltmiştir. Dünya genelinde çok çeşitli alanlarda yaygın şekilde kullanılan kullanılan içten yanmalı motorlar, önemli miktarda enerji tüketen makinelerdir. Bu motorlardan en önemlilerinden birisi bujili ateşlemeli (benzinli) motorlardır. Bujili ateşlemeli motorlarda yakıt olarak kullanılan benzinin, bir kısmının yerine alkol yakıtların kullanılması konusunda çok sayıda araştırma yapılmış ve yapılmaktadır. Çalıştırmalarda, genellikle etanol, methanol, butanol ve propanol alkollerini çeşitli yöntemlerle yakıt olarak kullanılmaktadırlar. Alkoller, bugüne

kadar benzinin oktan sayılarını arttırmak için katkı maddesi olarak kullanıldığı bilinmektedir. Bu çalışmada, özellikle Türkiye’de üretim potansiyeli yüksek olan etanolün (etil alkol) ve diğer alkollerin yüksek oranlarda yakıt olarak kullanılması teorik olarak incelenmiştir.

Dağıtım Listesi : 1. İstanbul Gelişim Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsüne
2. YÖK Ulusal Tez Merkezine

İmzası

Ahmed Firas Ibrahim ALOBAİDİ

**T. C.
İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

**BUJİ ATEŞLEMELİ MOTORLARDA BENZİN ALKOL
KARIŞIMLARININ KULLANIMININ MOTOR
PERFORMANSINA ETKİSİNİN TEORİK İNCELEMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

Ahmed Firas İbrahim ALOBAIDI

Danışman

Prof. Dr. Bedri YÜKSEL

İstanbul – 2022

BEYAN

Bu tezin hazırlanmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğu, kullanılan verilerde herhangi tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez olarak sunulmadığını beyan ederim.

Ahmed Firas İbrahim ALOBAIDI

.../.../2022



İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

Ahmed Firas İbrahim ALOBAIDI'ın Buji Ateşlemeli Motorlarda Benzin Alkol Karışımlarının Kullanımının Motor Performansına Etkisinin Teorik İncelemesi adlı tez çalışması, jürimiz tarafından Mekatronik Mühendisliği anabilim dalı, Mekatronik Mühendisliği bilim dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan

Prof. Dr. Bedri YÜKSEL

(Danışman)

Üye

Dr.Öğr.Üyesi Kenan ŞENTÜRK

Üye

Doç. Dr.Armağan Fatih KARAMANLI

ONAY

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

... / ... / 2022

İmzası

Prof. Dr. İzzet GÜMÜŞ

Enstitü Müdürü

ÖZET

Dünya ve ülkemizin enerji sorunu ve küresel ısınmayla ilgili endişeler, araştırmacıları temiz alternatif enerji kaynaklarını araştırmaya yöneltmiştir. Dünya genelinde çok çeşitli alanlarda yaygın şekilde kullanılan kullanılan içten yanmalı motorlar, önemli miktarda enerji tüketen makinelerdir. Bu motorlardan en önemlilerinden birisi bujili ateşlemeli (benzinli) motorlardır. Bujili ateşlemeli motorlarda yakıt olarak kullanılan benzinin, bir kısmının yerine alkol yakıtların kullanılması konusunda çok sayıda araştırma yapılmış ve yapılmaktadır. Çalıştırmalarda, genellikle etanol, metanol, butanol ve propanol alkollerini çeşitli yöntemlerle yakıt olarak kullanılmaktadırlar. Alkoller, bugüne kadar benzinin oktan sayılarını arttırmak için katkı maddesi olarak kullanıldığı bilinmektedir. Bu çalışmada, özellikle Türkiye’de üretim potansiyeli yüksek olan etanolün (etil alkol) ve diğer alkollerin yüksek oranlarda yakıt olarak kullanılması teorik olarak incelenmiştir.

Alkoller, yüksek oksijen içeriklerine sahip olmalarına rağmen benzine çok yakın yanma ve tutuşma özelliklerine sahiptirler. Daha verimli yanma, daha az hava kirliliği yaparlar. Bu da zararlı motor emisyonlarının azalmasına neden olmaktadır. Etanol, metanol, bütanol ve propanol alkollerin benzinle çeşitli oranlarda ve farklı saflıklarda (%100, 90, 80) karışımlarının motor hava tüketim miktarları üzerine etkileri ve diğer yakıtsal özelliklerin değişimlerin üzerine etkileri incelenmiştir. Ayrıca, bu değişimlerin motor verimi, fren torku, fren gücü, yakıt tüketimi (FC), özgül yakıt tüketimi (bsfc) gibi parametrelere etkileri ile egzoz emisyon özelliklerine (CO_x, NO_x) olabilecek etkileri teorik olarak incelenmeye çalışılmıştır.

Benzine çeşitli alkollerin karıştırılması veya farklı yöntemlerle (ikili yakıt sistemleri gibi) benzin ile birlikte yakıt olarak kullanılması, motor performans değerlerinde, örneğin; torkunda azalma, yakıt ve özgül yakıt tüketiminde artma, motor veriminde oktan sayısının artışı paralelinde kısmen artma olabileceği yapılan teorik ve uygulamalı çalışmalardan anlaşılmaktadır.

Benzinli motorlar, yol ve yük durumuna göre bilinen oranlarda zengin ve fakir hava/yakıt oranlarında çalıştırılmaktadır. Bu oran yaklaşık 0,85 – 1,2 arasında değişmektedir. Benzine çeşitli oranlarda ve saflıklarda alkol ilave edildiğinde, hem

yakıtın yakıtsal özellikleri değişecek, hem de yakıtın yanması için gerekli hava miktarları değişecektir. Bu değişim miktarları teorik hesaplar ile belirlenmeye çalışılmıştır. Değişen bu yakı özellikleri, motor hava ve yakıt sistemlerinde bazı değişiklikleri ve yeni tasarımları da gündeme getirecektir.

Motorlarda, benzinle birlikte kullanılacak farklı oran ve saflıktaki alkollerin motor parametreleri ve egzoz emisyonları üzerine olacak etkileri tahmin edilmeye çalışılmış, yapılan uygulamalı çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada, alkollerin kullanımı ile azalan hava miktarları teorik olarak belirlenmiştir. Benzine alkol (etanol, metanol, butanol ve propanol) ilavesiyle, motorun fren ısı veriminde ve fren özgül yakıt tüketiminde artış, karbon monoksit (CO) ve nitrojen oksitlerin (NO_x) emisyonunda bir azalma olduğunu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Buji Ateşlemeli Motor, Benzin, Alkol, Yakıt, Küresel Isınma, Enerji

SUMMARY

The energy problem of the world and our country and concerns about global warming have led researchers to search for clean alternative energy sources. Internal combustion engines, which are widely used in a wide variety of fields around the world, are machines that consume a significant amount of energy. One of the most important of these engines is spark ignition (petrol) engines. A lot of research has been done and is being done on the use of alcohol fuels instead of some of the gasoline used as fuel in spark ignition engines. In operations, generally ethanol, methanol, butanol and propanol alcohols are used as fuel by various methods. Alcohols are known to be used as additives to increase the octane numbers of gasoline until today. In this study, the use of ethanol (ethyl alcohol) and other alcohols, which have high production potential especially in Turkey, as fuel at high rates was examined theoretically.

Although alcohols have high oxygen content, they have burning and igniting properties very close to gasoline. They cause more efficient combustion and less air pollution. This leads to a reduction in harmful engine emissions. The effects of mixtures of ethanol, methanol, butanol and propanol alcohols with gasoline in various proportions and in different purities (100, 90, 80%) on engine air consumption amounts and the effects of other fuel properties on the changes were investigated. In addition, the effects of these changes on parameters such as engine efficiency, braking torque, braking power, fuel consumption (FC), specific fuel consumption (bsfc) and their possible effects on exhaust emission characteristics (CO_x , NO_x) were tried to be investigated theoretically.

Mixing various alcohols with gasoline or using it together with gasoline with different methods (such as dual fuel systems) can increase engine performance values, for example; It is understood from the theoretical and applied studies that there may be a decrease in torque, an increase in fuel and specific fuel consumption, and a partial increase in engine efficiency in parallel with the increase in the octane number.

Gasoline engines are operated in rich and lean air/fuel ratios at known ratios according to road and load conditions. This ratio varies between approximately 0.85 – 1.2. When alcohol is added to gasoline in various proportions and purities, both the fuel properties

of the fuel will change and the amount of air required for the fuel to burn will change. These changes have been tried to be determined by theoretical calculations. These changing fuel properties will bring some changes and new designs in the engine air and fuel systems. The effects of alcohols of different ratios and purity to be used in engines with gasoline on engine parameters and exhaust emissions were tried to be estimated and compared with applied studies. In this study, the amount of air that decreases with the use of alcohols was determined theoretically. It has been observed that with the addition of alcohol (ethanol, methanol, butanol and propanol) to gasoline, there is an increase in the brake thermal efficiency and brake specific fuel consumption of the engine, and a decrease in the emission of carbon monoxide (CO) and nitrogen oxides (NO_x).

Keywords: Spark Ignition Engine, Gasoline, Alcohol, Fuel, Global Warming, Energy

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
SUMMARY	iii
KISALTMALAR	v
SEMBOLLER	vii
TABLolar LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	x
ÖNSÖZ.....	xi
GİRİŞ	1

BİRİNCİ BÖLÜM

1.1 Literatür Özeti	14
---------------------------	----

İKİNCİ BÖLÜM

MOTORLARDA YAKIT OLARAK KULLANILAN ALKOLLER

2.1. Metanol	18
2.2. Etanol	19
2.3 Bütanol	20
2.4 Propanol	21
2.5. Füzel Yağları	21
2.6. Alkollerin Üretimi Yöntemleri.....	23
2.6.1. Metanol Üretimi	23
2.6.2 Etanol Üretimi.....	24
2.6.3 Butanol Üretimi.....	27
2.6.4 Propanol Üretimi	29
2.6.5 Dünya'nin Etanol Üretimi Ve Kullanımı	29
2.6.5.1 Brezilya (Etanol)	32
2.6.5.2 Rusya (Etanol).....	32
2.6.5.3 Hindistan (Etanol)	33
2.6.5.4 Çin (Etanol).....	34
2.6.5.5 Amerika Birleşik Devletleri	34
2.6.5.6 Türkiye'nin Etanol Üretimi.....	35
2.7 Benzin	36

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

ALKOL ÖZELLİKLERİ

3.1. Alkollerin ve Petrol Kökenli Yakıtların Yakıtsal Özellikleri	37
3.1.1 Yakıtların Kimyasal Formülleri Ve Su İçerikleri	37
3.1.2 Octane Sayısı.....	43
3.1.3 Yakıtların Yanma Isıl Değerleri.....	46
3.1.4 Buharlaşma Gizli Isısı (Lh _{ov}).....	48
3.1.5 Buhar Basıncı	49

3.1.6 Kaynama Noktası.....	50
3.1.7 Kendiliğinden Tutuşma Sicaklığı.....	50
3.1.8 Parlama Noktası	51
3.1.9. Alkol Yakıtların Motor Malzemeleri İle Uyumu Ve Motor Aşınması	52
3.1.10 Yakıt İçerisinde Bulunan Oksijen Ve Su Miktarlarının Yakıt Özelliklerine Etkisi	53
3.1.11 Alkollerin Su İçeriğinin Yakıt Özelliklerine Etkileri.....	55
3.1.12 Yanma Entalpisi.....	59
3.1.13 Faz Ayırma Sicaklığı (Faz Oluşma Sicaklığı) (Pst).....	63
3.2 Alkol Yakıtların Kullanımı	66

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

ALKOLLERİN Sİ MOTORLARINDA KULLANIM YÖNTEMLERİ VE MOTOR KARAKTERİSTİKLERİNE ETKİLERİ

4.1. Alkollerin Yakıt Olarak Kullanım Yöntemleri	70
4.1.1 Alkol Motorları	70
4.1.2 Benzin-Alkol Karışımının Yakıt Olarak Kullanılması	70
4.1.3 Benzin ve Alkole Çalışan Çift Yakıtlı Sı Motor Konsepti	75
4.1.4 Sı Motorları İçin Alkol Kullanımında Diğer Yöntemler	75
4.2. Bujili Ateşlemeli Motorlarda Alkol Kullanımının Motor Parametrelerine Etkisi	76
4.2.1 Sı Motorlar Performansına Etkisi	76
4.2.2 Motor Torku Ve Gücüne Etkisi	76
4.2.3 Yakıt Tüketimi (Fc) Ve Özgül Yakıt Tüketimine (Sfc) Üzerindeki Etkisi.....	78
4.2.4 Motor Verimi Üzerindeki Etkisi	83
4.2.5 Yanma Özelliklerine Etkisi	84
4.2.6 Alkol Yakıtlarının Motor Emisyonlarına Etkisi.....	88
4.2.7 Nox Ve Hc Emisyonlarına Etkisi.....	89
4.2.8 Co Ve Co2 Emisyonlarına Etkisi	94
4.2.9 Sı Motorun Titreşimine Etkisi.....	98
4.2.10 Alkol Yakıtlarının Sı Motorunun Gürültüsü Üzerindeki Etkileri	100

BEŞİNCİ BÖLÜM

BUJİLİ ATEŞLEMELİ MOTORLARDA ALKOL KULLANIMININ MOTOR PARAMETRELERİNE ETKİSİ

5.2. Yakıtlar - Yanma.....	108
5.2.1. Yanma stokiyometrisi	108
5.2.2. Benzin ve benzin-çeşitli alkol karışımlarının teorik tam yanma denklemleri ve hava ihtiyacının ve Isıl değerlerin hesaplanması	107
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	143
KAYNAKLAR	158

KISALTMALAR

ABE	:	Aseton-butanol-etanol
ICE	:	İçten yanmalı motor
RVP	:	Reid buhar basıncı
TEL	:	Tetraetil kurşun
BSFC	:	Fren özgül yakıt tüketimi
CR	:	Motor sıkıştırma oranı
LHOV	:	Düşük Buharlaştırma entalpisi
SI	:	Kıvılcım ateşlemeli motoru
IC	:	İçten Yanmalı
RON	:	Araştırma Oktan Sayısı
LHV	:	Alt Isıl Değer
HHV	:	Üst Isıl Değer
DMF	:	Dimethylfuran
PST	:	Faz ayrılmama sıcaklığı
BTE	:	Fren termal verimi
IMEP	:	İndike Ortalama Efektif Basıncı
MEP	:	Ortalama Efektif Basıncı
FC	:	Yakıt Tüketimi
WOT	:	Tam Gaz Durumu
BTE	:	Fren Termal Verimi
ITE	:	İndike Termal Verim
VE	:	Hacimsel Verim
BSFC	:	Fren Özgül Yakıt Tüketimi
BMEP	:	Fren Ortalama Efektif Basıncı
HECU	:	Hibrit Elektronik Kontrol Ünitesi
CT	:	Silindir Sıcaklığı
ROHR	:	Isı Salınım Hızı
ROPR	:	Basıncı Artış Hızı
FMB	:	Kütle Oranı Yanması
CP	:	Silindir Basıncı

CD	:	Yanma Hızı
FS	:	Alev Hızı
CE	:	Yanma Verimi
AK	:	Vuruntu Direnci
AFR	:	Hava-yakıt oranı
AÖN	:	Piston Alt Ölü Noktası
UÖN	:	Piston Üst Ölü Noktası
H/Y	:	Hava/Yakıt Oranı
MTBE	:	Metil Tersiyer Butil Eter

SEMBOLLER

CO	:	Karbonmonoksit
CO₂	:	Karbondioksit
CH₃	:	Metanol
HC	:	Hidrokarbon
NO₂	:	Azotdioksit
NO	:	Azotmonoksit
CH₄	:	Metan
C	:	Karbon
C₄H₉OH: C₄H₁₀O	:	Bütanol
CH₃OH	:	Etanol
C₃H₇OH	:	Propanol

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1. Dünya ve Ülkelerinde Enerji Göstergeleri.....	21
Tablo 2. Dünya Petrol Fiyatları.....	22
Tablo 3. Hafif araçlar için AB standartları.....	27
Tablo 4. Ağır vasıtalar için AB standartları	32
Tablo 5. Dünya Etanol Üretimi (Ülke veya Bölgelere Göre).....	21
Tablo 6. Fuzel yağı bileşiminin özellikleri.....	22
Tablo 7. Dünya Etanol Üretimi (Ülke veya Bölgelere Göre) (Milyon Gallons).....	27
Tablo 8. Brezilya’da sadece alkol ve alkol/benzin karışımı ile çalışan araç sayısının yıllara göre değişimi.....	32
Tablo 9. Alkoller ve diğer motor yakıtların kimyasal ve fiziksel özellikleri	21
Tablo 10. Resmi ve özel Şeker fabrikalarının etanol üretim kapasiteleri.....	22
Tablo 11. Benzin ve alkollerin kimyasal ve fiziksel özellikleri.....	27
Tablo 12. Physiochemical properties of gasoline and alcohols	32
Tablo 13. Etanol su içeriğinin yakıtsal özellikleri üzerine etkisi	21
Tablo 14. Metanol su içeriğinin yakıtsal özellikleri üzerine etkisi	22
Tablo 15. Butanol su içeriğinin yakıtsal özellikleri üzerine etkisi	27
Tablo 16. Propanol su içeriğinin yakıtsal özellikleri üzerine etkisi	32
Tablo 17. Yakıt olarak kullanılan çeşitli saflıktaki alkollerin içerisindeki oksijen kütlesi oranları.....	21
Tablo 18. Bazı yakıtların motor ve araştırma oktan sayılarının ortalaması	22
Tablo 19. Yanabilen maddelerin yanma reaksiyonları ve Standart Molar Yanma Entalpileri	27
Tablo 20. Alkol yakıt özelliklerine etkisi	32
Tablo 21. Esnek yakıtlı aracın yakıt ekonomisi değerleri 2005 yılında.....	21
Tablo 22. Alkol yakıtlarının SI motorlarında kullanılmasının motor gücü, tork ve ısı verime etkisi	22
Tablo 23. Alkol yakıtlarının SI motorlarında motor fren özgül yakıt tüketimi (BSFC) üzerine etkisi.	27
Tablo 24. SI motorlarında alkol yakıtlarının yanma özelliklerine etkisi.	32
Tablo 25. Benzinli binek araçların emisyon değerleri.....	21
Tablo 26. Dizel binek araçların emisyon değerleri.....	22
Tablo 27. Alkol yakıtlarının SI motorlarında NO _x ve HC emisyonları.....	27
Tablo 28. Alkol ve eter yakıtlarının SI motorlarında CO ve CO ₂ emisyonları.....	27

Tablo 29. Bazı Önemli Yakıtların Moleküler Kütleleri, Stokiyometrik Hava - Yakıt Oranları (kütlesel) ve Yanma Ürünlerinin Mol katsayıları.....	110
Tablo 30. Etanol saflığına bağlı olarak bazı yakıtsal özelliklerin değişimi	113
Table 31. Değişik oranlarda benzine etanol karışımının yakıtsal özelliklere etkisi.....	113
Tablo 32: Saf Etil Alkol benzin karışım yüzdelere göre hava miktarının, alt ve üst ısı değerlerinin değişimi.....	119
Tablo 33: Saf Etil Alkol yüzdelere göre CO ₂ azalma yüzdelere, Karbondioksit miktarları ve yoğunlaşma sıcaklıklarının değişimi,	119
Tablo 34: %90 saflıkta Etil Alkol ve çeşitli oranlardaki Benzin karışımlarının yüzdelere göre hava miktarının ve alt üst ısı değerlerinin değişimi	124
Tablo 35: %90 Etil Alkol yüzdelere göre CO ₂ azalma yüzdelere, Karbondioksit miktarları ve yoğunlaşma sıcaklıklarının değişimi.....	124
Tablo 36 : %80 saflıkta Etil Alkol yüzdelere göre hava miktarının ve alt üst ısı değerlerinin değişimi	130
Tablo 37: %80 saflıkta Etil Alkol yüzdelere göre CO ₂ azalma yüzdelere, Karbondioksit miktarları ve yoğunlaşma sıcaklıklarının değişimi.....	130
Tablo 38: 100% saflıkta Metanol yüzdelere göre hava miktarının ve alt üst ısı değerlerinin değişimi	131
Tablo 39: 100% saflıkta Metanol yüzdelere göre CO ₂ azalma yüzdelere, Karbondioksit miktarları	132
Tablo 40. 90% saflıkta Metanol yüzdelere göre hava miktarının ve alt üst ısı değerlerinin değişimi	132
Tablo 41. 90% saflıkta Metanol yüzdelere göre CO ₂ azalma yüzdelere, Karbondioksit miktarları	133
Tablo 42. 80% saflıkta Metanol yüzdelere göre hava miktarının ve alt üst ısı değerlerinin değişimi	133
Tablo 43. 80% saflıkta Metanol yüzdelere göre CO ₂ azalma yüzdelere, Karbondioksit miktarları	134
Tablo 44. 100% saflıkta Bütanol yüzdelere göre hava miktarının ve alt üst ısı değerlerinin değişimi	134

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Enerji kaynaklarının Gruplandırılması.....	1
Şekil 2. Dünya Genelinde Kaynak Bazında Birincil Enerji Üretim Miktarı	1
Şekil 3. Dünya Birincil Enerji Arzının Kaynaklara Göre Dağılımı.....	3
Şekil 4. Türkiye 2016 yılı Birincil Enerji Tüketimi Kaynak Bazında Dağılımı.....	4
Şekil 5. 1990-2018 Yıllarında Türkiye Toplam Birincil Enerji Üretimi ve Arzı	4
Şekil 6. Dünyadaki Fosil yakıtların rezev miktarları ve kalan ömürleri.....	5
Şekil 7. Küresel Kanıtlanmış Petrol Rezervleri	6
Şekil 8. Yıllara göre dünya Petrol.....	6
Şekil 9. 1990-2018 yılları arasında Türkiye Toplam Enerji Dış Ticareti	12
Şekil 10. Tarım ürünlerinden biyoetanol üretiminin karbon	12
Şekil 11. Ülkemizde Enerji Üretiminde Kullanılabilir Biyokütle	13
Şekil 12. Şeker pancarından biyoetanol üretiminde sıfır atık döngüsü	13
Şekil 13. Metanolün kömür ve doğalgazdan üretim akış şeması.....	24
Şekil 14. Etanolün şeker kamışından üretim akış şeması	25
Şekil 15. Etanolün tahıllardan üretimi akış şeması.....	26
Şekil 16. Lignoselülozik biyokütleden etanol üretim şeması	27
Şekil 17. Biyokütleden bütanol üretim şeması	28
Şekil 18. Ülkelere ve yıllara göre küresel etanol üretimi.....	31
Şekil 19. Alkol Oksijen İçeriğinin Yakıt Isıl Değeri Üzerine Etkisi	53
Şekil 20. Oksijen içeriğinin yanma hızına etkisi	55
Şekil 21. Etanol ve Metanol'ün Su içeriğinin Parlama Noktası ile İlişkisi	56
Şekil 22. Metanol ve Etanolün Su İçeriğine Göre Isı Yayma Oranları	57
Şekil 23. Etanol ve Metanol'ün Su İçeriğine Göre Maksimum Isı Yayma Oranı.....	58
Şekil 24. Etanol ve Metanol'ün Su İçeriğine Göre Ortalama Isı Yayma Oranı.....	58
Şekil 25. Metanol ve Etanolün Su İçeriğine Göre Etkin Yanma Isısı	60
Şekil 26. Hess yasasına göre karbonun doğrudan ve iki aşamalı olarak karbondioksit dönüşüm şeması,	63
Şekil 27. Benzin ile alkol karışımlarının ağırlıkça % 10'sinde suyun çözünürlüğü üzerine sıcaklığın etkisi.....	65
Şekil 28. Benzin ile alkol karışımlarının ağırlıkça %10'sinde suyun Çözünürlüğü üzerine sıcaklığın etkisi.....	65
Şekil 29. Benzinli olmayan diğer yakıt türleri ile çalışan araç modellerinin sayısı.....	68
Şekil 29. Alkol-benzin DFSI (Dual fuel SI) yakma sisteminin iki farklı kullanım yönteminin şematik görünümü.....	74
Şekil 30. Alkol ve benzin emme manifolduna.....	74
Şekil 31. Termik verimin farklı taşıt çıkış güçlerine göre değişimi	84

Şekil 32. Etanol –benzin karışımları ve benzin yakıt kullanımının maksimum motor titreşim değerleri	100
Şekil 33. Etanol –benzin karışımları ve benzin yakıt kullanımının gürültü emisyon seviyesinin ortalaması.....	102
Şekil 34. Dört zamanlı bujili ateşlemeli motorun	104
Şekil 36. 100% saflığında Alkol karışımların CO2 yüzdesi ile ilişkisi	147
Şekil 37. 90% saflığında Alkol karışımların CO2 yüzdesi ile ilişkisi	148
Şekil 38. 80% saflığında Alkol karışımların CO2 yüzdesi ile ilişkisi	148
Şekil 39. 100% Saflığı alkol H/Y oranı-alkol'un yüzdesi ile ilişkisi	149
Şekil 40. 90% Saflığı alkol H/Y oranı-alkol'un yüzdesi ile ilişkisi	149
Şekil 41. 80% Saflığı alkol H/Y oranı-alkol'un yüzdesi ile ilişkisi	150
Şekil 42. 100% Saflığı alkol Tdp-alkol'un yüzdesi ile ilişkisi.....	150
Şekil 43. 90% Saflığı alkol Tdp-alkol'un yüzdesi ile ilişkisi.....	151
Şekil 44. 80% Saflığı alkol Tdp-alkol'un yüzdesi ile ilişkisi.....	151
Şekil 45. 100% saflığı alkol'un Hava/Yakıt oranı – Tdp ile ilişkisi.....	152
Şekil 46. 90% saflığı alkol'un Hava/Yakıt oranı – Tdp ile ilişkisi.....	152
Şekil 47. 80% saflığı alkol'un Hava/Yakıt oranı – Tdp ile ilişkisi.....	153
Şekil 48. Etanol saflığına göre Tdp ile ilişkisi.....	154
Şekil 49. Metanol saflığına göre Tdp ile ilişkisi	154
Şekil 50. Propanol saflığına göre Tdp ile ilişkisi.....	155
Şekil 51. Bütanol saflığına göre Tdp ile ilişkisi.....	155
Şekil 52. Hava/Yakıt oranı – Alt ısı değeri ile ilişkisi	156

ÖNSÖZ

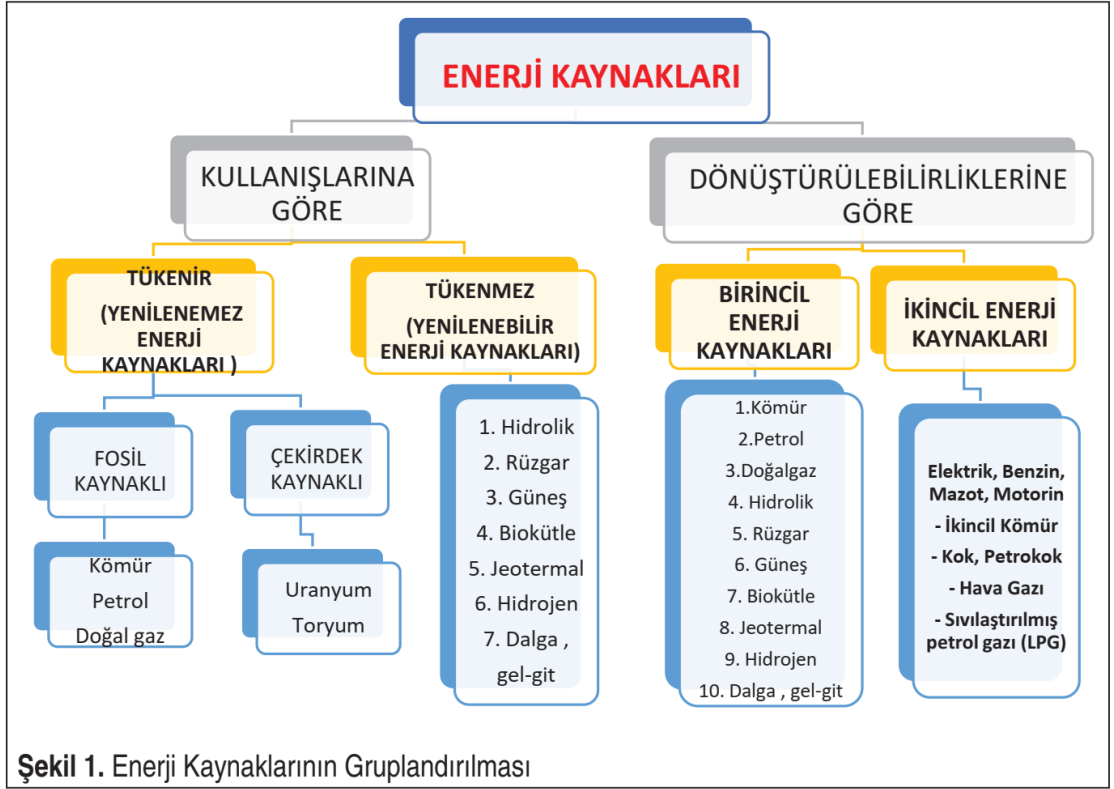
Bu araştırmada bana yardımcı olan ve destek veren herkese gönülden teşekkür ederim, bilimsel araştırmalardaki desteği ve bilimsel tavsiyelerinden dolayı danışmanım Prof. Dr. Bedri YÜKSEL'e teşekkür ederim.

Beni manevi ve maddi olarak destekledikleri için aileme özellikle teşekkür etmek istiyorum ve onlarsız bu iş tamamlanamazdı.



GİRİŞ

En basit şekilde iş yapabilme yeteneği olarak tanımlanan enerji, özellikle; 1970’li yıllardan sonra ülkelerin gelişmesinde en etkili parametrelerden birisi olmuş ve olmaya devam etmektedir. Enerji, ürünlerin üretim maliyetlerinde en etkili girdilerden birisini oluşturmaktadır. Günümüz dünyası, enerji ihtiyacını değişik enerji kaynaklarından sağlamaktadır. Bu kaynaklar en genel halde Şekil 1’de gruplandırılmıştır (Koç, 2018).Bu kaynakların kullanım oranları çok değişik olmakla birlikte, halen daha birincil enerji kaynakları olarak isimlendirilen, petrol, doğalgaz, kömür, hidrolik ve nükleer enerji en önemli tüketilen enerji kaynaklarıdır. Bu enerji kaynaklarının tüketim miktarları ve oranları Şekil 2’de görülmektedir.



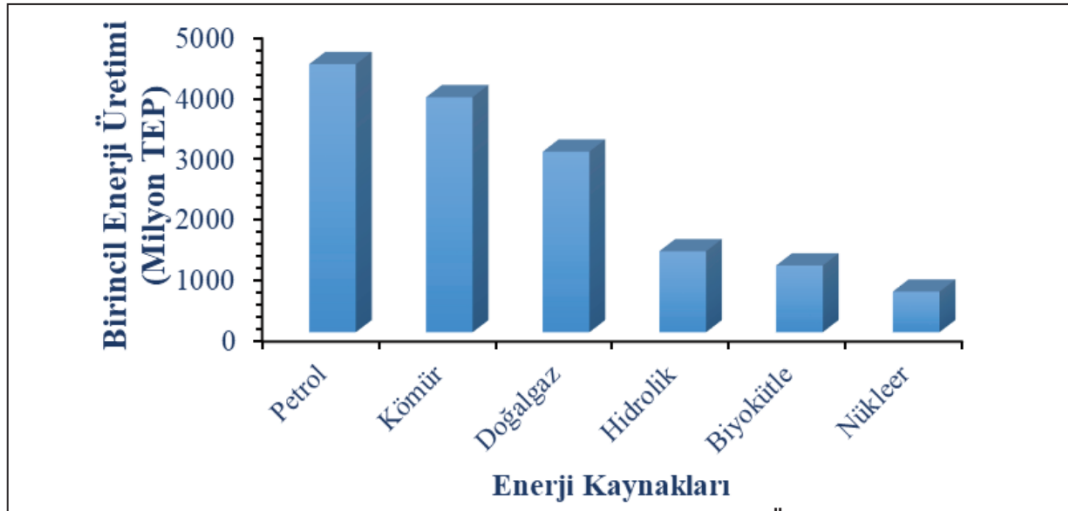
Şekil 1. Enerji Kaynaklarının Gruplandırılması

Şekil 1. Enerji kaynaklarının Gruplandırılması (International Energy Agency,2017)

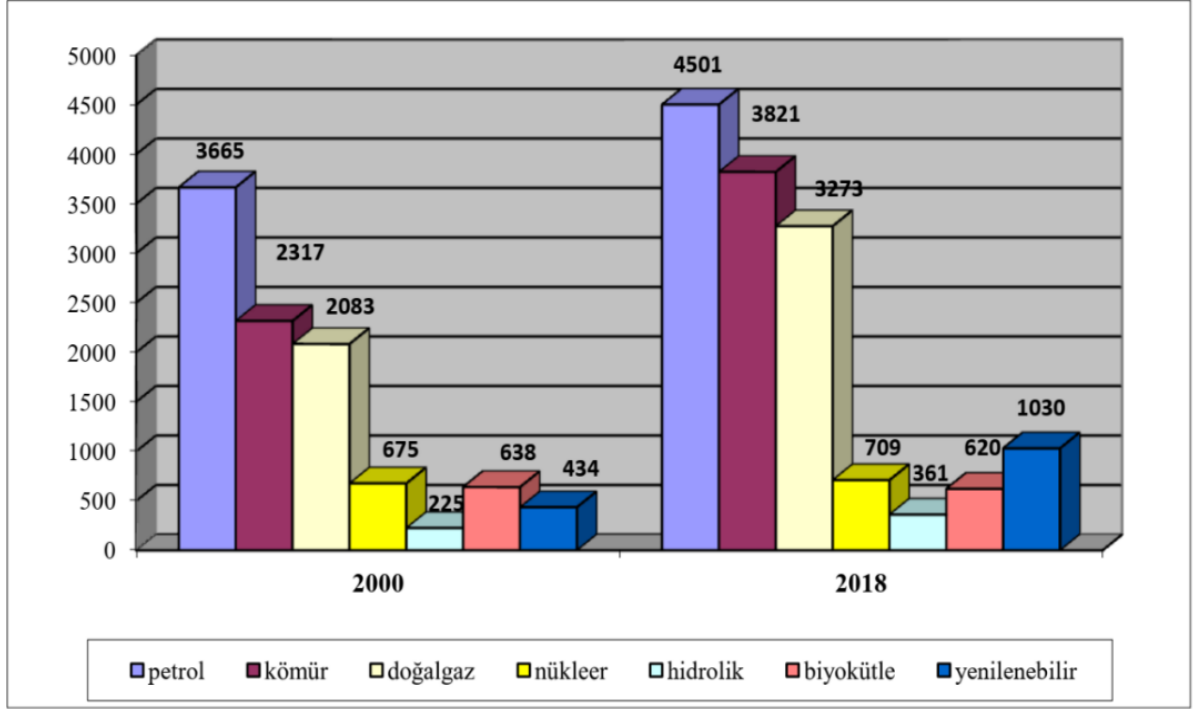
Şekilden görüleceği gibi en büyük enerji tüketim miktarı; petrol, ondan sonra sırası ile kömür, doğalgaz ve hidrolik gelmektedir. Dünya Birincil Enerji Arzının Kaynaklara Göre Dağılımı (MTEP) ise Şekil 3’de verilmiştir.

Ülkelerin gelişmişliğinde enerji tüketim miktarları önemli rol oynamaktadır. Bu nedenle ülkeler, yıllardır, enerji kaynaklarına ve enerji geçiş güzergahlarına sahip olmak için yarış içerisindedirler. Bu nedenle, son yüz yılda ülkeler, dış politikalarını buna göre oluşturmaktadır. Enerji kullanımı dünyaca çok önemsendiğinden artık, ülkelerin gelişmişliğinin bir ölçüsü olarak olarak kişi başına tüketilen ortalama enerji miktarları kullanılabilir. Tablo 1’de 2016 yılına ait Dünyanın ve Ülkelerin Enerji Göstergeleri verilmiştir. Çizelgeden açıkça görüleceği gibi gelişmiş ülkelerin Kişi Başına düşen Enerji Tüketimi miktarları (TEP: ton eşdeğer petrol) diğer ülkelere göre yüksektir. Ülkemizde bu değer diğer ülkelere göre düşük görülmektedir. Dünya ortalaması 1,9 TEP iken ülkemizin 1,54 TEP olarak dünya ortalamasının da altındadır.

Ülkemiz, tükettiği enerjinin önemli bölümünü birincil enerji kaynaklarından sağlamaktadır. Şekil 4’den görüleceği gibi, son yıllarda, yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı giderek artmasına rağmen, halen daha ülkemizde de sırasıyla petrol, doğalgaz ve kömürden sağlanan enerji en büyük payları oluşturmaktadır. 1990-2018 yıllarında Türkiye toplam birincil enerji üretimi ve arzı [5] Şekil 5 de görülmektedir.



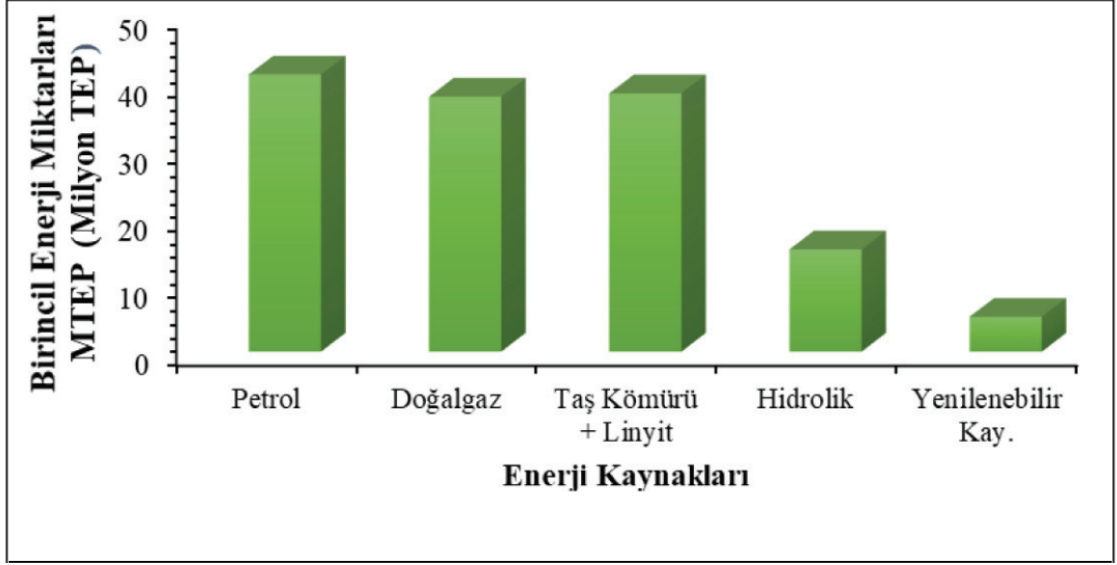
Şekil 2. Dünya Genelinde Kaynak Bazında Birincil Enerji Üretim Miktarı (Milyon ton eşdeğer petrol) (Koç,2008)



Şekil 3. Dünya Birincil Enerji Arzının Kaynaklara Göre Dağılımı (MTEP)
(2000 – 2018) (IEA,2019,s 38.)

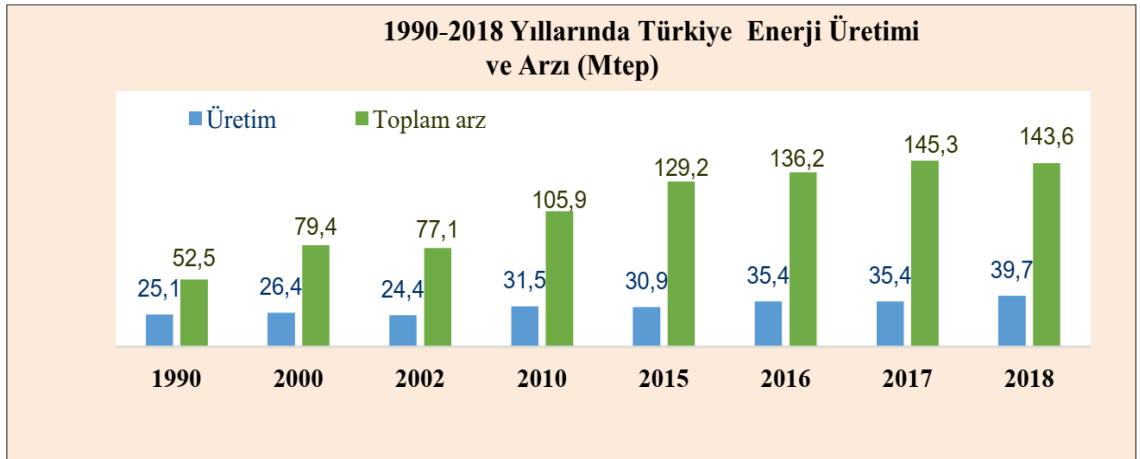
Tablo 1. Dünya ve Ülkelerinde Enerji Göstergeleri (2016) (International Energy Agency,2017)

Ülke	Nüfuse (milyon)	Elektrik Tüketimi (TWh)	CO ₂ Emisyonu (Milyon Ton)	Kişi Başına Enerji Tüketimi (TEP)	Kişi Başına Elektrik Tüketimi (kWh)
Çin	1379,2	5593	908,1	2,21	4057
Hindistan	1311,1	1126,5	2066	0,62	859
ABD	321,7	4128,5	4997,5	6,92	12833,25
Rusya	144,096	983,42	1543,12	5,11	6562
Japonya	127,141	998,7	1141,6	3,57	7865
Kanada	35,9	544,5	549,2	7,2	15188
Türkiye	79,51	209,22	317,2	1,54	2761
Dünya	7334,00	22386	32294	1,9	3052

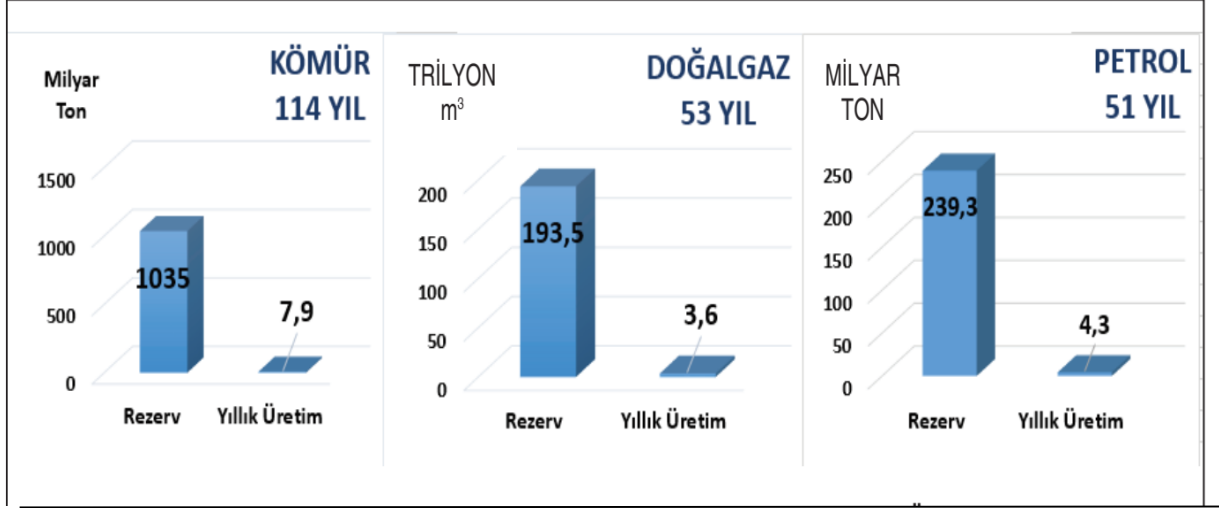


Şekil 4. Türkiye 2016 yılı Birincil Enerji Tüketimi Kaynak Bazında Dağılımı

Yukarıdaki açıklamalardan da anlaşılacağı gibi, Dünya ve Türkiye enerji ihtiyacının önemli kısmını fosil kökenli yaktlardan sağlamaktadır. Ancak, bu enerji kaynaklarının rezervleri sınırlıdır ve yakın bir gelecekte tükeneceği artık kesinlik kazanmıştır. Bu kaynaklara biçilen tahmini ömür Şekil 6'de verilmiştir. Bu kaynaklarla ilgili yeni enerji rezervleri bulunsada kaynakların sınırlı olduğu ve bir süre sonra tükeneceği kesinleşmiştir.



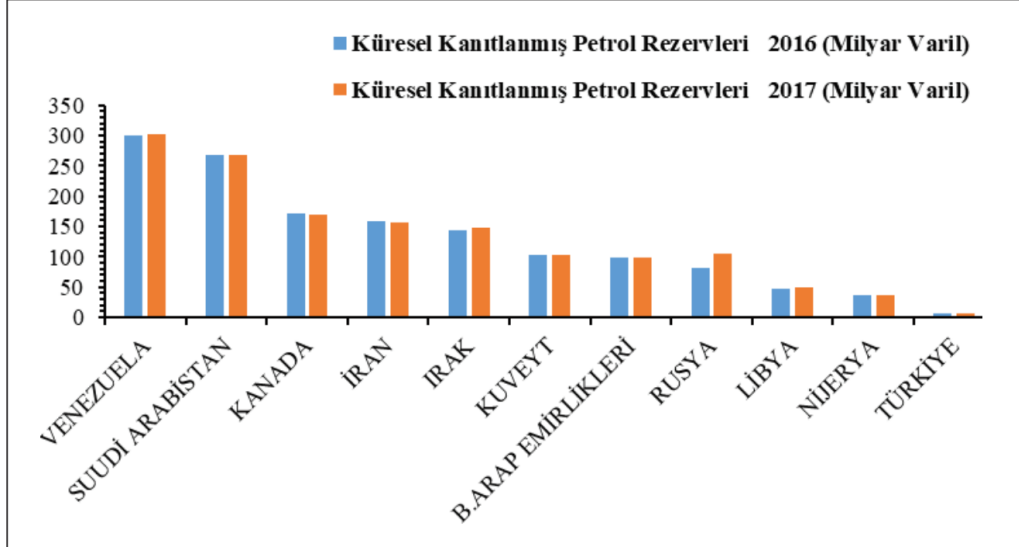
Şekil 5. 1990-2018 Yıllarında Türkiye Toplam Birincil Enerji Üretimi ve Arzı (ETKB,2016)



Şekil 6. Dünyadaki Fosil yakıtların rezerv miktarları ve kalan ömürleri (2017)
(ETKB,2017)

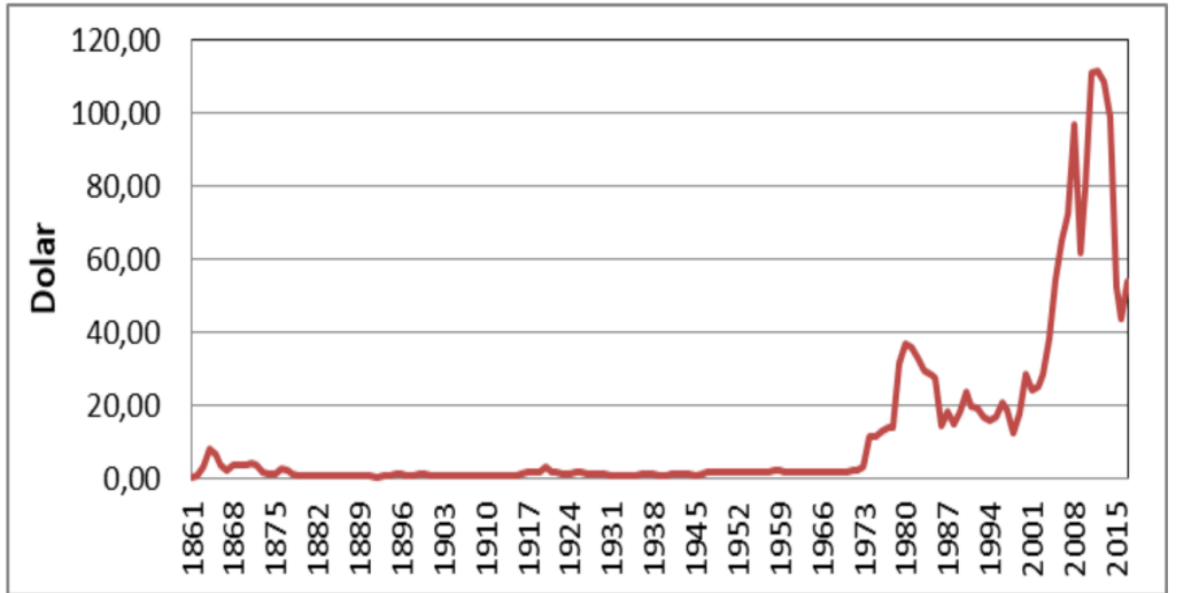
Günümüzde fosil kökenli enerji kaynakları ulaşım, elektrik üretimi ve diğer (stasyoner, gemi, lokomotif ve uçak, domestic vb.) alanlarda, çok yaygın şekilde kullanılmaktadır. İçten yanmalı motorlarda yaygın olarak benzin, dizel, LPG ve doğalgaz kullanılmaktadır. İçten yanmalı motorlarda en yaygın şekilde dizel ve benzin yakıtları kullanılmaktadır. Sabit tip ve elektrik üretimi amaçlı içten yanmalı motorlarda doğalgaz da önemli ölçüde kullanılmaktadır. Petrol rezervleri için dünya genelinde 53 yıl gibi bir ömür biçilmektedir. Önemli petrol rezervlerine sahip olan ülkeler ve rezerv miktarları Şekil 6'da verilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi ülkemizin petrol rezervleri yok denecek kadar azdır ve ülkemiz bu açıdan dışa bağımlı bir ülkedir.

Petrol, bilindiği gibi ulaşım sektöründeki en önemli enerji kaynağıdır. Ancak, yukarıda belirtildiği gibi dünya üzerinde rezervleri sınırlıdır ve yakın bir gelecekte tükeneceği kesinlik kazanmıştır. Yeni bulunan ve bulunabilecek rezervler tüketim miktarının da giderek artması nedeniyle, geleceğe yönelik bir umut vermemekte, ülkeler, bu alanda büyük endişe taşımaktadırlar. Dünya, 1973 enerji krizinden sonra fosil kökenli yakıtların, özellikle petrolün yerini alabilecek yakıtlar konusunda büyük arayış içerisinde olduklarıdır.



Şekil 7. Küresel Kanıtlanmış Petrol Rezervleri (ETKB,2016)

Petrol ve diğer fosil kaynaklı yakıtların yakın bir zamanda tükeneceğinin anlaşılması, yakıt fiyatlarında aşırı artışları da getirmiştir. 1970’li yıllara kadar düşük fiyatlı olan petrol ilk önemli fiyat artışını 1973 yılında yaklaşık 5 kat artışla sağlamış ve dünyayı enerji krizine sokmuştur. Tablo 2 ve Şekil 6’dan görüleceği gibi hem ülkemiz ve hemde diğer dünya ülkeleri için enerji ve genellikle buna bağlı olarak ekonomik krizler petrol fiyatlarının aşırı yükseldiği yıllara karşı gelmektedir.



Şekil 8. Yıllara göre dünya Petrol Fiyatları (1861-2017) (BP, 2018)

Tablo 2. Dünya Yıllık Ortalama Ham Petrol Fiyatları (Dolar) (Tim McMahon,2021)

Annual Average Domestic Crude Oil Prices (in \$/Barrel) (1946-Present)					
(Yıl) Year	Fiyat (Nominal Price)	Inflation Adjusted Price (March 2022)	Yıl (Year)	Fiyat (Nominal Price)	Inflation Adjusted Price (March 2022)
1946	\$1.63	\$23.63	1985	\$26.92	\$71.95
1947	\$2.16	\$27.77	1986	\$14.44	\$37.86
1948	\$2.77	\$33.13	1987	\$17.75	\$44.91
1949	\$2.77	\$33.45	1988	\$14.87	\$36.20
1950	\$2.77	\$33.11	1989	\$18.33	\$42.50
1951	\$2.77	\$30.68	1990	\$23.19	\$50.88
1952	\$2.77	\$30.00	1991	\$20.20	\$42.65
1953	\$2.92	\$31.31	1992	\$19.25	\$39.44
1954	\$2.99	\$32.02	1993	\$16.75	\$33.35
1955	\$2.93	\$31.41	1994	\$15.66	\$30.37
1956	\$2.94	\$31.12	1995	\$16.75	\$31.61
1957	\$3.14	\$32.12	1996	\$20.46	\$37.48
1958	\$3.00	\$29.89	1997	\$18.64	\$33.39
1959	\$3.00	\$29.59	1998	\$11.91	\$21.01
1960	\$2.91	\$28.32	1999	\$16.56	\$28.51
1961	\$2.85	\$27.41	2000	\$27.39	\$45.71
1962	\$2.85	\$27.09	2001	\$23.00	\$37.36
1963	\$2.91	\$27.34	2002	\$22.81	\$36.43
1964	\$3.00	\$27.81	2003	\$27.69	\$43.29
1965	\$3.01	\$27.45	2004	\$37.66	\$57.28
1966	\$3.10	\$27.46	2005	\$50.04	\$73.60
1967	\$3.12	\$26.90	2006	\$58.30	\$83.12
1968	\$3.18	\$26.25	2007	\$64.20	\$88.86
1969	\$3.32	\$26.03	2008	\$91.48	\$121.76
1970	\$3.39	\$25.11	2009	\$53.48	\$71.54
1971	\$3.60	\$25.56	2010	\$71.21	\$93.88

1972	\$3.60	\$24.75	2011	\$87.04	\$111.26
1973	\$4.75	\$30.51	2012	\$86.46	\$108.29
1974	\$9.35	\$54.43	2013	\$91.17	\$112.51
1975	\$12.21	\$65.19	2014	\$85.60	\$103.91
1976	\$13.10	\$66.20	2015	\$41.85	\$50.76
1977	\$14.40	\$68.28	2016	\$36.34	\$43.48
1978	\$14.95	\$65.94	2017	\$43.97	\$51.56
1979	\$25.10	\$98.50	2018	\$57.77	\$66.13
1980	\$37.42	\$130.72	2019	\$50.01	\$56.23
1981	\$35.75	\$113.20	2020	\$32.25	\$35.79
1982	\$31.83	\$94.90	2021	\$ 60.84	\$64.42
1983	\$29.08	\$83.97	2022 (Mart)	\$ 87.43	\$88.38
1984	\$28.75	\$79.59	2022 (Mayıs)	\$ 110.11	\$ 112,70

İçten yanmalı motorlar; öncelikle ulaşım alanı olmak üzere, elektrik üretimi ve diğer (stasyoner, gemi, lokomotif ve uçak, domestic vb.) alanlarda çok yaygın şekilde kullanılmaktadır. Bu motorlarda, özellikle yaygın şekilde petrol türevi yakıtlar kullanılmaktadır. Bu yakıtlara da yaklaşık 53 yıl gibi kısa bir ömür biçilmektedir. Bilindiği gibi petrol kaynakları her ülkede bulunmamaktadır. Dünyanın belli başlı ülkelerinde bulunmaktadır. Ülkemizin petrol yönünden şanssız bir ülkedir. Önemli petrol rezervlerine sahip olan ülkeler ve rezerv miktarları Şekil 7’de görülmektedir. Şekilden de görüleceği gibi ülkemizin petrol rezervleri maalesef yok denecek kadar azdır ve ülkemiz bu açıdan dışa bağımlı bir ülkedir.

Ulaştırma sektöründe ağırlıklı olarak petrol kökenli benzin ve dizel yakıtlar kullanılmaktadır. Bazı şstasyonel motorlarda elektrik üretim amaçlı doğalgaz ve küçük ticari araç motorlarında ise LPG (sıvılaştırılmış petrol gazı) yakıt olarak kullanılmaktadır. Yaygın kullanılan ve petrol kökenli yakıt tüketen makinelerden birisi benzinli (bujili ataşlemeli) motorlardır. Günümüzde çok yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Ancak, bu makineler aynı zamanda, insan sağlığını tehdit eden,

önemli hava kirliliği oluşturan zararlı emisyonlarda üretmektedirler. Hava kirliliğinin %40'ının içten yanmalı motorlardan kaynaklandığını, Birleşmiş Milletler istatistik verilerince de doğrulamaktadır. Bu nedenle, araştırmacılar son yıllarda, bir yandan içten yanmalı motorların verimliliğini artırmaya, diğer yandan içten yanmalı motorlardan kaynaklanan zararlı emisyonları azaltmaya yönelik bilimsel çalışmalar yapmaktadırlar. Bu çalışmalar, teorik ve deneysel alanda yapılan bilimsel çalışmalardır (Lutsey N,2005).

Otomobillerde kullanılan petrolden türetilmiş yakıtların gelecekteki yakıt ihtiyacını karşılamıyacağına anlaşılması ve giderek yükselen yakıt fiyatları, alternatif enerji kaynaklarına yönelik araştırmalara olan ilginin artmasına neden olmuştur. Aynı zamanda, otomobil sayılarının artmasına bağlı olarak, egzozlardan çıkan zararlı gazların da artması çevre kirliliği açısından olumsuz endişeleri de artmıştır. Bu nedenle, alternatif yakıtların araştırmalarında, çevresel kaygıları da azaltmak için önlemlerin alınmasını zorunlu hale getirmiştir. Yapılan çalışmalar paralelinde, hava kirliliği alanında çıkarılan yönetmeliklerle motor emisyonlarında önemli azalmalar sağlanmıştır (Tablo 3). Çizelgelerden görüleceği gibi 1992 - 2010 yılları arasında getirilen standartlar ile zararlı emisyon miktarlarında önemli azalmalar sağlanmıştır.

Tablo 3. Hafif araçlar için AB standartları

Hafif Taşıtlar	PM (mg/km)		NOx (g/km)		HC (g/km)		HC+NOx (g/km)	
	Dizel	Benzinli	Dizel	Benzinli	Dizel	Benzinli	Dizel	Benzinli
Euro1(1992-1993)	140	–	–	–	–	–	0.97	0.97
Euro2(1995-1996)	80/100	–	–	–	–	–	0.7/0.9	0.5
Euro 3 (2000)	50	–	0.50	0.15	–	0.20	0.56	–
Euro 4 (2005)	25	–	0.25	0.08	–	0.10	0.30	–
Euro 5 (2008)	2.5	2.5	0.08	0.08	0.05	0.05	–	–

Tablo 4. Ağır vasıtalar için AB standartları

Ağır Taşıtlar	NO _x (g/kWh)	HC (g/kWh)	PM (mg/kWh)
Euro 1 (1992-1993)	9.0	1.23	400
Euro 2 (1995-1996)	7.0	1.1	150
Euro 3 (2000)	5.0	0.66	100/160
Euro 4 (2005)	3.5	0.46	20/30
Euro 5 (2008)	2.0	0.46	20/30
Euro VI (2010)	0.05	0.46	2/3

Türkiye, birincil enerji kaynakları bakımından kendine yetemeyen ülke olmasına karşılık, biyoenerji potansiyeli bakımından umut verici konumdadır. Ayrıca, linyit ve hidrolik potansiyeli açısından da önemli kaynaklara sahiptir. Türkiye'nin ekonomik kalkınmasını olumsuz yönde etkileyen, petrol ihtiyacını karşılaması için, büyük ölçüde güvenli dış kaynaklara ihtiyacı vardır ve ithal yolu ile enerjisini karşılaması gerekmektedir (Noor MM, 2014).

Ülkemizde yerli petrol yakıt üretimi, tüketime göre oldukça sınırlıdır. Petrol ihtiyacının % 80'den fazlası ithalatla karşılanmaktadır. Bu sorun devam ettiği sürece, yeni enerji kaynakları arayışı sürekli artmaktadır. Ülkemizin enerji politikasının temel amacı, büyük ölçüde etkilenen ve istikrarsız petrol fiyatları ile ilişkilendirilen, hedeflenen ekonomik ve endüstriyel büyümeyi gerçekleştirmek için çevresel etkileri de dikkate alarak ekonomik olarak ulaşılabilir yeterli enerjiyi sağlamaktır (Noor MM, 2014)..

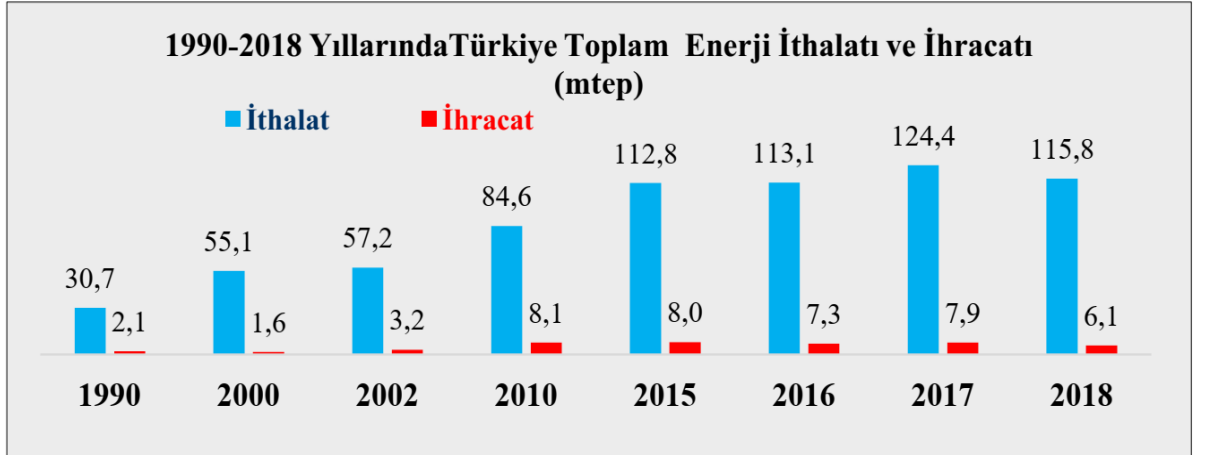
Kısaca, sanayileşmenin artmasına paralel olarak hızla artan enerji ihtiyacı, yeni ve yenilenebilir yakıtların devreye girmesine neden olmuştur. Temiz yakıtlara sadece enerji ihtiyacını karşılamak için değil, aynı zamanda dünyamızın doğal dengesini bozmamak için de ihtiyaç duyulmaktadır. Sınırlı enerji kaynaklarına rağmen, enerji tüketiminin sürekli artması, mevcut yüzyılda ve gelecekte ülkemizi ve dünyayı sıkıntıya sokabilecek önemli bir sorundur. Ülkemizin fosil yakıtlara bir diğer ifade ile petrol, doğalgaz ve kömür yakıtlarına bağımlılığı, aynı şekilde benzer ülkelerin, yani; yurtdışından ihtiyaç duyduğu enerjiyi karşılayan ülkeler için enerji problemi çözülmesi gereken en önemli bir sorunlardan birisidir (Shafiee S,2009).

Özet olarak; dünya ülkeleri, 1973 enerji krizinden sonra, enerji sorununu çözmek için aşağıdaki alanlarda çalışmalarını yoğunlaştırmışlardır.

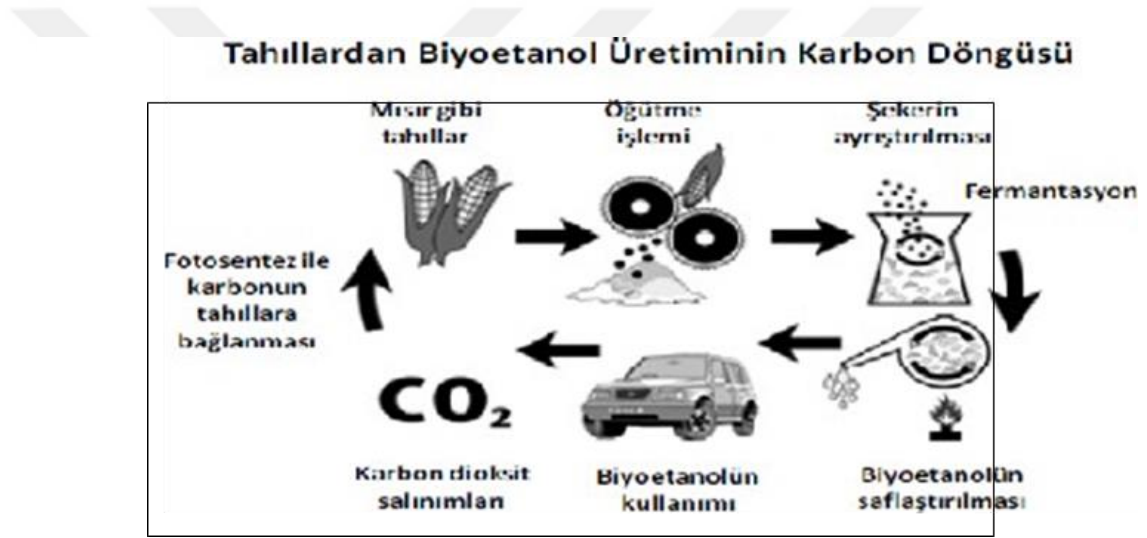
- Kendi özkaynaklarını, özellikle yeni ve yenilenebilir temiz enerji kaynaklarından faydalanmayı ön plana çıkarmışlardır. Bu kaynakları etkin ve verimli şekilde kullanma yollarını araştırmaya başlamışlardır. Güneş, rüzgar, biyoyakıtlar, jeotermal gibi enerji kaynaklarından yararlanma konusunda, çok önemli adımlar atılmış ve başarılar sağlanmıştır, ancak gelinen nokta açısından halen sorunlar devam etmektedir.
- Sanayi, ulaşım ve konut sektörlerinde enerji verimliliği üzerinde yoğun çalışmalar yapılmaya başlamıştır. Konut sektöründe akıllı, yalıtımlı binalar önplana çıkarken, sanayide eski, hantal yakıt yakan sistemler tamamen elektronik kontrol sistemleri ile kontrol edilmiş ve önemli yakıt tasarrufları sağlanmıştır. Ulaşım alanında, motor teknolojisinde önemli ilerlemeler sağlanmış, araç ağırlıkları azaltılmış, yakıt sistemleri önemli düzeyde modernize edilerek küçümsenmeyecek yakıt tasarrufları sağlanmıştır.
- Yakıt tüketen sistem ve makinelerde yakıt sistemlerinin modernize edilmesi ve yanmada verimliliğin sağlanması konusunda özellikle, yanmanın kontrolü alanında önemli çalışmalar yapılmış, enerji geri kazanım sistemleri devreye sokulmuş, halen bu önlemler ilerleyen teknolojiye bağlı olarak yapılmaya devam edilmektedir.

Ülkemizde de yukarıda belirlenen alanlarda gerek bilimsel gerekse uygulama alanında çok sayıda çalışmalar yapılmış ve yapılmaya devam etmektedir. Özellikle sanayi ve konut sektöründe enerji tasarrufu konusunda başarılı çalışmalar yapılmıştır. Kendi yeni ve yenilenebilir özkaynaklarımızın kullanımı açısından da önemli çalışmalar yapılmıştır. Şekil 9'da bu alandaki enerji üretim miktarlarındaki artış bunu açık şekilde göstermektedir.

Alkoller, yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarından birisi olup, 1970'li yıllardan sonra petrol türevi yakıtların yerini almak üzere, üzerinde çalışılan önemli enerji kaynaklarından birisidir. Şekil 10 ve 11'de de görüldüğü gibi genellikle çeşitli organik maddelerden üretilmektedir. Şekil 12'de görüldüğü gibi şeker fabrikalarında atık olarak görülen melastan biyoetanol üretilmesi durumunda sıfır atık oluşmaktadır.



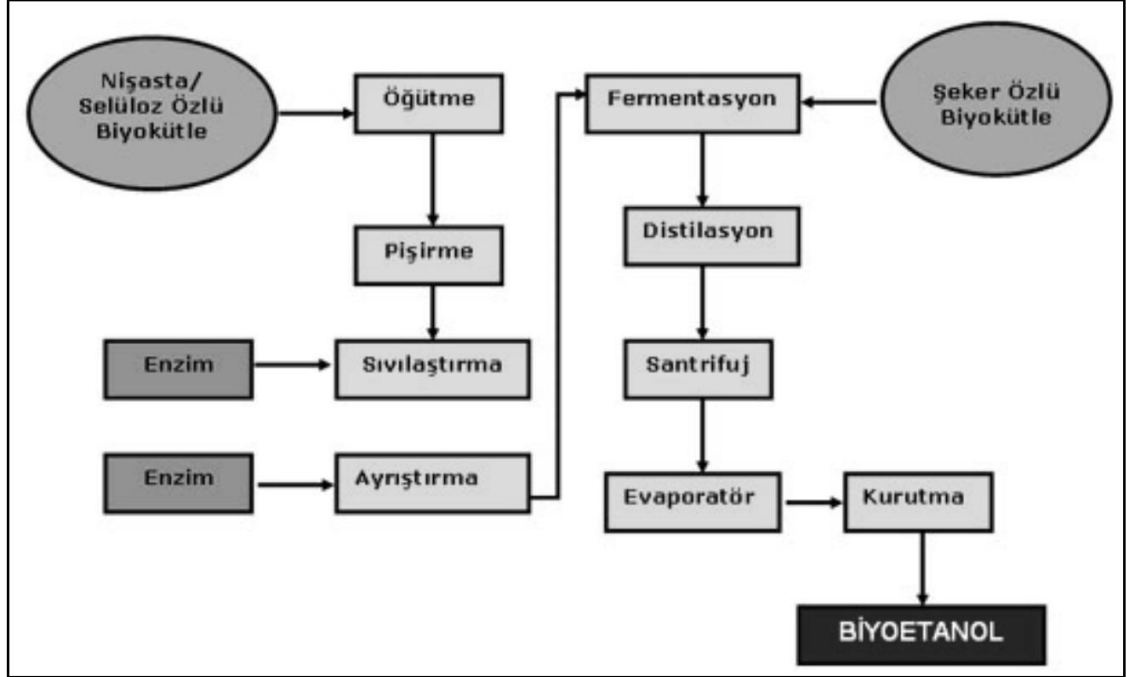
Şekil 9. 1990-2018 yılları arasında Türkiye Toplam Enerji Dış Ticareti (ETKB/EİGM,2018)



Şekil 10. Tarım ürünlerinden biyoetanol üretiminin karbon döngüsü (Melikoğlu M,2010)

(Değişik hammaddelerden biyoetanol üretim aşamaları (Melikoğlu ve Albostan,2011) Alkollerin, önemine istinaden Brezilya ve ABD de çeşitli tarım ürünlerinden üretimi artırılmıştır. Brezilya yılda 12 kez hasat edilebilen alkol içeriği yüksek bitkileri seralarda yetiştirmeye başlamışlardır. Bu ülkeler de benzinli araçların yerini sadece alkolle çalışan motorlar almaya başlamış ve alkol istasyonları kurulmuştur.

Alkoller, yirminci yüzyılın başından bugüne kadar bir oktan artırıcı olarak benzin yakıtına karıştırılarak kullanıldı, ancak ilk zamanlar nispeten fiyatı yüksek olduğu için, çok az oranlarda kullanılmıştır.



Şekil 11. Ülkemizde Enerji Üretiminde Kullanılabilir Biyokütle



Şekil 12. Şeker pancarından biyoetanol üretiminde sıfır atık döngüsü

BİRİNCİ BÖLÜM

1973'teki enerji (petrol) krizinden sonra, alkollerin yakıt olarak kullanımı üzerine araştırmalar ve çalışmalar yeniden hız kazanmıştır. Brezilya, bu tarihten sonra, otomobillerde kullanılan benzin ve gazlı yakıtlardan hızlı bir şekilde dönüşüm yaparak, etanol kullanımını artırdı ve daha büyük miktarlarda alkol üretimine ve kullanımına, üretim ve yakıt sistemlerinin alkol yakıtlara göre geliştirmesine odaklandı. Daha sonra, sadece etanol ile çalışan araçlar yapıldı ve sayıları giderek artırıldı. Alkoller, saf yakıt olarak kullanıldığında, düşük emisyonları ve dünyadaki sera gazlarının azaltılması sebebiyle de alkol yakıt olarak kullanımının önemi artmıştır.

Ülkemizde de İthalatımızın en büyük kalemlerini oluşturan ve ekonomimize en büyük yükü getiren enerji sektöründe, ham petrol ve ham yağda döviz tasarrufunun yolu yerli üretim oranını artırmaktır. Yerli yakıt üretim kaynaklarından biriside alkollerdir. Bu çalışmada, daha önce yapılan araştırmalardan da faydalanarak, alkollerin belirli oranlarda benzin yakıtla karıştırılarak kullanım olanakları, alkol karışımlarının kullanımının motor performansı ve emisyonları üzerine etkisi, incelenecek, ekonomik ve maddi yönden önemini açıklanacaktır.

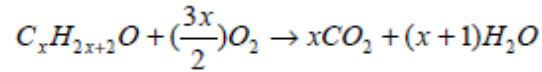
1.1. Literatür Özeti

Alkol bazlı yakıtlar, 1800'lerden beri önemli enerji kaynaklarından birisi olmuştur. 1894 gibi yıllarda, Fransa ve Almanya içten yanmalı motorlarda ilk olarak etanolü yakıt olarak kullanıyordu. Henry Ford, 1925'te etanolün geleceğın yakıtı olduğunu söylemiştir (Lutsey N,2005). 20. yüzyılın başlarında etanolün tek destekçisi o değıldi. Alexander Graham Bell, etanolün bir destekleyenlerden birisidir. Çünkü, etanolün yanmasına bağlı olarak motorn emisyonları azaldı (Noor MM, 2014). Thomas Edison, ayrıca çiftlik ürünleri için endüstriyel kullanım fikrini desteklemiştir ve Henry Ford'un etanol kampanyasını destek vermiştir (Shafiee S,2009).

Yıllar içerisinde, dünya genelinde, alkol bazlı yakıtlarla ilgilenen ülkelerde stratejik veya ekonomik duruma bağlı olarak, kısa vadeli kullanım artışları görölmüş ve ön plana çıkmıştır. Örneğın, Amerika Birleşik Devletleri, 1970'li yıllardaki petrol krizi sırasında, etanol yakıtı önemli şekilde yakıt olarak kullanmaya başlamıştır.

Alkoller, üç ana şekilde yakıt olarak kullanılmaktadır: birincisi, içten yanmalı motorlarda benzinin yerine geçen bir yakıt olarak, ikincisi, oktan artırıcı katkı maddesi olarak; petrol bazlı katkı maddelerine, tetraetil kurşun gibi metalik katkı maddelerine benzer şekilde oktan artırıcı (veya anti-vuruntu önleyici) olarak, üçüncüsü, bir yakıt hücrelerinde kimyasal enerjinin elektrik enerjisine doğrudan dönüştürülmesi için bir yakıt olarak.

Alkoller, oksijenli yakıtlar ailesine aittir. Hidroksil fonksiyonel gruplu hidrokarbonlardır. Hidroksil grubunun oksijeni yanmaya katkıda bulunur. En basit dört alkollü yakıt, metanol, etanol, propanol ve bütanoldür. Yakıt olarak daha karmaşık alkoller de kullanılabilir; ancak ticari olarak uygun olmadıkları için kullanılmamaktadır. Alkol yakıtları şu anda hem içten yanmalı motorlarda hem de yakıt hücrelerinde yakıt olarak kullanılmaktadır. Ancak, her iki sistemde de meydana gelen kimyasal olaylar aynıdır. Teorik olarak, motorlardaki ve yakıt hücrelerindeki alkol yakıtları, karbondioksit ve su oluşturmak için oksitlenirler. Gerçekte, noksan oksidasyon bir sorundur ve karbon monoksit, aldehitler, karboksilatlar ve hatta ketonlar dahil olmak üzere birçok toksik yan ürüne neden olurlar. Bir içten yanmalı motorda veya bir yakıt hücresinde tam alkol oksidasyonu için genel reaksiyon denklemi,



Şeklinde verilmektedir. Bir içten yanmalı motorda tek bir odada içerisinde yanmanın meydana geldiği, buradaki reaksiyonda kimyasal enerjinin ısı enerjisine dönüştüğü ve ısı enerjisinin de mekanik enerjiye dönüştürüldüğü dikkate alınmalıdır. Aynı şekilde, bir yakıt hücresinde de bu reaksiyonun iki ayrı odada (alkolün karbona oksitlendiği bir anot odası) meydana geldiğine dikkat etmek önemlidir. Bu olaylar sonucunda, karbon karbondioksite ve hidrojen suya indirgenmektedir.

Metanol (CH₃OH), molekül başına yalnızca bir karbon atomu ile kimyasal yapı olarak en basit alkoldür. Metanol çok toksik, tatsız bir sıvıdır, Renksizdir ve genellikle "odun alkolü" olarak bilinir (ETKB/EİGM,2017). Petrol yakıtlarına çekici bir alternatif haline getiren birçok avantajı vardır. Birincisi düşük maliyetlidir ve doğal gazın buharla yeniden biçimlendirilmesiyle üretilen sentez gazı (hidrojen ve karbon

monoksit karışımı), kömür gazlaştırma ve biyokütle üretimi gibi birçok şekilde üretilebilir. Büyük miktarlarda kullanılabilir veya rejenere edilebilir. Kanada'da metanol üretiminin maliyeti, petrol yakıtlarını çıkarmanın maliyetinin yarısıdır. Bu değer eşdeğer enerji bazında kıyaslanırsa benzine göre oldukça düşüktür.

Motorlarda metanol kullanımının ikincisi avantajı, düşük egzoz emisyonlarıdır. Ayrıca, metanolün daha düşük kaynama noktası nedeniyle yakıt daha hızlı buharlaşacak ve bu da motorun yanmasında avantaj sağlayacak ve dolayısıyla hidrokarbon emisyonlarını azaltacaktır. Ek olarak, metanolün yüksek oksijen içeriği ve basit kimyasal yapısı nedeniyle, buji ateşlemeli motorların yanmasını iyileştirebilir ve egzoz emisyonlarını azaltabilir.

Etanol, genellikle biyolojik maddelerden fermentasyon yoluyla üretilen yenilenebilir bir yakıttır. Etanol, Amerika Birleşik Devletleri'ne ilk olarak 1930'larda, içten yanmalı motor yakıtı olarak kullanıldı ve 1970 yılından sonra ise yaygın olarak kullanılmaktadır. Daha da önemlisi, 1930'larda Brezilya hükümeti benzinin % 5 biyoetanol ile karıştırılarak kullanılması konusunda karar aldı. 1973'teki ilk petrol krizi nedeniyle Brezilya, fosil petrole olan bağımlılığını azaltmak için ulusal alkol programını (NAP) oluşturmaya karar verdi (White TL,1907) ve yüksek oranlarda ve sadece alkolle çalışan motor üretimine geçti.

Etanol, şu anda ağırlıklı olarak Brezilya, Kanada, Amerika Birleşik Devletleri ve Hindistan'da yakıt olarak kullanılmaktadır. Ek olarak, etanol, oktan sayısını artırmak ve motorda yanmayı iyileştirmek için benzine katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. 2014 yılında, Amerika Birleşik Devletleri, küresel etanol üretiminin yaklaşık % 60'ını oluşturan, dünyanın en büyük yakıt etanol üreticisiydi. Brezilya, küresel üretimin % 25'ini oluşturarak, yaklaşık 23,47 milyar litre üretim yaptı (White TL,1907) . Öte yandan, AB'nin üretimi küresel üretimin yalnızca % 6'sını oluşturmaktadır. Çin ve Kanada da diğer önde gelen üreticilerdendir. Üretimin 2007'den 2010 arasında keskin bir şekilde artmaktadır ve 2011 ve 2012'deki düşüşlerden sonra, üretim 2015'teki en büyük miktara ulaşmıştır (Yusri ve Najafi ,2017).

Tablo 5. Dünya Etanol Üretimi (Ülke veya Bölgelere Göre) (Milyon Gallons)
(Bayraç,2021)

Ülke	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
ABD	13.298	13.948	13.300	13.300	14.300	14.806	15.250	15.800	16.100	13.800
Brezilya	6.922	5.573	5.577	6.267	6.190	7.093	7.295	7.060	7.950	7.930
Avrupa	1.209	1.168	1.179	1.371	1.445	1.387	1.377	1.415	1.430	1.250
Çin	542	555	555	696	635	813	845	875	1.180	880
Kanada	357	462	449	523	510	436	225	280	330	460
Dünyanın Geri Kalanı	985	698	752	1.272	1.490	1.147	490	465	550	600
Dünya Toplamı	23.311	22.404	21.812	23.429	24.570	25.682	26.504	27.050	28.700	29.100

Calam ve arkadaşları (Calam ve Solmaz ,2015), farklı fusel yağ karışım oranlarının (F5, F10, F20, F30, F500) SI motorunun performansı ve emisyonu üzerindeki etkilerini araştırdı. Çalışmalarının sonucu olarak, fusel miktarı arttıkça, oktan sayısı da artmıştır. Ayrıca, sıkıştırma oranını artırma olasılığı sayesinde gelişmiş motor verimliliği ve fren özgül yakıt tüketimi BSFC sağladığı için daha yüksek oktanlı yakıtlar tercih edilmektedir.

İKİNCİ BÖLÜM

MOTOR YAKITI OLARAK KULLANILAN ALKOLLER

Motorlarda yaygın şekilde yakıt olarak kullanılan alkoller; metanol (metal alkol), etanol (etil alkol), propanol ve butanoldür. Alkoller, içten yanmalı motorlarda (ICE=İYM) yakıt olarak kullanımı yaklaşık 100 yıllık bir geçmişe sahiptir. Alkol bazlı yakıtlar, biyokütlenin verimli bir şekilde alkole dönüştürülmesiyle yanma sırasında tamamen CO₂'e ve subuharına dönüştürülebilme potansiyeline sahip, yenilenebilir enerji çözümlerinden biri olarak kabul edilebilir. Alkollerin özellikle hafif araçlarda ulaşım amaçlı yakıt olarak kullanılması yeni bir olay değildir. Ancak, son zamanlarda dünya artan enerji ihtiyacı nedeniyle, önemli bir şekilde ilgi görmeye başlamıştır. İYM 'de yakıt olarak etanol, bütanol, metanol ve fusel yağı alkoller kullanılmaktadır. Şimdiye kadar, alkoller, özellikleri itibariyle, buji ateşmeli (SI) motorlarda uygulamalanmıştır. Bunun nedeni alkollerin yakıtsal özelliklerinin benzine çok yakın olması ve bu nedenle de benzin motorlarında kullanımını daha basit ve kolay olmasından kaynaklanmaktadır. Kullanılan yeni nesil alkoller, esas olarak mevcut yakıt kalitesi standartlarını bozmayacak şekilde, genellikle mevcut benzin tanklarına % 5-10 etanol eklenmesine yapılmıştır. Metanol, 1930'larda yüksek performanslı motorlar için benzin kaynağının yerini almak üzere araç yakıtı olarak da kullanılmıştır. Motorlarda kullanılan alkoller ve bunlara ait kısa bilgiler aşağıda verilmiştir.

2.1. Metanol (Metil Alkol)

Metanol (metil alkol olarak da bilinir) alkollerin en basitidir. Kimyasal yapısı CH₃OH'dir. En sık odun ve odun yan ürünlerinden üretilir, bu nedenle sıklıkla odun alkolü (odun ruhu) olarak da adlandırılır. Oldukça toksik olan renksiz bir sıvıdır. Mesleki Güvenlik ve Sağlık İdaresi (OSHA) onaylı maruz kalma sınırı 10 saat için 200 ppm'dir. Metanolün erime noktası -98 °C ve kaynama noktası 65 °C'dir. 0,791 g/ml yoğunluğa sahiptir ve metanolün tehlikelerinden birisi suda tamamen çözünür olmasıdır. İnsanlar tarafından içildiğinde, akut metanol zehirlenmesine, şiddetli kas ağrılarına ve körlüğe yol açan bir maddedir.

Yakıt olarak metanol düşünülduğünde, bu zehirli özelliği önemli bir sorun olmuşturmaktadır. Saf metanol ayrıca bazı metal alaşımları için çok aşındırıcıdır. Metanol, motorların ve yakıt sistemlerinin bazı malzemelerine aşındırma etkisi yapar, başka bir ifade ile alkoller yakıt sistemlerinde kullanılan bazı malzemeler ile reaksiyona girerek aşındırır. Bu da kullanımında önemli sorunlar oluşturur. Yakıt hücrelerinde kullanımında, hücrelerinin metanol tarafından aşınmayan bileşime sahip olmasını sağlamak için özen gösterilir. Günümüzde, bir yakıt olarak metanol üzerine yapılan araştırmaların çoğu, taşınabilir güç uygulamaları (şarj edilebilir pillerin değiştirmeleri) için doğrudan metanol yakıt hücrelerine (DMFC'ler) odaklanmıştır. Ancak, içten yanmalı motorlar için metanol-benzin karışımları üzerinde kapsamlı araştırmalar halen yapılmaktadır.

2.2. Etanol (Etil Alkol)

Etanol (etil alkol olarak da bilinir) alkollerin en yaygın olanıdır ve alkollerin genel ismi ile de isimlendirilir. Alkollü içeceklerde bulunan ve karbonhidratların fermantasyonu yoluyla mısır, şeker pancarı veya meyvelerden kolayca üretilen bir alkoldür. Kimyasal yapısı $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ 'dir. Metanolden daha az toksiktir. NIOSH tarafından önerilen maruz kalma sınırı 10 saat için 1000 ppm'dir (Yusri ve Najafi ,2017). Etanol, saf formda ve denatüre formda mevcuttur. Denatüre etanolü insanların içmesini önlemek için küçük bir konsantrasyonda zehirli bir madde (genellikle metanol) karıştırılır. Etanol, erime noktası $-144\text{ }^\circ\text{C}$ ve kaynama noktası $78\text{ }^\circ\text{C}$ olan renksiz bir sıvıdır. $0,789\text{ kg/L}$ yoğunluğa sahip, sudan daha düşük yoğunluktadır. Suda tüm konsantrasyonlarda çözünür. Etanol, % 10-85 arasındaki konsantrasyonlarda harmanlanmış şekilde benzinle birlikte sıklıkla kullanılan bir yakıttır. Yakın zamanlarda, doğrudan Etanol yakıt hücreleri (DEFC) ve biyoyakıt hücreleri için bir yakıt olarak çalışmalar yürütülmektedir. Etanol, Henry Ford tarafından “geleceğin yakıtı” olarak kabul edilmiş ve çeşitli nedenlerle en popüler alkollü yakıt olmaya aday gösterilmiştir.

Etanolün diğer alkollere göre avantajları:

(1) Yenilenebilir tarım ürünlerinden (mısır, şeker pancarı, şeker kamışı, patates, ve diğer bitkisel ürünlerden ve organik atıklardan) üretilir. Ayrıca, petrol ürünlerinden de üretilmektedir.

(2) Diğer alkol yakıtlardan daha az toksiktir.

2.3 Bütanol

Bütanol (C_4H_9OH), alkol bazlı yakıtların en karmaşık yapıda olanıdır. $CH_3CH_2CH_2CH_2OH$ yapısına sahip dört karbonlu alkoldür. Butanol, metanol veya etanolden daha toksiktir. Bir sıçanın oral butanol tüketimi için LD50 790 mg/kg'dır. Bir tavşan tarafından butanolün deri adsorpsiyonu için LD50 3400 mg/kg'dır. Bütanolün kaynama noktası 118 °C ve erime noktası -89 °C'dir. Bütanolün yoğunluğu 0.81 kg/L'dir, Bu nedenle, diğer iki alkolden daha yoğundur. Ancak sudan daha hafiftir. Bütanol genellikle çözücü olarak kullanılır, ancak, aynı zamanda yakıt olarak kullanılmaya da adaydır. Butanol, petrolden veya tarım ürünlerinin fermantasyon yoluyla üretilir. Başlangıçta butanol, Aseton-Butanol ve Etanolden üretildiği için ABE olarak adlandırılan bir fermantasyon işleminde tarım ürünlerinden üretilmektedir. Şu anda, bütanolün çoğu petrolden üretilmektedir. Bu da bütanolün etanolden daha pahalı olmasına neden olmaktadır. Ancak etanol ile karşılaştırıldığında bazı olumlu fiziksel özelliklere sahiptir. Bunlar, etanolden daha yüksek enerji içeriğine sahiptir. Bütanolün buhar basıncı 2,275 kPa (0,33) Psi'dir. Bu da hemen hemen etanolden 13,789 kPa (2,0 Psi) daha küçük ve hem metanolden 31,7158 kPa (4,6 Psi) hem de benzinden 31,026 kPa (4,5 Psi) daha azdır. Buhar basıncındaki bu azalma, bütanolün buharlaşmasında diğer yakıtlara göre daha az sorun olduğu anlamına gelir. Bu durum onu, diğer yakıtlardan daha güvenli ve daha çevre dostu yapar. Butanol, harmanlanmış yakıtlarda etanolün yerini almak üzere önerilmiştir, ancak şu anda etanolden daha maliyetlidir. Bütanol de doğrudan bütanol yakıt hücresinde kullanılmak üzere önerilmektedir. Ancak yakıt hücresinin verimliliği zayıftır, çünkü, eksik oksidasyon ürünleri, geleneksel bir yakıt hücresindeki platin katalizörü kolayca pasifleştirmektedir.

2.4 Propanol

Propanoller, C_3H_7OH genel formülüne sahip üç karbonlu alkol olmasına rağmen, nadiren yakıt olarak kullanılırlar. İzopropanol (ovma alkolü olarak da adlandırılır) sıklıkla dezenfektan olarak kullanılır ve etanolden daha iyi bir dezenfektan olarak kabul edilir, ancak nadiren yakıt olarak kullanılır. Diğer alkoller gibi renksiz bir sıvıdır ve yanıcıdır. 3 ppm kadar düşük konsantrasyonlarda fark edilebilen keskin bir kokuya sahiptir. İzopropanol aynı zamanda endüstriyel bir çözücü olarak ve yakıt hatlarındaki su veya buz problemlerinin üstesinden gelmek için ve bir benzin katkı maddesi olarak kullanılır. Donma noktası $-89\text{ }^{\circ}C$ ve kaynama noktası $83\text{ }^{\circ}C$ 'dir. İzopropanol tipik olarak ayrıştırılmış petrolden elde edilen propenden üretilir, ancak şekerlerin fermantasyonundan da üretilebilir. İzopropanol genellikle kimyasal sentez için veya bir çözücü olarak kullanılır, bu nedenle dünya çapında yaklaşık 2 milyon ton civarında üretilmektedir (Pourkhesalian ve Shamekhi 2010).

Günümüzün yakıt piyasasında, ticari olarak uygun ve yaygın kullanılan alkoller metanol ve etanoldür. Hem metanol hem de etanol, benzinle harmanlanarak kullanılmış ve kullanılmaktadır. Ancak, etanol, benzin karışımları için en uygun seçimdir. Şu anda, bütanol, karışlanmış yakıt pazarında etanol ile rekabet etmesi için çok pahalıdır. Ancak araştırmacılar, bütanol karışımlarına izin vermek için üretim maliyetini ve verimliliğini düşürmek için yöntemler üzerinde çalışmaktadırlar. Çünkü, buhar basıncı farkının çevresel avantajları vardır. Hükümetlerin teşvikleri, otomobillerde ve diğer enerji dönüştürme cihazlarında alkol bazlı yakıtların daha fazla kullanılmasını sağlamaktadır.

2.5. Füzel yağları

Alkollü sıvıların damıtılmasıyla elde edilen, kaynama derecesi yüksek bazı maddelerin genel adıdır. Bu yağlar, amil propil ve bütül alkollerden meydana gelir. Füzel yağı, fermantasyon sonucu oluşan yan ürünlerden biridir. Bütanol ve izoamil alkol içeren organik maddelerin karışımıdır. Kötü bir tadı ve kokusu vardır ve fermantasyonla üretilen alkolün damıtımı esnasında yan ürün olarak ortaya çıkar. Yüksek alkol kaynağı olarak, boya ve plastik yapımında kullanılır.

Tablo 6. Fuzel yağı bileşiminin özellikleri.

		Kimyasal Formülü	Molekül Ağırlığı (g/mol)	Yoğunluk (g/cm ³)	Kaynama Noktası (°C)	Erime Noktası (°C)	Hacimsel (%)	Vizkozite (cp)	Özgül Isısı (kal/g°C)
A M İ L	2-Metil 1-Butanol	C ₅ H ₁₂ O	88,148	0,815	129	-70	0,22	4	0,57
	4-Metil 2-Pentanol	C ₆ H ₁₄ O	102	0,8079	131,8	-90	0,27	--	--
	i-amil alkol (3-Metil 1-Butanol)	C ₅ H ₁₂ O	88	0,809	132	-117,2	62,29	3,86	0,535
A L K O L	n-Hekzanol (1-Hekzil Alkol)	C ₆ H ₁₄ O	102	0,8186	157,2	-51,6	0,51	--	--
	n-Heptanol (1-Heptil Alkol)	C ₇ H ₁₆ O	116	0,824	175	-34,6	0,08	--	--
	i-Butanol	C ₄ H ₁₀ O	74	0,805	108	-108	8,71	3,5	0,59
	n-Butanol	C ₄ H ₁₀ O	74	0,81	117	-79,9	0,12	2,6	0,687
	n-Propanol	C ₃ H ₈ O	60	0,804	97,2	-127	0,738	2,256	0,59
	i-Propanol	C ₃ H ₈ O	60	0,789	82,5	-85,8	8,06	2,1	0,66
	Etanol	C ₂ H ₆ O	46	0,789	78	-112	11,09	1,41	0,68
	Su	H ₂ O	18	1	100	0	10,3	1	1

Çalışmada, TS1810 standardına göre %99,5 saflıkta etil alkol üretimi yapan Eskişehir Şeker Fabrikası ve Konya Şeker Fabrikasının ürettiği fuzel yağı dikkate alınmıştır. Kurşunsuz benzin ve fuzel yağından üç farklı oranda yakıt karışımı hazırlanmıştır. Fuzel yağı, bazı çalışmalarda karışım olarak kullanılmıştır. Kullanılan karışıma ait bir örnek; F0 (%0 fuzel yağı + %100 kurşunsuz benzin), F5 (%5 fuzel yağı + %95 kurşunsuz benzin) ve F10 (%10 fuzel yağı + %90 kurşunsuz benzin)'dir. Bunların yakıtsal özelliklerine ait bir Tablo 6 aşağıda verilmiştir (Yakup,2012).

Son zamanlarda SI motorlarında yakıt karışımı olarak fuzel yağı bazı araştırmacıların dikkatini çekmiştir [8]. Fuzel yağı, damıtma işleminde fermantasyondan sonra üretilen alkolün bir yan ürünüdür ve doğal bir pentanol kaynağıdır (Noor MM, 2014).

Brezilya'da füzeli yağlı genellikle 1000 L etanol başına 2,5 L oranında üretilir. Ayrıca, Türkiye'de 1000 L alkol üretimi başına 2–3,5 L füzeli yağlı elde edilmektedir. Ancak füzeli yağlının özellikleri SI motorları için alternatif bir yakıt olarak kullanılabilmesini göstermektedir (Pourkhesalian ve Shamekhi 2010).

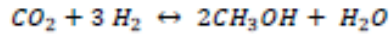
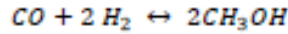
2.6. Alkollerin Üretim Yöntemleri

2.6.1. Metanol Üretimi

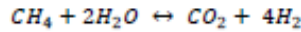
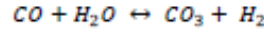
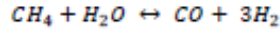
Metanol çeşitli kaynaklardan farklı yöntemler kullanılarak üretilmektedir. Bunlar önem sırasına göre aşağıda verilmiştir.

- Doğalgazdan Metanol Üretimi

Metanol, CO ve H₂ gazlarının katalitik sentezinden aşağıda verilen denkleme göre üretilir.

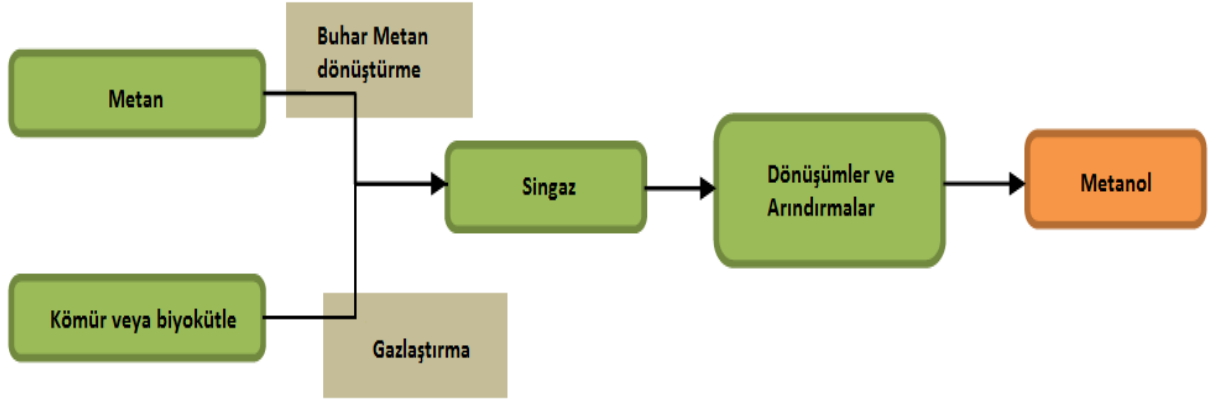


Sentez gazı, aşağıdaki verilen denklemlere göre doğal gazdan (CH₄) elde edilebilir:



Kömürden methanol Üretimi

Metanol üretiminin bir diğer üretim yolu kömür kullanmaktır. Örneğin, Çin, dünyanın en büyük kömür rezervlerine sahip ülkelerden biridir. Aslında, Çin'de metanolün % 75'i kömürden üretilmektedir (% 25'i doğalgazdan). Şu anda Çin, dünyadaki toplam üretim ve tüketimin % 20'sinden fazlasını temsil etmektedir ve dünyanın en büyük metanol pazarıdır (Wang ,2003).



Şekil 13. Metanolün kömür ve doğalgazdan üretim akış şeması

Biyokütleden methanol üretimi

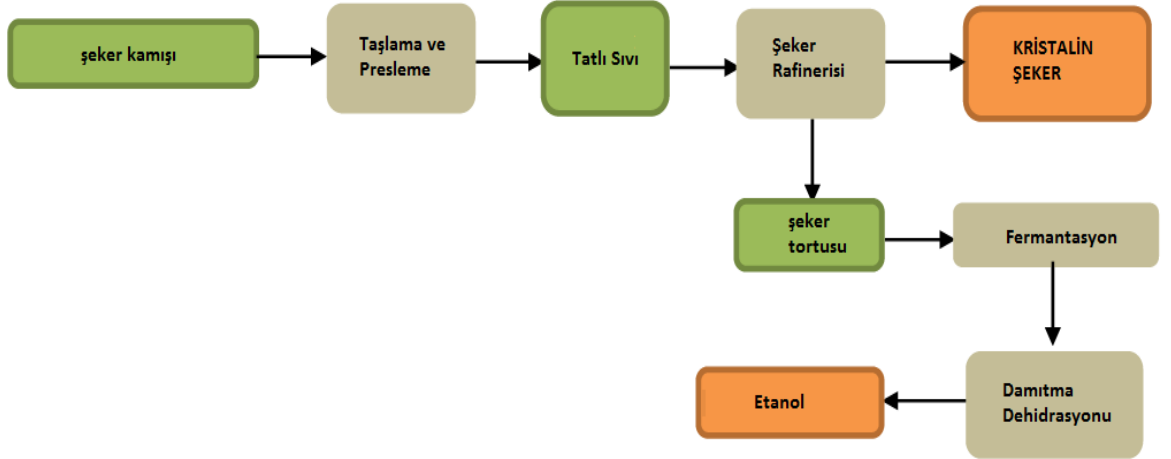
Metanol, hayvansal atıklar dahil, hemen hemen her türlü biyokütleden, endüstriyel atıklardan üretilebilir. Biyokütle, önce bir gazlaştırıcıda sentez gazına dönüştürülür, daha sonra buharla muamele edilerek metanol üretilebilir. Ayrıca, elektroliz veya enzimler kullanılarak bir laboratuvarında da üretim yapılabilir.

2.6.2 Etanol üretimi

Etanol çok çeşitli kaynaklardan farklı yöntemler kullanılarak üretilmektedir. Bunlar önem sırasına göre aşağıda açıklanmıştır.

Şeker Pancarı, Şeker Kamışı ve diğer şekerli bitkilerinden etanol üretimi

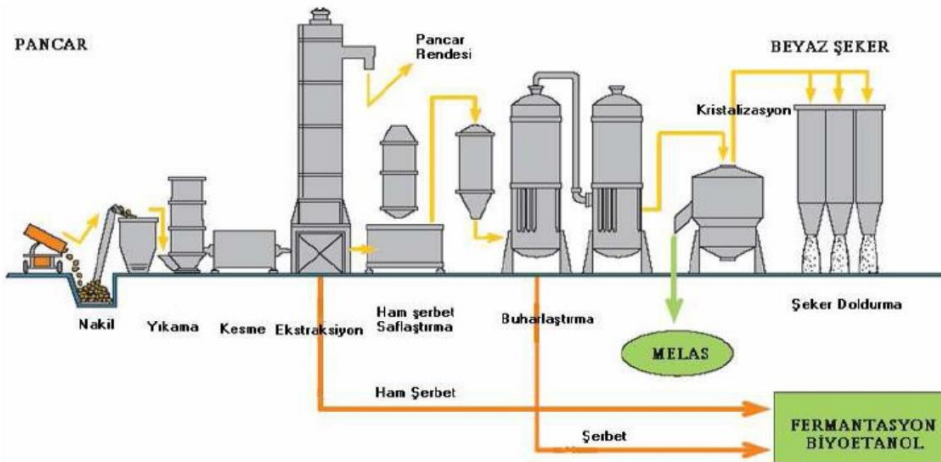
Şeker endüstrisinin bir yan ürünü olan şeker kamışı pekmezi, ve şeker pancarı melası etanol üretimi için önemli bir hammadde (Prasad ve ark, 2007). Kolayca fermente edilerek etanole dönüştürülebilir (% 50'ye kadar basit şeker içermektedir). Pekmezin düşük maliyeti ve yüksek miktarlarda bulunabilirliği, bu hammaddeyi etanol üretimi için ideal hale getirmektedir. Ham maddeler etanol fabrikasına teslim edildikten sonra, depolanır ve erken fermantasyon ve kontaminasyonu önlemek için şartlandırılır (Gnansounou ve Dauriat, 2005) . Aşağıdaki şekil şeker kamışından etanol üretiminde yer alan çeşitli adımları göstermektedir:



Şekil 14-a. Etanolün şeker kamışından üretim akış şeması

Ülkemizde biyoetanol, genellikle şeker üretimi sırasında ortaya çıkan Melastan üretilir. Şeker pancarı fabrikalarında, sakkarozun kristal halde elde edilebilmesi için yapılan kademeli işlemlerin sonunda geriye kalan ve koyu kahve renkli, ortalama % 50 şeker içeren yüksek viskoziteli (kıvamlı) şuruba melas denir. Şeker, azot, protein, vitamin vb. organik maddelerce zengin hayvan beslenmesinde kullanılan değerli bir sanayi ham maddesidir. Melasın başlıca kullanım alanları şunlardır:

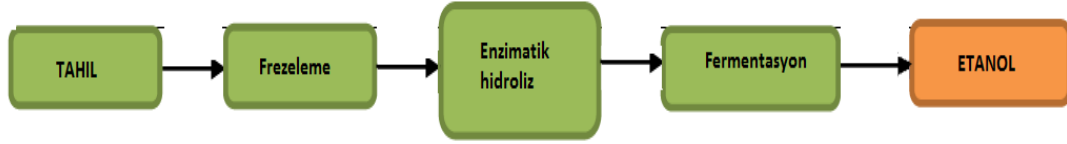
- Hayvancılık (düşük sakaroz oranlı melas)
- Kömür sanayi
- Gübre yapımı
- Yem üretimi
- Alkol üretimi
- Maya üretimi



Şekil 14-b. Şeker pancarın şekere işlenmesinde melas ve etanolün oluşumu

Nişastalı malzemelerden etanol Üretimi

Etanol yakıt endüstrisinde, mısır, buğday ve arpa gibi tahıllardan (ağırlıklı olarak nişasta içerirler, özellikle bu maddeler depolarda bozulduğu zaman) etanol üretile bilmektedir. Nişasta, uzun glikoz zincirlerinden oluşan karmaşık bir şekerdir. Nişasta, etanole fermantasyondan yoluyla, önce hidroliz reaksiyonu yoluyla basit şekere ayrıştırılır (Gnansounou ve Dauriat, 2005). Nişastalı malzemelerden etanol üretiminde, önce tahılların öğütölür, nişastası basit şekerlere enzimatik hidrolizini ve ardından şekerin fermantasyon yoluyla etanole dönüştürölmesini içerir. Bu işlemlerin yan ürünleri, hayvan yemine dönüştüröllebilen yağ, lif ve proteindir.



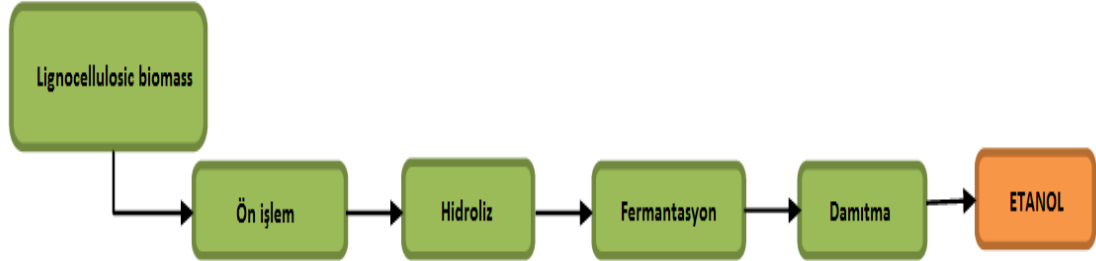
Şekil 15. Etanolün tahıllardan üretimi akış şeması

Linyoselülozik (lignoselülozik) malzemelerden etanol üretimi

Odon, tarımsal ve orman atıklarından oluşan linyoselülozik biyokütle büyük oranda selüloz, hemiselüloz ve lignin içermektedir. Hemiselüloz 5 ve 6 karbonlu şekerlerden oluşan polimerik bir yapıdır ve büyük oranda biyoetanole çevrilebilir. Lignin ise bitkiye yapısal destek sağlayan kimyasal bileşimdir. Şeker bitkileri ve nişastanın etanole dönüştürölmesinin aksine, odunlu selülozik hammaddelerden etanol üretimi halen çeşitli teknoloji ve ekonomik engellerle karşı karşıyadır. Linyoselülozik malzemeler esas olarak selüloz, hemiselüloz ve ligninden oluşur. Her bir linyoselülozik malzeme kategorisi, her bir kimyasal bileşimin değişken bir oranını içerir. Linyoselülozik malzemeler doğada bol miktarda bulunur ve gıda üretimini de etkilemez. Ortak odunlu selülozik malzeme kaynakları tarımsal atıklar, ormancılık artıkları ve endüstriyel atıklardır. Linyoselülozik malzemelerin etanole işlenmesi dört ana işlemden oluşur: (1) ön işlem, (2) hidroliz, (3) fermantasyon ve (4) damıtma.

Selüloz, madde içerisinde kristal bir yapı olarak bulunur ve malzemeleri yumuşatmak ve yapıları değiştirmek için bir ön işlem gerektirir. Ön işlem, selülozu daha erişilebilir kılmak için hammaddedeki lignin bileşenlerinin uzaklaştırılmasını

içerir (Gnansounou ve Dauriat, 2005). Selülozun hidrolizi, genellikle birkaç enzimin karışımı olan selüloz enzimleri tarafından gerçekleştirilir (Prasad ve ark, 2007). Nişastalı malzemelere benzer şekilde, enzimatik hidrolizin ardından hidrolize malzemelerin etanole fermantasyonu gelir.

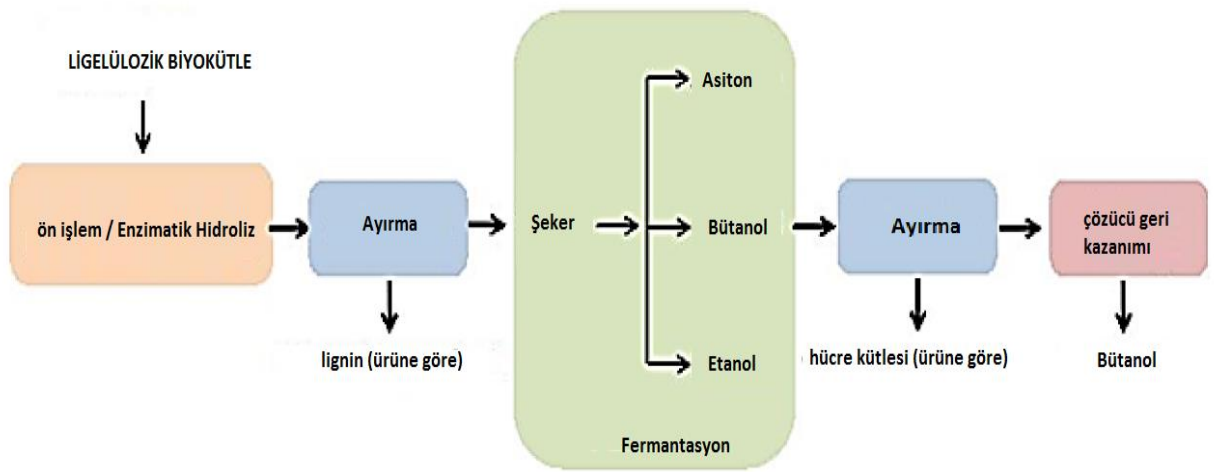


Şekil 16. Lignoselülozik biyokütleden etanol üretim şeması

Biyokütle kaynaklarının biyoetanol potansiyelleri (Balat, M.,2007).; (hammadeden Biyoetanol Üretim Kapasitesi (lt/ton) olarak); Şeker Kamışı 70, Patates 110, Şeker Pancarı 110, Arpa 250, Mısır 360, Buğday 340, Tatlı Sorgum 60, Pirinç 430, Diğer Selülozik Biyokütle 280 (lt/ton) olarak verilmektedir.

2.6.3 Bütanol üretimi

Biyobütanol, biyokütlenin A.B.E. (Aseton-bütanol-etanol) tarafından fermantasyonu ile üretilebilir. fermantasyon Süreci, Biyobütanol, mısır tanesi, mısır ve diğer ham maddelerden oluşan substratlardan biyokütlelerin fermantasyonu yoluyla yapılır. Biyokütleden üretilen şekerlere, özellikle, clostridium acetobutylicum'un mikropları katılır. Bu şekerler, etanol ve butanol dahil olmak üzere çeşitli alkollere ayrılır.



Şekil 17. Biyokütleden bütanol üretim şeması

Dünyada, son zamanlarda umut vaat eden bir eğilim, biyobütanol şirketlerinin satın aldığı bir kısım etanol fermantasyon tesisleridir. Bu etanol tesisleri, biyobütanol üretmek amacıyla gelişmiş ayırma sistemleri ile güçlendirilmektedir. Biyobütanol, biyoetanole göre doğası gereği daha yüksek yanma ısısına sahip olduğundan, bitki dönüşümleri eğilimleri muhtemelen devam edecektir (Graham Pj ve ark,2003). Burada, bütanolün yanma ısısının yüksekliği oksijen içeriğinin etanole göre daha düşük olmasından kaynaklanmaktadır.

Butanol, geleneksel olarak ABE (Aseton-bütanol-etanol) fermantasyon ile üretilmektedir. Ancak, maliyet sorunları, nispeten düşük verim ve yavaş fermantasyonların yanı sıra son ürün inhibisyonu ve faz enfeksiyonlarının neden olduğu sorunlar, ABE butanolün üretilen butanol ile ticari ölçekte rekabet edemeyeceği anlamına geliyordu. petrokimya endüstrisi geliştikçe sentetik olarak ve neredeyse tüm ABE üretimi durdu.

Bununla birlikte, biyobütanolün bir nakliye yakıtı olarak kullanımına artık ilgi artmaktadır. Butanol/benzin karışımlarının % 85'i modifiye edilmemiş, üzerinde değişiklik yapılmamış benzinli motorlarda yakıt olarak kullanılabilir. Mevcut benzin boru hatlarında karışım taşınabilir ve litre başına etanolden daha fazla güç üretir. Biyobütanol, genellikle tahıl mahsulleri, şeker kamışı ve şeker pancarından üretilir, ancak selülozik hammaddelerden de üretilir.

Araştırmacılar, bütanol karışımlarına izin vermek için üretim maliyetini ve verimliliğini düşürmek için yöntemler üzerinde çalışmaktadırlar. Çünkü, buhar basıncı farkının çevresel avantajları vardır.

2.6.4 Propanol Üretimi

n-Propanol, karbon monoksit ve hidrojenden metanol elde ederken, propan ve bütanın oksidasyonu esnasında ve Fischer-Tropsch reaksiyonunda yan ürün olarak elde edilir. Etilen, karbon monoksit ve hidrojenden okso sentezi ile imalatı cezbedici bir yoldur. n-**propanol** en çok çözücü ve kimyasal ara madde olarak kullanılır.

n-propanol endüstride kullanılan önemli bir organik maddedir. Çözücü ve antifriz olarak kullanılır. Reçineler ve selüloz esterler için çok uygun bir çözücüdür. Bazı durumlarda ilaçların ve dezenfektanların yapımında da kullanılır. Asetonun üretiminde de geniş bir kullanım alanı vardır.

Ayrıca motorlarda vuruñtu problemine karşı oldukça iyi bir yakıttır. Yüksek oktanı sayesinde kullanıma fazlasıyla uygundur, ama yüksek üretim maliyeti sebebiyle özel durumlar hariç yakıt olarak kullanılmaz. Yakıt olarak kullanımı az olduğundan kısaca değinilmiştir.

2.6.5 Dünya'nın Etanol Üretimi ve Kullanımı

Alkoller içerisinde yaygın olması, üretim kolaylığı açısından etanol daha öne çıkmaktadır. Bu nedenle, etanole biraz daha geniş yer verilmiştir. Günümüzün yakıt piyasasında, ticari olarak en uygun ve yaygın kullanılan alkoller metanol ve etanoldür. Hem metanol hem de etanol, benzinle harmanlanarak kullanılmış ve kullanılmaktadır. Ancak, etanol, benzin karışımları için en uygun seçimdir. Hükümetlerin teşvikleri, otomobillerde ve diğer enerji dönüştürme cihazlarında alkol bazlı yakıtların daha fazla kullanılmasını sağlamaktadır.

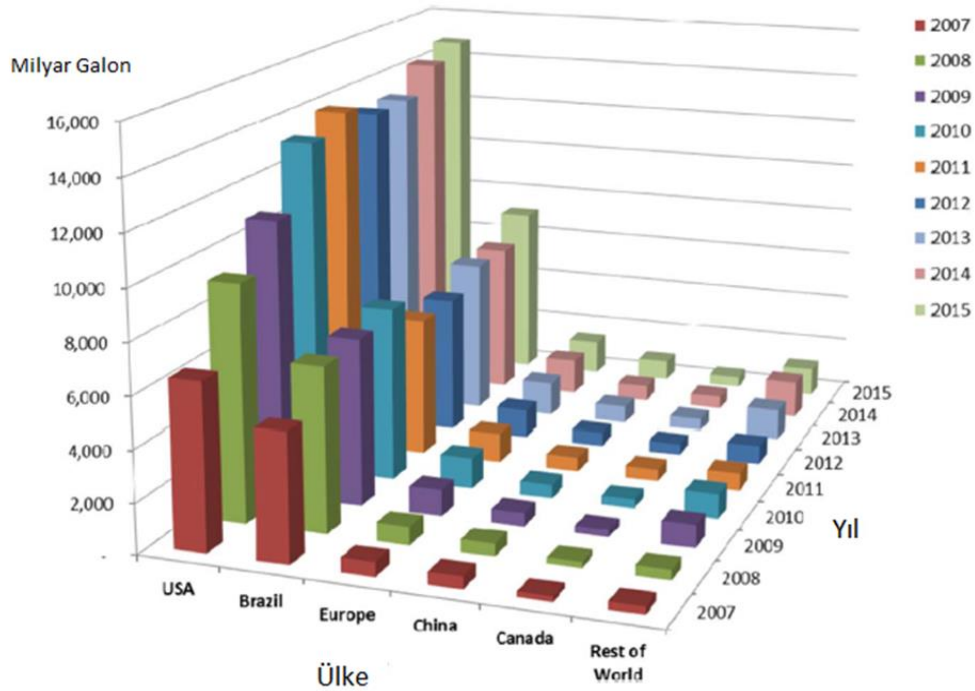
Yukarıda açıklanan alkollerden içten yanmalı motorlarda yakıt olarak kullanıma en uygun alkol yakıt etanoldür. Ülkemizde de biyokütleden ve atıklardan üretilen uygun yakıttır. Diğer önemli alkol yakıt ise metanoldür. Çalışma konusu olan

ve ağırlıklı olarak yeni yenilenebilir biyokütleden üretilen fiyatı da en uygun yakıt etanol olduğundan aşağıda üretim ve kullanımına özel yer verilmiştir.

Dünyada en fazla biyoyakıt üreten ülkeler Amerika Birleşik Devletleri, Brezilya ve Avrupa'dır. Çin, Hindistan ve Rusya, fosil yakıtlar, biyokütle ve alkol üretimi açısından öneml ülkelerdir.

2008 yılına kadar Brezilya en büyük biyoyakıt üreticisiydi, ancak daha sonra Amerika Birleşik Devletleri Brezilya'nın üretimini geride bırakmıştır. 2006 yılında başlatılan iddialı bir program sayesinde (AB Enerji ve İklim Değişikliği Paketi - ÇKP), Avrupa da önemli bir oyuncu haline gelmiştir Bu arada, etanol ve methanol, kömürden de üretilmesi nedeniyle, Çin'in önümüzdeki yıllarda önemli bir üretici olması beklenmektedir (Kevin J ve ark,1983).

Şekil 18 de ülkelerin yıllara göre etanol üretimi verilmiştir. Şekilden görüleceği gibi üretimde giderek artan bir eğilim vardır.



Şekil 18. Ülkelere ve yıllara göre küresel etanol üretimi 2007–2015 (Yusri ve Najafi ,2017)

Tablo 7. Dünya Etanol Üretimi (Ülke veya Bölgelere Göre) (Milyon Gallons) (Bayraç ve Çemrek,2021)

Ülke	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
ABD	13.298	13.948	13.300	13.300	14.300	14.806	15.250	15.800	16.100	13.800
Brezilya	6.922	5.573	5.577	6.267	6.190	7.093	7.295	7.060	7.950	7.930
Avrupa	1.209	1.168	1.179	1.371	1.445	1.387	1.377	1.415	1.430	1.250
Çin	542	555	555	696	635	813	845	875	1.180	880
Kanada	357	462	449	523	510	436	225	280	330	460
Dünyanın Geri Kalanı	985	698	752	1.272	1.490	1.147	490	465	550	600
Dünya Toplamı	23.311	22.404	21.812	23.429	24.570	25.682	26.504	27.050	28.700	29.100

2.6.5.1 Brezilya (Etanol)

Brezilya, dünyanın en büyük ikinci etanol yakıtı üreticisidir ve ana ham madde olarak şeker kamışı kullanmaktadır. 2013 yılında Brezilya da etanol üretimi 23,2 milyar litreye (6,2 milyar galon) ulaşmıştır. Bu üretimin çoğu saf etanol yakıtı olarak satılmakta veya benzine yüzde 18 ila 25 oranlarında etanol karıştırılarak bujili ateşlemeli motorlarda yakıt olarak kullanılmaktadır.

1976'dan sonra hükümet etanol ile benzin harmanlamayı zorunlu kıldı. Ayrıca, 2007'de Brezilya'da kullanılan tüm bujili ateşlemeli motorlarda yakıtların % 25 etanol ve % 75 benzinden oluşan bir karışım olması zorunlu tutulmuştur. Ülkenin yüksek şeker kamışı potansiyeli, 2003 yılından sonra etanol üretimi artırmış ve benzinle çalışan motorlarda karışım halinde yakıt olarak kullanılmasını önemli şekilde hızlandırmıştır. Bugün Brezilya'da satılan yeni otomobillerin yüzde 90'ından fazlası, tüketici talebine de bağlı olarak harmanlanmış yakıtla çalışmaktadır ve bu araçlar şu anda ülkenin tüm hafif araç filosunun yaklaşık yüzde altmışını oluşturmaktadır. Brezilya'da artık piyasada saf benzinle çalışan hafif araçlar kalmamıştır.

Enerji eşdeğeri açısından, şeker kamışından üretilen etanol, 2008 yılında ulaştırma sektörü tarafından ülkenin toplam enerji tüketiminin % 18'ini karşılıyordu.

Tablo 8. Brazilya’da sadece alkol ve alkol/benzin karışımı ile çalışan araç sayısının yıllara göre değişimi

Licensing of Ethanol Powered Vehicles (pure ethanol & flex fuel units)						
2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013 1/
2,032,361	2,356,942	2,711,267	2,876,173	2,848,071	3,162,824	1,803,298
Source: National Association of Vehicle Manufacturers (ANFAVEA) 1/ January-July						

2.6.5.2 Rusya (Etanol)

Rusya'daki biyoyakıt girişimlerinin çoğu bölgesel hükümetler tarafından desteklenmektedir veya yabancı yatırımcılar tarafından finanse edilmektedir. Bu projeler, pilot projeler aşamasındadır ve kendi tesisleri için ısı / elektrik üretmeye veya tarımsal atıklardan organik gübre üretmeye yetecek kadar biyoyakıt üretmektedir. Biyoyakıt Rusya'da ulusal öncelik olarak kabul edilmemektedir.

Rusya'da biyoetanölün sınırlı kullanımı, dünya genelindeki yüksek buğday ve tahıl fiyatlarından kaynaklanmaktadır. Aynı zamanda bu durum, biyoyakıt üretimini gaz ve petrol sektöründen daha az karlı hale getirmektedir. Etanol üretimi, yakıt olarak kullanılıp tüketilmekten ziyade, kimya endüstrisinin talebine göre yapılmaktadır.

2.6.5.3 Hindistan (Etanol)

2009 yılında, Hindistan Hükümeti (GOI), yenilenebilir enerji kaynaklarının motorlu taşıtlar için yakıt olarak kullanılmasını teşvik eden, Ulusal Biyoyakıt yasasını onayladı. Yasa, petrole alternatif olarak yenilenebilir yakıt kullanımını teşvik etmektedir ve 2017'nin sonuna kadar Hindistan'ın yakıt tedarikinin % 20 si biyoyakıt (biyoetanöl ve biyodizel) tedarik edilerek tamamlanmasını önermektedir. Hindistan, bu iddialı hedefi karşılamak için 6,3 milyar litreden fazla etanolü üretmek zorundadır.

Yurt içi etanol üretimi, 2014'teki 2 milyar litreye, 2015 yılında 2,1 milyar litreye yakın olacaktır. Benzinle etanol harmanlamasında, etanol oranının yüzde 10'a çıkarılması zorunlu hale getirilmiştir. Bununla birlikte, 2015 yılında teorik olarak % 7,5 etanol-benzin karışımı hedefi uygulanabilir görülmektedir.

2013 yılında yakıt olarak etanolün pazara girmesi sınırlıydı ve harmanlama oranı Hindistan'da tüketilen yakıtın yüzde birinden azdı. 2014'te 13 eyalet yüzde 2,1'lik harmanlama oranlarını çıkarmayı planlayacak ve 2015 sonunda ise yüzde 2,5'e çıkabilecekti. Hint etanolünün önemli miktarı, benzinle harmanlanmak üzere, şeker kamışı pekmezinden üretilmektedir.

2.6.5.4 Çin (Etanol)

Çin'de, 2012 yılında yakıt etanol üretiminin, % 64'ünü mısırdan, % 30'unu buğdaydan ve %6'sını manyoktan elde emektedir. Bu yıl içerisinde etanol üretimi meşrubat ve sert likör için % 40, yakıt ve endüstriyel kimyasal kullanım için % 60 olarak gerçekleştirmiştir. Çin'in 2013 yakıt etanol üretimi 2,6 milyar litreye (2,08 milyon metrik ton) ulaştı. Etanolün benzinle harmanlama oranı yüzde 8 ile 12 arasındadır.

2012 yılında Çin'in toplam binek araç sayısı 89,4 milyon adede ulaştı. Binek araç kategorileri: Büyük boyutlu araçların (örn. otobüsler) % 10'u ve küçük boyutlu araçların (sedanlar, spor hizmet araçları (SUV) veya taksi) % 90'ını oluşturmaktadır (Kevin J ve ark,1983).

Çin, küresel metanol üretiminin % 20 'den fazlasını üretmektedir ve bu haliyle dünyanın en büyük metanol tüketicisi ve üreticisidir. 2009'da, Çin'deki metanolün % 75'den fazlası kömürden üretildi, geriye kalanı ise doğal gazdan üretilmiştir (Kevin J ve ark,1983). 2009 yılında, benzinde 3-5 milyon metrik ton metanol karıştırılmıştır, bu da o yıl Çin'in benzin tüketiminin yaklaşık % 3,5-5,8 'ine karşı gelmektedir.

2.6.5.5 Amerika Birleşik Devletleri

Amerika Birleşik Devletleri dünyadaki en büyük etanol yakıtı üreticisi ve tüketicisidir. 2011 yılında 13 milyar galondan fazla üretim yapılmıştır ve bu, küresel üretimin % 62'sini oluşturmaktadır. ABD'deki etanol üretiminin çoğu mısırdan üretilmektedir. 2007 yılında, ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA), biyoyakıt üretimini hızlandırmaya yardımcı olan Yenilenebilir Yakıtlar Standardı (RFS2) politikasını uygulamaya koydu. Bu politika, Amerika Birleşik Devletleri'nde satılan benzinin belli bir miktarda yenilenebilir yakıt içermesini gerektirmektedir.

Şu anda, ABD tüketilen benzininin % 95'inden fazlasında, yakıtın oksijen içeriğini artırmak ve hava kirliliğini azaltmak amacıyla tipik olarak E10 yani %10 etanol içeren harmanlanmış yakıt kullanılmaktadır. Biyoyakıt üretiminin artırılarak, 2030 yılına kadar ABD benzin talebinin % 30'unun veya daha fazlasının yerini etanolün alması planlanmaktadır.

Linyoselülozik malzemelerden üretilen etanolün gelişen teknoloji ve artan talep ile önümüzdeki yıllarda ivme kazanması beklenmektedir. Lignoselülozik etanolün, benzin yakıtından en az % 60 daha düşük yaşam döngüsü GHG emisyonlarına sahip olduğu tahmin edilmektedir (AFDC, 2014).

2.6.5.6 Türkiye

Türkiye'de etanol ve benzinin karışım oranı yasal olarak %5 ile sınırlı olmasına rağmen, PO biyo benzerlerin satışına %2 etanol katkı sağlamaktadır.

1 metreküp etanol üretmek için ortalama 2,60 ton buğday veya 2,68 ton mısır veya 10,30 ton şeker pancarı kullanılmak gerekmektedir. Bu durumda yaklaşık 12.500 m³/yıl etanol talebine ihtiyaç vardır. Bunu karşılamak için, 2,60 ton x 12,500 metreküp = 32,500 ton buğdaya veya 2,68 ton x 12,500 metreküp = 33,500 ton mısıra veya 10.30 ton x 12.500 metreküp = 128.750 ton şeker pancarı kullanılmalıdır. Hesaplanan bu miktarlar, tek bir hammadde türünden etanol üretme koşulları dikkate alınarak yapılmıştır. Dolayısıyla bu miktarlar hammadde kullanım oranına göre değişiklik gösterebilmektedir (Oruç, N., 2008).

2003 yılı itibarıyla, Türkiye'nin buğday üretimi 19 milyon ton, mısır üretimi 2,8 milyon ton ve şeker pancarı üretimi yaklaşık 13 milyon tondur. Bu durum göz önüne alındığında, ürün hacminin etanol üretimi için mevcut üretime oranının çok düşük olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, etanol üretiminin tarımsal ürün pazarını çok düşük düzeyde etkileyebileceği düşünülmektedir (Taşdan, 2005).

Türkiye'de biyoetanol üretimi yapan ve yapabilecek olan resmi (Eskişehir, Turhal, Malatya ve Erzurum) ve özel kuruluşlara ait fabrikaların üretim kapasitelerine ilişkin bilgiler Tablo 9'da verilmiştir (Schmit ve ark,2008).

Tablo 9. Resmi ve özel Şeker fabrikalarının etanol üretim kapasiteler

Fabrika Ham Madde	Üretim Kapasitesi (Milyon lt/yıl)
Eskişehir Alkol Fb. Şeker Pancarı	21
Turhal Alkol Fb. Şeker Pancarı	14
Malatya Alkol Fb. Şeker Pancarı	12.5
Erzurum Alkol Fb. Şeker Pancarı	12.5
Çumra Şeker-Alkol Şeker Pancarı	84
Tarkim (M.Kemalpaşa) Buğday-Mısır	40
Tezkim (Adana) Buğday-Mısır	26
Toplam :	170 Milyon lt/yıl

2.7. Benzin

Benzin, petrolün damıtılması sırasınada 32-204 °C sıcaklıkları arasında kaynayan çeşitli hidrokarbonların harmanlanmasından elde edilen yakıttır. Özgül ağırlığı 0,680-0,760 g/cm³ olan renksiz ve kendine özgü kokusu bulunan hidrokarbonlar karışımıdır. Benzini oluşturan HC'lerdeki karbon sayısı 4-10 arasında değişmektedir. Çeşitli HC'ler ile petrolden çok az miktarda gelen S (kükürt) ve N (azot) bulunduran, normal şartlar altında sıvı hidrokarbonların karışımıdır. Benzinin içinde parafinik, etilenik, naftanik ve benzenik hidrokarbonlar bulunur. Benzin IX. yüzyılın son çeyreğinde Otto çevrimine göre çalışan motorlarda yakıt olarak kullanılmıştır. Petrolün bulunmasından sonra, ilk rafineri işlemleri ile elde edilen yakıtlardandır.

Motorlarda kullanılan benzinin bazı özelliklere sahip olması gereklidir. Bu özelliklerden bazıları motorun performansını iyileştirirken, bir kısmı motorun korunması bir kısmı da aracın emniyeti için gereklidir. Benzinde bulunması gereken temel özellikler aşağıda kısaca sıralanmıştır.

- Soğukta motorun kolay çalışmasını sağlamalıdır,
- Buhar tamponunu (tıkanmasını) önlemelidir,
- Motorun ani güç değişikliklerine cevap verebilmelidir,
- Ekonomik olmalıdır,
- Reçine teşekkülü olmamalıdır,
- Korozyona neden olacak yanma sonu artıkları oluşturmamalıdır.
- Motor yağlama yağlarının özelliğini bozmamalıdır,
- Vuruntuya dayanıklı olmalıdır.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

ALKOL ÖZELLİKLERİ

3.1 Alkollerin ve petrol kökenli Yakıtların yakıtsal Özellikleri

Bir yakıtın kimyasal ve fiziksel özellikleri, motorlarda yakılacak yakıtın kalitesini göstermektedir. Ayrıca, motorların performanları, yakıtların yanma kaliteleri ve emisyon özellikleri bunlarla yakın ilgilidir. Bu başlık altında öncelikle, SI motorların temel yakıtı olan benzinin yakıtsal özellikleri hakkında kısa ve genel bilgi verilecek, daha sonra motorlarda kullanılan alternatif yakıtlardan alkollerin yakıtsal özellikleri verilecek, yakıt özelliklerinin birlikte karşılaştırmaları yapılacaktır. Benzin, bilindiği gibi yapısında oksijen içermiyen bir yakıttır. Alkoller, daha öncede belirtildiği gibi oksijenli yakıtlar ailesindedir. Hidroksil fonksiyonel gruplu hidrokarbonlardır. Hidroksil grubunun oksijeni yanmaya katkıda bulunur. En basit dört alkol yakıt; metanol, etanol, propanol ve butanoldür. Yakıt olarak daha karmaşık alkoller de kullanılabilir; ancak, burada yakıt olarak yaygın kullanılan bu dört alkol üzerinde durulacaktır.

Aşağıda Tablo 10'de önemli alkollerin ve petrol kökenli yakıtların temel özellikleri toplu halde verilmiştir.

3.1.1 Yakıtların kimyasal formülleri ve su içerikleri

Tablo 10'da yakıtların kapalı formülleri verilmiştir. Görüldüğü gibi alkoller yapısında oksijen içeren yakıtlardır. Benzin ve dizel yakıt içeriğinde oksijen bulundurmamaktadır. Ayrıca, petrol kökenli yakıtlar su ile faz oluştururlar ve karışmazlar, alkoller ise su ile her oranda faz oluşturmadan karışabilmektedirler. Yani, su içerisinde çözülebilen maddelerdir. Hatta, saf alkoller havanın neminden etkilenecek, zamanla saflıklarını kaybedebilmektedirler. Alkollerin su içeriği, alkolün yakıtsal özelliklerini değiştirmektedir. Etanolün su içeriğinden ne derece etkilendiği Tablo 9'de verilmektedir.

Alkol yakıtlarının en önemli özelliklerinden birisi, CO ve HC emisyonlarının azalmasına katkıda bulunan, özellikle metanol veya etanol (alkol) olmak üzere

moleküler yapılarında oksijen atomları bulundurmalarıdır. Yakıtın ısı değerini düşürmekle beraber yanmayı iyileştirmektedir.

Tablo 10. Benzin ve alkollerin kimyasal ve fiziksel özellikleri (Yang J ve ark,2011)

Yakıt özelliği	Benzin	Propanol	Butanol	Metanol	Etanol	Füzel yağ	Dizel
Kimyasal formül	C ₅ - 10H ₁₂₋₂₂	C ₃ H ₈ OH	C ₄ H ₁₀ O	CH ₃ OH	C ₂ H ₅ OH	C ₅ H ₁₂ O	C ₁₂ H ₂₃ (C ₁₀ H ₂₀ - C ₁₅ H ₂₈)
CAS numarası	86290- 81-5	71-23-8	35296- 72-1	67-56-1	64-17-5	8013- 75-0	---
Moleküler Ağırlık kütle, %	106.22 (91,4)	60,1	74.12 [91]	32.04	46.7	76.42	173-220
Karbon kütlesi, (%)	87.5		64.91	37.5	52.2	54.8	--
Hidrojen kütlesi %	12.5		13.49	/	34.7	15	--
C/H oranı	0,556		4.8	0.25	0.333	--	0.52
Oksijen (a) kütlesi,%	0		21.6	49.93	34.7	30.32	0
Yoğunluk, (g / ml)	0.737	0,804	0.810	0.792	0.785	0.847	0.835-0.905
Kaynama Noktası sıcaklığı, ° C	27-225		117.25	78 (64.5)	78.25 [92]	53.4- 54.4	190-280
Reid buhar basıncı, kPa	53-60		18.6 [93]	32.4	17 (15.9)	--	45-50

	(48-108)						
Araştırma oktan sayısı	90–100 (108.7)	112	98	108.7	108.6–110	106.85	--
Motor oktan sayısı	82–94		78	86.6	92 (89.7)	103.72	--
LHOV, Buharlaşma Gizli Isısı, kJ/kg	349 [95]		707.9	920	923	/	
LHV, Alt Isıl Değer, MJ/ kg	44.0 (31,98)	29,81	33.2	20.1 (15,80)	26.9 (21,62)	29.536	(43.38)
Stokiyometrik oran, (H/Y)	14.7	10,28	11.2	6.45	9	--	14.6
Buharlaşma Isısı, kJ/kg	360	585	584	1200	960	--	578
Donma noktası, °C	-40		-89.2	-97.5	-114	-52	-10; -20
Kinematik Viskozite, mm ² /s	0.5–0.6 (0.37-0.44)	1,74	3.6	0.596	1.2–1.5 (1.19)	0.61	2.9-3.5 (2.6-4.1)
Parlama noktası, ° C	-45 to -13		/	11	12–20	/	
Kendiliğinden tutuşma sıcaklığı, °C	257	380	385 (390)	423 (470)	425	41.6	380

Tablo 11. Benzin ve alkollerin fizikokimyasal özellikleri (ETKB/EİGM,2017)

Properties	Gasoline	Methanol	Ethanol	Propanol	Iso-propanol	Butanol	Iso-butanol
Kimyasal formül	C ₅ - 10H ₁₂₋₂₂	CH ₃ OH	C ₂ H ₅ O H	C ₃ H ₇ O H	C ₃ H ₇ O H	C ₄ H ₉ O H	C ₄ H ₉ O H
Alt ısıtma değeri [kJ/kg]	44300	20100	26800	30630	30400	32010	35690
buharlaşma gizli ısısı [kJ/kg]	349	1100	900– 920	727.88	758	584	683
Araştırma oktanı Sayısı	90–100	108.7	109	112	112	96	105.1
Kaynama noktası [°C]	27–225	64.5	78.4	97.1	118	117.7	108
Stokiyometrik H/Y oranı	14.6	6.46	8.97	10.35	10.4	11.19	11.1
C/H oranı [%]	0.444	0.25	0.33	0.375	0.375	0.4	0.4

Tablo 12. Etanol su içeriğinin yakıtsal özellikleri üzerine etkisi (Miller ,1981) (Pringle H.C.,1982)

Etanol saflığı (%)	Buharlaşma ısısı (kJ/kg)	Yanma enerjisi (kJ/kg)	Hava/yakıt oranı (kg _h /kg _y)	Yoğunluk (kg/L)
--------------------	--------------------------	------------------------	--	-----------------

100	921,1	26800	8,97/1	0,785
95	998	28279	8,45/1	0,795
90	1076	26790	7,90/1	0,810
80	1230	23814	6,80/1	0,830
70	1384	20837	5,70/1	0,850
60	1538	17860	4,70/1	0,870
50	1693	14884	3,70/1	0,890

Tablo 13. Metanol su içeriğinin yakıtsal özellikleri üzerine etkisi

Metanol saflığı (%)	Buharlaştırma ısısı (kJ/kg)	Yanma enerjisi (kJ/kg)	Hava/yakıt oranı (kg _h /kg _y)	Yoğunluk (kg/L)
100	1184	20100	6,5/1	0,792
95	1236	19970	6,17/1	0,810
90	1314	19840	5,86/1	0,825
80	1468	16750	5,27/1	0,846
70	1610	13832	4,67/1	0,865
60	1789	10763	4,07/1	0,885
50	1943	7730	3,47/1	0,905

Tablo 14. Butanol su içeriğinin yakıtsal özellikleri üzerine etkisi

Bütanol saflığı (%)	Buharlaştırma ısısı (kJ/kg)	Yanma enerjisi (kJ/kg)	Hava/yakıt oranı (kg _h /kg _y)	Yoğunluk (kg/L)
100	584	36111	11,13	0,810
95	653	34850	9,55/1	0,826
90	735	32230	8,90/1	0,845
80	873	28670	7,80/1	0,866
70	921	25950	6,70/1	0,885
60	1095	21870	5,70/1	0,903
50	1230	18560	4,0/1	0,931

Tablo 15. Propanol su içeriğinin yakıtsal özellikleri üzerine etkisi

Propanol saflığı (%)	Buharlaştırma ısısı (kJ/kg)	Yanma enerjisi (kJ/kg)	Hava/yakıt oranı (kg _n /kg _y)	Yoğunluk (kg/L)
100	727,9	33.400	11,34	803,7
95	856	31920	10,8	0,8005
90	929	30240	10,25	0,811
80	1076	26880	9,12	0,832
70	1223	23520	7,95	0,853
60	1370	20160	6,85	0,874
50	1517	16800	5,7	0,895

Tablo 16. Yakıt olarak kullanılan çeşitli saflıktaki alkollerin içerisindeki oksijen kütle oranları

Alkol saflığı (%)	Metanol CH ₃ OH (%)	Etanol C ₂ H ₅ OH (%)	Propanol C ₃ H ₅ OH (%)	Bütanol C ₄ H ₉ OH (%)
100	50	34,78	27,59	21,62
95	47,5	33,04	26,21	20,53
90	45,12	31,38	24,89	19,5
80	40,6	28,24	22,4	18,52
70	36,5	25,41	20,16	16,67
60	32,8	22,86	18,14	15,01
50	29,5	20,57	16,32	13,5

Tablolardan görüldüğü gibi alkollerin yapılarında oksijen ve su bulundurmaları, onların yakıtsal özelliklerini önemli derecede etkilemektedir. Özellikle, bünyelerindeki oksijen ve su oranının yüksek olması, aynı oranda yakıtın ısıl değerini düşürmektedir. Aksine, yakıtların içerisindeki C ve H'nin kütle oranlarının artmasıyla da yakıtların ısıl değerleri artmaktadır. Bu durum, aynı boyuttaki motorlardan alkol kullanıldığı zaman aynı gücü elde etmek için yakıt

tüketiminin aynı oranda artması gerektiğini göstermektedir. Diğer yakıtsal özelliklerde aynı Tablo incelendiğinde önemli düzeyde değişebilmektedir.

3.1.2 Octane sayısı

Oktan sayısı, Otto çevrimi prensibine göre çalışan IC motorlarında (benzinli motorlar veya SI) yanma işlemi sırasında yakıtın tutuşma yeteneğinin bir ölçüsüdür. Bir yakıtın oktan sayısı, yanma kalitesinin ve özellikle de zor koşullara vuruntuya dayanma yeteneğinin ölçüsüdür. Benzinli motor performansının düşmesinden ve motorun hasar görmesinden kaçınmak için yakıtın uygun bir oktan kalitesine sahip olması gerekmektedir. Motorlarda kullanılacak benzin, motorun yapısına ve teknolojisine uygun şekilde seçilir. Benzinin ateşleme kalitesi, araştırma oktan sayısı (RON) ve motor oktan sayısı (MON) olarak ölçülen oktan sayısı kullanılarak karakterize edilir. Çoğu motorlar, ağır vuruntu koşulları altında uzun süre çalıştırılırsa, 50 saatten daha kısa bir sürede arıza yaparlar. Vuruntulu çalışmaya devam edilmesi durumunda motor malzemeleri dinamik yükler altında yorulur ve önemli ölçüde hasar oluşur. Motorda vuruntuyu önlemek veya azaltmak amacıyla yüksek oktanlı yakıtların kullanılması gerekmektedir. Kurşun katkı maddesi içermeyen sadece benzinle çalışan motorlar, yüksek sıkıştırma oranlarına çıkmaya uygun değildir.

Oktan sayısının belirlenmesinde; İzooktan (oktanın göreceli -izafi- oktan sayısı: 100) ve normalheptan (göreceli – izafi- oktan sayısı: 0) kullanılır. Benzinde oktan sayısı, motorun sıkıştırma oranını, dolayısıyla da verimini çok yakından ilgilendiren bir özelliktir. Benzinin oktan sayısı ne kadar yüksek olursa yakıtın vuruntu dayanımı da o kadar yüksek olmaktadır. Oktan sayısı yakıtın fiziko-kimyasal özellikleri yanında, motorun yapısal ve işletme özelliklerini de etkiler. Oktan sayısı, yakıtın içindeki izo-oktan oranına bağlıdır. Oktan sayısını bazı kaynaklarda yol oktan sayısı YOS, motor oktan sayısı MOS, araştırma oktan sayısı AOS olarak üç farklı şekilde oktan sayısı olarak tanımlanmaktadır. YOS, normal yol şartlarında çalışan bir motorda vuruntu sınırları dikkate alınarak belirlenirken, MOS, CFR test motorunda zor koşullar altında yapılan deneyler sonucu belirlenir. AOS ise daha hafif şartlarda yapılan deneysel çalışmalar sonunda elde edilen oktan sayısıdır. AOS'si 85 olan bir yakıtın MOS'i 75 olabilir. Buradaki farka yakıt duyarlılığı denir ve deney şartlarındaki değişimden etkilenmeyi gösterir. YOS bulunurken deneylerin yol

şartlarında yapılması söz konusudur. YOS genellikle, MOS'dan küçük AOS'dan büyük bir değerde olmaktadır.

Kurşun Tetraetil (TEL) yüksek verimli bir vuruntu önleyici bileşik olduğu bilinmektedir. 1920'lerde motor üreticileri, yüksek oktanlı benzinler kullanarak sıkıştırma oranını artırmayı ve motor performansını iyileştirmeyi araştırmaya başladılar. TEL, oktan sayısını artırmak için benzinle harmanlandı, böylece harmanlanmış yakıt yüksek bir sıkıştırma oranıyla motor yakıtı olarak kullanıldı. Kısa bir süre sonra, kurşunun oluşturduğu çevre kirliliği dikkate alınarak, evrensel olarak benzinlere kurşun katılması yasaklandı. Özellikle, insan üzerindeki olumsuz nörolojik etkileri, dünya çapında birçok araştırmacı tarafından kesin olarak kanıtlanmıştır. 1970'lerde, kurşunlu benzin ABD'de, ve İtalya'da yasaklandı. Halen kurşunlu benzin kullanan çok az bazı ülkeler dışında neredeyse tüm ülkelerde kurşunlu yakıt kullanımı yasaklamıştır.

Yüksek RON (Araştırma Oktan Sayısı) ve MON (motor oktan sayısı) nedeniyle alkol yakıtları benzinle karıştırıldığında oktan sayısı hızla artar (Vallinayagam,2017). Etanol ortaya çıkmadan önce MTBE oktan artırıcı olarak çok yaygın kullanılıyordu. MTBE, 1970'lerin sonlarında tetraetil kurşunun (TEL) kullanımdan kaldırılmasından bu yana, öncelikle bir oktan artırıcı olarak etanol hacimce % 4-8 oranında benzine katkı maddesi olarak kullanılmıştır. 1980'lerin sonunda, oktan artırıcı olarak MTBE kullanımı istikrarlı bir şekilde arttı. Ardından bazı ülkeler daha temiz yanan benzin üretmede ek uygulamalar izlendi ve 1981'de MBTE oranı 1988'de %11'e ve %15'e yükseltildi. 1980 ve 1986'da MTBE kullanımı yılda yaklaşık %40 arttı ve MTBE, 1984'te ABD'de üretilen en iyi 50 kimyasaldan birisi oldu.

MTBE, etanolün güçlü bir oktan artırıcı olarak ortaya çıktıktan sonra, Etanol üretimi, bir oktan artırıcı olarak yıllar içinde büyük ilgi gördü. Pek çok araştırmacı, TEL katkı maddelerinin yerine, etanolün ikame etmesini çok uygun buldular, çünkü; uzun zamandır iyi bir oktan kaynağı olarak tanınması ve bazı ülkelerde kabul edilmesi nedeniyle yeteri kadar tartışılmış ve iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Etanole ek olarak, bazı tarımsal ürünlerin fermantasyonu yoluyla yan ürün olarak elde edilen fusel yağı da, alkollü yakıtlara benzer özelliklere sahip olması

nedeniyle ön plana çıkmıştır. Bu yakıtın, yüksek araştırma oktan sayısı (RON = 106) ve motor oktan sayısı (MON = 103), avantaj sağlamaktadır. Yüksek oksijen içeriği olumsuzluk oluştururken, onun Tablo 7'de gösterilen tek kaynama noktası sıcaklığı, SI motorları için alternatif bir yakıt olarak kullanılabilirliğini göstermektedir. Yüksek oktanlı yakıt olması nedeniyle, oktan arttırıcı olarak da kullanılabilir.

Oktan sayısının belirlenmesi için yapılan deneylerde motordaki vuruşta ölçülmekte ve vuruş eğiliminin başladığı nokta, referans yakıtla karşılaştırılarak yakıtın oktan sayısı belirlenmektedir. CFR (cooperative fuel research) yöntemi ile oktan sayısı belirlemede sıkıştırma oranı değiştirilebilen bir motor kullanılmaktadır. Bu motora CFR motoru denir. Oktan sayısı ölçülecek yakıt CFR motorunda farklı sıkıştırma oranlarında denir. Vuruntunun başladığı sıkıştırma oranı tespit edildikten sonra kimyasal yollarla elde edilmiş izoktan ve n-heptan karışımının aynı sıkıştırma oranında vuruşu başlatacak karışım oranı tespit edilir. Çıkan sonuç MOS olarak yakıtın oktan sayısını verir. Oktan sayısı yüksek olan yakıtlar, yüksek sıkıştırma oranlı motorlarda kullanılır. Yüksek sıkıştırma oranlı motorların bilindiği gibi teorik çevrim verimi de yükselir. Aşağıdaki bağıntıdan görüldüğü gibi teorik verim motor sıkıştırma oranı ($\epsilon = V_1/V_2$; sıkıştırma oranı=Silindir hacmi/Yanma odası hacmi) arttıkça artmaktadır.

$$\eta_{th} = 1 - [1/\epsilon^{(k-1)}]$$

Yüksek oktanlı benzin, yüksek sıkıştırma oranlı motorda kullanılması durumunda yakıt sarfiyatı azalır.

Tablo 17. Bazı yakıtların motor ve araştırma oktan sayılarının ortalaması

n-Heptane	0
n-Pentane	62
tert-butyl alcohol	98
neo-octane Benzene	100
Ethanol	112
Methanol	116
Toluene	118

Alkollerin oktan sayılarının yüksek olması ve tutuşma noktası sıcaklığının tek olması motor verimi ve temiz yanma açısından önem arz etmektedir ve bu açıdan benzine göre alkollerini avantajlı duruma getirmektedir. Öyleki; alkoller oktan sayısını artırıcı katkı maddesi olarak sıklıkla kullanılmaktadır. Sadece alkol ile çalışan araçlarda bu önemli avantaj dikkate alınarak motor sıkıştırma oranı 13'ün üzerinde olan motorlar üretilmektedir.

3.1.3 Yakıtların Yanma Isıl Değerleri (Heat of combustion)

Yakıtın ısı değeri, yakıtların bir birim miktarı yandığında yanma yoluyla açığa çıkan ısı miktarı olarak bilinir. Bir yakıtın ısı değeri, motor Fren Özgül Yakıt Tüketimi (BSFC) üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir. Ayrıca, motorun güç çıkışı ve fren termal verimliliği, yakıtın enerji değerine ve motora giren havanın kütle akış miktarına bağlıdır. Isıl değeri (enerji içeriği), yakıt seçiminde önemli bir faktördür. Genellikle, alkoller, Tablo 6'de gösterildiği gibi benzininkinden yaklaşık 1/3 kat daha düşük ısı değerlere sahiptirler. Herhangi bir yakıtın veya biyoyakıtın ısı değeri, yakıtın oksijen, hidrojen, karbon ve su içeriği gibi çeşitli maddelerin kütle oranlarına bağlıdır.

Ayrıca, bazı araştırmacılar yoğunluk, viskozite ve ısı değeri gibi yakıtların diğer özelliklerinin de yanma ile ilişkilerini araştırmışlardır. İlâveten, biyoyakıtlar esas olarak alkoller, çok daha az karbon kütle oranına ve daha fazla oksijen kütle oranına sahiptirler. Dolayısıyla daha düşük bir ısı değere sahiptirler. Demirbaş (Demirbaş ,2007) bir yakıtın ısı değerinin oksijen içeriği ile ilişkili olduğunu bildirmiştir. Bir yakıtın alt ısı değerinin (LHV), oksijen ve su içeriğinin artmasına bağlı olarak azaldığı, karbon, hidrojen ve kükürt içeriğine bağlı olarak arttığını belirtmektedirler. Karbon ve hidrojen içeriği, LHV'yi etkileyen en önemli parametredir. Karbon konsantrasyonu, yakıtların ısı değeriyle pozitif olarak ilişkilidir ve bu da fosil yakıtların neden biyoyakıttan daha yüksek ısıtma değerine (HHV) sahip olduğunu kanıtlamaktadır (Karaosmanoğlu,1997).

Demirbaş, ayrı bir makalesinde, bir yakıttaki su içeriğinin HHV'sini azalttığını da belirtmiştir. Su içeriği, yanma verimine olumsuz etki etmektedir ve motor performansından ödün vermektedir [29]. Mehta vd., LHV'nin doymuş asit ve esterlerin karbon zinciri uzunluğundaki artışla arttığını bildirmişlerdir. Demirbaş'a (Demirbaş

,2007) göre, ısı değerindeki artış, hidrojen ve karbon konsantrasyonundaki artışın yanı sıra, bu elementlerin oksijene oranındaki azalışın sonucudur.

Bir yakıtın Isıl değerinin yüksek olması için C ve H₂ kütleli oranlarının mümkün olduğunca yüksek olması istenir. Isıl değer aşağıdaki denklemden teorik (Mendelev ifadesi) olarak bulunabilir.

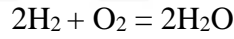
$$H_u = 34013c + 125600h + 10900(s-o) - 2512(9h+w)$$

Yakıtlarda alt ve üst ısı değer olarak iki değer tanımlanır. Yanma hesaplarında genellikle alt ısı değer kullanılır. Alt ısı değer ile üst ısı değer arasındaki ilişki aşağıdaki bağıntı ile verilmektedir.

$$\dot{U}IS = AID + (m \cdot h_{fg})_{H_2O} \quad (\text{kJ/kg}_{\text{yakıt}})$$

Burada m, birim kütledeki yakıt başına ürünlerdeki suyun kütlesi, ve h_{fg} belli bir sıcaklıkta suyun buharlaşma entalpisidir.

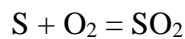
Alt ısı değerinin yüksek olması, yanma ürünleri içindeki zararlı emisyon miktarının (karbonmonoksit ve azot oksitler gibi) az olmasından kaynaklanır.



Saf H₂'in alt ısı değeri H_u=120.000 kJ/kg

Çevreye zararı olmamasına rağmen, yakıt içerisinde O₂ miktarının çok az olması arzu edilir. Çünkü; H_u ifadesinden de görüldüğü gibi alt ısı değeri düşürücü etkisi vardır. Diğer yandan, alkol yakıtlarının ısı değeri kurşunsuz benzine göre % 20-40 daha düşüktür ve benzer enerji çıktısını elde etmek için 1,5-1,8 kat daha fazla alkollü yakıt fazla kullanmak gerektirir. Aynı zamanda, alkol yakıtlarının düşük ısı değerleri, daha düşük egzoz sıcaklıklarının ve daha düşük motor emisyonlarının oluşmasına neden olur (Szwaja S,2010).

Çevre kirliliği yapması nedeniyle, yakıt içerisindeki, S miktarı mümkün olduğunca az olmalıdır. S yakıt kalitesini düşüren önemli elementlerden birisidir.



$SO_2 + H_2O = H_2SO_3$ (Sülfüröz Asit) bu asit tekrar oksijenle reaksiyona girerek H_2SO_4 (Sülfirik Asit)'u oluşturur.

H_2SO_3 yüksek sıcaklık etkisi ile parçalanır ve zararlı olmaz.

H_2SO_4 önemli çevre kirliliği oluşturan (asit yağmurları) bir maddedir ve aynı zamanda, yanma gazlarının yoğuşma noktasını sıcaklığını düşürerek, düşük sıcaklık korozyonuna da sebep olur. Bu sıcaklıkta korozif olan asit yoğuşmaya başlar. Yoğuşmuş olan H_2SO_4 metal aksımların kısa zamanla aşınmasına neden olur.

Ağır yakıtların motor yakıtı olarak kullanılmamasının sebebi içerisinde yüksek oranlarda S bulunmasıdır. Ağır yakıtların içinde asfaltla birlikte bileşik halinde S bulunur. Normal koşullarda sert tanecikler halindedir. Yüksek sıcaklıklarda erir. Enjektörlerin tıkanmasına neden olur. Yakıtın içerisindeki asfalt oranı % 0.5 – 0.7 (kütleli) arasında olmalıdır.

3.1.4. Gizli Buharlaşma Isısı (LHOV)

Sıvı yakıtların silindir içerisinde yanabilmesi için yakıt buharı haline gelmeleri ve hava ile belirli oranda karışmaları gerekir. Bir madde, sıvı halden buhar haline geçişte, hal değişikliğine uğrar. Yani, sıvı yakıtın hal değişiminin gerçekleşmesi için yakıtın dışarıdan ısı alması gerekir. Alınması gereken bu ısı miktarına buharlaşma gizli ısı adı verilir. Etanol, hal değişikliği yapmak için dışarıdan 918.7 kJ/kg [1 atm'de 77 °F (25 °C) de] ısı alması gerekir. Benzinin buharlaşması için yaklaşık 341.9 kJ/kg ısı gerekir. Yaklaşık 2,68'lik kat olan bu fark, içten yanmalı bir motorda etanolün daha soğuk çalışma koşullarının temelini oluşturur. Daha düşük buharlaşma ısısına sahip olan benzin, etanolün alabildiği ısıyı neredeyse ememez, bu nedenle ısı atık olarak motor soğutucusuna kolayca aktarılır. NOx emisyonlarındaki azalma, yüksek LHOV'a sahip olduğu için etanol katkı maddesinden kaynaklanmaktadır (Is Sezer ve Bilgin A,2008) LHOV'un klasik olarak, vuruşta koşullarında yakıtın otomatik ateşlenmesini termal olarak geciktirerek bir DI ve SI motorda emme giriş stroku süresinde yakıt buharlaşırken, hava-yakıt karışımını soğutur ve dolaylı olarak dolgu soğuk

olduğundan erken ateşlemeyi önleyerek vuruntunun önlenmesine yol açar. Bu etki klasik olarak "soğutma etkisi" olarak da adlandırılır.

Etanol ve metanol, benzine kıyasla daha yüksek LHOV değerine sahiptirler. Çünkü; alkol-benzin harmanlanmış yakıtını (Gasohol) buharlaştırmak için daha fazla ısıya ihtiyaç vardır. Gasohol kullanımıyla, yüksek gizli buharlaşma ısısı ve daha düşük alt ısı değer ve ayrıca oksijen içeriği nedeniyle yanma sıcaklığı düşecektir, bu sıcaklık düşmesine bağlı olarakta, NO_x emisyonlarında bir azalmaya meydana gelecektir (Canakci M ve ark,2013). Azotoksitlerin yüksek sıcaklıklarda oluştuğu hatırlanmalıdır.

Buji ateşlemeli motorlarda kullanılan alkol yakıtlarının diğer temel özellikleri olan oktan sayısı, yakıtların uçuculuğu ile de ilgilidir. Alkol yakıtlarının gizli buharlaşma ısısı (LHOV) benzinden 3–5 kat daha yüksektir. LHOV, SI motorunda soğuk çalıştırma yeteneğini etkiler, bu da hacimsel verimliliğin artmasına neden olur ve emme manifoldunun sıcaklığını düşürür. Örneğin, metanolün gizli buharlaşma ısısı (LHOV) benzinden yaklaşık 2,5 kat daha yüksektir (Melikoğlu ve Albostan,2011)

3.1.5 Buhar basıncı

Buhar basıncı, benzin, motor yakıtlarının önemli bir özelliğidir. buhar basıncı motorun soğuk çalışma koşullarında düzgün çalışmasını etkileyebilir. Ayrıca buhar basıncı, buharlaştırıcı emisyon gereksinimlerinin karşılanmasında kritik bir faktördür. Buhar basıncı, Reid buhar basıncı (RVP) olarak adlandırılır. Genelde, alkol yakıtlarının Reid buhar basıncı (RVP) 17-55 kPa'dır ve benzinin 53-60 kPa olan buhar basıncından daha düşüktürler.

3.1.6 Kaynama noktası

Alkolün kaynama noktası, Tablo 10'de gösterildiği gibi, benzinin kaynama noktasından çok daha düşüktür. Kaynama noktası, yakıtın uçuculuğuyla doğrudan ilişkili olduğu için önemli bir parametredir. Düşük kaynama noktasına sahip yakıtlar

daha hızlı buharlaşacaklar ve daha temiz yanacaklardır. Bilindiği gibi; yakıtlar silindir içerisinde buhar haline gelmediği sürece yanmazlar. Soğuk çalışmada, silindirin soğuk cidarlarına çarparak yoğunlaşan ve kartere inen yakıt yağı inceltmektedir. Bu istenmeyen bir olaydır ve genellikle kış aylarında karter yağ seviyesinin yükselmesi şeklinde kendini gösterir.

Alkollerin, tek bir molekül yapıya sahip olmaları nedeniyle tek bir kaynama noktası vardır. Aslında, alkollerin tek kaynama noktası, enerji salınımındaki artışın ana nedenlerinden birini oluşturur.

Volatilité (Uçuculuk), bir alkol yakıt, nispeten daha düşük sıcaklıklarda buharlaşır. Motor ve yakıt işleme bileşenleri için mevcut olan bir sıcaklık aralığında buharlaşma gerçekleşmezse, karbürasyon veya enjeksiyon sistemi uygun hava-yakıt karışımını sağlayamaz ve yakıt verimli bir şekilde yanmaz. Bu sadece, yakıt israfına neden olmakla kalmaz, aynı zamanda CO ve HC emisyonlarının seviyelerini de önemli ölçüde artırır. Yakıtın parlama noktası, aynı zamanda, benzin gibi buharlaşan bir bileşimin kıvılcım veya açık alevin yakınında tehlikeli olduğu uçuculuğuyla da ilgilidir (Tulva AN, 2007).

3.1.7 Kendiliğinden tutuşma sıcaklığı

Kendiliğinden Tutuşma Sıcaklığı, Yeterli orandaki yakıt ve hava karışımının yanması veya patlaması için gerekli olan en küçük sıcaklık değeridir. Kendiliğinden tutuşma sıcaklığı gaz ve sıvı halden buhar haline gelmiş yakıtlar için geçerlidir. Kapalı bir ortamda buharın kendiliğinden tutuştuğu sıcaklık olarak tanımlanır.

Sıvı yakıtın yanabilmesi için;

- Buhar fazına gelmesi,
- Hava ile homojen karışması,
- Yeter büyüklükte enerji kaynağı ile tutuşturulması, gerekir.

Kendiliğinden tutuşma sıcaklığı, bir malzemenin kendiliğinden tutuşmaya başlayabileceği en düşük sıcaklıktır. Burada yakıt harici bir ateşleme kaynağının etkisi olmadan, kendiliğinden yanmaya başlar ve bu olay, tutuşma sıcaklığına bağlı olarak

normal atmosfer şartlarında gerçekleşir. Sıcaklık, yanmayı başlatmak için gereken aktivasyon enerjisini sağlar.

Normal benzinin kendiliğinden tutuşma noktası sıcaklığı 221 °C ile 257 °C sıcaklıkları aralığında değişir. Etanolün kendiliğinden tutuşma sıcaklığı ise 329 °C'dir. Diğer yakıtların sıcaklıkları Tablo 6'da listelenmiştir. Boş hacimlerde hava ve yakıt buharı bir bölgede birikebilir ve böyle bir durumda sıcak bir yüzey ile temas etmeleri durumunda yüzey ateşleme kaynağı görevi yapabilir. Tutuşmada etkili olan İkinci etki türbülansdır, türbülans arttıkça otomatik ateşleme sıcaklığı da artacaktır. Tüm alkol yakıtları, mevcut ve bilinen geleneksel yakıtlarla benzer yanma ve tutuşma özelliklerine sahiptirler. Örneğin, metanolün kendiliğinden tutuşma sıcaklığı benzin yakıtından daha yüksektir ve alkolün kendiliğinden tutuşma sıcaklığı saf benzine göre daha yüksektir. Bu da onu nakliye ve depolama işlerinde daha güvenli hale getirir.

3.1.8 Parlama Noktası

Parlama noktası alev alma veya yangın riskinin de bir belirtisi olup, sıvı buharının parlama noktasına ulaştığı anda bir kıvılcım veya alev tarafından tutuşma meydana getirdiği sıcaklık derecesidir. Uçucu bir maddenin parlama noktası, bir tutuşturma kaynağı verildiğinde, madde buharının tutuşacağı en düşük sıcaklıktır. Bu nokta petrolün birleşimine göre değişir. Parlama noktası bazen, kendiliğinden ateşleme sıcaklığıyla karıştırılır. Alevlenme noktası, malzemenin buharlarının tutuşma kaynağı çıkarıldıktan sonra yanmaya devam edeceği en düşük sıcaklıktır. Alevlenme noktası, parlama noktasından daha yüksektir, çünkü parlama noktasında, yanmayı sürdürecekt kadar hızlı bir şekilde buhar üretilemeyebilir (Koç, 2018). Parlama noktası veya yanma noktası doğrudan ateşleme kaynağı sıcaklığına bağlı değildir, ancak ateşleme kaynağı sıcaklığı, parlama veya yanma noktasından çok daha yüksektir.

Tablo 18. Bazı yakıtların alevlenme noktası ve kendiliğinden ateşleme sıcakları

Yakıt	Alevlenme noktası	Kendiliğinden ateşleme sıcaklığı
<u>Benzin</u> (benzin)	-43 °C	280 °C
<u>Jet yakıtı (A/A-1)</u>	>38 °C	210 °C
<u>Kerosen</u>	>38-72 °C	220 °C
<u>Dizel (2 Boyutlu)</u>	>52 °C	210 °C
<u>Biyodizel</u>	>130 °C	--
<u>Etanol</u> (%70)	16,6 °C	363 °C
<u>Bitkisel yağ</u> (kanola)	327°C	- °C

3.1.9 Alkol Yakıtların Motor Malzemeleri ile Uyumu ve Motor Aşınması

Metanal ve etanol yakıtlar, motor yakıt sistemlerinde kullanılan kurşun kaplama, alüminyum, bakır, magnezyum ve pres döküm çinko gibi malzemelerde aşındırıcı etki yaparlar. Ayrıca, alkollerle temasta bulunan kauçuk ve plastik malzemelerde de bozulma olur. Karbüratör yakıt şamandıraları genellikle plastik malzemeden yapıldığından şişerler. Fiber conta yumuşar, hortumlar ve yakıt pompası diyaframları sertleşir ve kırılır. Alkol yakıt kullanırken, uygun malzeme özelliklerine sahip, alkol yakıtlardan etkilenmeyen malzeme kullanımı önemlidir.

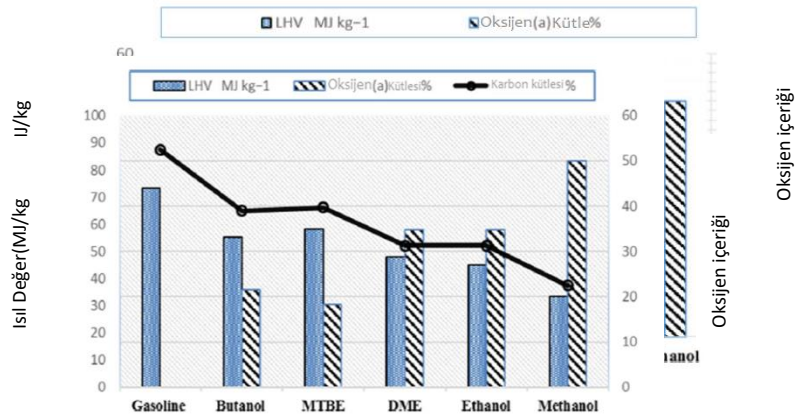
Yakıt olarak, metanol ve etanol kullanımı sonucu motorlarda silindir ve segman aşınması olmaktadır. Bu aşınımın sebebi; silindirlerdeki yağ filminin, soğukta çalışma esnasında silindir yüzeylerine yapışan alkol tarafından yıkanması, sonuçta piston segman-silindir arasında metal teması olmasıdır. Aşınımın bir diğer sebebi de; metanolün yakıt olarak kullanımında oluşan formik asitin demir malzemeyle etkimesidir. Bunun sonucunda silindirlerde aşınım olmaktadır. Bu problem azaltmak için krom kaplamalı segman kullanımı bir çözüm olarak görülmektedir. Yine, yakıt sistemindeki, yakıttan ileri gelen korozyonlar uygun katkı maddeleri ile azaltılabilmektedir. Emme manifoldunda, karter havalandırma sisteminden dolayı oluşan birikintilerde, kaliteli yağ kullanımı ve temizleme katkı maddeleri ile giderilebilir (Karabektaş,2003).

3.1.10 Yakıt içerisinde bulunan Oksijen ve Su miktarlarının Yakıt Özelliklerine Etkisi

Alkollerin yapılarında bulunan oksijen daha eksiksiz ve temiz bir yanmaya neden olabilmektedir. Yüksek oksijen içeriği nedeniyle, silindir içerisindeki yanma sıcaklığı daha düşük olacaktır. Metanolün oksijen içeriği, etanolün oksijen içeriğinden daha yüksektir. Sırasıyla metanol, etanol ve butanol kütleli oksijen oranları; % 49.9, % 34.8 ve % 18.9'dir. Böylece, metanol, diğer alkollere göre daha fazla oksijen içermektedir. Gautam ve Martin [36], motor vuruntu fenomeninin nispi oksijen içeriği ile ilgili olduğunu doğrulamışlardır. Bu, DMF (C_6H_8O , Dimethylfuran) kullanıldığında, neden daha düşük yüklerde vuruntunun gerçekleştiğini açıklayabilir. Alkoller, en yüksek yanma verimini sunarlar. Bunun temel nedeni bağıl oksijen içeriğidir, ancak; paradoksal olarak oksijen, yakıt tüketimi performansını sınırlar, çünkü; ek enerjiye izin vermez. Dahası, alkollerin oksijen içeriği yanmanın tam olmasına sebep olur (Jianxi Zhou ,2013).

Şekil 19. C/O'nun ve Alkol Oksijen İçeriğinin Yakıt Isıl Değeri Üzerine Etkisi

a)



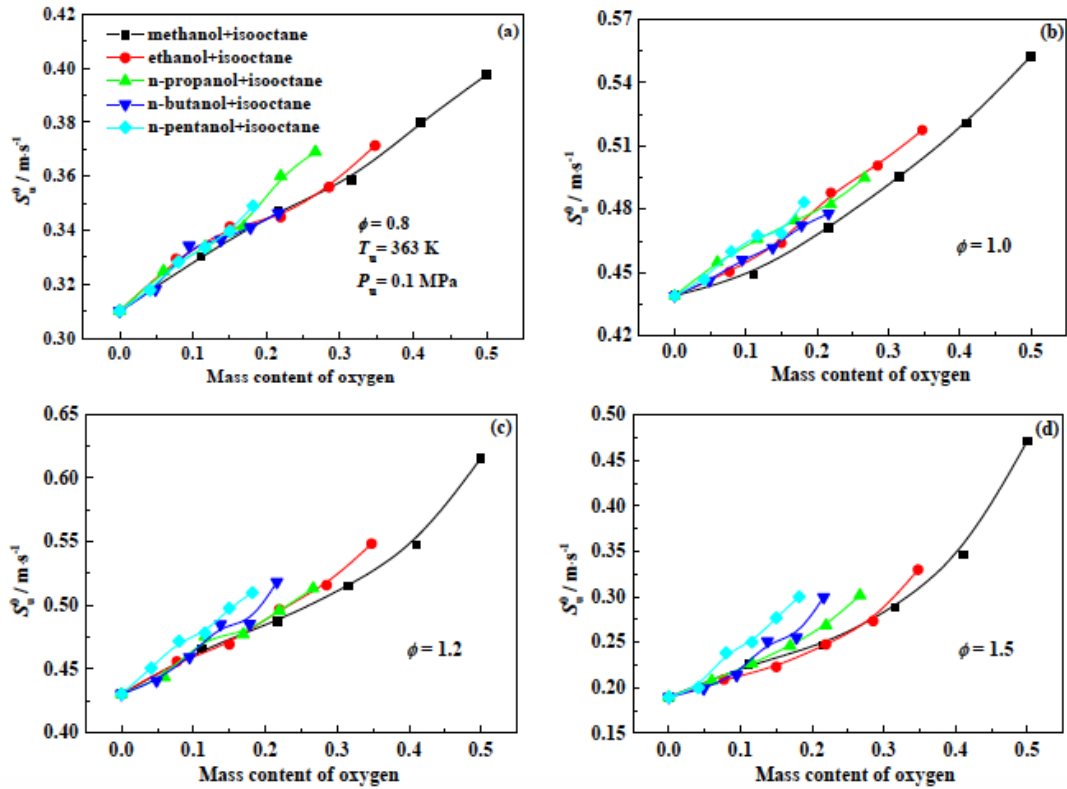
b)

Alkol yakıtların ve karışımlarının kalorifik değerleri benzine göre daha düşüktür. Tablo 10'den alınan verilerden elde edilen ısı değerlerinin değeri, Şekil 19-a da verilmiştir. Burada, yakıtın karbon ve oksijen oranlarının yakıtın ısı değeri üzerindeki etkilerini gösterilmektedir. Şekilde C'nun kütleli oranı a kaç yakıtın

ısııl değerinin düştüğünü ve benzer şekilde oksijen oranının artmasıyla kalorifik değerin düştüğü görülmektedir. Şekil 19-b de ise yakıt içerisindeki oksijenin kütleli yüzdesinin artması ile yakıtın alt ısııl değerinin azaldığı görülmektedir.

Yakıtın daha yüksek oksijen içeriği, ısııl değerinde azalmaya neden olurken, tersine, karbon ile etanol için oksijen içeriği aynı olmasına rağmen, ısııl değerinde küçük bir fark vardır. Aynı durum butanol için de geçerlidir. Bunun, Şekil 19'da gösterildiği gibi yakıttaki O/C oranından kaynaklandığı söylenebilir (Omar Awad,2017).

Alkol yakıtlarda oksijen içeriğinin yanma hızına etkileri Şekil 20'da verilmiştir. Çeşitli alkollerin, farklı kütleli yüzdeleri ile yanma hızının değişimi şekillerden incelendiğinde açık görülmektedir. Genel olarak oksijenin kütleli yüzdesi ile alevlenme hızı artmaktadır (Baskar, 2015).

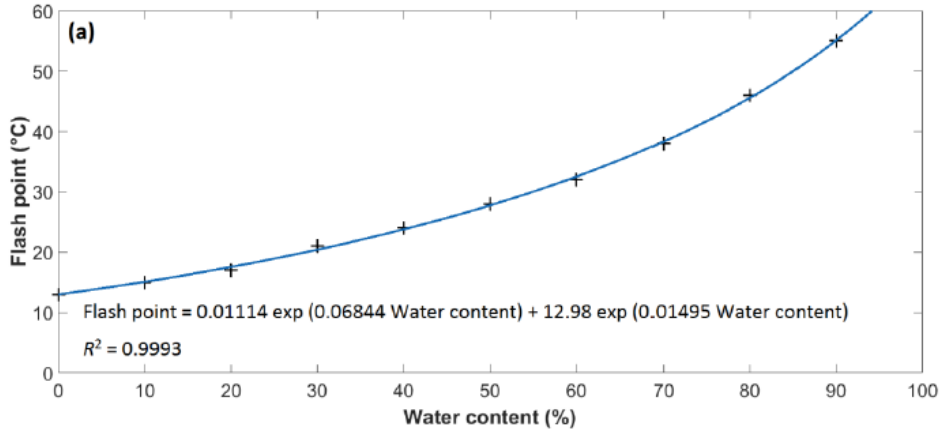


Şekil 20. Oksijen içeriğinin yanma hızına etkisi

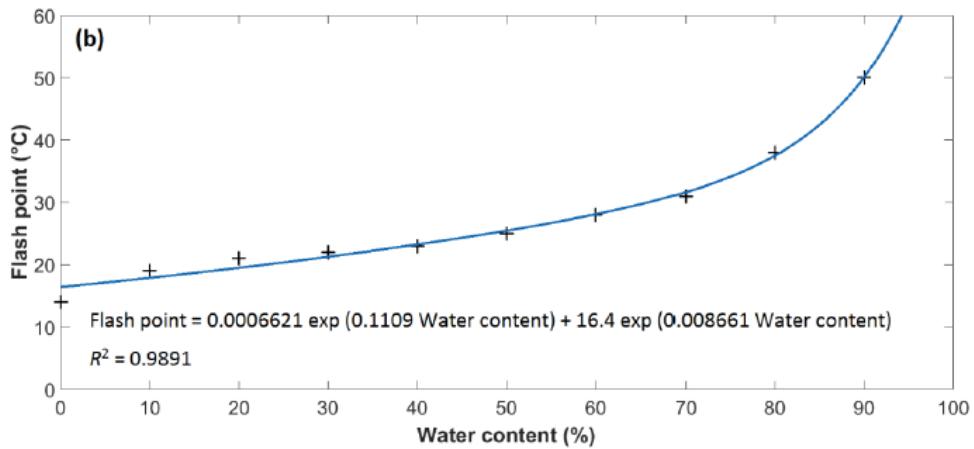
3.1.11. Alkollerin Su İçeriğinin Yakıt Özelliklerine Etkileri

Alkollerin üretimi sırasında saf alkol elde edilmesi durumunda üretim maliyetleri artmaktadır. Ayrıca bir kısım alkoller hava ile temas durumunda havanın neminden etkilenerek, saflıklarını azaltabilmektedir. Alkol yakıtların çoğu (örn: metanol, etanol...) su ile tamamen homojen şekilde karışabilir ve su içerikleri değişkendir. Bununla birlikte, yakıtların enerji potansiyelinin en iyi göstergesi, etkin yanma ısısıdır. Alkol yakıtlarının etkin yanma ısısı, su içeriği arttıkça azalır.

İncelenen alkol-su çözeltilerinin parlama noktalarının su içeriğine bağımlılığı Şekil 21'de gösterilmiştir. Hem metanol hem de etanol, su içeriğine üstel bir parlama noktası bağımlılığı sergilemiştir. Aşağıdaki şekilde, incelenen alkollerin parlama noktalarının, artan su içeriği ile ve bunun tersi ile fark edilir artışlar sergilediğini göstermektedir.



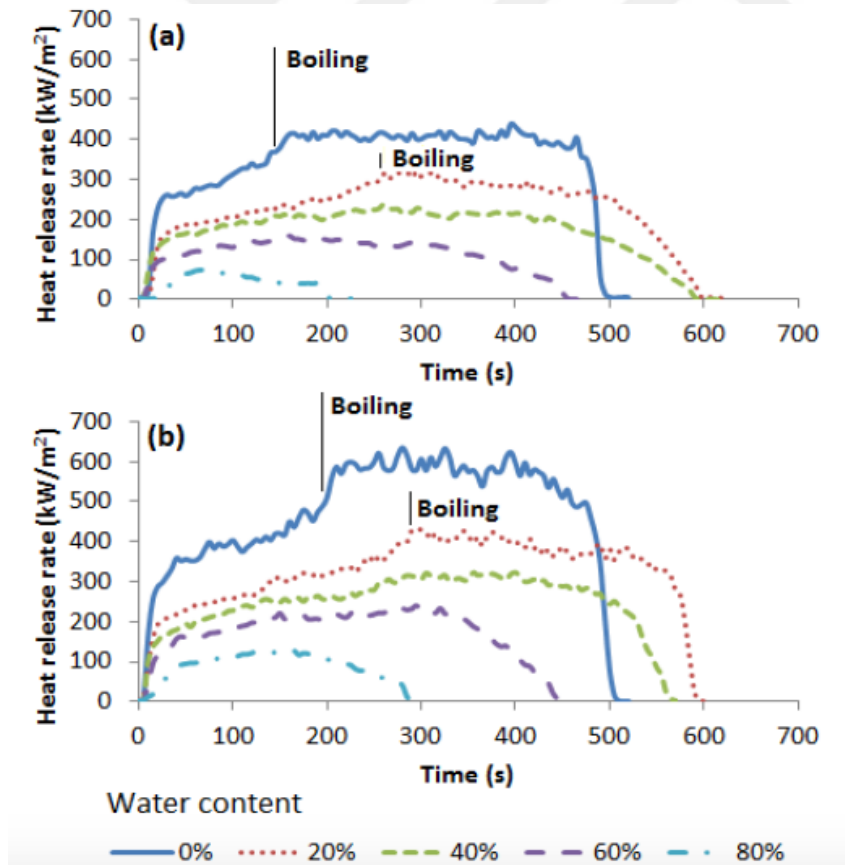
Şekil 21 –a. Metanol'ün Su içeriğinin Parlama Noktası ile İlişkisi



Şekil 21 –b. Etanol'ün Su İçeriğinin Parlama Noktasına Etkisi

Su içeriğinin ısı yayma hızı üzerindeki etkisi, artan su içeriği ile ısı yayma hızı gözle görülür bir azalma göstermektedir. Yanma sırasında, seyreltilmemiş alkoller kaynamaya başladı (koni kalorimetre test koşulları altında). Kaynama, ısı salım hızında hızlı bir artış gösterir (Şekil 22), örneğin, su içeriği %20 olan alkoller için, kaynama sadece nispeten kısa bir süre için gözlenirken, su içeriği %40'a eşit veya daha fazla, kaynama gözlenmedi. Bunun nedeni, daha düşük alev sıcaklığı ve alkol-su çözeltisinin yüzeyine alevden gelen ters ısı radyasyonundaki azalma ve alkollere kıyasla suyun daha yüksek ısı kapasitesi ve kaynama noktasıdır.

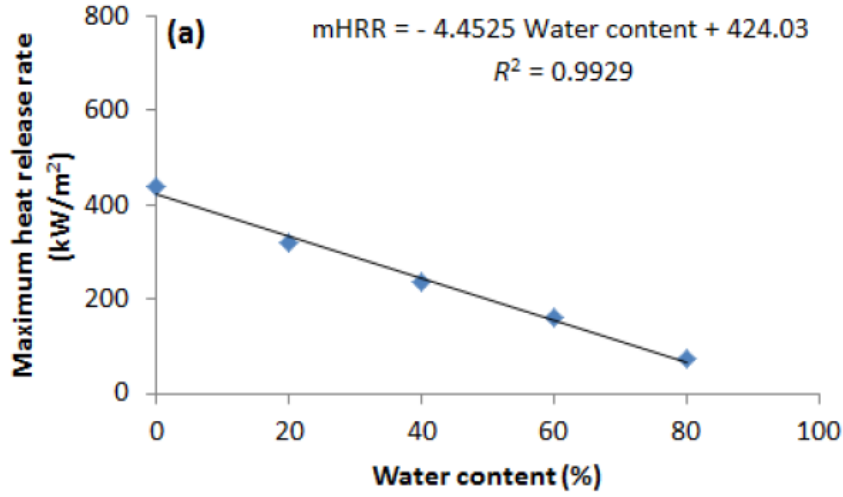
Alev sıcaklığının daha düşük olmasının nedeni, yanma bölgesinde alkol (yakıt) dışında alkol-su çözeltisindeki suyun buharlaşmasıdır. Sonuç olarak, yanma bölgesine daha az alkol buharlaştırıldığından yanma bölgesinden salınan ısı azalmaktadır ve yanma bölgesinden salınan ısının bir kısmı, yanma ürünlerini ve buharlaşan suyu ısıtmak için kullanılmaktadır.



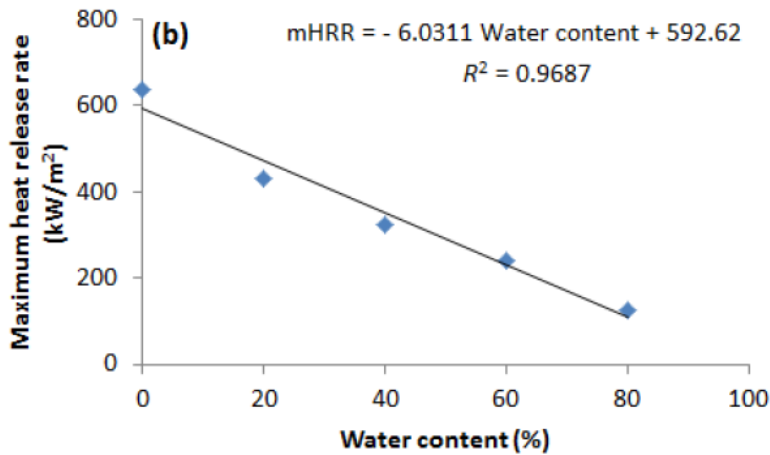
Şekil 22. Metanol ve Etanolün Su İçeriğine Göre Isı Yayma Oranları

Alkollerin su içeriği, alkol yakıtın açığa çıkan ısısı üzerinde bariz bir etkiye sahiptir ve bu etki, maksimum ısı yayılım hızı (Şekil 23), maksimum ortalama ısı emisyon hızı (Şekil 24) ve etkin yanma ısısı (Şekil 25) için ayırt edici önemli özelliktir ve artan su içeriği ile doğrusal olarak azalmaktadır.

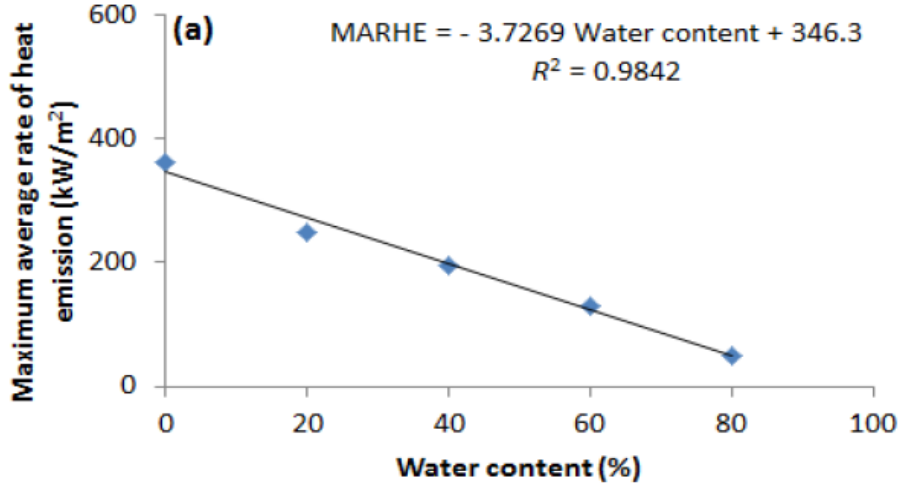
Bu rakamlardan, alkollü yakıtların su içeriğinin artmasının, efektif yanma ısısının azalmasında önemli bir etkisinin olduğunu ve yanma veriminin azalmasında orta düzeyde bir etkisinin olduğunu söylemek mümkündür. incelenen alkollerin çevresel etki ve yangın riski üzerinde olumsuz etkisi vardır. Yangın riskinin çoğu bileşeni (parlama noktası ve açığa çıkan ısı), artan su içeriği ile azalır.



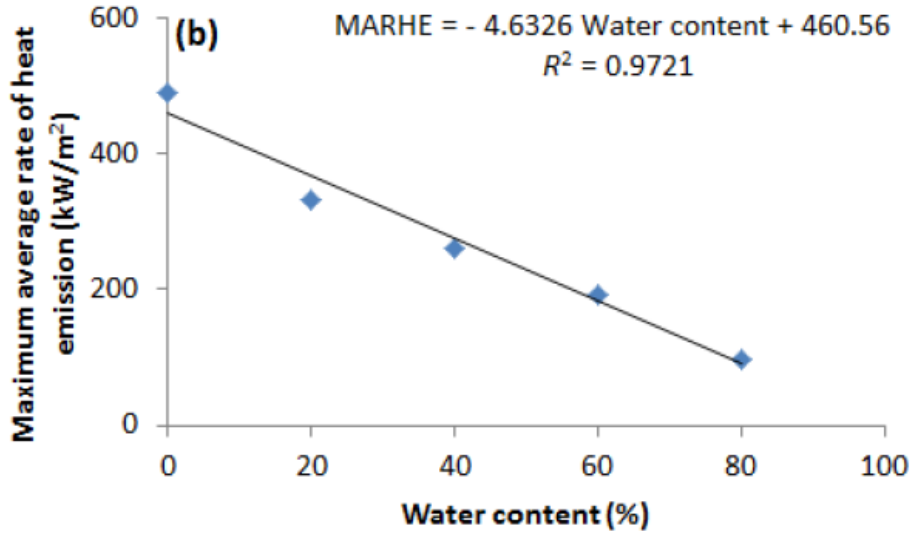
Şekil 23 –a)Metanol’ün Su İçeriğine Göre Maksimum Isı Yayma Oranı



Şekil 1 –b)Etanol’ün Su İçeriğine Göre Maksimum Isı Yayma Oranı



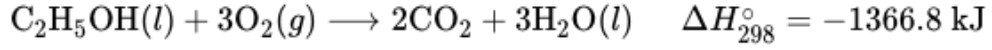
Şekil 2 –a) Metanol’ün Su İçeriğine Göre Ortalama Isı Yayma Oranı



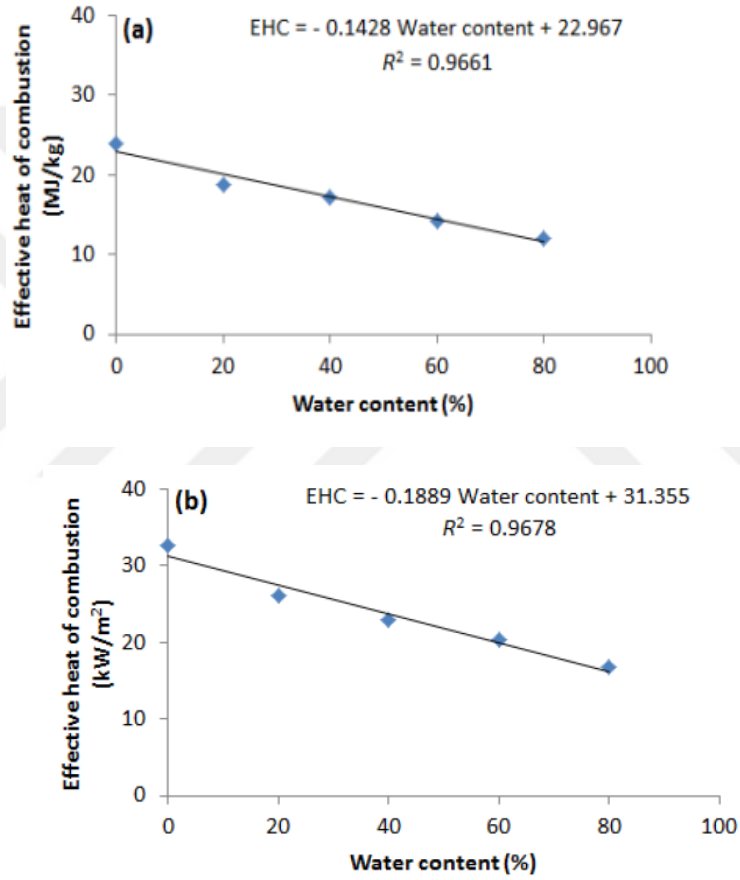
Şekil 3 –b) Etanol’ün Su İçeriğine Göre Ortalama Isı Yayma Oranı

3.1.12. Yanma Entalpisi

Standart yanma entalpisi (ΔH_c), standart hava durum koşulları altında 1 mol madde yandığında (oksijenle kuvvetli bir şekilde reaksiyona girdiğinde) meydana gelen entalpi değişim miktarıdır. Bazen "yanma ısı" olarak isimlendirilir. Örneğin, etanolün yanma entalpisi, -1366.8 kJ/mol, bir mol etanol 25 °C ve 1 atmosfer basıncında (Normal atmosfer koşulları) tam yanmaya maruz kaldığında üretilen ısı miktarıdır ve yine 25 °C ve 1 atm'deki tam yanma ürünlerini vermesi durumundaki değerdir.



Birçok madde için yanma entalpileri ölçülmüştür; bunlardan önemlileri Tablo 18'de listelenmiştir. Hidrojen, karbon (kömür veya odun kömürü olarak) ve metan gibi hidrokarbonlar yalnızca hidrojen ve karbon içeren bileşiklerdir. Büyük yanma entalpilerine sahip olan maddeler yakıt olarak kullanılır. propan ve benzinin ana bileşenleri de karbon ve hidrojendir.



Şekil 4. Metanol ve Etanolün Su İçeriğine Göre Etkin Yanma Isısı

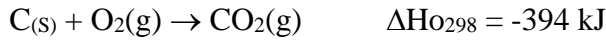
a)Metanol b) Etanol

(HHV) üst ısı değeri: Yakıtın Isı değeri ürünlerde bulunan suyun fazına bağlıdır. Ürünlerdeki su sıvı halde olduğunda ısı değerine üst ısı değeri denir.

(LHV)alt ısı değeri: Ürünlerdeki su buhar fazında ise alt ısı değeri denir.

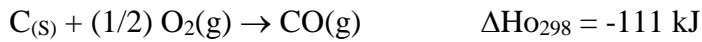
Bir kimyasal yanma reaksiyonunda ortaya çıkan ısı miktarını belirlemenin iki yolu vardır: birincisi, çıkan ısı miktarını deneysel olarak ölçmek İkincisi ise deneysel olarak belirlenmiş elementlerin entalpi değişim miktarlarından giderek yakıtın entalpi değişim miktarını hesaplamaktır. Bazı reaksiyonları araştırmak ve deneysel olarak doğru ölçümler yapmak imkansız değilse de zordur ve bir reaksiyonu gerçekleştirmek veya ölçmek zor olmadığında bile, bir deney yapmak zorunda kalmadan reaksiyon sonucu oluşan ısı miktarını belirleyebilmek daha uygundur.

Bu tür hesaplama genellikle Hess yasasının kullanılmasını içerir: Bu süreç birkaç aşamalı süreçlerin toplamı olarak yazılabilirse, toplam sürecin entalpi değişimi çeşitli adımların entalpi değişimlerinin toplamına eşittir. Böyle bir durumda Hess yasası geçerlidir. Çünkü, entalpi termodinamikte bir durum (nokta) fonksiyonudur: Entalpi değişimleri yalnızca kimyasal sürecin nerede başlayıp bittiğine bağlıdır, Hal (durum) değişimi sırasında izlediği yola bağlı değildir. Örneğin, karbonun oksijenle reaksiyona girerek karbondioksiti oluşturmasını, doğrudan (direct) oluşma veya iki aşamalı bir süreçle meydana geldiğini düşünebiliriz. Doğrudan süreç (tek aşamalı süreç) yazılırsa:

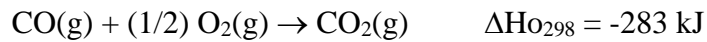


görülebileceği gibi çevreye verilen toplam ısı miktarı -394 kJ/kmol dür.

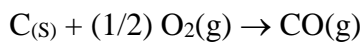
İki aşamalı süreçte, ilk önce karbon monoksit oluşur:

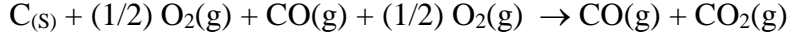
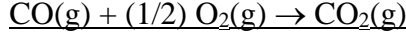


Ardından, karbon monoksit yeniden oksijenle reaksiyona girerek, karbon dioksit oluşturur. İki aşamalı reaksiyon gerçekleşir.



Genel reaksiyonu tanımlayan bu denklem, yukarıdaki iki kimyasal değişimin toplamıdır:

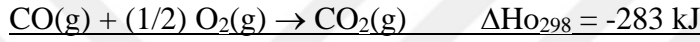
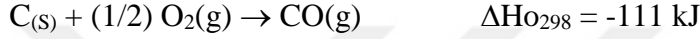




Adım 1'de üretilen CO, Adım 2'de tekrar oksijenle reaksiyona girerek çevreye ısı verir. Dikkat edilirse, iki kademeli süreçte ortaya çıkan enerji miktarlarının toplamı, tek aşamalı reaksiyonda ortaya çıkan ısı miktarına eşit olmaktadır.



Tüm reaksiyonun iki adımından elde edilen entalpi değişimini bulmak için Tablo 8'deki deneysel yanma entalpilerinden elde edilen verileri uygulayabiliriz:



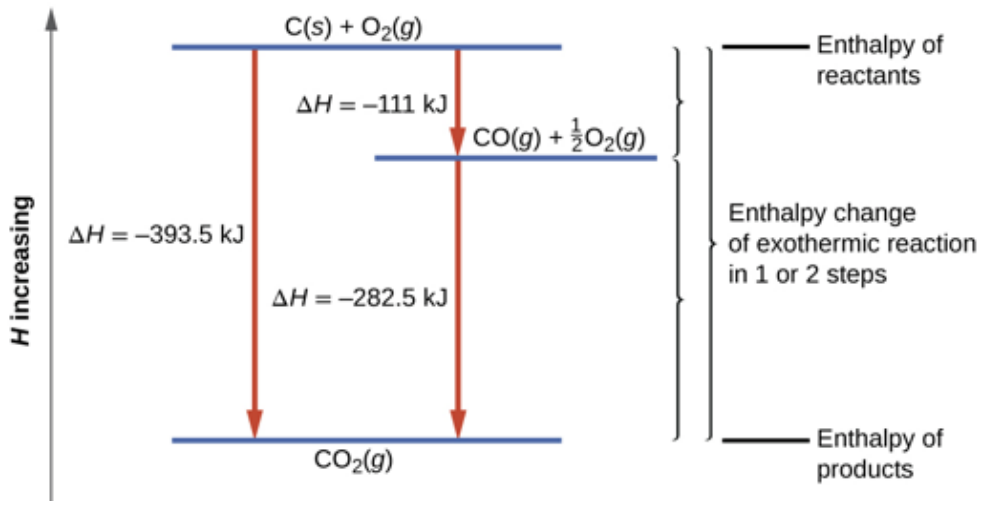
Bu durum, yani tek ve çift aşamalı reaksiyon sonucu çıkan toplam enerji miktarlarının bir birine eşit olduğu Şekil 26'de gösterilmiştir. Bura da, yakıtın bir kısmının noksan yanma ürünü CO olarak atılması durumunda, çevre kirliliğinin yanısıra yanma entalpi değerinin de önemli ölçüde düştüğünü göstermektedir.

Tablo 19. Yanabilen maddelerin yanma reaksiyonları ve Standart Molar Yanma Entalpileri

Yakıt	Yanma reaksiyonu	Yanma entalpisi ΔH_c (kJ/mol) (25°C de)
Karbon	$\text{C}_{(s)} + \text{O}_2\text{(g)} \rightarrow \text{CO}_2\text{(g)}$	-393,5 kJ/mol
Hidrojen	$\text{H}_2\text{(g)} + (1/2) \text{O}_2\text{(g)} \rightarrow \text{H}_2\text{O(l)}$	-285,8 kJ/mol
Sülfür	$\text{S(s)} + (1/2) \text{O}_2\text{(g)} \rightarrow \text{SO}_2\text{(g)}$	-296,8 kJ/mol
Karbon Monoksit	$\text{CO(g)} + (1/2) \text{O}_2\text{(g)} \rightarrow \text{CO}_2\text{(g)}$	-283,0 kJ/mol
Metan	$\text{CH}_4\text{(g)} + 2\text{O}_2\text{(g)} \rightarrow \text{CO}_2\text{(g)} + 2\text{H}_2\text{O(l)}$	-890,8 (-55.5 (MJ/kg))
Asetilen	$\text{C}_2\text{H}_2\text{(g)} + (5/2) \text{O}_2\text{(g)} \rightarrow 2\text{CO}_2\text{(g)} + 2\text{H}_2\text{O(l)}$	-1301,1 kJ/mol

Etanol	$C_2H_5OH(l) + 3O_2(g) \rightarrow 2CO_2(g) + 3H_2O(l)$	-1366,8 kJ/mol
Metanol	$CH_3OH(l) + (3/2) O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 2H_2O(l)$	-726,1 kJ/mol
İzooktan	$C_8H_{18}(l) + (25/2) O_2(g) \rightarrow 8CO_2(g) + 9H_2O(l)$	-5461.0 kJ/mol
Propanol	$C_3H_8O(l) + (7)O_2(g) \rightarrow 5CO_2(g) + 4H_2O(l)$	-2021,1 kJ/mol (-30477 kJ/kg)

(Alt indiler s: Katı, g: gaz ve l: sıvı yı göstermektedir)



Şekil 26. Hess yasasına göre karbonun doğrudan ve iki aşamalı olarak karbondioksit dönüşüm şeması, (Yatay mavi çizgiler entalpilerini temsil etmektedir).

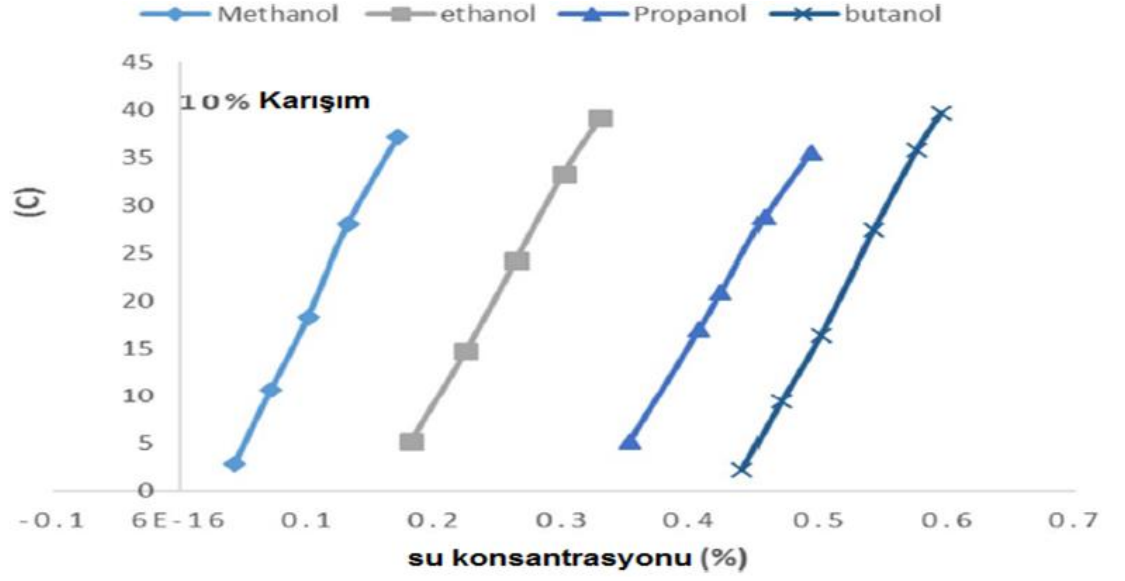
3.1.13. Faz ayırma sıcaklığı (Faz oluşma Sıcaklığı) (PST)

Benzin, alkol ve su karışımlarının en önemli özelliği karışımın su içeriğidir. Alkol karışımının su içeriği alkolün saf olmamasından kaynaklanmaktadır. %100 saf alkollerin saflığını korumaları da zordur. Çünkü; hava içerisindeki nemi absorbe ederek saflıklarını düşürürler. Ayrıca, saf alkollerin üretim fiyatları da çok yüksektir. Bu nedenle yakıt olarak genellikle saf olmayan alkoller kullanılır. Karışımın su içeriği karışımın faz ayrışma sıcaklığı üzerinde önemli derecede etkilidir. Özellikle soğuk

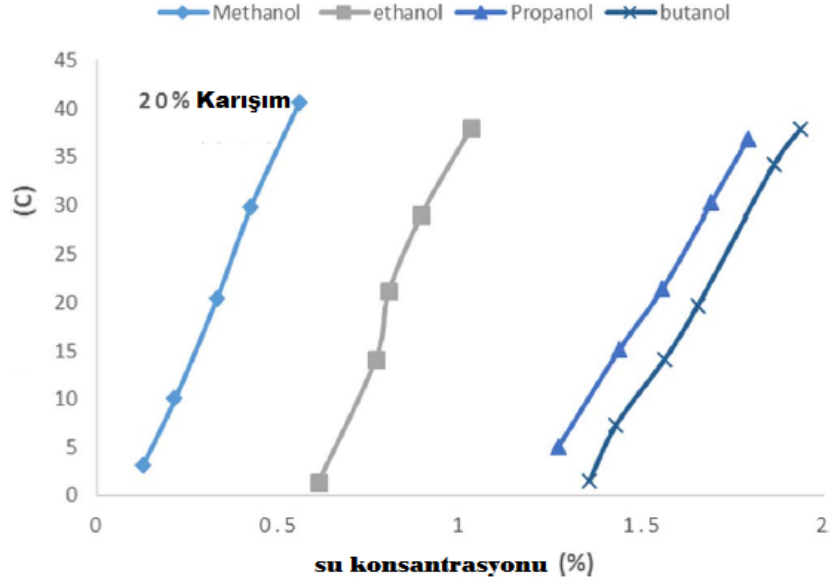
havalarda benzin ve alkol faz oluşturarak ayrışırlar. Suyun varlığı ve suyun miktarına bağlı olarak PST'nin yükselmesi, yani faz oluşturma sıcaklığının yükselmesi, etanol-benzin karışımlarının motor yakıtı olarak kullanılmasında ciddi teknik sorunlar oluşturmaktadır (Letcher TM, 1086).

Benzin içerisinde suyun çözünürlüğü oldukça düşüktür ve bu nedenle önemli bir performans kaybı oluşturmaz. Ancak su alkol içerisinde her oranda ve sıcaklıkta faz oluşturmadan homojen şekilde karışabilmektedir. Petrol türevi yakıt deposunda su olduğunda, depoların veya boruların en alt kısımlarında su ayrılarak birikir. Çünkü, suyun yoğunluğu benzin ve alkolden daha yüksektir. Ayrıca, yakıtlardaki su içeriği motor parçalarını aşındırabilir ve yakıt sisteminde tıkanmalar yapabilir. Ayrıca, tank tabanında korozyonuna önemli bir katkıda bulunur. Ayrıca, soğuk havalarda su donabilir ve yakıt akışını durdurabilir. Daha yüksek oranda çözünmüş su içeriği yakıtın ısı değerini önemli ölçüde düşürür, ancak daha da önemlisi, yeterli miktarda su ihtiva ederse, benzin ve etanolü ayrıştırır ve faz oluşturur. ASTM D4814-08b'ye göre, alkol ve benzin karışımları, en düşük sıcaklıklarda suya, alkole ve hidrokarbona ayrışmasını önlemek için yeterince kurumalıdır. Bu nedenle, gazohol karışımının SI motorunun bir yakıt olarak değerlendirilmesinde, ilk adım faz oluşturma sıcaklığı (PST) problemini çözmek ve dolayısıyla homojen bir karışım elde etmek olmalıdır. PST'yi düşürmek için, benzin-alkol karışımlarına normal olarak üçüncül butil alkol ve benzil alkol gibi daha yüksek alifatik alkoller ilave edilmektedir. Suyun gazohol karışımındaki çözünürlüğü, alkol türlerine büyük ölçüde bağlıdır. Benzinde birkaç % 10 ve % 20 alkol karışımında çözülebilen su miktarı Şekil. 27 ve 28. Su içeriğindeki artışla bulanık görünümün sıcaklığı doğrusal olarak artmıştır.

Bazı alkoller, benzin-alkol karışımlarının PST'sini düşürmek için yardımcı çözücüler olarak kullanılır, böylece karışımların stabilitesini arttırılır. Karaosmanoğlu ve ark (Karaosmanoğlu,1997), benzin-metanol karışımları için yeni bir harmanlama maddesi olarak fusel yağının bir fraksiyonunun eklenmesinin etkisini araştırmışlardır. Fusel yağı miktarı arttıkça metanol benzin karışımlarının PST'sinin azaldığı görülebilir. Ayrıca, yeni bir harmanlama gibi fusel yağı fraksiyonunun, benzin-metanol karışımlarının stabilizasyonu için çok uygun bir katkı maddesi olduğu ve yakıtın özelliklerinde herhangi bir problem yaratmadığı görülmüştür.



Şekil 5. Benzin ile alkol karışımlarının ağırlıkça % 10'sinde suyun çözünürlüğü üzerine sıcaklığın etkisi (Letcher TM, 1986).



Şekil 6. Benzin ile alkol karışımlarının ağırlıkça %10'sinde suyun çözünürlüğü üzerine sıcaklığın etkisi (Letcher TM, 1986).

3.2 Alkollerin motor yakıtı olarak kullanımı

Günümüzde, yüksek benzin fiyatları ve yeni çıkan katı emisyon düzenlemeleri nedeniyle, oksijen ve oktan seviyelerini artırmak için yenilenebilir bir yakıt olan etanolün üretimine daha fazla önem verilmektedir. Benzine kıyasla, daha yüksek tutuşma sıcaklığı, daha yüksek araştırma oktan sayısı, daha düşük donma noktası, daha yüksek buharlaşma sıcaklığı ve daha düşük Reid buhar basıncı (RVP) nedeniyle, etanolün üretimini artırmak için çok sayıda çalışma yapılmaktadır.

Deneysel çalışmalar, fosil kökenli yakıtlarla (benzinle ve dizel yakıt) metanol ve etanolün karıştırılmasının motor emisyonlarını azaltabileceğini göstermektedir. Esasen, bu deneysel çalışmalarda, motor emisyonları metanol ve etanolün oksijen içeriği ile ilgilidir. Bilindiği gibi metanol veya etanolün kimyasal ve fiziksel özellikleri benzinden tamamen farklıdır, özellikle kalorifik değeri benzine göre daha düşüktür [14]. Bu fonksiyon, benzine kıyasla motorun aynı motor gücünü sağlamak için daha fazla etanol veya metanol karışımına ihtiyaç olduğunu göstermektedir. Ayrıca, etanol ve metanol benzinden daha yüksek oktan sayısına sahipken, alkoller genellikle benzine göre daha düşük kaynama noktalarına sahiptir. Butanol veya butil alkol, modifiye edilmemiş buji ateşlemeli motorlarda kullanılabilen dört karbonlu bir alkoldür (C_4H_9OH). Çoğu çözücü ile karışabilirler ve suda hafifçe çözünürler (Yusri ve Najafi ,2017).

Bütanol, genellikle fosil yakıtlar kullanılarak üretilir. Ancak aynı zamanda biyokütleden de üretilebilmektedir. Bu durumda biyobütanol olarak adlandırılır. Biyobütanol ve petrol benzer kimyasal özelliklere sahiptirler.

Bütanol benzine çok benzer, çünkü metanol ve etanol ile karşılaştırıldığında butanol daha uzun hidrokarbon zincirlerine, daha düşük oksijen içeriğine ve daha yüksek kalorifik değere sahiptir. Bütanol de gelecek vaat eden bir yakıt adayıdır ve son zamanlarda daha fazla ilgi görmektedir. Bütanol, metanol ve etanolün birçok avantajına sahiptir ve su kirliliğine karşı yüksek toleransa sahiptir, bu nedenle mevcut dağıtım boru hatları kullanılabilir.

Füsel yağı, benzinli motorlar için etkili bir alternatif yakıt gibi görünmektedir. Füsel yağının bileşimi, alkol üretimi için kullanılan karbon türüne, fermantasyon

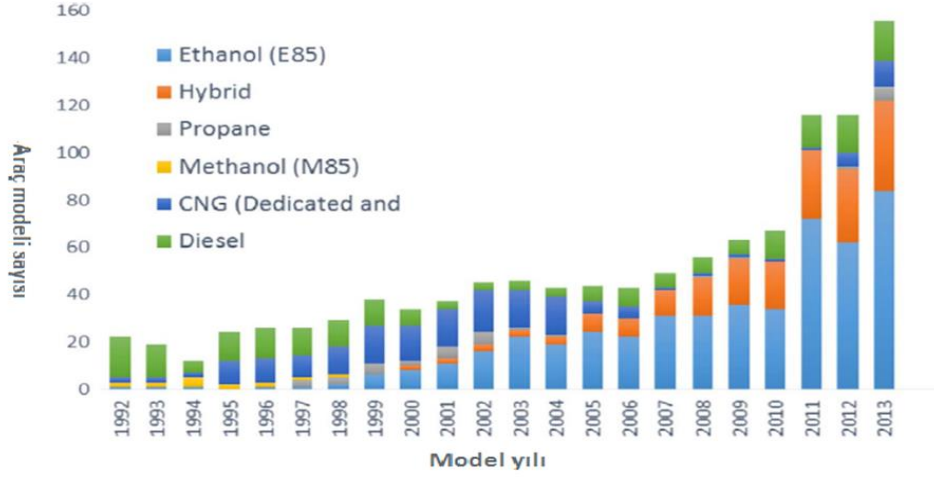
sürecine, karışımdaki füzel yağının hazırlama ve ayrılma yöntemine bağlıdır. Füzel yağı yaklaşık 390 g/L izoamil alkol, 158 g/L izobütanol, 28.4 g/L etanol, 16.6 g/L metanol ve 11.9 g/L n-propanolden oluşmaktadır. Füzel yağı, metanol-benzin karışımları için bir katkı maddesi olarak kullanıldığında, motor performansı ve emisyon seviyeleri iyileştirilmiştir (Calam ve Solmaz ,2015). Saf benzine karşılaştırıldığında, tüm yüklerde ve motor hızlarında tork gelişimi belirlenmiştir (Calam ve Solmaz ,2015).

Alkol yakıtların, daha önce de belirtildiği gibi oktan oranının yüksek olması nedeniyle benzinde tetraetil kurşun (TEL) yerine oktan artırıcı olarak kullanılmaktadır. Etanol, bir oktan artırıcı olarak daha çekici hale gelmektedir (“National Renewable Energy Laboratory”; 2014). 1970'lerde Amerika Birleşik Devletleri ve İtalya kurşunlu benzin kullanımını yasakladı. 1990'larda yeni arabalarda kurşunsuz benzin kullanmasına rağmen, topluluk yasasına göre, 2000'den beri satılmamaktadırlar. Halihazırda kurşunlu benzin kullanan bazı ülkeler dışında hemen hemen tüm ülkeler kurşunlu yakıt kullanımını yasaklamaktadır. Ek olarak, alkol, benzindeki tetraetil kurşunun (TEL) yerini almaktadır, çünkü; kurşun aşırı şekilde hava kirliliğine neden olmaktadır.

Bujili ateşlemeli motorlarda yüksek oktan derecesine sahip yakıtlar, motor vuruntusuna karşı yüksek bir dirence sahiptirler. Dolayısıyla, alkol yakıtlar yüksek oktan sayısı nedeniyle buji ateşlemeli diğer motor yakıtları kadar tatmin edicidir. Yakıtın oktan sayısı arttıkça motorun vuruntuya meylide azaltılmış olur. Böylece; saf benzine göre daha fazla motor gücü ve motor verimliliği sağlar. Alkollerin ve özellikle metanolün bir başka ilginç ve faydalı özelliği, kimyasal reaksiyonlar sırasında, ancak herhangi bir ek ısı olmaksızın ilave basınç sağlayan nispeten yüksek molar genişlemedir. Alkol yakıtlarının kalorifik değeri, benzinden yaklaşık % 30 daha düşüktür (Eyidogan,2010).

Benzinle karşılaştırıldığında, basit alkollerin düşük kalorifik değeri, sadece motora daha fazla yakıt taşınması gerektiği anlamına gelmez, aynı zamanda motorun yakıt ikmal sisteminin daha yüksek bir yakıt doldurma oranını karşılayacak şekilde tasarlanması gerektiği anlamına da gelir. Ayrıca, alkol en yüksek yanma verimine

sahiptir. Bunun başlıca nedeni nispi oksijen içeriğidir. Ek olarak, alkoldeki oksijen içeriği yanmanın bütünlüğünü artırmaya yardımcı olur. Ek olarak, alkol yakıtları SI motorlarının emisyon azaltma performansını iyileştirmek için tasarlanmıştır. Ayrıca, belirli alkollü yakıtlar geleneksel yakıtlardan daha ucuzdur. Özellikle son yıllarda alkollü yakıt kullanan motorların performansı, emisyonlar ve yanma özellikleri üzerine birçok literatür ve çalışmaları bulunmaktadır.



Şekil 29. Benzinli olmayan diğer yakıt türleri ile çalışan araç modellerinin sayısı 1991–2013 (“National Renewable Energy Laboratory”; 2014).

Şekil 29, 1992–2013 döneminde benzin yakıtı olmadan çalışabilen araç modellerinin sayısını göstermektedir. E85 üzerinde çalışabilen araç modellerinin sayısındaki artış açıkça gösterilmiştir (Tulva AN, 2007).

Tablo 20. Alkol karışımının yakıt özelliklerine etkisi

Alkol	Alkol konsantrasyonu %	Oktan sayısı	RVP	Yoğunluk	Isıtma değeri	Kinematik viskozite (mm ² /s)	Ref
Ethanol	5–30% (E5, E10, E20, E30)	↑ 1.36–5.56%	↑10.33–10.99%	↑0.21–0.49%	↓4.76–14.70%	--	(ETKB /EİGM, 2018)

MTBE	10–20% (M5, M10, E15, M20)	↑ 1.41– 4.65%	↑6.36– 7.27%		↓1.88– 3.83%	--	(Melik oğlu M,2010)
Methanol	5–10(M5,M10)	--	--	↑0.15– 0.44%	↓1.88– 3.83%	↑7.09– 10.32%	(MELİ KOĞLU ve ALBOSTAN, 2011)
Ethanol	5–10% (E5,E10,)	↑ 15– 5.56%	--	↑0.27– 0.61%	↓2.67– 5.47%	↑7.61– 15.69%	(MELİ KOĞLU ve ALBOSTAN, 2011)
Butanol	B35	--	--	↑7.63%	↓3.54%	--	(White TL,1907)
Fusel yağı	10–50% % (F10,F20 F30,F50)	↑ 1.4– 15%	--	↑2–5%	↓2–9%	--	(Abu-Zaid ,2004)
Ethanol	10,20% (E10, E20)	↑ 2.47– 4.16%	--	↑0.67– 1.20%	↓3.93– 7.83%	--	(Najafi ,2017)
n-butanol	10–20% (n-B10, n-B20)	↓ 0.34– 0.67%	--	↑0.80– 1.74%	↓2.47– 4.90%	--	(Wang ,2003)

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

ALKOLLERİN SI MOTORLARINDA KULLANIM YÖNTEMLERİ VE MOTOR KARAKTERİTİKLERİNE ETKİLERİ

4.1. Alkollerin Motor Yakıtı Olarak Kullanım Yöntemleri

Alkoller benzinli motorlarda çok farklı şekillerde yakıt olarak kullanılmaktadır. En basit kullanım yöntemi düşük oranlarda alkollerin benzine karıştırılmasıdır. Alkollerin fazla üretildiği tarım ülkelerinde sadece alkol yakıtla çalışan motorlarda bulunmaktadır. Bunların dışında aşağıda verildiği gibi farklı yöntemlerle de alkoller motorlarda yakıt olarak kullanılmaktadır.

4.1.1 Alkol Motorları

ABD ve Brezilya'de yıllardır sadece alkolle çalışacak şekilde imal edilmiş motorlar araçlarda kullanılmaktadır. İlk zamanlar, benzin motorları alkol motoruna çevrilerek kullanılmıştır. Sadece alkolle çalışan motorlarda alkollerin yüksek oktan sayısı nedeniyle sıkıştırma oranı yüksek olan (yaklaşık $\epsilon=13,3$) motorlar üretilmiştir. Böylece motorların teorik verimi de yükseltilmiştir (Taşdan, 2005).

Etanol (190 proof etanol: % 95 etanol, % 5 su), Brezilya'da, şu anda yaklaşık beş milyon arabanın yakıtını karşılamaktadır. Uzun zamandır, Etanol Brezilya'da kullanılan iyi bir yakıt geçmişine sahiptir. Etanol, saf olarak veya saf yakın formlarda birincil otomobil yakıtı olarak kullanılabilir. Bütanolün % 100 saflıktaki yakıtı SI motorlarda kullanılabilmesine rağmen, muhtemelen benzinle harmanlanma olasılığı çok daha yüksektir. Pek çok çalışma, bütanolün motor modifikasyonları olmadan benzine veya dizele % 45'e kadar karıştırılabileceğini göstermektedir (Letcher TM, 1986).

4.1.2. Benzin-Alkol karışımının Yakıt olarak Kullanılması

Bu tip motorlarda benzin ve alkol belirli oranlarda karıştırılarak motorlarda yakıt olarak kullanılmaktadır. Karışım yakıtların kullanıldığı sistemlerde motor üzerinde önemli bir değişiklik yapılmamaktadır. Bu yöntemde en önemli sorun benzin

ve alkolün özellikle soğuk havalarda faz oluşturarak ayrışmasıdır. Bu sebeple, özellikle soğuk havalarda benzine yüksek oranlarda alkoller karıştırılmamaktadır.

Metanol 85 (M85), % 85 metanol ve % 15 benzinin karışımıdır. Karışım, 15 °C'nin altındaki soğuk hava sıcaklıklarında, özellikle, zorlu soğuk motor çalışmalarında (ilk hareket sırasında) ve ayrıca tank içi yanıcılık, alev parlaması eksikliğini ve minimum koku içeren güvenlik endişeleri nedeniyle metanol (M100) kullanımıyla ilişkili sorunların bir kısmını kısmen hafifletmek için kullanılır. Kıvılcım Ateşlemeli motorlarda, etanol ve metanol karışımlarının farklı oranlarda benzine karıştırılarak kullanılması konusunda birçok çalışma yapılmıştır. El-Emam ve Desoky [38], saf metanol, saf etanol ve diğer yakıtların teorik ve deneysel olarak kıvılcım ateşlemeli motorların yanması üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Motor termal verimindeki artışın, nispeten düşük sıcaklık ve tepe (pik) basınçtan kaynaklandığını ve saf etanol ve saf metanol yakıtları kullanıldığında NO_x ve CO emisyonlarının azaldığını belirtmişlerdir.

Calam ve ark. (Calam ve Solmaz ,2015) kıvılcım ateşlemeli bir motorda alkol yakıtların kullanımının ve saf benzinin kullanıldığı motorlarda, motor performansını ve emisyonlarını araştırdılar. Elde ettikleri sonuçlarına göre, benzin yerine saf metanol kullanıldığında çıkış gücü ile NO_x ve CO emisyonlarının azaldığını, BSFC'nin arttığını görmüşlerdir. Çelik vd. (Çelik ,2011), farklı sıkıştırma oranları (CR) 6:1, 8:1 ve 10:1 olan motor deneylerinde ve farklı motor hızlarında, 1500-3500 rpm (d/dak) altında dört zamanlı, tek silindirli saf metanol ve saf benzin üzerinde deneyler yaptılar. Deneyler sırasında, vurunu, 8:1 ve 10:1'lik CR'larında, metanol kullanıldığı zaman görülmemiştir. Benzin kullanıldığında 8:1'lik CR'de vurunu kaydedilmiştir. Sonuçlar, ayrıca, 6:1'lik CR'de metanol kullanıldığında herhangi bir güç kaybı kanıtı olmaksızın CO, CO₂ ve NO_x emisyonlarında bazı azalmalar bulunduğunu göstermiştir.

1995-2011 yılları arasında ABD'de kullanılan araçlarda alkollü yakıt kullanan araçların sayısı (son 15 yılda) istikrarlı bir şekilde artmıştır. Etanollü araçların popülaritesi 1995'ten beri büyük ölçüde artarken, diğer alkollü araçların sayısı nispeten sabit kalmıştır.

Bazı ülkelerdeki benzin-alkolün harmanlanması, Brezilya E5 - E85 (% 5, %10,...,%85 etanol ve benzin karışımı), Almanya (%3 metanol), Güney Afrika (%12~01 alkol karışımı) şeklinde yapılmıştır ve bu durum diğer birkısım ülkelerdeki araştırmacıların dikkatini de çekmiştir. ABD’de (%10–01 etanol) alkol, benzinle karıştırılmıştır. Bu miktardaki karışımların kullanılması durumunda, araç üzerinde çok az modifikasyon yapılmış veya hiç modifikasyona gerek duyulmamıştır. Metanol da, kıvılcım ateşlemeli motorlarda çeşitli miktarlarda benzinle karıştırılarak yakıt olarak kullanılmıştır.

Gravalos ve ark. (Gravalos, 2013), alkol-benzin karışımlarının alkol bileşeninin propanol, etanol, metanol ve bütanolden oluştuğu karışımları motorlarda yakıt olarak kullanmışlardır. Yüksek-düşük moleküler kütleli alkol-benzin karışımlarının motor emisyonlarına etkilerini incelemişlerdir. Alkol-benzin karışımları ile çalışırken değişen motor yükleri altında CO ve HC konsantrasyonlarının azaldığı, alkol-benzin karışımlarının ürettiği NOx emisyonunun benzine göre daha yüksek olduğu görmüşlerdir.

Bir başka çalışmada, Etanol ve diğer alkoller benzinle harmanlanarak yakıt olarak kullanılmıştır (Rask KN,1998). En bilinen benzin-etanol karışımı, % 10 etanol ve % 90 benzin içeren E10 karışımıdır. Ayrıca, etanol tek başına (E100) motor yakıtı olarak veya % 85 etanol ve % 15 benzin içeren E85 karışımı olarak da kullanılmıştır. ABD’de kullanılan etanol, esas olarak melastan (şeker pancarından) üretilmektedir. Sebzelerin dışındaki kaynaklardan tahta (odun talaşı) veya kağıt atıkları gibi selülozik malzemelerden üretimin de ticarileştirmesi için devam eden çalışmalar bulunmaktadır.

Alkollerin, buji ateşlemeli motorlarda, uygun şekilde çalışabilmesi için önemli olan çok sayıdaki benzinin yakıt özelliklerini sağlaması gerekmektedir. Benzine alkol ilavesi, özellikle karışım viskozitesi, kararlılığı, ısıtma değeri ve oktan derecesi gibi bazı temel özellikleri etkiler. Aşındırıcılık ve yakıt sistemindeki malzemeler ile uyumluluğu da dikkate alınması gereken önemli konulardır. Daha da önemlisi, güvenliği etkileyen herhangi bir özellik, her yakıt değerlendirmesinde en başta gelmektedir. Bu da tutuşma ve parlama noktasının dikkate alınması gerektiği anlamına gelir. Tablo 19, alkol-benzin karışımının yakıt özellikleri üzerindeki etkisini göstermektedir. Özetle, bir karışımdaki artan alkol konsantrasyonu ile yakıt özellikleri

değişir. Tablo 19'de gösterildiği gibi, artan alkol konsantrasyonu ile birlikte, sunulan tüm yakıtlar için ısıtma değeri azalırken, karışımların kinematik viskozitesi ve yoğunluğu artmıştır. Ayrıca bütanol hariç tüm yakıtlarda oktan sayısı artmıştır. Değişen bu özellikler, kıvılcım ateşlemeli motorların performansında ve emisyonunda önemli bir rol oynamaktadır.

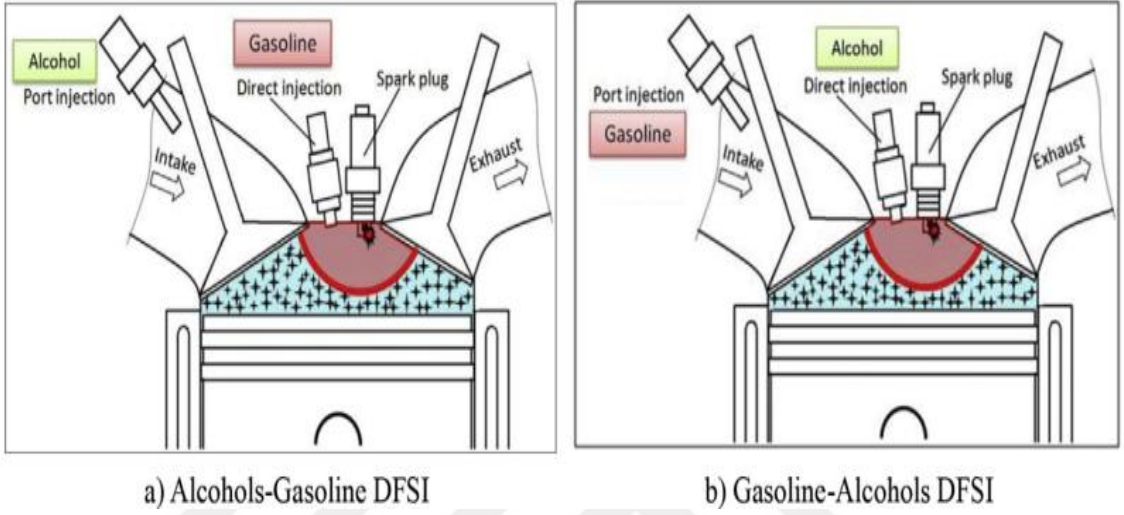
4.1.3. Benzin ve alkolle çalışan çift yakıtlı SI motor konsepti

Fosil yakıtların tükenmesinin yanı sıra, kirletici emisyonlarla ilgili artan endişeler, hem yakıt tüketimini hem de egzoz emisyonlarını azaltmak için gelişmiş yanma modu ve alternatif yakıtların araştırılmasına yolunu açmıştır. Çift yakıtlı enjeksiyon sistemleri, motor performansını iyileştirmek ve farklı yakıtların doğrudan enjeksiyonunu (DI) ve emme portlarına yakıt enjeksiyonunu (PFI) gündeme taşımıştır. Böylece, fosil yakıt tüketimini azaltmak için alkoller yakıt olarak kullanılabilirler. Etanol, SI motorları için en umut verici alternatif yakıtlardan birisidir. Yüksek oktan sayısı nedeniyle yüksek vuruşta önleme kalitesini sunmaktadır. Ayrıca oksijenli bir yakıt olması partikül emisyonlarının azaltılmasında da çok etkili olmaktadır. Öte yandan, esas olarak düşük düşük ısıtma değeri (LHV) nedeniyle daha düşük enerji yoğunluğu ile karakterize edilir.

Benzin alkol karışımlarının motorlarda yakıt olarak kullanılmasında faz ayrışma sorunu ile karşılaşılması, araştırmacıları farklı yöntemler ile daha yüksek oranlarda alkollerin motorlarda yakıt olarak kullanılmasına yönlendirmiştir. Bu kullanım yöntemlerinden önemli olanlardan bir kısmı aşağıda verilmiştir.

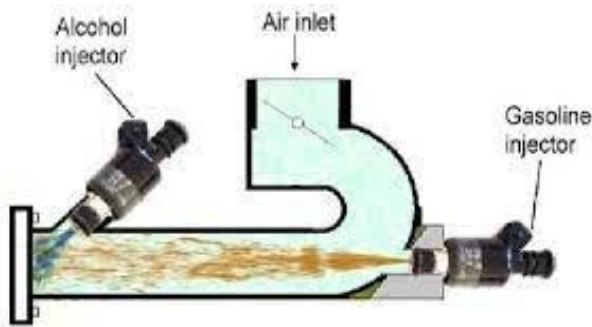
Şekil 29'da görüldüğü gibi; buji ateşlemeli motorlarda, emme supabı girişine alkolün çok noktadan enjekte edildiği ve silindir içerisine doğrudan benzinin enjekte edildiği çift yakıtlı enjeksiyon sistemleri veya bunun tersi olan, alkolün silindir içerisine doğrudan enjekte edildiği, benzinin ise emme portuna çok noktadan enjekte edildiği çift yakıtlı yakıt sistemlerinin motorlarda kullanıldığı görülmektedir. Bu sistemlerin kullanılabilmesi için mevcut motor konstrüksiyonunun buna uygun olması ve önemli motor değişikliklerinin yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Veya, motor imalatının çift yakıtlı sistemlere uygun şekilde yapılması gerekmektedir. Motora yakıt

ikmali, elektronik olarak kontrol edilen dubleks enjektörlerden oluşan prototip yakıt sistemleri ile sağlanmaktadır. Uygulanan sistem, motorun sadece benzin veya sadece alkol ile beslenmesini ve her iki yakıt karışımının herhangi bir alkol fraksiyonu ile aynı anda yanmasını sağlamaktadır. Böyle bir çalışma testleri dört silindir bir motor üzerinde yapılmıştır (Zhi Wang, ve ark,2015).



Şekil 29. Alkol-benzin DFSI (Dual fuel SI) yakma sisteminin iki farklı kullanım yönteminin şematik görünümü (Zhi Wang, ve ark,2015).

Alkol-benzin çift yakıt sisteminin kullanıldığı bir başka kullanım yöntemi Şekil 30'da verilmiştir. Burada alkol ve benzin emme manifolduna enjekte edilmektedir. Alkol emme supabı giriş portuna, benzin ise emme manifolduna enjekte edilmektedir. Burada da karışım silindir dışarısında oluşturulmaktadır.



Şekil 30. Alkol ve benzin emme manifolduna enjekte (Hui Liu ve ark,2015)

4.1.4. SI motorları için alkol kullanımında diğer yöntemler

Alkolü SI motorunda kullanmanın, motorda çalışan yakıt olarak ikincil yakıt olarak kullanmak veya birincil yakıt olarak kullanmak gibi birçok farklı yolları vardır. “Esnek yakıt motorlu arabalar” veya “Bi-fuel araçlar” olarak adlandırılan iki tip yakıtla çalışabilen bu arabalar %0'dan (benzin) %85'e (E85) kadar etanol karışımlarında çalışabilir. Tüketiciler, doğru yakıtın bulunup bulunmayacağından endişe etmeden herhangi bir yakıt kombinasyonu ile yakıt alabildiğinden, bu arz ve talep sorununu ortadan kaldırmaktadır. Bu araçlar, büyük otomobil üreticilerinin çoğu tarafından üretilmektedir ve E85 kullanan araçlar en büyük sınıfını temsil etmektedir. Bu araçlar, E85 yakıtına uyumlu malzemeler kullanılarak tasarlanmış ve üretilmiştir. Ayrıca, benzin ve E85'in farklı yakıt-hava karışımı gereksinimleri nedeniyle, yakıt dağıtım sistemleri, E85 kullanılırken artan yakıt hacimlerini kaldırarak şekilde boyutlandırılmıştır. Aracı bu yakıtla kullanmak üzere optimize etmek için kontrol algoritmalarında değişiklikler yapılmıştır.

Tablo 21. Esnek yakıtlı aracın yakıt ekonomisi değerleri (2005)

Vehicle	Fuel	City Fuel Economy, mpg	Highway Fuel Economy, mpg
Ford Taurus Wagon:	Regular gasoline	19	26
6 cyl, 3 L, Auto(4)	E85	14	19
Mercedes-Benz C320 Sports Coupe FFV:	Premium gasoline	19	24
6 cyl, 3.2 L, Auto(5)	E85	14	18
Dodge Caravan 2WD:	Regular gasoline	18	25
6 cyl, 3.3 L, Auto(4)	E85	13	17
Chrysler Voyager/Town & Country 2WD:	Regular gasoline	18	25
6 cyl, 3.3 L, Auto(4)	E85	13	17
Chevrolet C1500 Silverado 2WD:	Regular gasoline	16	20
8 cyl, 5.3 L, Auto(4)	E85	12	16
GMC C1500 Sierra 2WD:	Regular gasoline	16	20
8 cyl, 5.3 L, Auto(4)	E85	12	16

Bu besleme sisteminin maddesi, giriş valfi alanına enjekte edilen çok noktalı alkol ve benzin enjeksiyonudur. Motora yakıt ikmali, elektronik olarak kontrol edilen dubleks enjektörlerden oluşan giriş sistemi ile gerçekleştirilmiştir. Uygulanan sistem motorun sadece benzinle veya sadece alkolle çalışacak şekilde beslenmesini sağlar.

4.2. Bujili Ateşlemeli Motorlarda Alkol Kullanımının Motor parametrelerine Etkisi

4.2.1 SI motorlar performansına etkisi

Buji ateşlemeli motorların motor performans değerleri, kullanılan yakıtın türünden doğrudan etkilenirler. Bu özellikler arasında, motor gücü, tork, özgül yakıt tüketimi (SFC), fren termal verimi (BTE), özgül emisyonlar vb. bulunurlar. Literatürde, alkol yakıtlarının, SI motorlarının alkol-benzin karışımlarının kullanılması, benzine kıyasla daha fazla motor tork çıkışı ve yakıt tüketimi sağlar.

4.2.2 Motor Torku ve Gücüne Etkisi

Bazı araştırmalar, alkollü yakıt kullanıldığında, motor torkunun biraz arttığını, yakıt tüketiminin de bir miktar arttığını göstermiştir. Yakıt tüketimindeki artışın nedeni, alkollerin bünyelerinde oksijen içermeleri nedeniyle birim kütle ve hacimde benzine kıyasla daha az enerjiye sahip olmasıdır. Motor güç ve torku büyük ölçüde bir motorun silindir içi basıncına (ortalama efektif basınç) bağlıdır.

Calam ve arkadaşları, 2014 (Calam ve Solmaz, 2015), dört zamanlı, tek silindirli bir SI Hydra motoru üzerinde, farklı motor hızlarında (1500, 2500, 3500 ve 5000 rpm) çalışan, farklı motor yüklerinde (%25, %50), deneyler yaptılar. %75 ve %100 motor yüklerinde, farklı test yakıtları kullanarak da (F0, F10, F20 ve F30) deneyler yapılmıştır. Farklı test yakıtları kullanımında, fusel yağı miktarı arttıkça tüm yüklerde ve motor hızlarında motor torkunun arttığını izlemişlerdir. En yüksek motor torku F30 kullanımında 2500 rpm'de 400 Nm olarak elde edilmiştir.

Chongming ve ark. (Wang C ve ark, 2013), 1500 rpm motor hızında tek silindirli, sprey kılavuzlu, 4 zamanlı DISI araştırma motorunda, stokiyometrik hava-yakıt oranında (AFR) ve 3,5 ile 8,5 bar IMEP arasındaki farklı motor yüklerinde DMF, etanol ve benzin kullanmışlardır, ve optimum kıvılcım zamanlamalarını kullanmışlardır. 8.5 bar IMEP motor yükünde, DMF için yanma süresinin sırasıyla 4 ve 1 krank açısı derece ile benzin ve etanolden daha kısa olduğunu bulmuşlardır. DMF, etanolden daha yüksek silindir içi tepe basıncını oluşturmuştur. DMF ve etanol, yüksek oktandır sayısıyla nedeniyle benzine göre daha fazla anti-vuruntuya sahip olmuştur. 8.5 bar

IMEP'de, en yüksek termik verim etanol (% 38.5) kullanılırken elde edilirken, DMF ve benzin sırasıyla % 37 ve % 36'lık verime sahip olmuştur.

Buji ateşlemeli motorlarda, yakıtın oktan sayısını artırarak ve buna bağlı olarak motorun sıkıştırma oranını (CR) artırarak, daha yüksek güç, tork elde etme yolları ile motor verimliliğini yükseltme yeteneğini artıracak önemli araştırmalar yapılmıştır. Alkollerin yüksek oktan değerleri ve yüksek gizli buharlaşma ısısı (LHOV) değerleri, onları yüksek çıkış gücü üreten, yüksek sıkıştırma oranlı motorların imalatı için uygun bir yakıt haline getirmektedir. Bilindiği gibi yüksek oktan sayısı, yüksek sıkıştırma oranına izin vermektedir ve yüksek sıkıştırma oranı da teorik olarak daha yüksek bir performans sağlamaktadır. Yücesu vd. benzin, E10, E20, E40 ve E60'ın yakıtların değişken sıkıştırmalı (CR) oranlı kıvılcım ateşlemeli motorun performansı etkisi incelemiştir. Sıkıştırma oranları 8:1 ve 13:1 arasında incelenmiştir.

Daha yüksek CR'lerde etanol kullanıldığında motor torku ve gücünün arttığı gözlenmiştir. Heywood (Heywood, 1988), sekiz silindri, 5,3-L silindir hacimli bir motorun, tam yük durumunda 2000 rpm'de CR'nin değişimini motor performansı üzerindeki etkisini araştırmıştır. Deneylerde ateşleme zamanlaması ve yakıt/hava karışımı denkliği (HFK) değiştirilmiştir. Sonuçlarda, CR'nin artmasıyla, belirli bir sınıra kadar ortalama efektif basıncın (MEP) artışı ve fazla artırıldığında bunun sonucunda MEP'in daha da azaldığını göstermiştir. Gerçekte ise motor gücü düşmüştür.

Yang vd., bütanol-benzin karışımının (B35) motor performansı üzerindeki etkisini araştırdılar, burada, benzine kıyasla B35 kullanarak yapılan motor tam yük çalışmalarında, torkunun 7000 rpm'den düşük tüm hızlar için açıkça arttığını buldular. 7000 dev / dak'dan daha yüksek motor devirlerinde, tam yükte motor torkunun aynı kaldığı izlenmiştir (Yang J ve ark, 2011). Ayrıca, Palmer [45], % 10 etanol ilavesinin fren gücünü % 5 artırdığını ve oktan oranının eklenen her % 10 etanol miktarı için % 5 iyileştirilebileceğini belirtmiştir.

Öte yandan, bazı araştırmalar alkollü yakıtların kullanılması durumunda motor torkunun ve gücünün azaldığını gözlemişlerdir. Alasfour, dört zamanlı tek silindri bir motorda % B30 benzin-bütanol karışımını kullanarak çok çeşitli yakıt-hava eşdeğer

(HFK) oranları ($\Phi=0.8-1.2$) altında motor verimliliğini araştırmıştır. Benzine göre güçte %7 oranında bir azalma buldular. Ayrıca, Solmaz (Solmaz ,2015), fusel yağı kullanıldığında motor gücünün azaldığını bulmuştur, bu da benzine kıyasla fusel yağının daha düşük ısıtma değeri ve daha yüksek su içeriği ile açıklanmıştır.

4.2.3 Yakıt tüketimi (FC) ve Özgül Yakıt Tüketimine (sfc) üzerindeki etkisi

Araçların yakıt ekonomisi, otomobillerin ağırlığı, boyutu, aerodinamiği, yakıt besleme sistemi, motor tasarımı ve şanzıman türü gibi birçok faktörden etkilenir. Bu faktörler belirli otomobiller için sabit kalır. Bununla birlikte, benzine kıyasla alkolün yanma ısınma değeri ve yol ve hava koşulları gibi yakıt ekonomisini etkileyen birkaç değişken faktör vardır. Buji ateşlemeli motorlarda, yakıtın yanma ısısı (yakıtın alt ısıl değeri) değerinin motorun çalışma performans değerlerine etkisi, yanma süreci ve alkol, oksijen içeriğine etkisi, motor verimine etkisini önemlidir. Alkol yakıtlarının yanma ısınma değeri benzininkinden yaklaşık %30 daha düşük olduğundan, motordan aynı gücü üretmek için daha fazla alkol tüketimine ihtiyaç vardır.

Calam ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen Hydra marka motor ile bir deney (Calam ve Solmaz ,2015)gerçekleştirmişlerdir. Tam yük koşullarında, 3500 rpm'de çalışan, farklı benzin-fusel yağ karışımları (B0, F5, F10, F20, F30 ve F50) ile 11:1 sıkıştırma oranına sahip dört silindri kıvılcım ateşlemeli motor kullanarak değişen motor hızlarında motor tork değerleri ölçülmüştür. Benzine fusel yağı eklenmesini dizel yakıtın kalorifik ısı değerini düşürdüğünü (kurşunsuz benzine göre neredeyse %30 daha düşük) gösterilmiştir. Böylelikle, karışım içerisindeki fusel yağı miktarı arttıkça silindire alınan yakıt kütlesi miktarı da artmaktadır. Sonuç olarak, fren özgül yakıt tüketimi (bsfc) de artmaktadır. F10, F20 ve F30 test yakıtları kullanıldığında, sfc'nin maksimum olduğu motor tork hızının saf benzine göre sırasıyla% 2,4, % 2,7 ve % 3,1 arttığı görülmüştür.

Abu-Zaid vd. (Abu-Zaid ve ark,2004), metanol-benzin karışımlarının motor performansı üzerindeki etkisini araştırdı. Testler, geniş tam gaz konumunda (WOT) koşullarında ve farklı metanol-benzin karışımları kullanılarak 1000 ila 2500 rpm (d/dak) arasında değişen çeşitli motor hızlarında gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak,

frene özgül yakıt tüketimi değerleri, E15 kullanılması hariç, saf benzine kıyasla tüm motor hızlarında (devirlerinde) ve karışım oranlarında artmıştır.

Costa ve ark. (José R ve ark,2010) benzine kıyasla Hydrous (susuz-saf) etanol kullanılması durumunda özgül yakıt tüketiminin (BSFC'nin) % 50-70 arttığını izlemişlerdir. Diğer çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir. Qi ve Lee (Qi D ve Lee C. ,2016) , farklı motor yükleri altında ve 2500 rpm'de çalışan etanol-benzin karışımları (E10(%10 etanol) ve E20(%20 etanol)) ile üç silindirli bir motorun yanmasını inceledi. Karışımların BTE'sinin saf benzine benzer olduğu, ancak BSFC'nin benzine göre daha yüksek olduğu bulundu. Balki ve ark. (Balki ,2014), metanol ve etanol kullanımının, metanol ve etanolün daha düşük ısıtma değeri nedeniyle BSFC'yi önemli ölçüde artırdığından bahsetti.

Tablo 22. Alkol yakıtlarının SI motorlarında kullanılmasının motor gücü, tork ve ısı verime etkisi.

Alkol türü	Karışım oranı	SI motor tipi	Test koşulu	Motor gücü, tork ve termal verimlilik üzerindeki etki	Yıl	Ref
Metanol ve Etanol	M100 ve E100	4C, 4S, WC motor	Çeşitli CR (6-16), eşdeğerlik oranı ve ateşleme zamanlaması TDC'den önce 20 olarak ayarlandı	Alkoller (etanol ve metanol), nispeten daha düşük basınç ve silindir içi nedeniyle bu testte kullanılan benzine ve diğer yakıtlara kıyasla biraz daha yüksek ITE'ye sahiptir.	1985	(El-Emam S ve ark,1985)
Etanol	E100		1500 rpm altında hız, stokiyometri (AFR) ve çeşitli motor yükleri	Benzine kıyasla etanol için daha düşük ısıtma değeri nedeniyle etanol kullanılırken ISFC artmıştır.	2013	(Wang C ve ark,2013)

Fusel yağı	F0, F5, F10, F20, F30 and F50	SC, 4S, DISI Hydra motor	Tam yük altında Çeşitli kıvılcım zamanlamaları	Ateşleme zamanlaması arttıkça motor torku biraz arttı. Ayrıca, karışımdaki fusel yağı miktarı arttıkça motor verimi de arttı	2013	(Cala m ve Solm az ,201 5)
Butanol	B35	4C, 4S, engine with Min BSFC 13.44(MJ/kW. h)	Çeşitli motor hızları (3000–8000 rpm)	Motor tam yük torku, 7000 rpm'den düşük tüm hızlar için açıkça arttı, ancak 7000 rpm'den yüksek motor hızları için aynı kaldı	2011	(Wa ng ,200 3)
Fusel yağı	F0, F10, F20 and F30.	SC, 4S, DISI Hydra engine	Çeşitli motor hızları. (2500, 3000, 3500, 4000, 4500 ve 5000 rpm)	F10, F20 F30 için motor torku sadece benzin kullanımına göre sırası ile %1,44, %1,86 ve %3,2 arttı saf benzin	2012	(José R ve ark,2 010)

Not: Tabloda; kısaltma kodları: BTE (fren termal verimliliği); ITE (belirtilen termal verimlilik); VE (hacimsel verimlilik); BSFC (fren özgül yakıt tüketimi); FC (yakıt tüketimi); BMEP (fren ortalama efektif basıncı), CT (silindir sıcaklığı), HECU (Hibrit elektronik kontrol ünitesi) olarak verilmiştir.

Tablo 23. Alkol yakıtlarının SI motorlarında motor fren özgül yakıt tüketimi (BSFC) üzerine etkisi.

Alkol türü	Karışım oranı	SI motor tipi	Test koşulu	Motor BSFC ve ISFC üzerindeki etkisi	Yıl	Ref
Metanol ve Etanol	M100 ve E100	4C, 4S, doğal olarak emişli motor	CR 8.6 ile çeşitli motor hızları	BSFC, yüksek ısıtma değeri nedeniyle benzine kıyasla etanol ve metanol ile arttı	2010	(Pou rkhe salia n 2010)
Etanol	E100	SC, 4S, DISI motoru	1500 rpm altında hız, stokiyometri (AFR) ve Çeşitli motor yükleri	8.5 bar IMEP'de etanol en yüksek termal verimliliği (% 38.5) gösterir.	2013	(Wa ng C ve ark,2 013)
Fusel yağı	F5, F10, F20, F30 and F50	SC, 4S, hidra motoru	Çeşitli motor hızları (devirleri), tam motor yükü ve CR:11	Karışımlarda artan fusel yağı miktarı ile silindire alınan yakıt kütlesi miktarı artmıştır. Artan gövde yağı miktarı, frene özgül yakıt tüketiminin (BSFC) artmasına neden oldu	2013	(De mirb aş ,200 7)
Metanol	M3, M6 M9 M12 ve M15	SC, 4S, VCR motoru	Çeşitli motor hızları ve geniş açık gaz keleşliği (WOT)	BSFC, E15 haricinde saf benzine kıyasla tüm motor hızları ve karıştırma oranları için artırıldı.	2003	(Jos é R ve ark,2 010)

Etanol	E10 ve E20	3C, 4S, DISI motoru	Çeşitli motor hızları ve kısmi yük	Benzine göre etanol-benzin kullanıldığında SFC artmış ve artan etanol içeriği ile artmıştır.	2014	(Qi D ve Lee C. ,2016)
Butanol	B35	4C, 4S, doğal olarak emişli motor	Çeşitli motor hızları (3000–8000 rpm)	B35 kullanıldığında BSFC ortalama olarak% 14 azaldı	2011	[(Yang J ve ark,2011)
Fusel yağı	F0, F10, F20 ve F30.	SC, 4S, DISI Hydra motor	Çeşitli motor hızları, tam motor yükü ve CR 11	Karışımındaki fusel yağı miktarına bağlı olarak tüm motor hızları için BSFC artırıldı.	2012	(José R ve ark,2010)

Not: Tabloda; kısaltma kodları: BTE (fren termal verimliliği); ITE (belirtilen termal verimlilik); VE (hacimsel verimlilik); BSFC (fren özgül yakıt tüketimi); FC (yakıt tüketimi); BMEP (fren ortalama efektif basıncı), CT (silindir sıcaklığı), HECU (Hibrit elektronik kontrol ünitesi) olarak verilmiştir.

Yakup ve Alper, benzin karışımındaki fusel yağı miktarına bağlı olarak tüm motor hızlarında özgül yakıt tüketiminin (SFC) arttığını belirtmişlerdir. SFC'deki en yüksek artış (% 7.7) F30 (% 30 fusel yağı) ile elde edildi. Osman ve ark., 2800 ile 5000 rpm arasında değişen hızlarda MTBE (metal tert-butil eter) harmanlama yakıtı olarak kullanıldığında fren özgül yakıt tüketiminin arttığını belirtmiştir. Bu sonuç, MTBE'ye kıyasla benzinin daha yüksek enerji değerine (ısıtma değeri) sahip olmasından ve daha düşük yoğunluğa sahip olmasından kaynaklanıyor olduğu belirtilmektedir.

Yapılan çeşitli araştırmalarda bujili ateşlemeli motorlarda alkol kullanımının motor karakteristik değerleri üzerine etkileri Tablo 21 ve Tablo 22 de özet olarak verilmiştir.

Tablo 22, ise alkol yakıtların kıvılcım ateşlemeli bir motorda kullanılmasının yanma özellikleri özetlemektedir. Burada; silindir sıcaklığı (CT), fren ortalama efektif basıncı (BMEP), ısı salınım hızı (ROHR), basınç artış hızı (ROPR) dahil olmak üzere kütle oranı yanması (FMB), silindir basıncı (CP), yanma süresi (CD), yanma hızı (CS), alev hızı (FS), yanma verimi (CE) ve çarpma önleyici (AK) olarak verilmiştir. Ayrıca, Tablo 3'te listelenen çalışmaların neredeyse tamamının özeti verilmiştir.

4.2.4. Motor verimi üzerindeki etkisi

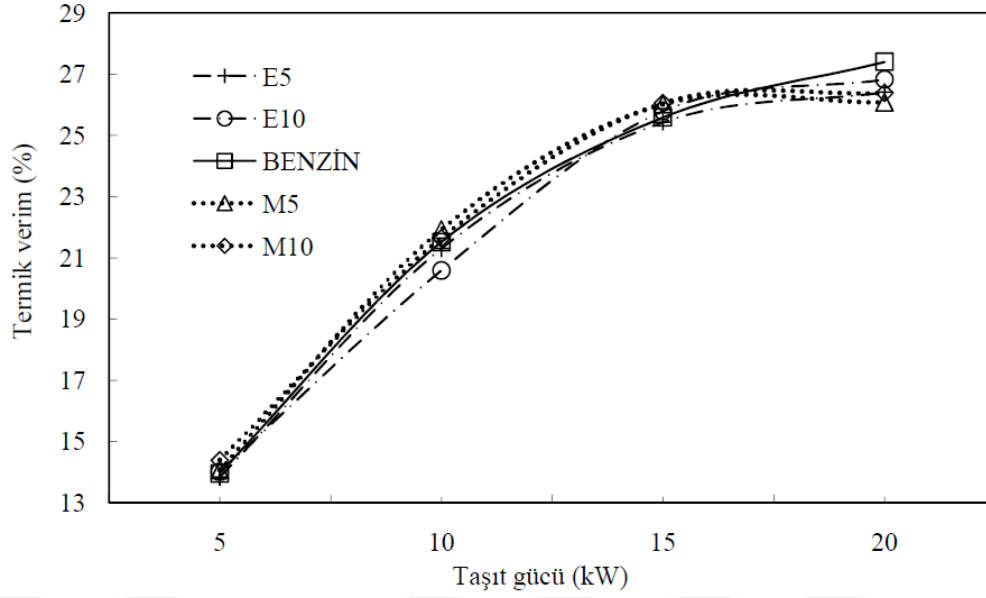
Termik verim, yakıtın yanması sonucunda oluşan ısı enerjisine karşılık, motorun bu enerjiyi faydalı işe dönüştürme oranıdır. Yanma sonunda oluşan ısı enerjisinin bir kısmı soğutma sistemi, yağlama sistemi ve yanmış egzoz gazları ile motordan dışarı atılmaktadır. Dolayısıyla dışarı atılan bu enerji işe dönüştürülememektedir. Buna göre termik verim,

$$\eta_t = \frac{W_e}{Q_g}$$

Burada:

η_t : Motorun termik verimi, W_e : Motordan alınan iş (kJ), Q_g : Motora yakıtla verilen ısı miktarıdır (kJ),

Motor gücünün artmasıyla birlikte özgül yakıt tüketimi azalmaya, termik verim artmaya başlar. Eydoğan, termik verim 20 kW taşıt çıkış gücünde benzinde %27,40 olarak gerçekleşmiştir. E5, E10 ve M5 yakıtlarında benzine göre ortalama azalma miktarı sırasıyla %1,52; %1,30 ve %0,12 olarak tespit edilmiştir. M10 yakıtında meydana gelen ortalama artış miktarı ise %0,45'dir. E5, E10 ve M5 yakıtlarında termik verimin azalmasının temel nedeni, etanol ve metanolün ısıl değerlerinin düşük olması sebebiyle özgül yakıt tüketimlerinin artmasıdır. M10 yakıtının ısıl değerinin benzine göre düşük olmasına rağmen içeriğindeki oksijen miktarı hem benzin hem de diğer yakıt karışımlarına göre daha yüksektir. Oksijen miktarının yüksek olması neticesinde daha iyi yanma gerçekleşmekte ve termik verim artmaktadır (Eyidoğan ve ark. 2011).



Şekil 31 Termik verimin farklı taşıt çıkış güçlerine göre değişimi (Eyidoğan ve ark. 2011)

4.2.5. Yanma özelliklerine etkisi

Genellikle, alkol bazlı yakıtlar, yüksek oksijen içeriği ve tek kaynama noktası nedeniyle içten yanmalı motorlarda (ICE) yanmanın üzerinde gerçek bir etkiye sahiptir. Ek olarak, alkoller, benzine göre yaklaşık %30 daha düşük enerji değerlerine sahiptir. Alkoller, tam yanmaya imkân sağlayan oksijenli yakıtlardır. Açıkça, kıvılcım ateşlemeli motorda kullanılan yakıtların türü, alev yapısını ve yanma odası içindeki yanma hızını doğrudan etkiler. Alev gelişimi CA0–10 ve alev yayılımı CA10–90 süreleri, bir motorun yanmasını ve ısı verimini etkileyen önemli parametrelerdir. CA0–10 süresi, yanmanın başlangıcı olarak adlandırılan kıvılcım başlangıcı ile %10 ısı yayılımı veya yanmış kütle oranı arasındaki mesafedir. Bu sürenin motor verimliliği üzerinde olumsuz ve olumlu etkileri olabilir. CA10–90 periyodu, % 10–90 oranında ısı yayılımının veya yanmış kütle fraksiyonunun CA süresini tanımlayan alev yayılma süresi olarak adlandırılır. %10-90 süre, yanma hızını ve yanma verimliliğini bulmak için kullanılan önemli bir parametredir (Is Sezer ve Bilgin A,2008). Genel olarak, benzindeki alkol yakıt katkı maddesinin küçük bir kısmı benzine göre daha kısa alev

oluşumu ve daha hızlı yanma sağlar [4]. Ayrıca, tipik olarak kullanılan oksijenli hidrokarbon, benzine kıyasla hızlı yanma oranına sahip alkoldür.

Tablo 24. SI motorlarında alkol yakıtlarının yanma özelliklerine etkisi.

Alcohol type	Blending ratio	SI engine type and test condition	CE	ROHR	ROPR	CT	CP	CD	FS	CS	AK	FMB	Year
Ethanol and methanol	E100 and M100	Low power SC,4S engine	▲ ▼					▼ ▼	▲ ▲	▲			2014
Ethanol	Pure Ethanol	SC,4S, DISI engine with different IMEP	▲ ▲			▼	▲	▼	▲ ▲	▲ ▲	▲ ▲		2013
Methanol	M20 and M70	4C, 4S, engine with MPFJS		▲		▼	▲	▼			▲		2014
Butanol	B100	SC, 4S, CFR engine with DST and VCRC	▼				▲	▼			▲ ▲		2010
Ethanol	E0, E20, E40, E60, and E84	SC, 4S, CFR engine with DST and VCRC						▼ ▼			▲ ▲		2009
Ethanol	E100	SC, 4S, DISI engine with VEL	▲			▼	▲	▼	▲ ▲	▲			2011
Ethanol	E10 and E20	3C, 4S, DISI engine with VEL		▲		▲	▼				▲ ▲		2014
Butanol, ethanol and methanol	B100, E100 and M100	SC, 4S, DISI engine with stoichiometric and lean conditions (1.0 and 0.83) under 1500 rpm					▲		▲			▲	2013
Butanol	B35	4C, 4S, engine with VES	▼			▼			▲ ▲				2011

Not: Tabloda semboller: (▼) Yanma kodları azalır veya kısalmır, (▲) Yanma kodları arttırır veya uzatır, (MPFJS) çok noktalı yakıt enjeksiyon sistemi, (CT) silindir sıcaklığı, (SI) kıvılcım ateşlemesi, (CT) silindir basıncı, (CD) yanma süresi, (CE) yanma verimlilik. (FS) alev hızı, (CS) yanma hızı, (AK) vuruntu direnci, (VEL) çeşitli motor yükleri, (VES) çeşitli motor hızları, (DISI) Doğrudan Enjeksiyon Kıvılcım Ateşlemesi, ROHR, ROPR, IMEP, BMEP, (3C) üç silindirli, (4C) dört silindirli, (SC) tek silindirli, (4S) dört zamanlı, (CFR) ortak yakıt araştırması, (DST) farklı kıvılcım zamanlaması, (CR) sıkıştırma oranı, (VCRC) değişken sıkıştırma oranı yetenekleri, (HECU) hibrit elektronik kontrol ünitesi.

Solmaz (Solmaz ,2015), tek silindirli, dört zamanlı bir motor üzerinde deneysel çalışma gerçekleştirmiştir. Farklı fusel yağ-benzin karışımlarının motor performansı, yakıt-hava yanma özellikleri ve egzoz emisyonlarını, 2500 rpm'deki farklı motor yüklerinde ölçmüşler ve değerlendirmeler yapmışlardır. En yüksek silindir içi basınç

(mep) ve ısı salınım hızı (ROHR=Rate of Heat Release), fusel yağı oranı arttıkça azalmıştır. Silindir basınçlarında ve ROHR'de azalma, fusel yağındaki yüksek su içeriğinin neden olduğu fusel yağının daha kötü yanması nedeniyle olmuştur. %100 motor yükünde saf benzine (F0) kıyasla saf fusel yağı (F100) kullanıldığında silindir içi basınç ve ROHR için önemli bir azalma sağlandı. ROHR ve silindir içi basınç artışının motor yükü arttıkça gerçekleştiği görüldü. F50 ve F100 için IMEP, motor yükleri arttıkça benzine kıyasla önemli ölçüde azaldı ve maksimum IMEP değeri, benzin kullanılarak 8.05 bar tam motor yükünde elde edildi. ROHR ve maksimum silindir içi basınçlar, saf fusel yağı (F100) kullanımı ile azaldı. Bu durum, daha kötü yanmaya neden olan fuselin yüksek su içeriği (% 10-15) nedeniyle akaryakıtın aynı λ 'da yanmayı ve ileri ateşlemeyi artırdığı gerçeğini dikkate almaktadır. Tüm motor yüklerinde fusel yağı kullanıldığında alev geliştirme süresi (CA0–10) ve alev yayılma süresi (CA10–90) uzamıştır. Fusel yağının oksijen içeriği, yanma süresinin kısaltılması için faydalı olabilir, ancak daha yüksek su içeriğinin süreler üzerinde olumsuz etkileri vardır. Ancak, daha düşük enerji değeri ve daha yüksek LHOV fusel yağı, silindir sıcaklığının düşmesine ve alev gelişimi üzerinde olumsuz etkilere neden oldu. Uzun alev gelişimi ve alev yayılma süreleri nedeniyle, silindir içi duvardaki ısı kaybı artarak motorun termal verimliliğini etkili bir şekilde düşürdü. Bununla birlikte, fusel yağındaki oktan sayısının daha yüksek olması nedeniyle motorun vurunu direnci artırılmıştır.

Chongming ve ark. (Wang C ve ark,2013), 1500 rpm motor hızında, stoikiometrik hava-yakıt oranında (AFR=1) ve farklı motor yüklerinde (3,5 ve 8,5 bar IMEP) tek silindirli, direkt enjeksiyonlu buji ateşlemeli araştırma motorunda etanol ve benzin yakıtlar ve karışımları ile deneysel çalışmalar yürüttüler. Bu çalışmalarda, motor performans değerlerini, yanma olaylarını ve emisyonları değerlerini incelediler. Sonuçlar, 8.5 bar IMEP motor yükünde (ortalama efektif basınç), etanol daha yüksek yanma verimliliğine (% 96.7-97.5) sahipken benzin için % 95.3-95.5 olarak izlemişlerdir. Alkoldeki yüksek oksijen içeriği, yanma sırasında oksijen varlığını artırır ve bu da yanma verimliliğini artırır.

Lennox ve ark. (Siwale L ve ark, 2011) yaptıkları metanol ve benzin yakıtlı çalışmalarda, Metanol (M70) için yanma süresi uzarken, M70 kullanıldığında ısı salım

hızının (ROHR)ve ortalama efektif basıncının benzine göre arttığını göstermiştir. Bir başka çalışmada, Szwaja ve Naber [33], farklı oranlarda bütanol ve benzin karışımı ile buji ateşleme avansının kıvılcım ateşlemeli bir motorun yanma süreci üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Bütanol kullanıldığında yanma süresinin kısaldığını ve silindir içi basıncın arttığını bulmuşlardır. Bu nedenle yanma verimi de artmıştır. Cooney, sabit bir motor yükünde ve farklı CR değerlerinde (8:1, 10:1, 12:1), farklı etanol ve benzin karışım oranlarında (E0, E20, E40, E60 ve E84) üzerinde çalışan SI motorunun gömülü kütle fraksiyonunu analiz ederek motorun yanma özellikleri üzerine etkilerini incelediler. 14:1 ve 16:1) Sonuç olarak, CR'nin E84 için vuruğu eğilimini sınırlandırmanın saf benzinin neredeyse iki katı olduğunu ortaya çıkardı. Ayrıca, etanol miktarı artırılarak alev oluşumu % 0-10 süresi kısaldı.

Daniel vd. (Wang C ve ark,2013), farklı motor yükleri altında, tek silindirli bir DISI motor kullanarak alternatif yakıtların (etanol) ve benzinin optimum ateşleme zamanlaması üzerindeki etkisini incelediler. Birincisinde, alkolün (etanol) buharlaşma yüksek ısı ve yüksek araştırma oktan sayısı (RON) nedeniyle, stokiyometrik yanma sağlandığında, daha yüksek ısı vermesi sebebiyle, sadece benzinin kullanıldığı motora göre alkolde motor vuruğu önleme eğilimi artmıştır. Ayrıca, benzinin yanma verimliliği, etanolden daha düşüktür. Bu durum alkoldeki yüksek oksijen içeriğinden ve tek molekül yapısından kaynaklanmaktadır. Ayrıca, etanolün daha yüksek yanma verimliliği, için maksimum yanma sıcaklığı ve maksimum silindir basıncına yol açmaktadır. MBT koşullarında benzinin yanma süresi alkolden (etanol) daha uzundur. Bununun sebebiyle MBT koşullarında benzinin alev yayılma hızının etanole karşılaştırıldığında % 10-20 oranla yavaşladığını da ortaya koymuşlardır. Sonuç olarak, çalışma, alkolün yüksek oksijen içeriği nedeniyle en yüksek yanma verimliliğini sunduğunu göstermektedir. Çelişkili bir şekilde, oksijen içeriği yakıt tüketimi performansını sınırlar, çünkü her türlü ek enerjiyi sınırlar ve aynı zamanda yanmanın eksiksizliğini artırır.

Qi ve Lee (Qi D ve Lee C. ,2016), E10'un benzinden daha düşük pik silindir basınçlarına sahip olduğunu, ancak E20'nin benzinle aynı değere sahip olduğunu göstermiştir. Ek olarak, benzinin düşük motor yüklerinde, benzin-etanol karışımlarına kıyasla daha hızlı yanma hızı ve ısı salım hızı (ROHR) elde edilmiştir. Bununla

birlikte, daha yüksek motor yüklerinde, benzine kıyasla % 20 etanol (E20) daha hızlı yanma hızı ve biraz daha yüksek ROHR üretmiştir. E10 ve E20 için yanma kütle fraksiyonu (MFB) açıkça benzinden farklıdır. Daha düşük yüklerde, etanol (E10 ve E20), saf benzine kıyasla biraz daha kısa % 0-10 daha kısa süre ve yanma hızına sahiptir. Ancak daha yüksek yüklerde, etanol-benzin karışımları hızlı yanma açısından daha yüksek laminar alev hızına sahiptir. Ayrıca, E20, benzin ve diğer karışımlara kıyasla daha hızlı yanma hızına sahiptir.

4.2.6. Alkol yakıtlarının motor emisyonlarına etkisi

Bilindiği gibi çevre kirliliği ve insan sağlığı dikkate alınarak motor egzoz emisyon değerlerine dünya çevre örgütü tarafından çeşitli sınırlamalar getirilmiştir. Yıllar itibariyle bu değerler sürekli aşağı çekilerek emisyon değerleri azaltılmıştır. Bu emisyon standartlarını sağlamayan araçların ithalatı ve ihracatına yasaklar getirilmiştir. Bu Paralelde avrupanın getirdiği standartlar aşağıda kısaca tarihi sıra içerisinde verilmiştir.

Kıvılcım ateşlemeli motorlarda nitrik oksit (NO_x), hidrokarbon (HC), karbon monoksit (CO) ve karbondioksit (CO₂) gibi motor emisyonları, motorun çalışma durumu ve yakıt özellikleriyle yakından ilgilidir. Bu ilişkiler, kıvılcım ateşlemeli motorlarda çeşitli alkol ve benzin yakıtları için araştırılmıştır. İçten yanmalı motorlarda kullanılan alkol, motor egzoz emisyonunu ve toksik egzoz bileşenlerini azaltabilmektedir ve genel enerji verimliliğini artırabilmektedir. Alkol yakıtının NO_x, HC, CO ve CO₂ üzerindeki etkisi ve literatürde listelenen üzerindeki etkilerini içeren Tablo 24 ve 25'de kapsamlı bir şekilde özetlenmiştir. Çalışmalardan bazıları tablolarda listelenirken diğerleri aşağıdaki bölümlerde açıklanmıştır.

Tablo 25. Hafif ticari araçlar için Avrupa emisyon standartları 1305–1760 kg referans kütlesi (Kategori N1-II), g / km

Tier	Date	CO	THC	NMHC	NO _x	HC+NO _x	PM	PN [# / km]
Diesel								
Euro 1	October 1994	5.17	-	-	-	1.4	0.19	-
Euro 2	January 1998	1.25	-	-	-	1.0	0.12	-
Euro 3	January 2001	0.80	-	-	0.65	0.72	0.07	-
Euro 4	January 2006	0.63	-	-	0.33	0.39	0.04	-
Euro 5a	September 2010	0.630	-	-	0.235	0.295	0.005	-
Euro 5b	September 2011	0.630	-	-	0.235	0.295	0.005	6×10 ¹¹
Euro 6	September 2015	0.630	-	-	0.105	0.195	0.005	6×10 ¹¹
Petrol (Gasoline)								
Euro 1	October 1994	5.17	-	-	-	1.4	-	-
Euro 2	January 1998	4.0	-	-	-	0.6	-	-
Euro 3	January 2001	4.17	0.25	-	0.18	-	-	-
Euro 4	January 2006	1.81	0.130	-	0.10	-	-	-
Euro 5	September 2010	1.810	0.130	0.090	0.075	-	0.005*	-
Euro 6	September 2015	1.810	0.130	0.090	0.075	-	0.005*	6×10 ¹¹

4.2.7. NO_x ve HC emisyonlarına etkisi

Bilindiği gibi yanma sistemlerinde azot oksitler yüksek sıcaklık ve yanma süresine bağlı olarak oluşan sağlığa zararlı çevre kirliliği oluşturan gazlardır. Silindir içi sıcaklığı 900 °C derecenin üzerine çıktığında azot oksitler oluşmaya başlarlar ve sıcaklık arttıkça oluşum süresi kısalmır. 1600 derecelerde oksijen ve azot gazları süreye ihtiyaç olmadan hemen azot oksite dönüşür. Bu nedenle, motorlarda yüksek sıcaklık oluşmaması için bazı önlemler alınır. HC yanmamış hidrokarbondur ve çevre kirliliği yapan egzoz emisyonları içerisinde bulunması istenmeyen bir diğer maddedir. Aynı zamanda noksan yanma ürünü olduğundan motorun hem yanma verimini düşürür, hemde yakıt tüketimini artırır. Bu maddenin miktarını azaltmak için hem yakıt, hem ateşleme sistemlerinde iyileştirmeler yapılmış ve halende yapılmaktadır. Yine bilindiği gibi standartların verdiği sınır değerlerin altına düşürmek için egzoz sistemi üzerinde de katalitik dönüştürücüler vb çeşitli önlemler alınmaktadır. Bu konuda

benzin alkol yakıt karışımları ile yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar aşağıda kısaca özetlenmiştir.

Tablo 26. Hafif ticari araçlar için Avrupa emisyon standartları > 1760 kg referans kitlesi maksimum 3500 kg. (Kategori N1-III ve N2), g / km

Tier	Date	CO	THC	NMHC	NO _x	HC+NO _x	PM	PN [# / km]
Diesel								
Euro 1	October 1994	6.9	-	-	-	1.7	0.25	-
Euro 2	January 1998	1.5	-	-	-	1.2	0.17	-
Euro 3	January 2001	0.95	-	-	0.78	0.86	0.10	-
Euro 4	January 2006	0.74	-	-	0.39	0.46	0.06	-
Euro 5a	September 2010	0.740	-	-	0.280	0.350	0.005	-
Euro 5b	September 2011	0.740	-	-	0.280	0.350	0.005	6×10 ¹¹
Euro 6	September 2015	0.740	-	-	0.125	0.215	0.005	6×10 ¹¹
Petrol (Gasoline)								
Euro 1	October 1994	6.9	-	-	-	1.7	-	-
Euro 2	January 1998	5.0	-	-	-	0.7	-	-
Euro 3	January 2001	5.22	0.29	-	0.21	-	-	-
Euro 4	January 2006	2.27	0.16	-	0.11	-	-	-
Euro 5	September 2010	2.270	0.160	0.108	0.082	-	0.005*	-
Euro 6	September 2015	2.270	0.160	0.108	0.082	-	0.005*	6×10 ¹¹

Tablo 26'da açıklandığı gibi, saf benzine kıyasla alkol yakıtların kullanımı ile NO_x ve HC emisyonları hemen hemen her zaman azalmıştır. Bununla birlikte, işletme durumu (çalışma koşulları), NO_x ve HC emisyon miktarlarını etkilemektedir. Benzine, harmanlanmış alkol kullanıldığında, buharlaşma ısısının yüksek olması nedeniyle, silindir içi sıcaklığının tepe noktası azalmaktadır, dolayısıyla sıcaklığın düşmesine bağlı olarak NO_x emisyon miktarı da azalmaktadır. Çünkü, azot oksitlerin silindir içerisinde oluşma miktarı silindir iç sıcaklığına ve yanma süresine bağlıdır, bunların değeri arttıkça miktarda artmaktadır.

Zervas (Zervas, 2013), yakıtın bileşiminin ve hava-yakıt oranlarının NO_x emisyonları üzerindeki etkisini incelemiştir. Stokiyometrik koşullarda, 2-propanol,

etanol, metanol benzinle karışımlarının %5 ve %20 oranında NO_x emisyonunu %60'a kadar azaltabileceği sonucuna ulaşmışlardır. Saf benzine kıyasla etanol-benzin karışımları kullanmanın emisyonlar (CO ve HC) üzerindeki etkisi Rong ve ark tarafından verilmiştir (Zheng Rong,2015). Sonuçlara göre, karışımdaki %20'den fazla etanol konsantrasyonu, benzine kıyasla emisyonu (CO, HC) önemli ölçüde azaltmıştır.

Calam ve ark. (Calam ve Solmaz ,2015) benzine göre füsöl yağ kullanıldığında NO_x emisyonlarının azaldığını bildirmişlerdir. Bu durumu füsöl yağının daha yüksek su içeriği ve oksijen içeriği ile açıklamışlardır.

Mustafa Koç ve arkadaşları tarafından dört silindirli bir SI motoru deneylerde kullanıldı (Koç M ve ark ,2009). Çeşitli sıkıştırma oranı ve çeşitli etanol-benzin karışımları ile beslenen motor değişik hızlarda çalıştırıldı. HC emisyonundaki azalma meydana geldiği, benzine etanol eklendiğinde, iki farklı sıkıştırma oranında ve 1500 - 5000 rpm aralıklarında gerçekleştirilen deneylerde buldular. Minimum HC emisyonu E85 kullanılırken elde edildiği rapor edilirken, en yüksek HC emisyonu saf benzin kullanıldığında elde edildiği rapor edilmiştir. Ayrıca, daha yüksek sıkıştırma oranlarında, HC emisyonlarında artmanın olduğu belirlenmiştir.

Turner ve ark. (turner,2013) , metanol-etanol-benzin karışımlarının NO_x ve CO₂ emisyonları üzerindeki etkisini araştırdılar. Bir SI motorunda çeşitli karışım oranlarını yakıt olarak kullandılar ve çift yakıtlı karışımların, CO₂ ve NO_x emisyonlarının, sadece benzinin yakıt olarak kullanıldığı motor deneylerinden elde edilen değerlere göre daha az oluştuğunu buldular. Bundan başka Turner ve ark. (turner,2013), metanol-etanol-benzin karışımlarının NO_x ve CO₂ emisyonları üzerindeki etkisini araştırdılar. Çift yakıt karışımlarının NO_x emisyonunu saf benzinin ürettiğinden daha az azaltabileceğini buldular. Öte yandan, NO_x ve HC emisyonunun alkol yakıtların kullanımı ile arttığını gösteren bazı çalışmalar da yapmışlardır.

Qi ve Lee (Qi D ve Lee C. ,2016), çeşitli motor yükleri altında ve 2500 d/dak'da çalışan üç silindirli bir motorun etanol-benzin karışımlarının (E10 ve E20) ile yanmasını inceledi. Sonuç olarak, tüm test yakıtları için artan yük ile birlikte HC emisyonunun önemsiz bir seviyede arttığını belirledi. Ayrıca, E10 ve E20'nin HC emisyonları, daha düşük motor yüklerinde saf benzine nispeten daha yakın olduğunu

gördü, ancak daha yüksek motor yüklerinde HC emisyonlarının daha yüksek olduğunu belirledi.

Tablo 27. Alkol yakıtlarının SI motorlarında NO_x ve HC emisyonları üzerindeki etkisi.

Alkol türü	Karışım oranı	SI motor tipi	Test koşulu	NO _x ve HC emisyonları üzerindeki etki	Yıl	Ref
Etanol	E5, E10 ve E15	SC 4S, WC, çift Yakıt.	Çeşitli motor hızları, torkları ve CR	NO _x emisyonu artan karışım oranıyla % 16,18 arttı. HC emisyonu ise yaklaşık % 40,15 azalmıştır.	2015	(Othman, 2015)
Metanol Etanol	E10 ve M10	SC 4S, hava soğutmalı	Çeşitli enjeksiyon zamanlaması ve motor yükleri	Etanol ve metanol benzine göre NO _x emisyonunu artırdı. HC emisyonu azalttı.	2015	(Gnanou, 2005)
Metanol	E5, E10 ve E15	SC 2S	Çeşitli hızlar ve motor yükleri	Yüksek konsantrasyonda etanol E15 uygulanan benzine etanol ilave edildiğinde NO _x emisyonu % 43 azaldı. HC emisyonundaki azalma % 6 oldu.	2013	(Graham Pj,2003)
n-butanol	Bu0, Bu10, Bu30, Bu40, ve Bu100	3C, 4S, port yakıt enjeksiyonu, CR 9.6 ile	Çeşitli kıvılcım zamanlamaları ve EGR oranları	n-butanol-benzin karışımları ve saf n-butanol, benzine göre NO _x emisyonunu azaltmıştır. Ayrıca, EGR NO _x emisyonunu	2012	(Liu Y ve ark, 2008)

				azaltabilir. Ayrıca, HK azaldı		
n-butanol	Bu0, Bu30, ve Bu100	SC, 4S, port yakıt enjeksiyonu, CR 10.66 ile HCCI / CAI	İşlem, negatif valf üst üste binmesi ile sağlandı VEAİVT ve kaldırma cihazları aracılığıyla strateji. Ayrıca VES'te	Bütanol-benzin karışımları azaltılmış NOx emisyonu	2013	(Thomas V,1995)
n-butanol	Bu0, Bu10, Bu30, Bu40, ve Bu100	3C, 4S, port yakıt enjeksiyonu, CR 9.6 ile	Çeşitli kıvılcım zamanlamaları ve EGR oranları	NOx emisyonu, benzine etanol ve bütanol ilavesiyle CR aralığında önemli ölçüde azalırken, etanol en etkili olanıdır. Ayrıca, CR aralığı boyunca HC emisyonu azaldı.	2016	(Graham Pj,2003)
Bio-ethanol n-butanol	E0, E10, E15 E20, E30 ve E85 Bu10	4C, 4S, SI engine	Çeşitli motor hızları ve motor yükleri.	NOx ve THC emisyonlarında maksimum azalma E85 ile sırasıyla yaklaşık % 15 ve % 20 olmuştur.	2013	(Çelik, 2007)
Fusel yağı	F0, F10, F20 ve F30	SC, 4S, SI motor bağlantı noktası tipi	Çeşitli motor hızlarında ve motor yüklerinde stokiyometrik	Fusel yağı kullanıldığında NOx emisyonları azaldı. HC emisyonu artarken.	2015	(Yusri, 2017)

		yakıt enjeksiyon sistemi	hava / yakıt oranı altında.			
Isobutanol	iB0, iB3, iB7 ve iB10	SC, 4S 2 valf, hava soğutmalı, karbüratörlü	Çeşitli motor hızları	Butanol-benzin karışımları, 2900 rpm veya daha düşük bir hızda azaltılmış UHC emisyonuna sahiptir. Ancak saf benzin, 2900 rpm'den yüksek hızlarda harmana göre daha düşük UHC emisyonu üretir.	2015	(Gravlos, 2013)

Kısaltmalar: SC (tek silindirli); 4C (dört silindir); 3C (üç silindir); 4S (4 strok); WC (su soğutmalı); AC (hava soğutmalı); FFV (flexi yakıtlı araç); MPFI (çok portlu yakıt enjeksiyonu); PFI (port yakıt enjeksiyonu); DI (direkt enjeksiyon); SOHC (tekli üstten eksantrik mili); E0 (% 0 etanol ve % 100 benzin); E100 (% 100 etanol ve % 0 benzin); HE veya Eh (sulu etanol); N (motor hızı); CR (sıkıştırma oranı); WOT (Gaz keleşbeği tam açık). (VEAIVT) değişken egzoz ve giriş valfi zamanlaması.

4.2.8. CO ve CO₂ Emisyonlarına Etkisi

Karbondioksit (CO₂) toksik olmayan bir gaz ve motor kirleticisi olarak sınıflandırılmamasına rağmen, sera etkisi yoluyla küresel sıcaklığın yükselmesinden sorumlu maddelerden birisidir. Karbondioksit (CO₂), hidrokarbon yakıtın tamamen yanmasıyla oluşur. Emisyon içerisinde oransal olarak maksimum değerde olması yanmanın mükemmel ve yani stokiyometrik şekilde yandığını gösterir. Bu nedenle yanmanın değerlendirilmesinin bir ölçüsü olarak da kullanılır. Karbonmonoksit (CO) emisyonu, motorda eksik yanma nedeniyle kimyasal enerji kaybını tanımlayan egzoz gazları arasındadır. Aslında, yanma sürecindeki yanma sıcaklığı tam yanmayı desteklemek için yeterli değilse ve yakıtın yanması için silindir içerisine yeteri kadar hava girmiyor ise bu nedenle CO noksan yanma ürünü olarak oluşacaktır. Yani; CO₂'ye dönüşümü gerçekleşmeyecektir (Keskin,2008). Ayrıca CO₂ oluşumu yakıttaki (C-H) oranından da etkilenir. Ayrıca, CO₂ seviyesini artıran ve CO'yi düşüren motor

yanmasının iyileştirilmesinde oksijen içeriği ana rol oynamaktadır. Tablo 27'de listelenen çalışmalara göre neredeyse CO emisyonu azalırken, saf benzine göre alkol yakıtları ile CO₂ emisyonu artmıştır. Bu, alkol yakıtlarının daha yüksek oksijen içeriğiyle açıklanabilir.

Haroun ve ark. (Dr.Haroun ve ark,2008), etanol kullanımı ile benzin kullanımına kıyasla artan hız (devir) ve yüklerle CO₂ emisyonunda %7,5'lik bir artış gözlemişlerdir. Artan sıkıştırma oranıyla CO₂ miktarında azalma meydana gelmiştir. Etanoldeki yüksek oksijen içeriği nedeniyle, karışımdaki oksijen oranı artarak zayıf yanmaya yol açmıştır. Sonuç olarak, geliştirilmiş yanma nedeniyle CO₂ emisyonu artmıştır. Ayrıca fosil yakıtlara kıyasla alkol fümigasyon modunda kullanıldığında CO₂ emisyonu azalmıştır.

Özsezen ve ark. (Özezen,2011) , dört silindirli kıvılcım ateşlemeli 4C motorda E5 ve E10 kullanırken CO₂ emisyonunda %0,1 artış olduğunu bildirmişlerdir. Kemal, benzinli bir motorda saf etanol kullanırken CO₂'de %2,51 artış olduğunu fark ettiler.

CO₂ emisyonunda benzer küçük bir artış da diğer birkaç çalışmada bildirilmiştir. Buji ateşlemeli motorlarda benzin ve çeşitli alkol türü karışımlarının, CO emisyonu üzerine etkisinin bir korelasyon üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Bata ve ark. (Bata, 1989) buji ateşlemeli bir motorda çeşitli etanol-benzin karışımı oranlarını araştırdılar ve etanolün CO ve HC emisyonlarını bir dereceye kadar azaltabileceğine karar verdiler. CO emisyonundaki azalma açıkça etanolün geniş yanıcılığı ve oksijenli özelliğinden kaynaklanmaktadır. Palmer (Palmer,1986) tarafından yapılan çalışmada, benzindeki etanol konsantrasyonunun %10 artmasının CO emisyonunu %30'a kadar azalttığını göstermiştir. Rice vd. (Rice, 1991) etanol-benzin izobütanol-metanol-benzin ve benzin yakıt karışımları üzerinde çalışan kıvılcım ateşlemeli bir motor ile deney yaptı ve benzine kıyasla alkol karışımlarında CO emisyonunun azaldığını gösterdi. Bu sonuç, alkol için daha düşük stokiometrik A/F (hava/yakıt) değeri ile ilişkilendirildi ve alkol karışımları için en yüksek yanma sıcaklığının düşürülmesiyle birleştirildi.

Çelik (Çelik,2007), çeşitli sıkıştırma oranları, CR (6:1, 10:1 ve 13:1), benzine farklı etanol oranları (E25, E50, E75 ve E100) olan dört zamanlı tek silindirli bir motor

üzerinde deneyler yaptı. sabit yük ve hızda, E50 ile CO emisyonu seviyesi, aynı CR'deki saf benzine göre %54 daha düşük elde etti. Gerekçe olarakta, CO emisyonu esas olarak hava-yakıt oranıyla ilgilidir şeklinde açıklama yaptılar. Karışımdaki etanol konsantrasyonunun artması nedeniyle oksijen konsantrasyonu artmıştır. CO emisyonu daha sonra oksijen artışı nedeniyle azalmıştır. Ek olarak, motor E50'de yüksek CR'lerde (10:1 ve 13:1) çalışırken, E50'ye kıyasla 6/1 sıkıştırma oranında E50 kullanıldığında CO azaldı. CR 6/1 ile karşılaştırıldığında 10/1 CR'de E50 karışımıyla CO emisyonunda %53 azalma sağlandı.

Tablo 28. Alkol yakıtlarının SI motorlarında CO ve CO₂ emisyonları üzerindeki etkisi.

Alkol türü	Karışım oranı	SI motor tipi	Test koşulu	CO ve CO ₂ emisyonlarına etkisi	Yıl	Ref
Etanol	E5, E10 ve E15	SC 4S, WC, çift Yakıt.	Çeşitli motor hızları, torkları ve CR	Etanol karışımları CO ve CO ₂ emisyonlarını sırasıyla yaklaşık% 45 ve% 7,5 azaltmıştır.	2015	(Othman, 2015)
Metanol	E10 ve M10	SC 4S, hava soğutmalı	Çeşitli enjeksiyon zamanlaması ve motor yükleri	E10, benzine kıyasla daha düşük CO emisyonlarına sahipti.	2015	(Gnanou, 2005)
Metanol	M5, M10 ve M15	SC 2S	Çeşitli hızlar ve motor yükleri	Etanol karışımları ile azaltılmış CO ve CO ₂ emisyonları	2013	(Graham, 2003)
n-bütanol	Bu0, Bu10, Bu30, Bu40, ve Bu100	3C, 4S, port yakıt enjeksiyonu, CR 9.6 ile	Çeşitli kıvılcım zamanlamaları ve EGR oranları	n-bütanol-benzin karışımları CO emisyonunu düşürürken, saf n-bütanol benzine kıyasla CO	2012	NREL, 2006

				emisyollarını artırdı. Ayrıca, ilerleyen kıvılcım zamanlaması CO emisyonunu azalttı		
Isobutanol	iB0, iB3, iB7 ve iB10	SC, 4S 2 valf, hava soğutmalı, karbüratör lü	Çeşitli motor hızları	CO emisyonu düşük hızda azaldı ve yüksek hızda arttı. CO2 azalırken.	2015	(Gra valos, 2013)
Bio-ethanol n- butanol	E0, E10 E15 E20, E30 ve E85 Bu10	4C, 4S, SI motoru	Çeşitli motor hızları ve motor yükleri.	CO emisyonundaki maksimum azalma yaklaşık% 15 oranında E85 ile ilişkiliydi	2013	(Çelik,2007)
Fusel yağı	F0, F10, F20 ve F30	SC, 4S, SI motor bağlantı noktası tipi yakıt enjeksiyon sistemi	Çeşitli motor hızlarında ve motor yüklerinde stokiyometrik hava / yakıt oranı altında.	Artan miktarda fusel yağı ile CO emisyonu artmıştır.	2015	(Najafi,2017)
Etanol ve Methanol	E5, E10, M5, ve M10	MPFJS'li 4C, 4S motor	İki araç hızının altında (80 ve 100 km / s) ve dört motor yükleri	motor yükleri CO2 emisyonları düşük hızda azalırken, alkol-benzin karışımları (E5, E10, M5 ve M10) kullanıldığında yüksek hızda artmıştır.	2013	(ME LİK OĞ LU, 2011)

Metanol and Etanol	M100 ve E100	4C, 4S, WC motoru	Çeşitli CR (6-16), eşdeğerlik oranı ve ateşleme zamanlaması TDC'den önce 20 ° olarak ayarlandı.	Etanol ve metanol, CO emisyonunun konsantrasyon seviyesini düşürdü	1985	(Eyi dogan,2010)
Metanol and Etanol	M100 ve E100	4C, 4S, doğal emişli motor	8.6 CR ile çeşitli motor hızları	Alkol, H / C oranı nedeniyle CO emisyonlarını azalttı.	2010	(Noor MM, 2014)
Etanol	E25, E50, E75 ve E100	4C, 4S, yüksek CR motoru	Sabit yük ve hızda çeşitli CR	Yüksek oksijen içeriği nedeniyle CO emisyonu etanol ile azaldı.	2008	(Baird,2000)

4.2.9. Alkol Kullanımının SI motorun Titreşimine Etkisi

Buji ateşlemeli bir motorda kullanılan yakıtın türü, titreşim davranışını doğrudan etkiler (Gravalos, 2013). Tepe frekansları motorun yapısal özelliklerine göre belirlenmesine rağmen, motor titreşim seviyeleri yanma odası içindeki yanma ve yakılan yakıt türleri tarafından oluşturulur. Alkollerin SI motor performansı ve emisyonları üzerindeki etkileri uzun yıllardır yapılan çalışmalarla araştırılıyor. Ancak; alkollerin SI motor titreşimi ve gürültü emisyonları üzerindeki etkileri üzerine yapılan araştırmalar hala yetersiz görülmektedir. Titreşimler, bir denge konumuna ilişkin

mekanik veya yapısal bir sistemin dengesizlikleridir. Bu titreşimler control edilmez ise motorlarda çok önemli hasarlara yol açabilmektedir (Gravalos, 2013).

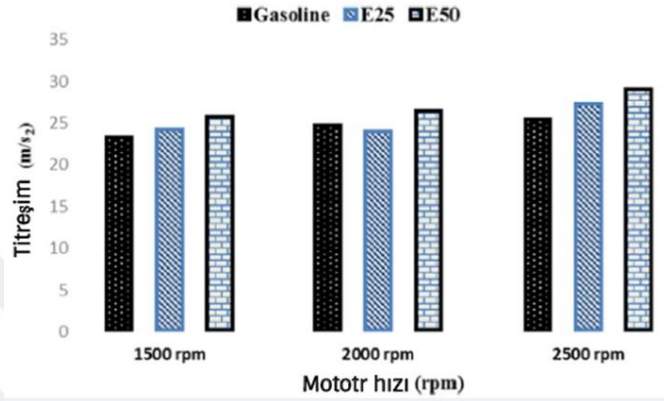
Motor mekanik tasarımı, motor yüküne, motor devrine ve kullanılacak yağ ve yakıtın özelliklerine göre yapılır ve bunlar motor titreşimlerinin oluşumunda başlıca önemli faktörlerdir. Örneğin, yakıt kalitesi, motor yükü, ateşleme ve enjeksiyon zamanlaması gibi optimize edilmiş bir yanma sürecini belirlemek için motor titreşim değerlerinin varyasyonları kullanılmıştır. Bu yöntem yakıt tüketimini, egzoz emisyonlarını ve gürültüyü artırır. Bu nedenle alkollerin motor titreşimleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi gerekmektedir.

Motor titreşimini azaltmak ve motor titreşim özelliklerini belirlemek için çok sayıda çalışmalar olmuştur (Gravalos, 2013). Kurşunsuz benzin, metanol ve etanol karışımları ile farklı karışım oranlarında (%10, %20 ve %30) bir SI motoru üzerinde çalışmalar yapılmış, farklı motor devirlerinde (300 rpm aralıklarla 1000 ve 1900 rpm devir aralıklarında) testler yürütülmüş, motorun titreşim davranışları üzer deneysel olarak incelenmiştir. Sonuçlar, saf benzin yakıtı ile yapılan titreşim genliğinin, düşük frekanslarda, yaklaşık 1500 Hz'de daha büyük olduğunu göstermiştir. Aksine, benzin-metanol karışımları ile yapılan titreşim genliği yaklaşık 2400 Hz'de yüksek frekans içeriğine sahip çıkmıştır.

Ayrıca, Keskin (Keskin,2008), kıvılcım ateşlemeli motordaki titreşim davranışlarının, farklı harmanlama oranlarında etanol-benzin-yağ gibi kullanılan yakıt türlerine göre belirlendiğini belirtmiştir. Bu çalışma, SI motor titreşiminin frekans spektrumunu ölçmek için yüksek hassasiyetli elektronik titreşim analiz sistemi ile farklı motor yükleri ve hızları altında denemeler yapılmıştır. Sonuçlara göre, benzin-metanol karışımlarının motor titreşim genlikleri, saf benzin yakıtının titreşim genliklerine kıyasla arttı ve artış, Şekil 30'da gösterildiği gibi 1500 rpm ve 2500 rpm'de önemli derecede olmuştur. Bununla birlikte, hafif 2000 dev/dak motor devrinde E25'in maksimum titreşim değerinde azalma, 2500 dev/dak motor devrinde maksimum artış oranı % 25.12 civarındaydı. Etanolün daha yüksek LHOV ve oksijen içeriği, yanma

süreçleri boyunca pistondaki tepe basınç değerlerinde ve basınç oranında (DP/DT) bir artışa neden oldu.

Othman ve ark. (Othman,2015) gazyağı, gaz, metanol ve metanol-gazyağı karışımları ile çalışan SI motorunun titreşim davranışlarını araştırdılar. Yakıtın karbon-hidrojen oranıyla yanma kaynaklı salınımlarının arttığını buldular. Temel harmoniklerin frekansı ve genliği artan yük ile azalmaktadır.



Şekil 32. Etanol –benzin karışımları ve benzin yakıt kullanımının maksimum motor titreşim değerleri (Keskin,2008).

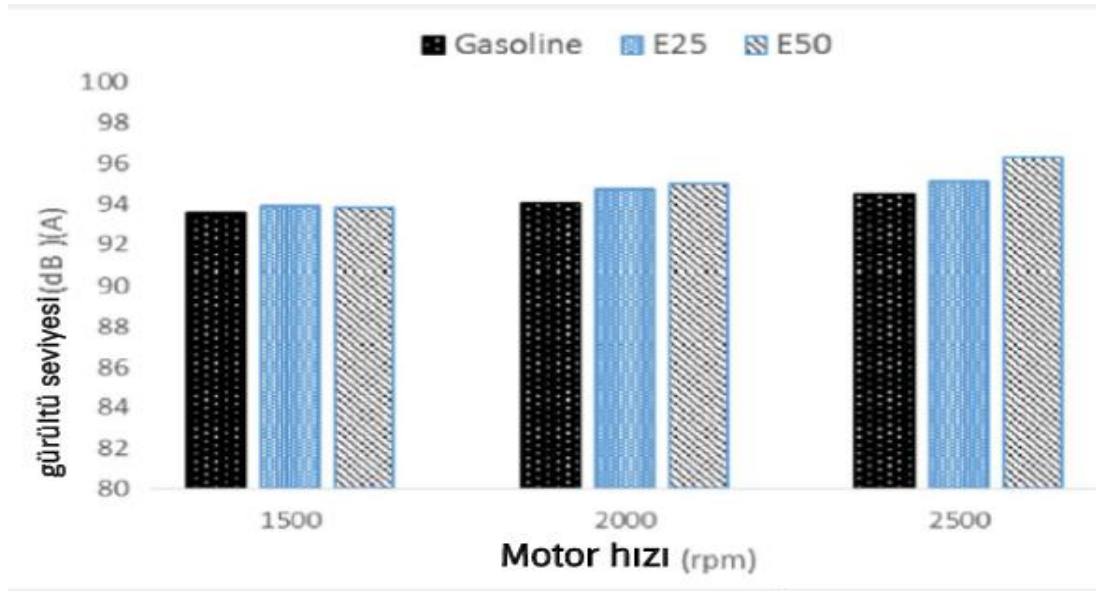
4.2.10. Alkol yakıtlarının SI motorunun gürültüsü üzerindeki etkileri

Binek araçların çevreye yaydığı gürültü, 1929 yılında Motorlu Araçlar (Aşırı Gürültü) düzenlemelerinin yürürlüğe girdiği [80] yıldan beri kontrol edilmektedir. Bir aracın motor gürültüsü esasen üç kaynaktan oluşmaktadır: yanma gürültüsü, mekanik gürültü ve yanma kaynaklı mekanik gürültüdür.

Kuşkusuz, motorlar rahatsız edici düzensiz sesler gibi vuruntular üretir (Calam ve Solmaz ,2015). Ayrıca, motorların gürültü kirliliği titreşimden kaynaklanmaktadır. Benzinli motorun temel gürültü kaynakları krank mili / eksantrik mili, yanma basıncı ve yüksek basınçlı yakıt sisteminden (HPFS) kaynaklanmaktadır. Rölanti motor devrinde, HPFS ile ilişkili gürültü, krank mili / eksantrik mili ile ilişkili mekanik gürültüden ve yanma gürültüsünden daha belirgindir. Çünkü, daha düşük motor devrine ve motor gücüne sahiptirler. Bu nedenle, benzinli DI motorların gürültüsünü azaltmak önemlidir. Motor vuruntusu, motor titreşimi ve gürültüsünde rol oynar; bu nedenle alkollü yakıtlar, motor gürültüsünü azaltmaya yönelik çözümlerden birisidir.

Bununla birlikte, Şekil 31'de gösterildiği gibi, benzine kıyasla bir etanol karışımı ile motor gürültüsü biraz artmaktadır (Keskin,2008). En yüksek gürültü seviyesi tüm motor hızlarında E50'dir. Titreşim ve gürültü emisyonlarının artmasına neden olabilecek nedenlerden biri, alkollerin oksijen içeriği (etanol) ile ilişkili yanma reaksiyon hızının artması ve daha yüksek alev hızları yaratmasıdır. Basınç oranındaki artış (dP/dt), etanolün daha yüksek gizli buharlaşma ısısına bağlıdır.

Keskin ve Gürü (Keskin,2008), etanol-benzin (E4, E8, E12, E16 ve E20), propanol-benzinin (P4, P8, P12, P16 ve P20) farklı karışım oranlarında kıvılcım ateşlemeli motorun egzoz ve gürültü emisyonlarını inceledi ve saf benzin ile yapılan çalışmalar, farklı motor yükleri (800, 1600 ve 2400 W) altında gerçekleştirildi ve motorun gürültü emisyonlarını ölçmek için işaretlenmiş 816 tipte 30-130 dB (A) aralığı gürültü test cihazı kullanıldı. Sonuçlara göre, 800 W ve 1600 W motor yüklerinde, benzine kıyasla E4, E12, E16 ve E20 ile gürültü değeri bir miktar azalırken, 2400 W'ta gürültü değeri tüm etanol-benzin karışımlarında artmıştır. Maksimum azaltma oranı, 800 W'ta E20 ile% 0.80 idi ve özellikle 2400 W'de E8 ile önemli artış oldu. Bununla birlikte, propanol yakıt için gürültü seviyeleri artan propanol ile artan bir eğilim içindeydi.



Şekil 33. Etanol –benzin karışımları ve benzin yakıt kullanımının gürültü emisyon seviyesinin ortalaması. (Keskin,2008)

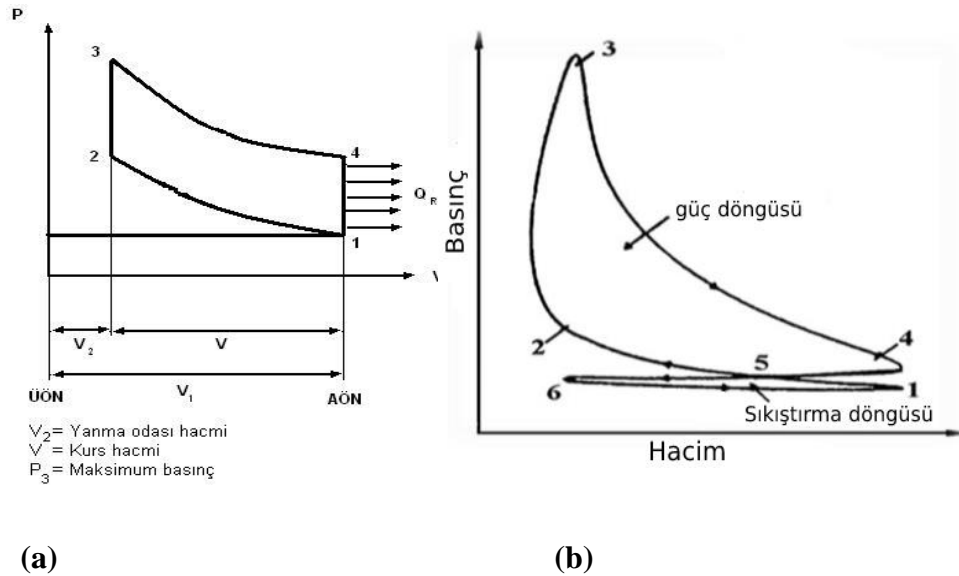
BEŞİNCİ BÖLÜM

BENZİN VE FARKLI SAFLIKTA DEĞİŞİK ALKOLLERİN KARIŞIMLARININ YANMA DENKLEMLERİ

Konunun daha iyi anlaşılması açısından, benzinli motorun çalışma prensibini ve teorik otto çevrimi ile Pratik otto çevrimlerinin çalışma şeklini bilmek gerekir. Bu bölümde kısaca bu konulara ve motorların karakteristiklerini tanımlayan parametrelere kısaca değinilecektir. Böylece alkol kullanımının motor üzerine etkileri daha iyi anlaşılacaktır.

Motorlarda alternatif yakıt olarak sadece alkol (Eçalışma prensibini tanol veya diğer alkoller) ve/veya alkol – benzin karışımları kullanılması durumunda, motor performans ve egzoz emisyon değerlerinin (NO_x , CO_x , oksijen, karbondioksit gibi) farklı alkol oranlarında değişimleri teorik olarak incelenmiştir. Motor torku, fren özgül yakıt tüketimi, fren termal verimi ve yayılan kirletici gazlar; karbon monoksit (CO_2) ve azot oksitler (NO_x) oranlarının alkol kullanımı ile nasıl değiştiği teorik olarak araştırılmıştır.

5.1 Teorik ve Gerçek Otto Çevrimi ve İndikatör diyagramı Analizi



Şekil 34. Dört zamanlı bujili ateşlemeli motorun a) Teorik çevrimi b) Gerçek Çevrim (İndikatör, P-V diyagramı)

Şekil 34’de dört zamanlı bujili ateşlemeli motorun teorik P-V diyagramını Teorik çevrimin çalışması: Dört zamanlı bir benzinli bir motorun çalışması prensibi aşağıdaki dört adımdan oluşur.

I. Emme zamanı (induction):

Bu zamanda yakıt -hava karışımı silindir içine emilir. Bu zamanın başında piston Üst Ölü Nokta olarak bilinen pozisyonudadır. Yani silindir içinde pistonun üst kısmında minimum boşluk vardır. Piston aşağı inerken emme subapları açılır ve yakıt hava karışımı boşluğa dolar. Adından da anlaşılacağı gibi, emme zamanı yakıt hava karışımının yanmanın gerçekleşeceği silindire çekildiği zamanı belirtir ve dört zamanlı içten yanmalı motorların çevriminin başlangıcıdır.

II. Sıkıştırma Zamanı (compression):

Piston alt ölü nokta olarak tabir edilen en dip noktaya ulaştığında emme biter. Piston tekrar yukarı doğru harekete başlar. Bu sırada emme subapları kapanmış olduğundan emilen yakıt hava karışımının hacmi azalmaya başlar. Hacim azaldıkça basınç ve sıcaklıkta yükselme meydana gelir. Silindir içindeki hacim sıkıştırma zamanında benzinli motorlarda yaklaşık olarak 9,5, dizel motorlarda ise 16,5 kat küçülür.

III. Genleşme (Güç) Zamanı (power):

Benzinli motorlarda silindir üst ölü noktaya geldiğinde, yani maksimum sıkıştırma olduğunda bujiler ile ateşleme yapılarak karışım yakılır. Yanma anlık oluşur ve açığa çıkan enerji nedeniyle aniden yükselen basınç pistonu aşağı doğru inmeye zorlar. Gazlar genişirken yanma sonucu oluşan enerjinin büyük bir kısmını pistonu aşağı itmek için harcarlar ve aracınız da bu sayede yol alır. Dizel motorlarda piston üst ölü noktaya ulaşmadan hemen önce aşırı sıcaklık yükselişinden dolayı yakıt hava karışımında patlama meydana gelir. Yanma benzinli motorlara göre daha yavaştır ve genleşme süresinin belli bir kısmı boyunca devam eder.

IV. Egzos Zamanı (exhaust):

Genleşme sonucu alt ölü noktaya ulaşan piston tekrar yukarı doğru hareket eder. Bu sırada egzos subapları açılır ve yanma sonucu üstte biriken yanmış gazlar

dışarı atılır. Bu zamanın sonunda üstte kalan minimum boşlukta bir miktar egzoz gazı kalacaktır. Zamanın sonunda egzoz subapları kapanırken emme subapları açılır ve motor tekrar emme zamanına başlar.

Dört silindirli motorlarda her bir silindirle belli bir sıra ile yukarıda açıkladığımız çevrim gerçekleşir. Krank mili dönerken farklı silindirlerdeki pistonlar farklı zamanlarda hareket halindedir. Motorda bulunan ve krank milinin hareketine bağlı olarak dönen egzantrik mili ise subapların açılıp kapanmasını kontrol eder. Subaplar doğru zamanda açılıp kapanmalı ve pistonlar doğru zamanda doğru yerde olmalı, yanma doğru zamanda gerçekleşmelidir. Aksi halde motor ya duracak ya da vuruntulu çalışacaktır.

Şekil 34'de dört zamanlı bujili ateşlemeli motorun Gerçek (indikatör) diyagramı Şekil 34-b'de verilmiştir. Öncelikle teorik Otto çevrimi, kapalı bir sistemde ve tersinir olarak gerçekleşen bir çevrimdir. Benzinli (buji ile ateşlemeli) motorlarda kullanılan çevrim, temel mantık olarak teorik Otto çevrimini kullanmakla beraber, açık bir çevrimdir. Yani dışarıdan madde alışverişi yapılır. Bununla birlikte gerçekte hiçbir çevrim tersinir değildir. Pratik Otto çevriminde, motora alınan karışım ideal gaz olmadığından, sıcaklık değişimleri ile özgül ısılar değişmektedir (cv ve cp). Özgül ısılardaki bu değişim "k" sabitinin değişmesine neden olmaktadır. Teorik ve pratik Otto çevrimleri arasındaki farkları çevrimlerdeki kritik noktaları (zamanları) dikkate alarak inceleyebiliriz. Çevrimler arasında mukayese yapılırken Şekil 1.2'deki diyagramlar incelenmeli ve mukayeseler diyagramlar dikkate alınarak yapılmalıdır.

Emme Zamanı

Teorik Otto çevriminde zamanından bahsedilmez, çünkü sistem kapalı bir sistemdir. Sistemde bulunan çalışma maddesi ideal bir gazdır ve yenilenen her çevrim için madde miktarı sabittir. Uygulamalı (gerçek) Otto çevriminde emme zamanında silindire yakıt hava karışımı alınır ve bu karışım ideal bir gaz değildir. Silindirin kurs, yanma odası ve toplam hacmi her çevrimde sabit olmasına rağmen, farklı miktarlarda karışım emilebilir ve silindir tamamen yeni taze karışımla dolmaz. Yani, hacimsel verim hiçbir zaman %100 olmaz. Hacimsel verim; komresör kayıplarından, motor

hızından, emme supaplarının açık kalma süresi ve açıklık miktarından, emme supabının kapanma zamanından, silindirde kalan egzoz gazlarının miktarından etkilenmektedir. Bir de emme işlemi sırasında yapılan negatif bir işten bahsetmek gereklidir.

Sıkıştırma Zamanı

Teorik Otto çevriminde, sıkıştırma izentropiktir (ısı alış verişi yok) ve sıkıştırma işlemi sırasında sistemden madde azalması olmaz çünkü çevrim kapalıdır. Sıkıştırma A.Ö.N.'dan başlayıp Ü.Ö.N.'ya kadar devam eder. Pratik Otto çevriminde ise sıkıştırma sırasında silindir cidarlarından ısı kaybı meydana gelir. Sıkıştırma zamanı tam A.Ö.N.'da başlayamaz ve tam Ü.Ö.N.'da sona ermez. Çünkü emme ve egzoz supapları, ölü noktalarda açılıp kapanmazlar. Sıkıştırma sırasında, ne kadar tedbir alınırsa alınsın, mutlaka kaçaklar meydana gelir ve silindirdeki madde miktarı azalır.

Ateşleme (İş) Zamanı

Teorik çevrimde, sabit hacimde sisteme ısı verilir ve artan basınç ile sıcaklığın etkisinde kalan piston A.Ö.N.'ya doğru yönelir. Buradaki genleşme işlemi izentropik bir genleşmedir. Isı kaybı olmaksızın ve piston A.Ö.N'ya ulaşmaya kadar devam eden genleşme, yapılan net işin artmasını sağlar. Sisteme sabit hacimde ısı verildiğinden, ısı verme işlemi ani olur, zaman almaz dolayısıyla elde edilen basınç ve sıcaklık yüksek olacağından verim artar.

Pratik çevrimde sıkıştırılan yakıt, hava karışımı buji ile ateşlenerek yakılır ve sisteme yanma sonucu ısı verilmiş olur. Yanma işlemi 0,001 ile 0,002 saniye civarında bir zamanda tamamlanır. Yakıt hava karışımı, tutuşturulduktan sonra tam olarak yanamaz, çünkü karışım silindirinin içerisinde her noktada homojen değildir. Bazı noktalarda yanma için gerekli olan oksijen eksik, bazı noktalarda da yakıt miktarı eksik olabilir. Yanma işleminin kimyasal denklemi hiçbir zaman tam değildir. Pratik çevrimde, sisteme ısı sabit hacimde verilemediğinden, yanma sonu basınç ve sıcaklık değerleri teorik çevrime nazaran düşük olmaktadır. Sisteme ısı verildikten sonra, piston A.Ö.N'ya hareket ederken de ısı kayıpları meydana geleceğinden net iş düşmektedir.

Genleşme işlemi tam olarak A.Ö.N.'ya kadar devam etmez. Piston A.Ö.N.'ya yaklaşırken egzoz supabı açılır ve yanmış gazların dışarıya atılma işlemi başlar, bu durum da net iş'in azalmasına neden olur.

Egzoz Zamanı

Teorik Otto çevriminde, sistemden ısı atılarak başlangıç noktasına dönülmesi işlemi sabit hacimde ve ani olarak yapılır. Sistemden ısı atılması sonunda çalışma maddesi, tam olarak başlangıç noktasındaki özelliklerine döner. Teorik çevrimin tam olarak içten tersinir ve kapalı bir sistem olduğu görülmektedir.

Pratik Otto çevriminde egzoz gazlarının sistemden atılmasına, A.Ö.N'dan önce başlanır ve piston Ü.Ö.N'yı geçince sona erer. Dışarı atılan egzoz gazları, sisteme alınan karışımın özelliklerinden uzaktır. Basınçları ve sıcaklıkları daha yüksektir, kimyasal ve fiziksel olarak da başlangıç özelliklerinden çok farklıdır. Bu durumda da pratik Otto çevrimi, açık ve içten tersinmez bir çevrim olmuş oluyor.

Yakıt tüketimi:

Özgül yakıt tüketimi:

$$b_e = \frac{1}{\eta_e H_u}$$

be=By / Ne (gr/kWh)

Verim: $\eta_g = N_e / B \cdot H_u$ $\eta_e = \frac{1}{(b_e \cdot 10^{-3} / 3600) H_u} = \frac{3,6 \cdot 10^6}{b_e H_u}$

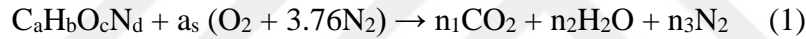
5.2. Yakıtlar - Yanma

5.2.1. Yanma stokiyometrisi

Stokiyometrik reaksiyon, yakıtın tamamen yanmasını; yani; yanma sonucu oluşan yanma gazlarının sadece karbondioksit, su ve azottan oluştuğunu tanımlanır. Bu yanma reaksiyonu bir referans noktası olarak kullanılır ve diğer yanma şekillerinin yanma verimleri buna göre karşılaştırılarak değerlendirilir. Daha sonraki bölümlerde, bu konu daha geniş bir şekilde incelenecektir.

Yakıt-hava karışımlarının yanmasından kaynaklanan yanma ürünlerinin bileşimleri stokiyometriye bağlıdır. Örneğin; yanma olayında reaktantlar yakıt açısından zengin ise, başka bir ifade ile yakıt fazla, hava yeterinden az ise (zengin karışım), yakıtla tam olarak reaksiyona girecek kadar oksijen bulunmaması nedeniyle yanma ürünleri içerisinde CO ve yanmamış hidrokarbonlar bulunur. Bu durum, çevre kirliliğine ve yanma veriminin düşmesine neden olur. Yakıt karışımı fakir ise yani; stokiyometrik orandan daha fazla miktarda oksijen (hava) kullanılıyorsa, yeterli miktarda yakıt yok demektir. Yanma gazları içerisinde sadece karbondioksit, su ve azot bulunmayacak, bunların yanında, şayet tam yanma söz konusu ise bir miktar oksijen de bulunacaktır veya kısmi eksik yanma söz konusu ise yani; hava fazla olmasına rağmen yanma ürünleri içerisinde su, karbondioksit, azot ve oksijenin yanı sıra noksan yanma ürünleri olan CO, yanmamış hidrokarbonlar bulunacaktır.

Bir yakıtın kapalı kimyasal formülü $C_aH_bO_cN_d$ şeklinde verilmektedir. Bu yakıtın stokiyometrik yanma reaksiyonu aşağıdaki şekilde verilmektedir:



Burada a_s , stokiyometrik molar hava-yakıt oranı olarak tanımlanmaktadır ve ürün bileşimini tanımlayan mol n_i ($i = 1, 2, 3$) için çözülecek. Stokiyometrik reaksiyonun yakıt molu başına ifade edildiğine dikkat edilmelidir. Atom sayılarının korunduğu dikkate alınarak, atom miktarı dengesini kullanarak denklemler yazabiliriz.

$$C : \quad a = n_1 \quad (1)$$

$$H : \quad b = 2n_2 \quad (2)$$

$$O : \quad c + 2a_s = 2n_1 + n_2 \quad (3)$$

$$N : \quad d + 2 \times 3.76 \times a_s = 2n_3 \quad (4)$$

Bu dört denklemin çözümleri şunları verir:

$$a_s = a + b - c$$

$$n_1 = a$$

$$n_2 = \frac{b}{2}$$

$$n_3 = \frac{d}{2} + 3.76(a + \frac{b}{4} - \frac{c}{2})$$

Stokiyometrik kütleli hava-yakıt oranı H/Y_s , a_s ve yakıt-hava Y/H karışımının moleküler ağırlığı ile belirlenebilir:

$$H/Y_s = \left(\frac{mh}{my} \right) = \frac{28.85(4.76 as)}{(12.01a + 1.008b + 16c + 14.01d)}$$

Burada; havanın mol ağırlığı 28,85 kg/kmol ve havanın kmol sayısı (2 kmol oksijen ve 3.762 kmol azot olmak üzere) 4,76 alınmıştır.

Yanmada kullanılan bir diğer yakıt-hava oranı boyutsuz kavramıda eşdeğerlilik oranıdır, ϕ sembolü ile gösterilir ve gerçek yakıt-hava oranının Y/H stokiyometrik yakıt-hava Y/H_s oranına bölümü olarak tanımlanır.

$$\phi = \frac{Y/H}{Y/H_s}$$

ϕ 'nin tersi λ (hava fazlalık katsayısı; HFK) dır. Hava - yakıt oranında havanın kütleli miktarının yakıtın miktarına bölünerek elde edilir. Stokiyometrik hava - yakıt oranı:

$$\lambda = \frac{HY}{H Y_s} \quad , \quad \lambda = \frac{1}{\phi}$$

Eşdeğerlilik oranı, mol veya kütle bazında aynı değere sahiptir. $\phi < 1$ ise karışım fakirdir, $\phi > 1$ ise karışım zengindir. $\phi = 1$ ise karışım stokiyometrik orandadır. Çeşitli yakıtların tipik stokiyometrik hava-yakıt oranlarının sayısal değerleri Tablo 8'te verilmiştir. Sıvı Hidrokarbon yakıtlar için, oksijen ve azot bulunmadığından, yani ($c = d = 0$) olması nedeniyle, stokiyometrik hava-yakıt oranları H/Y_s yaklaşık 15 civarındadır. Kapalı yakıt formülündeki karbon atomlarının sayılarının güçlü bir fonksiyonu olmadığı görülmektedir. Tablo 8 de aynı zamanda, CO_2 ve H_2O ürün mol fraksiyonları gibi molar stokiyometrik hava-yakıt oranını da listelemektedir.

Tablo 29. Bazı Önemli Yakıtların Moleküler Kütleleri, Stokiyometrik Hava - Yakıt Oranları (kütlesel) ve Yanma Ürünlerinin Mol katsayıları

Yakıt	Kimyasal formül	Mol ağırlığı (kg/kmol)	Hava/Yakıt oranı H/Y_s	a_s	y_{CO_2}	y_{H_2O}
Hidrojen	H ₂	2.02	34.06	0.50	0.000	0.347
Metan	CH ₄	16.04	17.12	2.00	0.095	0.190
Ammonia	NH ₃	17.03	6.05	0.75	0.000	0.311
Metanol	CH ₄ O	32.04	6.43	1.50	0.116	0.231
Propan	C ₃ H ₈	44.09	15.57	5.00	0.116	0.155
Etanol	C ₂ H ₆ O	46.07	8.94	3.00	0.123	0.184
Nitrometan	CH ₃ NO ₂	61.04	1.69	0.75	0.158	0.237
Gazolin	C ₇ H ₁₇	101.21	15.27	11.25	0.121	0.147
Octan	C ₈ H ₁₈	114.22	15.03	12.50	0.125	0.141
Dizel	C _{14.4} H _{24.9}	198.04	14.30	20.63	0.138	0.119
Tetradekan	C ₁₄ H ₃₀	198.39	14.54	21.50	0.127	0.110
Hexadekan (Cetane)	C ₁₆ H ₃₄	226.44	14.56	24.5	0.128	0.136

Stokiyometrik yanmada bir yakıt-hava karışımındaki yakıtın mol fraksiyonu aşağıdaki gibidir:

$$y_s = \frac{n_y}{n_y + n_h} = \frac{1}{1 + 4.76a_s}$$

Burada:

y_s : Yakıtın mol fraksiyonu

n_y : Yakıt molları

n_h : Havanın molları

5.2.2. Benzin ve benzin-çeşitli alkol karışımlarının teorik tam yanma denklemleri ve hava ihtiyacının ve Isıl değerlerin hesaplanması

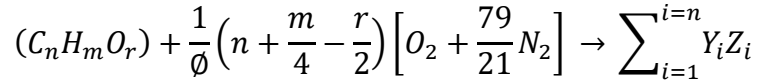
Bu bölümde, benzin, benzin-alkol karışımlarının veya benzin ile çeşitli alkollerin çift yakıt sistemi ile motorlarda yakıt olarak kullanılması durumunda yanma için gerekli olan teorik hava miktarlarının değişimi bulunmuştur. Ayrıca, alkollerin saflık derecesinin değişimine göre hava gereksiniminin değişmesi yanısıra yanma ısılarının da nasıl değiştiği hesaplanmış ve yapılan uygulamalı çalışmalarda dikkate alınarak bulunan değerlerin motor performansını nasıl etkileyeceğine dair yorumlar yapılmıştır. En genel şekilde teorik tam yanma denklemi aşağıdaki bağıntı ile verilmektedir. Bilindiği gibi benzin değişik hidrokarbonların harmanlanmasından oluşan bir yakıttır. Burada, birçok araştırmada olduğu gibi benzinin sadece izooktandan (C_8H_{18}) oluştuğu kabul edilmiştir.

Hesaplamalarda teorik tam yanma olduğu varsayılmıştır. Teorik tam Yanma; yanıcı yakıt ve yakıcı oksijen ile gerçekleşen ve sonucunda maksimum ısı elde edilen bir tepkimedir. Yanma sonucunda karbondioksit ve su oluşur. Eğer karbonmonoksit gazı açığa çıkarsa tam yanma gerçekleşmez. Bu durum yakıt ve havanın yeterince karışmadığı veya yanma için yeterli koşulların sağlanamadığını gösterir. Kısaca yanma gazları içerisinde yanabilecek maddenin ve oksijenin bulunmadığı yanma tipidir.

Alkoller ağırlıklı olarak etanol olmak üzere, metanol, bütanol ve propanol ile bunların farklı oran ve saflık dereceleri dikkate alınarak yanma denklemleri ve motor üzerine etkileri incelenmiştir. Özellikle etanolün alınmasının nedeni ülkemizde melastan bol miktarda üretilmesi ve diğer alkollere göre potansiyelinin daha yüksek olmasıdır.

Bilindiği gibi alkoller saf olarak üretildiğinde maliyetleri çok yüksek olmaktadır. Genellikle %(95-90) saflıklarda üretilmektedir. Ayrıca alkoller her orandan su ile homojen karışım oluşturabilmekte ve nemli havanın neminden de etkilenmektedir. Bu nedenle, aşağıdaki bölümlerde, seçilen farklı saflıkta ve farklı oranlardaki alkollerin benzinle birlikte yanması, yani; yakıt olarak kullanılması durumunda motor özelliklerinin nasıl değişebileceği araştırılmıştır.

Genel yanma denklemi aşağıdaki gibi verilmektedir. Eşitliğin sağ tarafındaki birinci terim oksijen içeren bir yakıtın kapalı formülünü göstermektedir. Köşeli parantez içerisindeki terim havanın sadece oksijen ve azottan oluştuğu dikkate alınarak havayı temsil etmektedir. Eşitliğin sağ tarafı ise yanma gazlarını göstermektedir. Yanma gazları teorik tam yanmaya göre değerlendirmeler yapıldığından karbon dioksit, su buharı ve azottan oluşmaktadır.



Yakıtların yanma sonucu ortaya çıkan Alt Isıl değeri ise

$$Hu=34013c+125600h+10900(s-o) -2512(9h+w) \text{ Mendeleev ifadesi}$$

Alt ısı değeri: Bir birim yakıtın yanması sonucunda oluşan suyun buhar fazında olması durumunda elde edilen enerjidir. Alt ısı değerinde yakılan ürün 150 dereceye kadar soğumasıyla elde edilen enerji hesaplanır. Zaten bu yüzden oluşan su buhar fazındadır.

Üst ısı değeri: Bir birim yakıtın yanması sonucunda oluşan suyun sıvı fazda olması durumunda elde edilen enerjidir. Üst ısı değerinde ise yanma ürününün 25 dereceye kadar soğutulmasıyla elde edilen enerji hesaplanır.

$$LHV=HHV - 0.22(\%H) \quad (LHV; \text{Alt ısı değeri}, HHV: \text{Üst ısı değeri})$$

Bağıntılarından ve bilinen yanma denklemleri kullanılarak hesaplanmıştır. Benzin-çeşitli alkol karışımlarının teorik tam yanma denklemleri kullanılarak hava ihtiyacı ve ısı değerlerinin eğişimleri teorik hesaplarla bulunmuştur. Hesaplamalar aşağıdaki sıra açıklanmıştır.

Çeşitli çalışmalarda Etanolün saflığına bağlı olarak yakıtsal özelliklerin nasıl değiştiği verilmektedir. Örneğin, aşağıda Miller ve Smith, 1981 tarafından Tablo 42-43'de alkol saflığına bağlı olarak yakıtsal özelliklerin nasıl değiştiğine dair bir örnek verilmiştir.

Tablo 30. Etanol saflığına bağlı olarak bazı yakıtsal özelliklerin değişimi
(Miller ve Smith, 1981)

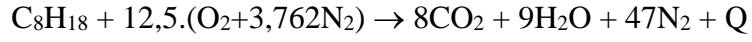
Etanol saflığı	Buharlaştırma ısı (kJ/kg)	Yanma enerjisi (HHV) (kJ/kg)	($m_{Hava}/m_{yakıt}$) (saf etanol)	Yoğunluk kg/dm^3
0	923	27493	8,97	0,787
95	998	28279	8,45	0,795
90	1076	26790	7,90	0,810
80	1230	23814	6,80	0,830
70	1384	20837	5,70	0,850
60	1538	17860	4,70	0,870
50	1693	14884	3,70	0,890

Table 31. Değişik oranlarda benzine etanol karışımının yakıtsal özelliklere etkisi (Ortalama değerler)

Örnek Kodu	Etanol %	Benzin %	Parlama noktası (°C)	Otomatik Aateşleme sıcaklığı, (°C)	Buharlaştırma basıncı, (kPa at 37.8°C)	Enerji yoğunluğu, (MJ/L)	Oktan sayısı	Özgül yoğunluk
E0	00	100	-65	246	36	34,2	91	0,7474
E10	10	90	-40	260	38,9	33,182	93	0,7508
E20	20	80	-20	279	39	32	94	0,7605
E30	30	70	-15	281	38	31,5	95	0,7782
E40	40	60	-13,5	294	35,6	30	97	0,7792
E50	50	50	-5	320	34	29	99	0,7805
E60	60	40	-1	345	31	28	100	0,7812
E70	70	30	0,00	350	28	27	103	0,7823
E80	80	20	5	362	24	26,5	104	0,7834

E90	90	10	8,5	360	18	23,6	106	0,7840
E10	100	00	12,5	365	9.0	23,5	129	0,7890
0								

5.2.2.1. Benzinin Teorik Tam Yanması:

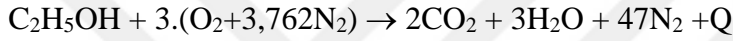


Benzin C_8H_{18} : $8.12+18.1=114$ kg/kmol

Hava: $12,5.(O_2+3,762N_2)$: $12,5.(32+3,762.28) = 1716,7$ kg

Hava-yakıt oranı: $m_{hava}/m_{yakıt} = 15,06$ bulunur.

5.2.2.2. Etanolün Teorik Tam Yanması:



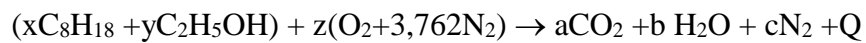
Etanol: C_2H_5OH 46 kg

Hava: $3.(O_2+3,762N_2) = 412,08$ (kg)

Hava-yakıt oranı: $m_{hava}/m_{yakıt} = 412,068/46 = 8,96$

5.2.2.3. Saf etanol ve benzin karışımları için yanma denklemleri

Kütleli olarak %0, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 Etanol (C_2H_5OH) için yanma denklemleri aşağıdaki denklemler esas alınarak oluşturulmuştur. Farklı alkoller ve farklı saflık derecesindeki alkoller için ayrı ayrı denklemler oluşturularak hava miktarları ve yanma entalpileri vb. değerler bulunmaya çalışılmıştır. Bulunan bu değerlerden gidilerek farklı alkol ve farklı oranlarda alkol karışımların motor performans ve motor emisyonları üzerine etkileri belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca, karışım yakıtlar için bir kısım denklemler elde edilmeye çalışılmıştır. Bu denklemlerden yararlanarak, farklı yakıt karışımlarda veya çift yakıt sistemlerinin kullanılması durumunda yakıt sistemlerinin imalatında esas alınacak temel bilgiler elde edilmeye çalışılmıştır.



Fosil kökenli yakıt fiyatlarının yükselmesi ve bu yakıtların kısa bir zaman sonra tükenebileceğide dikkate alınarak, Motorlarda kullanılması muhtemel değişik benzin ve alkol karışım oranları ile farklı saflıkta alkollerin kullanılması durumunda x ve y değerleri değiştirerek z, a, b, c değerini bulunmuştur.

Aşağıda, benzine kütleli olarak %0, 5, 10, 20, 30, 40, 50...,100 Etil alkol (Etanol) karıştırıldığında yanma için gerekli hava miktarları ve hava/yakıt oranları teorik tam yanma için bulunmuştur.

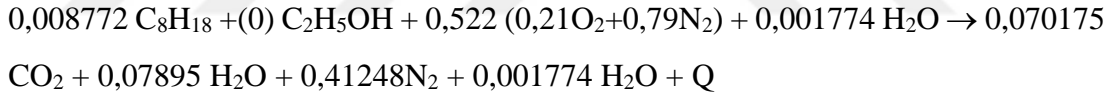
5.2.2.3.1. %0 Saf etanol %100 benzin için yanma denklemi ve hava miktarının bulunması (Yalnız Benzin)

Yakıt sadece benzinden oluştuğu için yukarıda 5.2.2.1. de verildiği gibi bulunur.

$$AF=15,13 \quad Thava=10 \text{ }^\circ\text{C} \quad \lambda=1 \quad \phi=28$$

$$HHV=47891 \text{ kJ/kg} \quad LHV=44424 \text{ kJ/kg}$$

$$T_{ady, alev}=2287 \text{ }^\circ\text{C} \quad CO_2 \text{ azalma} =\% -0,01543, m_{CO_2}= 3,081 \text{ kg} \quad T_{dp}=53,31 \text{ }^\circ\text{C}$$



$$\text{Kütleli Hava miktarı} / \text{Kütleli yakıt miktarı} = \text{Hava-yakıt oranı} = m_h/m_y = 15,06$$

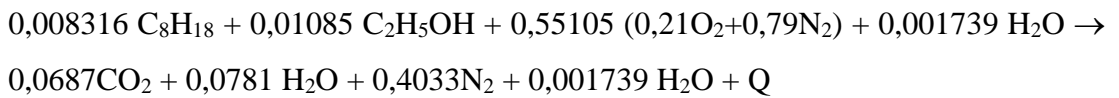
5.2.2.3.2. %5 Saf etanol %95 benzin için yanma denklemi ve hava miktarının bulunması

$$AF=14,82 \quad Thava=10 \text{ }^\circ\text{C} \quad \lambda=1 \quad \phi=28$$

$$HHV=46980 \text{ kJ/kg} \quad LHV=43543 \text{ kJ/kg}$$

$$T_{ady, alev}=2304 \text{ }^\circ\text{C} \quad CO_2 \text{ azalma} =\% 1,885$$

$$m_{CO_2}= 3,023 \text{ kg} \quad T_{dp}=53,51 \text{ }^\circ\text{C}$$



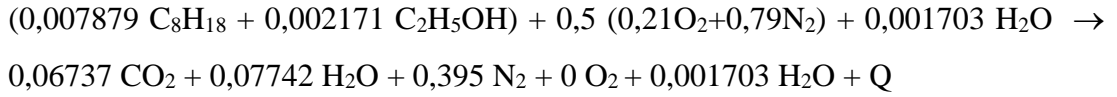
$$m_h/m_y = 14,82$$

5.2.2.3.3. %10 Saf Etanol %90 benzin için yanma denklemi ve hava miktarının bulunması

$$AF=14,51 \quad T_{hava}=10 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad \lambda=1 \quad \phi=28$$

$$HHV=46069 \text{ kJ/kg} \quad LHV=442662 \text{ kJ/kg}$$

$$T_{ady, alev}=2321 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad CO_2 \text{ azalma} =\% 3,786, m_{CO_2}= 2,964 \text{ kg} \quad T_{dp}=53,71 \text{ }^{\circ}\text{C}$$



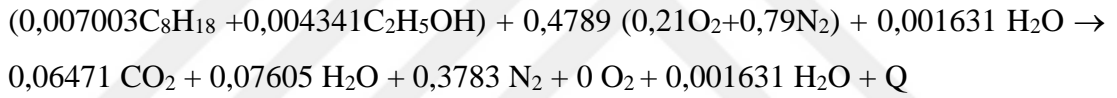
$$m_h/m_y= 15,51$$

5.2.2.3.4. %20 Saf Etanol %80 benzin için yanma denklemi ve hava miktarının bulunması

$$AF=13,9 \quad T_{hava}=10 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad \lambda=1 \quad \phi=28$$

$$HHV=44247 \text{ kJ/kg} \quad LHV=40900 \text{ kJ/kg}$$

$$T_{ady, alev}=2357 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad CO_2 \text{ azalma} =\% 7,588, m_{CO_2}= 2,847 \text{ kg} \quad T_{dp}=54,14 \text{ }^{\circ}\text{C}$$



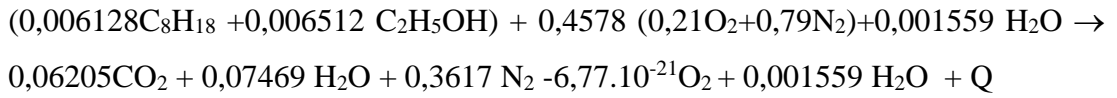
$$m_h/m_y=13,9$$

5.2.2.3.5. %30 Saf Etanol %70 benzin için yanma denklemi ve hava miktarının bulunması

$$AF=13,29 \quad T_{hava}=10 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad \lambda=1 \quad \phi=28$$

$$HHV=42425 \text{ kJ/kg} \quad LHV=39138 \text{ kJ/kg}$$

$$T_{ady, alev}=2396 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad CO_2 \text{ azalma} =\% 11,39 \quad m_{CO_2}= 2,73 \text{ kg} \quad T_{dp}=54,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$$



$$m_h/m_y= 13,29$$

5.2.2.3.6. %40 Saf Etanol %60 benzin için yanma denklemi ve hava miktarının bulunması

$$AF=12,68 \quad T_{hava}=10 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad \lambda=1 \quad \phi=28$$

$$HHV=40603 \text{ kJ/kg} \quad LHV=37376 \text{ kJ/kg}$$

$$T_{ady, alev}=2438 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad CO_2 \text{ azalma} =\% 15,19 \quad m_{CO_2}= 2,613 \text{ kg} \quad T_{dp}=55,09 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$(0,005253 \text{ C}_8\text{H}_{18} + 0,008683 \text{ C}_2\text{H}_5\text{OH}) + 0,4367 (0,21\text{O}_2 + 0,79\text{N}_2) + 0,001487 \text{ H}_2\text{O} \rightarrow$
 $0,05937 \text{ CO}_2 + 0,07332 \text{ H}_2\text{O} + 0,345 \text{ N}_2 + 0 \text{ O}_2 + 0,001487 \text{ H}_2\text{O} + Q$
 $m_h/m_y = 12,68$

5.2.2.3.7. %50 Saf Etanol %50 benzin için yanma denklemi ve hava miktarının bulunması

$AF = 12,06 \quad T_{\text{hava}} = 10 \text{ }^\circ\text{C} \quad \lambda = 1 \quad \phi = 28$
 $HHV = 38780 \text{ kJ/kg} \quad LHV = 35614 \text{ kJ/kg}$
 $T_{\text{ady, alev}} = 2484 \text{ }^\circ\text{C} \quad \text{CO}_2 \text{ azalma} = \% 18,99 \quad m_{\text{CO}_2} = 2,499 \text{ kg} \quad T_{\text{dp}} = 55,61 \text{ }^\circ\text{C}$
 $(0,004377 \text{ C}_8\text{H}_{18} + 0,01085 \text{ C}_2\text{H}_5\text{OH}) + 0,4156 (0,21\text{O}_2 + 0,79\text{N}_2) + 0,001415 \text{ H}_2\text{O} \rightarrow$
 $0,05672 \text{ CO}_2 + 0,07195 \text{ H}_2\text{O} + 0,3283 \text{ N}_2 + 0 \text{ O}_2 + 0,001415 \text{ H}_2\text{O} + Q$
 $m_h/m_y = 12,06$

5.2.2.3.8. %60 Saf Etanol %40 benzin için yanma denklemi ve hava miktarının bulunması

$AF = 11,45 \quad T_{\text{hava}} = 10 \text{ }^\circ\text{C} \quad \lambda = 1 \quad \phi = 28$
 $HHV = 36958 \text{ kJ/kg} \quad LHV = 33852 \text{ kJ/kg}$
 $T_{\text{ady, alev}} = 2534 \text{ }^\circ\text{C} \quad \text{CO}_2 \text{ azalma} = \% 22,79 \quad m_{\text{CO}_2} = 2,379 \text{ kg} \quad T_{\text{dp}} = 56,17 \text{ }^\circ\text{C}$
 $(0,003502 \text{ C}_8\text{H}_{18} + 0,01302 \text{ C}_2\text{H}_5\text{OH}) + 0,3945 (0,21\text{O}_2 + 0,79\text{N}_2) + 0,001343 \text{ H}_2\text{O} \rightarrow$
 $0,05406 \text{ CO}_2 + 0,07059 \text{ H}_2\text{O} + 0,3116 \text{ N}_2 + 0 \text{ O}_2 + 0,001343 \text{ H}_2\text{O} + Q$
 $m_h/m_y = 11,45$

5.2.2.3.9. %70 Saf Etanol %30 benzin için yanma denklemi ve hava miktarının bulunması

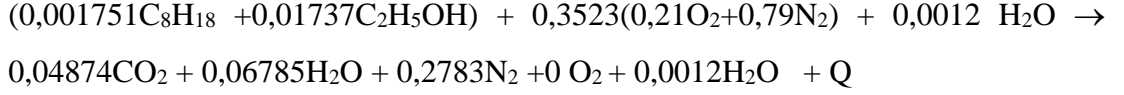
$AF = 10,84 \quad T_{\text{hava}} = 10 \text{ }^\circ\text{C} \quad \lambda = 1 \quad \phi = 28$
 $HHV = 35136 \text{ kJ/kg} \quad LHV = 32090 \text{ kJ/kg}$
 $T_{\text{ady, alev}} = 2534 \text{ }^\circ\text{C} \quad \text{CO}_2 \text{ azalma} = \% 26,6 \quad m_{\text{CO}_2} = 2,262 \text{ kg} \quad T_{\text{dp}} = 56,77 \text{ }^\circ\text{C}$
 $(0,002626 \text{ C}_8\text{H}_{18} + 0,01519 \text{ C}_2\text{H}_5\text{OH}) + 0,3734 (0,21\text{O}_2 + 0,79\text{N}_2) + 0,001272 \text{ H}_2\text{O} \rightarrow$
 $0,0514 \text{ CO}_2 + 0,06922 \text{ H}_2\text{O} + 0,2956 \text{ N}_2 + 0 \text{ O}_2 + 0,001272 \text{ H}_2\text{O} + Q$
 $m_h/m_y = 10,84$

5.2.2.3.10. %80 Saf Etanol %20 benzin için yanma denklemi ve hava miktarının bulunması

$$AF=10,23 \quad T_{hava}=10 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad \lambda=1 \quad \phi=28$$

$$HHV=35136 \text{ kJ/kg} \quad LHV=32090 \text{ kJ/kg}$$

$$T_{ady, alev}=2534 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad CO_2 \text{ azalma} =\% 26,6 \quad m_{CO_2}= 2,262 \text{ kg} \quad T_{dp}=56,77 \text{ }^{\circ}\text{C}$$



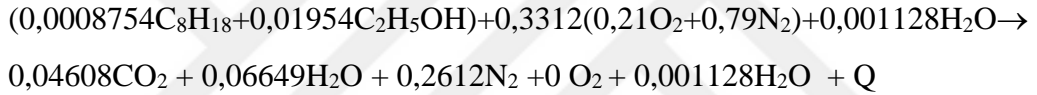
$$m_h/m_y= 10,23$$

5.2.2.3.11. %90 Saf Etanol %10 benzin için yanma denklemi ve hava miktarının bulunması

$$AF=9,614 \quad T_{hava}=10 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad \lambda=1 \quad \phi=28$$

$$HHV=31492 \text{ kJ/kg} \quad LHV=28566 \text{ kJ/kg}$$

$$T_{ady, alev}=2715 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad CO_2 \text{ azalma} =\% 34,2 \quad m_{CO_2}= 2,027 \text{ kg} \quad T_{dp}=58,11 \text{ }^{\circ}\text{C}$$



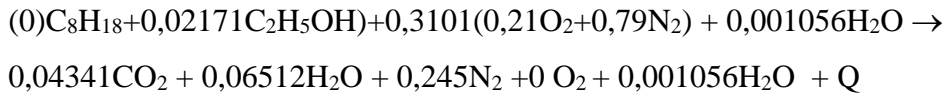
$$m_h/m_y= 9,614$$

5.2.2.3.12. %100 Saf Etanol yakıt kullanımı için yanma denklemi ve hava miktarının bulunması

$$AF=9,001 \quad T_{hava}=10 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad \lambda=1 \quad \phi=28$$

$$HHV=29669 \text{ kJ/kg} \quad LHV=26803 \text{ kJ/kg}$$

$$T_{ady, alev}=2788 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad CO_2 \text{ azalma} =\% 38 \quad m_{CO_2}= 1,91 \text{ kg} \quad T_{dp}=58,87 \text{ }^{\circ}\text{C}$$



$$m_h/m_y= 9,001$$

Tablo 32: Saf Etil Alkol benzin karışım yüzdelere göre hava miktarının, alt ve üst ısıl değerlerinin değişimi

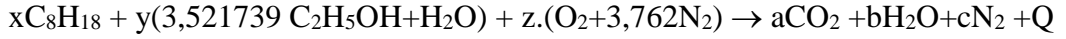
Etanol % si	HF (m _{Hava} /m _{Yakıt})	HHV (kJ/kg)	HLV (kJ/kg)
0	15,06	47891	44424
5	14,82	46980	43543
10	14,51	46069	442662
20	13,9	44247	40900
30	13,29	42425	39138
40	12,68	40603	37376
50	12,06	38780	35614
60	11,45	36958	33852
70	10,84	35136	32090
80	10,23	35136	32090
90	9,614	31492	28566
100	8,584	29669	26803

Tablo 33: Saf Etil Alkol yüzdelere göre CO₂ azalma yüzdeleri, Karbondioksit miktarları ve yoğunlaşma sıcaklıklarının değişimi,

Etanol % si	T _{ady} (°C)	CO ₂ azalma %	m _{CO2} kg	T _{dp} (°C)
0	2287	-0,01543	3,081	53,31
5	2304	1,9	3,022	53,51
10	2321	3,786	2,964	53,71
20	2357	7,588	2,847	54,14
30	2396	11,39	2,73	54,6
40	2438	15,19	2,613	55,09
50	2484	18,99	2,499	55,61
60	2534	22,79	2,379	56,17
70	2588	26,59	2,259	56,77
80	2647	30,39	2,139	57,41
90	2716	34,19	2,039	58,09
100	2788	37,99	1,939	58,81

5.2.2.4. %90 Saflıkta Etanol ve Etanol-benzin karışımları

Yukarıdaki işlemlerin benzeri işlemler, alkol içerisindeki su % si dikkate alınarak yapılmıştır. Benzin içerisinde kütle olarak; %90 saflıkta (%90 etanol %10 su) hesaplar yeni denklemler oluşturularak bir nevi tekrarlanmıştır. Genel yanma denklemi:



Benzin: C_8H_{18} : $8 \cdot 12 + 18 \cdot 1 = 114$ kg/kmol

Etanol: C_2H_5OH : 46 kg/kmol

Su: H_2O : 18 kg/kmol



$3,5.(O_2 + 3,762N_2)$: 480,676 kg

$m_{hava}/m_{yakıt} = 480,68/46 = 10,45$

5.2.2.4.1. %0 Etanol (%90 Saflıkta) %100 benzin için yanma denklemi ve hava miktarının bulunması

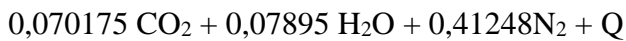
$AF = 15,13$ $T_{hava} = 10$ °C $\lambda = 1$ $\phi = 28$

$HHV = 47891$ kJ/kg $LHV = 44424$ kJ/kg

$T_{ady, alev} = 2287$ °C CO_2 azalma = % -0,01543, $m_{CO_2} = 3,081$ kg $T_{dp} = 53,31$ °C

$0,10 = 18/(a \cdot 46 + 18)$ $a = 3,521739$ bulundu

$18/(3,521739 \cdot 46 + 18) = 0,10$ Olduğu görülür.



$m_h/m_h = 15,06$

5.2.2.4.2. %5 Etanol (%90 Saflıkta) %95 benzin için yanma denklemi ve hava miktarının bulunması

$AF = 14,82$ $T_{hava} = 10$ °C $\lambda = 1$ $\phi = 28$

$HHV = 46980$ kJ/kg $LHV = 43543$ kJ/kg

$T_{ady, alev} = 2304$ °C CO_2 azalma = % 1,885 $m_{CO_2} = 3,023$ kg $T_{dp} = 53,51$ °C

$0,00833333C_8H_{18} + 0,00027778 (3,521739 C_2H_5OH + H_2O) + 0,5093$
 $(0,21O_2+0,79N_2) \rightarrow 0,068623 CO_2 + 0,07794H_2O + 0,005445N_2 + Q$
 $m_h/m_h = 14,69$

5.2.2.4.3. %10 Etanol (%90 Saflıkta) %90 benzin için yanma denklemi ve hava miktarının bulunması

$AF=14,51 \quad T_{hava}=10 \text{ }^\circ\text{C} \quad \lambda=1 \quad \phi=28$
 $HHV=46069 \text{ kJ/kg} \quad LHV=442662 \text{ kJ/kg}$
 $T_{ady, alev}=2321 \text{ }^\circ\text{C} \quad CO_2 \text{ azalma} =\% 3,786, m_{CO_2}= 2,964 \text{ kg} \quad T_{dp}=53,71 \text{ }^\circ\text{C}$
 $0,0078947C_8H_{18} + 0,0005555 (3,521739 C_2H_5OH + H_2O) + 0,498 (0,21O_2+0,79N_2)$
 $\rightarrow 0,0671CO_2 + 0,07748 H_2O + 0,0836 N_2 + Q$
 $Mh/mh=14,36$

5.2.2.4.4. %20 Etanol (%90 Saflıkta) %80 benzin için yanma denklemi ve hava miktarının bulunması

$AF=13,9 \quad T_{hava}=10 \text{ }^\circ\text{C} \quad \lambda=1 \quad \phi=28$
 $HHV=44247 \text{ kJ/kg} \quad LHV=40900 \text{ kJ/kg}$
 $T_{ady, alev}=2357 \text{ }^\circ\text{C} \quad CO_2 \text{ azalma} =\% 7,588, m_{CO_2}= 2,847 \text{ kg} \quad T_{dp}=54,14 \text{ }^\circ\text{C}$
 $(0,00701754C_8H_{18} + 0,0011111 (3,521739 C_2H_5OH+H_2O) + 0,4857 (0,21O_2+0,79N_2)$
 $\rightarrow 0,064 CO_2 + 0,076 H_2O + z N_2 + Q$
 $m_h/m_h=14,01$

5.2.2.4.5. %30 Etanol (%90 Saflıkta) %70 benzin için yanma denklemi ve hava miktarının bulunması

$AF=13,29 \quad T_{hava}=10 \text{ }^\circ\text{C} \quad \lambda=1 \quad \phi=28$
 $HHV=42425 \text{ kJ/kg} \quad LHV=39138 \text{ kJ/kg}$
 $T_{ady, alev}=2396 \text{ }^\circ\text{C} \quad CO_2 \text{ azalma} =\% 11,39 \quad m_{CO_2}= 2,73 \text{ kg} \quad T_{dp}=54,6 \text{ }^\circ\text{C}$
 $(0,00614C_8H_{18} + 0,0016667 (3,521739C_2H_5OH + H_2O) + 0,4675(0,21O_2+0,79N_2) \rightarrow$
 $0,0609 CO_2 + 0,07454 H_2O + 0,369 N_2 + Q$
 $m_h/m_h=13,48$

5.2.2.4.6. %40 Etanol (%90 Saflıkta) %60 benzin için yanma denklemi ve hava miktarının bulunması

$$AF=12,68 \quad T_{hava}=10 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad \lambda=1 \quad \phi=28$$

$$HHV=40603 \text{ kJ/kg} \quad LHV=37376 \text{ kJ/kg}$$

$$T_{ady, alev}=2438 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad CO_2 \text{ azalma} = \% 15,19 \quad m_{CO_2} = 2,613 \text{ kg} \quad T_{dp}=55,09 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$(0,00526316C_8H_{18} + 0,002222222 (3,521739C_2H_5OH + H_2O)) + 0,449$$

$$(0,21O_2+0,79N_2) \rightarrow 0,05776 CO_2 + 0,07307 H_2O + z N_2 + Q$$

$$m_h/m_h=12,95$$

5.2.2.4.7. %50 Etanol (%90 Saflıkta) %50 benzin için yanma denklemi ve hava miktarının bulunması

$$AF=12,06 \quad T_{hava}=10 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad \lambda=1 \quad \phi=28$$

$$HHV=38780 \text{ kJ/kg} \quad LHV=35614 \text{ kJ/kg}$$

$$T_{ady, alev}=2484 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad CO_2 \text{ azalma} = \% 18,99 \quad m_{CO_2} = 2,499 \text{ kg} \quad T_{dp} = 55,61 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$(0,004385965 C_8H_{18} + 0,0277778 (3,521739C_2H_5OH + H_2O)) + 0,4307$$

$$(0,21O_2+0,79N_2)+ \rightarrow 0,05465CO_2 + 0,0716H_2O + 0,340N_2 + Q$$

$$m_h/m_h=12,42$$

5.2.2.4.8. %60 Etanol (%90 Saflıkta) %40 benzin için yanma denklemi ve hava miktarının bulunması

$$AF=11,45 \quad T_{hava}=10 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad \lambda=1 \quad \phi=28$$

$$HHV=36958 \text{ kJ/kg} \quad LHV=33852 \text{ kJ/kg}$$

$$T_{ady, alev}=2534 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad CO_2 \text{ azalma} = \% 22,79 \quad m_{CO_2} = 2,379 \text{ kg} \quad T_{dp}=56,17 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$(0,003508772 C_8H_{18} + 0,003333333 (3,521739C_2H_5OH + H_2O)) + 0,394$$

$$(0,21O_2+0,79N_2)+ \rightarrow 0,05155CO_2 + 0,070 H_2O + 0,0684N_2 + Q$$

$$m_h/m_h=11,36$$

5.2.2.4.9. %70 Etanol (%90 Saflıkta) %30 benzin için yanma denklemi ve hava miktarının bulunması

$$AF=10,84 \quad T_{hava}=10 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad \lambda=1 \quad \phi=28$$

$$HHV=35136 \text{ kJ/kg} \quad LHV=32090 \text{ kJ/kg}$$

$T_{ady, alev}=2534\text{ }^{\circ}\text{C}$ CO_2 azalma =% 26,6 $m_{\text{CO}_2}= 2,262\text{ kg}$ $T_{dp}=56,77$
 $^{\circ}\text{C}$

$(0,00263158\text{ C}_8\text{H}_{18} + 0,003888889(3,521739\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + \text{H}_2\text{O}) +$
 $0,3523(0,21\text{O}_2+0,79\text{N}_2) \rightarrow 0,04844\text{CO}_2 + 0,06866\text{H}_2\text{O} + d\text{N}_2 + Q$
 $m_h/m_h=10,16$

5.2.2.10. %80 Etanol (%90 Saflıkta) %50 benzin için yanma denklemi ve hava miktarının bulunması

$\text{AF}=10,23$ $T_{hava}=10\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\lambda=1$ $\phi=28$

$\text{HHV}=35136\text{ kJ/kg}$ $\text{LHV}=32090\text{ kJ/kg}$

$T_{ady, alev}=2534\text{ }^{\circ}\text{C}$ CO_2 azalma =% 26,6 $m_{\text{CO}_2}= 2,262\text{ kg}$ $T_{dp}=56,77$
 $^{\circ}\text{C}$

$(0,001754386\text{ C}_8\text{H}_{18} + 0,004444444(3,521739\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + \text{H}_2\text{O}) +$
 $0,328(0,21\text{O}_2+0,79\text{N}_2) \rightarrow 0,04534\text{CO}_2 + 0,06719\text{ H}_2\text{O} + d\text{N}_2 + Q$
 $m_h/m_h= 9,46$

5.2.2.4.11. %90 Etanol (%90 Saflıkta) %10 benzin için yanma denklemi ve hava miktarının bulunması

$\text{AF}=9,614$ $T_{hava}=10\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\lambda=1$ $\phi=28$

$\text{HHV}=31492\text{ kJ/kg}$ $\text{LHV}=28566\text{ kJ/kg}$

$T_{ady, alev}=2715\text{ }^{\circ}\text{C}$ CO_2 azalma =% 34,2 $m_{\text{CO}_2}= 2,027\text{ kg}$ $T_{dp}=58,11\text{ }^{\circ}\text{C}$

$(0,000877193\text{ C}_8\text{H}_{18} + 0,005(3,521739\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + \text{H}_2\text{O}) + 0,3037(0,21\text{O}_2+0,79\text{N}_2)+$
 $\rightarrow 0,04223\text{CO}_2 + 0,065672\text{ H}_2\text{O} + d\text{N}_2 + Q$

$m_h/m_h= 8,76$

5.2.2.4.12. %100 Etanol (%90 Saflıkta) %0 benzin karışımı için yanma denklemi ve hava miktarının bulunması

$\text{AF}=9,001$

$T_{hava}=10\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\lambda=1$ $\phi=28$

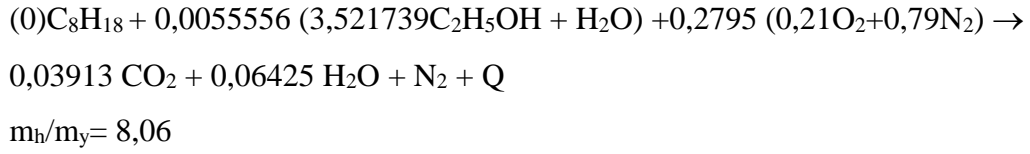
$\text{HHV}=29669\text{ kJ/kg}$

$\text{LHV}=26803\text{ kJ/kg}$

$T_{ady, alev}= 2788\text{ }^{\circ}\text{C}$

CO_2 azalma =%38 $m_{\text{CO}_2}= 1,91\text{ kg}$ $T_{dp}=58,87$

$^{\circ}\text{C}$



Tablo 34: %90 saflıkta Etil Alkol ve çeşitli oranlardaki Benzin karışımlarının yüzdelere göre hava miktarının ve alt üst ısı değerlerin değişimi

Karışım içerisindeki %90 saflıktaki etanol yüzdesi	%90 saflıkta etanolde HF, m_h/m_y	HF, m_h/m_y ($m_{Hava}/m_{Yakıt}$) (saf etanol)	HHV (kJ/kg)	HLV (kJ/kg)
0	15,06	15,13	47891	44424
5	14,69	14,82	46804	43409
10	14,36	14,51	45717	42394
20	14,01	13,9	43543	40363
30	13,48	13,29	41369	38333
40	12,95	12,68	39195	36302
50	12,42	12,06	35933	33257
60	11,36	11,45	33759	31226
70	10,16	10,84	31585	29196
80	9,46	10,23	29411	27166
90	8,76	9,614	27237	25135
100	8,06	9,001	26150	24120

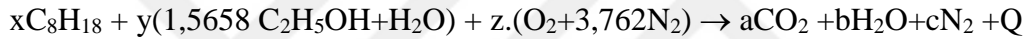
Tablo 35: %90 Etil Alkol yüzdelere göre CO₂ azalma yüzdeleri, Karbondioksit miktarları ve yoğunlaşma sıcaklıklarının değişimi

Etanol % si	T _{ady} °C	CO ₂ azalma %	m _{CO2}	T _{dp}
0	2287	-0,01543	3,081	53,31
5	2188	2.47	3.013	53.65
10	2204	4.94	2.945	53.99
20	2239	9.88	2.809	54.67
30	2276	14.82	2.673	55.36
40	2316	19.76	2.537	56.04

50	2359	24.7	2.401	56.73
60	2407	29.64	2.265	57.42
70	2458	34.58	2.129	58.10
80	2514	39.52	1.993	58.79
90	2580	44.46	1.857	59.47
100	2648	45.18	1.721	60.17

5.2.2.5 %80 saflıkta Etanol karışımlarının Farklı Oranlarda Kullanımı

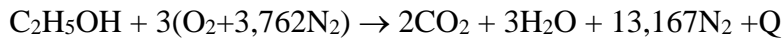
Yukarıdaki işlemlerin benzeri işlemler, alkol içerisindeki su % si dikkate alınarak yapılmıştır. Benzin içerisinde kütleli olarak; %90 saflıkta (%90 etanol %10 su) hesaplar yeni denklemler oluşturularak bir nevi tekrarlanmıştır. Genel yanma denklemi:



Benzin: C_8H_{18} : $8.12+18.1=114$ kg/kmol

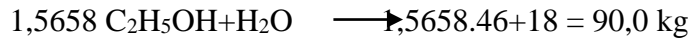
Etanol: C_2H_5OH : 46 kg/kmol

Su: H_2O : 18 kg/kmol



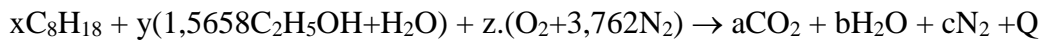
$3(O_2+3,762N_2)$: 412.008 kg Saf etanol için

Yukarıda



$18/90,0 = 0,2$ olduğu yani alkolün %80 saflıkta alınması 1,5658 katsayısı ile sağlanmıştır.

%20 saflıkta etanol için yanma denklemi yeniden düzenlenirse



Benzin: C_8H_{18} : $8.12+18.1=114$ kg/kmol

Etanol: C_2H_5OH : 46 kg/kmol

Su: H_2O : 18 kg/kmol

%20 saflıkta alkol için y nin bulunuşu: $18/(y.46+18) = 0,20$

$$9,2y + 3,6 = 18 \quad y = 1,5658$$

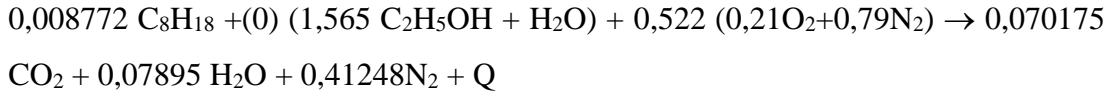
5.2.2.5.1. %0 Etanol (%80 saflıkta) %100 benzin için yanma denklemi ve hava miktarının bulunması

Daha önce bulunan sadece benzin kullanımı ile aynıdır.

$$AF=15,13 \quad Thava=10 \text{ }^\circ\text{C} \quad \lambda=1 \quad \phi=28$$

$$HHV=47891 \text{ kJ/kg} \quad LHV=44424 \text{ kJ/kg}$$

$$T_{ady, alev}=2287 \text{ }^\circ\text{C} \quad CO_2 \text{ azalma} =\% -0,01543, m_{CO_2}= 3,081 \text{ kg} \quad T_{dp}=53,31 \text{ }^\circ\text{C}$$



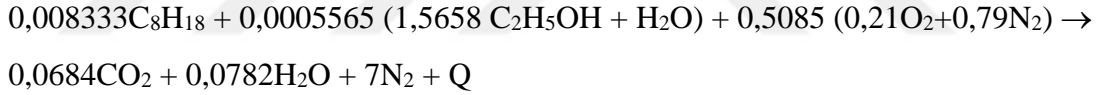
$$m_h/m_b=15,06$$

5.2.2.5.2. %5 Etanol (%80 saflıkta) %95 benzin için yanma denklemi ve hava miktarının bulunması

$$AF=14,67 \quad Thava=10 \text{ }^\circ\text{C} \quad \lambda=1 \quad \phi=28$$

$$HHV=46980 \text{ kJ/kg} \quad LHV=43543 \text{ kJ/kg}$$

$$T_{ady, alev}=2304 \text{ }^\circ\text{C} \quad CO_2 \text{ azalma} =\% 1,885 \quad m_{CO_2}= 3,023 \text{ kg} \quad T_{dp}=53,51 \text{ }^\circ\text{C}$$



%80 saflıkta Alkolün katsayılarının $0.20=18/(1,562.46+18)$ (su/yakıt+su) yüzdesi

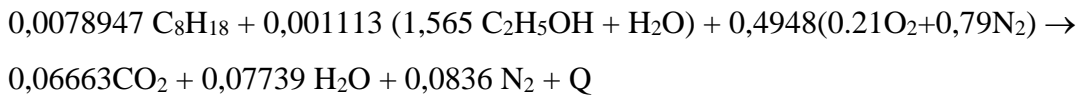
$$m_h/m_b=14,67$$

5.2.2.5.3. %10 Etanol (%80 saflıkta) %90 benzin için yanma denklemi ve hava miktarının bulunması

$$AF=14,27 \quad Thava=10 \text{ }^\circ\text{C} \quad \lambda=1 \quad \phi=28$$

$$HHV=46069 \text{ kJ/kg} \quad LHV=442662 \text{ kJ/kg}$$

$$T_{ady, alev}=2321 \text{ }^\circ\text{C} \quad CO_2 \text{ azalma} =\% 3,786, m_{CO_2}= 2,964 \text{ kg} \quad T_{dp}=53,71 \text{ }^\circ\text{C}$$



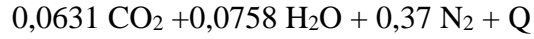
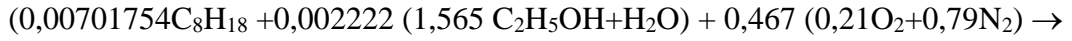
$$m_h/m_b=14,27$$

5.2.2.5.4. %20 Etanol (%80 saflıkta) %80 benzin için yanma denklemi ve hava miktarının bulunması

$$AF=13,48 \quad T_{hava}=10 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad \lambda=1 \quad \phi=28$$

$$HHV=44247 \text{ kJ/kg} \quad LHV=40900 \text{ kJ/kg}$$

$$T_{ady, alev}=2357 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad CO_2 \text{ azalma} = \%7,588, m_{CO_2}= 2,847 \text{ kg} \quad T_{dp}=54,14 \text{ }^{\circ}\text{C}$$



$$m_h/m_f=13,48$$

5.2.2.5.5. %30 Etanol (%80 saflıkta) %70 benzin için yanma denklemi ve hava miktarının bulunması

$$AF=12,69 \quad T_{hava}=10 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad \lambda=1 \quad \phi=28$$

$$HHV=42425 \text{ kJ/kg} \quad LHV=39138 \text{ kJ/kg}$$

$$T_{ady, alev}=2396 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad CO_2 \text{ azalma} = \%11,39 \quad m_{CO_2}= 2,73 \text{ kg} \quad T_{dp}=54,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$$



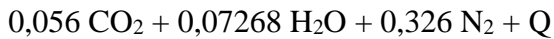
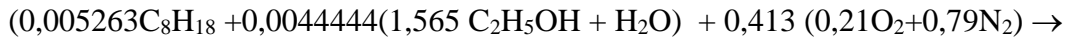
$$m_h/m_f=12,69$$

5.2.2.5.6. %40 Etanol (%80 saflıkta) %60 benzin için yanma denklemi ve hava miktarının bulunması

$$AF=11,90 \quad T_{hava}=10 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad \lambda=1 \quad \phi=28$$

$$HHV=40603 \text{ kJ/kg} \quad LHV=37376 \text{ kJ/kg}$$

$$T_{ady, alev}=2438 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad CO_2 \text{ azalma} = \%15,19 \quad m_{CO_2}= 2,613 \text{ kg} \quad T_{dp}=55,09 \text{ }^{\circ}\text{C}$$



$$m_h/m_f=11,90$$

5.2.2.5.7. %50 Etanol (%80 saflıkta) %50 benzin için yanma denklemi ve hava miktarının bulunması

$$\begin{aligned}AF &= 12,06 & T_{\text{hava}} &= 10 \text{ }^\circ\text{C} & \lambda &= 1 & \phi &= 28 \\HHV &= 38780 \text{ kJ/kg} & LHV &= 35614 \text{ kJ/kg} \\T_{\text{ady, alev}} &= 2484 \text{ }^\circ\text{C} & \text{CO}_2 \text{ azalma} &= \% 18,99 & m_{\text{CO}_2} &= 2,499 \text{ kg} & T_{\text{dp}} &= 55,61 \text{ }^\circ\text{C} \\(0,004385965 \text{ C}_8\text{H}_{18} &+ 0,00555555 (1,565 \text{ C}_2\text{H}_5\text{OH} + \text{H}_2\text{O})) &+ 0,3852 \\(0,21\text{O}_2+0,79\text{N}_2) &+ \rightarrow 0,05247\text{CO}_2 + 0,0711\text{H}_2\text{O} + 0,2806\text{N}_2 + Q \\m_h/m_f &= 11,11\end{aligned}$$

5.2.2.5.8. %60 Etanol (%80 saflıkta) %40 benzin için yanma denklemi ve hava miktarının bulunması

$$\begin{aligned}AF &= 10,32 & T_{\text{hava}} &= 10 \text{ }^\circ\text{C} & \lambda &= 1 & \phi &= 28 \\HHV &= 36958 \text{ kJ/kg} & LHV &= 33852 \text{ kJ/kg} \\T_{\text{ady, alev}} &= 2534 \text{ }^\circ\text{C} & \text{CO}_2 \text{ azalma} &= \% 22,79 & m_{\text{CO}_2} &= 2,379 \text{ kg} & T_{\text{dp}} &= 56,17 \text{ }^\circ\text{C} \\(0,003508772 \text{ C}_8\text{H}_{18} &+ 0,00666666 (1,565 \text{ C}_2\text{H}_5\text{OH} + \text{H}_2\text{O})) &+ 0,3579 (0,21\text{O}_2+0,79\text{N}_2) \\&\rightarrow 0,04894\text{CO}_2 + 0,06955 \text{ H}_2\text{O} + 0,2827\text{N}_2 + Q \\m_h/m_f &= 10,32\end{aligned}$$

5.2.2.5.9. %70 Etanol (%80 saflıkta) %30 benzin için yanma denklemi ve hava miktarının bulunması

$$\begin{aligned}AF &= 9,53 & T_{\text{hava}} &= 10 \text{ }^\circ\text{C} & \lambda &= 1 & \phi &= 28 \\HHV &= 35136 \text{ kJ/kg} & LHV &= 32090 \text{ kJ/kg} \\T_{\text{ady, alev}} &= 2534 \text{ }^\circ\text{C} & \text{CO}_2 \text{ azalma} &= \% 26,6 & m_{\text{CO}_2} &= 2,262 \text{ kg} & T_{\text{dp}} &= 56,77 \text{ }^\circ\text{C} \\(0,00263158 \text{ C}_8\text{H}_{18} &+ 0,00777778 (1,565 \text{ C}_2\text{H}_5\text{OH} + \text{H}_2\text{O})) &+ 0,3305 (0,21\text{O}_2+0,79\text{N}_2) \\&\rightarrow 0,0454 \text{ CO}_2 + 0,06798\text{H}_2\text{O} + 0,261\text{N}_2 + Q \\m_h/m_f &= 9,53\end{aligned}$$

5.2.2.5.10. %80 Etanol (%80 saflıkta) %20 benzin için yanma denklemi ve hava miktarının bulunması

$$\begin{aligned}AF &= 8,75 & T_{\text{hava}} &= 10 \text{ }^\circ\text{C} & \lambda &= 1 & \phi &= 28 \\HHV &= 35136 \text{ kJ/kg} & LHV &= 32090 \text{ kJ/kg} \\T_{\text{ady, alev}} &= 2534 \text{ }^\circ\text{C} & \text{CO}_2 \text{ azalma} &= \% 26,6 & m_{\text{CO}_2} &= 2,262 \text{ kg} & T_{\text{dp}} &= 56,77 \text{ }^\circ\text{C} \\(0,001754386 \text{ C}_8\text{H}_{18} &+ 0,0088889(1,565 \text{ C}_2\text{H}_5\text{OH} + \text{H}_2\text{O}) &+ 0,3034(0,21\text{O}_2+0,79\text{N}_2) \\&\rightarrow 0,0419 \text{ CO}_2 + 0,0664 \text{ H}_2\text{O} + d\text{N}_2 + Q \\m_h/m_f &= 8,75\end{aligned}$$

5.2.2.5.11. %90 Etanol (%80 saflıkta) %10 benzin için yanma denklemi ve hava miktarının bulunması

$$\begin{aligned}AF &= 9,614 & T_{\text{hava}} &= 10 \text{ }^\circ\text{C} & \lambda &= 1 & \phi &= 28 \\HHV &= 31492 \text{ kJ/kg} & LHV &= 28566 \text{ kJ/kg} \\T_{\text{ady, alev}} &= 2715 \text{ }^\circ\text{C} & \text{CO}_2 \text{ azalma} &= \% 34,2 & m_{\text{CO}_2} &= 2,027 \text{ kg} & T_{\text{dp}} &= 58,11 \text{ }^\circ\text{C} \\(0,000877193 \text{ C}_8\text{H}_{18} &+ 0,01(1,565 \text{ C}_2\text{H}_5\text{OH} + \text{H}_2\text{O}) &+ 0,2777 \\(0,21\text{O}_2+0,79\text{N}_2) &+ \rightarrow 0,03832 \text{ CO}_2 + 0,06484 \text{ H}_2\text{O} + d\text{N}_2 + Q \\m_h/m_f &= 8,01\end{aligned}$$

5.2.2.5.12. %100 Etanol (%80 saflıkta) %20 benzin için yanma denklemi ve hava miktarının bulunması

$$\begin{aligned}AF &= 7,38 & T_{\text{hava}} &= 10 \text{ }^\circ\text{C} & \lambda &= 1 & \phi &= 28 \\HHV &= 29669 \text{ kJ/kg} & LHV &= 26803 \text{ kJ/kg} \\T_{\text{ady, alev}} &= 2788 \text{ }^\circ\text{C} & \text{CO}_2 \text{ azalma} &= \% 38 & m_{\text{CO}_2} &= 1,91 \text{ kg} & T_{\text{dp}} &= 58,87 \text{ }^\circ\text{C} \\(0)\text{C}_8\text{H}_{18} &+ 0,011111(1,565 \text{ C}_2\text{H}_5\text{OH} + \text{H}_2\text{O}) &+ 0,256(0,21\text{O}_2+0,79\text{N}_2) &\rightarrow 0,034778 \\&\text{CO}_2 + 0,06642 \text{ H}_2\text{O} + \text{N}_2 + Q \\m_h/m_f &= 7,38\end{aligned}$$

Tablo 36 : %80 saflıkta Etil Alkol yüzdelerine göre hava miktarının ve alt üst ısı değerlerin değişimi

Karışımındaki Etanol % si	%80 saflıkta etanol HF	HHV (kJ/kg)	HLV (kJ/kg)
0	15,06	47891	44424
5	14,67	43862	43324
10	14,27	42833	42225
20	13,48	40775	40025
30	12,69	38717	37826
40	11,90	36659	35626
50	11,11	33571	32327
60	10,32	31513	30128
70	9,53	29455	27929
80	8,75	27397	25729
90	8,01	25,339	23,530
100	7,38	24310	22430

$$\text{HHV (kJ/kg)} = \%x \cdot 44.000 (43.40) + \%y \cdot 29300$$

Tablo 37: %80 saflıkta Etil Alkol yüzdelerine göre CO₂ azalma yüzdeleri, Karbondioksit miktarları ve yoğuşma sıcaklıklarının değişimi

Etanol % si	T _{ady} (°C)	CO ₂ azalma %	m _{CO2} (kg)	T _{dp}
0	2287	-0,01543	3,081	53,31
5	2298	2.56	3.003	53.67
10	2309	5.12	2.925	54.03
20	2331	10.24	2.770	54.76
30	2353	15.36	2.615	55.49
40	2376	20.48	2.460	56.22
50	2398	25.6	2.305	56.95
60	2420	30.72	2.150	57.68

70	2443	35.84	1.995	58.41
80	2465	40.96	1.840	59.14
90	2487	46.08	1.685	59.87
100	2510	51.2	1.534	60.6

5.2.2.6. Metanol, Propanol ve Bütanol ve Bunların çeşitli Oranlarda Benzin ile karışımlarının Yanma denklemlerinin Bulunması

Yukarıda etanol ve etanol-benzin karışımları için yapılan işlemler, benzer şekilde metanol, propanol ve bütanol içinde yapılarak aşağıda sırası ile verilen tablolar elde edilmiştir.

5.2.2.6.1. Metanol ve Metanol-Benzin Karışımından elde edilen tablolar

Tablo 38: 100% saflıkta Metanol yüzdelere göre hava miktarının ve alt üst ısıl değerlerin değişimi

Metanol % si	HF ($m_{\text{hava}}/m_{\text{yakıt}}$)	HHV (kJ/kg)	HLV (kJ/kg)
0	15.06	47891	44424
5	14.62	45615	42204
10	14.18	43341	39993
20	13.31	41068	37782
30	12.44	38795	35571
40	11.57	36522	33360
50	10.7	34250	31150
60	9.84	31976	28938
70	8,97	29703	26727
80	8.11	27430	24516
90	7.25	25157	22305
100	6.51	22884	20094

Tablo 39: 100% saflıkta Metanol yüzdelere göre CO₂ azalma yüzdeleri, Karbondioksit miktarları

Metanol % si	T _{ady} (°C)	CO ₂ azalma %	m _{CO2} kg	T _{dp}
0	2287	-0,01543	3,081	53.31
5	2328	2.83	2.996	53.92
10	2369	5.67	2.911	54.53
20	2410	11.34	2.741	55.76
30	2451	17.01	2.571	56.99
40	2492	22.68	2.401	58.22
50	2533	31.19	2.145	59.45
60	2574	36.86	1.975	60.68
70	2615	42.53	1.805	61.91
80	2656	48.2	1.635	63.14
90	2697	54	1.012	64.37
100	2738	56.71	1.380	65.6

Tablo 40: 90% saflıkta Metanol yüzdelere göre hava miktarının ve alt üst ısı değerlerinin değişimi

Metanol % si	HF (m _{Hava} /m _{Yakıt})	HHV (kJ/kg)	HLV (kJ/kg)
0	15,06	47891	44424
5	14.63	46526	43108
10	14.20	45162	41792
20	13.33	42433	39159
30	12.47	39704	36527
40	11.60	36975	33894
50	10.31	32881	29946
60	9.44	30152	27313
70	8.58	27423	24681
80	7.71	24694	22049
90	7.05	21965	19416
100	6.02	20600	18100

Tablo 41: 90% saflıkta Metanol yüzdelere göre CO₂ azalma yüzdelere, Karbondioksit miktarları

Metanol % si	T _{ady} (°C)	CO ₂ azalma %	m _{CO2} (kg)	T _{dp}
0	2287	-0,01543	3,081	53.31
5	2302	3.01	2.988	53.84
10	2318	6.02	2.896	54.37
20	2349	12.04	2.712	55.44
30	2381	18.06	2.528	56.51
40	2412	24.08	2.344	57.58
50	2444	30.1	2.160	58.65
60	2475	36.12	1.976	59.72
70	2506	42.14	1.792	60.79
80	2538	48.16	1.608	61.86
90	2569	54.18	1.424	62.93
100	2601	61.2	1.240	64

Tablo 42: 80% saflıkta Metanol yüzdelere göre hava miktarının ve alt üst ısı değerlerinin değişimi

Metanol % si	HF (m _{Hava} /m _{Yakıt})	HHV (kJ/kg)	HLV (kJ/kg)
0	15.06	47891	44424
5	14.56	46411	43007
10	14.06	44932	41589
20	13.07	41973	38754
30	12.076	39014	35919
40	11.08	36055	33084
50	10.091	31616	28832
60	9.099	28657	25997
70	8.107	25698	23162
80	7.11	22739	20327
90	6.12	19780	17492
100	5.13	18300	16075

Tablo 43: 80% saflıkta Metanol yüzdelere göre CO₂ azalma yüzdelere, Karbondioksit miktarları

Metanol % si	T _{ady} (°C)	CO ₂ azalma %	m _{CO2} (kg)	T _{dp}
0	2287	-0.01543	3,081	53.31
5	2299	3.29	2.981	53.87
10	2312	6.58	2.882	54.43
20	2338	13.16	2.684	55.56
30	2364	19.74	2.486	56.69
40	2390	26.32	2.288	57.82
50	2416	32.9	2.090	58.95
60	2441	39.48	1.892	60.08
70	2467	46.06	1.694	61.21
80	2493	52.64	1.496	62.34
90	2519	59.22	1.298	63.47
100	2545	65.8	1.1	64.60

5.2.2.6.2. Bütanol ve Bütanol-Benzin Karışımından elde edilen tablolar

Tablo 44: 100% saflıkta Bütanol yüzdelere göre hava miktarının ve alt üst ısı değerlerinin değişimi

Bütanol % si	HF (m _{Hava} /m _{Yakıt})	HHV (kJ/kg)	HLV (kJ/kg)
0	15,06	47891	44424
5	14.87	46929	43513
10	14.68	45967	42592
20	14.29	45005	41671
30	13.91	44043	40750
40	13.52	43081	39829
50	12.94	42119	38908
60	12.56	41157	37987
70	12.17	40195	37066
80	11.79	39233	36145
90	11	38271	35224
100	11.21	37300	34400

Tablo 45: 100% saflıkta Bütanol yüzdelere göre CO₂ azalma yüzdeleri, Karbondioksit miktarları

Bütanol % si	T _{ady} (°C)	CO ₂ azalma %	mCO ₂ (kg)	T _{dp}
0	2287	-0,01543	3,081	53.31
5	2333	1.16	3.045	53.53
10	2379	2.33	3.010	53.76
20	2426	4.66	2.940	54.22
30	2472	6.99	2.870	54.68
40	2519	9.32	2.800	55.14
50	2565	11.65	2.730	55.60
60	2611	13.98	2.660	56.06
70	2658	16.31	2.590	56.52
80	2704	18.64	2.520	56.98
90	2757	20.97	2.450	57.44
100	2800	23.3	2.380	57.9

Tablo 46: 90% saflıkta Bütanol yüzdelere göre hava miktarının ve alt üst ısı değerlerinin değişimi

Bütanol % si	HF (m _{Hava} /m _{Yakıt})	HHV (kJ/kg)	HLV (kJ/kg)
0	15,06	47891	44424
5	14.88	47160	43750
10	14.64	46430	43077
20	14.16	44970	41729
30	13.68	43510	40382
40	13.19	42050	39034
50	12.71	40590	37013
60	12.23	39130	35666
70	11.74	37670	34319
80	11.26	36210	32971
90	10.78	34750	31,624
100	10.30	33590	30950

Tablo 47: 90% saflıkta Bütanol yüzdelere göre CO₂ azalma yüzdelere, Karbondioksit miktarları

Bütanol % si	T _{ady} (°C)	CO ₂ azalma %	mco ₂ (kg)	T _{dp}
0	2287	-0,01543	3,081	53.31
5	2308	1.56	3.033	53.52
10	2329	3.12	2.986	53.73
20	2371	6.24	2.892	54.16
30	2413.9	9.36	2.798	54.59
40	2456	12.48	2.704	55.02
50	2498	15.6	2.610	55.45
60	2540	18.72	2.516	55.88
70	2583	21.84	2.422	56.31
80	2625	24.96	2.328	56.74
90	2667	28.08	2.234	57.17
100	2710	31.2	2.14	57.6

Tablo 48: 80% saflıkta Bütanol yüzdelere göre hava miktarının ve alt üst ısı değerlerinin değişimi

Bütanol % si	HF (m _{Hava} /m _{Yakıt})	HHV (kJ/kg)	HLV (kJ/kg)
0	15,06	47891	44424
5	14.84	47008	43596
10	14.55	46125	42768
20	13.98	44359	41111
30	13.41	42593	39455
40	12.83	40827	37798
50	12.26	38177	35314
60	11.69	36411	33657
70	11.11	34645	32001
80	10.54	32879	30345
90	9.97	31,113	28,688
100	9.4	30230	27860

Tablo 49: 80% saflıkta Bütanol yüzdelere göre CO₂ azalma yüzdelere,
Karbondioksit miktarları

Bütanol % si	T _{ady} (°C)	CO ₂ azalma (%)	mco ₂ (kg)	T _{dp}
0	2287	-0,01543	3,081	53.31
5	2307	1.9585	3.021	53.54
10	2347	5.8755	2.903	54.00
20	2387	9.7925	2.785	54.47
30	2428	13.7095	2.667	54.94
40	2468	17.6265	2.549	55.40
50	2508	21.5435	2.431	55.87
60	2548	25.4605	2.313	56.33
70	2589	29.3775	2.195	56.80
80	2629	33.2945	2.077	57.27
90	2669	37.2115	1.959	57.73
100	2690	39.17	1.9	57.97

5.2.2.6.3. Propanol ve propanol-Benzin Karışımından elde edilen tablolar

Tablo 50: 100% saflıkta Propanol yüzdelere göre hava miktarının ve alt üst ısıl değerlerin değişimi

Propanol % si	HF (m _{Hava} /m _{yakıt})	HHV (kJ/kg)	HLV (kJ/kg)
0	15.06	47891	44424
5	14.82	46592	43168
10	14.58	45293	41912
20	14.11	43993	40656
30	13.63	42695	39400
40	13.15	41400	38144
50	12.44	40100	36888
60	11.96	38800	35632

70	11.48	37497	34357
80	11.01	36202	33119
90	11	34899	31863
100	10.25	33600	30600

Tablo 51: 100% saflıkta Propanol yüzdelere göre CO₂ azalma yüzdeleri, Karbondioksit miktarları

Propanol % si	T _{ady} (°C)	CO ₂ azalma %	m _{CO2} (kg)	T _{dp}
0	2287	-0,01543	3,081	53.31
5	2291	1,2	3.04	53.59
10	2301	2,7	2.99	54.17
20	2311	5,6	2.91	54.75
30	2321	8,6	2.82	55.32
40	2331	11,5	2.73	55.90
50	2340	14,53	2.64	56.48
60	2350	17,4	2.55	57.06
70	2360	20,4	2.46	57.63
80	2370	23,3	2.37	58.21
90	2380	26,3	2.28	58.79
100	2385	29,2	2.2	59.08

Tablo 52: 90% saflıkta Propanol yüzdelere göre hava miktarının ve alt üst ısıllı değerlerin değışimi

Propanol % si	HF (m _{Hava} /m _{yakıt})	HHV (kJ/kg)	HLV (kJ/kg)
0	15,06	47891	44424
5	14.86	47095	43693
10	14.33	46298	42962
20	13.79	44705	41499
30	13.26	43113	40037
40	12.73	41520	38574

50	12.19	39131	36381
60	11.66	37538	34918
70	11.13	35945	33456
80	10.59	34352	31994
90	10.06	32,759	30,531
100	9.80	31963	29800

Tablo 53: 90% saflıkta Propanol yüzdelere göre CO₂ azalma yüzdeleri, Karbondioksit azalma miktarları

Propanol % si	T _{ady} (°C)	CO ₂ azalma %	m _{CO2} (kg)	T _{dp}
0	2287	-0,01543	3,081	53.31
5	2290	1.83	3.025	53.56
10	2296	5.49	2.915	54.08
20	2303	9.15	2.805	54.60
30	2309	12.81	2.695	55.12
40	2315	16.47	2.585	55.64
50	2322	20.13	2.475	56.16
60	2328	23.79	2.365	56.68
70	2334	27.45	2.255	57.20
80	2340	31.11	2.145	57.72
90	2347	34.77	2.035	58.24
100	2350	36.6	1,98	58.5

Tablo 54: 80% saflıkta Propanol yüzdelere göre hava miktarının ve alt üst ısı değerlerinin değişimi

Propanol % si	AF (m _{Hava} /m _{Yakıt})	HHV (kJ/kg)	HLV (kJ/kg)
0	15,06	47891	44424
5	14.77	46936	43558
10	14.48	45982	42692
20	13.90	44073	40959

30	13.33	42164	39227
40	12.75	40255	37494
50	11.89	37391	34896
60	11.31	35482	33163
70	10.74	33573	31431
80	10.16	31664	29699
90	10	29,755	27,966
100	9.3	28800	27100

Tablo 55: %80 saflıkta Propanol yüzdelere göre CO₂ azalma yüzdeleri,
Karbondioksit azalma miktarları

Propanol % si	T _{ady} (°C)	CO ₂ azalma %	mco ₂ (kg)	T _{dp}
0	2287	-0,01543	3,081	53.31
5	2288	2.13	3.011	53.70
10	2292	6.39	2.873	54.49
20	2296	10.65	2.735	55.28
30	2300	14.91	2.597	56.07
40	2304	19.17	2.459	56.86
50	2307	23.43	2.321	57.64
60	2311	27.69	2.183	58.43
70	2315	31.95	2.045	59.22
80	2319	36.21	1.907	60.01
90	2323	40.47	1.769	60.80
100	2325	42,6	1,7	61.2

Tablo 56: Çeşitli yakıt karışımlarının hava ihtiyacı

Karışım % si	Etanol			Metanol			Propanol			Bütanol		
	100	90	80	100	90	80	100	90	80	100	90	80
0	15,06	15,06	15,06	15,06	15,06	15,06	15,06	15,06	15,06	15,06	15,06	15,06
5	14,82	14,69	14,67	14,35	14,6	14,6	14,82	14,86	14,77	14,78	14,88	14,84
10	14,51	14,36	14,27	13,5	14,2	14,6	14,58	14,33	14,48	14,43	14,64	14,55
20	13,9	14,01	13,48	12,77	13,3	13,7	14,11	13,79	13,90	14,08	14,16	13,98
30	13,29	13,48	12,69	11,9	12,5	12,76	13,63	13,26	13,33	13,72	13,68	13,41
40	12,68	12,95	11,90	11,2	11,6	11,8	13,15	12,73	12,75	13,37	13,19	12,83
50	12,06	12,42	11,11	10,4	10,3	10,91	12,44	12,19	11,89	13,02	12,71	12,26
60	11,45	11,36	10,32	9,6	9,4	9,09	11,96	11,66	11,31	12,66	12,23	11,69
70	10,84	10,16	9,53	8,8	8,5	8,10	11,48	11,13	10,74	12,31	11,74	11,11
80	10,23	9,46	8,75	8,0	7,7	7,11	11,01	10,59	10,16	11,95	11,26	10,54
90	9,614	8,76	8,01	7,3	7,0	6,12	11,11	10,06	10,00	11,60	10,78	9,97
100	8,584	8,06	7,38	6,5	6,0	5,13	10,25	9,80	9,30	11,20	10,30	9,40

Tablo 57: Çeşitli yakıt karışımlarının alt Isıl Değerleri

Karışım % si	Etanol			Metanol			Propanol			Bütanol		
	100	90	80	100	90	80	100	90	80	100	90	80
0 Benz in	444 24	444 24	444 24	444 24	444 24	444 24	444 24	444 24	444 24	444 24	444 24	444 24
5	435 43	434 09	433 24	422 04	431 08	430 07	431 68	436 93	435 58	435 13	437 50	435 96
10	426 62	423 94	422 25	399 93	417 92	415 89	419 12	429 62	426 92	425 92	430 77	427 68
20	409 00	403 63	400 25	377 82	391 59	387 54	406 56	414 99	409 59	416 71	417 29	411 11
30	391 38	383 33	378 26	355 71	365 27	359 19	394 00	400 37	392 27	407 50	403 82	394 55
40	373 76	363 02	356 26	333 60	338 94	330 84	381 44	385 74	374 94	398 29	390 34	377 98
50	356 14	332 57	323 27	311 50	299 46	288 32	368 88	363 81	348 96	389 08	370 13	353 14
60	338 52	312 26	301 28	289 38	273 13	259 97	356 32	349 18	331 63	379 87	356 66	336 57
70	320 90	291 96	279 29	267 27	246 81	231 62	343 57	334 56	314 31	370 66	343 19	320 01
80	320 90	271 66	257 29	245 16	220 49	203 27	331 19	319 94	296 99	361 45	329 71	303 45
90	285 66	251 35	23,5 30	223 05	194 16	17,4 92	318 63	30,5 31	279 66	352 24	316 24	286 88
100	268 03	241 20	224 30	200 94	181 00	160 75	306 00	298 00	271 00	344 00	309 50	278 60

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Günümüzde motor yakıtı olarak kullanılan fosil kökenli gaz ve sıvı yakıtların rezervlerinin giderek azalması ve fiyatlarının giderek yükselmesi dünya ülkelerini ve ülkemizi bu alanda kullanılabilecek yeni ve temiz enerji kaynaklarını araştırmaya yönlendirmiştir. Bu çalışmada kıvılcımlı ateşlemeli motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılabilecek çeşitli alkollerin yakıtsal özellikleri incelenmiş, bunların motor yakıtı olarak kullanılması durumunda, bu yakıtsal özelliklerin motor performans değerlerini nasıl etkileyebileceği teorik olarak incelenmeye çalışılmıştır. Özellikle, çeşitli alkollerin yakıt olarak kullanılması durumunda hava tüketiminin nasıl değişeceği, alkollerin saflık derecelerine ve karışım oranlarına göre hava miktarları ve diğer yakıtsal özellikleri incelenmeye çalışılmıştır. Elde edilen bu sonuçlar, yakıt-hava sistemlerinin tasarımına da ışık tutacaktır.

Buji ateşlemeli motorlarda alkollerin yakıt olarak kullanımının en basit yöntemlerinden birisi, düşük oranlarda alkol karışimli benzinin yakıt olarak kullanılmasıdır. Ancak, düşük sıcaklıklarda alkollerin faz oluşturarak benzinden ayrışması kullanım sırasında sorun oluşturmaktadır. Yüksek oranlarda alkollerin motor yakıtı olarak kullanılması için çift yakıtlı sistemlerinin kullanılması veya motorların tamamen alkol motoruna dönüştürülmesi gerekmektedir. Bütün bu alkol kullanım alanlarında çok sayıda çalışma yapılmış ve yapılmaya da devam etmektedir. Özellikle, yakın bir zamanda petrol türevi yakıtların tükeneceğinin anlaşılması nedeniyle, hem alkollerin üretildiği kaynakların artırılması üzerine, hemde alkollerin verimli şekilde motorlarda yakıt olarak kullanılması üzerine çalışmaların sayısı artmıştır.

Doğal olarak, benzin ve alkollerin yakıtsal özelliklerinin farklı olması nedeniyle benzinli motorlarda alkol içerikli yakıtların kullanılması durumunda, yapılan bu çalışmadan ve diğer uygulamalı çalışmaların sonuçlarından da yararlanarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Yukarıda verilen çizelgelerden anlaşıldığı gibi benzin ile birlikte kullanılan alkol yakıtların oranı arttıkça, alkol yakıt içeriğinde bulunan oksijen miktarının artması nedeniyle yanma için kullanılan hava miktarı giderek azalmaktadır.

Ayrıca, alkol saflık derecesinin azalması ile de oksijen miktarları (dolayısı ile hava miktarları) benzer oranlarda azalmaktadır (Tablo 56).

- Motor yakıtı içerisindeki karbon ve hidrojenin kütleli oranları arttıkça oksijen ve dolayısı ile hava ihtiyacı artmaktadır (Tablo 56). Örneğin, Tablo 56 da saf metanol için $6,51 \text{ kg}_h/\text{kg}_y$ iken Saf bütanolün 1 kg'ının yanması için hava $11,20 \text{ kg}_h/\text{kg}_y$ 'dir. Yani, karbon ve hidrojen kütleli kesri düşük olan metanol motor yakıtı olarak kullanıldığında 1 kg yakıtı yakmak için $6,51 \text{ kg}$ havaya ihtiyaç varken karbon ve hidrojen kütleli oranı daha yüksek olan Bütanolün 1 kg tam yakabilmek için $11,20 \text{ kg}$ havaya ihtiyaç duyulmaktadır. Benzer şekilde diğer alkoller için çeşitli karışım oranlarına göre gereksinim duyulan hava miktarları ilgil tabloda verilmiştir. Hava sistemlerinin tasarımında bun okta dikkate alınmalıdır.
- Benzin yakıt içerisindeki alkol oranı arttıkça yakıtların alt ve üst ısıl değerleri düşmektedir. Bir motordan aynı tork ve gücü elde etmek veya aynı araçla eşit yolu kat etmek için daha fazla alkol karışımı yakıt kullanmamız gerektiğini gösterir. Yani, alkol karışimli motorlarda yakıt tüketimi ve özgül yakıt tüketimi benzinli araçlara göre daha yüksek olacaktır. Bu miktar, Tablo 57 görülen ısıl değerlerdeki düşme oranında yalnız artma şeklinde görülecektir.
- Benzin içerisindeki alkol oranı arttıkça, alkollerin enerji içeriğinin düşük olması nedeniyle, yakıt tüketim miktarı ve özgül yakıt tüketim miktarı artacaktır. Bu artış alkollerin karbon sayısının artması oranında azalmaktadır. Azalma miktarları Tablo 57 de verilmiştir.
- Benzin alkol karışımlarında karışım veya ikili yakıt sistemi kullanım durumlarında alkollerin C sayısı azaldıkça karbon dioksit miktarında azalma artacaktır. Doğal olarak silindir içerisindeki yakıt karışımı içerisindeki yakıtın karbon sayısı azaldığı için karbondioksit oranında azalacaktır. Alkol türüne göre C sayısı dört kat arttığundan C sayısı fazla olan alkollerde karbondioksit salınımı da artmaktadır. Ancak bir motordan aynı gücü elde edebilmek için daha fazla yakıt tüketileceğinden karbondioksit miktarı teorik değerlerden bir miktar daha fazla olacaktır.
- Çalışmada, alkollerin yakıt sisteminde kullanılan malzemelere kimyasal etkisi incelenmemiştir. Çünkü bu alanda daha önce yeteri düzeyde yapılmış çalışmalar

bulunmaktadır. Alkoller, benzin yakıtla uyum içerisinde çalışan bir kısım malzemelerle kimyasal olarak etkileşime girmekte ve zarar vermektedir. Metanol ve etanol yakıtlar, motor yakıt sistemlerinde kullanılan kurşun kaplama, alüminyum, bakır, magnezyum ve pres döküm çinko gibi malzemelerde aşındırıcı etki yaparlar. Ayrıca, alkollerle temasta bulunan kauçuk ve plastik malzemelerde de bozulma olur. Yakıt sistemlerinin tasarımında bu hususlar dikkate alınmalıdır.

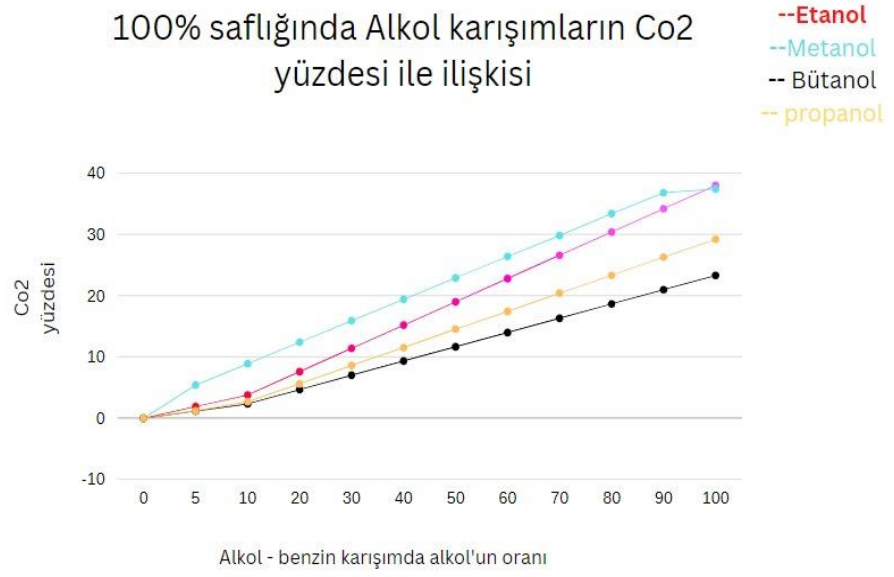
- Bütanol ve Propanol alkoller yakıt özellikleri açısından metanol ve etanole daha göre uygun görülmesine rağmen fiyatlarının yüksek üretim miktarlarının az olması nedeniyle uzun vadede yüksek kapasitede yakıt olarak kullanımı uygun görülmektedir (Şekil 18,19). Etanolün üretim kaynaklarının metanole göre daha yüksek olması, enerji içeriğinin yüksek olması ve ayrıca metanolün çok zehirli bir alkol olması nedeniyle günümüzde benzini takviye edecek en iyi yakıt olarak görülmektedir.
- Tablo 10’da verilen değerlerden görüleceği gibi alkollerin tek bir molekül yapısına sahip olması, tek bir kaynama ve buharlaşma sıcaklığına sahip olması gibi özellikler alkollerin daha temiz yanmasına neden olur. Buda motor verimini yükseltir.
- Benzinli motorlarda teorik verim sıkıştırma oranının artırılması ile sağlanır. Sıkıştırma oranını artırmak için yakıtın oktan sayısının yüksek olması istenir. Belirtildiği gibi alkollerin oktansayısının genellikle Tablo 11’de gibi daha yüksek olması nedeniyle oktan artırıcı madde olarak kullanılmaktaydı. Yüksek oktanlı yakıtların kullanımı ile motor silindir içerisinde daha iyi yanma sağlanacaktır. Bu da motor verimini artıracaktır. Uygulamalı çalışmaların çoğunda bun okta vurgulanmaktadır.
- Çeşitli alkollerin su içeriklerinin ısı değer üzerine etkisi Tablo 12,13,14 ve 15’de verilmiştir. Görüldüğü gibi alkollerin su içeriği (safılığı) ısı değer açısından çok önemlidir. Su içeriğinin %50 olması durumunda etanolün ısı değeri 26800 kJ/kg dan 14884 kJ/kg düşmektedir. Bu nedenle %80 saflıktan daha düşük saflıktaki alkollerin yakıt olarak kullanımı uygun görülmemektedir.

- Şekil 21 a–b de görüldüğü gibi etanolün su içeriği arttıkça parlama noktası sıcaklığı aşırı derecede yükselmektedir. Bu durum düşük saflıktaki Alkollerin yakıt olarak kullanımını olumsuz yönde etkilemektedir.
- Bölüm 4 de anlatılanlar ışığında benzin alkol karışımlarının%10-15 gibi düşük oranlarda kullanılabileceği görülmektedir. Daha yüksek oranlarda alkol yakıt kullanılmak istenirse ikili yakıt sistemlerinin kullanılması ve sadece alkolle çalışan motor tasarımının yapılması uygun görülmektedir.
- Bölüm 4 verilen tablolarda alkol kullanımlarının motor tanıtıcı parametrelerine etkisi özet halinde verilmiştir. Yapılan bu uygulamalı çalışmalarda da Benzine etanol ilavesi, motor hızını artardığını ve alkollerin enerji içeriğinin düşüklüğü nedeni ile motor tork ve gücünü azalttığını göstermektedir. Ancak, yakıt tüketimini artırarak motor gücünün arttığını belirten çalışmalarda bulunmaktadır. Yakıt tüketimi ve özgül yakıt değeri alkollerin enerji içeriğinin düşmesine bağlı olarak artmaktadır.
- Motor emisyonu ile ilgili farklı görüşler olmasına rağmen genel olarak alkol yakıtların daha temiz yanması ve kükürt içermemeleri çevreyi daha az kirlettiği yönündedir. Sonuçlar, benzine alkol (etanol veya metanol) ilavesiyle karbon monoksit (CO) ve nitrojen oksitlerin (NO) emisyonunda açık ve önemli bir azalma olduğunu göstermektedir.

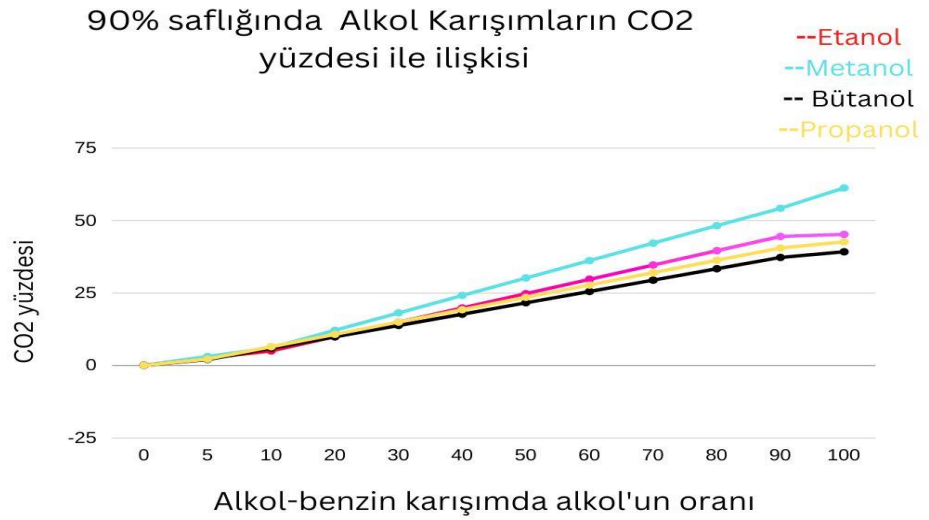
Yapılan teorik çalışmaların değerlendirilmesi ile ilgili diğer sonuçlar şekillerle aşağıda verilmiştir.

Farklı saflıktaki ve ayrıca benzinle karışım yüzdesi farklı olan alkol türlerine ait yanma denklemlerinin hesaplanmasından elde edilen veriler aşağıdaki grafiklerde gösterilebilir:

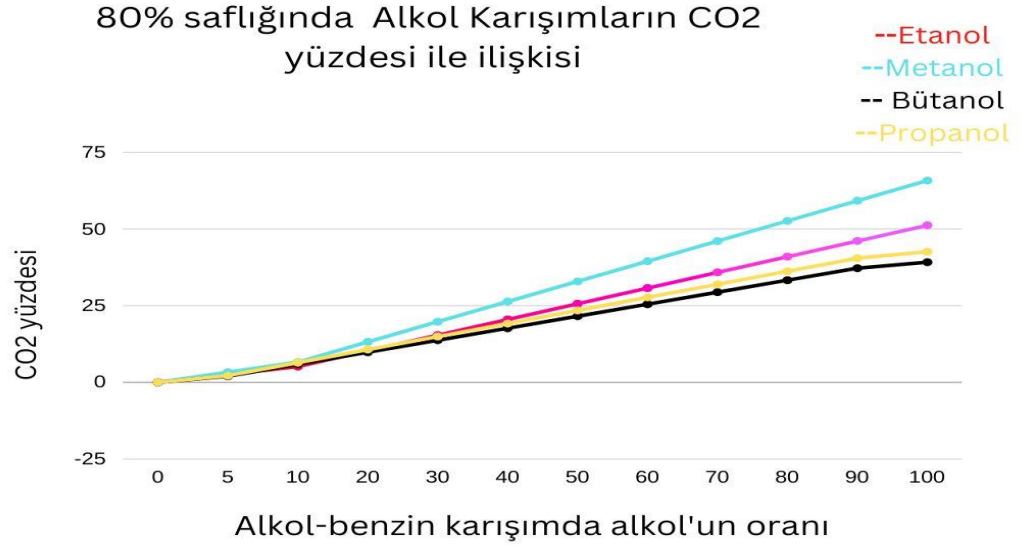
Hava Yakıt oranı yükseldüğü zaman alt ısı değeri de yükselmektedir ve alkol benzine eklendiğinde hava/yakıt oranı düşmektedir (şekil 43). Benzine alkol ilavesi hava/yakıt oranını düşürmektedir, aynı boyutlardaki motordan aynı gücü alabilmek için tüketilen yakıt miktarını artırmak gerekmektedir.



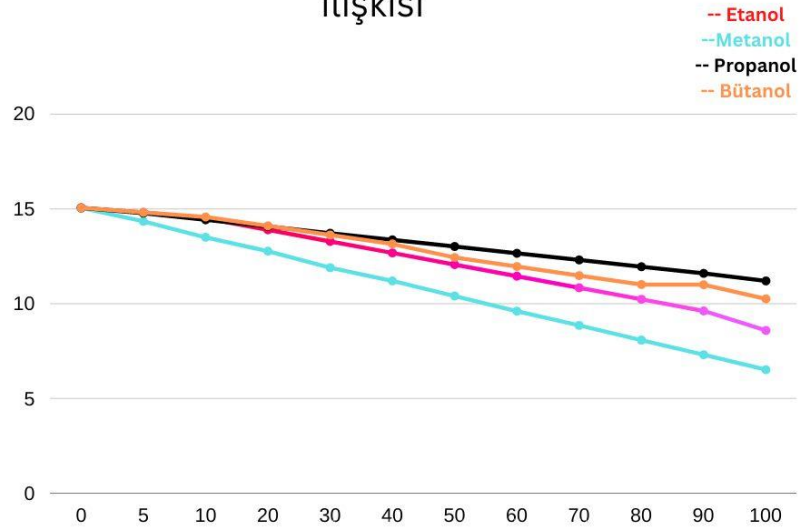
Şekil 36. 100% saflığında Alkol karışımların CO₂ yüzdesi ile ilişkisi



Şekil 37. 90% saflığında Alkol karışımların CO₂ yüzdesi ile ilişkisi

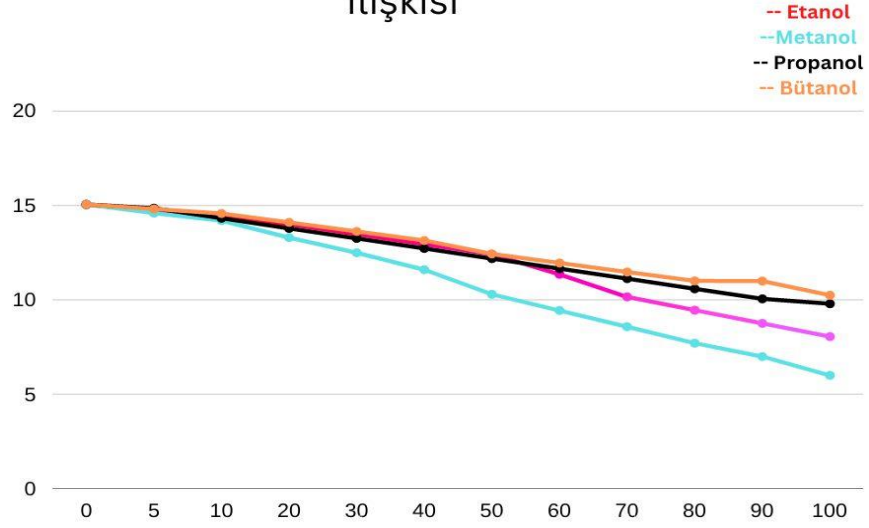


100% Saflığı alkol H/Y oranı-alkol'un yüzdesi ile ilişkisi



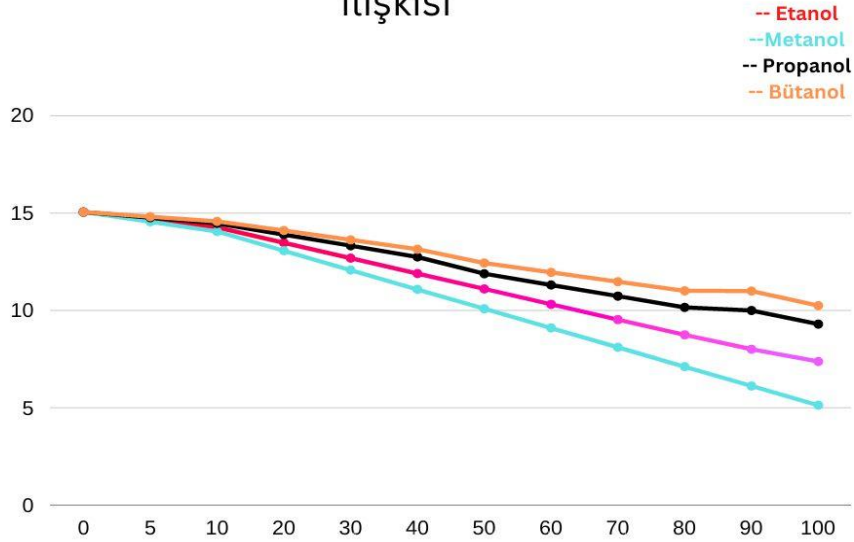
Şekil 39. 100% Saflığı alkol H/Y oranı-alkol'un yüzdesi ile ilişkisi

90% Saflığı alkol H/Y oranı-alkol'un yüzdesi ile ilişkisi



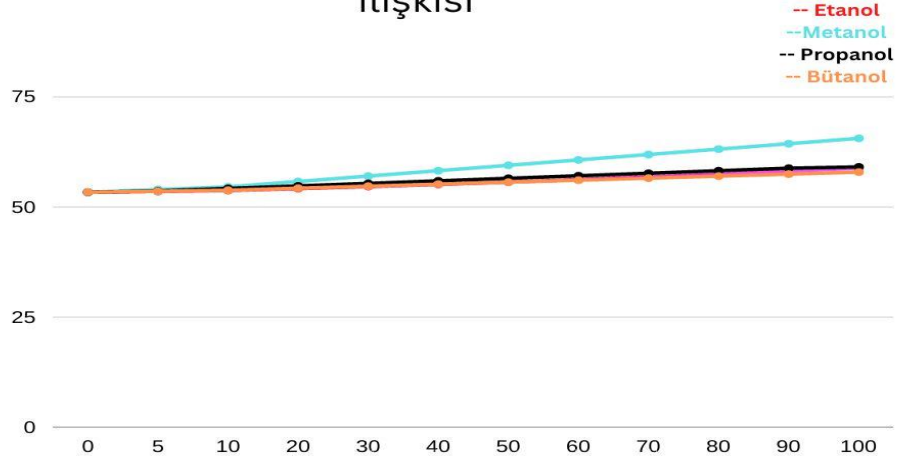
Şekil 40. 90% Saflığı alkol H/Y oranı-alkol'un yüzdesi ile ilişkisi

80% Saflığı alkol H/Y oranı-alkol'un yüzdesi ile ilişkisi



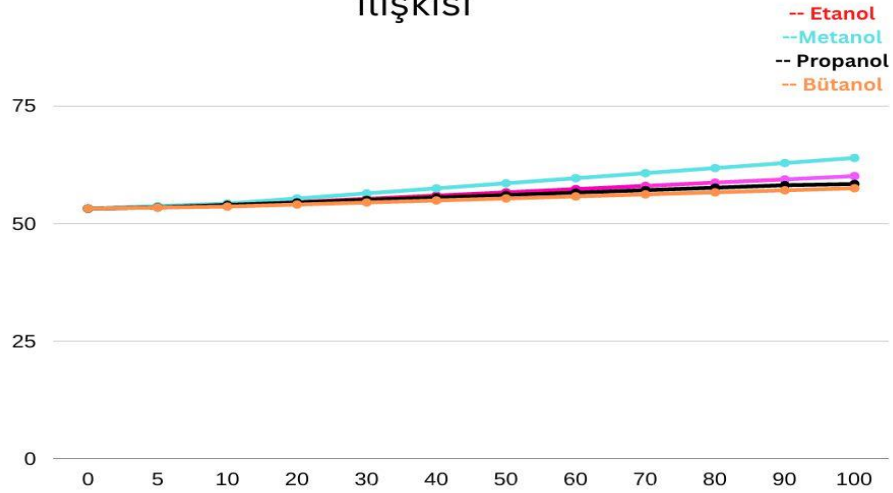
Şekil 41. 80% Saflığı alkol H/Y oranı-alkol'un yüzdesi ile ilişkisi

100% Saflığı alkol Tdp oranı-alkol'un yüzdesi ile ilişkisi



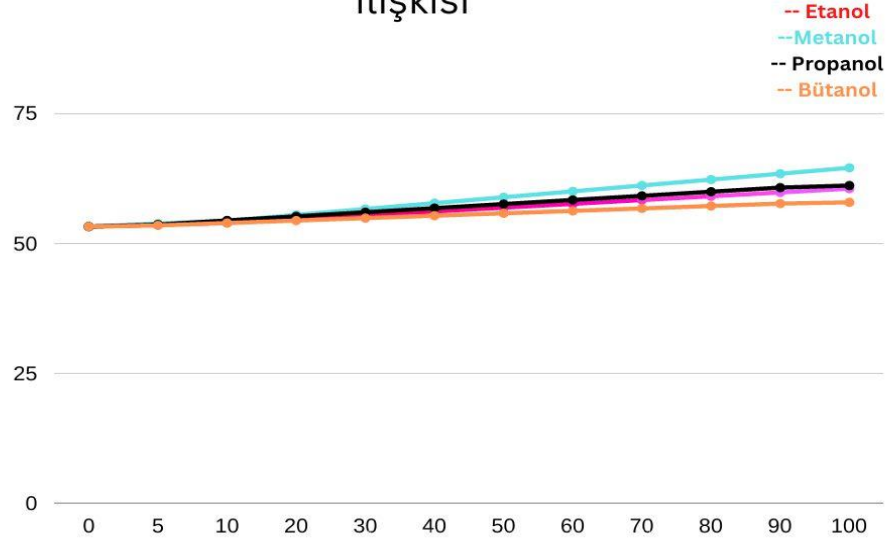
Şekil 42. 100% Saflığı alkol Tdp-alkol'un yüzdesi ile ilişkisi

90% Saflığı alkol Tdp oranı-alkol'un yüzdesi ile ilişkisi



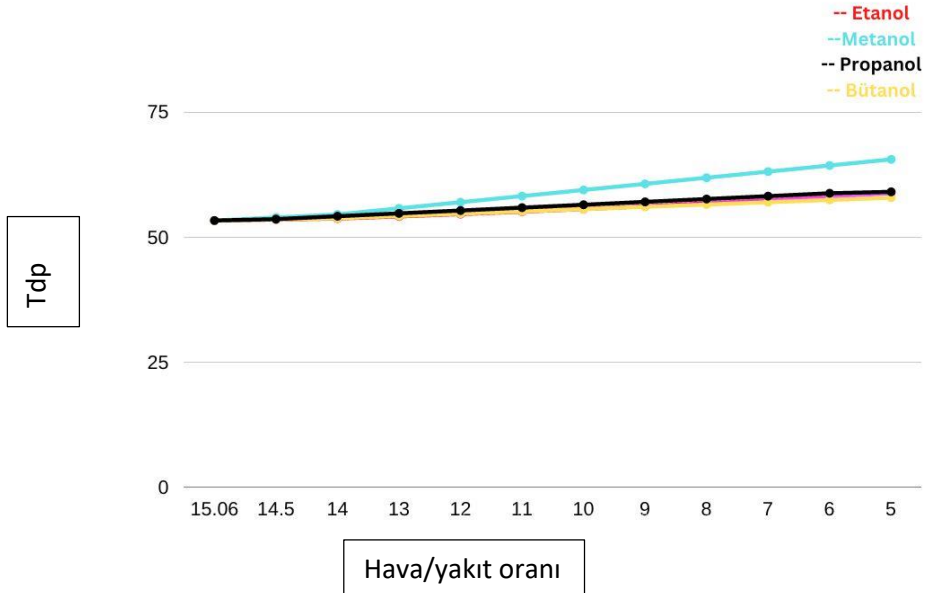
Şekil 43. 90% Saflığı alkol Tdp-alkol'un yüzdesi ile ilişkisi

80% Saflığı alkol Tdp oranı-alkol'un yüzdesi ile ilişkisi



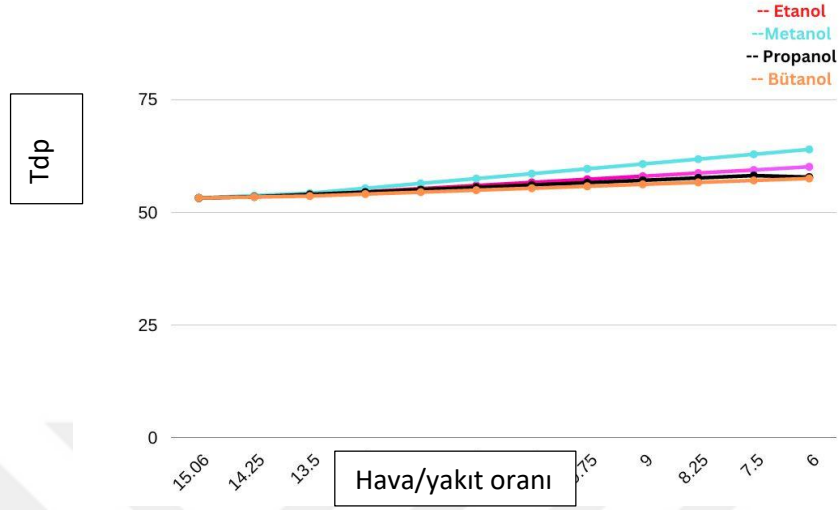
Şekil 44. 80% Saflığı alkol Tdp-alkol'un yüzdesi ile ilişkisi

Saf alkol H/Y oranı-Tdp ile ilişkisi

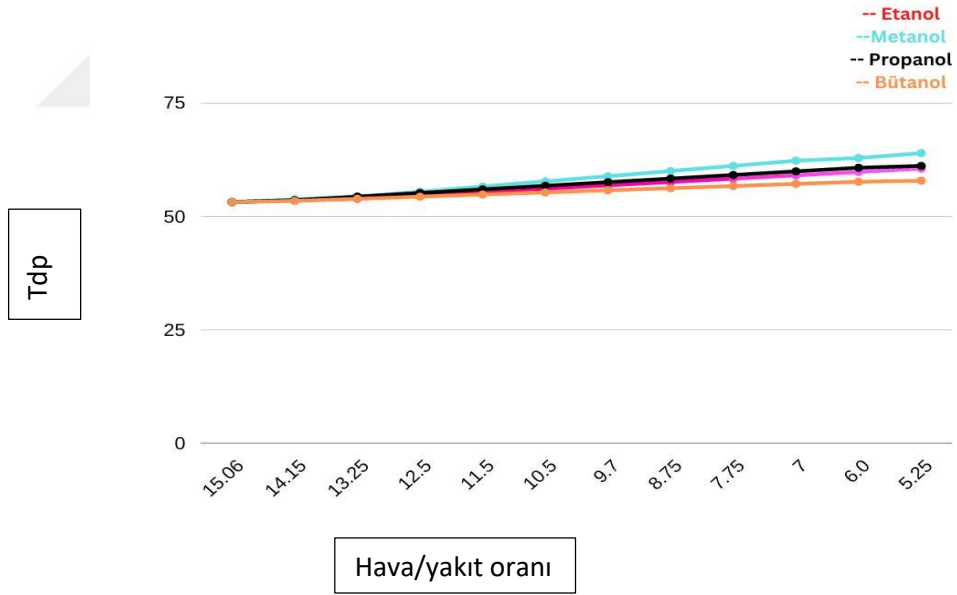


Şekil 45 . 100% saflığı alkol'un Hava/Yakıt oranı – Tdp ile ilişkisi

90% Saflığı alkol H/Y oranı-Tdp ile ilişkisi

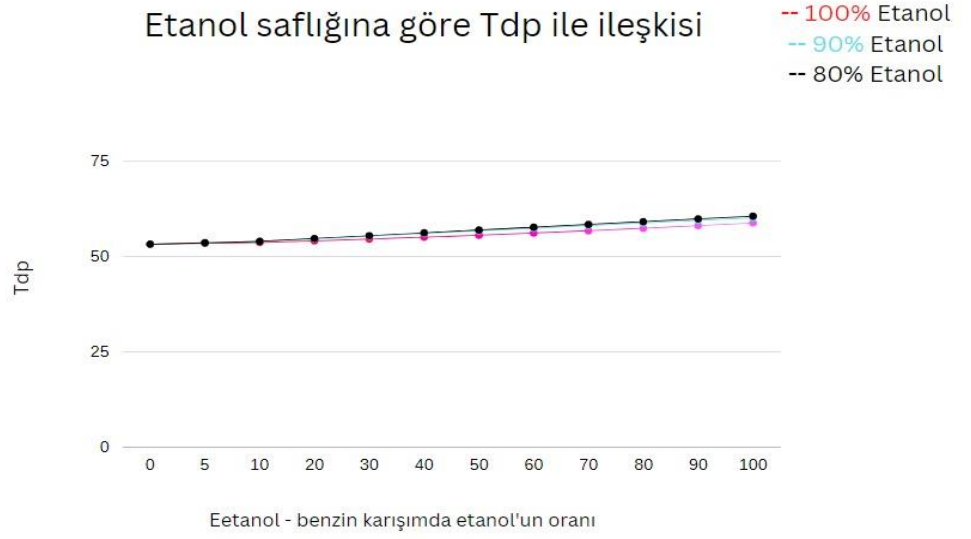


80% Saflığı alkol H/Y oranı-Tdp ile ilişkisi



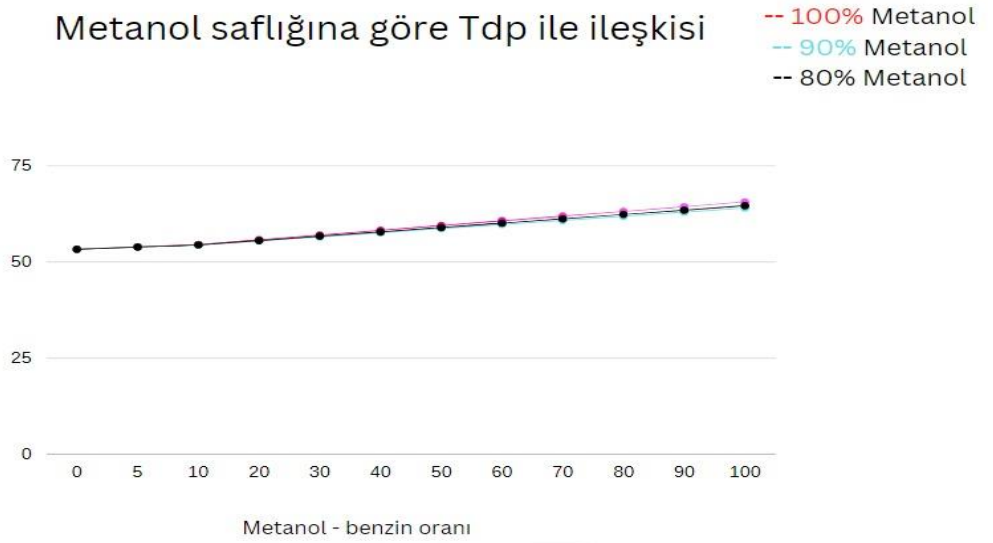
Şekil 47 . 80% saflığı alkol'un Hava/Yakıt oranı – Tdp ile ilişkisi

Etanol saflığına göre Tdp ile ilişkisi

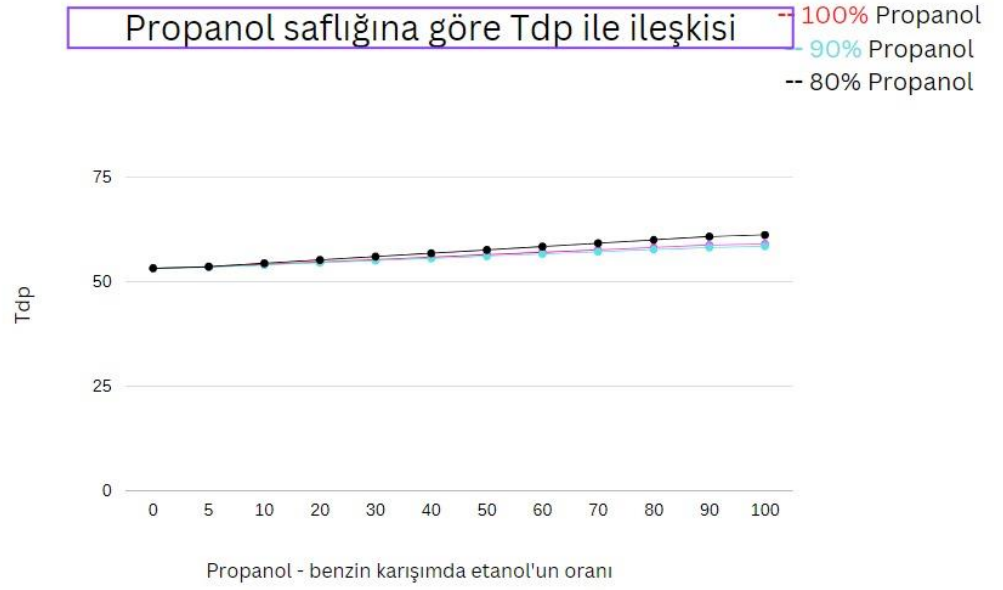


Şekil 48. Etanol saflığına göre Tdp ile ilişkisi

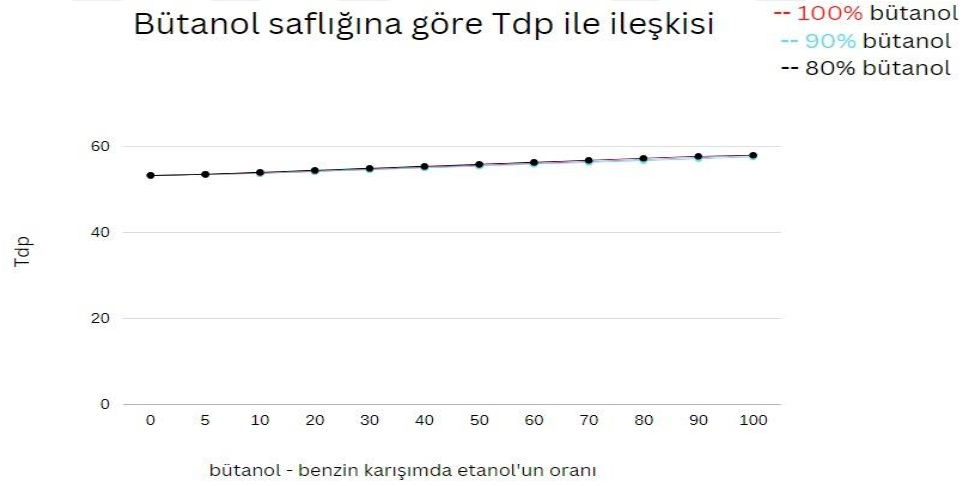
Metanol saflığına göre Tdp ile ilişkisi



Şekil 49. Metanol saflığına göre Tdp ile ilişkisi



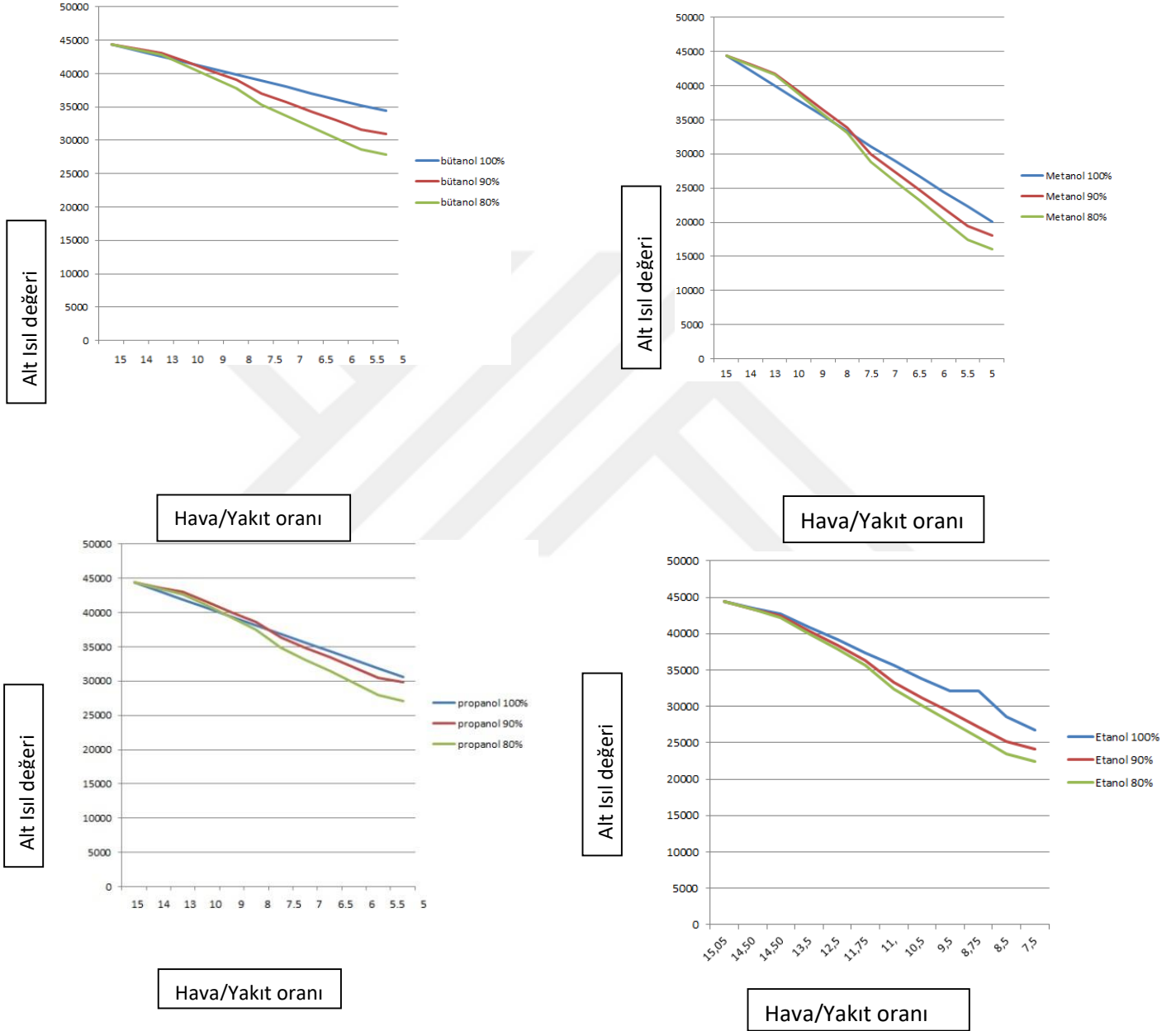
Şekil 50. Propanol saflığına göre T_{dp} ile ilişkisi



Şekil 51. Bütanol saflığına göre T_{dp} ile ilişkisi

Aşağıdaki şekillerde ise alkol saflık derecesi ve karışım oranlarına göre yakıtların ısıl değerinin nasıl azaldığı görülmektedir. Elde edilen sonuçlar yakıt içerisindeki oksijenin kütle oranı arttıkça ısıl değer önemli ölçüde azalmaktadır.

Yüksek karbonlu alkollerde ısı değeri daha az düşerkün, az karbonlu alkollerde gözle görülür şekilde düşmektedir.



Şekil 52 . Hava/Yakıt oranı – Alt ısı değeri ile ilişkisi

Tablolar ve grafikler (Şekil 43) incelendiğinde, alkol saflığının yoğuşma sıcaklığı üzerinde küçük bir etkisi olduğunu görebiliyoruz, alkolün saflığını %10 oranında düşüğünde yaklaşık %2 artmaktadır. Motorun ilk soğukta çalışması sırasında ve egzoz sisteminin ömrü açısından bu özellik önem arz etmektedir. Özellikle kısa mesafeli yol giden araçlarda yoğuşma egzoz malzemelerinin kısa sürede paslanarak çürümesine yol açmaktadır. Bu durum bakım onarım masraflarını artırmaktadır.

Emisyonlar hakkında farklı saflıktaki alkol ilavesi genellikle emisyon oranını azaltarak daha az kirlilik sağlar.

Öneriler:

1. Yeni ve yenilenebilir alternatif yakıt türlerinden olan alkollerin yakıt olarak yaygın şekilde kullanılabilmesi için alkol içerikli bitkilerin üretiminin artırılması (Brezilya örneği), üretim yöntemlerinin geliştirilmesi ve alkol fiyatlarının düşürülmesi gerekmektedir. Bu aynı zamanda istihdam alanı oluşturacaktır. Bu şekilde, alkoller ham petrolden elde edilen yakıtların yerine geçebilirler. Alkol üretimi (özellikle etanol), zirai imkânları geniş olan ülkelerin çiftçileri için iyi bir gelir kaynağı da oluşturabilir.
2. Motorlar üzerinde uygulamalı çalışmalar artırılarak yakıt sistemlerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Sadece alkolle çalışan araçların-motorların geliştirilmesi sağlanabilir (Brezilya ve ABD nin bazı eyaletlerinde olduğu gibi). Motorlarda yüksek sıkıştırma oranlarına çıkılması durumunda, motor performansını arttırabilir. Başka bir deyişle daha küçük hacme sahip motorlardan daha yüksek güç çıkışları elde edilebilir. Konu üzerinde çalışmalar artırılabilir.

KAYNAKLAR

- Abu-Zaid, M., Badran, O., Yamin, J. (2004). Effect of methanol addition on the performance of spark ignition engines. *Energy Fuels*, 18:312–5.
- AFDC, (2014). Alternative fuel data center, *Alternative Fuel News* alternative Fuel News, Vol. 4 - No. 4. From the Office of Energy Efficiency and Renewable Energy.
- Agarwal, A.K., Singh, A.P., Maurya, R. K. (2017). Evolution, challenges and path forward for low temperature combustion engines.
- Alternative Fuels Data Center. (2016). U.S. Department of Energy. *Alternative Fuels Data Center*
- Annand W.J.D. (1963). " Heat Transfer in The Cylinder of Reciprocating Internal Combustion Engines", *Proc.Inst. Mech.Eng*, Vol.177, No.973.
- Awad, O. (2017). Alcohol and ether as alternative fuels in spark ignition engine: A review, p:6
- Azizi, Z., Rezaeimanesh, M., Tohidian, T., Rahimpour, M.R. (2014). Dimethyl ether: a review of technologies and production challenges. *Chem Eng Process: Process Intensif*; 82:150–72.
- Baird, Gollahalli, S.R. (2000). Emission and Efficiency of Spark Ignition Engine, *International Joint Power Generation Conference*, Florida, July 23-26.
- Balat, M., Balat, H., Öz, C. (2007). Progress in Bioethanol Processing, *Progress in Energy and Combustion Science*, 551-573 pp.
- Balki MK, Sayin C, Canakci M. The effect of different alcohol fuels on the performance, emission and combustion characteristics of a gasoline engine. *Fuel* 2014; 115:901–6.
- Baskar, P., Senthilkumar, A. (2015). Effects of oxygen enriched combustion on pollution and performance characteristics of a diesel engine. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, S2215098615001445–. Doi: 10.1016/j.jestch.2015.08.011
- Bata, RM., Elrod, AC., Rice, RW. (1989). Emissions from IC engines fueled with alcohol–gasoline blends: a literature review. *J Eng Gas Turbines Power*;111:424–31
- Bayraç H. N., Çemrek, F. (2021). Avrupa Birliği ve Türkiye’de Biyoetanol Üretimi ve CO₂ Emisyonunun Ekonomik Büyüme Üzerindeki Etkisinin Panel Veri Analizi Aracılığıyla İncelenmesi. 117/2021,Kaynak:

(<https://www.statista.com/statistics/281606/ethanol-production-in-selected-countries>),

Bayraç, H. N., Çemrek, F. (2021). Avrupa Birliği ve Türkiye’de Biyoetanol Üretimi ve CO₂ Emisyonunun Ekonomik Büyüme Üzerindeki Etkisinin Panel Veri Analizi Aracılığıyla İncelenmesi, Yeni Türkiye s117, Erişim sitesi: <https://www.statista.com/statistics/281606/ethanol-production-in-selected-countries>.

Bielanski A, Malecka-Lubańska A, Poźniczek J, Micek-Ilnicka A, Hamid H, Ali M Handbook of MTBE and other gasoline oxygenates. New York: Marcel Dekker Inc; 2004.

Calam, A., Solmaz, H., Uyumaz, A., Polat, S., Yilmaz, E., İçingür, Y. (2015). Investigation of usability of the fusel oil in a single cylinder spark ignition engine. J Energy Inst; 88:258–65.

Canakci, M., Ozsezen, AN., Alptekin, E., Eyidogan, M. (2013). Impact of alcohol–gasoline fuel blends on the exhaust emission of an SI engine. Renew Energy; 52:111–7.

Colin, R. F., Allan T. K. (2001). Internal combustion- Engines Applied Thermo sciences 2 nd edition..

Çelik, MB. (2007). Buji Ateşlemeli Bir Motorda Alternatif Yakıt Olarak Saf Etanolün Kullanılması.

Çelik, MB., Özdalyan, B., Alkan, F. (2011). The use of pure methanol as fuel at high compression ratio in a single cylinder gasoline engine. Fuel; 90:1591–8

Demirbaş, A. (2007). Effects of moisture and hydrogen content on the heating value of fuels. Energy Sources, Part A: Recov, Utilization, Environ Effects;29:649–55.

El-Emam, S., Desoky, A. (1985). A study on the combustion of alternative fuels in sparkignition engines. Int J Hydrogen Energy; 10:497–504.

Energy AFDC-UDo. Alternative Fuel Price Report. 2017.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı .(2016). Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ile Bağlı, ilgili ve ilişkili Kuruluşlarının Amaç ve Faaliyetleri, www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2F1%2FDocuments%2FMavi.

ETKB/EİGM (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı/Enerji İşleri Genel Müdürlüğü).(2020). 2019. 2018 Yılı Genel Enerji Dengesi. ETKB/EİGM Web Sitesi, son erişim tarihi: 10.02.2020

Eyidogan, M., Ozsezen, AN., Canakci, M., Turkcan, A. (2010). Impact of alcohol–gasoline fuel blends on the performance and combustion characteristics of an SI engine. Fuel; 89:2713–20.

- Eyidoğan, M., anakci, M., zsezen, A., Türkcan, A., Kılıçaslan, İ. (2011). Etanol-benzin ve metanol-benzin karışımının buji ateşlemeli bir motorun yanma karakteristiği ve egzoz emisyonlarına etkisinin incelenmesi, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Gazi Univ. Cilt 26, No 3, 499-507.
- Gnansounou, Dauriat. (2005). Refining sweet sorghum to ethanol and sugar: economic trade-offs in the context of North China, Bioresource Technology Volume 96, Issue 9, June, Pages 985-1002.
- Graham, P.J., Gregg, D.J., Saddler JN. Wood. (2003). ethanol for climate change mitigation in Canada. Appl Biochem Biotechnol; 105:231–42.
- Gravalos, I. (2013). Detection of fuel type on a spark ignition engine from engine vibration behaviour.
- Haroun, A.K., Marsa, S., Abdol-Hamid, H. R. (2008). Ethanol as an octane enhancer for the commercial gasoline fuels. Iraqi J Mech Mater Eng.
- He, B-Q., Wang, J-X., Hao, J-M., Yan, X-G., Xiao, J-H.(2003). A study on emission characteristics of an EFI engine with ethanol blended gasoline fuels. Atmos Environ, 37:949–57.
- Heywood, JB. (1988). Internal combustion engine fundamentals. New York: Mcgraw-hill.
- Hu, T., Wei, Y., Liu, S., Zhou, L. (2007). Improvement of spark-ignition (SI) engine combustion and emission during cold start, fueled with methanol/gasoline blends. Energy Fuels; 21:171–5.
- IEA (International EnergyAgency).(2019) World Energy Outlook, s. 38.]
- İçingür, Y., Calam, A. (2012). Fuzel Yağı Benzin Karışımının Buji İle Ateşlemeli Bir Motorda Performans Ve Emisyonlara Etkisi, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 27, No 1, 143-149.
- José , R. S., Rodrigo, C., Costa. (2010). Hydrous ethanol vs. gasoline-ethanol blend: engine performance of emission, Fuel, Volume 89, Issue 2, February, Pages 287-293
- Karabektaş, M. (2003). Etanol ve Metanolün Buji ile Ateşlemeli motor Yakıtı Olarak Kullanımı, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 1. Sayı, Mart.
- Karaosmanoğlu, Filiz, Işığigr A., Aksoy, Ayşe H. (1997). Methanol-unleaded gasoline blends containing fusel oil fraction as spark ignition engine fuel. Energy Sources; 19:567–77.
- Keskin, A. (2008). The influence of ethanol–gasoline blends on spark ignition engine vibration characteristics and noise emissions

- Koç A. , Yağlı H. , Koç Y. , Uğurlu İ. (2018). International EnergyAgency ,IEA statistics: Key World Energy Statistics, Dünyada ve Türkiye’de Enerji Görünümünün Genel Değerlendirilmesi, Mühendis ve Makina, cilt 59, sayı 692, s. 86-114, ,
- Koç, A., Yağlı, H., Koç, Y., Uğurlu, İ. (2018). Dünyada ve Türkiye’de Enerji Görünümünün Genel Değerlendirilmesi, Engineer and Machinery, vol 59, no 692, p. 86-114, July-September
- Koç, M., Sekmen, Y., Topgül, T., Yücesu, HS. (2009). The effects of ethanol–unleaded gasoline blends on engine performance and exhaust emissions in a spark-ignition engine. Renew Energy; 34:2101–6.
- Letcher, TM., Heyward, C., Wootton, S., Shuttleworth, B. (1986). Ternary phase diagrams for gasoline-water-alcohol mixtures. Fuel; 65:891–4.
- Liu, H., Wang, Z., Long, Y., Xiang, S., Wang, J., Fatouraie, M. (2015). Comparative study on alcohol–gasoline and gasoline–alcohol Dual-Fuel Spark Ignition (DFSI) combustion for engine particle number (PN) reduction, Fuel, Volume 159, Pages 250-258 doi: 10.1016/j. fuel.
- Liu, Y., Liu, H., Zhang, J., Cheng, K., Chen, Z. (2008). Research progress in new biofuel butane Mod Chem Ind,28:28–33.
- Lutsey, N., Sperling, D.(2005). Energy efficiency, fuel economy, and policy implications transportation research record. J Transp Res Board:8–17.
- Mahdi, H. M. (1990). Simulation Model for Exhaust Emission and Performance of Single Cylinder Spark Ignition Engines, A Thesis Submitted for Degree of Master in The University of Technology Baghdad.
- McMahon, T, (2021). Historical Crude Oil Prices. Erişim adresi: <https://inflationdata.com/articles/inflation-adjusted-prices/historical-crude-oil-prices-table/>
- Melikoglu, M., Albostan, A. (2010). “Biogas: From Waste to Energy, With Specific Focus on Istanbul” International Sustainable Buildings Symposium (ISBS), May, Ankara/Turkey.
- Melikoğlu, M., Albostan, A. (2011). Steps of bioethanol production from different raw materials, J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ. Cilt 26, No 1, 151-160
- Miller, G. L., Smith, G. L. (1981). Dual – Fuel Diesel Engine Operation Rocky Mountain Section. ASAE University of Wyoming, Wyoming 82070.
- National Renewable Energy Laboratory. (2014). Energy' Do. Light-Duty AFV, HEV, and Diesel Model Offerings, By Fuel Type.
- Noor, MM., Wandel, AP., Yusaf, T. (2012). A review of MILD combustion and open furnace design consideration. Int J Autom Mech Eng, 6:27.

- Noor, MM., Wandel, AP., Yusaf, T.M. (2014). combustion: The future for lean and clean combustion technology. *Int Rev Mech Eng*; 8:251–7.
- Oruç, N. (2008). Şeker Pancarından Alternatif Yakıt Kaynağı Olarak Etanol Üretimi: Eskişehir Şeker-Alkol Fabrikası Örneği. VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu.
- Othman, Z.S. (2015). Alcohol based-deep eutectic solvent (DES) as an alternative green additive to increase rotenone yield.
- Özsezen, AN., Canakci, M. (2011). Performance and combustion characteristics of alcohol–gasoline blends at wide-open throttle. *Energy*,36:2747–52.
- Palmer, F. (1986). Vehicle performance of gasoline containing oxygenates. In: Proceedings of international conference on petroleum-based fuels and automotive applications. Imech Conference Publications,11 Paper no C319/861986.
- Pourkhesalian, AM., Shamekhi, AH., Salimi, F. (2010). Alternative fuel and gasoline in an SI engine: a comparative study of performance and emissions characteristics. *Fuel*, 89:1056–63.
- Prasad ve diğerleri, (2007). Ethanol as an alternative fuel from agricultural, industrial and urban residues, *Resources, Conservation and Recycling*, Volume 50, Issue 1, March, Pages 1-39
- Pringle, H.C., Mayeux, M.M. (1982). Extending Diesel Fuel by Carbureting Aqueous Ethanol. ASAE St. Joseph, Michigan, 49085. Paper no. 81-1048.
- Qi, D., Lee, C. (2016). Combustion and emissions behaviour for ethanol–gasoline-blended fuels in a multipoint electronic fuel injection engine. *Int J Sustain Energy*,35:323–38.
- Rask, KN. (1998). Clean air and renewable fuels: the market for fuel ethanol in the US from 1984 to 1993. *Energy Econ*,20:325–45.
- Rice, R., Sanyal, A., Elrod A, Bata R., Rowland, S. B., Annand, W.J.D., Baruah P. C. (1975). Exhaust gas emissions of butanol, ethanol, and Simulation Model Including Intake and Exhaust System for Single Cylinder Four-Cycle Spark Ignition Engine *Int. J. Mech. Sci*, Vol .17.
- Ridge, B. B., Dubuque, IL., Madison, IA. (2002). *Numerical Methods for Engineers* 4th. McGraw-Hill.copyright.
- Rong, Z. (2015). The impact of fuel compositions on the particulate emissions of direct injection gasoline engine
- Schmit, TM., Luo, J., Tauer, LW. (2008). "Ethanol Plant Investment Decisions Using Real Options Analysis". Department of Applied Economics and Management, Cornell University, August)

- Sezer, I., Bilgin, A. (2008). Effects of methyl tert-butyl ether addition to base gasoline on the performance and CO emissions of a spark ignition engine. *Energy & Fuels*; 2008:1341–8.
- Shafiee, S., Topal, E. (2009). When will fossil fuel reserves be diminished? *Energy Policy*, 37:181–9.
- Shayan, SB., Seyedpour, SM., Ommi, F. (2012). Effect of oxygenates blending with gasoline to improve fuel properties. *Chin J Mech Eng*, 25:792–7.
- Shelley, M. (2006). *Alcoholic Fuels* -CRC Press.
- Sitthiracha, S. (2006). An Analytical Model of Spark Ignition engine for performance prediction. king. Mongkut's Institute of technology North Bangkok
- Siwale, L., Kristóf, L., Bereczky, A., Mbarawa, M., Kolesnikov, A. (2011). Experimental investigation of fuel properties, engine performance, combustion and emissions of blends containing croton oil, butanol, and diesel on a CI engine.
- Smith, K. J., Anderson, RB. (1983). “A chain growth scheme for the higher alcohols systems”; Kevin J. Smith and Robert Anderson; McMaster University.
- Solmaz, H. (2015). Combustion, performance and emission characteristics of fusel oil in a park ignition engine. *Fuel Process Technol*,133:20–8.
- Statistical Review of World Energy. (2018). BP
- Summera, B., Maroufwani, M. (2015). Investigation on a single cylinder spark ignition engine using ethanol gasoline blends for power generation ,Vol.4, No.2.
- Szwaja, S., Naber, JD. (2010). Combustion of n-butanol in a spark-ignition IC engine. *Fuel*, 89:1573–82.
- Taşdan, B. (2005). Türkiye’de tarımsal ürünlerin pazarlama kanalları ve araçlarının değerlendirilmesi, *Tarım Bilimleri Dergisi*.
- Thomas, V. (1995). The elimination of lead in gasoline. *Annu Rev Energy Environ*, 20:301–24.
- Tulva, AN. (2007). The future of corn-ethanol in fuel sector of United States from environmental development, *Engineering Management Engineering Management Field Projects*.
- Turner, J., Pearson, R., Dekker, E., Iosefa, B., Johansson, K., Bergström, K. (2013). Extending the role of alcohols as transport fuels using iso-stoichiometric ternary blends of gasoline, ethanol and methanol. *Appl Energy*,102:72–86.

- Vallinayagam, R., Vedharaj, S., Roberts, WL., Dibble, RW., Sarathy, SM. (2017). Performance and emissions of gasoline blended with terpineol as an octane booster. *Renew Energy*,101:1087–93.
- Wang, C., Xu, H., Daniel, R., Ghafourian, A., Herreros, JM., Shuai, S. (2013). Combustion characteristics and emissions of 2-methylfuran compared to 2, 5-dimethylfuran, gasoline, and ethanol in a DISI engine. *Fuel*; 103:200–11.
- Wang, Z., Hui, L., Long, Y., Wang, J., Xin, H. (2015). Comparative study on alcohol gasoline and gasoline alcohol dual-fuel spark ignition (DFSI) combustion for high load extension and high fuel efficiency, *Energy* 82 (2015) 395-405.
- White, TL. (1907). Alcohol as a Fuel for the Automobile Motor. SAE Technical Paper.
- Willard, W. Pulk rabek. (1997). " Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine", prentice HALL-INC
- Yang, J., Wang, Y., Feng, R. (2011). The Performance Analysis of an Engine Fueled with Butanol-Gasoline Blend. SAE International.
- Yusri, IM., Mamat, R., Najafi, G., Ramzan, A., Awad, OI., Azmi, WH. (2017). Alcohol-based automotive fuels from first four alcohol family in compression and spark ignition engine: a review on engine performance and exhaust emissions. *Renew Sustain Energy*,77:169–81.
- Zervas.(2013). The Environmental Kuznets Curve (EKC) theory-Part A: Concept, causes, and the CO₂ emissions case
- Zhou, J. (2013). Effects of Controlling Oxygen Concentration on the Performance, Emission and Combustion Characteristics in a Downsized SI Engine