



**ULTRASONİK ATOMİZER KULLANILAN BENZİNLİ
BİR MOTORDA BENZİNE ALTERNATİF
YAKITLARIN KULLANILMASININ ARAŞTIRILMASI**

Yük. Müh. Gökhan ÖZTÜRK

**Yüksek Lisans Tezi
Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Cengiz ÖNER
NİSAN- 2019**

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ULTRASONİK ATOMİZER KULLANILAN BENZİNLİ BİR MOTORDA
BENZİNE ALTERNATİF YAKITLARIN KULLANILMASININ ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Gökhan ÖZTÜRK
162136101

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 5 Mart 2019

Tezin Savunulduğu Tarih: 5 Nisan 2019

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Cengiz ÖNER (F.Ü)
Diğer Jüri Üyeleri: Prof. Dr. Rasim BEHÇET(İ.Ü)
: Prof. Dr. Cumali İLKILIÇ (F.Ü)

NİSAN- 2019

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlamış olduğum bu çalışma içten yanmalı motorlarda benzin-biyoetanol karışımlarının ultrasonik atomizer kullanımının motor saatlik yakıt tüketimi ve egzoz emisyonları üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Çalışmanın, otomotiv teknolojileri alanında yeni ufuklar açmasını ve yapılacak olan çalışmalara temel oluşturmasını temenni ederim.

Çalışma konusunun belirlenmesi, araştırmaların yürütülmesi ve incelenmesi, yüksek lisans tezimin yazımı ve tamamlanmasında büyük emekleri olan değerli danışmanlarım Prof. Dr. Cengiz ÖNER'e ve ikinci danışmanın Dr. Öğr. Üyesi Burak TANYERİ'ne çalışmaların elektrik-elektronikle ilgili bölümlerinde her türlü tecrübe ve bilgilerini esirgemeyen Doç. Dr. Mehmet GEDİKPINAR'a, çalışmanın deneyleri esnasında yardımlarını esirgemeyen Makine Mühendisi Kubilay HAN'a teşekkür ederim.

Ayrıca çalışmanın maddi tarafını üstlenen FÜBAP'a (Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi) ve tezimin tamamlanmasına kadar olan meşakkatli süreçte, her zaman desteğini esirgemeyen aileme fedakârlıklarından ve desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Gökhan ÖZTÜRK

ELAZIĞ-2019

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET.....	VI
SUMMARY.....	VII
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VIII
TABLolar LİSTESİ.....	XII
Sayfa No	XII
SEMBOLLER LİSTESİ	XIII
1.GİRİŞ.....	1
1.1.Yaygın Olarak Kullanılan Alternatif Yakıtlar.....	2
1.1.1.Alkoller	2
1.1.2.Hidrojen.....	5
1.1.3. Bitkisel yağlar	7
1.1.4.Sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG).....	9
1.1.5. Sıkıştırılmış doğalgaz (CNG)	11
1.2.Biyoetanol	13
1.2.1 Biyoetanolün tarihi ve biyoetanolün türkiye ve dünyadaki üretimin durumu	16
1.2.2. Biyoetanolün yakıt olarak kullanılması.....	18
1.2.3. Biyoetanolün avantajları.....	19
1.2.4. Biyoetanolün dezavantajları	20
1.2.5. Biyoetanol ile yapılan çalışmalar	20
1.3.Benzinli Motorlarda Karışım Oluşturan Sistemler.....	29
1.3.1 Karbüratörler.....	29
1.3.2 Benzin püskürtmeli sistemler.....	30
1.3.2.1.Karışım teşkili	31
1.3.2.2.Tek noktalı püskürtme sistemleri (S P I)	33
1.3.2.3.Çok noktalı püskürtme sistemleri (M P I).....	35
1.3.2.4.Direkt püskürtme sistemleri (GDI).....	37
1.4. Enjektörler	40

1.4.1.Enjektör çeşitleri ve yapısal özellikleri	41
1.4.1.1. Açık enjektörler	41
1.4.1.2.Kapalı enjektörler	42
1.4.1.3.Elektro-hidrolik enjektörler	45
1.4.1.4.Piezo-elektriksel enjektörler	47
1.5.Ultrasonik Dalgalar, Kullanım Alanları ve Ultrasonik Dönüştürücüler	49
1.5.1.Ultrasenin etkileri	53
1.5.1.1.Fiziksel etkileri	53
1.5.1.2.Biyolojik etkileri.....	53
1.5.1.3.Kimyasal etkileri.....	54
1.5.2. Kavitasyon	54
1.5.2.1.Kavitasyon Çeşitleri.....	57
1.5.3.Ultrasonik transduser (Dönüştürücüler)	57
1.5.3.1. Transduser çeşitleri.....	57
1.5.4.Ultrasonik püskürtme sistemi	61
1.5.5.Ultrasonik alanında yapılan çalışmalar	63
2.MATERYAL VE METOT	68
2.1.Materyal	68
2.1.1 Deney motoru ve su pompası.....	68
2.1.2 Deney yakıtları.....	69
2.1.3.Takometre cihazı.....	71
2.1.4. Egzoz gaz analiz cihazı	73
2.1.5. Ultrasonik yakıt sistemi ve elemanları	74
2.1.5.1. Piezoelektrik seramik sensör	74
2.1.5.2.Ultrasonik jeneratör	75
2.1.5.3. Yakıt deposu.....	77
2.1.6. Enjeksiyon sistemi ve elemanları.....	78
2.1.6.1 Gaz keleşğı gövdesi	79
2.1.6.2. Yakıt pompası.....	80
2.1.6.3 Enjektör	80
2.1.6.4. Elektronik Ateşleme Sistemi (CDI).....	81
2.1.6.5. Sensörler.....	81
2.1.6.6.Eletronik kontrol sistemi (ECU).....	82

2.2 Metot.....	84
3. BULGULAR.....	89
3.1. Saatlik Yakıt Tüketimleri.....	89
3.2 Egzoz Emisyon Bulguları	94
3.2.1 CO emisyonları.....	94
3.2.2 CO ₂ emisyonları	99
3.2.3 HC emisyonları.....	104
3.2.4 NO _x emisyonları.....	108
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	114
5. ÖNERİLER	116
KAYNAKLAR	117
ÖZGEÇMİŞ	121

ÖZET

Bu çalışma, buji ile ateşlemeli motorlarda, gelecekte benzinin yerine kullanılması muhtemel olan biyoetanol benzin karışımının ve ultrasonik yakıt enjeksiyon sisteminin saatlik yakıt tüketimi ve egzoz emisyonları üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Yakıt, yüksek frekanslı ses dalgası ile atomize edilerek, motorun yakıt tüketimi ve egzoz emisyon sonuçları belirlenip, günümüzde kullanılan benzin püskürtme sistemi ve eski teknoloji olan karbüratörlü sistem ile karşılaştırılması yapılmıştır.

Çalışmanın birinci bölümünde konuya giriş yapılarak konu ile ilgili mevcut literatür çalışmaları incelenmiştir. İkinci bölümde, deneysel yöntem tanıtılmış, üçüncü bölümde elde edilen veriler sunulmuştur. Dördüncü bölümde, elde edilen sonuçlar tartışılarak yorumlanmış ve ilgili literatür ile ilişkilendirilmiştir. Beşinci ve son bölümde öneriler verilerek çalışma tamamlanmıştır.

Sonuç olarak ultrasonik yakıt sisteminin diğer yakıt sistemleriyle benzer özellik gösterdiği gözlenmiştir. Benzine biyoetanol eklendikçe bütün yakıt sistemlerinde yakıt tüketiminin arttığı, egzoz emisyonlarının iyileştiği görülmüştür. En düşük yakıt tüketimi ultrasonik yakıt sisteminde görülmüştür. Diğer yakıt sistemlerine kıyasla ultrasonik yakıt sisteminde egzoz emisyonların tamamında ciddi miktarda iyileşme olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Ultrasonik Sistem, Enjektörlü Sistem, Karbüratörlü Sistem, Alternatif Yakıt, Biyoetanol

SUMMARY

Investigation of The Use of Gasoline Alternative Fuels In a Gasoline Engines Using an Ultrasonic Atomizers

This study was carried out to determine the effects of bioethanol gasoline mixture and ultrasonic fuel injection system which may be used instead of petrol in spark ignition engines on the hourly fuel consumption and exhaust emissions. The fuel was atomized by high frequency sound wave and the fuel consumption and exhaust emission results of the engine were determined and compared with the current gasoline injection system and the old technology carburetor system.

In the first chapter of the study, the subject was introduced and present literature samples with relation to the subject were given. In the second chapter, the experimental method was described while the third chapter tells us the experimental findings. In the fourth chapter, the gathered experimental results were discussed deeply and associated with literature. In the fifth and final chapter, the study was completed with giving the recommendations.

As a result, it was observed ultrasonic fuel system has similar properties with other fuel systems. As bioethanol was added to the gasoline, it has been seen fuel consumption increased and exhaust emissions improved in all fuel systems. The lowest fuel consumption has been seen in the ultrasonic fuel system. Compared to other fuel systems, there has been a significant improvement in all of the exhaust emissions in the ultrasonic fuel system.

Key Words: Ultrasonic System, Injection System, Carburetor System, Alternative Fuel, Bioethanol

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1 Biyoetanol üretimi için kullanılabilecek hammadde kaynakları	14
Şekil 1.2 Biyoetanol üretim basamakları	15
Şekil 1.3 Dünyadaki biyoetanol üreticisi ülkeler ve biyoetanol üretimleri.....	17
Şekil 1.4 Dünyadaki ülkelerin biyoetanol üretmenindeki dağılımları.	17
Şekil 1.5 Biyoetanol-benzin karışımly yakıtların motordaki efektif güç değışimleri.	21
Şekil 1.6 Biyoetanol-benzin karışımly yakıtların motordaki moment değışimleri.	21
Şekil 1.7 Biyoetanol-benzin karışımly yakıtların motordaki saatlik yakıt tüketimi değışimleri.	22
Şekil 1.8 Biyoetanol-benzin karışımly yakıtların motordaki özgül yakıt tüketimi değışimleri	23
Şekil 1.9 Biyoetanol-benzin karışım yakıtlarının CO emisyon değeri değışimleri	23
Şekil 1.10 Biyoetanol-benzin karışım yakıtlarının CO ₂ emisyon değeri değışimleri	24
Şekil 1.11 Biyoetanol-benzin karışım yakıtlarının NO _x emisyon değeri değışimleri	25
Şekil 1.12 Püskürtme sistemlerinin sınıflandırılması	32
Şekil 1.13 Karışım oluşturulduğu yerlere göre yakıt püskürtme sistemleri.....	32
Şekil 1.14 Tek noktalı püskürtme sisteminde enjektörün konumu.....	33
Şekil 1.15 Tek nokta enjeksiyon sistemi (SPI)	34
Şekil 1.16 Çok nokta enjeksiyon sisteminde enjektörlerin konumu.....	35
Şekil 1.17 Çok noktalı püskürtme sistemleri (M P I).	37
Şekil 1.18 Direkt püskürtmeli sisteminde enjektörlerin konumu	38
Şekil 1.19 Direkt püskürtme sistemleri (GDI).	39
Şekil 1.20 Benzinli motorlarda kullanılan enjektör ve yapısı	40
Şekil 1.21 Açık enjektör kesiti.	42
Şekil 1.22 Kapalı enjektör.....	42
Şekil 1.23 Tek kademeli enjektör	43
Şekil 1.24 İki kademeli enjektör ve elemanları	44
Şekil 1.25 Enjektörün püskürtmesi	45
Şekil 1.26 Elektro-hidrolik enjektör ve elemanları.....	46
Şekil 1.27 Elektro-hidrolik enjektörün çalışması	46
Şekil 1.28 Enjektör kesiti	47
Şekil 1.29 Piezo-elektriksel enjektör	47
Şekil 1.30 Piezo elektriğin katmanları	48
Şekil 1.31 Piezo elektrik prensibi	48
Şekil 1.32 Enjektör kumanda devre şeması	49
Şekil 1.33 Ses spektrumu ve ultrasonik dalgaların frekans aralığı.....	52
Şekil 1.34 Kavitasyon bulutu	54
Şekil 1.35 Kabarcık gelişimi ve patlaması	55
Şekil 1.36 Kavitasyon oluşum aşamaları	56
Şekil 1.37 Piezoelektrik transduser	58

Şekil 1.38 Mıknatıs Devresi transduser	58
Şekil 1.39 Elektromanyetik transduser	59
Şekil 1.40 Elektrostatik transduser	59
Şekil 1.41 Sıvılı transduser.....	59
Şekil 1.42 Odaklı transduser	60
Şekil1.43 Ultrasonik yakıt sisteminin çalışma prensibi.	61
Şekil 1.44 Ultrasonik enjektör şeması, Ultrasonik enjektör, Ultrasonik jeneratör.	62
Şekil 1.45 Ultrasesin farklı yönlendirilmesiyle sıvı atomizasyonları.	62
Şekil 1.46 Ultrasonik spreyleme ile oluşan yaş tanecik bulutu	63
Şekil 1.47 Frekansa bağlı olarak damlacık boyutunun değişimi	64
Şekil 1.48 Farklı sıvıların ultrasonik atomizasyonunun karşılaştırılması	64
Şekil 1.49 OYS ve USYS'e ait özgül yakıt tüketimi değişimi.....	65
Şekil 1.50 OYS ve USYS' e sahip motorlarda CO emisyonlarının değişimi	66
Şekil 1.51 OYS ve USYS' e sahip motorlarda CO ₂ emisyonlarının değişimi	66
Şekil 1.52 OYS ve USYS' e sahip motorlarda HC emisyonlarının değişimi	67
Şekil 2.1 Kama By Reis KGP20 motor.....	68
Şekil 2.2 Benzine biyoetanol eklenmesi	71
Şekil 2.3 Mechaopto 9803.001 marka dijital takometre	72
Şekil 2.4 Bosch BEA 350 egzoz emisyon analiz cihazı	73
Şekil 2.5 Piezoelektrik Seramik Sensör.	74
Şekil 2.6 Adaptör, 1. Jeneratör ve 2. Jeneratör.....	75
Şekil 2.7 Yükselteç devresi	76
Şekil 2.8 Frekans Devresi.....	77
Şekil 2.9 Ultrasonik yakıt deposu	78
Şekil 2.10 Enjeksiyon değişim sisteminin parçaları	79
Şekil 2.11 Gaz kelebeği gövdesi.....	79
Şekil 2.12 Yakıt pompası	80
Şekil 2.13 Enjektör.....	80
Şekil 2.14 Elektronik ateşleme sistemi (CDI)	81
Şekil 2.15 Sırasıyla Map sensörü, Oksijen sensörü, Pickup sensörü.....	82
Şekil 2.16 Elektronik kontrol ünitesi (ECU)	82
Şekil 2.17 EFITune 2.25 programının ara yüzü	83
Şekil 2.18 Enjektör kontrol menüsü.....	83
Şekil 2.19 Karbüratör yakıt sisteminin deney düzeneği	85
Şekil 2.20 Ultrasonik atomizasyonun başlamadan önce ve başladıktan sonraki görüntüsü	86
Şekil 2.21 Motora takılan vanalar ve takıldığı yerleri	87
Şekil 2.22 Ultrasonik yakıt sisteminin deney düzeneği	87
Şekil 2.23 Enjektörlü yakıt sisteminin deney düzeneği	88
Şekil 3.1 Karbüratörlü yakıt sisteminde biyoetanol benzin karışımli yakıtlarını saatlik yakıt tüketiminin devire göre değişimi	89
Şekil 3.2 Ultrasonik yakıt sisteminde biyoetanol benzin karışımli yakıtlarının saatlik yakıt tüketiminin devire göre değişimi	90

Şekil 3.3 Enjektörlü yakıt sisteminde biyoetanol benzin karışimli yakıtlarının saatlik yakıt tüketiminin devire göre değişimi	90
Şekil 3.4 BE0 yakıtının üç farklı yakıt sistemindeki saatlik yakıt tüketiminin devire göre değişimi	91
Şekil 3.5 BE5 yakıtının üç farklı yakıt sistemindeki saatlik yakıt tüketiminin devire göre değişimi	92
Şekil 3.6 BE10 yakıtının üç farklı yakıt sistemindeki saatlik yakıt tüketiminin devire göre değişimi	92
Şekil 3.7 BE20 yakıtının üç farklı yakıt sistemindeki saatlik yakıt tüketiminin devire göre değişimi	93
Şekil 3.8 Karbüratörlü yakıt sisteminde CO emisyonlarının devire göre değişimi	94
Şekil 3.9 Ultrasonik yakıt sisteminde CO emisyonlarının devire göre değişimi	95
Şekil 3.10 Enjektör yakıt sisteminde CO emisyonlarının devire göre değişimi	95
Şekil 3.11 BE0 yakıtının üç farklı yakıt sistemindeki CO emisyon değerlerinin devire göre değişimi	96
Şekil 3.12 BE5 yakıtının üç farklı yakıt sistemindeki CO emisyon değerlerinin devire göre değişimi	97
Şekil 3.13 BE10 yakıtının üç farklı yakıt sistemindeki CO emisyon değerlerinin devire göre değişimi	97
Şekil 3.14 BE20 yakıtının üç farklı yakıt sistemindeki CO emisyon değerlerinin devire göre değişimi	98
Şekil 3.15 Karbüratörlü yakıt sisteminde CO ₂ emisyon değerlerinin devire göre değişimi	99
Şekil 3.16 Ultrasonik yakıt sisteminde CO ₂ emisyon değerlerinin devire göre değişimi	100
Şekil 3.17 Enjektörlü yakıt sisteminde CO ₂ emisyon değerlerinin devire göre değişimi	101
Şekil 3.18 BE0 yakıtının üç farklı yakıt sistemindeki CO ₂ emisyon değerlerinin devire göre değişimi	102
Şekil 3.19 BE05 yakıtının üç farklı yakıt sistemindeki CO ₂ emisyon değerlerinin devire göre değişimi	102
Şekil 3.20 BE10 yakıtının üç farklı yakıt sistemindeki CO ₂ emisyon değerlerinin devire göre değişimi	103
Şekil 3.21 BE20 yakıtının üç farklı yakıt sistemindeki CO ₂ emisyon değerlerinin devire göre değişimi	103
Şekil 3.22 Karbüratörlü yakıt sisteminde HC emisyon değerlerinin devire göre değişimi	104
Şekil 3.23 Ultrasonik yakıt sisteminde HC emisyon değerlerinin devire göre değişimi	105
Şekil 3.24 Enjektörlü yakıt sisteminde HC emisyon değerlerinin devire göre değişimi	106
Şekil 3.25 BE0 yakıtının üç farklı yakıt sistemindeki HC emisyon değerlerinin devire göre değişimi	106
Şekil 3.26 BE5 yakıtının üç farklı yakıt sistemindeki HC emisyon değerlerinin devire göre değişimi	107
Şekil 3.27 BE10 yakıtının üç farklı yakıt sistemindeki HC emisyon değerlerinin devire göre değişimi	107
Şekil 3.28 BE20 yakıtının üç farklı yakıt sistemindeki HC emisyon değerlerinin devire göre değişimi	108

Şekil 3.29 Karbüratörlü yakıt sisteminde NO _x emisyon değerlerinin devire göre değişimi	109
Şekil 3.30 Ultrasonik yakıt sisteminde NO _x emisyon değerlerinin devire göre değişimi..	109
Şekil 3.31 Enjektörlü yakıt sisteminde NO _x emisyon değerlerinin devire göre değişimi..	110
Şekil 3.32 BE0 yakıtının üç farklı yakıt sistemindeki NO _x emisyon değerlerinin devire göre değişimi	111
Şekil 3.33 BE5 yakıtının üç farklı yakıt sistemindeki NO _x emisyon değerlerinin devire göre değişimi	111
Şekil 3.34 BE10 yakıtının üç farklı yakıt sistemindeki NO _x emisyon değerlerinin devire göre değişimi	112
Şekil 3.35 BE20 yakıtının üç farklı yakıt sistemindeki NO _x emisyon değerlerinin devire göre değişimi	112



TABLÖLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1 Motor yakıtları ve bazı alkollerin kimyasal ve fiziksel özellikleri	4
Tablo 1.2 Hidrojen, benzin ve metanın yakıt özellikleri.....	6
Tablo 1.3 Bazı bitkisel yağ ve esterlerine ait fiziksel ve kimyasal özellikler.	8
Tablo 1.4 Propan, bütan ve benzinin özellikleri	10
Tablo 1.5 Doğalgazın kimyasal bileşenleri	11
Tablo 1.6 . CNG, benzin ve dizel yakıtlarının bazı özellikleri.....	12
Tablo 1.7 Sesin çeşitli maddeler içerisindeki yayılma hızı	50
Tablo 2.1 Kama By Reis KGP20 marka motorun teknik özellikleri.....	69
Tablo 2.2 Su pompasının teknik özellikleri.....	69
Tablo 2.3 Kurşunsuz benzin 95 oktan ürün spesifikasyonu	70
Tablo 2.4 Biyoetanolün kimyasal özellikleri	71
Tablo 2.5 Mechaopto 9803.001 marka dijital takometre teknik özellikleri	72
Tablo 2.6 Bosch BAE 350 Benzin modu emisyon değerleri ve hassasiyeti	73
Tablo 2.7 Piezoelektrik seramiğin özellikleri.....	75

SEMBOLLER LİSTESİ

SİMGELER

C_2H_5OH	: Etanol
CH_3OH	: Metanol
C_4H_9OH	: Bütanol
CH_4	: Metan
C_2H_6	: Etan
C_4H_{10}	: Bütan
C_3H_8	: Propan
CO	: Karbonmonoksit
CO_2	: Karbondioksit
HC	: Hidro Karbon
NO_x	: Azot Oksit
$BaTiO_3$	: Baryum Titan
SiO_2	: Kuatz
MgB_2	: Magmezyum Diborür

KISALTMALAR

THT	: Tetra Hidro Teafon
CNG	: Sıvılaştırılmış Doğal Gaz
LPG	: Sıkıştırılmış Petrol Gazı
EPDK	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu
BE0	: %100 Benzin
E5-BE5	: %95 Benzin+%5 Biyoetanol
E10-BE10	: %90 Benzin + %10 Biyoetanol
E15	: %85 Benzin + %15 Biyoetanol
E20-BE20	: %80 Benzin + %20 Biyoetanol
E85	: %15 Benzin + %85 Biyoetanol
GDI	: Gasoline Direckt Injection
AC	: Alternatif Gerilim
DC	: Doğru Gelirim
USYS	: Ultrasonik Atomizer Yakıt Sistemi
OYS	: Orijinal Yakıt Sistemi
ECU	: Elektronik Kontrol Ünitesi
CDI	: Elektronik Ateşleme Sistemi
MHz	: Megahertz
V	: Volt
Ppm	: Parts per million (milyonda bir birim)

1.GİRİŞ

Günümüzde nüfus artışı ve bu artışa bağlı olarak araç sayısının gittikçe artması, petrol kökenli yakıtların hızla tükenmesi ve bu yakıtların çevreye olan zararlı etkilerinin önemli boyutlara ulaşması, alternatif yakıt arayışlarına hız kazandırmıştır. Petrolün dünya enerji kaynaklarının büyük bir çoğunluğunu oluşturması ve gittikçe azalması çok tercih edilmeyen yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmaya teşvik etmiştir.

Türkiye enerji ihtiyacının büyük bir bölümünü petrol türevlerinden karşılamakta, petrol türevleri ise çoğunlukla motorlu araçlarda yakıt olarak tüketilmektedir. Dünya petrol rezervleri çok fazla kullanımı sonucu hızlı bir şekilde tükenmekte ve yakıtların yanmasından kaynaklanan egzoz emisyonlarındaki önemli artışların, dünya ekolojik dengesinde tamiri mümkün olmayan bozukluklara neden olması beklenmektedir [1]. Bu nedenle alternatif yakıt ile alakalı çok fazla çalışma yapılmaktadır. İçten yanmalı motor kullanılan araçlarda alternatif yakıt olarak, metanol, etanol, bütanol gibi alkoller, hidrojen gibi petrol kökenli olmayan bir yakıt, birçok bitkisel yağdan elde edilen biyodizeller, petrol kökenli sıkıştırılmış doğalgaz (CNG) ve bütan propan gibi bir çok gazdan oluşan sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) görülmektedir [2].

Yukarıda bahsi geçen yakıtların alternatif yakıt olarak tercih edilebilmeleri için, birim fiyatlarının yaygın olarak kullanılan yakıtlara göre daha ucuz olması, motorlarda köklü değişiklik yapmadan ve performansta önemli değişiklik göstermemesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, benzinli motorlarda kullanılan benzin ve biyoetanol yakıtların (BE5, BE10, BE20) yanma verimini yükseltmek için mikron boyutlu atomizasyon sağlamak, yanma verimini yükselterek yakıt tüketiminde ve egzoz emisyonlarında iyileşme sağlamak, yüksek basınç sistemlerini ortadan kaldırarak veya önemini azaltarak motor maliyetlerini azaltmak, yerli ürün olarak üretilen biyoetanolün kullanım alanını arttırmak petrol ürününde dışa bağımlılığı azaltmak, bu alanda bilimsel gelişmelere katkı sağlamak amaçlanmaktadır.

Tezin bir başka amacı da, yakıt haznesi içindeki yakıt akışı bozukluklarını en aza indirmek, sisteme giren yakıtın yumuşak ateşlemesini sağlamak için hava-yakıt oranını arttırmak, genel yakıt tüketimini önemli ölçüde azaltmak, yanmamış yakıt miktarını azaltarak, atmosfere salınan yanmamış yan ürünleri azaltmak ve bir içten yanmalı motorun yakıt verimliliğini arttırmak suretiyle hava kirliliğini azaltan bir ultrasonik sıvı yakıt giriş sistemi sağlamaktır.

1.1.Yaygın Olarak Kullanılan Alternatif Yakıtlar

1.1.1.Alkoller

Kimyasal formülleri $C_nH_{2n+2}O$ olan, renksiz ve keskin bir kokuya sahiptirler. Genelde kozmetik, gıda, temizlik ve boya sanayisinde kullanılmaktadırlar [3].

Motorlarda benzine veya mazota belirli oranlarda katılarak ya da doğrudan yakıt olarak kullanılabilinmektedirler. Genelde etanol (C_2H_5OH), metanol (CH_3OH), ve bütanol (C_4H_9OH) içten yanmalı motorlarda en çok tercih edilen alkollerdir. Alkollerin yapılarında oksijen bulundurulur. Motorlarda tüketilen yakıtlara göre daha küçük moleküllere sahiptirler. Yapılarında kükürt bulunan motor yakıtlarına göre emisyon değerleri daha temizdir. Yapılarında ağır metaller ve kanserojen madde içermezler. Bütün bu sebeplerden ötürü alternatif yakıt olarak alkollere yönelmeye sebep olunmuştur [3].

Alkollerin motor yakıtlarına göre daha hızlı ve daha parlak yandığı yapılan çalışmalarda gözlenmiştir. Yanma hızının artırılmasından dolayı yanma verimi iyileşmektedir ve motorların kararlı çalışmalarını sağlanmaktadır. Ayrıca, yanmanın hızlı olması motor vuruntu yapmadan yüksek sıkıştırma oranına çıkılarak motor verimi de artırılabilir. Yanmanın hızı oluşu motor performansında ve egzoz emisyonlarında önemli değişikliklere neden olduğu bilinmektedir [3].

Ülkemizde de son senelerde metanol, etanol ve bütanol gibi alkol üretimine yönelik çalışmalar başlamış ve akaryakıt fiyatlarındaki artışla birlikte bu çalışmalar hız kazanmıştır. Ülkemizde biyobenzin olarak bilinen benzin alkol karışımı benzinde kullanılacak alkol oranı % 5 ile sınırlandırmaktadır. Petrol Ofisi gibi petrol rafinerileri satışa sunduğu biyobenzin içerisindeki alkol oranını % 2 olarak belirlemiştir. Bu karışım oranının düşük seviyelerde tutulmasının sebebi, Maliye Bakanlığı tarafından yapılan düzenleme ile benzine katılan alkol için tanınan Özel Tüketim Vergisi muafiyetinin, % 2 ile sınırlandırılmış olmasıdır [3].

Motorlarda yakıt olarak kullanılan alkollerde farklı yöntemler uygulanmıştır. Bu alandaki bazı uygulamalar şöyledir;

- Alkollerin belirli bir yüzde ile yakıtlarının içerisine karıştırmak suretiyle uygulanması,

Bu yöntemde alkoller, yakıtlarının içerisine kütsel veya hacimsel olarak belirli bir yüzde ile karıştırma işlemi uygulanarak kullanılırlar. Bu tür araştırmalarda taşıtların motorlarında her hangi bir değişiklik yapılmadan yakıt-alkol karışımı kullanılabilir.

Motor yakıtlarına çok fazla alkol eklenmesi faz ayrışmasına sebep olmaktadır. Faz ayrışmasını engellemek için de belirli yüzdelerde başka kimyasal maddelerin eklendiği görülmektedir. Yakıtlarının içerisine farklı yüzdelerde ağır alkollerin eklenmesi yakıtlarda termodinamik aktivasyonu artırdığı da görülmektedir [3].

- Emme manifolduna püskürtülerek ya da buhar halinde verilerek kullanılması,

Bu yöntemde %100 alkol kullanılması veya motor yakıtlarına belirli bir oranda alkol eklenerek buhar halinde ya da püskürtülerek emme manifolda gönderilmesi şeklindedir. Alkollerin buharlaşma ısısı yüksektir. Bu nedenle emme manifoldunda buharlaşırken çevresinden ısı emerek ortamda bulunan havanın yoğunluğunu azaltmaktadır ve emme manifolduna daha fazla hava girmesine sebep olmaktadır. Bu da volumetrik verimin artmasını neden olmaktadır. Ayrıca bu yöntemlerde yükselen devre göre alkol ve alkol-yakıt karışımının buhar olarak gönderilmesi ve püskürtülmesi fazladan bir parça eklenmesine ve maliyeti arttırmasına neden olmaktadır. Alkollerin yüksek oranda su tutmasından dolayı korozyona neden olurlar ve emme manifoldlarının korozyondan etkilenmeyen malzemeler kullanılması yani motorda değişiklik yapılması anlamına gelmektedir [3].

- Alkol ve motor yakıtlarının bir karıştırıcı sistemde istenilen oranlarda homojen karıştırılarak motora gönderilmesi,

Bu tür yöntemlerde motor yakıtları ve alkol için iki farklı depo kullanılır. Bu kullanılan depolardan çekilen motor yakıtları ve alkol karıştırıcı bir sistem ile istenilen oranlarda karıştırılarak motora gönderilir. Bu sistemlerde alkoller ve motor yakıtlarının birbirleriyle aniden karıştırılması, karışımın homojen olarak karışamamasını, motor performansında ve egzoz emisyonlarında olumsuz etkilere neden olmaktadır ve maliyeti yüksek bir sistemdir [3].

- Motor yakıtları ve alkol için farklı iki enjeksiyon sistemlerinin kullanılması,

Bu yöntem ise motor yakıtları ve alkol için farklı iki enjeksiyon sisteminden oluşmaktadır. Her iki yakıtta silindir içerisine ayrı ayrı enjektörler yardımıyla püskürtülmektedir. Bu sistemlerde çok fazla değişikliğe ihtiyaç duyulmasından dolayı maliyet yükselmektedir. Ayrıca, basit yapılardan oluşan motorlarda ise sistemin karmaşıklığı fazlalaşmakta ve kontrolü zorlaşmaktadır. Ayrıca, alkolün direkt kullanımının motor parçalarında olumsuz sonuçlar doğurduğu görülmüştür. Bunların ilk sırasında plastik malzemeler gelmektedir. Saf alkol ve motor yakıtlarına % 10 ve daha fazla alkol ilave edilmesi plastik malzemelerin elastomer ve moleküler yapılarını bozduğu gözlemlenmiştir.

Bu nedenle bazı önlemler alınması gerekmektedir. Motor parçalarının zarar görmesini engellemek için plastik olan malzemeleri flor ve teflon malzemelerle kaplamak gerekmektedir. Motor yakıtlarının geçtiği metal olan malzemeleri ve yakıt deposunu da paslanmaz çelikten üretilmesi gerekmektedir ve bu olayda üretim maliyeti artırmaktadır [3].

Alkollerin fiziksel ve kimyasal özellikleri birbiriyle benzerlik göstermemektedir. Bazı alkollerin (Etanol, Metanol, Bütanol) kimyasal ve fiziksel özellikleri Tablo 1.1.'de dizel ve benzin yakıtları ile birlikte verilmiştir. Bu benzerlik göstermeyen değerler motorlarda yakıt olarak kullanılan alkoller için avantajlar ve dezavantajlar oluşturmaktadır.

Tablo 1.1. Motor yakıtları ve bazı alkollerin kimyasal ve fiziksel özellikleri [3].

	Metanol	Bütanol	Etanol	Motorin	Benzin
Kimyasal Denklemi	CH ₃ OH	C ₄ H ₉ OH	C ₂ H ₅ OH	C ₁₆ H ₃₄	C ₈ H ₁₈
C/H Oranı	0.25	0.40	0.333	0.55	0.556
Moleküler Ağırlığı	32.04	74	46.07	225	91.4
Özgül ağırlığı Sıvı (kg/dm ³)	0.79	0.810	0.79	0.79-0.83	0.73-0.78
Isıl Değeri(Mj/kg)	20.1	33.15	26.9	42.8	43.4
Stokoyometrik H/Y Oranı	6.44	11.1	8.96	14.6	14.7
Kaynama Noktası °C	65.1	118	78.7	140-360	30-325
Tutuşma Sıcaklığı °C	470	343	423	257	257
Araştırma Oktan Numarası	110	113	106-108	----	87-100
Motor Oktan Numarası	87		90		83
Setan Sayısı	3	17	8	45-50	0-10
Donma Noktası °C	-97.6	-89,3	-117.1	-15	-56
Buharlaşma Basıncı (kPa 38°C)	32	44	15,9	45-50	48-108
Buharlaşma Isısı(Mj/kg)	1.102	0.590	0.856	0.25-.30	0.272
Kinematik Vizkozite (mm ² /s, 40 °C)	0,59	3,6	1,19	2,6-4,1	0,37-0,44
Vizkozite (mPa s, 20 °C)	0.64	2.55	1.52	2,9-3,5	4-9
Tutuşma Sınırı	6-37	-----	3.5-19	1.5-8.2	1.3-7.6
% hacim Lamda	0.24-2.22		0.29-1.92		0.26-1.67

Alkol yakıtlarının avantajları;

- Alkoller, petrolün yerini alabilirler, petrol rezervleri olmayan ülkeler enerji gereksinimlerini petrole bağlı olmadan karşılayabilirler.
- Tarımsal yöntemle üretilen alkoller, zirai imkânları fazla olan ülkelerde çiftçiler için iyi bir gelir kaynağı olur.
- Alkollerin oktan sayıları benzinle mukayese edildiğinde benzinden yüksektir ve vuruntu olayı daha düşüktür.

- Oktan sayılarının yüksek olmalarından dolayı sıkıştırma oranları daha yükseğe çıkabilir bu da motor performansını artırır.
- Alkoller benzine göre daha fakir karışım oranlarında çalışması mümkündür.
- Alkollerin egzoz emisyon sonuçları benzine göre daha temizdir [4].

Alkol yakıtlarının dezavantajları;

- Isıl verimleri motor yakıtlarına göre düşüktür.
- Saf alkol ve motor yakıtlarına % 10 veya daha fazla alkol ilave edilerek motorlarda kullanılması plastik malzemelerin elastomer ve moleküler yapılarını bozar.
- Alkol motor parçalarında aşınmaya neden olur.
- Benzin-alkol karışımlarında içerisinde az miktarda bile su olması durumunda soğuk havalarda faz ayrışmasına neden olur.
- Alkol araçların ilk hareketlenmesinde zorluk oluşturur [4].

1.1.2.Hidrojen

Hidrojen içten yanmalı ve buji ateşlemeli motorlar için oldukça uygun bir yakıt türüdür. Doğal gaz ve kömür gibi fosil yakıtlardan, su ve bor gibi yeraltı kaynaklarından, güneş enerjisi ve nükleer enerji gibi birçok kaynaktan hidrojen elde edilebilir. Çevreye hiçbir zararı yoktur çünkü hidrojenin motorlarda yakıt olarak kullanılması sonucunda, yanma ürünü olarak su buharı açığa çıkar. Çok fazla kaynaklardan üretilen ve havaya zehirli gaz salınımı yapmaması nedeniyle motorlarda yakıt olarak kullanılabilen diğer alternatif yakıtlara göre daha gözde bir yakıt türüdür. İlk çalışmalar 20. yüzyılların başlarında başlanmış ve 1970'den sonra araştırmalar hız kazanmıştır [4].

İçten yanmalı motorlarda yakıt olarak kullanılan hidrojenin, petrol türevli yakıtlara göre pek çok önemli avantajlara sahiptirler. Alev hızının ve tutuşma yeteneğinin yüksek olması, ateşleme için düşük enerji ihtiyacı, yanma sınırları ve geniş tutuşma, ısıl değerin ve termik verimin yüksek olması, emisyonlarının kirletici özelliğın azlığı ve yüksek oktan sayısına sahip olması sebebiyle vurunıya karşı gösterdiği direnç hidrojeni yakıt olarak kullanılmasını oldukça cazip hale getirmektedir. Özellikle motorin ve benzinle beraber istenilen karışım hazırlanarak iki yakıtlı motor olarak da çalışmasına olanak sağlamaktadır.

Günümüzdeki motorlarda çok fazla değışiklik yapmadan hidrojen kullanılması mümkündür. Hidrojenin içten yanmalı motorlarda kullanılmasında tercih sebeplerinden biriside, hidrojen karışımlarının çok fakir ve çok zengin karışımlara kadar uzanan aralık

içerisinde geniş hava/yakıt karışım oranı ile tutuşma sağlanabilmesidir. 0,15-4,35 hava fazlalık katsayı değerleri aralığında tutuşabilmektedir. Ateşleme yapmak için gerekli olan enerji ihtiyacı hidrojen-hava karışımları için diğer yakıtlara göre daha düşüktür. Bu vaziyet Otto prensibi ile çalışan içten yanmalı motorlarda, yakıtın tutuşma garantisi gibi dursa da bu avantaj değil, erken tutuşma ve geri tutuşma gibi sorunlara sebep doğurmaktadır. Vuruntu (kendi kendine tutuşma) sıcaklığının yeterince yüksek olması (585°C) hidrojeni Otto motorlarında yakıt olarak kullanılması avantajlı kılmaktadır [4].

Hidrojenin fiziksel ve kimyasal özelliklerinden kaynaklanan sebeplerden ötürü depolanma sorunları çıktığı bilinmektedir. Hidrojen depolanma işleminde üç temel metot kullanılır. Birincisi yüksek basınçlı gaz şeklindedir, İkincisi kroyojenik (aşırı soğutulmuş) sıvı haldeki depolamadır ve üçüncüsü metalhidrit şeklinde depolanmasıdır [6]. Hidrojenin bazı yakıtlarla karşılaştırılması Tablo 1.2.'de verilmiştir.

Tablo 1.2. Hidrojen, benzin ve metanın yakıt özellikleri [5].

Özellik	Hidrojen	Benzin	Metan
Yoğunluk(kg/m ³)	0.084	4.40	0.65
Minimum ateşlenme enerjisi (Mj)	0.02	0.25	0.28
Sabit basınçta özgül ısısı (J.g/K)	14.89	1.20	2.22
Hava içindeki difüzyonu (cm ² /s)	0.61	0.05	0.16
Hava da alev sıcaklığı (°C)	2045	2197	1875
Ateşleme sıcaklığı (°C)	585	228-471	540
Tutuşma aralığı (%hacim)	4.0-75.0	1.3-7.1	5.0-15.0
Patlama enerjisi (g.TNT.k/j)	0.17	0.25	0.19
Alev yayılması (emissivitesi),(%)	17-25	34-42	25-33

Hidrojen yakıtlarının avantajları;

- Birçok kaynaktan üretilir (Doğalgaz, Kömür, Güneş, Nükleer enerji, Su, Bor).
- Çevreye hiçbir zararı yoktur çünkü hidrojenin motorlarda yakıt olarak kullanılması sonucunda, yanma ürünü olarak su buharı açığa çıkar.
- Alev hızının ve tutuşma yeteneğini motor yakıtlarına göre yüksektir.
- Ateşleme için düşük enerji ihtiyacı duyar.
- Isıl değerin ve termik verimi motor yakıtlarına göre yüksektir.
- Motor yakıtlarına göre oktan sayısı yüksektir [4].

Hidrojen yakıtlarının dezavantajları;

- Hidrojenin geniş tutuşma sınırlarına sahip olması ve kolay tutuşabilmesi emniyet açısından sorun teşkil etmektedir [4].
- Ateşleme yapmak için düşük enerjiye ihtiyaç duyması erken tutuşma ve geri tutuşma gibi sorunlara sebep olmaktadır [4].
- Hidrojenin fiziksel ve kimyasal özelliklerinden dolayı depolanma sorunları meydana gelmektedir [6].

1.1.3. Bitkisel yağlar

Bitkisel yağlar 1920'lerden bu zamana kadar alternatif dizel yakıtı olarak kullanılmaktadır. Çoğunlukla 1920'li yıllardaki enerji krizlerinden dolayı yenilenebilir ve kolay üretilen alternatif yakıt arayışları hızlanmıştır. Bu arayışların sonucunda birçok bitkiden elde edilebilen yağların yenilenebilir olması bitkisel yağlara yönelmeye neden olmuştur. Kolay esterleşmeleri ısı değerlerinin yüksek olması başka bir artı yönü olarak tercih sebebi olmuştur. Kimyasal fiziksel özellik yönünden de dizel yakıtına benzeşik olması ve çağımızda çok fazla önem verilen egzoz emisyon sonuçlarının da daha iyi olması da ayrı bir tercih sebebi olmuştur [7].

Genellikle %100 veya belirli oranlarda dizel yakıtla karıştırılarak oluşturulmuş bitkisel yağlar ve esterleri, viskoziteden kaynaklanan sorunlar çözüldüğü taktir de alternatif yakıt olarak kullanılabileceği belirtilmiştir. Yapılan araştırmalarda bitkisel yağlardan oluşmuş yakıtların dizel motorların çalışma prensiplerine göre kullanılmaktadır. Dizel motorlarda hiçbir değişiklik yapmadan testler uygulanmıştır. Yapılan testlerin sonuçlarına göre bitkisel yağların, performans ve emisyon deneylerinde petrol türevi dizel yakıtlar gibi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir [8].

Yapılan çalışmalarda motor güç, moment ve emisyon değerleri bakımından, bitkisel yağlar ve bitkisel yağlardan elde edilen metil ve etil esterlerinin kimyasal ve fiziksel özellikleri petrol türevi olan dizel yakıtının özelliklerine benzer olması sebebiyle alternatif yakıt olarak dizel motorlarında kullanılabilmektedir. Süresi uzun olan uygulamalar da ise bitkisel yağ esterlerinin bitkisel yağlara kıyasla daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir.

Motorlarda bitkisel yağ kullanıldığında yanma odasında karbon birikintileri oluştuğu görülmekte ve bu birikintilerin sebebi olarak da bitkisel yağların yüksek viskoziteye sahip olmalarından kaynaklandığı bilinmektedir. Bitkisel ham yağların viskozite ve yoğunluğu gibi olumsuz özellikleri esterleşme ile giderilebileceği belirtilmektedir. Bitkisel yağların iyi

atomize olamamasından kaynaklanan yanma problemlerini gözlemlenmiştir. Yapılan deneylerde yanma parametreleri ve motor performans değerleri dizel yakıtıyla kıyaslanmış, ısı verimin dizel yakıtlarına göre daha düşük olduğu, efektif güç değerlerinin ise birbirlerine çok yakın değerler olduğu tespit edilmiştir [8]. Bazı bitkisel yağ ve esterlerine ait fiziksel ve kimyasal özellikler Tablo 1.3.'de verilmiştir.

Tablo 1.3. Bazı bitkisel yağ ve esterlerine ait fiziksel ve kimyasal özellikler [9].

Yakıt Türü	Isıl değer (kJ/kg)	Yoğunluk (kg/dm ³)	Viskozite (mm ² /s)		Setan Sayısı	Alevlenme Noktası (°C)	Kimyasal formülü
			27 °C	75 °C			
Dizel	43350	0,815	4,3	1,5	47*	58	C ₁₆ H ₃₄
Ayçiçek Yağı	39525	0,918	58	15	37,1*	220	C ₅₇ H ₁₀₃ O ₆
Ayçiçek Yağı Metil Esteri	40579	0,878	10	7,5	54-5**	85	C ₅₅ H ₁₀₅ O ₆
Pamuk Yağı	39648	0,912	50	16	48,1*	210	C ₅₅ H ₁₀₂ O ₆
Pamuk Yağı Metil Esteri	40580	0,874	11	7,2	54-55**	70	C ₅₄ H ₁₀₁ O ₆
Soya Yağı	39623	0,914	6	9	37,9*	230	C ₅₆ H ₁₀₂ O ₆
Soya Yağı Metil Esteri	39760	0,872	11	4,3	54-55**	69	C ₅₃ H ₁₀₁ O ₆
Mısır Yağı	37825	0,915	46	10,5	37,6*	190	C ₅₆ H ₁₀₃ O ₆
Haşhaş Yağı	38920	0,921	56	13	-	-	C ₅₇ H ₁₀₃ O ₆
Kanola Yağı	37620	0,914	39,5	10,5	37,6*	275-290	C ₅₇ H ₁₀₅ O ₆

Bitkisel yağların yakıt olarak kullanılmasının avantajları;

- Bitkisel yağ ve ester yakıtların kimyasal ve fiziksel özellikleri sebebinden kaynaklanan avantajlar, motorda yanma verimini iyileştirir ve CO ve SO_x emisyon gazlarında azalmalar sebep olur.
- Bitkisel yağlar ve esterleri, dizel motorlarında hiçbir değişiklik yapılmadan kullanılabilir.
- Biyodizelin, petrol türevli dizel yakıtlarına göre daha yüksek tutuşma derecesine (>110 °C) sahiptirler. Bu yanma olayına direk etki etmemesine rağmen, biyodizelin taşınabilirliğini ve depolanmasını daha güvenli hale getirmektedir.
- Bitkisel yağlar ve esterleri yenilebilir karakterdedirler ve tarım imkânlarının olduğu ülkelerde rahatça üretilebilir ve petrole bağımlılığı ortadan kaldırabilir.
- Egzoz emisyon değerleri dizel yakıtına göre daha düşüktür. Dizel yakıtla kıyaslandığında CO₂ emisyonu daha azdır ve bu nedenle sera gazı etkisi daha az görülmektedir [10].

Bitkisel yağların yakıt olarak kullanılmasının dezavantajları;

- Bitkisel yağların en önemli dezavantajı yüksek viskoziteye sahip olmalarıdır.
- Soğuk hava şartlarında dizel yakıtına göre daha erken etkilenirler. Soğuk havalarda dizel yakıtından daha yüksek bulutlanma noktasına sahiptirler.
- Biyodizelin ısı değeri dizel yakıtına göre düşüktür. Bu nedenle motorda bir miktar güç düşmesi görülür [10].

1.1.4.Sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG)

İsminden de anlaşılacağı gibi petrol gazları fosil yakıt türevlerindendir, yani kimya da geçen ismiyle hidrokarbon olarak bilinirler. Petrol gazları; bütan (C_4H_{10}) ve propan (C_3H_8) gazlarıdır. Petrol gazları farklı yöntemlerle elde edilebilirler. Doğal gazdan elde edilebildikleri gibi işlenmemiş petrolün rafine edilmesi sırasında açığa çıkmaktadır. Bütan ve propan normal şartlar altında gaz halinde bulunmaktadır. Atmosfer basıncı altında bütanın kaynama noktası ortalama $-0,5^{\circ}C$, propanın kaynama noktası ise ortalama $-42^{\circ}C$ 'dir [11].

Türkiye’de araç yakıtı olarak özel bir gaz üretimi yapılmamaktadır. Karıştırılan gazların oranları sabit ve %30 propan, %70 bütan karışımı kullanılmaktadır. Amerika, Kanada ve Avrupa da propan gazı yüzdesel olarak fazla olmakla beraber İspanya, İtalya, Yunanistan ve Fransa, gibi ülkelerde Türkiye’deki yüzdelere yakın değerler karışım olarak kullanılmaktadır. Mevsimsel sıcaklık farklılıkları gösteren yerlere göre bu yüzdeleri değiştirmek mümkündür. Nispeten soğuk yerlerde propan yüzdesini yüksek tutmakta fayda vardır. Çünkü soğuk mevsimli ülkelerde propan yüzdesini artırarak sıvı fazdan gaz faza geçişi kolaylaştıracaktır [11]. Propan ve bütan gazlarının benzinle kıyaslaması Tablo 1.4.’te verilmiştir.

Petrol gazları, kapalı kap içine alındıktan sonra üzerlerine basınç uygulanırsa karışım yüzdelere bağlı olarak hacimleri yaklaşık 250 kat küçültülebilirler. Rafine edildikten hemen sonra kokusuz ve renksizdirler. Kaçak durumunun kolay anlaşılabilmesi için merkaptanlar ve kükürt bileşenleri ile kokulandırılırlar. Gaz buharı ile hava mukayese edildiğinde LPG’nin gaz buharı ortalama 1,5 kat daha ağırdır. Zehirleyici özeliği yoktur fakat boğucu özelliktedir. Petrol gazı sıvı fazdayken açık ortamda ise, dış ortamdan ısı alarak gaz haline geçer. Bu sırada deri ile temas etmesi çok sakıncalıdır. Çünkü insan cildinde ciddi soğuk yanıklarına neden olacaktır [11].

Tablo 1.4. Propan, bütan ve benzinin özellikleri [12].

Özellikler	Propan	Bütan	Benzin
Kimyasal formülü	C_3H_8	C_4H_{10}	$C_{6-8}H_{13-18}$
Moleküler ağırlığı (kg/Mol)	42	58	86-115
Özgül ağırlığı (kg/litre)	0,51	0,58	0,73-0,78
Kaynama noktası (°C)	-43	-0.5	30-225
Alt ısı değeri (MJ/kg)	46,50	45,46	44,03
Tutuşma noktası (°C)	510	490	-
Tutuşma sınırları (hacimsel %)	2,1-9,5	1,5-8,5	-
Yanma hızı (m/s)	0,4	0,4	0,35
Stokiyometrik oran	15,8	15,6	14,5
Araştırma oktan sayısı	111	103	95
Motor oktan sayısı	97	89	90

LPG'nin avantajları;

- Benzin ve dizel yakıtlara göre daha düşük egzoz emisyon değerlerine sahiptir.
- Benzin ve dizel yakıtına göre daha ucuz ve ekonomiktir.
- LPG normalde gaz halde olduğu için benzine göre hava ile daha rahat karışmaktadır. Bunun sonucunda tam yanma gerçekleştiği için daha az partikül oluşmaktadır.
- Motorda vuruntu olayına karşı direnci daha yüksektir.
- LPG yakıtı kurşun içermemesinden dolayı çevreyi zehirlemez.
- Sıkıştırma oranı arttırılsa benzinden daha fazla verim ve güç elde etmek mümkündür.
- Isıl değeri benzinle mukayese edilirse daha yüksektir [11].

LPG'nin dezavantajları;

- Yakıt tüketimi benzine göre daha fazladır.
- Taşıma ve depolama maliyeti motor yakıtlarına göre daha fazladır.
- Motorlarda %3-5 güç kayıpları yaşanmaktadır ve taşıtların son hızlarında aynı miktarda düşüş görülmektedir.
- Hava-gaz karışımı iyi ayarlanmazsa motorlarda tam yanma gerçekleşmez ve egzoz gazlarında artış gerçekleşir [11].

1.1.5. Sıkıştırılmış doğalgaz (CNG)

Doğalgazın araçlarda benzin ve dizel yakıtı göre daha az emisyonu sahip olması son yıllarda alternatif yakıt olarak kullanımını yaygınlaştırmıştır. Doğalgaz birçok ülkede zengin yer altı kaynakları bulunması ve boru hatları ile diğer ülkelere dağıtılıp çok yaygın olmasına rağmen, araçlarda yakıt olarak kullanımı, diğer uygulama alanlarına göre geride kaldığı söylenilebilir. Son yıllarda ise doğalgazın kullanımının yaygınlaşması, çevresel ve ekonomik faktörler, araçlarda alternatif bir yakıt olarak doğalgaz kullanımını gündeme getirmiştir [13].

Doğalgaz yeraltında başta Etan (C_2H_6) ve Metan (CH_4) olmak üzere çeşitli hidrokarbonlardan bir araya gelen yanıcı bir gaz karışımıdır ve çıkarıldığı haliyle kullanılabilir. Doğalgazın bileşenleri Tablo 1.5.'te gösterilmiştir. Doğalgaz kokusuz ve renksiz bir gazdır. Çürük sarımsak kokusu veren THT (Tetra Hidro Teafon) maddesi eklenmektedir. Bu sebeple, kullanıcının herhangi bir gaz kaçağını kolaylıkla fark edebilmesi sağlanmış olur. Doğalgazın enerji yoğunluğu düşüktür. Enerji yoğunluğunu arttırmak için doğalgaz sıvılaştırılır veya sıkıştırılır. Doğalgaz araçlarda 200 bar basınca kadar kullanılabilir. Sıvılaştırılmış veya sıkıştırılmış doğal gaz (CNG) olarak isimlendirilmektedir [13].

Tablo 1.5. Doğalgazın kimyasal bileşenleri [13].

Gaz	Bileşenler	Aralık (%)
Metan	CH_4	70-90
Etan	C_2H_6	0-20
Propan	C_3H_8	
Bütan	C_4H_{10}	
Pentan ve diğer ağır Hidrokarbonlar	C_5H_{12}	0-10
Karbondiyoksit	CO_2	0-8
Oksijen	O_2	0-0,2
Azot	N_2	0-5
Hidrojen sülfür, Karbonil sülfür,	H_2S COS	0-5
Argon, Helyum, Neon, Xenon	A, He, Ne,Xe	Az miktarda

Doğalgazın ısı değeri 40MJ/m^3 veya 47 MJ/kg 'a eşit olmakla beraber, 1 kg doğalgaz 1,22 litre motorine veya 1,33 litre benzine ya da 1 m^3 doğalgaz 1,0 lt motorine veya 1,1 lt benzine denk gelmektedir. Taşıtlarda kullanılan yakıtları karşılaştırsak motorun verimliliği de dikkate alınması gerekir. Çünkü doğalgazın enerji verimliliği genelde benzinden daha iyi, motorinle ise aynıdır [13]. CNG, benzin ve dizel yakıtlarının bazı özellikleri Tablo 1.6.'da verilmiştir.

Tablo 1.6. CNG, benzin ve dizel yakıtlarının bazı özellikleri [14].

Özellik	CNG	Dizel	Benzin
Formül	CH_4	$\text{C}_{16}\text{H}_{34}$	C_7H_{16}
Molekül ağırlığı (g/Mol)	16,04	170	100,2
Yoğunluk (kg/m^3)	424	815	737
Kaynama noktası ($^{\circ}\text{C}$)	-161,3	140-360	38-204
Tutuşma sınırı (hacimsel)	5-15	1,5-8,2	1,4-7,6
Tutuşma sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	450	257	300
Alt ısı değeri (MJ/kg)	50,8	42,8	43,47

CNG yakıtının avantajları;

- CNG $650\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de yanabilen bir gazdır ve havadan hafif olduğundan patlama riski düşüktür. Yapılan çalışmalarda LPG ve benzinden daha güvenli olduğu kanısına varılmıştır.
- Emisyon sonucu CO oranı %0 olduğundan çevreye zararı az bir alternatif yakıt türüdür.
- CNG, LPG'li taşıtlardan %30, benzinli taşıtlardan ise %60-70 daha tasarrufludur.
- İstasyonlarda depolamaya uygun imkânlar mevcuttur.
- Araçların motorlarında hiçbir zararı yoktur ve yaklaşık 35.000-40.000km'de bir yağ değişimi yapılmaktadır buda motor ömrünün uzamasına sebep olur.
- Oktan sayısı yüksektir bundan dolayı daha iyi yanma karakteristiğine ve yüksek ısı verimliliğine sahiptir.
- Aracın motoruna direkt gaz olarak girdiği için soğuk havalarda araca ilk hareket verileceği zaman sorun yaşanmamaktadır [15].
- CNG, dizel ve benzinli taşıtlara göre daha az gürültülü çalışır.

- Satış fiyatı diğer yakıtlara göre daha ucuzdur [16].

CNG yakıtının dezavantajları;

- Taşıtları doğalgazlı araçlara dönüştürmenin maliyeti yüksektir.
- Depolama sıkıntısı vardır.
- Düşük enerji yoğunluğuna sahiptirler.
- Dizel veya benzin ile aynı depolama büyüklüğüne sahip CNG kullanılan araçların kat edebilecekleri mesafe dizel ve benzin motorlu araçlara kıyasla daha azdır [16].

1.2.Biyoetanol

Biyoetanol, etil alkol ve metil alkol gibi yakıt alkollerini tanımlamasına karşın, genellikle biyokütle kaynaklarında üretilen etil alkol (biyoetanol-etanol) ismi için kullanılır. Biyoetanol, basit olarak renksiz, berrak, yanıcı, oksijenlenmiş hidrokarbondur. Biyoetanol çeşitli kaynaklardan elde edilebilen bir akaryakıttır [17]. Şekil 1.1.'de gösterildiği gibi bu kaynaklar şöyle sıralanabilir:

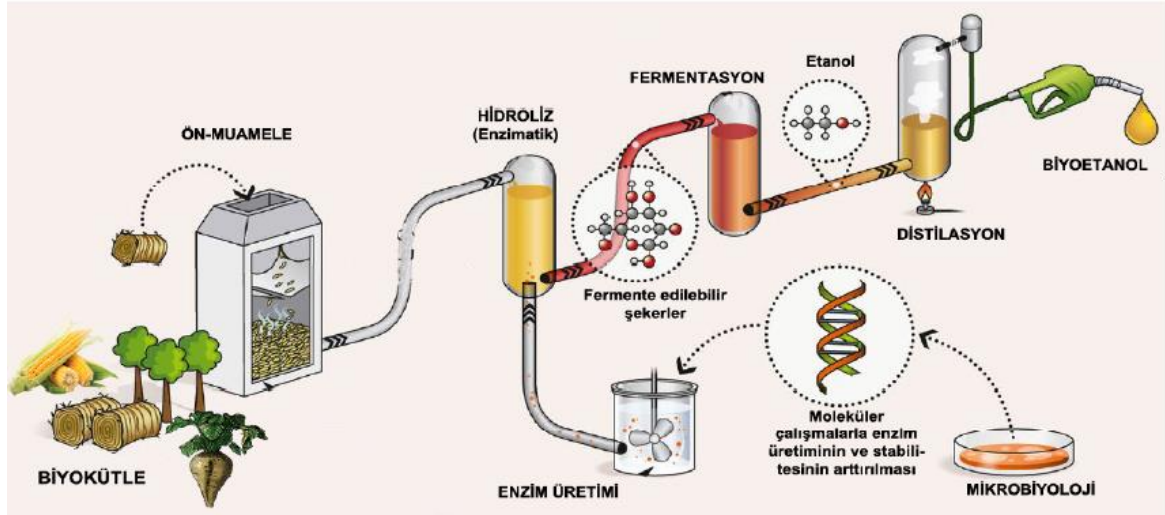
- Tahıllar, tohumlar, şeker mahsulleri ve diğer nişasta kaynakları biyoetanol üretmek için kolaylıkla fermantasyona uğratılabilirler, bunlar tamamen veya benzine belli oranlarda karıştırılarak kullanılabilir.
- Ağaçlar, çeşitli otlar ve evsel atıkları da içine alan selülozik malzemeler alkole dönüştürülebilir. Fakat bu yöntem şeker ve nişasta içeren tarım ürünlerinin işlenmesi yöntemine göre daha karmaşıktır. Bu alandaki teknikler sürekli geliştirilmektedir.
- Endüstriyel üretimde, petrolden elde edilen etilenin hidrasyonu(bir su molekülü katılması) ile veya asetaldehidin indirgenmesi ile sentetik olarak elde edilebilir [17].



Şekil 1.1. Biyoetanol üretimi için kullanılabilecek hammadde kaynakları [18].

Biyoetanol üretimi genelde dört aşamada tatbik edilir. Bunlar ön muamele, hidroliz, fermentasyon ve distilasyondur (damıtma). Her bir aşamada tatbik edilecek metotlar hammaddenin ve öncesi ile sonrasında tatbik edilecek metotların gereksinimlerine göre değişkenlik göstermektedir. Süreç esnasında biyokütlenin ön muamele işlemi ilk olarak yapılır. Ön muamelenin asıl nedeni hidroliz aşamasında elde edilecek ürünün verimini arttırmaktır. Hammadde olarak sukroz veya nişasta içeren bitkisel ürünler kullanıldığında, basit olarak boyut küçültme veya öğütme gibi fiziksel ön muamele yöntemleri yeterli görülebilmektedir. Özellikle buna benzer hammadde kullanıldığı zaman hidroliz aşamasından önce bir sıvılaştırma işlemi de uygulanabilir. Bununla beraber, biyoetanol elde etmek için hammadde olarak lignoselülozik maddeleri kullanıldığı zaman ise fiziksel metotlara ilave olarak hidroklorik asit (HCl), sülfürik asit (H₂SO₄), sodyum hidroksit (NaOH), amonyum, ozon, ve kireç gibi kimyasalların ayrı ayrı veya beraber farklı yüzdelerde kullanıldığı kimyasal ön-muamelelere gereksinim duyulmaktadır. Hidroliz basamağında, bitkisel polimerler (hemiselüloz, nişasta, selüloz... vb.) kimyasal veya enzimatik (hemiselülazlar, amilazlar, selülazlar... vb.) metotlarla fermentasyon aşamasında kullanılacak mikroorganizmanın fermente edebileceği daha basit şekerlere dönüştürülmektedir. Fermentasyon aşamasında ise ön muamele ve hidroliz sonucunda

meydana gelen şekerler Zymomonas, Candida, Kluyveromyces ve Saccharomyces gibi mikroorganizmalar aracılığıyla biyoetanolle dönüştürülür. Ve son basamak olarak da distilasyon yani damıtma işlemi yapılarak biyoetanolün saflık derecesi artırılır [18]. Bu aşamalar Şekil 1.2.' de de görsel olarak gösterilmektedir.



Şekil 1.2. Biyoetanol üretim basamakları [18].

Dünya üzerindeki biyoetanolün yaklaşık %95'i tarımsal ürünlerin işlenmesiyle üretilmektedir. Dünyada biyoetanol öncelikle mısır, patates, şeker kamışı, şeker pancarının işlenmesi ile veya tahıl gibi ürünlerin fermantasyon ve distilasyon yöntemi ile (damıtılmasıyla) elde edilmektedir. Bu sebeple biyoetanolün motorlarda kullanıldığı ülkeler çoğunlukla bu çeşit tarım ürünlerinin çok fazla yetiştirildiği ülkeler olmuştur [17].

Zehirleyici etkisi olmayan renksiz ve temiz bir sıvıdır. Biyoetanolün oktan sayısının yüksek olması, içten yanmalı motorlarda kullanmak için büyük bir avantajdır. Kullanımının ve üretiminin yaygınlaşmasıyla tarım ürünlerinin değeri artacak, bu sebepten çiftçiler için büyük gelir kapısı olacaktır. Günümüzde biyoetanol en yaygın olarak taşımacılık sektöründe doğrudan benzinin yerine veya hacim artırıcı ve oktan yükseltici olarak benzinle karıştırılarak kullanılmaktadır. Ancak biyoetanol içki için veya eczacılık, boya endüstrisi ve tekstil gibi alanlarda çözücü olarak endüstriyel amaçlarla da kullanılabilir [17].

1.2.1 Biyoetanolün tarihi ve biyoetanolün türkiye ve dünyadaki üretimin durumu

Birçok sahada olduğu gibi alkol üretiminin başlangıç tarihi üzerinde de pek çok araştırma yapılmıştır ve tüm araştırmacıların hem fikir oldukları bir tarihe ulaşmışlardır. Wagner'in 1925 yılında belirttiği gibi ve günümüzde de varılan genel sonuç saf alkol üretimin milattan önceye dayandığıdır. Günümüzde alkol büyük ölçüde fermantasyon olayı ile üretim yapıldığına göre, bu biyokimyasal olay geçmişten günümüze kadar geliştirilerek artışı söylenebilir. Monick 1968 yılında fermantasyonla ilişkili bilgilerin 6000 yıl önceye dayandığını ve tarihi kayıtlardan anlaşıldığını belirtmiştir, Engelbart 1978 yılında ise alkol fermantasyonunun binlerce yıldır içki üretiminde ve yaklaşık 100 yıldan beride şeker ve nişastalı hammaddelerin fermantasyonu ile alkol üretimin önem kazandığını belirtmiştir.

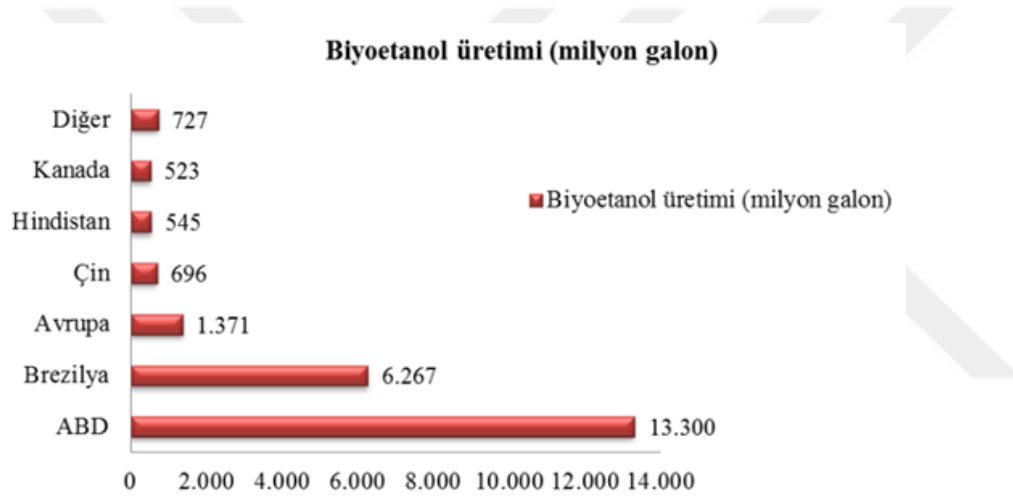
Alkol üretiminin hammadde kaynaklarından biride tahıldır. Tarihte tahıldan alkol üretimi 16.yüzlünün başlarında (1507) başladığı belirlenmiştir. Alkol üretiminde patatesin hammadde olarak kullanılması tahıllara göre oldukça yenidir. Bunun sebebi yenedünya bitkisi olma özelliği taşıyan patatesin, 16. yüzyılda Amerika'dan Avrupa'ya getirilip tarımına başlanmasıdır. Bundan sebeptir ki patatesin alkolün hammadde kaynağı olarak kullanılması gecikmiştir. Olbrich 1963 yılında bu konuyla alakalı yaptığı çalışmada ilk olarak 1669 senesinde Johan Joachim Becher patatesten alkol ürettiğini belirtmişse de, patatesten alkol üretiminin başlangıç tarihi 1747 yılında Skytte'nin yayınladığı deneme sonuçları kabul edilir. Avrupa'da ilk olarak şeker fabrika atığı olan melasın etil alkol üretimde kullanılmasına 19. yüzyılın başlarında rastlanmıştır. Achard tarafından 1803'te kurulan fabrika 1804'te yürürlüğe geçmiştir. Bu tarihten sonra şeker kamışı ve pancarından elde edilen melasın etil alkole dönüşümü hızla gelişerek günümüzdeki duruma gelinmiştir [19].

Brezilya, 1973 senesinde yaşanan petrol krizinden dolayı 1975 senesinde Proalcool'u (Ulusal Alkol Programı) oluşturmuştur. Bundan dolayı Brezilya, etanolü içten yanmalı motor yakıtı olarak kullanılmasını amaçlamış ve endüstride değişim başlatarak yeni bir enerji politikasını ortaya koymuştur. 1979 senesinde ise alkolle çalışan taşıt fiyatları benzinle çalışan taşıt fiyatlarının %65'i olacak biçimde ayarlamıştır ve taşıt vergileri de alkolle çalışan taşıtlar için daha düşük tutulmuştur. Brezilya'da şeker kamışından yıllık yaklaşık 16 milyar lt. biyoetanol üretimi yapılmaktadır [20].

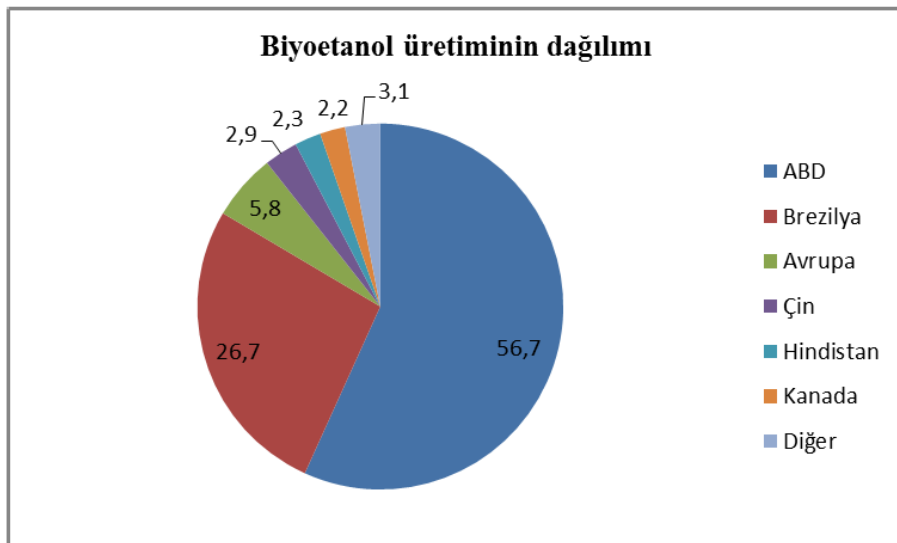
ABD 1973 senesindeki petrol krizinden sonra, yenilenebilir enerji kaynaklarının değerini bir kez daha anlamıştır. 1980 yılının başında ABD'nin devlet başkanı Jimmy Carter'in isteği üzerine Archer Daniels Midland (ADM) isimli firma alkol fabrikasını yakıt

alkolü üretebilecek bir fabrikaya dönüştürmüştür. 1980 yılların ortalarına gelindiğinde ABD genelinde 175 biyoetanol fabrikası bulunmaktaydı. Bu fabrikaların yıllık üretim kapasiteleri 75.000 litreden 26.000.000 litreye kadar değişmekteydi [20].

Bu iki ülkenin yanı sıra geçmişte biyoetanol kullanan ancak son birkaç seneye kadar dikkate alınmayacak seviyelerde üretimi olan ülkelerde vardır. Bunlar Avrupa ülkeleri, Avustralya, Çin, Hindistan, Kanada biyoetanol üretimine başlamıştır. Bu ülkeler çevresel faktörler, enerji güvenliği gibi nedenlerden dolayı kendi çıkarları doğrultusunda üretimlerini artırma çabasındadırlar [20]. Biyoetanol üretiminde önde gelen ülkelerin üretimleri Şekil 1.3.'te yüzdelik dağılımlarıda Şekil 1.4.'te gösterilmiştir.



Şekil 1.3. Dünyadaki biyoetanol üreticisi ülkeler ve biyoetanol üretimleri, 2012 [21].



Şekil 1.4. Dünyadaki ülkelerin biyoetanol üretmenindeki dağılımları,2012 [21].

Türkiye'nin biyoetanol üretim potansiyeli fazla olmasına rağmen sadece üç şirket aracılığıyla üretim gerçekleştirilmektedir. Bunlar, TARKİM (Tarımsal Kimya Teknolojileri Sanayi ve Ticaret A.Ş.), TEZKİM (Tez kim Tarımsal Kimya İnşaat Sanayi Ve Ticaret A.Ş.) ve Konya Şeker Sanayi ve Ticaret A.Ş.'dir. Bu firmaların biyoetanol üretim potansiyelleri yıllık yaklaşık 149.5 milyon litredir. Ama net ticareti yapılan miktar 70 milyon litredir. TARKİM ve TEZKİM'de hammadde kaynağı olarak buğday ve mısır kullanılırken, Konya Şeker fabrikasında hammadde kaynağı olarak melas (şeker fabrikalarında, şeker üretimi sırasında şeker pancarı ve kamışından çıkan ve kullanılmayan son şurub) kullanılmaktadır. T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurulunun (EPDK) 27.09.2011 Tarihinde resmi gazetede de yayınlanan kararına göre yerli tarım ürünlerinden üretilen biyoetanol 1 Ocak 2013'den geçerli olmak kaydıyla en az %2, 1 Ocak 2014'den geçerli olmak kaydıyla ise %3 oranında ilave etmek zorunluluğu vardır ve üretilen biyoetanolün %2'lik kısmı ÖTV'den (özel tüketim vergisi) muaf tutulacaktır [18].

1.2.2. Biyoetanolün yakıt olarak kullanılması

Alkolü yakıt olarak kullanan motorlar, ilk olarak 19. yüzyılın ortalarında yapılmaya başlanmıştır. 1860 senesinde Alman mucit Nicolaus August Otto'nun geliştirdiği motorda etil alkol kullanmıştır. Bunun nedeni de o senelerde Avrupa'da kullanılan enerji lambalarında vergi alınmayan alkolün yaygın olmasıdır. Bu sektörde belirgin olan bir diğer mucitse Henry Ford'dur. Henry Ford'un dizayn ettiği Ford T Model ile hem etanol hem de benzinle çalışabilen bir taşıt motoru tasarlamıştır. Ama ABD'nin ham petrolden ucuz bir yöntemle benzin elde etmesi, etanolün taşıt yakıtı olarak kullanımını kısıtlamış ve yok olmasına sebep olmuştur. İkinci Dünya Savaşı zamanında askeri araçların bazılarında az da olsa biyoetanol yakıt olarak kullanılmıştır [20].

Benzinli motorlarda hacimsel olarak % 7-10 konsantrasyonunda biyoetanol karışımı Kuzey Amerika kıtasında yaygın bir kullanım olarak kendini göstermektedir. 1970 yılından bu yana üretilen taşıtların yakıt sistemlerine E10 (% 10 biyoetanol-%90 Benzin) karışımli yakıtlar tam olarak uymaktadır. Bütün üreticiler E10 karışımının kullanılmasını onaylamakta ve taşıtlarını bu yakıt için garanti etmektedir. Düşük seviyedeki biyoetanol-benzin karışımlarının kullanılması ile motor karakteristik değerlerinde kayda değer bir değişiklik olmamaktadır [22].

Özel üretilmiş motorlarda, E85 (%85 biyoetanol-%15 benzin) karışımına kadar biyoetanol kullanılabilir. Otomobil üreticileri E85 yakıtı kullanan araçları sınırlı sayılarda üretmektedirler. Bu taşıtlar B100 (%100 benzin) veya E85 (%85 biyoetanol + %15 benzin) sınırına kadar her oranda çalışabilmektedir. Bu nedenle bu taşıtlar esnek yakıtlı taşıtlar olarak adlandırılırlar [22].

1.2.3. Biyoetanolün avantajları

- Biyoetanol, petrolün yerini alabilir, petrol rezervleri olmayan ülkeler enerji gereksinimlerini petrole bağlı olmadan karşılayabilirler.
- Tarımsal yöntemlerle üretilen biyoetanol, zirai imkânları fazla olan ülkelerde çiftçiler için iyi bir gelir kaynağı olur.
- Yerli ürün olarak üretilir ve yenilenebilir bir yakıt türüdür.
- Çevre dostu bir motor yakıtıdır.
- Biyoetanol eklenerek yakıtların oktan sayısı düşük bir maliyet ile artırılabilir.
- Çoğunlukla bütün taşıtlarda kullanılabilir.
- Muhafaza edilmesi ve üretimi kolay bir yakıt türüdür.
- Petrol türevi yakıtlara göre %40-80 oranında daha az sera gazı yayarlar.
- Asit yağmurlarının olasılığını azaltırlar.
- Petrol türevi yakıtlara göre daha az su kirliliği ve atık oluştururlar [23].
- Buharlaşıma gizli ısı benzine göre yüksektir, bu sebeple emilen karışımın üzerinde soğutucu etki oluştururlar. Bu da motorun volumetrik verimi artırır. Volümetrik verimin artması demek motorun moment ve gücünün artması anlamına gelir.
- Oktan sayılarının yüksek olmalarından dolayı sıkıştırma oranları daha yükseğe çıkabilir bu da motor performansını artırır.
- Biyoetanol, daha düşük alev sıcaklığında daha parlak ve daha hızlı yanmaktadır. Biyoetanol benzin karışımli yakıtlarda yüksek yanma sonu basınçları elde edilmektedir. Bu basınçlardan dolayı motor verimde artış mümkün olmaktadır. Biyoetanolün yanma hızının yüksek olması nedeniyle, motordan maksimum momenti alabilmek için ateşleme avansın bir miktar azaltılması gerekmektedir. Bunun nedeni ise biyoetanolün türbülanslı yanma hızının benzininkine göre yüksek olması ve biyoetanolün tutuşma gecikmesi zamanının daha kısa olmasıdır. Bilindiği üzere yanma

hızı, motor performansı ve yanma sonu emisyon değişimlerinde önemli bir faktördür [22].

1.2.4. Biyoetanolün dezavantajları

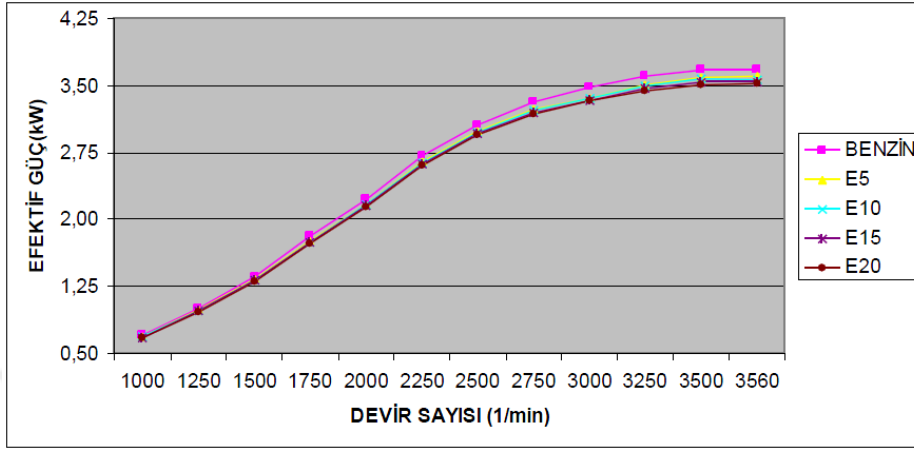
- Isıl verimleri petrol yakıtlarına göre düşüktür.
- Biyoetanol yüksek buharlaşma ısısına sahiptir ancak, buhar basıncı düşüktür. Soğuk havalarda, yüksek buharlaşma ısısından dolayı motora ilk hareketi vermek zordur.
- Biyoetanolün en önemli dezavantajlarının başında bünyesinde bulundurduğu suyun emme sistemi ve yakıt donanımı üzerinde oluşturduğu korozif etkidir. Bu korozif etkiyi önlemek için emme ve yakıt sistemi koruyucu malzemelerle kaplanmaktadır bu da maliyeti artırır.
- Biyoetanolün nem tutuculuk özelliğinin fazla olması nedeniyle biyoetanol-benzin karışımı yakıtlarda faz ayrışmasına neden olabilir [23].
- Biyoetanol katılan benzinlerde, higroskopik (su-benzin-biyoetanolden oluşan üçlü bir karışım) özellik meydana gelir. Bu karışımın motor yakıtı olarak karşılaştığı en önemli sorun sürekli homojen olması beklenen sistemlerde. iki ayrı fazın oluşmasıdır. Bu karışımda alt faz biyoetanol üst faz ise benzin, yönünden zengindir. Bundan dolayı faz ayrışması yapmış karışım, motora ulaştığında, biyoetanol fazı tek başına motorda yandığında, motorda ısı verimin düşmesinden kaynaklı ve ani güç düşüşünden motorda tekleme ve sarsıntılar oluşur [22].

1.2.5. Biyoetanol ile yapılan çalışmalar

Koçtürk D. (2011) yaptığı çalışmada şeker pancarı, patates buğday, mısır ve arpadan üretilen biyoetanolü benzine farklı yüzdelerde (E5, E10, E15, E20) karıştırarak yaptıkları motor testlerinde özgül yakıt tüketimi, efektif güç, moment, saatlik yakıt tüketimi ve motorun egzoz emisyon değerlerini ölçmüşlerdir [19].

Kullanılan farklı hammaddelerden üretilen biyoetanollerin kimyasal ve fiziksel yapılarının benzer olmasından dolayı çıkan sonuçlar birbirine yakın değerler olduğu gözlemlenmiştir. Ve şekillerde farklı hammadde kaynağı kullanılarak üretilen biyoetanollerin yapılan denemelerde aynı karışım yüzdeleri için ortalamalar alınarak

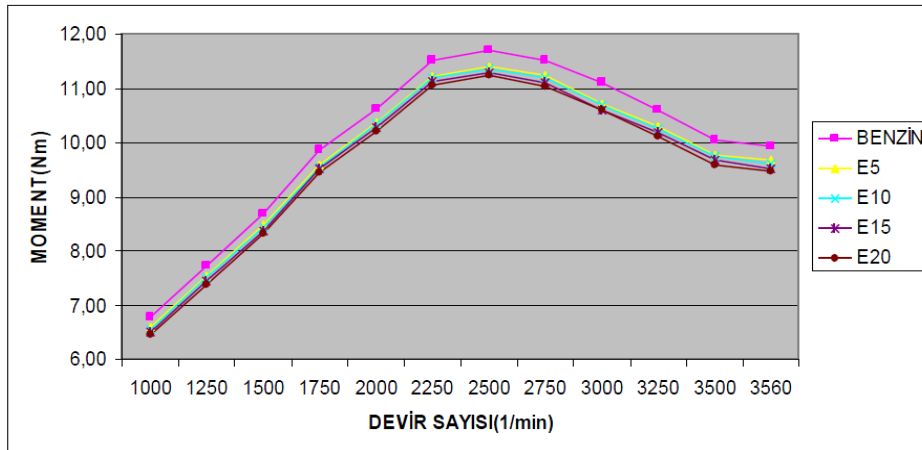
verilmiştir. Şekil 1.5.'de Biyoetanol- benzin karışım yüzdeleri için motor efektif güç eğrileri verilmiştir.



Şekil 1.5. Biyoetanol-benzin karışımli yakıtların motordaki efektif güç değişimleri [19].

Motorda farklı devirlerde yapılan denemelerde, efektif gücün en yüksek değeri benzinde en düşük değeri ise E20 karışımli yakıtta gözlemlenmiştir. Karışımlarda biyoetanol oranı arttıkça efektif gücün azaldığı gözlemlenmiştir.

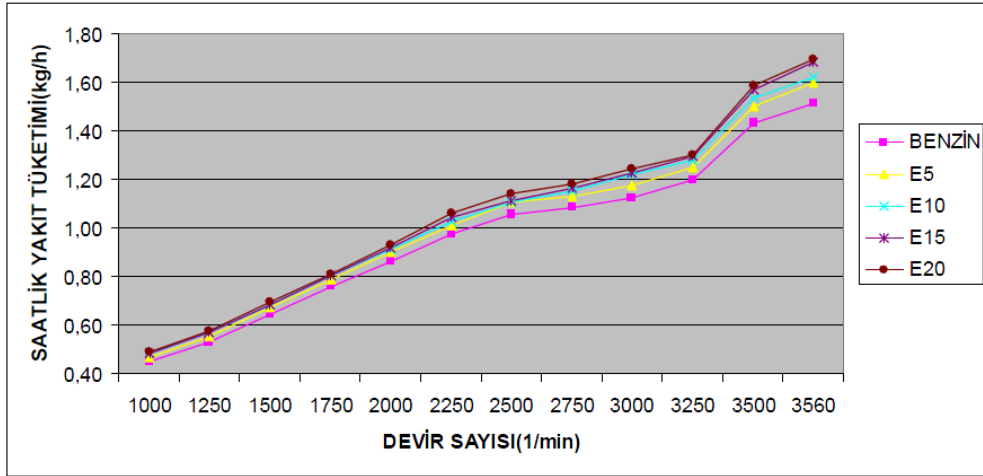
En yüksek efektif güç değeri 3560 devrinde gözlemlenmiştir. Devire bağlı olarak, E5 yakıtında benzine göre %2,2, E10 yakıtında benzine göre %3,5, E15 yakıtında benzine göre %3,8 ve E20 yakıtında benzine göre %4,3 kadar güç değerinde azalma olduğu gözlemlenmiştir [19].



Şekil 1.6. Biyoetanol-benzin karışımli yakıtların motordaki moment değişimleri [19].

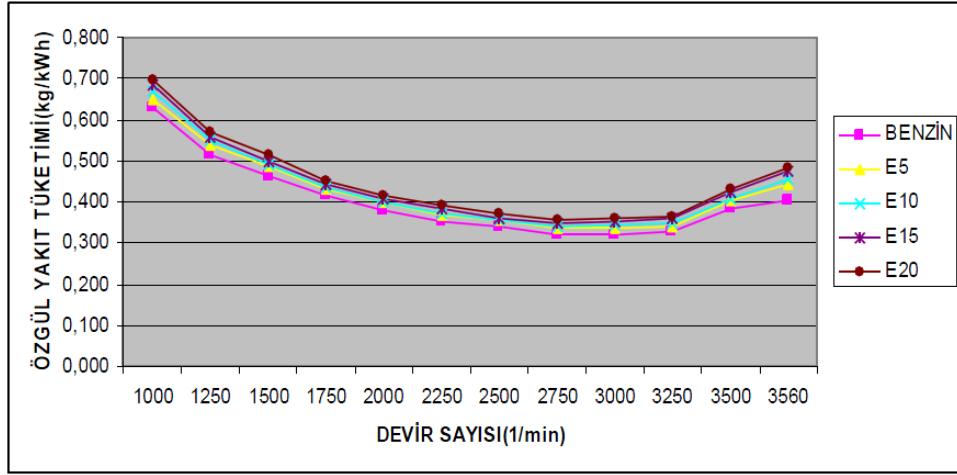
Motorda farklı devirlerde yapılan denemelerde, Şekil 1.6.'da da görüldüğü gibi motor momentini en yüksek değer benzinde en düşük değer ise E20 karışımında yakıtta gözlemlenmiştir. Karışımlarda biyoetanol oranı arttıkça motor momentinin azaldığı gözlemlenmiştir.

Benzin ve benzin-biyoetanol karışımlarıyla yapılan çalışmalarda 2500 devire kadar moment artışı görülmüş ve sonra momentin düştüğü gözlenmiştir. Devir sayısına bağlı olarak, E5 yakıtında benzine göre %2,5, E10 yakıtında benzine göre %3, E15 yakıtında benzine göre %3,5 ve E20 yakıtında benzine göre %3,9 kadar moment değerinde düşüş olduğu gözlemlenmiştir [19].



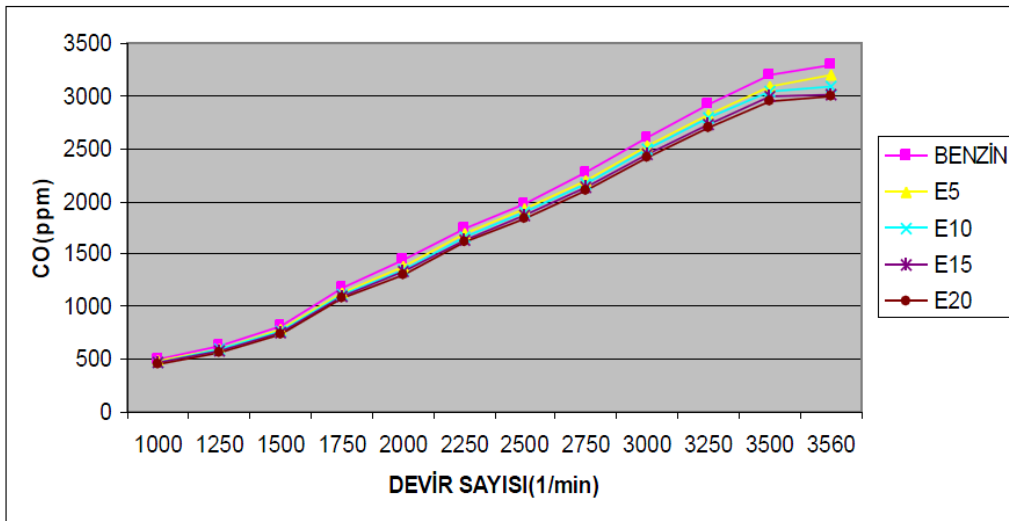
Şekil 1.7. Biyoetanol-benzin karışımli yakıtların motordaki saatlik yakıt tüketimi değışimleri [19].

Motorda farklı devirlerde yapılan denemelerde ve Şekil 1,7.'de de görüldüğü gibi motor saatlik yakıt tüketimi en yüksek E20 yakıt karışımlarında en düşük ise benzinde gözlenmiştir. Karışımlarda biyoetanol oranı arttıkça saatlik yakıt tüketim miktarı arttığı gözlemlenmiştir. En yüksek saatlik yakıt tüketim değeri 3560 devrinde gözlenmiştir. Devire bağılı olarak, E5 yakıtında benzine göre %5,6, E10 yakıtında benzine göre %7,1, E15 yakıtında benzine göre %9,9 ve E20 yakıtında benzine göre %12,1 kadar saatlik yakıt tüketim değeri artış olduğu gözlenmiştir [19].



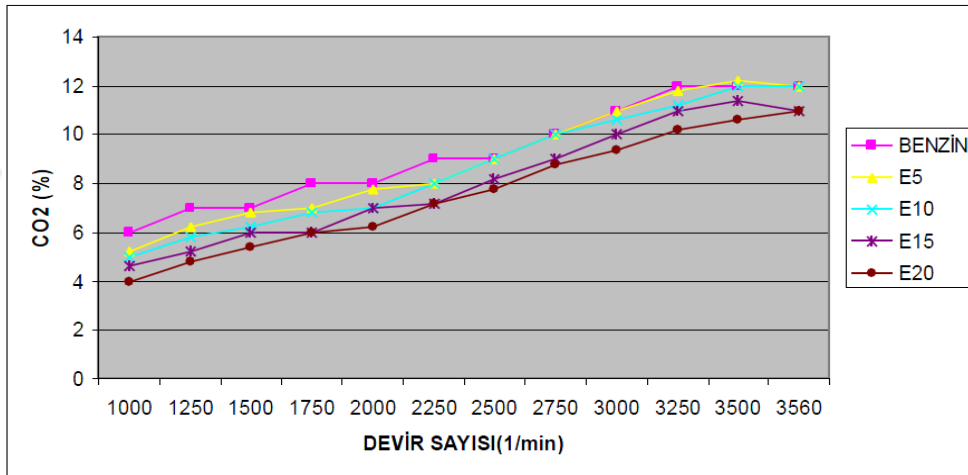
Şekil 1.8. Biyoetanol-benzin karışımli yakıtların motordaki özgül yakıt tüketimi değışimleri [19].

Motorda farklı devirlerde yapılan denemelerde, Şekil 1.8.'de de görüldüğü gibi motor özgül yakıt tüketimi en yüksek E20 yakıt karışımalarında en düşük ise benzinde gözlenmiştir. Karışımarda biyoetanol oranı artıka özgül yakıt tüketim miktarı arttığı gözlemlenmiştir. En düşük özgül yakıt tüketim değeri 2750 devrinde gözlenmiştir. Devire bağılı olarak, E5 yakıtında benzine göre %8, E10 yakıtında benzine göre %10,5, E15 yakıtında benzine göre %14,6 ve E20 yakıtında benzine göre %17,3 kadar özgül yakıt tüketim değeri artışı olduğu gözlenmiştir [19].



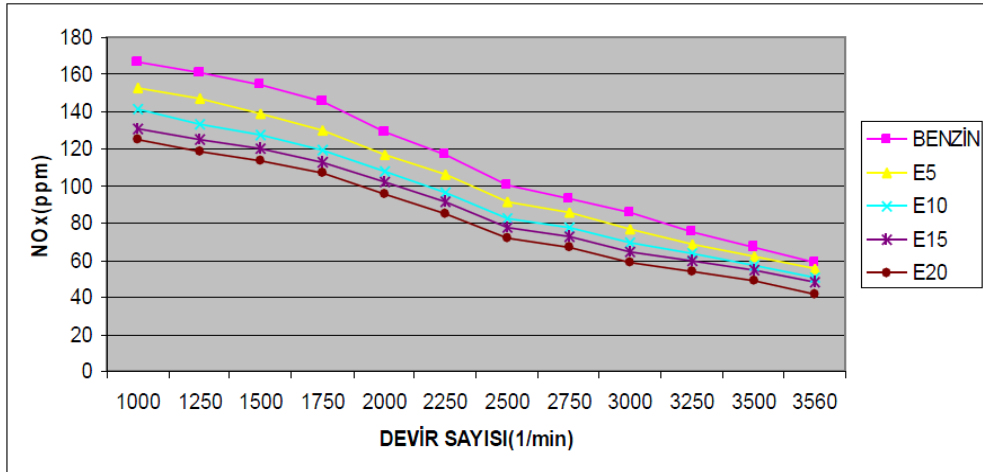
Şekil 1.9. Biyoetanol-benzin karışım yakıtlarının CO emisyon değeri değışimleri [19].

Şekil 1.9.'da görüldüğü gibi motorun devir sayısı arttıkça CO emisyon değerlerinde artış gözlenmiştir. CO emisyon değeri en düşük E20 karışım yakıtlarında en yüksek ise benzin yakıtında gözlemlenmiştir. En yüksek CO emisyon değeri 3560 devrinde gözlenmiştir. Devire bağlı olarak, E5 yakıtında benzine göre %2,8, E10 yakıtında benzine göre %5,8, E15 yakıtında benzine göre %8,6 ve E20 yakıtında benzine göre %11 kadar CO emisyon değerinde azalma olduğu gözlenmiştir [19].



Şekil 1.10. Biyoetanol-benzin karışım yakıtlarının CO₂ emisyon değeri değişimleri [19].

Şekil 1.10.'da görüldüğü gibi motorun devir sayısı arttıkça CO₂ emisyon değerlerinde artış gözlenmiştir. CO₂ emisyon değeri en düşük E20 karışım yakıtlarında en yüksek ise benzin yakıtında gözlenmiştir. En yüksek CO₂ emisyon değeri 3560 devrinde gözlenmiştir. Devire bağlı olarak, E5 ve E10 yakıtlarında değerler yaklaşık olarak benzine aynı, E15 ve E20 yakıtlarında ise benzine göre %8,3 kadar CO₂ emisyon değerinde azalma olduğu gözlenmiştir [19].



Şekil 1.11. Biyoetanol-benzin karışım yakıtlarının NO_x emisyon değeri değişimleri [19].

Şekil 1.11.' de görüldüğü gibi motorun devir sayısı arttıkça NO_x emisyon değerlerinde azalma gözlenmiştir. NO_x emisyon değeri en düşük E20 karışım yakıtlarında en yüksek ise benzin yakıtında gözlemlenmiştir. Biyoetanolün alev sıcaklığının benzine kıyasla daha düşük olması, yüksek sıcaklık ürünü olan NO_x emisyonlarının azalmasına neden olduğu gözlenmiştir. Karışımlarda biyoetanol oranı arttıkça NO_x emisyon değeri azaldığı gözlenmiştir. En düşük NO_x emisyon değeri 3500 devrinde gözlemiştir. Devire bağlı olarak, E5 yakıtında benzine göre %5, E10 yakıtında benzine göre %13,5, E15 yakıtında benzine göre %18,6 ve E20 yakıtında benzine göre %28,8 kadar NO_x emisyon değerinde azalma olduğu gözlenmiştir [19].

Abdel-Rahman ve ark. (1997) çalışmalarında, farklı oranlardaki etanol benzin yakıt karışımlarının içten yanmalı buji ateşlemeli bir motorda çalışma parametrelerini incelemişlerdir. Hazırlamış oldukları benzin-etanol karışım yakıtları, hacimsel olarak %10, % 20 , %30, %40 etanol içermektedir. Bu çalışmada deney yakıtlarının alt ısı değerlerini, yoğunluklarını ve oktan sayılarını ölçmüşlerdir. Karışım yakıtındaki etanol miktarı arttıkça alt ısı değerlerinin düştüğünü, yoğunluklarının ve oktan sayılarının arttığını belirtmişlerdir [24].

Ameri ve ark. (2007) çalışmalarında, içten yanmalı bir motorda farklı oranlardaki benzin-etanol karışımlarının güç ve ısı kombinasyonunu incelemişlerdir. Deney yakıtı olarak hacimce içerisinde %5, %10, %15, %20 etanol bulunan etanol benzin karışımlarını (E5, E10, E15, E20) hazırlamışlardır. Hazırlamış oldukları karışım yakıtlarının alt ısı

değerini ölçmüşlerdir. Bu ölçümler sonucunda benzinin içerisindeki etanol miktarı arttıkça alt ısı değeri düşüğünü belirtmişlerdir [25].

Apacce araştırma şirketi (1998) raporunda, taşıtlarda kullanılan benzin-etanol karışımının hem egzoz emisyonuna, yakıt tüketimine, motor malzemelerine etkilerini, hem de motor ve yakıt sistemi yıpranmalarına, yakıttaki su tolerans sorunlarına etkilerini incelemişlerdir. Deneylerinde kurşunsuz benzin ve benzin içerisine hacimce %10 oranında etanol ilavesi yapılmış iki karışım yakıtı hazırlamışlardır. Karışım yakıtlarının araştırma oktan sayısını, motor oktan sayısını, yoğunluğunu, reid buhar basıncını ve distilasyon değerlerini ölçmüşlerdir. Karışım yakıtlarının araştırma ve motor oktan sayılarında, yoğunluklarında ve reid buhar basınçlarında artma olduğunu, distilasyon sıcaklıklarında ise düşme olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca biyoetanol benzin karışımı yakıtların alt ısı değerinin yakıt tüketimine etkisini incelemek için benzinin içerisine hacimce %5.7, %7.7, %10 etanol karıştırıp alt ısı değerlerindeki değişimi belirtmişlerdir. Karışım yakıtlarının alt ısı değeri E5.7 yakıtında %1.8, E7.7 yakıtında % 2.4 ve E10 yakıtında %3.1 olarak referans yakıtına göre azalmıştır. Stokiyometrik yakıt/hava oranının, E10'da 1/9 olduğunu referans yakıtı benzinde ise 1/14,7 olduğunu belirtmişlerdir. Bu yakıt/hava oranının artmasına etmen, etanolün içerisinde bulunan %3.5 oksijen miktarının olduğunu belirtmişlerdir. Karışım yakıtındaki etanol miktarı arttıkça yakıttaki su miktarında artma görüldüğünü belirtmişlerdir [26].

Bonnema ve ark. (1999) çalışmalarında, modifiye edilmemiş yolcu arabaları ve hafif hizmet araçlarında etanol benzin karışımı yakıtların kullanılmasının yakıt ekonomisine etkilerini incelemişlerdir. Test yakıtı olarak referans benzinin içerisine hacimce %10 ve %30 oranında etanol ilave ederek E10 ve E30 yakıtı hazırlamışlardır. Referans yakıtı benzinin alt ısı değerini 42,7 MJ/kg, etanolün alt ısı değerini ise 26,8 MJ/kg olarak belirtmişlerdir. Deneylerinde 15 adet farklı modelde araç kullanmışlardır. Her aracı E10 ve E30 yakıtı ile test etmişler ve araçların yakıt sarfiyatlarını mil/gal (mil:1.6 km, galon:3.78 litre) olarak hesaplamışlardır. Test araçlarında E10 yakıtı yerine E30 yakıtı kullanıldığında yakıt sarfiyatının %1,28 ila %14,66 arasında, ortalama olarak %8,83 arttığını belirtmişlerdir. Bu yakıt sarfiyatının artmasının nedenleri olarak E30 yakıtının alt ısı değerinin E10 yakıtınıninkine göre düşük olduğunu belirtmişlerdir [27].

Delgado ve ark. (2006) çalışmalarında, Brezilya'da kullanılan benzin etanol karışımlarının yakıt özelliklerini incelemişlerdir. Karışım yakıtları sırası ile E20, E40, E60, E80 dir. Bu yakıtların yoğunluğunu, araştırma oktan sayısını, motor oktan sayısını, ph

değerini ve elektrik iletkenliğini ölçmüşlerdir. Karışım yakıtlarındaki etanol miktarı arttıkça yakıtların yoğunluklarının, araştırma ve motor oktan sayılarının, elektrik iletkenliklerinin arttığını, ph değerlerinin ise düştüğünü belirtmişlerdir [28].

Downstream Alternatives şirketi (2002) yapmış olduğu çalışmada, benzinin oktan sayısını arttırmak için etanol karıştırmışlardır. Referans yakıtı benzinin içerisine hacimce %5,7 oranında etanol katıldığında karışımın oktan sayısının genellikle 1,0 ila 1,5 arasında arttığını, referans yakıtı benzinin içerisine hacimce %7,7 oranında etanol katıldığında karışımın oktan sayısının genellikle 1,5 ila 2,5 arasında arttığını, referans yakıtı benzinin içerisine hacimce %10 oranında etanol katıldığında karışımın oktan sayısının genellikle 2,0 ila 3,0 arasında arttığını belirtmişlerdir. Aynı çalışmada, etanolün % 34,7 ağırlık olarak oksijen içerdiğini belirtmişlerdir. Karışım olarak hacimce referans yakıtı benzinin içerisine %5,7 etanol katıldığında karışımındaki oksijen miktarı % 2.0, hacimce %7,7 etanol katıldığında karışım yakıtının içindeki oksijen miktarı % 2.7, %10 etanol katıldığında karışım yakıtının içindeki oksijen miktarı % 3.5'e çıktığını söylemişlerdir. Enerji değerlerini incelemelerinde etanolün alt ısıl değerinin benzine göre % 32,2 daha az olduğunu belirtmişlerdir. Benzin içerisine hacimce %10 etanol ilavesinin, karışım yakıtının alt ısıl değerinin benzine göre %3,21 azalacağını tespit etmişlerdir. Benzinin içerisine hacimce %10 etanol karıştırıldığında karışım yakıtının % 0.5 hacimce su içerdiğini, 60 °F'nin altındaki sıcaklıklarda yakıtta faz ayrışmasının oluştuğunu belirtmişlerdir. Karışım yakıtındaki su miktarı hacimce %0.3 olduğunda 0 °F sıcaklıkta bile faz ayrışmasının olduğunu belirtmişlerdir [29].

Graham ve ark. (2008) çalışmalarında, E85 yakıtı ve düşük etanol-benzin karışimli yakıtların farklı benzinli motorlarda egzoz emisyonlarına etkilerini incelemişlerdir. Referans yakıtı olarak California RFG Phase 2 benzini kullanılmışlardır. Deney yakıtı olarak E85, E10 ve E20 yakıtı hazırlamışlardır. Hazırladıkları E85, E10 ve E20 yakıtlarının yoğunluğunu, alt ısıl değerlerini, yakıttaki oksijen miktarını, kükürt içeriğini, benzen içeriğini, toplam aromatikleri, araştırma oktan sayılarını, motor oktan sayılarını ve reid buhar basınçlarını ölçmüşlerdir. Karışım yakıtındaki etanol oranı arttıkça yakıtların yoğunluklarında, oksijen miktarlarında, kükürt içeriklerinde, araştırma ve motor oktan sayılarında, toplam aromatiklerde, benzen içeriğinde, E85 yakıtı reid buhar basıncında artma; E10, E20 yakıtı reid buhar basıncında kısmi düşüş, alt ısıl değerlerinde ise düşme olduğunu belirtmişlerdir [30].

Hsieh ve ark. (2002) çalışmalarında, buji ateşlemeli motorlarda benzin-etanol karışımı yakıtların motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkilerini incelemişlerdir. Yakıt olarak hacimce %5, %10, %20, %30 etanol içeren benzin etanol karışımlarını kullanmışlardır. Bu karışımların yoğunluklarını, reid buhar basınçlarını, araştırma oktan sayılarını, distilasyon değerlerini, ısıl değerlerini, hacimce hidrojen ve karbon içeriğini ölçmüşlerdir. Karışım yakıtlarındaki etanol oranı arttıkça yoğunluklarının, araştırma oktan sayılarının, reid buhar basınçlarının arttığını, distilasyon sıcaklıklarının düştüğünü, ısıl değerlerinde düşme gözlemlendiği belirtmişlerdir. Karışımındaki karbon içeriği E5 yakıtından E20 yakıtına kadar arttığını, E30 yakıtındaki karbon miktarı referans yakıtı benzinin karbon değerinden aşağıya düştüğünü, karışımlardaki hidrojen içeriğinin E5 yakıtından E20 yakıtına kadar azaldığı ve E30 yakıtında hidrojen miktarı referans yakıtın hidrojen miktarından daha fazla olduğunu belirtmişlerdir [31].

Leong ve ark. (2002) çalışmalarında, Tayland'da alternatif yakıt olarak kullanılan etanol benzin karışımı yakıtlarının otomobil emisyon değerlerine etkilerini incelemişlerdir. Deney yakıtı olarak benzinin içerisine hacimce % 10 ve %15 oranında etanol katmışlardır. Hazırlamış oldukları karışım yakıtlarının (E10, E15) araştırma oktan sayılarını, distilasyon değerlerini, reid buhar basınçlarını, hacimsel olarak benzen, aromatik, kükürt içeriklerini, oksijen içeriklerini, su içeriklerini ölçmüşlerdir. Karışım yakıtlarındaki etanol oranı arttıkça oktan sayılarının, hacimsel benzen içeriğinin, reid buhar basınçlarının, oksijen miktarının, distilasyon sıcaklıklarının arttığını; hacimsel aromatik içeriğinde azalma, kükürt içeriğinin ise sabit olduğunu belirtmişlerdir [32].

Orbital Engine Şirketi (2002) çalışmalarında, etanol benzin karışımlarının yakıtlarının benzinli motorlara temel etkilerini incelemişlerdir. Deney yakıtı olarak E0, E10, E12, E14, E17, E20, E25, E30, E35, E40 yakıtları oluşturmuşlardır. Bu yakıtların alt ısıl değerlerini ölçmüşlerdir. Bu karışım yakıtlarının deney motorunda ortalama yakıt sarfiyatlarını mil/gal (mil:1.6 km, galon:3.78 litre) olarak bulmuşlardır. Karışımlardaki etanol miktarı arttıkça karışım yakıtlarının alt ısıl değerinin düştüğünü belirtmişlerdir. Karışım yakıtındaki etanol miktarı arttıkça yakıt sarfiyatının arttığını belirtmişlerdir. Buna sebep olarak etanolün alt ısıl değerinin düşük olduğunu göstermişlerdir. Referans yakıtın içerisine farklı oranlarda hacimsel etanol ilavesinde, karışım yakıtının motor oktan ve araştırma oktan sayılarını arttırdığını belirtmişlerdir. Referans yakıtı benzinin içerisine %10 ve %20 etanol ilavesinin, karışım yakıtlarındaki oksijen miktarını sırasıyla %3 ve %6 oranında arttırdığını

belirtmişlerdir. Stokiyometrik hava/yakıt oranı karışım yakıtındaki etanol miktarı arttıkça azaldığını belirtmişlerdir [33].

Örs (2007) çalışmasında, benzinli motorlarda benzin-etanol karışımlarının taşıt performans değerlerini ve emisyon değerlerini incelemiştir. Deney yakıtı olarak benzinin içerisine hacimce %10 , %20 , %30 etanol eklenip benzin-etanol karışımlarını hazırlamıştır. Bu hazırlamış olduğu yakıtların yoğunluklarını, kinematik viskozitelerini, alt ısı değerlerini, su içeriklerini ölçmüştür. Karışım yakıtındaki etanol miktarı arttıkça, yoğunluklarının, su içeriklerinin, kinematik viskozitelerinin arttığını; alt ısı değerlerinin ise düştüğünü belirtmiştir [34].

1.3.Benzinli Motorlarda Karışım Oluşturan Sistemler

1.3.1 Karbüratörler

Karbüratörler, motorun değişik çalışma şartlarına göre yakıt ile havayı kolayca yakabilecek şekilde karıştırır. Emme manifoldu üzerinde bağlı olan karbüratörlerden hava geçerken, çeşitli oranlarda benzinle karışır. Karışma anında, benzin havanın içerisinde en küçük parçalarına ayrılır. Başka bir anlatımla karbüratör hem yakıtı ölçer hem de zerrelere ayırır. Karbüratörün yaptığı bu işe karbürasyon denir. Yakıtın silindirlerde kolayca yanabilmesi için, en küçük parçalara bölünerek hava ile karışması zorunludur. Aksi halde homojen bir karışım olmayacağı için yanma zorlaşır [35].

Karbüratörlerden beklenen başlıca özellikler;

- Hava yakıt oranının motorun değişen devrine göre, yanıcı özellikte ve istenilen oranda hazırlanmalıdır. Yapılan hesaplamalara göre, bir kg. benzinin tamamen yanması için 15 kg. havaya gerek olduğu görülmüştür. Karbüratörün 15/1 oranında hazırladığı karışıma normal karışım denir. Hava oranı azaldıkça karışım zenginleşir 14/1, 13/1, 12/1 gibi. Hava oranı arttıkça karışım fakirleşir 16/1, 17/1 gibi. Motorun çalışabileceği en zengin karışım oranı 12/1, en fakir karışım oranı ise 17/1 dir.
- Yakıtı atomize etmelidir. İçten yanmalı motorlar üzerinde araştırmalar yapan araştırmacılar, benzinli hava ile en iyi karışabilmesi ve kolay yana bilmesi için birçok denemeler yapmışlardır. Havanın içine benzin püskürtüldüğü zaman buharlaşmanın istenilen düzeyde olduğu görülmüştür. Bir sıvı püskürtüldüğü zaman en küçük

parçalarına ayrılır. Sıvıların bu şekilde parçalanmasına Atomizasyon denir. Bu sıvının atomlarına ayrıldığı anlamına gelmez sadece bir benzetmedir. Yakıt bölüne bileceği kadar bölünür.

- Motorun kolay harekete geçmesi sağlamalıdır.
- Motorun yüksüz durumda iken, kendi kendine en düşük devir sayısı ile çalışmasını sağlamalıdır.
- Geçici rejimlerde, yani motorun yavaşlaması veya hızlanması durumunda karışım oranını verimli bir yanma olacak şekilde ayarlamalıdır.
- Motor, normal yükte çalışırken en fazla ekonomi sağlamalıdır [35].

1.3.2 Benzin püskürtmeli sistemler

Yakıt püskürtme sistemlerinin asıl fonksiyonu, motor tarafından herhangi bir zaman noktasında talep edilen yakıt miktarını sağlamaktır. Bu nedenle, motorun değişen yakıt gereksinimini karşılamak amacıyla yakıtın havaya olan oranı çok iyi denetlenmektedir. Püskürtme sistemlerinde bir veya daha fazla enjektör, yakıtı emilen havanın içerisinde (emme manifoldunda veya yanma odasına girmeden hemen önce) homojen bir karışım meydana getirecek bir şekilde atomize ederek göndermektedir. Verimli bir yanma için beslenen bir yakıtın çok sıkı bir şekilde ölçülmesi gerektiğinden, enjektörler çok sıkı bir şekilde kontrol edilmektedir. Kontrol işlemi ise mekanik, elektromekanik ve elektronik olarak yapılabilmektedir [36].

Karbüratörlü motorlarla karşılaştırıldığında yakıt enjeksiyon sistemlerinin bir çok avantajları olduğu görülür. Bunlar şöyle özetlenebilirler.

- Daha az yakıt sarfıyatı

Her silindire bir püskürtme sistemi koordine edilmiştir. Püskürtme supapları, merkezi alanda kumanda edilmektedir. Böylelikle her silindire, her ayar noktasında ve de her yüklenmede aynı veya eşit olarak tam dozajlanmış yakıtın (gerektiğinden ne çok az nede çok fazla) iletilmesi garantilenmiştir.

- Yüksek verim

Emme hattının daha iyi bir silindir dolumu nedeniyle, en iyi şekilde biçimlendirilmesi ve daha büyük bir döndürme momentini mümkün kılmaktadır.

- Gecikmeden hızlandırma

Yakıt, enjektörlerde basınç altında tutulduğundan püskürmeye hazırdır. Bu yüzden değişen yük şartlarına göre hemen hemen gecikmeden uyum sağlamaktadır.

- İyileştirilmiş soğuk hareket ve sıcak devir

Motor ısısına ve hareket devir sayısına bağlı olarak yakıtın, tam dozajı ile daha hızlı ve güvenli bir ilk hareket gerçekleşmektedir. Yakıt miktarının tam uyumu nedeniyle motorun eşit derecede dairesel hareketi sağlanır. Isınma sürecinde motor daha iyi çalıştığı gibi daha çabukta ısınır.

- Zararlı maddelerden yoksun egzoz gazı

Egzoz gazındaki zararlı maddeler, hava/yakıt ilişkisi ile direkt olarak bağlantılıdır. Motorun her yüklenme ve hız koşuluna göre karışım oranı daha iyi ayarlanır. Bu sayede enjeksiyon sistemi karışım oranını istenen egzoz emisyon standartlarına uyabilecek şekilde ayarlayabilir [36].

Benzin püskürtmeli sistemlerin çeşitleri:

- Yakıtın püskürtülme şekline göre; zamanı ayarlı enjektörle kesikli püskürtme ve açık enjektörle sürekli püskürtme.
- Yakıt püskürtme yerlerine göre; emme manifoldu girişine püskürtme, yanma odasına direkt püskürtme, supap kanalına püskürtme
- Kumanda şekline göre; mekanik kumandalı, elektronik kumandalı, elektro-mekanik kumandalı, motronik.
- Enjektör sayısına göre; tek noktalı enjeksiyon ve çok noktalı enjeksiyon[36].

1.3.2.1.Karışım teşkili

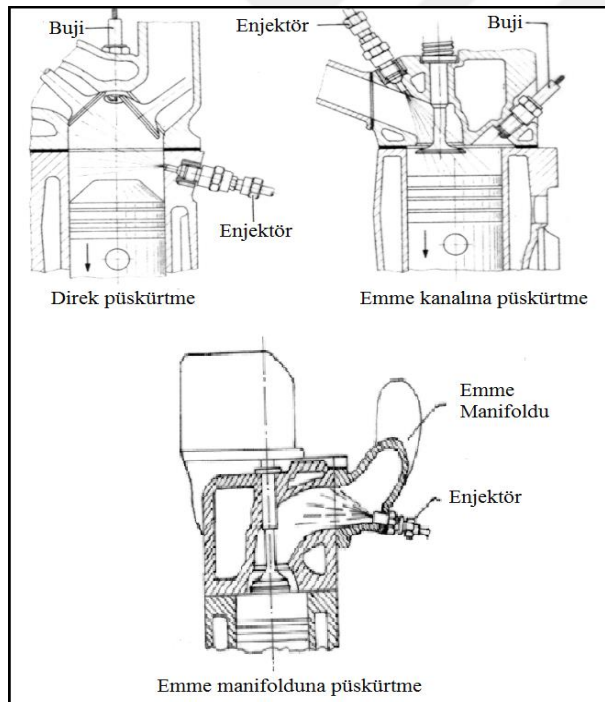
Motorlarda yanma odasında yanmanın gerçekleşebilmesi için hava ve yakıtın tutuşabilirlik sınırları içerisinde karıştırılması gerekir. Bu karışım oluşturma işlemine karışım teşkili denir.

Sistemlerde, karışımın oluşturulması esnasında istenilen temel prensip, yakıt iyi atomize edilerek hızlı parçalanması ve hava ile homojen bir şekilde karışmasıdır. İki tür karışım teşkili sağlanmaktadır. Bunlardan birincisi, karışımın yanma odası dışında oluşturulduğu sistemler ve ikincisi karışımın yanma odası içerisinde oluşturulduğu sistemlerdir. (Şekil 1.12.)

Yakıt püskürtme sistemleri karışımın oluşturulduğu yere göre, direkt püskürtme, emme kanalına püskürtme ve emme manifolduna püskürtme olarak sınıflandırılırlar (Şekil 1. 13.) [37].

KARIŞIM TEŞKİLİ				
Yanma Odası Dışında			Yanma Odası İçerisinde	
Tek Noktadan püskürtme	Çok Noktadan Püskürtme			
Mono-Jetronik	Mekanik	Kombine	Elektronik	MED-Motronik
	K-Jetronik	KE-Jetronik	D-Jetronik	
			L-Jetronik	
			L3-Jetronik	
			LH-Jetronik	
Ateşleme ve Püskürtme Kombine				
Mono-Motronik		KE-Motronik	M-Motronik	
			ME-Motronik	

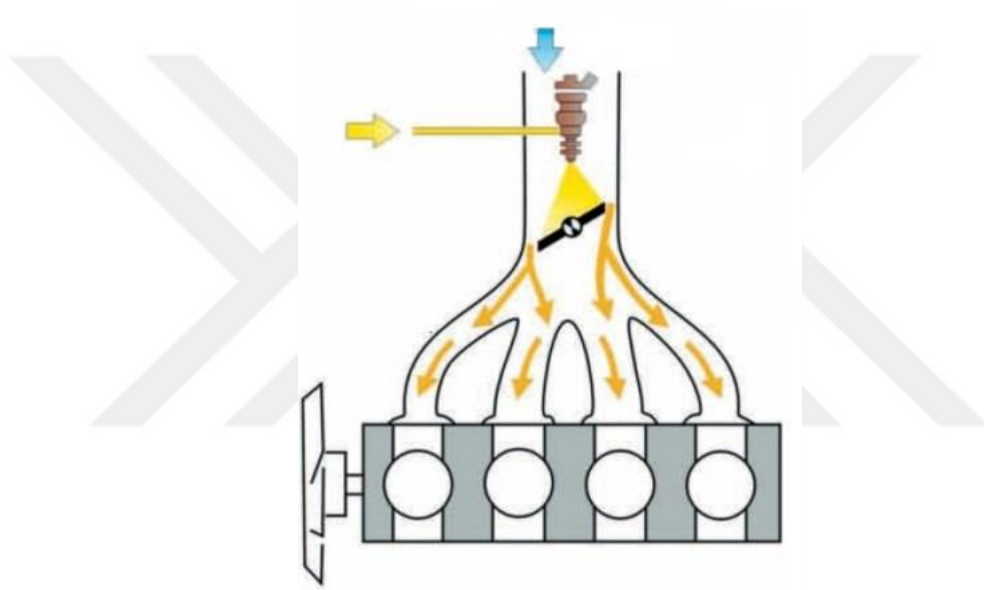
Şekil 1.12. Püskürtme sistemlerinin sınıflandırılması [37].



Şekil 1.13. Karışım oluşturulduğu yerlere göre yakıt püskürtme sistemleri [37].

1.3.2.2. Tek noktalı püskürtme sistemleri (S P I)

Yakıtın bir adet enjektör ile emme manifolduna püskürtüldüğü sistemler bütünüdür. Yakıtların emme manifolduna enjekte edilmesinden dolayı karbüratör sistemlerini andırmaktadır ama hava yakıt karışımlarını homojen hale getirmesinden ötürü daha avantajlıdır. Karbüratörlere göre daha verimli bir sistemdir. Tek noktalı püskürtme sistemlerinde motorların her türlü çalışma şartlarda tek noktadan karışım hazırlanır. (Şekil 1. 14.) Sistem üç devreden meydana gelir. Bunlar; hava, yakıt ve elektrik devreleridir [38].



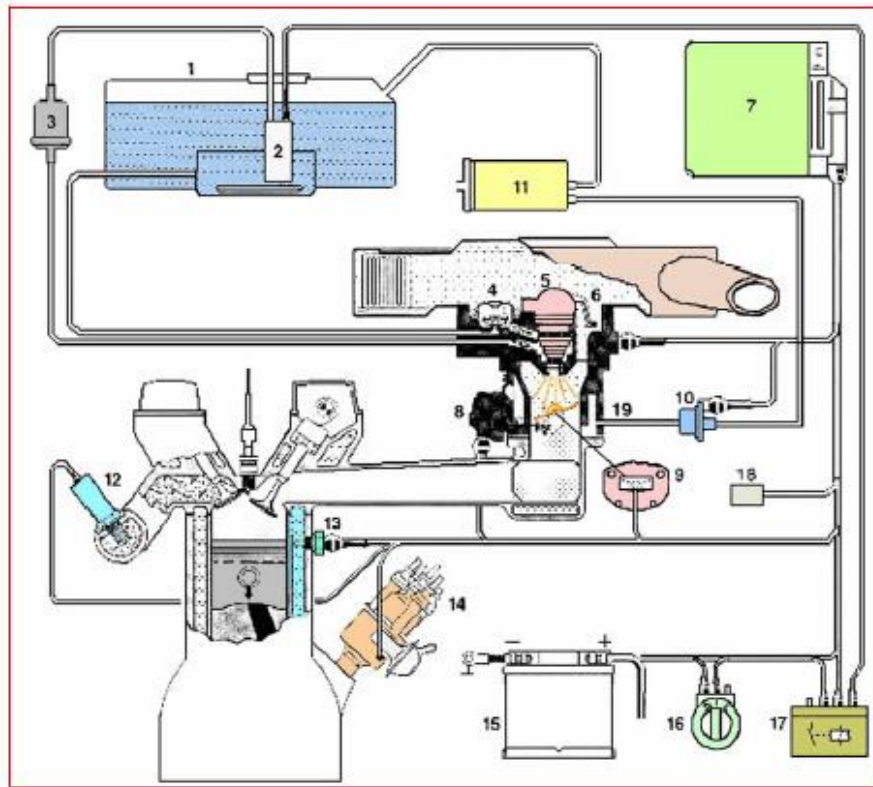
Şekil 1.14. Tek noktalı püskürtme sisteminde enjektörün konumu

Sistemin Çalışması;

Elektrik ile kontrol edilen ve yakıt emme manifolduna tek bir enjektör ile püskürtülen sistemlerdir. Emme manifolduna alınan havaya bir veya iki memeli enjektör ile yakıt püskürtülür. Hava-yakıt oranı, soğutma suyu sıcaklık sensörü, hava debisi sensörü ve gaz kelebeği konumundan gelen sinyaller ECU’de değerlendirilir ve tek bir enjektöre kumanda edilerek ayarlanır. Tek noktalı yakıt püskürtme sistemlerinde yakıt, karbüratörlü sistemlerde görüldüğü gibi gaz kelebeğinin üst tarafında oluşturulan hava akımına püskürtülür. Yakıtı aralıklı olarak püskürten enjektörün tetikleme sinyali, ateşleme sinyalinden alınır.

Yakıt enjektörlerden püskürtülerek çok küçük damlacıklara ayrılır, karışımın homojen olmasını sağlar ve bundan dolayı yakıt silindirlere homojen dağılmış olur. Bu sistemde regülatör Yakıt pompası tarafından basılan yakıt basıncı, basınç regülatörü ile sabit tutulur. Enjektörün açık kalma süresi ECU tarafından kontrol edilir ve püskürtülen yakıt miktarına göre azaltılır veya çoğaltılır. Enjektörler, elektromekanik bir mekanizmalardır ve elektrik verildiğinde yapısında bulunan bobin, memeyi yukarı doğru çekerek basınç altındaki yakıtın, konik bir yapıda püskürtülmesi sağlanmış olur.

Enjeksiyon kontrol ünitesi, aldığı bu bilgileri hafızasına kaydedilmiş değerlerle karşılaştırarak enjektörün püskürtme süresi ile ideal yakıt-hava karışımını belirler [38]. Şekil 1.15.'te şematik şekli gösterilmiştir.

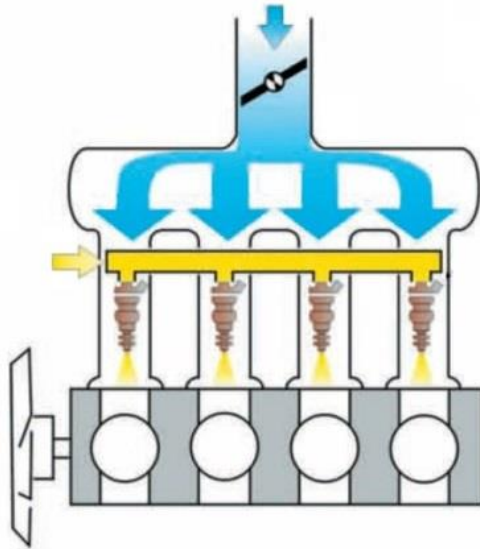


- | | |
|--------------------------|--------------------------|
| 1. Yakıt deposu | 11. Ayarlama ventili |
| 2. Elektro yakıt pompası | 12. Lambda sondası |
| 3. Yakıt filtresi | 13. Termik zaman şalteri |
| 4. Basınç regülatörü | 14. Distribütör |
| 5. Enjektör | 15. Batarya |
| 6. Hava sıcaklık sensörü | 16. Kontak anahtarı |
| 7. E.C.U | 17. Röleler |
| 8. Gaz kelebeği | 18. Teşhis bağlantısı |
| 9. Gaz kelebeği şalteri | 19. Depoya dönüş |
| 10. Potansiyometre | |

Şekil 1.15. Tek nokta enjeksiyon sistemi (SPI) [37].

1.3.2.3.Çok noktalı püskürtme sistemleri (M P I)

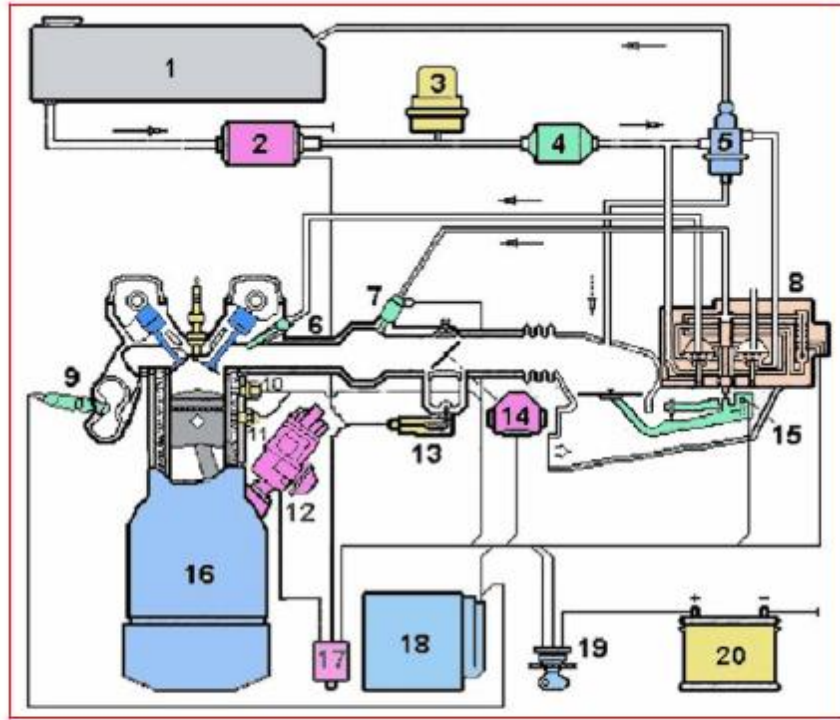
Tek noktalı püskürtme sistemlerinde hava-yakıt ile emme manifoldunun girişinde hazırlanır ve silindirlerin içerisine girecek olan karışımın yol aldığı mesafe farklıdır. Tek noktalı püskürtme sisteminde hava-yakıt karışımı emme manifoldunun içerisinde oluşturulduğundan ve motorun soğuk olduğu sürelerde karışım içerisinde bulunan yakıt manifoldun yüzeylerine yapışır ve silindir içerisine gönderilen hava-yakıt karışımının homojen bir karışım olmamasını sağlar. Çok noktalı püskürtme sistemlerinde ise yakıt, emme supaplarının arkasına püskürtüldüğü için her bir silindire alınan hava-yakıt karışımı miktarı birbirlerine eşittir (Şekil 1.16.). Bu nedenle motorun soğuk olduğu zamanlarda hızlı ve kolay çalışmasına sebep olur. Çünkü hava-yakıt karışımının olduğu yer emme supabına çok daha yakın olduğu için, yakıtın tamamına yakını silindir içerisine alınır. Ve yakıt tüketimi de azalmış olur [38].



Şekil 1.16. Çok nokta enjeksiyon sisteminde enjektörlerin konumu

Çok noktalı enjeksiyon sistemlerinde yakıt, motorda kullanılan enjektörlerin hepsi ile düzenli ve sürekli olarak emme manifoldu kanallarına ve emme supapların arkasına püskürtülür. Emme kanalına ve supapların arkasına püskürtülen yakıt miktarı motorun emdiği hava miktarına bağlıdır. MPI sisteminin karışım kontrol ünitesi, motora alınan hava debisini ölçerek, supap arkalarına istenilen miktarda yakıt püskürtülmesini ve karışım

oranının uygun değerlerde tutulmasını sağlar. Sürekli kontrol altında tutulan karışım oranı, tüm çalışma şartlarında motorların en yüksek performansı elde etmesini, en iyi yakıt tasarrufuna sahip olmasını ve yanma sonu egzoz gazlarının düşmesini sağlar. Sistemde elektrikli bir pompa, depodan gelen yakıtın basınç değerini bir supap ve by-pass devresi yardımıyla hassas ve sürekli ayarlayarak yakıt dağıtıcısına gönderir. Dağıtıcı, metal bir diyafram ile bir tarafı enjektörlere diğer tarafı ise pompaya bağlı olan iki farklı bölmeye ayrılmıştır. Benzin oranını ayarlayan bölmede dikey yönde hareket eden bir kontrol plancırı (piston) bir bölmeden diğer bölmeye ne kadar yakıt gönderileceğini ayarlamaktadır. Bu plancır, hava giriş kanalında bulunan ve motora alınan hava debisini ölçen plakaya (sensör) bağlanmış bir kol aracılığıyla hareket ettirilmektedir. Yuvarlak olan bu plaka emilen hava akımına göre koni şeklindeki muhafazanın içerisinde hareket etmektedir ve pozisyonu ne kadar yukarda olursa arasından o kadar çok hava geçebilmektedir. Motora havanın girmesi plakayı belirli bir yere kadar kaldırarak kontrol pistonunun o anda ihtiyaç duyulan miktardaki yakıtı göndermesini sağlamaktadır. Manyetik olarak çalışan ilk hareket enjektörü emme manifolduna ilave benzin püskürterek karışımı zenginleştirmektedir. Termik zaman şalteri bu enjektöre giden devreyi kontrol ederek, motor çalışmadığı takdirde boğulmasını önlemektedir. Isınma sırasında, yakıtı kontrol eden basınç regülatörü ve yardımcı hava regülatörü rölanti devrini arttırırken zengin bir karışım sağlamaktadır [38]. Şekil 1.17.'de şematik şekli gösterilmiştir.

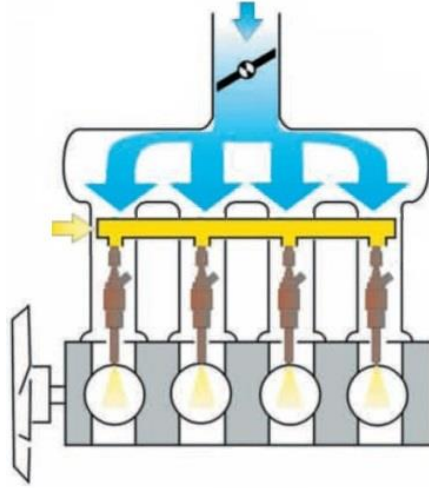


- | | |
|----------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Yakıt deposu | 11. Motor sıcaklık sensörü |
| 2. Elektro yakıt pompası | 12. Distribütör |
| 3. Yakıt tutucusu | 13. Ek hava iticisi |
| 4. Yakıt filtresi | 14. Gaz kelebeği potansiyometresi |
| 5. Sistem basınç regülatörü | 15. Hava miktar ölçeri |
| 6. Enjektör | 16. Motor |
| 7. Soğukta ilk hareket enjektörü | 17. Kontrol rölesi |
| 8. Yakıt miktarı dağıtıcısı | 18. ECU |
| 9. Lambda sondası | 19. Kontak anahtarı |
| 10. Termik zaman şalteri | 20. Batarya |

Şekil 1.17. Çok noktalı püskürtme sistemleri (M P I) [38].

1.3.2.4. Direkt püskürtme sistemleri (GDI)

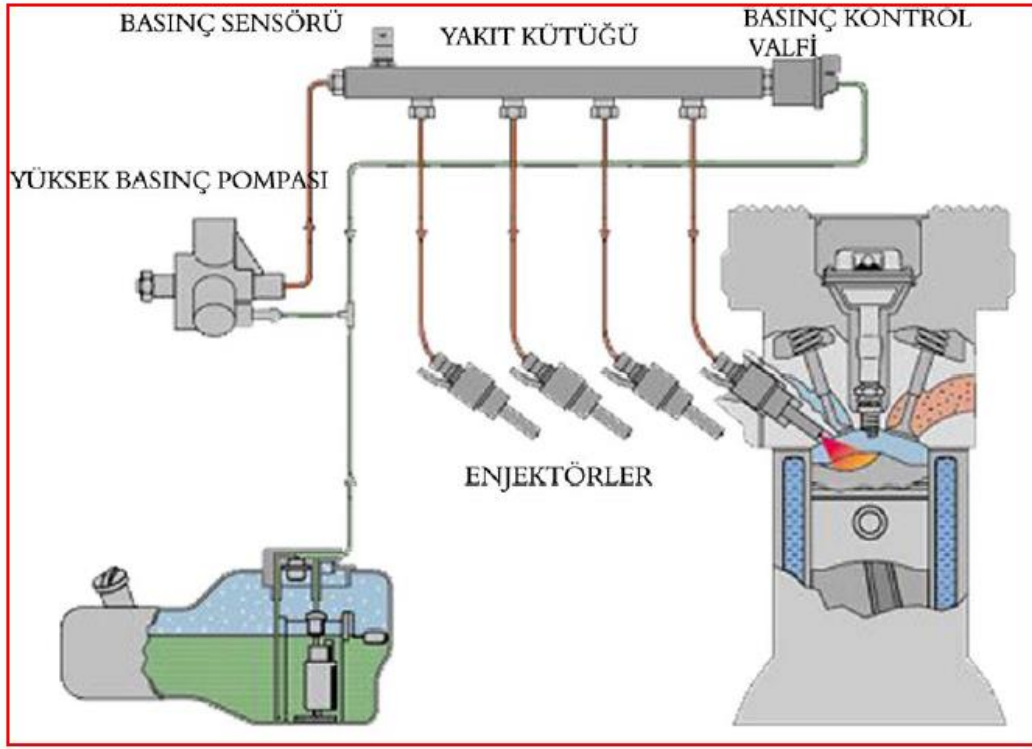
MITSUBISHI MOTOR firması tarafından geliştirilen, yakıt sisteminde direkt benzin püskürtme sistemini kullanan GDI (Gasoline Direct Injection-Direkt Benzin Enjeksiyonu) motorlar Mayıs 1996'dan bu yana üretilmektedir. GDI teknolojili motorların yakıt sisteminin optimizasyonu için, klasik benzinli otomobil motorlarından farklı olarak motorun yapısında bazı özel tasarımlar ve düzenlemeler bulunmaktadır. Geliştirilen bu motorların en belirgin özelliği, fakir karışımlarda çalışabilmesi ve çalışırken de, zengin karışımlarda çalışan motorlarla aynı performansı gösterebilmesidir [36]. Silindir içerisine direkt püskürtme Şekil 1.18.'de şemalaze edilmiştir.



Şekil 1.18. Direkt püskürtmeli sisteminde enjektörlerin konumu

Klasik benzinli motorlarda yakıt hava karışımı silindirin dışında, genellikle karbüratör ve indirekt benzin püskürtme sistemleri ile karıştırıldıktan sonra silindire verilmektedir. Bu durumda karışma noktası ile silindir arasında kayıplar oluşmakta ve ateşleme zamanlaması da en uygun şekilde gerçekleştirilememektedir. Direkt püskürtmeli motorlar, dört zamanlı benzin motorları olup, klasik benzin motorlarının bazı yönlerinden farklıdır. GDI motorunda yakıt silindire çok hassas bir zamanlama ile doğrudan püskürtülmektedir. Yani karışım oluşumu silindir içinde gerçekleşmektedir. Böylece verim düşüşünün ve kayıpların önüne geçilmiştir [36]. GDI sisteminin elemanları Şekil 1.19.'da gösterilmektedir.

Normal motorlarda yakıt yaklaşık 3,5 bar basınçla silindirin içine püskürtülürken, GDI motorlarında püskürtme basıncı 30-100 bar aralığında değişmektedir. Yakıtın, enjektörler sayesinde çok yüksek basınçla silindirin içine püskürtülmesi daha iyi bir yanma sağlamaktadır [36].



Şekil 1.19 Direkt püskürtme sistemleri (GDI) [38].

Direkt püskürtme sistemi günümüze kadar genelde yarış otomobili motorlarında kullanılmıştır. Bu sistemin günümüze kadar benzinli otomobil motorlarında yaygın olarak kullanılamamasının başlıca nedenleri ise enjektörün yüksek sıcaklığa maruz kalması, enjektör memesi montajının motor tasarımını zorlaştırması, yüksek basıncın yakıt pompasında ve enjektör memesinde aşıntı oluşturmaları gibi sebeplerdir [36].

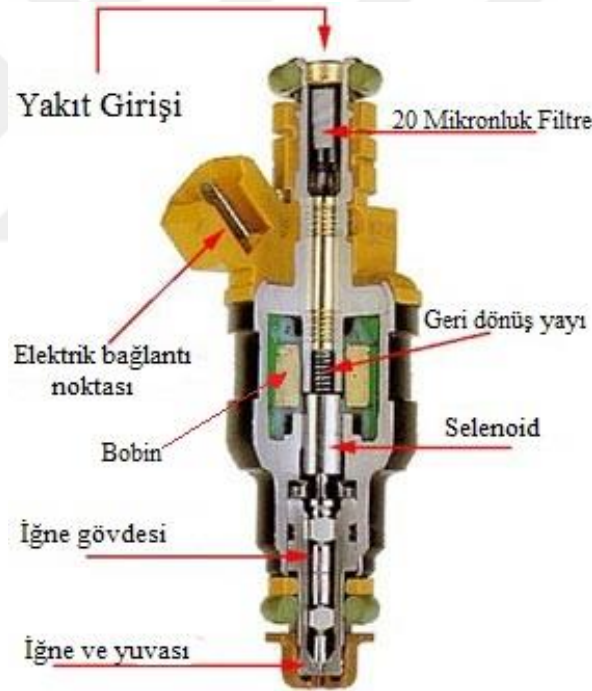
GDI teknolojili motorlarda yüksek güç için içeri alınan karışım buharlaşma yoluyla soğutulmaktadır. Daha serin akım, vuruşu sınırını etkili olarak yükseltmekte, böylece motorun çok yüksek kompresyon oranında çalışabilmesi sağlanmaktadır [36].

GDI teknolojili motorlarda bir çevrimde üç defa yakıt püskürtülmesi yapılmaktadır. Bunlardan 1. kısım ve 2. kısım yakıt püskürtmeleri, sıkıştırma stroku sonuna doğru buji ile başlatılan yanma işleminden önce yapılarak karışım oluşumu safhalarını oluşturmaktadır. Bu iki kademeli karışım oluşumu için 1. kısım yakıt püskürtmesi emme strokunda, 2. kısım yakıt püskürtmesi ise sıkıştırma stroku sonuna doğru yapılmaktadır. 3. kısım yakıt püskürtmesi (genişleme stroku püskürtmesi) ise genişleme strokunda yapılarak motorda ikinci bir yanma işleminin başlamasını sağlamaktadır [36].

GDI teknolojili motorlarda yanma işlemi de iki safhada gerçekleştirilmektedir. Sıkıştırma stroku sonuna doğru buji ile başlatılan yanmadan sonra, genişleme strokunun sonlarına doğru püskürtülen benzin (genişleme stroku püskürtmesi) ile ikinci bir yanma olayı başlamaktadır. Klasik benzinli motorlarda ise yanma sıkıştırma stroku sonunda başlayıp genişleme strokunda sona ermektedir [36].

1.4. Enjektörler

Motorlarda yakıt atomizasyonunu sağlamak için, emme manifolduna veya yanma odalarına yakıt püskürtme eylemini gerçekleştiren mekanizmalardır. Enjektörün yapısı Şekil 1.20.'de gösterilmiştir.



Şekil 1.20. Benzinli motorlarda kullanılan enjektör ve yapısı

Enjektörlerin görevleri;

- İhtiyaç duyulan püskürteme basıncı oluşuncaya kadar yakıtı yanma odasından uzak tutmak,
- İhtiyaç duyulan basınç oluşunca aniden açılıp yakıtı yanma odasına püskürtmek,

- Püskürtmeden sonra enjektörün damlama yapmasını önlemek için yakıtı aniden kesmek,
- Püskürtülecek yakıtı en küçük parçalara ayırmak (atomize etmek),
- Yakıtı silindir içerisinde istenilen derinliğe püskürtmek,
- Yakıtı yanma odasının şekline uygun açıda püskürtmek,
- Yüksek basınçlara karşı dayanıklı olmak,
- Yakıt sistemi ile yanma odası arasında sızdırmazlık sağlamaktır [38].

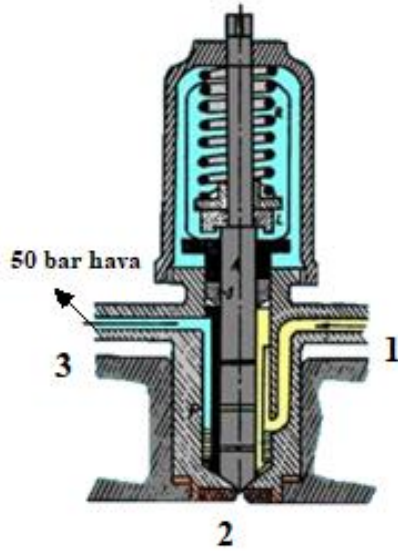
1.4.1.Enjektör çeşitleri ve yapısal özellikleri

Enjektörler yapısal özelliklerine göre şu şekilde sıralanabilir;

- 1-Açık enjektörler
- 2-Kapalı enjektörler
- 3-Elektro-hidrolik enjektörler
- 4-Piezo-elektriksel enjektörler

1.4.1.1. Açık enjektörler

İlk olarak hava ile püskürtmeli ve dizel motorların yakıt sistemlerinde kullanılmıştır. Şekil 1.21.'de görüldüğü gibi açık enjektörlerde, yakıtı taşıyan boru ve enjektör gövdesindeki kanal, meme deliği aracılığıyla direkt olarak yanma odası içine açılmaktadır. Motorun sıkıştırma zamanında yakıt pompasıyla gönderilen yakıt, **1** kanalından girer. Püskürtme başlangıç zamanında **3** kanalından da 50 bar basıncında hava gelir. Hava ile yakıt burada karışarak açılan **2** kanalından birlikte silindirlere püskürtülür [38].

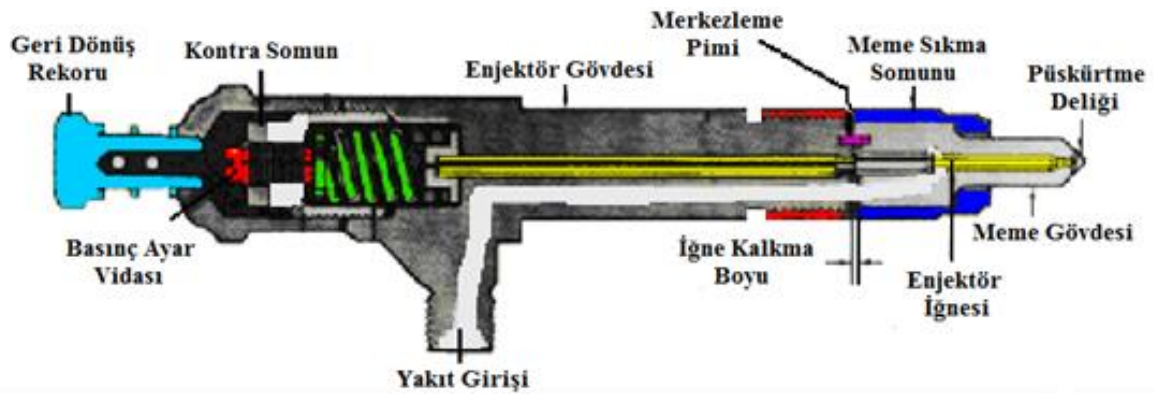


Şekil 1.21. Açık enjektör kesiti [38].

Açık enjektörlerin yapıları basit ve sadedir. Delikleri çabuk tıkanmaz ancak püskürtme basıncı da çabuk yükselemez ve püskürtme sonunda damlatır. Bu sebeple günümüzde kullanılan motorlarda artık tercih edilmemektedir [38].

1.4.1.2.Kapalı enjektörler

Yakıt enjektörlerden püskürtülürken, hidrolik veya mekanik bir kumanda ile yanma odasına gönderiliyorsa bu tip enjektörlere kapalı enjektörler denir [39]. Kapalı enjektörün yapısı Şekil 1. 22.' de gösterilmiştir.



Şekil 1.22. Kapalı enjektör [39].

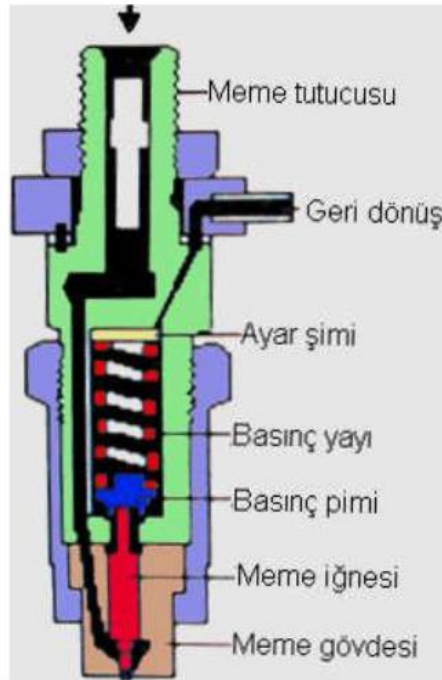
Kapalı enjektörler kumanda tipine göre ikiye ayrılır bunlar, Mekanik ve hidrolik enjektörlerdir. Mekanik kumandalı enjektörler günümüz motorlarında tercih edilmemektedir [39].

- **Hidrolik enjektörler**

Enjektörlerin iğnesi yakıt basıncıyla açılarak yakıt püskürten enjektör sistemlerine hidrolik enjektörler denir. Hidrolik enjektörler ikiye ayrılır bunlar, tek kademeli hidrolik enjektör ve iki kademeli hidrolik enjektörlerdir [39].

- **Tek kademeli hidrolik enjektör**

Bu hidrolik enjektörler kısıtlamasız tiptir. Enjektör açılma basıncı motora göre değişir. Püskürtme basıncı, püskürtülen yakıtın hava ile iyice karışmasına ve mümkün olan en kısa sürede yanabilmesine olanak sağlayacak şekilde seçilir [39]. Tek kademeli hidrolik enjektör kesiti Şekil 1.23.' te gösterilmiştir.

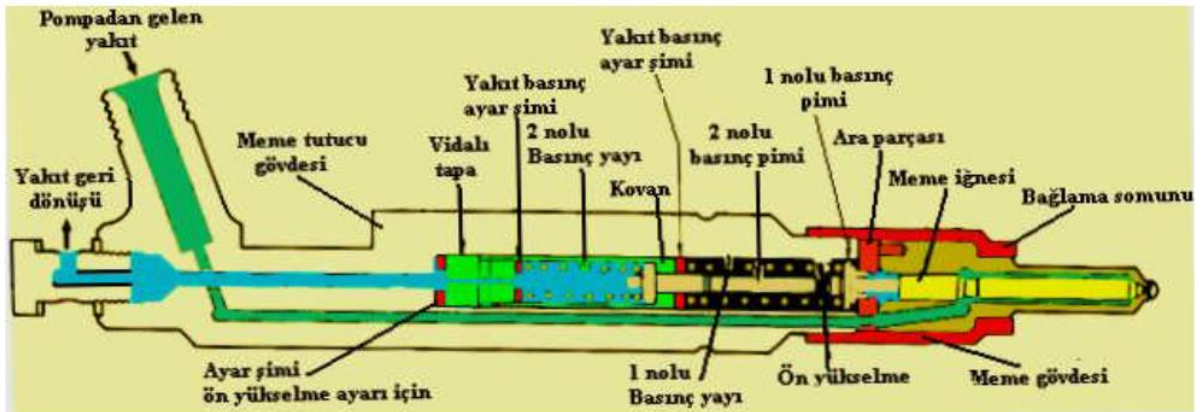


Şekil 1.23. Tek kademeli enjektör [39].

Miktarı ve basıncı yakıt pompası tarafından ayarlanarak gelen yakıt, giriş rekorundan enjektöre girer. Yakıt gövde üzerindeki dikey kanallar ile meme basınç odasına gelir. Bu esnada enjektör yayı meme iğnesine aşağıya doğru basınç uygulayarak enjektör deliğini kapalı durumda tutmaktadır. Meme basınç odasına sürekli gelen basınçlı yakıt meme iğnesinin konik kısmına basınç uygulamaya başlar. Yakıtın uyguladığı basınç, enjektör memesini aşağıda tutan yayın basıncını yendiği zaman enjektör iğnesi yukarı doğru kalkar. Enjektörün meme iğnesi yukarı kalkmasıyla açılan enjektör deliği yakıt atomize durumda yanma odasına püskürtür. Yakıt pompası enjektöre yakıt göndermeyi kestiğinde, meme basınç odasındaki yakıt basıncı azalır ve enjektör yayı meme iğnesini aşağı doğru itilerek meme iğnesini yuvasına oturtur. Meme deliklerinin kapanması ile püskürtme sona erer [39].

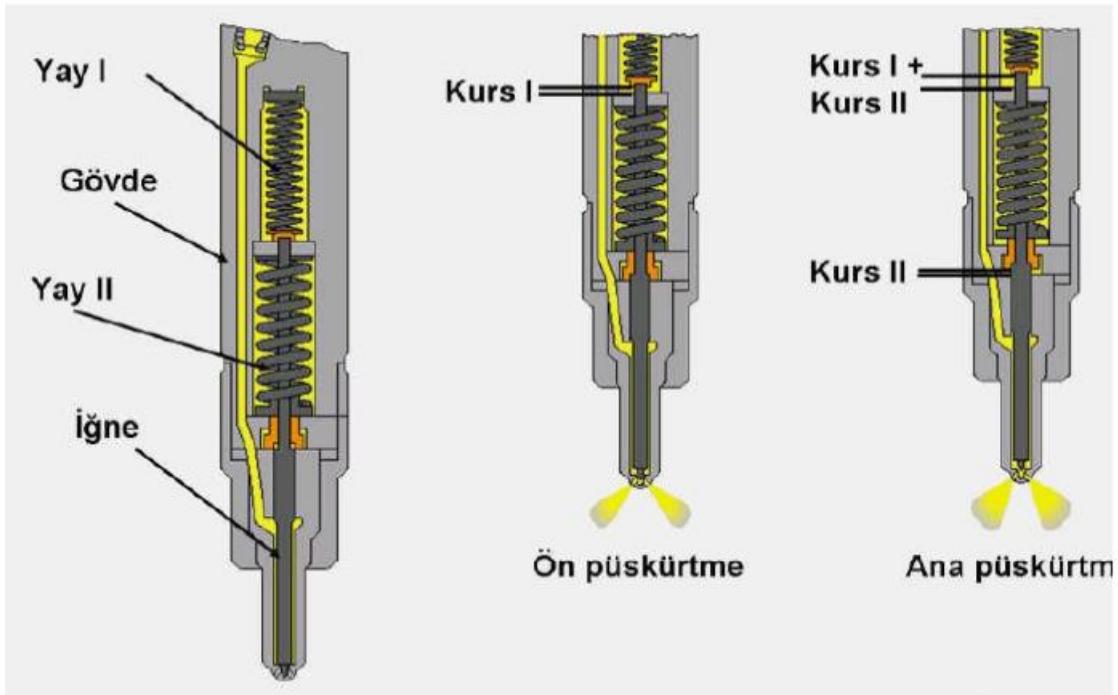
• İki kademeli hidrolik enjektör

Bu tip hidrolik enjektörlerde silindirlere püskürtülecek yakıtın basınç iki kademede kazandırılır. Şekil 1.24.'de gösterildiği gibi enjektör meme tutucusu içerisindeki iki adet basınç yayı ve iki adet basınç pimi bulunur. 1 numaralı basınç pimi ile 2 numaralı basınç pimi arasında bir boşluk vardır. Bu boşluk miktarına ön yükselme mesafesi denir. Ön yükselme mesafesi, 1 numaralı basınç yayı ve 2 numaralı basınç yaylarının tansiyonunu ayarlayan şimlerin değiştirilmesi ile ayarlanmaktadır [39].



Şekil 1.24. İki kademeli enjektör ve elemanları [39].

Yakıt pompası tarafından basıncını yükselterek gönderilen yakıt enjektör giriş rekorundan girerek, enjektör kanalından meme basınç odasına gelir. Bu odada biriken yakıtın basıncı artarak 1 numaralı basınç yayının uyguladığı basıncı yenerek meme iğnesini yukarı kaldırır ve böylece yakıtın püskürtülmesi başlamış olur. 1 numaralı basınç piminin 2 numaralı basınç pimine temas etmesinden sonra meme iğnesinin açılma miktarında basınç katalog değerine ulaşınca kadar çalışmasında değişiklik olmaz. Yakıt basıncı katalog değerine ulaşınca 1 numaralı ve 2 numaralı basınç yaylarının uyguladığı basıncı yener ve meme iğnesi bir miktar daha yükselir. Meme iğnesi ara parçasına temas ettikten sonra basınç artsa bile meme iğnesinin açılma miktarında değişiklik olmaz. Yakıt pompasının gönderdiği basınçlı yakıt kesilince enjektör kademeli olarak kapanır [39]. Şekil 1.25.'te iki kademeli püskürtme (ön ve ana püskürtme) gösterilmektedir.

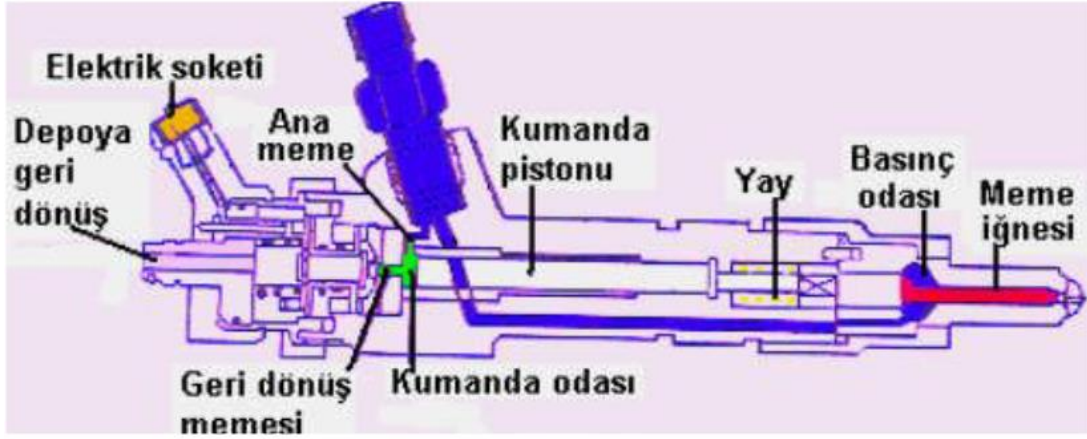


Şekil 1.25. Enjektörün püskürtmesi [39].

1.4.1.3. Elektro-hidrolik enjektörler

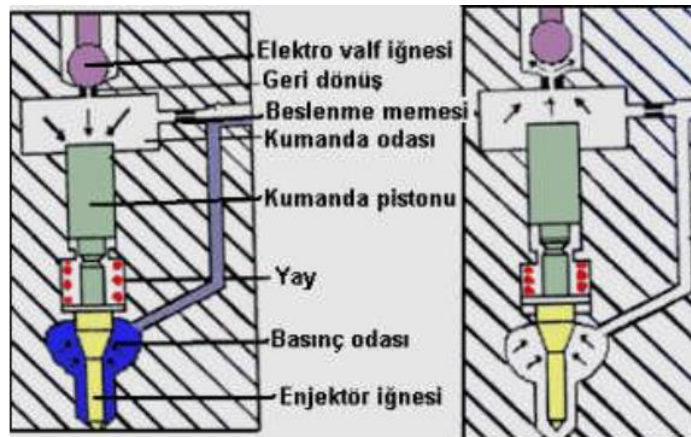
Bu enjektörlerin kumandası, E.C.U'nin iki kademeli kumandası ile gerçekleşir. Her püskürtme sırasında enjeksiyon hesaplayıcısı istenmeyen enjektör bobinine enerji vermez.

Enjeksiyon hesaplayıcısı iç emniyet sistemi, motor durduğunda kumanda kademelerini devreden çıkarır [39]. Şekil 1.26’da elektro-hidrolik enjektörlerin elemanları gösterilmiştir.



Şekil 1.26 Elektro-hidrolik enjektör ve elemanları [39].

Enjektörün çalışması basınç odası ve kumanda odasındaki basınç farkından sağlanmaktadır. Elektronik valf iğnesi, elektronik valf bobininin beslenmesi esnasında manyetik alan etkisi ile kalkar. Ortak yüksek basınç rampasından gelen basınçlı yakıt enjektörün içerisine girerek dikey kanal vasıtası ile yakıtın bir kısmı kumanda odasına bir kısmı da basınç odasına geçer. Yakıt basıncı kumanda odası ve basınç odasında aynı olduğunda kumanda pistonu hareketsizdir. Ortak basınç rampasındaki basınç artışı enjektörün kapanmasını kolaylaştıracaktır [39].



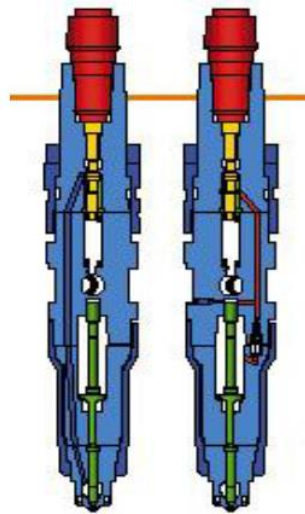
Şekil 1.27. Elektro-hidrolik enjektörün çalışması [39].

Elektronik kontrol ünitesi (E.C.U.) manyetik valfi besler. Şekil 1.27.'de gösterildiği gibi, manyetik valfte meydana gelen manyetik alanın etkisiyle elektronik valf iğnesi yukarı doğru kalkar ve kumanda odasının yakıt geri dönüş odasındaki basınç dengesi bozulur ve kumanda pistonu ile enjektör iğnesi yukarıya kalkar. Yakıt enjektör deliklerinden silindir içerisine püskürtülür. Enjektörün açılması için 80 voltluk bir gerilim, enjektörün bu konumunu korumak için de 50 voltluk gerilim uygulanır. Elektronik valfler geri dönüş devresinden izole edilmiştir.

E.C.U enjektör elektronik valfini beslemeyi kestiği anda elektronik valf yayının basıncı ile valf iğnesi yuvasına oturur. Geri dönüş memesi kapatılmış olduğundan kumanda odasındaki yakıt basıncının artmasıyla enjektör kapanacaktır. Kumanda odası ile basınç odası arasındaki basınç dengelendiğinde enjektör tamamen kapanır [39].

1.4.1.4. Piezo-elektriksel enjektörler

Bu enjektörler ne özel bir kalibrasyon ne de ivmeölçer ile enjeksiyonların ayarlanmasını gerektirir. Piezo-elektriksel enjektörler, klasik elektromanyetik enjektörlere göre dört kez daha hızlı devreye girme olanağı sağlar. Bu durum, yanma olayını daha mükemmel hâle getirmek ve egzoz emisyonunu azaltmak amacıyla her çevrim için yapılan enjeksiyon sayısının katlanarak artırılmasını kolaylaştırır [39]. Şekil 1.28.'de enjektör kesiti, Şekil 1.29.'da da enjektör gösterilmiştir.



Şekil 1.28. Enjektör kesiti [39].

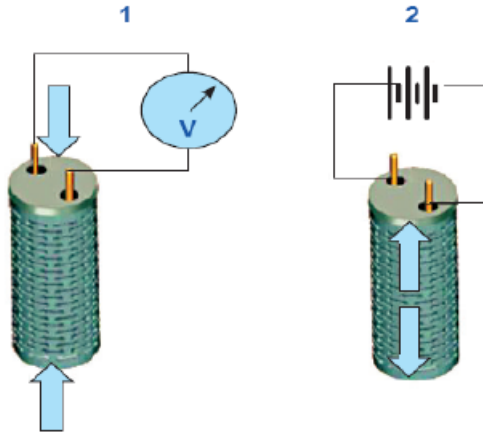


Şekil 1.29. Piezo-elektriksel enjektör [39].



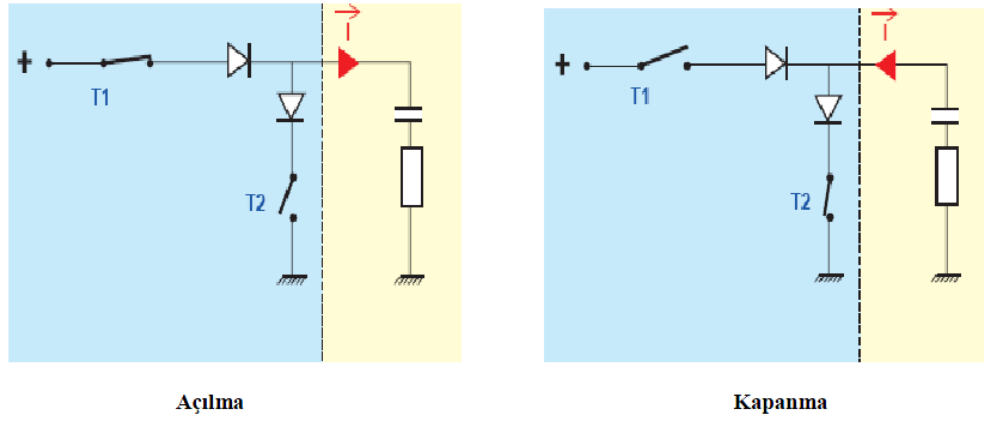
Şekil 1.30. Piezo elektrğin katmanları [39].

Şekil 1.30.'da enjektörün piezo-elektriksel yapının katmanları gösterilmiştir. Piezo-elektriksel elemanlar seramik kökenli elemanlardır. Bir enjektördeki eleman, seramik katmanların üst üste dizilmesinden oluşur [39].



Şekil 1.31. Piezo elektrik prensibi [39].

Piezo-elektrik olayı daha önce bazı tip sensörlerde (basınç, vuruntu) de kullanılmıştır. Şekil 1.31.'de gösterildiği gibi, bir piezo-elektriksel elemana bir güç uygulandığında, bu elemanın uçlarından uygulanan güçle doğru orantılı bir gerilim saptanır (1). Ters olarak bir piezo-elektriksel elemanın uçlarına bir gerilim uygulanması elemanın genişmesine sebep olur (2). Enjektörün içindeki aktüatörün uzaması (40 mikrometre seviyesinde), enjektörün açılmasına neden olur [28].



Şekil 1.32. Enjektör kumanda devre şeması [39].

Enjektör Kumandası; Piezo-elektriksel enjektör, elektriksel olarak bir kondansatöre benzetilebilir. Akımı toplar ve geri verir. Şekil 1.32.'de kumanda devre şeması verilmiştir.

Açılma safhası; Beyin T1 kontağını kapatır (T2 açık), Piezo elektriksel eleman kendini pozitif olarak bir kondansatör gibi şarj ederken bir yandan da uzar. Enjektör açılır. Tam bu aşamada soketi sökülürse enjektör açık kalır. Bu durum bir enjektörün soketinin motor çalışırken sökülmemesi konusundaki uyarıyı açıklamaktadır.

Kapanma aşaması; Beyin T2 kontağını kapatır ve T1 kontağını açar. Kondansatör boşalır, enjektör akım jeneratörüne dönüşür ve akım yönü tersine döner. Piezo elektriksel eleman ilk konumuna döner ve enjektör kapanır [39].

1.5.Ultrasonik Dalgalar, Kullanım Alanları ve Ultrasonik Dönüştürücüler

Ses, atmosferde kulağımız tarafından algılanabilen periyodik basınç değişimleridir. Fiziksel boyutta ses, hava katı sıvı veya gaz ortamlarda oluşan basit bir mekanik düzensizliktir ve bir maddedeki moleküllerin titreşmesi sonucunda oluşur. Ses kaynaktan aldığı enerjilerle titreşerek yayılırlar. Titreşen cisimler esnek olup sesi oluşturur. Esnek olan cisimler ses dalgaları meydana getirebilir ve ses dalgalarını iletebilir [40].

Ses, mekanik bir dalga olduğundan yayılması için bir ortama gereksinim duyar. Ses dalgaları ortamlarda sıkışma ve genleşme şeklinde boyuna ilerleyen dalgalardır. Sesin bir frekansı, boyu, periyodu ve hızı bulunmaktadır. Bir saniye içerisindeki titreşim sayısına sesin frekansı denir. Birimi ise Hertz (Hz)'dir. Dalga boyu, bir ses dalgasının oluşması için sesin aldığı yoldur [40].

Sesin çeşitli maddeler içerisindeki yayılma hızları Tablo 1.7.'de verilmiştir.

Tablo 1.7. Sesin çeşitli maddeler içerisindeki yayılma hızı

Madde	Yoğunluğu (gr/cm ³)	Hızı (m/sn)
Hava	0,001	331
Yağ	0,93	1450
Su	1,0	1540
Kemik	1,85	4080
Alüminyum	2,7	6400

Ultrasesin tarihi yüz yıllar öncesine F.Galton' un insanlar ve hayvanlar için duyma eşiğiyle ilgilendiği çalışmalarına dayanır. Ayarlanabilir rezonans boşluğuyla bilinen frekansta ses üreten bir düdük icat ederek insan kulağının duyma eşiğinin normalde 16000 dalga/sn (16 kHz) olduğunu saptamıştır. Bahsedilen icat, gaz hareketi enerjisini ses enerjisine dönüştüren bir transduser örneğidir [40].

Ultrases uygulama olarak farklı birçok alanda kullanılırlar:

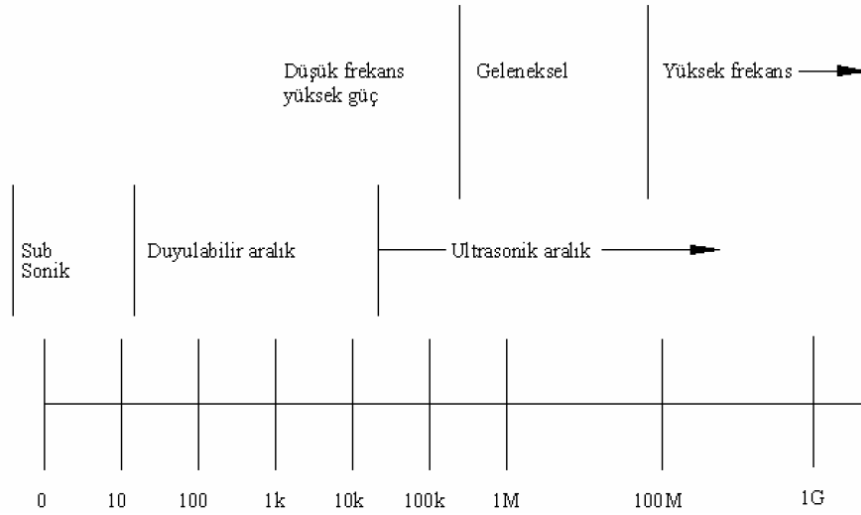
- Güvenlik amaçlı hırsız alarmlarında,
- Medikal alanlarında (böbrek taşı tedavileri ve prostat kanseri vb.),
- Hamilelik esnasında fetüs görüntülemek için,
- Yüzey temizlemek için,
- Sonokimya,
- Nemlendirme cihazlarında.
- Metalleri ince toz haline getirmek için,
- Çok ince tanecikli fotoğraf emülsiyonları hazırlamak için,
- Cıva, altın. vs'i gaz ve sıvılarda süspansiyon haline getirmek için,
- Özel metal alaşımları yapmak için,
- Gaz karışımlarından gazları ayırtmak için,
- Fabrikaların kirli gaz ve suları içinde süspansiyon halinde bulunan maddeleri çöktürerek kurtarmak için,
- Fabrika bacalarından çıkan gazları temizlemek için,

- Tekstil, metal kaplama, gözlük, mücevher ve saatçılık gibi aşırı hassasiyet isteyen sanayi kollarında temizleme işlemini yapmak için,
- İçecek sanayinde birayı yabancı mayalardan arıtmak, şuruplarda enzimleri glikoz gibi diğer ürünlere dönüştürmek, sütü sterilize etmek, şarabı eskitmek için,
- Sert maddeleri delmek ve işlemek üzere ultrasesli matkaplar yapmak.
- Elektrik ve elektronik sanayisinde ultrasesli kaynak makineleri, elektronik geciktirme kanalları yapmak için,
- Dökümcülükte erimiş metalleri gazdan arıtmak, kristal büyümesini kontrol etmek.
- Ultrasesli hızölçerleri yapmak için,
- Ultrasonik çamaşır ve bulaşık makineleri.
- Denizaltı haritalarında menzil tayin etmek ve obje bulma için kullanılan radarlarda (Sonar),
- Deniz yolu ile ihracat esnasında uzun süreli depolamalarda meyve ve sebzelerin olgunluğu, tahribatsız olarak, ultrases ile yapılır [41].

Dönüştürücüler, enerjiyi bir biçimden başka bir biçime dönüştüren aygıtlardır. Dönüştürücü, mekanik sinyal domenindeki bir enerji formunu, elektrik sinyal domenindeki enerji formuna çevirebilirken, elektrik sinyal enerjisini, mekaniksel enerjiye çevirebilecek şekildedir [42].

Dönüştürücülerde, oluşturulan enerji dönüştürme işlemi sistemin bütününe kapsamaktadır. Aslında enerjinin bir sinyal domeninden ötekine geçmesini sağlayacak en uygun dönüştürücü tasarımı matematiksel boyutlarıyla incelenerek sistem içerisine adapte edilir [42].

Ultrasonik dalgalar, insan kulağının duyabileceği seslerin üstündeki ses dalgalarını tanımlar. Her dönüştürücünün kendine özgü rezonans frekansı vardır, bu anlamda etkin frekans aralığı yada bant genişliğine sahiptir [42]. Şekil 1.33.'te ses spektrumu verilmiştir.



Şekil 1.33. Ses spektrumu ve ultrasonik dalgaların frekans aralığı [42].

Bir dönüştürücü, alternatif gerilim (AC) veya doğru gerilim (DC) güç kaynağı ile beslemek durumunda ise pasif bir dönüştürücüdür aksi halde aktif bir dönüştürücü olarak sınıflandırılır. Başka bir ifadeyle aktif dönüştürücüler besleme kaynağı gerektirmeden dönüştürme işlemini yaparlar ve pasif dönüştürücülerin aksine olarak dönüştürme işlemini ters yönde de yapabilirler. Bu çalışmada tasarlanan ve gerçekleştirilen dönüştürücü aktif dönüştürücüler sınıfına girmektedir [43].

Geniş bantlı ultrasonik dönüştürücülerin düzenlenmesi dönüştürücülerin yapımında kullanılan yapay piezoelektrik seramik malzemeler, dönüştürücüden beklenen özellikleri çoğu zaman tek başlarına sağlamamaktadır. Bu özelliklerin sağlanabilmesi için dönüştürücülerin akustik ve elektriksel kapılarında bir takım düzenlemelere gidilmektedir. Uygulama açısından bir ultrasonik dönüştürücüde iki önemli özellik ortaya çıkmaktadır. Birincisi dönüştürücünün elektriksel giriş empedansının frekansa göre değişimi ve bundan kaynaklanan araya girme kaybıdır. İkincisi ise dönüştürücünün duyarlılığı ve impuls cevabıdır [44].

Ultrasonik dönüştürücü sistemin dönüştürme işlemini yapabilmesi için en uygun dönüştürücü piezoelektrik malzemelerdir. Piezoelektrik tamamen mekanik gerginlikle bir elektrik polarizasyon üretilmesine dayanır [44].

Piezoelektrik, basınç etkisiyle elektrik elde etme anlamında kullanılmaktadır.

Bu isim, Piere ve Jacques Curie kardeşlerin olayı keşfettiklerinden bir yıl sonra 1881’de Hankel tarafından verilmiştir. Kardeşler, kristale farklı yönlerden basınç uyguladıklarında, kristal yüzeyinde pozitif ve negatif yüklerin oluştuğunu gözlemlediler [45].

Piezoelektrik olay basitçe, Bazı kristal ve seramik malzemeler üzerine uygulanan mekanik bir basınç ile elektriksel gerilimin elde edilmesidir. Piezoelektrik özellikte bir kristal malzeme, disk veya prizma şeklinde kesilip, yüzeyleri ince iletken bir metal (gümüş, alüminyum ve altın) ile kaplanır. Kristalin alt ve üst yüzeylerine mekaniksel basınç uygulanırsa, bu yüzeylerde kutuplanmalar, tersi bir uygulama sonucunda ise devamlı değişen voltajın frekansına bağlı seri bir şekilde uzama ve kısalmalar elde edilir. Bu mekaniksel uzayıp kısalmalar (titreşimler) da bize ultrases’i verir. Piezoelektrik olay çift yönlüdür. Ters piezoelektrik olayla ultrases elde edilir, sistem verici olarak kullanılır. Normal piezoelektrik olayla ultrases algılanır, sistem alıcı olarak kullanılır [46].

1.5.1.Ultrasesin etkileri

1.5.1.1.Fiziksel etkileri

Kabarcık oluşumu: Yeterince büyük şiddetli ultrases dalgaları sıvılarda kabarcıklanma yaratır. Bu yol ile sıvı içinde bulunan katı cisimciklerin ve bakterilerin parçalanması sağlanır.

Isı etkisi: Farklı ortamlarda ve farklı ultrases dalgaları ile yapılan deneyler, ses titreşim enerjisinin ısı enerjisine dönüştüğünü ve ortamın ısındığını göstermiştir.

Sis oluşumu: Bir sıvı içinde ilerleyen şiddetli bir ultrases dalgası hava-sıvı sınırında yansıdığı zaman sıvı molekülleri püskürür ve sıvı yüzeyinde bir sis tabakası gözlenir.

Gazdan arıtma: Bazı durumlarda katı ve sıvı içinde çözünmüş bulunan gazların arıtılması gerekebilir. Bu amaçla gazdan arıtılmak istenen madde ultrasese tabi tutulur.

1.5.1.2.Biyolojik etkileri

Isı etkisi: Ultrasese maruz kalmış bir organın sıcaklığının arttığı gözlemlenir.

Mikro masaj etkisi: Ultrases bir organda yayılırken hücre grupları periyodik basınç değişimine maruz kalır. Bu olaya sesin mikro masaj etkisi denir.

Elektriksel etkisi: Bazı protein veya selüloz molekülleri gibi iri biyolojik moleküller piezoelektrik olayı gösterirler. Ultrasesin oluşturduğu basınç değişimi iri biyolojik parçacıkların elektriksel kutuplanmasına yol açar.

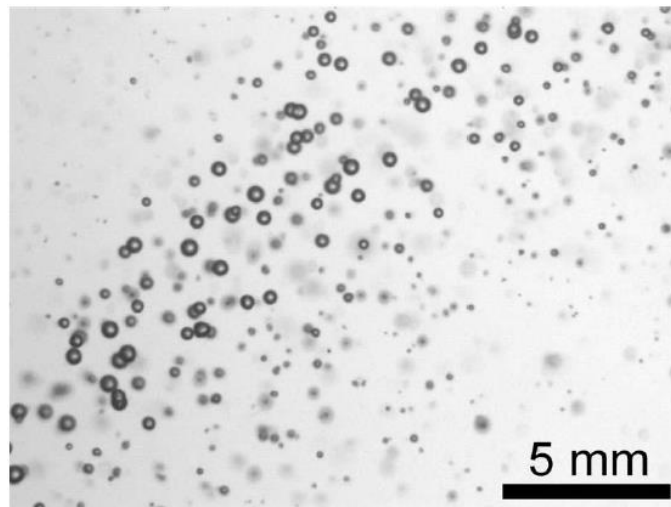
İvme etkisi: Ultrases titreşimini alan bir ortam parçacığı oldukça büyük mekanik ivme ile titreşir.

1.5.1.3.Kimyasal etkileri

Reaksiyon hızlanması, oksitlenme, bileşim bozulması, kristalleşme, kaynama sıcaklığı değişmesi, molekül zincirlerinin parçalanması...

1.5.2. Kavitasyon

Kavitasyon, genellikle sıvılar içerisinde gözle görülemeyecek ölçüde küçük kabarcıklar oluşması olarak bilinir. Yüksek yoğunluklu ultrases kavitasyon, mikro salınımlar ve ısıtma gibi bazı özel etkiler oluşturabilir. Ultrasonik kavitasyon, bir titreşim kaynağından ya da transduserden yayılan ses dalgalarının sıvı içerisinde oluşturduğu negatif ve pozitif basınç bölgelerinin salınım etkisi altında oluşur ve büyür [40]. Şekil 1.34.'te kavitasyon bulutunun bir kesiti gösterilmiştir.

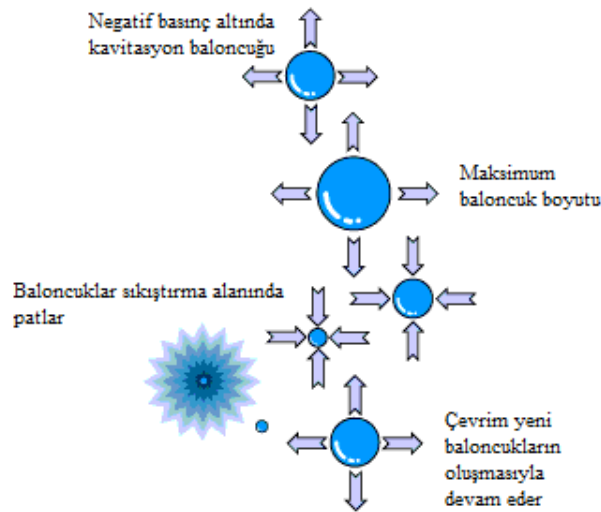


Şekil 1.34. Kavitasyon bulutu [40].

Suslick, 1994 senesinde yaptığı araştırmasında kavitasyon etkisini sadece sıvı içerisinde, kabarcık biçimine bürünme, büyüme ve ani patlama basamaklarından oluştuğunu tespit etmiştir. Çevre şartlarına bağlı olarak kavitasyon boşluğunun gelişmesi ve patlaması değişebilir.

Ultrases sıvıdan geçerken, oluşan genleşme dalgaları sıvının moleküllerini birbirlerinden uzaklaştıracak negatif basınç uygular. Şayet bu ultrases yeterince yoğunsa genleşme dalgaları sıvı içerisinde boşluklar oluşturur. Bu olay negatif basınç, sıvının tipine ve saflığına bağlı olarak değişen yerel gerilme direncini aştığı zaman olur.

Kavitasyon çekirdek oluşum safhası, gaz içeren küçük parçacıklar veya daha önce kavitasyon olayından kalan geçici mikro kabarcıklar gibi sıvıda önceden var olan zayıf noktalardan başlar. Çoğu sıvıya, kavitasyon daha orta dereceli negatif basınçlarda başlarsın diye küçük parçacıklar ilave edilir. Ultrasesle oluşan küçük gaz kabarcıkları ses dalgalarından enerji çeker ve büyür. Boşluk gelişimi sesin yoğunluğuna bağlıdır. Yüksek ses yoğunluğuna sahip küçük bir boşluk birden bire büyüyebilir. Daha az ses yoğunluğuna sahip boşluklar, düzeltilmiş difüzyon denilen daha yavaş bir süreçle büyür [40].

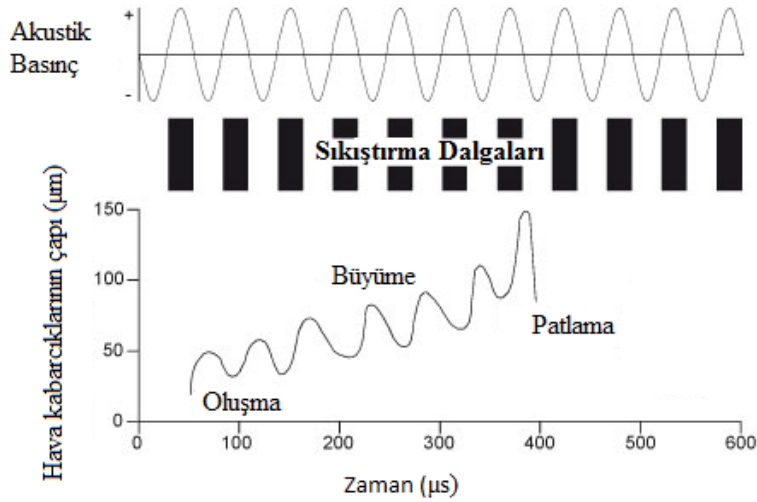


Şekil 1.35. Kabarcık gelişimi ve patlaması [40].

Şekil 1.35.' de boşluğun farklı basınç alanları altında genişlemesi, ufalarak salınımına devam etmesi veya kritik boyuta gelince patlaması gösterilmiştir.

Boşluğun büyümesi yeterli miktarda ultrases yayılımından enerji çektikten sonra kritik noktaya ulaşır. Bu kritik boyut, rezonansa boyutu, sıvıya ve sesin frekansına bağlıdır. Örneğin; 20 kHz frekansta, boşluk boyutu yaklaşık 170 mikrometredir. Tam bu kritik noktada boşluk tek bir ses dalgası boyunca aniden büyür. Boşluk bu çok büyümüş haliyle artık yüksek ya da düşük ses yoğunluğu altında daha fazla enerji absorbe edemez. Enerji girişi olmadan da boşluk kendini koruyamaz ve çevreleyen sıvı içeri dolmaya başlayarak boşluğun yıkılma patlamasına neden olur. Bu patlamalar genellikle ultra ses dalgalarının yoğunluğu, akustik kavitasyonel eşiği aştığı zaman meydana gelir. Örneğin; bu eşik değer 20 kHz' e maruz kalan sıradan bir sıvı için birkaç W/cm^2 'dir [40].

Ses dalgasının sıkıştırma ve genleşme dalgaları, oluşan pozitif ve negatif basınç bölgelerinin etkisi altında oluşan bir boşluğun oluşma, büyüme ve patlama evreleri süresince boyutunda meydana gelişen değişimler Şekil 1.36.'da gösterilmiştir [40].



Şekil 1.36. Kavite oluşum aşamaları [40].

Kavitasyon doğanın bilinen en etkili ve en etkileyici enerji yoğunluğunu yükselticidir. Her kabarcık patlaması, yerel sıcaklığın $5000^{\circ}C$ ve basıncın 1000 atmosfer değerini aşmasına neden olur. Fakat ömrü 0,1 saniyeden kısadır, ısıtma ve soğutma oranları saniyede 10 milyar $^{\circ}C$ ' den fazladır.

Kabaca bir kıyasla bahsedilen değerler sırasıyla, güneşin yüzey sıcaklığı, okyanus dibindeki basınç, bir şimşegin ömrüne ve kor bir demirin suya daldırılmasından milyonlarca kat fazla soğumasıdır [40].

1.5.2.1.Kavitasyon Çeşitleri

1. **Akustik kavitasyon:** Bu durum ultra ses (16kHz-100 MHz) dalgalarının sıvı içerisindeki basınç değişimlerinden oluşur [40].
2. **Hidrodinamik Kavitasyon:** Sistem geometrisinin yarattığı hız değişimleri kullanılarak elde edilen basınç değişimleri ile oluşturulur. Örneğin; sistem geometrisine bağlı olarak basıncın ve kinetik enerjinin değişmesi, orifis ya da venturiden geçen akışta olduğu gibi boşlukların oluşmasıyla sonuçlanır [40].
3. **Optik Kavitasyon:** Yüksek yoğunluklu ışınların (lazer) sıvı sürekliliği kesen fotonlarıyla oluşur [40].
4. **Parçacık Kavitasyonu:** Temel parçacık yayılımı tarafından oluşturulur. Örnek olarak; kabarcık odasında olduğu gibi bir nötron yayılımının sıvıyı kesmesi verilebilir [40].

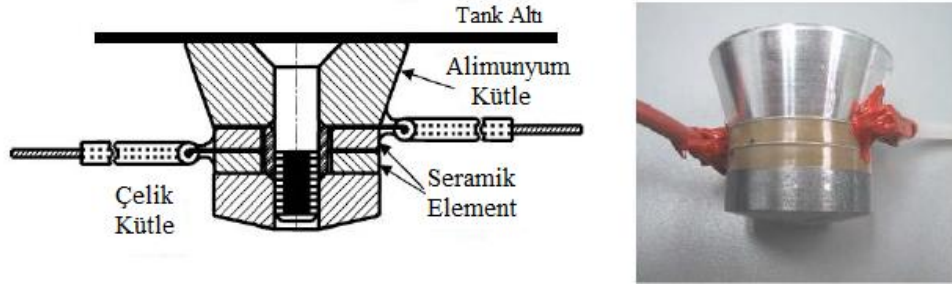
1.5.3.Ultrasonik transduser (Dönüştürücüler)

Su ortamında kavitasyon oluşturmak için kullanılan ultrasonik transduserler elektrik enerjisini mekanik titreşimlere dönüştüren ve tam tersi şekilde mekanik titreşimleri elektriğe çeviren güç dönüştürücüleridir. Transduserin içindeki en önemli aktif element elektrik enerjisini akustik enerjiye, akustik enerjiyi de elektrik enerjisine çevirir. Bu aktif element en basit şekliyle, karşılıklı iki yüzüne elektrot yerleştirilmiş polarize bir malzeme parçasıdır. Polarize malzeme ise bazı molekülleri pozitif yüklü, diğer molekülleri de negatif yüklü olan malzemelerdir.

1.5.3.1. Transduser çeşitleri

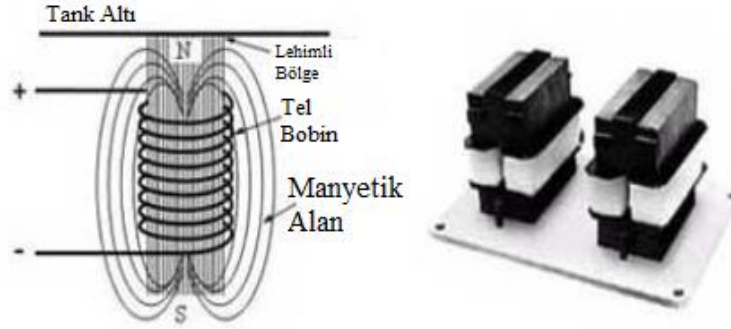
• Çalışma prensibine göre transduserler

1-Piezoelektrik transduser: Malzemeye elektrik alanı uygulandığı zaman, polarize moleküller bu yüke göre kendilerini sıralar. Bu da malzemenin moleküler ya da kristal yapısında uyarılmış ikiz kutuplar oluşmasına neden olur. Moleküllerin sıralanması malzemenin boyutunu değiştirir ve bu olguya da Electrostriction denir. Ayrıca kalıcı olarak polarize edilmiş Quartz (SiO_2) yada baryum titan (BaTiO_3) gibi malzemeler, mekanik bir kuvvet etkisiyle boyut değiştirdiğinde elektrik alanı oluşturur. Bu olgu da Piezoelektrik etki olarak bilinir [40]. Şekli ve yapısı Şekil 1.37.'de gösterilmiştir.



Şekil 1.37. Piezoelektrik transduser [29].

2-Mıknatıs Devresi Transduser: Büyük miktarda nikel ya da diğer manyetik malzeme plakaların etrafına bir tel bobini yerleştirilir ve bobinden akım geçirildiğinde manyetik alan oluşur. Bu manyetik alan da malzemenin daralmasını ve uzamasını sağlar böylece ses dalgası oluşur. Tam tersi şekilde de dışarıdan bir kuvvet uygulandığında manyetik alanda değişimler gözlenir[40]. Şekli ve yapısı Şekil 1.38.'de gösterilmiştir.



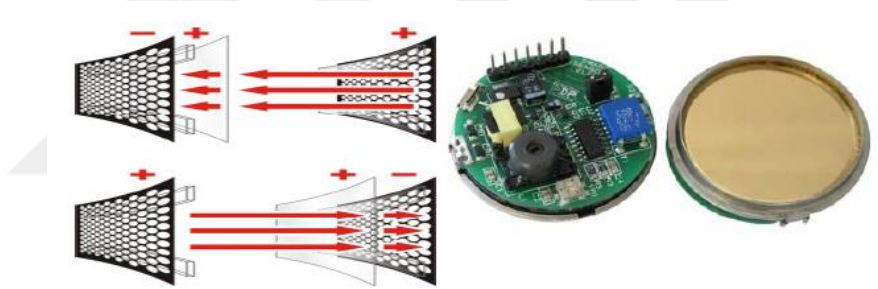
Şekil 1.38. Mıknatıs Devresi transduser [40].

3-Elektromanyetik transduser: Bu transduser mikrofon ve hoparlör zarında da kullanılan katı armatürden yapılır, elektrik ve manyetik alanın birlikte varlığında titreşimler yaratır [40]. Şekli ve yapısı Şekil 1.39.'da gösterilmektedir.



Şekil 1.39. Elektromanyetik transduser [40].

4-Elektrostatik transduser: Özel tasarımı olan bir elektrik kapasitöründe periyodik yük değişimleriyle mekanik titreşimler oluşturur [40]. Şekli ve yapısı Şekil 1.40.'da gösterilmektedir.



Şekil 1.40. Elektrostatik transduser [40].

5-Sıvılı transduser: Sıvının kinetik enerjisi sistemin içindeki hareket edebilir bir parçayı titreştirdiğinde akustik dalgalar oluşturulur [40]. Görünümü Şekil 1.41.'de gösterilmiştir.



Şekil 1.41. Sıvılı transduser [29].

• Kullanım çeşitlerine göre transduserler

1-Temaslı transduser: Temizlenecek yüzeye doğrudan temas ettirilerek kullanılır. Yani yıkama tankının herhangi bir bölgesinin dış yüzeyine monte edilir. Bunun için ısıya dayanıklı yapıştırıcı ya da özel vidalar kullanılır.

2-Daldırılmalı transduser: Sıvı içerisine daldırılarak ses dalgalarının yayılımı sağlanır. Daldırma tipi ve temas tipli transduserlerin en büyük farkı içine konuldukları hazne yani kasalarıdır. Daldırma olanları su geçirmeyecek şekilde özel kalıplara yerleştirilir. Genellikle daldırma tipli transduserler çoklu ve sıralı biçimde bir hazneye monte edilir ve bu kapalı kutu suyun içine yıkama tankının duvarlarına ya da tabanına olmak yerleştirilerek kullanılır. Endüstriyel ultrasonik temizleme banyolarında daha fazla ultrasonik güç gerektiği için bu kullanım oldukça uygundur. Laboratuvar uygulamalarında ise çoğunlukla kalem tipinde olan daldırılmalı ultrasonik transduser tercih edilmektedir.

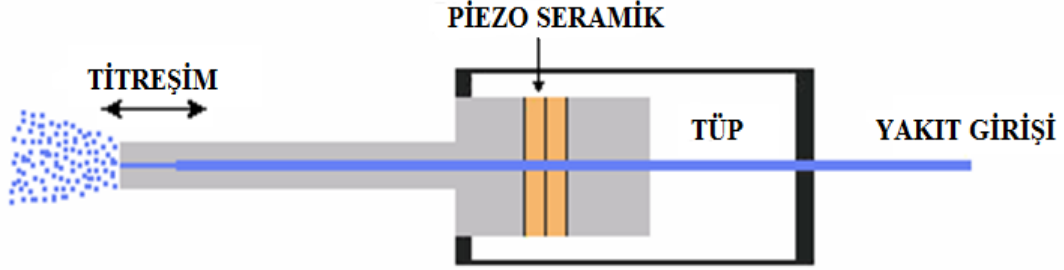
3-Yüksek Yoğunluklu Odaklı Ultrasonik Transduser: Genelde medikal operasyonlarda kullanılan yüksek frekanslı ses dalgalarını bir noktaya odaklayarak ileten cihazdır. Yüksek yoğunluklu odaklı transduserler ise adından da anlaşılacağı gibi ses dalgalarını belirli bir mesafede odaklar. Odaklama mesafesi kullanılan lense göre ayarlanabilir.

Odaklı transduserler çok yüksek mertebelerde enerji açığa çıkarabilirler bu nedenle kullanım sırasında özen gösterilmelidir. Odak noktasına kadar olan bölge içerisine zarar görmesi istenmeyen maddeler yerleştirilmemelidir. Yüksek kavitasyon etkisini odaklaması sayesinde kanser tedavisinde noktasal olarak kanserli doku tahribatında kullanılmaktadır ve Şekil 1.42.'de gösterilmektedir [40].



Şekil 1.42. Odaklı transduser [40].

1.5.4.Ultrasonik püskürtme sistemi



Şekil 1.43. Ultrasonik yakıt sisteminin çalışma prensibi

Şekil 1. 43.'de görüldüğü gibi yakıt, giriş kısmından pompalanır ve tüpün merkezinden geçerek titreşimli uca ulaşır. Yakıt, meme ucu kısmına ulaştığında, ultrasonik titreşimler basınç kullanmadan yakıtı ultra ince partiküllere dönüştürür. Piezo seramik malzeme burada elektrik sinyali mekanik titreşimlere dönüştürmüş olur.

Ultrasonik yakıt sistemleri yüksek frekanslı elektrik sinyali ile beslenen iki elektrot arasındaki iki piezoelektrik dönüştürücünün mekaniksel olarak daralıp genişlemesiyle çalışırlar. Bu hareket yakıt sisteminin atomizasyon parçası olan titanyum uçta ultrasonik titreşimlere neden olur. Bu titreşim enerjisinin bir sonucu olarak meme merkezindeki sıvının merkezinde kılcak dalgalar oluşur. Ultrasonik dalga yoğunlaşarak kritik bir seviyeye ulaştığı zaman sıvının yüzeyinden küçük damlacıklar halinde kopmalar olmaktadır. Ultrasonik yakıt sistemi tasarımı atomizasyon spreylemesinin kolayca kontrol edilmesini sağlar, yapışkan değildir.



Şekil 1.44. Ultrasonik enjektör şeması, Ultrasonik enjektör, Ultrasonik jeneratör.

Bir sıvıyı atomize etmek için basınç ve hızlı harekete dayanan geleneksel püskürtme sisteminin aksine, ultrasonik püskürtme sistemi, atomizasyon için yalnızca düşük ultrasonik titreşim enerjisini kullanır. Sıvı, yerçekimi veya düşük basınçlı taşıma pompası ile püskürtme ağzına getirilerek sürekli veya aralıklı olarak atomize edilebilir. Sıvı atmosfere püskürtme oranı, limitler dâhilinde, yalnızca atomize edici yüzeye iletilen hacim ve frekansa bağlıdır. Bir sıvıyı atomize etmek için kullanılan enjektör ve jeneratörü Şekil 1.44.'te sıvı atomizasyon şekilleride Şekil 1. 45.'te gösterilmiştir.



Şekil 1.45. Ultrasesin farklı yönlendirilmesiyle sıvı atomizasyonları.

1.5.5.Ultrasonik alanında yapılan çalışmalar

Yakıncı Z. D. (2010) yaptığı çalışmada ultrasonik spreyleme MgB_2 süper iletken ince filmlerin üretilmesi ve karakterizasyonu incelemiştir. Ultrasonik spreyleme (nebulizatör) sisteminin temel mantığı yüksek titreşim frekansı kullanılarak sıvı forma (çözelti) getirilmiş malzemelerin mevcut kimyasal bağ yapısını bozarak (kırarak) çok küçük boyutlarda (30-500 nm) sıvı zerrecikler (sıvı bulutu) olarak püskürtmektir, Şekil 1.46.'da görüldüğü gibi. Bu arada nebulizatörden çıkan zerrecikler ortamda hareket ederken (sürücü gaz yardımı ile) birbirleriyle çok sayıda çarpışmalar yaparak şekilsel olarak küresel forma dönüşürler ve sıcak bir ortamdan geçerken de kuruyan nano boyuttaki tozlar ya bir toplanma haznesine düşerler ve burada toplanırlar veya değişik formatta kullanılan altlıklar üzerine değişik sıcaklıklarda düşürülerek ince filmler haline getirilebilirler [47].

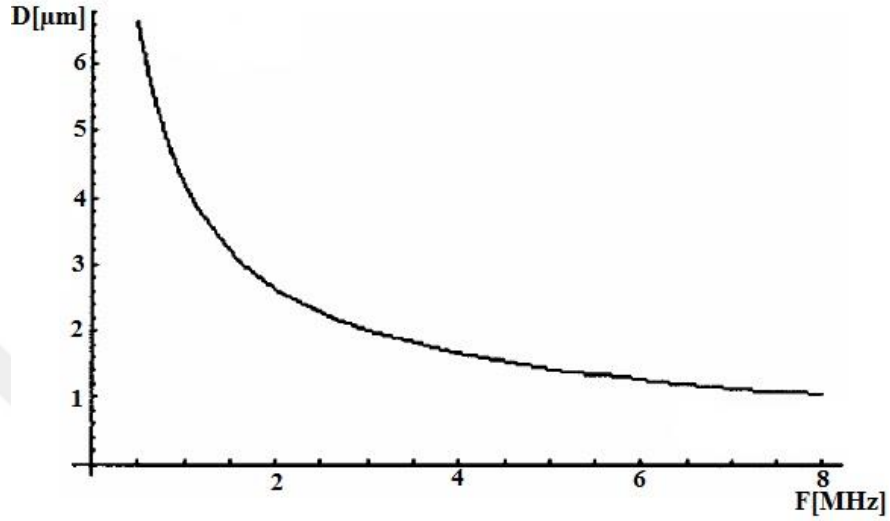


Şekil 1.46. Ultrasonik spreyleme ile oluşan yaş tanecik bulutu

2.4 MHZ ve 100W gücündeki nebulizatör bu malzemelerin bağ yapılarını kırıp nano boyutta tanecikler haline gelmesi için yeterlidir

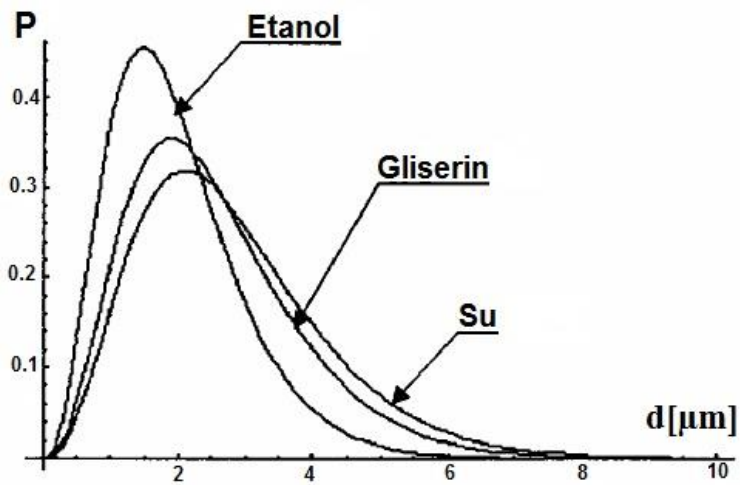
Sonuç olarak ultrasonik spreyleme metodu MgB_2 süper iletken filmlerin üretilmesi için uygun bir yöntem ve bu metot ile üretilen ince filmler de teknolojiye kullanıma uygun olduğunu tespit etmiştir.

Sarkovic D. ve Babovic V. (2002) yaptıkları çalışmada farklı viskoziteye sahip sıvıların (Etanol, Gliserin, Su) ultrasonik piezoelektrik seramik dönüştürücü ile parçalanmalarını incelemiştir.



Şekil 1.47. Frekansa bağlı olarak damlacık boyutunun değişimi

Şekil 1.47.'de görüldüğü gibi frekans arttıkça damlacık boyutunu küçüldüğü gözlenmiştir. Farklı sıvıların sabit frekans değerinde yoğunluk ve yüzey geriliminin bir fonksiyonu olarak damlacık boyutu değişiminin ise Şekil 1.48.' de verilmiştir.

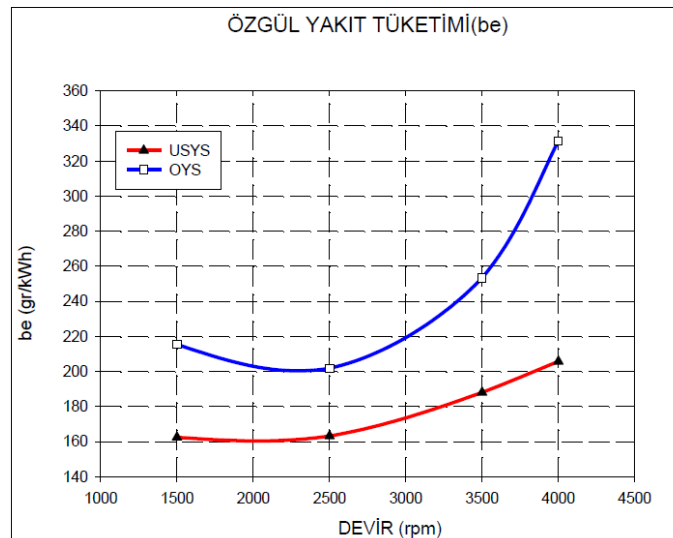


Şekil 1.48. Farklı sıvıların ultrasonik atomizasyonunun karşılaştırılması

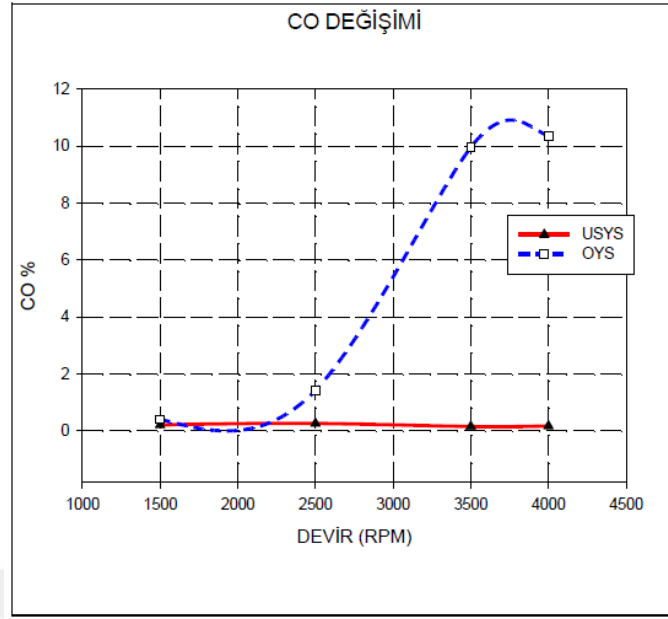
Şekil 1.48. incelendiğinde farklı sıvıların ultrasonik atomizer ile atomizasyonu karşılaştırılmıştır. P ile gösterilen eksen damlacıkların % olarak dağılımını göstermektedir. Ve en güzel parçalanma etanol de gözlenmiştir [48].

Tanyeri B. (2015) Yaptığı çalışmasında içten yanmalı ve karbüratörlü bir motorda ultrasonik atomizer kullanımının motor performans ve egzoz emisyonları üzerine etkisini incelemiştir [41].

Ultrasonik atomizer kullanılan yakıt sistemi (USYS) ile orijinal yakıt sistemiyle (OYS) karşılaştırıldığında Motor Beygir Gücünde aynı performansın yakalandığı görülmektedir. Fakat maksimum beygir gücü devrinin ultrasonik yakıt sisteminde daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Motor torkunda ise bir miktar düşme olduğu gözlenmiştir. Motor performans grafiklerinin trendleri incelendiğinde ise orijinal yakıt sistemine sahip motorun motor gücü artış hızlarının daha yüksek olduğu göze çarpmaktadır. Aynı zamanda dağılan güç maksimum değerinin orijinal yakıt sistemine sahip motor için daha düşük bir değerde maksimuma ulaştığı görülmektedir. Yani, grafik çizgilerinin eğim açıları, maksimum motor gücü devrinin orijinal yakıt sistemine göre yüksek olması ve dağılan güç maksimum değerinin orijinal yakıt sistemine göre düşük olması, aracın hızlanma ivmesinin ve maksimum çıkılabilen hızın ultrasonik yakıt sistemine sahip motorda düşük olduğunu göstermektedir. Özgül yakıt tüketimi Şekil 1.49.' de görüldüğü gibi düşüş gözlenmiştir.

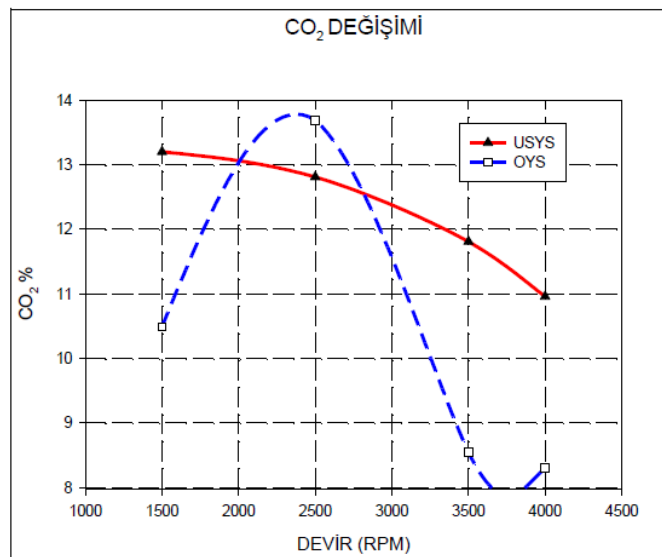


Şekil 1.49. OYS ve USYS'e ait özgül yakıt tüketimi değişimi



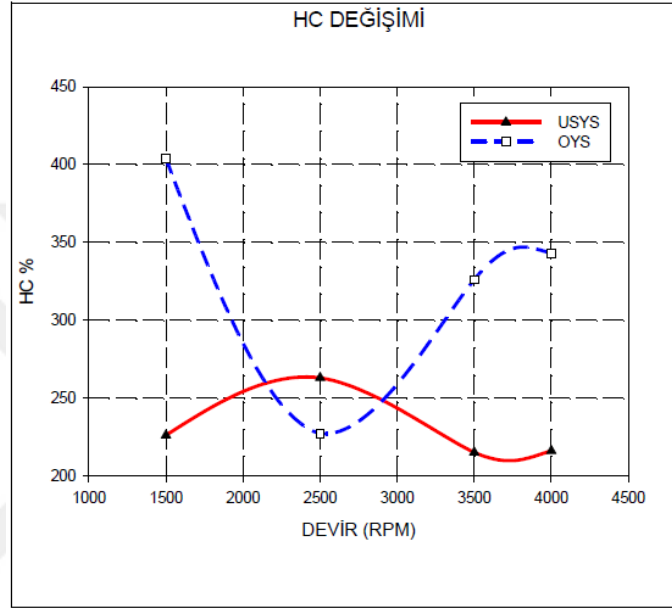
Şekil 1.50 OYS ve USYS' e sahip motorlarda CO emisyonlarının değişimi

Şekil 1.50 incelendiğinde egzoz emisyonları içerisinde eksik yanma ürünü olarak ortaya çıkan CO emisyonlarının değişim trendleri görülmektedir. OYS' e sahip motorun CO emisyon değişiminin düşük devirlerde az olduğu devrin artması ile beraber arttığı görülmüştür. USYS' e sahip motorda ise CO değişiminin tüm devir aralıklarında hemen hemen minimum değerde ve devirle dikkate değer bir değişim göstermediği görülmektedir.



Şekil 1.51 OYS ve USYS' e sahip motorlarda CO₂ emisyonlarının değişimi

Şekil 1.51 incelendiğinde OYS'e sahip motorun CO₂ emisyonlarının düşük devirlerde %10,5 seviyelerinde olduğu, artan devir ile birlikte artmaya başladığı ve 2500 devir civarında maksimuma ulaştığı ve sonra düştüğü görülmektedir. USYS'e sahip motorda ise düşük devirlerde CO₂ salınımının % 13 seviyelerinde olduğu devir artıkça az bir düşüşle %11 seviyelerine indiği görülmektedir.



Şekil 1.52 OYS ve USYS'e sahip motorlarda HC emisyonlarının değişimi

Şekil 1.52 incelendiğinde OYS'e sahip motorun HC emisyonu değerlerinde devre bağlı ciddi bir değişim görülmektedir. 2500 dak⁻¹ motor devri ve stokiyometrik karışım oranı civarında HC emisyonları çok düşmekte, farklı devir ve karışım oranlarında aşırı artmaktadır. USYS'e sahip motorda değişim miktarının daha az olduğu görülmektedir. USYS'e sahip motorda yakıtın damlacıklar halinde olması buharlaşma hızını arttırdığı için yanma reaksiyonu dışında kalan HC moleküllerinin miktarının düşük çıktığı söylenebilir. USYS kullanılan motorda devir sayısının değişimi ile HC emisyonlarında aşırı bir değişim olmadığı ve OYS kullanılan motordan daha düşük HC emisyonu ürettiği görülmektedir. USYS kullanılan motorda yanmanın, motor devrinin değişmesinden çok fazla etkilenmediği ileri sürülebilir. HC değerlerinin düşük çıkması motor performansını olumlu etkilemesinin yanında yakıt ekonomisi de sağlamaktadır. Özgül yakıt tüketiminin düşük olması bunun bir göstergesi olarak sunulabilir [41].

2.MATERYAL VE METOT

2.1.Materyal

2.1.1 Deney motoru ve su pompası

Yapılan bu çalışmada Kama By Reis KGP20 marka karbüratörlü tek silindirli benzinli motor kullanılmıştır. Kama By Reis KGP20 marka motorun resmi Şekil 2.1.'de teknik özellikleri ise Tablo 2.1.'de verilmiştir. Motoru yüklemek için kullanılan su pompası deney motoruyla birlikte alınmıştır. Teknik özellikleri Tablo 2.2.'de verilmiştir.



Şekil 2.1. Kama By Reis KGP20 motor

Tablo 2.1. Kama By Reis KGP20 marka motorun teknik özellikleri

Motor Tipi	4 Zamanlı tek silindirli karbüratörlü benzin motoru
Çap X Strok	68 x 45 mm
Silindir Hacmi	163 cm ³
Sıkıştırma Oranı	9.0 : 1
Net güç	3.6 kW (4.8HP) / 3600 rpm
Max. Net Tork	10.3 Nm / 1.05 kgfm / 2500 rpm
Ateşleme Sistemi	Manyetik ateşleme
Çalışm Şekli	Marş motoru /el ile
Yakıt deposu kapasitesi	3.1 lt.
Yakıt tüketimi	1.4 L/H
Yağ Kapasitesi	0.6 lt.
Boyutlar(L x W x H)	312 x 362 x 346 mm
Motor Gücü	5.5 HP
Ağırlık	24 kg
Yakıt Tipi	Kurşunsuz Benzin

Tablo 2.2. Su pompasının teknik özellikleri

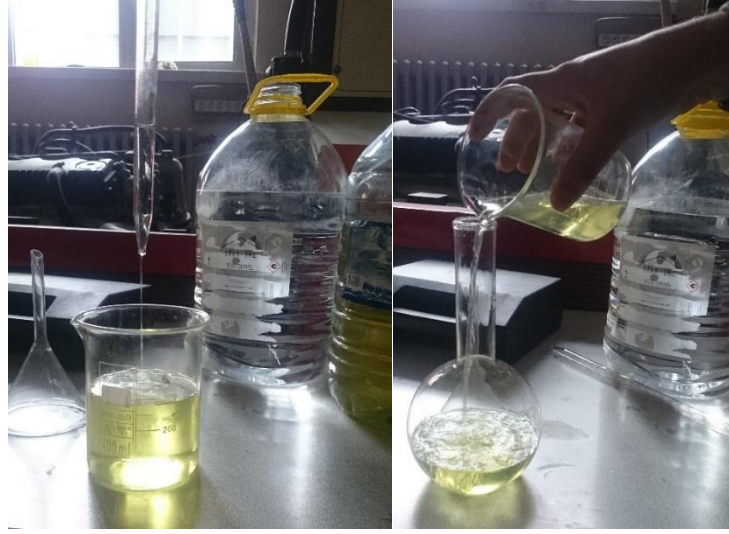
Giriş çıkış çapı	50 mm
Maksimum emme derinliği	8 m
Maksimum basma yüksekliği	26 m
Maksimum debi	22 saat/ton

2.1.2 Deney yakıtları

Deneyisel çalışmalarda opet firmasından alınan kurşunsuz 95 oktan benzin ve Starfire marka mısırdan üretilen biyoetanol kullanılmıştır. Çalışmalarda dört farklı yakıt karışımı hazırlanmıştır. Birinci olarak BE0 (%100benzin + %0 Biyoetanol), sonra BE5, (%95 benzin + %5 Biyoetanol) BE10 (%90 benzin + %10 Biyoetanol) ve BE20 (% 80 benzin + %20 Biyoetanol) hazırlanıp deney motorunda kullanılmıştır. Çalışmalarda kullanılan benzinin Tablo 2.3.'de ve biyoetanolün kimyasal özellikleri de Tablo 2.4.'de verilmiştir. Karışım hazırlanırken, hassas ölçüm alınmaya dikkat edilmiştir (Şekil 2.2.).

Tablo 2.3. Kurşunsuz benzin 95 oktan ürün spesifikasyonu

ÖZELLİK	BİRİM	DEĞER	SINIR	DENEY YÖNTEMİ
Görünüş		Berrak ve Parlak		Gözle muayene
Bakır şerit korozyonu (3 saat 50 °C' ta)	Derece	Derece 1		TS 2741 EN ISO 2160
Yoğunluk(15 °C' ta)	kg/m³	720-775		TS 1013 EN ISO 3675 TS EN ISO 12185
Damıtma				EN ISO 3405
70°C' ta buharlaşma yüzdesi	% (V/V)			
Yaz(a)		20-48		
Kış(b)		22-50		
100°C' ta buharlaşma yüzdesi	% (V/V)	46-71		
150°C' ta buharlaşma yüzdesi	% (V/V)	75	En az	
Son kaynama noktası	°C	210	En çok	
Damıtma kalıntısı	% (V/V)	2	En çok	
Mevcut gum(çözücü ile yıkanmış)	mg/100 mL	5	En çok	TS EN ISO 6246
Oksidasyon kararlılığı	Dakika	360	En az	TS 2646 EN ISO 7536
Araştırma Oktan Sayısı, RON (c)		95,0	En az	TS EN ISO 5164
Motor Oktan Sayısı, MON (c)		85,0	En az	TS EN ISO 5163
Kurşun	mg/L	5	En çok	TS EN 237
Kükürt	mg/kg	10	En çok	TS EN ISO 20846 TS EN ISO 20884
Mangan İçeriği	mg/L	2,0	En çok	EN 16135 EN 16136
Buhar Basıncı (VP)	kPa			TS EN 13016-1(d)
Yaz(a) *		45-60		
Kış(b)		60-90		
Buhar Kilitlenme İndisi(VLI)**				
Yaz-Kış geçiş dönemi	İndis	1150	En çok	
Benzen	% (V/V)	1,0	En çok	TS 7088 EN 238 TS EN 12177 TS EN 22854
Olefinler Aromatikler	% (V/V)	18,0 35,0	En çok	TS EN 22854 TS EN 15553
Oksijen	% (m/m)	2,7	En çok	TS 11413 EN 1601 TS EN 13132 TS EN 22854
İzopropil alkol İzobütil alkol Tersiyer - bütıl alkol Eterler (5 yada daha fazla C atomlu) Diğer oksijenli bileşikler	% (V/V)	Harmanlama miktarı, oksijen içeriği en çok %2,7 (m/m) olacak şekilde sınırlandırılmıştır.		EN 1601 TS EN 13132 TS EN 22854
Metanol	% (V/V)	3,0	En çok	EN 1601 TS EN 13132 TS EN 22854
Etanol	% (V/V)	5,0	En çok	EN 1601 TS EN 13132 TS EN 22854



Şekil 2.2. Benzine biyoetanol eklenmesi

Tablo 2.4. Biyoetanolün kimyasal özellikleri

Kimyasal Denklemi	C_2H_5OH
Saflık	%96
Özgöl ağırlığı Sıvı (kg/dm^3)	0.79
Isıl Değeri(Mj/kg)	26.9
Kaynama Noktası $^{\circ}C$	78.7
Tutuşma Sıcaklığı $^{\circ}C$	423
Araştırma Oktan Numarası	106-108
Donma Noktası $^{\circ}C$	-117.1
Buharlaşma Basıncı (kPa $38^{\circ}C$)	15,9
Kinematik Vizkozite (mm^2/s , $40^{\circ}C$)	1,19
Vizkozite (mPa s, $20^{\circ}C$)	1,52

2.1.3.Takometre cihazı

Motorda 1500 (Rölanti), 1700, 2000, 2300, 2500, 2700 ve 3000 devirlerde çalışılmıştır. Deviri belirlemek için **Mechaopto 9803.001** marka dijital takometre kullanılmıştır. Cihazın teknik özellikleri Tablo 2.5.'de görüntüsü de Şekil 2.3.'te verilmiştir.



Şekil 2.3. Mechaopto 9803.001 marka dijital takometre

Tablo 2.5. Mechaopto 9803.001 marka dijital takometre teknik özellikleri

Okuma	5 haneli ultra parlak led ekran
Doğruluk	1 den 999,9 rpm ye kadar $\pm 0,1$ 1000 den 100000 rpm ye kadar $\pm 0,005$
Güç kaynağı	4 AA 1,5 volt pil
Çalışma sıcaklığı	0-45 °C
Boyutları	180 x 60 mm
Ağırlığı	0.4 kg
Yansıma aralığı	20-300 mm
Ölçüm aralığı(optik)	2 -100000 rpm
Ölçüm aralığı (temaslı)	0.2-30000 rpm
Ölçme süresi(temaslı)	1 sn
Ölçme süresi(optik)	1 sn

2.1.4. Egzoz gaz analiz cihazı

Kullanılan bütün yakıtlar için egzoz gazlarındaki CO, CO₂, HC, O₂ ve NO_x değerlerinin ölçülmesi amacıyla bir adet egzoz gaz analiz cihazı kullanılmıştır. Çalışmalarda **Bosch BAE 350** marka egzoz analiz cihazı kullanılmıştır. Hem dizel motor egzoz emisyonu hem de benzinli motor egzoz emisyonu analizlerini hassas bir şekilde ölçebilmektedir. Cihazın benzin ölçüm modunda ölçebildiği emisyonlar ve hassalık derecesi Tablo 2.6.'da görüntüsü de Şekil 2.4.'te verilmiştir.



Şekil 53. Bosch BEA 350 egzoz emisyon analiz cihazı

Tablo 2.6. 8 Bosch BAE 350 Benzin modu emisyon değerleri ve hassasiyeti

Emisyon	Ölçüm Aralığı	Hasasslık
CO	0.000–10.00 %vol	0.001%vol
CO ₂	0.00–18.00 %vol	0.01 %vol
HC	0–9.999 ppm vol	1 ppm vol
O ₂	0.00–22.00 %vol	0.01 %vol
λ	0.500–9.999	0.001
NO	0–5000 ppm vol	<=1 ppm vol

2.1.5. Ultrasonik yakıt sistemi ve elemanları

2.1.5.1. Piezoelektrik seramik sensör

Piezo elektrik etkisi, iletken olmayan billurdan yontulmuş bir levhaya belli bir doğrultuda uygulanan bir baskı (çekme ya da sıkıştırma) sonunda, billur levhanın iki yüzünde ters işaretli yüklerin (+q ve -q) ortaya çıkmasıyla nitelendirilen olaydır. Bu olayın terside mümkündür söz konusu iki yüzeyin her biri üstüne +q ve -q yükleri veya bu yüzeyler arasına bir potansiyel farkı uygulanırsa, levhanın belirli bir doğrultuda genişlediği ya da kasıldığı gözlenir. Sonuç olarak bir titreşimin elde edilmesini sağlar [41].

Sistmede, Şekil 2.5.'te görüldüğü gibi iki adet piezoseramik sensör kullanılmıştır. Kullanılan piezoelektrik seramik sensörlerin teknik özellikleri Tablo 2.7.'de verilmiştir.



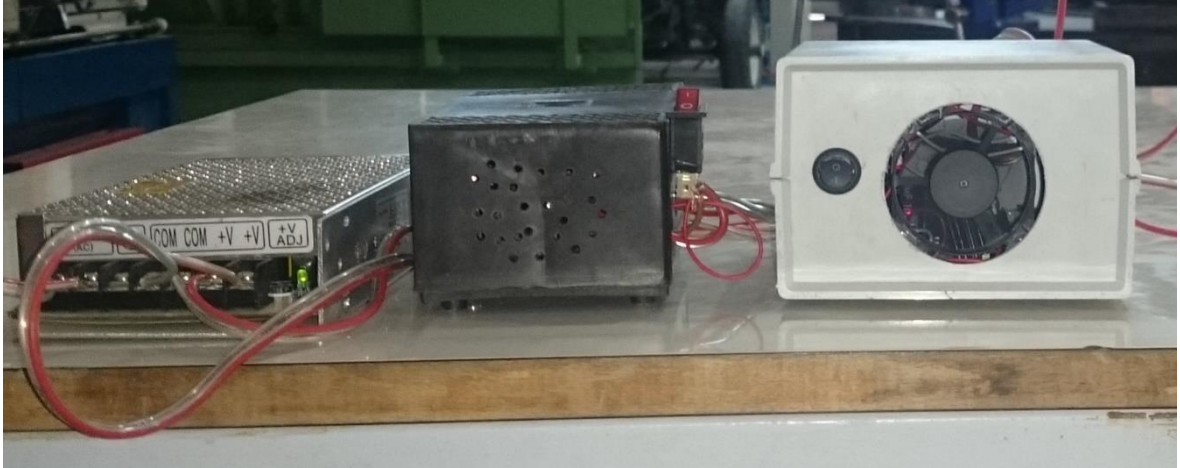
Şekil 2.5. Piezoelektrik Seramik Sensör.

Tablo 2.7. Piezoelektrik seramiğin özellikleri

Bileşenleri	Kurşun Zirkonat Titanat (PZT)
Giriş Voltajı(Max)(V)	48±10%
Güç Tüketimi (W)	30 ± 5
Ultrasonik Frekans (kHz)	1600-1750
Harici Potansiyometre (kΩ)	5
Sıvı Sıcaklığı (°C)	0-45
Transduser Ömrü (h)	10000
Paralel Bağlantılı Çalışmalar	Uygun

2.1.5.2.Ultrasonik jeneratör

Deney düzenğinde bir adet adaptör (220V’u 12V’a indergeyen) iki adet jeneratör (her bir piezoelektrik seramik sensör için bir adet) kullanılmış ve Şekil 2.6.’da gösterilmiştir.

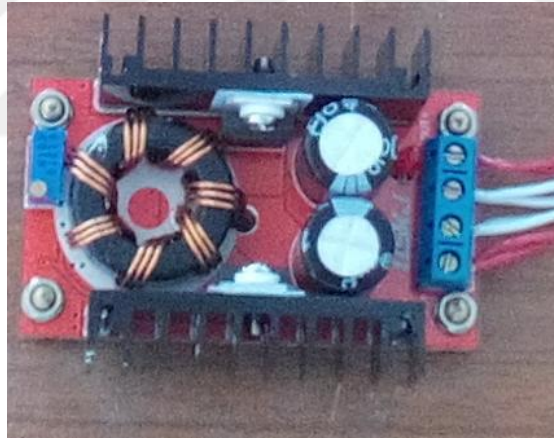


Şekil 2.6. Adaptör, 1. Jeneratör ve 2. Jeneratör

- Jeneratör devreleri;

Yükselteç devresi (boost tipi dc-dc konvertör)

Ultrasonik atomizasyonda kullanılan piezoelektrik sensörün maksimum çalışma gerilimi 40V tur. Bu nedenle atomizasyonun sağlanabilmesi için franks devresini besleyen gerilimin 20V-40V aralığında olması gerekmektedir. Yükselteç devresi, rölelerin sürülmesi ile üzerine gelen 5V DC gerilimi 5V ile 40V aralığında ayarlama vidası yardımıyla değiştirebilmektedir. Üzerinde giriş çıkış soketleri, giriş kondansatörleri, bobin, ayarlı direnç, transistör ile kanatçıklı soğutucuları ve çıkış gerilimini belirleyen mikro işlemciler bulunmaktadır. Yapılan bu çalışmada frekans devresinin besleme gerilimi 40 V olarak ayarlanamıştır. Her bir jeneratör için ayrı bir yükselteç devresi kullanılmıştır. Şekil 2.7.'de yükselteç devresi gösterilmiştir.

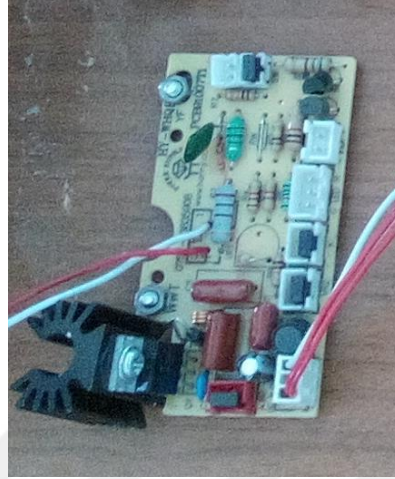


Şekil 2.7. Yükselteç devresi

Frekans Devresi

Yapılan çalışmada kullanılan piezoelektrik sensör seçimi yapılırken en çok sayıda damlacık oluşturabilen en yüksek frekanslı piezoelektrik seramik seçilmiştir. Yani oluşturulan frekans 1.6 MHz mertebesinde. Frekans devresi sistemin en önemli elemanlarından birisidir. Bir piezoelektrik seramik olan sensörün moleküler düzeyde mekanik olarak titreşmesini sağlayacak frekansın üretildiği devredir. Üzerinde yükselteç

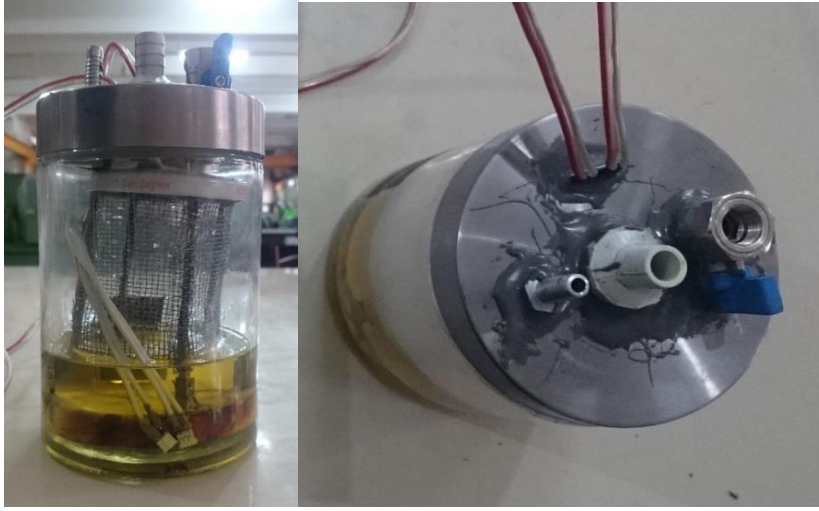
devresinden gelen gerilimin girişi için soket, gerekli devre elemanları ve frekans olarak çıkış bulunmaktadır. Frekans çıkış kabloları direkt piezoelektrik seramiğe bağlıdır. Şekil 2.8.'de frekans devresi gösterilmiştir.



Şekil 54. Frekans Devresi

2.1.5.3. Yakıt deposu

Deney düzeneğinde piezoelektrik seramik sensörlerin yerleştirildiği, yakıtın parçalanıp motora gönderildiği kısımdır ve özel olarak tasarlanmıştır. Taban kısmına bir yüzeye sabitlenmiş piezoelektrik seramik sensörler, orta kısımda parçalanan sıvı yakıtların direkt motorun yanma odasına çekilmemesi için süzgeç ve kapak kısmında da piezoelektrik seramik sensörlerin soket kısımları, yakıt için bir hortum girişi, hava yakıt oranını ayarlamak için bir ayar vanası ve motora bağlamak için bir çıkış yapılmıştır. Şekil 2.9.'da gösterilmiştir.



Şekil 2.9. Ultrasonik yakıt deposu

2.1.6. Enjeksiyon sistemi ve elemanları

Deney motorunu enjeksiyonlu sistemine dönüştürmek için, Howdytubor marka tek silindirli motorlar için üretilen enjektör kiti tedarik edilmiştir. Motordan karbüratörün takılı olduğu kısım sökülerek yerine enjektör sistemi takılmıştır. Şekil 2.10.'da sistemin tüm parçaları gösterilmiştir.



Şekil 2.10. Enjeksiyon değişim sisteminin parçaları

2.1.6.1 Gaz kelebeği gövdesi

Gaz kelebeği gövdesi, motordan sökülen karbüratörün yerine monte edilir, üzerine hava filitresi, enjektör ve entegre sensör (TPS, MAP, MAT) takılır. Birçok açıdan görünüşü Şekil 1.11.'de verilmiştir.



Şekil 2.11. Gaz kelebeği gövdesi

2.1.6.2. Yakıt pompası

Yakıtın basıncını yükseltmek için kullanılmıştır ve 3 barlık basınç oluşturmaktadır. Kendi üzerinde regülatör kısmında bulunmaktadır. (Şekil 2.12.)



Şekil 2.12. Yakıt pompası

2.1.6.3 Enjektör

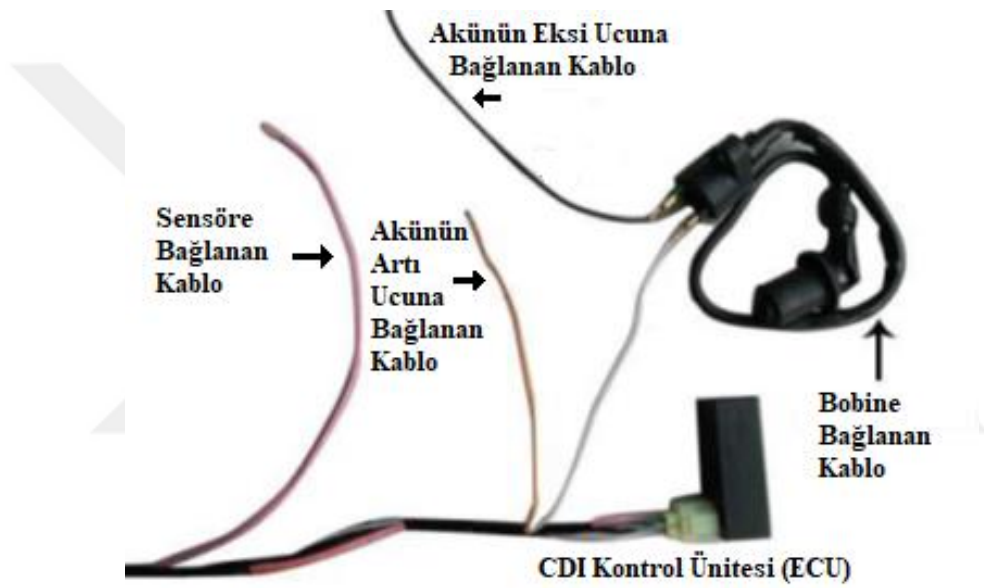
Motorlarda yakıt atomizasyonunu sağlamak için, emme manifolduna yakıt püskürtme eylemini gerçekleştiren mekanizmalardır. Şekil 2.13.'te gösterilmiştir.



Şekil 2.13. Enjektör

2.1.6.4. Elektronik Ateşleme Sistemi (CDI)

Elektronik ateşleme sistemi içerisinde ateşleyici ünite, primer ve sekonder sargılar ve direkt bujiye bağlanabilen, buji kablosu görevi yapan başlık vardır. ECU motorun o anki çalışma koşullarına göre en uygun ateşleme avansını belirleyerek, bobinin primer devre akımını keser ve bobinin pirimer devresinde yüksek gerilimin oluşmasını sağlar. Ateşlemenin zamanlaması volan üzerinde bulunan manyetik sensör üzerinden alınır. Şekil 2.14.'te gösterilmiştir.



Şekil 2.14. Elektronik ateşleme sistemi (CDI)

2.1.6.5. Sensörler

Sistemde oksijen sensörü ve MAP sensörü kullanılmıştır. Map (Mutlak basınç) sensörü gaz kelebeği gövdesine takılır. Emme manifoldundaki basıncı ölçerek ECU'ya gönderir. Bu verile sonucunda ECU tarafından ateşleme avansı ve yakıt enjeksiyon miktarı ayarlanmış olur. Oksijen sensörü egzoz üzerine takılır, çıkan egzoz gazları içerisindeki oksijen miktarını belirler ve ECU'ya gönderir. ECU'da bu değere göre hava yakıt oranını belirler. Pickup sensörü (Manyetik devir sensörü) volanın hareketiyle oluşan manyetik alan değişimini algılar ve devri belirleyerek ECU'ya bildirir. Sensörler Şekil 2.15.'te gösterilmiştir.



Şekil 2.15. Sırasıyla Map sensörü, Oksijen sensörü, Pickup sensörü

2.1.6.6.Eletronik kontrol sistemi (ECU)

Motorun püskürtükmesi gereken yakıt miktarını ve ateşlem zamanını ECU belirler. Bu zamanlamayı mükemmel hale getirmek için motordan gelen tüm sinyalleri yazılımla değiştirilebilir. Şekil 2.16.'da ECU'nun fotoğrafı gösterilmektedir.



Şekil 2.16. Elektronik kontrol ünitesi (ECU)

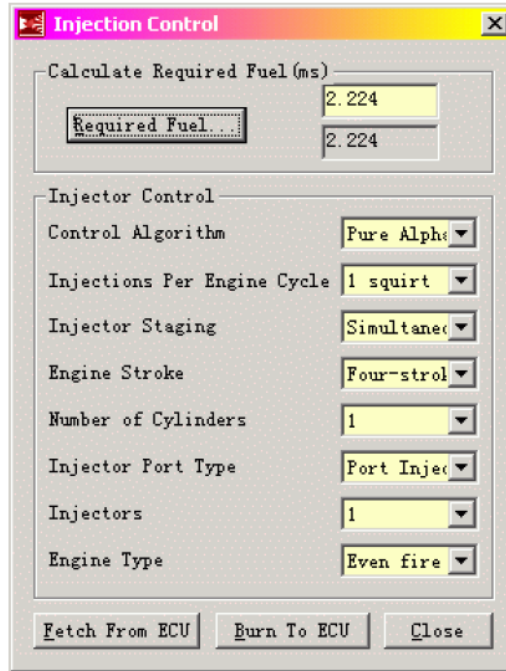
Enjektör sistemini kendi motorumuza uygun hale getirmek ve ECU'ya müdahale etmek için sistemle birlikte EFITune 2.25 ara yazılım programıda alınmıştır. EFITune 2.25 programı arayüzünün ekran görüntüsü Şekil 2.17.'de verilmiştir.

EFITune 2.25 ara yüzü yazılımı ile ECU'ya müdahale edilebilmektedir. EFITune, tüm kurulum verileri dosyaları (.msq dosyaları) ve verimlilik tablosu dosyaları (.vex) dâhil olmak üzere ECU'nun kurulum veri dosyalarını kaydedebilir ve geri yükleyebilir.



Şekil 2.17. EFITune 2.25 programının ara yüzü

EFITune 2.25 ile motorda devir, gaz keleşbeği konumu, soğutma suyu sıcaklığı, manifold havası sıcaklığı, enjektör voltajı, ateşleme avansı, emme manifold basıncı, hava yakıt oranı gibi birçok parametre ölçülebilmektedir ve bu değerler değiştirilebilir. Şekil 2.18. 'de enjektör kontrol menüsünün ekran görüntüsü verilmiştir.



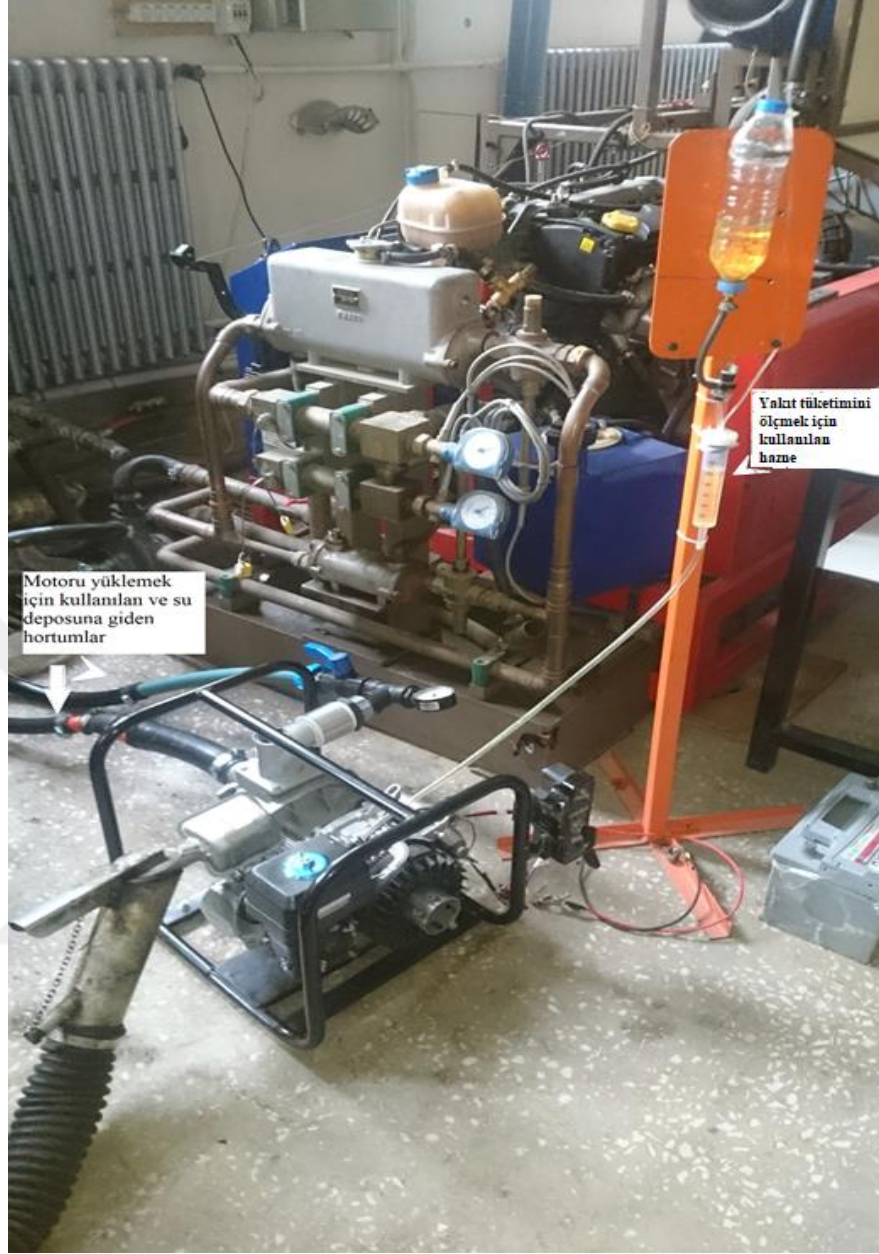
Şekil 2.18. Enjektör kontrol menüsü

2.2 Metot

Yapılan bu çalışmada **Kama By Reis KGP20** marka tek silindirli benzinli motor, deney yakıtı olarak da BE0, BE5, BE10 ve BE20 yakıtları kullanılmıştır. Çalışmalar üç aşamada gerçekleştirilmiştir. Öncelikle deney motorunu yüklemek için motora su pompası bağlanmıştır. Motora bağlanan su pompası, motor seviyesindeki su deposundan çektiği suyu 3,5 m yüksekliğindeki su deposuna basmaktadır. Bu sayede motorun kısmi yük altında çalışması sağlanmıştır. Kullanılan üç farklı yakıt sisteminde de sistem sökülmeden aynı yük altında çalışılmıştır.

İlk aşamada motorda hiç bir değişiklik yapılmadan (karbüratörlü haliyle) benzin ve benzine belli yüzdelerde biyoetanol (%96 saflıkta) eklenerek elde edilen karışımların kısmi yük altındaki yakıt tüketimleri ve egzoz emisyon sonuçları ölçülmüştür. Şekil 2. 19.'da ilk aşamanın deney düzeneği gösterilmiştir.

Çalışma prensibi; Karbüratörler, hava filtresinden gelen temiz havayı vakumlayarak içeri çekerler, giren hava miktarını gaz pedalına bağlı olarak çalışan gaz kelebeği belirler. Gaz kelebeği ne kadar açıksa, o kadar çok hava girer ve motor devri o oranda artar. Karbüratörün boğazından (girişinden) geçen hava, karbüratör ventürisinden geçer, ventüri daralan bir boğaz yapısındadır, daralan boğazdan geçerken havanın hızı artar ve basıncı azalır. Hızı artan ve basıncı azalan havanın içerisine, karbüratörün yakıt jetinden benzin püskürtülür, püskürtülen bu benzin hızla geçen hava sayesinde küçük zerrecikler halini alır ve hava ile karışarak, önce karbüratör gaz kelebeğinden geçer, sonra emme manifolduna, buradan da emme subaplarının açılmasıyla yanma odasına gönderilir, burada yanan hava yakıt karışımı motorun çalışmasını sağlar.



Şekil 2.19. Karbüratör yakıt sisteminin deney düzeneği

İkinci aşamada benzin yakıtının, yanma verimini yükselterek, yakıt tasarrufu sağlamak ve egzoz emisyonlarını azaltmak için ultrasonik atomizasyon yöntemi kullanılmıştır. Benzinin atomizasyonunu sağlayabilmek için bir ultrasonik ses üretici tasarlanmıştır, tasarlanan sistem motora monte edilmiş ve aynı yük altında aynı yakıtlar kullanılarak yakıt tüketimi ve egzoz emisyonları ölçülmüştür.

Ultrasonik Ses Üreticinin Çalışma Prensibi; Adaptörden gelen 12 V' luk gerilim yükselteç devresinin giriş soketine gelir ve devreye giriş yapar. Yükselteç devresinde

gerilim önceden ayarlanmış 40 V'a çıkarılarak frekans devresine gönderilir. Frekans devresine gelen 40 V' luk gerilim 1,6 MHz lik frekansa çevrilerek AC dalga şeklinde piezoelektrik sermaik olan tranduser üzerine gönderilir. Böylelikle tranduser üzerinde mekanik titreşimler oluşturularak ultrasonik ses üretilmiş olur. Yakıtın içerisine daldırılmış olan transducerlerden çıkan ses dalgaları yakıtın içerisinden geçerken sıvı yüzeyinde parçalanmalar başlar ve yakıt ultrasonik kavitasyona uğrayarak atomize edilir. Şekil 2.20.'de yakıtın ultrasonik atomizasyon başlamadan önce ve başladıktan sonraki görüntüsü gösterilmektedir.



Şekil 2.20. 55 Ultrasonik atomizasyonun başlamadan önce ve başladıktan sonraki görüntüsü

Ultrasonik yakıt sistemi dönüşümü yapılırken karbüratörlü sistemin karbüratör çanağı ve yakıtın geçtiği iğne sökül müştür, yerine ultrasonik atomizasyonun yapıldığı yakıt deposu bir hortum ve vana ile bağlanmıştır.

Motorun hava filitresi sökülerek yerine vana takılmıştır. Motorun hava yakıt oranları bu vanalar yardımıyla ayarlanmaktadır. Şekil 2.21.'de vanalar gösterilmiştir.



Şekil 2.21. Motora takılan vanalar ve takıldığı yerleri

Ultrasonik yakıt sistemi dönüşümü tamamlanmış ve Şekil 2.22.'de gösterilmiştir. Ultrasonik yakıt sisteminde parçalanan yakıt vakum etkisiyle çekilmekte ve emme manifoldunda hava ile karıştırılarak pistonu gönderilmektedir.



Şekil 2.22 Ultrasonik yakıt sisteminin deney düzeneği

Üçüncü aşama da ise motorun karbüratör kısmı tamamen sökülmüş yerine tedarik edilen enjektör kiti takılmıştır ve Şekil 2.23.'te gösterilmiştir.

Motor enjektörlü hale dönüştürüldükten sonra aynı yük altında ve aynı yakıtlar kullanılarak yakıt tüketimi ve egzoz emisyonları ölçülmüştür. Ölçülen sonuçlar grafik haline getirilip literatür ışığında yorumlanmıştır.

Çalışma prensibi; ECU'dan gelen veriler doğrultusunda enjektör, emme zamanında 3 bar'lık bir basınç ile emme manifolduna yakıtı püskürtmektedir. Atomize olmuş yakıt emme manifoldunda hava ile karışarak silindirlerin içerisine çekilir. Elektronik ateşleme sistemi (CDI) tarafından ateşleme avansı hesaplanarak ateşleme yapılır.

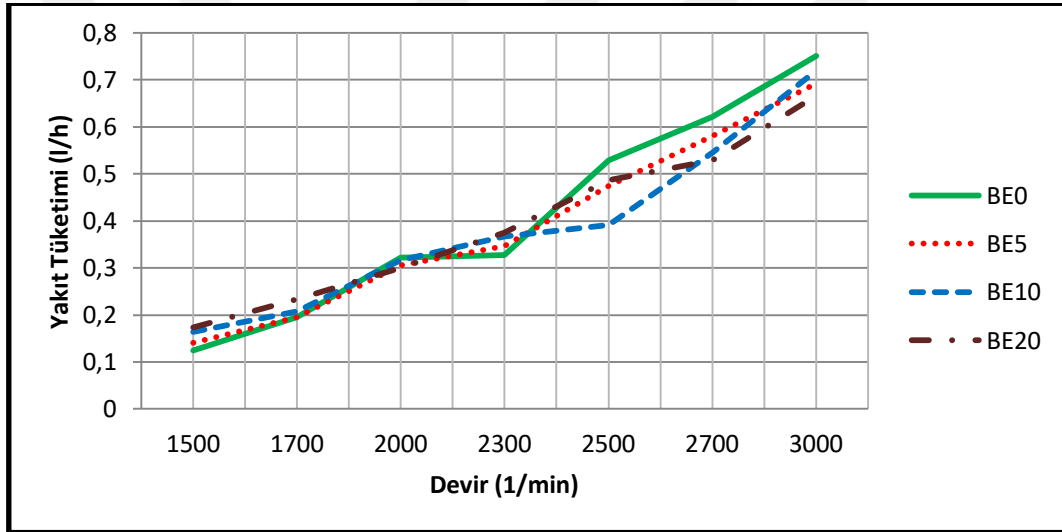


Şekil 2.23. Enjektörlü yakıt sisteminin deney düzeneği

3. BULGULAR

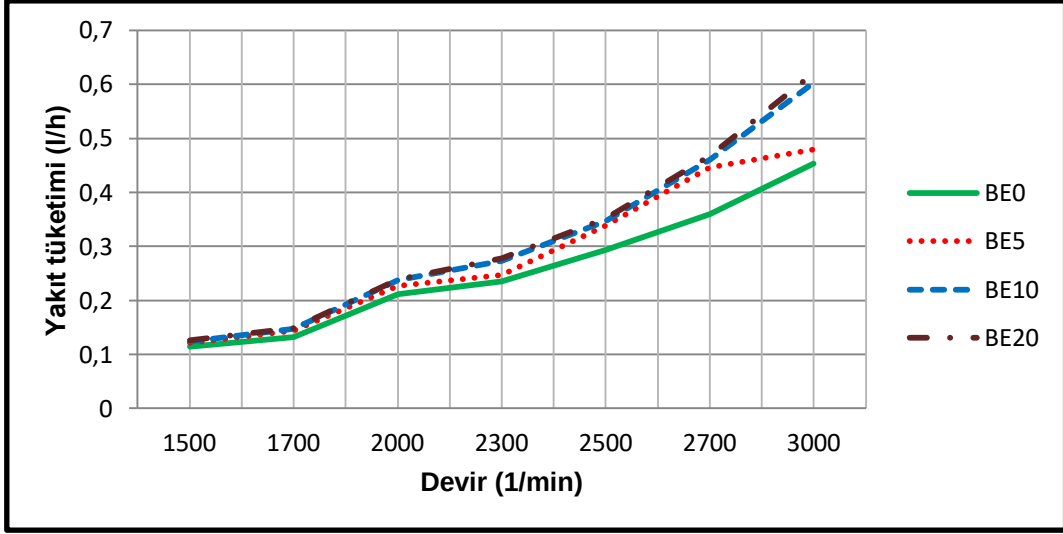
3.1. Saatlik Yakıt Tüketimleri

Çalışmada, farklı yakıt karışımları (BE0, BE5, BE10, BE20) üç farklı yakıt sisteminde kullanılmıştır. İlk aşamada karbüratörlü yakıt sisteminde kullanılmıştır. İkinci olarak ultrasonik yakıt sisteminde ve enson olarakta enjeksiyon sisteminde kullanılarak deneyler tamamlanmıştır. Ölçülen yakıt tüketimleri ve egzoz emisyon sonuçları grafik haline getirilerek yorumlanmıştır.



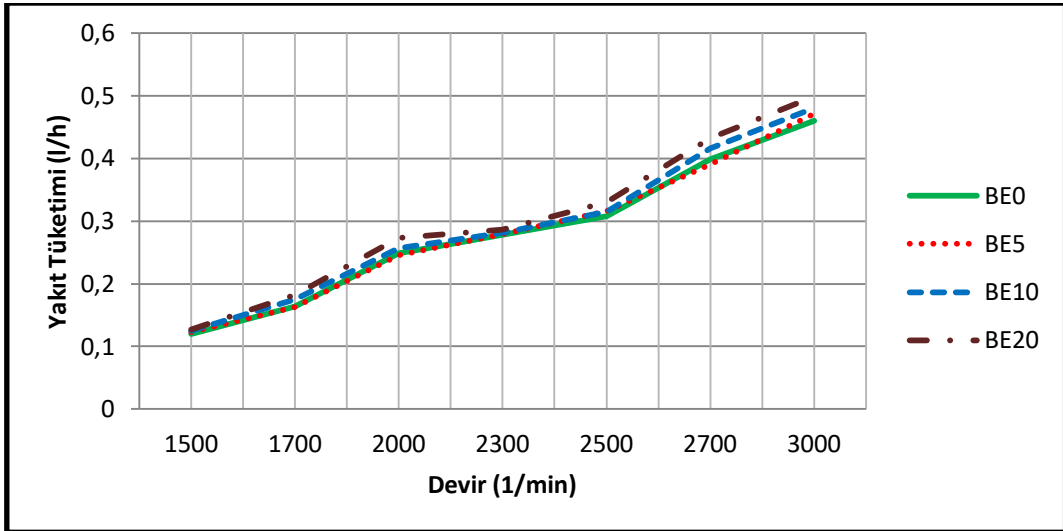
Şekil 3.1. Karbüratörlü yakıt sisteminde biyoetanol -benzin karışımı yakıtlarının devire göre saatlik yakıt tüketim değişimleri

Şekil 3.1.' de görüldüğü gibi karbüratörlü sistemde yapılan çalışmalarda, değişik devirlerde saatlik yakıt tüketimi ölçülmüştür. Genel olarak saatlik yakıt tüketimi en düşük BE0'da en yüksek değerlerde BE20'de gözlenmiştir. Benzine biyoetanol ekledikçe ve devir arttıkça yakıt tüketiminin arttığı gözlenmiştir. Yüksek devirlerde daha fazla enerji ihtiyacı doğmaktadır, motor bu ihtiyacı karşılamak için fazla yakıt tükettiği bilinmektedir. Bu nedenle devir arttıkça yakıt tüketiminin arttığı söylenebilir. Biyoetanolün içinde bulunan oksijen, karışımı fakirleştirdiği ve ısı verimi düşürdüğü bilinmektedir. Gereksinin duyulan enerji, fazla yakıt tüketimi ile karşılandığı söylenebilir. Elde edilen bu sonuç daha önce yapılan çalışmaları destekler niteliktedir.



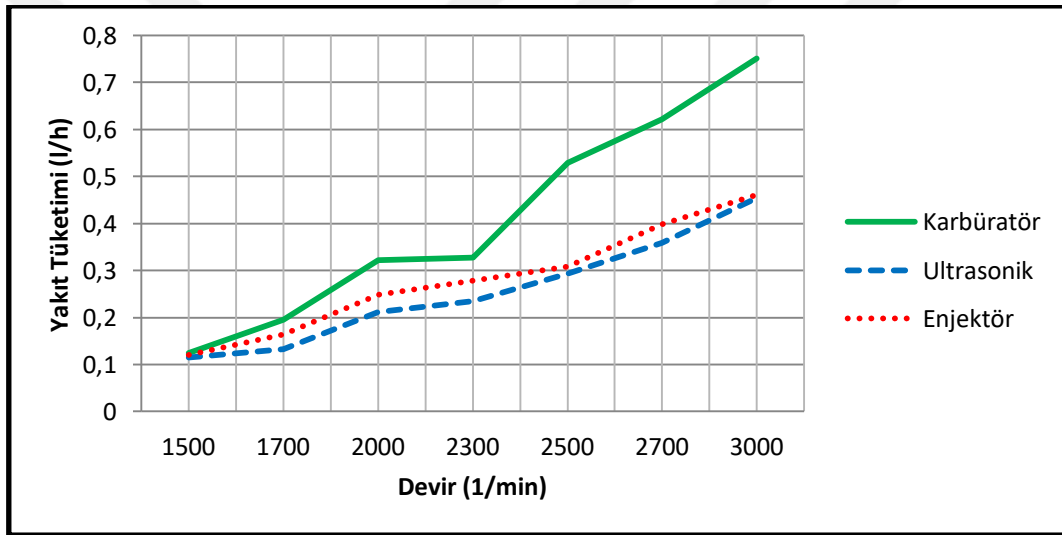
Şekil 3.2. Ultrasonik yakıt sisteminde biyoetanol benzin karışımlı yakıtlarının saatlik yakıt tüketiminin devire göre değişimleri

Şekil 3.2.' de görüldüğü gibi ultrasonik yakıt sisteminde yapılan çalışmalarda, değişik devirlerde ölçülen saatlik yakıt tüketimi en düşük BE0 en yüksek değerinde BE20'de gözlenmiştir. Benzine biyoetanol ekledikçe ve devir arttıkça yakıt tüketimi arttığı söylenebilir. Biyoetanolün alt ısı değeri düşük olması, benzine biyoetanol eklendikçe yakıt tüketimini artmasının sebebi olarak söylenebilir.



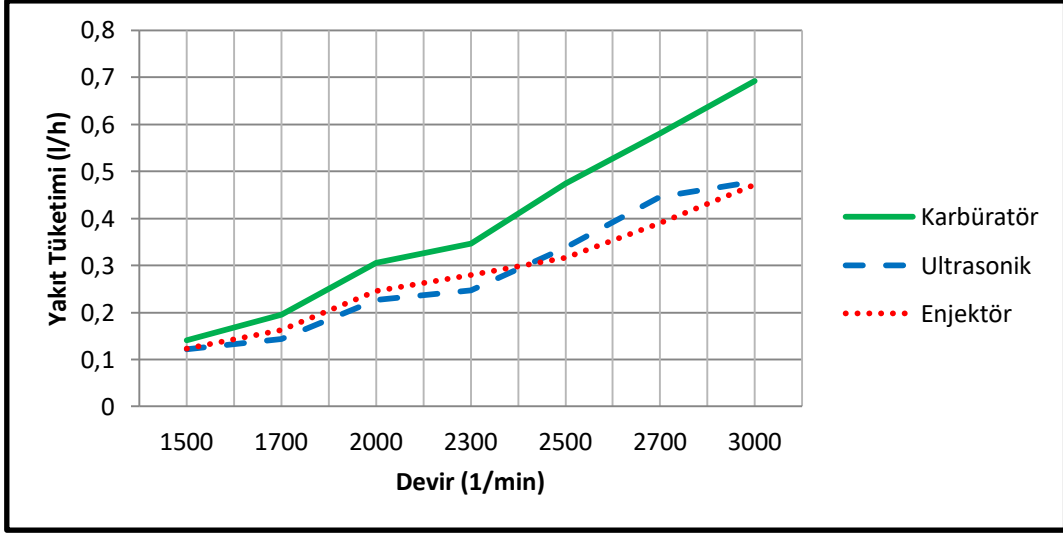
Şekil 3.3. Enjektörlü yakıt sisteminde biyoetanol benzin karışımlı yakıtlarının saatlik yakıt tüketiminin devire göre değişimleri

Şekil 3.3’ de görüldüğü gibi enjektörlü sistemde yapılan çalışmalarda, değişik devirlerde ölçülen saatlik yakıt tüketimi en düşük BE0 en yüksek değerde BE20’de gözlenmiştir. Benzine biyoetanol ekledikçe ve devir arttıkça yakıt tüketimi arttığı gözlenmiştir. Bütün yakıt sistemlerine bakıldığında benzine biyoetanol eklendikçe yakıt tüketimi arttığı gözlenmiştir. Bunun sebebi olarak biyoetanolün içinde bulunan oksijen ve biyoetanolün alt ısı değeri düşük olmasından kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Bütün karışım oranlarındaki çalışmalarda, karbüratörlü sistemde yakıt tüketiminde kayda değer bir yakıt tüketimi fazlalığı gözlenmiştir. Enjektörlü sisteme göre, ultrasonik sistemde yakıt tüketimi bütün devirlerde az miktarda düştüğü gözlenmiştir.



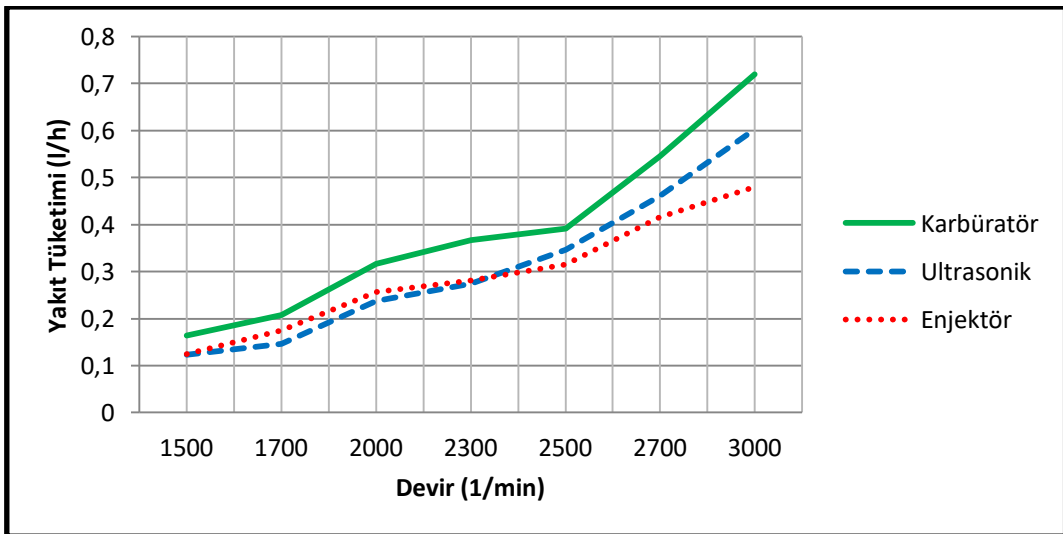
Şekil 3.4. Benzinin (BE0) üç farklı yakıt sistemindeki saatlik yakıt tüketiminin devire göre değişimi

Şekil 3.4’de üç farklı yakıt sisteminde benzin kullanılarak saatlik yakıt tüketimleri ölçülmüştür. En düşük değerler ultrasonik yakıt sisteminde en yüksek değerler ise karbüratörlü sistemde gözlenmiştir. Devir arttıkça saatlik yakıt tüketimi arttığı gözlenmiştir. Ultrasonik sistem karbüratör sistemine göre 1500 devirde %7,6 2300 devirde %26,8 3000 devirde ise %39,5 düşüş, enjektör sistemine göre 1500 devirde %4,1 2300 devirde %13,5 3000 devirde ise %0,9 düşüş gözlenmiştir.



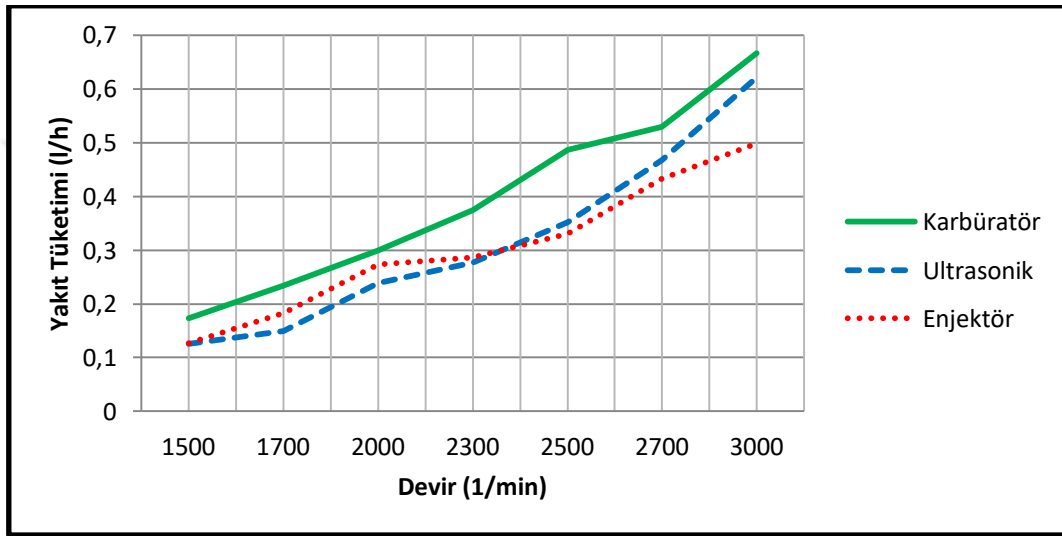
Şekil 56. BE5 yakıtının üç farklı yakıt sistemindeki saatlik yakıt tüketiminin devire göre değişimi

Şekil 3.5.'de üç farklı yakıt sisteminde BE5 (%95 Benzin + %5 Biyoetanol) yakıtı kullanılarak saatlik yakıt tüketimleri ölçülmüştür. En düşük değerler ultrasonik yakıt sisteminde en yüksek değerler ise karbüratörlü sistemde gözlenmiştir. Devir arttıkça saatlik yakıt tüketimi arttığı gözlenmiştir. Ultrasonik sistem karbüratör sistemine göre 1500 devirde %13,3 2300 devirde %28,7 3000 devirde ise %30,8 düşüş, enjektör sistemine göre 1500 devirde %0,5 2300 devirde %9,4 düşüş 3000 devirde ise %1,1 artış gözlenmiştir.



Şekil 3.6. BE10 yakıtının üç farklı yakıt sistemindeki saatlik yakıt tüketiminin devire göre değişimi

Şekil 3.6.'da üç farklı yakıt sisteminde BE10 (%90 Benzin + %10 Biyoetanol) yakıtı kullanılarak saatlik yakıt tüketimleri ölçülmüştür. En düşük değerler ultrasonik yakıt sisteminde en yüksek değerler ise karbüratörlü sistemde gözlenmiştir. Devir arttıkça saatlik yakıt tüketimi arttığı gözlenmiştir. Ultrasonik sistem karbüratör sistemine göre 1500 devirde %24,6 2300 devirde %25,5 3000 devirde ise %16,4 düşüş, enjektör sistemine göre 1500 devirde %0,9 2300 devirde %2,1 düşüş 3000 devirde ise %16,9 artış gözlenmiştir.



Şekil 3.7. BE20 yakıtının üç farklı yakıt sistemindeki saatlik yakıt tüketiminin devire göre değişimi

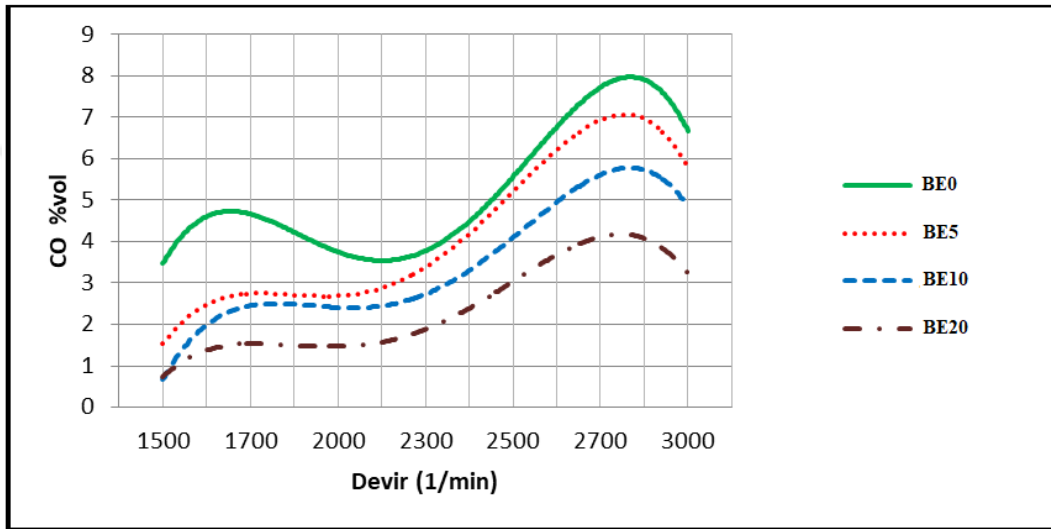
Şekil 3.7.'de üç farklı yakıt sisteminde BE20 (%80 Benzin + %20 Biyoetanol) yakıtı kullanılarak saatlik yakıt tüketimleri ölçülmüştür. En düşük değerler ultrasonik yakıt sisteminde en yüksek değerler ise karbüratörlü sistemde gözlenmiştir. Devir arttıkça saatlik yakıt tüketimi arttığı gözlenmiştir. Ultrasonik sistem karbüratör sistemine göre 1500 devirde %27,4 2300 devirde %26 3000 devirde ise %6,9 düşüş, enjektör sistemine göre 1500 devirde %1 2300 devirde %2,5 düşüş 3000 devirde ise %18,3 artış gözlenmiştir.

Bütün yakıt sistemlerine bakıldığında, ultrasonik yakıt sisteminin diğer sistemlerden daha az yakıt tükettiği gözlenmiştir ve yüksek devirlerle düşük devirler arasındaki yakıt tüketim farkı karbüratörlü sistemlerde fazlayken ultrasonik sistemlerde daha düşük olduğu gözlenmiştir. Yüksek devirlerde ultrasonik sistemin karışım hazırlama üzerinde daha olumlu katkısı olduğu ve yakıt tüketimini azalttığı söylenebilir.

3.2 Egzoz Emisyon Bulguları

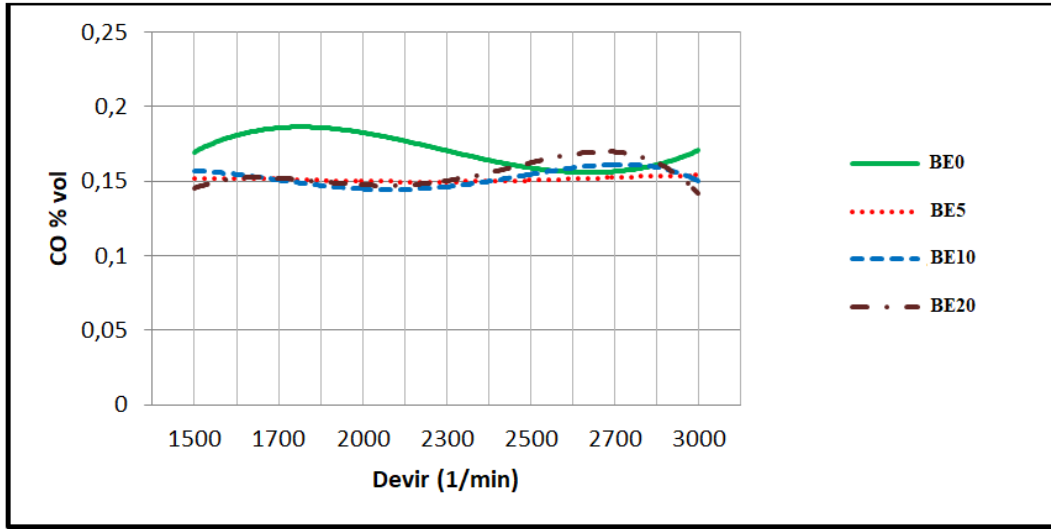
Çalışmalarda üç farklı yakıt sisteminde CO, CO₂, HC ve NO egzoz emisyon sonuçları ölçülmüştür.

3.2.1 CO emisyonları



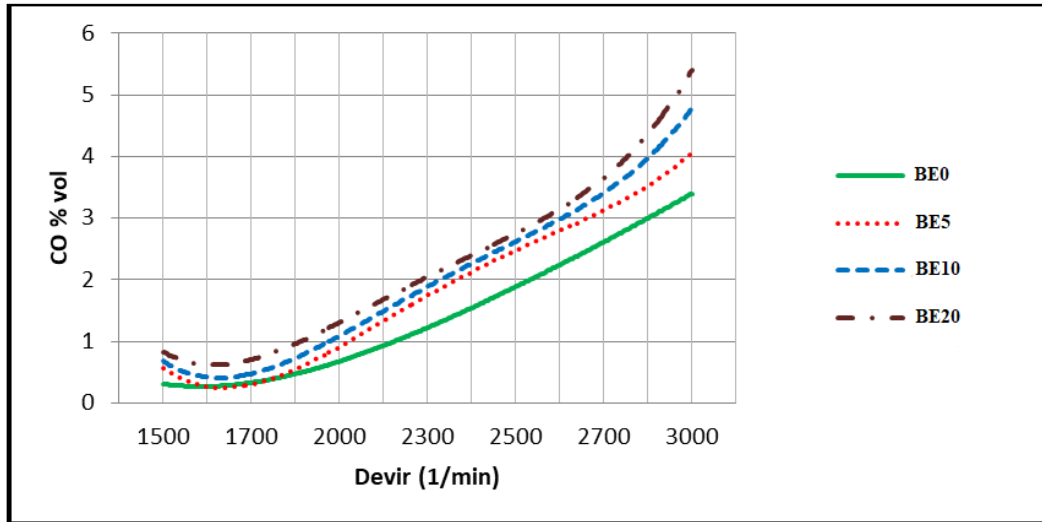
Şekil 3.8. Karbüratörlü yakıt sisteminde CO emisyonlarının devire göre değişimi

Şekil 3.8. incelendiğinde eksik yanma ürünü olan CO gazının değişimi gösterilmiştir. Benzindeki biyoetanol oranı arttıkça CO değeri düştüğü gözlenmiştir. Yakıtta biyoetanol eklendikçe CO emisyon değerinin düştüğü bunun sebebi olarakta biyoetenolün içerisinde bulunan oksijenin yanmayı iyileştirdiği söylenebilir. Elde edilen bu sonuç daha önce yapılan çalışmaları destekler niteliktedir. En kötü emisyon değeri 2500 devirde BE0 yakıtında en iyi emisyon değeri 2300 devirde BE20 yakıtında gözlenmiştir. Ayrıca 2300 devirde motorun en verimli çalıştığı devir olarak görülmekte bunun sebebi olarakta 2300 devirde yanmanın çok iyi olduğu ve eksik yanma ürünü olan CO emisyonunun çok fazla düştüğü gösterilebilir.



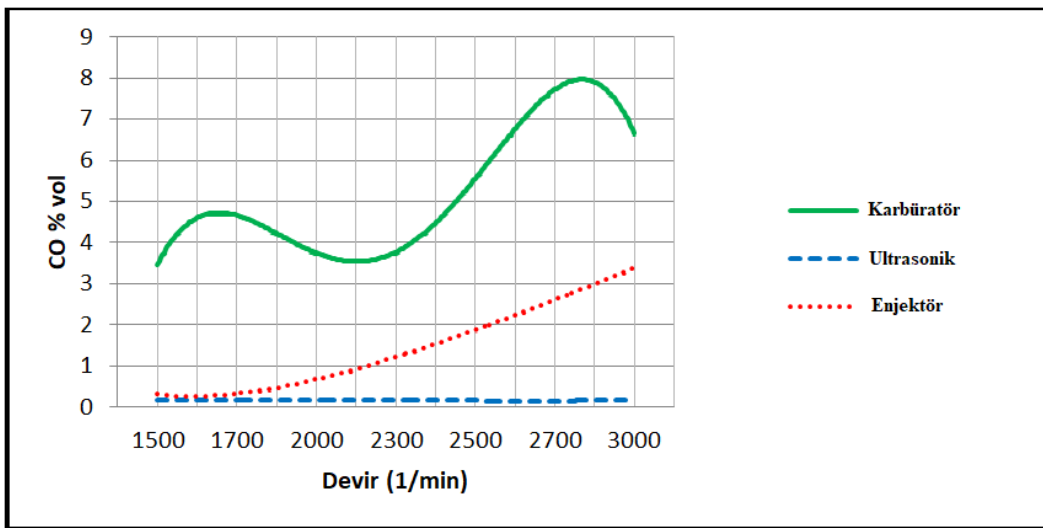
Şekil 3.9. Ultrasonik yakıt sisteminde CO emisyonlarının devire göre değişimi

Şekil 3.9.'da ultrasonik yakıt sisteminin CO emisyon değişimi gösterilmiştir. Ölçülen CO değişiminin tüm devir aralıklarında hemen hemen minimum değerde ve devir arttıkça kayda değer bir değişim göstermediği gözlenmiştir. Ultrasonik yakıt sistemi rezonans etki ile yanma reaksiyonunu hızlandırdığı, yakıttaki bağ yapısını zayıflattığı ve yakıtı daha küçük parçalara ayırdığı için, yanma veriminin artacağı ve yanma veriminin atmasından dolayı da CO emisyonunun düşük çıktığı söylenebilir. En kötü emisyon değeri 2000 devirde BE0 yakıtın da en iyi emisyon değeri de 2000 devirde BE10 yakıtın da gözlenmiştir. Biyoetanol oranı arttıkça az bir düşüş gözlenmiştir. Devir arttıkça değişime çok az rastlanmıştır.

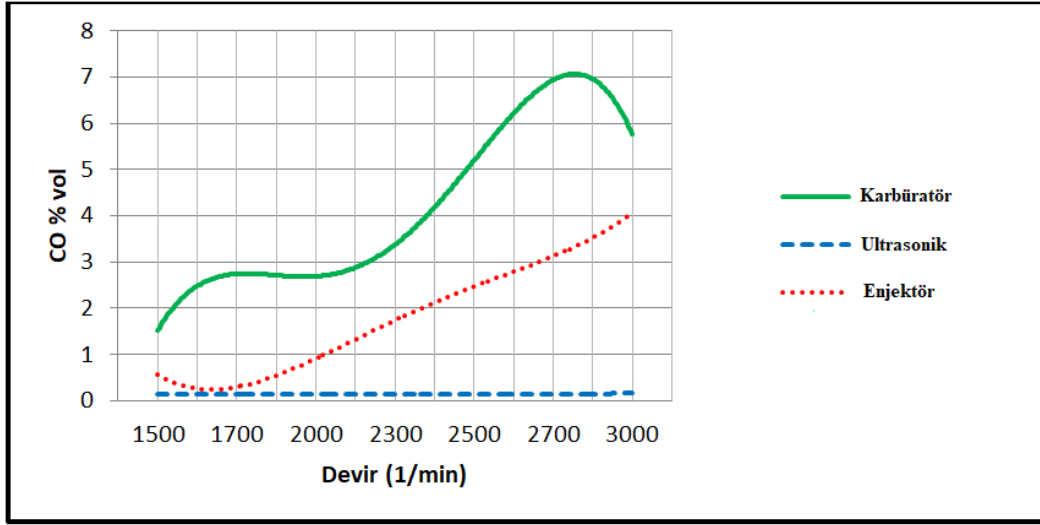


Şekil 3.10 Enjektör yakıt sisteminde CO emisyonlarının devire göre değişimi

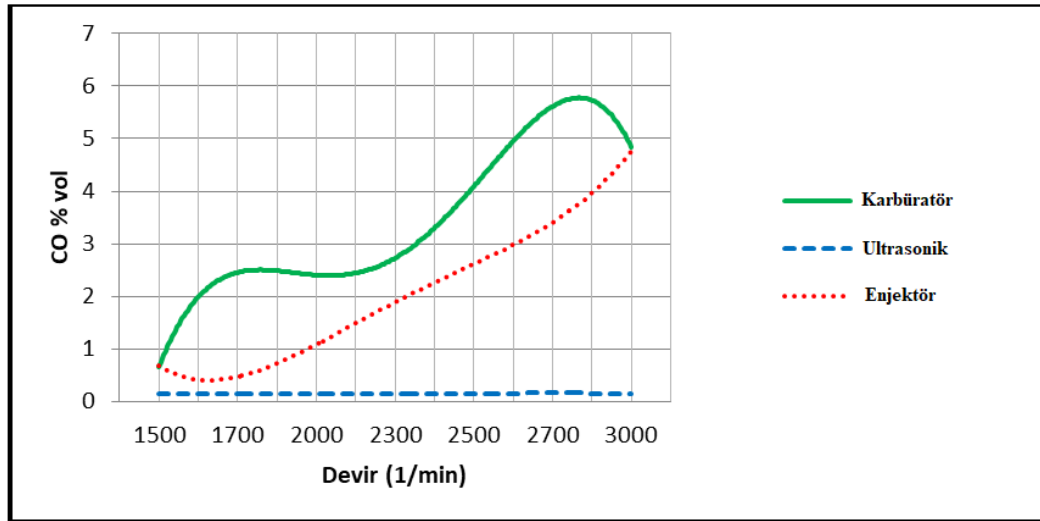
Şekil 3.10'da Enjektör sisteminin CO emisyon değişimi gösterilmiştir. Devir ve yakıttaki biyoetanol oranı arttıkça CO emisyon değeri arttığı gözlenmiştir. Orijinal yakıt sistemin çıkarılıp yerine takılan enjeksiyon sisteminde, motorun emme boğazının akış yönüne dik olacak şekilde bağlanan enjektörün püskürtme basıncına bağlı olarak yakıt hüzmesinin nüfuziyet derinliğinin emme boğazı çapından büyük olmasından kaynaklı yakıtın boğaz çeperine çarparak ıslak yüzey oluşturduğu, ve oluşan bu yüzeyde benzinin buharlaşma hızı etanolden düşük olduğu için emilen hava içerisindeki biyoetanol miktarının daha zengin olduğu tahmin edilmektedir. Dolgu içerisinde zengin etanol bölgelerinin oluşması alev sönme noktalarına neden olduğu, CO oranının arttığı düşünülmektedir. Dale Turner ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada, direkt enjeksiyonlu motorlarda benzine çeşitli karışım oranlarında biyo-etanol eklenmesinin yanma performansı üzerindeki etkileri incelemişlerdir. Etanol oranın arttıkça alev sönme noktalarının oluştuğunu ve CO emisyonun arttığını gözlemlemişlerdir [49]. Sıcaklık azaldıkça CO emisyon değerinin arttığı bilinmektedir. Biyoetanölün ısı veriminin düşük olmasından kaynaklı sıcaklığın düştüğü ve CO emisyon değerinin arttığı söylenebilir. En düşük CO emisyon değeri 1700 devirde BE0 yakıtında en yüksek değer ise 3000 devirde BE20 yakıtında görülmektedir. Ayrıca tüm yakıtlar için 1700 devirlerinde en düşük CO değerleri görülmektedir buda enjektörlü sistmede motorun en verimli çalıştığı devir olduğunu gösterir.



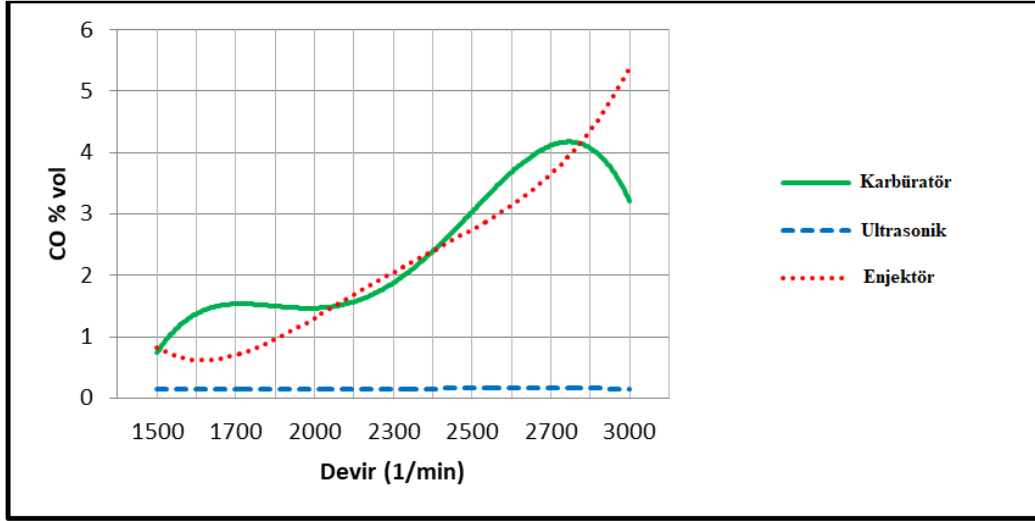
Şekil 3.11. BE0 yakıtının üç farklı yakıt sistemindeki CO emisyon değerlerinin devire göre değişimi



Şekil 3.12. BE5 yakıtının üç farklı yakıt sistemindeki CO emisyon değerlerinin devire göre değişimi



Şekil 3.13. BE10 yakıtının üç farklı yakıt sistemindeki CO emisyon değerlerinin devire göre değişimi



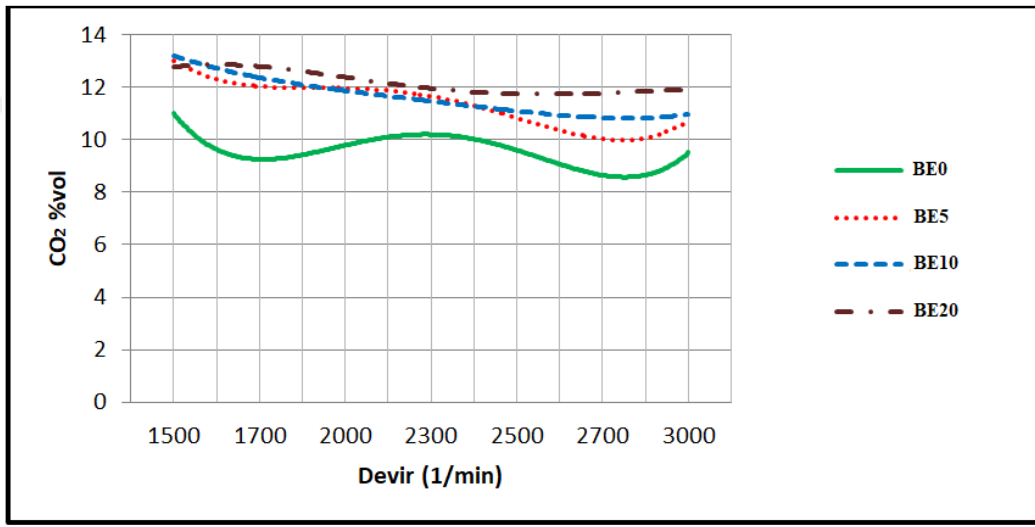
Şekil 3.14. BE20 yakıtının üç farklı yakıt sistemindeki CO emisyon değerlerinin devire göre değişimi

Dört farklı yakıtın (BE0, BE5, BE10 ve BE20) farklı yakıt sistemlerindeki CO emisyon değişimleri Şekil 3.11., Şekil 3.12., Şekil 3.13. ve Şekil 3.14. 'te verilmiştir. Bütün yakıtlarda ultrasonik yakıt sistemimin CO emisyon değeri sıfıra yakın olduğu ve devir arttıkça bir değişiklik göstermediği gözlenmiştir. Ultrasonik sisteme hava fazlalık katsayısı (λ) nın sabite yakın bir eğilime ayarlanması ve ideal karışım teşkili aralığında olması, CO emisyonlarının minimum değerde sabit kalmasının sebebi olarak gösterilebilir. Enjeksiyonlu sistemde ise devir arttıkça düzenli bir artış olduğu gözlenmiştir. Devir arttıkça yanma olayı yetişememekte ve eksik yanma ürünü olan CO emisyon değeri, bu sebepten ötürü arttığı düşünülmektedir. Karbüratörlü sistemde ise inişli çıkışlı bir grafik göze çarpmaktadır.

Bu üç yakıt sistemi içinde en düşük CO emisyon değerleri ultrasonik yakıt sisteminde en yüksek CO emisyon değerleri ise karbüratörlü sistemde gözlenmiştir. Ultrasonik yakıt sistemi rezonans etki ile yanma reaksiyonunu hızlandırdığı, yakıttaki bağ yapısını zayıflattığı ve yakıtı daha küçük parçalara ayırdığı için, yanma veriminin artacağı ve yanma veriminin atmosferden dolayı da CO emisyonunun düşük çıktığı söylenebilir. En iyi yanma veriminin ultrasonik yakıt sisteminde sonra enjeksiyonlu sistemde ve en sonda karbüratörlü yakıt sisteminde olduğu söylenebilir.

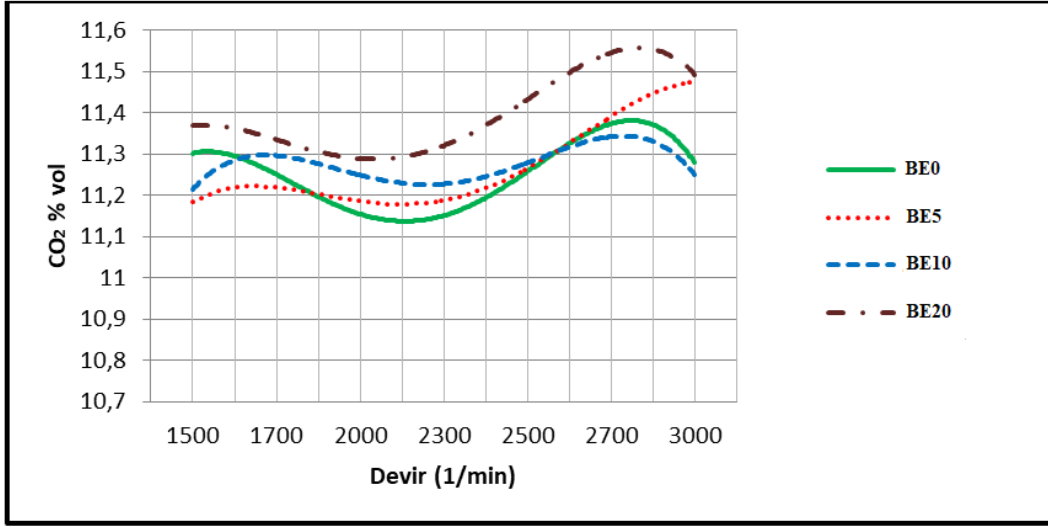
3.2.2 CO₂ emisyonları

Yanma olaylarında, CO₂ (Karbon dioksit) tam yanma reaksiyonları sonucunda meydana gelir ve CO₂ seviyesi yanma verimi hakkında bilgi verir. Her ne kadar yanmanın doğal bir sonucu olarak ortaya çıksa da, çevreye zararlı bir gaz olması nedeniyle emisyon kategorisinde yer almaktadır. Yanma verimin arttığı durumlarda CO₂ emisyonlarının da atması bu alana dönük çalışmaların negatif yönünü oluşturmaktadır.



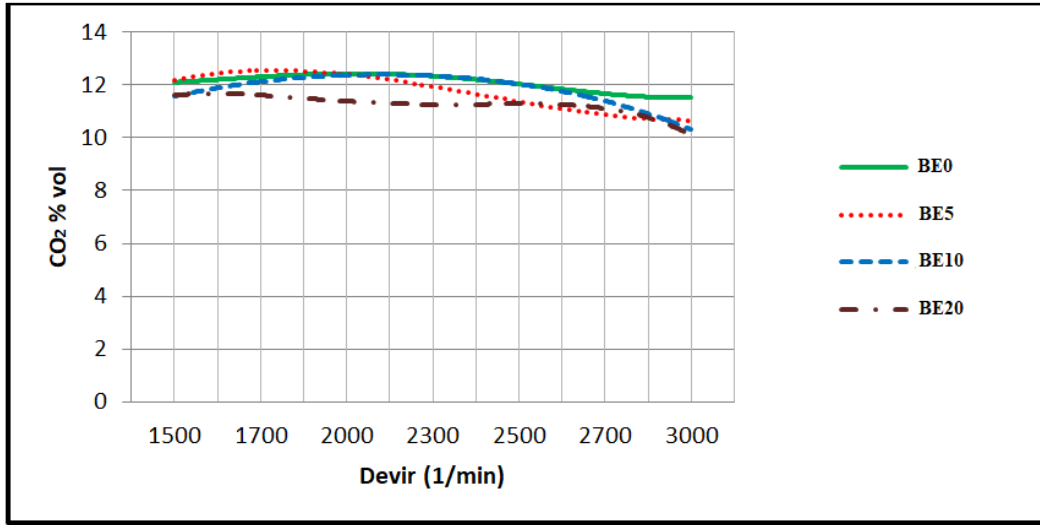
Şekil 3.15. Karbüratörlü yakıt sisteminde CO₂ emisyon değerlerinin devire göre değişimi

Şekil 3.15. Karbüratörlü yakıt sisteminde farklı yakıt türlerinin CO₂ emisyon değişimi gösterilmiştir. Devir değiştikçe CO₂ emisyon değeri farklılıklar gösterdiği gözlemlenmiştir. Benzine biyoetanol eklediçe CO₂ emisyon değeri arttığı gözlenmiştir. Biyoetanolün yanmayı iyileştirdiği CO₂ artışından anlaşılmaktadır, bunun göstergesi olarakta CO değerinin düşmesi gösterilebilir. CO₂ artışı iyi yanma ürünü olarak ortaya çıkar. Motorun en verimli çalıştığı 2300 devrinde en yüksek değerler gözlenmiştir. En düşük CO₂ emisyon değeri 2500 devrinde BE0 yakıtında en yüksek değer ise 2300 devirde BE5 yakıtında gözlenmiştir.



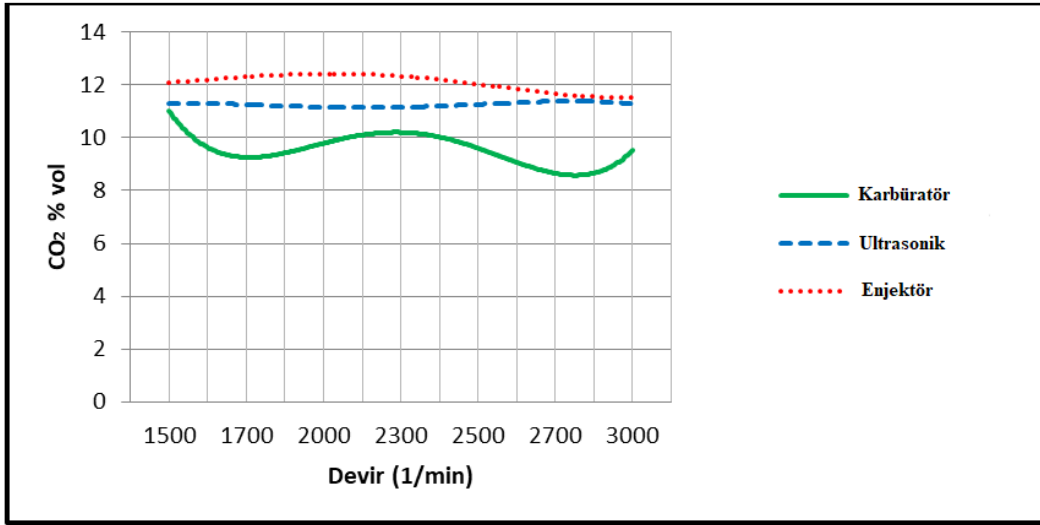
Şekil 3.16. Ultrasonik yakıt sisteminde CO₂ emisyon değerlerinin devire göre değişimi

Şekil 3.16.'da Ultrasonik yakıt sisteminin CO₂ emisyon değerlerinin devire göre değişimi verilmiştir. Şekil 3.16.'tı incelendiğinde genel olarak benzine biyoetanol eklendiğinde CO₂ emisyonu arttığı gözlemlenmiştir. Ultrasonik sistemin ürettiği damlacık miktarının yeterli olması, damlacıkların yeterince küçük olması ve hava yakıt karışımının istenilen şekilde sağlanabilmesi nedeniyle düşük devirlerde yanmanın oldukça iyileştiği anlaşılmaktadır. Bu yüzden tam yanma ürünü olan CO₂ emisyon değerleri yüksek çıktığı gözlenmiştir. Biyoetanolün bünyesinde bulundurduğu oksijenin fazla olmasından dolayı yanmada iyileşme görülmüş bunun göstergesi olarakta CO₂ değerinin artması gösterilebilir. En düşük CO₂ emisyon değeri 2000 devirde BE0 yakıtında, en yüksek CO₂ emisyon değeri 2500 devirde BE20 yakıtında gözlemlenmiştir.

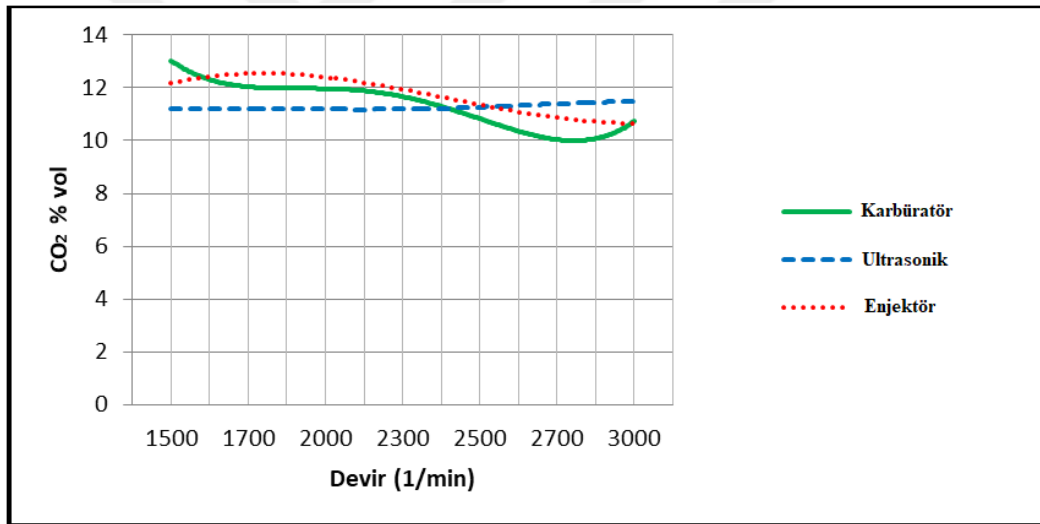


Şekil 3.17. Enjektörlü yakıt sisteminde CO₂ emisyon değerlerinin devire göre değişimi

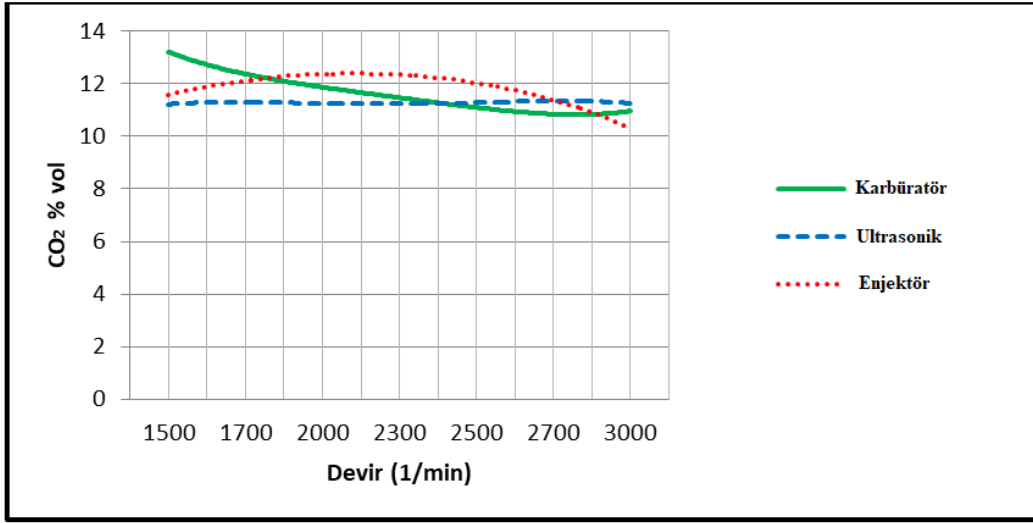
Enjektörlü yakıt sistemindeki CO₂ emisyon değişimi Şekil 3.17’de gösterilmiştir. Yakıtı biyoetanol eklendikçe çok az farklılıklar gösterdiği gözlenmiştir. Bunun sonucunda enjeksiyonlu sistemlerde yakıtı biyoetanol eklenmesi ile CO₂ emisyon değerini düşürdüğü gözlenmiştir. Bunun nedeni olarakta benzine katılan biyoetanolün, higroskopik (su-benzin-biyoetanolden oluşan üçlü bir karışım) özellik oluşturmaktadır. Bu karışımın motor yakıtı olarak karşılaştığı en önemli sorun sürekli homojen olması beklenen sistemlerde iki ayrı fazın oluşmasıdır. Bundan dolayı faz ayrışması yapmış karışım, motora ulaştığında, biyoetanol fazı tek başına motorda yandığında, motorun bazı bölgelerinde alev sönmelerine neden olduğu, bundan dolayıda CO₂ emisyon değerinin düştüğü söylenebilir. Enjektörlü yakıt sisteminde biyoetanolün artmasıyla CO artışıda bu olayı desteklemektedir. En yüksek CO₂ emisyon değeri 1700 devirde BE5 yakıtında en düşük CO₂ emisyon değeri 2300 devirde BE20 yakıtında görülmüştür.



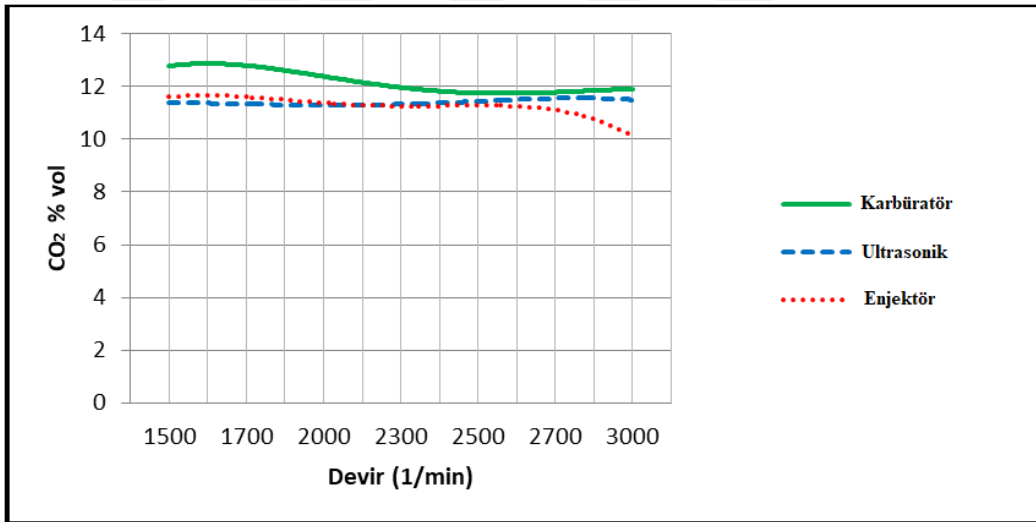
Şekil 3.18. BE0 yakıtının üç farklı yakıt sistemindeki CO₂ emisyon değerlerinin devire göre değişimi



Şekil 3.19. BE5 yakıtının üç farklı yakıt sistemindeki CO₂ emisyon değerlerinin devire göre değişimi



Şekil 3.20. BE10 yakıtının üç farklı yakıt sistemindeki CO₂ emisyon değerlerinin devire göre değişimi



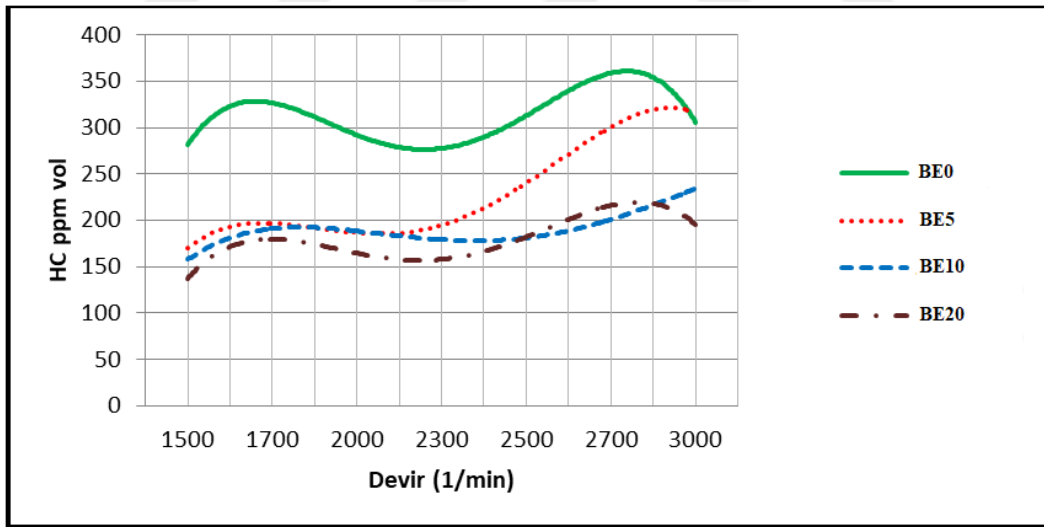
Şekil 3.21. BE20 yakıtının üç farklı yakıt sistemindeki CO₂ emisyon değerlerinin devire göre değişimi

Farklı yakıt sistemlerinin BE0, BE5, BE10 ve BE20 yakıtlarındaki CO₂ emisyon değişimleri Şekil 3.18., Şekil 3.19., Şekil 3.20. ve Şekil 3.21. de gösterilmiştir. BE20 yakıtı dışında CO₂ emisyon değeri her zaman enjektörlü yakıt sisteminde yüksek çıktığı gözlenmiştir. BE20 yakıtında ise yüksek değerler karbüratörlü yakıt sisteminde gözlenmiştir. Düşük değerler ise BE0 yakıtı dışında ultrasonik yakıt sisteminde gözlenmiştir. BE0 yakıtında düşük değerler karbüratörlü yakıt sisteminde çıkan değerlerde gözlenmiştir.

Enjektörlü yakıt sisteminin karışım hazırlama ve yanma verimi üzerindeki olumlu katkısı, tam yanma ürünü olan CO₂ emisyon değerinin yüksek çıkmasına sebep olarak gösterilebilir. Yakıt sistemleri karşılaştırıldığında CO₂ emisyon değerlerinde çok büyük farklar gözlemlenmemiştir.

3.2.3 HC emisyonları

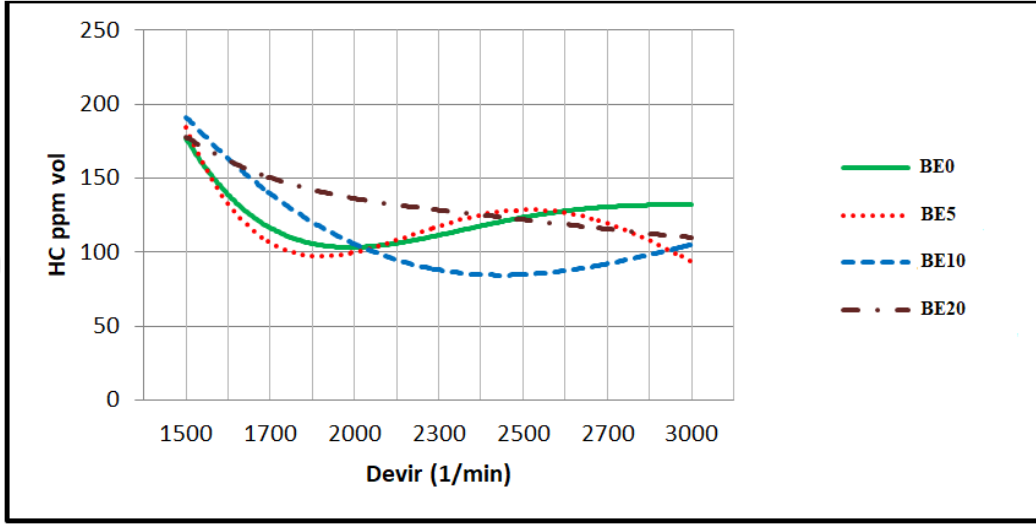
Yakıtın kimyasal yapısını oluşturan HC'lar (hidrokarbon), yanma işlemi sırasında oksijenle reaksiyona girerek ısı enerjisi meydana getirirler. Teorik yanmada yanma sonu ürünleri arasında HC bulunmaz. Bu durum yanmanın %100 verimle gerçekleştiğini göstermektedir. Fakat pratikte yanma verimi %100 olmadığından dolayı yanma sonu ürünleri arasında HC'na rastlamak mümkündür. Yani yanma odasına giren yakıt moleküllerinin oksijenle reaksiyona girmeden egzozdan atılması HC emisyonlarını oluşturur.



Şekil 3.22. Karbüratörlü yakıt sisteminde HC emisyon değerlerinin devire göre değişimi

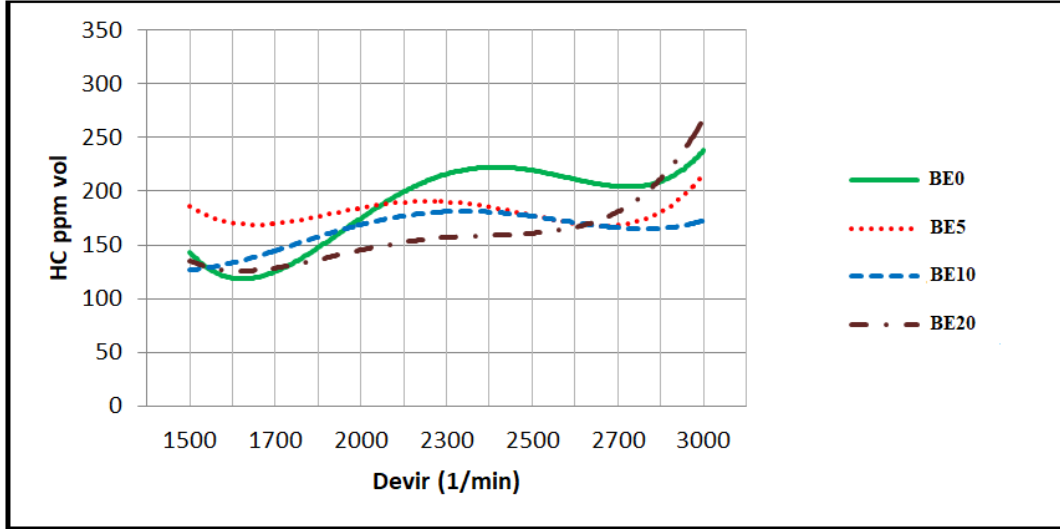
Şekil 3.22'de karbüratörlü yakıt sisteminin HC emisyon değişimi gösterilmiştir. Benzine biyoetanol eklendikçe HC emisyonunun azaldığı gözlenmiştir. Bunun sebebi olarak biyoetanoldaki oksijen miktarı gösterilebilir, oksijen miktarı arttıkça yakıtın yanmadan dışarı atılma oranı azalır.

Bundan dolayı da biyoetanolün yanma verimini iyileştirdiği söylenebilir. En düşük değerler motorun verimli çalıştığı 2300 devrinde gözlenmiştir. En düşük HC emisyon değeri 2300 devirde BE20 yakıtında, en yüksek HC emisyon değeri 1700 devirde BE0 yakıtında gözlemlenmiştir.



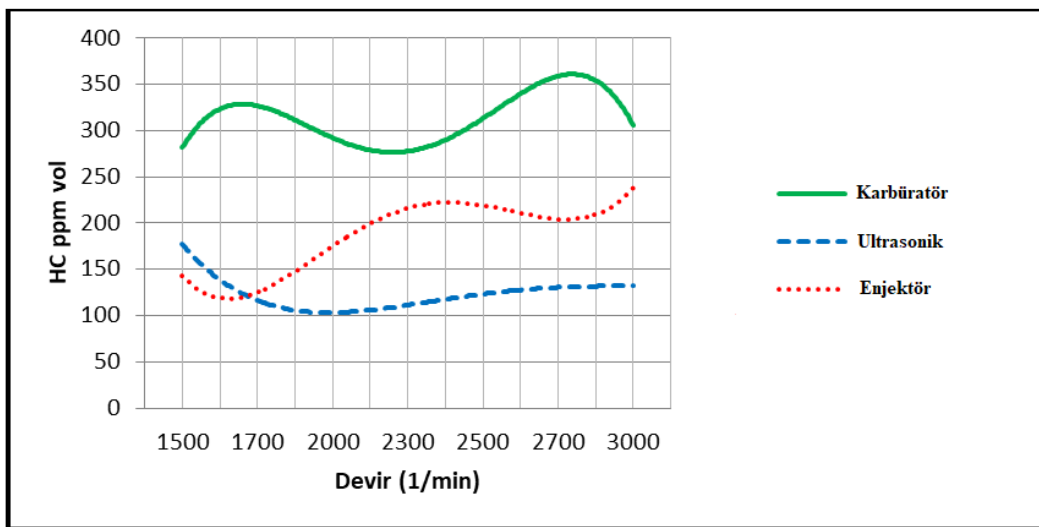
Şekil 3.23. Ultrasonik yakıt sisteminde HC emisyon değerlerinin devire göre değişimi

Şekil 3.23.'te ultrasonik yakıt sisteminin HC emisyon değişimi gösterilmektedir. Genel olarak devir arttıkça düşüş gözlemlenmiştir. Benzine biyoetenol eklenmesi kayda değer bir farkındalık göstermemiştir. Ultrasonik sistemde devir sayısının değişimi ile HC emisyonlarında aşırı bir değişim olmadığı ve motor devrinin değişmesinden çok fazla etkilenmediği ileri sürülebilir. HC değerlerinin düşük çıkması motor performansını olumlu etkilemesinin yanında yakıt ekonomisi de sağlamaktadır. Saatlik yakıt tüketiminin düşük olması bunun bir göstergesi olarak gösterilebilir En düşük HC emisyon değeri 2500 devirde BE10 yakıtında en yüksek HC değeri 1500 devirde BE10 yakıtında gözlenmiştir.

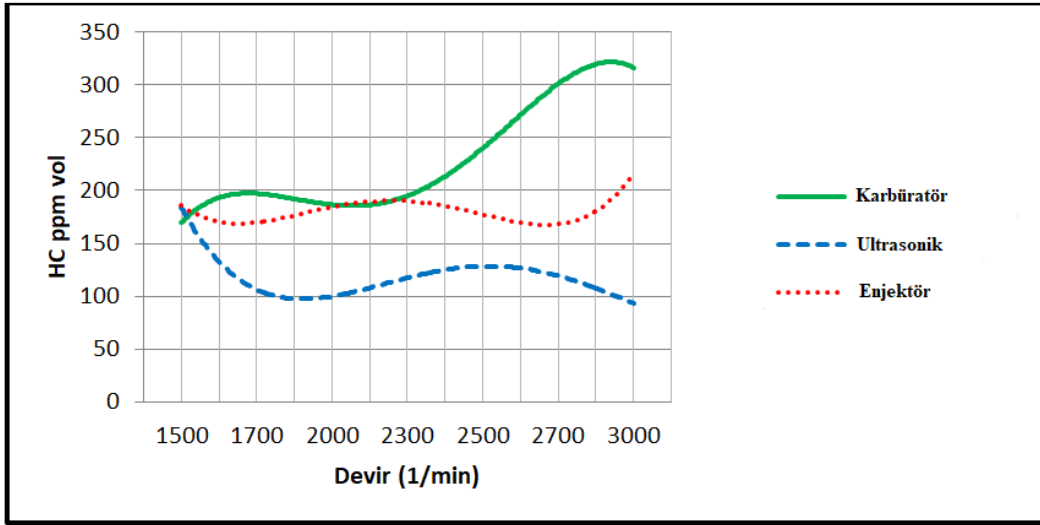


Şekil 3.24. Enjektörlü yakıt sisteminde HC emisyon değerlerinin devire göre değişimi

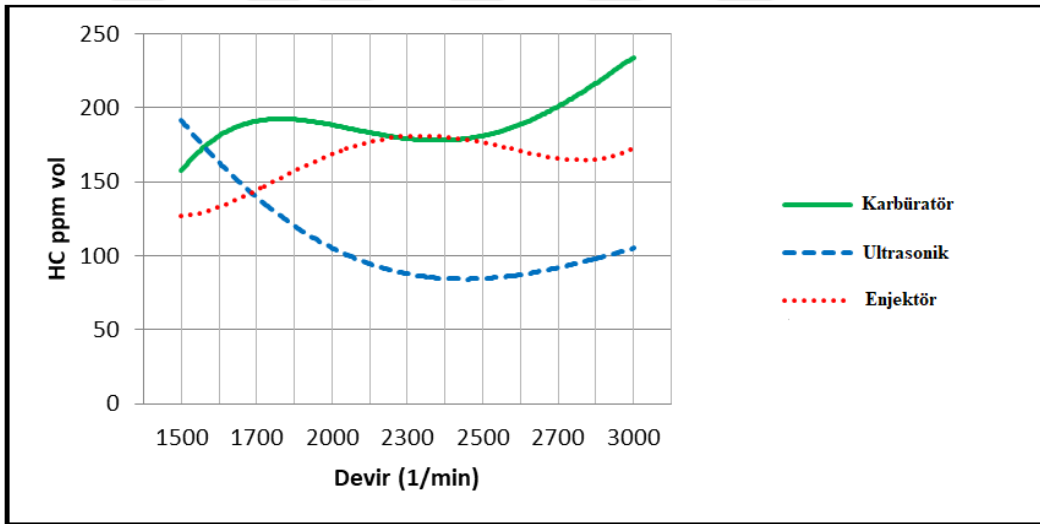
Şekil 3.24.'te enjektörlü sistemin HC emisyon değişimi gösterilmiştir. Genel olarak benzindeki biyoetanol oranı arttıkça HC emisyon değerinde bir düşüş gözlenmiştir. Bunun sebebi olarak biyoetanolün yanma verimi üzerindeki olumlu etkisi gösterilebilir. En düşük HC değerleri BE20 yakıtında gözlenmiştir. Yakıtların en düşük HC emisyon değerleri ise motorun en verimli çalıştığı 1700 devrinde gözlenmiştir. Enyüksek değer 2500 devrinde BE0 yakıtında, en düşük değer ise 1700 devirde BE20 yakıtında gözlemlenmiştir.



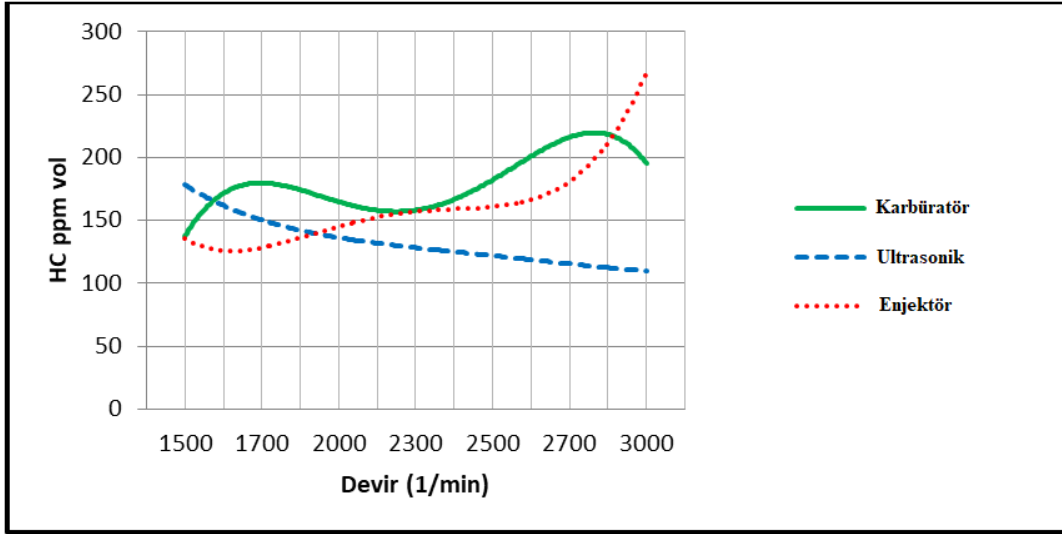
Şekil 3.25. BE0 yakıtının üç farklı yakıt sistemindeki HC emisyon değerlerinin devire göre değişimi



Şekil 3.26. BE5 yakıtının üç farklı yakıt sistemindeki HC emisyon değerlerinin devire göre değişimi



Şekil 3.27. BE10 yakıtının üç farklı yakıt sistemindeki HC emisyon değerlerinin devire göre değişimi

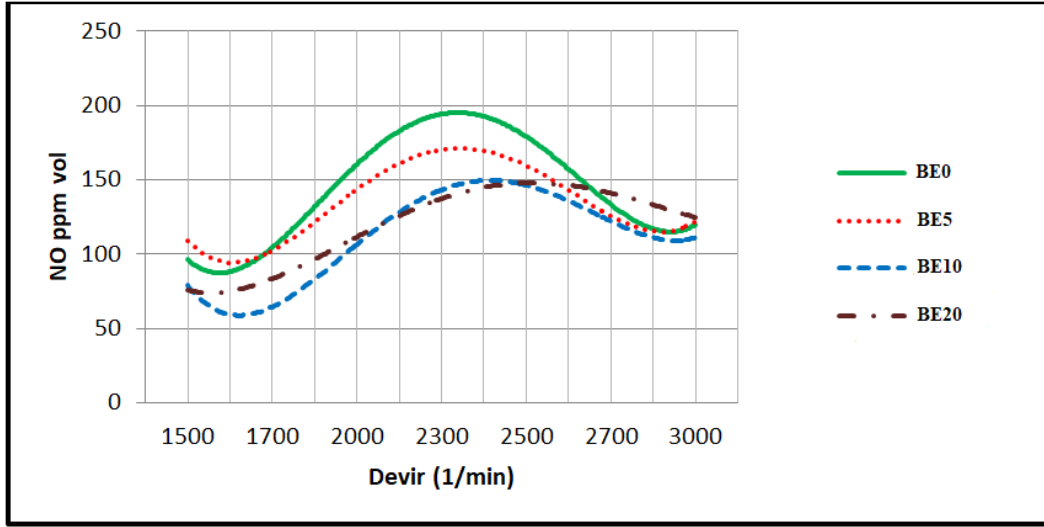


Şekil 3.28. BE20 yakıtının üç farklı yakıt sistemindeki HC emisyon değerlerinin devire göre değişimi

Farklı yakıt sistemlerinin BE0, BE5, BE10 ve BE20 yakıtlarındaki HC emisyon değerlerinin devire göre değişimleri Şekil 3.25., Şekil 3.26., Şekil 3.27. ve Şekil 3.28.'de verilmiştir. Bütün yakıtlarda genel olarak en düşük HC emisyonları ultrasonik yakıt sisteminde, ardından enjektör sisteminde en yüksek değerlerde karbüratörlü sistemlerde gözlenmiştir. Ultrasonik yakıt sisteminde yanma veriminin yüksek ve yakıt tüketiminin düşük olması HC emisyon değerlerinin diğer yakıt sistemlerinden daha düşük değerler çıkmasına sebep olarak gösterilebilir. Yakıtlarda devir arttıkça HC emisyon değerlerinde genel olarak bir artış olsada ultrasonik sistemlerde çok az değişiklikler gözlenmiştir. Bunun sebebi olarakta ultrasonik sistemde yakıtın damlacıklar halinde olması buharlaşma hızını arttırdığı için yanma reaksiyonu dışında kalan HC moleküllerinin miktarının düşük çıktığı söylenebilir.

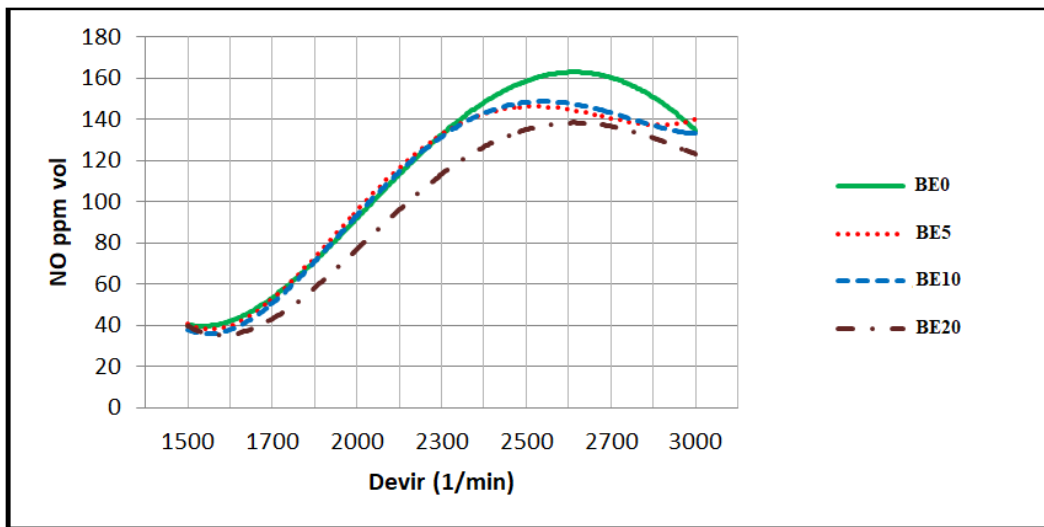
3.2.4 NO_x emisyonları

NO_x emisyonları verimin ve sıcaklığının yüksek olduğu zamanlarda ortaya çıkan bir egzoz emisyonudur.



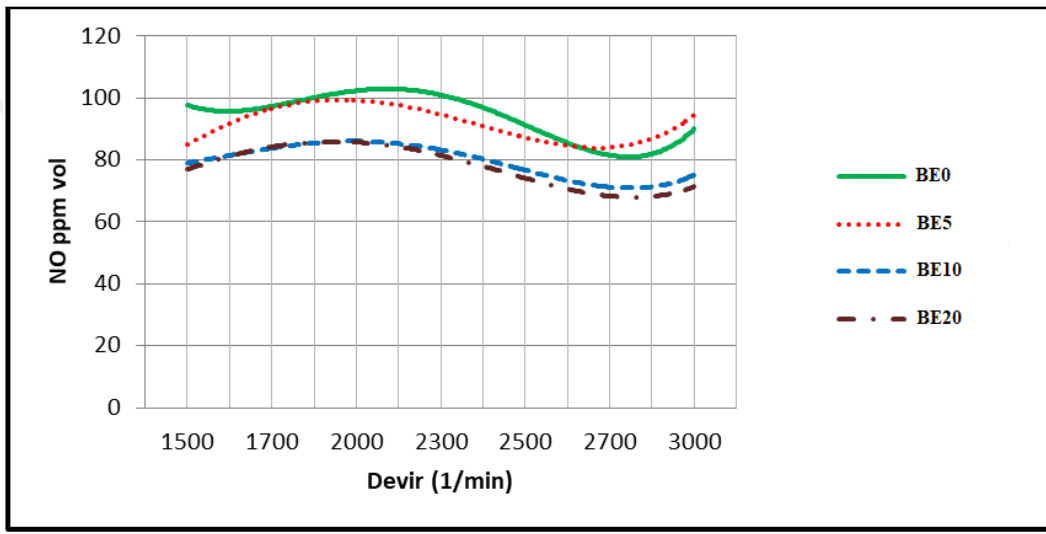
Şekil 3.29. Karbüratörlü yakıt sisteminde NO_x emisyon değerlerinin devire göre değişimi

Karbüratörlü sistemlerde NO_x emisyon değerleri Şekil 3.29. 'da verilmiştir. En yüksek değerler BE5 yakıtında gözlenmiştir. En düşük değerler BE0 yakıtında gözlenmiştir. Motorun karbüratörlü yakıt sisteminde en verimli çalıştığı 2300 devirde NO_x emisyon değerleri her yakıtta en yüksek değerlerde gözlenmiştir. Ölçülen en yüksek değer 2300 devirde BE10 yakıtında, en düşük değer ise 1700 devirde BE0 yakıtında gözlenmiştir. Benzine biyoetanol eklenmesi yanma verimini iyileştirdiği için sıcaklığın arttığı buna bağlı olarak NO_x emisyon değerinin arttığı söylenebilir. Benzinli motorlarda NO_x değerleri düşük olduğundan dolayı çok önemsenmezler.



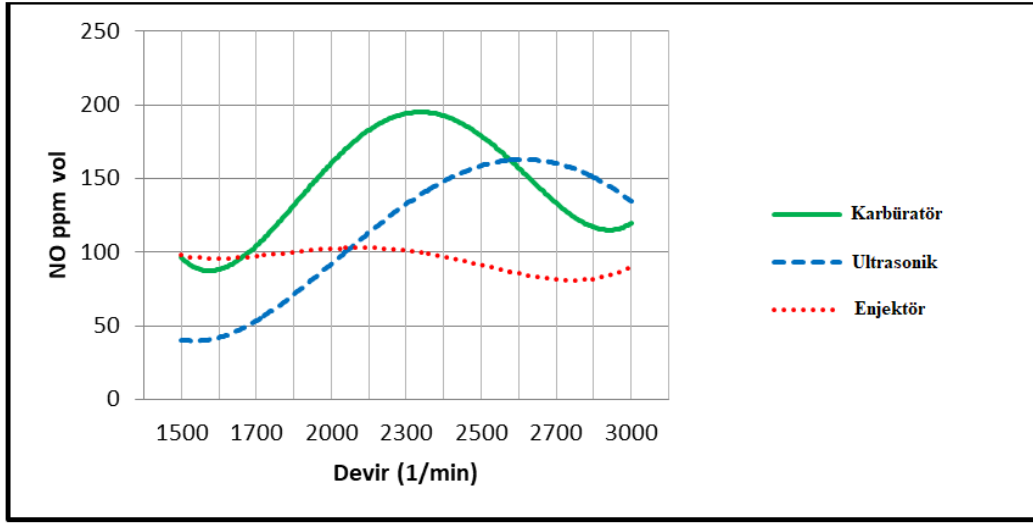
Şekil 3.30. Ultrasonik yakıt sisteminde NO_x emisyon değerlerinin devire göre değişimi

Şekil 3.30.'da ultrasonik yakıt sisteminin NO_x emisyon değişimi gösterilmiştir. Devir arttıkça motor sıcaklığı artacağından NO_x değeri arttığı ve yüksek devirlerde yanma kötüleşip sıcaklık düşeceğinden NO_x değerinin düştüğü gözlenmiştir. Benzine biyoetanol ekledikçe NO_x değerlerinde düşüş gözlenmiştir. Bunun nedeni olarak ta biyoetanolün alev sıcaklığının düşük olması gösterilebilir. Elde edilen bu sonuç literatürü destekler niteliktedir. En yüksek NO_x emisyon değeri 3000 devirde BE0 yakıtında, en düşük değer ise 1500 devirde BE20 yakıtında gözlenmiştir.

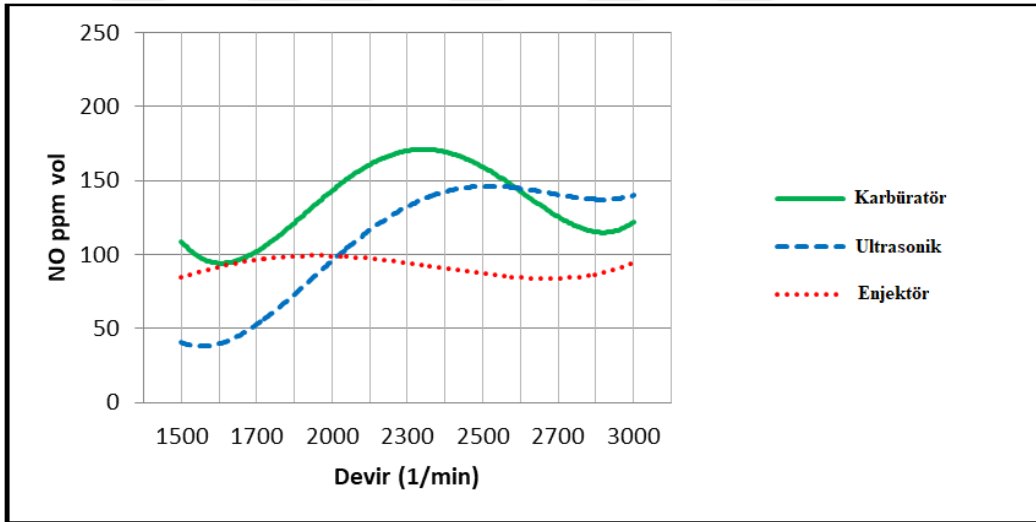


Şekil 3.31. Enjektörlü yakıt sisteminde NO_x emisyon değerlerinin devire göre değişimi

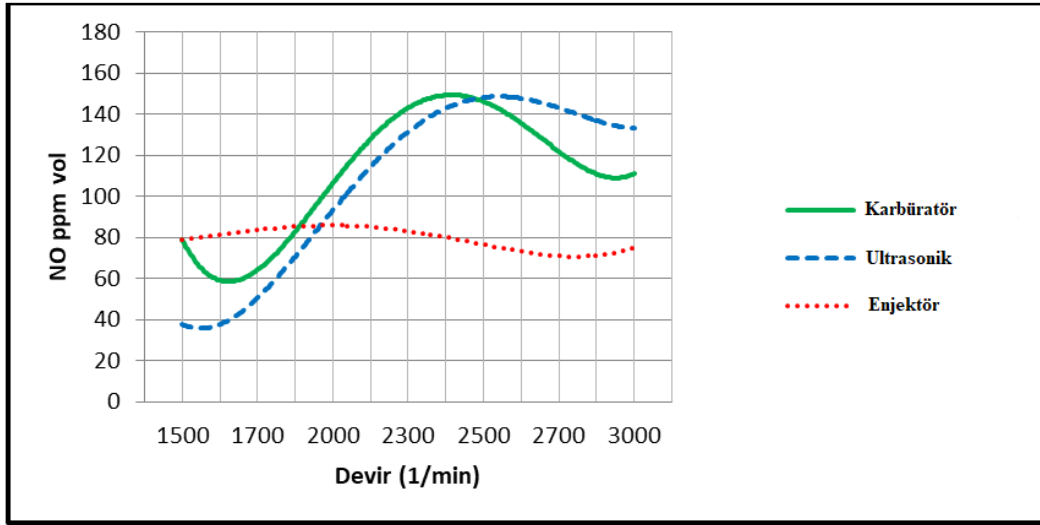
Şekil 3.31 'de Enjektörlü sistemin NO_x emisyon değişimini göstermektedir. Grafikte görüldüğü üzere biyoetanol miktarı arttıkça NO_x miktarı genel olarak düştüğü gözlenmiştir. Devir değiştikçe inişli çıkışlı bir sonuç gözlenmiştir. Yüksek devirlerde NO_x emisyonunun düşmesinin sebebi yanmanın kötüleşmesinden kaynaklı sıcaklık düşmesi gösterilebilir. En yüksek değer 2000 devirde BE10 yakıtında en düşük değer ise 2300 devir de BE10 yakıtında gözlenmiştir.



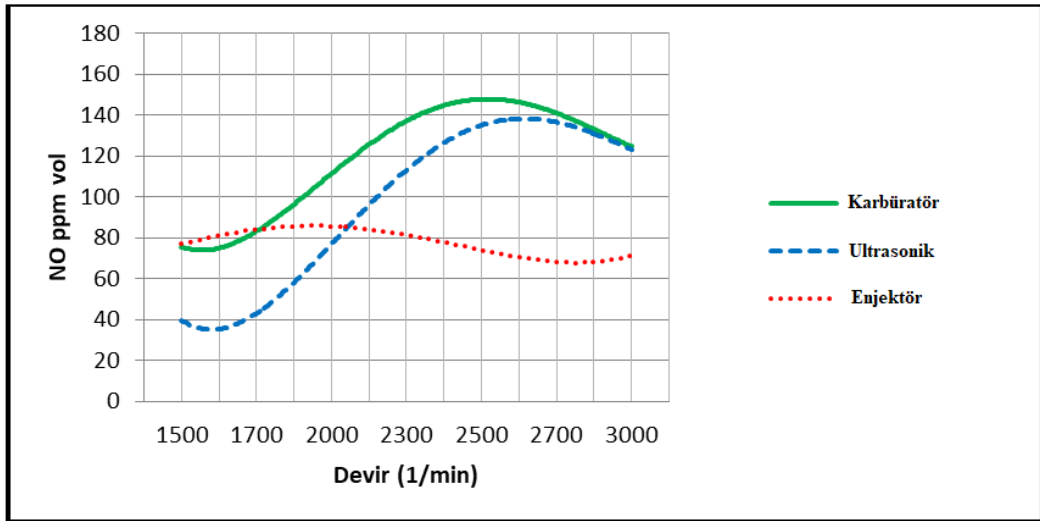
Şekil 3.32. BE0 yakıtının üç farklı yakıt sistemindeki NO_x emisyon değerlerinin devire göre değişimi



Şekil 3.33. BE5 yakıtının üç farklı yakıt sistemindeki NO_x emisyon değerlerinin devire göre değişimi



Şekil 3.34. BE10 yakıtının üç farklı yakıt sistemindeki NO_x emisyon değerlerinin devire göre değişimi



Şekil 3.35. BE20 yakıtının üç farklı yakıt sistemindeki NO_x emisyon değerlerinin devire göre değişimi

Farklı yakıt sistemlerinin BE0, BE5, BE10 ve BE20 yakıtlarındaki NO_x emisyon değeri değişimleri Şekil 3.32., Şekil 3.33., Şekil 3.34. ve Şekil 3.35.'de verilmiştir. Bütün yakıt türlerinde en yüksek NO_x emisyon değerleri karbüratörlü sistemlerde en düşük değerler ise enjektörlü sistemlerde gözlenmiştir. Ultrasonik sistemler ve karbüratörlü sistemlerde devir arttıkça genel olarak bir artış görülürken enjektörlü sistemlerde ise genelde stabil değerler gözlenmiştir. Genel olarak yüksek devirlerde en yüksek değerler ultrasonik sistemlerde gözlenmiştir.

Bunun sebebi olarak ta ultrasonik sistemlerin karışım hazırlama üzerinde ki olumlu katkısı ve yanma verimi üzerindeki olumlu etkisi NO_x değerlerinin yüksek çıkmasına neden olduğu söylenebilir.



4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Yapılan bu çalışmada bir karbüratörlü buji ateşlemeli motorda, yanma performansını arttırmak amacıyla enjektör sistemi ve ultrasonik atomizer sistemi geliştirilip deneysel çalışmaları yapılmıştır. Benzin ve benzin-biyoetanol karışımı yakıtlar kullanılarak saatlik yakıt tüketimi ve çevresel etkileri incelenmiş sonuçlar grafik haline getirilip literatür ışığında yorumlanmıştır.

Üç farklı yakıt sisteminde, benzine % 0, % 5, % 10 ve % 20 oranlarında benzin-biyoetanol karışımlarıyla yapılan motor denemelerinde elde edilen sonuçların ortalama değerleri aşağıda özetlenmektedir:

- Üç farklı sisteminin yakıt tüketimine bakıldığında en az yakıt tüketimi ultrasonik yakıt sisteminde, en fazla yakıt tüketimi karbüratörlü sistemde gözlenmiştir. Bunun sebebi olarakta ultrasonik sistemin yakıt üzerindeki etkisi gösterilebilir. Ultrasonik sistem yakıtın bağ yapısını zayıflattığı, tepkimeyi hızlandırdığı ve yakıtı küçük parçalara ayırdığından dolayı yakıt tüketimi diğer sistemlere göre daha düşük gözlenmiştir.
- Bütün yakıt sistemlerinde benzine eklenen biyoetanol oranı arttıkça yakıt tüketimlerinde arttığı gözlenmiştir. Biyoetanolün içinde bulunan oksijen, karışımı fakirleştirdiği için daha fazla yakıtı ihtiyaç duyulduğundan yakıt tüketimini arttırdığı düşünülmektedir. Elde edilen bu sonuçlar daha önce yapılan çalışmaları destekler niteliktedir.
- CO emisyonuna bakıldığında ultrasonik yakıt sistemimin CO emisyon değeri sıfıra yakın olduğu ve devir arttıkça bir değişiklik göstermediği gözlenmiştir. Üç yakıt sistemi karşılaştırıldığında en iyi sonuçlar ultrasonik sistemde en kötü sonuçlar karbüratörlü sistemde gözlenmiştir. Buda yanma olayının ultrasonik sistemde daha iyi olduğu söylenebilir. Enjeksiyon sisteminde biyoetanol oranı arttıkça CO değeri arttığı gözlenmiştir.
- CO₂ emisyon sonuçları değerlendirildiğinde biyoetanol oranı artıkça CO₂ değerinde genel olarak artış gözlenmiştir. Oksijenin yanma olayındaki olumlu etkisi bilinmektedir. CO₂ artışının sebebi olarak biyoetanolün içerdiği oksijen miktarı gösterilebilir. CO₂ değerleri en düşük değerleri ultrasonik sistemde, en yüksek değerler BE20 yakıtı dışında enjektörlü sistemde, BE20 yakıtında ise karbüratörlü sistemde gözlemlenmiştir.

- HC emisyon sonuçlarına bakıldığında HC emisyon değerleri benzindeki biyoetanol oranı artıkça genel olarak düşüş yaşandığı gözlenmiştir. En düşük sonuçlar ultrasonik yakıt sisteminde en yüksek sonuçlar ise karbüratörlü sistemde gözlemlenmiştir. Buda ultrasonik sistemin yanma olayının en verimli gerçekleştiği sistem olduğu söylenebilir.
- NO_x emisyon değerlerine bakıldığında bütün yakıt sistemlerinde en yüksek değerler karbüratörlü sistemlerde en düşük değerler ise enjektörlü sistemlerde gözlenmiştir. Ultrasonik sistemler ve karbüratörlü sistemlerde devir arttıkça genel olarak bir artış görülürken enjektörlü sistemlerde ise genelde stabil değerler gözlenmiştir.

Benzin biyoetanol karışımlarıyla yapılan çalışmalarda benzindeki biyoetanol oranı fazlaştıkça yakıt tüketimindeki artışa rağmen, egzoz emisyonlarında, özellikle de CO ve HC emisyonlarında kayda değer bir azalma gözlemlenmiştir.

Sonuç olarak ultrasonik yakıt sistemi kullanılan motorda saatlik yakıt tüketiminde ve bütün emisyon değerlerinde iyileşme gözlemlenmiştir. Ultrasonik yakıt sistemi, yakıt tüketimi ve egzoz emisyon sonuçları kötü olan karbüratörlü sistemlerin ve yüksek maliyetli enjeksiyon sistemlerinin yerini alabilecek bir sistem olduğu söylenebilir.

5. ÖNERİLER

Yapılan bu çalışma içten yanmalı motorlarda kullanılan yakıt püskürtme sistemlerine bir alternatif olarak üretilen ultrasonik yakıt sistemi ile yakıt tüketimi ve egzoz emisyonlarını belirlemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Yüksek lisans eğitimi için ayrılan süre ve eldeki imkanlar dahilinde yapılan çalışmanın sonuçları bir tez bütünlüğü halinde sunulmuş olup, konunun geliştirilmesi adına aşağıdaki önerilerde bulunulabilir.

- Ultrasonik yakıt sistemi dizel yakıt içinde geliştirilebilir.
- Ultrasonik yakıt sistemi dinamometre bağlı bir motorda uyarlanıp performans değerleri ölçülebilir.
- Ultrasonik yakıt sistemi yerine ultrasonik enjektör geliştirilip enjeksiyon sistemiyle birlikte daha verimli sonuçlar elde edilebilir.
- Oktan sayısı yüksek olan biyoetanol bu özelliğinde yararlanılıp motorun sıkıştırma oranı artırılarak daha iyi sonuçlar elde edilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Batmaz, I., İcingür, Y.**, 1998, "Motorlu Taşıtlarda LPG Kullanımı ve Birinci Kuşak LPG Sistemlerinin Performans ve Emisyonlarının Analizi", Teknoloji Dergisi Zonguldak K.Ü. Karabük Tek. Eğt. Fak. Dergisi, Sayı 1, Karabük.
- [2] **Anonymous**, 1997, "Yıllık Raporu", Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı, Ankara.
- [3] **Özer S.**, 2014, 'Alkollerin İçten Yanmalı Motorlarda Alternatif Yakıt Olarak Kullanılması' Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 19, Sayı1, Bursa.
- [4] **Öğüt H., Kuş R.** 1999, 'Motorlu Taşıtlarda Alternatif Yakıt Kullanımı' 2. Ulaşım ve Trafik Kongresi-Sergisi, ANKARA.
- [5] **Karaman N., Akansu S.O., Albayrak B.** 'İçten Yanmalı Motorlarda Alternatif Yakıt Olarak Hidrojen Kullanılması' Mühendis ve Makina • Cilt : 48 Sayı: 569
- [6] **Haşimoğlu C., Ciniviz M., Uçar G.** 2016 'Günümüzde İçten Yanmalı Motorlarda Hidrojen Yakıtının Kullanılması' Selçuk-teknik Online Dergisi / Issn 1302-6178 Volume 1, Number: 1-2000, KONYA.
- [7] **Altın, R.**, 1998, "Haşhaş Yağının Dizel Motorlarda Alternatif Yakıt Olarak Kullanılması", Teknoloji Dergisi Sayı 3-4, Z.K.Ü. Karabük Tek. Eğt. Fak., Karabük.
- [8] **Altın R., Balcı M.**, 1998, "Ayciçek Metil Ester Yakıtının Dizel Motorlarında Yakıt Olarak Kullanılması Üzerine Bir Araştırma", Teknoloji Dergisi Zong. K.Ü. Karabük Tek. Eğt. Fak. Sayı 1, Karabük.
- [9] **Yücesu H. S., Altın R., Çetinkaya S.**, 2001 'Dizel Motorlarında Alternatif Yakıt Olarak Bitkisel Yağ Kullanımının Deneysel İncelenmesi' Turk J Engin Environ Sci 25 , 39-49 TÜBİTAK.
- [10] **Fidan M.S., Alkan E.** 2014 'Bitkisel Hammaddelerden Elde Edilen Biyodizelin Alternatif Enerji Kaynağı Olarak Kullanılması' GÜFBED/GUSTIJ (2014) 4 (2): 144-160 Research/Araştırma
- [11] **Doğaner S. , Öztürk Z.**, 1999 'Motorlar için Alternatif bir Yakıt , Sıkıştırılmış Petrol Gaz /LPG) '2. Ulaşım ve Trafik Kongresi-Sergisi, ANKARA.
- [12] **Çelik M. B., Aktaş A., Özdalyan B.**, 2006 'Gerçek Yol Şartlarında Lpg Ve Benzinle Çalışan İki Taşıtın Emisyon Bakımından Karşılaştırılması' Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 11, Sayı 1, Bursa.
- [13] **Aytaş E. N.**, 2012 'Doğalgazın İçten Yanmalı Motorlarda Kullanımı' Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Lisansüstü Programı , İstanbul.

- [14] **Ayhan M., Sekmen P.**, 2009 ‘Buji Ateşlemeli Tek Silindirli Bir Motorda Doğal Gazın Alternatif Yakıt Olarak Kullanılması’ Uluslar Arası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Karabük.
- [15] **Yalçın Y., Akcan Ş.** 2015 ‘Toplu Taşımada Sıkıştırılmış Doğal Gaz (CNG) Kullanımının Sera Gazı Emisyonlarına Etkisi’ ICCI 2015 - Bildiriler Kitabı / Proceedings Book
- [16] **Aytaş E. N.** 2012 ‘Doğalgazın İçten Yanmalı Motorlarda Kullanımı’ Resarch Article/Araştırma Makalesi Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Lisansüstü Programı İstanbul.
- [17] **Bulut B.**, 2006 ‘Tarıma Dayalı Alternatif Yakıt Kaynaklarından Biyoetanol Ve Türkiye İçin En Uygun Biyoetanol Hammaddesi Seçimi’ FBE Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [18] **Adıgüzel A. O.**, 2013 ‘Biyoetanolün Genel Özellikleri ve Üretimi İçin Gerekli Hammadde Kaynakları’ BEÜ Fen Bilimleri Dergisi 2(2), 204-220 Mersin.
- [19] **Koçtürk D.**, 2011 ‘Farklı Özelliklerdeki Etanol-Benzin Karışımı Yakıtların Buji ile Ateşlemeli Motorlarda Kullanılmasının Çevresel ve Ekonomik Yönden Değerlendirilmesi’ Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [20] **Bulut B.**, 2006 ‘Tarıma Dayalı Alternatif Yakıt Kaynaklarından Biyoetanol Ve Türkiye için En Uygun Biyoetanol Hammaddesi Seçimi’ Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [21] **Bengisu G.**, 2014 ‘ Alternatif Yakıt Kaynağı Olarak Biyoetanol’ Alınteri 27 (B)-2014 43-52 ISSN:1307-3311
- [22] **Çelikten H.**, 2008 ‘Biyoetanol- Benzin Karışımlarının Bazı Yakıt Özelliklerinin Belirlenmesi’ Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Konya.
- [23] **İmrağ H.**, 2006 ‘Benzinli Motorlarda Biyoetanol Kullanımının Motor Karakteristik Değerlerine Ve Egzoz Emisyonlarına Etkilerinin Araştırılması’ Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir.
- [24] **Abdel-Rahman, A.A., Osman, M.M.** 1997. Experimental Investigation on Varying The Compression Ratio of SI Engine Working under Different Ethanol- Gasoline Fuel Blends, International Journal of Energy Research, 21:31-40.
- [25] **Ameri, M., Ghobadianb, B., Baratiana, I.** 2007. Technical comparison of a CHP using various blends of gasohol in an IC engine, Renewable Energy 33 (2008) 1469–1474.

- [26] **Apacer Research Ltd**, 1998. Intensive Field Trial Of Ethanol/Petrol Blend in Vehicles, ERDC Project No. 2511.
- [27] **Bonnema, G., Guse, G., Senecal, N., Gupta, R., Dr. Jones, B., Professor Ready, K., L.**, 1999. Use Of Mid-Range Ethanol/Gasoline Blends In Unmodified Passenger Cars And Light Duty Trucks, Minnesota Center for Automotive Research, Minnesota State University.
- [28] **Delgado, C.O.B.R., Araujo, A.S., Fernandes Jr.V.J.**, 2006. Properties of Brazilian Gasoline Mixed With Hydrated Ethanol For Flex-Fuel Technology, Fuel Processing Technology 88 (2007) 365–368.
- [29] **Downstream Alternatives Inc.** 2002. Fuel Specifications And Fuel Property Issues And Their Potential Impact On The Use Of Ethanol As a Transportation Fuel, Phase III Project Deliverable Report, Oak Ridge National Laboratory, Ethanol Project, Subcontract No. 4500010570.
- [30] **Graham, L.A., Belisle, S.L., Baas, C.L.**, 2008. Emissions From Light Duty Gasoline Vehicles Operating on Low Blend Ethanol Gasoline and E85, Atmospheric Environment 42 (2008) 4498–4516.
- [31] **Hsieh, W.D., Chen, R.H., Wu, T.L., Lin, T.H.** 2002. Engine Performance and Pollutant Emission of an SI Engine Using Ethanol-Gasoline Blended Fuels, Atmospheric Environment, 36:403-410.
- [32] **Leong, S.T., Muttamara, S., Laortanakul, P.**, 2002. Applicability of Gasoline Containing Ethanol as Thailand's Alternative Fuel to Curb Toxic VOC Pollutants From Automobile Emission, Atmospheric Environment 36 (2002) 3495 – 3503.
- [33] **Orbital Engine Company**, 2002. A Literature Review Based Assessment on the Impacts of a 10% and 20% Ethanol Gasoline Fuel Blend on Non-Automotive Engines, Report to Environment Australia.
- [34] **Örs, İ.** 2007. Benzin-Etanol Karışımlarının Taşıt Performansına Ve Egzoz Emisyonlarına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [35] **Özdamar İ., Yelken B.** 1992 ‘Benzin motorları’ 153-154
- [36] **Aydın R.** 2002 ‘Benzinli Motorlarda Yakıt Enjeksiyon Sistemleri’ Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Otomotiv Öğretmenliği Ana Bilim Dalı Mezuniyet Tezi, Konya.
- [37] 2006 Benzinli Motorların Yakıt ve Ateşleme sistemleri- 2 MEGEP, Ankara.
- [38] Denizcilik, 2016 Enjektörler MEGEP, Ankara.

- [39] Motorlu Taşıt Teknolojisi Yeni Nesil Dizel Yakıt sistemleri 2013 MEGEP, Ankara.
- [40] **Çiçekdağı F.** 2011 ‘Ultrasonik Ses Dalgalarının Oluşturduğu Akustik Kaviteyi Etkileyen Değişkenler ve Kavite Enerjisi Ölçümü’ İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- [41] **Tanyeri B.** 2015 ‘İçten yanmalı motorlarda ultrasonik atomizer kullanımının motor performans ve egzoz emisyonları üzerine etkisinin deneysel incelenmesi’ Fırat üniversitesi Fen bilimleri enstitüsü Doktora tezi, Elazığ.
- [42] **Deniz C.** 2007 “Geniş bandlı 3 MHz ultrasonik dönüştürücünün tasarımı ve gerçekleştirilmesi” Gazi üniversitesi Bilişim Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- [43] **Gürdal, O.,** 2000 “Algılayıcılar ve Dönüştürücüler”, Nobel Yayınevi, Ankara, 23-28.
- [44] **Evans, D.H., Mcdicken., W.N.,** 2000 “Doppler ultrasound physics, instrumentation, and signal processing”, Wiley Corp., England, 27-91.
- [45] **Arnau, A.,** 2004 “Piezoelectric Transducer and Applications”, Springer Academic Press, New York, 1-7.
- [46] **Büyüktanır A.,** 2010 ‘Ultraseler’ Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Orta Öğretim Fen Ve Matematik Alanları Eğitimi Bölümü Fizik Eğitimi Anabilim Dalı Ankara.
- [47] **Yakıcı Z. D.,** 2010 ‘Ultrasonik Spreyileme Ve Termal Buharlaştırma Yöntemleri Kullanılarak MgB₂ Süperiletken İnce Filmlerin Üretilmesi Ve Karakterizasyonu’ Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [48] **Sarkovic D., Babovic V.,** 2002 Construction and Functioning of an Efficient Ultrasonic Atomizer, Kragujevac journal SCI., 24, 41-55.
- [49] **Dale Turner, Hongming Xu, Roger F. Cracknell, Vinod Natarajan, Xiangdong Chen ,** 2010 ‘Combustion performance of bio-ethanol at various blend ratios in a gasoline direct injection engine’ School of Mechanical Engineering, University of Birmingham, B15 2TT, UK.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Gökhan ÖZTÜRK
T.C. No : 16570968596
Doğum Yeri : Elazığ
Doğum Tarihi : 14.09.1991
Medeni Durum : Bekâr
Ask. Durumu : Yapıldı (Yedek Subay)

İletişim Bilgileri

Cep Telefonu : 05319714324
E-Posta : gokhanozturk.ztrk@gmail.com
Adres : Alpagut Köyü MERKEZ/ ELAZIĞ

Eğitim Bilgileri

Eğitim Durumu : Yüksek Lisans
Üniversite : Fırat Üniversitesi - (*Yüksek Lisans*)
Otomotiv Müh. Ana Bilim Dalı Taşıt Tahrik Ve Güç Sistemleri
Bilim Dalı
Fırat Üniversitesi - (*Örgün Öğretim*)
Teknoloji Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği – (*Türkçe*)
Lise : Atatürk Lisesi- (*Düz*)
Yabancı Dil : İngilizce (*Orta seviye*)
Bilgisayar Bilgileri : Microsoft Ofis Programları, AutoCad,Catia
İş Deneyimleri : Kağan Döküm Ve Model San. Ve TİC.LTD.ŞTİ. 24 Gün Stajer
Metinler Otomotiv 24 Gün Stajer
Hyundai Altındaş Otomotiv 6 Ay Stajer
Artange Müh. Ltd.Şti. 15 Ay ARGE mühendisi
Sigara Kullanımı : Kullanmıyorum
Hobiler : Yüzme, DVD Film, Kitap, Basketbol, Futbol