

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

**NİTROMETANIN İÇTEN YANMALI MOTORLARDA
KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SAMET ÇELEBİ

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE EĞİTİMİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. İsmet ÇEVİK

Temmuz 2012

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ


**NİTROMETANIN İÇTEN YANMALI MOTORLARDA
KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Samet ÇELEBİ

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE EĞİTİMİ

Bu tez 24/07/2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.



Jüri Başkanı

Prof. Dr. İsmet ÇEVİK



Üye

Prof. Dr. İ. Ayhan ŞENGİL



Üye

Doç. Dr. Murat KACABELTAŞ

ÖNSÖZ

Tez çalışmam süresince çalışmalarımı teşvik eden, her türlü yardımlarını esirgemeyen danışmanım Prof. Dr. İsmet ÇEVİK'e minnet borçluyum. Çalışmama yön veren ve katkıda bulunan Araş. Gör. Murat ÇOLAK, Yrd. Doç. Dr. Murat KAPSIZ, Arş. Gör. Ferit FIÇICI ve Hasan GÜREL'e teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmam, 2011-50-01-023 nolu BAPK projesi kapsamında desteklenmiştir. Maddi katkılarından dolayı Sakarya Üniversitesi Rektörlüğüne teşekkür ederim. Tez çalışmamın her aşamasında her türlü desteklerini esirgemeyen aileme, Merve BAYRAK ve Onur KARA'ya teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
TABLolar LİSTESİ.....	ix
ÖZET.....	xi
SUMMARY.....	xii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
ENERJİ.....	3
2.1. Dünyada ve Türkiye'de Enerji Durumu.....	3
2.1.1. Dünyada Enerji Durumu.....	3
2.1.2. Türkiye'de Enerji Durumu.....	6
2.2. Alternatif Yakıtlar.....	9
2.3. Alkoller.....	11
2.3.1. Metanol.....	11
2.3.2. Etanol.....	12
2.4. Hidrojen.....	13
2.5. LPG.....	15
2.6. Doğalgaz.....	17
2.7. Alternatif Yakıt Tiplerinin Karşılaştırılması.....	19
2.8. Buji Ateşlemeli Motorlarda Yanma.....	21
2.9. Emisyonlar.....	22

BÖLÜM 3.

NİTROMETAN.....	24
3.1. Nitrometanın Elde Edilişi.....	24
3.2. Nitrometanın Kullanım Alanları.....	25
3.2.1. Nitrometanın motor yakıtı olarak kullanılması.....	25
3.3. Nitrometanın Türevleri.....	27
3.4. Nitrometanın Özellikleri.....	27
3.4.1. Nitrometanın yapı ve özellikleri.....	28
3.4.2. Nitrometanın uçuculuk ölçüsü verileri.....	29
3.4.3. Nitrometanın fiziksel ve termodinamik özellikleri.....	30
3.5. Nitrometanın Patlama Riskinin Yönetimi.....	32
3.5.1. Nitrometanın taşınması.....	34
3.5.1.1. Taşıma varillerinin yok edilmesi.....	36
3.5.1.2. Taşıma boruları ve malzeme özelliği.....	36
3.5.2. Nitrometanın tutuşma riski.....	37
3.5.3. Nitrometanın depolanması.....	37
3.5.4. Hassasiyet gidericiler.....	39

BÖLÜM 4.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	41
4.1. Deneysel Düzenek.....	41
4.1.1. Deneysel motor.....	41
4.1.2. Elektrikli dinamometre.....	42
4.1.3. Hava debisinin ölçümü.....	43
4.1.4. Yakıt sarfiyatının ölçümü.....	43
4.1.5. Egzoz sıcaklığının ölçümü.....	44
4.1.6. Egzoz emisyonlarının ölçümü.....	44
4.2. Hesaplamalarda Kullanılan Formüller.....	45
4.2.1. Döndürme momenti ve efektif güç.....	45
4.2.2. Ortalama efektif basınç.....	46
4.2.3. Özgül yakıt sarfiyatı.....	46
4.2.4. Efektif verim.....	47
4.2.5. Volümetrik verim.....	47

4.2.6. Hava fazlalık katsayısı.....	48
4.2.7. Hava debisi ölçümü.....	48
BÖLÜM 5.	
DENEY SONUÇLARI.....	50
5.1. Döndürme Momentinde Meydana Gelen Değişim.....	50
5.2. Efektif Güçte Meydana Gelen Değişim.....	51
5.3. Ortalama Efektif Basınçta Meydana Gelen Değişim.....	53
5.4. Özgül Yakıt Sarfiyatında Meydana Gelen Değişim.....	54
5.5. Efektif Verimde Meydana Gelen Değişim.....	55
5.6. CO Emisyonunda Meydana Gelen Değişim.....	57
5.7. HC Emisyonunda Meydana Gelen Değişim.....	59
5.8. CO ₂ Emisyonunda Meydana Gelen Değişim.....	60
5.9. NO _x Emisyonunda Meydana Gelen Değişim.....	62
5.10. Hava Fazlalık Katsayısında Meydana Gelen Değişim.....	64
5.11. Egzozda Ölçülen Oksijen Miktarında Meydana Gelen Değişim...	65
BÖLÜM 6.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	67
KAYNAKLAR.....	69
ÖZGEÇMİŞ.....	73

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

CO	: Karbonmonoksit
E85	: % 85 etanol + % 15 benzin
EPDK	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
HC	: Hidrokarbon
HFK	: Hava fazlalık katsayısı
Hg	: Cıva
kcal	: Kilokalori
kPa	: Kilopaskal
log	: Logaritma
M85	: % 85 metanol + % 15 benzin
Mj	: Megajoule
mm	: Milimetre
mPa	: Megapaskal
MW	: Megawatt
NM	: Nitrometan
NO _x	: Azot oksit
OECD	: Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü
TWh	: Terawatt saat

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Dünya birincil enerji tüketiminin kaynaklar bazında değişimi (1970 – 2010).....	3
Şekil 2.2.	Bazı ülkelerin birincil enerji tüketimlerinin değişimi (1970 –2010).....	4
Şekil 2.3.	Dünya birincil enerji tüketiminin mevcut senaryoya göre gelişimi.....	5
Şekil 2.4.	Dünyada birincil enerji talebi gelişimi.....	5
Şekil 2.5.	Dünya birincil enerji tüketiminin kaynaklara göre değişim öngörüsü.....	6
Şekil 2.6.	Türkiye birincil enerji tüketiminin kaynaklar bazında gelişimi (1970 – 2010).....	7
Şekil 2.7.	Türkiye birincil enerji tüketiminin kaynaklara göre dağılımı (2010).....	7
Şekil 2.8.	Türkiye’de birincil enerji üretiminin tüketimi karşılama oranı – dışa bağımlılık.....	8
Şekil 2.9.	Türkiye’de yerli kaynakların birincil enerji talebini karşılama oranları (2010).....	8
Şekil 2.10.	M85, E85 ve benzinin motor momenti ve gücüne etkisi.....	21
Şekil 2.11.	Hava fazlalık katsayısına bağlı olarak egzoz emisyonlarının değişimi.....	23
Şekil 3.1.	Nitrometanın kimyasal formülünün açılımı.....	24
Şekil 3.2.	\log_{10} tabanına göre nitrometanın buhar basıncı.....	28
Şekil 4.1.	Deney motoru test düzeneğinin şematik görünümü.....	41
Şekil 4.2.	Deneylerde kullanılan dinamometrenin görünüşü.....	42
Şekil 4.3.	Hava sönmüleme tankı, motora bağlantısı ve eğik manometre.....	43
Şekil 4.4.	Deneylerde yakıt ölçümü için kullanılan düzenek.....	44

Şekil 4.5.	Egzoz sıcaklıklarını ölçmede kullanılan cihaz.....	44
Şekil 4.6.	Egzoz gazı analiz cihazı.....	45
Şekil 5.1.	Döndürme momentinin farklı karışım oranlarında motor hızına göre değişimi.....	51
Şekil 5.2.	Efektif gücün farklı karışım oranlarında motor hızına göre değişim.....	52
Şekil 5.3.	Ortalama efektif basıncın farklı karışım oranlarında motor hızına göre değişimi.....	53
Şekil 5.4.	Özgül yakıt sarfiyatının farklı karışım oranlarında motor hızına göre değişimi.....	55
Şekil 5.5.	Efektif verimin farklı karışım oranlarında motor hızına göre değişim.....	57
Şekil 5.6.	CO emisyonunun farklı karışım oranlarında motor hızına göre değişimi.....	58
Şekil 5.7.	HC emisyonunun farklı karışım oranlarında motor hızına göre değişimi.....	60
Şekil 5.8.	CO ₂ emisyonunun farklı karışım oranlarında motor hızına göre değişimi.....	61
Şekil 5.9.	NO _x emisyonunun farklı karışım oranlarında motor hızına göre değişimi.....	63
Şekil 5.10.	Egzoz sıcaklıklarının farklı karışım oranlarında motor hızına göre değişimi.....	63
Şekil 5.11.	Hava fazlalık katsayısının farklı karışım oranlarında motor hızına göre değişimi.....	65
Şekil 5.12.	Oksijenin farklı karışım oranlarında devre göre değişimi.....	66

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.	Metanolün fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	11
Tablo 2.2.	Etanolun fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	13
Tablo 2.3.	Hidrojenin fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	14
Tablo 2.4.	LPG'nin özellikleri.....	16
Tablo 2.5.	Doğalgaz bileşenleri ve miktarlar.....	17
Tablo 2.6.	Doğalgazın fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	18
Tablo 2.7.	Alternatif yakıtların fiziksel ve kimyasal olarak karşılaştırılması.....	19
Tablo 3.1.	Benzin, metanol ve nitrometan yakıtlarının karşılaştırılması.....	27
Tablo 3.2.	Nitrometanın yapı ve özellikleri.....	28
Tablo 3.3.	Nitrometanın sıvı haldeki buhar basıncı.....	28
Tablo 3.4.	Nitrometan / Etanol için sıvı-buhar dengesi.....	29
Tablo 3.5.	Nitrometan / Metanol için sıvı-buhar dengesi.....	29
Tablo 3.6.	Saf nitrometanın fiziksel ve termodinamik özellikleri.....	30
Tablo 3.7.	Nitrometanın benzin ve metanol ile bazı özelliklerinin karşılaştırılması.....	31
Tablo 3.8.	Amerikan sigorta birliği mesafe tablosu.....	38
Tablo 3.9.	Kümelene ile depolama için mesafe tablosu.....	39
Tablo 3.10.	Nitrometanı duyarsızlaştırmak için gereken minimum miktarlar.....	40
Tablo 4.1.	Deney motorunun teknik özellikleri.....	42
Tablo 5.1.	Döndürme momentinin farklı karışım oranlarında motor hızına göre değerleri.....	50
Tablo 5.2.	Efektif gücün farklı karışım oranlarında motor hızına göre değerleri.....	52

Tablo 5.3.	Ortalama efektif basıncın farklı karışım oranlarında motor hızına göre değerleri.....	53
Tablo 5.4.	Özgül yakıt sarfiyatının farklı karışım oranlarında motor hızına göre değerleri.....	54
Tablo 5.5.	Efektif verimin farklı karışım oranlarında motor hızına göre değerleri.....	56
Tablo 5.6.	CO emisyonunun farklı karışım oranlarında motor hızına göre değerleri.....	58
Tablo 5.7.	HC emisyonunun farklı karışım oranlarında motor hızına göre değerleri.....	59
Tablo 5.8.	CO ₂ emisyonunun farklı karışım oranlarında motor hızına göre değerleri.....	61
Tablo 5.9.	NO _x emisyonunun farklı karışım oranlarında motor hızına göre değerleri.....	62
Tablo 5.10.	HFK'nın farklı karışım oranlarında motor hızına göre değişimi.....	64
Tablo 5.11.	Oksijenin farklı karışım oranlarında motor hızına göre değişimi.....	65

ÖZET

Anahtar kelimeler: Motor performans, Nitrometan, Alternatif yakıtlar, İçten yanmalı motorlar, Yanma.

Günümüzdeki enerji kaynaklarının sınırlı bir potansiyele sahip oluşu, bilim insanlarını alternatif enerji kaynakları araştırmaya yöneltmiştir. Özellikle günümüz taşıt motorlarında kullanılan yakıtların petrolden üretilmeleri ve dünya petrol kaynaklarının kısa süre içerisinde tükeneceğinin tahmin edilmesi bu çalışmalara ciddi bir ivme kazandırmıştır. Alkollerin motor yakıtı olarak kullanılacakları gerçeği birçok araştırmacı tarafından ortaya konmuştur.

Bu çalışmada, motor yakıtları ve bunlara alternatif olarak kullanılacak yakıtların özellikleri incelenmiş ve daha sonra benzine değişik oranlarda nitrometan kimyasalının sıvı olarak karıştırılması sonucu elde edilen karışımlar ile tam yük deneyleri yapılmıştır. Motor performansı, egzoz çıkış sıcaklıkları, yakıt tüketimi parametreleri her karışım için karşılaştırılmış, tablo ve diyagramlar ile sonuçlar gösterilmiştir.

SUMMARY

Keys words: Engine performance, Nitromethane, Alternative fuels, Internal combustion engines, Combustion.

In the world energy sources are limited. This fact leads researchers to find alternative energy sources. In particular, since current vehicles are worked with fuels produced from oil and it is predicted that reserves are consumed soon, studies on energy sources are accelerated. On the other hand, many researchers proposed that alcohol can be used as motor fuel.

In this work, we investigated fuels and its alternatives and later mixtures of gasoline and nitromethane are experimented with full-load tests. Engines compared with every mixture, and results are presented in tables and diagrams.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Enerji, ekonomik ve toplumsal kalkınmanın en önemli girdilerinden olup 1970’li yıllardan itibaren tüm dünya ülkelerinde önemli bir gündem maddesi olmuştur [1]. Enerji, gelişen dünyanın vazgeçilmez bir ihtiyacıdır. Dünya ülkeleri hedefledikleri ekonomik büyümeyi ve sosyal kalkınmayı gerçekleştirmek için ihtiyaç duydukları enerjiyi yeterli miktarda, güvenilir, çevreye duyarlı ve ekonomik bir şekilde temin etmek durumundadırlar. Bugün dünyamızda yoğun olarak kullanılan enerji kaynaklarının başında gelen fosil yakıtların yerini, gelecekte bunlara alternatif olabilecek yakıtların alacağı beklenmektedir. Dünyadaki petrol rezervleri ve üretim miktarları dikkate alındığında petrolün 21. yy. ortalarında tükeneceğine yönelik tahminler yapılmaktadır [2].

Enerjinin üretimi, taşınması ve kullanımı çeşitli çevre problemlerini de beraberinde getirmektedir. Bu nedenle enerji ve çevre politikaları oluşturulurken, ekonomik ve sosyal hedefler dikkate alınarak, çevre kirliliğinin azaltılmasına yardımcı olacak enerji sistemlerinin geliştirilmesi ve mevcut sistemlerde enerji üretimi ve tüketimi esnasında çevreye olan etkileri azaltacak tedbirler hedeflenmelidir [3].

Motorlu taşıtların tümü, petrol kaynaklı yakıtlar ile çalışmaktadır. Sınırlı enerji kaynakları ileride potansiyel bir enerji kıtlığının olabileceğini göstermektedir. Fosil yakıtların kullanımı ve çevresel bilinç, mühendisleri ve bilim adamlarını temiz, yenilenebilir ve güçlendirilebilir enerji sistemlerinin geliştirilmesinin gerektiği düşüncesine yönlendirmektedir [4]. Buji ateşlemeli motorların bir günlük yakıt tüketimleri yaklaşık olarak dünya petrol üretiminin üçte birine denk gelmektedir [5]. Petrole bağımlılığın azaltılması ve gelecekte yaşanabilecek petrol krizlerinin en az sıkıntıyla atlatılabilmesi düşüncesi, alternatif yakıt arayışlarına, özellikle içten yanmalı motor yakıtlarının alternatiflerinin araştırılmasına neden olmaktadır [6,7].

Bu çalışmada, nitrometanın bir benzin motorunda kullanılabilirliği araştırılmıştır. Motorda hiçbir değişiklik yapılmaksızın benzine hacimsel olarak belirli oranlarda nitrometan katılarak hazırlanan karışımlar ile yapılan tam yük deneylerinden elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Yapılan deneylerde performans parametreleri, özgül yakıt tüketimi, egzoz gazı sıcaklıkları ve egzoz emisyonları karşılaştırılmıştır.

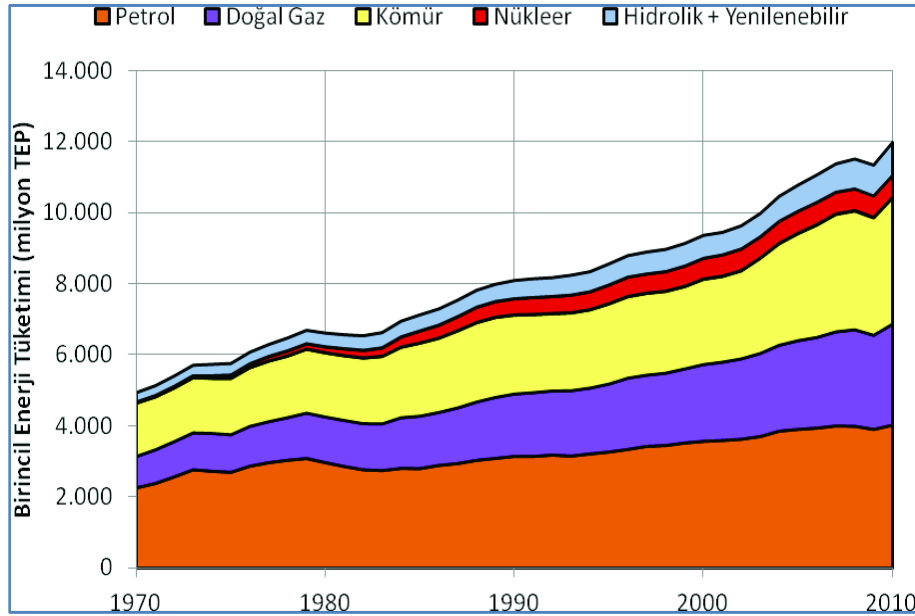
BÖLÜM 2. ENERJİ

2.1. Dünyada ve Türkiye’de Enerji Durumu

2.1.1. Dünyada enerji durumu

1970’lerin başında yaşanan petrol krizi ve sonrasında gelen petrol ambargoları gelişmiş batı ülkelerini enerji konusunda önlemler almaya yöneltmiştir. Bu sürece müdahale olarak alternatif kaynakların araştırılması ve enerji verimliliği çalışmaları gündeme gelmiştir [8].

Birincil enerji tüketiminin kaynaklar bazında değişimi Şekil 2.1’de görülmektedir.

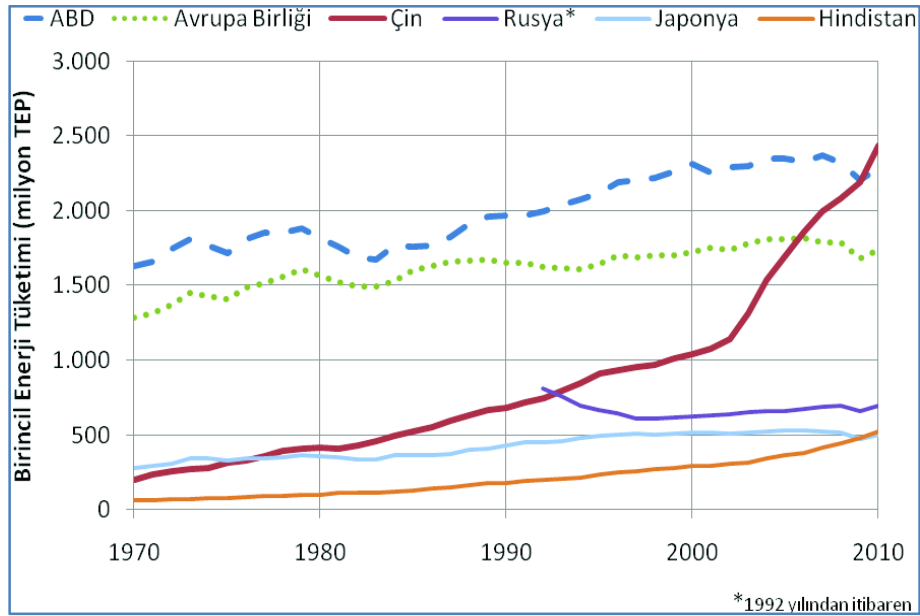


Şekil 2.1. Dünya birincil enerji tüketiminin kaynaklar bazında değişimi (1970 – 2010) [9]

Yukarıdaki grafiğin elde edildiği kaynakta termik santralde petrolden elektrik üretimi sırasındaki % 37 santral verimi dikkate alınmış, bu yüzden nükleer, hidrolik ve

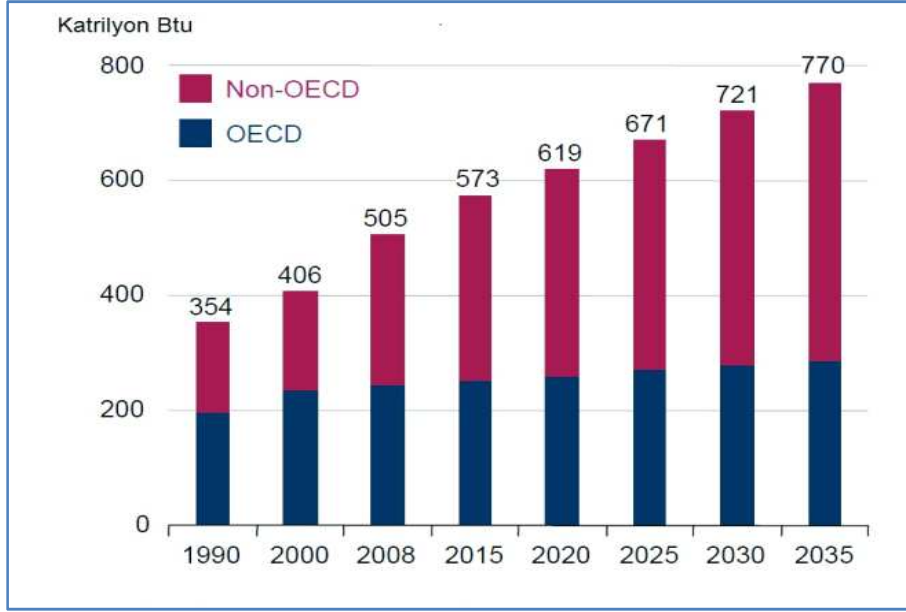
yenilenebilir enerjiden üretilen elektrik ton eşdeğer petrole çevrilirken 4,4 TWh = 1 milyon TEP kabul edilmiştir [8].

Günümüzde fosil yakıtların enerji tüketimindeki payının büyüklüğü sürmektedir. 2010 yılında tüketilen 12 milyar ton eşdeğer petrol (TEP) enerjinin % 34'ü petrol, % 30'u kömür, % 24'ü doğal gaz olarak görülmektedir. 2010 yılında dünyada enerjinin % 54'ü beş ülke tarafından tüketilmiştir. Şekil 2.2'de tüketimlerindeki artış görülen Çin, ABD, Rusya, Japonya ve Hindistan'dır. Çin'in yıllık enerji tüketimi son 10 yılda 2,4 kat artarak 2010 yılı sonunda ABD'nin yıllık tüketimini de geride bırakmıştır.



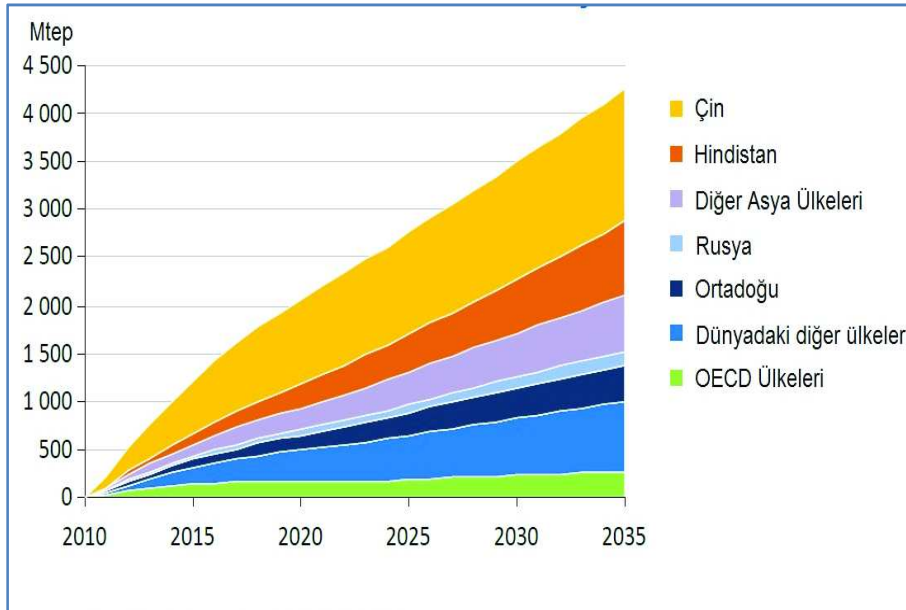
Şekil 2.2. Bazı ülkelerin birincil enerji tüketimlerinin değişimi (1970 – 2010) [9]

2007'den itibaren hissedilmeye başlayan ekonomik durgunluğa paralel olarak enerji talebinde de bir azalma görülmektedir. Bununla birlikte, 2011 yılı baz alınarak (mevcut mevzuat ve politikaların devam ettiği kabul edilerek) hazırlanan senaryoda 2008–2035 yılları arasında dünyadaki enerji pazarının % 53 civarında büyüyeceği (2008 tüketimi 12,7 milyar TEP, 2035 tüketim tahmini 19,4 milyar TEP), bu artışta en büyük payı % 85 ile OECD üyesi olmayan ülkelerin alacağı öngörülmüştür. Bu oran OECD ülkeleri için % 18'dir [10].



Şekil 2.3. Dünya birincil enerji tüketiminin mevcut senaryoya göre gelişimi [10]

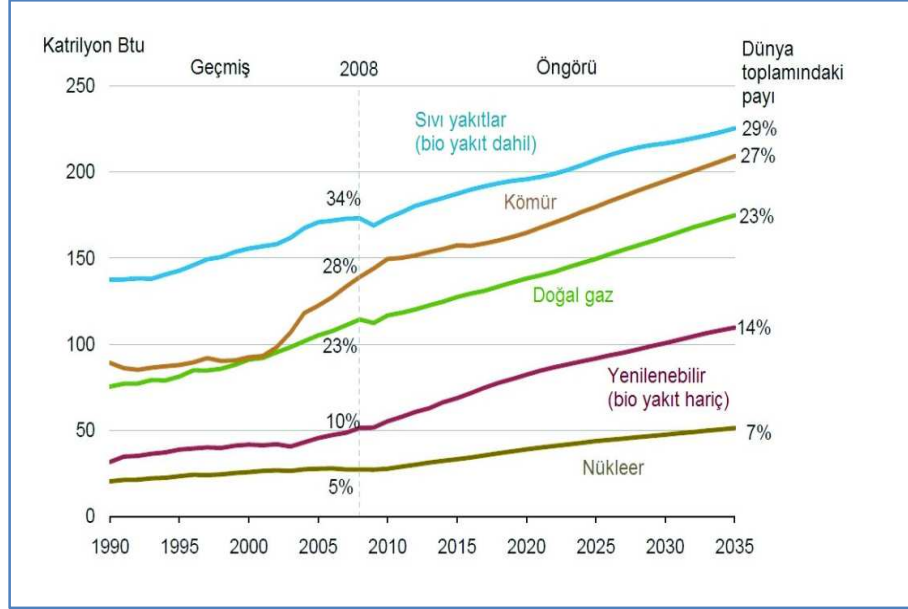
Bununla birlikte dünyadaki birincil enerji talebindeki toplam artışın yarısının Çin ve Hindistan kökenli olacağı belirtilmektedir.



Şekil 2.4. Dünyada birincil enerji talebi gelişimi [11]

Bu senaryoda ayrıca, 2008–2035 döneminde enerji talebinin artmaya devam edeceği, bununla birlikte petroldeki hızlı talep artışının bir miktar düşerek toplam enerji tüketimi içinde 2008’de % 34 olan payının 2035’de % 29’a ineceği, yenilenebilir

enerjinin ise hızlı bir artış göstererek 2008’de % 10 olan payının 2035’de % 14’ün üzerine çıkacağı öngörülmüştür [10].

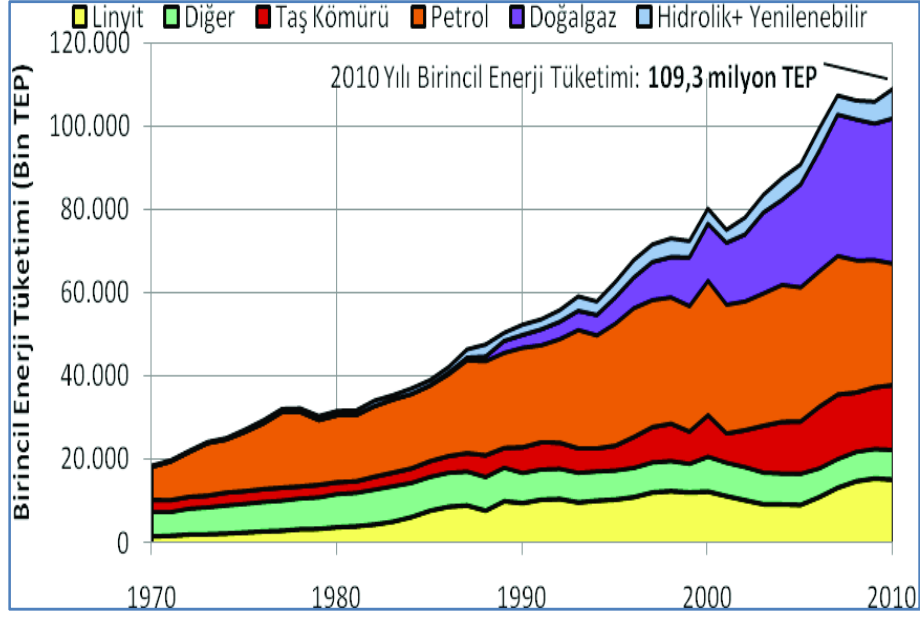


Şekil 2.5. Dünya birincil enerji tüketiminin kaynaklara göre değişim öngörüsü [10]

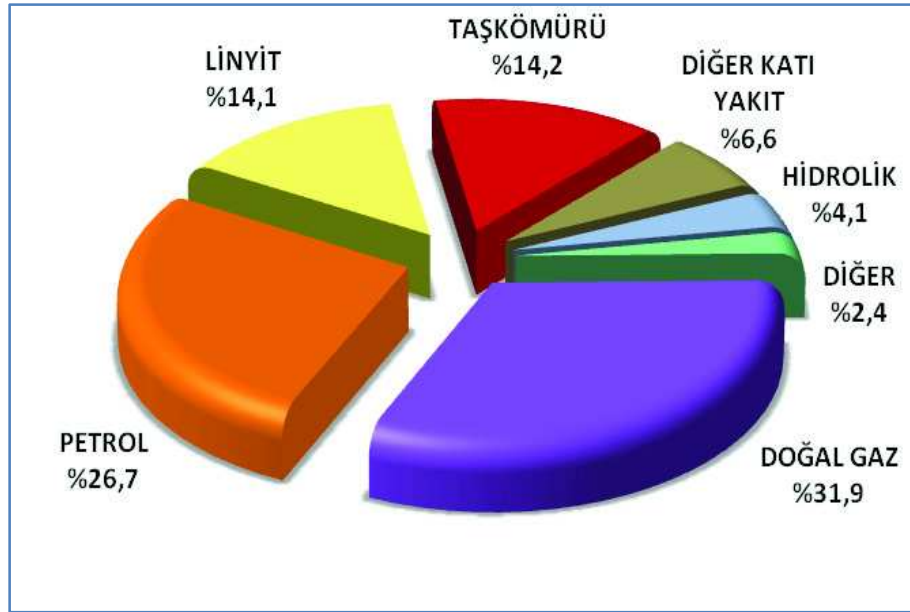
2.1.2. Türkiye’de enerji durumu

Türkiye’de birincil enerji tüketiminin kaynaklar bazında son yıllardaki gelişimi Şekil 2.6’da görülmektedir. 1970’li yıllarda birincil enerji talebindeki payı % 50’ye ulaşan petrolün, günümüzde % 26,7’lik önemli bir paya sahip olduğu görülmektedir [8].

1990 yılında 3,1 milyon TEP olan doğal gaz talebinin son yirmi yılda 11 kat arttığı, 2010 yılında 34,9 milyon TEP’e ulaştığı görülmektedir.

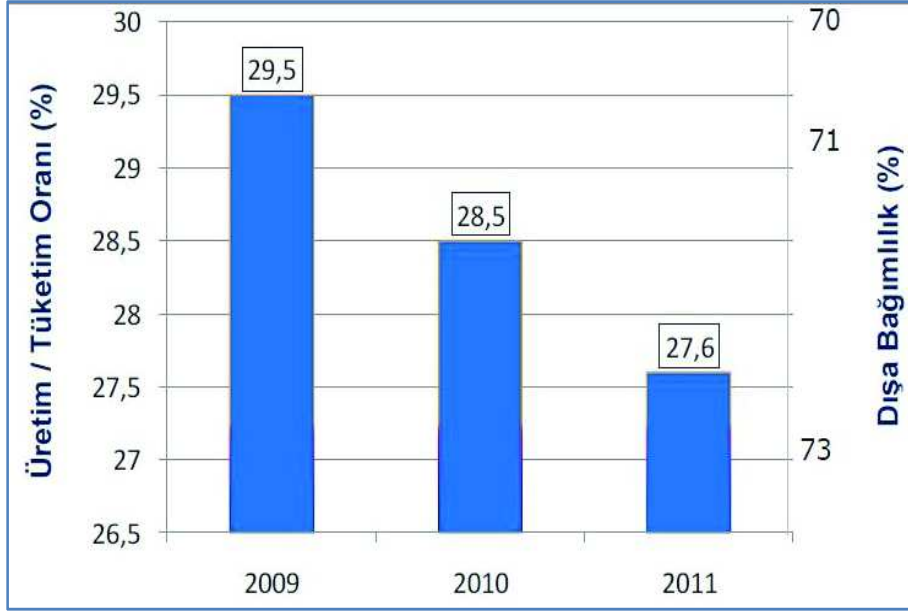


Şekil 2.6. Türkiye birincil enerji tüketiminin kaynaklar bazında gelişimi (1970 – 2010) [12]



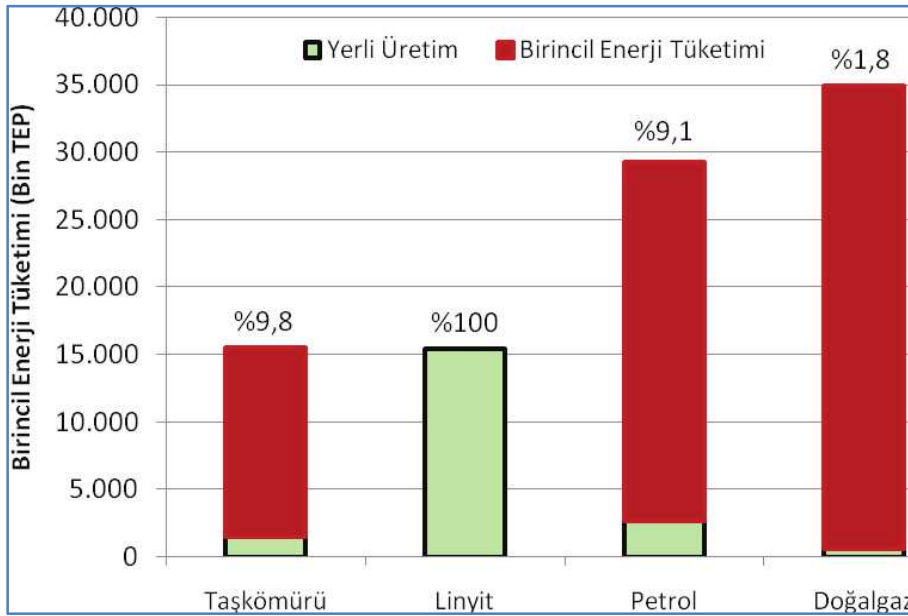
Şekil 2.7. Türkiye birincil enerji tüketiminin kaynaklara göre dağılımı (2010) [12]

Türkiye'nin birincil enerji tüketimi 2009 yılındaki ekonomik kriz nedeniyle bir miktar düşmüş olmasına rağmen 2010 yılında 109,3 milyon TEP'e ulaşmıştır. Ayrıca 2010 yılından itibaren % 5'lik bir artış trendi öngörülmektedir. Diğer yandan enerji talebinin yerli üretim ile karşılanma oranı gittikçe azalmaktadır [13].



Şekil 2.8. Türkiye’de birincil enerji üretiminin tüketimi karşılama oranı – dışa bağımlılık [13]

Türkiye’nin birincil enerji tüketiminin % 87’sini karşılayan dört fosil yakıt için yerli üretim oranları Şekil 2.9’da yer almaktadır. Türkiye, kullandığı petrolün % 9,1’ini, doğal gazın ise ancak % 1,8’ini üretebilmektedir [8].



Şekil 2.9. Türkiye’de yerli kaynakların birincil enerji talebini karşılama oranları (2010) [14]

2.2. Alternatif Yakıtlar

Günümüzde petrol kökenli yakıtların taşıtlarda kullanılmasıyla açığa çıkan gazların verdiği zararların artması nedeniyle bilim adamları çevreye daha az zararlı olabilecek alternatif yakıt araştırmalarına yönelmişlerdir [15].

Bunun yanında petrol rezervlerinin gelecekte tükeneceği öngörülerek petrole olan bağımlılığın azaltılmaya çalışılması hatta petrole olan ihtiyacın farklı enerji çeşitleriyle ortadan kaldırılması hedeflenmektedir. Yapılan çalışmaların ağırlığı bu yöndedir [15].

Ayrıca yerli üretimi düşük seviyelerde seyreden ve büyük oranda ithal edilen doğal gaz kaynağına yüksek ölçüde bağımlı olunması, önemli bir arz güvenliği riski oluşturmaktadır. Ülkede tüketilen petrolün de büyük ölçüde ithal bir kaynak olması, Türkiye'yi birincil enerji kaynakları açısından bağımlı bir ülke haline getirmektedir. Arz güvenliği sorununun aşılması için öncelikle yerli kaynakların daha fazla değerlendirilmesi, daha sonra hem ithal enerji kaynaklarının hem de ithal edilen kaynağın getirildiği ülkelerin çeşitlendirilmesi gerekmektedir [15].

Arz güvenliği sorununu hafifletmek üzere Türkiye'de bir yandan petrol ve doğal gaz aramaları sürdürülürken, diğer yandan yerli kaynakların geliştirilmesine yönelik çalışmalar yürütülmektedir. Bu kapsamda özellikle yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının teşvik edilmesi bir politika olarak benimsenmiştir. 08 Ocak 2011 tarih ve 27809 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan, yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi amaçlı kullanımına ilişkin kanunda değişiklik yapılmasına dair kanun ile yenilenebilir enerji için yeni teşvikler getirilmiştir. Bu düzenleme ile yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektrik için kaynak temelinde belirlenen fiyatlar üzerinden alım garantisi sağlanmıştır. Ayrıca yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim tesislerinde yurt içinde imal edilen ekipman kullanılması durumunda, bu tesislere işletmedeki ilk 5 yıl boyunca kaynak ve kullanılan ekipmanın türüne göre ilave fiyat teşvikleri verilmesi hükme bağlanmıştır [15].

Diğer yandan, EPDK'nın 27.09.2011 tarihli ve 28067 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan iki tebliği ile biyoyakıtların benzin ve motorin ile zorunlu olarak harmanlanması uygulaması başlatılmıştır. Buna göre; piyasaya akaryakıt olarak arz edilen benzin türlerine 01.01.2013 tarihinden itibaren % 2, 01.01.2014 tarihinden itibaren de en az % 3 oranında yerli tarım ürünlerinden üretilmiş biyoetanol ilave edilmesi zorunlu kılınmıştır. Benzer şekilde, piyasaya akaryakıt olarak arz edilen motorin türlerinin, yerli tarım ürünlerinden üretilmiş biyodizel içeriğinin 01.01.2014 tarihi itibarıyla en az % 1, 01.01.2015 tarihi itibarıyla en az % 2, 01.01.2016 tarihi itibarıyla en az % 3 olması zorunluluğu getirilmiştir. Kararın, petrol bağımlılığının bir nebze de olsa azaltılmasına katkı sağlayacağı düşünülmektedir [15].

Yenilenebilir enerjinin desteklenmesi politikalarının bir sonucu olarak, yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretiminde de önemli artışlar kaydedilmiştir. 2011 itibarıyla jeotermal kaynaklardan elektrik üretimi yapan 6 santralin toplam kurulu gücü 94 MW'a ulaşmıştır [15].

Nüfus artışına, sanayinin gelişmesine paralel olarak kurulan büyük ölçekli enerji üretim ve çevrim sistemleri ekolojik dengeyi büyük ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle çevre sorunları ulusal olduğu gibi uluslararası çaptadır. Dolayısıyla çevre sorunlarını gidermek için, gerekli tedbirlerin alınmasında, uluslararası işbirliğinin rolü önem kazanmaktadır [16].

Metanol, etanol, hidrojen, LPG, doğalgaz, çeşitli bitkisel yağlar gibi alternatif yakıt türleri taşıtlarda kullanılabilirliği denenmiş ve geliştirilmeye devam edilen yakıt türleridir.

2.3. Alkoller

2.3.1. Metanol

Oda sıcaklığı ve basıncında renksiz organik bir sıvıdır. Metanol içerisinde metil alkol bulunan, odun, kömür gibi fosil yakıtların ısı altında damıtılmaları yolu ile doğal gaza birtakım damıtma işlemleri uygulanarak veya CO ve H₂'nin katalitik ortamda sentezleri ile elde edilir. Metanol üretimi düşük basınçta sentez süreci yaparak gerçekleştirilir. Üretimde, hidrojen sağlamak için doğal gaz (% 96 metan (CH₄)) ve oksijen sağlamak için su olmak üzere iki ana ham madde kullanılır. Bu ham maddeler ile bir dizi kimyasal reaksiyon zinciri sonunda arıtılmamış ham metanol üretilir ve metanol rafine edilerek % 99,9 oranında saflık sağlanır [17]. Tablo 2.1'de metanolün fiziksel ve kimyasal özellikleri verilmektedir.

Tablo 2.1. Metanolün fiziksel ve kimyasal özellikleri [16]

	Metanol
Kimyasal denklemi	CH ₃ OH
C/H oranı	0.25
Molekül ağırlığı	32.04
Özgül ağırlığı (gr/cm ³) sıvı	0.79
Isıl değeri (MJ/kg)	20.1
(MJ/lt)	15.9
Stokiyometrik Karışım hava/yakıt (kütleli)	6.44
hava/yakıt (hacimsel)	7.14
Buharlaşma ısısı (MJ/kg)	1.10
Tutuşma sınırları % (hacimsel), Hava fazlalık katsayısı λ	6 – 37 0.24 – 2.22
Laminar alev hızı (m/s)	0.52
Adyabatik alev sıcaklığı (°C)	1878
Kaynama noktası (°C)	65.1
Donma noktası (°C)	-97.6
Kendi kendine tutuşma sıcaklığı (°C)	470
Oktan sıyışı ROS (Araştırma oktan sayısı)	110

Üretilen metanol dağıtılmak için yüksek güvenlik seviyesine sahip depolarda saklanır. Çünkü metanol son derece koroziftir ve metanolün depolanmasında standart çelik tanklar yerine paslanmaz çelik tanklar kullanılmaktadır. Metanol aynı zamanda iyi bir çözücüdür. Bu yüzden sızdırmazlık malzemelerini seçerken dikkat edilmeli ve plastik kauçuk gibi malzemeler tercih edilmemelidir. 2007 yılında dünya genelinde tüketimi 40 milyon tonu bulan metanolün en çok üretildiği yerler Karayipler ve Basra Körfezi'dir [18].

Metanol kullanımında dikkat edilmesi gereken bazı hususlar vardır. Çünkü metanol havada kolaylıkla yanabilen bir kimyasaldır. Ayrıca metanol buharı da bazı ortamlarda patlayıcı olabilmektedir. Zehirli bir kimyasal olduğu için de insanlarda kalıcı körlüğe hatta ölümlere neden olabilir. Su ile her oranda karışılarak yanıcı bir çözelti meydana getirir. Üretilen metanolün yaklaşık %40'ı formaldehit yapımı için kullanılmaktadır. Ayrıca metanol yakıt, yakıt katkısı, çözücü ve soğutucu olarak da kullanılabilir. Ancak en çok gelecek vaat ettiği teknolojiler, hidrojen taşıyıcı olarak kullanıldığı yakıt pilleri ve türbin yakıtı olarak kullanıldığı güç jeneratörleridir [17].

2.3.2. Etanol

Etil alkolün (etanol ($\text{CH}_3 \text{ CH}_2 \text{ OH}$)) kullanım alanları, çözücü, dezenfektan, akaryakıt ve çeşitli kimyasalların üretimi olarak sıralanabilir. Etil alkol, karbonhidratların fermantasyonu (mayalanması) ile elde edilir. Fermantasyon, organik bileşiklerin biyolojik katalizörlerin (enzim) etkisiyle daha basit bileşiklere ayrıştırılmasıdır. Şeker kamışının saflaştırılması sonucunda kalan melasın mayalanmasıyla elde edilen etil alkol, patates ve pirinç içerisindeki nişastanın benzer şekilde mayalanmasıyla da üretilmektedir. Mısır, buğday, çavdar, arpa, üzüm gibi çeşitli tarımsal ürünlerden etil alkol elde edilebilmektedir. Alkolün kullanılacağı alan fermantasyonda kullanılacak karbonhidratın seçiminde etkilidir [19].

Tablo 2.2. Etanolun fiziksel ve kimyasal özellikleri [16]

	Etanol
Kimyasal Denklemi	C ₂ H ₅ OH
C/H Oranı	0,333
Molekül Ağırlığı (gr)	46,07
Özgül Ağırlığı (gr/cm ³) sıvı	0,79
Isıl Değeri (MJ/kg)	26,9
(MJ/lt)	21,3
Stokiyometrik Karışım Hava/Yakıt (kütlesele)	8,96
Hava/Yakıt (hacimsel)	14,3
Buharlaştırma ısısı (MJ/kg)	0,856
Tutuşma sınırları % (hacimsel)	3,5-19
Hava fazlalık katsayısı λ	0,29-1,92
Adyabatik alev sıcaklığı (°C)	1924
Kaynama Noktası (°C)	78,7
Donma Noktası (°C)	-117,7
Kendi kendine tutuşma sıcaklığı (°C)	392
Oktan Sayısı ROS (araştırma oktan sayısı)	106

2.4. Hidrojen

Atomik sembolü “H” olan hidrojenin atom ağırlığı 1,00797 gram/mol, atom sayısı 1 olan en hafif elementtir [20]. Kokusuz, renksiz ve saydam bir yapıya sahip olan hidrojen, hava ya da oksijen içerisinde kolayca parlar, patlayarak yanar ve su oluşturur. Çok kolay tepkimeye girdiğinden başka elementlerle birleşmiş halde bulunur. Bir litresi 0 °C ve 1 atmosfer basınç altında 0,0838 gram gelir. Havada hacimsel olarak % 0,00005 kadar saf halde hidrojen vardır [16]. Hidrojenin yanma ısısı oldukça yüksektir ve zehirli etkisi yoktur. Yanma sonucunda ise sadece su buharı meydana gelir. Aynı ağırlıktaki benzine göre sıvı hidrojenin enerjisi 2,75 kat daha fazladır [21].

Hidrojenin en önemli özelliği sıvı ve gaz olarak kullanılabilmesidir. Gaz halindeki hidrojen, aynı hacimdeki havadan yaklaşık 14 kat daha hafiftir. İçten yanmalı motorlarda kullanılmakta olan yakıtlarla karşılaştırıldığında ise, sıvı hidrojenin sıvı hidrokarbon yakıtlara oranla yaklaşık 10 kat daha hafif, gaz halindeki hidrojenin ise

metan, doğal gaz gibi gaz halindeki yakıtlardan yine 10 kat daha hafif olduğu görülecektir [22].

Hidrojenin motorlarda yakıt olarak kullanımında avantaj sağlayacak en önemli özelliklerden bir diğeri tutuşma sınırlarının çok geniş yakıt karışım oranlarına uzanmasıdır [23,24].

Hidrojenin alt ısıl değeri de öteki mevcut motor yakıtlarından daha yüksektir (hidrojen için 119.93 kJ/g, benzin için 43.4 kJ/g). Ancak hacimsel olarak ele alındığında hidrojenin alt ısıl değeri diğer yakıtlara göre daha azdır (hidrojen için 8.41 MJ/litre, benzin için 31.8 MJ/litre, metanol için 15.9 MJ/litre, metan için 20.8 MJ/litre). Hidrojenin adyabatik alev sıcaklığı ise benzinle aynı mertebelindedir (Hidrojen 2110 °C, Benzin 1993 °C, Metanol 1878 °C) [25].

Tablo 2.3. Hidrojenin fiziksel ve kimyasal özellikleri [16]

Özellik	Hidrojen
Kimyasal Denklemi	H ₂
C/H Oranı	0
Molekül Ağırlığı (g/mol)	2,016
Yoğunluk (kg/m ³)	0,0838
Yoğunluk (kg/m ³) sıvı	70,8
Isıl Değeri (MJ/kg)	119,90(Hu)
(MJ/m ³)	10,05(Hu)
Kritik nokta	Değeri
Sıcaklık (°C)	-240.21
Basınç (kN/m ²)	1284
Yoğunluk (kg/m ³)	31,40
Stokiyometrik Karışım hava/yakıt (hacimsel)	29,53
Buharlaşma Isısı (MJ/kg)	0,447
Tutuşma sınırları % (Hacimsel)	4,0-75,0
Hava fazlalık katsayısı	0,15-4,35
Laminar alev hızı (m/s)	2,91
Difüzyon katsayısı (cm ² /s)	0,61
Kaynama Noktası (°C)	-252.79
Donma Noktası (°C)	-259.15
Kendi kendine tutuşma sıcaklığı (°C)	584.85

Hidrojen sentetik bir yakıt olup, üretim kaynakları son derece bol ve çeşitlidir. Bunlar arasında su, hava, kömür ve doğal gaz sayılabilir. Ancak, sayılan bu kaynaklardan kömür ve doğal gaz fosil yakıt olup, sınırlı rezerve sahiptir. Ayrıca fosil yakıtların giderek tükenmekte olması, hidrojen üretiminde geniş kaynaklara sahip olan suyun kullanımını daha avantajlı hale getirmektedir. Her türlü birincil enerji kaynağı yardımıyla üretilen hidrojen, günümüzde suni gübreden, nebati yağlara, oradan roket yakıtlarına kadar çeşitli alanlarda kullanılmakta ve bunun için dünyada her yıl 600 milyar metreküp hidrojen üretilmektedir. Hidrojen üretimi için çok eskiden beri bilinen bir yöntem, bileşiği H_2O olan suyun içindeki hidrojeni elektroliz yoluyla ayırmaktır. Burada hidrojen üretimi yöntemlerini tanımlarken, kullanılabilecek birincil enerji kaynaklarını da ayrıca belirtmek yerinde olacaktır. Buna göre hidrojen, fosil yakıtlar yardımıyla olabildiği gibi, güneş, rüzgar, dalga enerjileri, jeotermal enerji ve biokütle gibi birincil enerji kaynaklarının hepsi ile üretilebilir [26].

2.5. LPG

LPG (Liquefied Petroleum Gas) sıvılaştırılmış petrol gazının kısaltılmış yazımıdır. Yaklaşık olarak % 70 bütan ve % 30 propan gazlarının karışımından oluşur. Renksiz ve kokusuz bir gazdır. Güvenlik açısından tüketicinin gaz kaçaqlarını algılayabilmesi amacıyla rafineriler tarafından etilmerkaptan ile belirgin bir şekilde kokulandırılmıştır. LPG normal şartlarda gaz halindedir, ancak depolama tanklarına doldurulması esnasında basınç altında sıvılaştırılmış halde bulunmaktadır. LPG'nin sıvı halinden gaz haline geçiş sırasında hacmi yaklaşık olarak $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de 240 – 270 kat artar. LPG zehirli değildir. Fakat havadan ağır bir gaz olduğu için sızıntı ve kaçaqlarda yere çökerek zeminden itibaren yukarıya doru birikir. LPG'nin sıvı halden gaz haline geçerken çevreden aldığı ısı, donmalara ve yanık etkisine sebep olur [27].

Türk Standartlar Enstitüsü iklim ve kullanım şartlarına göre üretilecek olan LPG yakıtını, bileşiminde bulunması gereken ana hidrokarbon oranına göre sınıflandırır. Sınıflandırması yapılan gazlara ait özellikler Tablo 2.4'de verilmiştir.

Tablo 2.4. LPG'nin özellikleri [27,28]

Genel Özellikler		Birim	Ticari Propan	Ticari Bütan	Ticari Bütan-Propan Karışımı
Bileşimi			Başlıca propan, propilen, etan, etilen, ve bütandan meydana gelen hidrokarbon karışımıdır.	Başlıca bütan, bütilen ve propandan meydana gelen hidrokarbon karışımıdır.	Ticari propan ve ticari bütandan meydana gelen hidrokarbon karışımıdır.
Kokusu			Orijinali kokusuzdur. Etilmerkaptan ile kokulandırılmıştır.	Orijinali kokusuzdur. Etilmerkaptan ile kokulandırılmıştır.	Orijinali kokusuzdur. Etilmerkaptan ile kokulandırılmıştır.
Buhar Basınçları	20 °C 40 °C 45 °C 55 °C	bar bar bar bar	9.2 15.3 17 20.4	1 2.8 3.4 4.6	3.5 6.6 7.5 9.3
İlk kaynama noktası *		°C	-42	-9	-18
1m ³ sıvının ağırlığı		kg	509	582	547-573
Sıvı Halinde Suya Göre Yoğunluğu		kg/m ³	0.509	0.582	0.560
Gaz Halinde Havaya Göre Yoğunluğu		kg/m ³	1.5	2.01	1.84
Molekül Ağırlığı		g/mol	44.1	58.1	53.5
Gaz Hacmi/Sıvı Hacmi **			272	238	248
Alt Isıl Değeri ***		kCal/kg	11.100	10.900	10.960
Tutuşma Sıcaklığı (havada)		°C	493-549	482-538	482-549
Buharlaştırmadan Sonra Toplam Isıtma Değeri		kCal/kg	11.950	11.740	11.800
Maksimum Alev Sıcaklığı		°C	1980	2008	2000

Tablo 2.4. (Devamı)

Yanma Ürünleri	CO ₂	%	11.6	12	11.9
	N ₂	%	72.9	73.1	73
	H ₂ O	%	15.5	15	15.1
Maksimum Kükürt Miktarı		mg/kg	185	140	140
100ml Buharlaşmasıyla Kalan Miktar		En Çok	0.05	0.05	0.05
Hava Gaz Karışımında Patlama Sınırları	Alt Limit	%	2.15	1.55	1.55
	Üst Limit	%	9.6	9.6	9.6

* : 1 bar basınçta sıvı LPG'nin gaz fazına geçmeye başladığı sıcaklık değeridir.

** : Birim hacimdeki sıvı LPG gaz fazına geçtiğinde hacmindeki büyümenin oranıdır.

*** : 1 kg LPG'nin yanmasıyla elde edilen ve yanma ürünlerinden suyun sıvı fazda olduğu durumdaki miktarı

2.6. Doğalgaz

Yüksek oranda metan gazından (CH₄) oluşmaktadır. Diğer bileşenleri etan, propan, bütan, azot ve karbondioksitten oluşurmaktadır. Bu gazlar haricinde helyum ve hidrojen sülfid bileşenleri de çok düşük oranlarda bulunabilmektedir [29,30]. Tablo 2.5'te doğalgaz içerisinde bulunan bileşenler ve miktarları, Tablo 2.6'da ise doğalgazın özellikleri gösterilmiştir.

Tablo 2.5. Doğalgaz bileşenleri ve miktarlar [31]

Bileşenler	Kimyasal Formül	Hacimsel (%)
Metan	CH ₄	Min 92.98
Etan	C ₂ H ₆	Maks 4.04
Propan	C ₃ H ₈	Maks 1.17
Bütan	C ₄ H ₁₀	Maks 1.62
Azot	N ₂	Maks 1.62
Karbondioksit	CO ₂	Maks 1.19

Doğalgaz, çevresel ve ekonomik açıdan diğer fosil yakıtlara göre avantajlı bir yere sahiptir. İçerisindeki yüksek orandaki metan gazı sebebiyle enerji değeri yüksektir. Petrol kökenli yakıtlara göre daha temiz yanması, mevcut rezervlerinin yeterliliği ve

fiyatının diğer yakıtlara oranla daha düşük olması doğalgazın önemli özellikleri olarak sıralanabilir. Bu özellikleri nedeniyle günümüzde kullanımının yaygınlaştığı ifade edilmektedir [31].

Doğalgaz rezervleri genel olarak petrol havzalarında bulunmaktadır. Kayaların gözeneklerinde yerleşik bulunan doğalgaz, kayaçlar arasında akarak üretim kuyularına ulaşır. Üretim kuyularından alınan doğalgaz, içerisindeki yabancı maddelerden arındırılır. Bu işlemin yanı sıra içerisinde bulunan ağır hidrokarbonlar ayrıştırılır [30,32].

Tablo 2.6. Doğalgazın fiziksel ve kimyasal özellikleri [16]

Özellik	Doğalgaz
Kimyasal Denklemi	CH ₄
C/H Oranı	0.25
Molekül Ağırlığı	16.04
Özgül Ağırlığı (gr/cm ³) Sıvı	0.424
Gaz	0.78*10 ⁻³
Isıl Değeri (MJ/kg), (MJ/lt)	50.8, 20.8
Sitokimiyetik Karışım;	
Hava/Yakıt (kütleli)	17.2
Hava/Yakıt (hacimsel), KJ/lt	9.53, 3.4
Mol _{ürün} /Mol _{reaktant}	1.00
Buharlaştırma Isısı (MJ/kg)	0.509
Tutuşma Sınırları % (hacimsel),	5.5-15.4
Hava fazlalık katsayısı	0.59-2.0
Laminar alev hızı (m/s)	0.37
Difüzyon Katsayısı (cm ² /s)	0.16
Kaynama Noktası (°C)	-161.3
Kendi Kendine Tutuşma Sıcaklığı (°C)	632
Oktan Sayısı;	
ROS (Araştırma oktan sayısı)	130
MOS (Motor oktan sayısı)	105

2.7. Alternatif Yakıt Tiplerinin Karşılaştırılması

Tablo 2.7. Alternatif yakıtların fiziksel ve kimyasal olarak karşılaştırılması [16]

Özellik	Benzin	Hidrojen	Metanol	Etanol	Doğal Gaz
Kimyasal Denklemi	C_8H_{18}	H_2	CH_3OH	C_2H_5OH	CH_4
C/H Oranı	0.556	0	0.25	0.333	0.25
Moleküler Ağırlığı	91.4	2.02	32.04	46.07	16.04
Özgül Ağırlığı					
Sıvı (kg/dm^3)	0.73	0.007	0.790	0.790	0.424
Gaz (kg/dm^3)		$0.84 \cdot 10^{-4}$			$0.78 \cdot 10^{-3}$
Isıl Değeri					
(MJ/kg)	43.4	119.93	20.1	26.9	50.8
(MJ/lt)	31.8	8.41	15.9	21.3	20.8
Stokiyometrik Karışım İçin					
Hava/Yakıt (kütleli)	14.7	34.32	6.44	8.96	17.2
Hava/Yakıt (hacimsel)	45.79	2.38	7.14	14.3	9.53
(kJ/lt)	3.78	3.20	3.53	3.61	3.4
$Mol_{ürünler}/Mol_{reaktörler}$	1.04	0.85	1.06	1.06	1.00
Buharlaştırma Isısı (mj/kg)	0.272 ^a	0.447	1.102	0.856	0.509
Tutuşma Sınırları					
% hacim	1.3-7.6	4.1-74	6-37	3.5-19	5.5-15.4
λ	0.29-1.67	0.15-4.35	0.24-2.22	0.29-1.92	0.59-2.0
Laminar Alev Hızı (m/s)	0.37	2.91	0.52		0.37
Adyabatik Alev Sıc. ($^{\circ}C$)	1993	2110	1878	1924	
Difüzyon Katsayısı (m^2/s)	0.08	0.61			0.16
Donma Noktası ($^{\circ}C$)	-56	-259	-97.6	-114.1	
Kendi Kendine Tutuşma Sıcaklığı ($^{\circ}C$)	257	574-591	470	392	632
Oktan Sayısı					
ROS	91-100	130	110	106	130
MOS	82-94		87	89	105

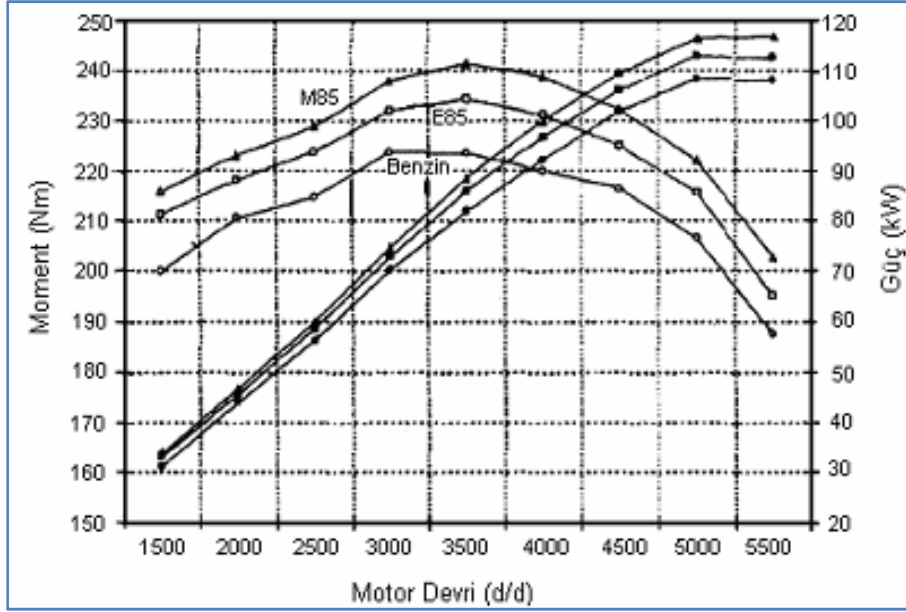
Metanolün ve etanolun buharlaştırma ısısının benzinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Metanolün buharlaştırma ısısı benzinin buharlaştırma ısısının yaklaşık 3,4 katıdır. Bu durum buji ile ateşlemeli motorlarda metanol kullanımı ile çıkış gücü açısından bir avantaj sağlar. Yakıt taneciklerinin sıvı halden buhar haline geçebilmek

için çevreden ısı almaları ile giren hava sıcaklığı düşer ve havanın yoğunluğu artmış olur. Böylece yanma sıcaklığını düşürerek kendi kendine tutuşma eğilimini ve azot oksit (NO_x) emisyonlarının azalmasını sağlar [19].

Metanol ve etanolun kendi kendine tutuşma sıcaklığı benzininkinden daha yüksektir. Bu avantaj sayesinde metanol ve etanol buharı yanma başlamadan önce daha yüksek sıcaklıklara kadar sıkıştırılabilirler [33].

Oktan sayılarına bakıldığında metanol ve etanolun benzinden daha iyi olduğu söylenebilir. Benzinden daha yüksek oktan sayılarına sahip olmaları nedeniyle daha yüksek sıkıştırma oranlarında motorun çalıştırılabilmesine olanak sağlarlar. Buna bağlı olarak motor gücü ve verimi iyileştirme göstermektedir. Sıkıştırma oranı, ateşleme zamanı ve hava/yakıt oranı gibi çeşitli motor parametreleri optimum seviyede tutularak daha yüksek moment ve güç sağlarlar [19].

Metanolün ve etanolun kimyasal formüllerinde oksijen içermeleri bu yakıtların benzine göre ısı değerlerinin daha az olmasına neden olmaktadır. Etanolun alt ısı değeri benzinin alt ısı değerinin % 64 - % 70'i kadardır. Bu sebeple etanol benzinle karşılaştırıldığında aynı miktar güç elde edebilmek için hacimsel olarak 1,5 kat daha fazla etanole ihtiyaç duyulur. Etanolun alt ısı değeri metanolün alt ısı değerinden 1,3 kat daha fazladır. Bu nedenle metanol veya etanol yakıt olarak kullanıldığında aynı sıkıştırma oranında yakıt tüketimini artırmaktadır. Motorun çıkış gücü büyük ölçüde yanma odasında açığa çıkan ısı miktarının bir fonksiyonudur. Yanma odasında elde edilebilecek ısı, yakıt özellikleri ve kullanılabilir hava miktarı tarafından belirlenir. Benzin, M85 ve E85 yakıtlarıyla elde edilen motor momenti ve motor gücünün motor devrine bağlı olarak değişimi Şekil 2.10'da görülmektedir. Alkollerin düşük ısı değerlerine rağmen düşük stokiometrik hava/yakıt oranlarına sahip olmaları, verilen hava miktarı için açığa çıkacak enerji miktarının eşdeğer veya daha fazla olmasına imkan verir [19].



Şekil 2.10. M85, E85 ve benzinin motor momentini ve gücüne etkisi [34]

Etanolün tutuşabilme limitlerinin benzinin tutuşabilme limitlerinden daha yüksek metanolün tutuşabilme limitlerinden daha düşük olduğu görülür. Alt tutuşma limitinin yüksek olması, tutuşabilir karışım oluşmadan önce benzine göre daha fazla etanol buharının havayla karıştırılmasını gerektirir. Etanolün yüksek buharlaşma ısısı, düşük buhar basıncı, yüksek kaynama noktası buharlaşmada benzine göre çok daha fazla enerji gerektirir. Yeterli buharlaşmayla etanol ile hava tutuşabilir karışım oluşturulduğunda tutuşabilir karışımın sürekliliğini sağlamak için geniş bir aralık tavsiye edilir ki bu açıdan etanolün üst tutuşma limiti benzinden daha yüksektir [33].

2.8. Buji Ateşlemeli Motorlarda Yanma

Silindir içerisine alınarak sıkıştırılan yakıt/hava karışımının ateşlenmesi ile yanma başlatılır. Karışımın oluşturulması ve ateşlenmesi, bu motorlarda yanma olayını farklı kılan önemli özelliklerdir. Ateşleme sistemi tarafından sağlanan enerji, buji tırnakları arasında elektronlar tarafından çevredeki karışım moleküllerine aktararak yüksek enerjili bir nüve oluşturur. Başlangıçta ısı kaybı yüksek olduğundan reaksiyonlar yavaş gelişir ancak reaksiyona katılan molekül sayısı arttıkça açığa çıkan enerji cidarlardan transfer edilen ısıyı hızla geçerek basınç ve sıcaklığın yükselmesine neden olur. Yanma hızına bağlı olarak alev cephesi ilerlemesine devam eder ve yanmamış gazların basınç ve sıcaklığını giderek yükseltir. Yanma hızı;

karışımın sıcaklığına, basınca, yakıt/hava oranına ve yanma odasındaki türbülansa bağlı olarak değişir. Yanmamış bölgedeki gazların basınç ve sıcaklığının alev cephesinin ilerlemesiyle sürekli artması sonucu yanmanın sonlarına doğru bu bölgedeki gazların reaksiyona katılması hemen hemen sabit hacimde gerçekleşir. Yanma odası çeperlerine doğru yaklaştıkça soğuma nedeniyle alev cephesinin ilerlemesi yavaşlar ve artan ısı kaybı nedeniyle söner [19].

Buji ile ateşlemeli motorlarda, buji ile oluşturulan alev cephesi yanma odasında ilerlerken alev cephesinin ulaşmadığı bir başka noktada basınç ve sıcaklığı yükselen taze karışımın kendiliğinden tutuşması vuruntuya sebep olmaktadır. Vuruntuyla birlikte maksimum basınç artar, yüksek frekanslı basınç değişimleri ve duyulabilen bir ses oluşur. Kendi kendine tutuşma buji ile ateşlemeli motorlarda istenmeyen bir durum olduğundan çeşitli motor parametrelerinin belirlenmesinde vuruntu dikkate alınır [19].

2.9. Emisyonlar

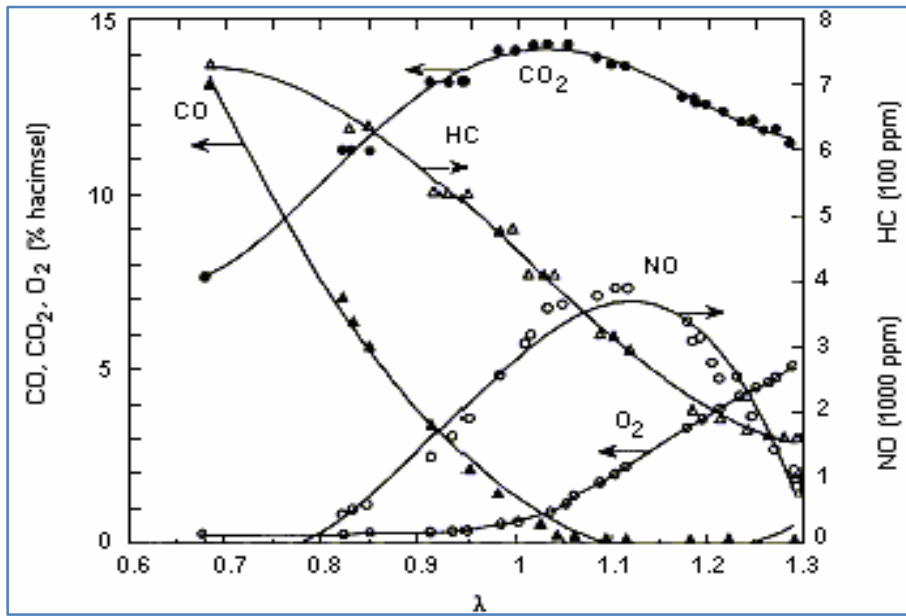
Yanma ürünleri arasında yer alan CO, HC ve NO emisyonları kirletici olarak nitelendirilen ürünlerdir. Bu emisyonlar esas olarak yakıt tipine ve yakıt/hava oranına bağlıdır [19].

Yanma ürünleri arasında CO emisyonu bulunmasının temel nedeni yanma odasındaki oksijenin yetersiz olmasıdır. Oksijen miktarı yanma odasının genelinde yetersiz olabileceği gibi karışımın homojen olmaması nedeniyle lokal olarak da yetersiz olabilir. CO emisyonu eksik yanma sonucu olduğundan büyük ölçüde hava fazlalık katsayısına bağlı olarak değişmektedir. Ancak reaksiyon hızlarının düşük olması nedeniyle fakir karışımlarda CO'nun CO₂'ye dönüşümü tam olarak gerçekleşemez [35, 36].

Egzoz gazları içerisinde HC (hidrokarbon) bulunmasının nedenleri sıcaklıkların, oksijen miktarının veya zamanın yetersiz olması sonucu yanmanın tamamlanamamasıdır. Zengin karışımlarda ortamda yeterli oksijen bulunmaması, çok fakir karışımlarda ise; sıcaklığın azalmasıyla birlikte oksidasyon reaksiyonlarının

yavaşlaması yanmanın tamamlanamamasına ve hidrokarbonların artmasına neden olmaktadır. Ayrıca silindir içerisindeki ısı kayıpları nedeniyle soğuk cidarlara ulaşan alevin sönmesi HC emisyonu oluşumunu artırır [35, 36].

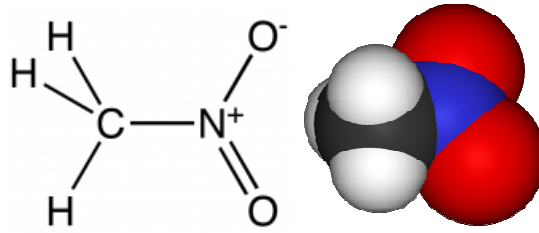
Havanın bileşiminde bulunan azot normal şartlarda yanma olayında reaksiyona girmez. Yanma esnasında ulaşılan 1600 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda azot, ortamdaki oksijenle birleşerek azot oksitleri oluşturur. NO_x terimi genellikle NO ve NO_2 ile ilgilidir. Yanma odasındaki sıcaklık ve hava/yakıt oranı NO_x oluşumunu etkilemektedir. Şekil 2.11'de görüldüğü gibi HFK 1,1 civarında iken NO en fazla oluşmaktadır [19].



Şekil 2.11. Hava fazlalık katsayısına bağlı olarak egzoz emisyonlarının değişimi [37]

BÖLÜM 3. NİTROMETAN

Nitrometan CH_3NO_2 kimyasal formülüne sahip organik bir bileşiktir.



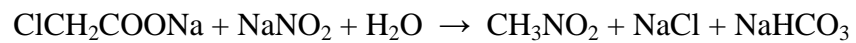
Şekil 3.1. Nitrometanın kimyasal formülünün açılımı

Bazı endüstrilerde ürün performansını arttırmak için nitrometanın fonksiyonel, çok yönlü ve etkin olduğu, kimyasal katkıları tercih edilir.

3.1. Nitrometanın Elde Edilişi

Nitrometan, 350-400 °C'de nitrik asit ile propan işlenerek üretilir. Bu ekzotermik reaksiyon dört önemli endüstriyel nitroalkan üretir. Bunlar; nitrometan, nitroetan, 1-nitropropan, 2-nitropropan. Bu reaksiyon serbest kökleri (radikaller) içerir. İlgili nitrit ester hemolizi yoluyla ortaya çıkan $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O}$ tipinde alkol kökleri içerir. Bu alkol kökleri ürün karışımlarının bilgisini açıklayan C-C parçalanma reaksiyonlarına duyarlıdır [38].

Hesaplı ve elde edilebilir olmasına rağmen, eğitim değeri taşıyan diğer yöntemlerle hazırlanabilir. Sulu çözelti içinde sodyum nitrat ile sodyum kloratın reaksiyonu ile bu bileşik oluşturulabilir [39].



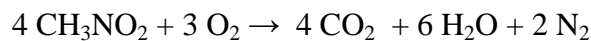
3.2. Nitrometanın Kullanım Alanları

Nitrometanın en başta gelen kullanım alanı; temizlemede, yarı iletken işlemede, yağ almada kullanılan klorlu solventler için bir kararlılık unsuru olarak kullanılmasıdır. Bir de akrilat monomerler için bir çözücü veya çözünen ajan olarak en etkili bir şekilde kullanılır [38].

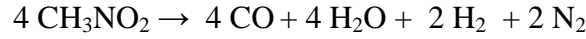
Genellikle çeşitli endüstriyel uygulamalarda çekimi sağlayan reaksiyon aracısı olarak ve temizlik çözücüsü olarak kullanılır. Organik sentezde bir aracı olarak, ilaç, zararlı bitki zehri, patlayıcı, lif (iplik) ve kaplama üretiminde yaygın bir şekilde kullanılır. Ayrıca drag yarışlarında üstün özellikli yarış yakıtı olarak kullanılır. Bir de minyatür içten yanmalı motorlarda (radyo dalgaları ile kontrol edilen model araç motorlarında) yakıt olarak kullanılan önemli bir bileşiktir.

3.2.1. Nitrometanın motor yakıtı olarak kullanılması

Nitrometan ayrıca yarışlarda bir yakıt olarak kullanılır. Nitrometanın bu bağlamda özellikle drag yarışları, roketler ve model uçaklar için kullanıldığı bilinmektedir. Nitrometanın oksijen içeriği sayesinde daha az atmosferik oksijen kullanılarak yanma gerçekleşebilmektedir [40].



1 birim benzin yakmak için 14,7 birim havaya ihtiyaç duyulur, fakat 1 birim nitrometan yakmak için sadece 1,7 birim hava yeterlidir. Bir motor silindiri her çevrimde sadece belirli miktardaki havayı içine alabilir, bir çevrimde benzinden 8,7 kat daha fazla nitrometan yanmış olabilir, ancak nitrometan daha düşük bir enerji yoğunluğuna sahiptir. Benzin 42-44 Mj/kg enerji sağlarken nitrometan sadece 11,3 Mj/kg enerji sağlar. Bu analizde oksijen belirli bir miktar ile kombine edildiğinde nitrometanın benzinden yaklaşık 2,3 kat fazla güç ürettiği görülür. Nitrometan da bir monopropellant olarak kullanılabilir. Yani; oksijen ilavesi olmadan yanan bir yakıt. Aşağıdaki denklem bu süreci anlatmaktadır [40].



Nitrometan yaklaşık olarak 0,5 m/s bir laminar yanma hızına sahiptir. Bu yanma hızı benzinden biraz daha yüksektir. Böylece yüksek hız motorları için uygundur. Aynı zamanda benzinden biraz daha yüksek yaklaşık 2400 °C bir yanma sıcaklığına sahiptir. Yüksek yakıt akışı ile birlikte 0,56 Mj/kg'lık yüksek buharlaşma ısısı sayesinde oldukça düşük sıcaklıklarla sonuçlanan şarj önemli bir soğuma sağlar [40].

Nitrometan atmosferik oksijenin yokluğunda bile güç sağladığından genellikle zengin hava/yakıt karışımı kullanılarak yakılır. Zengin karışım kullanıldığında hidrojen ve karbon monoksit yanma ürünleri olmaktadır. Bu gazlar sıklıkla olağanüstü şekilde yanarlar, normalde çok zengin karışım yakıldığında egzoz portundan çıkarken bile yanmaya devam ederler. Çok zengin karışımlarda ön yanmaları ve sonradan gerçekleşen patlamaları kontrol edebilmek için yanma odasının sıcaklıklarının azaltılması gereklidir. İşlevsel detaylar belirli karışımlara ve motor özelliklerine bağlıdır [40].

Nitrometanın içine küçük bir miktar hidrazin karışımı ilave etmek güç çıkışını daha da arttırabilir. Nitrometan ile hidrozin yine bir monopropellant patlayıcı tuz oluşturur. Bu kararsız karışımı ağır bir güvenlik tehlikesi oluşturduğu için model uçak yakıtı olarak kullanmak yasaktır [40].

Model uçaklarda ve araç performans yakıtlarında birincil olarak kullanılan karışım genellikle bazı nitrometan oranları ile metanol ve % 10 - 20 yağlayıcılardır (genellikle hint yağı veya sentetik yağ). Nitrometanın orta derecedeki miktarları bile motor tarafından güç arttırma eğilimine neden olmaktadır (hava girişi genellikle sınırlayıcı faktörü oluşturur). Uygun hava/yakıt oranını ayarlanabilirse motor dengesini ayarlamak daha kolay hale gelir [40].

3.3. Nitrometanın Türevleri

Organik sentezde nitrometan bir karbon yapıtaşı olarak görev yapar.

Bunların asitlik özelliği deprotonation (bir molekülden hidrojen iyonlarının ayrıştırılması) geçişine izin verir, karbonil bileşiklerin benzer yoğunlaşma reaksiyonlarının gerçekleşmesini sağlar. Böylece, esas katalizör altında nitroaldol reaksiyonlara nitrometan ilave edilir. Kloropikrin pestisitler içeren bazı önemli türevleri; Cl_3CNO_2 ve tris (hidroksimetil) nitrometan, $(HOCH_2)_3 CNO_2$. İkinci olarak bahsedilen tris (hidroksimetil) aminometanın indirgemesidir, $(HOCH_2)_3 CNH_2$, tris olarak bilinir ve koruyucu olarak yaygın bir şekilde kullanılır [41].

3.4. Nitrometanın Özellikleri

Nitrometanın kimyasal yapısı içerisindeki oksijen şu anlama geliyor ki nitrometan yanmak için çok miktarda atmosferik oksijene ihtiyaç duymaz. Nitrometan yakmak için gerekli oksijenin bir kısmı yakıtın kendi içinde mevcuttur. Nitrometan için tipik hava/yakıt oranı 1.7 / 1'dir. Nitrometan 11.3 Mj/kg'lık bir enerji içeriğine sahiptir [42].

Tablo 3.1. Benzin, metanol ve nitrometan yakıtlarının karşılaştırılması [42]

Yakıt	Motor Hava Akışı (m ³ /h)	Hava (kg)	H/Y Oranı	Yakıtın Miktarı (kg)	Yakıtın Enerji İçeriği (Mj/kg)	Toplam Isıl Enerji (kWh)
Benzin	964.23	19.188	12.8:1	1.3005	43	15.58
Metanol	964.23	19.188	6.0:1	3.1995	22	20.084
Nitrometan	964.23	19.188	1.7:1	11.286	11.3	36.75

Tablo 3.1'de görüldüğü gibi 36.75 kWh ile en fazla enerjiyi nitrometan taşır. Aracınızın nasıl çalıştığını görmek için aracınıza sakın nitrometan eklemeyin, eğer bunu yaparsanız motorunuz zarar görebilir. Nitrometan kullanmak tehlikeli ve çok pahalıdır. Benzine alternatif olan yakıt metanoldür. Metanol benzine çalışan benzer motorlardan tipik olarak % 20 miktarınca gücü artırır. Yakıt sisteminizde metanol kullanacaksanız, yakıt sisteminizi tamamen değiştirmelisiniz veya hava akışını

arttırmalıyız. Yakıt sistemi yukarıdaki tabloya dayanarak, benzinli sistemden yaklaşık olarak 2,5 kat daha fazla hava akışı gerektirir [42].

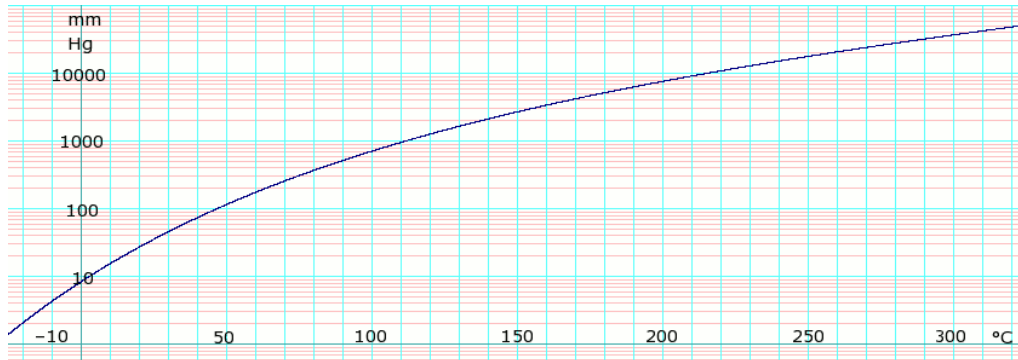
3.4.1. Nitrometanın yapı ve özellikleri

Tablo 3.2. Nitrometanın yapı ve özellikleri [43]

Kırılma indisi, n_D	1.3935 (20 °C'de)
Dielektrik sabiti, ϵ_r	35.87 (30 °C'de)
Yüzey gerilimi	0.0398 N/m (0 °C'de)
	0.368 N/m (20 °C'de)
	0.0261 N/m (100 °C'de)
Viskozite	0.853 mPa:s (0 °C'de)
	0.620 mPa:s (25 °C'de)

Tablo 3.3. Nitrometanın sıvı haldeki buhar basıncı [43]

P in mmHg	1	10	40	100	400	760
T in °C	-29.0	2.8	27.5	46.6	82.0	101.2



Şekil 3.2. \log_{10} tabanına göre nitrometanın buhar basıncı [43]

3.4.2. Nitrometanın uçuculuk ölçüsü verileri

Destilasyon, yakıtın uçuculuk ölçüsüdür. Uçuculuk azaldıkça yanma daha düzenli olur. Yüksek devirli motorlarda en iyi gücü sağlamak ve dumanı azaltmak için düşük uçuculuk özelliğine sahip yakıtlar kullanılır [44].

Tablo 3.4. Nitrometan / Etanol için
sıvı-buhar dengesi [45]

P = 730 mm Hg		
BP Temp. °C	% mol etanol ile	
	Sıvı	Buhar
97.7	3.0	15.7
93.4	4.7	22.3
88.9	8.5	32.9
86.1	12.2	39.5
83.6	16.6	45.3
80.6	25.6	52.9
79.2	31.8	56.3
77.9	45.1	63.5
77.0	53.9	66.9
77.1	58.9	68.6
76.5	64.6	70.5
76.4	72.4	74.0
76.6	78.7	77.3
76.5	81.9	79.4
76.7	85.9	82.2
76.9	91.4	87.1
77.7	95.3	93.0
77.8	97.3	96.5

Tablo 3.5. Nitrometan / Metanol için
sıvı-buhar dengesi [45]

P = 730 mm Hg		
BP Temp. °C	% mol metanol ile	
	Sıvı	Buhar
96.9	1.5	13.3
93.1	2.6	22.8
89.1	4.8	33.4
84.8	7.5	42.9
82.1	9.6	48.4
77.9	15.2	57.0
72.9	25.4	67.3
71.1	31.4	70.4
68.2	42.6	74.7
67.3	49.3	76.1
65.6	67.8	81.8
65.1	74.7	83.8
65.0	81.3	86.4
64.6	88.6	90.1
64.5	91.4	92.1
64.4	96.0	95.6
64.5	99.4	99.3

3.4.3. Nitrometanın fiziksel ve termodinamik özellikleri

Tablo 3.6. Saf nitrometanın fiziksel ve termodinamik özellikleri [46]

Molekül Ağırlığı	61,04
Kaynama Noktası @ 760mmHg	101.2 °C
Donma Noktası	-28.6 °C
Buhar Basıncı	
@ 20 °C	3.6 kPa
@ 40 °C	9.9 kPa
@60 °C	23.7 kPa
Yoğunluk	
@ 0 °C	1.1621 g/mL
@ 20 °C	1.1382 g/mL
@ 30 °C	1.1244 g/mL
@ 50 °C	1.098 g/mL
Genleşme Katsayısı	
°C için	0.00122
°F için	0.00068
Sıvının izotermal sıkıştırılabilirlik faktörü	
@ 0 °C	0.000060/atm
@ 30 °C	0.000076/atm
@ 60 °C	0.000088/atm
Kapatılmış (hapsedilmiş) sıvının basıncı ile sıcaklığının değişimi	17.5 atm/°C (257 psi/°C)
Yüzey gerilimi @ 20 °C	37.48 NM/cm
Kırılma indisi, n_D	
@ 25 °C	1.3796
@ 50 °C	1.3675
Viskozite	
@ 10 °C	0.73 mPa•s
@ 25 °C	0.61 mPa•s
Kaynama noktasında buharlaşma ısısı	8.225 kcal/mole
Oluşum ısısı @ 25 °C	-27.03 kcal/mole
Yanma ısısı @ 25 °C, sıvı	-169.3 kcal/mole
Isı kapasitesi @ 30 °C, sıvı	25.76 cal/mole•°C
Kritik sıcaklık	315 °C
Kritik basınç	6282 kPa

Tablo 3.6. (Devamı)

Kritik yoğunluk	0.352 g/mL
Dielektrik sabiti @ 30 °C	35.87
Elektriksel iletkenlik @ 25 °C	5×10^{-9} mho/cm
Gaz fazındaki dipol momentı	3.5 Debye units
Su içinde NM çözünürlüğü	
@ 20 °C	10.5% by wt
@ 70 °C	7.6% by wt
NM içinde su çözünürlüğü	
@ 70 °C	19.3% by wt
Su ile azeotropluk (eşkaynarlık)	
Azeotrop içindeki NM	76.4% by wt

Tablo 3.7. Nitrometanın benzin ve metanol ile bazı özelliklerinin karşılaştırılması [16, 46]

Özellik	Benzin	Hidrojen	Metanol	Etanol	Doğal Gaz	Nitrometan
Kimyasal Denklemi	C_8H_{18}	H_2	CH_3OH	C_2H_5OH	CH_4	CH_3NO_2
C/H Oranı	0.556	0	0.25	0.333	0.25	0.333
Moleküler Ağırlığı	91.4	2.02	32.04	46.07	16.04	61.4
Özgül Ağırlığı						
Sıvı (kg/dm^3)	0.73	0.007	0.790	0.790	0.424	1.1371
Isıl Değeri						
(MJ/kg)	43.4	119.93	20.1	26.9	50.8	11.3
(MJ/lt)	31.8	8.41	15.9	21.3	20.8	12.84
Stokiyometrik Karışım İçin						
Hava/Yakıt (kütleli)	14.7	34.32	6.44	8.96	17.2	1.7
Buharlaştırma Isısı (mj/kg)	0.272 ^a	0.447	1.102	0.856	0.509	0.561
Laminar Alev Hızı (m/s)	0.37	2.91	0.52		0.37	0,5
Adyabatik Alev Sıc. (°C)	1993	2110	1878	1924		2400
Kaynama Noktası (°C)	32-221	20.36	65.1	78.7	-162.5	101.2
Donma Noktası (°C)	-56	-259	-97.6	-114.1		-28.6
Kendi Kendine Tutuşma Sıcaklığı (°C)	257	574-591	470	392	632	417

3.5. Nitrometanın Patlama Riskinin Yönetimi

Nitrometanın varil ile taşınması için genellikle olağan dışı önlemlerin gerekli olmamasına rağmen, onun tehlikeli özellikleri anlaşılmalı ve güvensiz koşullardan kaçınılmalıdır.

Nitrometanın patlaması insanlara ve mallarına ciddi zararların gelmesine sebep olabilir [47]. Tek bir 18,93 litrelik nitrometana 42 metrelik bir etki yelpazesine sahiptir ve 316 metre mesafeden ciddi yaralanmalara veya hasara neden olabilir. Nitrometanın 208,2 litrelik 1 tam dolu varili 92 metre yarıçapında bir patlama alanına sahiptir ve patlamanın merkezinden tam 700 metre uzakta ciddi yaralanma ya da hasara neden olabilir [46].

Nitrometana tehlikeli özellikleri anlaşıldığı sürece güvenli bir şekilde taşınabilir ve kullanılabilir. Böylece kullanımdaki güvensiz koşullar önlenmiş olur. Ortam veya normal oda sıcaklığında nitrometana kötü muameleden kaynaklanan darbelere dayanıklıdır. Alçaktan uçan uçaklardan tam dolu nitrometana varili bırakılarak ve patlama sıklığı tanımlanmadan nitrometana varilleri bir diğerinin üzerine 50 metre yükseklikten bırakılarak sayısız testler yapılmıştır. Yine de varilin dikkatsiz ve kaba kullanımdan korunması tavsiye edilir [46].

Nitrometanın tehlikeli olmasına neden olan, kaçınılması gereken üç durum;

ANGUS ve U.S. Army Corps Kimyasal ve California Teknoloji Enstitüsü gibi dış kuruluşlar tarafından nitrometanın karakteristik yapısı incelenmiştir. Bu çalışmalar üç durum için nitrometanın patlayabileceğini belirtmiştir.

1. durum, sekiz numaralı patlama zirvesini aşan çok şiddetli şok. Bu şok, diğer kimyasalların varlığı ve ambalajlama (kabın iç basıncı) derecesine bağlı olarak çeşitli hassasiyetler gösterir.

2. durum, adyabatik koşullarda çok şiddetli sıkıştırma.

3. durum, kritik sıcaklık değerinin yakınlarındaki bir sıcaklıktaki nitrometanın ambalajına kapatılması patlamaya sebep olabilir.

Nitrometanın dikkat edilmesi gereken önemli bir hassasiyeti, bazı bileşiklerin özellikle aminlerin yüzde birkaç seviyesinde ilave edilmesi bu mekanizmaların her tarafından patlama kolaylığını arttırabileceğidir. Yüksek sıcaklıklarda da patlama kolaylığı artabilir [46].

Adyabatik ısınma nitrometanın patlamasına ciddi bir risk oluşturabilir. Bu risk sıkıştırma tarafından oluşturulan ısınma (alev) veya diğer kaynaklar tarafından oluşturulan ısıdan kaynaklanır ve dış çevreye yeterli ısı çıkış olmaması sonucu oluşur. Kalın duvarlı nitrometan dolu bir konteynır, depo ile boruların arasındaki valfler kapatılıp ısıtıldığında tehlikeli bir şekilde yüksek basınç geliştirebilir. Monopropellant (oksijene ihtiyaç duymadan) yanmaya başlamak için yeterli yüksek sıcaklığa ulaşmış sıkıştırılmış gaz cepleri patlamaya neden olur [46].

Kritik nokta şudur; tahliye vanaları ile maksimum patlama basıncı 790,8 kPa olduğu her yerde nitrometan saklanıp kullanılabilir. Çünkü nitrometan oksijen veya diğer oksitleyicilere gerek duymaz (benzinin aksine) ve adyabatik sıkıştırma şartları altında diğer organik bileşiklerden çok daha fazla risk oluşturur [46].

Nitrometan konteynırın kalın bir duvarına yüksek enerjili bir vuruş uygulandığı zaman adyabatik ısınma meydana gelebilir. Belirli dolgu koşulları altında ¼ inç duvar kalınlığına sahip konteynırdaki nitrometan 50 kalibrelik yüksek hızlı bir merminin etkisiyle patlamıştır. Ancak bazı şartlar altında ince duvar kullanılan bir konteynırda, örneğin; standart göstergesi 20 / 18 ölçülerinde 208 litrelik bir konteynır, serbest röptüre enerjisine kadar bastırılmış, patlama gerçekleşmemiştir [46].

Daha yüksek basınçlar, hava veya oksijenden daha fazla nitrojen (azot) ile temas eden nitrometan tarafından tolere edilebilir, muhtemelen çünkü nitrojen (azot) yanmayı desteklemez ve ateşlemeye neden olmaz [46].

3.5.1. Nitrometanın taşınması

Nitrometan belirli koşullar altında patlamasına rağmen Uluslararası ve Amerikan iç ulaşım yönetmeliklerinde tanımlanan patlayıcı bir maddenin kriterlerini taşımamaktadır [46].

Nitrometan bir tehlike sınıfı olarak Amerikan Ulaştırma Departmanı (DOT) ve Uluslararası Hava Taşımacılığı Birliği'nin Tehlikeli Maddeler (IATA) mevzuatında yayınlanan yönetmeliklerde 3 (yanıcı sıvı) olarak sınıflandırılır. Bu sınıflandırma Uluslararası Denizcilik Tehlikeli Maddeler Kodu (IMDG)'de 3.3 olarak tanımlanmıştır [46].

Amerikan Ulaşım Departmanı ve İç Sivil Hava Örgütü sadece kargo uçakları ile nitrometanın hava ulaşımına yetki vermesine rağmen, Uluslararası Hava Taşımacılığı Birliği Tehlikeli Maddeler Mevzuatı hem yolcu hem kargo uçakları ile nitrometanın hava yoluyla taşınmasını yasaklamıştır. ANGUS politikası belirli bir miktar nitrometanın hava taşımacılığıyla taşınmasını yasaklar. ANGUS bir de yüklü miktarlarda nitrometanın gemi ile taşınmasını yasaklar [46].

Nitrometan nakledeceğinizde, her zaman yük alanlarının havalandırıldığından ve aşırı ısının serbest kalacağından emin olunmalıdır.

Nitrometan, berrak, kokusuz ve yanıcı olarak kabul edilen bir sıvıdır. Bu kimyasal durgun ısıdan, kıvılcımdan ve alevden uzak tutulmalıdır. Buharı havadan ağırdır, uzun mesafelerde taşınabilir ve buharı alt bölgelerde birikir, bu nedenle ateşlendiğinde geri tepme potansiyeli vardır. Havadaki nitrometan buharı için alt yanıcı sınırı atmosferik % 7,3 basınç altında 33 °C'dir. Böyle bir konsantrasyondaki nitrometan buharı düşük sıcaklıkta havada kolaylıkla oluşmaz. Buharın yanıcı konsantrasyonları parlama noktasının (36 °C) üzerindeki sıcaklıklarda birikebilir [46].

Daha önce ele alındığı gibi güçlü alkaliler veya aminler ile nitrometanın karıştırılmasından kaçınılmalıdır. Nitrometan nitro formundan (CH_3NO_2), nitrik asit

olarak bilinen enol (aci_form = asit formu) ($\text{CH}_2 = \text{NOOH}$)'a tautomerize edilebilir. Nitrik asit güçlü bazlar tarafından dengelendiğinde tuz formları zayıf bir şekilde iyonize olur. Sulu ya da alkol çözeltilerinde tuzlar, nitrometan türevlerini hazırlamada kullanılabilir için yeterince uygundur. Kuru olduğu zaman, nitrometanın tuzları aşırı derecede kararsız olabilir ve şoka karşı yüksek derecede duyarlı olurlar. Kuru bir durumda tuzların ayrıştırılmasından kaçınılmalıdır [46].

Nitrometana aminlerin ilave edilmesi kompozisyonlarda patlamaya karşı hassasiyete neden olabilir. Ayrıca, amine duyarlı nitrometanın cıva oksit ile temas halinde olması şiddetli bir şekilde reaksiyon verir ve kendiliğinden patlayabilir. Bu nedenle, cıva, gümüş, kurşun gibi ağır metal oksit ve aminlerin nitrometan ile karıştırılmasından kaçınılmalıdır [46].

Buharının solunmasından kaçınılmalıdır. Nitrometan merkezi sinir sistemi depresyonu ve solunum yollarını tahriş eden diğer birçok organik çözücünün neden olduğu etkilere benzer etkilere neden olabilir. Nitrometan için ayarlanmış ilgili maruz kalma ana sınırlarının düzeylerini kontrol etmek için genel ve/veya yerel havalandırma sağlanmalıdır. Bir tankın içinde veya dökülme sonucu olarak temas sınırının üstünde nitrometan buharına maruz kalınırsa, pozitif basınçlı hava sağlayan bir maske kullanılması önerilir. Nitrometan buharından korunmak için kullanılan teneke kutulu gaz maskelerinin içinde asla organik buhar bulunmamalıdır [46].

Ürün transferi için hava basıncı kullanılmamalıdır. Pozitif aktarımlı pompalar kullanılmadıkça çıkış basıncının 790,8 kPa'ı aşmayacağı bilinmelidir. Daha önce açıklandığı gibi ürün asla kapalı vanalar arasında sınırlandırılmamalı veya sıkıştırılmamalıdır. 49 °C'de kapatmak için termostatlı pompaların kullanılması tavsiye edilir [46].

3.5.1.1. Taşıma varillerinin yok edilmesi

Fıçılar boşaltıldıktan sonra, hala patlayıcı buharlar içeriyor olabilirler; ürün için belirtilen tüm uyarıların ve önlemlerin dikkate alınması gerekir. Konteynırın yanında veya üzerinde kesme, delme, taşlama veya kaynak yapılmamalıdır.

Kullanılan variller nitrometan kalıntılarını temizlemek için su ile birkaç kez iyice yıkanmalıdır. Fıçıları yok etmeden önce tapaları (kapakları) kaldırılarak içleri kurutulmalıdır. Güçlü kostik veya alkali çözeltiler nitrometan varillerini yenilemek veya temizlemek için asla kullanılmamalıdır [46].

3.5.1.2. Taşıma boruları ve malzeme özelliği

Nitrometanın kirlenmesini önlemek için özel hatlarda transfer etmek gerekir; özellikle duyarsızlaştırıcı kimyasallar patlama olasılığını arttırabilir.

Sıradan çelik boru, kuru nitrometan transfer etmek için kullanılabilir. Daha önce tartışılan patlama potansiyeli nedeniyle mümkün olduğunca minimum çaptaki borular kullanılmalıdır. Nitrometanın geçtiği borunun, diğer yanıcıların geçtiği borulardan ve diğer yanıcıların depolarından fiziksel olarak ayrı olduğundan emin olunmalıdır. Kanallarda nitrometan patlamasına neden olan üç koşuldan birinin oluşma riskine karşı, hatların bir yağmurlama sistemi ile korunuyor olması gerekir. Nitrometan hatları yer altında çalıştırılabilir [46].

Alüminyum veya paslanmaz çelik konstrüksiyon sıvı nitrometan dağıtımı için tavsiye edilir. Suyun % 0,2 veya daha fazla ağırlıktaki varlığında, nitrometan çeliğe hafif şekilde korozyon davranır. Azot gibi kuru asal bir gaz altında nitrometanın taşınması veya saklanması nem ile temasını minimize edebilir.

Nitrometan içeren çözeltiler ön test olmadan bakır, pirinç veya bronzla maruz kalmamalıdır. Asidik maddelerin varlığı, nitrometanın birkaç hafta temas halinde olmasıyla bakır ve alaşımlarını yüksek derecede korozyona uğratabilir [46].

Sentetik polimer malzemelerin bir kısmı nitrometan ile kullanılabilir. Gerçek seçim rengin önemine, dolgu ve yumuşatıcıların varlığına maruz kalma derecesine bağlıdır. Teflon, polietilen, polipropilen, polyester, fiberglas, viniliden klorür kopolimerleri ve nitril kauçuk içeren malzemeler genellikle tatmin edicidir. Bununla birlikte tüm malzemelere test önerilir. Doğal kauçuk, sentetik kauçuk, Viton, hipalon, Nordel ve silikon kauçuk nitrometan ile kullanım için uygun değildir [46].

3.5.2. Nitrometanın tutuşma riski

Nitrometan 36 °C bir parlama noktasına sahiptir. Eğer nitrometan onaylanan varil tarafından sağlanandan daha ağır ambalaj basıncına maruz kalırsa tutuşabilir veya yanar. Böyle bir durumda yangın söndürme girişimi olmadan derhal alan boşaltılmalıdır. Böyle bir durum ciddi bir patlama yaratabilir ve yıkıcı sonuçlara yol açabilir.

Nitrometan tutuştuğu zaman genellikle alevi zayıftır, neredeyse görünmez bir alevle yanar ve sıklıkla kendi kendine söner. Nitrometan yangınları su ile söndürülebilir. Benzin ve yağ yangınlarının aksine, su, dikkatlice uygulandığında nitrometan yangını yaymayacaktır, bu nedenle bir söndürücü olarak su kullanabilirsiniz. Nitrometan yangınları karbondioksit veya köpük ile sönmüş olabilir. Sadece amonyum fosfat içeren üç sınıf kuru kimyasal söndürücüler küçük nitrometan yangınları için uygundur. Sodyum veya potasyum bikarbonat içeren kuru kimyasal söndürücülerin nitrometan yangınları üzerinde kullanılmaması gerektiğini açıklamak önemlidir. Bu kimyasallar ilk uygulandığında yangını söndürüyormuş gibi görünürler, fakat yangının yeniden tutuşmasına neden olabilirler.

3.5.3. Nitrometanın depolanması

Nitrometan varilleri benzer yanıcı sıvılar ile aynı şekilde taşınıp depolanmalıdır.

Nitrometan varilleri aşırı ısının serbest olduğu, iyi havalandırılan kuru bölgelerde, orijinal ambalajlarında saklanmalıdır. Bölgedeki tüm elektrikli cihazlar yanıcı sıvıların taşınma ve depolanma gereksinimleriyle tutarlı olmalıdır. Ayrıca,

nitrometan depolama alanları aşındırıcı maddeler, oksitleyiciler, patlayıcılar, aminler, güçlü asitler ve kuvvetli bazlardan ayrı tutulmalıdır. Variller tercihen istifleme olmaksızın üst kapakları ile saklanırlar.

Güvenli depolama uygulamalarına ek olarak, hırsızlık veya sabotajı önlemek için depolama alanının güvenliğinin sağlanmasında doğru basamakların izlendiğinden emin olunmalıdır. Nitrometan geçmişte vicdansız bireyler tarafından korkunç bir şekilde sonuçlanan durumlara neden olmuştur. Güvenlik adımları, stok takibi ve sadece yetkili ve eğitimli personel erişimi sağlayarak nitrometan depolama tesisinin kilitlenmesini içermektedir. Nitrometan içeren binalar bu maddeyi içerdiğine dair bir işaret taşımamalıdır.

Nitrometan depolamak için bir alan seçileceği zaman, patlama durumunda meydana gelebilecek sonuçlar dikkate alınmalıdır. Nitrometan kendiliğinden infilak etmediği gibi onaylı bidonların depolandığı depoların içindeki kazalar gerçek veya sahte olabilir. Yine de nitrometan depolama alanlarında güvenlik önlemlerinin alınması, olası patlama durumunda personelin yaralanmasını veya tesisin hasar potansiyelini minimize etmek açısından tercih edilmelidir.

Bu düşünceyle, Amerikan Sigorta Birliği insanların mevcut olduğu diğer bölgeler veya bitki yapılarının, depolama bölgelerinden uzaklığını belirleyen mesafelerde nitrometan depolanmasını önermektedir. Depolama önerileri için aşağıdaki tabloya bakınız.

Tablo 3.8. Amerikan sigorta birliği mesafe tablosu [46]

Nitrometanın Max. Miktarı	Max. Varil Sayısı	Yapı Alanından Min. Uzaklık
909 kg'dan daha az	-	Herhangi bir mesafe kısıtlaması yok.
909 kg	4	30 m
4545 kg	20	61 m
9091 kg	40	91 m
18182 kg	80	122 m
36364 kg	160	152 m

Ara miktar için, uygun mesafeyi interpolasyon belirler.

Birbirine yakın konteynırlardan birinin bilerek patlatılma çalışmalarına dayanarak, değişik mesafeler veren bir tablo daha hazırlanmıştır. Bu tablo, yapılar tarafından işgal edilen bölgelere minimum mesafe ve kümeler arasındaki minimum mesafe ile varil kümelerinde nitrometanın depolanmasına dayanır.

Tablo 3.9. Kümelenme ile depolama için mesafe tablosu [46]

Küme Başına Varil Sayısı	Yapılar Tarafından İşgal Edilen Alana Minimum Mesafe		Kümeler Arasındaki Minimum Mesafe	
	Metre	Feet	Metre	Feet
4	30,5	100	1,7	5,6
6	34,3	112,5	2,1	6,8
8	38,1	125	2,4	7,9
12	45,8	150	3,0	9,7
16	53,4	175	3,4	11,1
20	61,0	200	3,8	12,4
24	67,1	220	4,2	13,6

Olası patlamaların gücüne doğrudan veya içeriğine dolaylı olarak, bariyer kullanarak patlamaya karşı daha fazla koruma elde edebilirsiniz. Bu bariyerler toprak dolgu gibi basit olabilir veya doğrudan yapılar tarafından işgal edilmiş bölgelerden uzakta bir patlamanın gücüne karşı özellikle tasarlanmış karmaşık bir yapı olabilir.

Onaylanan orijinal ambalajlardaki varillerde depolama nitrometan için tercih edilen bir saklama yöntemidir. Ve şiddetle sulandırılmamış (saf) nitrometanın toplu olarak depolanmaması gerektiği savunulmaktadır.

3.5.4. Hassasiyet gidericiler

Nitrometanın patlama riski, belirli malzemeler buna eklendiğinde önemli ölçüde azalır. Bu hassasiyet gidericilerin etkisi kabaca nitrometana ilave edilen miktarlarıyla doğru orantılıdır. Tolüen, etanol ve furfural ile nitrometan karışımları tamamen test edilmediği için ve toplu gönderi için Amerikan Nakliye Departmanı tarafından onaylı olmadığı unutulmamalıdır.

Tablo 3.10. Nitrometanı duyarsızlaştırmak için gereken minimum miktarlar [46]

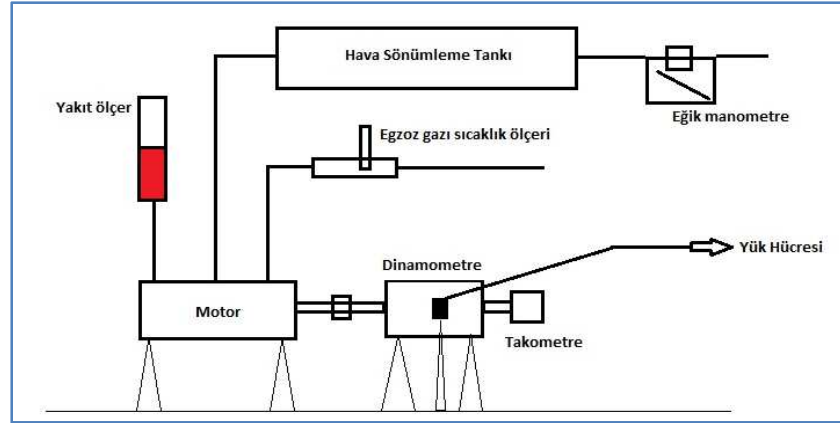
Siklohekzanon	% 25
1,2-Bütülen Oksit	% 40
Metanol	% 45
1-Nitropropan	% 48
Toluen	% 25
Etanol	% 50
Furfural	% 60

BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmanın amacı, içten yanmalı benzinli bir motorda motor ayarlarında hiçbir değişiklik yapılmadan nitrometan yakıtının sıvı olarak benzine belirli oranlarda karıştırılması ile elde edilen karışımların, motorun performansı, egzoz çıkış sıcaklıkları, yakıt tüketimi ve egzoz emisyonları parametrelerini nasıl etkileyeceğini tespit etmektir.

4.1. Deney Düzenegi

Motor deneyleri T.C. Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Otomotiv A.B.D. laboratuvarlarında yapılmıştır. Şekil 4.1'de deney düzeneginin şematik görünümü yer almaktadır.



Şekil 4.1. Deney motoru test düzeneginin şematik görünümü

4.1.1. Deney motoru

Deneyler tek silindirli, buji ateşlemeli, hava soğutmalı bir deney motoru ile yapılmıştır. Testlerde kullanılan deney motorunun teknik özellikleri ve görünüşü Tablo 4.1'de görülmektedir.

Tablo 4.1. Deney motorunun teknik özellikleri [48]

Motor Tipi	Hava soğutmalı, 4 zamanlı, benzinli, 25° eğimli silindirli, yatay milli
Silindir gömleği tipi	Dökme demir gömlek
Silindir çapı x Strok	68 x 45 mm
Silindir hacmi	163 cm ³
Sıkıştırma oranı	8.5:1
Anma gücü	2.5 kW (3.4 HP) / 3000 rpm
Max. net tork	10.3 Nm / 1.05 kgm / 2500 rpm
Ateşleme sistemi	Elektronik
Marş sistemi	İpli (elektrikli marş opsiyonel)
Yakıt depo kapasitesi	3.1 litre
Nominal güçte yakıt tüketimi	1.4 litre/saat - 3600 rpm
Motor yağ kapasitesi	0.6 litre
Boyutlar (UxGxY)	312 x 362 x 346 mm
Kuru ağırlık	15 kg



4.1.2. Elektrikli dinamometre

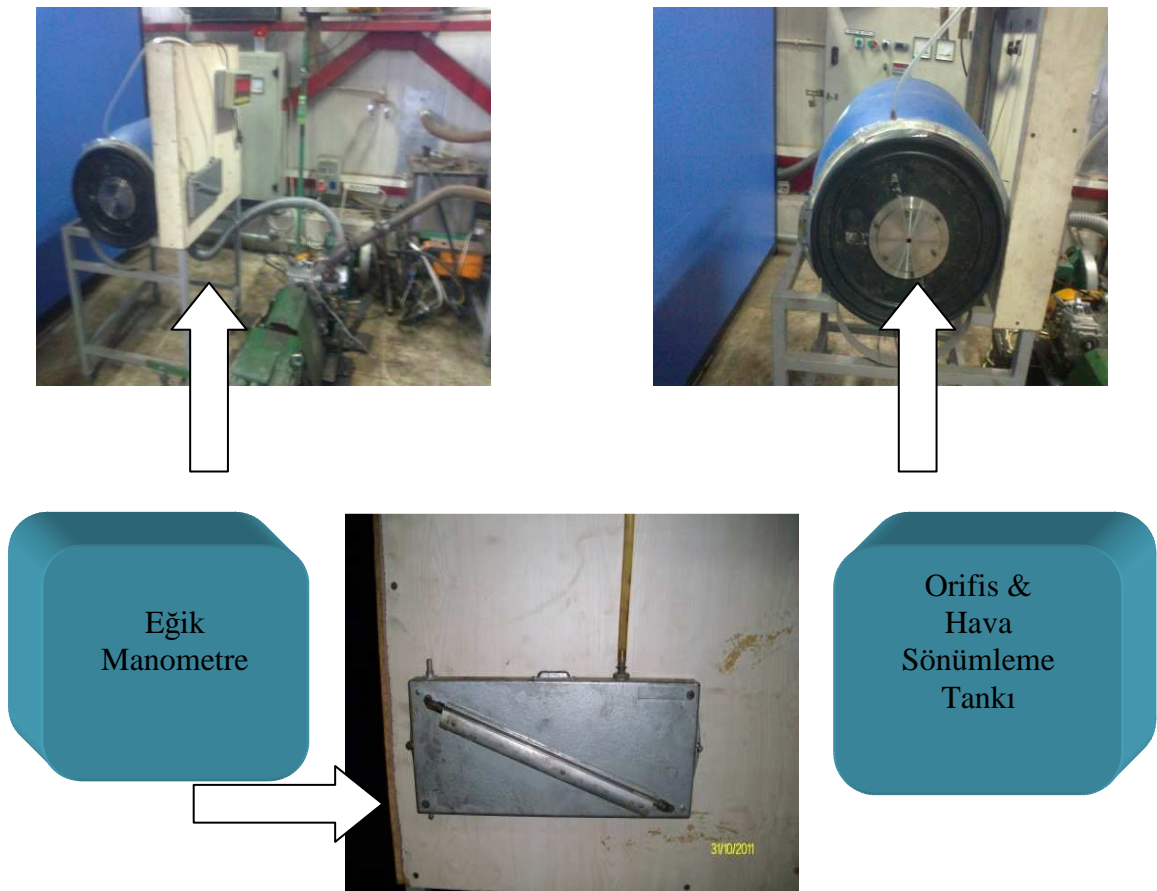
Deneyler sırasında 3600 d/d'de maksimum 7,46 kW güce sahip elektrikli bir dinamometre kullanılmıştır. Kullanılan dinamometre Şekil 4.2'de görülmektedir.



Şekil 4.2. Deneylerde kullanılan dinamometrenin görünüşü [53]

4.1.3. Hava debisinin ölçümü

Akışın daimi olması kaydıyla hava debisinin ölçümünde en sıhhatli netice keskin kenarlı lüle ve eğik manometreden oluşan sistemle alınmaktadır. Deneyde kullanılacak olan hava tankının kapasitesi motor hacminin 50 katından daha az olmamalıdır [49]. Deneylerde hava debisi ölçümü için eğik manometre sönümleme tankı düzeneği kullanılmıştır. Şekil 4.3'te deneylerde kullanılan hava sönümleme tankı, motora bağlantısı ve eğik manometre görülmektedir.



Şekil 4.3. Hava sönümleme tankı, motora bağlantısı ve eğik manometre

4.1.4. Yakıt sarfiyatının ölçümü

Deney motorunun tükettiği yakıtın ölçümünde 250 ml'lik bir ölçüm haznesi kullanılmıştır. Yakıt tüketimi kronometre yardımıyla hacimsel olarak ölçülmüştür. Ölçek hassasiyeti 2,5 ml ve kronometre hassasiyeti 0,01 saniyedir. Aşağıdaki şekilde yakıt ölçüm düzeneği görülmektedir.



Şekil 4.4. Deneylerde yakıt ölçümü için kullanılan düzenek

4.1.5. Egzoz sıcaklığının ölçümü

Deney motorunun egzoz çıkışına bir sıcaklık ölçer monte edilerek, sıcaklık ölçere bağlı dijital göstergeden sıcaklık değerleri okunmuştur. Cihazın ölçüm hassasiyeti 1 °C'dir. Aşağıdaki şekilde, deneylerde egzoz gazı sıcaklığını ölçmek için kullanılan cihazlar görülmektedir.



Şekil 4.5. Egzoz sıcaklıklarını ölçmede kullanılan cihaz

4.1.6. Egzoz emisyonlarının ölçümü

Egzoz gazlarının emisyon ölçümünde Şekil 4.6'da resmi görünen egzoz gazı analiz cihazı kullanılmıştır. Bu ölçümler CO, HC, CO₂, O₂, NO_x, lambda değerlerini kapsamaktadır.



Şekil 4.6. Egzoz gazı analiz cihazı

4.2. Hesaplamalarda Kullanılan Formüller

Motor deneylerinde ölçülen büyüklükler genellikle döndürme momenti, devir sayısı, yakıt debisi, emme havası debisi, ortam sıcaklığıdır. Bu büyüklükler vasıtasıyla hesaplanan en önemli performans karakteristikleri ise efektif güç, döndürme momenti, ortalama efektif basınç ve özgül yakıt sarfiyatıdır [50].

4.2.1. Döndürme momenti ve efektif güç

Döndürme momenti ve efektif güç bu çalışmada elektrikli bir dinamometre ile ölçülmüştür. Hesaplamalarında aşağıdaki eşitlikler kullanılmıştır. Motor tarafından oluşturulan döndürme momenti;

$$M_d = F \cdot l \quad (4.1)$$

Dinamometre vasıtasıyla yutulan güç, açısal hız ile döndürme momentinin çarpımına eşittir;

$$P_e = \omega_n \cdot M_d = \frac{2\pi \cdot F \cdot l \cdot n}{1000} \quad (kW) \quad (4.2)$$

Burada;

- M_d = Döndürme momenti (Nm),
 F = Fren terazi kuvveti (N),
 l = Moment kolu uzunluğu (m),
 P_e = Efektif güç (kW),
 n = Motor devri (devir/s) [51].

4.2.2. Ortalama efektif basınç

Ortalama efektif basınç motorun gerçek çevrimdekine eşdeğer bir P gücünü vermesi için bir strok boyunca pistonu etkimesi gereken sabit basınç olarak ifade edilir. W_e (Nm/çev.), çevrim işi ve V_H (m^3) toplam strok hacmi olmak üzere ortalama efektif basınç:

$$P_{me} = \frac{W_e}{V_H} = \frac{P_e}{n_c \cdot V_H} = \frac{P_e}{V_H \cdot n \cdot i} \quad (4.3)$$

Burada;

- P_{me} = Ortalama efektif basınç (N/m^2),
 W = Bir çevrimdeki iş (Nm/çevrim),
 P_e = Efektif güç (kW),
 n_c = İş yapan devir sayısı, $n_c = n \cdot i$ (çevrim/s),
 n = Motor devri (devir/s),
 i = Bir devirdeki çevrim sayısı (çevrim/dev.),
 4 stroklu için $i = 1/2$, 2 stroklu için $i = 1$ dir [51].

4.2.3. Özgül yakıt sarfiyatı

Birim zamanda birim güç başına harcanan yakıt miktarına özgül yakıt sarfiyatı denir. Laboratuar şartlarında bir motorun yakıt sarfiyatını deney tesisatında hacimsel olarak ölçmek mümkündür. Belli çalışma şartlarında motorun Δt (s) zaman aralığında

tükettiği yakıtın hacmi ΔV (cm^3) olsun. Yakıtın yoğunluğu ρ_y (g/cm^3) ise, Özgül yakıt sarfiyatı b_e ;

$$b_e = \frac{3600 \cdot \Delta V \cdot \rho_y}{P_e \cdot \Delta t} = \frac{3600 \cdot \dot{m}_y}{P_e} \quad (4.4)$$

olarak bulunur. Bu denklemde;

b_e = Özgül yakıt tüketimi (g/kWh),

y = Kütleli debi (g/s),

ρ_y = Yakıt yoğunluğu (g/cm^3),

ΔV = Tüketilen yakıt hacmi (cm^3),

Δt = Yakıt tüketme süresi (s) [51].

4.2.4. Efektif verim

Efektif verim motor milinden alınan işin silindire verilen enerjiye oranı şeklinde tarif edilir ve iş veya güç oranları cinsinden yazılırsa;

$$\eta_e = \frac{W_e}{Q_T} = \frac{W_e/t}{Q_T/t} = \frac{P_e}{\dot{m}_y \cdot H_u} \quad (4.5)$$

eşitliği ile ifade edilir. (4.5) ifadesinden \square_y çekilip b_e (g/kW.h) ve H_u (kJ/kg) alındığında,

$$\eta_e = \frac{3.6 \times 10^6}{b_e \cdot H_u} \quad (4.6)$$

ifadesi elde edilir [51].

4.2.5. Volümetrik verim

Motorun belli çalışma şartlarında emdiği gerçek hava miktarının pistonun yer değiştirdiği hacme (teorik hava miktarı) oranıdır. Strok hacmi V_h (m^3), silindir sayısı

z olan ve n (devir/s) hızla dönen bir motorun volümetrik verimi;

$$\eta_v = \frac{\dot{m}_{H,g}}{\dot{m}_{H,t}} = \frac{2\dot{m}_{H,g}}{z \cdot \rho_{H,g} \cdot V_H \cdot n} = \frac{2\dot{V}_{H,g}}{z \cdot V_H \cdot n} \quad (4.7)$$

ifadesinden hesaplanabilir [51].

4.2.6. Hava fazlalık katsayısı

Birim ağırlıktaki yakıtı yakmak için gerekli olan hava miktarına kimyasal olarak doğru veya stokiyometrik hava miktarı denilir ve $h_{min} = (m_{hava} / m_{yakıt})$ teorik olarak ifade edilir. Gerçek çalışma durumunu ifade eden oran, $h = (m_{hava} / m_{yakıt})$ gerçek olarak ifade edilirse hava fazlalık katsayısı için;

$$\lambda = \frac{(\dot{m}_H / \dot{m}_y)_g}{(\dot{m}_H / \dot{m}_y)_t} = \frac{(\dot{m}_H / \dot{m}_y)_g}{h_{min}} \quad (4.8)$$

ifadesi yazılabilir [51].

4.2.7. Hava debisi ölçümü

$$m_H = 7,182 d_H^2 \sqrt{(\Delta h_H)} \quad (4.9)$$

Burada;

d_H = Orifis çapı (mm)

Δh_H = Manometredeki akışkan yüksekliği (mmSS) [51].

Keskin kenarlı lülenin boyutları, eğik manometredeki basınç düşüşü 100 mmSS'den büyük olmayacak şekilde seçilir. Bu düşüşün 125 mmSS'ni geçmemesi gerekmektedir. Bu amaçla istenen basınç düşme sınırlarında kalmak için, motor deneyleri esnasında hangi devir aralıklarında orifis plaka ölçüsünün ne olacağı aşağıdaki denklem vasıtası ile yaklaşık olarak bulunabilir.

$$\dot{V} = \eta_v \frac{V_s \times n}{K \times 60} \quad (4.10)$$

Burada;

η_v = Volümetrik verim

K = Strok (1 → 2 stroklu, 2 → 4 stroklu)

n = Motor devri (dev/s)

V_s = Strok hacmi (m³)

BÖLÜM 5. DENEY SONUÇLARI

İlk deney % 100 benzin (95 oktan kurşunsuz) ile yapılmıştır. Bunun amacı karışım deneylerinden alınan sonuçları değerlendirebilmek için bir referans oluşturmaktır. İkinci deney % 95 benzin, % 5 nitrometan ile hazırlanan karışım ile yapılmıştır. Üçüncü deney % 90 benzin, % 10 nitrometan karışımı ile yapılmıştır.

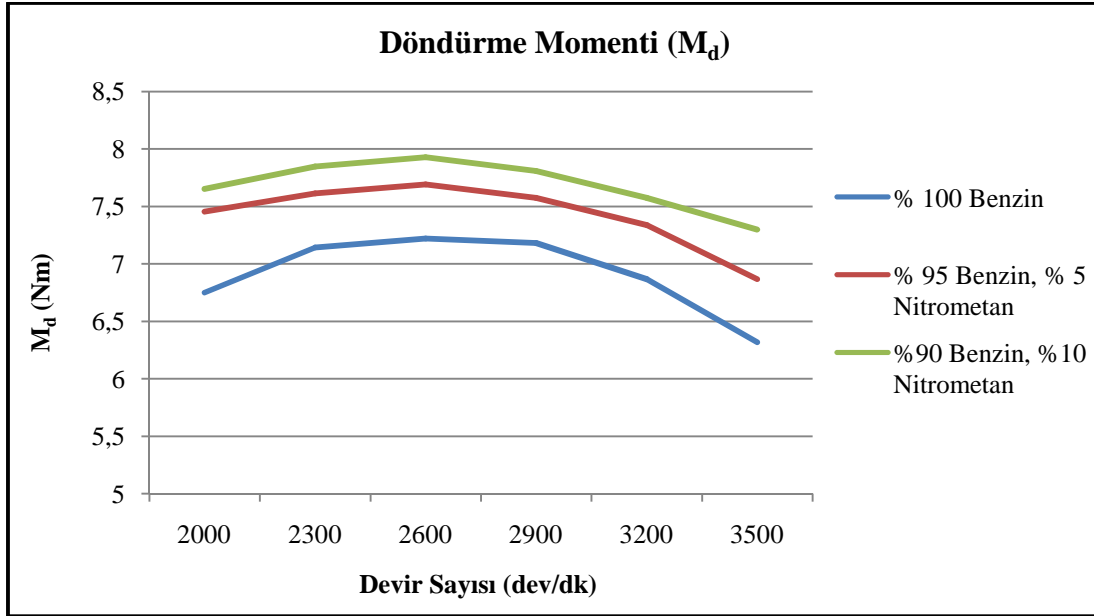
5.1. Döndürme Momentinde Meydana Gelen Değişim

Tek silindirli deney motorunda 8,5:1 sabit sıkıştırma oranında deneyler yapılmıştır. Tablo 5.1 incelendiğinde nitrometan karışımlarının % 100 benzinden daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. En yüksek moment değeri 2600 min⁻¹ de % 10 nitrometan içeren karışımda 7,93 Nm olarak elde edilmiştir. Bu değer % 100 benzine göre % 9,83 oranında artış göstermiştir.

Tablo 5.1. Döndürme momentinin farklı karışım oranlarında motor hızına göre değerleri

Motor Devri (d/d) Yakıt Türü	2000	2300	2600	2900	3200	3500
% 100 Benzin	6,75	7,14	7,22	7,18	6,87	6,32
% 95 Benzin, % 5 Nitrometan,	7,46	7,61	7,69	7,57	7,34	6,87
% 90 Benzin, % 10 Nitrometan	7,65	7,85	7,93	7,81	7,57	7,30

Dinamometrenin milinden ölçüm alınan yük hücreğine olan moment kolu uzunluğu 0,4 m olarak ölçülmüştür. Cihaz kg değeri gösterdiği için okunan değerler 0,4 ve 9,81 ile çarpılarak moment Nm cinsinden hesaplanmıştır.



Şekil 5.1. Döndürme momentinin farklı karışım oranlarında motor hızına göre değişimi

Şekil 5.1'deki grafikte, motor hızına göre moment değişimi incelendiğinde en iyi moment çıkışlarının orta motor hızlarında gerçekleştiği görülmektedir. Düşük ve yüksek motor hızlarında moment değerleri daha az olarak görülmektedir. Bunun nedeni, en fazla dolgunun silindire alınabildiği devir aralıklarının orta devir aralıkları olmasıdır. Düşük ve yüksek motor hızlarında motordaki süpürme kayıpları artmakta ve volümetrik verim düşmektedir. Özellikle düşük motor hızlarında motorun yavaş çalışmasından dolayı silindir duvarlarındaki ısı kayıplarının fazla olması bu durumu etkilemektedir. Motor orta hızlara ulaştığında volümetrik verim artmakta ve kayıplar azaldığı için moment değeri artmaktadır. Yüksek motor hızlarında ise özellikle emme süresinin kısılması ile kayıpların artmasından dolayı volümetrik verim düşmektedir. Ayrıca motor hızına bağlı olarak sürtünme kayıpları da artış göstermektedir [52].

5.2. Efektif Güçte Meydana Gelen Değişim

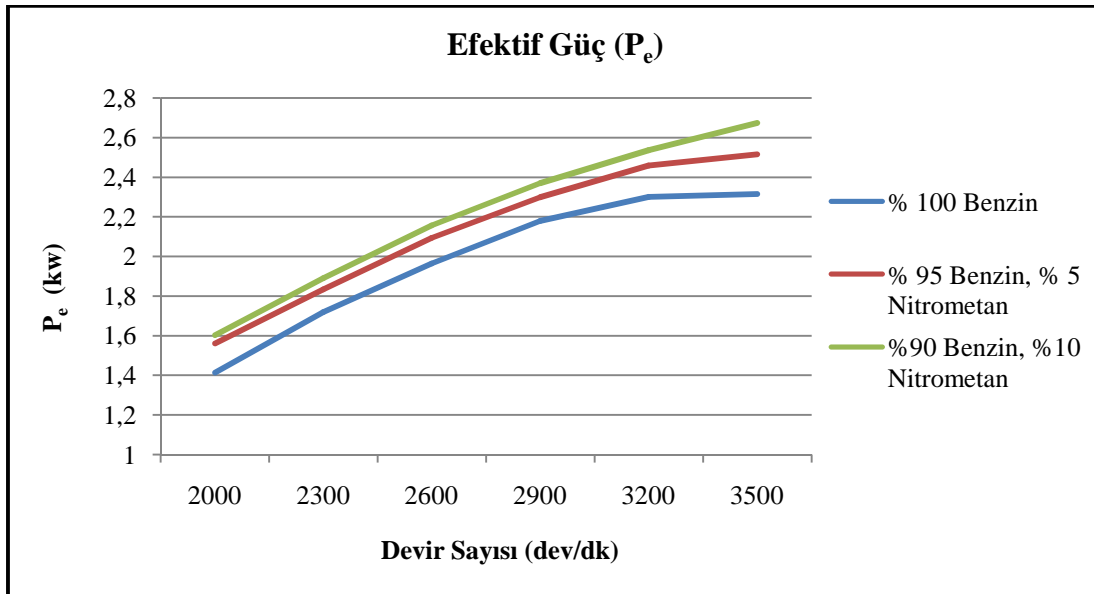
Tablo 5.2'de farklı karışımlarla yapılan deneylerde moment değişimlerine bağlı olarak hesaplanan efektif güç değerlerinin motor hızına göre değişimleri verilmiştir.

Tablo 5.2. Efektif gücün farklı karışım oranlarında motor hızına göre değerleri

Motor Devri (d/d) Yakıt Türü	2000	2300	2600	2900	3200	3500
% 100 Benzin	1,41	1,72	1,96	2,18	2,30	2,31
% 95 Benzin, % 5 Nitrometan,	1,56	1,83	2,09	2,30	2,46	2,52
% 90 Benzin, % 10 Nitrometan	1,60	1,89	2,16	2,37	2,54	2,67

Tabloda gösterilen değerler kW cinsinden hesaplanmıştır.

Şekil 5.2'de farklı karışım oranlarındaki efektif gücün motor devrine göre değişimi gösterilmiştir. Dikkat edildiğinde, karışımdaki nitrometan oranları attıkça efektif gücün buna bağlı olarak arttığı gözlemlenmiştir. % 10 nitrometan karışımı ile yapılan deneyde, 3500 min⁻¹'de ölçülen maksimum efektif güç, % 100 benzin ile yapılan deneyde ölçülen maksimum efektif güçten % 15,58 oranında daha fazladır.



Şekil 5.2. Efektif gücün farklı karışım oranlarında motor hızına göre değişim

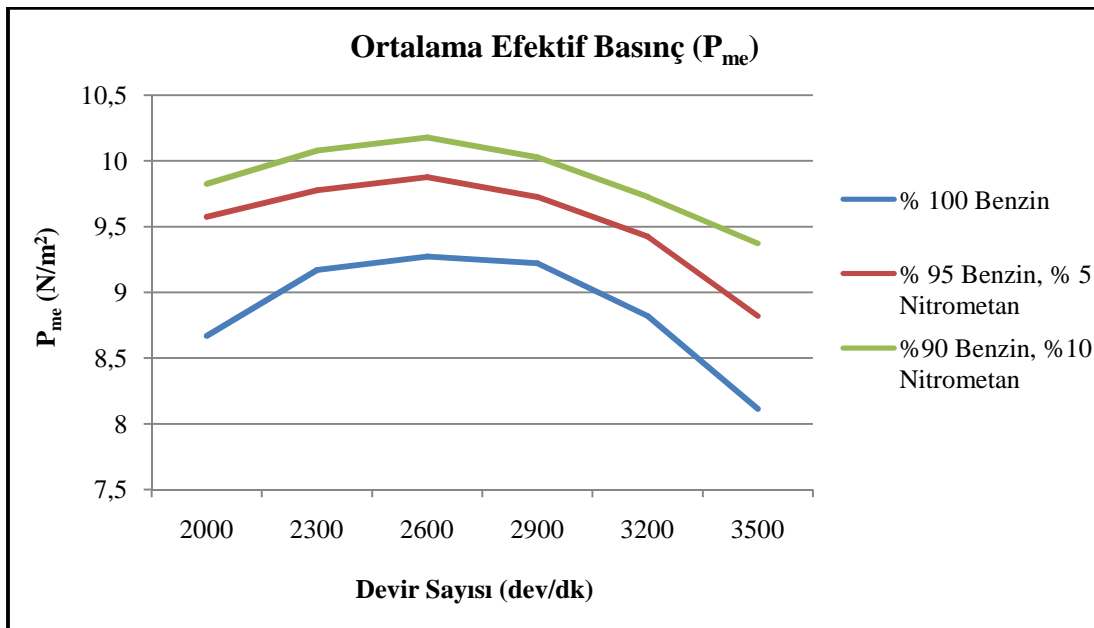
5.3. Ortalama Efektif Basıncıta Meydana Gelen Değişim

Tablo 5.3'te ortalama efektif basıncın motor hızına göre değişimleri N/m^2 cinsinden verilmiştir. Tablo incelendiğinde, karışımdaki nitrometan oranları arttıkça ortalama efektif basıncın buna bağlı olarak arttığı görülmektedir.

Tablo 5.3. Ortalama efektif basıncın farklı karışım oranlarında motor hızına göre değerleri

Motor Devri (d/d) Yakıt Türü	2000	2300	2600	2900	3200	3500
% 100 Benzin	8,67	9,17	9,27	9,22	8,82	8,11
% 95 Benzin, % 5 Nitrometan,	9,57	9,78	9,88	9,73	9,42	8,82
% 90 Benzin, % 10 Nitrometan	9,83	10,08	10,18	10,03	9,73	9,37

Tabloda gösterilen değerler N/m^2 cinsinden hesaplanmıştır.



Şekil 5.3. Ortalama efektif basıncın farklı karışım oranlarında motor hızına göre değişimi

Şekil 5.3'te farklı karışım oranlarında motor hızına göre değişen ortalama efektif basınç miktarları görülmektedir. Grafikteki veriler incelendiğinde maksimum ortalama efektif basıncının 2600 min^{-1} de gerçekleştiği ve % 10 nitrometan içeren karışımın ortalama efektif basıncının % 100 benzin içeren karışımın ortalama efektif basıncına oranla % 8,94 artış gösterdiği sonucuna ulaşılmaktadır. Burada büyük oranda etkili olan parametreler efektif güç ve devir sayısıdır. Yanmanın iyi olduğu devir aralığında buna doğru orantılı olarak ortalama efektif basınç artış göstermiştir. Düşük ve yüksek devirlerde volümetrik verimin düşmesi motor momentini ve buna bağlı olarak ortalama efektif basıncı olumsuz etkilemektedir.

5.4. Özgül Yakıt Sarfiyatında Meydana Gelen Değişim

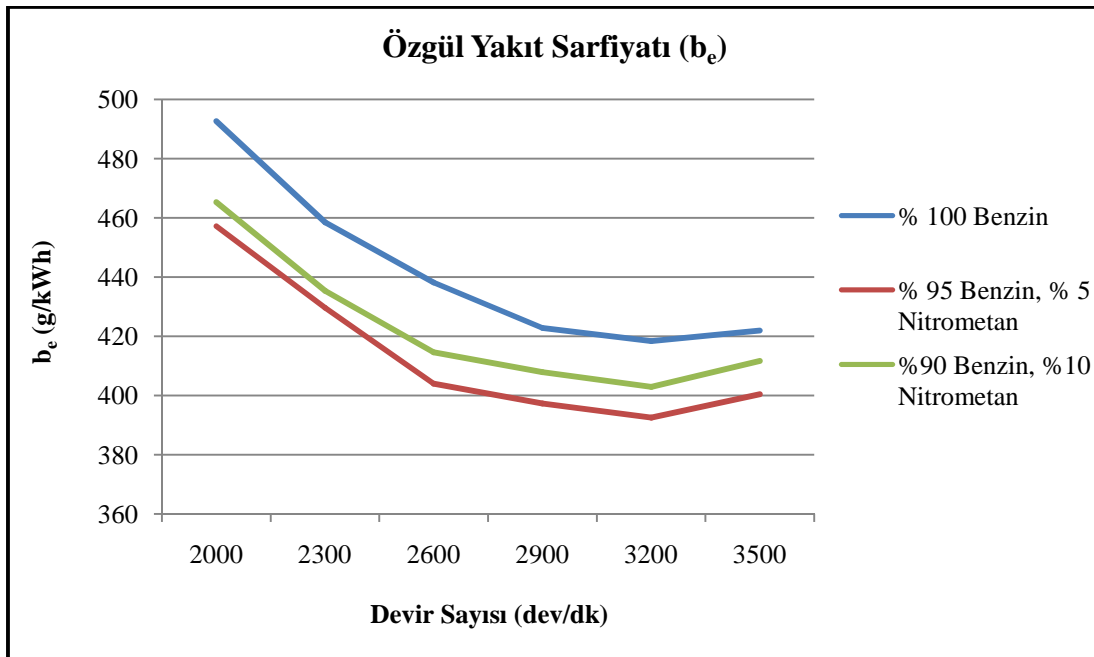
Tablo 5.4'te özgül yakıt sarfiyatının motor hızına göre g/kWh cinsinden hesaplanan değerleri verilmiştir. Tablodaki değerler incelendiğinde özgül yakıt sarfiyatının benzine oranla en düşük olduğu karışım % 5 nitrometan içeren karışımdır. Bunun nedeni özgül yakıt sarfiyatının hesaplanmasında kullanılan karışımların yoğunluklarındaki değişimlerdir. Deneylerde hacimsel olarak 25 ml yakıtın kaç saniyede tüketildiği ölçülmüştür. Burada dikkat edilmesi gereken nokta karışım yoğunluklarının farklılaşmasıdır. İçerdikleri nitrometan oranlarının artışına doğru orantılı olarak karışım yoğunlukları da artış göstermiştir.

Tablo 5.4. Özgül yakıt sarfiyatının farklı karışım oranlarında motor hızına göre değerleri

Motor Devri (d/d) Yakıt Türü	2000	2300	2600	2900	3200	3500
% 100 Benzin	492,67	458,52	438,16	422,80	418,35	421,96
% 95 Benzin, % 5 Nitrometan,	457,12	429,58	403,99	397,26	392,50	400,38
% 90 Benzin, % 10 Nitrometan	465,30	435,31	414,63	407,93	402,96	411,70

Tabloda gösterilen değerler g/kWh cinsinden hesaplanmıştır.

Şekil 5.4 incelendiğinde 8,5:1 sabit sıkıştırma oranında yapılan deneylerde özgül yakıt tüketiminin motor hızına bağlı olarak değişimi verilmiştir. Değerler incelendiğinde en düşük özgül yakıt tüketim değeri 3200 min^{-1} motor hızında % 5'lik nitrometan karışımında benzine oranla % 6,7'lik bir düşüşle elde edilmiştir. % 5 ve % 10 nitrometan içeren karışımlar birbirine yakın sonuçlar vermiştir. Bu değerlerin % 100 benzinin yakıt tüketiminden daha az olduğu görülmüştür. Özgül yakıt tüketiminde % 100 benzine oranla en fazla iyileşmenin 2600 min^{-1} de % 7,83 azalmayla % 5 nitrometan karışımından elde edildiği görülmektedir. Düşük motor hızlarında özgül yakıt tüketimi kötü sonuçlar vermiştir. Motor devri orta seviyelere geldikçe düşmüş ve 3200 min^{-1} den yüksek devirlere geldiğinde tekrar yükselme eğilimi göstermiştir. Tüm karışımlar göz önüne alındığında ise en düşük değer 3200 min^{-1} 'de % 5 nitrometan içeren karışımında $392,5 \text{ g/kWh}$ olduğu görülmektedir.



Şekil 5.4. Özgül yakıt sarfiyatının farklı karışım oranlarında motor hızına göre değişimi

5.5. Efektif Verimde Meydana Gelen Değişim

Tablo 5.5'te farklı karışımlarla yapılan deneylerde efektif verimin motor hızına göre değişimleri verilmiştir. Veriler incelendiğinde efektif verimin % 10 nitrometan içeren karışımında en iyi sonuç verdiği görülmektedir. Bununla beraber % 5 ve % 10 nitrometan içeren karışımların verdiği efektif verim sonuçları birbirine yakın

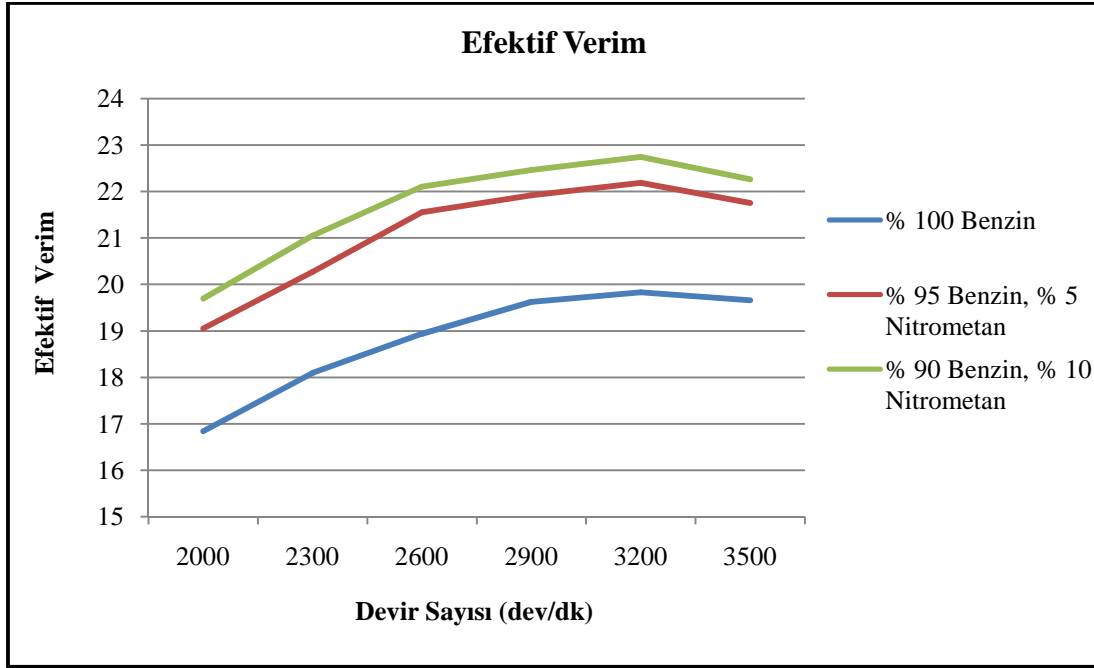
çıkıştır. Yapılan deneylerde karışımların hepsi için en iyi sonucu veren devir 3200 min^{-1} dir. Burada % 100 benzine göre % 14,67'lik bir iyileşme söz konusudur. Şekil 5.5'te tüm karışımlara ait verilerin motor hızına göre değişimleri grafik halinde verilmiştir

Tablo 5.5. efektif verimin farklı karışım oranlarında motor hızına göre değerleri

Motor Devri (d/d) Yakıt Türü	2000	2300	2600	2900	3200	3500
% 100 Benzin	16,84	18,09	18,93	19,62	19,83	19,66
% 95 Benzin, % 5 Nitrometan,	19,04	20,27	21,55	21,92	22,18	21,75
% 90 Benzin, % 10 Nitrometan	19,69	21,05	22,10	22,46	22,74	22,26

Tabloda gösterilen değerler % cinsinden hesaplanmıştır.

Nitrometanın yakıt-hava karışımını fakirleştirici etkisinin yanında, kolay buharlaşma özelliği ve yapısında bulunan oksijeni yakıtın ulaştığı her noktaya taşınması, daha homojen bir yakıt-hava karışımı oluşturarak yanmanın iyileşmesine katkıda bulunmaktadır. Volümetrik verim ve yanma veriminin artması ise efektif verimi olumlu yönde etkilemektedir.



Şekil 5.5. Efektif verimin farklı karışım oranlarında motor hızına göre değişim

5.6. CO Emisyonunda Meydana Gelen Değişim

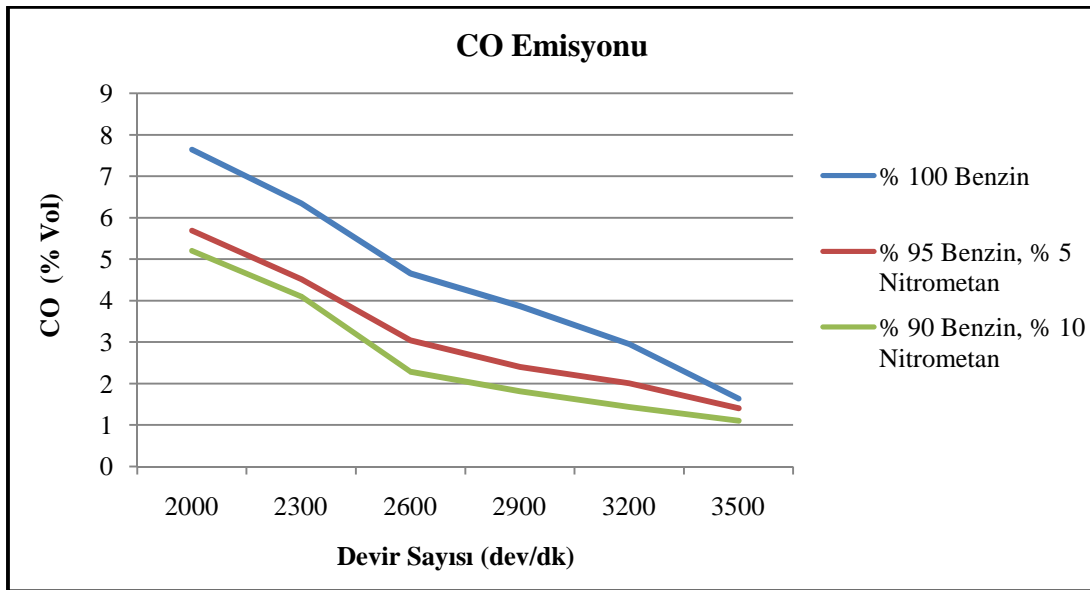
Tablo 5.6'da farklı karışım oranlarında tam yükte yapılan deneylerde elde edilen CO emisyonlarının motor hızına göre değerleri verilmiştir. Tablodaki veriler incelendiğinde tüm karışım oranlarında CO emisyonunun motor hızı arttıkça azaldığı görülmektedir. % 5 ve % 10 nitrometan içeren karışımların CO emisyon değerleri benzinin CO emisyon değerlerinden daha düşük olduğu görülmektedir. Nitrometanın oksijen içeriği karışımın fakirleşmesine neden olmakta böylece eksik yanma ürünü olan CO emisyonunu azaltmaya yardımcı olmaktadır.

Tablo 5.6. CO emisyonunun farklı karışımlarında motor hızına göre değerleri

Motor Devri (d/d) Yakıt Türü	2000	2300	2600	2900	3200	3500
	% 100 Benzin	7,64	6,344	4,651	3,869	2,951
% 95 Benzin, % 5 Nitrometan,	5,687	4,514	3,04	2,404	2,01	1,407
% 90 Benzin, % 10 Nitrometan	5,201	4,096	2,286	1,816	1,436	1,103

Tabloda gösterilen değerler % hacimsel oran olarak verilmiştir.

Şekil 5.6'da CO emisyonunun farklı karışımlarla tam yükte yapılan deneyler sonucunda farklı motor devirlerindeki miktarları görülmektedir. Karışım içerisindeki nitrometan oranının artmasıyla CO emisyonundaki azalma miktarının da artış gösterdiği görülmektedir. Burada % 100 benzine göre en iyi sonucu veren karışım 2900 min⁻¹ devir sayısında % 53,06 azalma gösteren % 10 nitrometan içeren karışımıdır.



Şekil 5.6. CO emisyonunun farklı karışımlarında motor hızına göre değişimi

5.7. HC Emisyonunda Meydana Gelen Değişim

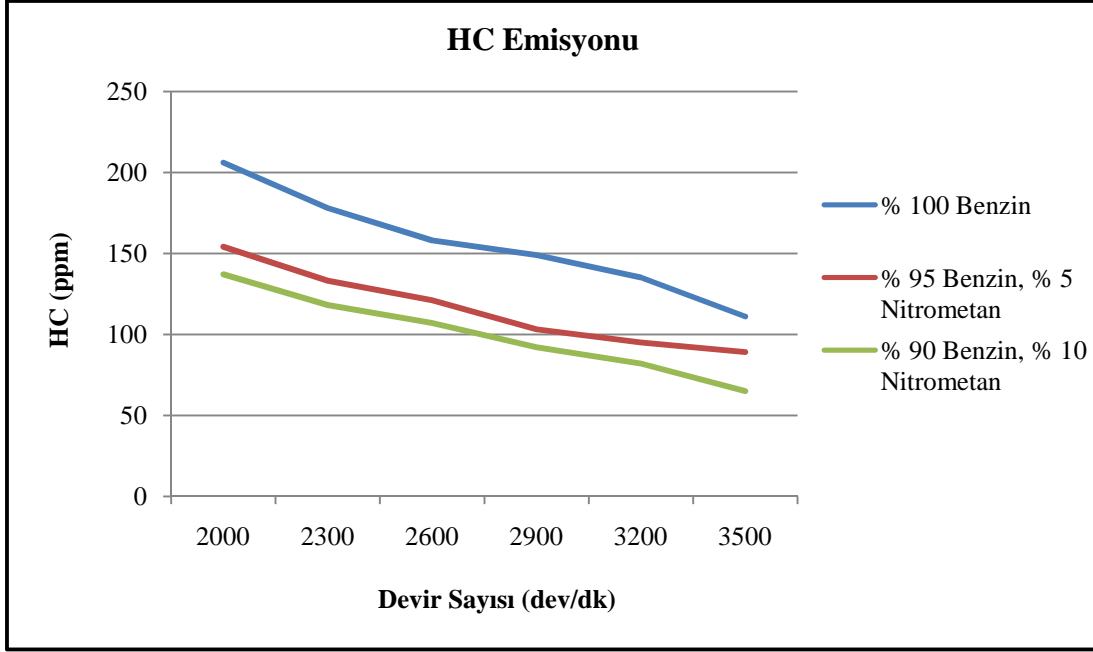
Tablo 5.7'de farklı karışım oranlarında HC emisyonunun motor hızına göre değişimleri verilmiştir. Tablodaki veriler incelendiğinde HC emisyonlarının motor hızı arttıkça düşüş gösterdiği görülmektedir. Ayrıca bezine oranla % 5 ve % 10 nitrometan içeren karışımların HC emisyonlarında daha fazla bir düşüş meydana geldiği görülmektedir. Eksik yanma ürünü olan HC emisyonlarını azaltan önemli bir detay, nitrometanın oksijen içerikli olması ve buharlaşma gizli ısısının benzinden daha yüksek olması nedeniyle yanma öncesinde silindirdeki sıcaklığı düşürerek dolgu miktarını arttırmasıdır. Böylece yanma daha verimli gerçekleşmekte ve HC emisyonlarında da ciddi bir azalma gözlenmektedir.

Tablo 5.7. HC emisyonunun farklı karışım oranlarında motor hızına göre değerleri

Motor Devri (d/d) Yakıt Türü	2000	2300	2600	2900	3200	3500
% 100 Benzin	206	178	158	149	135	111
% 95 Benzin, % 5 Nitrometan,	154	133	121	103	95	89
% 90 Benzin, % 10 Nitrometan	137	118	107	92	82	65

Tabloda gösterilen değerler ppm cinsinden verilmiştir.

% 100 benzine göre en iyi sonuç % 10 nitrometan karışımında ve 3500 min^{-1} motor hızında elde edilmiştir. Bu devirde % 10 nitrometan karışımının HC emisyonu % 100 benzin karışımına göre % 41,44 azalmıştır.



Şekil 5.7. HC emisyonunun farklı karışım oranlarında motor hızına göre değişimi

5.8. CO₂ Emisyonunda Meydana Gelen Değişim

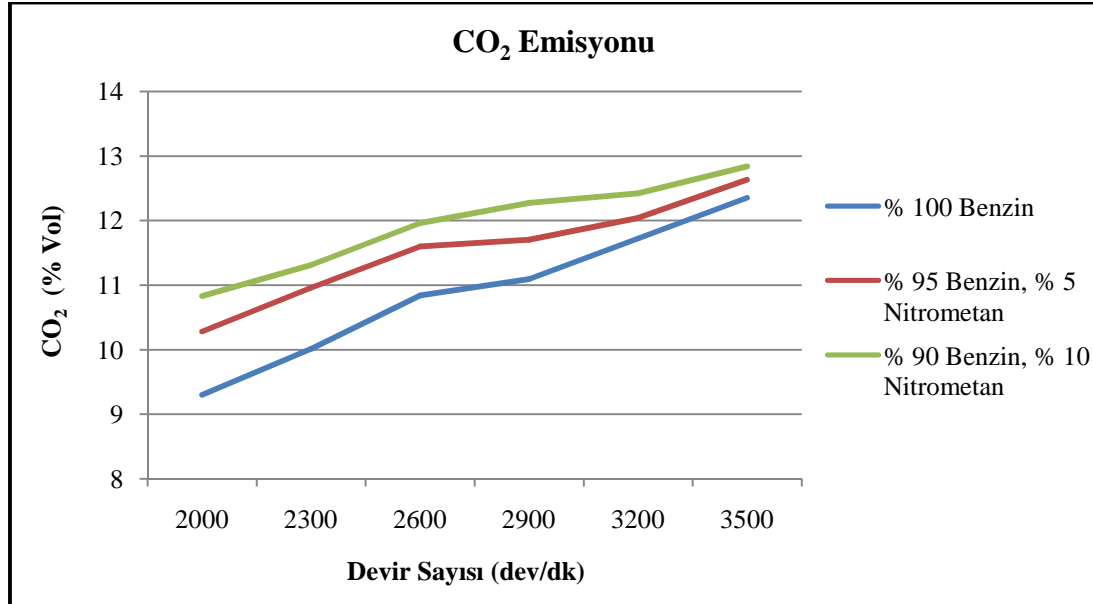
Tablo 5.8'de farklı karışımlarla tam yükte yapılan deneylerde elde edilen CO₂ emisyonlarının motor hızına göre değişimleri görülmektedir. Bütün karışımlarda motor hızına göre artan bir CO₂ emisyonu görülmektedir. CO₂ emisyonu yanmanın tam gerçekleştiğinin bir göstergesidir. Yanma ne kadar iyi olursa CO₂ emisyonu o kadar fazla olur denilebilir. Yakıtın içinde bulunan karbon yandıktan sonra havanın ve varsa yakıt içeriğindeki oksijenlerle birleşerek CO₂ emisyonlarını oluşturmaktadırlar.

Tablo 5.8. CO₂ emisyonunun farklı karışım oranlarında motor hızına göre değerleri

Motor Devri (d/d) Yakıt Türü	2000	2300	2600	2900	3200	3500
% 100 Benzin	9,3	10,01	10,84	11,09	11,72	12,35
% 95 Benzin, % 5 Nitrometan,	10,28	10,96	11,6	11,7	12,04	12,63
% 90 Benzin, % 10 Nitrometan	10,83	11,31	11,96	12,27	12,42	12,84

Tabloda gösterilen değerler % hacimsel oran olarak verilmiştir.

Şekil 5.8'de farklı karışımlarla yapılan deney sonuçlarının grafiği görülmektedir. Sonuçlar incelendiğinde CO₂ emisyonunun karışımlardaki nitrometan oranlarıyla birlikte arttığı görülmektedir. Burada % 100 benzine göre elde edilen en fazla artış gösteren sonucun 2000 min⁻¹ de % 16,45 oranında bir artma ile % 10 nitrometan içeren karışımda meydana geldiği görülmektedir.

Şekil 5.8. CO₂ emisyonunun farklı karışım oranlarında motor hızına göre değişimi

5.9. NO_x Emisyonunda Meydana Gelen Değişim

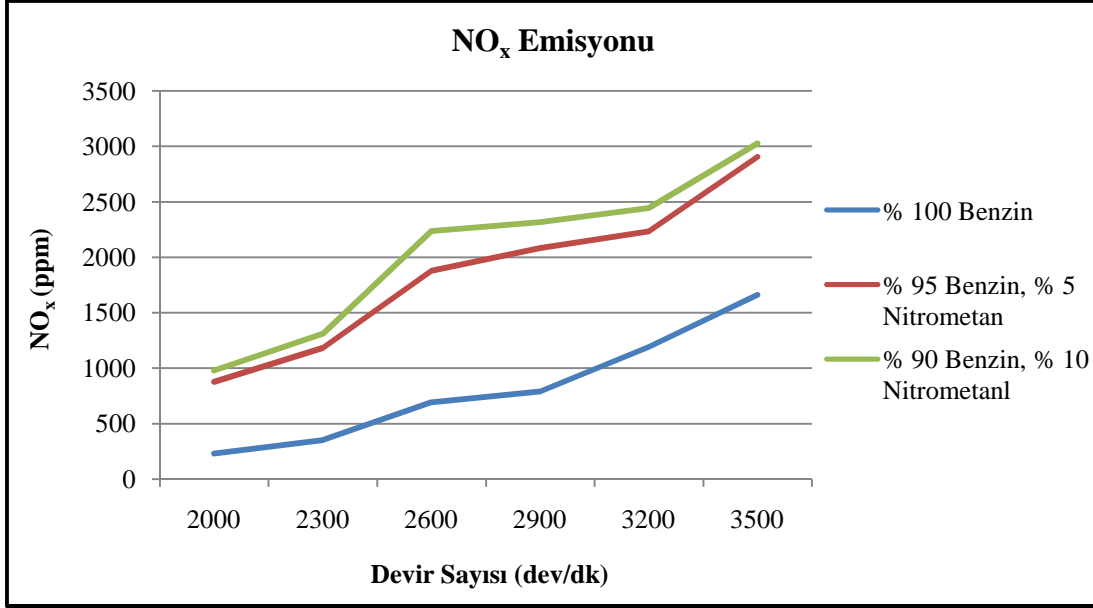
Tablo 5.9'da farklı karışım oranlarında, tam yükte yapılan deneylerde elde edilen, motor hızına göre NO_x emisyonlarının değerleri gösterilmiştir. Egzoz çıkış sıcaklıkları karışım içindeki nitrometan oranlarının artmasıyla azalmaktadır. Nitrometan benzinden çok daha hızlı yanmakta ve silindirdeki yanma sıcaklığını arttırmaktadır. Böylece yanma sonunda NO_x emisyonlarının oluşması için uygun bir zemin hazırlanmış olmaktadır. Nitrometanın benzinden daha hızlı yanması, silindirdeki yanmanın egzoz zamanına sarkmasına müsaade etmeden egzoz supabı açılana kadar yanma işleminin büyük ölçüde tamamlanmasına olanak sağlamaktadır. Böylece yanmış gazlar egzoz gidene kadar soğuma fırsatı bulmakta ve egzoz çıkış sıcaklıkları düşüş göstermektedir.

Tablo 5.9. NO_x emisyonunun farklı karışım oranlarında motor hızına göre değerleri

Motor Devri (d/d) Yakıt Türü	2000	2300	2600	2900	3200	3500
% 100 Benzin	231,02	353,34	693,05	790,94	1192,05	1660,43
% 95 Benzin, % 5 Nitrometan,	877,3	1183,03	1876,83	2083,86	2231,78	2904,21
% 90 Benzin, % 10 Nitrometan	977,02	1309,11	2234,27	2315,63	2442,51	3024,81

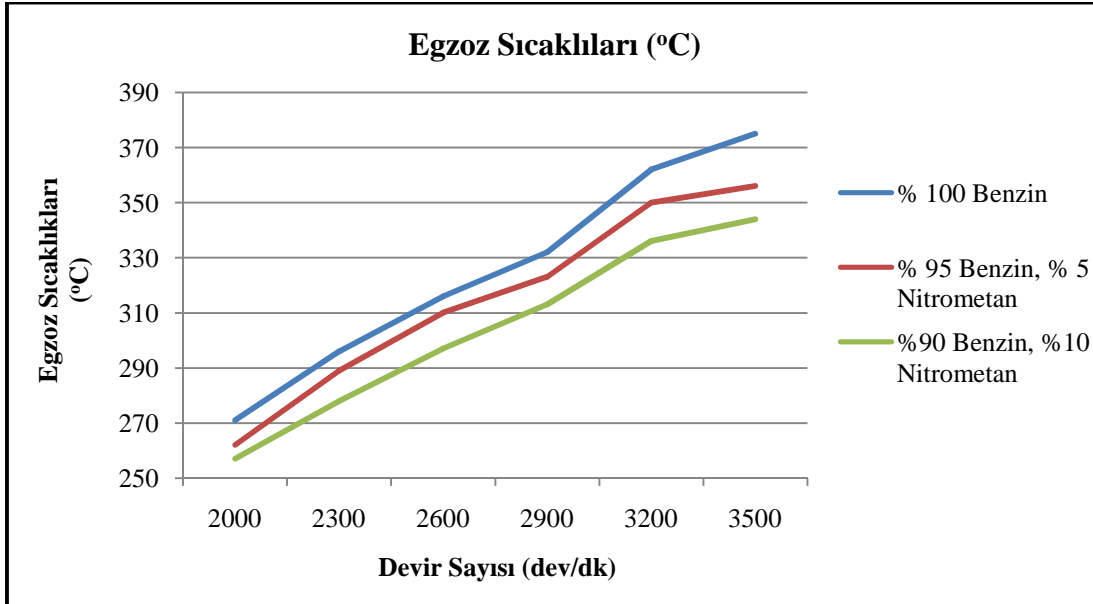
Tabloda gösterilen değerler ppm cinsinden verilmiştir.

Şekil 5.9'da farklı karışımlarla yapılan deneylerde elde edilen NO_x emisyonlarının motor hızına göre değişimleri grafik olarak görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi en olumlu NO_x eğrisini % 100 benzin ile yapılan deney sonuçları vermektedir. Karışım içerisindeki nitrometan oranları arttıkça NO_x emisyonlarında ciddi bir artış olduğu görülmektedir. Değerler incelendiğinde % 100 benzine göre en fazla artışın 2000 min⁻¹ devirde % 322,66 orandaki artışla % 10 nitrometan karışımında gerçekleştiği görülmektedir.



Şekil 5.9. NO_x emisyonunun farklı karışım oranlarında motor hızına göre değişimi

Şekil 5.10'da egzoz sıcaklıklarının farklı karışım oranlarında motor hızına göre nasıl değiştiği grafik olarak gösterilmiştir. Karışım içerisindeki nitrometan oranlarının artmasıyla egzoz sıcaklıklarında düşme meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 5.10. Egzoz sıcaklıklarının farklı karışım oranlarında motor hızına göre değişimi

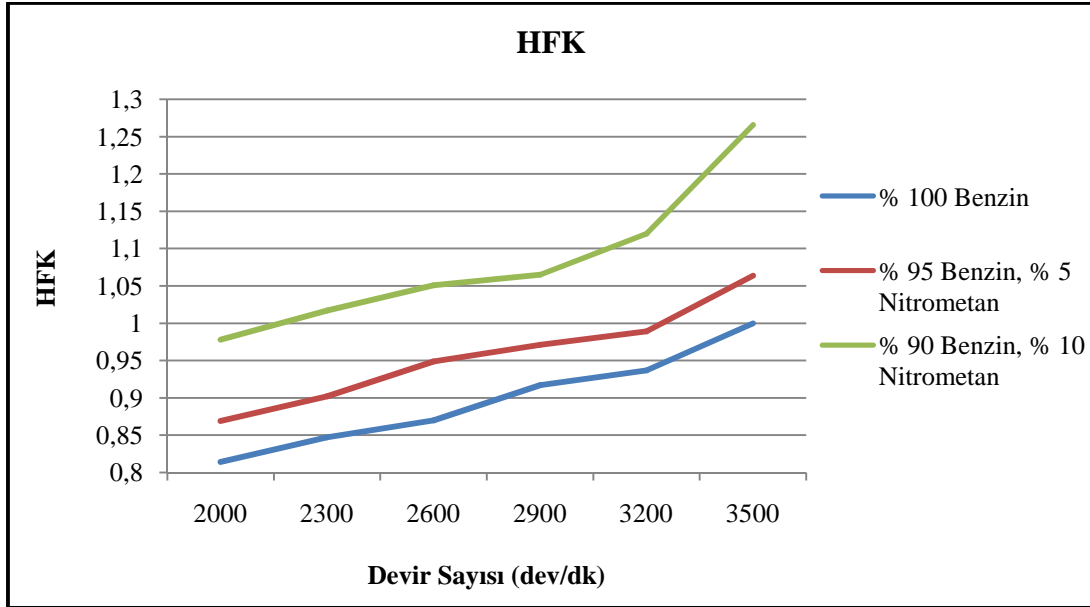
5.10. Hava Fazlalık Katsayısında Meydana Gelen Değişim

Tablo 5.10'da farklı karışımlarla yapılan deneylerde elde edilen hava fazlalık katsayısı değerlerinin motor hızına göre değerleri verilmiştir. Değerler incelendiğinde karışım içindeki nitrometan oranlarının artmasıyla hava fazlalık katsayılarında artış gözlenmiştir. Bunun nedeni, nitrometanın oksijen içerikli olması ve buharlaşma gizli ısısının benzinin buharlaşma ısısından daha yüksek olmasıdır. Silindir içerisine alınan havadaki oksijene yardımcı olarak nitrometanın içerdiği oksijen miktarı yanmaya yardımcı olmakta ve karışımı fakirleştirmektedir. Ayrıca buharlaşma gizli ısısının benzinden daha yüksek olması da emme zamanı sırasında silindir içerisindeki sıcaklığı düşürerek silindire alınacak hava miktarının artmasına neden olmaktadır.

Tablo 5.10. HFK'nın farklı karışım oranlarında motor hızına göre değişimi

Motor Devri (d/d) Yakıt Türü	2000	2300	2600	2900	3200	3500
% 100 Benzin	0,814	0,847	0,87	0,917	0,937	1
% 95 Benzin, % 5 Nitrometan,	0,869	0,902	0,949	0,971	0,989	1,064
% 90 Benzin, % 10 Nitrometan	0,978	1,017	1,051	1,065	1,12	1,266

Şekil 5.11'de farklı karışımlarla yapılan deneylerde elde edilen hava fazlalık katsayısı değerlerinin motor devrine göre değişimleri grafik olarak gösterilmiştir. Burada en yüksek değerleri veren karışımın % 10 nitrometan içeren karışım olduğu görülmektedir. Değerler incelendiğinde % 100 benzine göre oluşan maksimum fark, 3500 min⁻¹ de % 26,6 oranda artan hava fazlalık katsayısı ile % 10 nitrometan içeren karışımda meydana gelmiştir.



Şekil 5.11. Hava fazlalık katsayısının farklı karışım oranlarında motor hızına göre değişimi

5.11. Egzozda Ölçülen Oksijen Miktarında Meydana Gelen Değişim

Tablo 5.11'de farklı karışım oranlarında yapılan deneylerde egzozdan ölçülen oksijen miktarlarındaki değişimler görülmektedir.

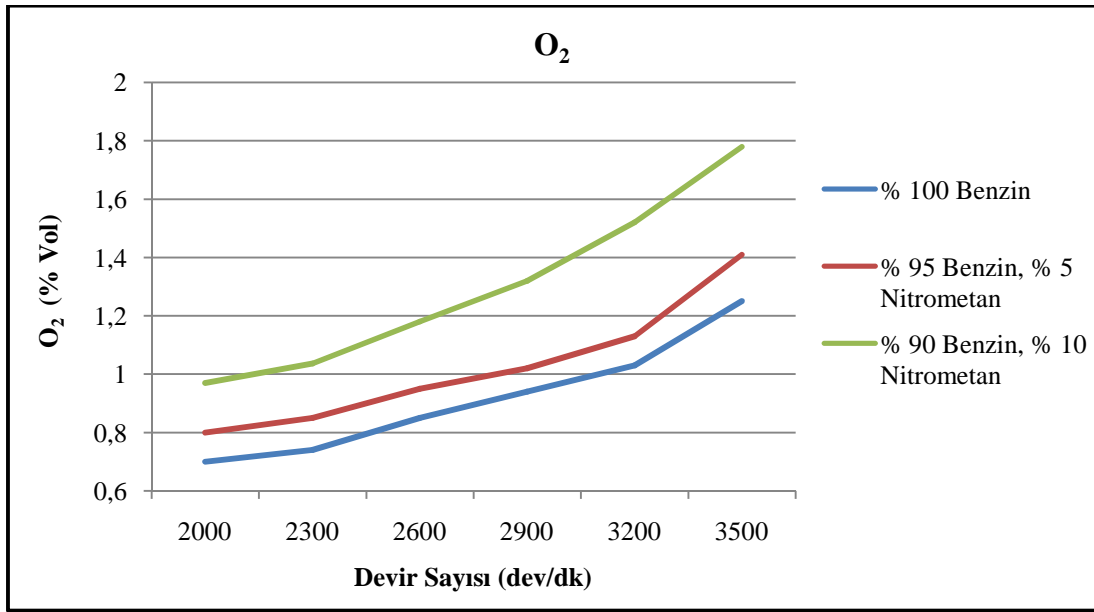
Tablo 5.11. Oksijenin farklı karışım oranlarında motor hızına göre değişimi

Motor Devri (d/d) Yakıt Türü	2000	2300	2600	2900	3200	3500
	% 100 Benzin	0,7	0,74	0,85	0,94	1,03
% 95 Benzin, % 5 Nitrometan,	0,8	0,85	0,95	1,02	1,13	1,41
% 90 Benzin, % 10 Nitrometan	0,97	1,037	1,18	1,32	1,52	1,78

Tabloda gösterilen değerler % hacimsel oran olarak verilmiştir.

Değerler incelendiğinde karışım içindeki nitrometan oranı arttığında egzozda ölçülen oksijen miktarının arttığı görülmektedir. Buna neden olan şey nitrometanın volümetrik verimi arttırmasıyla silindire alınan hava miktarının artmış olması, yani

motorun % 100 benzin ile çalıştığı değerden daha fakir bir karışımla çalışmasıdır. Ayrıca nitrometanın içeriğindeki oksijen miktarı da karışımlar içerisindeki oranlarının artmasıyla birlikte egzozdan ölçülen oksijen miktarını arttıran önemli bir özelliktir. Deneylerde ölçülen değerler incelendiğinde, % 100 benzine göre en fazla artışın % 42,4 artışla % 10 nitrometan içeren karışımda meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 5.12. Oksijenin farklı karışım oranlarında motor hızına göre değişimi

BÖLÜM 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, tek silindirli, dört zamanlı, hava soğutmalı bir motorda iki farklı oranda nitrometan karışımının motor performansına ve emisyonlara etkisi incelenmiştir. Dene motorunda hiçbir değişiklik yapılmamıştır. Deneyler tam yükte gerçekleştirilmiştir. Deneylerde referans alınan motor devirleri; 2000, 2300, 2600, 2900, 3200 ve 3500 min⁻¹'dir.

Nitrometan - benzin karışımlarının motorun performansını arttırdığı, NO_x ve CO₂ emisyonlarında artış, HC ve CO emisyonlarında ise azalma olduğu görülmektedir.

% 10'dan daha fazla nitrometan ilavesi ile yapılan karışımlarda motorun kararsız çalıştığı ve vuruntu meydana geldiği gözlenmiştir. Bu nedenle daha yüksek oranlardaki nitrometan karışımları ile yapılan deneylerde sonuçlar sağlıklı çıkmış ve deney motorları zarar görmüştür. Bu nedenle buji ateşlemeli motorlarda nitrometanı hiçbir değişiklik yapmaksızın yüksek oranlarda kullanmak mümkün değildir.

Nitrometan benzine % 5 oranında ilave edildiğinde, özgül yakıt sarfiyatı bu durumdan olumlu yönde etkilenmektedir. Burada karışımın yoğunluğunun içerdiği nitrometan oranına orantılı olarak artıyor olması etkili olmaktadır. Ayrıca nitrometanın buharlaşma gizli ısılarının benzine göre çok yüksek olmasından kaynaklanan, silindirdeki sıcaklığı düşürerek dolgu yoğunluğunu artırması, içeriye alınan dolgunun miktarının artmasına neden olması, böylece yanmanın daha verimli gerçekleşmesini sağlamaktadır. Egzoz sıcaklıklarının düşmesi yanma sonucu ortaya çıkan enerjinin daha verimli kullanıldığı bir işareti olarak gösterilebilir.

Benzine nitrometan ilave edilerek hazırlanan karışımların sağladığı motor performansı, % 100 benzinin sağladığı performansa göre daha olumlu sonuçlar

vermiştir. Bunun yanında, yanma veriminin iyileşmesine paralel olarak CO ve HC emisyonlarında kayda değer azalmalar meydana gelmiştir.

Nitrometanın benzine karıştırılmasıyla elde edilen karışımların motorda yakıt olarak kullanılması, motorun ömrünü kısaltmakta, yüksek oranlarda ilave edildiğinde ise vuruntu ve kararsız çalışmaya neden olmaktadır. Aynı zamanda ekonomik bir yakıt olmadığından dolayı içten yanmalı motorlarda hiçbir değişiklik yapılmadan kullanılması önerilmemektedir. Bu olumsuzluklara ilave olarak CO₂ ve NO_x emisyonlarını arttırıyor olması da nitrometanın bir yakıt katkısı olarak kullanılabilirliğini olumsuz etkilemektedir.

KAYNAKLAR

- [1] TEKİN, M., YÖRÜK, S., Motorlarda Metanol Kullanımının Performans ve Çevre İlişkileri, GO. Ü. Zile MYO, Otomotiv Programı, TOKAT.
- [2] Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, 2002 Türkiye Enerji Raporu, Poyraz Ofset, Ankara, 6-8, 11, 15, 18, 19, 22, 24, 43, 45, 59, 2003.
- [3] TC Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı, Enerji Üretiminde Çevre Politikaları Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Yayın no: DPT 2314-ÖİK 417, Yayın ve Temsil Dairesi Başkanlığı Yayın ve Basım Şube Müdürlüğü Matbaa Birimi, 21, 57, 1992.
- [4] YÜKSEL, F., YÜKSEL, B., The use of ethanol-gasoline blend as a fuel in an SI engine, Renewable Energy, No: 1181-1191, 2004.
- [5] BAYRAKTAR, H., Benzin-Etanol Karışımlarının Benzin Motorlarında Yanma ve Motor Çevrimi Üzerindeki Etkilerinin Teorik Olarak İncelenmesi, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bil. Enstitüsü, 1997.
- [6] ÇETİNKAYA, S., ÇELİK, M. B., Buji Ateşlemeli Motorlarda Yakıt Olarak Metanol-Benzin Karışımlarının Kullanılması, 5. Yanma Sempozyumu, 1997.
- [7] SALMAN, M. S., SÜMER, M., Buji Ateşlemeli Motorlarda Etanol ve Etanol-Benzin Karışımlarının Motor Performansına Etkileri, Politeknik Dergisi, Cilt: 2, Sayı: 2, S. 27-35, 1999.
- [8] TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası, Enerji Verimliliği Raporu, Yayına Hazırlayan: Elektrik Mühendisleri Odası, --1.bs.—Ankara, 2012.
- [9] BP Statistical Review of World Energy, 2011.
- [10] EIA, International Energy Outlook 2011.
- [11] IEA, World Energy Outlook 2011.
- [12] ETKB, 1970-2006, 2007, 2008, 2009, 2010 Genel Enerji Dengesi Tabloları.
- [13] Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, Enerji Raporu 2011.

- [14] ETKB, 2010 yılı Genel Enerji Dengesi Tablosu.
- [15] 2012 Yılı Programı 18 Ekim 2011 Tarihli ve 28088 Sayılı Mükerrer Resmi Gazetede Yayımlanan 11 Ekim 2011 Tarihli ve 2011/2303 Sayılı 2012 Yılı Programının Uygulanması, Koordinasyonu ve İzlenmesine Dair Bakanlar Kurulu Kararı Eki.
- [16] ACAROĞLU, M., Alternatif Enerji Kaynakları, Atlas Yayın Dağıtım, İstanbul, Temmuz, 2003.
- [17] BIEDERMAN P., GRUHE T., Methanol Energy Carrier, Forschungszentrum, Jülich, 2006.
- [18] Alliance Consulting International,. Methanol Safe Handling Manual, Methanol Institute, Arlington, Virginia, 2008.
- [19] TOPGÜL, T., Buji İle Ateşlemeli Motorlarda Etil Alkol Benzin Karışımı Kullanımında Optimum Çalışma Parametrelerinin Araştırılması, 2006.
- [20] STOUT, B. A., Energy Use and Management in Agriculture, Breton Publishers, Massachusetts, USA, 1984.
- [21] HAŞİMOĞLU, C., CİNİVİZ, M., UÇAR, G., Günümüzde İçten Yanmalı Motorlarda Hidrojen Yakıtının Kullanılması. Selçuk Teknik Online Dergisi, ISSN 1302/6178, Konya, 2000.
- [22] FINEGOLD, J.G., LYNCH, F.E., BAKER, N.R., TAKASHI, R., BUSH, A.F., The UCLA Hydrogen Car: Design, Construction and Performance, SAE Paper No.73 0507,1973.
- [23] BILLINGS, R.E. and LYNCH, F.E., Performance and Nitric Oxide Control Parameters of the Hydrogen Engine, Billings Energy Research Corporation, Publ. No. 73002, 1974.
- [24] VEZİROĞLU , T., MOMİRLAN, M., Recent Directions of World Hydrogen Production, Renewable and Sustainable Energy Reviews 3,1999,219-231.
- [25] VEZİROĞLU, T., Hydrogen Energy Technologies, Prepared for UNIDO, Vienna, 1998.
- [26] <http://www.youthforhab.org.tr/>, (Erişim tarihi: Nisan 2010)
- [27] Anonim, 2002. LPG'nin Özellikleri ve Emniyetli Kullanımı, TMMOB, Kimya Mühendisleri Odası, LPG Eğitim Yayını, 2002, İstanbul.
- [28] TSE, 1991. T.S. 2178, Sıvılaştırılmış Petrol Gazı (LPG), Ankara, Nisan 1991.

- [29] YALÇINKAYA, V., Motorların Doğalgaza Dönüşümü, Doğalgazlı Motorların Performansı, Emisyon Değerleri ve Dolum İstasyonlarının incelenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, 2004.
- [30] BAYKA, D., Doğalgazın Taşıtlarda Yakıt Olarak Kullanımı , III. LPG-CNG Kongresi ve Sergisi, 8-9 Haziran 2007, Ankara.
- [31] ÇETİNKAYA, S., Taşıtlarda Yakıt Olarak CNG Kullanımının Teknolojik Ve Ekonomik Açından Değerlendirilmesi, III. LPG-CNG Kongresi ve Sergisi, 8-9 Haziran 2007, Ankara.
- [32] YETİŞKEN, Y., EKMEKÇİ, İ., Türkiye şartlarında Sıkıştırılmış CNG'li Araçların Kullanımının İrdelenmesi, III. LPG-CNG Kongresi ve Sergisi, 8-9 Haziran 2007, Ankara.
- [33] BECHTOLD, R. L., Alternative Fuels Guidebook, Society of Automotive Engineers Inc., 47-56, 1997.
- [34] COWART, J. S., BORUTA, W. E., DALTON, J. D., DONA, R. F., RIVARD II, F. L., FURBY, R.S., PIONTKOWSKI, J. A., SEITER, R. E. and TAKAI, R. M., Powertrain development of the 1996 ford flexible fuel taurus, SAE Paper, 952751: 115-128, 1995.
- [35] BORAT, O., BALCI, M. ve SÜRMEŒEN A., Hava Kirlenmesi ve Kontrol Tekniđi, Teknik Eğitim Vakfı Yayınları, Ankara, 24, 27, 28, 32, 33, 37, 43, 1992.
- [36] SORUŞBAY, C. ve GÖKTAN, A. G., Motorlu taşıtlardan kaynaklanan çevre kirliliği ve kontrolü, İTÜ 1. Hava Kirlenmesi ve Kontrolü Sempozyumu, İstanbul, 157-166, 1993.
- [37] SHER, E., Handbook of Air Pollution from Internal Combustion Engines Pollutant Formation and Control, Academic Press, San Diego, 124, 603, 604, 607, 1998.
- [38] SHELDON B. MARKOFFSKY, Nitro Compounds, Aliphatic, Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry 2002 by Wiley-VCH, Weinheim; doi:10.1002/14356007.a17_401, 2002.
- [39] WHITMORE F. C. and WHITMORE M. G., Nitromethane, Org. Synth., <http://www.orgsyn.org/orgsyn/orgsyn/prepContent.asp?prep=cv1p0401>; Coll. Vol. 1: 401, 1941.
- [40] <http://en.wikipedia.org/wiki/Nitromethane>. (Erişim tarihi: Aralık 2011)
- [41] DAUBEN H. J., RINGOLD H. J., WADE R. H., PEARSON D. L., ANDERSON A. G., BOER J., and BACKER H. J., Cycloheptanone, *Org.nth.*, <http://www.orgsyn.org/orgsyn/orgsyn/prepContent.asp?prep=cv4p0221>; *Coll. Vol.* 4: 221, 1963.

- [42] <http://www.klotznitromethane.com/> (Erişim tarihi: Aralık 2011)
- [43] [http://en.wikipedia.org/wiki/Nitromethane_\(data_page\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Nitromethane_(data_page)). (Erişim tarihi: Aralık 2011)
- [44] <http://mf.omu.edu.tr/malzeme/files/2012/02/Vizkozite-ve-Akaryak%C4%B1t-Analizleri.pdf>. (Erişim tarihi: Aralık 2011)
- [45] Binary Vapor-Liquid Equilibrium Data, Queriable database, Chemical Engineering Research Information Center. <http://www.thermo.com/research/kdb/hcvle/hcvle.php>, 2007.
- [46] ANGUS Chemical Company data, as calculated according to F. P. Lees, Loss Prevention in the Process Industries, Vol. 1, Butterworth-Heinemann, London & Boston, 1980.
- [47] D.S. McKittrick, R.J. Irvine, and I. Bergensteinsson, Ind. Eng. Chem., Anal. Ed. 10, 630-631, 1938.
- [48] <http://unggulsejati.indonetnetwork.co.id/1498379/honda-gx-160-thailand.htm>. (Erişim tarihi: Mayıs 2012).
- [49] WENTWORTH, J.T., Combustion Science and Technology, 1971;4;97.
- [50] PARLAK, A., Aşırı doldurmalı seramik kaplı bir dizel motorunda optimum püskürtme avansı ve sıkıştırma oranının deneysel olarak incelenmesi, SAÜ, FBE, Doktora Tezi, 2000.
- [51] BORAT, O., BALCI, M., SÜR MEN, A., İçten Yanmalı Motorlar, Cilt 1, T.E.V. Yayını, Ankara, 1992.
- [52] BİÇERER, S., Otto motorlarında yüksek sıkıştırma oranlarında mtbe kullanılmasının motor performansına etkisi, Gazi Üniversitesi, FBE, Yüksek Lisans Tezi, 2006.
- [53] AYHAN, V., Metanol-benzin karışımlarının MgO-ZrO₂ termal bariyer çemberli bir motorda performans ve emisyonlara etkisi, Sakarya Üniversitesi, FBE, Yüksek Lisans Tezi, 2006.

ÖZGEÇMİŞ

Samet ÇELEBİ, 1987 yılında Sakarya, Adapazarı'nda doğdu. İlk ve orta öğrenimini Adapazarı'nda tamamladı. Sakarya Arifiye Çok Programlı Lisesi Fen Bilimleri Bölümünden 2004 yılında mezun oldu. Lisans Eğitimini 2009 yılında Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Otomotiv Öğretmenliğinde tamamladı. Aynı yıl Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Enstitü Ana Bilimde yüksek lisans öğrenimine başladı. Halen Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Enstitü Ana Bilimde yüksek lisans çalışmasına devam etmektedir.