

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**BÜTANOL KATKILI DİZEL YAKITININ MOTOR
PERFORMANS VE EMİSYONLARINA ETKİSİ**

Zeynep Can ATEŞ

Yüksek Lisans Tezi

OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
Taşıt Tasarımı Bilim Dalı

AĞUSTOS, 2021

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

**BÜTANOL KATKILI DİZEL YAKITININ MOTOR
PERFORMANS VE EMİSYONLARINA ETKİSİ**

Tez Yazarı
Zeynep Can ATEŞ

Danışman
Prof. Dr. Cumali İLKILIÇ

AĞUSTOS, 2021
ELAZIĞ

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Başlığı:	Bütanol Katkılı Dizel Yakıtının Motor Performans ve Emisyonlarına Etkisi
Yazarı:	Zeynep Can ATEŞ
İlk Teslim Tarihi:	12.07.2021
Savunma Tarihi:	10.08.2021

TEZ ONAYI

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına göre hazırlanan bu tez aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından değerlendirilmiş ve akademik dinleyicilere açık yapılan savunma sonucunda OYBİRLİĞİ ile kabul edilmiştir.

Danışman:	Prof. Dr. Cumali İLKILIÇ Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi	İmza Onayladım
Başkan:	Prof. Dr. Yasin VAROL Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi	Onayladım
Üye:	Doç. Dr. İlker TEMİZER Cumhuriyet Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi	Onayladım

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunun/...../20..... tarihli toplantısında tescillenmiştir.

İmza
Doç. Dr. Kürşat Esat ALYAMAÇ
Enstitü Müdürü

BEYAN

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım “Bütanol Katkılı Dizel Yakıtının Motor Performans Ve Emisyonlarına Etkisi” yüksek lisans tezimin içindeki bütün bilgilerin doğru olduğunu, bilgilerin üretilmesi ve sunulmasında bilimsel etik kurallarına uygun davrandığımı, kullandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi, maddi ve manevi desteği olan tüm kurum/kuruluş ve kişileri belirttiğimi, burada sunduğum veri ve bilgileri unvan almak amacıyla daha önce hiçbir şekilde kullanmadığımı beyan ederim.

10.08.2021

Zeynep Can ATEŞ



ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında, dizel yakıtına bütanol eklenmesinin motor performansına ve emisyonlara etkisi deneylerle araştırılmıştır. Fosil yakıt rezervlerinin bir gün bitecek olması düşüncesinden dolayı son zamanlarda alternatif yakıt arayışı içerisine girilmiştir. Bu alternatif yakıtlar arasında bütanol kullanımının emisyonları iyileştirmesi, motorun yakıt tüketimini azaltması ve iyi bir alternatif yakıt olması hedeflenmiştir.

Bu tez çalışmasında emeği geçen ve her adımında tecrübesiyle destek veren, gelecek hayatımda beni söz sahibi yapacak bilgiler ile donatan çok değerli hocam Sayın Prof. Dr. Cumali İLKILIÇ' a sonsuz teşekkürü borç bilirim. Deney çalışmalarında yardımlarını eksik etmeyen ve tez sürecinde desteğiyle yol gösteren Sayın Arş. Gör. Hüseyin SEVİNÇ' e saygılarımı ve şükranlarımı sunmaktan büyük onur duyarım. Test aşamasındaki yardımlarından dolayı Sayın Teknisyen Selahattin BOZ' a teşekkür ederim. Yardımlarını ve ilgilerini eksik etmeyen sevgili annem Aynur AKANSEL ve kardeşim Cem ATEŞ' e teşekkür ederim.

Zeynep Can ATEŞ

ELAZIĞ, 2021

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER	v
ÖZET	vii
ABSTRACT	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Literatür Bulguları.....	3
2. DİZEL YAKITLAR	7
2.1. Dizel Yakıtların Özellikleri.....	8
2.1.1. Setan Sayısı	8
2.1.2. Viskozite Özelliği (Kalınlık-Akıcılık Derecesi).....	11
2.1.3. Yoğunluk	12
2.1.4. Isıl değer	13
2.1.5. Destilasyon (Uçuculuk)	13
2.1.6. API Gravitesi ve Özgür Ağırlık.....	14
2.1.7. Akma Noktası	16
2.1.8. Alevlenme ve Parlama Noktası	16
2.1.9. Kül miktarı	17
2.1.10. Kükürt miktarı	17
2.1.11. Anilin Noktası	18
2.1.12. Dizel Vuruntusu	18
2.2. Egzoz Emisyonları	19
2.2.1. Karbonmonoksit (CO) Emisyonu	20
2.2.2. Karbondioksit (CO ₂) emisyonu	21
2.2.3. Hidrokarbon (HC) Emisyonu	21
2.2.4. Azot Oksit (NO _x) Emisyonu	22
2.2.5. Partikül Madde (PM) ve İs Emisyonları	24
3. BÜTANOL	26
3.1. Bütanol İzomerleri	27
3.2. Bütanol üretimi	28

4. MATERYAL VE METOT	30
4.1. Deney Araçları	30
4.2. Deneyde Kullanılan Dizel Motor	32
4.3. Egzoz Emisyon Ölçüm Cihazı	33
4.4. Kullanılan Deney Yakıtları	34
4.5. Kullanılan Yakıt Miktarı Ölçümü	36
4.6. Dizel Motor Parçalarının Temizlenmesi İşlemi	36
4.7. Yakıtların Dizel Motorda Test Edilmesi	37
4.8. Deneysel Hesaplamalar	38
4.8.1. Motor Gücü ve Motor Momenti	38
4.8.2. Özgül Yakıt Tüketimi	39
5. BULGULAR.....	40
5.1. Motor Elemanlarının İncelenmesi	40
5.2. Motor Performansı	41
5.2.1. Motor Gücü	41
5.2.2. Motor Momenti	43
5.2.3. Özgül Yakıt Tüketimi	44
5.3. Egzoz Emisyon Değerleri	46
5.3.1. Karbonmonoksit (CO) Emisyonu	47
5.3.2. Karbondioksit (CO ₂) Emisyonu.....	48
5.3.3. Hidrokarbon (HC) Emisyonu	50
5.3.4. Azot Oksit (NO _x) Emisyonu.....	52
5.3.5. İs Emisyonu	53
6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	56
ÖNERİLER	58
KAYNAKLAR.....	59
ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

Bütanol Katkılı Dizel Yakıtının Motor Performans ve Emisyonlarına Etkisi

Zeynep Can ATEŞ

Yüksek Lisans Tezi

FIRAT ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı
Ağustos 2021, Sayfa xii+62

Günümüzde petrol rezervlerinin teknolojik gelişmelerle ve hızlı nüfus artışıyla azalmaya başlaması alternatif yakıt arayışını hızlandırmıştır. Dizel motorlarda metanol, etanol ve bütanol gibi yüksek oksijen içeriğine sahip birçok alkol, kirlenici emisyonları azaltmasından dolayı yakıtlarda katkı maddesi olarak tercih edilmektedir. Bu çalışmada, bütanol yakıtı %10, %20 ve %30 oranlarında dizel yakıtı ile karıştırılarak tek silindirli bir dizel motorda deneyler yapılmıştır. Deneyler 1600 d/d, 1900 d/d, 2200 d/d, 2500 d/d ve 2800 d/d olmak üzere 5 farklı motor devrinde test edilmiştir. %50 ve %100 motor yükü şartlarında oluşturulan deney yakıtlarının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisi incelenmiştir. Ayrıca deneylere başlanmadan önce kullanılan dizel motor elemanları temizlenip deneylerden sonra oluşan kurum ve değişiklikler gözlemlenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda n-bütanol katkılı yakıtların karbonmonoksit (CO), azot oksit (NO_x) ve is emisyon değerlerinin dizel yakıtına göre azaldığı görülmüştür. Karbondioksit (CO₂) ve hidrokarbon emisyonları ise saf dizel yakıtına kıyasla artmıştır. Önemli motor performans parametrelerinden biri olan efektif motor gücü ve motor moment değerleri bütanol yakıt içeriği arttıkça azalmıştır. Düşük ısı değere sahip olan bütanol yakıtı, özgül yakıt tüketimi (ÖYT) değerlerini arttırmıştır. Yapılan deneyler sonucunda dizel motorda bütanol kullanımı motor performansını düşürmüştür fakat egzoz emisyonlarını iyileştirmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bütanol, Alternatif Yakıt, Dizel yakıt, Emisyon

ABSTRACT

The Effect of Butanol Doped Diesel Fuel on Engine Performance and Emissions

Zeynep Can ATEŞ

Master's Thesis

FIRAT UNIVERSITY
Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Automotive Engineering
August 2021, Page xii+62

Today, the decrease in oil reserves due to technological developments and rapid population growth has accelerated the search for alternative fuels. Many alcohols with high oxygen content such as methanol, ethanol, and butanol in diesel engines are preferred as additives in fuels because they reduce pollutant emissions. In this study, experiments were carried out in a single-cylinder diesel engine by mixing butanol fuel with 10%, 20%, and 30% diesel fuel. The experiments were tested at 5 different engine speeds, 1600, 1900, 2200, 2500, and 2800 rpm. The effects of the experimental fuels created under 50% and 100% engine load conditions on engine performance and exhaust emissions were investigated. In addition, the diesel engine elements used before starting the experiments were cleaned and the soot and changes that occurred after the experiments were observed. As a result of the study, it was seen that carbon monoxide (CO), nitrogen oxide (NO_x), and soot emission values of n-butanol added fuels decreased compared to diesel fuel. Carbon dioxide (CO₂) and hydrocarbon emissions have increased compared to pure diesel fuel. The effective engine power and engine torque values, which are one of the important engine performance parameters, decreased as the butanol fuel content increased. Butanol fuel, which has a low calorific value, increased the specific fuel consumption (ÖYT) values. As a result of the experiments, the use of butanol in the diesel engine decreased the engine performance but improved the exhaust emissions.

Keywords: Butanol, Alternative Fuel, Diesel fuel, Emission

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1.	Setan sayısının tutuşma gecikmesine etkisi	9
Şekil 2.2.	Setan sayısının parçacık emisyonu üzerindeki etkisi	10
Şekil 2.3.	Dizel motorunda yakıtın yanması sonucu oluşan ana kirleticiler	20
Şekil 2.4.	CO molekülünün kimyasal yapısı	21
Şekil 2.5.	HC molekülü	22
Şekil 2.6.	NO ₂ molekülü	23
Şekil 2.7.	NO _x emisyonlarını kontrol etmede kullanılan yöntemler	23
Şekil 2.8.	Dizel motorlarda NO _x emisyonlarını azaltmada kullanılan yöntemlerin etkileri	24
Şekil 2.9.	Yanma sonrası oluşan partikül maddeler ve miktarları	24
Şekil 2.10.	PM molekülü	25
Şekil 3.1.	Bütanol ve izomerlerinin yapısı	27
Şekil 3.2.	Bütanol üretiminin şematik gösterimi	29
Şekil 4.1.	Deney düzeneği	31
Şekil 4.2.	Motor test düzeneğine ait şema	31
Şekil 4.3.	Cussons P8160 model motor test tezgâhı	32
Şekil 4.4.	Deneyisel çalışmada kullanılan dizel motor	32
Şekil 4.5.	BOSCH marka egzoz emisyon analizörü	33
Şekil 4.6.	Dizel ve bütanol yakıtlarının karıştırılması	34
Şekil 4.7.	Deneylerde kullanılan yakıt karışımları	35
Şekil 4.8.	(a) Emme ve egzoz supapları, (b) Yakıt enjektörü, (c) Piston üzerindeki segmanlar, (d) Pistonun üstten görüntüsü	37
Şekil 4.9.	Motor deney akış diyagramı	38
Şekil 5.1.	(a) Pistonun üstten görünüşü, (b) Segmanların görünüşü, (c) Supaplar ve enjektör memesi görünüşü	40
Şekil 5.2.	%50 yükte n-bütanol dizel karışımlarının motor gücüne etkisi	42
Şekil 5.3.	%100 yükte n-bütanol dizel karışımlarının motor gücüne etkisi	42
Şekil 5.4.	%50 yükte n-bütanol dizel karışımlarının motor momentine etkisi	43
Şekil 5.5.	%100 yükte n-bütanol dizel karışımlarının motor momentine etkisi	44
Şekil 5.6.	%50 yükte n-bütanol dizel karışımlarının özgül yakıt tüketimine etkisi	45
Şekil 5.7.	%100 yükte n-bütanol dizel karışımlarının özgül yakıt tüketimine etkisi	46
Şekil 5.8.	n-bütanol dizel karışımlarının %50 yükte CO Emisyonuna etkisi	47
Şekil 5.9.	n-bütanol dizel karışımlarının %100 yükte CO emisyonuna etkisi	48
Şekil 5.10.	n-bütanol dizel karışımlarının %50 yükte CO ₂ Emisyonuna etkisi	49
Şekil 5.11.	n-bütanol dizel karışımlarının %100 yükte CO ₂ emisyonuna etkisi	49
Şekil 5.12.	n-bütanol dizel karışımlarının %50 yükte HC emisyonuna etkisi	51
Şekil 5.13.	n-bütanol dizel karışımlarının %100 yükte HC emisyonuna etkisi	51
Şekil 5.14.	n-bütanol dizel karışımlarının %50 yükte NO _x Emisyonuna etkisi	52
Şekil 5.15.	n-bütanol dizel karışımlarının %100 yükte NO _x emisyonuna etkisi	53

Şekil 5.16. n-bütanol dizel karışımlarının %50 yükte is emisyonuna etkisi.....	54
Şekil 5.17. n-bütanol dizel karışımlarının %100 yükte is emisyonuna etkisi.....	54



TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1.	DIN- 51601'e göre dizel yakıt özellikleri	7
Tablo 2.2.	Dizel yakıt tiplerine göre bazı yakıt özellikleri	8
Tablo 2.3.	Petrolün özgül ağırlık ve API derecesi değerleri.....	14
Tablo 2.4.	Bazı Dünya petrollerinin özgül ağırlık ve API dereceleri	15
Tablo 2.5.	Türkiye'de çıkarılan petrolerin API graviteleri.....	15
Tablo 2.6.	Bazı yakıt çeşitlerinin parlama noktaları.....	16
Tablo 2.7.	Yakıt türüne göre Türkiye'deki kayıtlı otomobillerin dağılımı.....	19
Tablo 3.1.	Dizel yakıtı ve n-Bütanol 'ün kimyasal ve fiziksel özelliklerinin karşılaştırılması.....	26
Tablo 3.2.	Bütanol ve izomerlerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri	28
Tablo 4.1.	Kullanılan dizel motorunun teknik özellikleri.....	33
Tablo 4.2.	BOSH marka egzoz emisyon cihazının özellikleri.....	34
Tablo 4.3.	Bütanol-dizel yakıtı karışımları.....	35
Tablo 4.4.	20 °C'de dizel yakıtı ve n-bütanol karışımli yakıtların kimyasal ve fiziksel özellikleri	36

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

b_e	: Özgöl yakıt tüketimi
c_{St}	: Sentistok (mm^2/s)
d/d	: Dakikadaki devir sayısı
KMA	: Krank mili açısı
K	: İs faktörü
$^{\circ}C$	: Santigrad derece
$^{\circ}F$	: Fahrenheit sıcaklık değeri
$^{\circ}K$	: Kelvin sıcaklık değeri
H/Y	: Hava-yakıt oranı
M_d	: Döndürme Momenti
Pe	: Efektif motor gücü
ppm	: Milyondaki partikül miktarı

Kısaltmalar

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
ABE	: Aseton-Bütanol-Etanol
ASTM	: Amerika Malzeme Tecrübeleri Kurum (American Society for Testing and Materials)
API	: American Petroleum Institute
B	: Bütanol
C	: Karbon
CO	: Karbonmonoksit
CO ₂	: Karbondioksit
DIN	: Alman Standartları
D100	: Saf dizel yakıtı
D90B10	: İçerisinde %90 dizel %10 bütanol bulunan yakıt
D80B20	: İçerisinde %80 dizel %20 bütanol bulunan yakıt
D70B30	: İçerisinde %70 dizel %30 bütanol bulunan yakıt
EGR	: Egzoz Gaz Sirkülasyonu
FTV	: Fren termal verimi
ÖYT	: Özgöl Yakıt Tüketimi
H	: Hidrojen
HC	: Hidrokarbon
HDS	: Hidrodesülfürizasyon
LPG	: Likit Petrol Gazları
NO _x	: Azot oksitler
O	: Oksijen
PM	: Partikül Madde
S	: Kükürt
SOF	: Çözünür Organik Fraksiyon
TG	: Tutuşma Gecikmesi

1. GİRİŞ

Hızlı nüfus artışı, ileri seviyede sanayileşme, artan araç sayısı ve petrolün bu araçlarda aşırı derecede kullanımı, zaman içinde çevresel sorunlara ve petrolün yeryüzünde azalmasına yol açarak devletlerin sorunu olmaktan çıkmış ve tüm dünyayı ilgilendiren küresel bir problem haline gelmiştir. Enerji kaynakları sınırlı ve petrol bakımından dışa bağımlı olan ülkeler, petrol kökenli yakıtlardan dolayı meydana gelen problemler sebebiyle alternatif enerji arayışlarına yönelmişlerdir. Bu enerji kaynaklarının sona yaklaşması ülkelerin yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmelerine sebep olmuştur. Alternatif veya yenilenebilir yakıt arayışlarının başka bir nedeni de fosil kökenli yakıtlarla çalışan içten yanmalı motorların çevreye saldırdığı kirletici emisyonlardır. Bu kirletici emisyonlar hava kirliliğinin artmasına sebep oldukları gibi küresel ısınmanın da en önemli nedenlerinden biri olarak görülmektedir. Son yıllarda yapılan çalışmalar arasında yakıtların kükürt içeriğinin azaltılarak kükürt emisyonlarını düşürmek hedeflenmiştir ve bu konuda başarılı olunmuştur. Ancak NO_x ve is emisyonlarını azaltmada istenilen sonuçlar alınamamıştır. Bu nedenle alternatif yakıtların araştırılıp içten yanmalı motorlarda kullanılması giderek önem kazanmaktadır. Böylece bu yakıtların kimyasal ve fiziksel özellikleri üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Bu özellikler viskozite, yoğunluk, ısıl değer, akma noktası, parlama noktası ve setan sayısı gibi özelliklerdir.

Genel olarak enerji elde etmede kullanılan kaynaklar “Primer yani Birincil Enerji Kaynakları” ve “Sekonder yani İkincil Enerji Kaynakları” olmak üzere iki grupta ele alınmaktadır. Birincil enerji kaynakları kömür, doğalgaz ve petrol gibi yenilenemeyen kaynaklardır. Jeotermal enerji santralleri ve hidroelektrik santralleri ise ikincil enerji kaynaklarına yani yenilenebilir enerji kaynaklarına örnek olarak verilebilir. Dünyada enerji ihtiyacının karşılanması için birçok kaynaktan faydalanılmaktadır. Birincil enerji ihtiyacının %90’ı fosil kökenli yakıtlarından karşılanmaktadır. Bu fosil kökenli yakıtlar içerisinde %45 ile en önemli pay petrole aittir. Doğalgaz %16 ve kömür ise %14 civarındadır (Özer, 2010).

İçten yanmalı motorlarda kullanılan yakıtlar petrolden elde edilmektedir. Petrolün de yakın gelecekte tükenme ihtimalinin bulunması, araştırmacıları alternatif enerji kaynaklarını araştırmaya yönlendirmiştir. Bu araştırmalar benzin motorları için etil alkol, metil alkol, bütanol, hidrojen, LPG, doğalgaz ve biyogaz gibi alanlarda yapılmaktadır. Günümüzde birçok buji ile ateşlemeli motorda LPG ve doğalgaz kullanımı uzun süreden beri hayata geçmiştir. İçten yanmalı motorlarda kullanılan fosil kökenli yakıtlar yüksek oranda kükürt, azot ve metal içermektedir (Ejder, 2007). Fosil yakıtların yanması sonucunda karbonmonoksit (CO), karbondioksit (CO₂), hidrokarbon (HC), azot bileşikler (NO_x), partikül madde (PM) ve diğer bazı kirletici emisyonlar ortaya çıkarak atmosferin kirlenmesine sebep olurlar (Özer vd., 2012). İçten yanmalı motorlarda; çevre sorunları endişesi, petrol kaynaklarının sınırlı olması, taşıt sayısının giderek artması ve

buna bağı olarak taşıtlardan kaynaklanan emisyonların oluşturduğu sorunlar alternatif yakıt kullanımına teşvik edici nedenlerdendir (Özer, 2014). Ayrıca son yıllardaki petrol fiyatlarındaki yükselme ve hava kirliliğindeki artış gibi sebepler de alternatif yakıt arayışına ilgiyi arttırmıştır (Sezer, 2016).

İçten yanmalı motorlarda alternatif olarak kullanılacak yakıtın bazı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip olması gereklidir. Bunlar arasında kullanılacak yakıtın maliyetinin az olması ve bol miktarda üretilebilir olması, ısı değerin yüksek olması, taşınabilir ve kolayca depo edilebilmesi, oktan sayısının yüksek olması, düşük düzeyde egzoz emisyonları oluşturması gibi özellikleri sağlaması istenilmektedir. Alternatif yakıtlar arasında önemli bir yere sahip olan alkoller, oktan sayısının yüksek, egzoz emisyonlarının düşük seviyede olması ve bitkisel yağlar gibi yenilenebilir biokütle kaynaklardan olmasından dolayı tercih edilmektedir (Özer vd., 2012). İçten yanmalı motorlarda petrol kökenli yakıtların kullanımının azaltılması ve yanmadan dolayı oluşan zararlı emisyonların seviyesinin düşürülmesi için alkoller, hayvansal ve bitkisel yağlardan elde edilen biyodizel ve hidrojen gibi yakıtlar alternatif olarak kullanılabilirler (Ayaz, 2014).

Bitkisel yağların esterleri gibi bünyelerinde yüksek seviyede oksijen içermeleri ve sıvı fazda olmaları sebebiyle alkoller, dizel yakıtlarda uygun bir katkı maddesi olarak düşünülmektedir. Alkollerin dizel yakıtlar ile beraber kullanılmasının motorun yanma özelliklerini iyileştirme, emisyon seviyelerini düşürme ve üretim teknolojilerinin gelişmiş olması gibi avantajları vardır. Fakat setan sayılarının düşük olması, gizli buharlaşma ısılarının yüksek oluşu ve kararlılık sorunları dizel motorlarda bu alkollerin kullanımını sınırlayan dezavantajlardır. Uzun zincirli alkoller diğer adıyla ağır alkoller, molekül yapılarında dört veya dörtten fazla karbon içerirler. Bu ağır alkoller arasında; dört karbon içeren bütanol, beş karbon içeren pentanol, altı karbon içeren hekzanol, yedi karbon içeren heptanol, sekiz karbon içeren oktanol, on iki karbon içeren dodekanol ve yirmi karbon içeren fitol bulunmaktadır. Ağır alkollerin; daha iyi karışım oluşturabilme yetenekleri ile daha yüksek karışım oranlarında harmanlanabilmesi, düşük higroskopik özelliklere sahip olmalarından dolayı taşıma ve depolamada sorun oluşturmamaları, korozyon etkilerinin düşük olması sebebiyle yakıt enjeksiyon sistemi ile iletim hatlarına zarar vermemesi ve özellikle yüksek setan sayısına sahip olmaları düşük karbonlu alkollere göre dizel yakıtlarında katkı maddesi olarak kullanılması daha avantajlıdır (Yeşilyurt, 2020).

Uzun zincirli alkollerin içeriğinde daha düşük oksijen olmasına rağmen hava/yakıt karışım oranının yeterli olmasını sağlayan tutuşma gecikmesi sayesinde ani yanma fazını iyileştirme özellikleri bulunmaktadır. Dolayısıyla difüzyon yanma fazına da iyileştirici yönde etki ederler (Yeşilyurt, 2020). İçten yanmalı motorlarda kullanılan alkoller içerisinde, uzun karbon zincirine sahip olan bütanol diğer yakıtlarla faz ayrışması olmadan karışabilmektedir (Ayyılmaz, 2012). Bu tez çalışmasında, içten yanmalı motorlarda dizel yakıtında bütanol eklentisi deneysel olarak test edilip bu alternatif yakıtın motor performansına ve emisyonlara etkisi incelenmiştir.

1.1. Literatür Bulguları

Özer (2010), tek silindirli, 4 zamanlı, sıkıştırılmalı direkt püskürtmeli ateşlemeli bir dizel motoru ile yaptığı çalışmada, farklı yükler altında 2600 d/d sabit motor hızında dizel yakıtına %3, %5, %8 ve %10 oranlarında bütanol ekleyerek egzoz emisyonları ve motor performansını incelemiştir. Deneyler sonucunda karbonmonoksit (CO), azot bileşikleri (NO_x) ve is emisyonlarında azalma gerçekleştiği, hidrokarbon (HC) ve karbondioksit (CO₂) emisyonlarının arttığı gözlemlenmiştir. Motor performansı parametrelerinde ise dizel yakıtı içinde bütanol oranının artması ile özgül yakıt tüketiminin (ÖYT) arttığı, efektif termik verimin ise düştüğünü bildirmiştir.

Özer ve diğ. (2012), 1 silindirli buji ateşlemeli 4 zamanlı hava soğutmalı benzinli bir motor kullanarak 2400 d/d motor hızında benzin yakıtına %10 ve %20 n-bütanol ilavesinin etkilerini gözlemlemiştir. %20, %40, %60, %80 ve tam yüklerde yapılan araştırmada ÖYT ve egzoz gazı sıcaklığının arttığını bildirmiştir. CO₂ ve NO_x emisyonlarında artma, CO ve HC' de ise azalma olduğunu belirtmiştir.

Yeşilyurt (2020), dizel yakıtına 1-Bütanol, 1-Pentanol, 1-Hekzanol eklemek üzere üç farklı alkolle karışımlar oluşturarak motor performans parametrelerini ve emisyon değerlerindeki değişimi incelemiştir. % 15 bütanol kullanarak dört zamanlı tek silindirli, direkt enjeksiyonlu dizel motorunda 1500 d/d motor hızı ve %25, yarım yük, %75 ve tam yüklerde dizel yakıtı ile katkısının sonuçları karşılaştırılmıştır. %100 dizel yakıtının ve %15 bütanol - %85 dizel karışımının karşılaştırılması ile ÖYT değerinde yükselme, fren termal veriminde (FTV) azalma olmuştur. %15 bütanol-dizel karışımının dizel yakıtına göre FTV değeri %14 oranında daha düşük çıkmıştır. Dizel yakıtına bütanol ilave edilmesi ÖYT değerlerini arttırmıştır. CO, HC, NO_x emisyonları ve egzoz gazı sıcaklığında azalma olduğunu belirtmiştir. CO₂ ve O₂ emisyonları ise %100 dizel yakıtına göre artış olduğunu göstermiştir.

Ayyılmaz (2012), yaptığı deneysel çalışmalarda motorun 2200 d/d hızında hızı sabit tutarak farklı yükler altında (%25, %50, %75, %100) %15 bütanol katkılı dizel yakıtının ve 16°, 18°, 20° krank mili açısı (KMA) türünden püskürtme zamanının dizel motorlarda etkisini incelemiştir. Standart püskürtme avansı 18° KMA olarak alınmıştır. Bütanol ve dizel karışımının motor yükünün artması ile farklı püskürtme avanslarında termik verimin de arttığı görülmüştür. 18° KMA avansındaki dizel yakıtına göre karışımın veriminin daha düşük olduğu sonucuna ulaşılmıştır. 16° KMA' da, dizel yakıtına kıyasla termik verimde azalma, karışımın standart avansına (18° KMA) göre ise artma görülmüştür. 20°KMA püskürtme avansında dizel yakıtı oranla termik verimde azalma olmuştur. 16° KMA' da egzoz gazı sıcaklıkları dizel yakıtına göre artış, 20° KMA' da ise düşüş göstermiştir. Karışımın özgül yakıt tüketiminde dizel yakıtı ile kıyaslanmasında genel olarak tüm avanslarda artma görülmüştür. CO, NO_x ve is emisyonları dizel yakıtı göre daha düşük çıkmıştır. HC emisyonları dizele göre artmıştır.

Çelebi (2017), yaptığı çalışmasında %10 ve %20 oranlarında bütanol ve aspir yağından elde ettiği biyodizeli kullanarak değişik karışımlar oluşturmuştur. Dört zamanlı dört silindirli, jeneratörlü bir dizel motoru kullanarak motor performansı, emisyon ve yanma değişkenlerini incelemiştir. Deneyler sabit devir ve sabit yük altında yapılmıştır. Deneyler neticesinde yarım yükte 1500 d/d motor hızında incelenen özgül yakıt tüketiminin en fazla oranının aspir biyodizeli ile %20 bütanol karışımında olduğunu görmüştür. Isıl verim grafiklerine göre en düşük değere aspir biyodizeli ile %20 bütanol sahiptir. Bütanol katkılı aspir biyodizeli ile dizel katkılı karışımlarda egzoz gaz sıcaklığında düşmeler gözlemlenmiştir. En fazla düşme %45 dizel ve %45 aspir biyodizeli ile %10 bütanol ekli yakıtta görülmüştür. Emisyon değerlerinden karbonmonoksitin, bütanolün içeriğinde bulunan oksijen seviyesinden dolayı bütanol katkısının olduğu yakıtlarda daha fazla düştüğü görülmüştür. CO₂ emisyonunda %10 ve %20 bütanol eklenmiş aspir biyodizeli yakıtlarının ikisinde de %100 dizele göre daha fazla olduğu ve aynı yakıtların NO_x değerlerinin de diğerlerine göre yüksek çıktığı bildirilmiştir. Hidrokarbon emisyonlarında en yüksek değer %20 bütanol - %80 aspir biyodizeli ve saf dizelde görülmüştü.

Yanbuloğlu (2020), saf dizel yakıtına piroliz yöntemi ile elde ettiği biyodizel yakıtı ve %5, %10, %15 oranlarında bütanol ekleyerek tek silindirli direkt soğutmalı bir dizel motorda deneylerini gerçekleştirmiştir. Deneyde yakıtlar 3000 d/d'da 500 W, 700 W, 1000 W ve son olarak 1250 W olmak üzere dört motor yükü altında incelenmiştir. Yaptığı bu çalışmada dizel yakıtında bütanol oranı arttıkça HC ve NO_x emisyonlarında azalma, CO emisyonunda artma olmuştur. Karışımların özgül yakıt tüketimi değerleri dizel yakıtından daha fazladır ve yakıt karışımındaki bütanol oranları fren termal verimliliği değerlerini arttırmıştır.

Bayık (2010), dizel yakıtı ile izobütanol karışımını bir dizel motorunda incelemiştir. İzobütanol oranları %5, %10, %15, %20 şeklinde alarak 2600 d/d sabit motor hızında farklı yüklerde test etmiştir. İzobütanol katkısı arttıkça özgül yakıt tüketimi değerinde artış olmuştur, termik verim ise azalmıştır. %20 izobütanol kullanımında özgül yakıt tüketimi dizel yakıtına göre ortalama %17 artış göstermiştir. Egzoz emisyonları ise dizel yakıtına göre izobütanol oranı arttıkça CO %11, NO_x %14 ve is emisyonları %23 azalmıştır. İzobütanol katkısı, karbondioksit ve hidrokarbon emisyonlarını arttırmıştır. %20 izobütanol katkılı dizel yakıtında CO₂ emisyonu saf dizel yakıtına nazaran %5 daha artmıştır. %20 izobütanol ve %80 dizel karışımında tüm yükler altında HC oranı referans dizel yakıtına göre %67 daha yükseldiğini göstermiştir.

Kılıç (2017), deneysel çalışmalar için %10, %20 ve %30 oranlarındaki bütanol ile dizel yakıtı ve bunlara biyodizel de ekleyerek üçlü yakıt karışımı elde etmiştir. Sıvı yakıtlı kazanda yaptığı deneyde bütanolün artması ile CO emisyonu da giderek azalmıştır. Dizel yakıtı yanma neticesinde CO emisyonu yaklaşık 400 ppm, %30 bütanol ve %70 dizel karışımında oluşan CO emisyonu ise 4,5 ppm değerinde olduğunu bildirmiştir. NO_x emisyonunda önemli bir değişim

olmamıştır. Kazanda yanan bütanol ve dizel karışımı verimde yaklaşık olarak %1,5 oranında artış sağlamıştır.

Aksu (2013), turboşarjlı bir dizel motorda n-bütanol ile dizel yakıtının motor performansı ve NO_x emisyonu ile duman koyuluğunu temsil eden K is faktörü değerlerini incelemiştir. Dizel yakıtı ile %2, %4 ve %6 oranlarında karıştırılan n-bütanol yakıtları 2000 d/d, 2500 d/d, 3000 d/d, 3500 d/d, 4000 d/d'da ve 8 farklı döndürme momentinde saf dizel yakıtına göre değerlendirilmiştir. Özgül yakıt tüketimi değerlerinde; %2 n-bütanol katkılı dizelde 5 motor hızının hepsinde düşme olmuştur. %4 n-bütanol kullanımında 3500 d/d'da azalmış, 4000 d/d'da artmıştır. Diğer devirlerde ise karışımlarla saf dizel yakıtına yakın değerler bulunmuştur. %6 n-bütanol-dizel yakıtında özgül yakıt tüketimi değerleri artış göstermiştir. Efektif verim değerlerinde %2 ve %4 bütanol ve dizel karışımında artışlar olurken %6 n-bütanolde bütün yük ve devir durumlarında yaklaşık %0,43 oranında düşme gerçekleşmiştir. Egzoz emisyonlarından NO_x incelendiğinde %2'lik karışımında azalma, %4 ve %6 n-bütanol karışımlarında artış görülmüştür.

Satsangi ve Tiwari (2018), tek silindirli 4 zamanlı bir jeneratör motorunda dizel ve n-bütanol karışımını motorun sabit devirlerinde ve altı farklı yükte incelemiştir. Karışımlardaki n-bütanolün oranının artması ile yakıt tüketimi de artmıştır. Fren termal verimliliğin ve egzoz gazı sıcaklığının saf dizele göre n-bütanol içerikli yakıtların daha düşük olduğu görülmüştür. Dizel yakıtına göre n-bütanolün CO ve NO_x emisyonlarını iyileştirici yönde etkilediği gözlemlenmiştir. HC emisyonlarının n-bütanolü yakıtlarda daha fazla olduğu rapor edilmiştir.

Atmanlı ve Yılmaz (2018), deneylerinde dizel yakıtı ile %5, %25, %35 oranlarında n-bütanol ve 1-pentanol ikili karışımlarını kullanmışlardır. Bu test karışımları 0 kW, 3 kW, 6 kW ve 9 kW olmak üzere dört farklı yükte ve 1800 d/d motor devrinde dört silindirli bir dizel motorda incelenmiştir. Dizel yakıtı kıyasla n-bütanol kullanımı ÖYT değerini %13,68 oranında arttırmıştır. Dizel yakıtına göre n-bütanol dizel karışımında fren termal verimliliğinin %6,67 daha düşük ve egzoz gazı sıcaklığının %41,49 daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Emisyonlar dizele göre karşılaştırıldığında NO_x emisyonunda %15,86 azalma, CO ve HC emisyonlarında artış olmuştur.

Gowtham ve diğ. (2019), tek silindirli direkt enjeksiyonlu dizel bir motorda %10, %20, %30 oranlarında n-bütanol yakıtlarını fumigasyon kullanarak emisyon ve performans değerlerini araştırmışlardır. İncelemeler sonucunda temel dizel yakıtına göre fren termal verimliliğinin %20 n-bütanol fumigasyonunda daha yüksek olduğu görülmüştür. Artan n-bütanol oranı ile CO ve HC emisyonlarında artma görülürken NO_x emisyonunda azalma olmuştur.

Xia ve diğ. (2019), bütanolün izomerleri olan n-bütanol, iso-bütanol, sec-bütanol kullanarak %25, %50, %75, %100 olmak üzere dört farklı yükte dört silindirli bir dizel motorda 2250 d/d motor hızında deneylerini gerçekleştirmişlerdir. Bütanol ile dizel bileşik yanma

modunda NO_x emisyonları kıyaslandığında n-bütanolün izo-bütanol ile sec-bütanolden daha yüksek olduğu görülmüştür, ancak CO emisyonlarında ise en düşük olanı n-bütanoldür. Saf dizel yakıtına göre karşılaştırıldığında, NO_x emisyonlarının daha düşük olduğunu incelemişlerdir.

Pan ve diğ. (2020), bütanol izomerleri ile saf dizel yakıtını %50 oranında karıştırarak bir dizel motorda test deneyleri yapmışlardır. %3 artmayla fren termal verimliliği (FTV) en fazla olan yakıtın tert-bütanol olduğu görülmüştür. 0,40 MPa yük koşulunda %100 dizelin özgül yakıt tüketimi değerlerinin en düşük olduğu bulunmuştur. Bütanol izomerleri arasında yapılan kıyaslamada ise izo-bütanol değerinin daha fazla azaldığını görmüşlerdir. NO_x emisyonları bütanol izomerlerinde daha fazladır. n-bütanol izomerinin NO_x değerinin bu izomerler arasında en düşük olan karışımdır ve 0,40 MPa'da CO emisyonun saf dizele göre bütanolün izomer-dizel karışımlarında daha fazla olduğunu incelemişlerdir. Partikül madde emisyon değerlerini bütanol izomerleri %100 dizele göre daha azaltır.

Nabi ve diğ. (2017), 13 Modlu Avrupa Sabit Çevrimi ile turboşarjlı, altı silindirli bir dizel motorunda yaptıkları deneylerde dizel ve %30, %20, %10 hacim içeriklerinde n-bütanol karışımlarını kullanmışlardır. Referans dizele göre özgül yakıt tüketimi (ÖYT) değerinin genellikle n-bütanol katkılı dizel yakıtlarında daha fazla olduğunu görmüşlerdir. Yanmamış hidrokarbon oranı n-bütanol karışımlarında daha düşük çıkmıştır. Katkısız dizel yakıtına göre NO_x emisyonunun %10 ve %30 bütanol içerikli yakıtlarda daha yüksek olduğunu incelemişlerdir. Partikül madde (PM) emisyonlarının ise saf dizele göre daha düşük olduğu bulunmuştur.

Chen ve diğ. (2013), %20, %30 ve %40 oranlarında bütanol ile dizel yakıtı karışımlarını kullandıkları deneyde, özgül yakıt tüketimi ve termal verimliliğin arttığını görmüşlerdir. Fakat yüksek bütanol oranlarının fren özgül termal verimliliği önemli bir derecede etkilemediği sonucuna varılmıştır. Dört silindirli su soğutmalı değişken geometrili turbo şarjlı bir binek otomobil dizel motoru kullanılmıştır. Deneyler 2000 d/d ve 4000 d/d olmak üzere iki motor hızında incelenmiştir. CO emisyonları artarken NO_x ve is emisyonları azalmıştır. %40 bütanol-dizel karışımının hidrokarbon emisyon değerlerinin saf dizel ve diğer karışım yakıtlarına göre daha yüksek olduğu test edilmiştir.

Li ve diğ. (2021), deneylerde kullandıkları %50 n-bütanol ve %50 dizel yakıtı karışımını tek silindirli motorda %30 ve %50 motor yüklerinde test etmişlerdir. 1200 d/d'da 40 MPa ve 60 MPa enjeksiyon basınçlarında yapılan deneyde tek enjeksiyon ile bölünmüş enjeksiyon metotları kullanılmıştır. Deney sonuçlarında tek enjeksiyon stratejisi ile %30 yük durumunda NO_x emisyonunun dizele göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Bölünmüş enjeksiyon stratejisine göre ise NO_x'te azalma olmuştur. HC emisyonunda n-bütanol katkısı yüksek emisyon seviyesine sebep olabilmektedir.

2. DİZEL YAKITLAR

Ham petrolün ayrıştırılması sırasında fraksiyon kulesinde rafineri işlemi esnasında 160°C ile 391°C arasında ham petrolün tamamen buharlaşmasıyla ortaya çıkan bir ürün olan ve dizel motorlarda kullanılan yakıt dizel yakıtı ya da motorin adı verilir. Dizel yakıtı 8 ile 16 arasında karbon atomu içerir ve sıvı halde bulunan HC bileşikleri ihtiva ederler. İçinde çok az miktarda kükürt, azot ve su bulundurabilen bu yakıt türüne Türkiye’de halk dilinde mazot da denilir. Bu yakıtın kimyasal formülü $C_{12,226} H_{23,29} S_{0,575}$ şeklindedir. Formülünden de anlaşılacağı gibi dizel yakıtının içinde çok az miktarda kükürt bulunmaktadır. Bu formüle göre 1 kg dizel yakıtında 0,8538 kg karbon, 0,1355 kg hidrojen ve 0,01071 kg kükürt bulunur (Gündüz, 2017). Tablo 2.1’de DIN-51601 standartlarında belirtilen dizel yakıtının bazı özellikleri verilmiştir.

Tablo 2.1. DIN- 51601’e göre dizel yakıt özellikleri (Gündüz, 2017)

Yakıt özellikleri	Değerler	Deney Normu
Hacimsel su miktarı	%0,1	DIN 51777
15°C’de özgül ağırlık	0.820-0,860 g/ml	DIN 51757
Kaynama olayı hacimsel olarak 360°C’ye kadar en az	%90	DIN 51752
20°C’de viskozite	1,8-10 mm ² /s	DIN 51550
Parlama noktası	55°C	DIN 51755
Filtrasyon	Yazın 0°C Kışın -12°C	DIN 51770
Kükürt ’ün maksimum kütleli yüzdesi	% 1,0	DIN 51768
Koklaşma artığının kütleli maksimum yüzdesi	%0,1	DIN 51551
Kütlesinde değişiklik olarak çinkoya karşı davranışı	4 mg	DIN 51779
Tutuşma kabiliyeti (en küçük setan sayısı olarak)	40 SS	DIN 51773
Kül miktarı, kütleli yüzde olarak maksimum	% 0,02	DIN 51575

Dizel motorlar, yakıt dönüşüm verimliliğinin ve tork kapasitesinin yüksekliği, yüksek dayanıklılık ve düşük hidrokarbon ile karbon monoksit emisyonları nedeniyle benzinli motorlara göre daha yaygın kullanılmaktadır. Dizel yakıtı, dizel motorlarda kullanılan ve ham petrolün damıtılması ile 315-375 °C’de elde edilen bir üründür. Dizel yakıtın karbon atom sayısı 8-16 arasındadır. Yapısında sıvı hidrokarbon bileşenleri, azot, kül, su ve kükürt barındırmaktadır (Yeşilyurt, 2020; Seven, 2017; Çelebi, 2017).

Dizel motorları kullanıldıkları alan bakımından düşük, orta ve yüksek devirli dizel motorları olarak kategorize edilirler. Yüksek devirli dizel motorları genelde otomobillerde, orta devirli yük taşıyan araçlarda, düşük devirli motorlar ise gemi, iş makineleri gibi yüksek moment düşük devir gerektiren araçlarda kullanılırlar. Dolayısıyla bu motorları çalıştıran yakıtların da bir takım özelliklere sahip olması gerekir. Bunların bazıları aşağıda başlıklar halinde açıklanmaya çalışılmıştır. Dizel yakıtlar ASTM standartlarına göre 1-Derece yakıtlar, 2-Derece yakıtlar ve 4-Derece yakıtlar şeklinde üç başlıkta değerlendirilmektedir. Petrolün damıtılması ile elde edilen 1-Derece yakıtlar, farklı hızlarda ve farklı yüklerde çalışan motorlarda kullanılmaktadır. 2-Derece dizel yakıtları, 1-Dereceli yakıtlara göre daha fazla buharlaşma içeren ağır taşıt yakıtlarındandır. En son olarak 4-Derece ise bazı atık ve damıtma ile kranking ürünlerinden meydana gelen düşük ya da orta hıza sahip dizel motor yakıtıdır. Tablo 2.2’de dizel yakıt türlerine göre bazı yakıt özellikleri gösterilmektedir (Özer, 2010).

Tablo 2.2. Dizel yakıt tiplerine göre bazı yakıt özellikleri (Özer, 2010)

Özellik	1-derece yakıtlar	2-derece yakıtlar	4-Derece Yakıtlar
% Kül, Kütlesel	0,01	0,02	0,1
% Kükürt, Kütlesel	0,5	1	2
Viskozitesi Saybolt 100 °F’de	30-34	33-45	45-125
Setan sayısı	40	50	40
Parlama noktası (°F)	100	125	130

2.1. Dizel Yakıtların Özellikleri

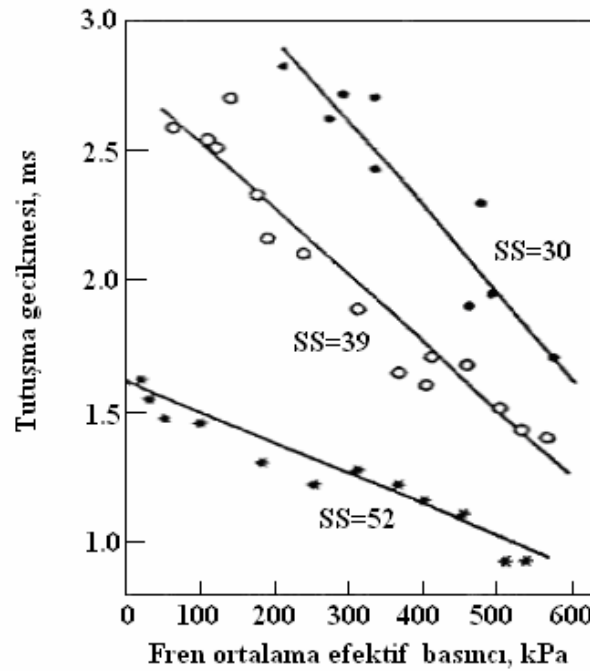
Dizel yakıtı, dizel motorlarda kullanılan, ham petrolün 200-380 °C’de damıtılmasıyla elde edilen, özgül ağırlığı 0,89 kg/dm³ olan bir yakıttır. Günümüzde en çok kullanılan yakıt çeşitlerinden biri dizel yakıtıdır. Dizel yakıtı benzinden daha fazla enerji yoğunluğuna sahip olduğu için daha fazla güce ihtiyaç duyan araçlarda ve makinelerde daha çok kullanılır.

2.1.1. Setan Sayısı

Bu özellik, dizel motorunda yakıtın kendiliğinden tutuşma yeteneğini gösteren ölçüye verilen isimdir. Yani tutuşma gecikmesinin belli bir düzeyde olmasını gerektiren bir ölçüdür. Benzin motorlarındaki oktan sayısının tam tersidir. Setan sayısı ile oktan sayısı arasındaki fark şöyle anlatılabilir; benzin motorlarında yakıt hava karışımı ateşleme olduktan sonra yanmaya başlar. Alev merkezinden dışarıda kalan cephelerde kendiliğinden tutuşmalar olursa bu durumda içerdeki alev cephesiyle çarpışarak büyük gürültüler meydana gelir. Buna benzin motorları

vuruntusu denir ve istenmeyen bir durumdur. Bunun önüne geçmek için benzin motorlarında kullanılan yakıtlar aromatiklerden seçilir. Aromatiklerin vuruntuya karşı dirençleri son derece yüksektir ve bu da oktan sayısı ile ifade edilir. Yine setan sayısı ile oktan sayısı ters çalışan iki özelliktir. Bir yakıtın setan sayısı yüksek ise oktan sayısı düşüktür. Tersine oktan sayısının yüksek olması ise setan sayısının düşük olduğu anlamına gelir. Setan sayısı, farklı iki sıvı yakıtın birbirleriyle çeşitli miktarlarda karıştırılması suretiyle standart test motorunda yakılarak belirlenir. Numune yakıtı eşit derecede vuruntu yapan sayı, setan yüzdesi olarak tespit edilir. Setan sayısı, kendiliğinden tutuşma hassasiyeti yaklaşık 100 olarak varsayılan bir sıvı, Alfa-Metil Naftalin ise kendi kendine tutuşma hassasiyeti 0 olarak kabul edilen bir sıvıdır. Örnek verilirse %45 setan ve %55 alfa-metil naftalinin karıştırılmasıyla elde edilen karışımın standart test motorundaki vuruntusu, numune yakıtın vuruntusuna eşit olursa numunenin setan sayısı 45 olarak hesaplanmış olur. Yakıtın yoğunluğu ve aromatik içeriği setan sayısını belirler. Setan sayısı genellikle, yakıtın aromatik içeriğinin ve yoğunluğunun düşmesiyle artar. Setan indisi ise yakıtın uçuculuk ve yoğunluğu ile ilgili bir terimdir.

Setan sayısı dizel yakıtlardaki en önemli özelliklerden biridir ve yakıtın sıkıştırma zamanı sonucunda ısınan havanın içinde kendi kendine tutuşabilme özelliğini belirleyen sayıdır (Özer, 2010). Şekil 2.1’ de görüldüğü gibi setan sayısı yüksek olan yakıtın tutuşma gecikmesi (TG) süresi daha kısadır.



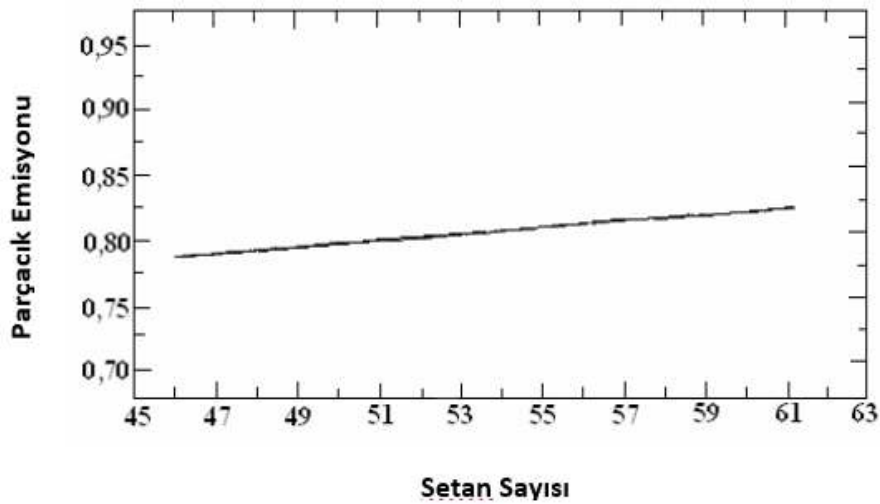
Şekil 2.1. Setan sayısının tutuşma gecikmesine etkisi (Ejder, 2007)

Tutuşma gecikmesindeki kısılma, ani yanma safhasındaki basınç artma oranını azaltmaktadır. Kontrollü yanma aşamasında yakıtın büyük çoğunluğu yandığı için silindirin içerisinde oluşan maksimum basınç daha düşük olur. Tutuşma gecikmesinin azalmasıyla, karışımın temin edilebilmesi için yeterli sürenin olmaması ve yanma odası içerisinde yakıtın iyi dağılamaması sebebiyle yanma hızında da azalma olur (Ejder, 2007).

Setan sayısının yüksek olması TG süresini kısaltır, yanma hızını ise artırır. Yanmanın genişleme periyoduna kaymadan tamamlanmış olması egzoz gaz sıcaklıklarında düşmeye sebep olur (Ayyılmaz, 2012).

Dizel motorlarda yüksek setan sayısı ve kısa ateşleme gecikmesi daha iyi performans alınması demektir. Yakıtın enjekte edilmesi ile düzgün ve tamamen bir yanma gerçekleşir. Bu durumda genellikle kurum, yanmamış hidrokarbonlar ve partikül madde yönünden daha yüksek kalitede egzoz havası sağlanmış olur. Yakıtın ateşleme özellikleri egzoz özelliklerinin yanında ayrıca vuruntuyu da etkiler (Yanbuloğlu, 2020).

Yüksek setan sayısı yanma odasında biriken dolgunun aniden yanmasıyla meydana gelebilecek vuruntuları engellemektedir. Düşük setan sayısına sahip olan bir yakıt ise daha geç tutuşmaya başlar. Bundan dolayı sıkıştırma devam ettiği için silindir içi sıcaklık ve NO_x oluşumu artar. Bu yüzden yanma başlamadan hemen öncesinde yakıtın daha az püskürtülmesi gerekmektedir (Çelebi, 2017). Setan sayısının parçacık emisyonu üzerindeki etkileri Şekil 2.2’de verilmiştir.



Şekil 2.2. Setan sayısının parçacık emisyonu üzerindeki etkisi (Ejder, 2007)

Yüksek hızlı dizel motorlarında setan sayısı 45 ile 50 arasındadır. Dizel yakıtlar için Alman DIN 51601 standardı değerine göre yakıtın tutuşma kabiliyeti yani setan sayısı 45’ten daha az değildir (Ejder, 2007).

2.1.2. Viskozite Özelliği (Kalınlık-Akıcılık Derecesi)

Viskozite, bir akışkanın akmaya karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanabilir veya bir sıvının yüzey geriliminin parçalanmaya karşı göstermiş olduğu direnç olarak da ifade edilebilir. Ayrıca iki sıvı tabakasının relatif hareketlerinin öteleme yaparak yer değiştirmesine karşı oluşturduğu direnç olarak da ifade edilebilir (Özer, 2010).

Dizel yakıt viskozite değeri, yanma için gerekli olan ideal yakıt-hava karışımını elde etmek için atomizasyon ve dağılma dereceleri gibi önemli faktörleri belirlemekte ve silindirdeki yanmayı doğrudan etkilemektedir. Yakıt zerreciklerinin büyüklüğü, yanma odasına enjekte edilen yakıtın yanma odasında nüfuz ettiği mesafeyi etkilemektedir. Viskozitenin büyük olması, yakıtın enjektörden küçük tanecikler halinde püskürtülememesi ve homojen yanma sağlanamamasından dolayı yanmanın isli olmasına sebep olur. Küçük akıcılık derecesine sahip olan yakıtlar ise yakıt pompasından yakıt sızıntısına sebep olmaktadır ve düşük viskoziteli yakıtların yağlama özelliklerinin de düşük olduğu görülmektedir (Özer, 2010).

Yakıtın uygun viskozitede olması, sadece pompa ve enjektörler açısından değil aynı zamanda yanmanın mükemmel olması için de son derece önemlidir. Mükemmel bir yanma elde etmek için en önemli faktör, atomizasyon ve yakıtın silindir içinde uygun bir şekilde dağılmasıdır. Bunu sağlayan yakıt viskozitesidir. Çünkü viskozite yükseldikçe yakıt zerrecikleri daha da büyümekte ve bu da yanma açısından istenmeyen bir durum ortaya çıkarmaktadır. Ayrıca çok viskoz olan yakıtlar püskürtüldüğünde silindir duvarlarına çarpmadıkları takdirde zerreciklere ayrılmazlar. Bu da yanmanın dumanlı olmasına sebep olur. Öte yandan yakıt viskozitesinin çok düşük olması durumunda da, yakıt mükemmel bir yakıt-hava karışımı oluşturacak şekilde silindir içinde nüfuz etmez.

Büyük motorlarda viskozitesi yüksek yakıtlar nispeten daha iyi sonuçlar vermektedir. Ön yanma odalı dizel motorlarında enjektörün püskürttüğü yakıtın huzme boyu kısa olacağı için viskozitesi düşük yakıtlar kullanılmalıdır. Hava ile püskürtme yapılan sistemlerde daha ağır yakıtlar kullanılabilir. Çünkü bu tip motorlarda hava, püskürtülen yakıtı daha fazla basınçla püskürtür ve daha iyi atomize olmasını sağlar. Çok delikli nozullarda ise, tek delikli nozullara oranla daha ağır yakıtlar kullanılabilir. Deliklerin küçük olması yakıtın daha iyi atomize olmasına yardımcı olmaktadır. Yakıtın basıncını arttırmak, yakıtın karışma kabiliyetini arttıracığı için yüksek basınçlı püskürtme sistemleri bulunan motorlarda düşük viskoziteli yakıtları kullanmak fayda sağlayabilir.

Mükemmel bir dağılma için yakıtların önceden ısıtılması gerekir. Yakıtın püskürtülmeden önce viskozitenin 100 cSt'den daha az olmasını sağlayan sıcaklık 121°C'nin üzerinde olursa mükemmel bir dağılma sağlanabilir. Aynı zamanda sıcaklığın viskoziteye etkisi büyüktür. Bu yüzden viskozite ve sıcaklık birlikte verilmelidir. Motor yakıtlarının akıcılık dereceleri 50 °C'de

ve 1,5 ile 5 Engler derecesi arasında olmalıdır. Yakıtın Engler derecesi bu değerler üzerinde ise, yakıt 40-100 °C arasında ısıtılarak kullanılır (Ayyılmaz, 2012).

Bir yakıtın dinamik viskozitesi, onun 1 m² alanlı düzlemsel yüzeyinin 1 m uzaklıkta kendisine paralel şartlardaki diğer bir düzlemsel yüzeye göre 1 m/s hızla kaydırmak için gereken kuvvete eşittir. Bu kuvvet, birimi N olan Newton kuvvetidir. Dinamik viskozite mutlak viskozite olarak da adlandırılabilir. Kinematik viskozite ise akışkanın dinamik viskozitesinin yoğunluğa oranı ile bulunur (Ejder, 2007).

2.1.3. Yoğunluk

Bir sıvının veya sıvı yakıtın yoğunluğu birim hacmin kütlesi olarak tanımlanır. Aynı zamanda yoğunluk, maddenin birim hacmine düşen kütle miktarı demektir. Sıcaklığa bağlı olarak ölçülür ve genellikle 15°C’de ölçümler alınır.

Bir yakıtın yoğunluğu, ihtiva ettiği enerji miktarının da bir göstergesidir. Eğer yakıtın yoğunluğu büyükse enerji içeriği de büyük olur. Yakıtın yoğunluğu, aynı zamanda özgül ağırlığı ile de ilişkilidir ve aynı hacimdeki suyun ağırlığına oranı olarak da ifade edilebilir.

Dizel yakıtı, çeşitli ağırlıklarda hidrokarbon moleküllerinden oluşan ve yakıt yoğunluğunun, yakıt bileşenlerin bir fonksiyonu olan yakıt türüdür. Bu nedenle yoğunluk, setan sayısı, aromatik bileşenler, viskozite ve distilasyon özellikleri ile yakından ilişkilidir. Yakıtın yapısındaki karbon ve hidrojen oranı, tutuşma kabiliyeti ya da diğer adıyla setan sayısı hakkında ve yakıtın parçalanması ile ilgili bilgiyi verir. Dizel motorlardaki enjeksiyon sistemi, yakıt hacimsel bazda gönderdiğinden dolayı yoğunluk, yakıtın kütle miktarına doğrudan etki eder. Hidrojen sayısının artması ile genel olarak yoğunlukta azalma olur (Tillem, 2005).

Dizel yakıtının yoğunluğunun artması, silindir içine enjekte edilen yakıt kütlesini de arttıracığı için silindir içinde yakıt hava karışımı zenginleşir ve bu da yanmanın isli olmasına neden olur. Ayrıca yakıt yoğunluğu, is, CO ve CO₂ gibi bazı emisyonların da etkilenmesine neden olur. Motor çıkış gücü de yoğunluğun artmasıyla birlikte artar. Ancak sabit bir motor çıkış gücü için yakıtın yoğunluğunun azalması, daha fazla yakıtı ihtiyaç olacağı ve bu da yakıt sarfiyatını arttıracığı anlamına gelmektedir. Aynı zamanda düşük yoğunluklu yakıtlar motor gücünün düşmesine neden olur.

Dizel motorlarda tam yük şartlarında is emisyonları daha fazladır. İs emisyonu oluşumu zengin hava-yakıt karışımı ya da yakıt ile havanın homojen karışmamasından yani eksik yanmadan kaynaklanır. Dizel motorlarda is sınırının pompa üzerinden ayarlanması, motor çıkış gücünü de etkiler (Guibet, 1999).

Yakıtın özgül kütlesi; partikül madde, NO_x, HC emisyonlarını ve motor performans karakteristiklerini etkileyen önemli bir faktördür. Dizel yakıtın yoğunluğu yüksek ise yakıtın

içerisindeki enerji yoğunluğu da artar. Böylece yanma veriminde de artış olur. Ancak yakıt yoğunluğunun fazla olması enjektörlerde problemlere ve bazı emisyon değerlerinde yükselmeye sebep olabilir (Yanbuluğlu, 2020).

2.1.4. Isıl değer

Yakıtın birim kütlesi ya da birim hacminden sağlanan enerji miktarına ısı değer denir. Isı değeri belirleyen unsur öncelikle yakıtın yapısında bulunan C, H, O ve S gibi atomların sayıdır. Bu değerler ağır olan yağlar için önemlidir. Doymuş hidrokarbonların zincir uzunluğu ısı değerini artırır ve azalışını belirler. Doymuşluk derecesi arttıkça ısı değeri artar. Eğer yakıtın hidrojen içeriği düşükse ısı değeri de o oranda düşük olur. Ayrıca, yanma sonucunda meydana gelen ürünlerin, yanma öncesi referans bir sıcaklığa göre toplam entalpilerinin yakıt kütlesine bölümü ile elde edilen değere ısı değeri adı verilir.

Isı değeri birim kütlesinin verdiği enerjidir. Isı değerinin alt ısı değeri olarak verilmesinin sebebi, motorlardaki yanma sonu egzoz gazı sıcaklıklarında suyun her daim buhar olarak bulunmasıdır (Ayyılmaz, 2012).

Dizel motorlarda yanma değeri geniş bir ısıtma değerini kabul ediyor olmasına rağmen kg başına ısı enerjisi yüksektir (Özer, 2010). Isı değeri yakıt enerjisinin miktarını gösterdiği için büyük olması istenir (Tillem, 2005).

Isı değeri ne kadar yüksek olursa, yanma sonucunda elde edilen enerji miktarı da o düzeyde artar. Yakıtların ısı değeri, yakıtın yoğunluğuna ve kimyasal bileşimine bağlıdır. Yüksek ısı değeri sahip olmasına yakıtın içeriğinde bulunan karbon ve hidrojen etki etmektedir (Çelebi, 2017).

2.1.5. Destilasyon (Uçuculuk)

Destilasyon (uçuculuk), dizel motorlarda kullanılan yakıtın yanmasında ve çalışmayı kolaylaştırmasında gerekli olan bir parametredir. Dumansız yanmanın olması için gerekli olan iyi bir hava-yakıt karışımının elde edilebilmesini sağlamak amacıyla uçuculuk özelliğine ihtiyaç duyulmaktadır (Bayık, 2010).

Uçuculuk noktası ise genel olarak sıvıların, sıvı halinden gaz durumuna geçme sıcaklığıdır. Dizel yakıtın uçuculuğu, damıtım sıcaklığına kadar ısıtılması ile miktarının %90'ının buhar haline geçebilmesi olarak ifade edilir. Uçuculuk kabiliyeti yüksek olan yakıtlar egzoz emisyon değerlerinde düşüş, egzoz sıcaklığında, yakıt tüketiminde ve dumanda azaltıcı yönde etki eder (Ejder, 2007).

Uçuculuk ölçüsü yani destilasyon değeri azaldıkça yanma daha düzenli ve çabuk olmaktadır. Oluşan dumanı azaltmak ve daha çok güç vermek amacıyla uçuculuk değeri düşük

olan yakıtlar yüksek devirli motorlarda tercih edilir (Özer, 2010). İyi petrol yakıtlarının kaynama dereceleri 180°C ile 370°C arasında olup damıtma özellikleri uçuculuk göstergeleri vermektedir (Ayyılmaz, 2012).

2.1.6. API Gravitesi ve Özgür Ağırlık

Yakıtın belli bir hacimdeki yakıt ağırlığının o hacimdeki suyun ağırlığına oranına özgül ağırlık denmektedir. Kısaca yakıtın birim hacminin ağırlığı olarak tanımlanabilir. Özgül ağırlığı yüksek olan yakıt daha fazla karbon içerdiğinden dolayı büyük bir ısı enerjisine sahiptir. Dizel yakıtların özgül ağırlıkları, temin edildiği ham petrolün cinsine göre değişiklik gösterebilir ve 60°F yani 15,5 °C sıcaklığında 0,835-0,934 arasındadır (Ejder, 2007).

Yakıtın özgül ağırlığı aromatik petroller için yüksek değerde, parafinik petroller için ise düşük değerde olur. Günümüzdeki petrol sanayisinde petrolün özgül ağırlığına zıt orantılı olan API (American Petroleum Institute) gravitesi kullanılmaktadır.

API derecesi arttıkça yoğunluk azalır ve petrolün kalitesinde yükselme olur. Petrol fiyatları API gravitelerine göre ayarlanır. Petrol ağır, orta ve hafif petroller olmak üzere sınıflandırılmaktadır. Tablo 2.3' de petrolün özgül ağırlığa ve API gravitesine göre değerleri verilmiştir (Dilmaç, 2011).

Tablo 2.3. Petrolün özgül ağırlık ve API derecesi değerleri (Dilmaç, 2011)

	Özgül Ağırlık	API Derecesi
Hafif Petrol	0,85'ten küçük	30'dan büyük
Orta Petrol	0,85-0,9	20-30
Ağır Petrol	0,9-1,0	10-20

Dünyada çıkarılan petroller genel olarak 27°C ile 45°C arasında API gravitesine sahip olmaktadır. Aşağıdaki Tablo 2.4' de bazı Dünya petrollerine ait özgül ağırlık ve API dereceleri verilmiştir (Dilmaç, 2011).

Dünyada üretilen petrolün sınıflandırılmasından en önemli faktörler; petrolün özgül ağırlığı, akışkanlığı ve içerdiği kükürt miktarı olarak bilinmektedir. Amerikan Petrol Enstitüsü (API) tarafından çıkarılan ve özgül ağırlığa bağlı API Gravitesi tanımı, bütün dünyada petrolün sınıflandırılması için genel olarak kabul edilmiştir. Uluslararası bir birim olan gravite 10 ila 48 arasında değişmektedir.

Tablo 2.4. Bazı Dünya petrollerinin özgül ağırlık ve API dereceleri (Dilmaç, 2011)

Ham Petrolün Çıkarıldığı Yer	Özgül Ağırlık	API Derecesi
Pensilvanya	0,800	45,4
Oklahoma	0,816	41,9
Teksas	0,827	39,6
İran	0,836	37,8
Suudi Arabistan	0,840	37,0
Irak	0,844	36,2
Kaliforniya	0,858	33,4
Kuveyt	0,860	33,0
Bahreyn	0,861	32,8
Venezuela	0,950	17,4

Ülkemizdeki ham petrol cinsleri düşük graviteli olarak üretilmektedir ve suyun yoğunluğuna yakın bir derecededir. Tablo 2.5'te Türkiye'de çıkartılan petrolerin API graviteleri verilmiştir (Kunt, 2016).

Tablo 2.5. Türkiye'de çıkarılan petrolerin API graviteleri (Kunt, 2016)

Saha Adı	API Gravitesi
Kahta	12
Batıraman	14
Mağrip	19
Raman	21
Silvanka	24
Garzan	26
Batı Kayaköy, Beykan, Kürhan	34
Çelikli	34
Şelmo	35
Kayaköy	38
Bulgurdağ	39

2.1.7. Akma Noktası

Katılaşma noktası da denmektedir. Akma noktası motorun düşük sıcaklıklarda çalıştırılması esnasında önem kazanmaktadır. Katılaşma durumu olduğunda yeteri kadar yakıt akışı sağlanamadığı için motor çalışmaz (Özer, 2010). Diğer bir deyişle, akma noktasının yüksek olması yakıtın soğuk havalarda yakıt püskürtme sisteminden geçmesi zorlaşacağından motorun çalışmasını engeller. Soğuk bölgelerde çalışan dizel motorlarında yakıtın akma noktasını düşürmek amacıyla yakıt içine belli oranlarda gaz yağı ve farklı kimyasal maddeler ilave edilmektedir (Ayyılmaz, 2012).

Dizel motorların soğukta çalışmasında akma noktası ilk hareketin kolay olmasını sağlamaktadır (Şenveli, 2008). Motorun çalışmasının kesinlik kazanması için akma noktasının sıcaklığı ortam sıcaklığının 5-10 derece daha altında olması gerekir (Çelebi, 2017).

2.1.8. Alevlenme ve Parlama Noktası

Yakıt bir kaptan ısıtılırken üzerine yaklaştırılan alev ile geçici olarak tutuşma durumunda bulunan yakıt buharının taşıdığı en düşük sıcaklığa parlama noktası denir (Çelebi, 2017).

Dizel yakıtlarda parlama noktası depolama ve yangını önleme yönünden büyük önem arz etmektedir. Ekseriyetle emniyeti sağlamak için yakıtların parlama noktası 65–150°C arasında olması gerekir ve 36 °C'nin altına düşmemelidir. Parlama noktası, bir yakıtın kıvılcımla tutuşabilecek buhar ile hava oranının karışımını oluşturabilecek kadar buhar yaydığı sıcaklıktır. ASTM D93 veya ISO 2719 gibi standart test yöntemleri kullanılarak parlama noktasının ölçümü standartlaşmış bir araç ile yapılmaktadır. Motor performansı için yakıtın parlama noktası önemli değildir. Parlama noktasındaki değişiklikler kendiliğinden tutuşma sıcaklığını veya diğer yanma özelliklerini de etkilememektedir (Ejder, 2007). Tablo 2.6'da bazı alternatif olabilecek yakıtların parlama noktaları verilmiştir (Yanbuluğlu, 2020)

Tablo 2.6. Bazı yakıt çeşitlerinin parlama noktaları (Yanbuluğlu, 2020)

Yakıt	Parlama noktası (°C)
Hidrojen	-231
Metan	-188
Propan	-104
Benzin	-45
Metanol	11
Etanol (%70)	17
Karosen	36
Jet yakıtı	60
Dizel	62
Biyodizel	130

Yakıtın parlama noktası ilk olarak ürünün güvenli kullanılması için önemlidir. Eğer parlama noktası çok düşük ise yangın çıkabilme ihtimali vardır. Bu sebeple parlama noktasının mecburi en düşük sınırları hükümet acenteleri ile sigorta şirketleri tarafından belirlenmektedir. ABD’de otomotiv dizel yakıtları için tipik minimum değer 38°C iken bazı Avrupa ülkelerinde bu değer 56°C arasında değişkenlik göstermektedir (Ejder, 2007).

Alevlenme noktası ise yakıt buharının açık alev ile temas etmesiyle bir anlık alev aldığı sıcaklıktır. Alevlenme sıcaklığının yüksek olması depolama ve taşıma güvenliği koşullarını kolaylaştırır (Tillem, 2005).

Alevlenme sıcaklığı parlama sıcaklığına göre biraz daha yüksektir. Yakıtlar kendi kendine tutuşma özelliği yönünden bulundukları ortama son derece bağımlılık gösterirler. Buharlaşma kabiliyeti yüksek olan benzin gibi yakıtlar açık havada düşük sıcaklıkta alevlenirler. Bu sebeple dizel yakıtlar gibi buharlaşma sıcaklığı yüksek olan yakıtlar daha güvenlidir. Deniz seviyesinde hafif dizel yakıtlar için alevlenme sıcaklık sınırları yaklaşık 340 ile 420 °K arasındadır (Ayyılmaz, 2012).

2.1.9. Kül miktarı

Ham petrol ve petrol ürünlerinde oluşan çözülmüş organometalik ve asılı haldeki katı parçacıklara benzer yanma özelliğine sahip olmayan çok küçük miktardaki bileşenlere kül denir. Doğada serbest halde bulunan N (azot), C (karbon) ve O (oksijen) gibi maddelerin yakıt ile birlikte yanması sonucu insanların yaşamına zararlı NO_x, SO ve HC vb. maddeleri meydana getirerek yakıtın içerisindeki kül içeriğini oluşturmuş olur. Bu maddeler motorun içerisinde pistonlara, segmanlara ve silindir cidarlarına toplanarak korozyona neden olur. Ayrıca dizel motorlarda enjektörlerin tıkanmasına sebep olmaktadır (Yanbuloğlu, 2020).

Yakıt içerisinde yabancı madde olarak bulunan madeni tuzlardan oluşan küller, yanma sonucunda motorda zımpara tozu gibi aşındırıcı etki yaptığından yakıtın kül bırakma oranı %0,01’den fazla olmaması gerekir (Ejder, 2007).

Yanma olayını iyileştirmek amacıyla setan sayısının belli bir değerine kadar yanma sonu artık miktarında azalma olur. Lakin bu değerdeki artış ile setan sayısı is oluşumuna olumsuz yönde etki eder. Bundan dolayı bir maddenin konvansiyonel dizel yakıtı eklentisi olarak kabul edilmesinden önce bu özellikler hesap edilmelidir (Çelebi, 2017).

2.1.10. Kükürt miktarı

Kükürt miktarı yakıtın en önemli özellikleri arasındadır. Kükürt, ham petrolün damıtılması anında motorin içine karışır ve yanma zamanı esnasında oksijen ile birleşip kükürtdioksit (SO₂) ya da biraz daha oksijen bulmak suretiyle kükürttrioksit (SO₃) oluşturur. Bu gazlardan SO₂ çok

fazla tehlike arz etmemektedir ve SO_3 gazı yanma artıklarından olan su buharı (H_2O) ile birleştiğinde sülfürik asit (H_2SO_4) meydana gelir. Oluşan bu sülfürik asit şiddetli bir aşındırıcı olduğundan kısa zaman içinde motor parçalarında aşınmaya sebep olur. Bu aşınmaları önlemek için yakıtlardaki kükürt temizlenmelidir. Ancak bu işlem maliyeti arttırdığından %1'e kadar kükürt miktarına izin verilebilir (Ejder, 2007).

Ham petrolün içinde kükürt bulunmaktadır. Ham petrol içindeki kükürt oranı bazı işlemlerden geçirilerek azaltılabilmek olanağı vardır. EURO5 standartlarına göre yakıtın içinde maksimum 10 ppm civarında kükürt bulunabilir. Günümüzde ise bazı yakıtlarda bu oran 500 ppm e kadar çıkabilmektedir.

Korozif etkisi olan kükürtü yakıttan temizlemek için kullanılan yöntemlerden en yaygın olanı hidrodesülfürizasyondur (HDS). Bu metotta; 300-450 derece arasında bir sıcaklıkta olan yakıt, yüksek basınç altında hidrojen ile birleşir ve sonucunda yakıttaki kükürt H_2S yani hidrojen sülfür olarak çıkartılır. HDS geleneksel kükürt miktarını azaltmak için Mo (molibden), Ni (nikel) ve W (tungsten) bazlı katalizörler yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu metotta ise yüksek sıcaklık ve yüksek basınçta ihtiyaç duyulduğundan kükürt içeriğini azaltmada HDS fazla külfetli bir alternatiftir (Yanbuloğlu, 2020).

2.1.11. Anilin Noktası

Anilin noktası, aynı hacimde olan anilin ve numunenin minimum kritik çözünme sıcaklığıdır. Anilin aromatik hidrokarbonları her zaman eritik özellik gösterirken parafinikler ise yalnızca sıcakta eritgendir. Anilin ile dizel yakıtı karıştırılıp ısıtılır ve sıcaklık altındaki motorin tamamen erir. Ancak eriyik olan karışım soğumaya bırakıldığı zaman parafinlerin yavaşça ayrılmaya başladığı gözlemlenir. Bu olayda ayrışmanın görüldüğü ve sonuçlandığı sıvı kabında iki farklı tabakanın görüldüğü esnadaki sıcaklık anilin noktası olarak tanımlanmaktadır. Anilin noktası dizel indeksi hesaplamalarında kullanılmaktadır. Böylelikle setan sayısı da kolaylıkla hesaplanabilir (Çelebi, 2017).

2.1.12. Dizel Vuruntusu

Silindir içine alınan havanın sıkıştırılması ile birlikte sıkışan hava yüksek bir basınç ve sıcaklığa ulaşır ve bu sıkışan havanın üzerine yakıt püskürtülür. Püskürtülen yakıtın hemen tutuşmaması istenir fakat yakıtın püskürtülmeye başladığı andan itibaren tutuşmaya kadar geçen sürede yakıtın tutuşma süresi uzarsa bu sürede yanma odasında başka noktalarda bulunan yakıtın da yanması söz konusudur, bu durumda birkaç yerde yakıt yanar ve ani basınç artışları meydana gelir. Bu duruma dizel vuruntusu denir ve motorun gürültülü çalışmasına, piston-biyel-krank mekanizmasına aşırı yük binmesine neden olacağı için mümkün olduğu kadar bu durumu ortadan

kaldırmak gerekir. Bu sürenin uzun olması, vuruntu olayının çok şiddetli olmasına neden olacağı için bu sürenin mümkün olduğu kadar kısa tutulması vuruntuyu ortadan kaldırmaktadır. Ancak bu sürenin gereğinden fazla kısaltılmasının da bazı sakıncaları vardır. Yani yakıt enjektörden püskürtüldüğü an aniden tutuşursa, enjektörler aşırı ısınacak ve sonuçta yakıtın kurum yapmasına ve enjektörlerin karbonlaşmasına, ayrıca kötü ve dumanlı yanmaya da neden olacaktır.

İyi bir yanma elde edebilmek için enjekte edilen yakıt miktarının basınç artışıyla orantılı olması gerekir. Yakıtın düşük viskoziteli, ince ve akıcı olması yakıtın enjektörden kolayca püskürtülmesini ve bunun sonucunda kolay dağılmasını sağlar. Böylece istenilen şekilde tutuşma gecikmesinin elde edilmesi sağlanmış olunur (Borat vd., 1995).

2.2. Egzoz Emisyonları

Hava kirliliği, havadaki doğal bileşimlerin ana maddelerinde değişim olması ya da yabancı maddelerin girmesiyle, insan sağlığını etkileyecek, aynı zamanda bitki ve hayvanların biyolojik yapısına zarar verecek şekilde havanın yapısının bozulması olarak tanımlanabilmektedir (Atmanlı, 2013). Motorlu taşıtlar, konut ısıtmaları, termik santraller ve endüstriden gelen gazlar hava kirliliğine sebep olan başlıca kaynaklardır (Haşimoğlu vd., 2002).

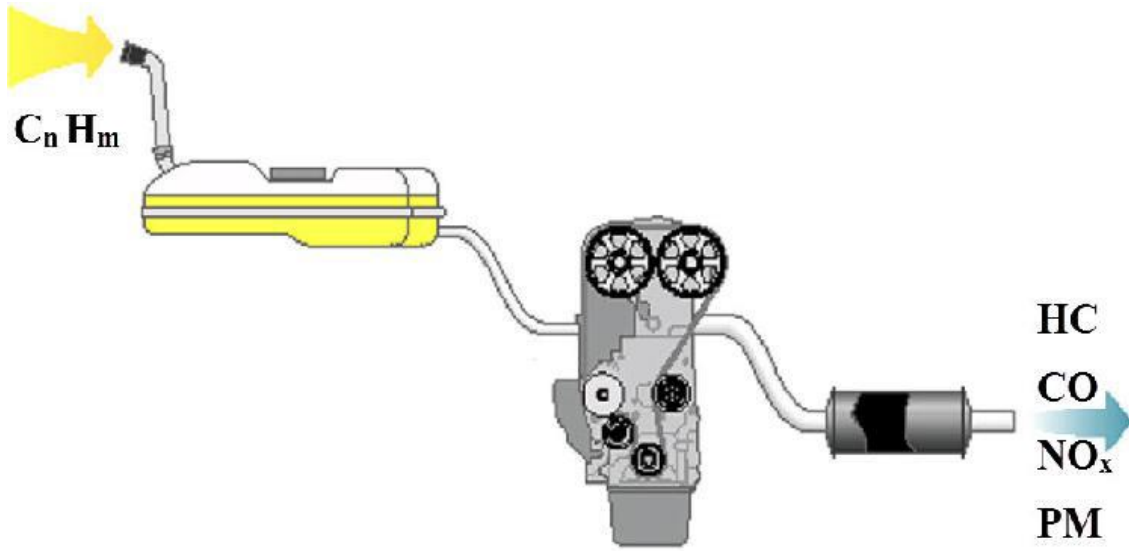
Motorlu taşıtlar hava kirliliğinde önemli bir paya sahiptir. Kurşun bileşikler, yakıt-yag buharı, asbest ve lastik tozları, aşınma, paslanma ve korozyon sonucunda meydana gelen katı, sıvı, gaz atıklar ve en çok etken olan zararlı egzoz emisyonları ile motorlu taşıtlar çevreyi kirletmektedir. Motorlu taşıtların büyük bir kısmı; yüksek verimlilik ile yüksek dayanıklılık, düşük yakıt tüketimi ve geniş çalışma koşullarında güç üretebilme yeteneği gibi avantajlara sahip dizel motorlardan meydana gelmektedir. Motorlu taşıtlar arasında dizel motorların sayısının artması ile dizel motorların sebep olduğu egzoz emisyonlarında da artış olmaktadır (Atmanlı, 2013). 2017-2021 yılları arasında yakıt türüne göre ülkemizdeki otomobil sayısı Tablo 2.7’de gösterilmektedir (TÜİK, 2021).

Tablo 2.7. Yakıt türüne göre Türkiye’deki kayıtlı otomobillerin dağılımı (TÜİK, 2021)

Yıl	Toplam	Benzin	Dizel	LPG	Elektrik-Hibrit	Bilinmeyen
2017	12.035.978	3.120.407	4.256.305	4.616.842	1.685	40.739
2018	12.398.190	3.089.626	4.568.665	4.695.717	5.367	38.815
2019	12.503.049	3.020.017	4.769.714	4.661.707	15.053	36.558
2020	13.099.041	3.201.894	5.014.356	4.810.018	36.487	36.286
2021	13.172.111	3.234.305	5.040.785	4.820.260	40.499	36.262

Dizel yakıtların içeriğinde de diğer birçok yakıtta görüldüğü gibi yüksek oranda hidrojen ve karbon bulunmaktadır. Dizel yakıtın yanması ile yanma odasında sadece CO_2 ve H_2O tam yanma reaksiyonu sonucunda açığa çıkmaktadır. Fakat hava-yakıt karışımı ve konsantrasyonu, yanma odasında meydana gelen türbülans, tutuşma süresi, yanma sıcaklığı vb. birçok nedenden dolayı yanma sırasında CO, HC, NO_x ve PM gibi zararlı emisyonlar da açığa çıkmaktadır (Sevinç, 2018).

Dizel motorunda yakıtın yanması neticesinde oluşan ana kirleticiler Şekil 2.3'te görülmektedir (Atmanlı, 2013).



Şekil 2.3. Dizel motorunda yakıtın yanması sonucu oluşan ana kirleticiler (Atmanlı, 2013)

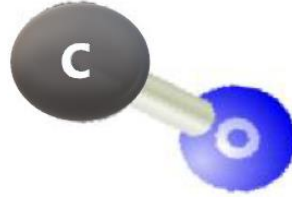
Dizel motorlarda, yanma odası tasarımı, yanma sonu sıcaklığı, enjektör basıncı, hava/yakıt oranı, yanma hızı, yakıtın içeriği ve kalitesi gibi etkenler bu kirleticileri artırabilir. Bu nedenle dizel motorun tasarımı ve işletme koşulları önem arz etmektedir (Yanbuloğlu, 2020).

Atmosferde bulunan emisyonlardan CO_2 'nin %93'ü, HC'nin %57'si, NO_x 'in %39'u ve SO_2 'nin %1'i taşıt kaynaklı olmaktadır (Önem Koç, 2009).

2.2.1. Karbonmonoksit (CO) Emisyonu

Karbonmonoksit, kokusuz ve havadan daha ağır olması sebebiyle birikinti oluşturma olasılığı yüksek olan bir gazdır. Yanma sırasında O_2 'nin yetersiz olması CO'nun silindir içerisinde yanma sonu ürünleri arasında olmasının ana sebebidir. Yakıt-hava karışımının homojen bir şekilde karışamaması sonucunda ise O_2 'nin silindirin bir bölümünde eksik olması da CO oluşumuna neden olmaktadır. Ayrıca dizel motorlarında CO oluşumu, hava fazlalık katsayısının yüksek olması durumunda düşük olur (Coşkun, 2017).

Dizel motorlarda yanmanın her aşamasında, yanma sıcaklığının yüksekliği, oksijen miktarının fazla olması, karışım oluşum hızının yüksek oluşu CO emisyonunun oksidasyonuna yardım etmektedir (Yanbuluğlu, 2020). Şekil 2.4'te CO molekülü gösterilmiştir (Atmanlı, 2013).



Şekil 2.4. CO molekülünün kimyasal yapısı (Atmanlı, 2013)

Hava fazlalık katsayısı, CO oluşumundaki en etkili parametredir. Hava fazlalık katsayısının 1'den küçük olması (zengin karışım) yani teorik tam yanma için yanma odasında gerekli hava miktarının az olması, yakıttaki C atomları yeterli oksijen ile temasa geçerek yanma reaksiyonuna giremeyeceği için egzoz gazı içerisinde CO oranı artar (Atmanlı, 2013).

Ülkemizdeki zararlı emisyonların %60'ına kadarını şehirlerdeki CO emisyonları oluşturur. Bu emisyonun oluşumuna %95 oranında karayolu taşıtları neden olmaktadır (Öztürk, 2010). Endüstri prosesleri, yakıtların kazan ve çöp yakma fırınlarında yakılması ise CO emisyonlarına sebep olan diğer kaynakları oluşturmaktadır (Şenveli, 2008).

2.2.2. Karbondioksit (CO₂) emisyonu

Karbondioksitin insan ve çevre sağlığı üzerinde doğrudan zararlı bir etkisi yoktur. Fakat tam yanma sonrası ürünlerinden olan CO₂'nin %50'si atmosferde birikerek bu gaz yoğunluğunu gittikçe artırır (Sevinç, 2018).

CO₂ emisyonu küresel ısınmada etkisi olan sera gazlarından. Atmosferin alt kısımlarının ısınmasında önemli bir rol oynamaktadır. Çünkü güneşten gelen kısa dalgalı ışınları büyük bir miktarda geçirmekte ve yerden geri gelen büyük dalgalı ışınları da tutmaktadır. Karbondioksit okyanuslar ve bitki örtüsü tarafından üretilir. Diğer CO₂ kaynaklarına ise odun, kömür, doğalgaz ve petrol yakılması örnek verilebilir. Ulaşım sektöründe büyük bir öneme sahip olan CO₂ emisyonu %95'lik bir kısma sahip başlıca kaynaklardandır. Türkiye'de CO₂ emisyonları içinde en büyük pay %85'lik oranla karayollarından kaynaklanan emisyonlara aittir (Öztürk, 2010).

2.2.3. Hidrokarbon (HC) Emisyonu

Hidrokarbon emisyonları yakıtın tam yanmaması sonucunda meydana gelir. Yani oluşumdaki temel neden silindirin içindeki sıcaklıkların ya da oksijenin yeterli olmamasından

dolayı tam yanmanın gerçekleşmemesidir. Dizel motorlarda HC emisyonunun oluşmasının sebebi ise düşük ve yüksek motor yüklerindeki hava-yakıt karışımıdır (Reşitoğlu, 2016).

Yerel karışım oranının ya çok fakir ya da çok zengin olması neticesinde oksidasyon reaksiyonlarının yavaşlaması, alevin ısı kaybı sebebiyle sönmesi, yanma odasının soğuk cidarlarındaki ısı kaybı sebebiyle o bölgeye ulaşan alevin hemen sönmesi gibi durumlardan dolayı yanma tamamlanamaz (Özcumalı, 2007).

Hidrokarbonlar, motora giren yakıtın yaklaşık %1 veya %1,5'ini oluştururlar. En önemli hidrokarbon kaynakları arasında yakıtın yağ tabakaları içindeki absorpsiyonu, silindirin içinde sıvı yakıtın kalması, supap yatak boşluklarında bu karışımın sızma yapması ve kalıntıların yağ filmi gibi etki göstermesi şeklindeki mekanizmalar vardır (Öztürk, 2010).

Ayrıca HC emisyonlarına dizel motorlarının enjeksiyon sistemi ve yanma odasının geometrisi de etki etmektedir. HC emisyonları pek çok organik madde içerseler bile normal atmosfer miktarlarında zararlı etkileri yoktur. Ancak diğer kirletici emisyonlarla girdiği reaksiyonlar sonucu zararlı etki göstermektedir. Araç yoğunluğundaki fazlalık HC emisyonuna da artma yönünde etki eder (Coşkun, 2017). Şekil 2.5'te HC molekülü gösterilmektedir (Atmanlı, 2013).



Şekil 2.5. HC molekülü (Atmanlı, 2013)

Hidrokarbonlar, egzoz hattında emisyon kontrol yöntemleri ile tekrar tepkimeye koyularak azaltılabilir. Bu emisyonların bazı türleri insan sağlığına zarar verebilmektedir. İnsan sağlığını korumak için içten yanmalı motorlarda hidrokarbonlar daha düşük düzeylerde tutulabilir (Parlak, 2017).

2.2.4. Azot Oksit (NO_x) Emisyonu

Dizel motorlarda yakıtı tutuşturmak amacıyla yüksek basınç altında sıkıştırılmış sıcak hava kullanılır. İlk olarak silindir içerisine alınan hava yanma odası hacmine doğru sıkıştırılır ve daha sonra üzerine yakıt püskürtülür. Bu püskürtülen yakıt yüksek sıcaklık ve yüksek basınçtan dolayı tutuşup yanar ve ısı açığa çıkar. Bu proseste normal olarak yanma odasındaki nitrojen ve oksijen reaksiyona giremez. Bu nedenle nitrojen aynı haliyle motordan dışarı salınır. Fakat yanma

odasındaki sıcaklık 1600°C'nin üzerine çıktığında nitrojen oksijen ile reaksiyona girerek NO_x emisyonunu oluşturmaktadır (Sevinç, 2018).

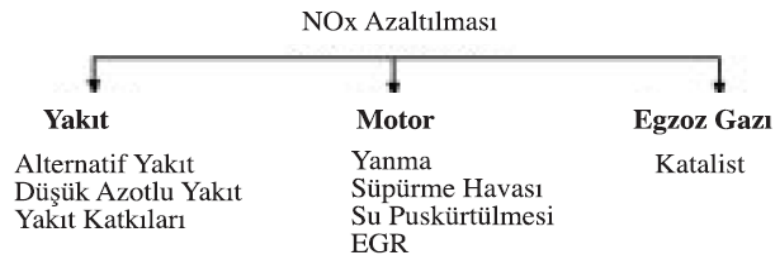
NO_x'in azot oksit (NO) ve azot dioksit (NO₂) olmak üzere iki genel bileşeni vardır. Şekil 2.6'da NO₂ molekülü görülmektedir (Atmanlı, 2013).



Şekil 2.6. NO₂ molekülü (Atmanlı, 2013)

Azot oksit emisyonlarının oluşumunda oksijen konsantrasyonu ve sıcaklık parametreleri en önemli etkenlerdir. NO_x, yüksek yanma sıcaklıklarında ve daha uzun yanma sürelerinde genellikle daha yüksektir. Motor yükü, yanma odasında bulunan içerik, hız, homojen olma durumu ve karışımın yoğunluğu da NO_x'e etki eden faktörlerdendir (Sevinç, 2018).

Şekil 2.7'de dizel motorlarında NO_x emisyonlarını kontrol etmede kullanılan yöntemler gösterilmektedir (Haşimoğlu vd., 2002).



Şekil 2.7. NO_x emisyonlarını kontrol etmede kullanılan yöntemler (Haşimoğlu vd., 2002)

NO_x emisyonlarının kontrol yöntemleri; yakıtta, motorda ve egzoz gazında başlıkları altında toplanabilmektedir. Dizel motorlarında bu azaltma yöntemlerinin etkileri Şekil 2.8'de verilmiştir (Haşimoğlu vd., 2002).

NO _x Emisyonu			
Standart Ayar (% 100)			
Sıkıştırma Oranının Artırılması			% 80
Püskürtme Avansının Azaltılması		% 55	
EGR	% 25		
Su Püskürtülmesi	% 30		
EGR+Su Püskürtülmesi	% 20		
Tüm Yöntemler+Katalitik Konvertör	% 5		

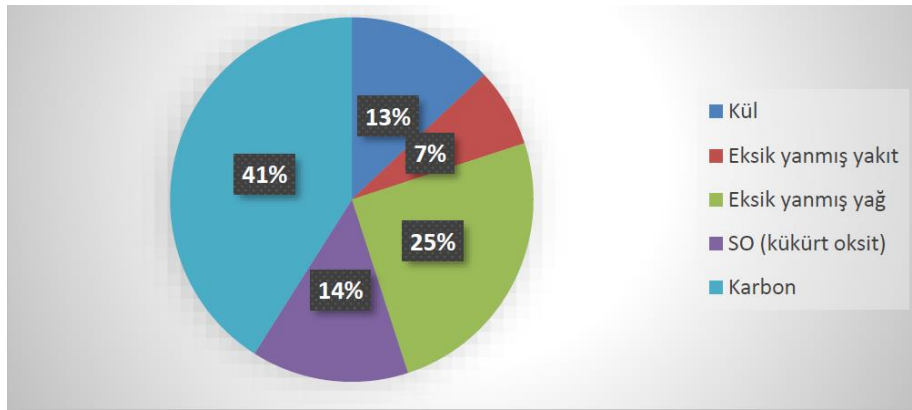
Şekil 2.8. Dizel motorlarda NO_x emisyonlarını azaltmada kullanılan yöntemlerin etkileri (Haşimoğlu vd., 2002)

EGR uygulaması ile NO_x emisyonunda %75 oranında bir azalma elde edilebilmektedir. Tüm yöntemler ve katalitik konvertör kullanılması yönteminde ise NO_x emisyonunda %95 oranında azalma görülebilmektedir. NO_x emisyonu aerosol ve fotokimyasal duman oluşumuna ve ozon tabakasının zarar görmesine sebep olmaktadır (Haşimoğlu vd., 2002).

Dizel motorlar benzinli motorlara göre daha yüksek oranda havayla çalışmaktadır. Bundan dolayı dizel motorlarda NO_x emisyonu daha fazla bulunmaktadır (Parlak, 2017).

2.2.5. Partikül Madde (PM) ve İs Emisyonları

Dizel motorlardan kaynaklanan partikül madde emisyonları benzinli motordakilere göre 6 ile 10 kat arasında daha yüksek bir değerdedir. Dizel PM emisyonları is, çözünür organik fraksiyon (SOF) ve inorganik fraksiyon (IF) olmak üzere üç ana başlıkta incelenebilir. Siyah duman olarak görülen is, partikül madde emisyonlarının yaklaşık %50'sini oluşturmaktadır. Yağlama yağından, yanmamış yakıttan ve yanma sırasında ortaya çıkan bileşiklerden elde edilen SOF ise is üzerinde yoğunlaştırılan ya da absorbe edilen ağır hidrokarbonlardan oluşmaktadır. Şekil 2.9'da yanma sonrasında oluşan partikül oranları gösterilmiştir (Yanbuluğlu, 2020).



Şekil 2.9. Yanma sonrası oluşan partikül maddeler ve miktarları (%) (Yanbuluğlu, 2020)

Dizel motorlardaki difüzyon alevinde, hidrojen karbona kıyasla oksijene karşı daha aktiftir. Bu nedenle yanmanın tamamlanması için gerekli olan zaman ve oksijenin bulunamaması durumunda is oluşmaktadır. İs, bu durumda meydana gelen karbon partikülleridir. Genellikle dizel yanmanın bir evresi olan is oluşumunda başlangıçta oluşan karbonun çoğu tekrar yanar. Gücü artırma amacıyla yanma odasına gönderilen fazla miktardaki yakıt yeteri kadar oksijen bulamadığından egzoz gazlarında bir miktar is oluşacaktır. İs emisyonları silindirin aşınmasına ve segman yuvalarına karbon dolmasıyla zarar verebilmektedir (Özcumalı, 2007).

Dizel motorlardaki partikül maddeler karbon bağları, karbon ile hidrojen bağları ve kükürtdioksit ile hidrojen sülfürden oluşmaktadır (Coşkun, 2017). Şekil 2.10' da partikül madde molekülü gösterilmiştir (Atmanlı, 2013).



Şekil 2.10. PM molekülü (Atmanlı, 2013)

İs emisyonlarına yakıt tipi, enjeksiyon tipi, enjeksiyon zamanı ve hızı, yakıt püskürtme memesinin şekli, taşıt yükü, yakıt-hava oranı, emme havasının sıcaklığı, EGR, turboşarj ve soğutucu akışkandaki ısı kaybı gibi birçok parametre etki etmektedir.

İs parçacıkları, yanma odasında bulunan kanserojen ve tahriş edici özelliğe sahip olan yakıt ile yağ moleküllerini hapsederek insan sağlığına zarar verebilir (Atmanlı, 2013).

3. BÜTANOL

Şeffaf bir sıvı görünümüne sahip bütanol 4 karbonlu ağır bir alkoldür ve primer, sekonder veya tersiyer olabilir. Kimyasal formülü C_4H_9OH 'dir. Çözücü ve yakıt olarak kullanılmaktadır. İzomerleri 1-Bütanol, 2-bütanol, izobütanol ve tert-bütanoldür. Çözücü ve yakıt olarak kullanılmaktadır (Sevinç, 2018).

Bütanol renksizdir ve keskin bir kokusu vardır. Alkoller, eter, keton, aldehitler, aromatik ve alifatik hidrokarbonlar gibi birçok çözücü madde ile karışabilme özelliği vardır. Suda % 6,3'e kadar çözülebilir. Yaklaşık olarak içerdiği oksijen %22 oranındadır. Alkollerin düşük setan sayısı, yüksek buharlaşma ısısı ve uzun tutuşma gecikmesi gibi özellikleri dizel motorlarında direkt olarak kullanılmasını zorlaştırmaktadır (Kumar vd., 2015). Bu sebeple alkollerin dizel motorlarda kullanılması farklı yöntemler ile uygulanmaktadır. Bu yöntemler; alkolün yakıt içerisine belirli oranda karıştırılması, emme manifolduna püskürtülmesi veya kullanılan farklı yakıtlar için ayrı yakıt püskürtme sisteminin kullanılması olarak sıralanabilir (Salih, 2014; Bilgin vd., 2002). Alkollerin dizel yakıtına belirli bir oranda karıştırılması ise motor yapısında herhangi bir değişikliğe ihtiyaç duyulmadığı için en pratik yöntemdir. Bundan dolayı dizel yakıtı ile karıştırılması halinde verimli bir yanma elde edilebilir (Kılıç, 2017). Bütanol, içten yanmalı bir motorda yakıt olarak kullanılabilir. Benzine, etanolden daha benzer. Bir C4-hidrokarbon olan bütanol bir yakıttır ve bu nedenle modifikasyon olmadan benzin ile kullanılmak üzere tasarlanmış araçlarda çalışır. Bütanol, biyokütleden (biyobütanol olarak) ve fosil yakıtlardan (petrobütanol olarak) üretilebilir. Hem biyobütanol hem de petrobütanol aynı kimyasal özelliklere sahiptir. Biyokütleden bütanol, biyobütanol olarak adlandırılır. Tablo 3.1'de n-bütanol ile dizel yakıtının kimyasal ve fiziksel özellikleri gösterilmektedir (Çelebi, 2017; Gürgen, 2018).

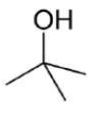
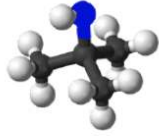
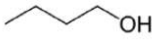
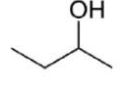
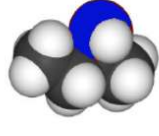
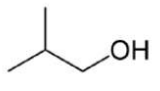
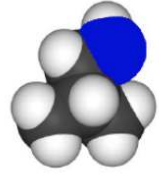
Tablo 3.1. Dizel yakıtı ve n-Bütanol 'ün kimyasal ve fiziksel özelliklerinin karşılaştırılması (Çelebi, 2017)

Özellikler	Dizel	n-Bütanol
Kimyasal denklem	$C_{14,342}H_{24,75}O_{0,0495}$	C_4H_9OH
Mol kütlesi[kg/kmol]	198,0017	74,123
Yoğunluk [kg/m ³]	823	816
Alt ısı değeri[kJ/kg]	42437,34	33630,8
Dizel indeksi	50	24
Setan sayısı	60	8,7
Buharlaşma gizli ısısı [kJ/kg]	270	581,4
Kaynama noktası [°C]	180-360	118
Buharlaşma basıncı [kPa]	-	0,6
Buharlaşma sıcaklığı [°C]	-	20
Parlama noktası [°C]	≥ 55	35-37
Kinematik viskozite, 40 °C [mm ² /s]	3,1	2,6

Bütanolün birinci yakıt özelliği yapısında oksijen içermesidir. Yakıtın içeriğinde oksijen bulunması daha iyi yanma sağlamaktadır ve bundan dolayı egzoz emisyon miktarları düşük olmaktadır. Bütanolün ikinci özelliği ise hava/yakıt karışımının basıncının ve ateşleme sıcaklığının ne kadar olması gerektiğini gösteren oktan sayısıdır. Yüksek oktan sayısına sahip yakıtlar erken ateşlemeyi önlemektedir. Yakıtın erken alev alması vurutuya neden olur ve motorda hasara sebep olmaktadır. Buhar basıncı, bütanolün üçüncü yakıt özelliğidir. Soğuk bir motorun çalışabilmesi için yakıt karışımının buhar basıncının düşük olması gerekir. Böylece yakıt bileşenleri kolayca buharlaşabilir ve ateşlenir. Bütanolün buhar basıncı dizelin buhar basıncına oranla daha düşük seviyededir. Bundan dolayı bütanol kolay bir şekilde buharlaşamaz ve soğuk bir motorun çalışmasını güçleştirir (Kılıç, 2017). Yüksek buharlaşma ısısına sahip olması bütanolün daha kolay depolanabilmesini sağlar. Diğer alkol gruplarında olduğu gibi bütanol de yanıcı ve ısı kaynaklarından uzak tutulmalıdır. Ayrıca saklanılacak ortam, iyi bir havalandırmaya uygun olmalıdır. Elektrostatik yüklemelerin oluşmaması için depolanan ortamda önlemlerin iyi alınmış olması gerekir (Bayık, 2010).

3.1. Bütanol İzomerleri

Kapalı formülleri aynı, açık formülleri farklı olan alkollere o alkolün izomeri denir (Atmanlı, 2013). Şekil 3.1’de bütanol izomerlerinin yapısı gösterilmektedir (Bayık, 2010).

IUPAC Adı	2 Boyutlu İskelet Yapısı	Kimyasal Yapısı	3 Boyutlu Yapısı
tert-bütanol		$\begin{array}{c} \text{OH} \\ \\ \text{H}_3\text{C}-\text{C}-\text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$	
n-bütanol		$\begin{array}{ccccccc} \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & & & \\ & & & & & & \\ \text{H}-\text{C} & -\text{C} & -\text{C} & -\text{C}-\text{O}-\text{H} \\ & & & & & & \\ \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & & & \end{array}$	
sec-bütanol		$\begin{array}{ccccccc} \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{OH} & & & \\ & & & & & & \\ \text{H}-\text{C} & -\text{C} & -\text{C} & -\text{C}-\text{H} \\ & & & & & & \\ \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & & & \end{array}$	
izo-bütanol		$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{HO}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{CH}_3 \end{array}$	

Şekil 3.1. Bütanol ve izomerlerinin yapısı (Bayık, 2010)

Bütanol 4 izomer yapıya sahiptir. 2-bütanol ya da diğer adıyla sec-bütanol, iç karbonda alkol barındıran düz zincir izomeridir. Terminal karbonda alkol bulunduran dallı izomer, izo-bütanol olarak adlandırılır. Tert-bütanol ise iç karbonda alkol bulunduran dallı izomerdir (Sevinç, 2018). Tablo 3.2’ de bütanol izomerlerinin bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerinin karşılaştırılması gösterilmektedir (Bayık, 2010).

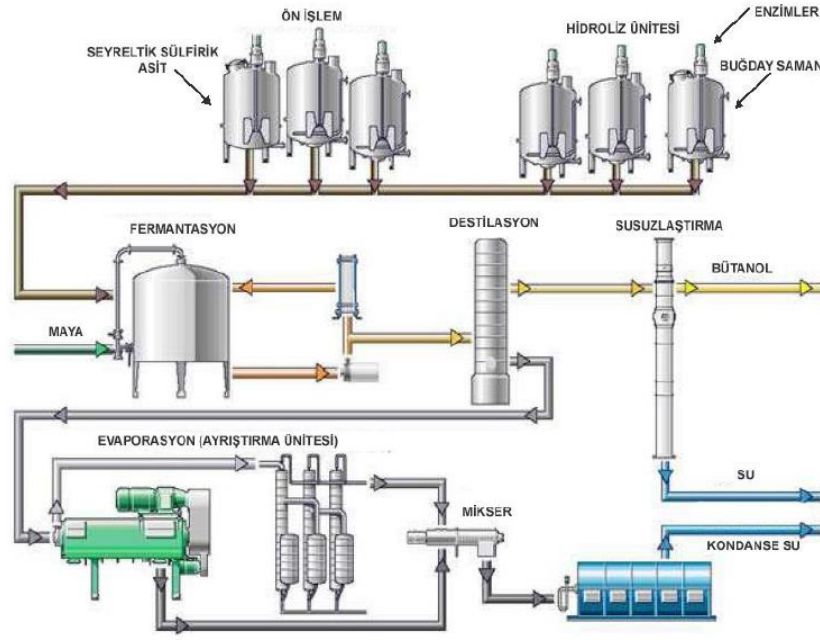
Tablo 3.2. Bütanol ve izomerlerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri (Bayık, 2010)

Özellik/ İzomeri	n-Bütanol	sec-Bütanol	izo-Bütanol	tert-Bütanol
Diğer Adlandırmaları	1-Bütanol, Bütil alkol, Metil ol propan	2-Bütanol, sec-Bütil alkol	İzobütil alkol, IBA,	t-Bütanol, t-Bütil Alkol, tert-Bütil alkol
Moleküler ağırlığı (kg/kmol)	74,12	74,12	74,12	74,12
Kaynama Noktası (°C)	116-118	99-102	106-108	82
Donma Noktası (°C)	-89	-114,7	-108	25
Yoğunluk (kg/m ³) (20 °C)	810	810	802	780,9
Viskozite (mPa.s , 30°C)	2,95	4,21	4	3,3
Patlama Sınırı (%)	1,4-11,3	1,4-9,8	1,5-12	2,4-8
Kendi Kendine Tutuşma Sıcaklığı (°C)	340	390	430	490

En ideal izomer olarak gösterilen n-bütanol yakıt özellikleri bakımından dizel yakıtına daha yakın özellikler gösterir. n-bütanol dizel yakıtı ile karışımlarında herhangi bir faz ayrışımı olmaksızın ve katkı maddelerine gerek duyulmadan iyi bir çözünme gerçekleştirebilir (Atmanlı, 2013).

3.2. Bütanol üretimi

Bütanol, ABE (Aseton-Bütanol-Etanol) metoduyla elde edilebilirken, içeriğinde şeker bulunan bütün biyolojik kaynaklardan üretilebilir. Şekil 3.2’de bütanolün üretim sisteminin şematik gösterimi verilmiştir (Hışır, 2010).



Şekil 3.2. Bütanol üretiminin şematik gösterimi (Hışır, 2010)

Şekil 3.2’de bütanol üretiminde mayalanabilir bir madde olan buğday samanı hammadde olarak seçilmiştir. Hammaddenin hidroliz edilmesi gerektiğinden direkt olarak fermentasyon işlemine alınmaz. İlk olarak bu hammadde hidroliz ünitesinde enzimler yardımıyla hidroliz aşamasından geçer ve daha sonra ön işlem basamağına geçilir. Ön işlem aşamasında pentoz ve hekzan şekerleri asit, alkali ya da amonyak patlaması yöntemleri kullanılarak oluşturulurlar. Fermentasyon ünitesine geçildiği zaman mayalanma işlemi için bakteriler ile az miktarda CaCO_3 (kalsiyum karbonat) eklenir. CaCO_3 eklentisi, mayalanma için yardımcı olan bir tampon görevi görür. Fermentasyonun süresi 48-50 saat, en uygun sıcaklığı ise 30 ve 37 °C arasındaki değerlerdir. Oluşan ürün destilasyon ünitesine aktarıldıktan sonra soğutulup günlük depolarda beklemeye alınır. Susuzlaştırma yani retifikasyon basamağında alkol 99°C’de sabit sıcaklıkta bir süre kaynatılarak kötü kokan ve uçucu maddeler uzaklaştırılmış olur. Son olarak aldehit keton gibi gazların atmosfere atıldığı mertebe olan yoğunlaştırıcıda, üst kısımdaki alkol buharı suyun yardımı ile soğutulur (Örs, 2016). Bütanol fermentasyonun dışında başka yollarla da üretilmektedir.

4. MATERYAL VE METOT

Bu bölümde ilk aşamada piyasadan temin edilen n-bütanolün kimyasal ve fiziksel özellikleri tespit edilmiştir, buna göre kullanılan malzeme ve materyaller ile ilgili bilgi verilmiştir. Daha sonra bütanol %10, %20 ve %30 dizel yakıtına katılması suretiyle bütanol dizel (%90 dizel yakıtı+%10 bütanol = D90B10, %80 dizel yakıtı+%20 bütanol= D80B20 ve %70 dizel yakıtı+%30 bütanol = D70B30) karışımları ile saf dizel yakıtı (D100) yakıt numuneleri oluşturulmuştur. Bu numunelerin yakıt özelliklerinin öğrenilmesi için F.Ü. Kimya Lisans laboratuvarlarında bulunan cihazlardan yararlanılmıştır.

İkinci aşamada, yakıt özellikleri tespit edilen bütanol dizel yakıtı karışımları (D90B10, D80B20 ve D70B30) ile standart dizel yakıtı (D100) yakıtlarının tek silindirli, common rail enjeksiyon sistemli ve hava soğutmalı bir dizel motorunda motor performans ve egzoz emisyon parametrelerinin incelenmesi için Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Otomotiv Mühendisliği Bölümünde bulunan motor test laboratuvarında deney düzeneği oluşturulmuştur. Deney düzeneğinde bulunan materyaller ve deneylerin nasıl gerçekleştirildiği ile ilgili bilgiler bu bölümde aktarılmaya çalışılmıştır. Ayrıca değerlendirme kısmında değinilecek olan motor efektif gücü, efektif özgül yakıt tüketimi ve efektif motor momenti, egzoz emisyonlarının (CO₂, CO, HC, NO_x ve PM) nasıl ölçüldüğü bu bölümde anlatılmıştır.

4.1. Deney Araçları

Deneyler Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Otomotiv Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Test çalışmalarının yapıldığı deney düzeneği Şekil 4.1’de, test düzeneğinin şematik görüntüsü ise Şekil 4.2’ de gösterilmiştir.

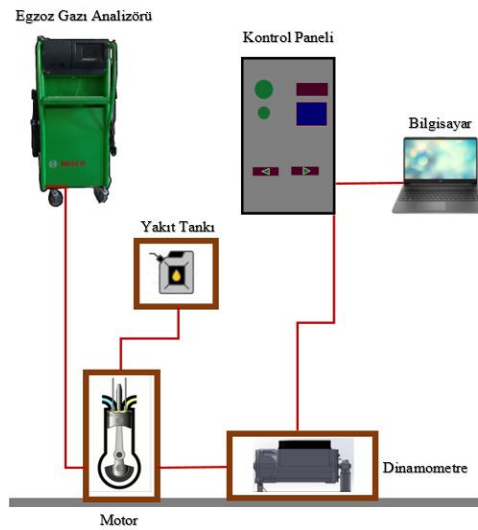
Bu deney motorundan istenilen verimlerin alınabilmesi için motor tamamen sökülerek piston, segman, biyel yatağı, üst kapak contası, sızdırmazlığı sağlamak amacıyla karter contası, külbütör contası ve kapak contası gibi parçalar değiştirilmiştir. Motor çıkış milinin dinamometre ile bağlantısını sağlayan şafttaki boşluklar tamamen giderilerek emniyetli bir çalışma ortamı sağlanmıştır. Ayrıca motor senteye getirilerek supap ayarı ve yakıt ayarı gibi ayarları da yapılmıştır.



Şekil 4.1. Deney düzeneği

Test motorunun tahrik ettiği elektrikli dinamometre, moment testleri için deney seti ile beraber tasarlanmış bir dinamometredir. Bu dinamometre 3000 d/d'ye kadar maksimum 475 Nm yükleme yapılabilmesine imkân vermektedir. Dinamometre üzerinden alınan döndürme momenti verileri elektrik sinyallerine dönüştürülerek bilgisayar ortamına aktarılmakta ve bilgisayarda bulunan Mototest adında bir program vasıtasıyla bu değerler kaydedilmektedir.

Motorla dinamometrenin irtibatı, motor çıkış mili ile dinamometre arasına bağlanan bir şaft vasıtasıyla sağlanmaktadır. Volan dişleri vasıtasıyla devir sayısı ölçülmektedir. Dinamometrenin ve motorun soğutulması, şehir şebeke suyuyla bağlı bir sistem vasıtasıyla sağlanmaktadır. Şekil 4.2'de deneylerde kullanılan test düzeneğinin resmi görülmektedir.



Şekil 4.2. Motor test düzeneğine ait şema

Saf dizel ve bütanol ile dizel karışımlarının oluşturduğu yakıtların test edilebilmesi için Cussons P8160 model, elektrikli dinamometre mekanizmasına sahip bir motor test tezgâhı kullanılmıştır. Motor test mekanizması Şekil 4.3'te gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Cussons P8160 model motor test tezgâhı

4.2. Deneyde Kullanılan Dizel Motor

Dizel yakıtı (D100 yakıtı) ile karıştırılarak üretilen bütanol dizel yakıtı karışımlarının (D90B10 yakıtı, D80B20 yakıtı ve D70B30 yakıtı) yanma sonunda oluşan egzoz emisyonları, motor efektif gücü, motor efektif momentı ve özgül yakıt tüketimi gibi değişkenlerin nasıl etkilendiğini incelemek için tek silindirli, iki zamanlı, enjeksiyon sistemli ve hava soğutmalı ANTOR 6LD 400 markalı bir motor kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan motor Şekil 4.4'te gösterilmektedir. Deney motorunun özellikleri Tablo 4.1' de verilmiştir.



Şekil 4.4. Deneysel çalışmada kullanılan dizel motor

Tablo 4.1. Kullanılan dizel motorunun teknik özellikleri (Tekdoğan, 2020)

Marka/Model	ANTOR 6LD 400
Motor Tipi	Dizel, Tek Silindirli
Püskürtme Şekli	Direkt Püskürtmeli
Soğutma Şekli	Hava Soğutmalı
Çalışma Şekli	İpli
Verim Kapasitesi	Yüksek
Güç	8,5 HP
Ağırlık	45 kg
Tork	2 kg.m @2200 d/d
Strok Sayısı	4
Silindir Çapı	86 mm
Silindir Hacmi	395,0 cc
Püskürtme Basıncı	200 kg/cm ²
Sıkıştırma Oranı	18/1
Karter Yağ Kapasitesi	1,2 lt
Yağ Tüketimi	11,5 gr/h

4.3. Egzoz Emisyon Ölçüm Cihazı

Yapılan çalışmada egzoz emisyonlarını ve is değerlerini ölçmek amacıyla BOSH marka egzoz gazı analizörü kullanılmıştır. Bu cihaz ile hidrokarbon ve azot oksit emisyonları ppm cinsinden, karbonmonoksit, karbondioksit ve is verileri ise % cinsinden ölçülmektedir. Bu cihaz emisyon değerlerini anlık olarak ölçebilmektedir. Testlerde kullanılan emisyon analiz cihazı Şekil 4.5'te, cihaza ait özellikler de Tablo 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.5. BOSCH marka egzoz emisyon analizörü

Tablo 4.2. BOSH marka egzoz emisyon cihazının özellikleri (Tekdoğan, 2020)

Parametreler	Ölçüm Aralıkları	Hassasiyet
O ₂	0-21,7 %	0,01 %
CO	0-10 %	0,001 %
CO ₂	0-18 %	0,01 %
HC	0-9,999 ppm	1 ppm
NO _x	0-5000 ppm	≤ 1 ppm

4.4. Kullanılan Deney Yakıtları

Testlerde kullanılmak üzere dizel yakıtı farklı oranlarda bütanol eklenerek üç farklı karışım elde edilmiştir. Bu karışımlar, %10 bütanol+%90 dizel, %20 bütanol+%80 dizel, %30 bütanol+%70 dizel olarak belirlenmiştir ve sırasıyla yukarıda belirtildiği gibi D90B10 yakıtı, D80B20 yakıtı ve D70B30 yakıtı olarak adlandırılmışlardır. Deneyde kullanılan yakıtlar öncelikle Şekil 4.6’da görüldüğü üzere karıştırıcı ile bir kaptaki karıştırılmıştır.



Şekil 4.6. Dizel ve bütanol yakıtlarının karıştırılması

Motor çalışma rejim sıcaklığına geldikten sonra hazırlanan yakıtlar test edilmiştir. Deneyde kullanılan bütanol eklentili dizel yakıtlar Şekil 4.7’de verilmiştir.



Şekil 4.7. Deneylerde kullanılan yakıt karışımları

Deneylere ilk olarak saf dizel yakıtı kullanılarak başlanmıştır. Daha sonrasında bütanol katkılı dizel yakıtı ile testlere devam edilmiştir. Deneylerde kullanılan dizel-bütanol yakıt karışımları Tablo 4.3’te gösterilmektedir.

Tablo 4.3. Bütanol-dizel yakıtı karışımları

Karışım Yakıtın Adı	Dizel Yakıt Miktarı (%)	1-Bütanol Miktarı (%)
D100	100	0
D90B10	90	10
D80B20	80	20
D70B30	70	30

Adlandırılan bu yakıt karışımlarının ve dizel yakıtının özellikleri Tablo 4.4’te gösterilmiştir.

Tablo 4.4. 20 °C’de dizel yakıtı ve n-bütanol karışımlı yakıtların kimyasal ve fiziksel özellikleri

Yakıt Özellikleri	Dizel Yakıt (D100)	D90B10	D80B20	D70B30
Yoğunluk (kg/m ³)	830	828	826	824
Setan Sayısı	50	46,7	43,4	40,1
Molekül Ağırlığı (kj/kmol)	170	160,4	150,8	141,2
Buharlaşma Isısı (kj/kg)	250	283,5	317	350,5
Stokiyometrik H/Y Oranı	15	14,62	14,24	13,86
Isıl Değeri (Mj/kg)	43	42	41	40
Viskozite (mm ²) (40 °C)	2,6	2,7	2,8	2,9

4.5. Kullanılan Yakıt Miktarı Ölçümü

Testlerde yakıt sarfiyatını ölçmek için dereceli bir kap kullanılmıştır. Yakıt bir pet şişeye konularak şişe derecelendirilmiş ve hacimsel olarak 10 ml yakıtın ne kadar sürede tüketildiği kronometre kullanılarak ölçülmüştür. Ölçülen değerler özgül yakıt tüketimi hesaplamalarında kullanılmıştır.

4.6. Dizel Motor Parçalarının Temizlenmesi İşlemi

Deneylerde kullanılan bütanol katkılı yakıtların motor elemanları üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla motor parçaları sökülüp temizlenmiş ve tekrar toplanmıştır. Yapılan işlemde piston segman takımı, enjektör memesi ve silindir üst kapağı ile supaplar temizlenmiştir. Aşağıdaki şekillerde görüldüğü üzere motor elemanları incelenmek için zımpara ve tel fırça kullanılarak temizlenmiştir. Contalar değiştirilmiş ve yağlanmıştır. Daha sonra bu motor elemanları tekrar monte edilmiştir.

Deneylerden sonra bu motor elemanları üzerinde meydana gelen deformasyon izleri ve kurumlar incelenmiştir. Kullanılan dizel motorunun temizlenen parçaları Şekil 4.8 (a)’da Emme ve egzoz supapları, Şekil 4.8 (b)’de Yakıt enjektörü, Şekil 4.8 (c)’de Piston üzerindeki segmanlar ve Şekil 4.8 (d)’de Pistonun üstten görüntüsü verilmiştir.



(a)



(b)



(c)



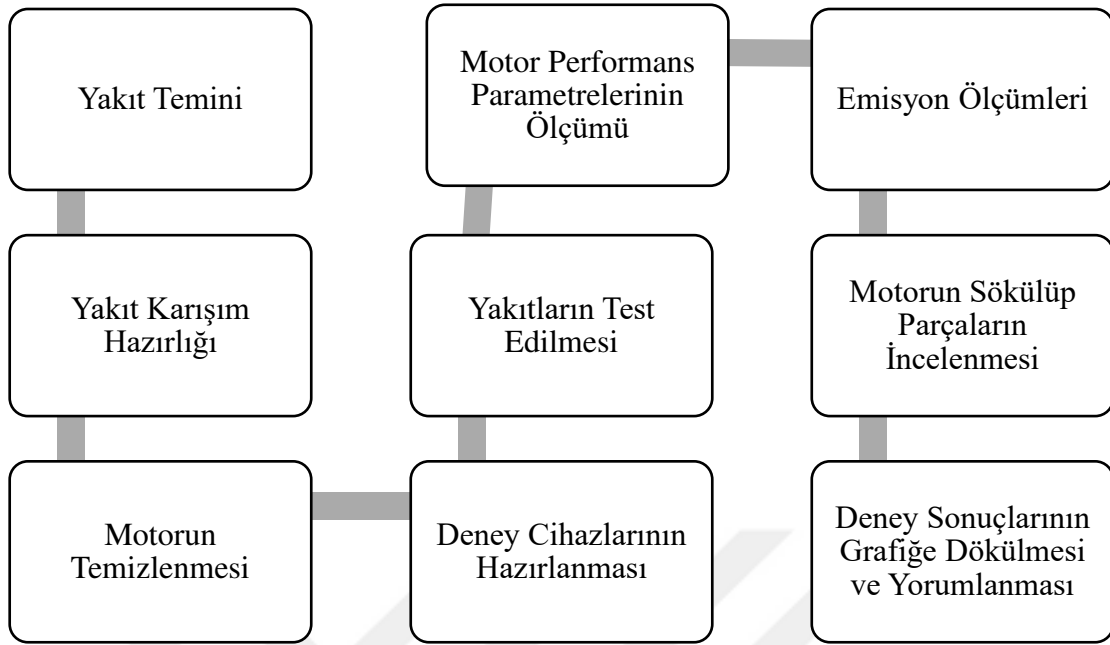
(d)

Şekil 4.8. (a) Emme ve egzoz supapları, (b) Yakıt enjektörü, (c) Piston üzerindeki segmanlar, (d) Pistonun üstten görüntüsü

4.7. Yakıtların Dizel Motorda Test Edilmesi

Deneye başlamadan önce motorda dizel yakıt kullanılarak motorun çalışma rejim sıcaklığına ulaşması sağlanmıştır. Motor kararlı hale geldikten sonra deneylere %50 yük durumunda, 1600 d/d' da saf dizel yakıtı kullanılarak başlanmıştır. Daha sonra sırasıyla 1900 d/d, 2200 d/d, 2500 d/d ve 2800 d/d olmak üzere toplamda beş farklı devir aralığı için yakıt test edilmiştir. Test yakıtı aynı şekilde %100 yük durumunda tekrarlanarak deneylere devam edilmiştir. Deneyler esnasında her devir ve yükte motor performansı, emisyonlar, is ve yakıt tüketimi ölçümleri yapılmıştır. Her testten sonra motor beklemeye alınarak dinlenmesi sağlanmıştır.

Saf dizel için yapılan testlerden sonra D90B10 yakıtı, sırasıyla %50 ve %100 yüklerde, belirlenen dört devir aralığında test edilmiştir. Her yakıt için her devir ve yükte ayrı ayrı ölçülmüştür. Yakıt tüketimi hesaplanmış, motor performans, anlık emisyon ve is değerleri ölçümleri yapılmıştır. Deney yapım aşamaları Şekil 4.9'da gösterilmiştir.



Şekil 4.9. Motor deney akış diyagramı

4.8. Deneysel Hesaplamalar

Bir sıkıştırma ateşlemeli motorun performans değerlerinin tanımlanması için motorun gücü, momenti ve yakıt tüketiminin bilinmesi gerekir. Deney çalışmalarının neticesinde doğrudan bulunamayan bu parametrelerin hesaplanması için performans karakteristiklerini veren denklemler kullanılır. Deney motorun efektif gücü, motor momenti ve özgül yakıt tüketimi değerleri hesaplanmıştır.

4.8.1. Motor Gücü ve Motor Momenti

Deney motoru belirlenen devirlerde yarım ve tam yük altında çalıştırılmıştır. Motorun döndürme momenti 4.1’de verilen eşitlik ile hesaplanmıştır.

$$M_d = F * l \quad (\text{Nm}) \quad (4.1)$$

Motor tarafından üretilen güç ise döndürme momenti ile açısal hızın çarpımı ile bulunmaktadır. Motor milinden alınan efektif güç değeri 4.2’de verilen eşitlik ile hesaplanmıştır.

$$P_e = (M_d * 2\pi * n) / (60 * 1000) \quad (4.2)$$

Denklem sadeleştirilirse;

$$P_e = (M_d * n) / 9549 \text{ (kW)} \quad (4.3)$$

elde edilir.

Burada;

M_d = Döndürme momenti (Nm)

l = Moment kolu uzunluğu (m)

P_e = Efektif motor gücü (kW)

n = Motor devri (d/d)' dir.

4.8.2. Özgül Yakıt Tüketimi

İçten yanmalı dizel motorlarda, motorun birim zamanda birim güç elde edebilmesi için harcadığı yakıt miktarına özgül yakıt tüketimi denir. Motorun özgül yakıt tüketimi değeri 4.4 eşitliği ile hesaplanmaktadır.

$$b_e = (3600 * \Delta V * \rho_y) / (P_e * \Delta t) \text{ (g/kWh)} \quad (4.4)$$

Verilen formülde;

b_e = Özgül yakıt tüketimi (g/kWh)

ΔV = Yakıt hacmi (ml)

ρ_y = Yakıt yoğunluğu (kg/m³)

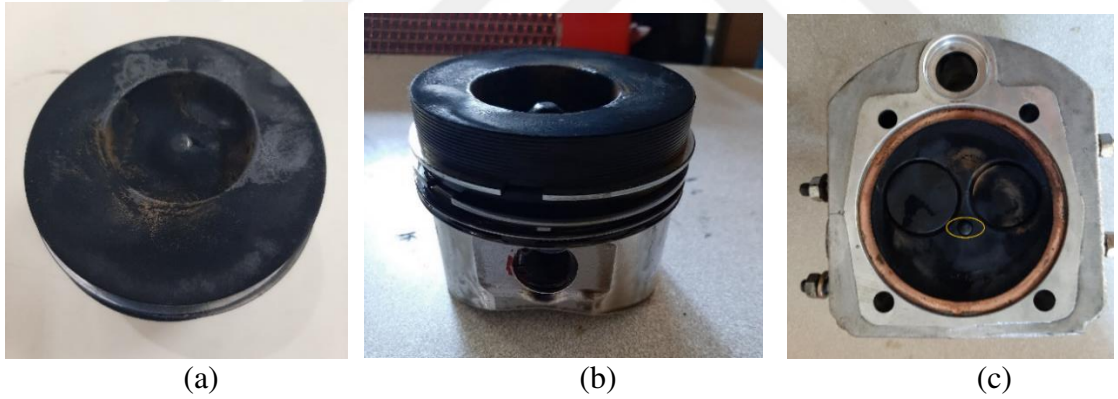
Δt = 10 ml yakıtın tüketilme süresi (s)' dir.

5. BULGULAR

Dizel yakıtı ve n-bütanol-dizel yakıt karışımlarının oluşturduğu D100 yakıtı, D90B10 yakıtı, D80B20 yakıtı, D70B30 yakıtları 1600, 1900, 2200, 2500 ve 2800 d/d olmak üzere 5 farklı motor devrinde, %50 ve %100 yük şartlarında deneyler yapılmıştır. Yapılan testlerin sonuçları grafikler halinde verilerek motor performans parametreleri ve egzoz emisyonları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

5.1. Motor Elemanlarının İncelenmesi

Bütanol ve dizel yakıtı karışımları motor üzerinde test edilip deney sonuçları alındıktan sonra motor bir tezgâhta sökülerek piston, segman, enjektör memesi ve supaplar üzerinde meydana gelen kurumlara bakılarak bu parçaların herhangi bir deformasyona uğrayıp uğramadığı incelenmiştir. Bu parçalarda oluşan kurum yani is izleri Şekil 5.1 (a) Pistonun üstten görünüşü, Şekil 5.1 (b) Segmanların görünüşü ve Şekil 5.1 (c) Supaplar ve enjektör memesi görünüşü verilmiştir.



Şekil 5.1. (a) Pistonun üstten görünüşü, (b) Segmanların görünüşü, (c) Supaplar ve enjektör memesi görünüşü

Yapılan incelemeler ve ölçümler sonucunda motor elemanları üzerinde herhangi bir deformasyonun oluşmadığı gözlemlendi. Fakat deneylerin uzun zaman alması ve yanmanın bazı yük ve devir aralıklarında kötüleşmesinden dolayı piston yüzeyinde ve Şekil 5.1 (c)'de sarı alan ile gösterilen enjektör memesinde fazla kurum oluşumu olduğu görüldü. Segman takımlarında da herhangi bir değişim izi ya da bozulmaya rastlanmamıştır.

5.2. Motor Performansı

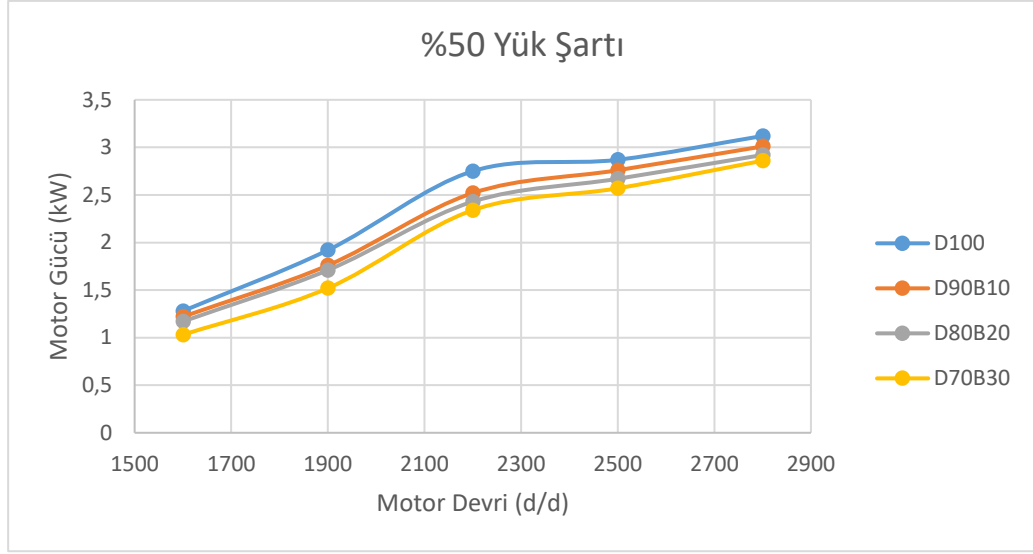
Motorun çalışması sırasında motor gücü, motor momenti, motorda oluşan ısı değeri, sarf edilen yakıt miktarı vb. gibi değerler motor performansı olarak adlandırılır. Motor performans testleri dinamometre cihazı kullanılarak yapılır. Manuel, otomatik, önden çekişli ve arkadan çekişli araçların motor gücünün ve momentinin minimum hata payı ile ölçülmesi ve grafikler ile anlaşılır şekilde raporlanmasına motor performans testi denir.

5.2.1. Motor Gücü

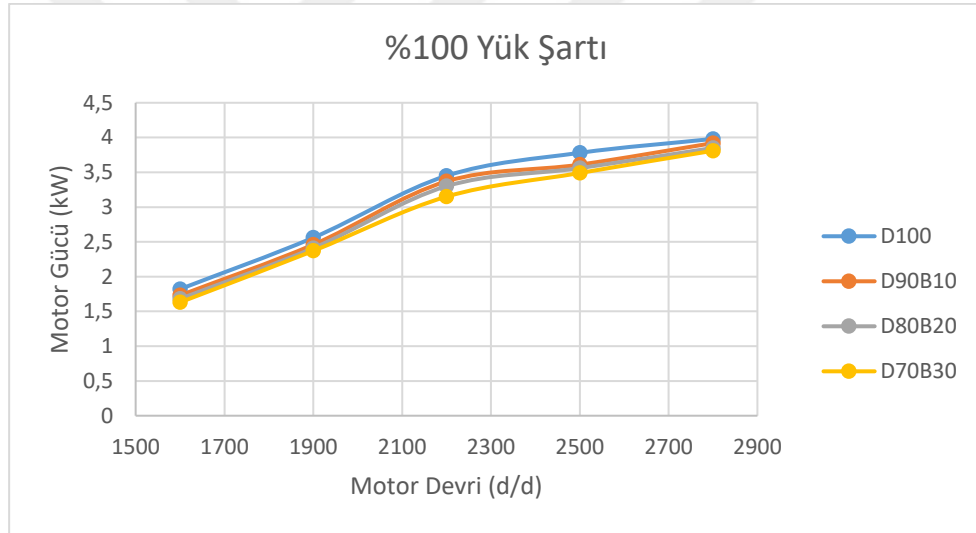
Motor gücünün motor devrine bağlı olarak değişimi motor gücü ve motor devri eksenlerinde grafik haline getirilerek değerlendirilmiştir. Şekil 5.2 ve Şekil 5.3'te %50 yük ve %100 yük şartında n-bütanolün dizel yakıtı karışımlarının farklı motor yük ve devirlerinde motor gücüne etkisi gösterilmiştir. Şekiller incelendiği zaman motorun düşük devirlerinde güç düşüktür ve yüksek devirlere doğru artış göstermiştir. 2800 d/d'dan sonra motor gücü düşüş göstermiştir. Bunun sebebi motor parçalarından oluşan sürtünmeler ve yeteri kadar yakıtın içeriye alınmaması ile yanma olayının motor hızından dolayı bozulmasıdır.

Motor gücü, yakıtın ısı değeri, yoğunluğuna, viskoziteye ve yanmaya bağlı olarak değişen önemli motor performans parametrelerindendir. Yüksek viskoziteye sahip bir dizel yakıtı, pompa plancırında gerekli olan yakıtın dolmamasına sebep olur ve bu da motorun volümetrik verimini azaltmaktadır. Buna bağlı olarak motor gücünde düşme olur (Algayyim vd., 2017, 2018; Bharti vd., 2021; Çelebi, 2017; Çıtak, 2014; Singh vd., 2020).

Şekil 5.2 incelendiği zaman bütanol katkılı yakıtların yanında dizel yakıtının motor gücüne etkisi daha yüksektir. Ondan sonra %10 bütanol katkılı yakıtın motor gücüne etkisi yüksektir. Bu durum yakıtın ısı değeri ile izah edilebilir. Dizel yakıtı ile D90B10 yakıtının ısı değerleri arasında %2'lik bir fark vardır. Güç bakımından ise %3'lük bir fark vardır.



Şekil 5.2. %50 yükte n-bütanol dizel karışımlarının motor gücüne etkisi



Şekil 5.3. %100 yükte n-bütanol dizel karışımlarının motor gücüne etkisi

Şekil 5.2 ve Şekil 5.3'te görüldüğü üzere n-bütanol eklentili deney karışım yakıtlarının motor gücünde standart dizel yakıtına göre düşme olduğu sonucuna ulaşılmıştır. 2800 d/d motor devrinde, tüm test yakıtlarında ve yüklerde motor gücü maksimum seviyeye ulaşmıştır. D100 yakıtı %50 ve %100 yük şartlarında bütün motor devirlerinde en yüksek değerleri vermiştir.

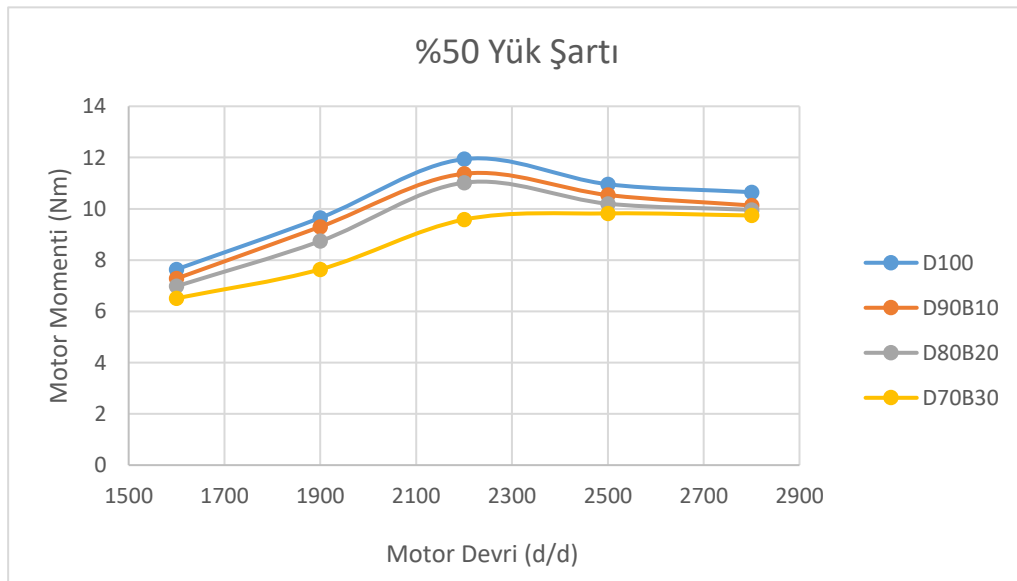
Dizel yakıtına n-bütanol ilave edilmesi ve n-bütanol yüzdesinin artması efektif motor gücü değerlerini azaltmıştır. Bu azalmanın sebepleri arasında n-bütanolün ısı değeri standart dizel yakıtından daha düşük olmasıdır. En düşük motor gücü D70B30 yakıtında 1600 d/d motor devrinde görülmektedir ve %50 yük şartında bu değer 1,03 kW iken %100 yükte 1,63 kW' tır. %100 yük durumunda deneylerden maksimum güç verileri elde edilmiştir.

5.2.2. Motor Momenti

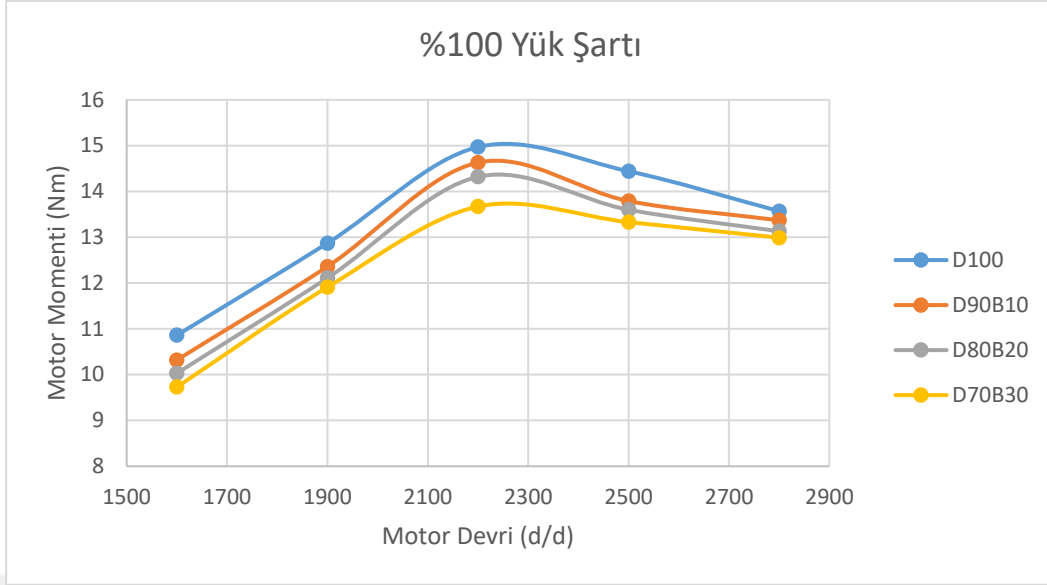
İçten yanmalı motorların performans kapasitelerini belirleyen bazı karakteristikler vardır. Bu karakteristikler vasıtasıyla motorların yaktığı yakıt miktarı, taşıyabileceği maksimum yük miktarı ve güç gibi değerler belirlenmektedir. Bu karakteristiklerden biri motor momenti diğer bir deyişle motor torkudur. Motor momenti motorun döndürme kuvveti demektir yani bir motorun yük taşıma kapasitesi ile ilgili bilgileri içermektedir.

İçten yanmalı bir motorun moment karakteristiği incelendiğinde devir sayısına bağlı olarak moment miktarı belirli bir maksimum noktaya ulaştıktan sonra düşme eğilimine girmektedir. Bunun nedeni belirli bir devirden sonra motor içine emilen hava miktarının azalmasıdır. Motor içine alınan hava miktarının azalmasıyla birlikte volümetrik verim düşer; bu da silindir içerisinde meydana gelen yanma olayının kötüleşmesine ve dolayısıyla silindir içi basıncın düşmesine neden olur. Silindir içinde düşen basınç; momenti oluşturan yanma kuvvetinin azalmasına yol açar. İşte bu momentin olduğu maksimum noktası içten yanmalı motorun en optimum çalıştığı aralıktır. Bu maksimum noktadan sonra motorun yüklenmesi yakıt tüketimini artırsa da motor momenti düşmeye başlar.

Motor momenti, efektif motor gücü ile ilişkilidir. Bundan dolayı moment değerlerini, aynı motor devrindeki motor gücü doğrudan etkilemektedir (Çıtak, 2014; Nabi vd., 2017; I. Örs vd., 2018). Deneylerde elde edilen moment verileri grafik haline getirilerek dizel yakıtı ve bütanol katkılı diğer yakıtların farklı motor devirlerinde ve farklı yüklerdeki motor momentine etkisi Şekil 5.4 ve Şekil 5.5'te gösterilmektedir.



Şekil 5.4. %50 yükte n-bütanol dizel karışımlarının motor momentine etkisi



Şekil 5.5. %100 yükte n-bütanol dizel karışımlarının motor momentine etkisi

Şekil 5.4 ve Şekil 5.5 incelendiği zaman maksimum moment değerlerine D100 yakıtı ve bütanol katkılı tüm yakıtlarda 2200 d/d'da ulaşılmıştır. D100'de elde edilen en büyük değerler %50 yük şartında 11,94 Nm iken %100 yükte 14,97 Nm'dir. Minimum değer her iki yükte de 1600 d/d'da D70B30 yakıtında ölçülmüştür. Dizel yakıtındaki n-bütanol oranının artmasıyla moment değerlerinin düştüğü görülmektedir. Bu düşme eğilimi bütanol yakıtının alt ısı değerinin dizel yakıtından daha düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Tüm motor devirlerinde D70B30 yakıtının moment değeri standart dizel yakıtına göre %50 ve %100 yükte sırasıyla yaklaşık %15 ve %7,6 oranlarında düşmüştür.

Diğer test numuneleri D90B10 yakıtı, D80B20 yakıtı, D70B30 yakıtları dizel yakıtına göre daha düşük değerlerde tork üretmiştir. Bunun nedeninin bu yakıtların alt ısı değerinin dizel yakıtından daha düşük olması nedeniyle yanma sonu basınçlarının düşük kalması ve motor moment değerlerinde azalmaya sebep olduğu düşünülmektedir. Ayrıca bütanol ile karıştırılan katkılı yakıtların ısı değerinin düşük olması yakıt numunelerinin alt ısı değerlerini düşürmekte ve bunun da yanma verimini olumsuz yönde etkilediği düşünülmektedir.

5.2.3. Özgül Yakıt Tüketimi

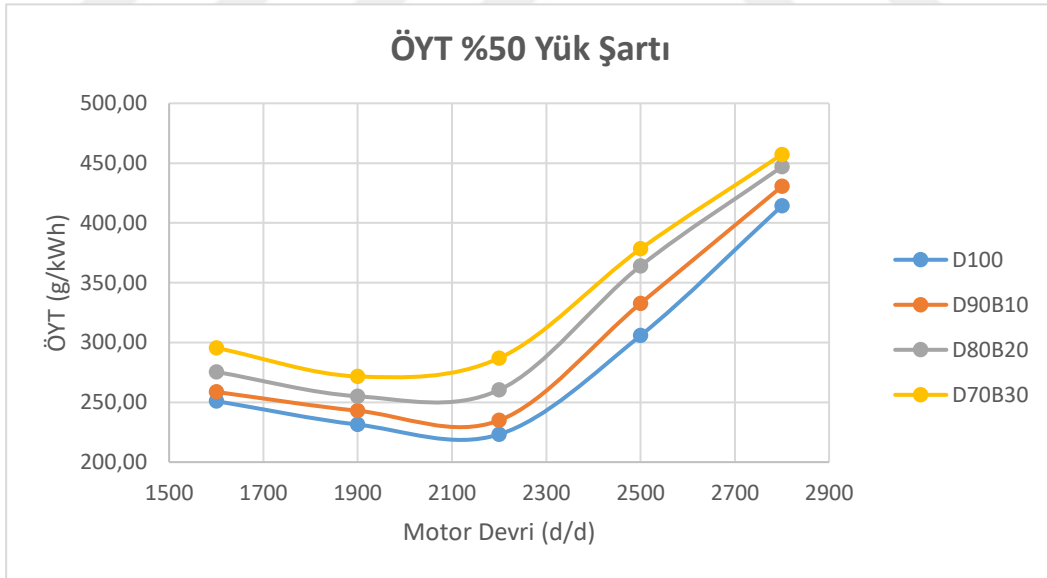
Özgül yakıt tüketimi içten yanmalı bir motorun saatte güç birimi başına tükettiği yakıt miktarının gram cinsinden değeri şeklinde tanımlanır. İçten yanmalı bir motorun çalışması sırasında ne kadar yakıt tüketildiğini göstermesi bakımından önemli bir parametredir. Her motorda özgül yakıt tüketimi silindir sayısı, silindir hacmi, yanma odası tasarımı, yakıt sistemi

tasarımı, sıkıştırma, aşırı doldurma kullanılan yakıtın alt ısı değeri ve yoğunluğu gibi değişkenlere göre farklılık göstermektedir.

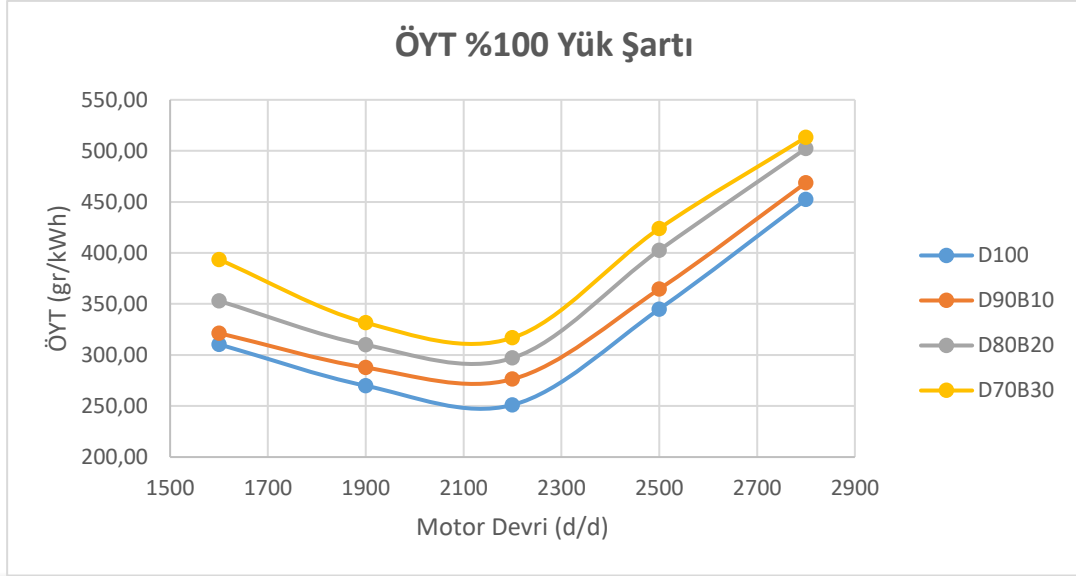
Motor performans karakteristik eğrileri içinde özgül yakıt tüketimi, motor devrinin artışıyla birlikte önce belirli bir minimum noktasına kadar azalma göstermekte ve bu minimum noktasından sonra devir sayısının daha da artırılması ile birlikte artış eğilimine girmektedir. Motor ilk çalıştırıldığı andan itibaren sürtünmeler fazla olduğu için özgül yakıt tüketimi fazladır. Gaz pedalına basılıp motor devri artırılınca sürtünmeler azalacağı için özgül yakıt tüketimi de belirli bir noktaya kadar azalır. Özgül yakıt tüketiminin azaldığı minimum noktasından sonra, artan yüklerle birlikte motor hızının da artmış olması daha fazla yakıt tüketimini gerektirmektedir. Bu nedenle silindir içine gönderilen yakıt miktarının artışı özgül yakıt tüketimi değerlerinde artış görülmesine neden olur.

Özgül yakıt tüketimi aynı zamanda, yanma kalitesini belirler. Dizel motorlarda belirli bir yük koşulunda test yakıtlarında saatte bir kilowatt güç temin edilebilmesi için gereken toplam yakıt enerjisi miktarına denir. ÖYT değeri esas olarak yakıtın viskozitesi ve ısı değerine bağlıdır (Karagöz, 2020; Özer, 2020; Rajak vd., 2020; Şahin & Aksu, 2015).

D100, D90B10, D80B20 ve D70B30 deney yakıtlarının motor yüküne bağlı olarak ÖYT değişimleri Şekil 5.6 ve Şekil 5.7’de verilmiştir.



Şekil 5.6. %50 yükte n-bütanol dizel karışımlarının özgül yakıt tüketimine etkisi



Şekil 5.7. %100 yükte n-bütanol dizel karışımlarının özgül yakıt tüketimine etkisi

Şekil 5.6 ve Şekil 5.7 incelendiği zaman n-bütanol, dizel yakıtı kıyasla daha düşük ısı değere sahip olduğundan n-bütanol oranı arttıkça özgül yakıt tüketimi değerleri de yükselmektedir. Düşük oranda ısı değere sahip yakıtların, aynı efektif gücü sağlamak için yanma odasına daha yüksek miktarda yakıt püskürtmesi ÖYT değerinde artışa sebep olur. Deney yakıtlarında en yüksek ÖYT değerinin motorun 2800 d/d'de, D70B30 yakıtında %50 ve %100 yükte sırasıyla 457,23 g/kWh, 513,34 g/kWh değerlerinde görülmüştür. Maksimum tork değeri bütün yakıtlar için 2200 d/d motor devrinde elde edildiğinden en düşük ÖYT değeri de 2200 d/d motor devrinde görülmektedir. 2200 d/d motor devrinde D90B10, D80B20 ve D70B30 yakıtları standart dizele göre %50 yükte sırasıyla D90B10 için %15,2; D80B20 için %16,6 ve D70B30 için %28,5 oranında artış göstermiştir. Tam yük şartında bu değerler sırasıyla yaklaşık D90B10 için %10,1; D80B20 için %18,3 ve D70B30 için %26,2 oranlarında artmıştır.

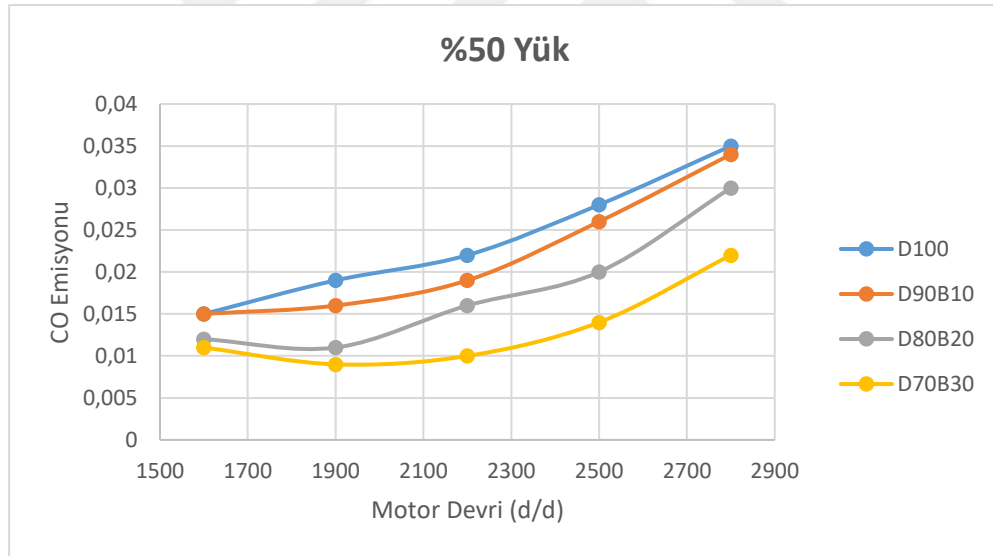
5.3. Egzoz Emisyon Değerleri

İçten yanmalı motorlar, silindir içerisinde hava ile yakıtın yakılması sonucu meydana gelen kimyasal reaksiyonlarla elde edilen ısı enerjisinin mekanik enerjiye dönüşmesi suretiyle çalışan bir mekanizmaya sahiptir. Yanma reaksiyonları sonucunda tabii olarak CO, CO₂, NO_x, HC, is, yakıtın yapısında bulunan kükürtten dolayı sülfür oksit bileşikler gibi bazı emisyonlar ortaya çıkmaktadır. Bu bileşiklerden birçoğu çevre ve insan sağlığı bakımından bazı sakıncalar doğurmaktadır. Dolayısıyla kullanılacak olan yakıt belirlenirken bu emisyonları minimum seviyelere indirecek özelliklerde olması istenir.

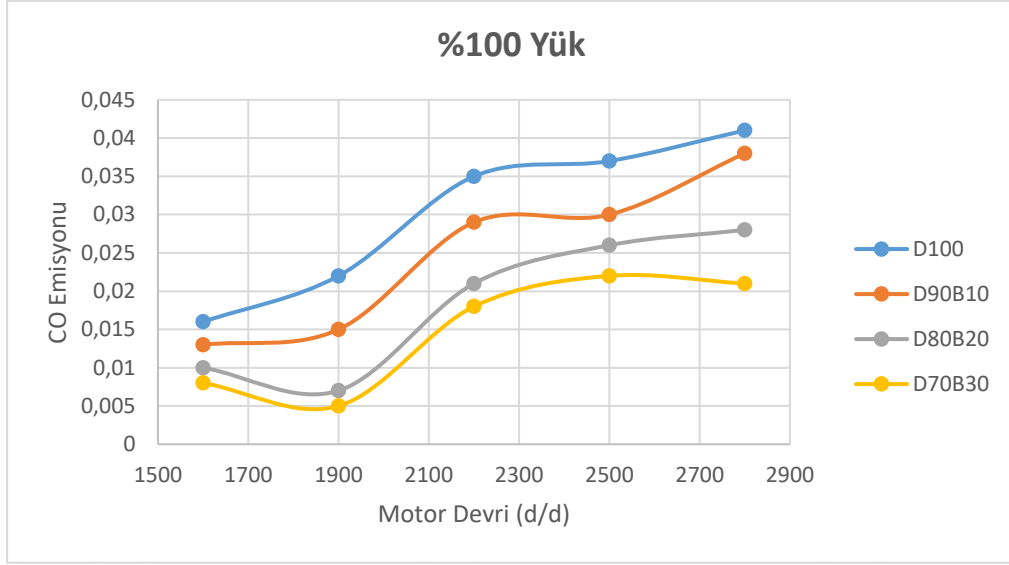
Bu tez çalışmasının amaçlarından biri de bütanol ile belli oranlarda karıştırılan dizel yakıtı içindeki bütanol oranlarının motorun egzoz emisyon parametreleri üzerinde nasıl bir etki gösterdiğini incelemektir. Hata oranını azaltmak amacıyla her ölçüm iki defa tekrarlanmıştır. Alınan egzoz emisyon verileri derlenerek iki deneyin ortalamaları alınmış ve dizel yakıtıyla karşılaştırılması için grafik haline getirilmiştir. Aşağıda bu emisyonların değerlendirmeleri yapılarak yorumlanmıştır.

5.3.1. Karbonmonoksit (CO) Emisyonu

Herhangi bir renge ve kokuya sahip olmayan karbonmonoksit (CO) emisyonu, yanma esnasında yakıtların oksijen miktarının düşük olması sebebiyle yeteri kadar oksijenle reaksiyona girmemesinden oluşmaktadır. Oksijen yetersizliği ile karbon molekülleri oksijen ile tepkimeye giremez ve karbondioksit yerine eksik yanmadan dolayı karbonmonoksit oluşmuş olur (Ayyılmaz, 2012; Lee vd., 2020). Şekil 5.8 ve Şekil 5.9’da CO emisyonlarının farklı devirlerde yarım ve tam yüklerdeki değişimi verilmiştir.



Şekil 5.8. n-bütanol dizel karışımlarının %50 yükte CO Emisyonuna etkisi



Şekil 5.9. n-bütanol dizel karışımlarının %100 yükte CO emisyonuna etkisi

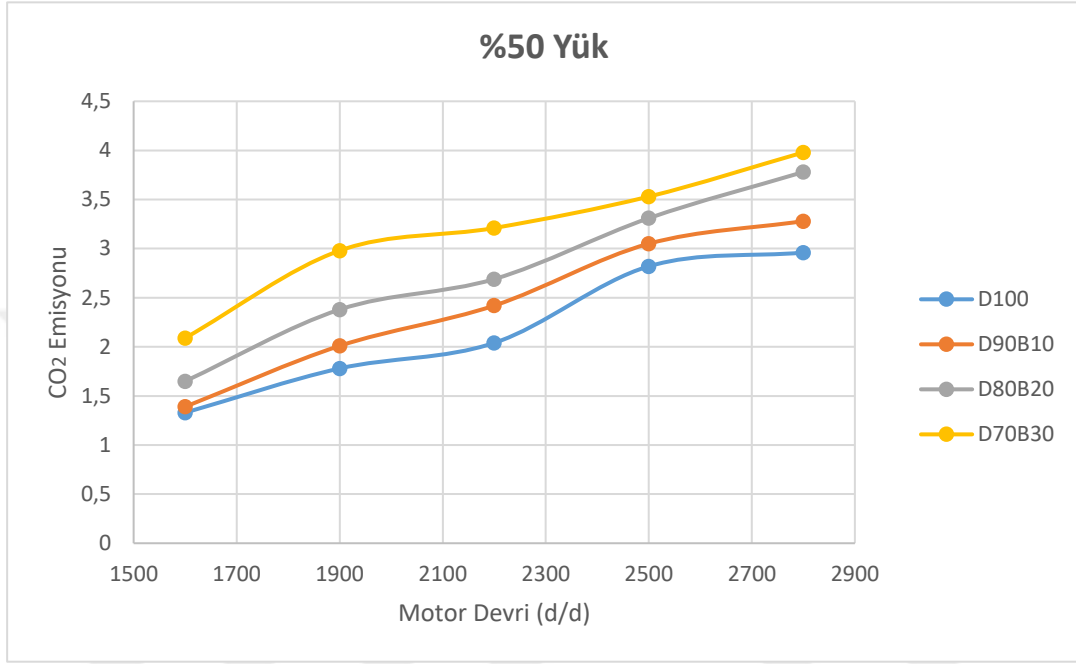
Şekil 5.8 ve Şekil 5.9’da verilen grafikler incelendiğinde, n-bütanol ve dizel karışımlarının CO emisyonunun dizel yakıtına göre daha düşük çıktığı görülmektedir. Bunun başlıca sebebi bütanol katkılı yakıtların içeriğindeki oksijen miktarıdır. Ayrıca n-bütanolün karbon sayısının standart dizel yakıtına göre az olması diğer bir etkidir. Yetersiz oksijen miktarı n-bütanol yakıtı ile giderilerek karbon atomlarının tam yanmasını sağlar ve böylece yanmada iyileşme olur. Hem %50 yükte hem de %100 yükte en yüksek CO emisyon değerlerinin tüm yüklerde D100 yakıtında olduğu görülmektedir. Tüm devirlerde tam yükteki D100 yakıtı, yarım yük şartına oranla yaklaşık %27 artmıştır. Motor yükü arttıkça CO emisyon değerlerinde de artış olmuştur. n-bütanol eklentisinin yüzdesi arttıkça, yakıtın CO emisyonlarının iyileştiği görülmüştür. Tüm devirlerde %50 yükte D70B30 deney yakıtının CO emisyonu saf dizele göre %44,5 oranında azalma göstermiştir. %100 yük şartında ise bu düşüş %51 civarındadır. Sonuçta dizel yakıtına göre bütanol katkılı yakıtların CO değerlerinin hepsi de düşük çıkmıştır.

5.3.2. Karbondioksit (CO₂) Emisyonu

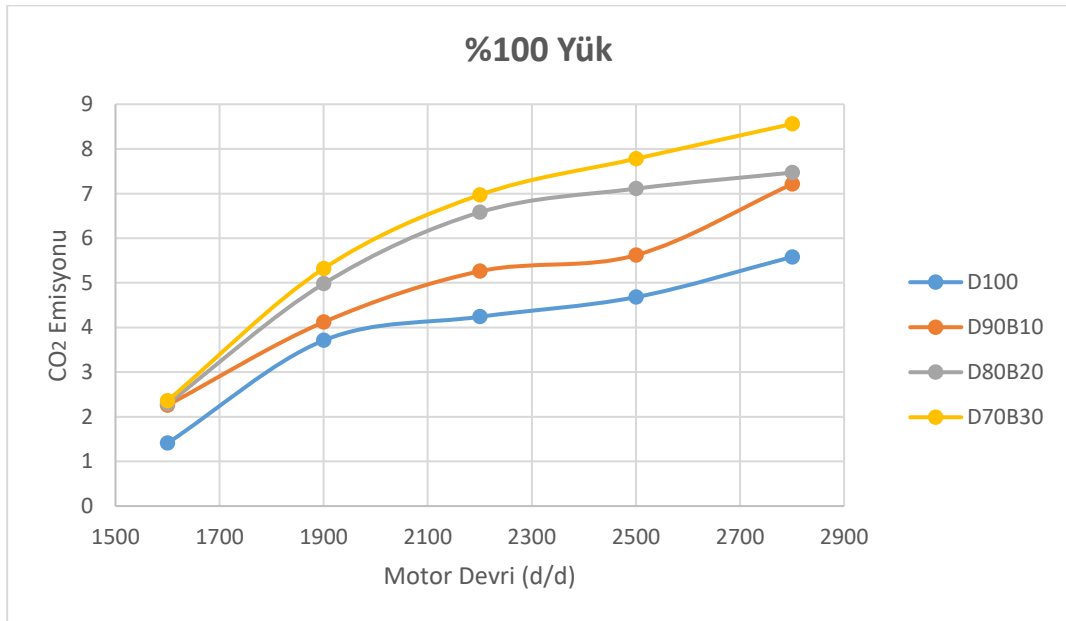
CO₂, atmosferde havanın doğal bileşenlerinden biri olan ve tam yanmanın gerçekleştiğini gösteren egzoz emisyonlarından biridir. CO₂, kirletici emisyonlar arasında olmamasına rağmen sera etkisi ve iklim değişikliklerini etkilemektedir. Yanma olayının sonunda ortaya çıkan esas bileşen CO₂ gazıdır. Bu bileşiğin emisyonları yanma olayının nasıl gerçekleştiği ile ilgili bilgi vermektedir. Şekil 5.10 ve Şekil 5.11’de CO₂ emisyonlarının değişik motor hızlarında bütanol katkısına göre değişimleri verilmiştir. Grafikler incelendiğinde dizel yakıtındaki bütanol katkısı arttıkça CO₂ emisyonlarında tüm yakıt numuneleri artış göstermiştir. Fazla CO oluşumu CO₂

miktarının azalmasına sebep olur ayrıca yakıtın hava/yakıt oranı CO₂ emisyonunu etkiler (Aydın & İlkılıç, 2017; Çelikten, 2010; Ergüder, 2019).

Şekil 5.10 ve Şekil 5.11’ de deney yakıtlarının farklı motor devirlerinde CO₂ emisyonu değişimi gösterilmiştir.



Şekil 5.10. n-bütanol dizel karışımlarının %50 yükte CO₂ Emisyonuna etkisi



Şekil 5.11. n-bütanol dizel karışımlarının %100 yükte CO₂ emisyonuna etkisi

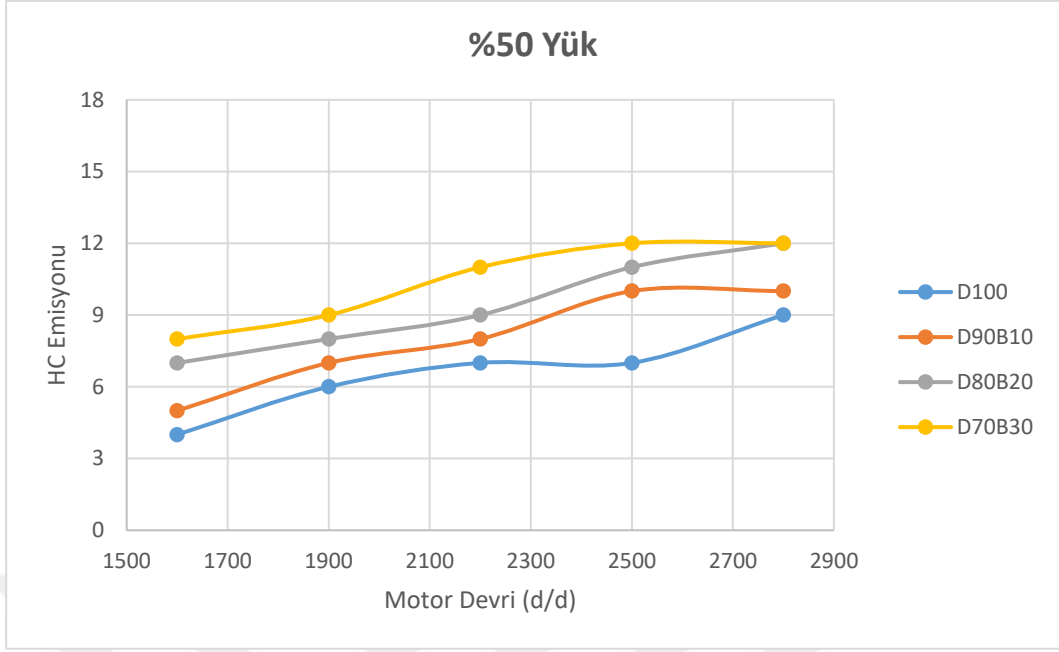
Verilen grafiklerde görüldüğü üzere, motor yükünün ve n-bütanol yakıt miktarının artmasıyla CO₂ emisyonlarında da artış olmuştur. CO₂ emisyonu CO' ya bağlı olduğundan CO miktarının azalması ile CO₂ artmıştır. D70B30 yakıtının diğer deney yakıtlarına göre her iki yük altında ve bütün devirlerde maksimum seviyede olduğu görülmektedir. CO₂ miktarının artması bütanolün yapısındaki oksijenden kaynaklanmaktadır ve bütanol seviyesi arttıkça doğru orantılı olarak yakıt içeriği de zenginleşmektedir. 2800 d/d motor hızında D70B30 yakıtının CO₂ emisyon değerleri dizele göre yarım yükte %44,5 ve tam yükte %58 oranında bir artış göstermiştir.

5.3.3. Hidrokarbon (HC) Emisyonu

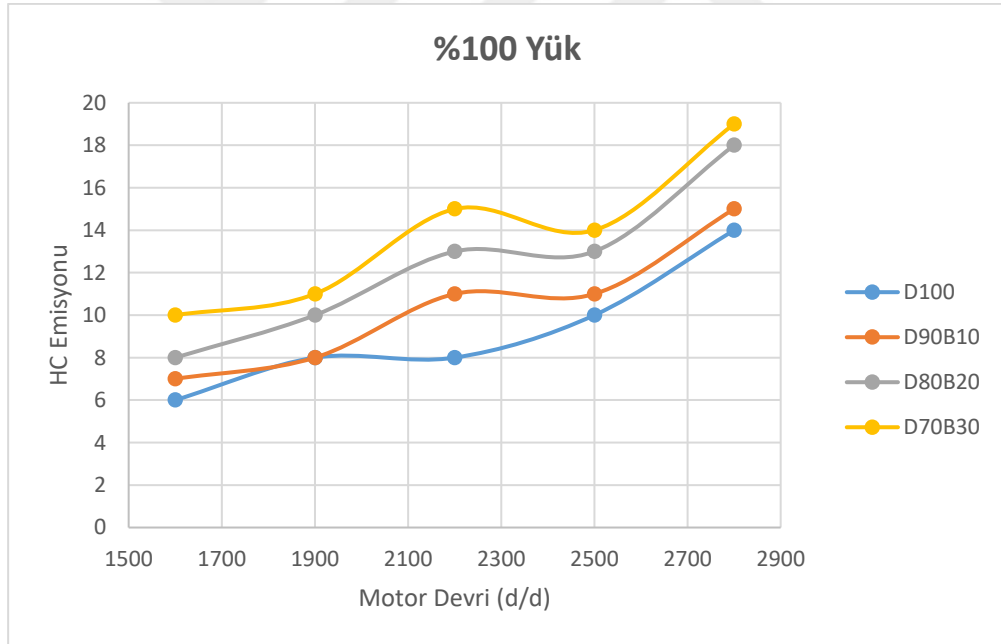
Hidrokarbon emisyonları motorun ilk çalıştırıldığı sırada ve yüksek motor devirlerinde yüksek seviyelerde seyrederek. Bunun nedeni ilk hareket sırasında motorun soğuk olmasından dolayı yanma olayının verimsiz olmasıdır. Motor sıcaklığı ve devir sayısı artınca yanma olayı iyileşeceği için HC emisyonları da azalmaya başlayacaktır. Yüksek devirlerde HC seviyesinin yüksek olmasının nedeni ise yanma süresinin kısalması ve volumetrik verimin düşmesidir.

Hidrokarbon emisyonları yakıtın setan sayısı, viskozite, buharlaşma ısısı ve içerdiği oksijen miktarına bağlıdır. Ayrıca dizel motorun çalışma koşulları ve yanma kalitesi de yanmamış hidrokarbonları etkileyen faktörler arasındadır. Bütanol yakıtının setan sayısının düşük olması ve buharlaşma ısısının yüksek olması buharlaşma süresinin daha fazla uzamasına yol açar. Süredeki bu uzama aynı şekilde daha uzun tutuşma gecikmesine ve yanmanın daha kısa sürede olmasına sebep olur. Bunun sonucunda eksik yanma ürünü olan HC emisyonu oluşur. Yanmanın eksik olmasına etki eden diğer bir parametre ise hava/yakıt oranının çok düşük veya çok yüksek olmasıdır. Hava oranının azalması ile yetersiz oksijen miktarı, HC emisyonlarını artırır (Goga vd., 2019; Singh vd., 2020; Xiao vd., 2020; Yılmaz vd., 2014).

Şekil 5.12 ve Şekil 5.13'te deney yakıt karışımlarının farklı motor devirlerindeki HC emisyonları değişimi gösterilmiştir. Alevin sönme bölgesinde yanma odasındaki yakıtın tamamı yanmadığı için HC miktarında artış olmaktadır. Çünkü alevin sönme bölgesi önündeki hava yakıt karışımı aynen silindir dışına atılmaktadır.



Şekil 5.12. n-bütanol dizel karışımlarının %50 yükte HC emisyonuna etkisi



Şekil 5.13. n-bütanol dizel karışımlarının %100 yükte HC emisyonuna etkisi

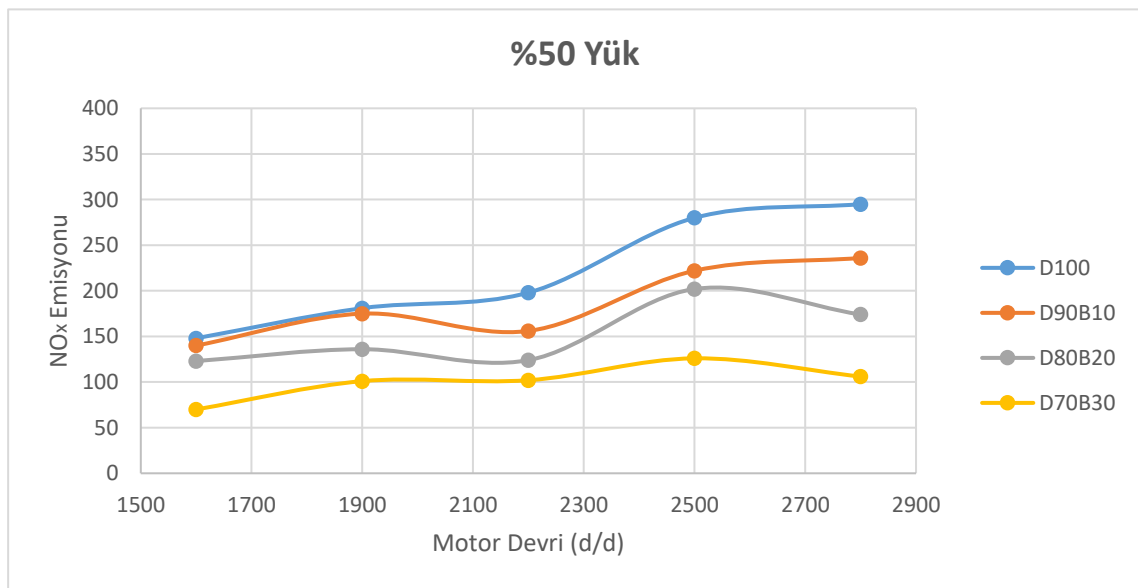
Verilen grafikler incelendiğinde en düşük HC emisyonu %50 yükte D100 yakıtında görülmektedir. Motor yükünün artmasıyla HC emisyon değerlerinin de arttığı görülmektedir. Yakıttaki n-bütanol oranının artması HC üretimini hızlandırmıştır. Özellikle %100 yük koşulunda D70B30 yakıtının 2800 d/d motor devrinde maksimum seviyeye ulaştığı görülmüştür. D100 yakıtındaki HC emisyon değerleri diğer karışımlara göre daha düşüktür. n-bütanol yakıtı saf dizel

yakıtına oranla daha yüksek buharlaşma ısısına sahip olduğundan daha yavaş buharlaşır. Bundan dolayı silindir içerisinde yakıt karışımı tamamen yanamaz. Ayrıca n-bütanol yakıtının dizele göre daha düşük yoğunluğa sahip olması oluşturulan deney yakıt karışımlarının da yoğunluğunun düşük olmasına sebep olmuştur. Bu nedenle püskürtme zamanında kaçak veya damlamaya sebebiyet vererek silindir içerisinde yanmamış yakıt oluşturur. Böylece egzoz gazı içerisindeki HC kirlenici emisyon oranı artmış olur. %50 yük şartında en düşük HC değeri D100 yakıtı noktasında iken en yüksek veriler ise D70B30 deney yakıtında görülmektedir.

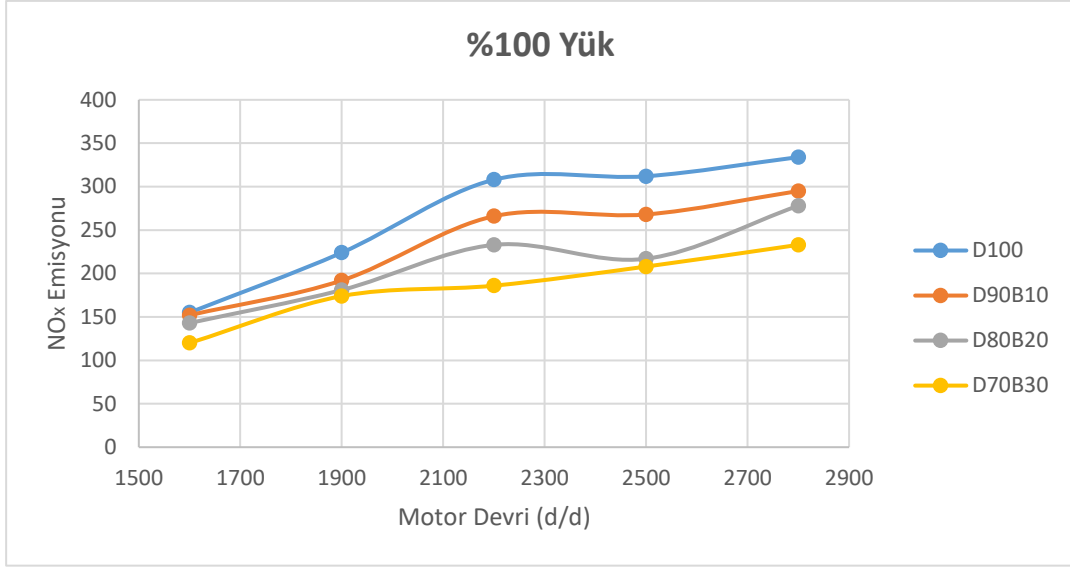
5.3.4. Azot Oksit (NO_x) Emisyonu

Dizel motorlarda önemli kirlenici emisyonlarından olan NO_x, azot ve oksijenin farklı oranlarda birleşerek oluşturduğu NO, NO₂, N₂O, N₂O₃ gibi bileşiklerin ortak adıdır. İnsan sağlığı için tehlike oluşturan ve solunum yolu hastalıklarına neden olabilen NO_x, ozon tabakasının zarar görmesi gibi çevresel sorunlar da oluşturmaktadır. Egzoz gazında NO_x kirlenici emisyonu, yanma odasındaki sıcaklığın 1800 °K'nin üstünde bir değere çıktığı zaman havada bulunan azot ile oksijenlerin reaksiyona girmesiyle oluşur. NO_x emisyonu, yakıtın içeriğindeki oksijen miktarına, silindir içindeki yanma sonu gaz sıcaklığına ve yanma reaksiyonunun süresine bağlı olarak değişmektedir (Atmanlı vd., 2013; Gündüz, 2017; İlçin, 2020; Kelen, 2014; Xiao vd., 2019).

Şekil 5.14 ve Şekil 5.15'te test yakıt karışımlarının farklı motor devirlerinde ve iki farklı yük değerindeki NO_x emisyonları değişimi görülmektedir. NO_x oluşumu silindir içindeki sıcaklığın yüksek olması ve bu sıcaklıkta kalma süresine bağlı olarak değişmektedir. 1800 K üzerindeki sıcaklıkta NO_x oluşumu başlamaktadır.



Şekil 5.14. n-bütanol dizel karışımlarının %50 yükte NO_x Emisyonuna etkisi



Şekil 5.15. n-bütanol dizel kar   mlarının %100 yükte NO_x emisyonuna etkisi

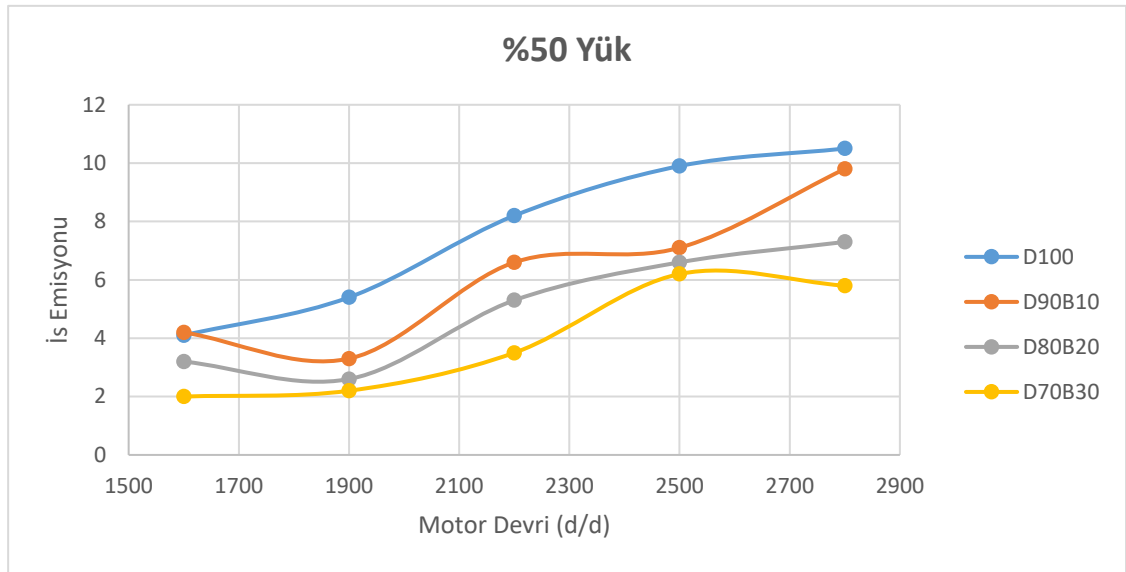
Şekil 5.14 ve  ekil 5.15'te görüldüğü gibi dizel yakıtının içindeki bütanol katkısı arttıkça her iki yük durumunda NO_x emisyon değerleri d  m   t r. D100 yakıtına kıyasla en d     NO_x verileri %50 ve %100 yüklerin her ikisinde 1600 d/d motor hızında D70B30 test yakıtında g r lm   t r. Deney yakıtlarındaki n-bütanolün yoğunluk ve ısıl değerinin dizel yakıtına göre d    k olması ve yakıt kar   mlarının oksijen miktarı yönünden zengin olmasından dolayı yanma sonu sıcaklığında düğüme ger ekle  r. Aynı zamanda buharla  ma ısısında da artış meydana gelir.

5.3.5.  s Emisyonu

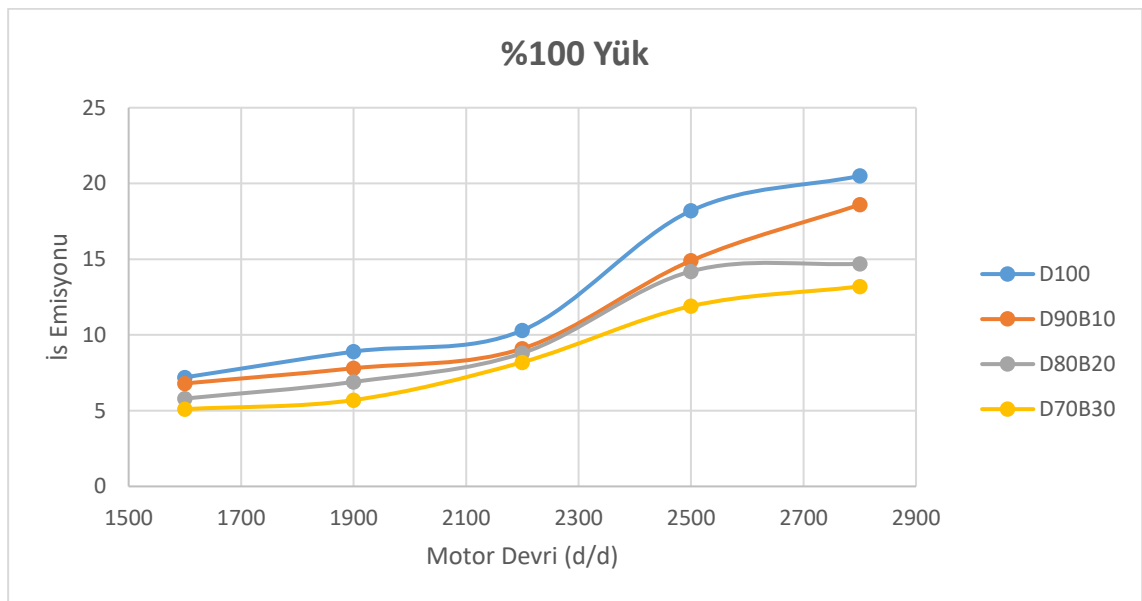
  ten yanmalı dizel motorlarında en önemli egzoz emisyon parametrelerinden biri  s emisyonlarıdır. Dizel motorlarındaki yanma olayının nasıl ger ekle  ti i ile ilgili önemli bilgiler içermektedir. 2014'de yayımlanan Euro-6 standartlarına göre hacimsel olarak % 0,005'ine kadar m  saade edilmektedir. Dizel motorları yüksek hava fazlalık katsayısında çalıştıkları için yüksek devirlerde yanma için gerekli süre kısalaca ından eksik yanma olayı meydana gelmekte ve bu da  s emisyonlarının yüksek devirlerde artışına neden olmaktadır. Bu durumun önüne geçmek için pompa avansı değiştirilerek p    rtme zamanı  ne çekilir ve yanma için gereken süre uzatılır.

 s emisyonlarını etkileyen bir diğer faktör ise, kullanılan yakıtın viskozite ve yoğunluğu gibi özelliklerdir. Kullanılan yakıtın kaliteli olması  s emisyonlarını azaltmada yardımcı olacaktır. Ayrıca yakıt içinde bulunan k   rt oranı da  s emisyonlarını etkileyen başka bir etkidir.  s emisyonlarını azaltmak için yakıt içine oksijence zengin içerikler katılarak yanma olayı iyile tirilmeye çalışılır.

Yanma sonucunda oluşan partikül maddelerin büyük bir kısmını is emisyonları oluşturmaktadır. Dizel motorlarda silindir içindeki oksijenin yetersiz kalması ve gerekli sürenin bulunamaması sonucunda yakıtın, hava ile karışamaması ve dolayısıyla buharlaşamaması is emisyonlarının oluşmasının ana nedenlerindendir. n-bütanolün içerdiği karbon ile hidrojen oranının saf dizel yakıtına kıyasla düşük olmasından dolayı bütanol katkılı yakıtlar is oluşumuna daha düşük eğilim gösterir (Ayyılmaz, 2012; Emiroğlu, 2019; Sarıkoç, 2019). Is emisyonlarının motor yükü ve dizel yakıtı içerisindeki n-bütanol miktarına bağlı olarak değişimi Şekil 5.16 ve Şekil 5.17’de gösterilmektedir.



Şekil 5.16. n-bütanol dizel karışımlarının %50 yükte is emisyonuna etkisi



Şekil 5.17. n-bütanol dizel karışımlarının %100 yükte is emisyonuna etkisi

Verilen şekillerde görüldüğü üzere motor yükünün artmasıyla is emisyon değerleri artmıştır. n-bütanol ile dizel yakıt karışımlarının oluşturduğu is emisyonlarının saf dizel durumuna göre önemli ölçüde düştüğü gözlemlenmiştir. Yani yakıtlardaki n-bütanol miktarı arttıkça is emisyonu azalmaktadır. D100 yakıtının is emisyonları 2800 d/d motor hızında en yüksek verileri vermiştir. D90B10, D80B20 ve D70B30 yakıtları incelendiğinde n-bütanolün içerdiği oksijen miktarının is emisyonlarını düşürdüğü sonucuna varılmıştır.



6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında, bir dizel motorda motor performansını arttırmak ve egzoz emisyonlarını iyileştirmek amacıyla, standart dizel yakıtına %10, %20 ve %30 oranlarında n-bütanol yakıtı eklenerek deney yakıtları oluşturulmuştur. Bu yakıt karışımları sırasıyla D90B10, D80B20 ve D70B30 olarak adlandırılmışlardır. Oluşturulan test yakıtları 1600, 1900, 2200, 2500 ve 2800 d/d olmak üzere 5 farklı motor devrindeki sonuçları incelenmiştir. %50 ile %100 yük şartları altında motor gücü, motor moment, özgül yakıt tüketimi ve CO, CO₂, NO_x, HC, is emisyonları ayrı ayrı ölçülerek deney sonuçları grafikler halinde verilmiştir. Ayrıca bütanolün motor elemanları üzerindeki deformasyon izleri ve oluşan kurum etkilerini incelemek amacıyla motor sökölüp parçalar temizlendikten sonra tekrar toplanmıştır.

Bu çalışmada elde edilen deney sonuçlarının analizleri yapılarak aşağıdaki şekilde özetlenmiştir.

- Bütanol yakıtının ısı değeri dizel yakıtına göre daha düşük olması bütanol katkılı yakıtlarda motor güç değerlerini düşürmüştür. Motor gücünün maksimum değeri bütün yakıtlarda 2800 d/d motor hızında görülmüştür. Tüm devirlerde D70B30 yakıtı saf dizele göre %50 yükte %13,5 ve %100 yükte %7,3 azalmıştır.
- Dizel yakıtın ısı değeri daha yüksek olmasından dolayı deney yakıtların n-bütanol katkısı arttıkça motor moment değerlerinde düşme olmuştur. En yüksek moment değerlerine 2200 d/d motor hızında standart dizel yakıtında, en düşük değere ise %30 n-bütanol katkılı dizel yakıtında aynı motor hızında görülmüştür. Tüm devirlerde saf dizel yakıtına kıyasla D70B30 yakıtının motor moment değeri yarı yükte yaklaşık %15, tam yükte %7,6 oranında düşmüştür.
- Dizel yakıtı kıyasla n-bütanol daha düşük ısı değeri sahip olduğundan n-bütanol katkı oranı arttıkça özgül yakıt tüketiminde de artış olmaktadır. Özgül yakıt tüketiminin en düşük değerleri 2200 d/d motor devrinde görülmektedir. En yüksek özgül yakıt tüketimi değeri tam yükte 2800 d/d motor hızında D70B30 yakıtında görülmüştür ve dizele göre %13,5 artış göstermiştir.
- Bütanolün yapısındaki fazla oksijen içeriğinden dolayı CO emisyonları, dizel yakıtına göre daha düşük çıkmıştır. Bu düşüşün diğer bir sebebi ise n-bütanolün karbon sayısının standart dizel yakıtına göre az olmasıdır. Tüm devirlerde yarı yükte D70B30 deney yakıtının saf dizele göre CO emisyonu, %44,5 oranında azalma gösterirken tam yükte ise bu düşüş %51 civarındadır.
- Motor yükündeki ve n-bütanol yakıt miktarındaki artış ile CO₂ emisyonlarında da artma olmuştur. Bütanolün yapısındaki oksijenden dolayı CO miktarının azalması ile CO₂ emisyonu artmıştır. D70B30 deney yakıtının, diğer yakıtlara göre her iki yükte de

maksimum seviyede olduğu görülmektedir. D70B30 yakıtı 2800 d/d motor devrinde %50 ve %100 motor yükünde sırasıyla %44,5 ve %58 oranında artmıştır.

- Dizel yakıtın düşük buharlaşma ısısına sahip olması ve n-bütanolün yoğunluğunun daha düşük olması HC emisyonlarını arttırmıştır. D100 yakıtındaki HC emisyon değerleri diğer karışımlara göre daha düşüktür. Çünkü yanmanın iyi olduğu ve dolayısıyla yanmamış HC miktarının da azaldığı görülmektedir. Maksimum HC emisyonu oluşum değerleri ise D70B30 deney yakıt karışımında görülmüştür.
- NO_x emisyon değerleri, yakıtlardaki n-bütanol yüzdesi arttıkça her iki yük durumunda da düşmüştür. Dolayısıyla D100 yakıtına kıyasla minimum NO_x verileri 1600 d/d motor hızında D70B30 test yakıtında görülmüştür. Bütanolün yoğunluk ve ısı değerinin referans dizele göre daha düşük olması NO_x emisyonun değerlerini azaltmıştır. Deney yakıtlarındaki n-bütanolün yoğunluk ve ısı değerinin dizel yakıtına göre düşük olması ve yakıt karışımlarının oksijen miktarı yönünden zengin olmasından dolayı yanma sonu sıcaklığında düşme gerçekleşmektedir. Dizel yakıtına göre %30 n-bütanol yakıt karışımının NO_x değerleri yarım yükte %54, tam yükte %31 azalma göstermiştir.
- Deney yakıtlarının yani bütanol katkılı yakıtların is emisyonlarında dizel yakıtına göre önemli ölçüde düşüş olduğu gözlemlenmiştir. Karışımlardaki n-bütanol miktarı arttıkça is emisyonu azalmaktadır. D100 yakıtının is değerleri, 2800 d/d motor devrinde maksimum değerleri vermiştir. D90B10, D80B20 ve D70B30 yakıtları incelendiğinde yarım yükte sırasıyla %18,6; %34,4; %48,3 ve tam yük şartında sırasıyla %12, %22,6 ve %32,3 oranlarında düşüş olmuştur. n-bütanolün içerdiği oksijen miktarının is emisyonlarını azalttığı sonucuna varılmıştır.
- Bütanol katkılı yakıtların egzoz emisyon değerlerinde iyileştirici etkisi bulunduğundan çevre kirliliği ve fosil kaynaklı yakıtlar için alternatif bir katkı maddesi olarak kullanılabilir. Burada yapılan testler genel olarak değerlendirildiğinde motor performansında az da olsa bir düşüş, özgül yakıt tüketiminde bir yükselme görülmüştür. Hava kirliliği bakımından incelendiği zaman bütanol katkılı dizel yakıtında oluşturulan yakıtların emisyon değerlerin hepsi dizel yakıtına göre düşük çıkmaktadır. Hava kirliliği bakımından dizel yakıtına bütanol katılması suretiyle kirlletici emisyonların azaltılabileceği söylenebilir.

ÖNERİLER

Bu tez çalışması ve daha önce yapılan bütanol ve etanolle ilgili çalışmalara göre bu yakıtların katkılarını dizel motorlarında kullanmanın bazı dezavantajları bulunmaktadır. Bunlardan biri bütanolün üretim maliyetinin dizel yakıtına oranla daha yüksek olmasıdır. Fakat bunun için ilk olarak bütanolün bitkisel yağ tohumlarından elde edilmesi büyük bir avantaj olması ve yağ bitkilerinin ekiminin yapılarak bunun düşük bir fiyata çekilmesi gerekmektedir.

Petrol rezervlerinin sonlu ve sınırlı olması, fosil yakıtlarının yenilenebilir olmaması ve her geçen gün gelişen teknolojiyle artan enerji ihtiyacına karşılık alternatif yakıtlar aranmaktadır. Bu deneysel çalışmada teknolojik gelişmelere olanak sağlanması ile farklı materyal ve metotlarının kullanılması, çevre kirliliğine azaltıcı yönde etki edeceği düşünülmektedir. Bu çalışmanın ışığında;

- Dizel motorlarında diğer n-bütanol izomerleri kullanılarak motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisi incelenebilir.
- Oluşturulan yakıt karışımlarının maliyet değerleri analizi araştırılabilir.
- Farklı yakıt karışım oranları kullanılarak daha yüksek hacimli bir motorda çalışmalar yapılabilir.
- Motor performans parametreleri ve egzoz emisyonları farklı püskürtme avanslarında gözlemlenebilir.
- Yanma odası farklı olan bir motorda üçlü yakıt karışımları ile deneyler yapılabilir.
- Yakıt karışımları farklı motor devirlerinde ve yük şartlarında farklı enjeksiyon sistemi kullanılarak çalışmalar yapılabilir.
- Farklı alkoller ile çalışılarak motor yakıt sistemi üzerinde oluşan değişimler ve aşındırıcı etkiler incelenebilir.

KAYNAKLAR

- Aksu, O. N. (2013). *Turboşarjlı Bir Dizel Motorunda N-Bütanol-Dizel Yakıtı Karışımlarının Kullanılmasının Motor Karakteristikleri ve Eksoz Emisyonları Üzerindeki Etkilerinin Deneyisel İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Rize.
- Algayyim, S. J. M., Wandel, A. P., Yusaf, T., Al-Lwayzy, S., & Hamawand, I. (2018). Impact of butanol-acetone mixture as a fuel additive on diesel engine performance and emissions. *Fuel*, 227, 118–126. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.04.091>
- Algayyim, S. J. M., Wandel, A. P., Yusaf, T., & Hamawand, I. (2017). The impact of n-butanol and iso-butanol as components of butanol-acetone (BA) mixture-diesel blend on spray, combustion characteristics, engine performance and emission in direct injection diesel engine. *Energy*, 140, 1074–1086. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.09.044>
- Atmanli, A., & Yilmaz, N. (2018). A comparative analysis of n-butanol/diesel and 1-pentanol/diesel blends in a compression ignition engine. *Fuel*, 234(July), 161–169. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.07.015>
- Atmanli, A., Yüksel, B., & Ileri, E. (2013). Experimental investigation of the effect of diesel-cotton oil-n-butanol ternary blends on phase stability, engine performance and exhaust emission parameters in a diesel engine. *Fuel*, 109, 503–511. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2013.03.012>
- Atmanlı, A. (2013). *Dizel Motorunda Dizel Yakıtı-Alkol-Bitkisel Yağ Karışımları Kullanımının Motor Karakteristiklerine Etkilerinin İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.
- Ayaz, İ. (2014). *Dizel Motorlarda Biyo-Etanol Biyo-Dizel ve Dizel Yakıtı Karışımlarının Motor Yüküne Bağlı Olarak Kullanılabilirliğinin Deneyisel Araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Aydın, H., & İlkılıç, C. (2017). Air pollution, pollutant emissions and harmful effects. *Journal of Engineering and Technology*, 1(1), 8–15.
- Ayyılmaz, N. (2012). *Bütanol/Dizel Yakıt Karışımı ile Çalışan Bir Motorda Püskürtme Zamanının Performans ve Emisyonlara Etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Bayık, M. (2010). *Dizel Yakıtına İzobütanol İlavesinin Performans ve Emisyonlara Etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Bharti, D., Jain, P., & Nag, R. (2021). Experimental investigation on diesel engine through n-Butanol blend biodiesel. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.03.591>
- Bilgin A, Durgun O, Sahin Z. “The effects of diesel-ethanol blends on diesel engine performance”. *Energy Sources*, 24(5), 431-440, 2002.
- Borat, O., Balcı, M. ve Sürmen, A, (1995). İçten yanmalı motorlar, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Matbaası, Ankara, 513.
- Çelebi, Y. (2017). *Bütanol Katkısının Bir Dizel Motorda Yakıt Olarak Biyodizel Kullanımına Etkilerinin Deneyisel Araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Batman.
- Çelikten, C. (2010). Performance and emission characteristics of butanol and gasoline mixtures in a spark ignition engine [Çukurova Üniversitesi]. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tplants.2011.03.004> <http://dx.doi.org/10.1016/j.pbi.2010.01.004> <http://www.biomedcentral.com/1471-2156/12/42> <http://dx.doi.org/10.1016/j.biotechadv.2009.11.005> <http://www.sciencemag.org/content/323/5911/240>
- Chen, Z., Liu, J., Han, Z., Du, B., Liu, Y., & Lee, C. (2013). Study on performance and emissions of a passenger-car diesel engine fueled with butanol-diesel blends. *Energy*, 55, 638–646. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.03.054>

- Çıtak, M. (2014). *Bir Dizel Motorunda MTBE katkılı Biyodizel Kullanımının Deneyisel Analizi*. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Coşkun, N. Y. (2017). *Dizel Motorlarda Kirletici Emisyonların Düşürülmesi İçin Egzoz Sisteminin Tasarımı ve Analizi*. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Dilmaç, Ö. F. (2011). *Bir Ham Petrol Destilasyon Ünitesinin Kullanılabilir Enerji ve Termoekonomik Analizi*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ejder, S.B. (2007). *Etanol-Dizel, Biyodizel-Dizel Yakıt Karışımlarının Kullanımının Motor Performansına Etkilerinin Deneyisel Araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Emiroğlu, A. O. (2019). Effect of fuel injection pressure on the characteristics of single cylinder diesel engine powered by butanol-diesel blend. *Fuel*, 256, 115928. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.115928>
- Ergüder, T. O. (2019). *Erzincan Şehir Merkezinde Motorlu Taşıt Emisyonları Kaynaklı Hava Kirliliği Düzeyinin Araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzincan.
- Goga, G., Chauhan, B. S., Mahla, S. K., & Cho, H. M. (2019). Performance and emission characteristics of diesel engine fueled with rice bran biodiesel and n-butanol. *Energy Reports*, 5, 78–83. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2018.12.002>
- Gowtham, M., Mohan, C. G., & Prakash, R. (2019). Effect of n-butanol fumigation on the regulated and unregulated emission characteristics of a diesel engine. *Fuel*, 242(January), 84–95. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.01.019>
- Guibet, J.C., 1999. *Fuels and Engines-Volume 1*, Institut Français du Pétrole Publications, France, 1-454.
- Gündüz, İ. (2017). *Etanol Katkılı Atık Kızartma Yağlarının Bir Dizel Motorunda Kullanılabilirliğinin Araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Gürgen, S., Altın, İ. Bütanol-Dizel yakıtı kullanılan bir sıkıştırma ateşlemeli motorda motor performansı ve egzoz emisyonlarının yapay sinir ağları ile tahmini, Pamukkale Univ. Muh. Bilim. Derg, 24(4), 576-581, 2018
- Haşimoğlu, C., İcingür, Y., & Ögüt, H. (2002). Dizel Motorlarında Egzoz Gazları Resirkülasyonunun (EGR) Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin Deneyisel Analizi. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 26, 127–135.
- Hışır, V. (2010). *Bütanol-Benzin Karışımlarının Buji ile Ateşlemeli Motorların Performans ve Egzoz Emisyonlarına Etkilerinin Araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- İlçin, K. (2020). *İzopropanol-Bütanol-Etanol (IBE)'ün Dizel ve Biyodizel Yakıtları İle Karışımlarının Bir Dizel Motorunda Yanma Ve Emisyon Karakteristiklerine Etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Batman.
- Karagöz, M. (2020). Investigation of performance and emission characteristics of an CI engine fuelled with diesel – waste tire oil – butanol blends. *Fuel*, 282, 118872. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.118872>
- Kelen, F. (2014). Motorlu Taşıt emisyonlarının insan sağlığı ve çevre üzerine etkileri. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 19(1–2), 80–87. <http://dergipark.ulakbim.gov.tr/yyufbed/article/view/5000153916>
- Kılıç, G. (2017). *Dizel-Bütanol ve Dizel-Biyodizel-Bütanol Karışımlarının Sıvı Yakıtlı Bir Kazanda Yakılmasının Deneyisel ve Sayısal İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- Kumar V, Gupta D, Siddiquee MWN, Nagpal A, Kumar N. Performance and emission characteristics of n-butanol and iso-butanol diesel blend comparison”. SAE Technical Paper 2015- 01-2819, 2015.
- Kunt, S. (2016). *Motorin Hakkında Herşey*. <https://silo.tips/download/motorn-hakkinda-herey>

- Lee, S., Woo, S. H., Kim, Y., Choi, Y., & Kang, K. (2020). Combustion and emission characteristics of a diesel-powered generator running with N-butanol/coffee ground pyrolysis oil/diesel blended fuel. *Energy*, 206, 118201. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118201>
- Li, J., Yu, W., & Yang, W. (2021). Evaluating performance and emissions of a CI engine fueled with n-octanol/diesel and n-butanol/diesel blends under different injection strategies. *Fuel*, 284(2020), 119085. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.119085>
- Nabi, M. N., Zare, A., Hossain, F. M., Bodisco, T. A., Ristovski, Z. D., & Brown, R. J. (2017). A parametric study on engine performance and emissions with neat diesel and diesel-butanol blends in the 13-Mode European Stationary Cycle. *Energy Conversion and Management*, 148, 251–259. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.06.001>
- Önem Koç, E. (2009). *Biyodizel Yakıtların Yağlayıcılık Özelliklerinin Araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Örs, A. (2016). *Biyodizel Bütanol Karışımlarının Motor Performansına ve Egzoz Emisyonlarına Etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Örs, I., Sarıkoç, S., Atabani, A. E., Ünal, S., & Akansu, S. O. (2018). The effects on performance, combustion and emission characteristics of DIC engine fuelled with TiO₂ nanoparticles addition in diesel/biodiesel/n-butanol blends. *Fuel*, 234, 177–188. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.07.024>
- Özcumalı, R. U. (2007). *Biyodizelin Bir Gemi Dizel Motorunun Egzoz Emisyon Karakteristiklerine Olan Etkisinin Deneyisel Olarak İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Özer, S. (2010). *Bütanol Kullanımının Dizel Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarına Etkilerinin Deneyisel Olarak Araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Özer, S. (2014). Alkollerin İçten Yanmalı Motorlarda Alternatif Yakıt Olarak Kullanılması. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 19(1), 97–114.
- Özer, S. (2020). The effect of diesel fuel-tall oil/ethanol/methanol/isopropyl/n-butanol/fusel oil mixtures on engine performance and exhaust emissions. *Fuel*, 281, 118671. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.118671>
- Özer, S., Akçay, M., Gölcü, M., & Yazıcı, H. (2012). Tek Silindirli Benzinli Bir Motorda Kısmi Yüklerde Bütanol İlavesinin Performansa ve Emisyonlara Etkisi. *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi/ Journal of Thermal Science and Technology*, 32(2), 55–62.
- Öztürk, H. A. T. (2010). *İstanbul Şehir Çevriminin ABD ve Avrupa Test Çevrimleri ile Emisyon Faktörleri ve Yakıt Tüketimi Açısından Deneyisel Olarak Karşılaştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Pan, M., Tong, C., Qian, W., Lu, F., Yin, J., & Huang, H. (2020). The effect of butanol isomers on diesel engine performance, emission and combustion characteristics under different load conditions. *Fuel*, 277, 118188. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.118188>
- Parlak, F. O. (2017). *Dizel Motor Emisyon Düzenlemeleri İçin LNT'nin Matematiksel Olarak Modellenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Rajak, U., Nashine, P., Verma, T. N., & Pugazhendhi, A. (2020). Performance and emission analysis of a diesel engine using hydrogen enriched n-butanol, diethyl ester and Spirulina microalgae biodiesel. *Fuel*, 271, 117645. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117645>
- Reşitoğlu, İ. A. (2016). *Dizel Motorlarda Kirlenici Emisyonların Kontrol Edilmesine Yönelik Fe₂O₃ Esaslı Katalizörlerin Kullanıldığı DOC ve SCR Sistemlerinin Geliştirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Şahin, Z., & Aksu, O. N. (2015). Experimental investigation of the effects of using low ratio n-butanol/diesel fuel blends on engine performance and exhaust emissions in a turbocharged DI diesel engine. *Renewable Energy*, 77, 279–290. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.11.093>
- Salih Ö. Alkollerin içten yanmalı motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılması. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 19(1),97-114, 2014.

- Sarıkoç, S. (2019). *Biyodizel-Bütanol-Dizel Karışımlarına Hidrojen ve Titanyum Dioksit İlavesinin Performans ve Emisyon Parametrelerine Etkilerinin Araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Satsangi, D. P., & Tiwari, N. (2018). Experimental investigation on combustion, noise, vibrations, performance and emissions characteristics of diesel/n-butanol blends driven genset engine. *Fuel*, 221, 44–60. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.02.060>
- Şenveli, E. (2008). *Etanol Katkılı Yakıt Kullanımının Motor Performansına ve Emisyonlara Etkisinin İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Seven, İ. (2017). *Bir Dizel Motorlu Jeneratörün Egzoz Emisyonları Üzerinde Farklı Dizel Yakıtların Etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Batman.
- Sevinç, H. (2018). *Piston ve Supapları Cr2O3 Kaplanmış ve Farklı Yakıt Katkıları Kullanılan Bir Dizel Motorda Performans ve Emisyon Değerlerinin Yapay Sinir Ağları İle Belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Sezer, İ. (2016). Dizel Yakıtı, Biyodizel Yakıtı Ve Karışımlarının İçten Yanmalı Motorlara Etkilerinin Teorik İncelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31(4), 799–812. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.278437>
- Singh, R., Singh, S., & Kumar, M. (2020). Impact of n-butanol as an additive with eucalyptus biodiesel-diesel blends on the performance and emission parameters of the diesel engine. *Fuel*, 277, 118178. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.118178>
- Tekdoğan, R. (2020). *Bir Dizel Motorda Zeolit Maddesinin Emisyon ve Performans Üzerine Etkisinin Yapay Sinir Ağları (YSA) İle Araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Tillem, İ. (2005). *Dizel Motorlar İçin Alternatif Yakıt Olarak Biyodizel Üretimi ve Kullanımı*. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- TÜİK. (2021). *Trafiğe kayıtlı otomobillerin yakıt cinsine göre dağılımı*. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Motorlu-Kara-Tasitlari-Ocak-2021-37411>
- Xia, Q., Wang, K., Han, Z., & Tian, W. (2019). A comparative study of combustion and emission characteristics of butanol isomers on a diesel engine with dual fuel butanol isomers/diesel compound combustion. *Fuel*, 254, 115581. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.05.164>
- Xiao, H., Guo, F., Li, S., Wang, R., & Yang, X. (2019). Combustion performance and emission characteristics of a diesel engine burning biodiesel blended with n-butanol. *Fuel*, 258, 115887. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.115887>
- Xiao, H., Guo, F., Wang, R., Yang, X., Li, S., & Ruan, J. (2020). Combustion performance and emission characteristics of diesel engine fueled with iso-butanol/biodiesel blends. *Fuel*, 268, 117387. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117387>
- Yanbuluğlu, B. (2020). *Dizel Bir Motorda Dizel, Piroiliz Yağı ve Bütanol Yakıt Karışımının Motor Performans ve Emisyonlarına Etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Yeşilyurt, M. K. (2020). Dizel Yakıtına Farklı Ağır Alkoller (1-Bütanol, 1-Pentanol ve 1-Hekzanol) İlave Edilmesinin Tek Silindirli Bir Dizel Motorunun Performans, Yanma ve Egzoz Emisyon Karakteristiklerine Etkileri. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 12(2), 397–426. <https://doi.org/10.29137/umagd.704961>
- Yılmaz, N., Vigil, F. M., Benalil, K., Davis, S. M., & Calva, A. (2014). Effect of biodiesel-butanol fuel blends on emissions and performance characteristics of a diesel engine. *Fuel*, 135, 46–50. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2014.06.022>

ÖZGEÇMİŞ

Zeynep Can ATEŞ

████████████████████

██████████

11/11/2016

11/11/2016

□ □ □ □ □

© 2006 The Authors
Journal compilation © 2006 Blackwell Publishing Ltd

1522 KIM ET AL.

□ □ □ □

- [REDACTED]
- [REDACTED]