T.C.

TRAKYA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DİZEL MOTORLARDA HAVA FİLTRESİNDE OLUŞAN KİRLİLİK (TIKANIKLIK) SEVİYESİNİN, MOTORUN KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLERİNE VE EMİSYONA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

İLKER SELVİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi DİNÇER AKAL

EDİRNE-2022

İLKER SELVİ'nin hazırladığı "**DİZEL MOTORLARDA HAVA FİLTRESİNDE OLUŞAN KİRLİLİK (TIKANIKLIK) SEVİYESİNİN, MOTORUN KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLERİNE VE EMİSYONA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**" başlıklı bu tez, tarafımızca okunmuş, kapsam ve niteliği açısından **Makine Mühendisliği** Anabilim Dalında bir **Yüksek lisans tezi** olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri İmza

Dr. Öğretim Üyesi Dinçer AKAL

Prof. Dr.Ayşegül CAN

Doç.Dr. Soner ÇELEN

Tez Savunma Tarihi: 22.06.2022

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları sağladığını onaylarım.

İmza

Dr. Öğretim Üyesi Dinçer AKAL
Tez Danışmanı ……

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü onayı

Prof. Dr. Hüseyin Rıza Ferhat KARABULUT
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

T.Ü.FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI
DOĞRULUK BEYANI

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında, tüm verilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini, kullanılan verilerde tahrifat yapılmadığını, tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını, kullanılan tüm literatür bilgilerinin bilimsel normlara uygun bir şekilde kaynak gösterilerek ilgili tezde yer aldığını ve bu tezin tamamı ya da herhangi bir bölümünün daha önceden Trakya Üniversitesi ya da farklı bir üniversitede tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

02 / 06/ 2022
İlker SELVİ
İmza

Yüksek Lisans Tezi

Dizel Motorlarda Hava Filtresinde Oluşan Kirlilik (Tıkanıklık) Seviyesinin, Motorun Karakteristik Özelliklerine Ve Emisyona Etkilerinin İncelenmesi

T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

ÖZET

İçten yanmalı motorlarda, teknolojik gelişmelere bağlı olarak kullanılan yakıtlardan elde edilen enerji kadar çevreye atılan zararlı gazların seviye sininde azaltılması zorunlu hale gelmektedir. Özellikle dizel motorların, yakıt tüketimi ve egzozdan atılan zararlı gazların azaltılması her geçen gün daha fazla önem kazanmaktadır. Dizel motorlar, kamyon, çekici, kamyonet, otobüs, minibüs, kara taşıtı, traktör, biçerdöver ve iş makinesi gibi büyük tork ve güç gerektiren araçlarda hala yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu araçlar çalışma koşullarında zamanla çok daha fazla toza maruz kaldıklarından dolayı hava filtresinde biriken toz miktarına bağlı olarak motorun ürettiği güç ve tork azalırken yakıt tüketimi artar. Hava filtresi maksimum kirlenme, tıkanıklık seviyesinde ise motorun verimi daha fazla düşer ve çevreye atılan zararlı egzoz emisyonları da artış göstermektedir. Bu olumsuz durum hem ekonomik hem de çevresel faktörler için risk teşkil etmektedir.

Bu çalışmada, kullanıma bağlı olarak hava filtresinde oluşan kirlilik (tıkanma) seviyesinin motorun karakteristik özelliklerine (Güç, Tork, Yakıt Tüketimi) ve çevreye atılan zararlı emisyonlarının seviyesi incelenmiştir. Traktörler tarla şartlarında en uzun süre ile maksimim tork değeri olan 1400 d/dk ve ulaşım da 2200 d/dk motor devirlerinde kullanılmaktadır. Bu nedenle traktör motoru başlangıçta 1400 d/dk da sabitlenerek, emme sisteminde hava filtresi yeni iken oluşan- 1mbar, sonrasında kirliliğe bağlı olarak -21 mbar, -40 mbar ve tam tıkanıklık halindeki -65 mbar basınç düşüşü şartlarında testler yapılmıştır. Daha sonra ayni testler motorun maksimum güce sahip olduğu 2200 d/dk değere sabitlenerek yapılmıştır. Hava filtresi tıkanıklık seviyesine bağlı olarak emme

sisteminde meydana gelen basınç düşüşü motorun tork ve gücünü düşürmektedir. Aynı zamanda basınç düşüşünün artması, yakıt tüketimi ve egzozdan atılan zararlı gazları da önemli oranda arttırmaktadır. Bu çalışma kapsamında deneysel sonuçlara ait grafikler çizilerek hava filtresi tıkanıklık seviyesinin etkileri detaylı olarak açıklanmıştır.

Yıl : 2022

Sayfa Sayısı : 138

Anahtar Kelimeler : Dizel Motor, Hava Filtresi, Güç, Enerji, Yakıt Tüketimi, Emisyon.

Master's Thesis
Investigation of The Effects on Engine Characteristics and Emissions The Pollution (Clogging) Level of the Air Filter in Diesel Engines.
Trakya University Institute of Natural and Applied Sciences
Department of Machine Engineering

ABSTRACT

In internal combustion engines, depending on the technological developments, it becomes necessary to reduce the level of harmful gases emitted to the environment as much as the energy obtained from the fuels used. Reducing the fuel consumption and harmful gases emitted from the exhaust, especially of diesel engines, is gaining more and more importance day by day. Diesel engines are widely used in vehicles that require large torque and power, such as trucks, tow trucks, pick-up trucks, buses, minibuses, land vehicles, tractors, combines, and heavy equipment. Since these vehicles are exposed to much more dust over time under operating conditions, depending on the amount of dust accumulated in the air filter, the power and torque produced by the engine decreases while fuel consumption increases. If the air filter is at maximum pollution and clogging level, the efficiency of the engine decreases more and the exhaust emissions harmful to the environment increase. This negative situation poses a risk for both economic and environmental factors.

In this study, the pollution (Clogging) level of the air filter depending on usage, the characteristics of the engine (Power, Torque, Fuel Consumption) and the level of harmful emissions to the environment were examined. Tractors are used for the longest period of time under field conditions at 1400 rpm, which is the maximum torque value, and at 2200 rpm in transportation For this reason, the tractor engine was first fixed at 1400 rpm and tests were carried out under pressure drop conditions of 1 mbar, then 21

mbar, 40 mbar and 65 mbar depending on the pollution while the air filter was new in the intake system. Then, the same tests were carried out by fixing the engine at 2200 rpm, which is the maximum power. Depending on the air filter clogging level, the pressure drop in the intake system reduces the torque and power of the engine. At the same time, the increase in pressure drop significantly increases fuel consumption and harmful gases emitted from the exhaust. Within the scope of this study, the effects of the air filter clogging level are explained in detail by drawing graphs of the experimental results.

Year : 2022

Number of Pages : 138

Keywords : Diesel Engine, Air Filter, Power, Energy, Fuel Consumption, Emission.

ÖNSÖZ

Bu çalışmada dizel motorlarda hava filtresinde oluşan tozlanma (Tıkanıklık) seviyesinin, motorun karakteristik özelliklerine ve emisyona etkilerinin incelenmesi başlıklı tezimin özellikle arazi şartlarında çalışan ve ticari araçlarda motor üzerindeki hava filtresinin önemini ortaya koyacağını düşünmekteyim. Bu vesile ile sürecin başından bu yana bana her türlü desteği ve katkıyı sunan danışman hocam Sayın Dr. Öğretim Üyesi Dinçer AKAL'a teşekkürü bir borç bilirim. Tez aşamasında bana bu imkânı sağlayan ve her zaman destek olan Hema Endüstri AŞ ve Hattat Traktör Fabrikası Genel Müdürümüz Sn.Tunç DOĞAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmamda bana katkıda bulunan Ali KULLUKÇU, Mustafa KÜTÜK, Soner Özden ERTÜRK, Samet NAK, Gökhan CEN ve Yeliz BİLGİN'e çok teşekkür ederim. Ayrıca bu zorlu süreçte her zaman beni destekleyen eşime sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET....iv
ABSTRACT....vi
ÖNSÖZ....viii
İÇİNDEKİLER....ix
SİMGELER VE KISALTMALAR....xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ....xv
ŞEKİLLER DİZİNİ....xvi
BÖLÜM 1....1
GİRİŞ....1
1.1. Genel Durum....1
1.2. Amaç ve Özgünlük....2
BÖLÜM 2....4
KAYNAK ARAŞTIRMASI....4
BÖLÜM 3....10
DİZEL MOTORLARIN ÇALIŞMA PRENSİPLERİ....10
3.1. Dört Zaman Çevrimi....11
3.1.1 Emme Zamanı....11
3.1.2 Sıkıştırma Zamanı....11
BÖLÜM 4....16
DİZEL MOTOR ÇEVRİMİNİN TERMODİNAMİK ANALİZİ, TEORİK ESASLAR, YANMA KİMYASI VE GÜÇ HESAPLAMALARI....16
4.1. Dizel Motor Çevriminin Termodinamik Analizi ve Teorik Esaslar....16
4.2. Yanma Kimyası, Volumetrik (Hacimsel)Verim ve Güç Hesaplamaları....21
4.3. Dizel Motorlarında Yanma Esnasında Gerçek Çevrimde Meydana Gelen Kayıplar....30

4.3.1 Homojen Olmayan Karışım 30
4.3.2 Özgül Isıların Değişimi 31
4.3.3 Yanma Zamanı Kayıpları 31
4.3.4 Pompalama Kayıpları 31
4.3.5 Isı Kayıpları 32
4.3.6 Isıl Parçalanma 32
4.3.7 Kompresyon Kaybı 33
4.3.8 Artık Gazların Sebep Olduğu Kayıplar 33
4.4. Yanma Süreci (Yanma Prosesi) 33
4.4.1 Tutuşma Gecikmesi (A-B) 36
4.4.2 Kontrolsüz Yanma (B-C) 37
4.4.3 Difüzyon Kontrollü Yanma (Tam Yanma C-D) 38
4.4.4 Gecikmiş Yanma (Art Yanma D-E) 38
BÖLÜM 5 39
ARAÇLARDA YAKIT TÜKETİMİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER 39
5.1. Aerodinamik Faktörler 39
5.2. Yardımcı Sistemlerden Kaynaklanan Kayıplar 40
5.3. Hava Koşulları 41
5.4. Kullanım Koşulları (Sürüş Şartlarının Etkileri) 43
5.5. Aracın Mevcut Şartları (Aracın Durumu) 44
5.6. Aracın Kütlesi 46
5.7. Yol Faktörü (Yüzey ve Trafik Durumunun Etkisi) 47
5.8. Yakıt Özellikleri 48
5.9. Sertifika/Tip Onay Testi 49
BÖLÜM 6 51
İÇTEN YANMALI MOTORLARDAN KAYNAKLANAN KİRLETİCİLER(ZARARLI EMİSYONLAR) 51
6.1. Motorlu Araçlarda Kirletici Kaynakları 51
6.2. İçten Yanmalı Motorlardan Kaynaklanan Zararlı Egzoz Emisyonları (Kirleticiler) 53
6.2.1. Karbon monoksit (CO) 54
6.2.2. Hidrokarbonlar (HC) 55
6.2.3. Karbondioksit (CO_2) 56
6.2.4. İs ve Partikül Emisyonları 58
6.2.5. Azotoksitler (NO_x) 59
6.2.5.1 Isıl Mekanizma veya Zeldovich 61

6.2.5.2 Fenimore veya Ani Mekanizma Oluşumu 61
6.2.5.3 Yakıttan Kaynaklanan NO Oluşumu 62
6.2.6. Sülfür (SO_2) 62
6.2.6. Kurşun Bileşikleri 63
BÖLÜM 7 64
DİZEL MOTORLARDA EMİSYON OLUŞUMU, EURO STANDARTLARI VE AZALTMA YÖNTEMLERİ 64
7.1. Dizel Motorda Egzoz Emisyon Oluşumu 64
7.2. Dizel Emisyon Standartları 65
7.3. Dizel Motorlarda Emisyon Azaltma Yöntemleri 70
7.3.1. Karter Havalandırma Sistemi 70
7.3.2. Egzoz Gazı Devirdaim Sistemi (EGR) 71
7.3.3. Dizel Partikül Filtresi (DPF) Sistemi 73
7.3.4. Dizel Oksidasyon katalizatörü (DOC) 75
7.3.5. Seçici Katalitik İndirgeme (SCR) Teknolojisi ve AdBlue Uygulaması 76
BÖLÜM 8 79
HAVA FİLTRASYONU VE HAVA FİLTRE MALZEME ÖZELLİKLERİ 79
8.1. Filtrasyon Mekanizmaları 81
8.2. Filtrasyonda Kullanılan Geleneksel Selüloz Teknolojisi 82
8.3. Ultra Nanofiber Teknolojisi 83
8.4. Titreşime Dayanıklı Malzeme Teknolojisi 83
8.5. Alev(Yanma) Geciktiricili Malzeme Teknolojisi 84
8.6. Güvenlik Esaslı Malzeme Teknolojisi 85
BÖLÜM 9 86
MATERYAL ve YÖNTEM 86
9.1. Materyal 86
9.1.1. Deneylerin Yapıldığı Yer ve Test Şartları 86
9.1.2. Deney Motorunun ve Materyallerin Özellikleri 86
9.2. Deneysel Yöntem 90
9.3. Deneysel Bulgular ve Tartışma 93
9.3.1. Hava Filtresi Tıkanıklık Seviyesine Göre Motorun 1400 d/dk da Güç Değişimi 93
9.3.2. Hava Filtresi Tıkanıklık Seviyesine Göre Motorun 1400 d/dk da Tork Değişimi 94
9.3.3. Hava Filtresi Tıkanıklık Seviyesine Göre Motorun 1400 d/dk da Radyatör Üst Hortum Sıcaklığının Değişimi 95

9.3.4. Hava Filtresi Tıkanıklık Seviyesine Göre Motorun 1400 d/dk da Radyatör Alt Hortum Sıcaklığının Değişimi 96
9.3.5. Hava Filtresi Tıkanıklık Seviyesine Göre Motorun 1400 d/dk da İntercooler Giriş (Turbo Çıkışı) Hava Sıcaklığının Değişimi 97
9.3.6. Hava Filtresi Tıkanıklık Seviyesine Göre Motorun 1400 d/dk da İntercooler (Ara Soğutucu) Çıkış Sıcaklığının Değişimi 98
9.3.7. Hava Filtresi Tıkanıklık Seviyesine Göre Motorun 1400 d/dk da Yakıt Tüketimi Değişimi 99
9.3.8. Hava Filtresi Tıkanıklık Seviyesine Göre Motorun 1400 d/dk da Egzozdan Atılan Emisyonların (Zararlı Gazların) Değişimi 100
9.3.9 Hava Filtresi Tıkanıklık Seviyesine Göre Motorun 2200 d/dk da Güç Değişimi 101
9.3.10 Hava Filtresi Tıkanıklık Seviyesine Göre Motorun 2200 d/dk da Tork Değişimi 102
9.3.11 Hava Filtresi Tıkanıklık Seviyesine Göre Motorun 2200 d/dk da Tork Değişimi 103
9.3.12 Hava Filtresi Tıkanıklık Seviyesine Göre Motorun 2200 d/dk da Radyatör Alt Hortum Sıcaklığının Değişimi 104
9.3.13 Hava Filtresi Tıkanıklık Seviyesine Göre Motorun 1400 d/dk da İntercooler Giriş (Turbo Çıkışı) Hava Sıcaklığının Değişimi 105
9.3.14 Hava Filtresi Tıkanıklık Seviyesine Göre Motorun 2200 d/dk da İntercooler (Ara Soğutucu) Çıkış Sıcaklığının Değişimi 106
9.3.15 Hava Filtresi Tıkanıklık Seviyesine Göre Motorun 2200 d/dk da Yakıt Tüketimi Değişimi 107
9.3.16 Hava Filtresi Tıkanıklık Seviyesine Göre Motorun 1400 d/dk da Egzozdan Atılan Emisyonların (Zararlı Gazların) Değişimi 108
9.4. Hava Filtresi Tıkanıklık Seviyelerine Göre, Motorun Maksimum Tork (1400 d/dk) ve Maksimum Güç (2200 d/dk) Üretimi Halinde Oluşan Hava Akışı CFD Analizleri 109
BÖLÜM 10 114
SONUÇ VE ÖNERİLER 114
10.1. Sonuçlar 114
10.2. Öneriler 115
KAYNAKLAR 116
ÖZGEÇMİŞ 119

SİMGELER VE KISALTMALAR

SİMGELER

T	:	Sıcaklık (°C, K)
η_v	:	Volümetrik verim
η_i	:	İndike Verim
H	:	Strok (mm)
λ	:	Hava Fazlalık Katsayısı
N_e	:	Motorun İç Gücü (kW, PS)
N.m	:	Newton metre
ε	:	Sıkıştırma Oranı
mbar	:	Milibar
O_{min}	:	Minumum Oksijen Miktarı
Hu	:	Yakıtın alt ısıl değeri
Q	:	Yakıtın yanması ile açığa çıkan ısı miktarı (kcal/iş periyodu)

KISALTMALAR

A.Ö.N :	Alt Ölü Nokta	
Ü.Ö.N	:	Üst Ölü Nokta
DOC	:	Dizel Oksidasyon Katalizörü
DPF	:	Dizel Partikül Filtresi
EGR	:	Egzoz Gaz Devirdaim Sistemi
HC	:	Hidrokarbon
PM	:	Partikül Madde
ppm	:	Milyonda Bir Parçacık
SCR	:	Seçici Katalitik İndirgeme

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1. Katı ve sıvı yakıtların oksijen ve hava ihtiyacı. 22
Çizelge 4.2. Motorlarda hava fazlalık katsayıları 23
Çizelge 4.3. Motor tiplerine göre volümetrik verimler. 25
Çizelge 6.1. Dizel motoru egzoz gazındaki partikül bileşimi. 59
Çizelge 7.1. Hafif ticari araçlar için euro emisyon standartları (g/km). 66
Çizelge 7.2. Hafif ticari araçlar için euro emisyon standartları. (g/km) 67
Çizelge 7.3. Hafif ticari araçlar için euro emisyon standartları (g/km). 68
Çizelge 7.4. Ağır hizmet dizel motorları için emisyon standartları. 69
Çizelge 8.1. Havanın içinde bulunan toz boyutu ve miktarları. 80
Çizelge 9.1. Test motorunun özellikleri. 87
Çizelge 9.2. Motorin özellikleri. 87
Çizelge 9.3. Deneylerin yapıldığı ölçü aletleri hata oranları. 89

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Dizel motorlarda çevrim oluşumu ve sistem bileşenleri. 10
Şekil 3.2. Emme zamanı 11
Şekil 3.3. Sıkıştırma zamanı 12
Şekil 3.4. Sıkıştırma periyodundaki basınç ve sıcaklık değişimi. 13
Şekil 3.5. İş (yanma) zamanı. 14
Şekil 3.6. Egzoz zamanı. 15
Şekil 4.1. Sabit basınçta ısı girişli ideal çevrim (dizel çevrimi) 16
Şekil 4.2. Tersinir adyabatik sıkıştırma hali 17
Şekil 4.3. Tersinir adyabatik genişleme hali 19
Şekil 4.4. Bir dizel çevriminin kesme ısıl veriminin sıkıştırma ve kesme oranına bağlı değişimi. 20
Şekil 4.5. Dizel motor enjektöründen püskürtülen yakıtın tutuşma anındaki fotoğrafı 34
Şekil 4.6. Dizel yanma süreci (sıkıştırma oranı – basınç-sıcaklık ilişkisi). 35
Şekil 4.7. Yanma evrelerinin oluşumu. 36
Şekil 4.8. Dizel motor vuruntusu. 37
Şekil 5.1. Tüm pencereleri açık (aerodinamik etki) olan örnek bir araç için yakıt tüketimindeki değişimler. 40
Şekil 5.2. Yardımcı sistemlerin maksimum güç talebi ve yakıt tüketimi. 41
Şekil 5.3. Benzinli ve dizel araçlar için 22 ˚C'den -7 ˚C'ye kıyasla yakıt tüketimi 42
Şekil 5.4. Benzinli ve dizel araçlar için 22 ˚C'den -7 ˚C'ye CO_2 emisyonları. 42
Şekil 5.5. Sıcaklığın yakıt tüketimine etkisi 42
Şekil 5.6. Ortalama sürüş stiline kıyasla yakıt verimli teknikler. 43
Şekil 5.7. Agresif kullanım halinde yakıt tüketiminin değişimleri. 43
Şekil 5.8. Standart lastik basıncının %75'i ve %50'si olma halinde yakıt tüketimindeki değişim. 44

Şekil 5.9. Hava filtresinin kirliliğinin yakıt tüketimine ve karbon dioksit emisyonlarına etkisi. 45
Şekil 5.10. Farklı viskozitedeki motor yağlarının yakıt tüketimine etkisi. 45
Şekil 5.11. Ek kütle nedeniyle yakıt tüketiminde artış. 47
Şekil 5.12. Yol derecesine göre farklı güzergahlar için yakıt tüketimi. 48
Şekil 5.13. Farklı özelliklerdeki yakıtların (Etanol, benzin, biyodizel ve dizel) menzili. 49
Şekil 5.14. Test marjlarından dolayı tip onayı ile gerçek şartlar arasındaki yakıt tüketimindeki tutarsızlıklar. 50
Şekil 6.1. Motorlu araçlarda kirletici kaynakları. 51
Şekil 6.2. Motorlarda yanma prosesi ve zararlı gazların oluşumu. 52
Şekil 6.3. Dizel motorlardan kaynaklanan zararlı egzoz emisyonlar. 54
Şekil 6.4. Polisiklik aromatik hidrokarbonların insan sağlığı üzerindeki etkileri. 56
Şekil 6.5. CO_2 Emisyonlarının kan hücreleri üzerindeki etkisi. 57
Şekil 6.6. Emisyonlarının sebep olduğu sera etkisinin oluşum aşamaları. 57
Şekil 6.7. Dizel motorlarda oluşan partikül madde yapısı. 59
Şekil 6.8. Asit yağmurlarının oluşumu. 60
Şekil 7.1. Dizel motorda oluşan egzoz emisyonlarının ölçülmesi. 65
Şekil 7.2. Karter havalandırma sistemi. 71
Şekil 7.3. EGR sisteminin çalışma prensibi. 73
Şekil 7.4. Dizel partikül filtre devresi. 75
Şekil 7.5. Partikül filtresinin yapısı. 75
Şekil 7.6. Oksidasyon katalizatörü (DOC). 76
Şekil 7.7. SCR (AdBlue) teknolojisi çalışma prensibi. 77
Şekil 7.8. Seçici kalalitik indirgemedeki reaksiyonlar. 78
Şekil 8.1. Hava Filtrasyon Mekanizmaları 81
Şekil 8.2. Geleneksel selüloz malzemeden üretilmiş filtre yapısı. 82
Şekil 8.3. Ultra nanofiber kaplanarak üretilmiş filtre yapısı. 83
Şekil 8.4. Titreşime dayanıklı selüloz filtre yapısı. 84
Şekil 8.5. Alev (yangın) geciktirme özellikli selüloz yapısı. 84
Şekil 8.6. Güvenlik esaslı filtre malzeme yapısı. 85
Şekil 9.1. Deneysel çalışmanın yapıldığı yer ve traktör 89

Şekil 9.2. Motor test dinamometresi ve data toplama. 90
Şekil 9.3. Test düzeneği kurulum devresi. 91
Şekil 9.4. Test motoru bileşenleri. 92
Şekil 9.5. Motor devri 1400 d/dk da iken basınç düşüşü seviyesine göre güç değişimi. 93
Şekil 9.6. Motor devri 1400 d/dk da iken basınç düşüşü seviyesine göre tork değişimi. 94
Şekil 9.7. Motor devri 1400 d/dk da iken basınç düşüşü seviyesine göre radyatör üst hortum sıcaklığının değişimi. 95
Şekil 9.8. Motor devri 1400 d/dk da iken basınç düşüşü seviyesine göre radyatör alt hortum sıcaklığının değişimi. 96
Şekil 9.9. Motor devri 1400 d/dk da iken basınç düşüşü seviyesine göre intercooler giriş (turbo çıkışı) sıcaklığının değişimi. 97
Şekil 9.10. Motor devri 1400 d/dk da iken basınç düşüşü seviyesine göre intercooler (ara soğutucu) çıkış sıcaklığının değişimi. 98
Şekil 9.11. Motor devri 1400 d/dk da iken basınç düşüşü seviyesine göre yakıt tüketimindeki değişim. 99
Şekil 9.12. Motor devri 1400 d/dk da iken hava filtresi tıkanıklık seviyesine göre egzozdan atılan zararlı emisyonların değişimi. 100
Şekil 9.13. Motor devri 2200 d/dk da iken basınç düşüşü seviyesine göre güç değişimi. 101
Şekil 9.14. Motorun devri 2200 d/dk da iken basınç düşüşü seviyesine göre tork değişimi. 102
Şekil 9.15. Motor devri 2200 d/dk da iken basınç düşüşü seviyesine göre radyatör üst hortum sıcaklığının değişimi. 103
Şekil 9.16. Motor devri 1400 d/dk da iken basınç düşüşü seviyesine göre radyatör alt hortum sıcaklığının değişimi. 104
Şekil 9.17. Motor devri 2200 d/dk da iken basınç düşüşü seviyesine göre intercooler giriş (turbo çıkışı) sıcaklığının değişimi. 105
Şekil 9.18. Motor devri 1400 d/dk da iken basınç düşüşü seviyesine göre intercooler (ara soğutucu) çıkış sıcaklığının değişimi. 106
Şekil 9.19. Motor devri 2200 d/dk da iken basınç düşüşü seviyesine göre yakıt tüketimdeki değişim. 107

Şekil 9.20. Hava filtresi tıkanıklık seviyesine göre motor devri 2200 d/dk da iken egzozdan atılan zararlı emisyonların değişimi. 108
Şekil 9.21. Hava filtresi tıkanıklık seviyesine göre motor devri 1400d/dk da iken -1mbar daki akış analizi. 109
Şekil 9.22. Hava filtresi tıkanıklık seviyesine göre motor devri 1400d/dk da iken -21mbar daki akış analizi 110
Şekil 9.23. Hava filtresi tıkanıklık seviyesine göre motor devri 1400d/dk da iken -40mbar daki akış analizi 110
Şekil 9.24. Hava filtresi tıkanıklık seviyesine göre motor devri 1400d/dk da iken -65mbar daki akış analizi 111
Şekil 9.25. Hava filtresi tıkanıklık seviyesine göre motor devri 2200 d/dk da iken -1mbar daki akış analizi 111
Şekil 9.26. Hava filtresi tıkanıklık seviyesine göre motor devri 2200 d/dk da iken -21mbar daki akış analizi 112
Şekil 9.27. Hava filtresi tıkanıklık seviyesine göre motor devri 2200 d/dk da iken -40mbar daki akış analizi 112
Şekil 9.28. Hava filtresi tıkanıklık seviyesine göre motor devri 2200 d/dk da iken -65mbar daki akış analizi 113

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1. Genel Durum

Modern içten yanmalı motorlardaki ilgili ilk gelişmeler 1870'lü yılların sonlarına doğru otomobillerin geliştirmesi ile ortaya çıkmıştır. Bu motorlar için gerekli olan enerji hidrokarbon esaslı bir yakıtın hava ile yakılması sonucu elde edilmektedir. Yanma esnasında yakıtın kimyasal enerjisi motorun içindeki gazların iç enerjisine dönüştürülmesi ile meydana gelir. Daha sonra elde edilen iç enerji motorun sahip olduğu mekanik sistemler yardımıyla krank mili çıkışında faydalı işe dönüştürülür. Esas olarak karbon ve hidrojen den oluşan bunların yanında oksijen, azot, kükürt ve diğer bileşenleri içeren pek çok hidrokarbon yakıtı bulunmaktadır. İçten yanmalı motorlar çok uzun yıllardır başta taşıtlar olmak üzere çok farklı uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Son zamanlarda taşıtlarda her ne kadar hibrit, tam elektrikli yakıt hücreli, hidrojen veya alternatif yakıtlı araçlar artan bir hızla devam etmiş olsa da içten yanmalı motorların bu alandaki egemenliğinin uzun yıllar süreceği düşünülmektedir. Bu nedenle geçmişte çok farklı boyut, geometri ve çalışma karakteristikleri bakımından birbirinden farklı motorlar üretilmiştir. Bu motorlar günümüz şartlarında bazı alanlarda hala yaygın olarak kullanılmaktadır. Dizel motorlar yüksek verim ve tork değerlerine sahip oldukları için özellikle ağır vasıtalar, ticari taşıtlar, iş makinaları, tarım araçları, jeneratörler, demiryolu ve denizcilik alanlarında kullanımı ile öne çıkmaktadır. Bu nedenle 21. yüzyılda artan talep karşısında petrolü bulmak daha zor ve pahalı hale gelecektir aynı zamanda içten yanmalı motorların kullanıma bağlı olarak aşınmalar meydana geleceği için yakıt ekonomisi büyük bir önem kazanacaktır. Ayrıca çevre emisyon standartlarındaki katı kurallar ve bazı zorunluluklar gereği gelecekte içten

yanmalı motorlarda verimlilik, zararlı egzoz emisyonlarının azaltılması ayrıca alternatif yakıtlar ile çalışmalar artacaktır.

İçten yanmalı benzinli / dizel motorların tüm dünya pazarındaki artışı ile zararlı egzoz emisyonları da arttığı için alternatif yakıt ve sentetik yakıt arayışlarının gelişmesine sebep olmuştur. Diğer hava kirletici kaynaklar ile birlikte çok büyük miktarda otomobiller Dünyanın hava kalitesi olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle günümüz şartlarında pek üretici firma otomobil motorlarından yayılan egzoz emisyonlarının azaltılması konusunda çok farklı çalışmalar yapmaktadır. Ayrıca çift yakıtlı benzinli ve dizel motorların piyasaya çıkarılması araştırmaları başlatılmış, karışım olarak metanol, doğalgaz ve hidrojen gibi yakıtlar ile birlikte kullanımı için farklı tasarımlar geliştirilmektedir. Günümüzde alternatif yakıtların çoğu oldukça pahalıdır bunun temel nedeni genellikle üretim maliyeti ve kullanım miktarı olarak açıklanabilir. Ancak teknolojisinin gelişmesine bağlı olarak üretim, ham madde maliyetlerinin azaltılması ayrıca üretilen bu yakıtların benzinle veya motorinle aynı kullanım seviyesine ulaştığında daha ucuz olacağı düşünülmektedir. Bu durumda üretim dağıtım ve pazarlama faaliyetlerinin de daha ekonomik olacağı öngörülmektedir. Alternatif yakıtlar ile ilgili diğer problemler ise günümüz şartlarında pek çok ülkede yeterli sayıda dağıtım istasyon bulunamaması, araç satın alacak kişilerdeki isteksizlik ve belirsizliklerdir. Ancak zamana bağlı olarak gelişen teknoloji ve araştırmalar sonucunda; alternatif yakıtların, hem ekonomik hem de çevre açısından çözümün bir parçası olacağı düşünülmektedir.

1.2. Amaç ve Özgünlük

Traktörler ve İş makinaları arazi şartlarında çok uzun süre çalıştırıldıkları için yoğun tozlu havaya maruz kalırlar. Havanın toz konsantrasyonu arttıkça hava filtresinin daha çabuk kirlendiği bilinen gerçektir. Kullanım şartlarına bağlı olarak hava filtresinin tıkanması morun tork ve gücünü düşürürken yakıt tüketiminin artmasına sebep olmaktadır. Ayrıca yanma sonunda egzozdan çevreye atılan zararlı emisyonlarının seviyesi de yükselmektedir. Ancak hava filtresi kirlenmesine bağlı olarak meydana gelen etkiler kullanıcılar tarafından bilinmemekle birlikte bu konuda ortaya konmuş kapsamlı bir çalışmada bulunmamaktadır.

Atmosferdeki havanın karakteristik özelliklerinden biriside 1 m^3 'te bir toz kütlesi (gram veya miligram olarak) olarak ölçülen toz konsantrasyonudur. Havadaki tozlanma

seviyesi birçok faktöre bağlı olarak değişkenlik gösterir. Atmosferik havanın basınç, nem ve sıcaklık değerleri, motorlarda verim, güç,tork aynı zamanda egzoz emisyonları için büyük önem arz etmektedir. Ayrıca emme havası toz seviyesindeki artış iyi bir filtreleme yapılmadan motora verilirse öncelikle silindir -piston düzeneğinin çizilmesine ve aşınmalara neden olur. Silindirlerde meydana gelen bu aşınmalara bağlı olarak motorun yakıt ve yağ tüketimi de artar. Bu durum, motorun güncel işletme maliyetlerini arttırırken kullanım süresinin azalmasına neden olur. Tüm bunların sonucu olarak bir müddet sonra motor kapsamlı bir revizyon (yenileme işlemi) gerektirir. Motorlarda revizyon işlemi oldukça pahalı ve uzun zaman alan bir süreçtir.

Bu tezdeki temel amacımız hava filtresinde oluşan kademeli tıkanıklık seviyesinin (Kirlilik, tozlanma) motorun karakteristik özellikleri (Tork,Güç ve Yakıt Tüketimi) üzerindeki etkilerini incelemek ve sistemde oluşan basınç düşüşüne bağlı olarak egzozdan atılan zararlı gazların seviyelerini belirlemektir. Hattat Traktör Arge Merkezinde mevcut bir traktör üzerindeki hava filtresinde oluşan tozlanmanın motor üzerindeki etkilerinin ortaya çıkarılması ve emme sistemindeki basınç düşüşünün eşik seviyesinin belirlenmesi çalışmaya özgün bir değer katmaktadır. Böylece kullanıcılar arasında daha az bilinen hava filtresi tıkanıklık seviyesinin etkileri ve tozlanmanın önemi anlaşılmış olacaktır.

BÖLÜM 2

KAYNAK ARAŞTIRMASI

Uzun, Şahin, Koca ve Salman (2008) yaptıkları çalışmada, hava filtresinin tozlanması ve kirlenmesi sonucunda silindir içene giren hava miktarının azalmasının motordaki etkilerini araştırmışlardır. Hava filtresi tıkanıklık seviyesi bir mikro denetleyici ile iki farklı basınç düşmesi ile kontrol edilmiştir. Deney sonuçlarına göre hava filtresinin tozlanma seviyesi arttıkça silindir içine giren hava miktarı azaldığı için manifold basıncı ve hacimsel verimin de düştüğü görülmüştür.

Mamat, Abdullah, Xu, Wyszynski ve Tsolakis (2009) yaptıkları çalışmada silindir içine giren emme havasının basınç düşüşünün motor performansı ve egzoz emisyon sistemi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Altı silindirli bir V tipi dizel motorda kullanılan kolza metil esteri içeren yakıt ile ultra düşük kükürtlü dizel yakıtı karşılaştırılmıştır. Test süreci sonunda her iki yakıt türü içinde emme manifoldunda basınç düşüşü arttıkça yakıt tüketim değerleri de artmıştır. Kolza metil esterli yakıt kullanımı ile düşük kükürtlü yakıta göre motordan %1.2-2 daha düşük verim elde edilmiştir. Ayrıca emme manifoldundaki basınç düşüşü yanmayı direkt etkilediği için zararlı egzoz emisyonları da artmaktadır. Araştırmada kullanılan altı silindirli test motorunda düşük kükürtlü yakıt kullanılması halinde egzoz emisyonlarındaki NOx (Azotoksit) ve CO (Karbon monoksit) sevilerinde azalma tespit edilmiştir.

Hosseini ve Tafreshi, (2011) çalışmalarında hava filtrasyonunda kullanılan liflerin kesit şeklinin, kaymalı ve kaymasız akış rejimlerindeki performanslarını araştırmışlardır. Farklı geometrilere sahip dairesel, kare, eliptik vb. enine kesitli nano ve mikro liflerin etrafındaki akış alanlarını simüle ederek, bir nano lifin neden olduğu sürtünmenin lif geometrisisinin aerodinamik özelliklerine bağlı olarak değiştiği ifade

edilmiştir. Ayrıca akış anında verimliliği etkileyen gelen basınç düşüşünde, fiber geometrisinin önemli bir faktör olduğu vurgulanmıştır.

Gailis ve Pirs (2011) yaptıkları çalışmada, araçlardaki hava filtresi değişim periyodunun motor gücü ve yakıt tüketimi üzerindeki etkisini analiz etmişlerdir. Bu amaçla Letonya'da kullanılan aynı model ve tipteki yüz adet araçtan çıkan hava filtresi numuneleri toplanmıştır.Yeni bir hava filtresi test edilerek maksimum basınç düşüşü 2.81kPa olarak ölçülmüş ve teorik olarak kullanılmış hava filtrelerindeki basınç düşüşünün 5.31 kPa olması gerektiği hesaplanmıştır Ancak hiçbir numuneden bu basınç düşüş değeri elde edilemediği için hava filtrelerinin erken periyodta değiştirildiği bunun sonucu olarak da motorun yakıt tüketimi ve gücünde önemli bir değişikliğe neden olmadığı gözlemlenmiştir.

Liu, (2014) yaptığı çalışmada, Dizel motor yakıtına farklı oranlarda hayvansal ve bitkisel biyodizel eklenmesi ile yanma ve emisyonlar üzerindeki etkisini incelemiştir. Yakıta ilave edilen metil esterin motorun düşük sıcaklıklarda çalıştığı zaman diliminde eksik yanma sebebi ile egzoz emisyonlarındaki PM (Partikül madde) ve HC (Hidrokarbon) miktarını arttırdığı, motor soğutma suyu 90°C'ye yükseldiğinde emisyonların azaldığını ifade etmektedir.

Toma ve Fileru (2016) Renault marka dizel motora ait yeni ve kullanılmış hava filtrelerinin emme kanalındaki direnç etkisini laboratuvar şartlarında incelemişlerdir. Bu filtrelerden sadece iki tanesi yeni olup diğerleri kullanılmış ve toz seviyeleri farklı olarak seçilmiştir. Kullanılmış filtrelerin değişim aralığı ve mevcut filtre ile yapılan kilometre bilgileri yetkili servis kayıtlarından alınmıştır. Yapılan testlerde basınç kaybına sebep olan kirlenmenin sadece yapılan kilometreye bağlı olmadığı aracın kullanıldığı ortam şartlarındaki (Çevresel şartlar) toz miktarının ve toz tane büyüklüğünün önemli rol oynadığı sonucuna varılmıştır.

Mathews, Sandhya ve Balakrishnan (2016) araçlarda kullanılan OEM hava filtresinin satış sonrasında satılan performans hava filtresiyle değiştirilmesi sonucunda aracın yakıt ekonomisindeki ve performansındaki etkilerini araştırmışlardır. Dizel motorlu araçlarda her iki hava filtresi için tıkanma ile meydana gelen basınç düşüşü ve motor parametrelerinde meydana gelen değişimler incelenmiştir. Araç üzerinde yapılan hızlanma ve yakıt ekonomisi testlerine göre, filtre yeni iken, tıkalı olma durumuna motor

performansında daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Yakıt ekonomisi testlerinde ise performans hava filtresinin hem yeni, hem de tıkalı olma durumunda OEM hava filtresine kıyasla bir miktar daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Ancak performans hava filtrelerinin maliyetlerinin yüksek olması sebebi ile satın alma aşamasında caydırıcı bir etki yaratacağı düşünülmektedir.

Srinivasulu, Srikanth, Rafi ve Ramanjaneeyulu, (2016) yaptıkları çalışmada, otomobil motorlarında hava filtresinde oluşan basınç kaybını minumum seviyeye indirerek yanmanın daha verili hale gelmesi içi hava filtresi boyutları ve geometrisini CFD programı ile analiz etmişlerdir. Test ve analiz sonuçlarına bağlı olarak silindir içine girecek havanın miktarı arttırmak ve basınç düşüşünde %14' e kadar iyileştirme sağlamak için sistem üzerinde farklı konumlarda, yönlendirme plakaları önerilmiştir.

Hassan, Bitrus ve Yahuza (2017) Benzinli bir motorun emme manifoldudaki basınç düşüşü ve sıcaklığın etkileri kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Çalışma, Nijerya da Peugeot 406 kullanılarak 50 km, 150 km ve 200km. mesafeler üç hava filtresi test edilmiştir. Hava filtrelerinin mesafe ile artan bu tıkanması, manifold emme basıncı ve sıcaklığında önemli bir düşüşe neden olurken diğer yandan; daha fazla Hidrokarbon (HC), Karbon monoksit (CO) emisyonuna sebep olduğu görülmüştür. Bu nedenle hava giriş borularının toz itici malzemelerle birleştirilmesi ayrıca hava filtresinin araçların kat ettiği mesafeye göre değil, manifold emme basıncı ve sıcaklık verilerine göre temizlenmeli veya değiştirilmelidir.

An-Jie, Zhong-Jie, Jian-wei & Cheng-jian (2019) tarafından farklı yapıdaki hava filtrelerinin tek silindirli dizel motorun performansı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Prototip olarak tasarladıkları yeni tip yağ banyolu kompozit hava filtresi ile yapılan test sonuçlarında egzoz gaz sıcaklığı, emisyonlarda azalma ve yakıt tüketiminde %1.4 iyileşme sağlanırken maksimum güçte %5.5 artış elde edilmiştir.

Chang vd. (2019) yaptıkları çalışmada, dizel motorlarda atmosferik plazma tekniği kullanarak enerji verimliliğini artırmayı ve buna bağlı olarak zararlı egzoz emisyonlarını azaltmayı hedeflemişlerdir. Bu çalışmanın verileri atmosferik plazma sistemi ilave edilmiş bir dizel jeneratör motorundan elde edilmiştir. Önerilen metot sayesinde emme giriş havasını iyonize edilerek yanma veriminde iyileşmeler tespit

edilmiştir. Plazma sisteminin çıkış voltajına bağlı olarak motorun performansında artış sağlanırken zararlı egzoz emisyonları ve partikül seviyeleri azaltılmıştır.

Allam ve Elsaid (2020) yaptıkları çalışmada, Dizel bir motorun performansı ve yakıt tüketiminin iyileştirilmesi için hava filtresi tasarımlarının deneysel ve ANYS programı ile optimize edilmesi amaçlanmıştır. Yapılan çalışmada hava filtresinin şekilsel özellikleri ile filtre kalınlığı ve toz yükünün motorun devrine göre güç, tork ve yakıt tüketimine etkisi incelenmiştir. Deneysel ve ANYS optimizasyonu sonucunda sinüs dalgasına benzeyen kıvrımlı hava filtresi formunda daha az basınç düşüşü ve en düşük yakıt tüketiminin 0.29 kg/kW h tespit edilmiştir.

Dziubak ve Dziubak (2020) tarafından motorun silindiri içine alınan emme havanın filtrasyonundaki toz tanesinin büyüklüğünün ve etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada, hava filtrelerinin test edilmesinde beş farklı materyal kullanılarak verimlilik özellikleri, doğruluğu, toz emme katsayısına bağlı olarak akış dirençleri test edilmiştir. Araştırma sonuçlarına bağlı olarak verimliliğin kullanılan filtre malzemesi özellikleri ile yakından ilgili olduğu ifade edilmektedir. Ayrıca emme havası filtrasyonunun verimliliğindeki ve doğruluğundaki her artış, motor bileşenlerinin aşınmasını azaltmaktadır. Motorun silindiri içine alınan hava içindeki toz çapı 1µm den büyük olduğunda motor bileşenlerinde en fazla aşınma meydana gelmektedir. Nanofiber malzemeler kullanılarak üretilen hava filtrelerinde 5 µm 'nin altındaki toz taneciklerinde daha yüksek filtrasyon verimliliği sağlanmaktadır.

Synak, Kalosova ve Synak (2020) araçlardaki tıkanmış hava filtresinin motorun dinamik özellikleri, yakıt tüketimi ve egzoz gazları emisyonundaki değişimleri laboratuvar koşullarında analiz etmişlerdir. Emme kanalındaki basınç düşüşünün etkisini incelemek için testler hava filtresi cebri hava indiksiyonu ile tam tıkanıklık kademesine getirilene kadar devam etmiştir. Hava filtresinde meydana gelen basınç düşüşü tam tıkanıklık halinde motorun karakteristik özelliklerini önemli derecede etkilemektedir. Tam tıkanıklık hali dışındaki hava filtresi kirlilik seviyelerinin seçilen araç parametreleri üzerinde düşük bir etkisi olmasına rağmen, motor kullanım ömrünü olumsuz etkileyecek yabancı maddeleri tutması sebebi ile değişim periyodunun ertelenmemesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

Dziubak, Leszek, Karczewslia ve Tomaszewski (2020) yaptıkları çalışmada, özel bir araç motorunda kullanılmak üzere iki aşamalı hava giriş filtrasyon sistemi önermişlerdir. Geri dönüş ve girdap tüplü ayırıcıların filtrasyon özellikleri karşılaştırmalı bir analizi yapılmıştır. Vorteks tüp ayırıcıların verimini belirleyen faktörler ve siklondaki aerosol süzme işlemleri incelenmiştir. Tasarım faktörleri, akıştaki aerosolün ayırma verimliliği üzerindeki etkisi ve sistemdeki basınç düşüşü, CFD yazılımı kullanılarak belirlenmiştir. Ayrıca literatürde olmayan filtrasyon özelliklerinin belirlenmesinde kullanılanacak özgün bir vorteks tüp ayırıcı modeli geliştirilmiştir.

Jaikumar, Srinivas ve Meher (2021) yaptıkları çalışmada, Dizel motorlardan kaynaklanan zararlı egzoz emisyonlarının azaltılması ile ilgili yapılan farklı bir çalışmada mevcut B20 oranındaki biyodizele $Al_2 O_3$ (Alüminyum oksit) nano partikül ilave edilerek etkileri araştırılmıştır. Biyodizele 50ppm oranında ilave edilen $Al_2 O_3$ nano partikül ile yanma özelliklerinde iyileşmelerin olduğu gözlemlenmiştir. Özellikle silindir içi basıncın artması, ısı salınım hızı ve ortalama gaz sıcaklığında iyileşmeler sağlanmıştır.

Dziubak ve Boruta (2021) yaptıkları çalışmada, emme havası içinde bulunan mineral tozun motorun bileşenleri üzerindeki aşınma ve performans etkilerini araştırmışlardır. Hava filtrelerinde modellemenin ve konumlandırmanın motora giren havanın basınç düşüşüne sebep olduğu vurgulanmıştır. Hava akış akış parametrelerine bağlı olarak yakıt tüketiminin de değiştiği açıklanmıştır. Doğrusal ve doğrusal olmayan modellemelerle deneysel verilerin korelasyon derecesi benzer sonuçlar elde edilmiştir. Bu nedenle, sistemdeki basınç düşüşünü modellemek için doğrusal bir fonksiyonun kullanılabileceğini çıkarımı yapılmıştır.(Basınç düşüşündeki değişimin araç ile yapılan kilometrenin doğrusal bir fonksiyonu olarak düşünülebilir.)

Dziubak (2021) yapmış olduğu çalışmada, tozlu bölgelerde çalışan motorlarda giriş havasının iki kademede (Multisiklon-baffle) filtrelenmesi gerekliliğini önemle vurgulamıştır. Çok siklonlu toz toplayıcıda siklonlarla ayrılan toz birikimi engellenmiştir. Emme yolu ile biriken tozun toplayıcıdan çıkarılmasına ek olarak siklon filtrasyon verimliliğinde önemli bir artış sağlanmış olup bu çalışmada çok siklonlu bir çökeltme tankından gelen hava akışının tek bir siklonun ayırma verimliliği ve akış direnci üzerindeki etkileri de açıklanmıştır.

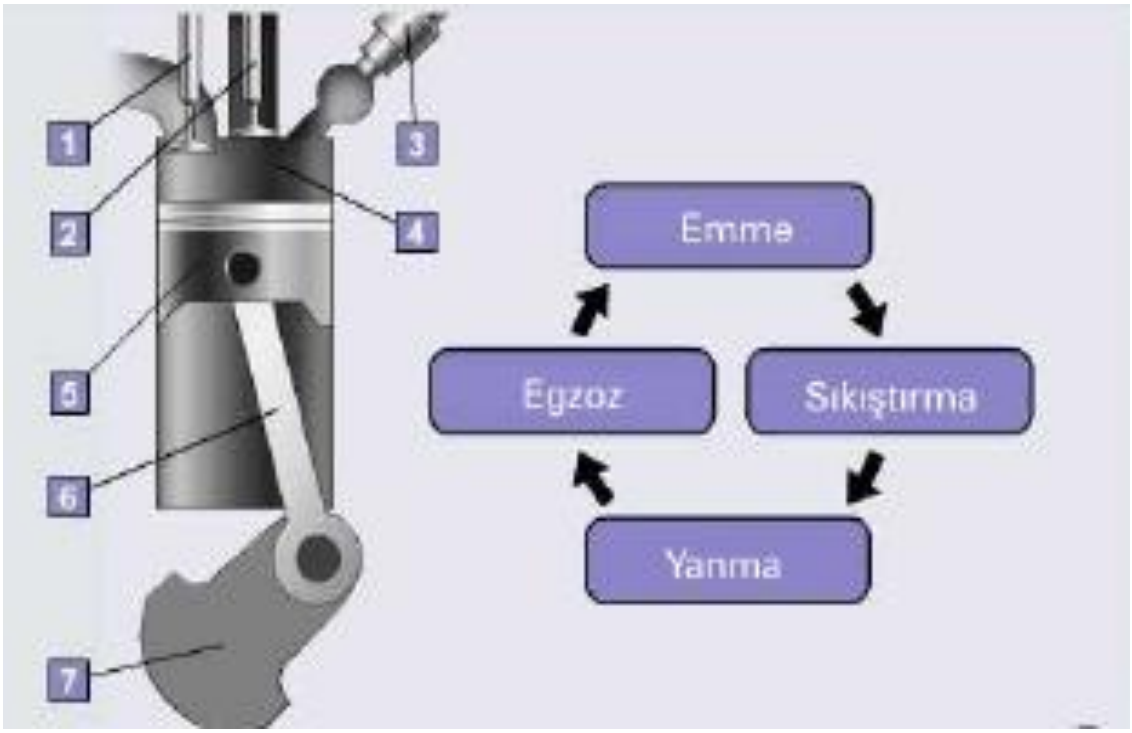
Yun (2021) yoğun toza maruz kalan arazi taşıtlarında motorun emme sisteminde kullanılan ön temizleme filtresinin verimini arttırmak için bir çalışma yapmıştır. Arazi de kullanılan araçlarda silindir içine toz girişini azaltmak için iki aşamalı filtre sistemi kullanılmaktadır. Bu çalışmada ön temizleyici filtrede toz tutma kabiliyetinin santrifüj etki ile arttırılması için akış geometrisi, eğim açısı ve basınç düşüşü HAD analizleri ile optimize edilmiştir. Ayrıca, ön filtrelemede toz tutma verimi arttığı için hava filtresinin çabuk kirlenmesi engellenmiş ve değişim periyodu da uzamıştır.

Hao vd. (2021) yaptıkları çalışmada , ağır hizmet tipi dizel motorlarda yanmanın iyileştirilmesi, optimizasyon ve emisyonların azaltılması için özel bir yakıt /hava ayırma cihazı(FSD) önermişlerdir. FSD cihazı yakıt spreyini bölerek hava kullanım miktarını arttırarak daha iyi bir karışım meydana geldiği görülmüştür. Önerilen FSD cihazı ile daha iyi bir yanma elde edildiği için motorun gücünde yaklaşık %6 artış ve zararlı egzoz emisyonlarında önemli seviyede azalma sağlanmıştır.

BÖLÜM 3

DİZEL MOTORLARIN ÇALIŞMA PRENSİPLERİ

Dizel bir motor çalışma prensibi olarak, öncelikle emme zamanında silindir içine alınan havanın sıkıştırılarak basınç ve sıcaklığı yükseltilmesi esasına dayanmaktadır. Daha sonra sıcaklığı ve basıncı artan kızgın havanın üzerine basınçlı yakıt (mazot) püskürtülerek yanma sağlanmış olur. Bu sebeple benzinli motorlardan farklı olarak ateşleme için bujiye ve yakıt karışımını oluşturmak gerekmemektedir. Bu olay dizel çevrimi olarak bilinmektedir. Zamanların oluşumu Şekil 3.1'de görülmektedir.



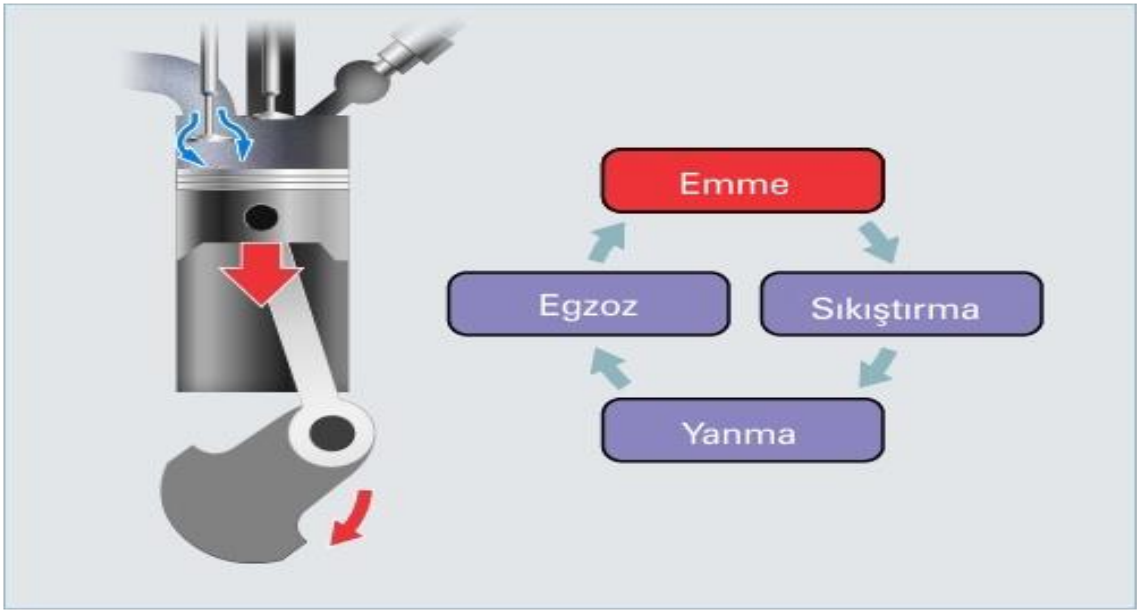
Şekil 3.1. Dizel motorlarda çevrim oluşumu ve sistem bileşenleri (Toyota, 2012).

1-Emme Supabı, 2-Egzoz Supabı,3-Enjektör,4-Yanma Odası,5-Piston,6-Piston Kolu (Biyel), 7-Krank Mili.

3.1. Dört Zaman Çevrimi

3.1.1 Emme Zamanı

Teorik olarak emme periyodu piston hareketini üst ölü noktadan başlayıp alt ölü noktaya kadar devam etmektedir. Bu zaman süresi içerisinde başlangıçta piston üst ölü noktada iken emme supabı açılır. Bu esnada hacim artışı ile silindir içinde basınç düşmesi meydana geldiği için vakum etkisi ile taze hava emilmiş olur. Silindir içine dolan havanın miktarı ve sıcaklığı motorun teknik özelliklerine göre değişmektedir ve emme zamanının oluşumu şekil 3.2'de görülmektedir (Toyota, 2012).

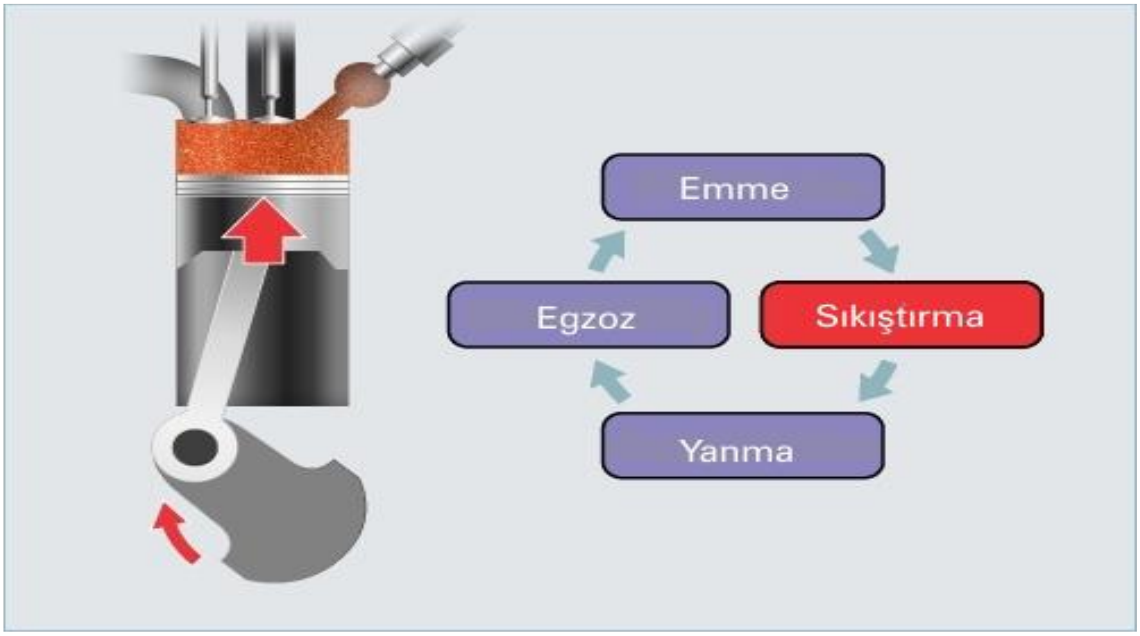


Şekil 3.2. Emme zamanı (Toyota, 2012).

3.1.2 Sıkıştırma Zamanı

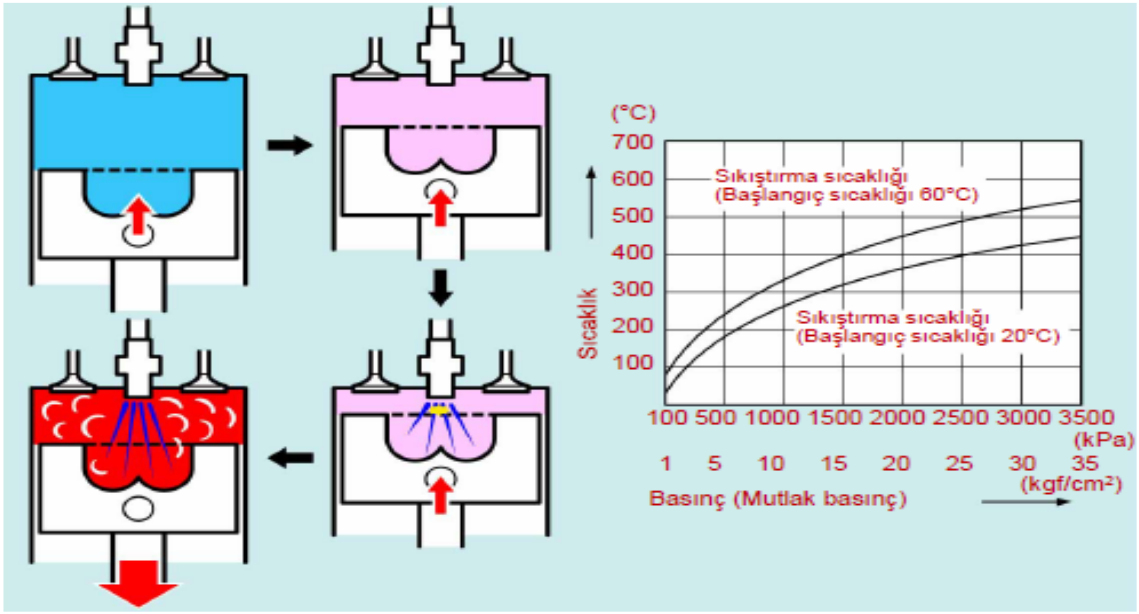
Emme zamanında silindir içerisine alınmış olan taze hava piston A.Ö.N (Alt ölü nokta)dan Ü.Ö.N (Üst ölü nokta) ya doğru hareket ederken emme ve egzoz supablarının her ikisi de kapalıdır. Sıkıştırma zamanının oluşumu Şekil 3.3'de görülmektedir. Piston A.Ö.N dan Ü.Ö.N ya doğru hareket ederken silindir içerisindeki hava yanma odasına sıkıştırılır. Bu esnada piston tarafından sıkıştırılan havanın basıncı ortalama 30-45

kg/cm ^{2} ve sıcaklığı 500-800 °C civarındadır. Motordan elde edilecek maksimum verim için sıkıştırma sonu basıncı ve sıcaklığı dizel motorlarda büyük önem arz etmektedir.



Şekil 3.3. Sıkıştırma zamanı (Toyota, 2012).

Şekil 3.4'de görüldüğü gibi sıkıştırma periyodunda basınca bağlı olarak silindir içindeki havanın sıcaklığı da değişmektedir.



Şekil 3.4. Sıkıştırma periyodundaki basınç ve sıcaklık değişimi (Toyota, 2012).

3.1.3 İş (Yanma) Zamanı

Sıkıştırma zamanı sonunda yanma odasına sıkıştırılmış basıncı ve sıcaklığı yükseltilmiş olan havanın içerisine mazot pompasından gelen 80- 400 kg/cm^2 basınçtaki yakıt enjektör tarafından püskürtülür. Silindir içine gönderilen yakıt, sıcak havayla temasa geçerek yanma başlar ve elde edilen basınç ile piston alt ölü noktaya doğru itilerek krank mili döndürülmüş olur. Yanma süreci Şekil 3.5'de görülmektedir (Toyota, 2012).



Şekil 3.5. İş (yanma) zamanı (Toyota,2012).

3.1.4 Egzoz Zamanı

A.Ö.N (Alt Ölü Nokta)ya gelen piston yeni bir çevrime başlayabilmek için silindir içerisindeki yanmış yani artık gazların dışarı atılması gerekmektedir. Bu nedenle piston A.Ö.N. dan Ü.Ö.N noktaya doğru çıkarken egzoz supabı açılır yanmış gazlar dışarıya atılarak silindir yeni bir çevrime hazır hale getirilmiş olur. Egzoz zamanının oluşumu ve çevrimin tamamlanması Şekil 3.6'da görülmektedir. Yukarıda açıklanan dört zaman çevrimi tamamen teorik esaslara dayanmaktadır gerçekte dört zaman çevriminde her bir periyot teoride olduğu gibi 180° olmayıp supabların açılıp kapanmaları yakıtın püskürtülmesi gibi zaman farkları meydana gelmektedir. Gerçek çevrim şartları motorların teknolojik özelliklerine göre değişmekte olup, zamanların oluşumu supab ayar diyagramları ile açıklanmaktadır (Toyota, 2012).



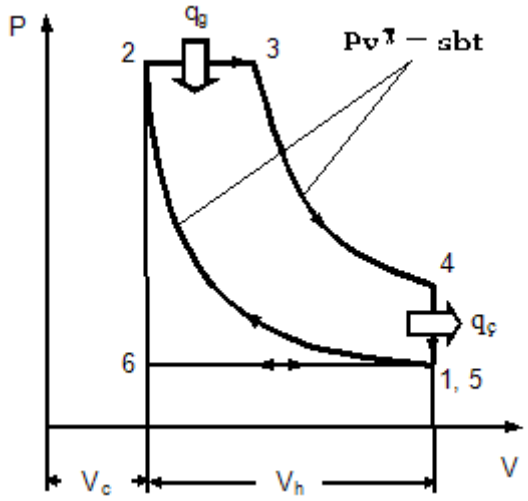
Şekil 3.6. Egzoz zamanı (Toyota, 2012).

BÖLÜM 4

DİZEL MOTOR ÇEVRİMİNİN TERMODİNAMİK ANALİZİ, TEORİK ESASLAR, YANMA KİMYASI VE GÜÇ HESAPLAMALARI

4.1. Dizel Motor Çevriminin Termodinamik Analizi ve Teorik Esaslar

Dizel motorlarda yanma süreci sabit basınç altında gerçekleşmekte olup teorik P-V diyagramı şekil 4.1'de görülmektedir.

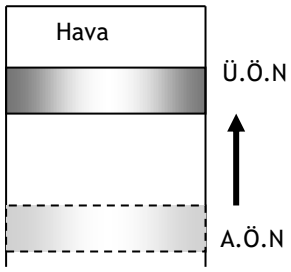


Şekil 4.1. Sabit basınçta ısı girişli ideal çevrim (dizel çevrimi).

Dizel çevrimi kapalı bir sistemde gerçekleşir; çevrimi oluşturan hal değişimlerine uygulanan Termodinamiğin birinci yasası birim kütle için aşağıdaki gibi ifade edilmektedir (Yılmaz, 2021).

Birinci yasa $q - w = \Delta u$ (4.1)

1~2 Tersinir adyabatik sıkıştırma: $s_1 = s_2$, $q_{1,2} = 0$



Şekil 4.2. Tersinir adyabatik sıkıştırma hali.

Şekil 4.2'de görüldüğü gibi, birim kütle için mükemmel gaz denklemleri yazılırsa;

İzentropik sıkıştırma işi

$$-w_{1,2} = u_2 - u_1 = c_v (T_2 - T_1) \quad (4.2)$$

$$P_1 V_1^{x} = P_2 V_2^{x} \quad (4.3)$$

$$P_2 = P_1 r_1^{x,\, r} = \frac{v_1}{v_2} \quad (4.4)$$

$$P_1 V_1 = R T_1 \quad \text{ve} \quad P_2 V_2 = R T_2 \quad (4.5)$$

$$T_2 = T_1 {}^{r\, x-1} \quad (4.6)$$

elde edilir.

2~3 Sisteme sabit basınçta ısı girişi:

İdeal Dizel çevriminde sisteme sabit basınçta ısı verilir. Bu durum ideal Dizel çevriminin ideal Otto çevriminden ayrılan tek özelliğidir; sabit basınçta ısı verilirken aynı zamanda iş yapılır. Termodinamiğin birinci yasasının uygulanmasıyla çevrime giren ısı için

$$q_g = q_{2,3} = w_{2,3} + (u_3-u_2) = P_2 (v_3-v_2) + (u_3-u_2) \quad (4.7)$$

yazılabilir. Burada h=u+Pv olduğundan

Çevrime giren ısı $q_g = h_3 - h_2 = c_p (T_3-T_2)$ (4.8)

Birim kütle için mükemmel gaz denklemleri

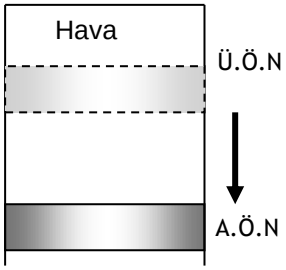
$P_2V_2 = RT_2$ ve $P_3V_3 = RT_3$ olduğuna göre,

ve kesme oranı

$$\alpha = \frac{V_3}{V_2} = \frac{T_3}{T_2} \quad (4.9)$$

olarak belirlenir. Sabit basınçtaki ısı girişinden sonra ve önceki hacimlerin oranı **kesme oranı** veya **hacim artış oranı** olarak adlandırılır (Yılmaz, 2021)

3~4 Tersinir adyabatik genişleme: $s_3 = s_4$ Bu durumda sistem hali Şekil 4.3'de görüldüğü gibi gerçekleşmektedir.



Şekil 4.3. Tersinir adyabatik genişleme hali.

İzentropik Genişleme işi

$$w_{3,4} = (u_3-u_4) + P_2 (v_3-v_2) = (h_3-h_4) + P_4V_4 - P_2V_2 \quad (4.10)$$

$$P_3V_3^x = P_4V_4^x \quad (4.11)$$

$v_3 = \alpha v_2$, $v_4 = v_1$

$$P_3 (\alpha v_2)^x = P_4 v_1^x$$

$$P_4 = (\frac{a}{r})^x P_3 \quad (4.12)$$

4~1 Çevrimden sabit hacimde ısı atılması:

Çevrimden atılan ısı $q_ç = - q_{4,1} = - (u_1-u_4) = c_v (T_4-T_1)$ (4.13)

Çevrimin tamamlanması sonucu birim kütle için yapılan net iş

$$w_{net} = w_{in} = q_g - q_ç = c_p (T_3-T_2) - c_v (T_4-T_1) = c_v [X (T_3-T_2) - (T_4-T_1)] \quad (4.14)$$

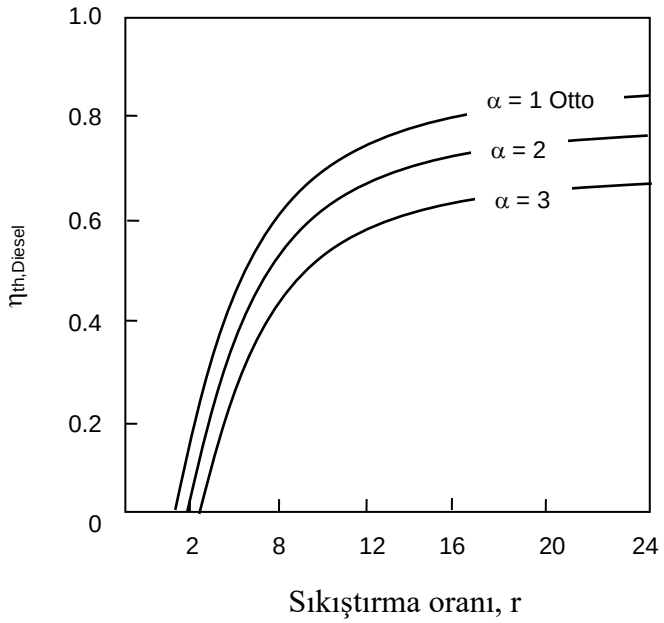
İdeal Dizel çevrimi ısıl verimi, Otto çevrimine benzer şekilde belirlenmektedir.

$$\eta_{th} = \frac{w_{net}}{q_g} = 1 - \frac{q_ç}{q_g} = 1 - \frac{Cv\,(T_4 - T_1)}{Cp(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{(T_4 - T_1)}{X\,(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_1\left(\frac{T_4}{T_1} - 1\right)}{X\,T_2\left(\frac{T_3}{T_2} - 1\right)} \quad (4.15)$$

Kesme oranından ve 1-2 ve 3-4 hal değişimleri için izentropik mükemmel gaz bağıntılarını kullanarak **İdeal Dizel Çevrimi Isıl Verimi** bağıntısı düzenlenebilir.

$$\eta_{th,Dizel} = 1 - \frac{1}{r^{x-1}}\left[\frac{a^x - 1}{x(a-1)}\right] \quad (4.16)$$

Dizel çevrimin ısıl verimiyle Otto çevrimin ısıl veriminin farkının köşeli parantez içindeki çarpan olduğu görülür. Bu çarpan her zaman 1' den büyüktür. Bu nedenle **aynı sıkıştırma oranına sahip** ideal Otto çevriminin ısıl verimi ideal Dizel çevriminden daha büyüktür. Ayrıca kesme oranı küçüldükçe Dizel çevriminin verimi yükselir. α=1 olduğunda Otto ve Dizel çevrimlerini verimi birbirine eşittir. Ancak Dizel çevrimleri daha yüksek sıkıştırma oranlarında çalışırlar, dolayısıyla daha yüksek verimlere sahiptirler (Yılmaz, 2021).Sıkıştırma oranına bağlı olarak ısıl verimin değişimi şekil 4.4'de görülmektedir.



Şekil 4.4. Bir dizel çevriminin kesme ısıl veriminin sıkıştırma ve kesme oranına bağlı değişimi (Yılmaz, 2021).

4.2. Yanma Kimyası, Volumetrik (Hacimsel)Verim ve Güç Hesaplamaları

Dizel motorlarda silindir içine sıkıştırılan havanın üzerine yakıtın yüksek basınçla püskürtülmesi sonucunda bazı yanma sonu yanma ürünler oluşmaktadır. Bu ürünler;

CO_2, H_2O, SO_2, O_2 ve N_2' olarak açığa çıkmaktadır. (4.17)

Silindir içinde tam yanma gerçekleşemezse, bu bileşenlere ilave olarak CO, H_2, O, H, NO gazları meydana gelmektedir. Dizel motorlarda tam yanma veya eksik yanma oluşumu motor silindiri içindeki hava miktarına bağlıdır. Teorik olarak yanma hesaplamalarında kolaylık sağlamak adına yakıt 1 kg olarak kabulü ile işlemler yapılmaktadır. Kimyasal olarak 1kg' lık yakıtın tam olarak yanabilmesi için gerekli olan hava miktarı, hava fazlalık katsayısının hesaplanmasında kullanılmaktadır (Şengün, 2014).

1 kg yakıt = C+H+O+S olarak ifade edilirse, (4.18)

Buradaki C karbon, H hidrojen, O oksijen ve S kükürt, 1 kg yakıt içeresindeki kütlesel kesirleridir.

$C + O_2 \rightarrow CO_2$ (4.19)

$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$ (4.20)

$S + O_2 \rightarrow SO_2$ (4.21)

Karbonun atom ağırlığı 12, hidrojenin 1, oksijenin 16 ve kükürdün 32 olduğuna göre tam yanma halinde gereken minimum oksijen miktarı reaksiyon denklemleri ile hesaplanabilmektedir.

12 kg karbon + 32 kg oksijen = 44 kg karbondioksit

4 kg hidrojen + 32 kg oksijen = 36 kg su buharı

32 kg kükürt + 32 kg oksijen = 64 kg kükürtdioksit

Bu denklemlerden; karbon, hidrojen ve kükürdün yanması için gereken oksijen miktarlarının oranları;

1 kg karbonun yanması için = 32/12 kg oksijen = 8/3 kg oksijen

1 kg hidrojenin yanması için = 32/4 kg oksijen = 8 kg oksijen

1 kg kükürtün yanması için 32/32 kg oksijen = 1 kg oksijen

Tüm bunların yanında yakıtın bileşiminde oksijen mevcut ise, bu durumda reaksiyon esnasında açığa çıkan havanın içindeki oksijen ile birleşeceğinden dikkate alınmalıdır. Böyle bir durumda tam yanma için gereken minimum oksijen miktarı;

$$\text{Omin} = \frac{1}{100}\left(\frac{8}{3}\text{C} + 8\,\text{H} - \text{O} + \text{S}\right)\frac{\text{kg}\,O_2}{\text{kg.yakıt}} \qquad (4.22)$$

olarak hesaplanmaktadır. Yakıtın tam yanması için gereken oksijenin hacmini hesaplamak istersek, minimum oksijen hacmi;

$$\text{Omin} = \frac{1}{1{,}333\,.\,100}\left(\frac{8}{3}\text{C} + 8\,\text{H} - \text{O} + \text{S}\right)\frac{\text{kg}\,O_2}{\text{kg.yakıt}} \quad \text{olur.} \qquad (4.23)$$

Çizelge 4.1 de görüldüğü gibi bazı yakıtların minimum oksijen ihtiyacı ile minimum hava ihtiyacını ortalama değerler olarak ihtiva etmektedir (Şengün, 2014).

Çizelge 4.1. Katı ve sıvı yakıtların oksijen ve hava ihtiyacı

	Ağırlık yüzdeleri				Oksijen ihtiyacı O_{min}		Hava ihtiyacı L_{min}	
YAKIT CİNSİ	C	H	O	S	Kg/kg yakıt	m^3/kg yakıt	Kg/kg yakıt	m^3/kg yakıt
Benzin	85	15	0	0	3,46	2,6	14,9	12,4
Gazoil (Dizel yakıtı)	85	13	0	0,3	3,29	2,47	14,2	11,8
Saf Alkol	52	13	1,7	0	2,09	1,57	9	7,5
Benzol	92	8	0	0	3,08	2,31	13,3	11
Taş kömürü katran yağı	89	7	3,5	0,5	2,9	2,17	12,5	10,4
Linyit kömürü katran yağı	84	11	4,3	0,7	3,08	2,31	13,3	11
Taş kömürü	75	4	10	1	2,23	1,67	9,6	8

Gaz halindeki yakıtlar kullanan motorlarda hava ihtiyacı 1 kg için değil özellikle 1 m^3 yakıt için verilmektedir. Bu durumda hacimsel olarak hesaplama yapılması gerekir.

Minimum oksijen ihtiyacı ve minimum hava ihtiyacı hacimsel olarak hesaplanacağı için 1 m^3 gaz yakıtın tam olarak yakılabilmesi için kaç m^3oksijene ve kaç m3 havaya ihtiyaç duyulacağı kimyasal reaksiyon denklemlerinde olduğu gibi adı geçen yakıtın reaksiyon denklemi yazılarak kolaylıkla tespit edilmesi gereklidir (Şengün, 2014).

$$\lambda = \frac{\text{1 kg yakıtı tam yakabilecek hava miktarı}}{\text{1 kg yakıtı yakabilecek minimum hava miktarı}} \quad (4.24)$$

$$\lambda = \frac{L}{Lmin} = \text{Hava fazlalık katsayısı} \quad (4.25)$$

tam yanma için gerekli gerçek hava miktarı

$$L = \lambda \, . \, Lmin \quad (4.26)$$

Şeklinde hesaplanabilmektedir.

Hava fazlalık katsayısı; yakıtın cinsine, motor çevrimine ve karışımın oranına bağlı olarak değişebilmektedir. Özellikle dizel motorlarda sıkıştırma zamanı sonundaki kızgın havanın içine basınçla gönderilen yakıtın tam olarak yanabilmesi için hava fazlalık katsayısı büyük önem arz etmektedir. Hava fazlalık katsayısı λ'nın alabileceği ortalama değerler bazı motor tipleri göre Çizelge 4.2'de verilmiştir (Şengün, 2014).

Çizelge 4.2. Motorlarda hava fazlalık katsayıları.

Motor Tipleri	Hava Fazlalık Katsayısı (λ)
Benzin Motorları	0,9 – 1,3
Dizel Motorları	1,6 – 2,0
Gaz Motorları	1,2 – 1,5

Gerçek hava miktarının hesabı sıvı ve katı yakıtlar ile gaz halindeki yakıtlarda farklı şekilde meydana gelmektedir.

$L = 1 + ג . Lmin$

Motorun silindir çapı D,

Strok H,olarak ifade edilmekte olup

Kullanılan yakıtın tam yanması halinde alt ısıl değeri Hu olarak tanımlanmaktadır.

Bu hacim içerisine benzin motorlarında yakıt-hava karışımı dizel motorlarında sadece taze hava emilmektedir. Teorik olarak hesaplanabilen bu dolgu hacimleri silindir hacmine eşit olarak alınmaktadır. Fakat yanma sonrasında silindir içinde kalan sıcak artık gazlar, motorun yanma odasındaki bileşenlerin ısınması, emme esnasındaki kısılmalar sebebi ile silindirin içerisine giren dolgu miktarı azalmaktadır. Silindir içene alınan hava strok hacminin bir kısmını da doldurmaktadır. Ayrıca sıcak nem oranı yüksek dış atmosfer şartları ile düşük barometre seviyesi (Deniz seviyesinden çok yükseklerde geçerli, büyük uçuş yükseklikleri) de girecek dolgu miktarını etkileyecektir. Bu nedenle motorun strok hacmi silindir içine alınabilen gerçek dolgu miktarı ile strok hacmine teorik olarak girmesi gereken dolgu miktarı arasında belli bir oran da fark oluşacaktır. Gerçekte oluşan bu orana dolgu verimi hacimsel verim ya da ‘‘Volumetrik verim’’ adı verilmektedir. İçten yanmalı motorların özelliklerine bağlı olarak volümetrik (Hacimsel)verimlerinin değişimi Çizelge 4.3 de görülmektedir (Şengün, 2014).Ayrıca bu verimin arttırlması için çalışmalar devam etmektedir.

Çizelge 4.3. Motor tiplerine göre volümetrik verimler

MOTOR TİPLERİ	VOLÜMETRİK VERİM (η_v) (%)
Benzin motorları	70-80
Hızı az dizel motorları	75-95
Hızı çok diesel motorları	75-92

Volumetrik verimi bir denklem ile ifade edecek olursak;

$$\eta v = \frac{\text{Strok hacmi içine giren gerçek hava miktarı}}{\text{Strok hacmi içine girmesi gereken teorik hava miktarı}} \quad (4.27)$$

$$\eta v = \frac{V_H}{V_S} = \text{Volümetrik verim} \quad (4.28)$$

Şeklinde olacaktır.

Bu tanıma göre gerçek hava miktarı;

$$V_h = \eta_v . V_s \quad (4.29)$$

Olarak ifade edilmektedir.

Dolgu içindeki yakıt miktarı hava miktarına göre hacimsel olarak oldukça küçük olduğundan 1 m^3 karışım tarafından kaplanan hacim içerisindeki yakıt miktarı 1/L kg/m^3 kabul edilebilir.

Bu ise dolgunun birim ağırlığı (özgül ağırlık) olduğundan yanabilecek yakıt miktarı

$\frac{\eta_v V_s}{L}$ kg yakıt/İş periyodu olacaktır.

Bu karışım tutuşturulması halinde açığa çıkacak ısı miktarı (Şengün, 2014).

$$Q = \frac{\eta_v . V_s}{L} . Hu \quad (4.30)$$

ifadesi ile bulunur.

Burada;

Q = Yakıtın yanması ile açığa çıkan ısı miktarı (kcal/ iş periyodu)

η_v= Volümetrik verim

V_s= motorun strok hacmi (m^3)

Hu = Yakıtın alt ısıl değeri (kcal/kg)

L = Motora emilen gerçek hava miktarı (m^3 karışım / kg. yakıt)

olmaktadır.

Elde edilen ifade , 1 kcal'ın 427 kg.m'lik bir iş temin edeceği düşünülür ise çevrimden elde edilecek iş indike verim

$$W = \frac{\eta_v . Vs}{L} . Hu . 427.\eta i \quad (4.31)$$

ifadesi ile bulunabilir.

Burada:

W = Çevrimden elde edilen iş (kg.m /İş periyodu)

η_i = Motorun indike verimi

olmaktadır.

Bu elde edilen iş ile krank mili döndürerek motordan gücün elde edilmesi sağlamaktadır.

Motordan elde edilen indike güç;

$$Ni = W \cdot \frac{n_a}{60,75} \tag{4.32}$$

$$Ni = 427. \eta_i. \frac{\eta_v .Vs}{L} . Hu . \frac{n_a}{60,75} \tag{4.33}$$

olarak bulunur.

Motorun çalışması esnasında krank mili yatakları, silindir içindeki pistonların sürtünmesi ve motordaki diğer sistemlere bağlı olarak çalışan yardımcı elemanların sürtünme kayıplarına bağlı olarak elde edilen indike gücün bir kısmını azaltmaktadır. Bu durum efektif güç olarak tanımlanmaktadır. Motorlardan elde edilen efektif güç ile indike güç arasında belli bir oran oluşmaktadır. Bu oran motorun ‘‘mekanik verimi’’ olarak ifade edilmektedir (Şengün, 2014).

Mekanik verim;

$$\eta m= \frac{\text{Efektif güç}}{\text{İndike güç}} = \frac{Ne}{Ni} \tag{4.34}$$

olarak bulunur. Buna göre Z adet silindire sahip bir motorun efektif gücü

$$Ne = Z . \eta_m. Ni \tag{4.35}$$

Olarak ifade edilir. Efektif güç ise;

$$Ne = Z . \eta_m . 427. \eta_m . \frac{\eta_v .Vs}{L} . Hu . \frac{n_a}{60,75} \tag{4.36}$$

İfadesi elde edilmiş olur. Bu denklem düzenlenirse;

$$Ne = Z. V_s. [\frac{427. Hu . \eta_i . \eta_v}{L}] . \eta_m . \frac{n_a}{60,75} \tag{4.37}$$

$$Pmi = \frac{427.\ Hu\ .\ \eta_i\ .\ \eta_v}{L} \quad (4.38)$$

Pmi = Ortalama indike basınç (kg/m2)

$$Ne = Z\ .\ V_s\ .\ Pmi\ .\ \eta_m\ .\ \frac{n_a}{60,75} \quad (4.39)$$

elde edilir.

Ortalama indike basınç ile mekanik verimin çarpımı ortalama efektif basıncı vereceği için

$$Pme=\eta_m.Pmi \quad (4.40)$$

Z adet silindirli bir motorun milinden elde edilecek efektif güç

$$Ne = Z\ .\ Pme\ .\ V_s\ .\ \frac{n_a}{60,75} \quad (4.41)$$

bulunmuş olur. Motor boyutlarına bağlı olarak güç denklemi

$$Ne = Z\ .\ Pme\ .\ \frac{\pi\ .\ D^2}{4}\ .\ H\ .\ \frac{n_a}{60,75} \quad (4.42)$$

şeklinde ifade edilmiş olur(Şengün, 2014).

Güç biriminin PS olarak bulunması için birimlerde gerekli düzenlemeler yapılarak;

Z = Motorun silindir sayısı (adet)

Pme = Ortalama efektif basınç (kg/cm^2)

D = Motorun silindir çapı (cm)

H = Motorun strok uzunluğu (m)

n_a = n/2 = Dört zamanlı motorlarda iş periyodu (d/dk)

strok hacmini bulmaya yarayan silindir çapının ve strok uzunluğunun birimleri ayni şekilde ifade edilirse metrik sistemde,

1 dm = 10 cm

1 m = 10 dm

1 cm2 = 1 /100 dm^2 ve strok hacmini litre (dm3) cinsinden hesaplamak mümkün olacaktır.

Strok hacmi

$$V_s = \frac{\pi . D^2}{4} . H$$

olarak hesaplanabilmektedir. Motorun gücü PS olarak hesaplamak için silindir çapı cm, strok uzunluğu m olarak alınırsa;

Birimlerin dm cinsinden karşılıkları yerine konulursa

$$V_s = \frac{\pi . D^2}{4} . H \ (cm^2 - m) = \frac{\pi . D^2}{4} . H \ (\frac{1}{100} \ dm^3 - 10 \ dm) \quad (4.43)$$

elde edilir.

Güç formülünde strok hacmini litre cinsinden alabilmek için gerekli düzenlemeler yapılarak;

$$Ne = Z \ . Pme . (10 . \frac{\pi . D^2}{4} . H) . \frac{n_a}{60,75} \ \{PS\} \quad (4.44)$$

güç ifadesi yazılabilir.

Burada parantez içindeki terimlerden silindir çapı cm ve strok uzunluğu m olarak alındığı takdirde parantezin içindeki çarpımın birimi dm^3 cinsinden bulunmaktadır.

Bu ise strok hacminin litre cinsinden bulunduğunu göstermektedir. Buna göre güç ifadesi;

$$Ne = Z \ . Pme . \frac{\pi . D^2}{4} . H . \frac{n_a}{450} \ \{PS\} \quad (4.45)$$

olarak bulunur (Şengün, 2014).

4.3. Dizel Motorlarında Yanma Esnasında Gerçek Çevrimde Meydana Gelen Kayıplar

İdeal çevrim ile gerçek çevrim karşılaştırıldığında, ideal çevrimde yapılan kabullerin pek çoğunun gerçekleşmediği ve bu sapmalar sonucunda kayıpların meydana geldiği görülmektedir. Bu farklılıkların başlıca nedenleri; karışımın mükemmel olmaması (Homojen bir karışım elde edilememesi) yanma işleminin sabit hacimde tam olarak gerçekleşmemesi, yanma evresinde ısıl parçalanma, yanma odası civarında soğutma suyundan kaynaklanan ısı transferi, emme ve egzoz supaplarından kaynaklanan kayıplar, sürtünme kayıpları, özellikle yüksek hızlara çıkıldığında yanma için gereken zamanın azalması, olarak açıklanabilmektedir (Sürmen vd., 2004).

4.3.1 Homojen Olmayan Karışım

İçten yanmalı motorlarda tam yanma ve maksimum güç için hava / yakıt karışımlarının homojen olarak hazırlanması gerekmektedir. Motorun her devrinde bu durumun gerçekleşmesi sağlanamamaktadır. Dolayısıyla yakıt hava karışımı, çoğu zaman zengin veya fakir karışım bölgelerinden oluşmaktadır. Motorlarda meydana gelen her iki karışım türü de olumsuz sonuçlara neden olmaktadır. İdeal yanma için karışım optimizasyonu zor bir konudur. Zengin karışım oluşan bölgelerde yeterli oksijen bulunmadığı için yanma sonu ürünlerinde CO miktarı artar. Bu durumda tam yanma meydana gelmediği için yakıt tüketiminin artmasına sebep olur. Tüm bunların sonunda atmosfere atılan zararlı egzoz emisyonları da artmış olur. Egzoz emisyonlarının artışı hem istenmeyen hem de sağlık açısından tehlikeli bir durumdur. Son zamanlarda tüm

ülkelerde zararlı egzoz emisyonlarının azaltılması için katı kurallar ve yeni yönetmelikler oluşturulmaktadır. Hatta bazı ülkeler içten yanmalı dizel motorların üretimini sona erdirmiş durumdadır (Sürmen vd.,2004).

4.3.2 Özgül Isıların Değişimi

Motorlarda yanma sonucu açığa çıkan sıcaklık artışı ile birlikte önemli derecede sabit hacim ve sabit basınç özgül ısıl değerleri de yükselmektedir. Özgül ısısının artması, karışım sıcaklığını arttırmak için gerekli ısı miktarının daha fazla olması yani çevrim sıcaklığının daha az artması ve enerjinin kullanılabilir enerjiye çevirme ihtimalini azaltmaktadır. Bu durum özgül ısıların oranı olarak ifade edilen politropik üst kat sayısını (k=cp /cv değerini) azaltmaktadır. Bunun sonucunda çevrimin maksimum sıcaklığı azaldığı için net iş azalarak verimde azalmış olur (Sürmen vd., 2004).

4.3.3 Yanma Zamanı Kayıpları

İçten yanmalı motorlarda maksimum güç ve verim elde edebilmek için piston Ü.Ö.N noktayı 10°-15° krank mili acısı geçtiği anda oluşması istenmektedir. Bu sürede gerçekleşen yanma olayı performans açısından önemli olmaktadır. Motorlarda çok kısa süreli bir yanma zamanı olduğu için artan devirlerde bu süre yetmemektedir. Çünkü motorun devri artarken yakıtın yanması için gerekli zaman sabittir. En iyi şartlarda yanmayı sağlayabilmek için teorik olarak piston Ü.Ö.N da iken sonsuz yanma hızı (sıfır yanma süresi)en büyük indikatör diyagramı alanını vereceğinden yanmanın piston Ü.Ö.N. da bitmesi istenir. Gerçekte sonsuz yanma hızına ulaşılması mümkün olmadığı için teorik eğriye yakın bir ateşleme avansı seçilir. Bu şekilde seçilen pratik olarak verilen avans mümkün olan en yüksek verimi sağlayacak şekilde optimize edilmektedir. Yanma olayında alev hızının yüksek olması motor performansı bakımından önemlidir. Ayrıca alev hızı, yakıt özelliğine ve ateşleme noktası ile yanma odası arasındaki en uzak mesafeye bağlı olarak değişmektedir (Sürmen vd., 2004).

4.3.4 Pompalama Kayıpları

İçten yanmalı motorlarda, havanın emme zamanı süresince silindir içine alınması ve yanmış egzoz gazlarının egzoz zamanı süresince dışarıya atılması için harcanan işe pompalama işi veya pompalama kayıpları olarak ifade edilmektedir. Bu olayların

gerçekleşmesi anında silindir içine havanın alınması esnasında emme manifoldunda ve supaplarda oluşan aerodinamik dirençler ile egzoz işlemi esnasında atmosfer havasına karşı bir iş yapılmaktadır. Teorik hesaplamalarda dolgu kayıpları yok olarak kabul edilmektedir. Ancak gerçekte özellikle emme esnasında egzoz sürecine göre daha büyük kayıplar oluşur. Bu nedenle hacimsel verimi arttırmak için daha büyük emme subapları ve silindir başına daha fazla supap kullanılmaktadır. Hatta bu kayıpların minumum seviyeye ulaşması için supap sistemlerinin elektronik olarak açılıp kapanması için araştırmalar devam etmektedir (Sürmen vd., 2004).

4.3.5 Isı Kayıpları

Motorlarda yapılan teorik hesaplarda sıkıştırma ve genişlemenin adyabatik olduğu kabul edilir. Ancak pratikte bu durumun gerçekleşmesi imkânsızdır. Çünkü yanma işlemi sonunda motorlarda çok yüksek sıcaklıklar elde edilir. Bu esnada mekanik parçaların soğutulması gerekir. Aksi halde motor parçalarının çalışması mümkün değildir. Bu sebeple elde edilen ısı enerjisinin bir kısmı soğutma sistemi ile dışarıya atılmaktadır. Böyle bir durumda soğutma sistemi ile ısı kayıpları meydana gelmektedir. Sonuç olarak silindir içindeki gazlar ile silindir cidarları arasındaki sıcaklık farkı nedeni ile sıkıştırma ve genişleme süreçleri adyabatik değil politropiktir (Sürmen vd., 2004).

4.3.6 Isıl Parçalanma

Silindir içindeki yüksek sıcaklıklarda ortamdan enerji çeken reaksiyonlar artar. Bu esnada tam yanma sonu ürünleri olan H_2O ve CO_2 gazları ortamdan ısı çekerek parçalanma eğilimi gösterirler. Parçalanma ve ısı çekme zincirleme reaksiyonlarla denge haline gelene kadar devam eder. Sıcaklıklardaki bu değişimlere bağlı olarak kayıplar aşağıdaki denklemde görüldüğü gibi çift yönlü olarak gerçekleşebilir (Sürmen vd., 2004).

$$2H_2O \leftrightarrow 2H_2 + O_2 \quad (4.46)$$

$$2CO_2 \leftrightarrow 2CO + O_2 \quad (4.47)$$

Bu reaksiyonların çift yönlü gerçekleşmesi ortamdaki kullanılan enerjisinin azalması anlamına gelir ve bunun sonucunda verim azalır. Pistonun silindir içinde

genişleme esnasında (aşağı inerken)sıcaklık azaldığı için moleküller tekrar birleşme eğilimi gösterir. Isı kaybı yüzeyi artacağından faydalı enerjide azalma meydana gelir (Sürmen vd., 2004).

4.3.7 Kompresyon Kaybı

Motorlarda, silindir çapı ile piston çapı arasında bir çalışma (genleşme ve yağ boşluğu) bulunmaktadır. Aksi halde artan sıcaklığa bağlı olarak genleşme artacağı için hareketli parçalar çalışamaz hale gelir. Bu nedenle özellikle piston Ü.Ö.N ya doğru çıkarken sıkıştırma zamanı sonunda silindir içindeki yüksek basınç nedeniyle taze dolgunun bir kısmı piston silindir arasındaki çalışma boşluğundan karter kısmına geçer. Ayni durum piston iş zamanı sonunda Ü.Ö.N ya çıkarken silindir içinde oluşan basıncın etkisi ile yanmış gazların bir kısmı kartere sızar. Pistonun Ü.Ö.N ya çıkarken silindir içindeki basıncın artması ile kartere sızan gaz kaçaklarına kompresyon kaybı denir.

4.3.8 Artık Gazların Sebep Olduğu Kayıplar

İçten yanmalı motorlarda bir önceki çevrim sonunda silindir içinde kalan sıcak gazlar, emme zamanında alınacak taze dolgunun sıcaklığını yükseltmektedir. Bu durum silindir içindeki havanın genleşmesine ve yoğunluğunun azalmasına sebep olduğu için silindir içinde daha fazla hacim kaplanmış olur. Taze dolgu için gerekli olan yer azaldığı için volümetrik (hacimsel)verim ile birlikte net iş azalır. Motordan elde edilen verimin azalmaması için artık gazların dışarı atılması ve emme zamanındaki dolgu havası sıcaklığının yükselmemesi önem arz etmektedir.

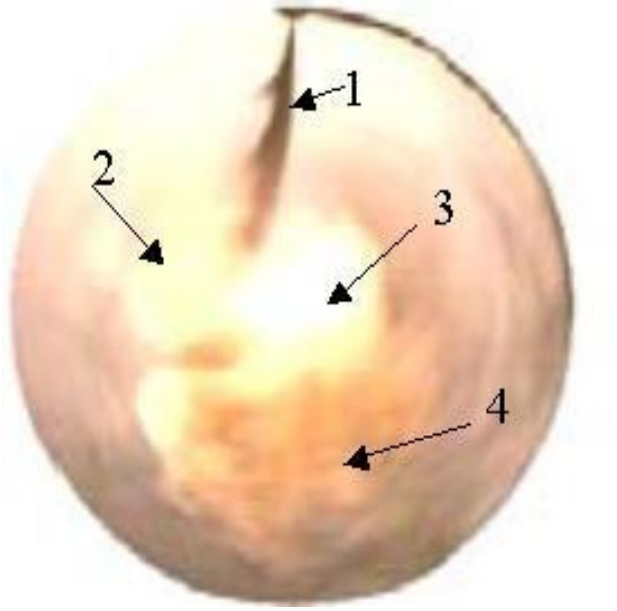
Tüm bu etkenlere bağlı olarak motorlardan elde edilen gerçek verim her zaman teorik verimden daha düşüktür (Sürmen vd., 2004).

4.4. Yanma Süreci (Yanma Prosesi)

Dizel motorlarda oluşan yanma süreci, fiziksel ve kimyasal reaksiyonların karmaşık olmasından dolayı modellenmesi zor olan bir konudur. Ayrıca yanmayı önemli derecede etkileyen enerji ve kütle transferi konuları oldukça karmaşıktır. Yakıt, oksijen ve kimyasal reaksiyonları etkileyen pek çok faktör bulunmaktadır. Dizel motorlarda yanma odasına sıkıştırılmış olan yüksek sıcaklıktaki havanın üzerine yakıtın

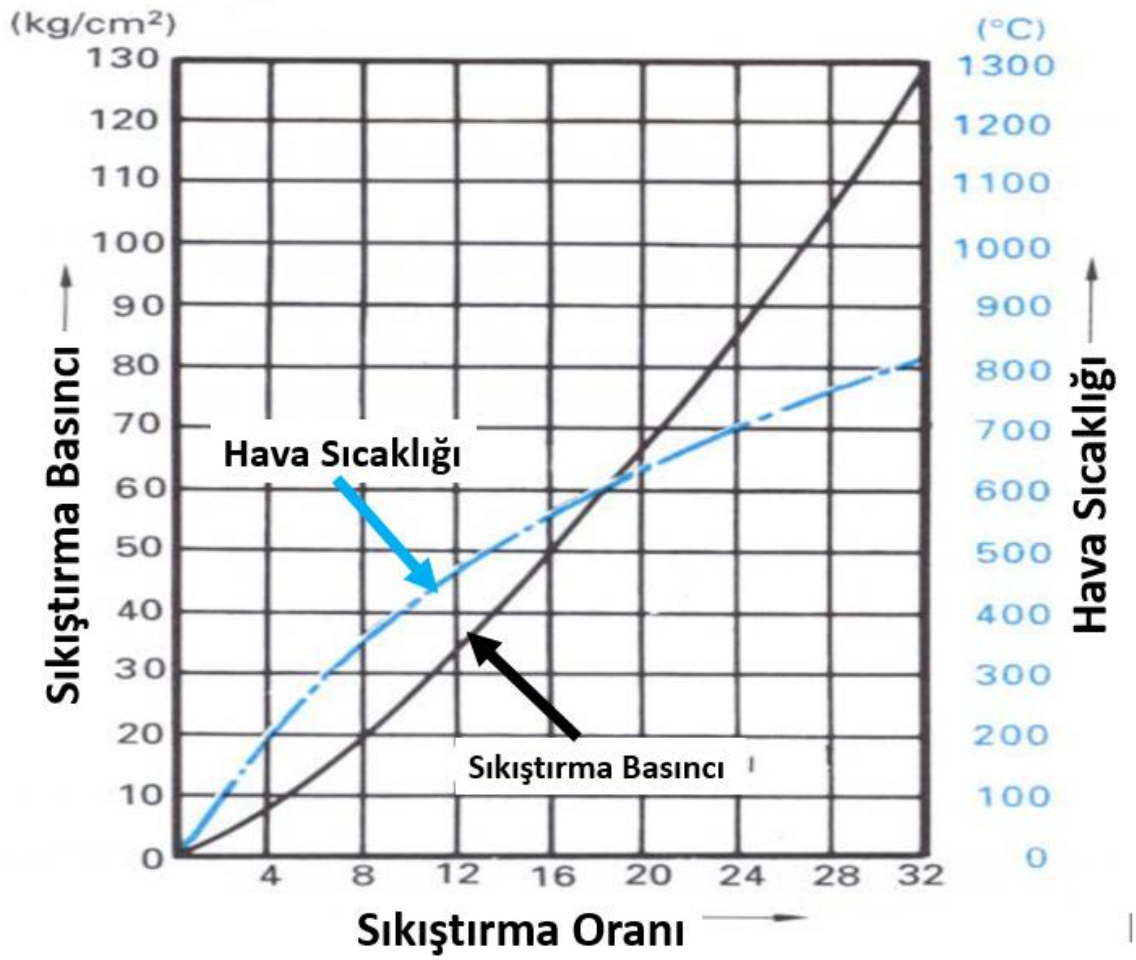
püskürtülmesi ve buharlaşması ile başlayan yanma süreci sonunda iş oluşmuş olur. Dizel motorlarda oluşan yanma difüzyon şeklindedir. Yanma odası içersinde ısı ve kütle transferi ile birlikte oluşan hava hareketleri de yanmayı etkileyen en önemli faktörlerden birisidir ve silindire püskürtülen küçük taneli damlacıkların buharlaşması daha hızlı gerçekleşir (Kocabaş, 2007)

Şekil 4.5'de yanma anında meydana gelen yakıt demetindeki bölgelerin durumu görülmektedir. Burada 1.kısım yakıt demetinin sıvı bölgesini, 2. kısım buhar bölgesini, 3.kısım buhar bölgesinde meydana gelen tutuşmayı ve 4.kısım alev bölgesinde oluşan tutuşmayı açıklamaktadır.



Şekil 4.5. Dizel motor enjektöründen püskürtülen yakıtın tutuşma anındaki fotoğrafı (Kocabaş, 2007).

Dizel motorlarda sıkıştırma oranına bağlı olarak silindir içinde oluşan basınç ve sıcaklık ilişkisi şekil 4.6'da görülmektedir. (Toyota, 2012).



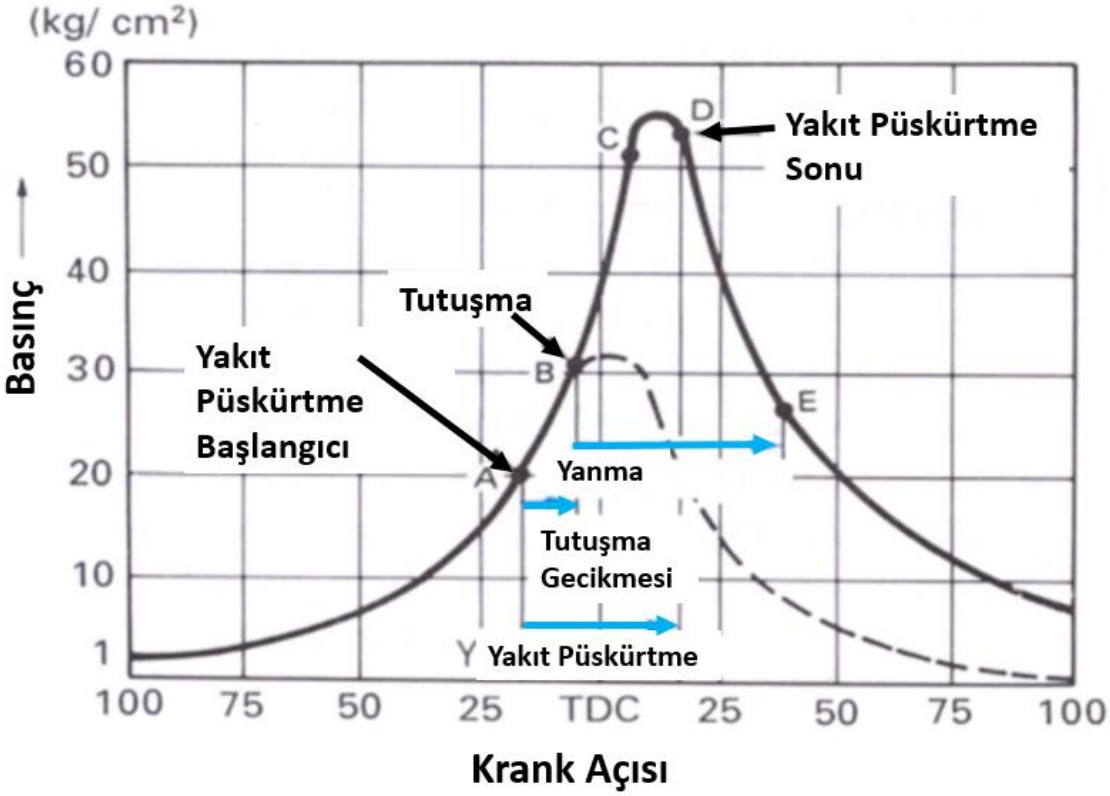
Şekil 4.6. Dizel yanma süreci (sıkıştırma oranı – basınç-sıcaklık ilişkisi).

Dizel motorlarda yanma süreci silindirlere alınan havanın sıkıştırma zamanı sonunda çıkabildiği sıcaklık, basınç ve yakıtın silindir içinde yana bilirliği ile ilgili bir konudur. Bu durum pek çok parametreye bağlı olmakla birlikte Şekil 4.6'da görüldüğü gibi sıkıştırma oranı arttıkça basınç ve sıcaklık arttığı için yakıtın yanması da daha kolay hale gelmektedir. Bu nedenle dizel motorların ilk bulunuşundan günümüze gelene kadar hem sıkıştırma oranında hem de püskürtülen yakıtın basıncında önemli derecede artışlar sağlanmıştır. Dizel yakıtının kendi kendine yana bilirlik kabiliyetini ifade etmek için setan sayısı kavramı kullanılmaktadır. Setan sayısı dizel yakıtlarda tutuşma performansının bir ölçüsüdür. Tutuşma performansı için yakıt akış hızı, enjeksiyon zamanlaması ve sıkıştırma oranı kontrolü büyük önem arzetmektedir. Setan sayısı yükseldikçe dizel yakıtının tutuşma sıcaklığı düşer ve daha iyi bir yanma meydana gelir. Bu istenen bir durumdur. Tüm bunların sonunda motorda marş anında daha kolay

çalışma, düşük emisyon, çıkış gücünde yükselme, daha düşük yakıt tüketimi ve daha az gürültü meydana gelir.

Genel olarak dizel motorlarında yanma 4 ana evrede meydana gelmektedir.

- Tutuşma Gecikmesi
- Kontrolsüz Yanma(Alevin Yayılması)
- Difüzyon Kontrollü Yanma(Tam Yanma)
- Gecikmiş Yanma (Art Yanma/Yanma Sonrası)



Şekil 4.7. Yanma evrelerinin oluşumu(Toyota, 2012).

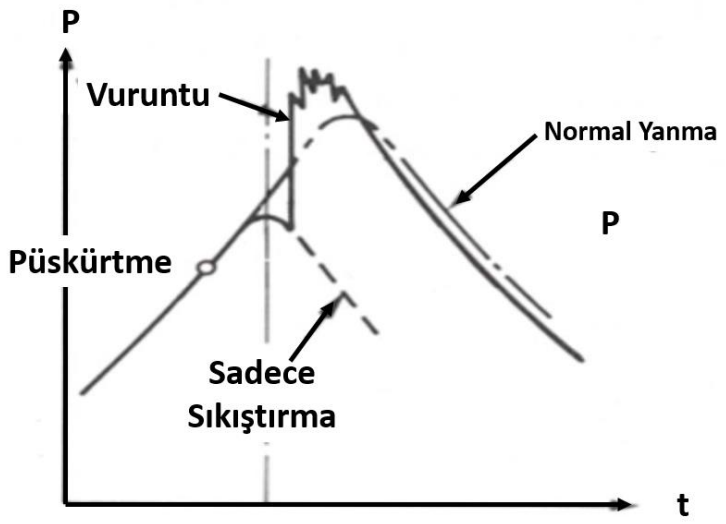
4.4.1 Tutuşma Gecikmesi (A-B)

Şekil 4.7'de görüldüğü gibi yanma odasına sıkıştırılmış olan havaya püskürtülen yakıt iyice karışmış ve buharlaşma için hazırlık safhasına ulaşmıştır. Bu esnada krank mili açısına bağlı olarak belirli bir basınç yükselmesi meydana gelir yanmanın gerçekleşebilmesi için reaksiyon hızları düşük ve yanma için belirli bir süre gereklidir.

Yanmada anında meydana gelen reaksiyonlar ile ilk alev oluşur. Enjektörün yakıtı silindire püskürtmeye başladığı andan ilk alev çekirdeği meydana geldiği ana kadar geçen süreye tutuşma gecikmesi denilmektedir. Tutuşma gecikmesinin ortadan kaldırılması mümkün değildir ve motorun bir miktar sesli çalışmasına sebep olmaktadır. Öncelikle yakıtın kimyasal yapısı, sıkıştırma sonu sıcaklığı, yakıtın atomize edilebilmesi sıkıştırma sonucu oluşan basınç, sıkıştırılan havada meydana gelen türbülans tutuşma gecikmesini etkileyen önemli faktörlerdir (Toyota, 2012).

4.4.2 Kontrolsüz Yanma (B-C)

Birinci evre sonunda yanabilecek hale gelmiş olan yakıt artık silindir içinde havayla karışarak birkaç noktadan yanmayı başlatır ve yüksek bir hızla yayılarak silindir içerisinde ani basınç yükselmesine sebep olur. Silindir içinde biriken yakıt ısınarak sıcak hava ile karışır ve belirli bir dereceye kadar buharlaşma başlar. İlk alev çekirdeği meydana geldiği anda yakıtın tamamı yanamaz ve bir kısmı daha hızlı yanar. Bu ani yanma ve basınç yükselmesi ile oluşan sesli/ sarsıntılı çalışmaya dizel vuruntusu denmektedir. Bu basınç artışı ve istenmeyen durum Şekil 4.8'de görülmektedir.



Şekil 4.8. Dizel motor vuruntusu (Toyota, 2012).

4.4.3 Difüzyon Kontrollü Yanma (Tam Yanma C-D)

Bu evrede silindir içindeki basıncın maksimum değerine ulaşması ile birlikte kontrollü yanma süreci başlar. Bu süreçte yanma sıcaklığı, yakıt damlacıklarının çapları, hava hareketleri ve hava fazlalık katsayısı tam yanmanın oluşması için önemli faktörlerdir. Bu evrede yanmanın ve maksimum gücün, pistonun ÜÖN' yı krank açısı olarak 10° geçtiğinde elde edilmesi istenir. Uygulamada bu oldukça zor bir durum olup tam yanma yakıt miktarının optimizasyonu ile sağlanabilmektedir (Toyota, 2012).

4.4.4 Gecikmiş Yanma (Art Yanma D-E)

Bu evrede yakıtın silindir içine püskürtülmesi bitmiştir. Yanma sonu piston genişleme süreci sonunda maksimum sıcaklığa ulaştığında art yanma başlar. Bu esnada yanma hızı yakıtın miktarına ve silindir içindeki oksijen seviyesine bağlı olarak değişir. Bu sebeple gecikmiş yanma olarak da ifade edilmektedir. Bu evre gereğinden fazla uzayacak olursa egzoz sıcaklığı artar ve motorun verimi düşer. Bu nedenle içten yanmalı motorlarda indikatör diyagramlarının oluşturulması ve modellemenin doğru olarak yapılması önem kazanmaktadır (Toyota, 2012).

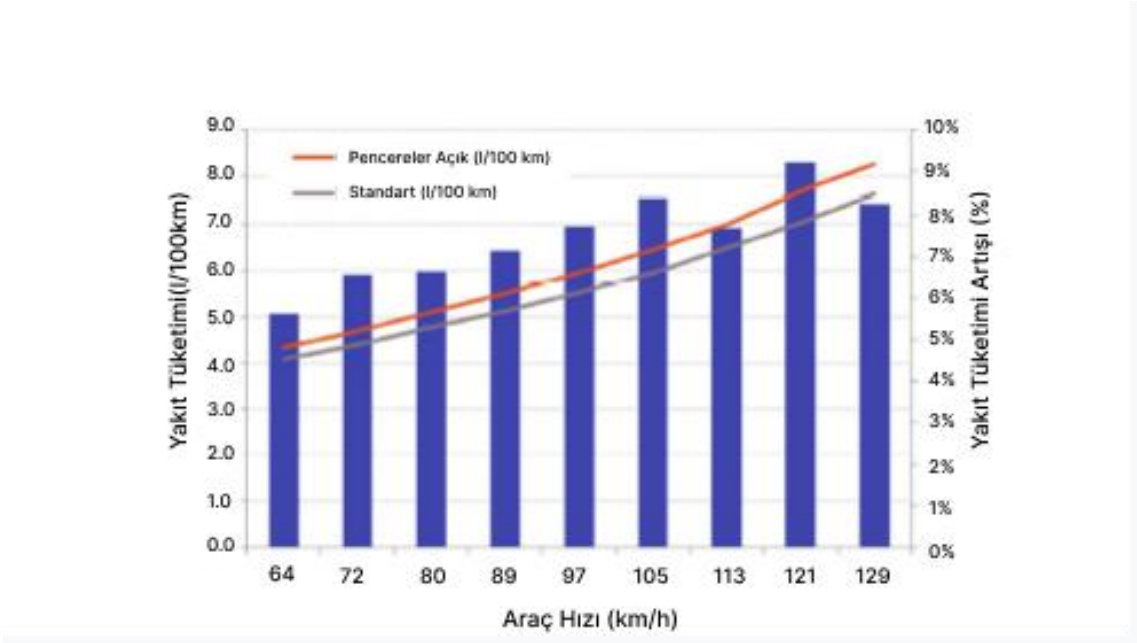
BÖLÜM 5

ARAÇLARDA YAKIT TÜKETİMİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

5.1. Aerodinamik Faktörler

Havanın kuvvetlerinin oluşturduğu etkileri inceleyen bilim dalına aerodinamik adı verilmektedir. Günümüz şartlarında otomotiv sektöründe aerodinamik gelişmeler ile yakıt ekonomisi ve sürüş konforu sağlamak önem kazanmıştır. Karayolu taşıtlarında hava direncinden kaynaklı sınır tabakada miktarda oluşan kayıplar, türbülans ile oluşan sürtünme kayıpları, radyatör büyüklüğünden kaynaklanan kayıplar ve havalandırmadan giren sürtünme kayıplarıdır. Ayrıca araca ilave yüke sahip bir portbagaj eklenmesi gibi şekil değişiklikleri ve ön alanın değiştirilmesi, aerodinamik dirençleri artırarak yakıt tüketiminin artmasına neden olabilir. Tüm bunların yanında araç şekline ve büyüklüğüne bağlı olarak, tavan bagaj eklentileri için yaklaşık %5, 130 km/s hız için açık pencereler ile araçlarda seyir hali %5.1 ve yandan rüzgârların etkisi için %2 aerodinamik kayıplar oluşur (Zacharof ve Fontaras, 2016).

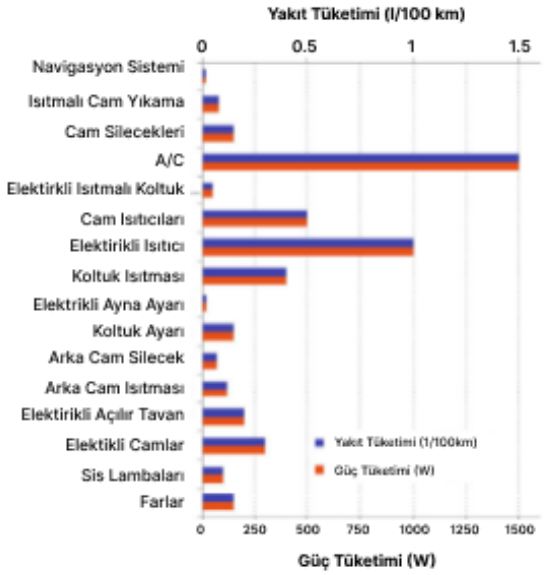
Seyir halinde tüm pencerelerin açılması (Aerodinamik etki) halinde yakıt tüketimindeki değişimleri Şekil 5.1'de görülmektedir.



Şekil 5.1. Tüm pencereleri açık (aerodinamik etki) olan örnek bir araç için yakıt tüketimindeki değişimler (Zacharof ve Fontaras, 2016).

5.2. Yardımcı Sistemlerden Kaynaklanan Kayıplar

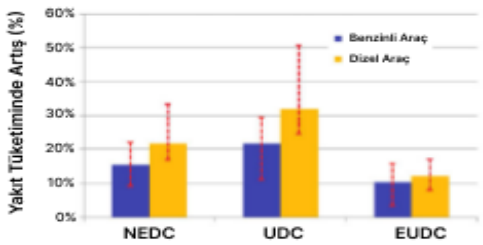
Yardımcı sistemler, direksiyon destek sistemleri, ısıtma, klima, aydınlatma, silecekler, elektrikli camlar, park yardımı, çarpışma uyarısı gibi sürüş güvenliğini ve konforunu artıran unsurları ifade etmektedir. Bunlar sürekli olarak çalıştırılmıyor olsa da motor gücü talebini ve yakıt tüketimini artırır. Klima kullanımı için, direksiyon destek sistemleri için %4,5'e kadar ve diğer yardımcılar için %6,5'e kadar. Optimizasyon ve ileri teknolojiler, literatüre göre yakıt tüketiminde %2'ye varan fayda sağlayabilir. Tamamen mekanik yardımcı sistemlerin yerine son zamanlarda elektrikli versiyonları daha fazla tercih edilir hale gelmiştir. Ancak elektrik kullanımı sonucunda da motordan ilave güç çekildiği için yakıt tüketimi artmaktadır. Yakıt tüketiminin artması ile maliyetler ve zararlı egzoz emisyonları da arttığı için son zamanlarda araçlarda enerji verimliliği konusu önemli araştırmalar arasında yer almaktadır. Araçlardaki yardımcı sistemlerin motorun güç ve yakıt tüketimine etkisi Şekil 5.2'de görülmektedir(Zacharof ve Fontaras, 2016).



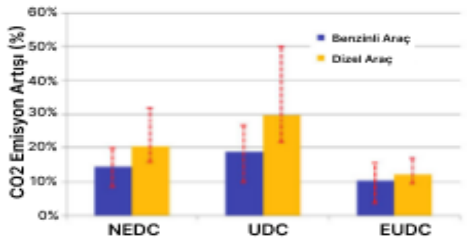
Şekil 5.2. Yardımcı sistemlerin maksimum güç talebi ve yakıt tüketimi (Zacharof ve Fontaras, 2016).

5.3. Hava Koşulları

Ortam koşullarındaki, rüzgar, sıcaklık ve atmosfer basınç değerlerindeki değişim araçlarda yakıt tüketimini önemli derecede etkilemektedir. Motorun çalışma şartlarındaki motor yağı viskozite değerleri ve motor emme havası şartları araçlarda yakıt tüketimi, performans kayıplarına sebep olmaktadır. Zira Avrupa için test koşullarındaki sıcaklık değeri 25°C olarak kabul edilmektedir. Havanın sıcaklık değişimine bağlı olarak bağlı olarak yapılan bilimsel çalışmalarda %4,5 ile %12 arasında arasında yakıt tüketiminde artış görüldüğü ifade edilmektedir. Ayrıca hava sıcaklığındaki değişim çevre için son derece önemli olan egzoz emisyonlarındaki CO2 seviyesini de arttırmaktadır. Ortam sıcaklığına göre bazı araçların yakıt tüketimleri Şekil 5.3'de ayrıca emisyon oranları Şekil 5.4'de görülmektedir (Zacharof ve Fontaras, 2016).

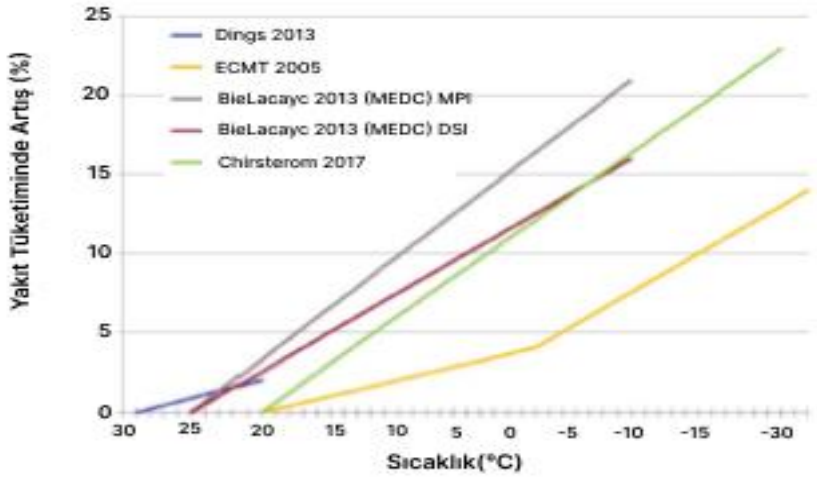


Şekil 5.3. Benzinli ve dizel araçlar için 22 ˚C'den -7 ˚C'ye kıyasla yakıt tüketimi.



Şekil 5.4. Benzinli ve dizel araçlar için 22 ˚C'den -7 ˚C'ye CO_2 emisyonları.

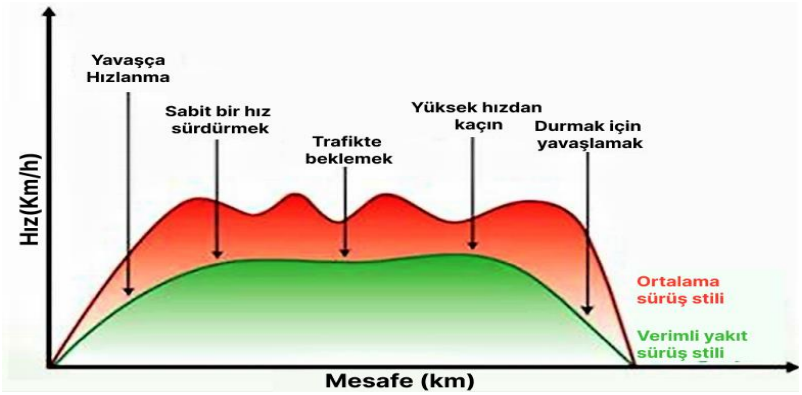
Sıcaklığın yakıt tüketimi üzerindeki etkisini gösteren farklı çalışmaların sonuçları Şekil 5.5'de görülmektedir



Şekil 5.5. Sıcaklığın yakıt tüketimine etkisi (Zacharof ve Fontaras, 2016).

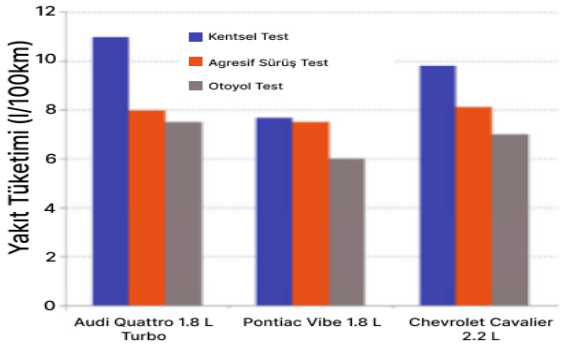
5.4. Kullanım Koşulları (Sürüş Şartlarının Etkileri)

Araç sürücüsünün, seyir halindeki hızlanma, fren kullanım sıklığı ve azami hız gibi bireysel davranışlarının takip ettiği sürüş modellerini ifade eder. Avrupa birliği raporlarında agresif sürüş, yakıt tüketimini önemli ölçüde %24'e kadar artırabilirken, tutarlı eko-sürüş %6-8 arasında tahmini faydalar sağladığı ifade edilmektedir. Yapılan bazı simülasyon programları ile aynı başlangıç noktalarını ve varış noktalarını birbirine bağlayan farklı rotalar için yakıt tüketiminin ortalama %10 değiştiği görülmüştür (Zacharof ve Fontaras, 2016). Bu sebeple yakıt tasarrufu sağlamak için doğru rota planlama ve sürüş koşulları önem arz etmektedir. Ortalama sürüş stiline göre olan değişimler Şekil 5.6'da görülmektedir.



Şekil 5.6. Ortalama sürüş stiline kıyasla yakıt verimli teknikler (Zacharof ve Fontaras, 2016).

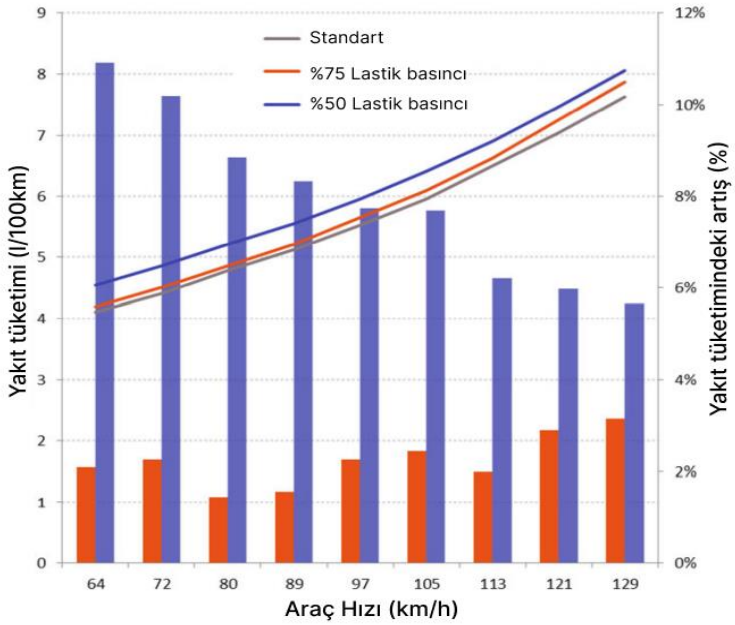
Agresif araç kullanım halinde meydana gelen yakıt tüketiminin değişimleri Şekil 5.7'de görülmektedir.



Şekil 5.7. Agresif kullanım halinde yakıt tüketiminin değişimleri (Zacharof ve Fontaras, 2016).

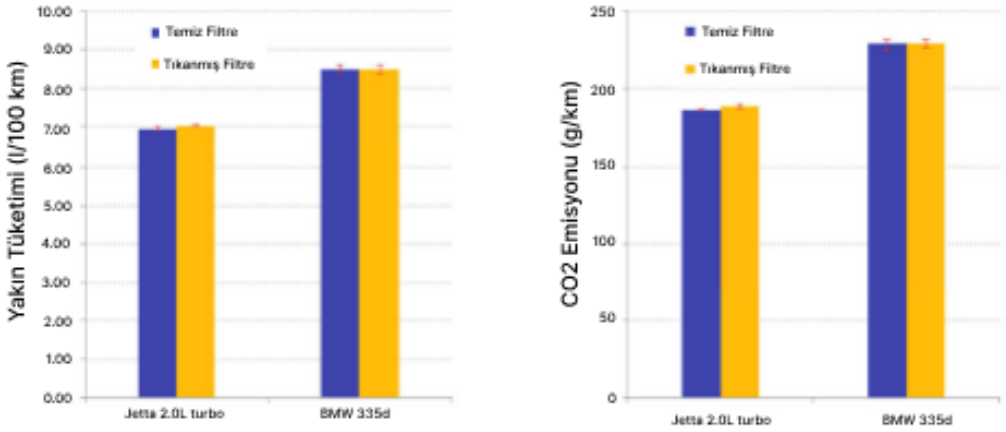
5.5. Aracın Mevcut Şartları (Aracın Durumu)

Araç mevcut şartlarındaki durumu; motor yağın zamanında değiştirilmesi, lastik basıncının uygun olması ve aracın özelliklerine uygun lastik tipi kullanımı durumlar aracın durumunu ifade eder. Bazı araştırmalarda düşük viskoziteli motor yağı kullanılmasının %4 e varan yakıt tüketimi sağladığı görülmüştür. Ayrıca lastiklerin yuvarlanma direnci katsayısını %10-20 (yani bir üst seviyedeki enerji verimliliği sınıfına karşılık gelen) azaltmak, yakıt ekonomisinde %2,1'lik fayda sağlayabilmektedir. Diğer yandan, standart olarak önerilenden lastik basınç değerinin 0,2 bar daha düşük olması yakıt tüketiminde %1,4'lük bir artışa neden olabilir. Ayrıca tıkanmış hava filtreleri yakıt tüketiminin %4-5 oranında artmasına sebep olmaktadır (Zacharof ve Fontaras, 2016). Bu nedenle araçlarda yakıt tasarrufu sağlamak için motor bakımının zamanında yapılması ve diğer sözü edilen test değerlerinin kontrol edilmesi önem kazanmaktadır. Aracın farklı lastik basınçlarında kullanım halinde yakıt tüketimi değişimi Şekil 5.8'de görülmektedir.



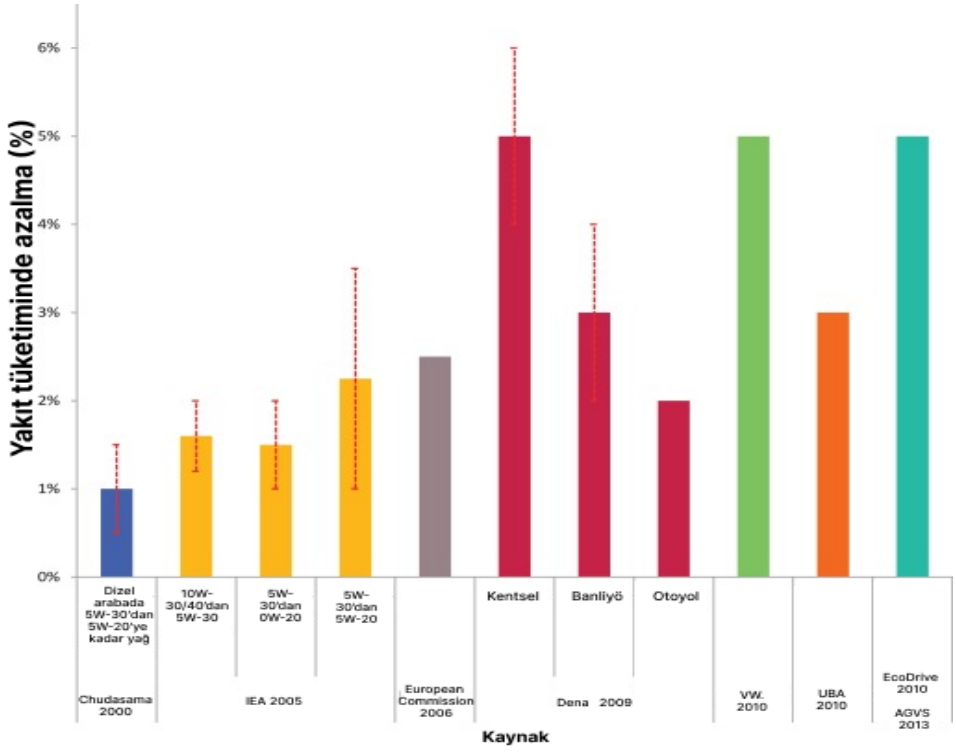
Şekil 5.8. Standart lastik basıncının %75'i ve %50'si olma halinde yakıt tüketimindeki değişim (Zacharof ve Fontaras, 2016).

Literatürdeki farklı iki marka araç için yapılmış araştırmada hava filtresinin kirliliğinin yakıt tüketimine ve karbon dioksit emisyonlarına etkisi Şekil 5.9'da görülmektedir.



Şekil 5.9. Hava filtresinin kirliliğinin yakıt tüketimine ve karbon dioksit emisyonlarına etkisi (Zacharof ve Fontaras, 2016).

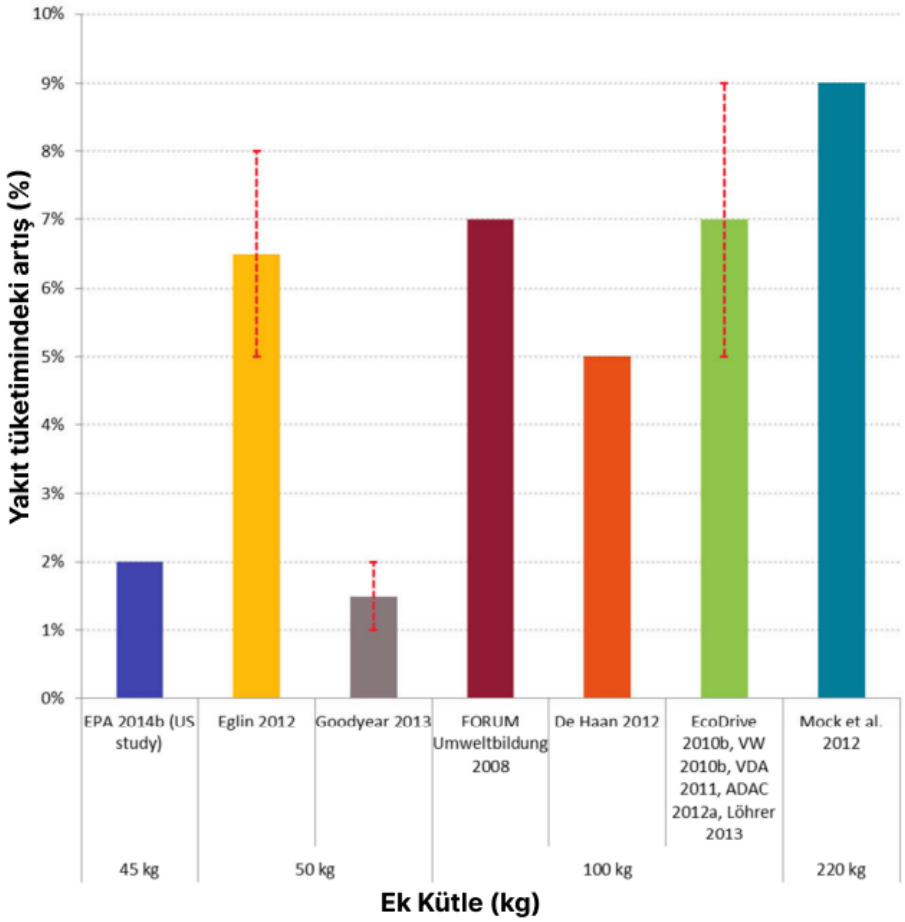
Farklı viskozilerdeki motor yağlarının yakıt tüketimi üzerinde etkisi Şekil 5.10' da görülmektedir (Zacharof ve Fontaras, 2016).



Şekil 5.10. Farklı viskozitedeki motor yağlarının yakıt tüketimine etkisi.

5.6. Aracın Kütlesi

Aracın çalışma kütlesi, aracın toplam ağırlığını temsil eder. Kütle arttıkça hızlanmak ve sabit hızı korumak için daha fazla enerji gerekeceği bilinmelidir. Dolayısıyla yakıt tüketimi kütleye bağlı olarak artmaktadır. Yapılan araştırmalarda aracın ağırlığı ilave olarak 100 kg arttırıldığında, motor ve diğer teknik özelliklerine bağlı olarak yakıt tüketimi sertifikasyon değerine kıyasla %6-7'ye kadar artığı, ortalama ise %2-4 oranında arttığı ifade edilmektedir. Ek koşullar (örneğin artan hava direnci ve yuvarlanma direnci) olarak tavan bagajları veya bir römorkun çekilmesi hesaba katıldığında, kütlenin etkisi daha da büyümüş olacaktır. Bu gibi durumlarda yakıt tüketimindeki artış %20 ile %37,2 arasındadır. Ayrıca fazladan bir tek yolcunun dahi eklenmesi araç doluluk oranına etki eder ve aracın kütlesindeki değişime bağlı olarak yakıt tüketimini etkilemektedir. Fazladan bir yolcu 130 g/km yakıt harcayan bir aracın yakıt tüketimini %5'e kadar artırabildiği ifade edilmektedir (Zacharof ve Fontaras, 2016). Ayrıca bu artan yakıt tüketiminin sonucunda çevreye atılan egzoz emisyonlarındaki $CO_{2\ seviyesi}$ de yükselmesi anlamına gelmektedir. Literatürde bazı araçların kütle artışına göre yakıt tüketimdeki değişimler Şekil 5.11'de görülmektedir.

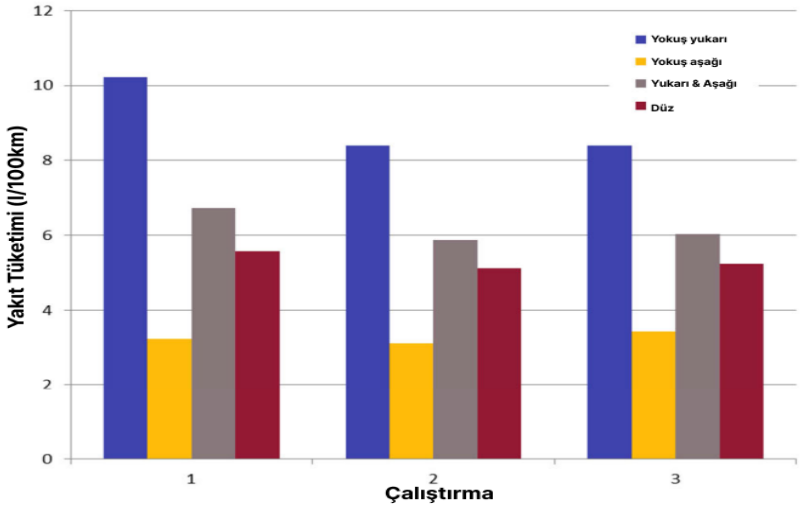


Şekil 5.11. Ek kütle nedeniyle yakıt tüketiminde artış (Zacharof ve Fontaras, 2016).

5.7. Yol Faktörü (Yüzey ve Trafik Durumunun Etkisi)

Yol faktörü, aracın seyir halindeki yolun özelliklerini ve trafik koşullarını ifade etmektedir. Yolun özellikleri; yüzey kalitesinin durumu, eğimli, düz veya kavisli oluşu ayni zamanda gerçek trafik koşullarına göre otalama hız, maksimum hız, trafik ışıklarının durumu yakıt tüketimini %1,9 oranında etkilemektedir. Yol eğiminin %2'den (yokuş yukarı sürüş) yüksek dereceler için yakıt tüketimini %18 etkilediği rapor edilmiştir. Seyir halindeki bir aracın yakıt tüketimi pek çok faktöre göre değişkenlik göstermektedir. Yakıt tüketimi hesaplamaları; seyir halinde iken trafik durumu, yol yüzey kalitesi, sürüş hızı, hızlanmalar, yavaşlamalar, durma, kalkış, seyahat süresi gibi faktörlerin değişken olması sebebiyle oldukça zor bir konudur. Çok farklı yol özellikleri ve trafik koşulları nedeniyle, literatürde yakıt tüketiminin maksimum %50'ye varan

oranlarda artış gösterdiği ifade edilmektedir. Ayrıca yokuş yukarı sürüşten kaynaklanan artan enerji tüketiminin, aracı yokuş yukarı hareket ettirmek için gereken enerji ek termodinamik kayıplara neden olduğundan, eşit yokuş aşağı sürüşün faydası ile tam olarak telafi edilemediği gözlemlenmiştir. Bu durum basit bir fren enerjisi geri kazanım sistemi ve sınırlı elektrik tüketen geleneksel araçlara atıfta bulunulduğunda göz önünde bulundurulmalıdır. Yol durumuna göre araçların yakıt tüketim değerleri Şekil 5.12'de görülmektedir.



Şekil 5.12. Yol derecesine göre farklı güzergâhlar için yakıt tüketimi (Zacharof ve Fontaras, 2016).

5.8. Yakıt Özellikleri

İçten yanmalı motorlarda kullanılan yakıtlar, çeşitli hidrokarbon türlerinin ve diğer organik bileşiklerin (biyoyakıtlar, etanol ve metil esterler) karışımlarıdır. Özellikleri ilgili standartlarla düzenlenir. Yakıt bileşimi, yılın zamanına, belirli karışım stoklarının mevcudiyetine ve ayrıca yakıtın üretildiği veya satıldığı coğrafi bölgeye bağlı olarak değişmektedir. Yakıt bileşimi ve özellikleri; hava koşulları, farklı bölgesel standartlar, karışım stoklarının piyasada bulunabilirliği ve ülkelerin politikalarına göre farklılık gösterebilir. Biyoyakıtlar azaltılmış karbon ayak izi bakımından fayda sağlayabilir, ancak kullanım şartlarında yakıt tüketiminde bir artışa veya performansta olumsuzluklara neden olabilmektedir (Zacharof ve Fontaras, 2016).

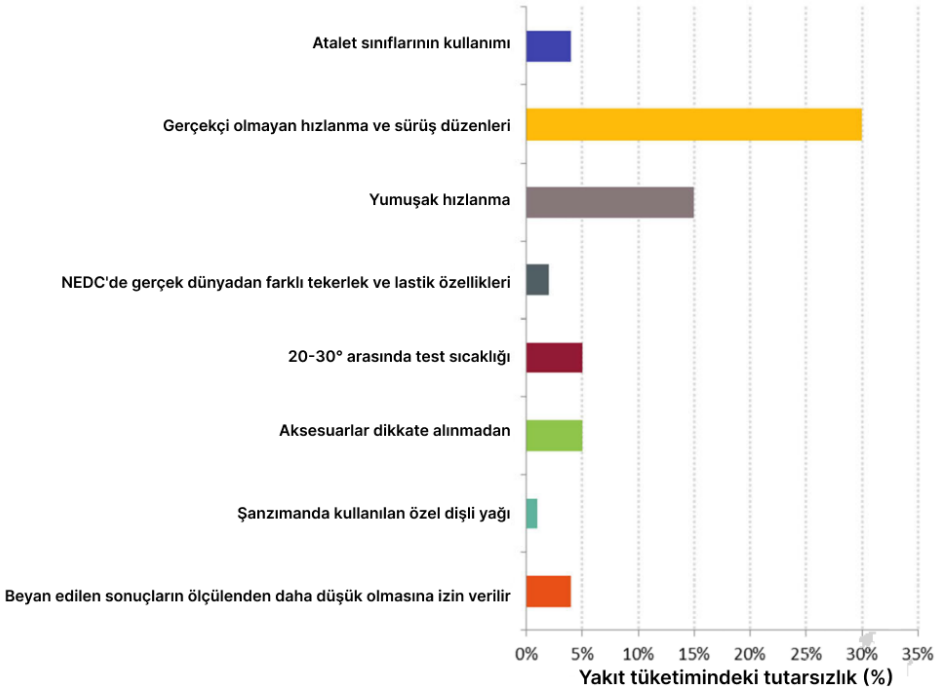
Yakıtın kimyasal yapısındaki bileşikler performans, yakıt tüketimi, egzoz emisyonlarını ve menzili etkilemektedir. Şekil 5.33'de farklı özellikteki yakıtların menzil mesafeleri görülmektedir.



Şekil 5.13. Farklı özelliklerdeki yakıtların (Etanol, benzin, biyodizel ve dizel) menzili (Zacharof ve Fontaras, 2016).

5.9. Sertifika/Tip Onay Testi

Tip onay testinin, daha iyi bir CO_2 performansı sağlamak için kullanılabilecek geniş bir skalası vardır. Daha güvenilir, tutarlı ve sağlam bir prosedür oluşturmak için çeşitli unsurlarının daha doğru bir şekilde belirtilmiş olması gerekir. Yeni uyum ve test protokollerinin ele alınması, araçların nihai yakıt tüketimlerinin daha gerçekçi tahminleri içermesi beklenmektedir. Teorik operasyonlar ve istatistiksel teknikler, herhangi bir laboratuvar temelli test prosedürlerinin gerçek saha koşullarının tüm etkilerini hesaba katamayacağını ve bu nedenle türetilen yakıt tüketiminin ayrıca egzoz emisyonlarındaki CO_2 seviyelerinin detaylı olarak analiz edilmesi gerekmektedir (Zacharof ve Fontaras, 2016). Şekil 5.14'de Test marjlarından dolayı tip onayı ile gerçek şartlar arasındaki yakıt tüketimindeki tutarsızlıklar görülmektedir.



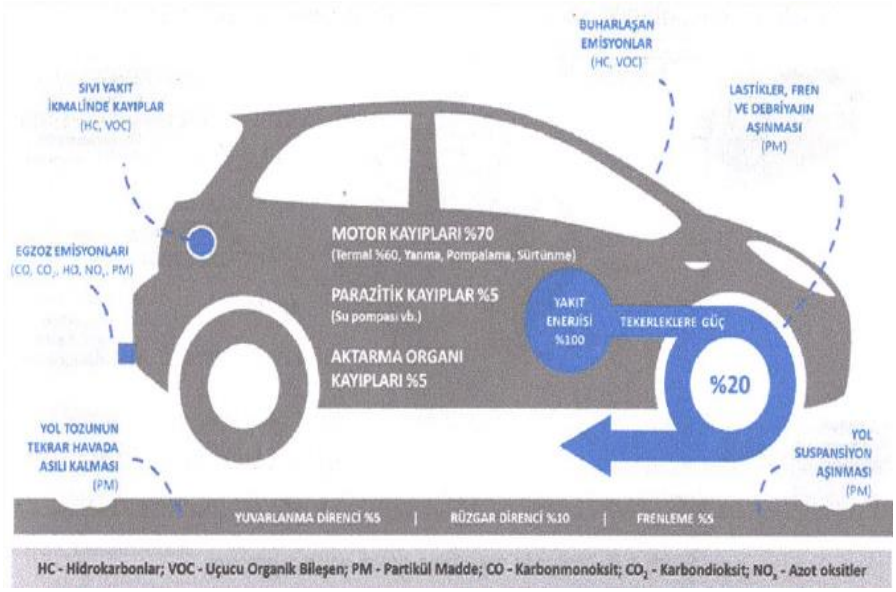
Şekil 5.14. Test marjlarından dolayı tip onayı ile gerçek şartlar arasındaki yakıt tüketimindeki tutarsızlıklar (Zacharof ve Fontaras, 2016).

BÖLÜM 6

İÇTEN YANMALI MOTORLARDAN KAYNAKLANAN KİRLETİCİLER(ZARARLI EMİSYONLAR)

6.1. Motorlu Araçlarda Kirletici Kaynakları

Motorlarda yanma için gereken hava yeterli miktarda karşılansa dahi yanma odasında yakıtla havanın ideal olarak karışmaması nedeniyle zengin veya fakir karışım bölgeleri oluşmaktadır. Bu durum tam yanma şartlarını etkilemektedir. Her türlü ideal yanma koşulları sağlanmış olsa da yakıtın kimyası gereği (Hidrokarbon yapısı, kükürt ve katkı maddeleri) bir miktar kirleticiler oluşacaktır. Bu kirletici kaynakları Şekil 6.1 'de görülmektedir.



Şekil 6.1. Motorlu araçlarda kirletici kaynakları (Sayın vd., 2020).

Bu kirleticiler

-Yanmamış hidrokarbonlar molekülleri(HC)

-Karbonmonoksit(CO)

-Azotoksitler(NO_x)

-Aldehitler

-Yanmamış karbon tanecikleri (is)ve partiküller (Sıvı,yağ.yakıt tanecikleri)

-Kükürt dioksit(SO_2)

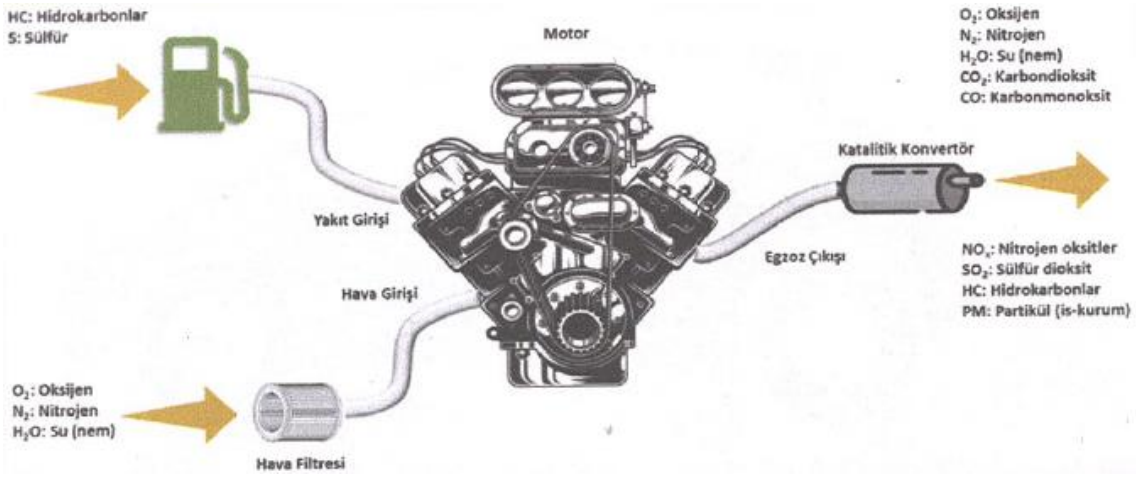
-Kurşun bileşenleri

Bu kirleticilerin egzoz gazı içindeki miktarı genellikle üç şekilde tanımlanmaktadır.

-Yüzde olarak (%)

-Milyonda bir olarak (ppm , parts per million)

-Birim hacimdeki kütlesel miktar olarak (mg/m^3).Yanma kaynaklı kirleticilerin oluşumu Şekil 6.2'de görülmektedir.

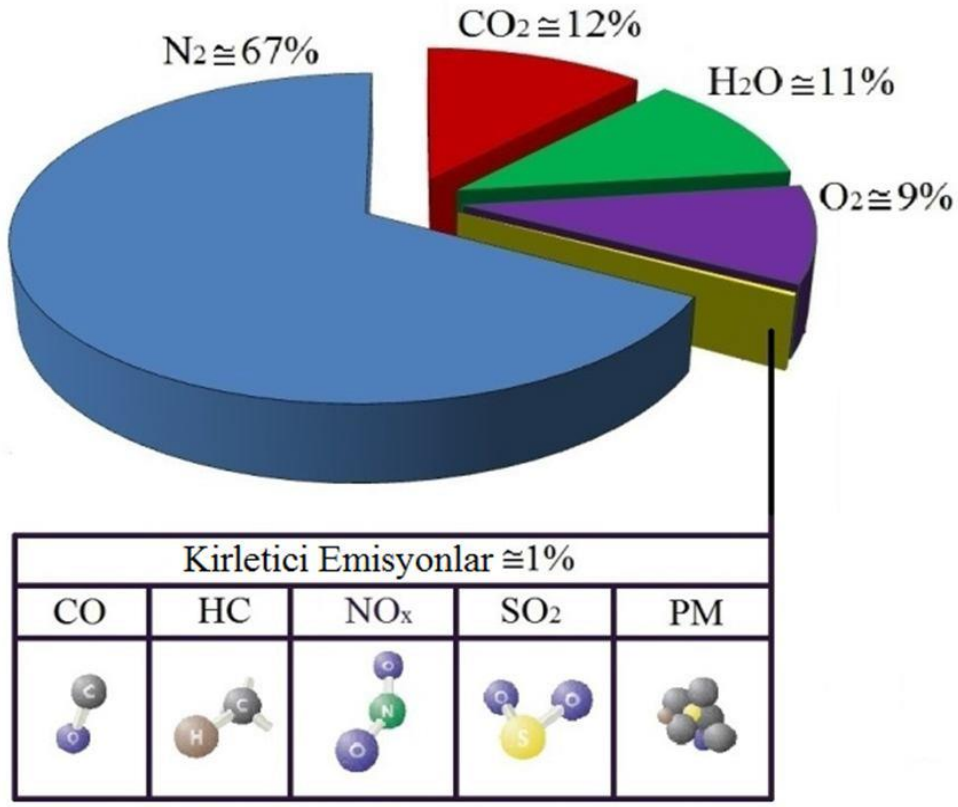


Şekil 6.2. Motorlarda yanma prosesi ve zararlı gazların oluşumu (Sayın, Balki & Erdoğan,2020).

6.2. İçten Yanmalı Motorlardan Kaynaklanan Zararlı Egzoz Emisyonları (Kirleticiler)

Dizel motorlarlarda yanma silindir içine havanın alınması ve yüksek sıcaklığa çıkarılarak üzerine mazot püskürtülerek, yakıtın kendi kendine tutuşması sonucunda kimyasal enerjinin açığa çıkmaktadır.(Sayın vd., 2020). Bu kimyasal enerjinin açığa çıkması sonucu oluşan ısı enerjisi, mekanik enerjiye dönüştürülerek bir iş elde edilmektedir. Petrol türevli yakıtların içeriğinde yüksek oranda karbon ve hidrojen elementlerinin bulunması ve eksik yanma meydana geldiğinde birçok zararlı ürün oluşmaktadır. Bu zararlı gazlardan en çok açığa çıkanlar CO, HC, NOx ve PM emisyonlarıdır. Bu kirletici maddeler Şekil 6.3'de görülmektedir.

Dizel motorlardaki kirletici emisyonların dağılımı Şekil 6.3'de görülmektedir. Dizel motorlar fakir karışımlı motorlar olduğundan dolayı benzinli motorlara göre egzoz emisyonlarında daha düşük seviyede CO ve HC meydana gelmektedir. Ancak yanma sonunda egzozdan atılan partikül (İs) oluşumu insan sağlığı için risk teşkil etmektedir. Dizel motorlarda yanmayı ve emisyonları etkileyen pek çok faktör bulunmaktadır. Öncelikle motorinin içinde bulunan S (Kükürt)yanma sırasında oksijenle reaksiyona girerek kükürt dioksit (SO_2)oluşumuna sebep olmaktadır. Kükürt oranının düşük olması egzoz emisyonlarında meydana gelen partikül çapınıda etkilemektedir. Bu nedenle motorinin içinde bulunan kükürt seviyesi yükseldikçe partikül fitresinin daha çabuk tıkanmasına ve arıza yapmasına neden olacaktır. Tüm bunların yanında dizel motorlarda yanma verimini yükseltmek için petrol firmaları yakıtların içine farklı özellikte katkılar ilave etmektedirler. Özellikle kırsal motorinin kükürt seviyesi yüksek olması sebebi ile yeni nesil motorlarda kullanılması uygun değildir. Bu nedenle bazı ülkelerde satışı kaldırılmıştır.(Akal, 2021).Ayrıca günümüz şartlarında yakıt distribütörleri ve tedarikçilerin pek çoğu egzozdan atılan kükürt dioksit (SO_2) emisyonunun zararlı etkisini önlemek amacıyla son derece düşük kükürt içeriğine sahip ve çeşitli kimyasal katkılar içeren motorin çeşitleri sunmaktadır.



Şekil 6.3. Dizel motorlardan kaynaklanan zararlı egzoz emisyonlar (Akal, 2021).

6.2.1. Karbon monoksit (CO)

Karbon monoksit kokusuz, renksiz zehirli, toksik ve gaz fazında bir kirleticidir. Yanma anında yeterli hava olmaması, eksik yanma, yakıtın fazla olması ve hava yakıt karışımının homojen olmamasından dolayı kaynaklanmaktadır. Havadan daha hafif olduğu için kapalı ortamlarda tavan seviyelerinde birikir. Bu gazın kandaki oksijen taşıma görevine sahip hemoglobine bağlanma yeteneği oksijene oranla yaklaşık 200 kat daha fazladır. Bu nedenle ortamda yüksek seviyede karbon monoksit gazına maruz kalan kişinin solunum yoluyla kandaki normal hemoglobin yapısı bozulur ve vücut hücrelerinin oksijen alma yeteneği engellenmiş olur. (Sayın vd. 2020). Sonuç olarak karbon monoksit solunumuna maruz kalan kişinin akciğerlerinden vücut dokularına oksijen taşınması engellendiği için boğulmalar ve devamında zehirlenmeler meydana gelir. Bu durum kalp yetmezliği olan kişiler için daha büyük risk oluşturmaktadır. Ayrıca oksijen taşıma kapasitesi insan vücudunda azaldığı zaman kan damarlarının çeperleri, beyin, kalp gibi hassas organ ve dokularda fonksiyon bozuklukları meydana

gelmektedir. Karbon monoksit zehirleyici bir özelliğe sahip olduğu için vücuda solunum yoluyla girdiği anda kandaki alyuvarlar tarafından absorbe edilerek kan dolaşım oluşum mekanizmasını bozmaktadır. Az miktarda solunan karbon monoksit gazı baş dönmesi bulantı ve görme bozukluğuna sebep olurken çok miktarda maruz kalındığı zaman öldürücü bir özellikte göstermektedir. Tüm bunların yanında, hamilelik süresince karbon monoksit solunumuna maruz kalan kadınlarda göbek bağı aracılığıyla bebeğe de geçtiği için toksik etki oluşturmaktadır (Sayın vd. 2020).

6.2.2. Hidrokarbonlar (HC)

Genellikle petrol ürünlerinin yanma sonucu motorlu taşıtların egzozundan atmosfere atılan yarı yanmış ya da yanmamış hidrokarbonlar, benzin istasyonlarında yakıt ikmali sırasında buharlaşmadan, araçların yakıt deposundaki buharlaşma buharlaşmadan, endüstriyel çözücüler ve kimyasallardan kaynaklanan kötü kokulu, zararlı kirleticilerdir. Hidrokarbonların atmosferde kalıcılık süresi tam olarak bilinememektedir. İçten yanmalı motorlarda başlıca hidrokarbon kaynakları;

-Sıvı yakıt özellikleri

-Yanma odasındaki boşluklar ve ısı kayıpları

-Yağın kimyasal yapısı ve silindir içindeki yağ filmi

-Yakıt içinde biriken tortu ve kalıntılar

-Egzoz subap sızıntıları.

Tüm bunların sonucu olarak atmosferdeki hidrokarbon seviyesinin artması ile birlikte bu zararlı gazlar azot oksitlerle reaksiyona girerek fotokimyasal sis (Smog)olarak adlandırılan bir sis tabakası oluşturduğu için insan sağlığı ve canlılar üzerinde zarar verici etkiler meydana getirmektedir. Hidrokarbon seviyesinin yükselmesi özellikle solunum sistemi ve görme bozukluklarına sebep olmaktadır(Sayın vd.,2020). Ayrıca hidrokarbonlar polisiklik aromatik bileşikler oluşturarak başta kan kanseri ve diğer kanser türlerine de sebep olabilmektedir. Polisiklik aromatik hidrokarbonların insan sağlığı üzerindeki etkileri Şekil 6.4'de görülmektedir.

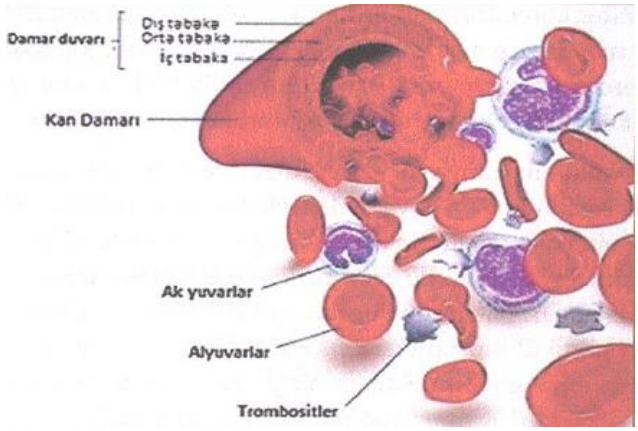


Şekil 6.4. Polisiklik aromatik hidrokarbonların insan sağlığı üzerindeki etkileri (Sayın vd. 2020).

6.2.3. Karbondioksit (CO_2)

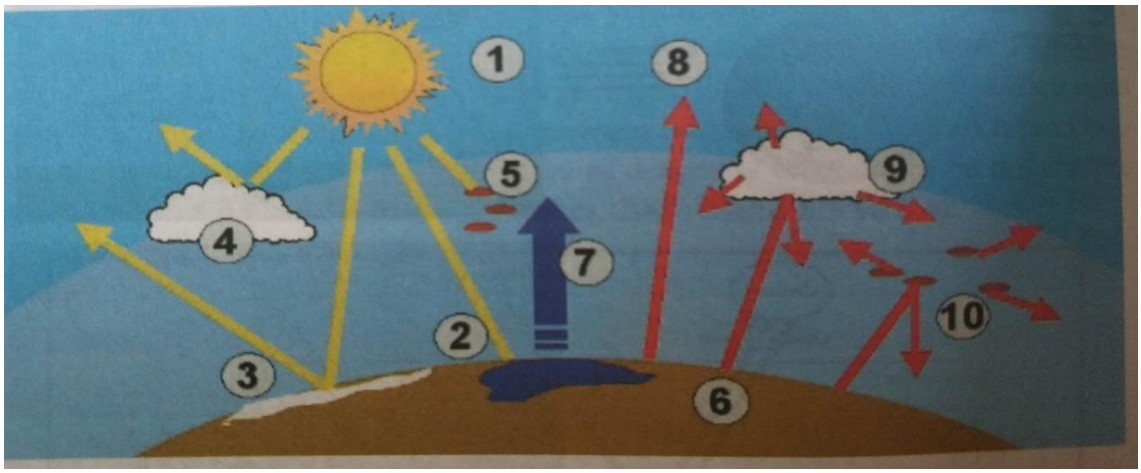
Karbon elementinin iki tane oksijen ile tam yanması sonucu ortaya çıkan bileşiğe karbondioksit gazı adı verilir. Bu gaz tam yanmayı ifade ettiği için içten yanmalı motorlarda önemli bir parametredir. Karbondioksit gaz seviyesi yükseldiğinde Dünyanın ısınmasında önemli bir rol oynar. Güneş ışınlarının yeryüzüne ulaşması sırasında kısa dalgalı ışınların büyük bir kısmını atmosfer geçirir. Fakat yeryüzüne ulaşan ışınların uzun dalga boyundaki yansımalarını engeller. Bunun sonucu olarak atmosferin alt kısımlarında ısınma sebebi ile sera etkisi oluşur. 1958 den bu yana yapılan araştırma sonuçlarına göre Dünyadaki karbondioksit seviyesi %9 artmıştır. (Sayın vd., 2020). Dünya üzerindeki karbon dioksit konsantrasyonunun %70 i kömür, petrol türevli yakıtlardan ve toprak kullanımının değişikliğinden olduğu bilinmektedir (Kaya ve Öztürk, 2020).

Teknolojik gelişmelere bağlı olarak artan enerji kullanımı bu seviyeyi daha da arttıracağı öngörülmektedir. Karbon dioksit emisyonlarındaki artışın kan hücrelerindeki etkisi Şekil 6.5'de görülmektedir (Sayın vd. 2020).



Şekil 6.5. CO_2 Emisyonlarının kan hücreleri üzerindeki etkisi

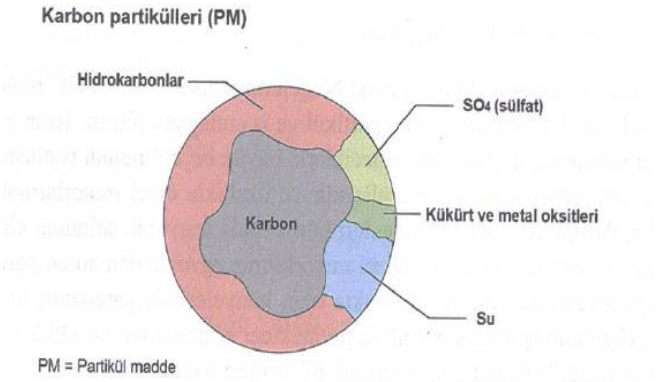
Şekil 6.6'da emisyonların neden olduğu sera etkisinin oluşum aşamaları görülmektedir. Burada; 1-Güneş kaynağını, 2-Yeryüzüne gelen güneş ışınımını,3-Yeryüzünden geriye yansıyan ışınımı,4-Bulutların üst kısmındaki ve atmosferdeki kısımların geri yansımasını,5-Atmosferdeki bazı parçacıkların bir kısım enerjiyi soğurmasını,6-Yeryüzünün sıcak yüzeyindeki kızıl ötesi ışınımı,7-Enerjinin bir kısmının suyu buharlaştırmasını,8-Kızıl ötesi ışınımın bir kısmının uzaya gidişini,9-Bulutların yerden gelen ışınımın bir kısmını soğurmasını bir kısmını yansıtmasını, 10-Atmosferdeki gazların yerden gelen kızıl ötesi ışınımı tutmasını ve sera etkisini ifade etmektedir.



Şekil 6.6. Emisyonlarının sebep olduğu sera etkisinin oluşum aşamaları (Kaya ve Öztürk, 2020).

6.2.4. İs ve Partikül Emisyonları

Dizel motorlarda yanma esnasında özellikle oksijenin yetersiz olduğu bölgelerde uzun zincirli hidrokarbonların sıcaklığa bağlı olarak kırılması ile, hidrojen atomlarının kolay oksitlenmesi ancak karbon atomlarının oksitlenmeyerek ortamda artması sonucunda partikül ve is oluşmaktadır. Partikül maddeler karbon hidrojen bağları, dizel yakıtın bileşimindeki kükürt miktarına bağlı olarak kükürt dioksit oluşumu ve hidrojen sülfürden meydana gelmektedir. Oluşan is, partikül madde yakıtın kimyasal özelliklerine, yakıt molekülündeki karbon atom sayısına ve C/H oranına bağlı olarak değişmektedir (Akal, 2021). Partikül madde özellikle dizel motorlarda oluşmaktadır. Yanma sonucunda egzoz gazları içinde oluşan is, partikül madde zararlı bileşikleri bünyesinde taşıyarak özellikle insan sağlığında solunum sistemine zarar vermektedir. Partikül maddenin bileşimi motor egzoz sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir.500 °C üzerindeki egzoz gazı sıcaklıklarında karbon kürecikleri yığını olarak gözlemlenmektedir (Sayın vd., 2020). Egzoz gazları içerisindeki partikülün kimyasal yapısı dizel yakıt cinsine yanma odası sıcaklığına ve silindir içine alınan hava miktarına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Ayrıca alev 'in çevreye yayılması ile zengin / fakir karışım oluşumu ve silindir içindeki sıcaklık artışı ile yükselmektedir. Dizel motorlarda oluşan is, partikül madde miktarı motorun karakteristik özelliklerine ve motor yüküne (devrine)bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Yapılan araştırmalarda dizel yakıtının enjeksiyon basıncının ve motor yağının da etkili olduğu gözlemlenmiştir. Motor yağının viskozitesi dizel yakıtına göre daha yüksektir. Karbon hidrojene göre daha geç yandığı için oluşan partikülün çekirdek kısmı motor yağı tarafından meydana gelmektedir. Partikül maddeler içerisinde değişik kimyasal bileşikler içeren harmonilerden meydana geldiği için basit formüllerle ifade edilememektedir. Partikül maddelerin kimyasal yapısı Şekil 6.7'de görülmektedir. Partikül maddelerin bir kısmı yanmamış hidrokarbon içermesi nedeni ile kanserojen olduğu bilinmelidir (Sayın vd. 2020).



Şekil 6.7. Dizel motorlarda oluşan partikül madde yapısı (Sayın, Balki & Erdoğan, 2020).

Dizel motor egzoz emisyonlarında oluşan partiküllerin içeriği Çizelge 6.1 de görülmektedir (Sayın, Balki & Erdoğan, 2020).

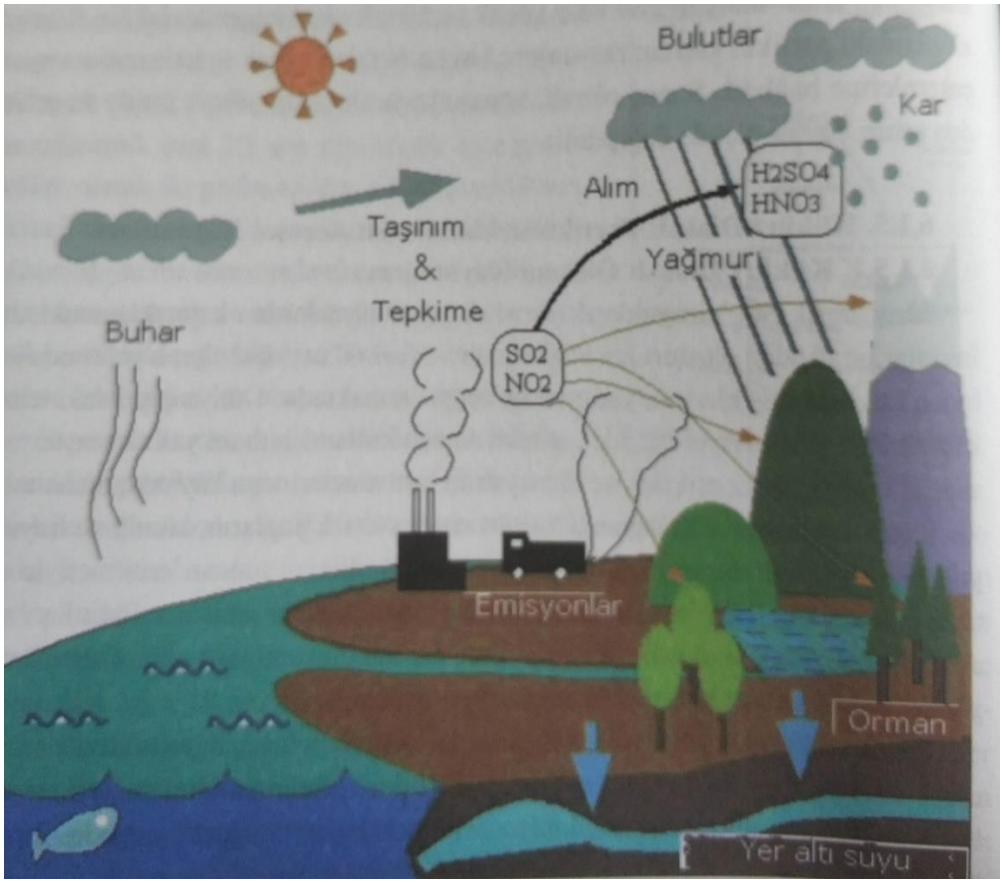
Çizelge 6.1. Dizel motoru egzoz gazındaki partikül bileşimi

Partikül Bileşeni	Dizel Egzoz Gazındaki Partikül Emisyon İçeriği (Ağırlık %)
Katı parçacık	62-82
Sıvı yakıt ve organik bileşenleri	11-15
Motor yağı ve organik bileşenleri	9-11
Kükürt bileşenleri ve su	1-11

6.2.5. Azotoksitler (NO_x)

En yaygın olarak azot oksitler, (Azot mono oksit NO ve azot dioksit NO_2 genel olarak, azot oksit NOx tanımlanmaktadırlar.) Azot oksitler (NOx) kokusuz, renksiz bir gaz olup, silindir içindeki atomik oksijen ve yakıtın yüksek sıcaklıklarda yakılması sonucu meydana gelmektedir. Hava ile temasa geçtiklerinde, ani bir şekilde oksijen ile birleşmeye geçmekte ve bunun sonucunda azot dioksit (NO_2) oluşturmaktadır.

Azot oksitler NO, NO_2 N_2 O_2 vb bileşiklerin tümü olarak tanımlanmaktadır. Motorlarda sıcaklığa bağlı olarak azot oksit seviyesi yükseldiği için ilk çalıştırma anında daha az ortaya çıkar. Azotoksitler özellikle solunum hastalığı olan kişiler üzerinde daha fazla tehlike yaratmaktadır. Yanma odasındaki ki sıcaklığın 1800 °C nin üzerine çıkması halinde NOx emisyonları oluşmaya başlar. Azot oksitler. Çeşitli insan etkinlikleri ile atmosfere karışan kükürt dioksit ve azot oksitler atmosfere taşınırken bulutlardaki su ile reaksiyona girerek sülfirik asit H_2SO_4 oluşmasına sebep olur (Sayın, Balki & Erdoğan, 2020).Tüm bunların sonucunda yağmur, kar ve sis ile birlikte asit yağmurları meydana gelir. Bu istenmeyen bir durum olup bitki örtüsüne zarar vermektedir. Yeryüzüne düşen asit yağmurları Şekil 6.8'de görülmektedir.



Şekil 6.8. Asit yağmurlarının oluşumu (Kaya ve Öztürk, 2020).

Dizel motorlarda egzoz dan atılan gazların içindeki azot oksit seviyesi 2000ppm'e kadar çıkabilmektedir. Bunların önemli bir kısmı azot monoksit (NO) daha az seviyede azot

dioksit (NO_2) ve diğer bileşiklerden oluşmaktadır. NO, literatürde üç farklı mekanizmanın sonucu olarak meydana gelmektedir (Sayın vd., 2020).

-Isıl Mekanizma veya Zeldovich

-Fenimore veya Ani Mekanizma Oluşumu

-Yakıttan Kaynaklanan NO Oluşumu

6.2.5.1 Isıl Mekanizma veya Zeldovich

NO (Azot monoksit) dizel motorların silindirleri içinde üretilen ve daha baskın olan NOx türüdür. Buradaki NO nun temel kaynağı havanın içindeki moleküler azotun oksidasyonudur.

$$O + N_2 \rightarrow NO + N \quad (6.1)$$

$$N + O_2 \rightarrow NO + O \quad (6.2)$$

$$N + OH \rightarrow NO + H \quad (6.3)$$

Zeldovic (Isıl mekanizmaları)için birinci reaksiyonun yüksek aktivasyon enerjisi gereksiniminden O_2 nin ayrılma ihtiyacından sıcaklık önemli bir faktördür. NO oluşumu hem alev önünde alev sonrasında meydana gelebilmektedir(Sayın vd., 2020).

6.2.5.2 Fenimore veya Ani Mekanizma Oluşumu

Yakıtın zengin karışım bölgesinin hemen önündeki kısımda yüksek hız ile NO oluştuğu için ani mekanizma denmektedir.

$$N + OH \rightarrow NO + H \quad (6.4)$$

$$CH + N_2 \rightarrow HCN + N \quad (6.5)$$

$$C_2 + N_2 \rightarrow 2CN \quad (6.6)$$

Ani NO oluşumu sadece hidrokarbon yanmalarında görüldüğü ve sıcaklığa bağımlılığının çok zayıf olduğu tespit edilmiştir. Dizel motorlarda toplam NOx

emisyonlarının %10-30 luk bölümü NO_2 den oluşmaktadır. Alev bölgesinde oluşan NO ani olarak NO_2 ye dönüştürürse ;

$$NO + HO_2 \rightarrow NO_2 + OH \quad (6.7)$$

Elde edilmiş olur. Sonradan bu NO_2 nin NO ya dönüşmesi ise;

$NO_2 + O \rightarrow NO + O_2$ denklemi ile gerçekleşmiş olur. (6.8)

6.2.5.3 Yakıttan Kaynaklanan NO Oluşumu

Pek çok dizel yakıtı azot bileşikleri içermektedir. Yakıtın içindeki bu azot NO oluşumuna sebep olmaktadır. Yakıt kaynaklı NO oluşumu öncelikle bölgesel sıcaklığa, stokiyometriye ve yakıt hava karışımındaki azot bileşiklerinin seviyesine bağlı olarak değişmektedir. Dizel motorlarda sıkıştırma zamanı sonunda silindir içinde basıncın artması, püskürtülen yakıtın homojen olmaması ve silindir içinde kalan yanmış gazların sıcaklığı yükseltmesi NO oluşumu için önemli faktörlerdir. Yanmış gazların sıcaklığı düşürmesi genişleme periyodundan sonra gerçekleşmektedir. Literatürde yakıt püskürtme zamanının ve motor yükünün değiştirilerek yapılan çalışmalarda NO oluşumunun büyük bir kısmının yanmanın başladığı anı izleyen 20°krank mili açısı içinde olduğu gözlemlenmiştir(Sayın vd., 2020). Silindir içindeki maksimum sıcaklık seviyesi NO oluşumu için önemli bir parametredir. (Sıcaklığın düşük olduğu zaman dilimlerinde NO oluşumu da azalmaktadır.)

6.2.6. Sülfür (SO_2)

Motorinin kimyasal içeriğinde bulunan sülfürün dizel motorlarda yakılması sonucunda SOx zararlı bileşikleri ortaya çıkmaktadır. Dizel motorlarda yanma sonrası egzozdan atılan SO_2 nin atmosfere atılmasından sonra havadaki su buharı ile birleşerek H_2SO_4 (Sülfirik asit)oluşmaktadır. Meydana gelen bu sert sokulu gaz insan sağlığında üzerinde özellikle solunum yolları ve karaciğer hastalıklarına sebep olmaktadır. Tüm bunların yanında sülfirik asit; çevredeki hava kalitesine, bitki örtüsüne, motor için önemli olan silindir, piston ve segmanlara da zarar vermektedir. Bu nedenle ülkemizde 2004 yılından bu yana düşük kükürtlü dizel yakıtı satılmaktadır. Son zamanlarda klasik dizel motorlarda kullanılan motorinde kükürt miktarı 1000 ppm iken modern yeni nesil

dizel motorlarda kullanılan yakıtın kükürt oranı 10ppm e kadar düşürülmüştür (Sayın vd., 2020).Ayrıca sülfirik asit korozyona ve asit yağmurlarına da sebep olmaktadır.

6.2.6. Kurşun Bileşikleri

Benzinin oktan sayısını arttırmak için bazı kimyasal maddeler kullanılmaktadır. Bu amaçla uzun yıllar kurşun katkı maddesi olarak kullanılmıştır. Benzinin içindeki kurşunun motorun subap sisteminde yağlayıcı etkisi vardır. Ancak kurşunun insan sağlığı üzerinde pek çok hastalıklara sebep olması ve yeni nesil araçların egzoz sisteminde bulunan katalitik konvertöre zarar vermesi sebebiyle artık kullanılmamaktadır.

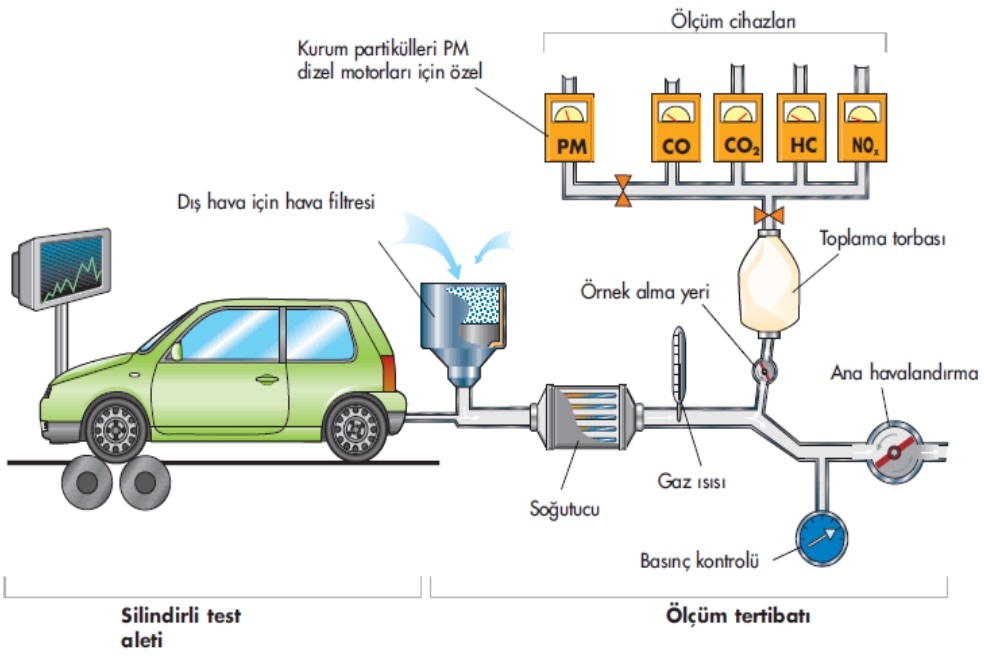
Günümüzde benzinin oktan sayısını arttırmak için metil alkol ve etil alkol türevleri kullanılmaktadır (Sayın vd., 2020). Metil tertiaributileter (MTBE) ve etil tertiari butileter (ETBE) katkıları bunlara örnek olarak verilebilir.

BÖLÜM 7

DİZEL MOTORLARDA EMİSYON OLUŞUMU, EURO STANDARTLARI VE AZALTMA YÖNTEMLERİ

7.1. Dizel Motorda Egzoz Emisyon Oluşumu

Petrol kaynaklı yakıtların içinde yüksek oranda bulunan karbon havadaki oksijen ile birleşerek enerji açığa çıkarken bir takım kimyasal reaksiyonlar meydana gelir. İçten yanmalı motorlarda tam yanmanın gerçekleşmesi zor bir süreçtir. Tam yanmayı etkileyen birçok faktör olmasına rağmen belkide en önemli sebeplerden birisi yanma için yeterli zamanın olmamasıdır. Kullanılan yakıtların yanma hızı sabittir ancak yanma için gerekli olan süre sabit değildir. Motorun devri arttıkça yanma için gereken zaman kısalır ve motora gerekli olan havayı temin etmek zorlaşır. Yetersiz zaman ve hava ile tam yanma sağlanamadığı için zararlı egzoz emisyonları oluşmaktadır. Bu zararlı kirleticiler ve ölçüm metodu Şekil 7.1'de görülmektedir. Dizel motorlarda yanma sonrası egzozdan atılan kirleticilerin seviyesi kullanılan yakıtın kimyasal içeriğine ve motorun pek çok özelliğine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Dizel motorlarda yanma esnasında silindir içindeki sıcaklık aşırı yükselirse (1600°C'den fazla) egzoz emisyonlarında oluşan azotoksit ve partikül madde miktarlarıda artış göstermektedir. Bu nedenle hem tam yanma şartlarının oluşması için yeterli havanın silindir içine alınması ve motorun diğer teknik özellikleri önem kazanmaktadır. Otto motorlarına kıyasla dizel motorlarda HC (Hidrokarbon) ve CO (Karbonmonoksit) oluşumu düşük seviyelerdedir (Sayın vd., 2020).



Şekil 7.1. Dizel motorda oluşan egzoz emisyonlarının ölçülmesi (Sayın vd., 2020).

7.2. Dizel Emisyon Standartları

Avrupa Birliği Emisyon Standartları; çevreyi korumak amacıyla motorlu araçların egzoz gazlarından atılan zararlı maddelerin sınır değerlerini ifade etmektedir. Motorlu araçların egzoz emisyonlarından kaynaklanan özellikle NOx (Azot oksit), PM (Partikül madde), CO(Karbonmonoksit) ve HC (Hidrokarbon) zararlı maddeler dikkate alınmaktadır. Bu egzoz emisyon standartları araçların tip ve özelliklerine göre değişmektedir. Avrupa Birliği ülkelerde satışa sunulan araçların egzoz emisyonları kabul edilebilir şartlar yıllar içinde revize edilerek çevre kirliliğinin azaltılması amaçlanmıştır. Euro emisyon standartları ilk olarak 1992 yılında Euro 1olarak başlatılmış devamında 1996 yılında Euro 2, 2000 yılında Euro 3, 2005 yılında Euro 4,2009 yılında Euro 5 ve son olarak 2014 yılında Euro 6 olarak düzenlenmiştir. Günümüz şartlarında dizel motorlar için geçerli olan Euro 6 normu olup 01.09.2014 tarihinden sonra üretilen ve ithal edilen araçları kapsamaktadır. Euro normları binek dizel araçlar, hafif ticari dizel araçlar ve ağır hizmet tipi dizel araçlar olmak üzere gruplandırılmıştır. Araç tipine göre belirlenmiş olan hafif ticari araçlar için Euro emisyon standartları Çizelge 7.1'de görülmektedir (Sayın vd., 2020).

Ağırlığı 1305 kg’dan az olan araçlar

Dizel

Çizelge 7.1. Hafif ticari araçlar için euro emisyon standartları (g/km).

Aşama	Tarih	CO	THC	NMHC	NO_x	HC+NO_x	PM
EURO 1	1994	2,72	-	-	-	0,97	0,14
EURO 2	1998	1,0	-	-	-	0,7	0,08
EURO 3	2000	0,64	-	-	0,50	0,56	0,05
EURO 4	2005	0,50	-	-	0,25	0,30	0,025
EURO 5	2009	0,50	-	-	0,18	0,23	0,005
EURO 6	2014	0,50	-	-	0,08	0,17	0,005

Ağırlığı 1305 - 1760 kg arasında olan hafif ticari araçlar için Euro emisyon standartları Çizelge 7.2. de görülmektedir(Sayın vd., 2020).

Ağırlığı 1305 - 1760 kg arasında olan araçlar

Dizel

Çizelge 7.2. Hafif ticari araçlar için euro emisyon standartları. (g/km)

Aşama	Tarih	CO	THC	NMHC	NO_x	$HC+NO_x$	PM
EURO 1	1994	5,17	-	-	-	1,4	0,19
EURO 2	1998	1,25	-	-	-	1,0	0,12
EURO 3	2001	0,80	-	-	0,65	0,72	0,07
EURO 4	2006	0,63	-	-	0,33	0,39	0,04
EURO 5	2010	0,63	-	-	0,235	0,295	0,005
EURO 6	2015	0,63	-	-	0,105	0,195	0,005

Ağırlığı 1760 - 3500 kg arasında olan hafif ticari araçlar için Euro emisyon standartları Çizelge 7.3 de görülmektedir(Sayın vd., 2020).

Çizelge 7.3. Hafif ticari araçlar için euro emisyon standartları (g/km).

Aşama	Tarih	CO	THC	NMHC	NO_x	$HC+NO_x$	PM
EURO 1	1994	6,9	-	-	-	1,7	0,25
EURO 2	1998	1,5	-	-	-	1,2	0,17
EURO 3	2001	0,95	-	-	0,78	0,86	0,10
EURO 4	2006	0,74	-	-	0,39	0,46	0,06
EURO 5	2010	0,74	-	-	0,28	0,35	0,005
EURO 6	2015	0,74	-	-	0,125	0,215	0,005

Ağır hizmet tipi dizel araçlar için emisyon standartları ise Çizelge 7.4 de görülmektedir (Sayın vd., 2020).

Çizelge 7.4 Ağır hizmet dizel motorları için emisyon standartları

	Euro emisyon standartları (g/kWh)					
Aşama	Tarih	CO	HC	NO_x	PM	Duman
EURO 1	1992; < 85 kW 1992; < 85 kW	4,5 4,5	1,1 1,1	8,0 8,0	0,612 0,36	- -
EURO 2	1996 1998	4,0 4,0	1,1 1,1	7,0 7,0	0,25 0,15	- -
EURO 3	1999 2000	1,0 2,1	0,25 0,66	2,0 5,0	0,02 0,10	0.15 0,8
EURO 4	2005	1,5	0,46	3,5	0,02	0,5
EURO 5	2008	1,5	0,46	2,0	0,02	0,5
EURO 6	2013	1,5	0,13	0,04	0,01	-

7.3. Dizel Motorlarda Emisyon Azaltma Yöntemleri

Dizel araçlarda emisyon azaltmak için motorların üretildiği yıllardaki teknolojisine ve yapısal özelliklerine göre bağlı olarak yaygın olarak kullanılan bazı uygulamalar geliştirilmiştir. Bunlar;

-Karter Havalandırma Sistemi

- Egzoz Gazı Devir daim Sistemi (EGR)

- Dizel Partikül Filtresi (DPF)

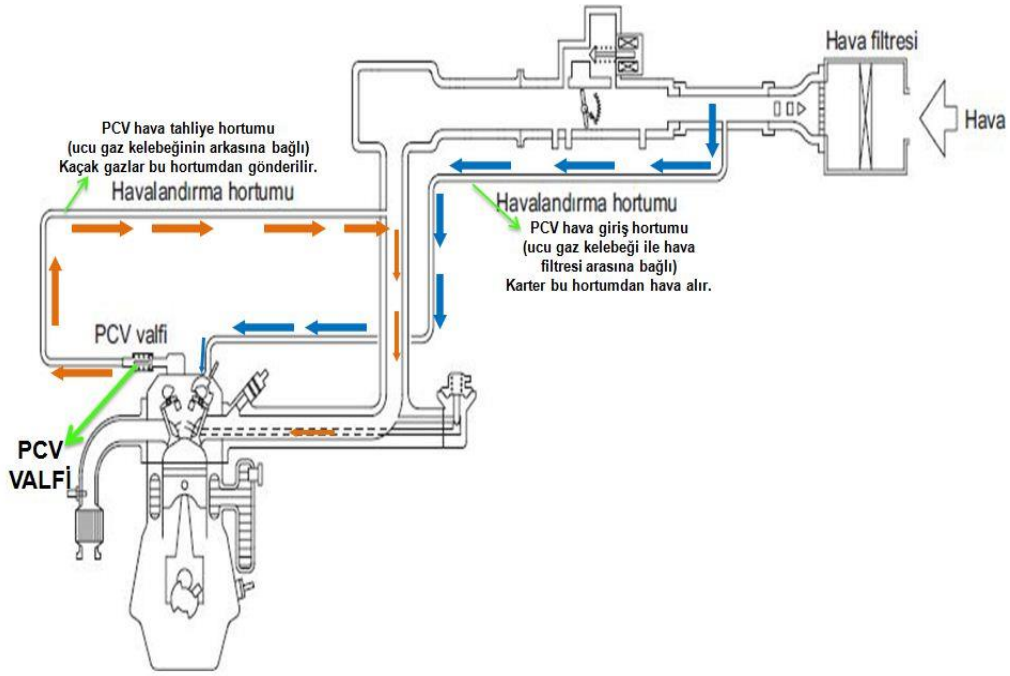
-Dizel Oksidasyon Katalizatörü (DOC)

- Seçici Katalitik İndirgeme (SCR) Teknolojisi ve AdBlue Uygulaması

7.3.1. Karter Havalandırma Sistemi

Karter içinde depolanan motor yağı filtre edildikten sonra yağ pompası ile basınçlandırılır ve motorun içinde sürekli hareket halinde dolaşarak yağlama görevi yapar. Motor çalıştığı sürece yağlama yağı farklı sıcaklık ve basınçlara maruz kalır. Sistem de dolaşan yağlama yağı motordaki parçaların sıcaklık etkisi ile buhar oluşumuna sebep olur. Motorun içinde oluşan bu buhar asidik özelliğe sahiptir ve kullanıma bağlı olarak motor parçalarına zarar verir. Motorun piston silindir düzeneğinde meydana gelen aşıntıya bağlı olarak yanmış gazlar, oluşan buhar ve hidrokarbonların bir kısmı kartere sızar. Bu durum karterin içindeki yağ buharının artmasına sebep olur. Ayrıca yağ buharı seviyesi arttıkça karterde basınç artışı meydana getirir. Basınç artışı ile motordan sızan yağ buharı çevre kirlenmesine ve bazı olumsuzluklara sebep olur. İçten yanmalı motorlarda meydana gelen bu zararlı etkinin azaltması için yağlama devresine karter havalandırma sistemi dâhil edilmiştir. Bu sistemin temel amacı oluşan yağ buharını ve karterdeki kaçak gazları emme manifoldu vasıtası ile tekrar silindirlere alıp yakılmasını sağlamaktır. .Ayrıca yağ buharı ve

silindirlerden sızan hidrokarbonların atmosfere salınması çevreye zararlıdır. Karterden gelen bu zararlı gazların yakıt karışım oranını bozmaması için manifold girişine yaylı bir valf (subap) koyularak ayarlama yapılır. Karter havalandırma sistemler 2 çeşittir. Giriş borulu karter havalandırma sistemi(Eski teknoloji motorlarda olup günümüzde üretilen motorlarda kullanılmamaktadır) ve Kapalı tip karter havalandırma sistemi dir. Yeni nesil motorlarda kullanılan kapalı tip karter havalandırma sistemi Şekil 7.2'de görülmektedir.



Şekil 7.2. Karter havalandırma sistemi (Sayın, Balki& Erdoğan, 2020).

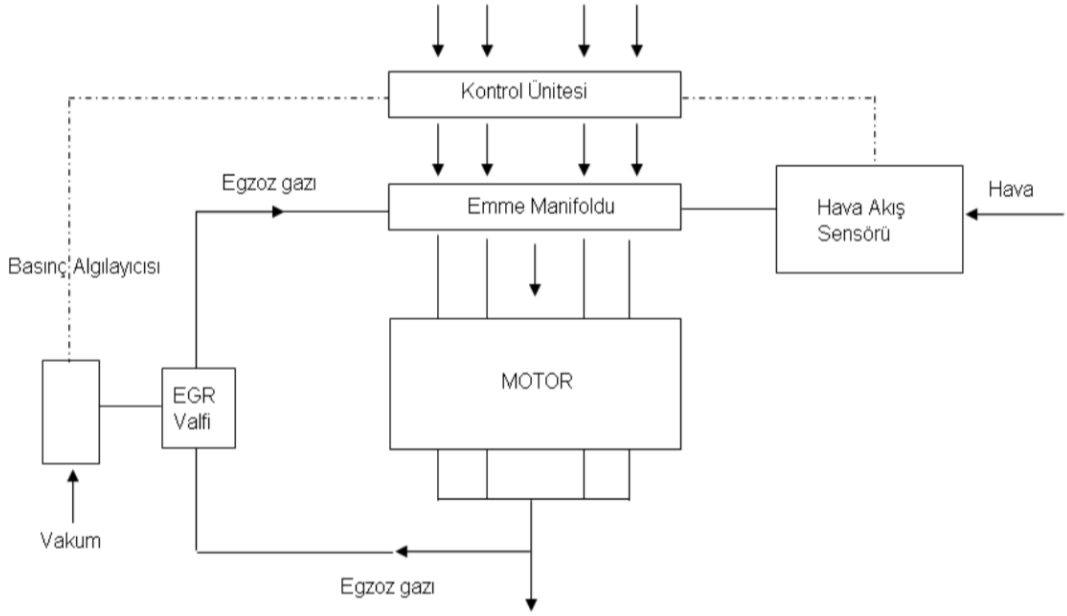
7.3.2. Egzoz Gazı Devirdaim Sistemi (EGR)

İngilizce olarak "Exhaust Gas Recirculation" Egzoz Gazları Resirkilasyonu (EGR) anlamına gelmektedir. Dizel motorlarda yanma sonunda sıcaklık yükselmesini ve azotoksit oluşmunu azaltmak için geçmişten günümüze kadar kullanılan bir sistemdir. İçten yanmalı motorlarda yaygın olarak kullanılan bu sistem üzerinde gerek ticari gerekse akademik anlamda araştırmalar devam etmektedir. Silindirlerden atılan yanmış gazlar egzoz çıkışından alınarak tekrar yakılmak üzere motor silindirlerine gönderilir. Egzozdan atılan gazların yaklaşık %10 kadarı emme manifoldu vasıtası ile

silindirler içerisine alınan havaya karıştırılarakgeri dönmesi sağlanmış olur. Egzoz gazlarının ancak bir kısmı tekrar emme havasına verilmiş olur.

Egzoz çıkışından alınan bu gazların emme havasına karıştırılması ile silindir içindeki oksijen seviyesi bir miktar azaldığı için performans kaybı meydana gelir. Ayrıca egzoz gazlarının yüksek sıcaklığa sahip olmasından dolayı emme havası sıcaklığı da bir miktar yükselir. Tüm bunların sonucunda volümetrik verimde azalma ve azotoksit oluşum hızında artış görülür. Bu sebeple egzoz çıkışından alınan gazların sıcaklığının düşürülmesi için günümüz motorlarında EGR sistemi üzerine soğutma devresi ilave edilmiştir. (Akal,2021).

EGR sistemi üretici firmalara göre değişiklik göstermiş olsada genellikle valf, selenoid ve soğutucudan meydana gelmektedir. Egzoz gazlarının karışım oranı ve selonoid valfin çalışması günümüz şartlarında elektronik kontrol ünitesi ile yapılmaktadır. Egzozdan atılan gazların bir kısmı silindire verilirken emme manifoldu üzerinde yer alan özel valf in vakum etkisinden faydalanılmaktadır. Bu valf elektro pnömatik bir yapıda olup egzoz gazlarının devirdaimine kumanda etmek için kullanılır. Aksi takdirde emme manifolduna giren egzoz gazlarının seviyesi artar ve yetersiz oksijen ile yanma kötüleşir. İçten yanmalı motorlarda rölanti devrinde (Motorun sarsıntısız, düzgün, stop etmeden kendi kendine çalıştığı en düşük motor devri) EGR sistemi devre dışında tutulmaktadır. Benzer şekilde motorun maksimum güç ürettiği devirde de sistem devre dışı bırakılmaktadır (Sayın, Balki& Erdoğan, 2020). Egzozdan alınan gazlar silindirlere alınmadan önce EGR sistemi üzerindeki soğutucu devreden geçirilerek sıcaklığı düşürülmektedir. Böylece emme havası sıcaklığının yükselmesi önlenmiş olur. Egzoz gazlarının soğutulmadan silindirlere verilmesi hacimsel verimin düşmesine sebep olurken ayni zamanda silindir içindeki yanma sıcaklığınıda yükseltir. Silindir içinde yanma sonunda sıcaklığın 1600 °C den yukarıya çıkması azotoksit seviyesinin artmasına sebep olur. EGR uygulamalarında egzoz gazlarının geri dönüşündeki kullanımı motor teknolojisine bağlı olarak üç farklı metodla yapılmaktadır. Egzoz gazı soğutulmayan, kısmen soğutulan veya tamamen soğutulan sistemlerdir. EGR sisteminin çalışma prensibi Şekil 7.3'de görülmektedir.



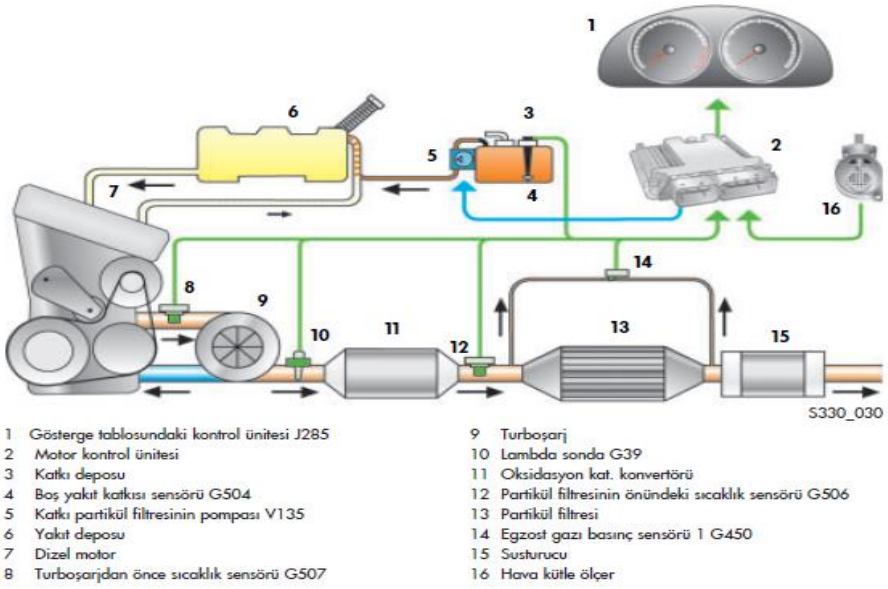
Şekil 7.3. EGR sisteminin çalışma prensibi (Akal, 2021).

7.3.3. Dizel Partikül Filtresi (DPF) Sistemi

Dizel yakıtın yanması sonucunda bazı kirletici emisyonlar oluşmaktadır. Bu kirleticilerin arasında PM (Partikül) maddeinsan sağlığı bakımından en önemlilerinden birisidir. Bu nedenle yeni nesil dizel motorların egzoz sistemi üzerine partikül maddeleri tutacak gözenekli metal veya seramik malzemeden yapılmış PM filtreleri konumladırılmıştır. Bu filtrelerin verimleri %30-90 arasında değişmektedir. Temel olarak dizel partikül filtreleri; derin filtreleme mekanizmaları, engelleme, yüzey mekanizmaları, çöküntü, eylemsizlik ve yüzey mekanizmalarının etkisi prensiplerine bağlı olarak PM maddeleri tutmaktadır (Sayın, Balki& Erdoğan, 2020). Bu yöntemlerinin uygulanmasında monolitler (Tek parçalı filtreler) yaygın olarak kullanılmaktadır. Tek parçalı olarak üretilen dizel partikül filtreleri gözenekli kanallardan oluşan duvarlar boyunca gaz akışını zorlayarak katalist desteklerden oluşmaktadır. Diğer bir partikül filtresi türüde Partial olarak isimlendirilmektedir. Bu tip filtrelerin verimleri ise %50-85 arasında değişmektedir. Dizel partikül filtreleme sistemleri rejenerasyon yöntemlerinin tasarımı ile kombine hale getirilmektedir. Yanma sonunda egzozdan atılan gazların içindeki partikül maddeler partikül filtresinden

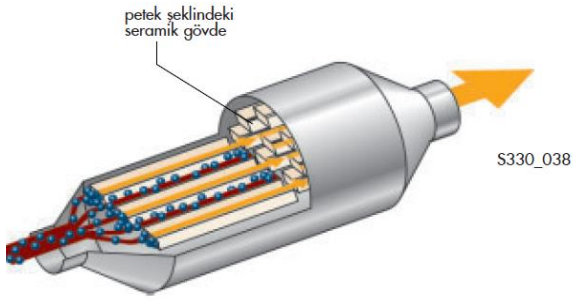
geçerken zamana ve kullanılan yakıta bağlı olarak kanalarda tıkanmalar meydana gelir. Sistem üzerinde kombine edilmiş rejenesyon yöntemi ile temizlenme sağlanır. Bu nedenle partikül filtrelerinde malzeme dayanımı ve rejenerasyon büyük önem arz etmektedir. Filtreleme aşamasında farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bunlardan ilki sistemde kısmi yanmış yakıtın daha yüksek sıcaklıkta yanabilmesi için partikül filtresinden önce bir oksidasyon katalisti ve partikül maddenin yanma sıcaklığını düşürmek için bir yakıt katkısı kullanılmaktadır. İkinci bir yöntem ise yakıt katkısı kullanılmadan egzoz sistemi üzerinde sadece oksidasyon katalisti uygulamasıdır. Son olarakda gerekli katalist fonksiyonlarının hepsinin bir filtrede toplanması ile oluşturulan yapılardır. Dizel partikül filtrelerindeki isi uzaklaştırmak ve rejenerasyon kompleks işlemlerdir. Bu işlemlerin verimli olarak yapılabilmesi egzoz sıcaklığına, gaz basıncına, atılan gaz içindeki oksijen seviyesine ve hacimsel akış oranına bağlı olarak değişmektedir. (Sayın, Balki & Erdoğan, 2020). Dizel egzoz emisyon limit değerlerinin her geçen dürülmesi ve çevre kanunlarındaki yasaklamalar nedeni ile partikül filtreleri ile ilgili araştırmalar devam etmektedir. Dizel partikül filtresinde oluşan sıcaklık partikülün (İs)yanma sıcaklığının üzerinde meydana gelirse egzoz gazları içindeki PM maddeler yanar ve egzoz sistemi içindeki geri basınç azaltılmış olur. Partikül fitrelerindeki rejenerasyon sistemlerinde pasif ve aktif olmak üzere iki yöntem kullanılmaktadır. Pasif rejenerasyonda parikül madde katalitik reaksiyonla yakılmaktadır. Bu yöntemin gerçekleşmesi için aktif demir ve seryum içeren yakıt katkıları kullanılarak partikülün alevlenme sıcaklığını düşürülür. Böylece egzoz gaz sıcaklığında partiküller yakılmış olur. Bu sistemde araç kullanımı esnasında rejenerasyon işlemi kendiliğinden yapılmaktadır. Ancak pasif rejenerasyonda uygulamaları egzoz sıcaklığı ile sınırlıdır. Yani pek çok dizel motorda oluşan egzoz sıcaklığı rejenerasyonun sürekliliği için yeterli değildir. Bu nedenle ikinci yöntem olan aktif rejenerasyon uygulamaları da kullanılmaktadır. Egzoz gazları içindeki tutulan partikül maddenin (İs) oksitlenme sıcaklığına ulaşması için (Yaklaşık 600°C)dışarıdan enerji kaynağı kullanılmaktadır. Aktif sistemde dışarıdan kullanılan enerji nedeni ile aracın yakıt tüketimi bir miktar artmaktadır. (Sayın vd., 2020).

Dizel motorlarda motorun yanma prosesi esnasında kurum partikülleri meydana gelişi ve devre şeması Şekil 7.4’de görülmektedir.



Şekil 7.4. Dizel partikül filtre devresi (Akal, 2021).

Dizel partikül filtresindeki kanallar ve seramik gövdeyapısı Şekil 7.5'de görülmektedir.

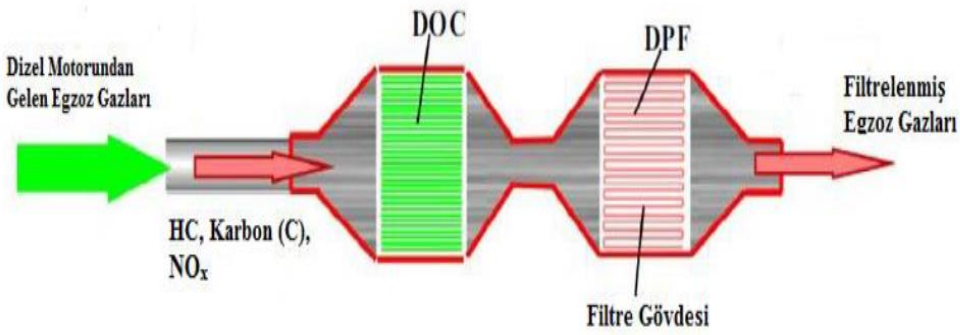


Şekil 7.5. Partikül filtresinin yapısı (Akal, 2021).

7.3.4. Dizel Oksidasyon katalizatörü (DOC)

Dizel motorların egzoz sisteminde bulunan katalitik konvertöre oksidasyon katalisti veya oksidasyon katalizörü adı verilmektedir. DOC kısaltması Diesel Oxidation Catalyst anlamına gelmektedir. Bu katalizatörün temel amacı dizel egzoz emisyonlarındaki kirleticiler olan HC(Hidrokarbon) ve CO (Karbonmonoksit) maddelerini zararsız hale getirmektir. Oksidasyon katalizöründe katalizör genel olarak

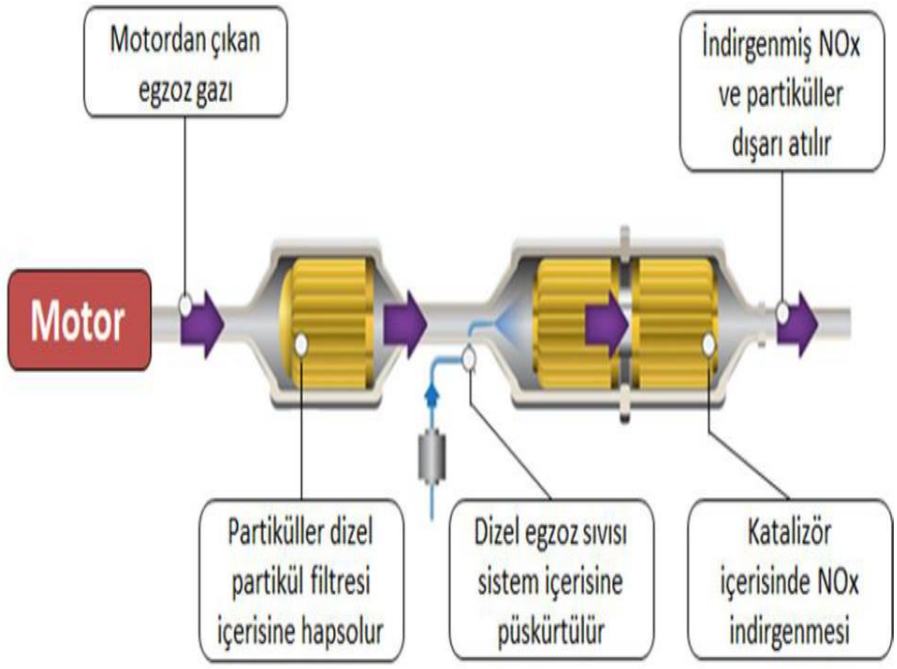
üç element kullanılır. Bunlar paltinyum, paladyum ve alüminyum oksittir. Bu katalizörler sayesinde; hidrokarbonlar suya, karbon monoksitte karbondioksite dönüştürülmüş olur. Oksidasyon katalizatörü; iki yollu bir katalitik konvertör olması sebebi ile NO_x indirgemesi yapamaz. Ancak Oksidasyon katalizörü dizel partikülünün organik bölümünün büyük bir kısmını azaltır ve keskin kokuyu ortadan kaldırır. Emisyonlerdaki partikül maddelerin azaltılması için bu uygulama ilk kez 1996 da A.B.D ve 1998 de Avrupada zorunlu hale getirilmiştir. Egzoz sistemi üzerindeki DOC konumlandırması Şekil 7.6'da görülmektedir (Coşkun, 2017; Jiaqiang, Zuo, Gao, Peng &Zhang, 2016).



Şekil 7.6. Oksidasyon katalizatörü (DOC).

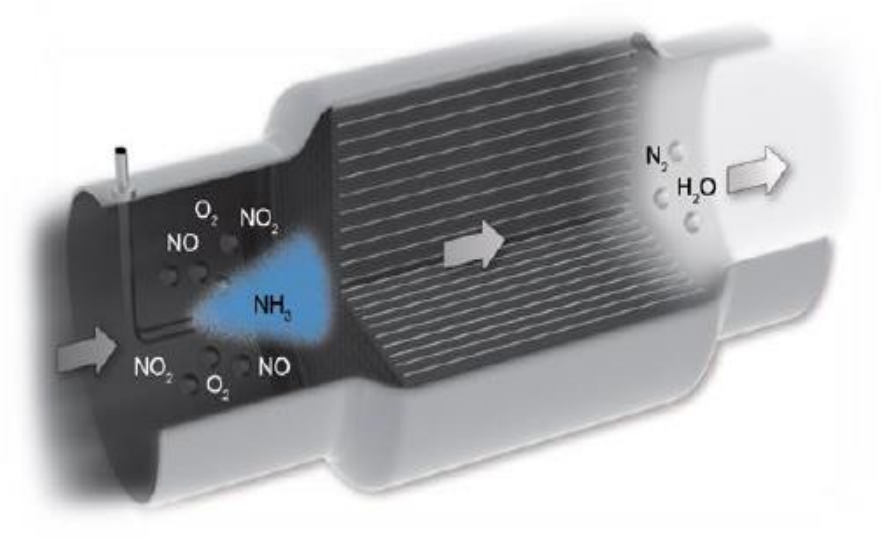
7.3.5. Seçici Katalitik İndirgeme (SCR) Teknolojisi ve AdBlue Uygulaması

Günümüz şartlarında üretilen dizel motorlarda tork ve güç artışı sebebi ile zararlı egzoz emisyonlarının sınır değerleri daha da önem kazanmıştır. SCR Teknolojisi Selective Catalytic Reduction (Seçici Katalitik İndirgeme) ifadesinin kısaltılmış halidir. Dizel motor egzoz sistemi içinden geçen gazların üzerine AdBlue azotlu (Üre) ve Su bazlı çözelti püskürtülerek yüksek sıcaklığın etkisi ile amonyağa dönüştürülmüş olur. SCR sisteminine ait prensip şeması Şekil 7.7 görülmektedir.



Şekil 7.7. SCR (AdBlue) teknolojisi çalışma prensibi (Anar ve Bayram, 2018).

Sistem bileşeni olan bu özel sıvı tescilli bir ürün olup %32.5 oranında üre ve %67.5 oranında deiyonize sudan oluşmaktadır. Yüksek sıcaklıktaki egzoz gazları içine püskürtülen bu sıvı sayesinde (AdBlue) NOx gazlarının büyük bir kısmını parçalayarak nitrojen gazı ve su buharına dönüştürülerek atmosfere atılır. AdBlue sıvısının içindeki üre oranı(%32.5) sebebi en düşük donma noktasının -11°C de bu oranda meydana gelmesinden kaynaklanmaktadır. Literatürde bir dizel motorun yakıt tüketiminin % 2 si kadar olduğu ifade edilmektedir (Anar ve Bayram, 2018).AdBlue için ayrı bir depo yapılmış ve mazot deposunun yanına konumlandırılmıştır. Mazot alımı esnasında bir karışıklık olmaması için daha küçük ve genellikle mavi renkte bir kapak yapılmıştır. AdBlue sıvısının yüksek sıcaklıktaki egzoz gazları üzerine püskürtülmesi sonucunda meydana gelen reaksiyonlar Şekil 7.8'de görülmektedir.



Şekil 7.8. Seçici katalitik indirgemedeki reaksiyonlar (Anar ve Bayram, 2018; Sinzenich, Wehler & Muller, 2014).

Dizel egzoz emisyonlarının azaltılmasında diğer sistemlere kıyasla günümüz şartlarında en gelişmiş indirgeme yöntemi SCR teknolojisidir. Egzoz sistemindeki yanmış gazların üzerine püskürtülecek AdBlue miktarı motor kontrol ünitesi tarafından ayarlanmaktadır. Ayrıca bu teknolojinin kullanıldığı pek çok araçta AdBlue seviyesini takip etmek için bir dijital gösterge sistemi bulunmaktadır. Bazı araçlarda AdBlue sıvısı bittiğinde zararlı egzoz emisyonlarına engel olmak için motorun çalışması bloke edilmektedir. Bu durum yaşanmaması için sıvı seviyesine dikkat edilmelidir.

BÖLÜM 8

HAVA FİLTRASYONU VE HAVA FİLTRE MALZEME ÖZELLİKLERİ

İçten yanmalı motorlarda yüksek tork ve güç üretebilmek için, yeterli miktarda temiz havaya ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle; silindir içine alınacak havada toz, kurum, polen, su tanecikleri vs. bulunmaması v filtrasyon sırasında emme sisteminde minumum basınç düşüşü temin edilmelidir. Havadaki bu partikülleri silindire girmesi engellenerek motorun performans kaybı olmadan hava filtresinin tasarımı optimize edilmelidir. Genel olarak, hava filtresi üretiminde süzme malzemeler, fendl, epoksi veya akrilik reçine emdirilmiş elyaf selüloz bazlı filtre kâğıt malzemeler kullanılmaktadır. Ayrıca, dokuma yapılmadan üretilmiş tamamen sentetik olan bazı süzme kabiliyetli özel malzemelerde geliştrilmiştir (https://www.afmfiltration.com).

Otomotiv sektöründeki içten yanmalı motorlarda kullanılan hava filtreleri genellikle selüloz esaslı liflerden tercih edilmektedir. Motor hava filtrelerinin temel kullanım amacı, silindire emilen havanın içerisindeki zararlı partiküllerden motoru korumaktır. Motorların hava filtresi tasarımında minumum basıç düşüşü esas alınarak tasarım yapılmalıdır. Ortalama hava debisi; motorun toplam silindir hacmi, motorun devir sayısı ve volümetrik verim gibi faktörlere bağlı olarak değişmektedir. Motorlarda kullanılan hava filtresi sistemi tasarım ve boyutlandırmasında; minumum basınç düşüşü, yüksek verimlilik, giriş sesini emme özelliği, geri tepmeden dolayı doğabilecek yangın tehlikesini önleyecek güvenirlilik ve kolay servis işçiliği dikkate alınmalıdır**.** Ağır vasıta bir aracın motorunun sadece bir litre yakıtı yakabilmesi için 12000'den 20000 litreye

kadar havaya ihtiyaç duyulmaktadır. Emme zamanında silindir içine alınan hava daki tozlar motor için bir tehdit içermektedir (https://www.afmfiltration.com).

Silindirlere emilen havanın içindeki tozlardan temizlenmesi ve motorun kullanım ömrünü uzatmak açısından hava filtrasyonu büyük önem arzetmektedir. Bir dizel motorun çalışamaz hale gelmesi veya büyük hasarın oluşması için sadece 1 gr.toz (Silusyum) miktarı yeterli olabilmektedir (https://www.afmfiltration.com).

Havanın içindeki toz boyutu ve konsantrasyon oranları Çizelge 8.1 de görülmektedir. Araçların kullanım şartları dikkate alınarak hava filtrelerinin temizlenmesi ve zamanında değiştirilmesi gereklidir.

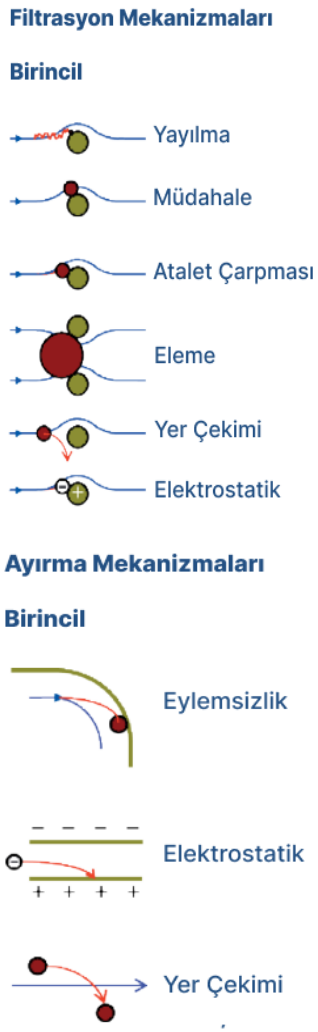
Çizelge 8.1. Havanın içinde bulunan toz boyutu ve miktarları (www.buydonaldson.com).

Parçacık Boyutu (Mikron Cinsinden)	**Ağırlık % ***	
	İyi (Yolda)	**Kaba (Yol Dışı)**
0 – 5 µ	%39	%12
5 – 10 µ	%18	%12
10 – 20 µ	%16	%14
20 – 40 µ	%18	%23
40 – 80 µ	%9	%30
80 – 200 µ	%0	%9
*Ağırlık Yüzdesi Her Partikülde ± %2 – 3 Arasında Değişebilir.		

Hava filtresindeki kısıtlama, atmosfer ile ölçülen sistemin çıkış tarafı arasındaki statik basınç farkıdır. Açıkçası, bükülme ne kadar büyük olursa, sıvıyı içinden geçirmek o kadar zor olacaktır.

8.1. Filtrasyon Mekanizmaları

Filtrasyon, belli bir akışkanın, istenilmeyen maddelerden arındırılma işlemi olarak tanımlanabilir. Farklı filtrasyon mekanizmaları kullanılması ile değişik boyut ve özellikte partiküllerin tutulması sağlanır. Hava filtrasyon işleminde kullanılan otomotiv hava, panel hava, kabin hava, ağır hizmet hava gibi kategorilere ayrılmış hava filtreleri kullanılmaktadır(www.buydonaldson.com).



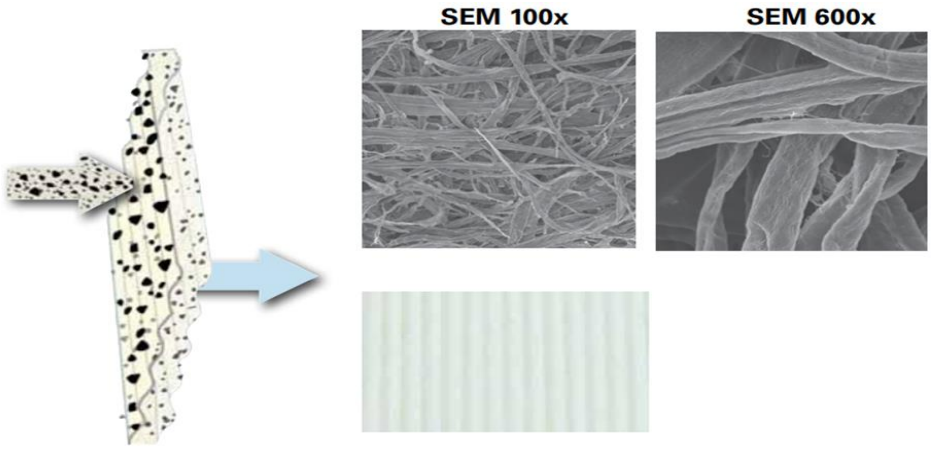
Şekil 8.1. Hava Filtrasyon Mekanizmaları (www.buydonaldson.com).

Filtrasyon aşamaları Şekil 8.1'de görüldüğü gibi, hava akımı içindeki partiküller yayılarak taşınması sonucunda atalet ve yer çekimi kuvvetinin etkisi ile ayrılmış olur. Partiküller hava akımından yer çekimi kuvvetiyle ayrılır. Bu metod, yer çekim

kuvvetinin etki edebileceği partiküller için geçerlidir. Eleme prensibine göre gözenek çapları büyük olan partiküller ayırıcıdan geçemez. Böylece eleme metodu ile ön filtreleme yapılmış olur. Elektrostatik yöntemde ise pozitif yükle yüklenmiş partiküllerin negatif yüklü plakalar tarafından çekilmesi ile filtrasyon sağlanmış olur. Hava içerisindeki toz partikülleri, viskoz yapıştırıcı ile kaplanmış plakalı yüzeylerde tutulmuş olur. Filtre tarafından yakalanan partikül sayısının, filtre üzerinden geçirilen kirli havada bulunan toplam partiküllerin sayısına oranı hava filtrelerindeki verimlilik olarak tanımlanır. Hava filtrelerinde; lif çapına bağlı kombinasyonlar, gözenek çapı, yüzey ağırlığı, yoğunluk, filtre üretim yöntemi ve kullanılan malzeme özellikleri, verimlilik üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Filtre verimliliğinin belirlenmesinde endüstride farklı test metodları ve standartlar kullanılmaktadır.

8.2. Filtrasyonda Kullanılan Geleneksel Selüloz Teknolojisi

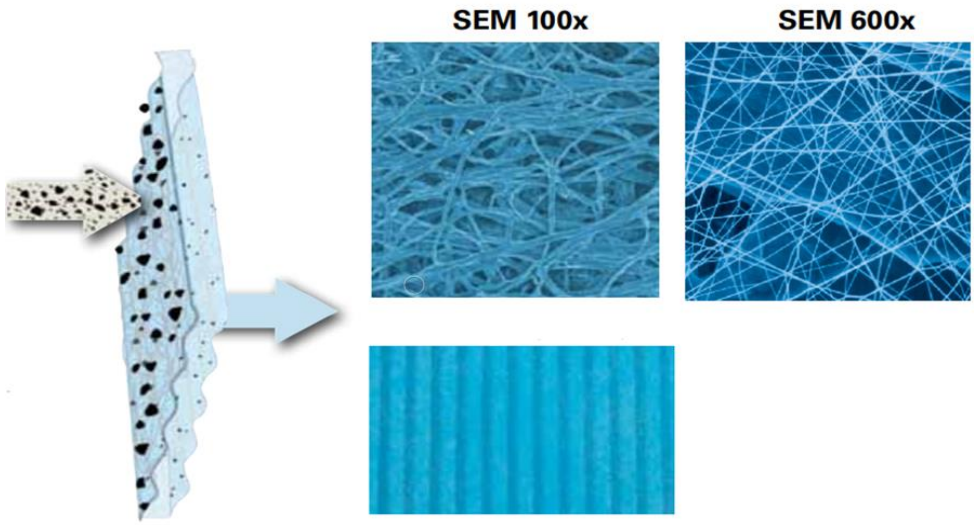
Herhangi bir filtre tasarımının motor bileşenleri, daha iyi yanma ve daha düşük emisyon elde etmek için temiz havaya ihtiyaç duymaktadır. Hava giriş sistemi ve filtrasyon motorun karakteristik özelliklerini (Güç, Tork ve Yakıt tüketimi)etkilemektedir. Hava filtreleri, motor silindirlerine alınacak havayı temizlemek için giriş öncesinde kullanılmaktadır. Geleneksel olarak üretilen kuru tip selüloz malzeme hava filtresinin yapısı Şekil 8.2'de görülmektedir.



Şekil 8.2. Geleneksel selüloz malzemeden üretilmiş filtre yapısı (www.buydonaldson.com).

8.3. Ultra Nanofiber Teknolojisi

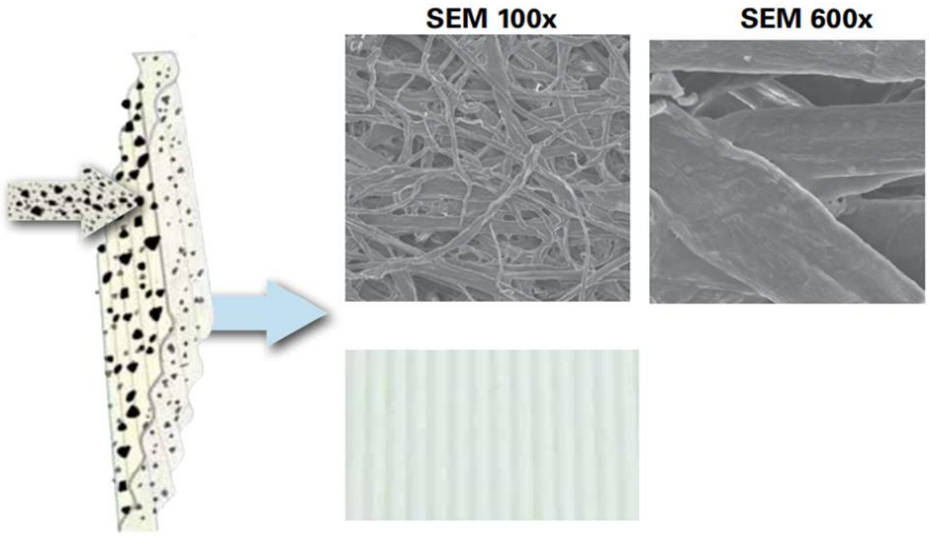
Ultra nanofiber teknolojisi, bir selüloz ve sentetik tabakalar üzerine nano lifler uygulanması ile meydana gelmektedir. Nano fiber lif uygulaması ile yüksek sıcaklık ve nemli ortamlarda geleneksel selüloz hava filtrelerine göre hem daha yüksek dayanım hem de daha yüksek verimlilik elde edilmektedir. Bu tip hava filtre yapısı Şekil 8.3'de görülmektedir.



Şekil 8.3. Ultra nanofiber kaplanarak üretilmiş filtre yapısı (www.buydonaldson.com).

8.4. Titreşime Dayanıklı Malzeme Teknolojisi

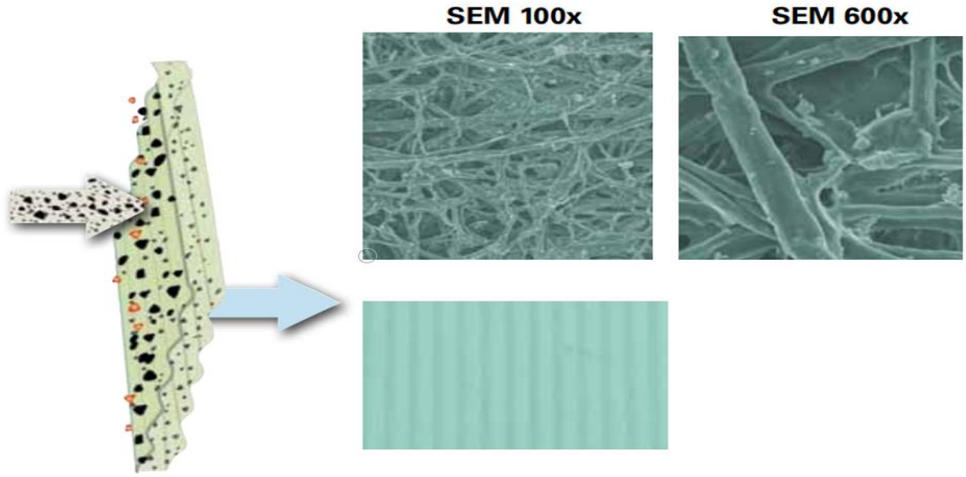
Titreşimin olduğu durumlarda maksimum filtreleme imkanı sunan ve diğer filtre elemanlarına göre daha yüksek dayanım özelliklerine sahip selüloz malzemelerdir. Bu tip filtre elemanları titreşimin daha fazla olduğu küçük motorlarda ve hava kompresörlerinde kullanılmaktadır. Titreşim mukavemeti yüksek selülöz malzeme yapısı Şekil 8.4'de görülmektedir.



Şekil 8.4. Titreşime dayanıklı selüloz filtre yapısı (www.buydonaldson.com).

8.5. Alev(Yanma) Geciktiricili Malzeme Teknolojisi

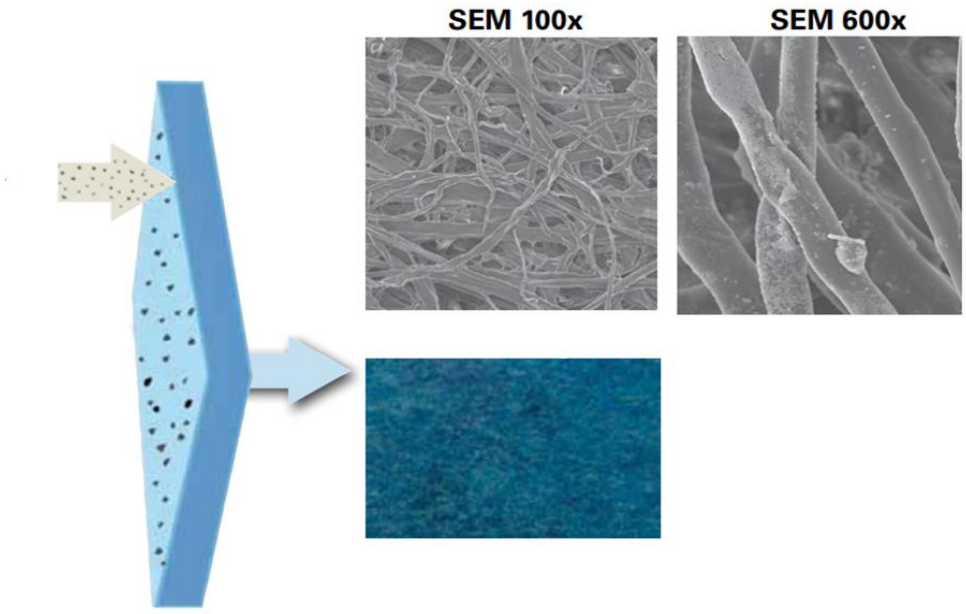
İçten yanmalı motorlarda emme giriş havasının geri tepmesinden kaynaklanan kıvılcım veya alevlerin yangın tehlikesini engelleyen özel selüloz malzemelerdir. Endüstriyel ortamlarda veya yangın güvenliğinin önem arz ettiği alanlarda çalışan motorlarda kullanılmaktadır. Bu yangın önleme özellikli hava filtre malzeme yapısı Şekil 8.5'de görülmektedir.



Şekil 8.5. Alev (yangın) geciktirme özellikli selüloz yapısı (www.buydonaldson.com).

8.6. Güvenlik Esaslı Malzeme Teknolojisi

Yüksek hızlı hava akışına sahip hem tek hem de iki kademeli hava temizleyici sistemlerde emme sistemini korumak amacıyla kullanılan filtre malzemeleridir. Filtre elemanı, yüksek hızdaki hava emiş anında katı parçalara karşı dayanımı malzemelerden yapılmıştır. Güvenlikli malzemeden yapılmış filtreler genellikle ağır hizmet tipindeki araçlar için tasarlanmıştır. Bu tip hava filtre elemanı malzeme yapısı Şekil 8.6'da görülmektedir.



Şekil 8.6. Güvenlik esaslı filtre malzeme yapısı (www.buydonaldson.com).

BÖLÜM 9

MATERYAL ve YÖNTEM

9.1. Materyal

9.1.1. Deneylerin Yapıldığı Yer ve Test Şartları

Bu tez çalışmasında deneysel yöntem kullanılmış olup detaylı testler HATTAT Traktör Çerkezköy/Tekirdağ Fabrikasında Arge Merkezinde yapılmıştır. Deneylerin yapıldığı test motoruna ait bilgiler Çizelge 9.1'de verilmiştir. Testlerde kullanılan yakıtın özellikleri Çizelge 9.2'de görülmektedir. Deney sırasında ölçüm yapılan tüm parametrelerde sabit değerlere ulaşana kadar testler devam etmiştir. (Test süresi tüm ölçüm değerlerinin sabit olduğu ana kadar devam etmiş ve sonuçlar kayda alınmıştır.) Deneyler iki kez tekrarlanmış ve ayni değerler elde edilmiştir. Ayrıca Arge Merkezinde kullanılan ölçüm cihazları düzenli olarak kalibrasyonları akredite kuruluşlarda yaptırılmaktadır. Testlerde kullanılan ölçüm cihazlarına ait hata oranları Çizelge 9.3'de verilmiştir.

9.1.2. Deney Motorunun ve Materyallerin Özellikleri

Hava Filtresi testlerinde kullanılan dizel motorun teknik özellikleri Çizelge 9.1'de görülmektedir.

Çizelge 9.1. Test motorunun özellikleri.

MOTOR -1104A-44T Serisi	
MOTOR TİPİ	4 Zamanlı Dizel Perkins
SİLİNDİR DÜZENİ	Dikey Hat İçi
SİLİNDİR ADEDİ	4 Silindirli
YÜKLEME SİSTEMİ	Direkt Enjeksiyon. Turboşarjlı
MOTOR GÜCÜ	80,5kW
MOTOR TORKU	404Nm.
SIKIŞTIRMA ORANI	18-23:1
MAKSİMUM MOTOR DEVRİ	2200 d/dk
ATEŞLEME SIRASI	1.3.4.2
MOTOR AĞIRLIĞI	306kg
SOĞUTMA SİSTEMİ	Sıvı (Su)Soğutmalı

Çizelge 9.2. Motorin özellikleri.

ÖZELLİK	**BİRİM**	**DEĞER**	**SINIR**	**DENEY YÖNTEMİ**
Yoğunluk (15˚C'ta)	kg/m³	820-845	-	TS 1013 EN ISO3675 TS EN ISO 12185
Polisiklik aromatik hidrokarbonlar	% (m/m)	11	En çok	TS EN 12916

Parlama noktası	˚C	55	-	TS EN ISO 2719
Kış (a)	-	-15	En çok	
Yaz(b)	-	5	En çok	
250˚C'ta elde edilen	% hacim	65	En çok	
350˚C'ta elde edilen	% hacim	85	En az	
%95'in (hacim/hacim) elde edildiği sıcaklık	˚C	360	En çok	
Kükürt içeriği	mg / kg	10,0	En çok	TS EN ISO 20846
Karbon kalıntısı (%10 damıtma kalıntısı)	% (m/m)	0,3	En çok	TS EN ISO 10370
Viskozite (40˚C'ta)	cst	2,0/4,5	-	TS 1451 EN ISO 3104
Bakır şerit korozyonu (50˚C'ta 3 saat)	-	No.1	En çok	TS 2741 EN ISO 2160
Kül	% ağırlık	0.01	En çok	TS EN ISO 6245
Setan sayısı	-	51,0	En az	TS 10317 EN ISO 5165
Setan İndisi	hesapla	46	En az	TS EN ISO 4264
Su	mg / kg	200	En çok	TS 6147 EN ISO 12937
Toplam Kirlilik	mg/kg	24	En çok	TS EN 12662
Oksitlenme Kararlılığı	g/m³	25	En çok	TS EN ISO 12205
Yağlayıcılık özelliği (wsd) 60˚C'ta Düzeltilmiş aşınma izi çapı	µm	460	En çok	TS EN ISO 12156-1

Çizelge 9.3. Deneylerin yapıldığı ölçü aletleri hata oranları.

Motor Tork Ölçümü	Froment 5	Nm	0,05
Motor Güç Ölçümü	Froment 5	kW	0,05
Yakıt Tüketimi Ölçümü	Manuel ölçüm	L/h	0,10
Digital K-type Termometre	Fluke 52 II	°C	0,05
Temassız Termometre	Mastech MS6540B	°C	0,05
Basınç Farkı Transmitteri	Lutron PM-9100	mbar	0,05
Emisyon Ölçüm Cihazı	ECOM J2KN	ppm	0.02



Şekil 9.1. Deneysel çalışmanın yapıldığı yer ve traktör

Deneylerde kullanılan traktör Şekil 9.l'da görülmektedir. Traktör üzerindeki dizel motora ait emme sisteminde kullanılan hava filtresinin kirlilik (Tıkanıklık) seviyelerine göre motorun karakteristik özelliklerindeki (Güç, Tork, Yakıt tüketimi) ve egzoz emisyonlarındaki değişimler test edilmiştir.



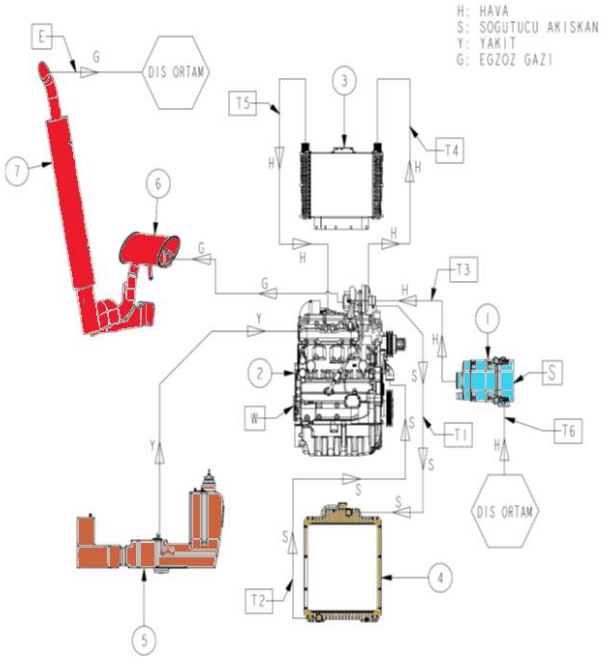
Şekil 9.2. Motor test dinamometresi ve data toplama.

Hava filtresinin tıkanıklık seviyesine göre traktörde mevcut olan dizel motorun karakteristik özellikleri ve sıcaklıklar Şekil 9.2'de görülen froment marka dinamometre ile ölçülmüştür.

9.2. Deneysel Yöntem

Deneylere başlamadan önce gereken hazırlıklar tamamlandıktan sonra motor 40 dk çalıştırılarak rejim sıcaklığa getirilmiştir. Testlerde hava filtresindeki basınç düşüşü dört farklı seviyede ve iki ayrı motor devrinde yapılmıştır. Motorda kullanılan hava filtresinin maksimum basınç düşüşü sınır değeri -65mbar dır. Bu noktadan sonra hava filtresi tam tıkanıklık seviyesi meydana gelir ve gösterge sisteminde ikaz ışığı yanmaktadır. Deneylerin iki ayrı devirde yapılmasının amacı ise traktör arazi şartlarında (Tarladaki sürüş)maksimum tork devrine yakın bir değerde çalıştırılmaktadır. Yani tarlada en uzun çalışma zamanı motor devri 1400 d/dk ya yakın değerlerde meydana

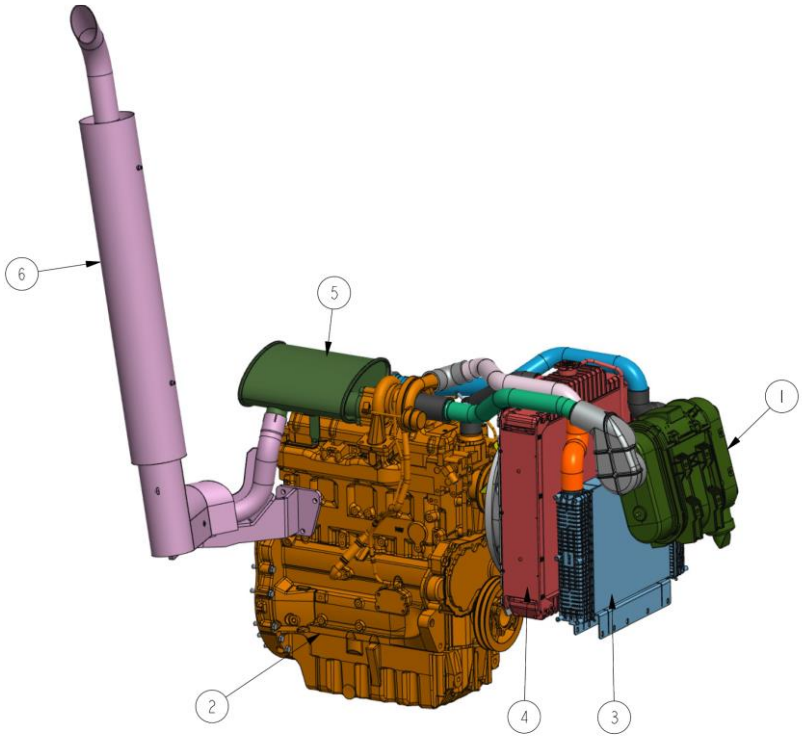
gelmektedir. Tarlanın sürüm anından sonra ise traktörler maksimum güce yakın olan motor devirlerinde 2200 d/k da kullanılmaktadır. Bu durum da traktör motorunun maruz kaldığı 1400-2200 d/dk aralığı ve hava filtresindeki basınç düşüşü değerleri önem kazanmaktadır. Bu nedenle motor hava filtresi kirlenmesi, tozlanması ve tıkanıklığa bağlı olarak hava filtresinde basınç düşüşleri meydana gelmektedir. Hava filtresi yeni iken emme sistemindeki basınç düşüşü -1mbar değerinde ölçülürken, kirlilik seviyesine bağlı olarak 21mbar - 40mbar ve sınır değer olarak -65mbar basınç düşüşü meydana gelmektedir. Arge merkezinde motor hava filtresindeki belirtilen dört basınç düşüşü değerinde motorun maksimum tork devrinde ve maksimum güç devrindeki değişimler test edilmiştir. Bu ölçümlerin yapıldığı motor dinamometresi Şekil 9.2'de ve test düzeneği kurulum şeması Şekil 9.3'de görülmektedir. Ayrıca eş zamanlı olarak egzozdan çıkan zararlı egzoz emisyonlarında ölçülmüştür. Motorun test ölçüm değerleri deney süresince sabit kalana kadar deneyler devam etmiştir. Daha sonra deneyler ayni şartlar altında tekrarlanmış ayni test ölçüm değerleri elde edilmiştir. Bu sonuçlara bağlı olarak, motor için en önemli özellikleri gösteren Güç, Tork, Yakıt Tüketimi ve Egzoz emisyonlarındaki değişim grafikleri çizilmiştir.



Şekil 9.3. Test düzeneği kurulum devresi.

Şekil 9.3'de görüldüğü gibi test düzeneğindeki devre; 1-Hava Fitresi 2-Dizel Motor 3-Arasoğutucu (Intercooler) 4-Radyatör 5-Yakıt Tankı 6-Egzoz Susturucusu 7-

Egzoz Çıkış Borusu, bileşenlerinden oluşmaktadır. Ölçüm noktaları ise; W-Motor Tork ve Güç Ölçüm Noktası, E-Emisyon Ölçüm Noktası,T1-Radyatör Üst Hortum Sıcaklığı Noktası,T2- Radyatör Alt Hortum Sıcaklığı Noktası, T3-Turbo Giriş Hava Sıcaklığı,T4-Turbo Çıkış Hava Sıcaklığı, T5-Intercooler(Ara Soğutucu) Çıkış Hava Sıcaklığı,T6-Ortam Sıcaklığı, S-Hava Hızı, değerlerini göstermektedir.

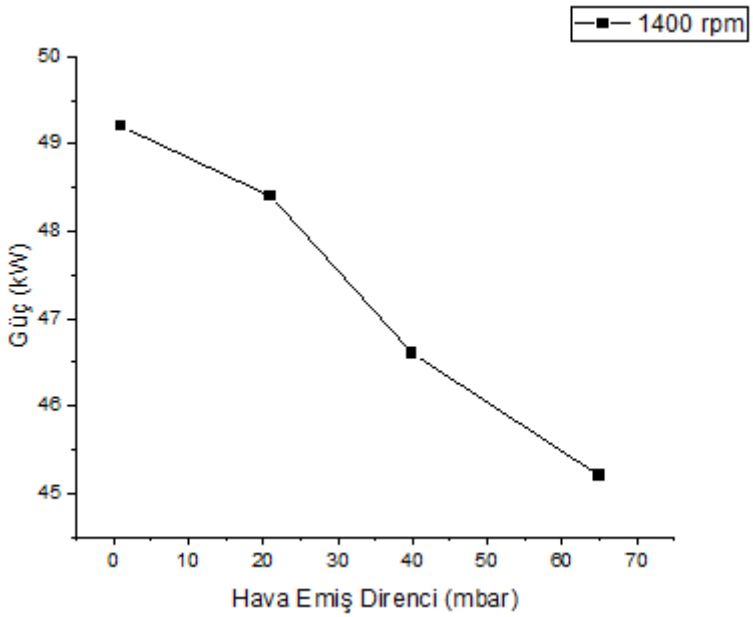


Şekil 9.4.Test motoru bileşenleri.

Deneylerin yapıldığı test motorunun bileşenleri Şekil 9.4'de görülmektedir. Motor üzerindeki ana bileşenler; 1-Hava Filtresi 2-Dizel Motor 3-Arasoğutucu (Intercooler) 4-Radyatör 5-Egzoz Susturucusu 6-Egzoz Çıkış Borusu, parçalarından oluşmakatadır.

9.3. Deneysel Bulgular ve Tartışma

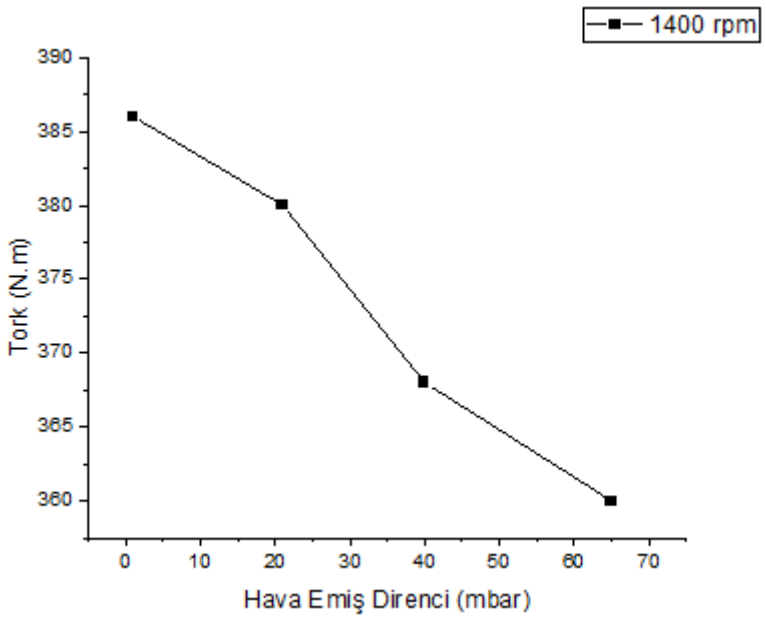
9.3.1. Hava Filtresi Tıkanıklık Seviyesine Göre Motorun 1400 d/dk da Güç Değişimi



Şekil 9.5. Motor devri 1400 d/dk da iken basınç düşüşü seviyesine göre güç değişimi.

Motor devri 1400 d/dk yapılan test sonuçlarına göre; hava filtresi yeni ve emme sisteminde basınç düşüşü minimum seviyede yani -1mbar iken motordan maksimum 49.2 kW güç elde edilmektedir. Şekil 9.5'de görüldüğü gibi emme sistemindeki basınç düşüşü arttıkça motorun gücü düşmektedir. Maksimum tıkanıklık eşiği olan -65mbar da motorun gücü 45.3 kW değerine düşmektedir.

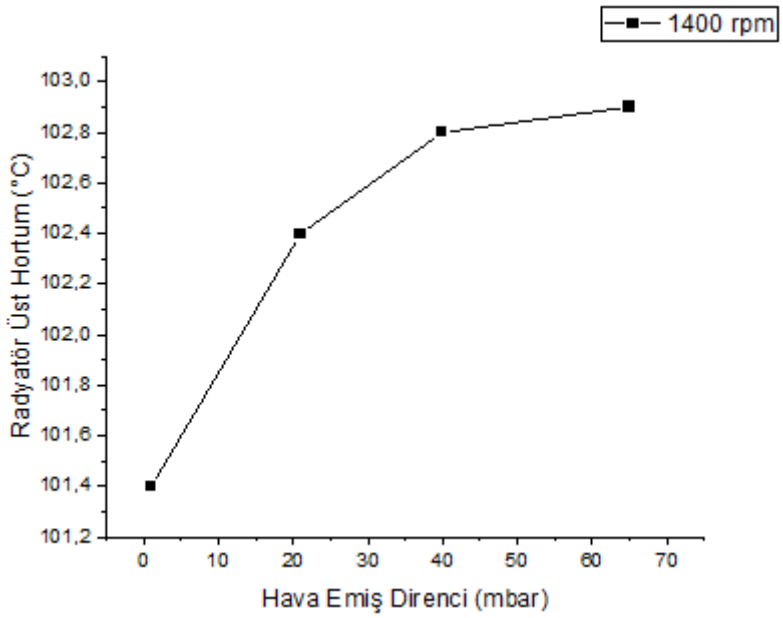
9.3.2. Hava Filtresi Tıkanıklık Seviyesine Göre Motorun 1400 d/dk da Tork Değişimi



Şekil 9.6. Motor devri 1400 d/dk da iken basınç düşüşü seviyesine göre tork değişimi.

Motor devri 1400 d/dk yapılan test sonuçlarına göre; hava filtresi yeni ve emme sisteminde basınç düşüşü minimum seviyede yani -1mbar iken motordan maksimum 386Nm tork elde edilmektedir. Şekil 9.6'de görüldüğü gibi emme sistemindeki basınç düşüşü arttıkça motorun torku düşmektedir. Maksimum tıkanıklık eşiği olan -65mbar da motorun torku 360Nm değerine düşmektedir.

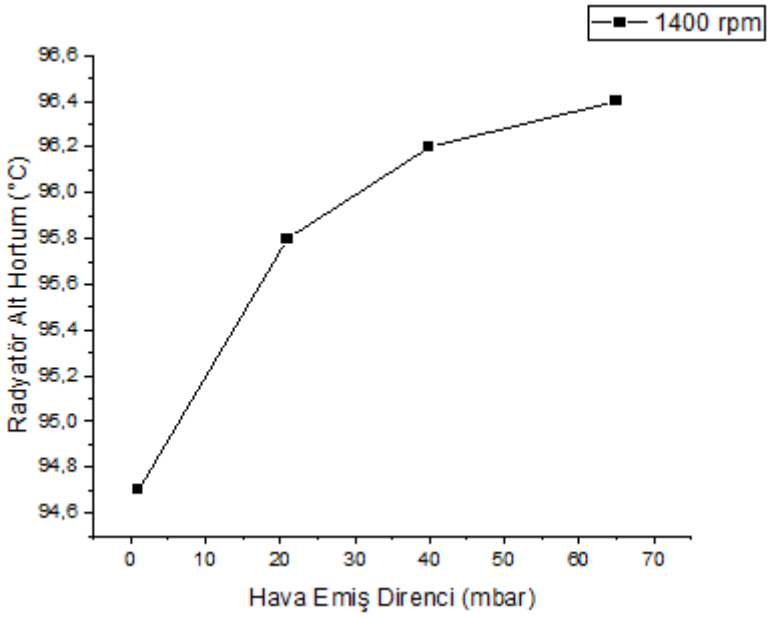
9.3.3. Hava Filtresi Tıkanıklık Seviyesine Göre Motorun 1400 d/dk da Radyatör Üst Hortum Sıcaklığının Değişimi



Şekil 9.7.Motor devri 1400 d/dk da iken basınç düşüşü seviyesine göre radyatör üst hortum sıcaklığının değişimi.

Motor devri 1400 d/dk yapılan test sonuçlarına göre; hava filtresi yeni ve emme sisteminde basınç düşüşü minimum seviyede yani -1mbar iken radyatör üst hortum sıcaklığı 101.3°C dir. Şekil 9.7'de görüldüğü gibi emme sistemindeki basınç düşüşü arttıkça radyatör üst hortum sıcaklığı artmaktadır. Basınç düşüşü maksimum tıkanıklık eşiği olan -65mbar seviyesine ulaştığında radyatör üst hortum sıcaklığı 102.9°C değerine çıkmaktadır.

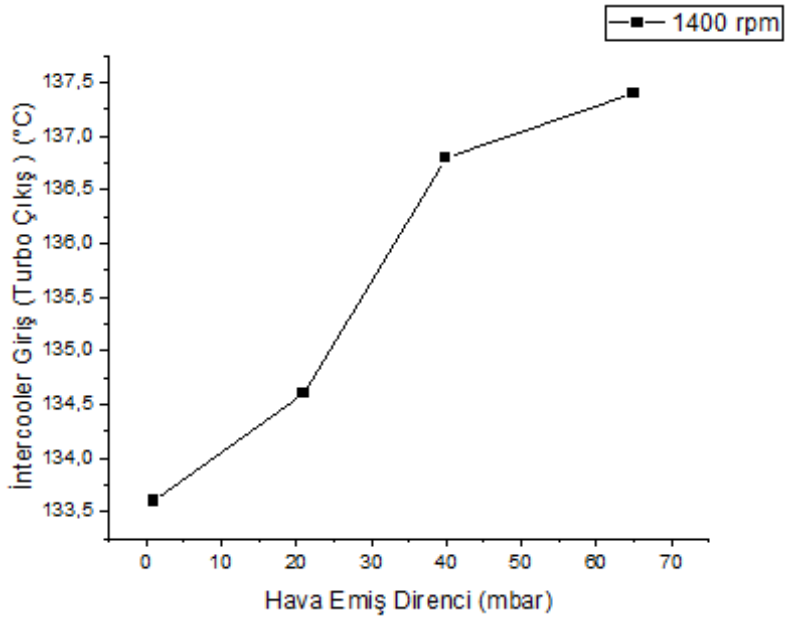
9.3.4. Hava Filtresi Tıkanıklık Seviyesine Göre Motorun 1400 d/dk da Radyatör Alt Hortum Sıcaklığının Değişimi



Şekil 9.8. Motor devri 1400 d/dk da iken basınç düşüşü seviyesine göre radyatör alt hortum sıcaklığının değişimi.

Motor devri 1400 d/dk yapılan test sonuçlarına göre; hava filtresi yeni ve emme sisteminde basınç düşüşü minimum seviyede yani -1mbar iken radyatör alt hortum sıcaklığı 94.7°C dir. Şekil 9.8'de görüldüğü gibi emme sistemindeki basınç düşüşü arttıkça radyatör alt hortum sıcaklığı artmaktadır. Basınç düşüşü maksimum tıkanıklık eşiği olan -65mbar seviyesine ulaştığında radyatör alt hortum sıcaklığı 96.4°C değerine çıkmaktadır.

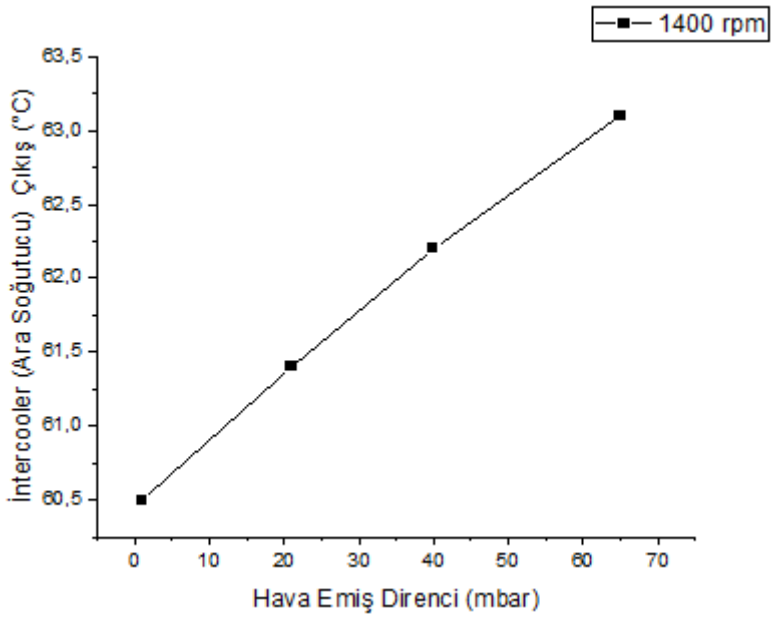
9.3.5. Hava Filtresi Tıkanıklık Seviyesine Göre Motorun 1400 d/dk da İntercooler Giriş (Turbo Çıkışı) Hava Sıcaklığının Değişimi



Şekil 9.9. Motor devri 1400 d/dk da iken basınç düşüşü seviyesine göre intercooler giriş (turbo çıkışı)hava sıcaklığının değişimi.

Motor devri 1400 d/dk yapılan test sonuçlarına göre; hava filtresi yeni ve emme sisteminde basınç düşüşü minimum seviyede yani -1mbar iken turbo çıkış sıcaklığı 133.6°C dir. Şekil 9.9'da görüldüğü gibi emme sistemindeki basınç düşüşü arttıkça turbo çıkış sıcaklığı artmaktadır. Basınç düşüşü maksimum tıkanıklık eşiği olan -65mbar seviyesinde iken turbo çıkış sıcaklığı 137.4°C değerine ulaşmaktadır.

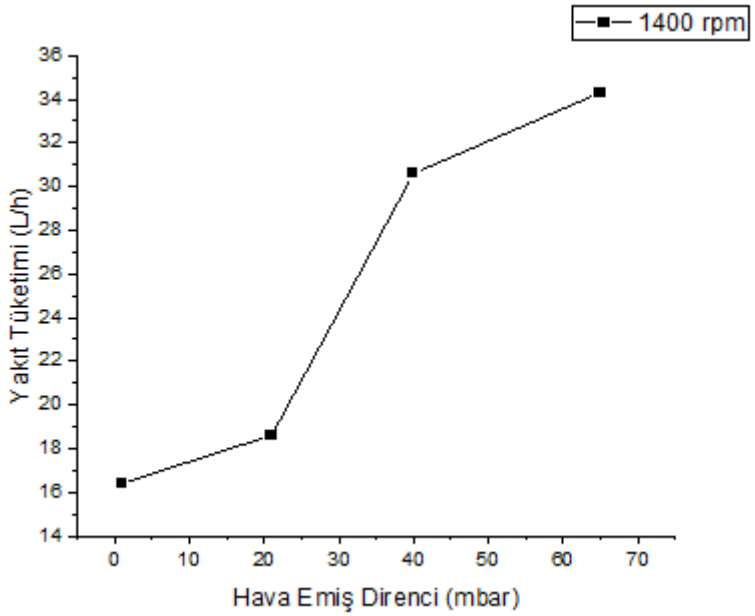
9.3.6. Hava Filtresi Tıkanıklık Seviyesine Göre Motorun 1400 d/dk da İntercooler (Ara Soğutucu) Çıkış Sıcaklığının Değişimi



Şekil 9.10. Motor devri 1400 d/dk da iken basınç düşüşü seviyesine göre intercooler (ara soğutucu) çıkış sıcaklığının değişimi.

Motor devri 1400 d/dk yapılan test sonuçlarına göre; hava filtresi yeni ve emme sisteminde basınç düşüşü minimum seviyede yani -1mbar iken intercooler çıkış sıcaklığı 60.5 °C dir. Şekil 9.10'da görüldüğü gibi emme sistemindeki basınç düşüşü arttıkça intercooler çıkış sıcaklığı da artmaktadır. Basınç düşüşü maksimum tıkanıklık eşiği olan -65mbar seviyesinde iken intercooler çıkış sıcaklığı 63.2°C değerine ulaşmaktadır.

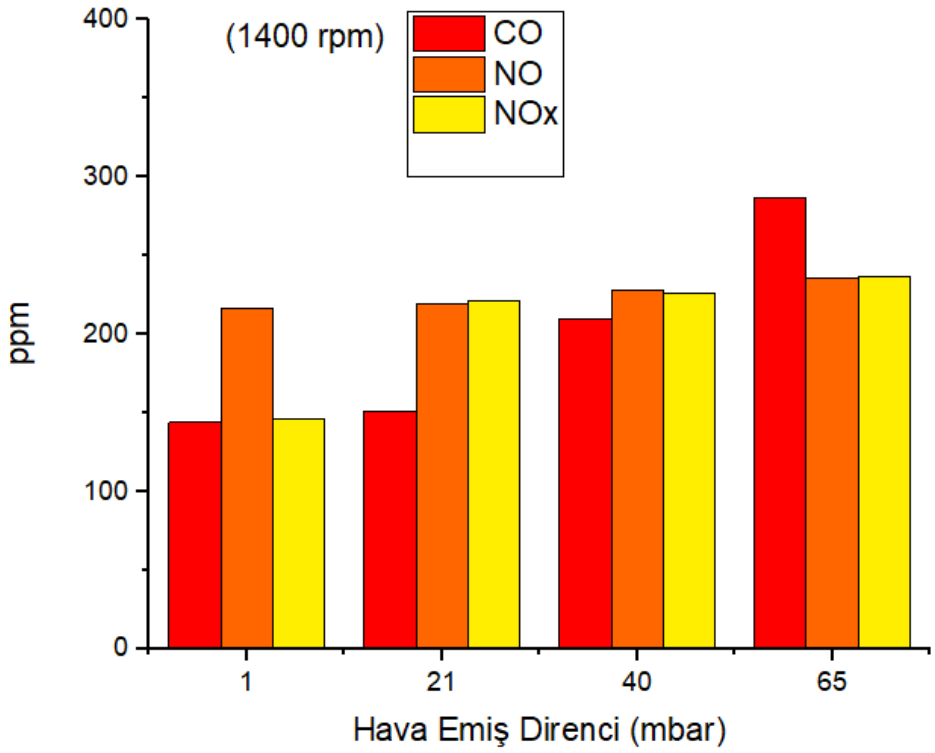
9.3.7. Hava Filtresi Tıkanıklık Seviyesine Göre Motorun 1400 d/dk da Yakıt Tüketimi Değişimi



Şekil 9.11. Motor devri 1400 d/dk da iken basınç düşüşü seviyesine göre yakıt tüketimindeki değişim.

Motor devri 1400 d/dk yapılan test sonuçlarına göre; hava filtresi yeni ve emme sisteminde basınç düşüşü minimum seviyede yani -1mbar da yakıt tüketimi 16.4 L/h iken emme sistemindeki basınç düşüşü arttıkça yakıt tüketimindeki değişim Şekil 9.11'de görülmektedir. Basınç düşüşü tıkanıklık eşiği olan -65mbar seviyesinde iken yakıt tüketimi maksimum seviyeye ulaşmakta ve 34.2 L/h sarfiyat meydana gelmektedir.

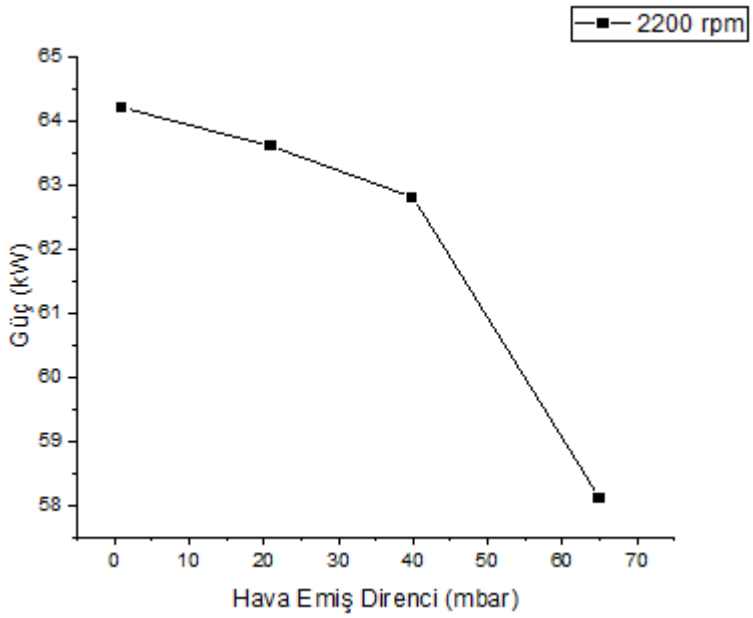
9.3.8. Hava Filtresi Tıkanıklık Seviyesine Göre Motorun 1400 d/dk da Egzozdan Atılan Emisyonların (Zararlı Gazların) Değişimi



Şekil 9.12. Motor devri 1400 d/dk da iken hava filtresi tıkanıklık seviyesine göre egzozdan atılan zararlı emisyonların değişimi.

Şekil 9.12'de görüldüğü gibi hava filtresi tıkanıklık seviyesi arttıkça basınç düşüşü de arttığı için egzozdan atılan zararlı egzoz emisyonlarının seviyesini yükseltmektedir. Hava filtresindeki basınç düşüşü eşik seviyeye geldiğinde egzozdan atılan tüm zararlı gaz emisyonları da yükselmektedir.

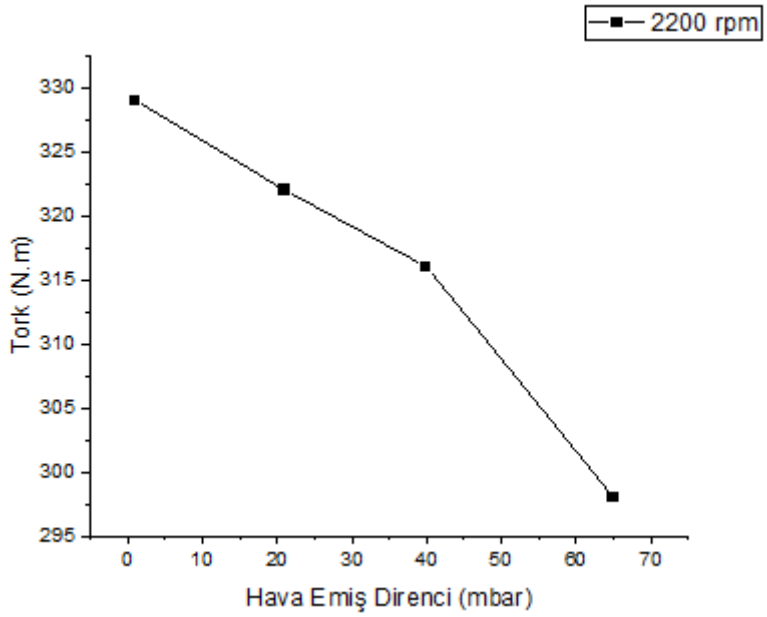
9.3.9 Hava Filtresi Tıkanıklık Seviyesine Göre Motorun 2200 d/dk da Güç Değişimi



Şekil 9.13. Motor devri 2200 d/dk da iken basınç düşüşü seviyesine göre güç değişimi.

Motor devri 2200 d/dk yapılan test sonuçlarına göre; hava filtresi yeni ve emme sisteminde basınç düşüşü minimum seviyede yani -1mbar iken motordan maksimum 64.4 kW güç elde edilmektedir. Şekil 9.13'de görüldüğü gibi emme sistemindeki basınç düşüşü arttıkça motorun gücü düşmektedir. Maksimum tıkanıklık eşiği olan -65mbar da motorun gücü 58.2 kW değerine düşmektedir.

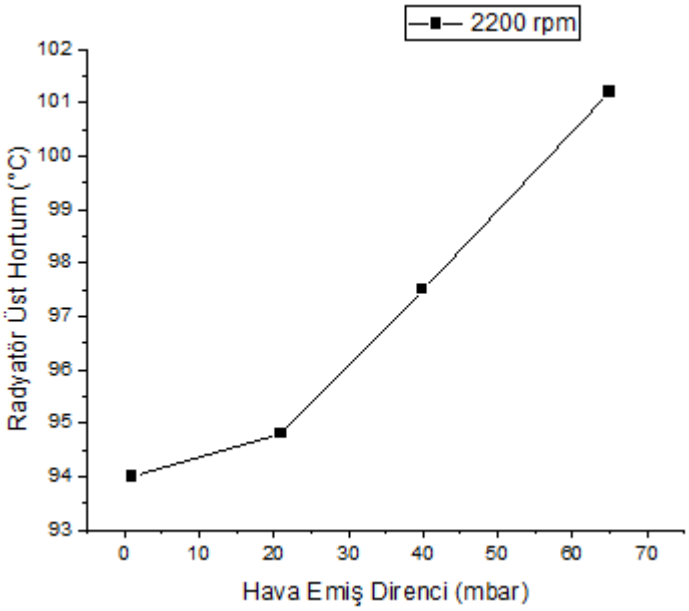
9.3.10 Hava Filtresi Tıkanıklık Seviyesine Göre Motorun 2200 d/dk da Tork Değişimi



Şekil 9.14. Motorun devri 2200 d/dk da iken basınç düşüşü seviyesine göre tork değişimi.

Motor devri 2200 d/dk yapılan test sonuçlarına göre; hava filtresi yeni ve emme sisteminde basınç düşüşü minimum seviyede yani -1mbar iken motordan maksimum 330Nm tork elde edilmektedir. Şekil 9.14'de görüldüğü gibi emme sistemindeki basınç düşüşü arttıkça motorun torku düşmektedir. Maksimum tıkanıklık eşiği olan -65mbar da motorun torku 296Nm değerine düşmektedir.

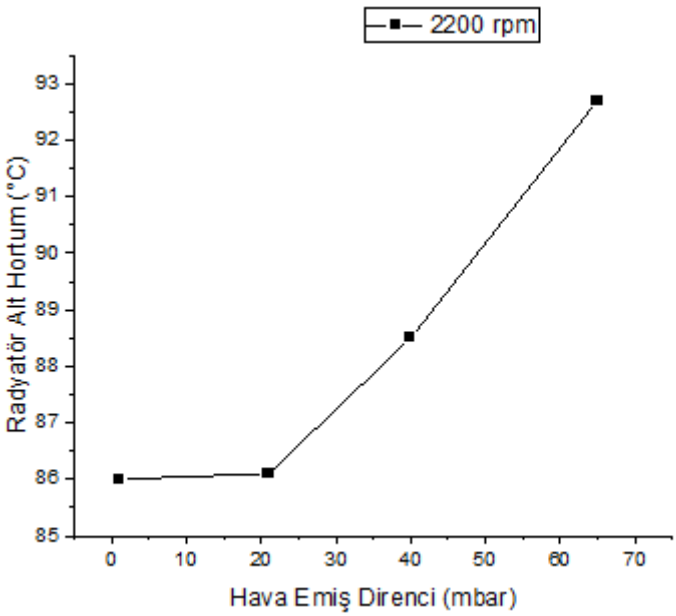
9.3.11 Hava Filtresi Tıkanıklık Seviyesine Göre Motorun 2200 d/dk Radyatör Üst Hortum Sıcaklığının Değişimi



Şekil 9.15. Motor devri 2200 d/dk da iken basınç düşüşü seviyesine göre radyatör üst hortum sıcaklığının değişimi.

Motor devri 2200 d/dk yapılan test sonuçlarına göre; hava filtresi yeni ve emme sisteminde basınç düşüşü minimum seviyede yani -1mbar iken radyatör üst hortum sıcaklığı 94.1°C dir. Şekil 9.15'de görüldüğü gibi emme sistemindeki basınç düşüşü arttıkça radyatör üst hortum sıcaklığı artmaktadır. Basınç düşüşü maksimum tıkanıklık eşiği olan -65mbar seviyesine ulaştığında radyatör üst hortum sıcaklığı 101.4°C değerine çıkmaktadır.

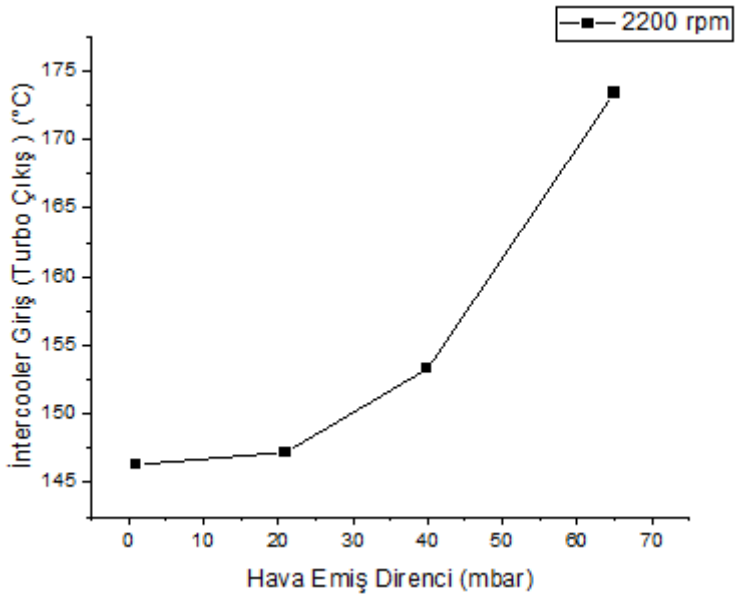
9.3.12 Hava Filtresi Tıkanıklık Seviyesine Göre Motorun 2200 d/dk da Radyatör Alt Hortum Sıcaklığının Değişimi



Şekil 9.16. Motor devri 2200 d/dk da iken basınç düşüşü seviyesine göre radyatör alt hortum sıcaklığının değişimi.

Motor devri 2200 d/dk da iken yapılan test sonuçlarına göre; hava filtresi yeni ve emme sisteminde basınç düşüşü minimum seviyede yani -1mbar iken radyatör alt hortum sıcaklığı 86.1°C dir. Şekil 9.16'da görüldüğü gibi emme sistemindeki basınç düşüşü arttıkça radyatör alt hortum sıcaklığı artmaktadır. Basınç düşüşü maksimum tıkanıklık eşiği olan -65mbar seviyesine ulaştığında radyatör alt hortum sıcaklığı 93°C değerine çıkmaktadır.

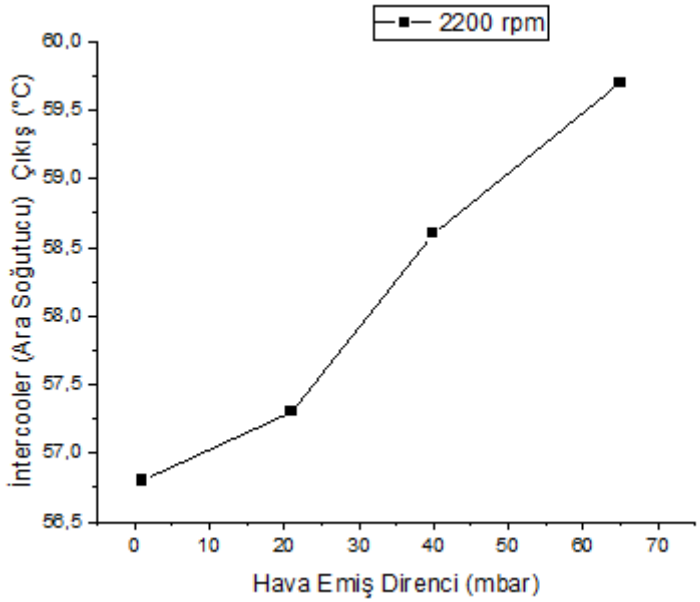
9.3.13 Hava Filtresi Tıkanıklık Seviyesine Göre Motorun 2200 d/dk da İntercooler Giriş (Turbo Çıkışı) Hava Sıcaklığının Değişimi



Şekil 9.17. Motor devri 2200 d/dk da iken basınç düşüşü seviyesine göre intercooler giriş (turbo çıkışı) hava sıcaklığının değişimi.

Motor devri 2200 d/dk da iken yapılan test sonuçlarına göre; hava filtresi yeni ve emme sisteminde basınç düşüşü minimum -1mbar iken intercoolar giriş sıcaklığı 147 °C dir. Şekil 9.17'de görüldüğü gibi emme sistemindeki basınç düşüşü arttıkça intercooler 'a giriş sıcaklığı artmaktadır. Basınç düşüşü maksimum tıkanıklık eşiği olan -65mbar seviyesinde intercoolara giriş sıcaklığı 174°C değerine ulaşmaktadır.

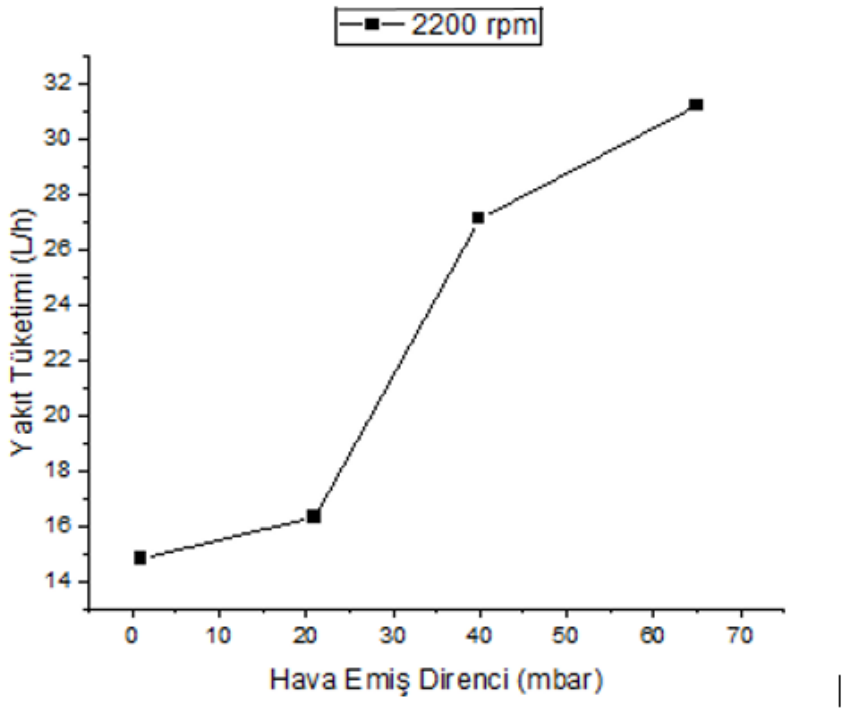
9.3.14 Hava Filtresi Tıkanıklık Seviyesine Göre Motorun 2200 d/dk da İntercooler (Ara Soğutucu) Çıkış Sıcaklığının Değişimi



Şekil 9.18. Motor devr 2200 d/dk da iken basınç düşüşü seviyesine göre intercooler (ara soğutucu) çıkış sıcaklığının değişimi.

Motor devri 2200 d/dk da iken yapılan test sonuçlarına göre; hava filtresi yeni ve emme sisteminde basınç düşüşü minimum -1mbar iken intercooler çıkış sıcaklığı 56.8°C dir. Şekil 9.18'da görüldüğü gibi emme sistemindeki basınç düşüşü arttıkça intercooler çıkış sıcaklığı da artmaktadır. Basınç düşüşü maksimum tıkanıklık eşiği olan -65mbar seviyesinde iken intercooler çıkış sıcaklığı 59.7°C değerine ulaşmaktadır.

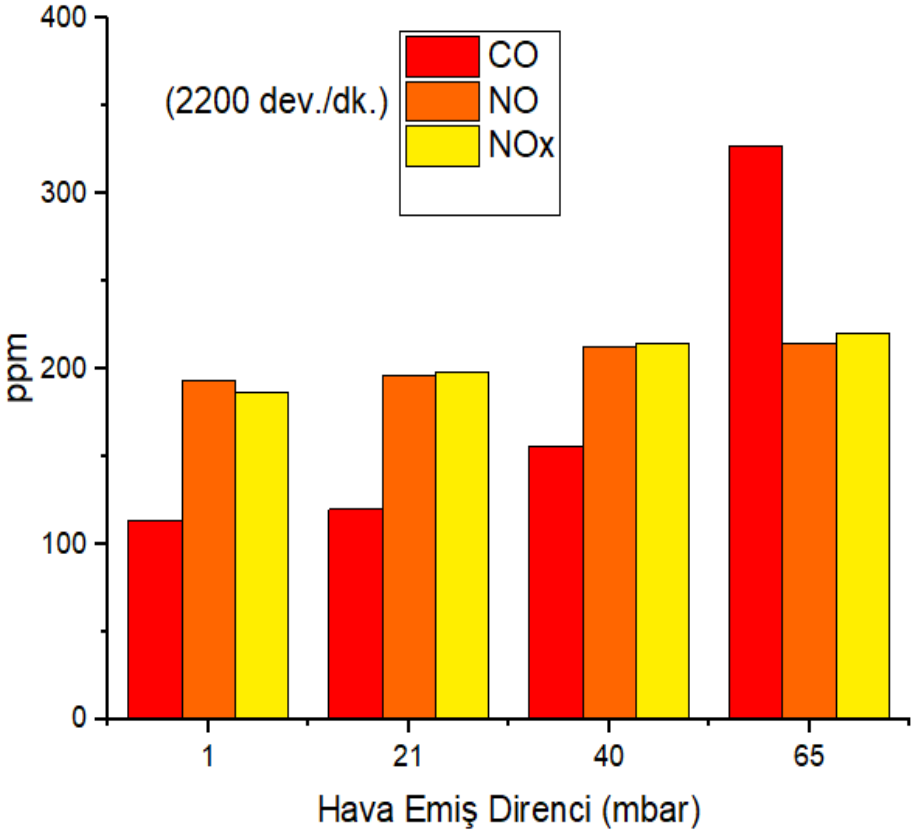
9.3.15 Hava Filtresi Tıkanıklık Seviyesine Göre Motorun 2200 d/dk da Yakıt Tüketimi Değişimi



Şekil 9.19 Motor devri 2200 d/dk da iken basınç düşüşü seviyesine göre yakıt tüketimdeki değişim.

Motor devri 2200 d/dk iken yapılan test sonuçlarına göre; hava filtresi yeni ve emme sisteminde basınç düşüşü minimum -1mbar da yakıt tüketimi 14.8 L/h iken emme sistemindeki basınç düşüşü arttıkça yakıt tüketimindeki değişim Şekil 9.19'da görülmektedir. Basınç düşüşü tıkanıklık eşiği olan -65mbar seviyede iken yakıt tüketimi maksimum seviyeye ulaşmakta ve 31.2 L/h sarfiyat meydana gelmektedir.

9.3.16 Hava Filtresi Tıkanıklık Seviyesine Göre Motorun 2200d/dk da Egzozdan Atılan Emisyonların (Zararlı Gazların) Değişimi

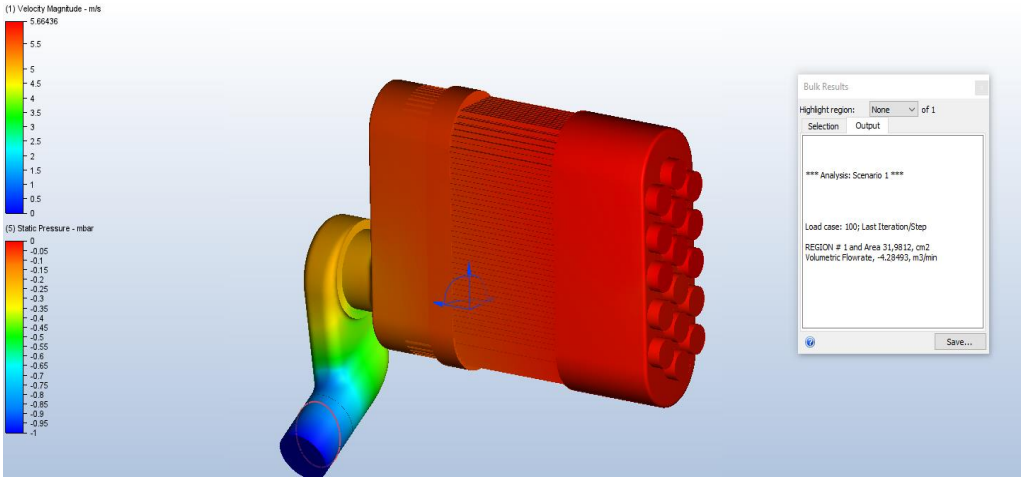


Şekil 9.20. Hava filtresi tıkanıklık seviyesine göre motor devri 2200 d/dk da iken egzozdan atılan zararlı emisyonların değişimi.

Şekil 9.20'de görüldüğü gibi hava filtresi tıkanıklık seviyesi arttıkça basınç düşüşü de arttığı için egzozdan atılan zararlı egzoz emisyonlarının seviyesini yükseltmektedir. Hava filtresindeki basınç düşüşü eşik seviyeye geldiğinde egzozdan atılan tüm zararlı gaz emisyonları da yükselmektedir.

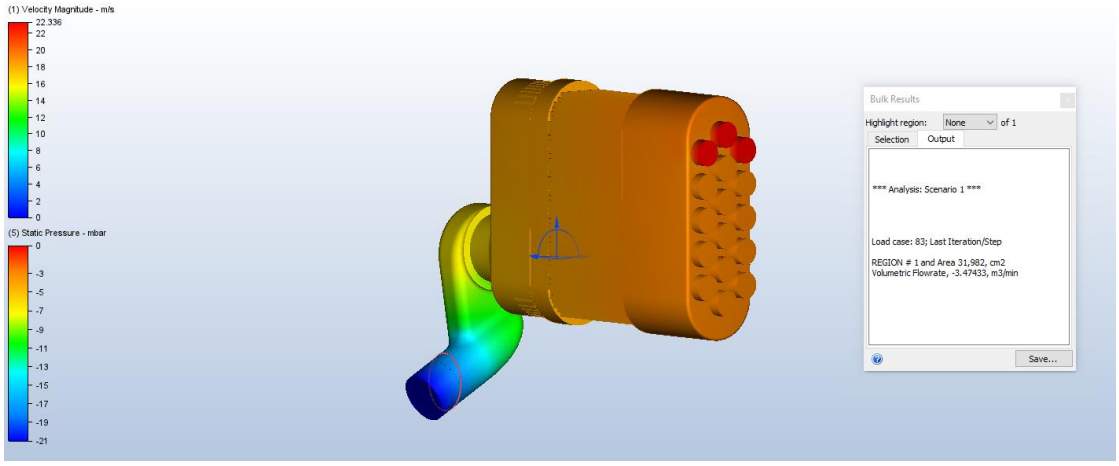
9.4. Hava Filtresi Tıkanıklık Seviyelerine Göre, Motorun Maksimum Tork (1400 d/dk) ve Maksimum Güç (2200 d/dk) Üretimi Halinde Oluşan Hava Akışı CFD Analizleri

Hava filtresi tıkanıklık seviyesine bağlı olarak basınç düşüşü -1mbar ve motor devri 1400d/dk da iken havanın hacimsel debisi Şekil 9.21'de görüldüğü gibi 4.28 m^3/dk değerindedir.



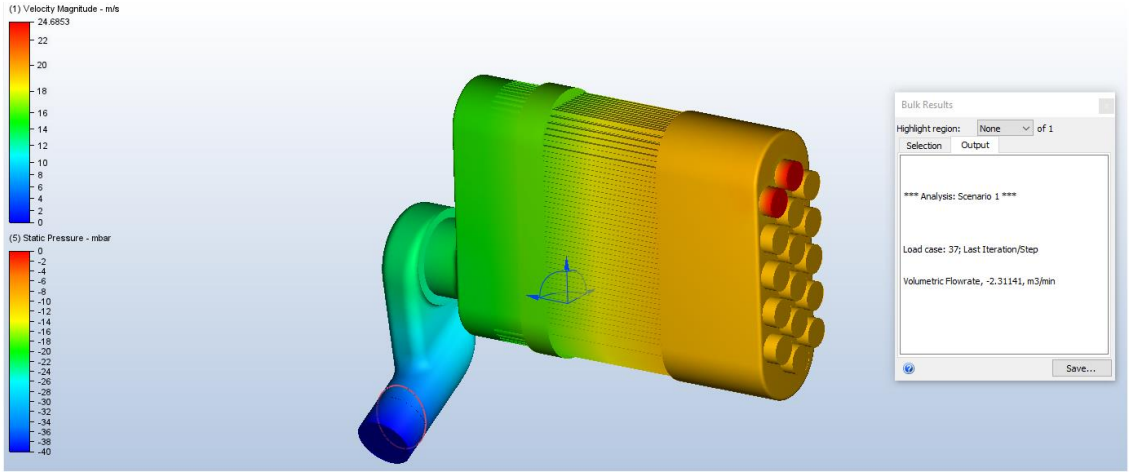
Şekil 9.21. Hava filtresi tıkanıklık seviyesine göre motor devri 1400d/dk da iken -1mbar daki akış analizi.

Hava filtresi tıkanıklık seviyesine bağlı olarak basınç düşüşü -21mbar ve motor devri 1400d/dk da iken havanın hacimsel debisi Şekil 9.22'de görüldüğü gibi 3.47 m^3/dk değerindedir.



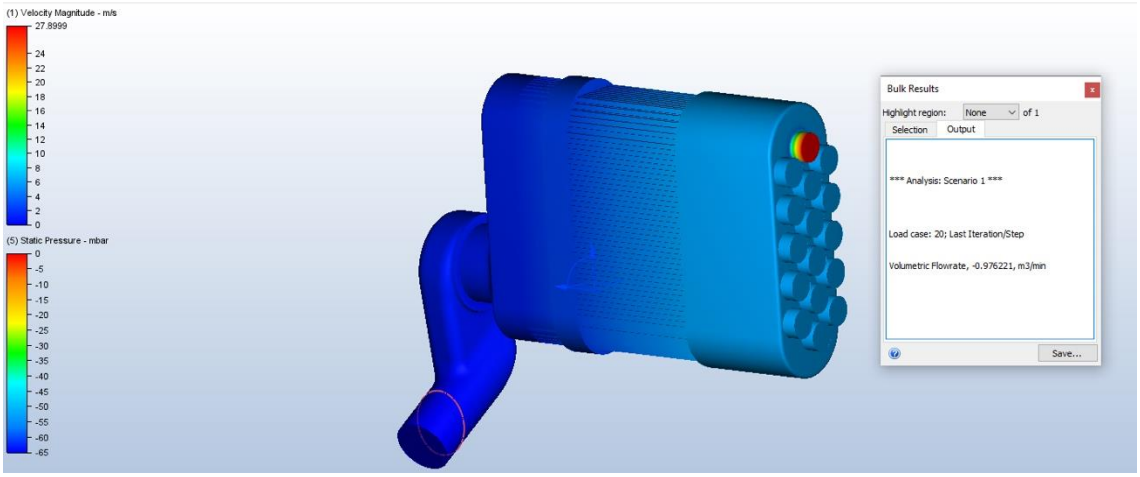
Şekil 9.22. Hava filtresi tıkanıklık seviyesine göre motor devri 1400d/dk da iken -21mbar daki akış analizi.

Hava filtresi tıkanıklık seviyesine bağlı olarak basınç düşüşü -40mbar ve motor devri 1400d/dk da iken havanın hacimsel debisi Şekil 9.23'de görüldüğü gibi 2.31 m^3/dk değerindedir.



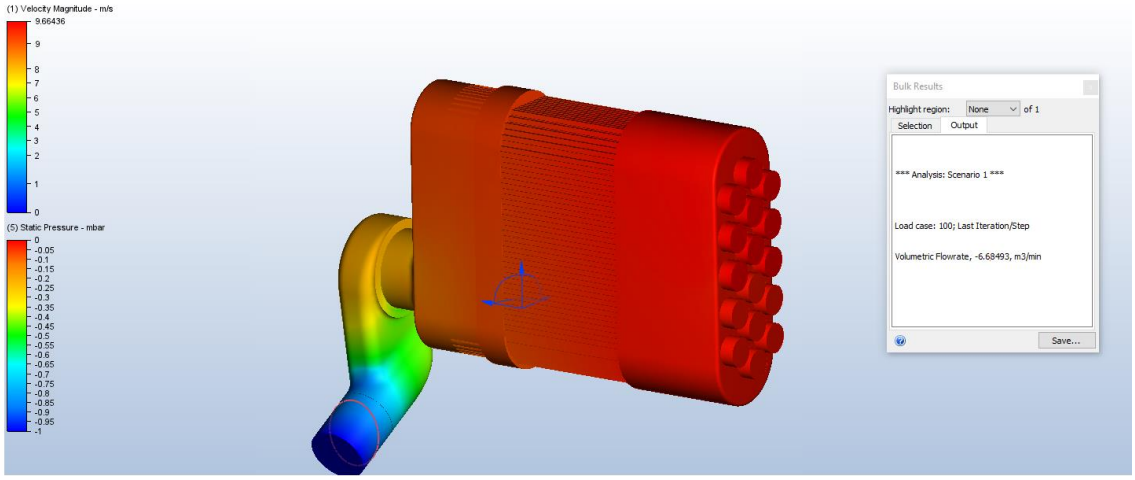
Şekil 9.23. Hava filtresi tıkanıklık seviyesine göre motor devri 1400d/dk da iken -40mbar daki akış analizi.

Hava filtresi tıkanıklık seviyesine bağlı olarak basınç düşüşü -65mbar ve motor devri 1400d/dk da iken havanın hacimsel debisi Şekil 9.24'de görüldüğü gibi 0.97 m^3/dk değerindedir.



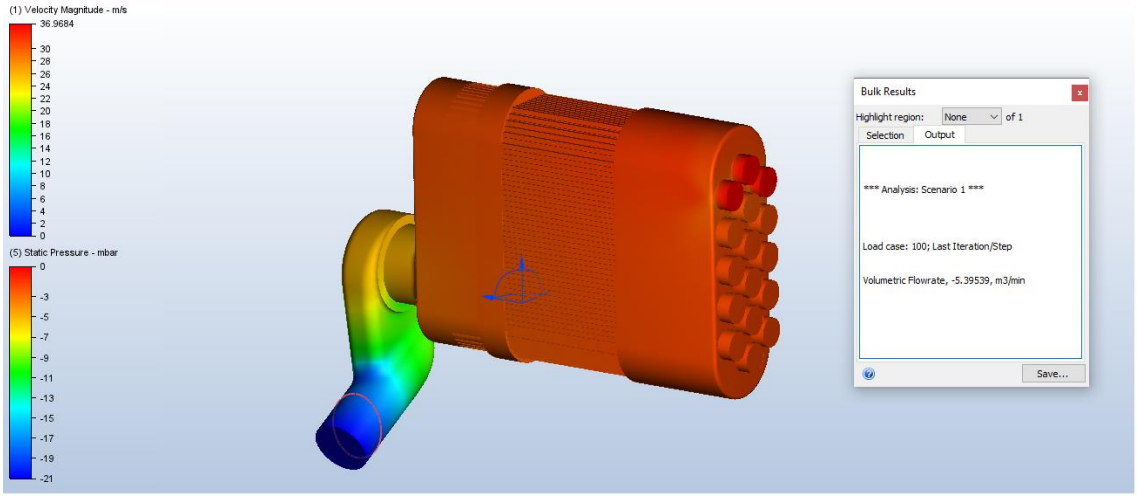
Şekil 9.24. Hava filtresi tıkanıklık seviyesine göre motor devri 1400d/dk da iken -65mbar daki akış analizi.

Hava filtresi tıkanıklık seviyesine bağlı olarak basınç düşüşü -1mbar ve motor devri 2200d/dk da iken havanın hacimsel debisi Şekil 9.25'de görüldüğü gibi 6.68 m^3/dk değerindedir.



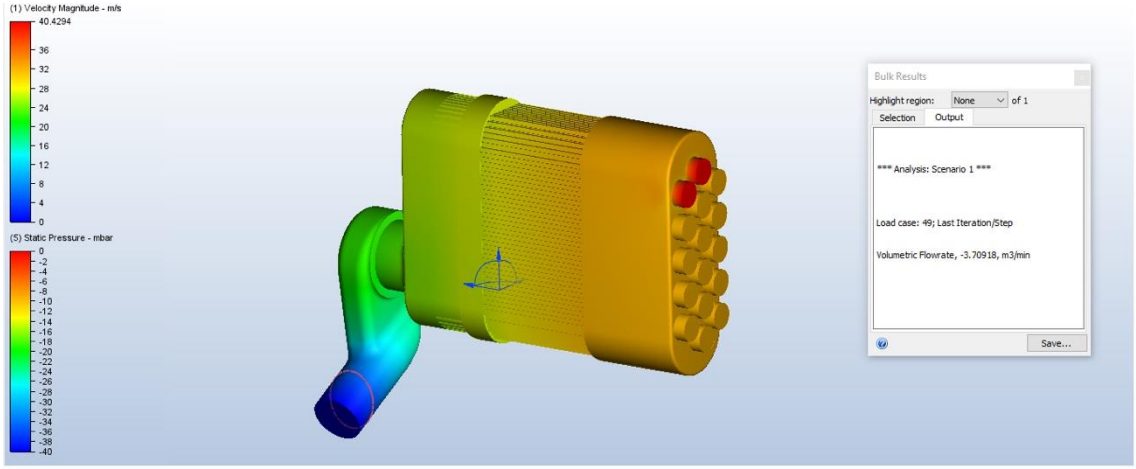
Şekil 9.25. Hava filtresi tıkanıklık seviyesine göre motor devri 2200 d/dk da iken -1mbar daki akış analizi.

Hava filtresi tıkanıklık seviyesine bağlı olarak basınç düşüşü -21mbar ve motor devri 2200d/dk da iken havanın hacimsel debisi Şekil 9.26'da görüldüğü gibi 5.39 m^3/dk değerindedir.



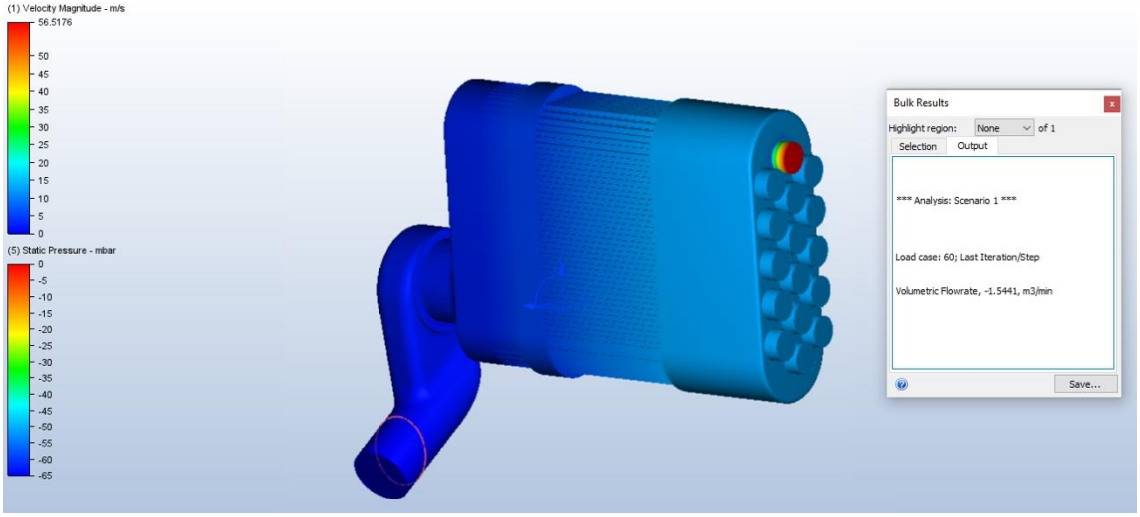
Şekil 9.26. Hava filtresi tıkanıklık seviyesine göre motor devri 2200 d/dk da iken -21mbar daki akış analizi.

Hava filtresi tıkanıklık seviyesine bağlı olarak basınç düşüşü -40mbar ve motor devri 2200d/dk da iken havanın hacimsel debisi Şekil 9.27'de görüldüğü gibi 3.70 m^3/dk değerindedir.



Şekil 9.27. Hava filtresi tıkanıklık seviyesine göre motor devri 2200 d/dk da iken -40mbar daki akış analizi.

Hava filtresi tıkanıklık seviyesine bağlı olarak basınç düşüşü -65mbar ve motor devri 2200d/dk da iken havanın hacimsel debisi Şekil 9.28'de görüldüğü gibi 1.54 m^3/dk değerindedir.



Şekil 9.28. Hava filtresi tıkanıklık seviyesine göre motor devri 2200 d/dk da iken -65mbar daki akış analizi.

BÖLÜM 10

SONUÇ VE ÖNERİLER

10.1. Sonuçlar

Bu çalışmada Hattat Traktör Arge Merkezindeki test traktörü üzerindeki hava filtresinde oluşan tıkanıklık lığa bağlı olarak oluşan basınç düşüşünün motor ve emisyonlar üzerindeki etkisi incelenmiştir. Hava filtresinde oluşan basınç düşüşü -1mbar -21mbar -40mbar -65mbar olmak üzere dört farklı aşamada motorun maksimum tork 1400d/dk ve maksimum güç 2200d/dk devirlerinde test edilmiştir. Deneysel sonuçlar ve CFD akış analizleri incelendiğinde hava filtresi tıkanıklık seviyesine bağlı olarak silindir içine giren havanın hacimsel debisinin azaldığı görülmektedir. Volümetrik (Hacimsel)verimin azalmasından dolayı motorun gücü, torku azalırken yakıt tüketimi ve emisyonlarda artış meydana gelmektedir.

Hava filtresi yeni iken sistem üzerinde -1mbar basınç düşüşü meydana gelmekte olup 1400d/dk da motor 49.2kW güç üretmektedir. Basınç düşüşü -65mbara ulaştığında motorun gücü 45.3kW değerine düşmektedir. Benzer şekilde başlangıçta motor 386Nm tork üretirken hava filtresi tıkanıklığına bağlı olarak basınç düşüşü -65mbar ulaştığında tork değeri 360Nm değerine düşmektedir. Başlangıç şartlarında motorun yakıt tüketimi 16.4 L/h iken hava filtresindeki tıkanıklık seviyesine bağlı olarak basın düşüşü -65mbar a ulaştığında yakıt tüketimi 34.2 L/h çıkmakta ve emisyonlarda artmaktadır. Hava filtresi tam tıkanıklık seviyesine ulaştığında motorun yakıt tüketimi %100 den daha fazla artmaktadır. Yakıt sarfiyatının bu kadar büyük oranda artması maliyet ve emisyonlar bakımından büyük önem taşımaktadır.

Motorun maksimum güç ürettiği 2200d/dk da yapılan test sonuçlarına göre, sistem üzerinde -1mbar basınç düşüşü meydana geldiğinde motordan 64.4kW güç elde

edilmektedir. Basınç düşüşü -65mbara ulaştığında motorun gücü 58,2kW değerine düşmektedir. Benzer şekilde motor 330Nm tork üretirken hava filtresi tıkanıklığına bağlı olarak basınç düşüşü -65mbar ulaştığında motorun tork değeri 296Nm değerine düşmektedir. Yakıt tüketim değerleri ise başlangıç şartlarında 14.8L/h iken hava filtresinde oluşan basınç düşüşü -65mbar a ulaştığında 31.2 L/h seviyesine çıkmakta benzer şekilde emisyonlarda artmaktadır. Hava filtresindeki basınç düşüşü ve hacimsel debinin azalması ile meydana bu deneysel sonuçların CFD hava akış analizleri ile de uyumlu olduğu görülmektedir.

Sonuç olarak, hava filtresi tıkanıklık seviyesine bağlı olarak emme sisteminde basınç düşüşünün arttığı, silindir içine yeterli oksijen alınamadığı, eksik yanma oluştuğu, motorun tüm çıkış değerlerinin olumsuz etkilendiği ve emisyonların arttığı tespit edilmiştir.

10.2. Öneriler

Traktörler arazi çalışma ortamlarına bağlı olarak, toz yoğunluğu arttıkça hava filtresinde tıkanmalar (Basınç düşüşü)meydana gelecektir. Dizel motorlarda tam yanma şartlarını sağlayabilmek için silindir içine yeterli oksijen alınmalıdır. Günümüz şartlarında pek çok traktörde hava filtresi tıkanıklık seviyesi -65mbar olarak belirlenmiştir. Motor emme sistemindeki basınç düşüşü bu değere geldiğinde hava filtresi tıkanma (Basınç düşüşü) ikaz lambası yanmaktadır. Bu durum gözlendiğinde hava filtresi kullanıcılar tarafından değiştirilmektedir. Ancak yaptığımız çalışmada basınç düşüşü -40mbar'a ulaştığında motorun tüm çıkış değerlerinin olumsuz etkilendiği ve emisyonların büyük oranda arttığı görülmüştür. Bu nedenle basınç düşüşü tıkanıklık ikaz lambası yanması beklenmeden zaman zaman hava filtresinin temizlenmesi ile bu olumsuzluklar engellenmiş olacaktır. Ayrıca emme havası içine giren toz miktarı arttığında başta silindir ve piston mekanizmalarında oluşan çizilmeler meydana gelir. Daha sonra motor yağının içine karışan bu tozlar yüksek sertlik değerine sahip oldukları için aşınmalara ve motorun kullanım ömrünün azalmasına sebep olacaktır. Bu nedenle traktör ve iş makinaları gibi arazi şartlarında çalışan motorlarda hava filtresinin belirli periyodlarla temizliği ve zamanında değişimi büyük önem arz etmektedir. İleride hava filtresinde tozlanmaya bağlı olarak oluşan basınç düşüşünün azaltılması için farklı filtrasyon çalışmalarının yapılmasının faydalı olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

Akal, D.(2021).*Dizel Motorlar Ders Notları*, Trakya Üniveristesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Edirne.

Allam, S., & Elsaid, M.A. (2020). Parametric study on vehicle fuel economy and optimization criteria of the pleated air filter designs to improve the performance of an I.C diesel engine, Experimental and CFD approaches, *Separation and Purification Technology*, 241, 116680.

Anar, N., & Bayram , P.(2018).Seçici Katalitik İndirgeme (SCR)Sistemi ve Araçlara Adaptasyonu, *Journal of Polytechnic* , 21 (4) , 941-950.

An-jie, Y., Zhong-jie, S., Jian-wei Y., & Cheng-jian , Z. (2019).Effect of Air Filter on Performance of S1110 Diesel Engine, *Materials Science and Engineering*, 688, 022050.

Chang, K., Amesho, T.T.K., Lin ,Y., Jhang ,S., Chou , F., & Chen, H.(2019). Effects of atmospheric-plasma system on energy efficiency improvement and emissions reduction from a diesel engine, *Journal of Environmental Management*, 234, 336-344.

Çoşkun, Y. N. (2017). *Dizel Motorlarda Kirletici Emisyonların Düşürülmesi İçin Egzoz Sisteminin Tasarımı Ve Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

Dziubak, T.(2021). Experimental Studies of Dust Suction Irregularity from Multi-Cyclone Dust Collector of Two-Stage Air Filter, *Energies,*14, 3577.

Dziubak, T., & Boruta, G. (2021).Experimental and Theoretical Research on Pressure Drop Changes in a Two-Stage Air Filter Used in Tracked Vehicle Engine. *Separations* 8,71.

Dziubak, T., & Dziubak, D.S. (2020).Experimental Study of Filtration Materials Used in the Car Air Intake, *Materials* , 13, 3498.

Dziubak, T., Leszek Bakała, L.,Karczewslia, M., &Tomaszewski , M.(2020). Numerical research on vortex tube separator for special vehicle engine inlet air filter. *Separation and Purification Technology*, 237, 116463.

Gailis, M., &Pirs ,V.(2011). Research in Influence Of Engine Air Filter Replacement Periodicity, *Engineering For Rural Development*, Jelgava.

Hao, C., Zhen Lu , L.,Feng ,Y., Bai , H.,Wen , M., &Wang , T. (2021).Optimization of fuel/air mixing and combustion process in a heavy-duty diesel engine using fuel split device, *Applied Thermal Engineering*, 186, 116458.

Hassan B.A., Bitrus , A., &Yahuza , I. (2017).Air Filter Clogging Effects On The Manifold Intake Pressure And Temperature Of Four Stroke Spark Ignition Gasoline Engine, *Nigerian Journal of Tropical Engineering*, (11), 1-2.

Hosseini, A.S., & Tafreshi , V.H. (2011).On the importance of fibers cross-sectional shape for air filters operating in the slip flow regime, *Powder Technology*, 212, 425-431.

https://www.afmfiltration.com/tr/hizmetlerimiz/18-hava-filtreleri-teknik.html)

https://www.buydonaldson.com.

Jaikumar, S.,Srinivas , V., &Meher , S.R.(2021). Combustion Characteristics of Direct Injection Diesel Engine Fueled with Dispersant-mixed Al_2 O_3 Nanoparticle-added Biodiesel Blend, *International Journal of Thermophysics*, 42, 91.

Jiaqiang, E., Zuo, W., Gao, J., Peng, Q., &Zhang, Z.(2016). Effect analysis on pressure drop of the continuous regeneration- Diesel particulate filter based on NO2 assisted regeneration, *Applied Thermal Engineering,* 100, 356-366.

Kaya, D., &Öztürk, H.(2020).*Hava Kalitesi Yönetimi*, Kocaeli : Umut tepe

Kocabaş, Ç.,(2007). *Dizel Motorlarda Yanma Süreci Boyunca Azot oksit Oluşumu ve Yanmış Ürünlerin Denge Konsantrasyonlarının Matematiksel Modellenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Liu, D.(2014). *Combustion And Emissions Of An Automotive Diesel Engine Using Biodiesel Fuels Under Steady And Start Conditions*, The University of Birmingham for the degree of Doctor of Philosophy, Birmingham.

Mamat, R., Abdullah, R.N., Xu, H ., Wyszynski,L.M., &Tsolakis , A.(2009). Effect of Air Intake Pressure Drop on Performance and Emissions of a Diesel Engine Operating with Biodiesel and Ultra Low Sulphur Diesel (ULSD). *International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'09)*, Valencia (Spain).

Mathews, V.J., Sandhya , M ., & Balakrishnan , K.(2016).Effect Of OEM Style And Aftermarket Performance Air Filters On Vehicle Parameters, *Procedia Technology*, 24, 461- 468.

Sayın, C., Balki, K.M., & Erdoğan, S.(2020).*Taşıt Emisyonları Kontrolü,* Ankara: Nobel Akademik

Sinzenich H., Wehler K., & Muller R.(2014).“*Selective Catalytic Reduction: Exhaust aftertreatment for reducing nitrogen oxide emissions*”, MTU Friedrichshafen GmbH.

Srinivasulu , L.K., Srikanth , D., Rafi, K., & Ramanjaneeyulu ,B.(2016) Optimization of Air Filter in an Automobile Diesel Engine by Using CFD Analysis. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering,* (13), 2, 78-89.

Sürmen,A., Karamangil ,İ.M., &Arslan ,R.(2004).*Motor Termodnamiği,* Bursa : Alfa Akademi

Synák, F., Kalašová , A ., & Synák , J.(2020). Air Filter and Selected Vehicle Characteristics, *Sustainability*, 12, 9326, 2020.

Şengün, İ.H.(2014).Motorlar Yapı ve Hesabı, Kocaeli: Umut tepe

Toma, M., & Fileru , I. (2016).Research on the Air Filters Maintenance for Diesel Engines, *Procedia Technology*, 22, 969-975.

Toyota Otomotiv AŞ .(2012).*Teknik Eğitim Notları*, İstanbul.

Uzun, B., Şahin, F., Koca, A., & Salman, S.M.(2008). Kuru Tip Hava Filtreleri için Mikrodenetleyici Kontrollü Tıkanıklık Gösterge Devresi Tasarımı ve Bir Taşıt Üzerinde Uygulanması. Journal of Polytechnic. 11 (1), 31-36.

Yılmaz, B.(2021). *Motorlar Ders Notları*, Trakya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Edirne.

Yun, J.(2021). Optimal Design of Off-Road Utility Terrain Vehicle Air Filter Intake, *Energies*, 14, 2269.

Zacharof, G.N. & Fontaras, G.(2016). Review of in use factors affecting the fuel consumption and CO_2 emissions of passenger cars, *Publications Office of the European Union,* Luxembourg.

.

ÖZGEÇMİŞ

1982 yılında Amasya'nın Gümüşhacıköy ilçesinde doğdu. 2000 yılında Ankara Keçiören Anadolu Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi Torna Tesviye bölümünü bitirdi. 2006 yılında Dumlupınar Üniversitesi Talaşlı Üretim Öğretmenliği bölümünde lisans eğitimini tamamladı.2021 yılında Namık Kemal Üniversitesi Çorlu Mühendislik Fakültesinde Makine Mühendisliği bölümü lisans eğitimini tamamladı. 2008 yılında Hema Endüstri A.Ş. firmasında İnsan Kaynakları departmanında Eğitim Uzmanı olarak iş hayatına başladı. Hema Endüstri A.Ş. İnsan Kaynakları ve Organizasyonel Gelişim Yöneticisi olarak iş hayatına devam etmektedir.