T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AĞIR HİZMET TİPİ ARAÇLARDAKİ HAVA FREN KOMPRESÖRÜ VE HAVA HATTININ YENİ TEKNOLOJİYE ENTEGRESİNİN ARAŞTIRILMASI

Gökselhan KULA

YÜKSEK LİSANS

Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

Ağustos-2020
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

YÜKSEK LİSANS

AĞIR HİZMET TİPİ ARAÇLARDAKİ HAVA FREN KOMPRESÖRÜ VE HAVA HATTININ YENİ TEKNOLOJİYE ENTEGRESİNİN ARAŞTIRILMASI

Gökselhan KULA

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Murat CİNİVİZ

2020, 88 Sayfa

Jüri
Prof. Dr. Murat CİNİVİZ
Dr. Öğr. Üyesi İlker ÖRS
Dr. Öğr. Üyesi Fatih AYDIN

Gelişimi, geçmişten günümüze gelen ve içten yanmalı motor teknolojilerine paralel olan doğrusal pistonlu kompresörler, üzerine yapılan yenilikçi çalışmalar doğrultusunda kendilerine bu alanda geniş bir pay bulmaktadırlar. Neredeyse tamamında dizel motorlar kullanılan ağır vasıta segmentinde talep edilen depolanmış basınçlı hava, fren ve süspansiyon gibi iki önemli temel görevde kullanılmaktadır. Bundan dolayı kompresör seçimi esnasında kullanılacak motorun; uzun yol aracı, şantiye aracı, nakliye aracı, çöp kamyonu, yolcu otobüsü gibi ne tür uygulamalarda kullanılacağı ve istenilen talepleri karşılarken verimi, performansı ve servis bakım periyodu çok önemlidir.

Bu çalışmada, Scania marka dizel bir araç üzerinde bir hava fren kompresörü konvansiyonel atmosferik besleme ve geliştirilmiş bir ara bağlantı ile motor turboşarj ara soğutucusundan beslenerek deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Böylece ihtiyaç duyulan basınçlı havayı uygun çalışma süresinden daha kısa servis etmek ve kompresör çalışma ömrünü arttırmak amaçlanmıştır. Veri toplama sisteminden sensörler aracılığıyla elde edilmiş sıcaklık ve basınç değerleri, araç CAN modülünden elde edilen performans bilgileri ve her iki durum için opasimetre ile ölçülen egzoz emisyon ölçüm sonuçları sunulmuştur. Ortaya çıkan sonuçlarda, kompresör ara soğutucudan alınan hava ile beslendiğinde hacimsel verimde artış, bununla beraber hava tankları dolum süresinde kısalma gözlemlenmiştir. Hava tankları dolana kadar sistemden tüketilen yakıt tüketiminde azalma elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Aşırı doldurma, Kompresör hacimsel verimi, Pistonlu kompresörler, Veri toplama

ABSTRACT

MS THESIS

INTEGRATED INVESTIGATION OF AIR BRAKE COMPRESSOR AND AIR LINE IN NEW TECHNOLOGY IN HEAVY DUTY TYPE VEHICLES

Gökselhan KULA

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN AUTOMOTIVE ENGINEERING

Advisor: Prof. Dr. Murat CİNİVİZ

2020, 88 Pages

Jury
Prof. Dr. Murat CİNİVİZ
Asst. Prof. Dr. İlker ÖRS
Asst. Prof. Dr. Fatih AYDIN

Linear reciprocating compressors, whose development is parallel to internal combustion engine technologies, and which have come from the past to the present, find themselves a large share in this field in line with the innovative studies. Used in almost all diesel engines and demanded in the heavy vehicle segment, the stored compressed air is used in two key tasks such as braking and suspension. Therefore, what kind of applications the engine to be used in during compressor selection, including long vehicles, construction site vehicles, transportation vehicles, garbage trucks, and coaches as well as its efficiency, performance and service maintenance period while meeting the demands are very significant.

In this paper, experimental studies were carried out on a Scania brand diesel vehicle by supplying an air brake compressor from the engine turbocharger intercooler with an improved interconnection and conventional at-mospheric supplying. Thus, it is aimed to serve the required compressed air shorter than the normal duty cycle and to increase the compressor service life. Temperature and pressure values obtained via sensors from the data collection system, performance information obtained from the vehicle CAN module and exhaust emission measurement results measured by opacimeter for both cases were presented. The results show that when the compressor is fed with air taken from the intercooler of turbocahrger, an increase in volumetric efficiency and a shortening of the filling time of the air tanks has been observed. Fuel consumption from the system has been obtained that is less via the interconnection until the air tanks reach set pressure.

Keywords: Turbocharger, Compressor volumetric efficiency, Piston compressors, Data acquisition

ÖNSÖZ

Çalışmalarımda bana zamanını ayırıp, desteğini esirgemeyen ve bana yol gösteren değerli danışman hocam Prof. Dr. Murat CİNİVİZ'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım, yapmam gereken testler ve deneyler sürecinde kapılarını ardına kadar açan Yıldız Pul Otomotiv Motor Parçaları Sanayi A.Ş., Konanka Scania Özel Servisi ve Tayyip Oto'ya içten teşekkürlerimi sunarım.

Test çalışmaları boyunca özellikle elektrik ve elektronik kısımlarda her zaman bilgi alış verişinde bulunan ve desteklerini esirgemeyen değerli iş arkadaşlarım Murat Şükrü AYDINER ve İbrahim TOY'a teşekkürü bir borç bilirim.

Staj hayatına bir otomotiv mühendisi adayı olarak yanımda başlayan, daha sonra uzun dönem stajını da benimle yapan ve mezun olduktan sonra aynı ofiste mühendis olarak iş arkadaşım olmasından gurur duyduğum ve çalışmalarımda bana elinden gelenin en iyisiyle yardımcı olan sevgili Mehmet PERÇİN'e teşekkür ederim.

Üniversiteye hazırlandığım yıllarda hayatıma giren, güler yüzünü, desteğini, kardeşliğini ve dostuğunu her zaman hissettiren kıymetli can yoldaşım Mehmet AKOL'a içtenlikle teşekkür ederim.

Bir problem ile karşılaştığımda onu nasıl ele alacağımı, neleri araştırarak kök sebebe inebileceğimi öğreten, teknik yönümü her zaman geliştirmeye yönelik bana vermiş olduğu görevler sayesinde gelişmeme fayda veren, ilk iş için yurtdışı seyahatimde heyecanıma ortak olan ve Avrupa'da iki farklı ülkeye yerli test cihazı kurma gururunu yaşatan ve en önemlisi sabrı ve mütevaziliği ile rol model olan sevgili müdürüm, abim Erdem ÜNÜVAR'a bana kattıkları için teşekkür ederim.

En önemlisi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen ve arkamda duran kıymetli aileme gösterdikleri sabır için sonsuz teşekkür ederim.

Proje desteklerinden dolayı BAP'a teşekkürlerimi sunarım.

Gökselhan KULA
KONYA-2020

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **i**

ABSTRACT ..... **ii**

ÖNSÖZ ..... **iii**

İÇİNDEKİLER ..... **iv**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **vi**

1. GİRİŞ **1**

1.1. Kompresörler ve Basınçlı Havanın Kullanım Yerleri 4
1.1.1. Pistonlu kompresör bileşenleri 5
1.1.2. P-V diyagramı ve çalışma şekli 6
1.1.3. Araç üzeri konumu ve hacimsel verim 8
1.2. İçten Yanmalı Motorlarda İndike Tork ve Fren Torku 10
1.3. Emisyon 11
1.3.1. Dizel motor emisyonları ve emisyon değerleri standartlaştırması 11
1.3.2. Opaklık 12
1.3.3. Opasimetre 13

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI **15**

2.1. Kompresör Çalışmaları 15
2.2. Motor ve Turboşarj Çalışmaları 32
2.3. Emisyon Çalışmaları 39

3. MATERYAL VE YÖNTEM **43**

3.1. Deney Aracı ve Kompresörü 44
3.2. Veri Almada Kullanılan Modül, Yazılım ve Cihazlar 46
3.2.1. Motor indike tork ve yakıt tüketiminin ölçülmesi 46
3.2.2. Ara Soğutucu (Intercooler) sonrası kompresör giriş havası sıcaklığı ve basıncının ölçülmesi 47
3.3. Ara Soğutucu Bağlantısı 51
3.4. Araç Üzeri Testler 53

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA **58**

4.1. Ara Bağlantı Sıcaklık ve Basınç Ölçümleri 58
4.2. Kompresör Hacimsel Verimi 60
4.3. Hava Tankı Dolum Süresi 61
4.4. Tork ve Yakıt Tüketimi Değerleri 62
4.5. Emisyon Değerleri 66

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER **68**

5.1 Sonuçlar 68
5.2 Öneriler 68

KAYNAKLAR 69

EKLER 75

ÖZGEÇMİŞ.....76

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

AlSi	:	Alimünyum silisyum
atm	:	Atmosferik basınç
C	:	Celcius
cm^3	:	Santimetre küp
CO	:	Karbon mono oksit
CO_2	:	Karbon dioksit
CuO	:	Bakır oksit
d	:	Devir
dk	:	Dakika
F	:	Fahrenheint
g	:	Gram
HC	:	Hidrokarbon
I	:	Duman varken ışık şiddeti
I_0	:	Duman yokken ışık şiddeti
k	:	Absorpsiyon katsayısı
kg	:	Kilogram
kN	:	Kilo newton
kS	:	Kilo örnek (sample)
kW	:	Kilo watt
l	:	Litre
L_0	:	Normal şartlarda silindir içerisine giren dolgu kütlesi
L_a	:	Efektif boy
L_{re}	:	Silindir odası hacminin bir çevrimde içine aldığı dolgu kütlesi
N	:	Yüzde opaklık
Ni	:	Nikel
NiCr	:	Nikel krom
m	:	Metre
M	:	Metrik
mA	:	Mili amper
mm	:	Milimetre
MPa	:	Mega paskal
mV	:	Mili volt
NO_x	:	Azotoksit gazları
P	:	Basınç
P_d	:	Egzoz odası basıncı
P_{ort}	:	Ortalama güç
R	:	Gaz sabiti
SiC	:	Silisyum karbür
T	:	Sıcaklık
T_b	:	Fren torku
T_{fric}	:	Sürtünme kaybı torku
T_i	:	İndike tork
T_{iner}	:	Atalet momenti
TiO_2	:	Titanyum dioksit
T_{pump}	:	Pomplama kaybından meydana gelen tork değeri
V	:	Hacim

V_0	:	Boşluk hacmi
W	:	Watt
ΔU	:	İş
Δt	:	Zaman aralığı
η_v	:	Hacimsel verim
τ	:	Işık geçirgenliği
%	:	Yüzde
$	:	Dolar
°	:	Derece

Kısaltmalar

AÖN	:	Alt ölü nokta
Ave	:	Ortalama
BG	:	Beygir gücü
Btep	:	Bin ton eşdeğer petrol
CAN	:	Birbirine bağlı fonksiyonlar ağı
CFD	:	Hesaplamalı akışkanlar dinamiği
CNG	:	Sıkıştırılmış doğalgaz
COP	:	Etkinlik katsayısı
DIN	:	Alman standartlar enstitüsü
DSI	:	Dijital seri arayüz
EC	:	Temel karbon
EGR	:	Ekzoz gaz kazanımı
EoL	:	Kullanım ömrü sonu
ESS	:	Enerji tasarruf sistemi
EURO	:	Avrupa emisyon standartları
FEM	:	Sonlu elemanlar metodu
FS	:	Tam ölçek
GAN	:	Üretken çekişmeli ağlar
GDI	:	Doğrudan yakıt püskürtme
GSYİH	:	Gayrisafi yurt içi hasıla
HPI	:	Yüksek basınç enjektör
Hz	:	Hertz
h	:	Saat
IRR	:	İç karlılık oranı
ISO	:	Uluslararası standartlar örgütü
LPG	:	Sıvılaştırılmış petrol gazı
MVC	:	Model görüntü kontrolcüsü
OEM	:	Orijinal ekipman üreticisi
PLC	:	Programlanabilir mantıksal denetleyici
PM	:	Partikül madde
PS	:	En yüksek çalışma basıncı
rpm	:	Dakikadaki devir sayısı
sa	:	Saat
Rms	:	Ortalama karekök
SAE	:	Otomotiv mühendisleri topluluğu
TS	:	Türk standartları
ÜÖN	:	Üst ölü nokta

vb	:	ve benzeri
VDC	:	Doğru akım volt
VGT	:	Değişken geometrili turboşarj
VIN	:	Araç kimli numarası
5M1E	:	İnsan, makine, malzeme, yöntem, ölçüm, çevre

1. GİRİŞ

Tüm dünyada, otomotiv sektöründe enerji tüketimi üzerine geniş kapsamlı çalışmalar yapılmaktadır. Çalışmaların hemen hemen tamamı olağan durum olan yakıt enerjisiden ısı enerjisi, ısı enerjisinden de mekanik enerji elde etmeye yöneliktir. Çalışmalar sonucunda elde edilen bu gelişmeler, günümüz şartlarının geliştirilmesi ve gelecek çalışmalar için oldukça önemli ve verimlidir. Şu an yaygın olarak kullanılan milyonlarca içten yanmalı motor ve hem sanayide hem de taşıtlarda yaygın kullanıma sahip kompresörler gibi mekanik cihazlar üzerine yapılacak iyileştirici çalışmalar görmezden gelinmemeli, bu tür çalışmalara devam edilmelidir. Kullanımı yaygın olan bu cihazlarda enerji tüketiminde sağlanılabilecek küçük bir iyileştirme, yakıt tüketiminde azalmaya sebep olarak, ekonomik açıdan önemli bir katkı sağlayacaktır.

Enerji temel olarak iş yapabilme yeteneği olarak tanımlanabilir. Kinetik, potansiyel, ısı, ışık, elektrik vb. enerji türleri bulunmaktadır (Yasin Orha ve Özcan, 2019). Güç ise birim zamanda yapılan iş miktarı olarak tanımlanır (Hibbeler, 2007). Ortalama güç:

$$P_{ort} = \frac{\Delta U}{\Delta t} \tag{1.1}$$

Δt zaman aralığında yapılan iş (ΔU) ile ortalama güç (P_{ort}) Denklem 1.1 kullanılarak hesaplanabilir (Hibbeler, 2007).

Şekil 1.1.de gösterilen enerji kaynaklarına baktığımızda petrol, kullanışlarına göre yenilenemez (tükenir) fosil kaynaklı bir enerji kaynağıdır. Bu yüzden petrolden elde edilen enerji daha dikkatli tüketilmelidir. Tükenme tehlikesiyle karşı karşıya olan enerji kaynaklarının planlı bir şekilde kullanımını sağlamak ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını düzenleyebilmek hem dünya hem de ülkemiz için oldukça önem arz eder (Koç ve Şenel, 2013).

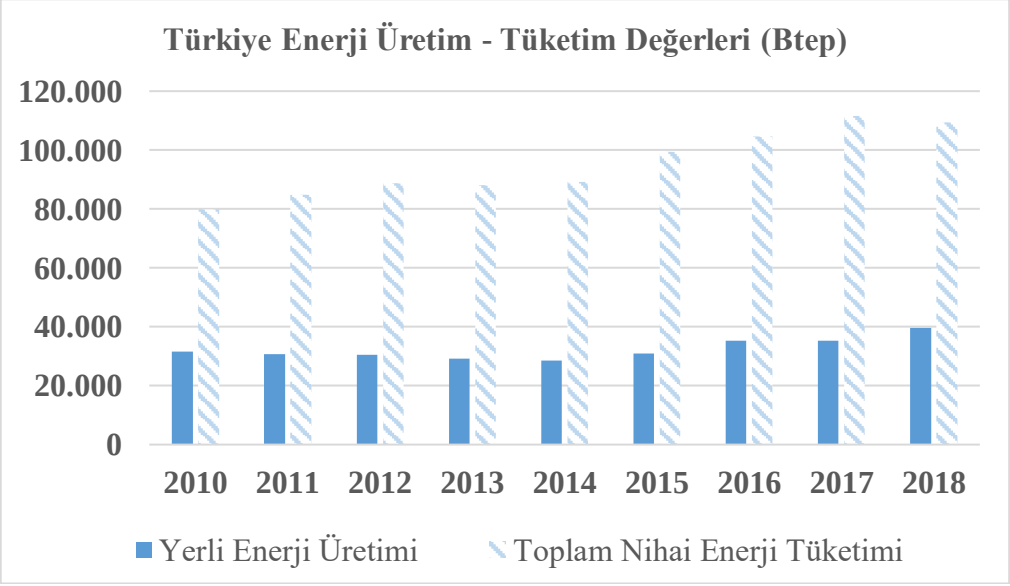
Şekil 1.2'de Enerji İşleri Genel Müdürlüğü'nün yıllara göre paylaşmış olduğu denge tablolarından alınan değerlerde görüldüğü üzere ülkemizde toplam enerji tüketim oranımıza bakıldığında, yerli üretime göre yaklaşık olarak üç kat fazlalık vardır. 2011 yılı ham petrol üretimi 2,4 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. Buna karşılık aynı yıl ithal edilen ham petrol 18,1 milyar ton ve ithal edilen petrole ödenen tutar 21 milyar $'ı aşmaktadır. Petrolde % 93 oranında dışa bağımlı bir ülke konumundayız. İthal petrol için

ödenen tutar, ülkemizin GSYİH'sının % 2,72'sine karşılık gelmektedir (Koç ve Şenel, 2013). Dünya genelinde petrolün tükeniyor olması ve ülkemizde bunun yanı sıra petrole olan dışa bağlılık bu tüketim oranın düşürülmesi için çok önemlidir. Bu sebeple konvansiyonel araçlar üzerine yapılacak araştırmalar sonucu geliştirilen çalışmalarla, iyileştirici sonuçlar elde edilmelidir.

Enerji Kaynakları

Kullanışlarına Göre	**Dönüştürülebilirliklerine Göre**
A) Yenilenemez (Tükenir)	**A) Birincil (Primer)**
a) Fosil Kaynaklı - Kömür - Petrol - Doğal gaz **b) Çekirdek Kaynaklı** - Uranyum - Toryum	- Kömür - Petrol - Doğal gaz - Nükleer - Biyokütle - Hidrolik - Güneş - Rüzgar - Dalga, Gel-Git
B) Yenilenebilir (Tükenmez)	**B) İkincil (Sekonder)**
- Hidrolik - Güneş - Biyokütle - Rüzgar - Jeotermal - Dalga Grl-Git - Hidrojen	- Elektrik, Benzin, Mazot, Motorin - İkincil Kömür - Kok, Petrokok - Hava Gazı - Sıvılaştırılmış Petrol Gazı (LPG)

Şekil 1.1. Enerji Kaynakları (Koç ve Şenel, 2013)



Şekil 1.2. Türkiye'de yerli kaynaklardan enerji üretimi ve toplam enerji tüketimi (Koç ve Şenel, 2013)

Sıkıştırılmış hava teknolojileri günümüzde birçok sanayi alanında ve ağır vasıta segmentinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Pistonlu kompresörler de bu bağlamda kompresör sektöründe kendine özgü avantajları sebebiyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle kompresör performanslarının iyileştirilmesi enerji tasarrufu sağlayarak üretim, ulaştırma, soğutma, gaz yakıtların sıvılaştırılması gibi alanlarda karlılık ve sürdürülebilirliğe önemli derecede katkıda bulunabilir (Şengül, 2019).

Ana sanayi kompresör üreticilerin arıza giderme kılavuzlarında uygun çalışma çevriminden bahsedilmektedir. Çalışma çevrimi; kompresörün basınçlı hava üretirken, yük durumunda geçirdiği toplam zamanın, toplam motor çalışma zamanına oranıdır. Pistonlu hava kompresörleri, motor çevrim süresinin % 25'ine kadar basınçlı hava üretecek şekilde tek veya çift silindirli olarak tasarlanmışlardır (Llc., 2004). Kompresöre hareket veren motorun bir saat çalıştığı varsayılırsa kompresör uygun çevrim süresinde çalışabilmesi için yük durumunda geçen toplam süre onbeş dakikadan fazla olmamalıdır. Yüksek çalışma çevrimleri ek bakım gerektirebilecek hava fren şarj sistemi performansını etkileyen koşullara sebep olmaktadır. Bu ek bakımlar ise rutin servis periyodundan farklı olarak ek maliyetlere ve de ek servis süresine sebep oluşturabilmektedir.

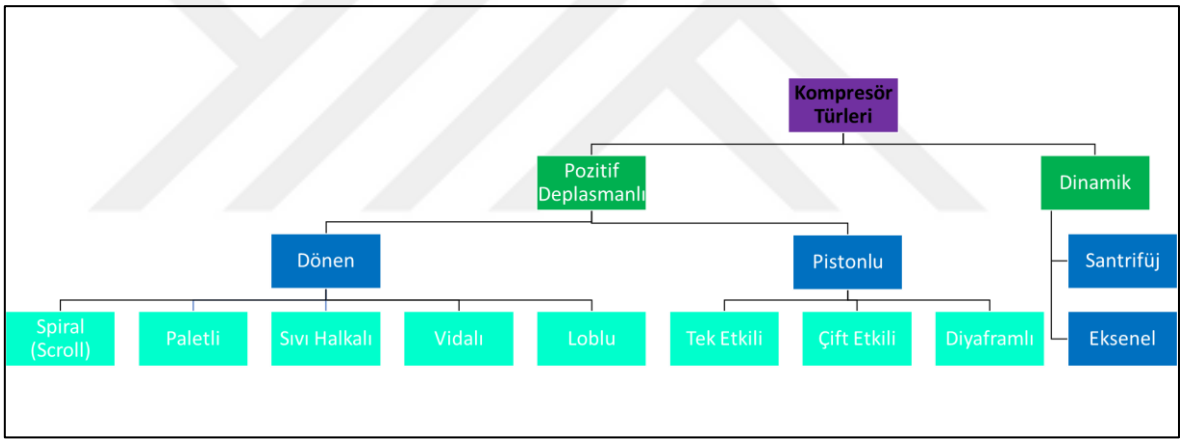
Son yıllarda artan yakıt fiyatları, fosil kaynaklı yakıtların tükeniyor olması ve çevre kirliliğine olan duyarlılık, üreticileri daha verimli, daha ekonomik ve daha çevreci motorlar ve mekanik parçalar üretmeye zorlamaktadır. Gelişimi, içten yanmalı motor teknolojilerinin gelişimi ile paralel olan doğrusal pistonlu kompresörler, üzerine yapılan geliştirici çalışmalar doğrultusunda kendilerine bu alanda geniş bir pay bulmaktadırlar. Neredeyse tamamında dizel motorlar kullanılan ağır vasıta segmentinde talep edilen depolanmış basınçlı hava, fren ve süspansiyon gibi iki önemli temel görevde kullanılmaktadır. Bundan dolayı kompresör seçimi esnasında kullanılacak motorun; uzun yol aracı, şantiye aracı, nakliye aracı, çöp kamyonu, yolcu otobüsü gibi ne tür uygulamalarda kullanılacağı ve istenilen talepleri karşılarken verimi, performansı ve servis bakım periyodu çok önemlidir (Dağlar, 2012).

Bu çalışmada pistonlu bir kompresörün konvansiyonel (atmosferik besleme) hava giriş hattı ve günümüz içten yanmalı motorlarında kullanılan turboşarjlı hava besleme hattı geliştirilerek deneyler gerçekleştirilmiştir. Ağır vasıtaların en çok seyir ettiği üç devirde (750 d/dk, 1250 d/dk ve 1750 d/dk) deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Her deney devrinde iki farklı kompresör hava besleme hattı için ölçülen ve hesaplanan değerlerin grafikleri çizilmiş ve sonuçlar yorumlanmıştır. Bu çalışma ile kompresör tank dolum süresinde kısalma, giriş havası hacimsel veriminde artış, kompresör yükte çalışma

süresince gerçekleşen toplam yakıt tüketiminde azalma ve böylelikle ihtiyaç duyulan basınçlı havayı uygun çalışma süresinden daha kısa servis etmek ve kompresör çalışma ömrünü arttırmak amaçlanmıştır.

1.1. Kompresörler ve Basınçlı Havanın Kullanım Yerleri

Genel olarak kompresör, gazların hacmini azaltarak, gazların sıkıştırılabilirliği prensibi sayesinde basıncını arttıran mekanik bir alettir. Kompresörler, hava basıncını arttırmakta kullanılan yöntem bakımından dinamik ve pozitif deplasmanlı olmak üzere iki grupta sınıflandırılır (Tmmob, 2003). Kompresör türleri Şekil 1.3'te verilmiştir. Ağır vasıtalarda 800 cm^3 toplam kurs hacimlerine sahip tek, çift ve üç silindirli kompresörlerle fren sistemindeki hava basıncı 8 - 12,5 bar seviyelerinde üretilerek, tanklarda depolanmaktadır (Ünüvar E. ve ark., 2019).



Şekil 1.3. Kompresör türleri (Tmmob, 2003)

Günümüzde pistonlu hava fren kompresörleri aracılığıyla araç üzerinde bulunan tanklara basınçlandırılan hava; fren sistemi, kavrama mekanizması, süspansiyon körükleri gibi ana görevlerde; bunun yanı sıra kapılar (otobüslerde), lastik şişirme ve temizlik (özellikle traktörlerde) gibi diğer amaçlar için de kullanılmaktadır. Şekil 1.4'te ağır vasıtalarda yaygın olarak kullanılan çift silindirli bir hava fren kompresörü gösterilmiştir. Bu sistemler araç emniyet ve güvenlik sistemleri için oldukça önemlidir. Bu yüzden günümüzde çoğu ağır hizmet tipi araç tanklarında yeterli basınçta hava yoksa tanklarda yeterli basınçta hava elde edilene kadar aracı hareket ettirmeyen bazı sistemler mevcuttur (Kula ve ark., 2019). Hava tanklarındaki basınç miktarı düşük olduğu sürece aracı hareket ettirmek mümkün olmamaktadır. Aracı hareket ettirebilmek için hava

tanklarındaki basınç miktarının sistem alt çalışma basıncına erişmesi gerekir (Tenşi, 2013).



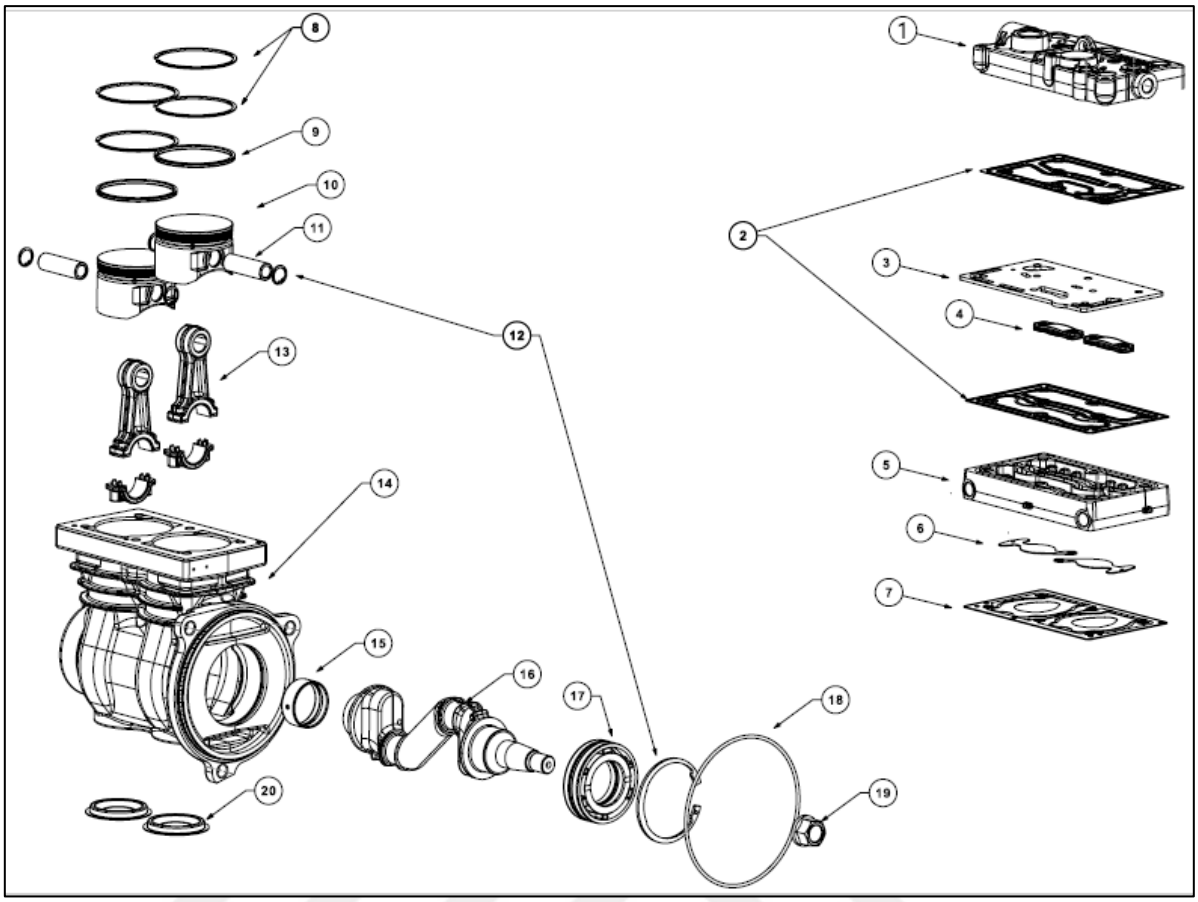
Şekil 1.4. Pistonlu hava fren kompresörü (Original, 2018)

1.1.1. Pistonlu kompresör bileşenleri

Küçük bir içten yanmalı motor gibi, geleneksel bir pistonlu kompresörde bir krank mili, biyel kolu ve piston, silindir kapağı, valf pleyt, emme-basma valfleri ve sızdırmazlık elemanları bulunur. Genel olarak bir pistonlu kompresöre ait alt parçalar Şekil 1.5'te gösterilmiştir. Her bir bileşenin adı ise Çizelge 1.1'de verilmiştir.

Çizelge 1.1. Kompresör parçaları

Parça No	Parça İsmi	Parça No	Parça İsmi
1	Üst kapak	11	Perno
2	NBR contalar	12	Emniyet segmanları
3	Ara plaka	13	Biyel kolu
4	Çıkış portları	14	Gövde (Karter)
5	Valf pleyt	15	Burç
6	By-pass valfleri	16	Krank mili
7	Giriş valfi (silikon kaplı)	17	Rulman
8	Sıyırıcı segmanlar	18	O-ring
9	Yağ segmanları	19	Somun
10	Piston	20	Karter tapası



Şekil 1.5. Kompresör parçaları

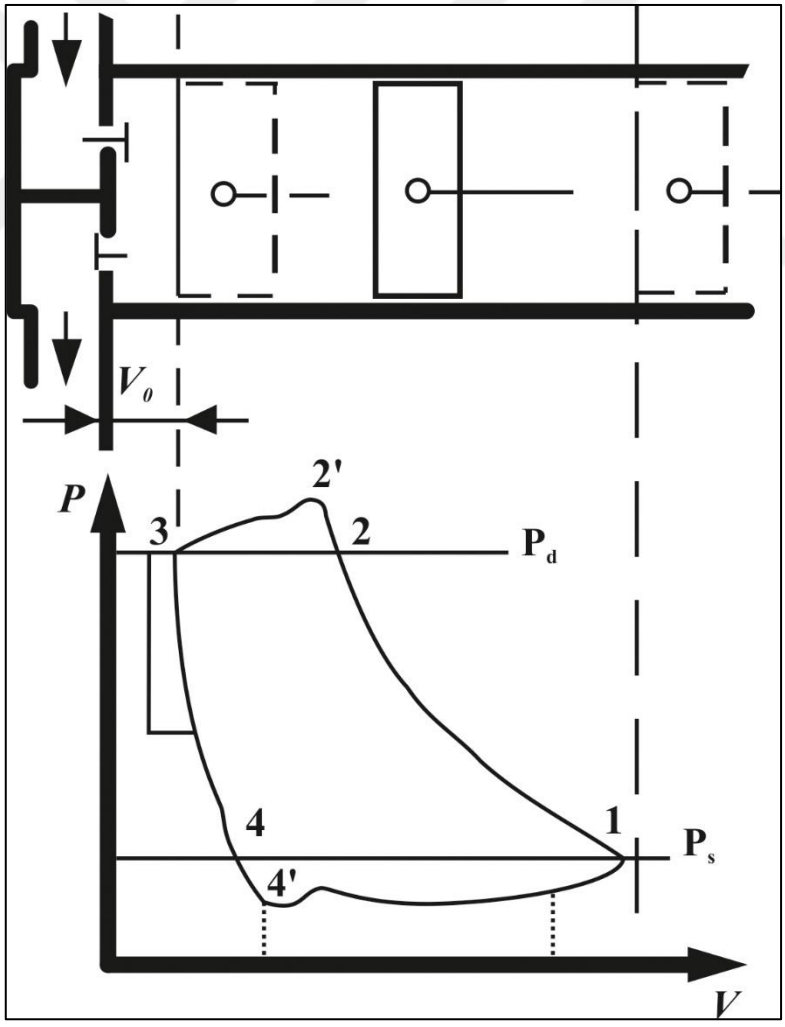
1.1.2. P-V diyagramı ve çalışma şekli

Pistonlu bir kompresörün çalışması içten yanmalı motorlara benzerdir. Kompresörler, çevrimi bir tam tur 360°'de tamamlar. Tüm çalışma çevrimi dört zamandan oluşur: genleşme, emme, sıkıştırma ve egzoz.

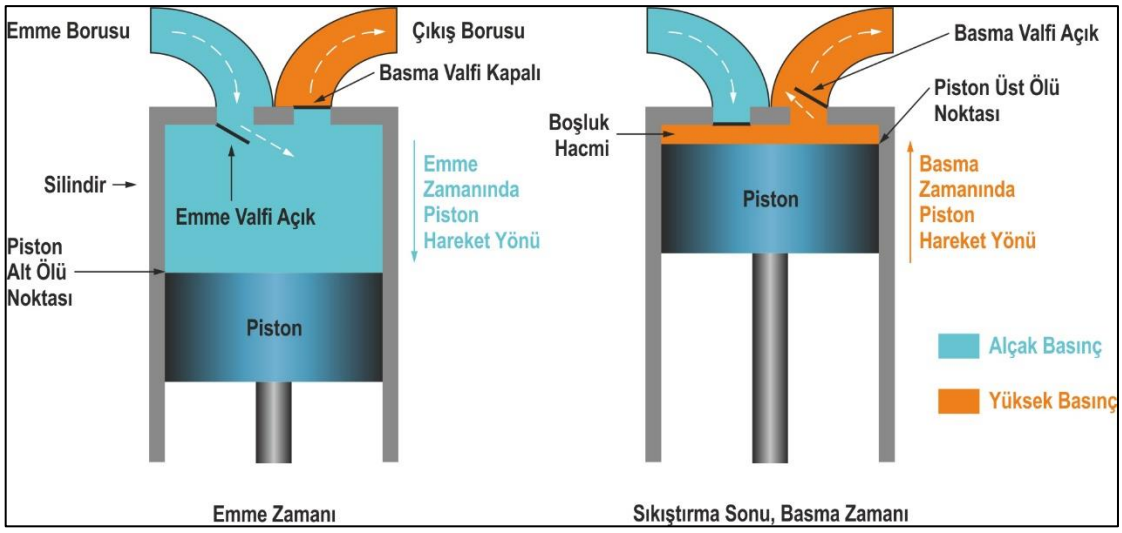
Pistonlu hava kompresörü çalışma prensibine göre, Şekil 1.6'da gösterilen P-V diyagramında kapalı eğri ile çevrili alan, silindirin bir döngüsünde yapılan işi ifade eder.

Üretim hatası, montaj hatası ve biyel kolunun termal deformasyonunu telafi etmek için silindirin her iki uç kısmından biraz boşluk bırakılır. Dolayısıyla piston gerçekte iki uç noktaya ulaşamaz ve egzoz zamanında bir miktar artık gaz içeride kalır. Bu gaz hacmi boşluk (ölü) hacim "V_0" olarak isimlendirilir. Piston ÜÖN'dan AÖN'ya doğru hareket ederken yüksek basınçlı gaz boşluk hacmine yayılmaya başlar, Şekil 1.6'daki grafikte gösterilen 3 noktasından 4 noktasına gerçekleşen bu durum "genişleme" olarak adlandırılır. Piston ÜÖN'dan AÖN'ya inmeye devam ederken üzerinde bir vakum etkisi meydana gelir. Bu basınç farkı emme valfi yay kuvvetini yener ve böylelikle atmosferik

basınç emiş valfi açılarak pistonun üzeri hava ile doldurulur. P-V diyagramında 4 noktasından 1 noktasına kadar gerçekleşen bu proses “emme” olarak adlandırılır. Piston AÖN’ya ulaştıktan sonra ÜÖN’ya doğru tekrar harekete başlar ve böylelikle içeri alınan gazın hacmi azaltılır. Bu işlem sırasında emme ve çıkış valfleri kapalıdır, bu yüzden basınç artar. 1’den 2’ye gerçekleşen bu durum “sıkıştırma” olarak adlandırılır. Ardından, silindir basıncı nominal egzoz odası basıncından (Pd) daha yüksek olduğunda, silindir basıncı 2' noktasına artana kadar piston ölü noktaya doğru hareket etmeye devam eder. Sonuç olarak bu basınç farkı egzoz valfinin yay kuvvetini yenmek için yeterlidir. Çıkış valfi açılır ve elde edilen basınçlı gaz sisteme gönderilir (Wang ve ark., 2013). Sıkışan hava kurutucudan geçerek tanka doldurulur. Her çevrimde, strok hacmi kadar hava kapalı hacme depolandığı için basınç artar. Kompresör emme ve sıkıştırma zamanı piston ve valf davranışı Şekil 1.7’de gösterilmiştir.

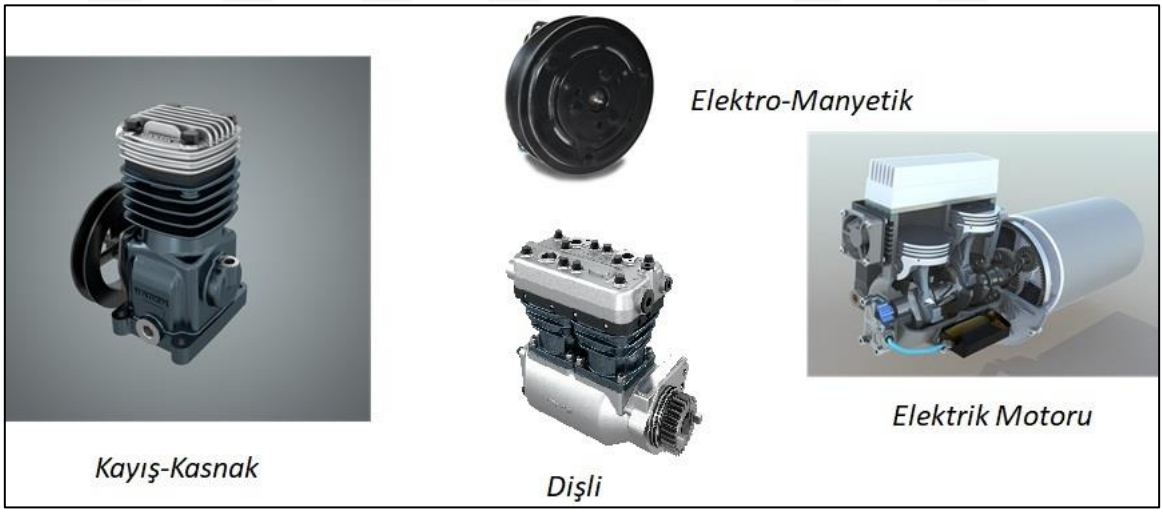


Şekil 1.6. Pistonlu kompresör P-V diyagramı (Wang ve ark., 2013)



Şekil 1.7. Kompresör çalışma prensibi (Anonim, 2015)

Konvansiyonel bir pistonlu kompresör, içten yanmalı bir motorla tahrik edilir. Dişli, kayış veya elektro manyetik kavrama mekanizması ile krank miline güç aktarılır. Ancak son yıllarda elektrik motoru ile tahrik üzerine çalışmalar başlatılmıştır, böylelikle güç bir kaplin aracılığıyla aktarılabilmektedir. Şekil 1.8'de kompresöre güç aktarma türleri gösterilmiştir.

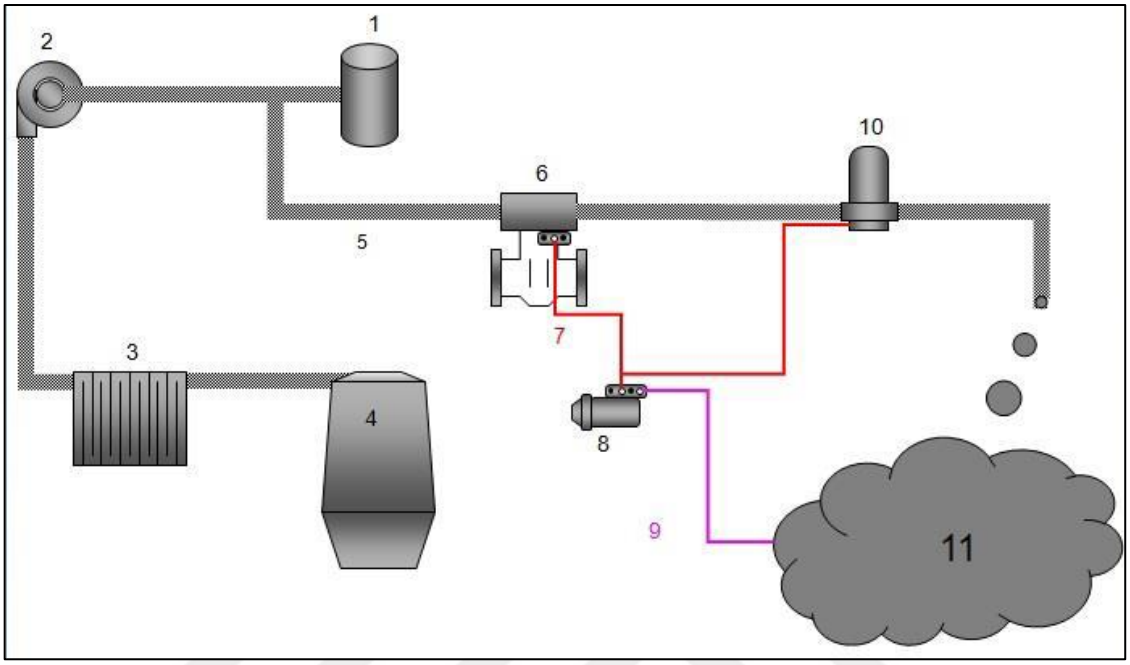


Şekil 1.8. Kompresör güç aktarma türleri

1.1.3. Araç üzeri konumu ve hacimsel verim

Konvansiyonel bir pistonlu kompresör, turboşarj teknolojisi yaygın olmadan önceki bir içten yanmalı motor gibi atmosferik hava ile beslenir. Filtrelenmiş ortam

havası aynı hattan içten yanmalı motor turboşarjına ve kompresöre servis edilir. Atmosferik hava beslemeli kompresör şeması Şekil 1.9. da gösterilmiştir. Kompresör ve motor hava hattı elemanları ise Çizelge 1.2. de verilmiştir.



Şekil 1.9. Doğal emişli kompresör modeli (Beem, 2013)

Çizelge 1.2. Kompresör ve motor hava hattı elemanları (Beem, 2013)

1	Hava Filtresi	7	Tahliye Hattı
2	Turboşarj	8	Düzenleyici Valf
3	Ara Soğutucu	9	Tank Algılıma Hattı
4	İçten Yanmalı Motor	10	Hava Kurutucu
5	Doğal Emiş – Aşırı Doldurulmuş Hava Emiş Hattı	11	Basınçlı Hava Sistemi Araç/Ekipmanları
6	Hava Kompresörü		

Hacimsel verim η_v ile gösterilir ve bir silindir odası hacminin bir çevrimde içine aldığı dolgu kütlesinin (L_{re}), normal şartlarda alabileceği dolgu kütlesine (L_0) oranıdır. Volümetrik verim kompresör verimini doğrudan etkileyen bir değerdir. Hacimsel verim Denklem 1.2'deki gibi, gazın kütlesi ise Denklem 1.3'te verilen ideal gaz denklemi ile hesaplanır (Çengel ve Boles, 1996). Burada P basıncı (Pa), V hacmi (m^3), m kütleyi (kg), R gaz sabitini (kj/kgK) ve T sıcaklığı (K) ifade etmektedir.

$$\eta_v = \frac{L_{re}}{L_0} \quad (1.2)$$

$$PV = mRT \quad (1.3)$$

Aşırı doldurmanın amacı, silindir içine giren havanın basıncını ve yoğunluğunu arttırmak sureti ile hacimsel verimi arttırmaktır (Potur, 2009). Araçlarda aşırı doldurma için kullanılan turboşarj teknolojisinin geçmişi içten yanmalı motorların geçmişi kadar eskilere dayanmaktadır. Turboşarj kompresörü çalışma prensibiyle motordan elde edilen gücü arttırmanın yanı sıra yakıt tüketimini azaltmayı da amaçlamaktadır. Turboşarja sahip ilk otomobiller ise Amerika Birleşik Devleti'nde 1962 yılında Chevrolet firması tarafından benzinli araçlar üzerinde piyasaya sürülmüştür. Dizel araçta ilk kullanımı ise 1978 yılında Mercedes-Benz firması tarafından gerçekleştirilmiştir. Günümüze baktığımızda ise neredeyse tüm dizel araçlarda turboşarj teknolojisinin entegre edildiği görülmektedir. Benzinli araçlarda ise önceki zamanlardaki gibi güç artırımından ziyade yakıt tasarrufu sağlamak amacıyla kullanımına devam edilmektedir (Dağlar, 2012).

1.2. İçten Yanmalı Motorlarda İndike Tork ve Fren Torku

Motor torku, iş zamanı boyunca piston üzerine gelen silindir basıncı tarafından krank mili üzerinde üretilir. Krank mili üzerinden elde edilen tork değeri "indike tork (indicated torque)" olarak adlandırılır ve T_i ile gösterilir.

İndike tork (T_i), herhangi bir kayıp olmadan yanma ile üretilen ideal torktur ve Denklem 1.4 ile hesaplanabilir:

$$T_i = T_b + T_{pump} + T_{fric} + T_{iner} \quad (1.4)$$

Burada T_b motor dinamometresinin fren torkunu, T_{pump} pompalama kaybından oluşan torku, T_{fric} sürtünme kaybı torkunu ve T_{iner} atalet momentini ifade etmektedir. Bu tork değerleri arasından, sadece motorun fren torku doğrudan dinamometre aracılığıyla ölçülür.

Krank milinin şanzıman tarafındaki motordan çıkış torku, sürtünme, pompalama kayıpları ve atalet momenti olarak kaybolur. Bu nedenle Ti'den farklıdır ve "fren torku (brake torque)" olarak adlandırılır, Tb ile gösterilir (Ribbens, 2017) (Alcan, 2019).

1.3. Emisyon

1.3.1. Dizel motor emisyonları ve emisyon değerleri standartlaştırması

Havanın kalitesi ve saflığı sadece çevre için değil aynı zamanda toplum sağlığı ve refahı için de oldukça önemlidir. Karayolu taşımacılığı son yıllarda motor ve egzoz sistemleri iyileştirmeleri ile oldukça yol katetmiş ve ilerlemeye devam ediyor olmasına rağmen, yolcu taşıtları ve ticari taşıtlar egzoz ve sera gazlarının önemli etken maddelerini havaya salmaya büyük bir oranda devam etmektedir (Krzyżanowski ve ark., 2005; Elżbieta ve ark., 2019).

Dizel motorlarında yanma sonucunda oluşan egzoz gazı içerisindeki kirleticilerin en önemlileri:

- Partikül madde (PM),
- Azotoksitler (NOx),
- Hidrokarbonlar (HC) ve
- Karbonmonoksittir (CO) (Kesin ve Sağiroğlu, 2010).

Bu gazlardan özellikle karbon monoksit, hidrokarbon, azot oksitli bileşikler sebep oldukları hava kirliliğine bağlı olarak akciğer kanseri gibi önemli hastalıklara yol açmaktadır (Lay-Ekuakille ve ark., 2002).

Alman Parlamentosu 1956 yılında Alman Mühendisler Topluluğu'na (Association of German Engineers) hava kirliliğinin önüne geçilmesi için genel bir kılavuz hazırlamasını talep etmiştir. Aynı dönemde Fransa da aynı konu üzerinde araştırmalara başlamıştır. 1961'de Fransa ve Almanya ortak hareket ederek bir çalışma başlatmışlardır ve Avrupa Birliği 1970'de emisyon limitlerini ilk defa Almanya ve Fransa'nın çalışmalarını baz alarak yayınlamıştır (Smith ve Davies, 1970).

1992 yılında ise Euro 1 Emisyon Standartı yayınlanmış ve Avrupa Birliği araç üreticilerinin bu standartta verilen sınır değerlerin aşılmayacak şekilde araç üretimi zorunlu kılınmıştır. Bu emisyon standartları binek, hafif, ağır olmak üzere araç tiplerine göre ve motorin, benzin, LPG, CNG vb. gibi araçların yakıt tiplerine göre sınıflandırılmıştır (Uçarol ve ark., 2009).

Motorların çevreye daha az atık bırakması yönündeki Avrupa'daki ilk adım Euro 1 standartının yürürlüğe girmesi ile atılmıştır. Türkiye, Avrupa Birliği yönetmeliklerine uyum sürecinde daha önce yürürlükte olan emisyon standarlarını Avrupa standartlarına göre yeniden düzenlemektedir. Bu çerçevede, Türkiye'de uygulanmış ve Euro 4 standartı

için uygulanmaya başlanmış dizel motor emisyon standartları araç tiplerine göre Çizelge 1.3'te verilmiştir (Keskin ve Sağıroğlu, 2010).

Çizelge 1.3. Dizel Motorlu Araçlar İçin Türkiye'deki Euro 4 Emisyon Standartları (Uçarol ve ark., 2009)

		Önceki Durum		Mevcut Durum	
		Standat	Tarih	Standat	Tarih
Dizel Motorlu Hafif Hizmet Taşıtları	Yeni Tip Onayı	< Euro 1	1.01.2001	Euro 4	1.01.2008
	Tüm Tip Onayları	< Euro 1	31.12.2002	Euro 4	1.01.2009
Ağır Dizel Araç	Yeni Tip Onayı	Euro 1	1.01.2001	Euro 4	1.01.2009
	Tüm Tip Onayları	Euro 1	31.12.2002	Euro 4	1.01.2009

1.3.2. Opaklık

Duman koyuluğu (Opaklık), Egzoz Gazı Emisyonu Kontrolü İle Benzin ve Motorin Kalitesi Yönetmeliği'ne göre tam şeffaf gaz için duman koyuluğu % 0, ışığı tamamen absorbe eden geçirgen olmayan gaz için ise % 100 olmak üzere, egzoz gazı içerisinde bulunan şeffaf olmayan parçacıkların gazdan geçen ışığın aydınlatma şiddetini, yani aydınlanan birim yüzey için ışık akışını azaltma yüzdesidir (Anonim, 2013).

ISO sandartlarına göre opaklık yüzde olarak "N" ile ve ışık geçirgenliği "τ" ile ifade edilir. Yüzde geçirgenlik, akışkana giren ışığın yüzde kaçının akışkandan çıktığını ifade etmektedir. Opaklık ve geçirgenlik arasındaki ilişki Denklem 1.5'te gösterilmiştir (Bodin, 2010; Megep, 2012).

$$N = 100 - \tau\ [\%] \tag{1.5}$$

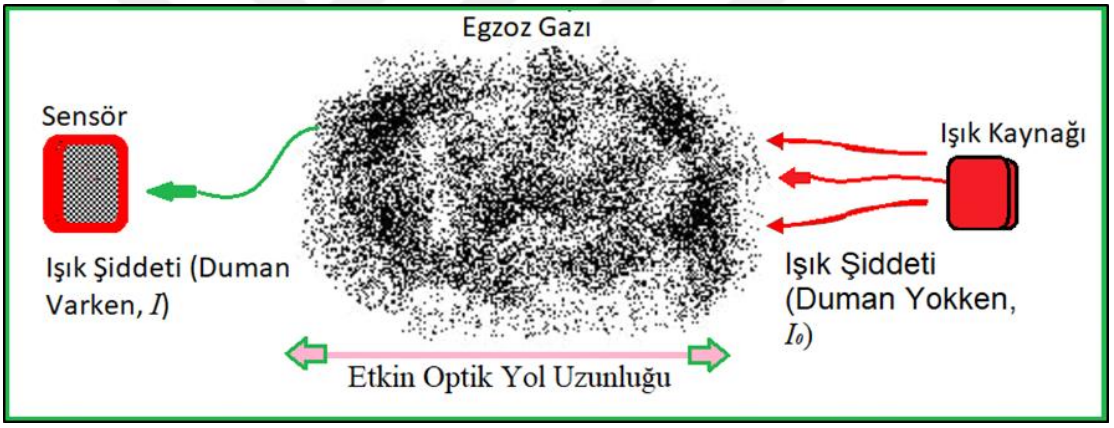
Başka bir optik özellik olan absorpsiyon (soğurma) katsayısı, ışığın absorbe edilebilirliğini göstermektedir. Bu katsayı "k" ile gösterilir ve birimi m^{-1} dir. Efektif boy ise "La" ile gösterilir ve ışığın akışkan içinden geçerken aldığı yol olarak tanımlanır. Beer-Lambert Yasası'na göre aralarındaki ilişki Denklem 1.6'da ifade edilmiştir (Bodin, 2010; Athanasios Mamakos, 2012; Malka ve Bidaj, 2015).

$$k = -\left(\frac{1}{La}\right)\left(\ln\left(\frac{\tau}{100}\right)\right) \tag{1.6}$$

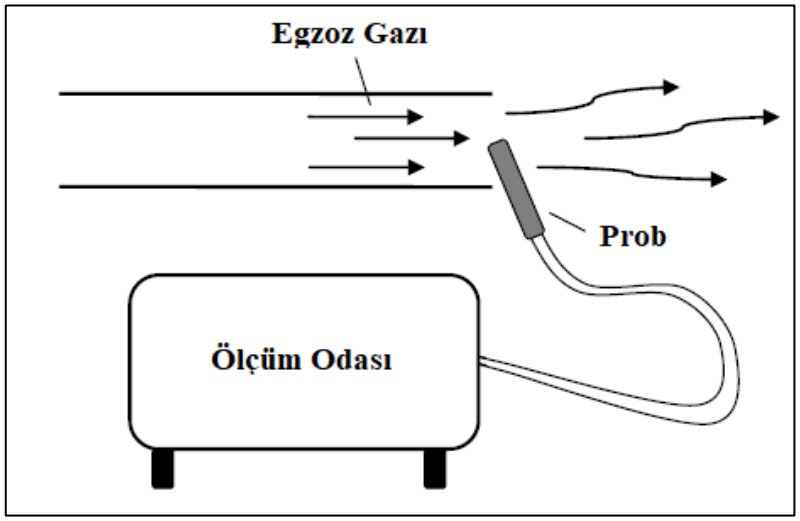
1.3.3. Opasimetre

Opasimetre, cihaz içerisine alınan egzoz gazının optik sensörler sayesinde opaklığını belirleyen bir emisyon ölçüm cihazıdır. Işık kaynağından çıkan belirli bir şiddetteki ışık, egzoz gazından geçtikten sonraki değişen bir ışık şiddeti ile sensöre ulaşır. Işık şiddetindeki bu fark sayesinde ölçüm cihazı optik hesap yapmaktadır (Bodin, 2010; Malka ve Bidaj, 2015). Bir opasimetrenin genel çalışma prensibi Şekil 1.10'da gösterilmiştir. "Io" henüz ölçüm başlamadan duman yokken alıcıda okunan ışık şiddeti ve "I" ölçüm boyunca duman varken ışık şiddeti olmak üzere opaklık Denklem 1.7'daki gibi ifade edilmektedir (Bodin, 2010; Megep, 2012).

$$N = 1 - \frac{I}{Io} \tag{1.7}$$



Şekil 1.10. Bir opasimetrenin temel prensibi (Malka ve Bidaj, 2015)



Şekil 1.11. Örnekleme Opasimetresi (Bodin, 2010)

Gelişmiş bir tür olan örnekleme opasimetresi, egzoz borusunun çıkışından bir prob ile gazı sürekli bir şekilde alarak cihazın kendi ölçüm odasına gönderir ve burada ölçüm yapar. Cihazın haznesinde sıcaklık ve basınç kontrol altında tutulabildiği için en hassas sonucu bu tip opasimetreler vermektedir (Bodin, 2010). Örnekleme opasimetresi Şekil 1.11'de şematize edilmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Kompresör Çalışmaları

Patil ve ark. çalışmalarında, metal tel örgü kullanarak yeni bir ısı transferi geliştirme tekniği ile sıkıştırma verimliliğini artırmak için sıvı pistonlu bir kompresörde deneysel olarak testlerini gerçekleştirmişlerdir. Alüminyum ve bakır malzemelerin metal tel örgü yapısı ve farklı tel çapları ile çeşitli sıkıştırma zamanları deneylerde dikkat edilen değişkenler olarak ele alınmıştır. Yapmış oldukları bu deneysel çalışma sonucunda, hem alüminyum hem de bakır tel ısı transferi hususunda sıcaklık azaltılmasında eşit derecede etkili olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca daha büyük tel çapına (daha küçük ağ yoğunluğu) sahip örgü yapısının, sıcaklık azaltımında daha küçük tel çapına (daha büyük ağ yoğunluğu) sahip örgü yapısına göre daha avantajlı olduğu sonucuna varılmıştır (Patil ve ark., 2020).

Engel ve Deschamps, bir ev tipi ısı pompası su ısıtıcısı için optimize edilmiş bir pistonlu kompresörün ve bir döner pistonlu kompresörün karşılaştırmalı analizini raporlamışlardır. Bu çalışma doğrultusunda, yaz mevsimi koşulları göz önüne alındığında, döner pistonlu kompresör ile çalışan ısı pompasının etkinlik katsayısının (coeffficient of performance – COP) doğrusal pistonlu kompresörün kullanımına göre % 12,3 daha yüksek olduğu bulunmuştur. Bununla birlikte döner pistonlu kompresör ile çalışan ısı pompası kış şartlarında daha verimli olduğu, ancak etkinlik katsayısının ise % 7,6 daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Gerçekleştirilen çalışmanın neticesinde, döner pistonlu kompresördeki aşırı ısınma ve kaçak kayıplarının yaz-kış çalışma durumlarında neredeyse aynı kaldığı, ancak pistonlu kompresörün emme ve basma sistemlerindeki kayıplarının kış ayları çalışma koşulları altında oldukça düşük olduğu sonucuna varılmıştır (Engel ve Deschamps, 2019).

Cabrera ve arkadaşları pistonlu kompresör arıza teşhisi konusunu çalışmalarında ele almışlardır. Yüksek dengesiz verilerle pistonlu makinelerin arıza teşhisi için GAN modellerini seçmenin yeni bir yöntemi önerilmiştir. Yaklaşımlarında ilk olarak makineye ait titreşim sinyallerini dalgacık paket dönüşüm tabanlı özellik çıkarma aşaması kullanarak işlemişlerdir. Daha sonra, veri kümesini yapay olarak dengelemek için farklı bir model seçimi ile geliştirilmiş üretken modeller elde edilmiştir. Son olarak, rastgele orman sınıflandırıcısı tanıma görevi için oluşturulmuştur. Bu yaklaşım, literatürde bildirilmiş olan diğer yaklaşımlara göre veri dengesizliğinin % 99'u ile önemli bir

iyileşme sağlanacağını ve dengeli bir veri seti ile elde edilene benzer bir performans gösterileceğini sunmaktadır (Cabrera ve ark., 2019) .

Şengül yüksek lisans çalışmasında, kademeli üç pistonlu bir kompresör üzerinde valf çalışma performansı etkileyen kriterleri belirleyip, giriş-çıkış valf yay katsayılarını her bir kademede kompresör güç, tork ve silindir içi basıncının krank açısına bağlı değişimini ölçmüştür. Valflerin, her piston kademesinde silindir içi basınç değişimleri gözlenmiş ve kompresör performansı tasarım kriterleri iyileştirilerek arttırılmıştır. Sonuç olarak, yay katsayısı fazla olan emme valflerinin sıkıştırma zamanında ÜÖN'ya yakın konumunda silindir iç basınç değerlerinin daha yüksek olduğu, yay katsayısı azaltıldığında silindir iç basıncının artmış olduğu, buna bağlı olarak tork değerinde düşüş olacağından güç tüketiminin azalacağı gözlemlenmiştir (Şengül, 2019).

Nikam ve Acharya çalışmalarında, genel olarak yağlayıcının içerdiği nanoparçacıkların sürtünmeyi azaltma ve aşınmaya karşı esas etken olacağını öne sürmüşlerdir. Dolayısıyla mevcut çalışmalarında CuO ve TiO_2 iki nanoparçacığı yağlama yağı katkı maddesi olarak kullanmış, kompresör performansı ve özellikleri üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Pistonlu hava kompresöründeki meydana gelen güç kaybının önemli bir kısmı, mekanik bileşenlerin sürtünme yüzeyleri arasındaki istenmeyen sürtünmeden kaynaklandığını ve bileşenlerin toplam sürtünme kayıplarına etkisinin % 32 ile piston mekanizması olduğunu ifade etmişlerdir. Tükenme tehlikesi ile karşı karşıya olan fosil yakıtlar göz önüne alındığında düşük sürtünmeli kompresörlerin geliştirilmesi gerekliliği vurgulanmıştır. Yapmış oldukları bu çalışma ile yağlama yağına nano partiküllerin eklenmesinin, motorun performans parametreleri üzerinde hem iyi hem de kötü etkiler gösterdiği sonucuna ulaşmışlardır. Bununla birlikte yağlama yağındaki CuO nanoparçacıklarının, tüm basınç oranındaki TiO_2 ile karşılaştırıldığında sürtünme gücünde daha önemli bir azalışa sahip olduğu görülmüştür (Nikam ve Acharya, 2018).

J. Townsend ve arkadaşı Badar, kritik dönel elemanlı makinelerde durum izlemenin santrifüj kompresör operatörleri tarafından yaygın olarak kabul edildiğini, ancak eksenel olarak ileri-geri hareket eden (pistonlu) makinelerin durum izlemesinin aynı derecede kabul görmediğini savunmaktadırlar. Bu yüzden yaptıkları makale çalışmasında, sürekli basınç izlemenin elektrik tahrikli kompresörler üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Araştırmalarında sürekli yağ izlemenin, gelişmiş yağ geri kazanımı için CO_2 taşıyan on dört kompresörden oluşan bir filo üzerindeki etkisini 3 yıllık işletme verileri üzerinden analiz etmişlerdir. Bu çalışmanın amacı, CO_2 servis eden pistonlu kompresörler üzerinde sürekli basınç izlemenin güvenilirliğini, verimliliğini ve

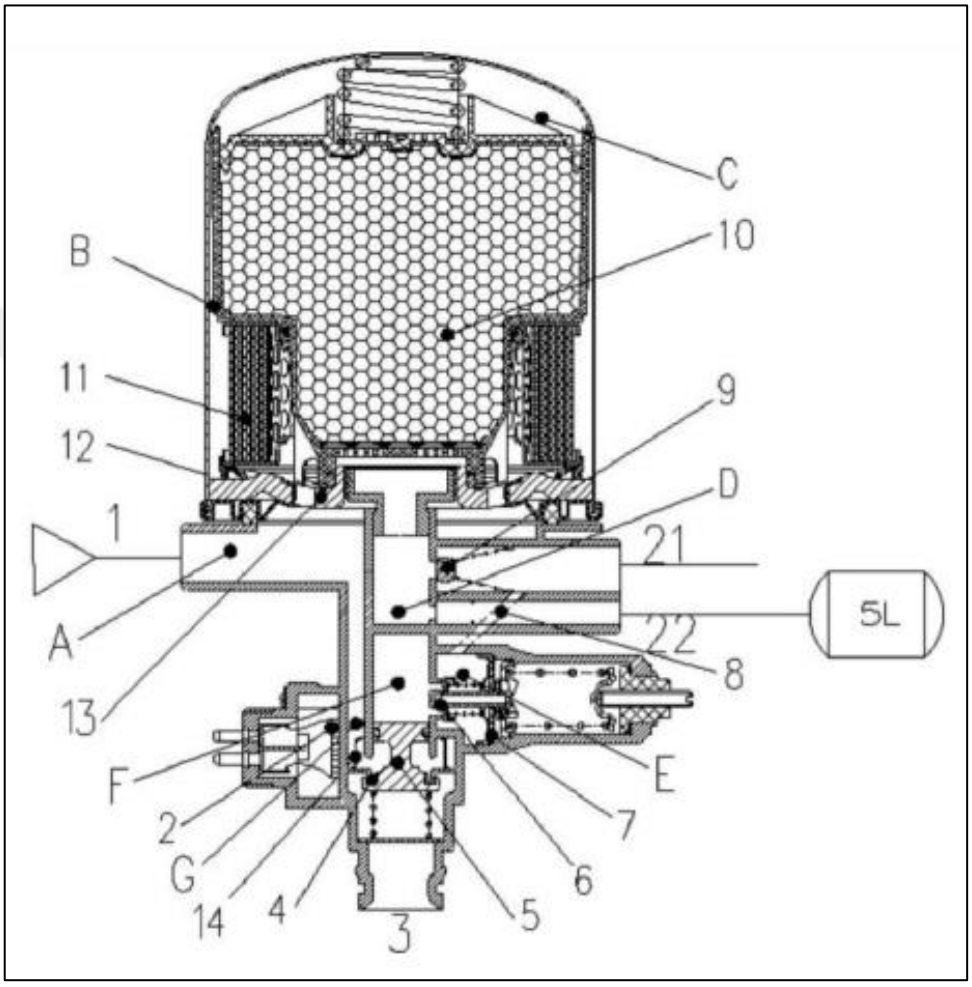
mühendislik ekonomisini araştırmaktır. Yapılan bu çalışmanın sonuçları, sürekli basınç izleme teknolojisinin kompresör filosunun verimliliği üzerinde güçlü bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Townsend'in 2017 yılında yapmış olduğu alternatif bir çalışmada, sıcaklığa dayalı bir durum izleme sisteminin etkinliğini belirlemek için aynı kompresör filosu üzerinde araştırmalar yapmış ancak sıcaklık sisteminin üç yıl içinde iç karlılık oranının (IRR) % 21 ve % 2,08 yıl geri ödeme süresi olacağına değinmiştir. Bu çalışmasında ise, basınca dayalı bir durum izleme sisteminin üç yıllık operasyon sürecinde % 765 IRR ve sistem maliyetinin % 0,13 yılda kazanılacağı gibi üstün ekonomik fayda sağladığını göstermiştir (Townsend ve Badar, 2018).

Sztyber ve ark. çalışmalarında, endüstriyel döner pistonlu kompresörlerin arıza teşhisi amacıyla derin öğrenme tekniklerinin uygulanabilirliği üzerine yapılan çalışmaların sonuçlarını sunmaktadırlar. Seçilen örnek arızalar için sadece güç kaynağı voltajı ve dalgalanmasının düşmesi verileri kullanılmıştır. Çalışmanın ana kısmı, sınıflandırıcıların uygulanmasının bir tanımını ve gerçek ölçüm verileri üzerinde yapılan testlerinin sonuçlarını içermektedir. Deneyler sırasında kaydedilen veriler, hem hatasız durumu hem de seçilen arızaları olan durumu temsil etmektedir. Test verilerinin bir dizi görev arasında veri akışı ve türevlenebilir programlama için kullanılan bir tensorFlow kütüphanesinin kompresör arıza teşhisine uygulanabilir olabileceğini, ancak yaklaşımlarının standart derin öğrenme teknikleriyle sınırlı olamayacağını göstermektedirler (Sztyber ve ark., 2018).

Liu ve arkadaşları yaptıkları çalışmada; mevcut kompresör hava kurutucularının düşük kurutma verimliliği, yüksek maliyeti, karmaşık yapısı ve zor montajlanması gibi birçok dezavantajı yeni tasarladıkları Şekil 2.1'de gösterilen çok fonksiyonlu hava kurutucularda en aza indirmeyi hedeflemişlerdir.

Çok fonksiyonlu hava kurutucu takılı olan araç çalışmaya başlarken; motor, hava deposuna hava sağlamak için kompresörü çalıştırmaktadır. İlk olarak, kompresör tarafından üretilen basınçlı hava, kurutucuya besleme portu 1 tarafından girerken, bu arada, sıkıştırılmış havanın yoğuşma suyu, egzoz pistonu 5 üzerine düşmektedir. Dokunmamış kumaştan imal edilen yağ filtresine (11) geçen hava, kartuş B'nin (12) odasına (C) girmektedir. Daha sonra havanın içinde bulunan nemi moleküler elek (10) absorbe etmektedir. Son olarak çek valf açılarak hava 21 ve 22 numaralı çıkış portundan çıkmaktadır. Çalışma konusu kompresör hava kurutucu elemanları Çizelge 1.1'de verilmiştir.

Üst kapağı, astar ağını ve alt kapağı değiştirmek için sabit taban kullanılmıştır. Böylece parçaların ve bileşenlerin kurulum maliyeti ve organizasyon maliyeti düşürülmüştür. Montaj verimliliğini arttırmak için sabit taban plastikten yapılmıştır. Yağ emilimi için kullanılan dokuma olmayan kumaş, doğrudan sabit taban üzerine sarılmaktadır, bu da montaj maliyetini düşürmektedir ve servis ömrünü arttırmaktadır.



Şekil 2.1. Çok fonksiyonlu hava kurutucu bileşenleri (Liu ve ark., 2018)

Çok fonksiyonlu hava kurutucu; yağ filtresi tertibatını, yağ filtresi tertibatı ile basınçlı hava arasındaki temas alanını daha fazla büyütebilen ve basınçlı hava içerisinde bulunan yağı daha iyi filtreleyebilen dairesel silindirin şekline getirmektedir. Dokuma olmayan kumaştan üretilen yağ filtresi, molelüler boyuttaki elek ve çıkış tarafındaki yedi filtreyle beraber basınçlı hava üç filtreden geçecek ve daha saf bir halde olacaktır. Bu sayede araç boru hattındaki diğer parçalar için bir koruma sağlamaktadır. Çok fonksiyonlu hava kurutucu, araçtaki fren sistemine yayılan boru hattı suyunu önleyebilmekte, sistemdeki önemli bileşenleri koruyabilmekte ve fren sisteminin ömrünü

uzatabilmektedir. Bu ürünün geliştirilmesinden sonra araç, yağ ve kirlilik nedeniyle oluşan erken servis sürelerinden kaçınabilmektedir (Liu ve ark., 2018).

Çizelge 2.1. Çok fonksiyonlu hava kurutucu elemanları

Numara	Parça adı	Numara (Harf)	Parça adı
1	Hava Giriş Portu	9	Çek Valf
2	Isıtıcı	10	Moleküler Elek
3	Egzoz Portu	11	Yağ Filtresi
4	Egzoz Valfi	12	Kartuş
5	Egzoz Pistonu	13	Bez
6	Enjektör Pimi	14	Filtre Eleği
7	Segman	21, 22	Çıkış Portları
8	Geri Akış Deliği	A,B,C,D,E,F,G	Odalar

Gao ve ark. makalelerinde, büyük pistonlu kompresörlerin Çinli üretim işletmeleri için bir kalite değerlendirme sisteminin oluşturulması, üretim kalitesinin doğru değerlendirilmesi ve kapsamlı bir kalite değerlendirme sistemi oluşturmak için hiyerarşik analitik bir süreç üzerine çalımışlardır. Uygun ve etkili bir imalat kalitesi değerlendirme sistemi sayesinde, sadece imalat işletmelerinin üretim kalitesini geliştirmekle kalmayacağını, aynı zamanda kullanıcılara ürün seçimi kolaylığı da sağlanabileceği ifade edilmiştir. Büyük pistonlu kompresörlerin karakteristik parametreleri Çizelge 2.2'de listelenmiştir. Ürün kalitesi, üretim sürecindeki birçok değişkenden etkilenebileceği ve 5M1E (ingilizce Man, Machine, Material, Method, Measurement ve Environment kelimelerinin baş harfleri) yöntemine göre, üretim kalitesindeki dalgalanmanın altı ana nedeni olduğundan bahsetmişlerdir. Bunlar;

- İnsan,
- Makine,
- Malzeme,
- Yöntem,
- Ölçüm ve
- Çevre.

Çalışmada geliştirilen değerlendirme sistemi model görüntü kontrolcüsü (MVC) tasarım modeline sahip standart bir çerçeve kullanılarak uyarlanmıştır. Değerlendirme

sistemi örnek verilerle test edilmiştir. Büyük pistonlu kompresörlerin üretim kalitesi farklı işletmeler için önemli ölçüde ayırt edilmiştir. Sistem ayrıca, değerlendirme sonuçlarına dayanarak belirli üreticiler için başarıyla bireysel önerilerde bulunmuştur (Gao ve ark., 2017).

Çizelge 2.2. Büyük pistonlu kompresörlerin karakteristiği (Gao ve ark., 2017)

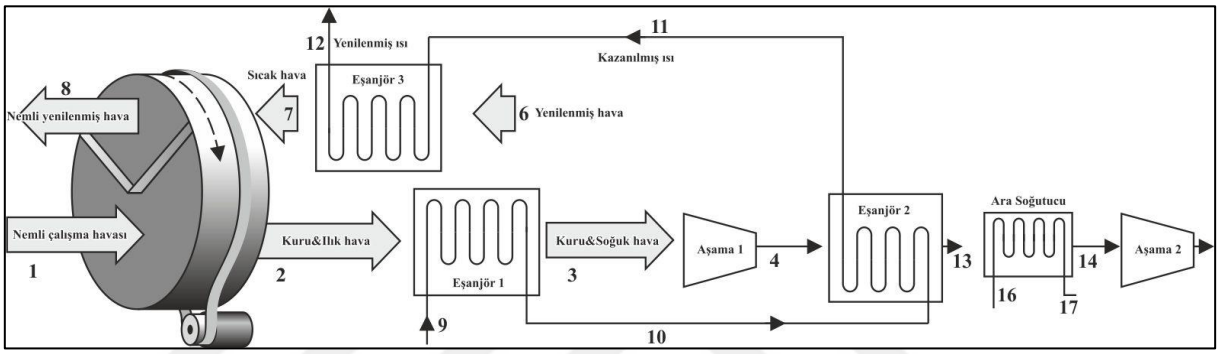
Parametreler	**Sayısal Değer**	**Birim**
Basma Kapasitesi	≥30	m^3/dk
Mil Gücü	≥250	kW
Dönüş Hızı	250~500	d/dk
Piston Kolu Yükü	≥80	kN

A. Shinde ve Jadhav, kompresör sistemi ile ilgili en büyük sorunlardan birisi olan basınç dalgalanması üzerine çalışmışlardır. Enerji tüketimini azaltmak, güvenli çalışma elde etmek ve birden çok kompresörün durumunu izlemek için dokunmatik ekranlı bir PLC kullanarak gereksiz yere çalışan kompresörü (talep edilen basınç miktarı etkilenmeden) kapatıp, sonuç olarak yüksek sıcaklıklara karşı hava kompresörünü yüksek oranda korumayı sağlamışlardır (Shinde ve Jadhav, 2017).

Goodarzia ve arkadaşları basınçlı hava üretim sistemlerinde taşınan nemin, yüksek kalite hava gerektiren, kullanılan basınçlı havanın hassas aygıtlara zarar verebileceği ve borularda teknik sorunlar doğurabileceğinden dolayı, basınçlı havanın olabildiğince nemsiz tutulması gerekliliğini ve çökelmeyi önlemek için kurutulmasına ihtiyaç olduğunu belirtmişlerdir. Yaptıkları çalışmada, kompresör giriş havasını kurutmak için silika jel nem alıcı gibi kurutucu maddelerle emprenye edilmiş katı kurutucu çark teknolojisi kullanmışlardır. Sıkıştırma esnasında doğan ısı, giriş havasındaki nemi uzaklaştırmak için kurutucu maddeleri yeniden etkinleştiren ekonomik bir ısı kaynağı olarak kullanılabilecektir. Bu yüzden de katı kurutucu çark ile giriş havasını kurutmak için bir kompresör aynı bir düzenek üzerinde birleştirilmiştir. Bu yenilikçi sistem, kurutucu tekerleği yeniden etkinleştirmek için kompresörün ilk aşamasından gelen sıkıştırma ısısını kullanmış, böylelikle ne kadar enerji tasarrufu olacağı yapılan enerji analiz denklemleri ile elde edilmiştir.

Bu tarz kurutucular, sürekli olarak düşük çiğ noktalarında (genel olarak -40 °F) daha fazla hava iletebilmektedir. Basınçlı hava donma koşullarına maruz kaldığında bu teknoloji iyi bir seçim olarak görülmüştür. Öte yandan, hava kompresörleri giriş

enerjisinin büyük miktarının ısıya dönüştürülmüş olması, bu nedenle sıkıştırılan hava kompresörden ayrılırken, diğer uygulamalarda kullanılmak üzere geri kazanılabilen ısı taşınabileceği görülmüştür. Şekil 2.2'de gösterildiği gibi, katı bir kurutucu çark bir hava kompresörü ile birleştirilmiş ve kurutucu çarkı yenilemek için kompresörün birinci ve ikinci aşamaları arasında toplanan sıkıştırma ısısı uygulanmıştır. Bu sistem sayesinde, giriş havası atık ısı ile kurutulmuş ve daha sonra birinci aşamadan alınan ısı nedeniyle, bir kurutucu tekerleğe bağlı olmayan hava sıkıştırma sistemlerinde, sıkıştırma ısısını gidermek için aşamalar arasına hava soğutmalı veya su soğutmalı ara soğutucu monte edilmiştir (Goodarzia ve ark., 2017).

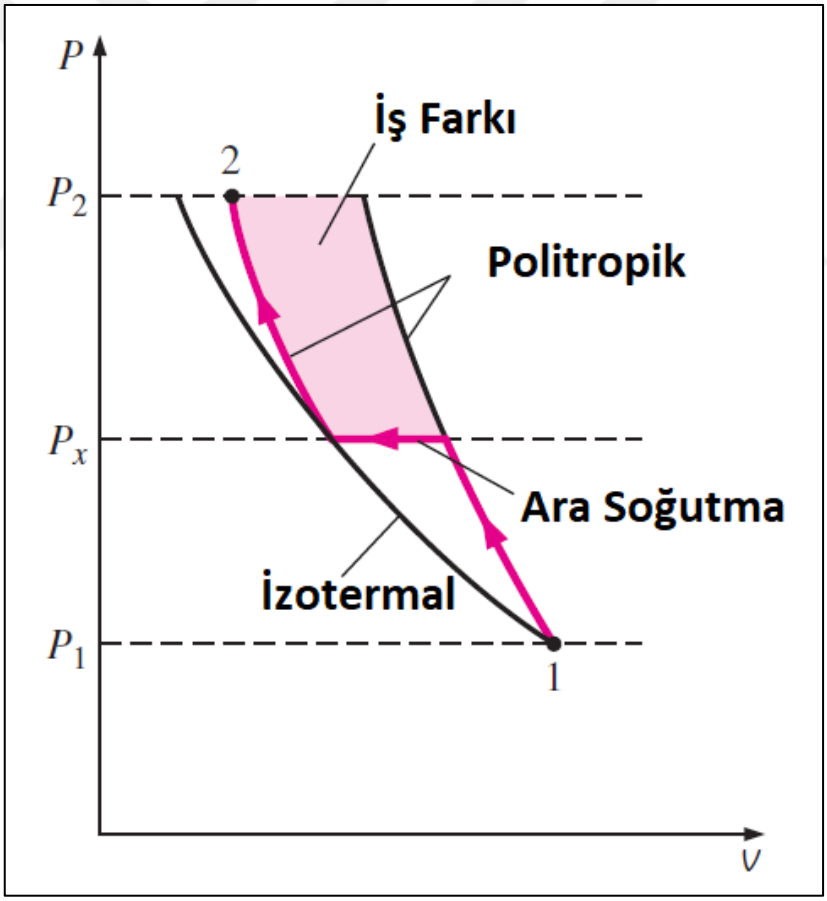


Şekil 2.2. Kurutucu kasnak ile birleştirilmiş hava kompresörü (Goodarzia ve ark., 2017)

Zhang ve arkadaşları, mecvut hava kurutucuların basıncın yanlış kontrolü, moleküler eleklerin rejenerasyon kontrolü için belirlenmiş bekleme sürelerinin aşılması gibi sadece mekanik kontrol olmasından kaynaklananan sorunlardan dolayı arızalandığını ileri sürmüşlerdir. Yaptıkları çalışmada bu sorunların önüne geçebilmek için hem elektrik hem de mekanik kotrollü yeni bir hava kurutucu tasarlamışlardır. Araç çalışmaya başlağında, kompresör motordan tahrik edilerek çalıştırılmış ve nihayetinde basınçlı hava üretmeye başlamış olacaktır. Ardından basınçlı hava mekanik ve elektrik kontrolcü içeren hava kurutucuya geçmiş olacaktır. Bu fonksiyon sayesinde kompresör tahrik sistemini, araç hava fren sisteminin ve diğer bileşenlerinin güvenilirliğini arttırabilmişlerdir. Bu çalışmadaki asıl amaçları; sadece elektrik kontrollü veya sadece mekanik kontrolllü hava kurutucu tasarlamak yerine, ikisini de tek seferde tasarlayabilmektir. Çünkü elektrik kontrollü kurutucunun içyapısı da arızalanabilmekte ve elektriksel güç kaynağı olmadığında basınç kontrol fonksiyonu ve moleküler elek fonksiyonunun yenilenmemesine neden oluşturabilmektedir. Bunların sonucunda, aracın boru hattının çatlamasına, fren sisteminde ve diğer bileşenlerinin arızalanmasına sebebiyet

verebileceğine dikkat çekilmiştir. Elektrikli kontrol sistemi, mekanik kontrolün yanlış olduğu durumlarda basıncın kontrolünü ve moleküler elek rejenerasyonunu gerçekleştirmeye çalışacağından dolayı mekanik kontrol sistemi, elektrikli kontrol sistemi olmadığında sistemi koruyabileceği ve araç hava fren sisteminin güvenilirliğini artırabileceği sonucuna ulaşılmıştır (Zhang ve ark., 2017).

Pişirici, pistonlu kompresör tasarımcılarının esas çalışma konularından önemli ikilisinin titreşim ve termodinamik hesaplamalar olduğuna dikkat çekmiştir. Özellikle çalışma konusu olan kademeli kompresörlerde çalışmanın daha kararlı olması için güç dengesinin eşit dağıtılması gerekliliğinin önemini dile getirmiştir. Kompresörlerde yapılan işin azaltılması için birkaç kademede sıkıştırma işlemi Şekil 2.3'te grafikte gösterildiği gibi gerçekleştirilebileceğini ve oluşan pozitif iş farkının etkilerine değinmiştir.



Şekil 2.3. Kademeli kompresörlerde sıkıştırma (Pişirici, 2017)

Yapmış olduğu deneysel çalışma ışığında, kademeli olarak sıkıştırma işlemi yapılan kompresörlerde, kademe sayısı arttıkça enerji tüketim miktarı azalmış olduğu

alınan veriler sayesinde grafiklerle gösterilmiştir. Bunun yanı sıra aynı şekilde kademe sayısındaki artış, enerji tüketim miktarının azalmasında da azalma eğiliminde olmuştur. Bu yüzden kedemeli kompresör tercihinde 8-10 bar civarı basınç değerleri için tek kademe ile, 30-35 bar için çift kademe ile, 80-100 bar için üç kademede sıkıştırma gerçekleştirilebileceğinden bahsedilmiştir.

Pişirici yüksek lisans tezinde, krank milinin açısal hızına bağlı olarak motor tork eğrisi, krank mili açısına bağlı olarak kompresörün ihtiyaç duyduğu tork değeri için modelleme yapıp, makinenin hareket denklemini elde etmiştir. Üç kademeli bir kompresör ile kurmuş olduğu test düzeneği ile modellerin doğrulamasını yapmıştır. Çalışmasının sonucunda, makinenin tireşim ve gürültü performansını dinamik yüklerin düşürülmesi, optimum karşı ağırlık sayesinde azaltılmış olduğunu, yatak ömrünün ise yataklara düşen yükler azaltılarak uzamış olduğunu göstermiştir (Pişirici, 2017).

Aksoy ve arkadaşları, çalışmalarında havalı fren kompresör silindir kafası üretiminde kullanılan aynı kimyasal bileşime sahip fakat farklı morfolojide iki farklı AlSi12 alaşımının aşınma dirençlerini incelemişlerdir. Yüksek basınçlı döküm yöntemiyle üretilmiş ürünler abrasif aşınmaya maruz bırakılmıştır. Aşınma deneyleri, kuvvet kontrollü test cihazında 600 mesh SiC zımpara, 10, 20 ve 30 N yükleri altında 300 rpm dönme hızında yapılmıştır. Abrasif aşınma test sonuçlarına göre, küresel dendritlere sahip alaşımın aşınma davranışının daha iyi olduğu sonucunu ortaya çıkarmışlardır (Aksoy ve ark., 2017).

Tretsiak ve arkadaşları, seri hibrid otobüs yapısının, iki enerji kaynağına (daha fazla serbestlik derecesi) ve birden fazla enerji depolama birimine (pil, araç pnömatik sisteminin hava tankları) sahip olmasından dolayı, bu tür toplu taşıma araçlarının genel enerji verimliliğini ve sürüş performansını arttırmak için çeşitli sistemlere yönelik öngörülü kontrol algoritması geliştirmişlerdir. Enerji tasarruflu araç konseptlerinin önemli nedenlerinden birinin düşük nakliye masrafları olduğuna dikkat çekilmiştir. Buna göre kentsel toplu taşıma için çevre dostu ve emisyon içermeyen araçların tasarımı ve üretimi önemli bir araştırma ve teknolojik görev olarak benimsenmiştir. Çalışmalarında, şu anda kullanılan araç hava kompresörlerinin, aracın sürüş durumu ve bir rotadaki konumu, trafik durumu, pil durumu ve yolcu sayısı vb. bilgiler olmaksızın kontrol ünitesi ile yönetilebildiğini göstermektedir. Yazarlar, ilk olarak seri kompresördeki hava kompresörü için işletiminin enerji verimliliğini artırmak amacıyla kapalı döngü kontrol stratejisinin geliştirilmesine odaklanmaktadırlar. Ayrıca, makalede halihazırda

uygulanmış olan ağ teknolojileri de dahil olmak üzere araçların genel verimliliğinin nasıl artırılacağı tartışılmaktadır (Tretsiak ve ark., 2016).

B. Kaynak tezinde, otobüs üzerinde bulunan farklı basınç değerlerine sahip pnömatik hatların basınç kayıplarını tespit eden bir ölçüm ve test cihazı geliştirmiş, bilgisayar kontrollü bir ara yüz üzerinden sistem kaçak ve performansını belgeleyen bir cihazın tasarımı ve üretimini gerçekleştirmiştir. Program sayesinde sistemin benzetme yapabiliyor olmasından dolayı, karşılaşılan sorunların neler olabileceği konusunda bilgi vermekte ve olası çözüm yollarının karar verilmesinde yardımcı olmaktadır. Yapmış olduğu bu çalışmanın neticesinde üretilen ölçüm cihazı ile hassas ölçüm, kapsamlı test, daha kısa test süresi, arşivleme ve testi yapan kişiden bağımsız olarak ölçüm sonuçları elde edilmesine çözüm getirilmiştir (Kaynak, 2016).

Pichler ve ekibi çalışmalarında, değişen yük koşulları altında çatlak veya kırık pozitif deplasmanlı kompresör valflerini tespit etmek için yeni bir yaklaşım sunmaktadırlar. Çalışmanın ana fikri, titreşim ölçüm verilerinin zaman frekansı temsilinin, hata durumuna bağlı olarak tipik şekilleri göstermesidir. Sorun ise bu modellerin güvenilir bir şekilde tespit edilip edilemeyeceğidir. Algılama görevi için, iki boyutlu oto korelasyon yoluyla bir sapma yapılmıştır. Otomatik-korelasyon desenleri vurgular ve gürültü etkilerini azaltmış, böylelikle uygun özelliklerin tanımlanması kolaylaştırılmıştır. Özellik çıkarıldıktan sonra sınıflandırma, lojistik regresyon ve destek vektör makineleri kullanılarak yapılmıştır. Yöntemin performans doğrulanması ise gerçek ölçüm verilerinin analiz edilmesi ile gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın sonucunda, farklı kompresör yükleri için yanlış alarm oranlarını çok düşük bir seviyede tutulduğu, çok yüksek bir algılama doğruluğunu gösteren yükten bağımsız bir yöntem elde edilmiştir. Bu önerilen yaklaşım, bilindiği kadarıyla değişen yük koşullarını idare edebilen pistonlu kompresör valf arıza tespiti için çalışılan ilk otomatik yöntemdir (Pichler ve ark., 2016).

Ravur ve Subba, kompresör verimliliğini etkileyen hususları kompresör konumu, giriş havası sıcaklığı, hava girişinin filtrelenme durumu, giriş havasının kuruluk oranı, yükseklik, soğutma suyu çevrimi ve varsa önceki ve sonraki ara soğutucular olarak maddelendirip, açıklamıştır. Bu maddelerden dolayı kompresör verimliliğindeki düşüş güç tüketiminde artışa sebep olacaktır. Ravur ve Subba, ara soğutucunun en iyi soğutma suyu sıcaklığı azaltma yöntemi olarak tayin etmiş ve çalışmalarında, soğutucu suyun sıcaklığını değiştirerek ve farklı soğutucu tiplerini farklı oranlarda soğutma suyuna karıştırarak araştırmalarını yapmışlardır. Çalışmalar sonucunda, ara soğutma sıvısında su

ile karıştırılan etilen glikolün diğerlerine kıyasla daha iyi bir hacimsel verim sağladığı sunulmuştur (Ravur ve Subba, 2015).

Verma ve ark. çalışmalarında, pistonlu hava kompresörleri için arıza teşhis modelleri geliştirmeye yönelik bir yaklaşım sunmuşlardır. Bir arızasız koşullarda çalışma ve yedi arıza çeşiti için toplamda sekiz durum için hava kompresöründe gerçek zamanlı arıza teşhis sistemi geliştirmişlerdir. Tüm deneysel prosedür ile birlikte veri toplama, hassas konum analizi, sinyal ön işleme, özellik çıkarma, özellik seçimi, sınıflandırma ve tüm model geliştirme adımları sunulmuştur. Sunulmuş olunan bu yaklaşım, hava kompresörü üzerinde başarıyla uygulanmış ve arızalar tespit edilebilmiştir. Arıza en hassas yere yerleştirilen sensörden gelen akustik sinyallerin analiz edilmesiyle tanınmıştır. Deney sırasında yapılan analiz sayesinde, önerilen modelin birkaç eğitim örneğiyle iyi bir performans gösterebileceği sonucuna varılmıştır (Verma ve ark., 2015).

Pistonlu kompresörlerin verimliliği, büyük ölçüde emme ve basma hattında akışı etkileyen valf özelliklerine bağlı olduğundan, Tuhovcak ve ark. çalışmalarında, pistonlu kompresörler için valf karakteristiklerini oluşturan bir döngü süresince enerji dengesi, akış ve silindirden ısı kaybına dayalı sayısal bir model oluşturmuşlardır. Valf tanımı için ise yay sönümleme kütle (spring-damping-mass) modeli kullanmışlardır. Bu model çalışması sayesinde, temel kompresör parametrelerinin analiz edebileceği, silindirdeki valf davranışı, basınç geçmişi ve ısı transferinin de ayriyetten değerlendirilebileceği sonucuna ulaşılmıştır. Ancak deneysel verilerin eksik olması nedeniyle modelin gerçek bir kompresör için doğrulaması yapılamamıştır (Tuhovcak ve ark., 2015).

Zanghelini ve ark. ürün hayat döngüsü aşamalarından biri ve sonuncusu olan kullanım ömrü sonu (EoL – End of Life) stratejisini belirlemenin kolay olmamasından dolayı makalelerinde, üç farklı senaryo atık yönetimi alternatifinin karşılaştırılmasına odaklanarak, Brezilya'daki bir hava kompresörünün tasarımdan, ürün ömrünün sonuna kadar çevresel etkilerini değerlendirmeyi amaçlamışlardır. Vaka çalışması, ürün sisteminin etkin noktasının uzun kullanım ömrü boyunca yüksek enerji talebi nedeniyle kullanım aşaması süresince meydana geldiğini göstermektedir. Tüm senaryolar için "Yeniden Üretim"in en iyi çevresel performansa sahip olduğu ve bunun "Geri Dönüşüm" ve "Düzenli Depolama" ile gerçekleştirdiği tespit edilmiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda, yeniden üretim, azaltılmış hammadde tüketimi, üretim süreçleri ve ürünlerin çevresel kazanımları ile "Çevresel Etki", "Düzenli Depolama"ya kıyasla % 40'tan fazla azaltılabilmiştir (Zanghelini ve ark., 2014).

Hareland ve Sandvik ekibi, darbeye maruz kalmakta olan yaprak valfi üzerinde, esas olarak darbe yorgunluğu mekanizmaları üzerine temel bir araştırma ve stres konsantrasyonunun oluşumunda sonlu elemanlar yöntemi (FEM) simülasyonu temeline dayanan yüksek verime sahip kompresörler için; kanatçık valfi malzemesinin seçimi üzerine bir tartışma sunmaktadırlar. Darbe yorulma başlangıcının ilk darbe geriliminden, yorulma çatlağı ilerlemesinin ise dalgalı bir gerilme yayılımından kaynaklanmakta olduğu belirtilmiştir. Bu, iki stres dalgasının aynı faza sahip olduğu stres konsantrasyon noktalarında ikincil çatlakların oluşmasına sebebiyet verir. Gerçekleştirmiş oldukları çalışma sonucunda, yüksek verimli kompresörler için valf malzemelerinin, başlangıç gerilimi için hem yüksek darbe yorulma mukavemetine hem de çatlak yayılma oranını azaltmak için yüksek gerilme sönümleme kapasitesine sahip olması gerekliliğine ulaşılmıştır (Hareland ve ark., 2014).

Bin ve arkadaşları, büyük pistonlu bir kompresör için kademesiz kapasite kontrol sisteminin temel prensibi üzerine ısıl çevrim analizi gerçekleştirmişlerdir. Boşluk (clearance) gazının emme, ters akış, sıkıştırma, tahliye ve genleşme işlemleri için denklemler oluşturulmuş ve buna göre çeşitli durumlar için P – V diyagramları simüle edilmiştir. Bunun yanı sıra kademesiz kapasite kontrol sistemine sahip bir kompresör tasarlanmış ve test düzeneği deneysel çalışmalar için kurulmuştur. Kademesiz kapasite kontrol sistemi kullanılarak büyük pistonlu kompresörün ihtiyaç duyulan basınçlı hava miktarına göre kapasite düzenleme ihtiyacını karşılayabileceği ve aynı zamanda tüketilen gücün, kapasitenin azalmasıyla azalacağı sonucuna varılmıştır (Bin ve ark., 2013).

Wang Xuan-feng ve arkadaşları, çalışmalarında hava kompresörünün güç tüketimi düşüşü ile ağır hizmet taşıtlarının yağ tasarrufu arasındaki ilişki üzerine bir çalışma yapmışlardır. İlk olarak, teorik matematiksel denklemler ve gerçek test cihazında, hava kompresörünün etkin ve etkisiz şaft güçlerini açıkça analiz etmişlerdir. Daha sonra hava kompresör yük oranı ve aracın ortalama hızı arasındaki ilişkiyi tanımlamak üzere yol testi gerçekleştirilmiştir. Son olarak, araştırma sonuçlarına dayanarak, hava kompresörünün güç tüketiminin azaltılmasında etkili bir yaklaşım ortaya koyarak ağır hizmet taşıtının yağ tasarrufunu eşzamanlı olarak geliştirmişlerdir (Wang ve ark., 2013)

Bhakta ve GE ekibi, valf dinamiği hususunu doğrudan kompresör enerji verimliliği ile ilişkilendirerek önceden yapılan çalışmaların çoğunda, valf geometrisine bağlı basınç kayıplarını azaltmaya karşın, kompresör performansını geliştirmeye odaklandığını, valf dalgalanması konusunu analiz etmenin, bütünsel bir valf geliştirme yöntemine imkân vereceğini incelemektedirler. Geleneksel olarak, basınç tahrikli yaprak

valfler, kompresörlerde giriş ve çıkış hatlarında kullanılmıştır. Bu valfin çalışmasının "valf çarpması" olarak adlandırılan özelliğinin, tek bir emme ve boşaltma darbesi esnasında dalgalanma şeklinde (pulsation, flutter) oluşan çoklu açma ve kapama hareketleri olduğu belirtilmiştir. Bu durum, emme işleminin daha uzun (krank açısı) süresi göz önüne alındığında emme çekişi için daha belirgin bir durum göstermiştir. Valf dinamiği, çoğunlukla beraber olarak ele alınması gereken bir akışkan-yapı etkileşim problemi olduğundan, mevcut çalışmada, valf dinamikleri, tek serbestlik dereceli bir yay kütle sistemine basitleştirilmiştir ve matematiksel modelinde yer değiştirme tahmini olarak % 15'lik bir doğruluk aralığında elde edilmiştir. Mevcut gelişme aşaması göz önüne alındığında, bu yüzdenin kabul edilebilir sınırlar içinde olduğu belirtilmiştir. Bu modelin doğrulanması için, kapalı devre soğutma teçhizatında kompresör valfi açıklık ölçümleri (doğrudan gerinim ölçerler) kullanılmıştır. Kompresör içi ölçümleri ile ilgili karmaşıklık ve zaman göz önünde bulundurulduğunda, kompresör dışından yaprak valflerin dinamiklerini karakterize etmek için basitleştirilmiş bir kapsamda (dolaylı ölçümler) önerilmiş ve geliştirilmiştir (Bhakta ve ark., 2012).

Brun ve Nored, araştırmalarında valf performansını artırarak kompresör verimliliğini artırmayı ve oluşabilecek arıza süresini azaltmayı amaçlamışlardır. "Valf Ömrü Analizi" modelleme ve optimizasyon aracında, dinamik bir FEM ile, tekil darbe testi plaka geçici stres analizi verilerine karşı geliştirilmiş ve onaylanmıştır. Bu gerilmeleri ve valfte oluşacak hareket tahminlerini malzeme stres-ömür özellikleriyle birleştirmenin, çalışma saatleri bakımından valf levhası ömrünün tahminini sağladığı ortaya konulmuştur (Brun ve Nored, 2012).

Fernanda P. Disconzi ve arkadaşları, ortaya koydukları makalede, valflerden geçen akışkan akışının etkisini göz önüne alarak, pistonlu bir kompresörün basitleştirilmiş bir geometrisinin silindirinin içindeki ısı transferinin sayısal bir çalışmasını bildirmişledir. Silindir duvarlardaki meydana gelen ani ısı transferi için tahminler gerçek çalışma koşulları için elde edilir ve pistonlu kompresörler için genel olarak kabul edilen ilişkilerle verilen tahminler karşılaştırılmıştır. Yaptıkları çalışmanın sonucunda, emme ve basma işlemleri esnasındaki ısı transferinin artışının bu tür bağlaşımlarla düzgün bir şekilde hesaba katılmadığı gösterilmiştir (Disconzi ve ark., 2012).

Khan ve Langer çalışmalarında, daha iyi performanslı pistonlu kompresör tasarım yaklaşımını tanımlamayı açıklamıştır. Bu tasarım yaklaşımı ile kompresör sürücüsünün kinematik özelliklerini kompresörün termodinamik performansıyla ilişkilendirmişlerdir.

Ortaya koymuş oldukları bu yaklaşımla, bir çevrimde en iyi piston yörüngesini bulmak için olasılıksal bir optimizasyon algoritması kullanmayı ve bu yörüngeyi gerçekleştirebilecek mekanizmanın en iyi boyutlarını bulmak için gradyan bazlı bir teknikle birleştirmeyi ilişkilendirmişlerdir. Önerilen tasarım yaklaşımını uygulamak için sunulan matematiksel modeller, simülasyon amacıyla kullanılan bir bilgisayar programında kodlanmıştır. Çalışmalarının sonucunda, çalışmalardan birinin önerilen yöntemin kullanışlılığını ortaya koymakta olduğu ve tanımlanmış performans yüzdelerinde, yüzde birkaç puanlık bir artışın optimizasyon uygulamasından kazanıldığını kanıtlamaktadırlar (Sultan ve Kalim, 2011).

N. Anglani ve F. Benzi ortaya koydukları çalışmalarında, hava kompresörleri için yük durumu kontrollü sabit hızlı motorlara kıyasla, değişken hızlarda sürücü kullanılması durumunda meydana çıkan enerji tasarruflarını (emisyon ve ekonomi) analitik bir yaklaşımla değerlendirmek için sahada test edilmiş bir tekniği açıklamaktadır. Değişken hava gereksinimi nedeniyle yük değişkenliği, kompresörün hızının sorunsuz bir şekilde değiştirilmesiyle sağlanabilir. Basınçlı hava talebine göre motor/kompresör hızının oransal olarak düzenlenmesi ile basınçlı hava çıkışının sürekli ayarlandığı vidalı kompresörler incelenmiştir. Örnekleme dönemini tamamlandıktan sonra, aşağıdaki bilgiler toplanmıştır:

(i) imalatçıdan geliştirilen yeni test düzeneğinin teknik veri sayfası;

(ii) örnek süre üzerindeki sıkıştırılmış hava miktarı (veya elektrik tüketimi)

(iii) çalışma süreleri

Böylelikle zamana bağlı değişim profilleri 0,4 MPa, 0,7 MPa, 0,95 MPa ve 1,2 MPa set basınçlarında grafiksel olarak giriş gücü 100 kW'dan fazla ya da az olduğu durumlara göre elde edilmiştir. Sonuç olarak, aynı set basıncı durumunda hava kapasitesinin gerekliliği arttığında motordan çekilen güçte artış meydana geldiği ve set basıncının artması durumunda gerekli aynı miktar hava üretimi için de güç tüketimi artışı olduğu gözlemlenmiştir (Anglani ve Benzi, 2010).

Tecumseh firmasından Real ve Pereira yaptıkları çalışmada, emme ve çıkış valflerinin davranışlarını tamamen karakterize edip P-V diyagramı üzerinden sıkıştırma çevrimi sırasında gazın üzerine uygulanan işin ve kayıpların elde edilmesinin mümkün olduğunu göstermişlerdir. Geri akış etkilerinin doğrulandığı valf çalışmasıyla senkronize edilmiş pistonlu kompresörün P-V diyagramını ölçmek için özel bir yöntem oluşturularak, matematiksel modelleri doğrulamak ve kompresör verimliliğini artırmanın önemini açıklamışlardır (Real ve Pereira, 2010).

Pereira ve Deschamps raporlarında, basitleştirilmiş bir kompreesör çıkış valf geometrisinin kuvvet alanları ve piston etkileşiminin akış üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Etkin alanların standart kavram olarak dikkate alınmamasına rağmen, hava çıkışı esnasında piston pozisyonunun çok önemli olduğu sonucuna varılmıştır. Bu sonuca bağlı olarak valf açıklığı ve piston pozisyonunun bir fonksiyonu olarak, etkili kuvvet ve akış alanlarını değerlendirmek ve ifade etmek için bir yöntem önerilmiştir (Pereira ve Deschamps, 2010).

Riad ve ark. araştırmalarında, yakıt gazı pistonlu kompresörlerinde kullanılan alüminyum döküm pistonların bazılarında, çalışmaya başladıktan kısa bir süre sonra meydana gelen çatlamanın ana nedenini bulmak için kusurlu pistonlar üzerinde metalurjik çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. İncelemelerin sonucunda, pistonlarda erken görülen çatlamanın temel nedenin, piston gövdesinin dişlerinde meydana gelen hasardan dolayı olduğunu tespit etmişlerdir. Bu da dişlerin kayma deformasyonuna ve yeni başlayan mikro çatlakların ilerlemesine yol açmıştır. Arıza süresindeki fark ise, malzeme özelliklerindeki farklılıklara ve döküm kusurlarının miktarına bağlanmıştır. Bu tür bir arızadan kaçınmak için tesisin, tapaları pistonun gövdesine dikkatlice vidalaması ve piston gövdesinin ve tapalarının dişlerinin hasarsız üretilmesi ve yağlama yağı, uygun filtre seçimi gibi mevcut olan her türlü parçadan kir ve korozyonun arındırılmış olması önerilmiştir (Riad ve ark., 2010).

Elhaj ve ark. çalışmalarında, çift silindirli bir endüstriyel kompresör üzerinde matlab program dili ortamında beş farklı fiziksel işleminin (endüsksiyon motorunun hız-tork karekteristikleri, silindir basıncı değişimi, krank mili dönme hareketi, valfler boyunca akış karekteristikleri ve valf plakalarının titreşimi) matematiksel modelini geliştirmiş ve similasyonunu oluşturmuşlardır. Yaptıkları bu çalışma sayesinde, valf plakalarındaki kaçakları ve valf yayının bozulmasını modellemişlerdir (Elhaj ve ark., 2008).

Çatak'ın çalışmasındaki amaç yeterince önem verilmeyen basınçlı hava ve pnömatik sistemlerin maliyetlerini ortaya çıkarmak; sistemlerde yapılabilecek iyileştirmeler ve tasarruflar hakkında oranlar ve örneklerle genel bilgi vermektir. Sonucunda eğer montaj doğru yapılmazsa yapılan hatalara göre maliyet açısından ilk etken durumuna geleceğine ulaşmıştır (Çatak, 2005).

Bukac çalışmasında, yeni bir model oluşturmaktan ziyade kendiliğinden hareket eden kompresör valflerinin işlevini anlama ve daha derin bir kavrama sağlayıp, üretim öncesi tasarımcılara girdi sağlamayı amaçlamıştır. Yapmış olduğu çalışmada, birçok

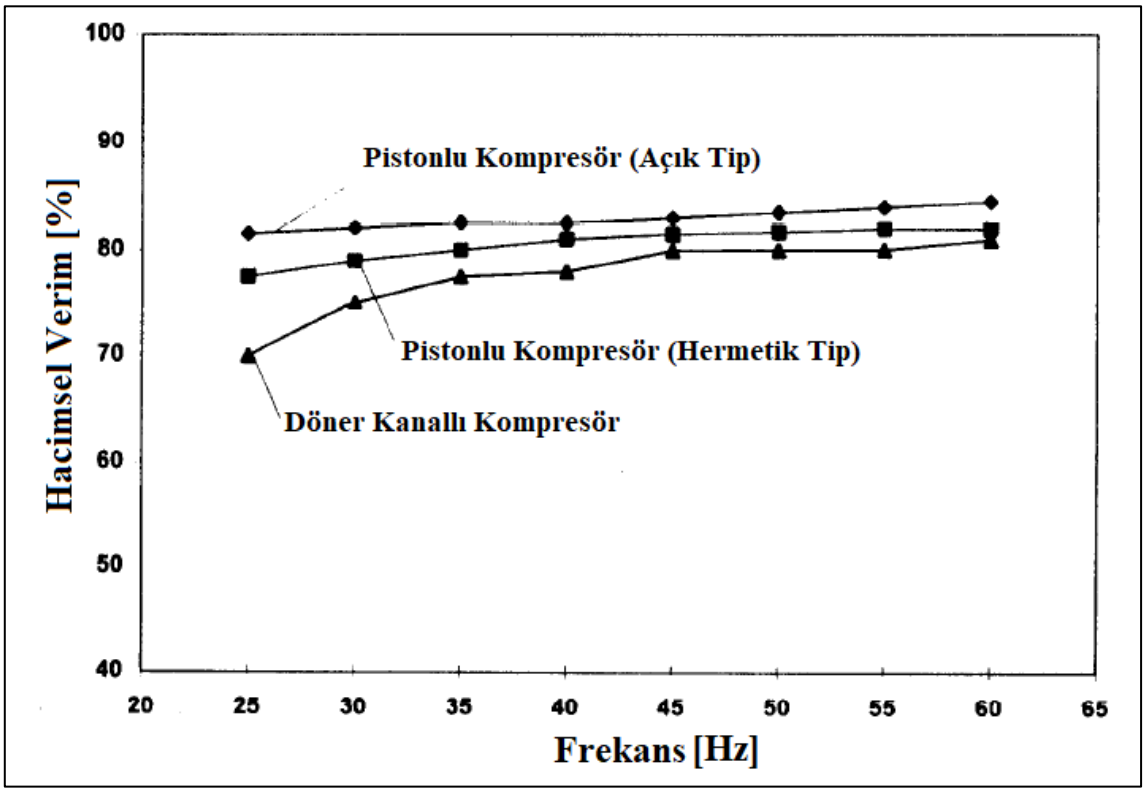
doğrusal olmayan çeşitliliğe sahip eşdeğer bir tek serbestlik derecesi sistemi kullanılmıştır. Valf ve piston duvarı arasındaki gaz sızıntısının yanı sıra valften sıkıştırılabilir bir gaz akışı olacağı düşünülmüştür. Ayrıca piston hareketlerinden dolayı ve yataklarda meydana gelen sürtünme kayıpları da dikkate alınmıştır. Çalışmasında, her bir valfin işlevi her biri iyi tanımlanmış başlangıç koşullarından başlar yaklaşımını ileriye sürmüştür. Bu yaklaşım sonucunda, bireysel parametrelerin incelenmesini ve bunların her birinin valf işlevini, kompresör kapasitesini ve performans katsayısını nasıl etkilediğini göstermektedir (Bukac, 2002).

Caterpillar firmasından Johnson makalesinde, pompalar, kompresörler vb. gibi kamyona yardımcı fonksiyonlardan kaynaklanan parazitik kayıpların birer verimsizlik kaynağı olmasından dolayı, parazit kayıplarını azaltmak için Sınıf 8 karayolu kamyonlarının elektrifikasyonu ile ilgili gelişmeleri açıklamaktadır. Yapmış olduğu çalışmada bahsettiği üzere, iyileştirmeler, kamyon endüstrisine kabul edilemez bir maliyet primi taşıyabilir ve bu, tek tek bileşenlerin verimliliğini artırarak kamyon yakıt verimliliğini artırmak için ciddi derecede bir maliyet zorluğu meydana getirmektedir. Çalışmanın neticesinde, yağ motoru, su motoru, yardımcı güç ünitesi, ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme ve kompressörün birbirine senkronize çalışması ile uzun mesafe yollarda Sınıf 8 kamyonlarda yakıt tüketiminde önemli verimler elde edilmiştir (Johnson, 2005).

Erol ve Gurdogan çalışmalarında, kamyon ve otobüslerin fren sistemlerinde yaygın bir şekilde kullanılan pistonlu kompresörlerin, taşıtta görülen gürültü ve titreşimin esas kaynaklarından biri olmasından dolayı, tek silindirli, kurs hacmi 252,5 cm^3 olan bir pistonlu kompresörün gürültü ve titreşim özelliklerini araştırmışlardır. Araştırmadan elde ettikleri sonuçları dört farklı çıkış portu tasarımına göre kıyaslamışlardır. Tasarım aşamasında, enine kesit alanını ve valf pleyt üzerinde bulunan basma portu deliği profilini belirlemenin öneminden bahsetmilerdir. Basınçlı hava deposunun basınç değerleri 0, 3, 6 ve 9 bar olarak seçilmiş ve krank mili devri 1000, 1500 ve 2500 d/dk olarak seçilmiştir. Çalışma ile yeni valf pleyt çıkış portu tasarımlarının gürültü ve titreşim açısından üstünlükleri gösterilmiştir (Erol ve Gurdogan, 2000).

Tassou ve Qureshi Brunel üniversitesinde yaptıkları çalışmada, değişken hızda kapasite kontrol uygulamaları için açık tip pistonlu, yarı hermetik pistonlu ve açık tip döner kanallı soğutma kompresörlerinin performans değişimlerini incelemişlerdir. Kompresörlerin üçü de sabit ve 11 ila 18 bar değişken silindir kafası basınçları altında test edilmiştir. Vidalı ve scroll kompresörler değişken hızlı uygulamalar için iyi aday olsa

da, testler yapılırken bu iki kompresör soğutma kapasitelerinden ve ticari sebeplerden dolayı tercih edilmemiştir. Emme valfleri üzerinde azalan kısılma kayıplarından dolayı normalde hız azaldıkça hacimsel verimliliğin artması beklenir. Ancak Şekil 2.4'te görüldüğü gibi her üç kompresöründe tasarım hızında en yüksek hacimsel verimlilik üzerine tasarlandığı görülmektedir. Çalışmanın sonucunda, test edilen kompresörlerden, açık tip pistonlu kompresör konfigürasyonun değişken hızlı çalışma için en uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Analiz, açık tip pistonlu kompresörün, ılıman bir iklimde çalışırken % 12 ve sıcak bir iklimde çalışırken % 24 tasarruf sağlayan en verimli sistem olduğunu göstermiştir (Tassou ve Qureshi, 1998).



Şekil 2.4. Hacimsel verimin hız ile değişimi (Tassou ve Qureshi, 1998)

Erol ve arkadaşları, Türkiye'de üretilen ve taşıtlarda kullanılan tek silindirli pistonlu kompresörlerin dinamik ve akustik davranışlarını incelemiştir. Kompresörlerde titreşim ve gürültü kontrolü konusunda yapılan çalışmaların çoğu, özel tip kompresörlerdeki titreşim ve gürültü problemlerinin incelenmesi veya olası gürültü kaynakları ve kontrol yöntemlerinin değerlendirilmesi şeklindedir. Kompresörlerde titreşim ve gürültünün kontrol edilmesine yönelik çalışmalarda karşılaşılan en önemli güçlük, uygulamada halen çeşitli tiplerde kompresörlerin kullanılıyor olması nedeniyle

elde edilen sonuçların genelleştirilmesinin mümkün olamamasıdır. Bu çalışma kapsamında bir akustik ölçüm odası tasarlanmış ve inşa edilmiştir, dinamik analiz için Ansys 5.4 sonlu elemanlar paket programı kullanılmıştır. Kompresörün gürültü düzeyinin azaltılması için, akış kanallarının yeniden tasarımı ve susturucu eklenmesi gibi önlemler üzerine çalışılması ve kafa tasarımı yapılırken valf çarpma gürültüsünün göz önünde bulundurulması gerektiği sonucuna varılmıştır (Erol ve ark., 1998).

Simon Touber doktora tezinde, basınca bağlı çalışan otomatik valfleri, pistonlu kompresörlerdeki en önemli kısıtlayıcı bileşen olarak görüp, problem şeklinde tanımlamıştır. Ekonomik bir kompresör elde etmek için dönüş hızını arttırılabileceğini ancak valflerdeki artan kayıp enerjinin buna engel olacağı ile örneklemiştir. Bu gibi örneklerin aşılabilmesi için temel mühendislik yaklaşımları tasarım önerileri oluşturulabileceğini ama sonucunda oluşan tezat sonuçların deneysel ölçümlemelerle aşılması gerekliliğini vurgulayarak valf hareketinin teorik tahmini için tüm kompresör bileşenlerini içeren bir model fikri önermiştir. Endüstriyel buzdolabı kompresörleri için valf tasarımı yaparak, valf kaynaklı enerji kaybını % 10 oranlarında iyileştirdiğini belirtmiştir. Teorik sonuçları ise deneysel doğrulayabilecek şekilde valf tasarımları yaptığını belirterek deneysel katsayıları model için bir girdi olarak tanımlayacak hassasiyette elde etmiştir. Deneysel değerlendirmeler için bir test düzeneğinin detaylarından bahsetmiştir (Touber, 1976).

2.2. Motor ve Turboşarj Çalışmaları

Liu ve Zhang çalışmalarında, motor güç yoğunluğunun iyileştirilmesinin, yüksek ara soğutucu verimliliği ve az miktarda basınç kaybı gerektirdiğini ve bu gereksinimlerin ara soğutucunun çok fazla yer kaplamasına sebep olabileceğini ileri sürmüşlerdir. Özellikle yüksek kompaktlık ve yüksek güç yoğunluğuna ihtiyaç duyulan dizel motorlar için ara soğutucunun yerleşim tasarımı konusunun çözülmesinin önem arzetmesinden dolayı, 4 valfli, 4 silindirli, I-tipi, doğrudan püskürtmeli, turboşarjlı bir dizel motor emme sistemi performansını arttırmak için birleşik bir ara soğutucu üzerine çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Üzerinde çalışma yaptıkları entegre ara soğutucu gözeneklerinin akış ve ısı değişim performansını analiz etmek için hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) modelini kullanmışlardır. Farklı yapılara sahip birleşik ara soğutucuların akış direnci, basınç dalgalanması, sıcaklık ve basınç dağılımı CFD simülasyonu ile karşılaştırılmıştır. Dizel motorun orijinal veya birleşik ara soğutucu emme sistemi ile

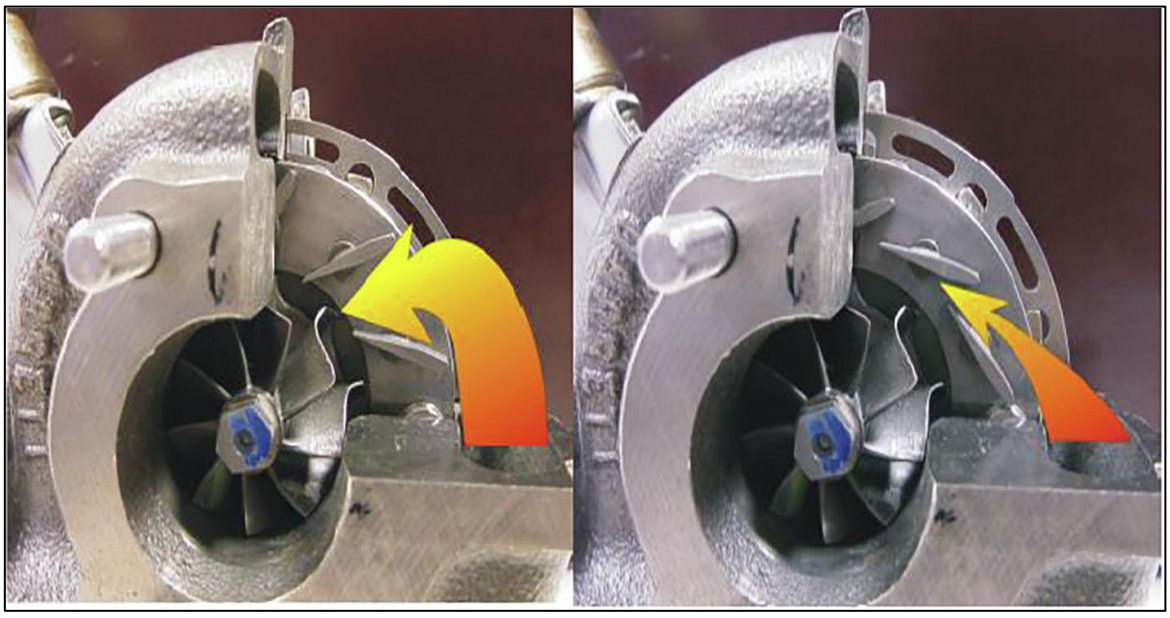
sabit (steady) ve süreksiz (transient) performansını araştırmak için bir de deneysel çalışma yapmışlardır. Çalışmalarının neticesinde, birleşik ara soğutucu ile daha iyi bir akış homojenliği sağlandığı, kompresör çıkışından silindir giriş portuna kadar olan basınç kaybının yaklaşık % 37,5 oranında azaldığı ve dizel motorun süreksiz (transient) performansının entegre intercooler emme sistemi ile donatılarak iyileştirildiği sonucuna varılmıştır (Liu ve Zhang, 2020).

Reihani ve arkadaşları deneysel cevap yüzey metodu kullanarak düşük basınçlı EGR gazının turboşarj kompresörüne karışması ile turbo kompresörünün performansına etkilerini incelemişlerdir. Yapmış oldukları çalışmada düşük basınçta EGR gazı kullanarak motor yakıt ekonomisinin iyileştirilmesi, çalışma noktalarını daha yüksek verimliliklere doğru hareket ettiren artan akış hızlarıyla kompresör ve türbin verimliliğinin arttırılmasının önemli bir metot olduğuna değinmişlerdir. Deney düzeneği sıcak bir gaz standına yerleştirilmiş kompresör ünitesi ile gerçekleştirilmiştir. Düşük uygulama maliyeti, prototip oluşturma ve yeniden yapılandırma kolaylığı ve kompakt ambalajlama için seçilen düşük basınç EGR karıştırıcısı olarak bir T-eklem kullanılmıştır. EGR girişindeki, kompresör çıkışındaki, türbin girişindeki ve türbin çıkışındaki havanın statik ve toplam özellikleri, ayrıca hava, EGR ve türbin kütle akış hızları kaydedilmiştir. Bu çalışma ile elde edilen bulgular ışığında, düşük basınçlı EGR kaynaklı akış alanının, motor yakıt dönüşüm verimliliği için büyük önem taşıyan turbo kompresör performansı üzerindeki etkileri gösterilmiştir. Ayrıca verimli bir düşük basınç EGR mikser tasarımının önemine vurgulanmış, dizel ve GDI motorlarındaki bu yapının yakıt ekonomisi sağlanmasındaki etkinliği ortaya konulmuştur (Reihani ve ark., 2020).

Allam ve Elsaid çalışmalarında çalışmış durumda, standart ve optimize edilmiş olmak üzere üç partikül hava filtresini motor performansı açısından deneysel ve sayısal analiz yöntemiyle incelemişlerdir. Bu çalışma ile filtre kıvrım bölgeleri optimize edilerek motor performansını iyileştirmek amaçlanmıştır. Yapmış oldukları bu çalışmada partikül hava filtrelerinin olumsuz etkilerini; çevre kirliliği ve egzoz gazı sıcaklığının artması, motor torkunun azalması ve yakıt tüketiminin artması olarak sıralamışlardır. Çalışma boyunca filtre kıvrım yüksekliği, kıvrım aralığı, şekli, filtrenin orta kalınlığı, havanın hızı, motor devri ve torku gibi bir dizi parametre araştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda sinüs dalgası şeklindeki kıvrıma sahip hava filtresinde diğerlerinden daha az basınç düşüşü gözlemlenmiştir. Standart filtrede en düşük egzoz gazı sıcaklığı 233 ° C'de elde edilirken, optimize edilmiş filtre ile en düşük egzoz gazı sıcaklığı (218 ° C) elde edilmiş ve 0,29 kg/kwh yakıt tüketimi sağlanmıştır (Allam ve Elsaid, 2020).

Jiaqiang ve arkadaşları, Çin'in Guangxi Eyaleti'nde şehir içi bir otobüs üzerinde deneylerini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarının amaçlarından olan, günümüzde dizel motorları geliştirme eğilimi amacıyla güç çıkışı üzerine yüksek verimlilik, enerji tasarrufu ve düşük emisyon değerleri elde edebilmesi gerekliliği ve bunlar üzerine yapılan çalışmalara değinmişlerdir (Zhao ve ark., 2015). Bu çalışmalardan biri Şekil 2.5'te değişken geometrili turboşarj (VGT - Variable Geometry Turbocharger) mekanizması olarak gösterilmiştir. Konvansiyonel bir turboşarj ile karşılaştırıldığında bu sistemin, geniş aralıklarda, geçici koşullarda ve çalışma koşullarında verimli bir şekilde uygulanabilir etkiyi koruyabilen farklı yük ve hızlarda egzoz gazını kullanabileceği ifade edilmiştir (Zuo ve ark., 2019). Otobüs motoruna entegre edilen değişken kanatçıklı turboşarj ile yapılan deneyler nihayetinde;

- Kanatçıkların açılma derecesinin azalmasıyla, kompresör tarafındaki havanın basınç ve akış hızının arttığı,
- Dizel motorun emisyon ve performans özelliklerinin VGT kullanıldığında düşük motor devirlerinde daha iyi olduğu,
- Hattaki diğer otobüsler ile VGT kullanılan otobüs karşılaştırıldığında ortalama yakıt tüketiminde % 6, NO_x emisyonunda ise % 16 azalma görüldüğü sonucuna varılmıştır. Bu iyileştirmenin çoğunlukla uzun süre düşük devirde çalışan otobüs motorları için oldukça avantajlı olduğu ortaya konulmuştur (Jiaqiang ve ark., 2019).



Şekil 2.5. Değişken kanatçıklı turboşarj (Jiaqiang ve ark., 2019)

Liu ve arkadaşları, turboşarjlı dizel motorların süreye bağımlı tepki (transient response) performansını değerlendirmek için genel bir yöntem olarak, emme ve egzoz boruları ile turboşarjdaki tepki gecikmesini analiz etmişlerdir. Motorun temel yapısal parametreleri, turboşarj boyutu, çalışma koşulu parametreleri ve süreye bağlı cevap yönteminin değerlendirme endeksi arasında bir ilişki kurulmuştur. Önermiş oldukları analiz farklı motorların tek boyutlu hesaplama modelleri ile doğrulanmış ve nihai olarak test edilmiştir. Bu çalışma sonucunda zamana bağımlı cevap performansını doğru bir şekilde değerlendirilebilmesi için motorun ilk tasarım aşamasında motor ve turboşarjın çalışmasına bağlı olarak zamana bağlı karakteristikler için nicel bir değerlendirme yöntemi oluşturduğu öngörülmüştür (Liu ve ark., 2019).

Chuepeng ve Saipom'un yapmış oldukları araştırma çalışmasında, düşük egzoz gazı sıcaklığının meydana geldiği düşük motor yükündeki turboşarj verimliliğiyle ilgili basınç oranları, çalışmaları ve dönüş hızları yönünden kompresör ve türbin performansını incelemişlerdir. Yapılan bu çalışma ile yağlama yağının turboşarj performansı üzerindeki termal etkileri düşük yük koşulları altında araştırılmış ve sunulmuştur. Dizel motordaki düşük sıcaklık kontrollü egzoz gazı, iki viskoziteli (SAE 0W-20, SAE 10W-40) yağlama yağının 50, 70 ve 90 °C'de bir turboşarj deney düzeneğinde test edilmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda, daha ince yağlayıcı ile daha yüksek giriş sıcaklıklarının daha yüksek turboşarj mekanik verimlilik sağladığına ulaşılmıştır (Chuepeng ve Saipom, 2018).

Roma Tre Üniversitesinden Chiavola ve arkadaşları turboşarj kompresör muhafazasına monte edilen bir ivmeölçerden gelen sinyal ile turboşarj hız değeri hakkında bilgi elde etmek için bir yöntem geliştirmeye yönelik araştırma faaliyeti gerçekleştirmişlerdir. Aynı anda tüm sinyalleri elde edebilmek için veri toplama cihazları kullanılmıştır, veri izleme ve toplamayı yönetmek için yazarlar tarafından özel bir program geliştirilmiştir (Chiavola ve ark., 2014). Çalışmada hedeflemiş oldukarı iki adım:

- Ortalama turboşarj dönme hızı tahmini ve
- Turboşarj hız dalgalarının değerlendirilmesidir.

Testler, küçük bir turboşarj ile donatılmış çoğunluka kentsel araçlarda kullanılan küçük bir çift silindirli dizel motor üzerinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın ilk basamağında elde edilen sonuçlar, ivmeölçer sinyal işlemesinden turboşarj hızı dalgalanmasını hesaplamak için daha fazla araştırma yapma olanağı sağlamıştır (Chiavola ve ark., 2017). Bu çalışmanın sonucunda ise, araştırma faaliyetinin ikinci

adımının sonuçlarını sunulmuş ve motora farklı hız ve yük değerlerinin uygulandığı testler sırasında elde edilen ivmeölçer sinyali ile turboşarj hız dalgalanmaları değerlendirilmiştir (Chiavola ve ark., 2018).

Termoelektrik jeneratörler otomobillerde meydana gelen atık ısının geri kazanılmasında gelecekte daha sık kullanılacak yöntemlerden birisi olduğundan, Güneş ve Hançer değişken iletkenlikli ısı borusu kullanarak tasarlamış oldukları termoelektrik jeneratörün termal ve elektrik modelini sunup, yapmış oldukları teorik çalışmanın sonuçlarını başka bir deneysel çalışma ile kıyaslamışlardır. Yapmış oldukları bu çalışmanın literatürdeki diğer çalışmalardan farkı sistemin egzoz gazı yerine soğutucunun atık ısısından faydalanılacak şekilde tasarlanmış olmasıdır. Bu çalışma ile, kullanılan enerjinin üçte birinin mekanik işe dönüşebildiği içten yanmalı motorlarda enerji verimliliği açısından küçük kazançların dahi ne kadar önemli olduğuna dikkat çekmişlerdir. Yapılan çalışma sonucunda, sayısal modellemede kullanılan yöntemin, deneysel ve teorik bulgular arasındaki fark küçük olduğu için gerçeğe yakın olduğu gözlemlenmiştir. Bununla birlikte ısı borusunun optimum çalışma sıcaklığı yaklaşık 150 °C ve bu sıcaklıkta elde edilen elektrik gücü yaklaşık 38 W olarak bulunmuştur (Güneş ve Hançer, 2017).

Naser ve arkadaşları çalışmalarında çok silindirli, turboşarjlı ve ara soğutmalı bir Cummins marka dizel motorda gerçekleşen süreçleri doğru bir şekilde tanımlamak için sıfır boyutlu bir model geliştirmişlerdir. Geliştirilen bu modelde motor hacmi küçültme teknolojisine dayanarak motor performanslarının hesaplanması ve bilgisayar simülasyonu için Matlab yazılımı kullanılmıştır. Krank açısına bağlı olarak silindir ve manifoldlardaki sıcaklık ve basınç değerleri, debi ve ısı transfer oranı için 1200 d/dk ve 1800 d/dk motor hızları aralığında simülasyon sonuçları sunulmuştur. Sonuç olarak bu model kullanılarak, diyagnostik süresince motorun enerji yönünden etkileyen enjeksiyon açısı, ara soğutucu verimliliği, turboşarj karakteristikleri, emme ve egzoz manifoldu hacimleri gibi parametrelerin gözlemlenebileceği savunulmuştur (Naser ve ark., 2016).

Kunt ve Güneş çalışmalarında içten yanmalı motorlarda, atalet momenti daha düşük, birim ağırlık başına gelen güç miktarı yüksek pnömatik tahrik sistemlerinin uygulama durumunu irdelemişlerdir. Pnömatik motorları, kurs hacmi içerisine akışkan olarak basınçlı gaz alarak genişleme işi yapan makineler olarak tanımlamışlar ve bu motorların aynı zamanda bir ateşleme düzeneğine ihtiyaç duymayan, yağlama yağı kullanımı daha az, daha çevre dostu ve egzoz gazını yeniden kullanabilen, termik verimleri daha yüksek makineler olduğundan bahsetmişlerdir. Çalışmada ayrıca,

pnömatik sistemlerin en önemli özelliklerinden birisi depolanan enerjiyi uzun bir zaman muhafaza edebilme kabiliyeti olduğuna değinilmiştir. Çalışmada bahsedilen bu sistemin doğrudan konvansiyonel motorlara uygulanabilmesi ve hatta hibrit uygulamaları gibi olumlu yönleri ve motor hızı sabitlemesinde yaşanan zorluklar gibi olumsuz yönler de listelenmiştir. Yapmış oldukları bu çalışmanın nihayetinde, üretilen elektrik enerjisinin basınçlı hava formunda depolanması, depolama zorluğu bulunmakta olan elektrik enerjisine kıyasla daha verimli bir çözüm olduğu sonucuna erilmiştir (Kunt ve Güneş, 2015).

Ben-Chaim ve arkadaşları çalışmalarında, standart çalışma koşulları altında araç yakıt tüketimini değerlendirmek için analitik bir yöntem sunmuşlardır. Bu modelde yakıt tüketimi sabit hızla seyir ve ivmelenme olarak ikiye ayrılmıştır, yavaşlama ve rölanti durumları ise dikkate alınmamıştır. Bir aracın düz bir yolda hava direncini yenmek, yol direncini aşmak ve atalet kaynaklı ivme dirençlerinin üstesinden gelmek için enerji harcadığı ifade edilmiştir. Modelin yeterliliği ve doğruluğu, üretici tarafından sağlanan deneysel verilerle karşılaştırılarak doğrulanmıştır. Çeşitli tasarım parametrelerinin araç yakıt tüketimi üzerindeki etkisinin bu model kullanılarak incelenebileceği gösterilmiştir (Ben-Chaim ve ark., 2013).

Muqeem, turboşarj ünitelerinin ve ara soğutucunun dizel ve benzinli motorlarda kullanım gereksinimlerinden bahsetmektedir ve devamında bu ikili sistemde görülebilen, mevsimsel şartlar, motor hız durumu vb. sebebiyle meydana gelebilecek genel sorunlara değinmiştir. Ayrıca çalışmasında, silindiri hava ile doldurma kabiliyeti, hacimsel verimin üstünlüğünün bir göstergesi olduğunu vurgulamıştır. Bu çalışmada özellikle yaz ayları için turboşarj verimini arttırmak amacıyla hem yaz aylarında klima sistemiyle hem de kış ayları için buna ihtiyaç duyulmaksızın bir ara soğutucu sistemi geliştirilmiştir. Deneysel performans testleri dört zamanlı, dört silindirli turboşarj beslemeli bir dizel motorunda gerçekleştirilmiştir. Motorun farklı devirlerde çalışması esnasında, ara soğutucu giriş ve çıkış hava sıcaklıkları termistörler ile ölçülüp elektronik bir ölçüm cihazıyla kaydedilmiştir. Sonuç olarak, normal bir ara soğutma ile atmosferik emişli motora göre hava beslemenin 1,43 kat arttığı, soğutmalı ara soğutucu kullanıldığında ise 2,618 kat artış olduğu gözlemlenmiştir (Muqeem, 2012).

Kumar ve ark. içten yanmalı motorlarla birlikte performans arttırmak için kullanılan turboşarjların kompresör kısmının havayı sıkıştırmak için, egzoz gazlarından aldığı enerjiyle tahrik edilen türbin kısmının ise vakum oluşturmak için kullanıldığını izah etmişlerdir. Ara soğutucunun ise turbo kompresöründen gelen havayı soğutarak akışkanın

basıncını artırarak motor emme manifolduna göndermek için kullanıldığından bahsetmektedirler. Yapmış oldukları çalımada, turboşarjdan gelen havanın ısı tranferi miktarını arttırmak amacıyla, ara soğutucu kanatçığında değişiklikler yapıp en iyi sonucu elde etmek için Taguchi metodu kullanmışlar ve analizleri ANSYS sonlu elemanlar metodu ile gerçekleştirmişlerdir. Seçilen kontrol parametreleri kanatçık malzemesi (bakır, alüminyum, pirinç), kanatçık geometrisi (dikdörtgen, üçgen, konik) ve tüp kalınlığı (0,5-1-1,5 mm) olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak, optimum kontrol parametreleri ile bir doğrulama analizi yapılmış ve çıkış tepkileri analiz edilmiştir. Bu çalışma doğrultusunda gerçekleştirilen analizler neticesinde kanatçıklardaki değiştirilen parametreler ile ısı transferinde iyileşme olduğu gösterilmiştir (Kumar ve ark., 2012).

Ingale ve arkadaşları turboşarj kullanılan motorlarda görülen performans iyileşmeleri üzerine çalışmışlardır. Motor hacimsel veriminden, çıkış gücüne, egzoz gazlarının yeniden kullanımından dolayı ısıl verimden, yakıt ekonomisine meydana gelen avantajları sıralamışlar ve bunları bir teknik bakış açısıyla açıklamışlardır. İncelemelerin sonucunda motor verimliliğinin artması ve motordan yayılan toksik gazların kontrollü olarak kullanılması açısından turboşarjın gerekliliğinin önemine varılmıştır (Ingale ve ark., 2010).

Zweiri ve Seneviratne yapmış oldukları çalışmada, tek silindirli bir dizel motorun krank mili açısal pozisyonu ve hız ölçümlerinden, motor indike torkunu tahmin etmek için yapay sinir ağları yaklaşımı ile doğrusal olmayan bir tahminci tasarlamışlardır. Bu tasarım sayesinde, ucuz sensörlerle ölçülebilen değişkenler ile ölçülmesi zor ve pahalı sensörlere ihtiyaç duyulan gerekli bir değişken olan indike torku tahmin etmeyi, kontrol ve diagnostik uygulamalarında böylelikle yarar elde etmeyi amaçlamışlardır. Böyle bir yaklaşım ile gerçek zamanlı uygulama için bu tahmincinin uygun olma avantajı sağlayabileceği ve motorun tahmini indike tork değerlerinin sonuçları, deneysel verilerle karşılaştırıldığında oldukça iyi bir uyum içerisinde olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Zweiri ve Seneviratne, 2007).

PSA gruptan Trochon çalışmasında, motor egzoz gazının kinetik enerjisi ile tahrik edilen turboşarj kompresörünün her strokta silindirlere daha büyük bir hava kütlesi alımı sağladığını ifade etmiştir. Aynı zamanda turboşarj türbininin, dakikada 240.000 devrin üzerine (d/dk) ulaşan hızlarda dönmekte olduğunu yapmış olduğu ölçümler ile göstermiş ve bunun çoğu araba motorunun yapabileceği en yüksek devirden yaklaşık 30 kat daha hızlı olduğuna işaret etmiştir. Trochon turboşarj kaynaklı çıkan, en şiddetli gürültü türlerinden olan titreşim (dönme hızına bağlı) ve üfleme (hava kaçağından meydana

gelen) gürültüsünün hem araç içi hem de araç dışında azaltmayı amaçlamıştır. Bunun için kompresörden çıkan havayı ara soğutucuya ileten geniş bantlı bir susturucu yerleştirerek frekansa göre iletim kayıplarını grafiklerle sunmuştur. Geliştirilen ve maliyeti düşük "A" tipi tüp bağlantı ile ihtiyaç duyulan gürültü seviyeleri elde edilmiştir (Trochon, 2001).

Hayashi ve Itoh almış oldukları patent çalışmasında, kompakt, hafif ve "buhar soğutmalı" tip motor soğutma sistemi ile süperşarjlı buhar soğutmalı bir motor için kurulumu kolay ara soğutucu düzeneği geliştirmişlerdir. Her iki düzenekten gelen buhar yoğunlaşma hızı, şehir içi gibi düşük seyirde sistem içindeki basıncı artıracak ve soğutucunun kaynama noktasını artıracak şekilde kontrol edilecek, motor yüksek hız/yük durumunda ise basıncı ve kaynama noktasını düşürecek şekilde tasarlanmıştır. Mevcut buluşun amacı, hem yüksek hem de düşük motor yükleri altında süperşarj özelliklerini geliştirmek için motor soğutma sisteminin yüke duyarlı sıcaklık kontrolü ile sinerji içerisinde işbirliği yapan bir ara soğutucu düzenlemesi sağlamaktır (Hayashi ve Itoh, 1986).

Lawson patent çalışmasında V şeklinde karşılıklı yan duvarlara ve düz borular içinde kanatçıklarla ısı ileten muhafazanın içinde bir ısı eşanjöre sahip turboşarjlı içten yanmalı bir dizel deniz motoru için bir ara soğutucu geliştirmiştir. Yapmış olduğu çalışma düzeneğinde, motor yağlama yağını soğutmak için deniz suyu ile soğutulan hâlihazırdaki ara soğutucuyu kullanmıştır. Isı eşanjörü çekirdeği ile muhafazanın ilgili V şekilli yan duvarları arasındaki üçgen boşluklar, tüm kanatçıklar boyunca hava akışının önemli ölçüde dengelenmesine sağlayarak, havadan borulardaki soğutucuya daha verimli bir ısı transferi sağlamıştır. Bu buluşun temel amacı, turboşarjlı bir içten yanmalı motor için yeni bir ara soğutucu icat etmektir. Bu patent çalışması sonucunda, hava, motor emme manifolduna girmeden önce soğutucu akışkan olarak kullanılan deniz suyu sıcaklığına yaklaşan bir sıcaklığa kadar soğutulmuştur (Lawson, 1986).

2.3. Emisyon Çalışmaları

Putra ve Fernandez yapmış oldukları çalışmada, dizel emisyonlarının ölçümünde kullanılan opasimetreler için dijital görüntü işleme tekniği kullanarak opaklığı ölçmüşlerdir. Kullandıkları algoritmada kaydedilen egzoz gazı videosundan herhangi bir an için referans görüntüsü aldıktan sonra belirledikleri bir sayı kadar fotoğraf olarak sıralamışlardır. Her görüntü için baştan dijital değerleri okuyup ortalama opaklık değeri belirlendikten sonra grafik haline getirip, ortalama opaklık değerini göstermişlerdir.

Yapmış oldukları bu çalışmanın sonucunda, video tabanlı görüntü işleme analizinin opaklık ölçümünlerinde süreci arttırdığını göstermişlerdir (Putra ve Fernandez, 2018).

Kelen derlemesinde taşıtlardan atılan emisyonların insan sağlığı ve çevre üzerine etkilerini irdelemiştir. Çalışmada, motorlu taşıtların sebep olduğu emisyonlar ve etkileri ile birlikte bu taşıtlarda kullanılan emisyon kontrol sistemlerinden bahsedilmiştir. Sonuç olarak, yasal yaptırımlarla emisyon kontrol sistemlerinin uygulanması ve bu sistemlerin geliştirilmesi, tasarım aşamasının ve iyileştirilerek yakıt tasarrufu sağlanması ile beraber egzoz emisyonlarının da azaltılması önerilmiştir. Bunların yanı sıra hidrojen ve doğal gaz gibi çevreci ve yenilenebilir enerji kullanımı ve hatta alternatif olarak Wankel ve hibrit motor tercihi ile fosil kökenli yakıtların sebep olduğu kirliliğin asgari seviyeye inebileceği ifade edilmiştir (Kelen, 2014).

Giechaskiel ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, taşıt egzoz emisyon parçacıklarının günümüze kadar değişimlerinden ve motorlu taşıtlardan kaynaklanan parçacık şeklindeki egzoz emisyonlarının, ortamdaki partikül madde (PM) seviyeleri ile sağlık etkileri üzerindeki etkilerinden bahsetmişlerdir. Aynı zamanda dünya çapında emisyon kısıtlamaları ve standartları gibi düzenlemelerde çok sayıda değişikliklerin sadece motorlu taşıtlarla kalmayıp geniş bağlamda yapıldığı ve bu yüzden gerçek zamanlı ölçüm yapabilen, geliştirilmiş hassasiyete sahip ve araç üzerinde çalışabilen yeni cihazlara yönelik bir ihtiyaç duyulduğuna değinmişlerdir. Yapmış oldukları bu çalışmada opasimetre gibi mevcut ve yeni gelişen cihazların çalışma prensipleri, en uygun cihazın seçimi ve en uygun cihazın hangi ihtiyaçlarda kullanılması gerektiğini açıklamışlardır. Çalışma sonucunda elde edilen bulgular doğrultusunda, çeşitli partikül emisyon özelliklerinin ölçülmesi konusunda yarar sağlanmıştır (Giechaskiel ve ark., 2014).

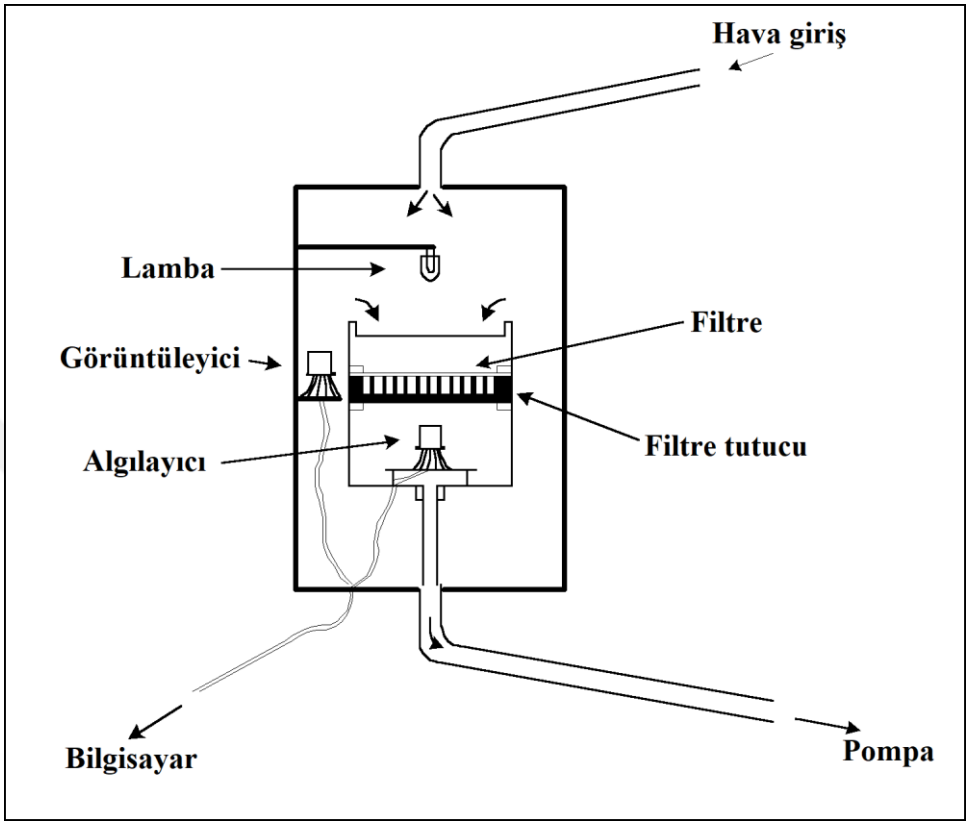
Relnhart çalışmasında Amerika Birleşik Devletleri'ndeki beşer kaynaklı sera gazı kirleticilerin % 6'sının orta ve hafif tip hizmet araçlarından kaynaklandığını ve bunun 1990 yılından 2007 yılına kadar en büyük artış yüzdesine sahip olduğunu ifade etmiştir. Bu sebeple alanında uzman yetkililer sera gazı ve yakıt tüketimi düzenlemeleri geliştirmelerinde yardımcı olmak, uzun mesafeli motorlu taşıtlardan kaynaklanan sera gazı emisyonlarını ve yakıt tüketimini azaltmak için mevcut ve mekanik turbo bileşenleri, daha düşük yol hızı ve geliştirilmiş EGR sistemleri gibi gelişmekte olan teknolojileri değerlendirmek üzere bir çalışma yürütmüşlerdir. Yazmış oldukları bu makaleyle, ileri teknoloji bileşenlerinin ağır hizmet tipi, uzun mesafeli kamyonlara tanıtılmasına ilişkin çalışmanın bazı temel bulgularını özetlemişlerdir (Khan ve Langer, 2011).

Zahoransky ve ark. dizel motorlarda çoklu dalgaboyu tekniği kullanarak egzoz partiküllerinin boyut ve yoğunluğunu ölçmek için bir sistem geliştirmişlerdir. Bu sistem üç farklı dalga boyunu değiştirip bir optik sensör hücre ile kombine ederek geliştirdikleri cihazın efektif optik uzunluğunu 10 metreye kadar arttırabilir olmasını sağlamışlardır. Bu sayede hem şasi dinamometresinden hem de motor test cihazından ölçüm yapma imkânı elde edilmiştir. Tasarlamış oldukları bu cihaz ile sonuç olarak partiküllerin ortalama çapları ve hacimsel yoğunlukları ölçülmüştür (Zahoransky ve ark., 2000).

Agrawal ve arkadaşları, sıkıştırma ateşlemeli motorlarda EGR'nin egzoz gazı sıcaklığı ve egzoz opaklığı üzerindeki etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Patlamalı motorlarda, NO_x gazlarının oluşumunun yüksek sıcaklıktan kaynaklandığını ve bu sıcaklığı azaltmakta kullanılan tekniklerden birisinin EGR tertibatı olduğunu belirtmişlerdir. Yeniden emme hattına dolaşan gaz sayesinde atık gazların azaltılmasına yardımcı olduğu, ancak yüksek yüklerde kayda değer partikül emisyonları gözlemlenebileceği ifade edilmiştir. Dolayısıyla NO_x ve duman emisyonu arasında bir denge olduğuna işaret edilmiştir. Farklı miktarlarda EGR gazının egzoz gazı sıcaklıkları ve opaklık üzerindeki etkisini gözlemlemek için bir deney matrisi gerçekleştirilmiştir. Egzoz gazı sıcaklıklarının EGR kullanarak büyük ölçüde azaldığı ve böylelikle NOx potansiyelinin azalmış olduğu görülmüştür. Bununla birlikte, duman opaklığı gözlemlerinden de anlaşılacağı üzere egzoz gazındaki partikül madde emisyonu artmış olduğu sonucuna varılmıştır. EGR'ye bağlı partikül madde emisyonlarındaki artış, partikül filtresi ve uygun rejenerasyon teknikleri kullanılarak halledilebileceği önerilmiştir (Kumar Agrawal ve ark., 2004).

Horvarth ilk çalışmasında, atmosferdeki ışığın emiliminin, aerosolde (sis, duman vb. katı veya sıvının havadaki dağılımı) bulunan çeşitli bileşenlerden kaynaklandığını açıklamıştır (Horvath, 1993). 1997 yılındaki çalışmasında, temel karbon (EC), fosil yakıtların yetersiz yanması ve biyokütle yanmasıyla oluştuğunu ve çoğunlukla toplu taşıma, fosil yakıtların endüstriyel olarak yakılması ve gazyağı (kerosen) veya odun kullanılarak konut ısıtması ile meydana geldiğini ifade etmiştir (Horvath ve ark., 1997). Gramsch ve arkadaşları ise yaptıkları çalışmalarında bir kentteki kirli bir atmosferi izlemek için ışık absorpsiyon katsayısının kullanılabileceğini göstermeyi amaçlamışlardır. Optik absorpsiyon katsayısı, aerodinamik çapı 2,5 mikrometre olan parçacık madde ($PM_{2.5}$) ve temel karbon, Santiago, Şili'nin batı kesiminde 2000 yılı kış ve bahar aylarında eşzamanlı olarak Santiago üniversitesinde geliştirilen düşük maliyetli Şekil 2.6'da gösterilen cihaz ile ölçülmüştür. Gerçekleştirilen çalışma nihayetinde, bu

ölçüm metodu ile soğuk aylarda (Mayıs-Ağustos) EC ve $PM_{2.5}$ konsantrasyonun belirlenebileceği ve ışık absorpsiyon katsayısının kentleşmiş alanların kirlenme derecesinin iyi bir göstergesi olduğu gösterilmiştir (Gramsch ve ark., 2004).

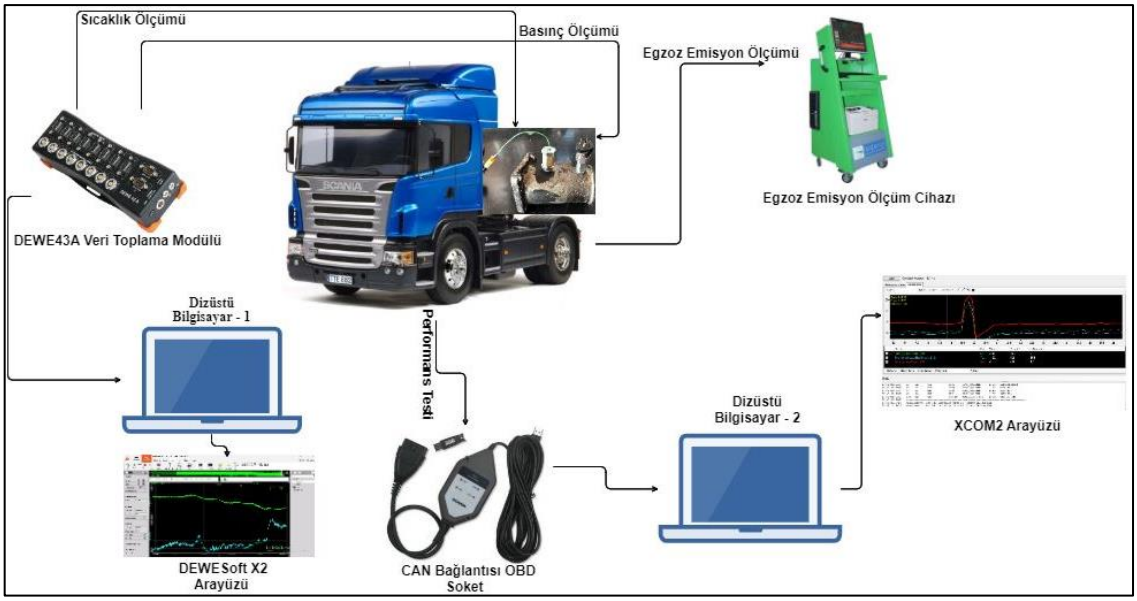


Şekil 2.6. Işık absorpsiyon ölçüm cihazı (Gramsch ve ark., 2004)

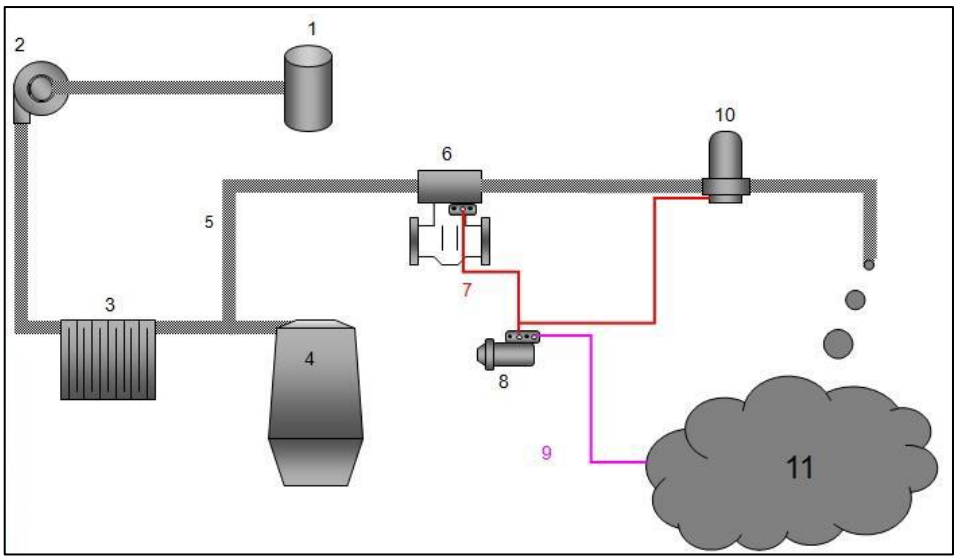
Gerke çalışmasında, üç farklı ağır hizmet dizel motorundan alınan verilerle, opasimetre ile ölçülmüş partikül emisyonlarının gerçek zamanlı ölçümlerini kıyaslamıştır. Kısa süreli emisyon testi çevrimi sırasında yayılan ağır hizmet dizel motor partiküllerinin gerçek zamanlı ölçümünü sağlayan sistem çevre koruma ajansı tarafından geliştirilmiştir. Bu opaklık ölçer tipi, seyreltme tünelindeki egzoz-hava karışımının opaklığının ölçülmesinde kullanılmıştır. Çalışmada tasarlanan tünelin amacı sabit kütle akışını koruyarak sürekli değişen motor egzoz kütle akış hızını izleme ihtiyacını ortadan kaldırmaktır. Pozitif yer değiştirme pompası ve buna sabit bir sıcaklık sağlayan ısı eşanjörü sayesinde sabit kütle akışı sağlanmıştır. Bu çalışma ışığında, opaklık partikül görüntüleyici ile, opaklık ve parçacıklar arasında bir ilişki geliştirmeden karşılaştırma yapabilmek için ve parçacıkların ne zaman yayıldığını belirlemek için kullanılabileceği gösterilmiştir (Gerke, 1983).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde çalışmalarda kullanılan araç ve ilgili bileşenler, ölçüm için kullanılan aygıtlar ve izlenilen basamaklar hakkında bilgi verilecektir. Gerçekleştirilen deneysel çalışma test metodu Şekil 3.1'de şematize edilmiştir. Motor indike tork ve yakıt tüketimi CAN üzerinden ilgili bir yazılım aracılığıyla, tank dolum süreleri, turbolandırılmış hava basınç ve sıcaklık değerleri veri toplama sistemiyle ilgili sensörler aracılığıyla ölçülmüş ve kompresör hacimsel verimi hesaplanmıştır.



Şekil 3.1. Deneysel test düzeneği şematik görünümü



Şekil 3.2. Geliştirilen kompresör hava giriş hattı modeli (Beem, 2013)

Pistonlu bir kompresör genel anlamda küçük bir içten yanmalı motor gibi çalıştığından dolayı, bir ara bağlantı geliştirilip turboşarj aracılığıyla debisi arttırılmış hava ile beslenmesi fikri ortaya çıkarılmıştır. Çalışmada Şekil 1.9'da verilen doğal emişli durum ve ara bağlantı aracılığıyla turbo beslemeli kompresör durumları incelenmiştir. Turbo hava beslemeli kompresör modeli Şekil 3.2'de gösterilmiştir. Hatta bulunan elemanlar ise Çizelge 1.2'de doğal emişli model ile birlikte verilmiştir.

3.1. Deney Aracı ve Kompresörü

Deneyler boyunca Şekil 3.2'de temsili olarak gösterilen 2008 model Scania marka ağır vasıta ile Konanka Scania özel servisinde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.2. Testlerde kullanılan ağır vasıta görseli (Simona, 2010)

Yapılan deneysel çalışmalarda kullanılan aracın sahip olduğu teknik özellikler Çizelge 3.1'deki gibidir.

Çizelge 3.1. Scania G 420 teknik özellikleri

Tipi	G 420 La x 2HNA
Araç/motor tipi	P, G, R, T serisi kamyon (2003-)
VIN	XLEG4X20005218271
Araç tipi	Yarı römorklu traktör
Yakıt	Dizel
Emisyon seviyesi	Euro 4
Enjektör sistemi	HPI
Silindir sayısı	6
Motor hacmi	12 litre
Motor gücü	420 BG

Araç üzerinde Şekil 3.3'te gösterilen Knorr-Bremse marka ana sanayi üretimi çift silindirli kompresör ile çalışılmıştır. Ürünün sahip olduğu teknik özellikler Çizelge 3.2'de verilmiştir. Deneylerde üzerinde çalışılan kompresör tek etkili, pistonlu sınıfına dâhildir. İçten yanmalı motorların beslemesinde kullanılan turboşarj kompresörler ise dinamik kompresörler grubuna ait olan santrifüj sınıfına girer, yüksek debi sağlamak amacıyla kullanılır.



Şekil 3.3. Testlerde kullanılan çift silindirli Knorr-Bremse markalı kompresör görseli (Anonim, 2020a)

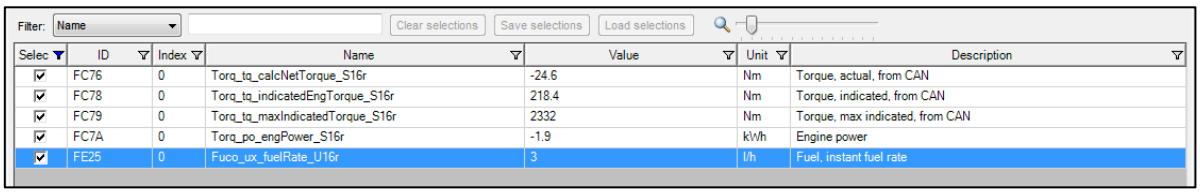
Çizelge 3.2. Knorr-Bremse 1796663 kodlu kompresör teknik özellikleri (Anonim, 2020a)

Ürün (OEM) kodu	1796663/ K016615ES
Silindir çapı	88.00 mm
Kurs boyu	50 mm
Hacim	608 cm^3
Hava giriş bağlantısı	M26x1,5
Hava çıkış bağlantısı	M22x1,5
Silindir sayısı	2
Hava tahliye bağlantısı	M22x1,5
Soğutma türü	Su soğutmalı
Su giriş-çıkış bağlantısı	M18x1,5
Yağlama	Motor yağı
Yağ giriş bağlantısı	Flanş
ESS	Var
Su soğutmalı valf pleyt	Var
Tahrik	Dişli

3.2. Veri Almada Kullanılan Modül, Yazılım ve Cihazlar

3.2.1. Motor indike tork ve yakıt tüketiminin ölçülmesi

Her iki durum için de motor indike tork değeri ve yakıt tüketimi Konanka özel servisinde bulunan Xcom2 yazılımı ile CAN modülünden ölçülmüştür ve veriler anlık olarak kaydedilmiştir. Kullanılan programın veri görüntüleme ekran arayüzü Şekil 3.4'te gösterilmiştir. Her iki durumda ve belirlenen her devirde tank dolana kadar 9 ile 17 arasında ölçüm sonucu kaydedilmiş ve kaydedilen değerlerin aritmetik ortalamaları alınmıştır. Tank dolana kadar tüketilen yakıt miktarı ise CAN'den alınan l/sa ortalama verisi ile her bir durum için tank dolum süresinin saat cinsinden çarpımı ile litre olarak elde edilmiştir.



Şekil 3.4. Xcom2 veri görüntüleme ekranı

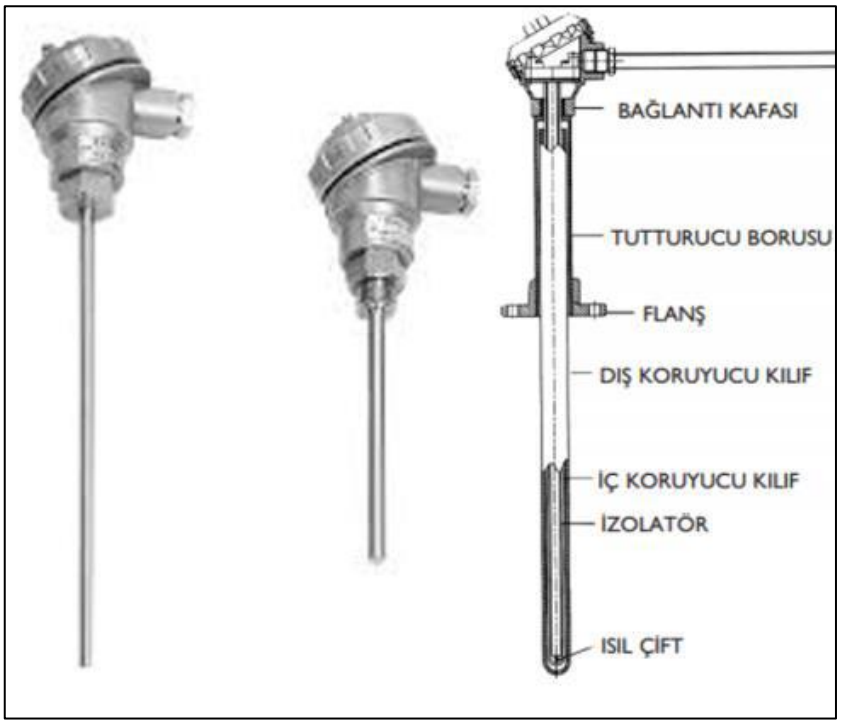
3.2.2. Ara Soğutucu (Intercooler) sonrası kompresör giriş havası sıcaklığı ve basıncının ölçülmesi

3.2.2.1. Kompresör giriş hava sıcaklığının ölçülmesi

Termokupllar, sıcaklık ölçümünde en yaygın kullanılan deneysel yöntemlerden biridir. Termokupllar iletkendir, ucuzdur, geniş bir sıcaklık aralığında ölçüm yapabilir ve kolayca uygulanabilirler; ancak bunlar sadece ölçüm yapılan ortamın ve/veya iş parçasının tüm temas alanı üzerindeki ortalama sıcaklığı ölçer (Kus ve ark., 2015).

Termokupl, iki farklı metal alaşımın uçlarının kaynaklanması ile elde edilen bir sıcaklık ölçü elemanıdır. Sıcaklık farkına orantılı olarak mV değerlerinde gerilim çıkışı verirler. Geliştirilen kontrol sisteminde sıcaklık ölçümlerinde K tipi termokupl kullanılmıştır. Nikel (-) ve Nikelkrom (+) bacaktan oluşan bu termokupl, oksitleyici ortamlarda tercih edilir. 1300 °C'ye kadar mV değeri üretmesine rağmen yaygın olarak 1200 °C'ye kadar kullanılır (Dalmış ve ark., 2018).

Yapılan deneylerde kompresör hava giriş sıcaklığı anlık olarak kontrollü bir şekilde kayıt altında tutulmuştur. Sıcaklık ölçümü için Şekil 3.5'te gösterilen K tipi sıcaklık algılayıcısı kullanılmıştır.



Şekil 3.5. K tipi sıcaklık sensörü (Dalmış ve ark., 2018)

Testlerde kullanılan Dewe43-A veri toplama modülünün analog giriş kanalları 0-10 V ölçüm yeteneğine sahip 9 pin dişi konnektör girişlidir. Termokupl ile sıcaklık ölçümü gerçekleştirebilmek için harici bir ölçüm adaptörü kullanılmalıdır. Bu sebeple testlerde kullanılan Çizelge 3.3'te özellikleri verilen Elimko marka termokupl, dijital seri arayüz adaptörü (DSI) kullanılarak Dewe43A modülünün analog giriş kanalı üzerinden ölçüm gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 3.3. Kullanılan termokupl özellikleri (Anonim, 2020b)

Malzeme (DIN 43710)	Tip (DIN 43710, IEC60584)	Sıcaklık aralığı
NiCr-Ni	K	-200…1200 °C

3.2.2.2. Kompresör giriş hava basıncının ölçülmesi

Kompresör giriş hava basıncının ölçülmesi için Trafag firmasına ait olan 16 bar mutlak hava basıncı ölçüm kapasitesine sahip piezorezistif ölçüm yeteneğindeki Şekil 3.6'da gösterilen basınç sensörü kullanılmıştır. Basınç ölçümü Dewe43A modülünün analog giriş kanalı aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Sensör ile ilgili teknik bilgiler Çizelge 3.4'te detaylı bir şekilde paylaşılmıştır.



Şekil 3.6. Basınç sensörü (Anonim, 2019)

Çizelge 3.4. Basınç sensörüne ait teknik bilgiler (Anonim, 2019)

Basınç Ölçüm Aralığı	0 – 16 bar
Bağlantı Türü	G1/4
Hassasiyet	± 0,5 % FS
Çalışma Sıcaklığı (°C)	-40 °C ... +125 °C
Çıkış Sinyali (V)	0-10 VDC
Sensör Besleme (V)	9-32 VDC

3.2.2.3. Veri toplama sistemi

Veri toplama sistemi, tasarlanan ve test edilen sistemlerdeki ihtiyaç duyulan verileri elde etme ve analiz edebilme yeteneğinin genel ismidir. Bu çalışmada kompresör giriş hava basıncı ve giriş sıcaklığı bu sistemle ölçülmüştür. Bu ölçümler esnasında dünya genelinde yaygın kullanıma sahip Dewesoft firmasının Şekil 3.7'de gösterilen "Dewe 43A" modülü kullanılmıştır.



Şekil 3.7. Veri kaydedici görseli (Şengül, 2019)

Çizelge 3.5. Dewe43A teknik özellikler (Pişirici, 2017)

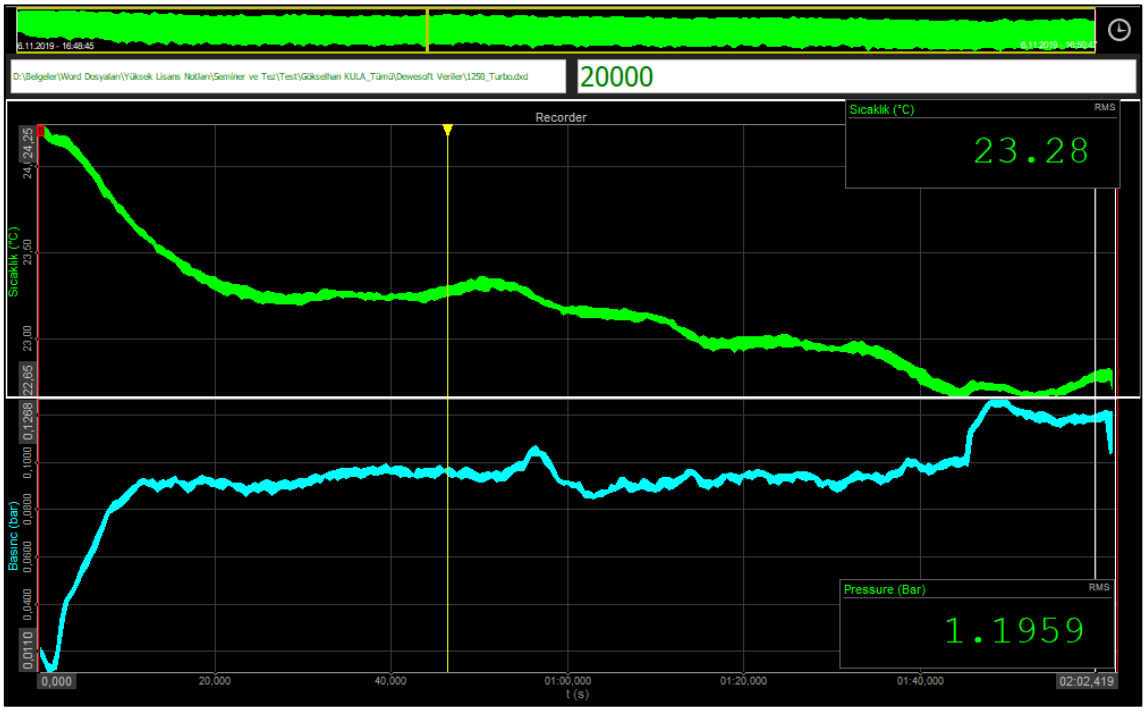
Kanal Sayısı	8
Örnekleme Hızı	200 kS/s
Giriş Aralığı	±10 V, ±1 V, ±100 mV, ±10 mV
Sensör Beslemesi	12 V, 400 mA
Hassasiyet	± 0,05 %FS
Besleme sayısı	6-36 VDC
Counter Input Sayısı	8
Güç	11 W
Ağırlık	720 g

Dewe43A modülünün çalışması için gereken gerilim Çizelge 3.5'te verildiği gibi 6-36 V aralığındadır. Modülün beslemesi normal şartlarda laboratuvar testlerinde direkt kendi adaptörü aracılığıyla sağlanmaktadır. Araçtan gelen 24 V sinyalin elektriksel dalgalanmasının (gürültünün) veri toplama cihazına zarar verebilme ve kayıt esnasında programı durdurma ihtimali bulunmaktadır. Bu yüzden araç üzerindeki testlerde çakmaklık soketinden sağlanan gerilimin kullanılması gereksinimi duyulmaktadır. Veri toplama cihazının sağlıklı çalışması için bu elektriksel gürültünün minimum düzeyde tutulması gerekmektedir. Bunun için modülün beslemesi, voltaj regülatörü aracılığıyla elektriksel gürültüden arındırılarak Şekil 3.8'de gösterildiği şekilde sağlanmıştır.



Şekil 3.8. Çakmaklık elektrik beslemesi (sol) ve regülatör (sağ)

Testler gerçekleştirilirken Dewesoft modülün veri alma hızı belirlenebilmektedir. Çalışmamızda saniyede 21 veri alınmıştır. Alınan ölçümler test esnasında Şekil 3.9'da gösterildiği gibi DEWESoftX2 yazılımı ile gözlemlenmiş ve kayıt altına alınmıştır. Hem sıcaklık hem de basınç verileri ortalama değer (Ave) ve Rms (Root Mean Square) olarak bir Excel dosyası içerisine kaydedilmiştir.



Şekil 3.9. 1250 rpm turbolandırılmış bağlantı esnasında DEWEsoft X3 yazılımı ekran arayüzü

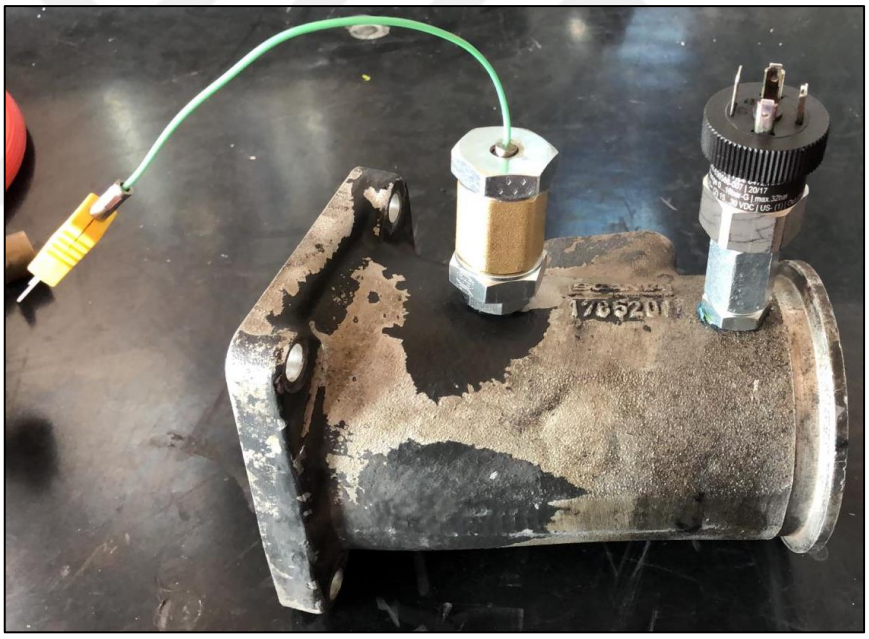
3.3. Ara Soğutucu Bağlantısı

Testler ilk olarak 3 farklı devirde, kompresör hava giriş beslemesi hava filtresinden sonra atmosferik olarak gerçekleştirilmiştir. Bu bağlantı şu an ağır vasıtalarda görülen konvansiyonel bir yöntemdir. Ancak planlamış olduğumuz turboşarj ara soğutucusundan kompresör hava giriş hattını beslemek olduğu için Şekil 3.10'da gösterilen bir adet Scania 1785201 emme manifoldu borusu tedarik edilmiştir.

Öncelikle kompresör emiş hattının besleneceği havanın sıcaklık ve basınç verilerini ölçebilmek için bağlantı delikleri manuel freze tezgâhında delinip, algılayıcıların diş özelliklerine göre kılavuz çekilmiş ve algılayıcılar Şekil 3.11'de gösterildiği gibi montajlanmıştır. Dişler arasında oluşabilecek sızıntıları önlemek için dişlerin üzeri yaygın olarak kullanılan teflon band ile sarılmıştır.

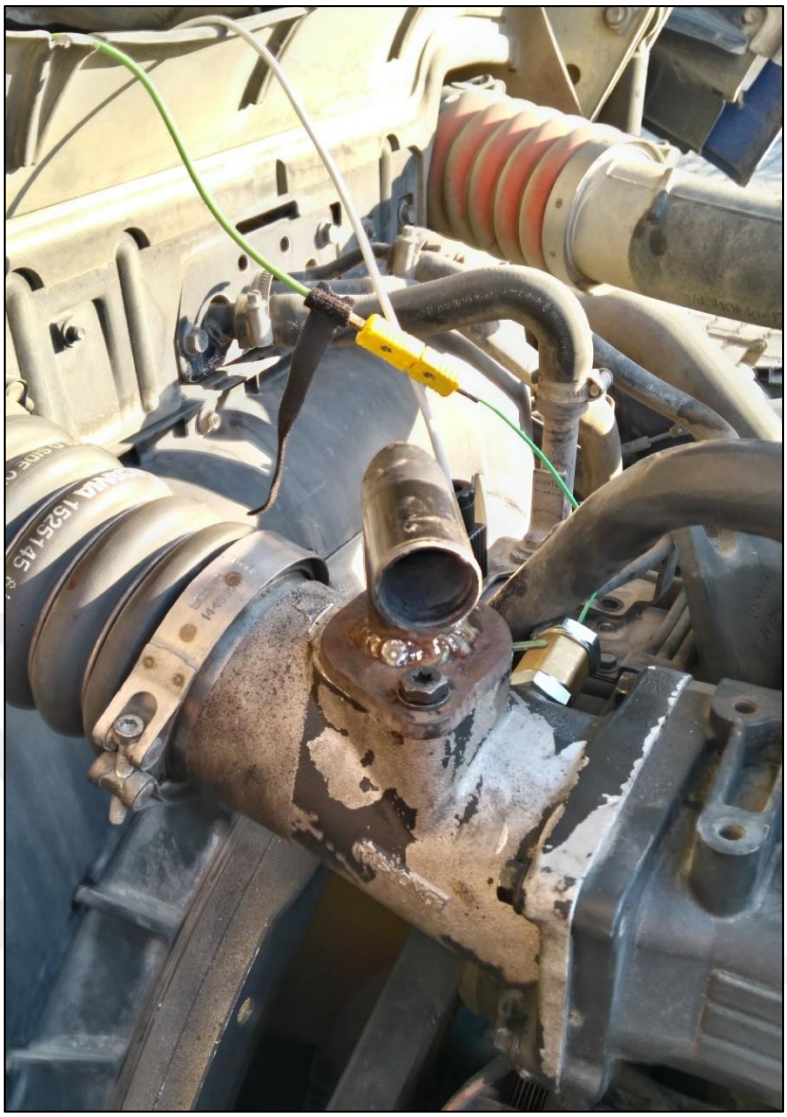


Şekil 3.10. Emme manifoldu borusu



Şekil 3.11. Emme manifold borusu üzerine montajlanan sıcaklık sensörü (sol) ve basınç sensörü (sağ)

Daha sonra ara soğutucudan gelen havayı kompresör hava girişine (0 portu) iletebilmek için manifold borusu üzerine hava giriş hortumuna uygun bir dirsek oksijen kaynağı metoduyla kaynatılmıştır. Dirsek ile boru arasına sızdırmazlığı sağlamak için bir miktar gres yağı sürüldükten sonra o-ring konulmuştur. Son olarak Şekil 3.12'de gösterildiği gibi manifold borusu ara soğutucu ile motor bloğu arasına, turbolandırılmış hava beslemeli kompresör testlerinin yapılabilmesi için yerleştirilmiştir.



Şekil 3.12. Geliştirilen ara bağlantının montajı

3.4. Araç Üzeri Testler

Deneylerde izlenecek basamaklar Şekil 3.13'teki gibi planlanmış ve uygulanmıştır. İlk olarak deneylere başlamadan önce motor nominal olarak sabit koşullara ulaşana kadar (motor soğutma suyu rejim sıcaklığına erişene kadar), araç rölanti devrinde (600 d/dk) çalıştırılmıştır (Chiavola ve ark., 2018). Motor, çalışma sıcaklığına eriştikten sonra aracı sabit devirde tutabilmek için durdurulup tahrik tekerleri bir takoz yardımı ile havaya kaldırılmıştır. Her ölçümden hemen önce tank, altında bulunan su boşaltma valfi pimi çekilerek 0 bar değerine kadar boşaltılmıştır. Deneyler süresinde boşaltılıp doldurulan iki adet besleme tankının özellikleri Çizelge 3.6'da verilmiştir. Aracı, hız limitleyicisi ile sabit devirde tutabilmek için performans testleri 5. viteste 750,

1250 ve 1750 d/dk olarak sabitlenmiştir. Şekil 3.14'te vites durumu, devir saati, tank basınç göstergesi gibi bilgilerin araç içerisinden takip edildiği panel görüntüsü verilmiştir. Araç tank tahliye basıncının 12 bar olduğu kontrol edilmiş ve tanklar ayarlanan basınca (12 bar) eriştiğinde kompresör tahliye durumuna geçmiştir.



Şekil 3.13. Araç üzeri test akış şeması

Çizelge 3.6. Hava tankı teknik özellikleri

Scania 1357950 8J hava tankı	
Tmin/max	-40/+100 °C
V (Hacim)	30 L
PS	14,5 bar



Şekil 3.14. 1250 d/dk'da ölçümler yapılırken araç gösterge paneli görüntüsü

Şekil 3.13'te şematize edilen araç üzeri test akış şemasında belirtildiği gibi deneyeler ilk olarak atmosferik (konvansiyonel) kompresör hava emiş bağlantısı ile yukarıda açıklandığı gibi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra Şekil 3.12'de gösterilmiş olan geliştirilen ara soğutucu sonrası ara bağlantı montajlanarak, deneyler aynı şekilde tekrarlanmıştır ve her iki bağlantı durumu için de performans testleri verileri kaydedilip, herbir durum ayrı ayrı klasörlenmiştir.

Araca monte edilen ara bağlantının sökümü yapılmadan egzoz emisyon testi için araç performans testlerinin yapıldığı yere yakın mevkide bulunan emisyon ölçüm tesisine geçilmiştir. Burada ilk olarak turbolandırılmış bağlantı için ölçüm yapılmıştır. Araç belli bir yol katettiği için araç durdurulup, tanklar tekrar boşaltılmıştır. Ölçüm cihazı yazılımından aracın emisyon sınıfı EURO IV olarak seçilmiştir, böylece standardın sınır değerleri tayin edilmiştir. Emisyon ölçüm probu Şekil 3.15'te gösterildiği gibi yerine takıldıktan sonra motora tekrar marş verilip, ölçüm gerçekleşene kadar tam gaz yük verilmiştir.

Ölçüm işlemi, üç ayrı ölçümden sonra tamamlanmıştır. İlk üç ölçümün, tekil ölçüm değerlerinin her biri standart olarak elde edilen ortalama sonuç değerinden eşit veya daha düşük bir "k" değerine sahipse, aritmetik ortalama k-ortalaması son üç egzoz stroğu ile hesaplanır. Ortalama değerin hesaplandığı üç k değerinin tümü k-ortalamasının % 60'ından büyükse, ölçüm tamamlanır. Aksi takdirde, emisyon ölçümü ilaveten yapılacak iki ölçüm ile devam eder (Malka ve Bidaj, 2015).

Ölçüm Federal marka egzoz gaz analizi cihazı ile yapılmıştır, cihaza ait teknik özellikler Çizelge 3.7'de verilmiştir. Ölçüm tamamlandıktan sonra ekran verisi

kaydedilip, araç durdurulup, ara bağlantı sökülmüştür. Emisyon testi aynı şekilde bu kez atmosferik bağlantı durumu için gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.15. Emisyon testi

Çizelge 3.7. Emisyon test cihazı teknik özellikleri (Özdemir, 2013)

Cihaz Adı	Egzoz Gazı Duman Koyuluğu Ölçme Cihazı (Opasimetre)
Marka	Tecnoboss Automotive Service Equipment
Model	7000
Güç Kaynağı	(220-230)V 50 Hz
Çevre Sıcaklığı	0 - 40
Etkin Optik Yol Boyu (mm)	203
Opasite Çözünürlüğü ve Skalası (%)	0,1
Işık Absorpsiyon çözünürlüğü ve skalası (m^{-1})	0,01

Emisyon ölçümü yapılan firmanın “Egzoz Gaz Emisyon Ölçüm Yetki Belgesi” Ek-1’de sunulmuştur. Ölçümler ülkemizde TS ISO 11614 standartına ve Egzoz Gazı Emisyonu Kontrolü ile Benzin ve Motorin Kalitesi Yönetmeliği’ne uygun şekilde uygulanmakta ve değerlendirilmektedir. Ülkemizde kullanılan TS ISO 11614 standartı, ölçüm prensibi açıklaması ISO 11614’de verilen (Athanasios Mamakos, 2012) standarttan uyarlanarak oluşturulmuştur.

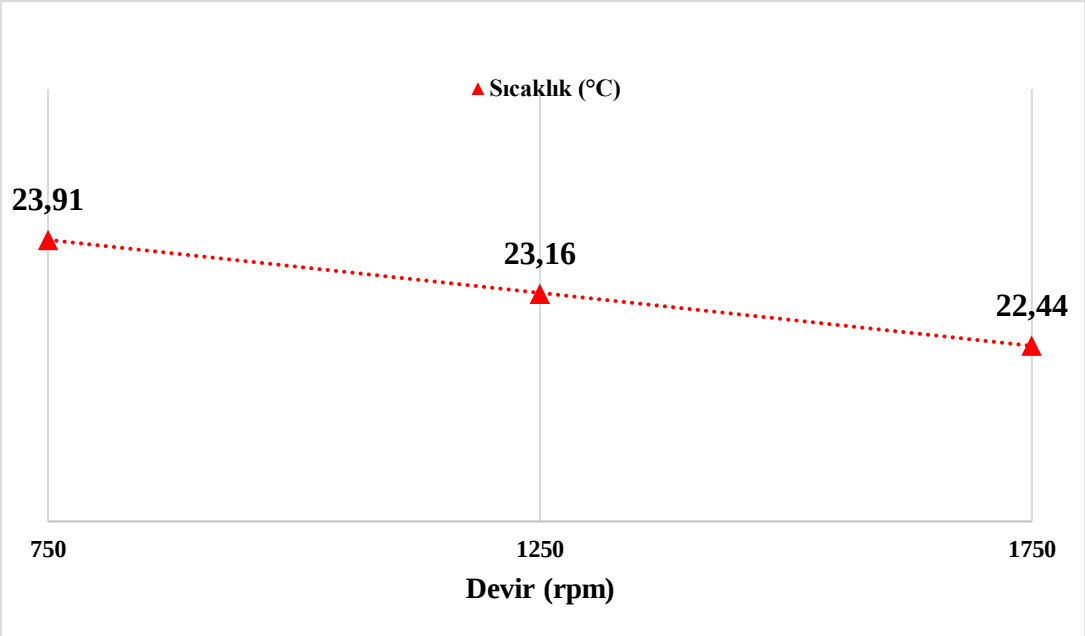
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Ara Bağlantı Sıcaklık ve Basınç Ölçümleri

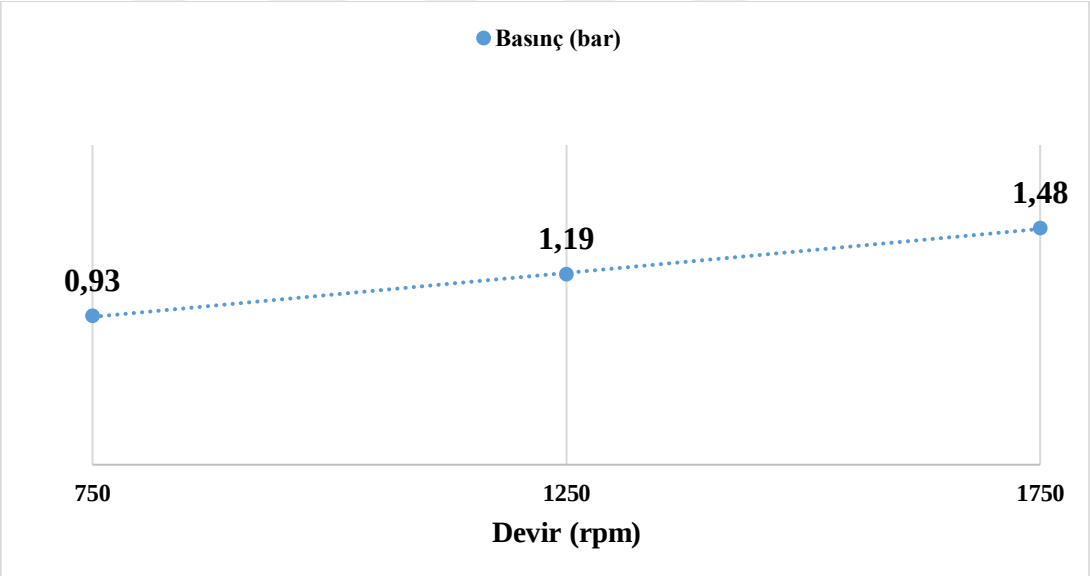
Bölüm 3'te fotoğraflarla gösterildiği üzere ara ssoğutucu ile emme manifoldu arasına yerleştirilen bağlantı üzerine sıcaklık ve basınç ölçer konumlandırılarak veriler modül aracılığıyla hava tankları dolana kadar saniyede alınan 21 veri Çizelge 4.1'de görüldüğü gibi hem ortalama değer (AVE) hem de RMS olarak kaydedilmiştir. Değerlerin excelden aritmetik ortalaması alınmıştır. Virgülden sonra iki basamak hassasiyet dikkate alınmıştır ve iki değere ait ortalama değerler aynı sonucu vermiştir. Deneylerin gerçekleştirildiği üç devir için sıcaklık ve basınç değerleri sırasıyla Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. 750 d/dk 1 saniyede kaydedilmiş 21 ölçüm

Time	Sıcaklık; AVE	Sıcaklık; RMS	Pressure; AVE	Pressure; RMS
s	°C	°C	Bar	Bar
0	24,259844	24,261471	0,91049492	0,91050351
0,05	24,280249	24,28207	0,91073835	0,91074765
0,1	24,248613	24,250198	0,91163647	0,91164976
0,15	24,27113	24,273115	0,91119999	0,91120762
0,2	24,234467	24,236176	0,91221929	0,91223234
0,25	24,281546	24,283249	0,91238731	0,91239357
0,3	24,240015	24,241611	0,91314733	0,91316277
0,35	24,2724	24,274061	0,91215485	0,91216201
0,4	24,248226	24,249723	0,91327798	0,91329366
0,45	24,285738	24,287426	0,91258347	0,91259181
0,5	24,227043	24,228697	0,91495371	0,91496801
0,55	24,270067	24,271685	0,91522437	0,91523564
0,6	24,243601	24,24518	0,91612977	0,91614366
0,65	24,255642	24,257376	0,91548437	0,91549456
0,7	24,243279	24,245066	0,91751271	0,91752505
0,75	24,267866	24,269724	0,91682106	0,91683245
0,8	24,240925	24,242605	0,91765869	0,91766906
0,85	24,26383	24,265509	0,91831023	0,91832292
0,9	24,242668	24,244553	0,91953129	0,91954124
0,95	24,254938	24,256628	0,91939211	0,91940391
1	24,235001	24,236589	0,92131788	0,9213258



Şekil 4.1. Ara bağlantıda ölçülen sıcaklık değerleri



Şekil 4.2. Ara bağlantıda ölçülen basınç değerleri

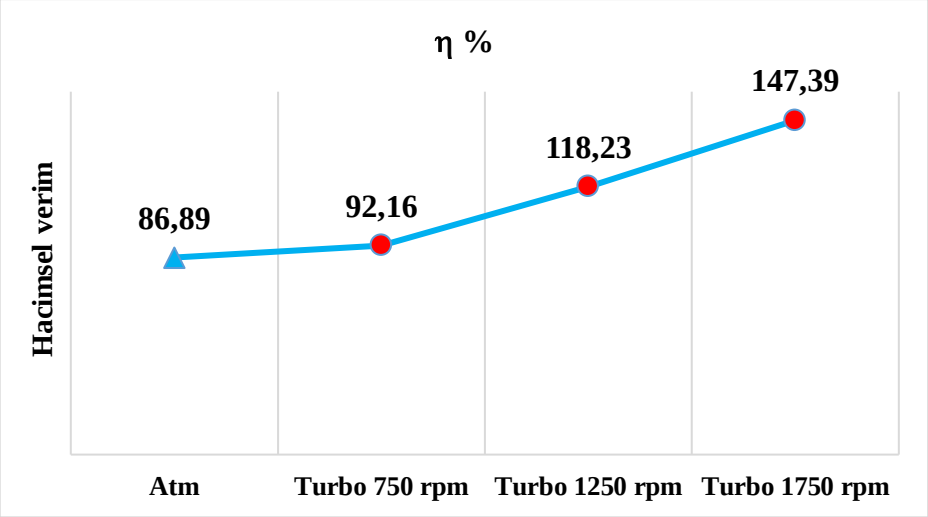
Bir turboşarjın amacı, emme gazının (genellikle hava) yoğunluğunu motorun veya kompresörün emme hattına girerek artırarak, hacimsel verimliliği arttırmaktır. Motorun giriş havasının basıncı arttığında, sıcaklığı da artacaktır. Turboşarj teknolojisi, emme havasını soğutmak için bir ara soğutucu kullanır. Burada amaç, emilen havanın sıcaklığını ortam sıcaklığına olabildiğince yaklaştırmaktır (Muqeem, 2012). Deney süresince üç devir için alınan Şekil 4.1'de gösterilen sıcaklık verileri, ortam sıcaklığına oldukça yakın gözlemlenmiştir. Ağır vasıta ara soğutucu peteğin boyutlarının hem büyük olması hem

de havanın binek araçlara göre emme manifolduna kadar daha uzun bir hortum içerisinden geçiyor olması, ayrıca geliştirilen ara bağlantının metal olması ısı transferi miktarını daha da arttırmıştır. Sıcaklık ölçümleri arasında görülen, devirler arası 0,70 °C'lık fark ise testler yapılırken gün içerisinde değişen sıcaklık ve çevresel faktörlerden kaynaklanmıştır.

Naser ve arkadaşları 2016 yılında arasoğutmaya sahip turboşarjlı bir Cummins dizel motorunda yapmış oldukları çalışmada 1200'den 1800 d/dk motor devrine kadar turboşarj türbin hızının da neredeyse motor hızına paralel bir şekilde arttığını ifade etmişlerdir. Türbin mil hızı yaklaşık bir aracın motor hızından 30 kat daha hızlıdır (Ingale ve ark., 2010). Bunlara bağlı olarak gerçekleştirilen deneyde motor devri arttıkça Şekil 4.2'de görüldüğü gibi havanın ara soğutucudan geçtikten sonra ölçülen basınç değerinin arttığı gözlemlenmiştir.

4.2. Kompresör Hacimsel Verimi

Hacimsel verim, denklemler 1.2 ve 1.3 ile yüzde olarak hesaplanmıştır. Silindir odası hacminin bir çevrimde normal şartlarda alabileceği dolgu kütlesi için sıcaklık 25 °C, basınç 1 atm (1,013 bar) kabul edilmiştir. Giriş havasının sıcaklık ve basınç değerleri sensörler aracılığıyla veri toplama modülünden ölçülmüştür. Giriş havasının atmosferik beslenmesi ve üç farklı devirde turbolandırılmış beslemesi için hesaplanan sonuçlar Şekil 4.3'te gösterilmiştir.

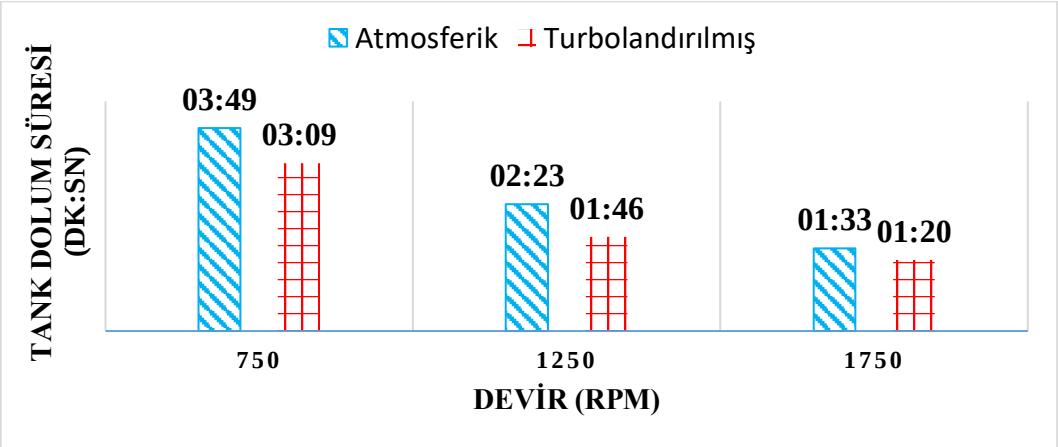


Şekil 4.3. Kompresör hacimsel verimi

Muuqem'in 2012 yılında yapmış olduğu çalışmada belirtildiği gibi turboşarj vasıtasıyla silindir içerisine alınan hava yoğunluğu arttığından, hacimsel verim artacaktır. Yapmış olduğumuz çalışmada aynı şekilde hacimsel verimin turboşarj besleme ile artmış olduğu gözlemlenmiştir. Aynı zamanda devir arttıkça Naser ve arkadaşlarının 2016 yılındaki çalışmalarında göstermiş oldukları motor devri arttıkça, turboşarj mil hızının da artacağından dolayı, çalışmalarımızda devir arttıkça hacimsel verimde doğrusal bir artış gözlemlenmiştir. Bunların bir diğer sonucu; hem devir arttıkça hem de doğal emişli kompresöre göre aşırı doldurma ile beslenen kompresörde basılan havanın debisi artacağından dolayı Şekil 4.4'te verilen hava tankı dolum sürelerinde azalış gözlemlenmiştir.

4.3. Hava Tankı Dolum Süresi

Tanklar boşaltılıp, tahliye basıncı 12 bar değerine ayarlanmıştır. Deneyler boyunca ölçülen tank dolum süreleri hem bir kronometre ile tutulmuş hem de veri toplama modülünden ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar Şekil 4.4'te dakika:saniye olarak verilmiştir. Her iki bağlantı için devir arttıkça sürelerin kısalması hava giriş debisinin yükselmesinden kaynaklanmaktadır.



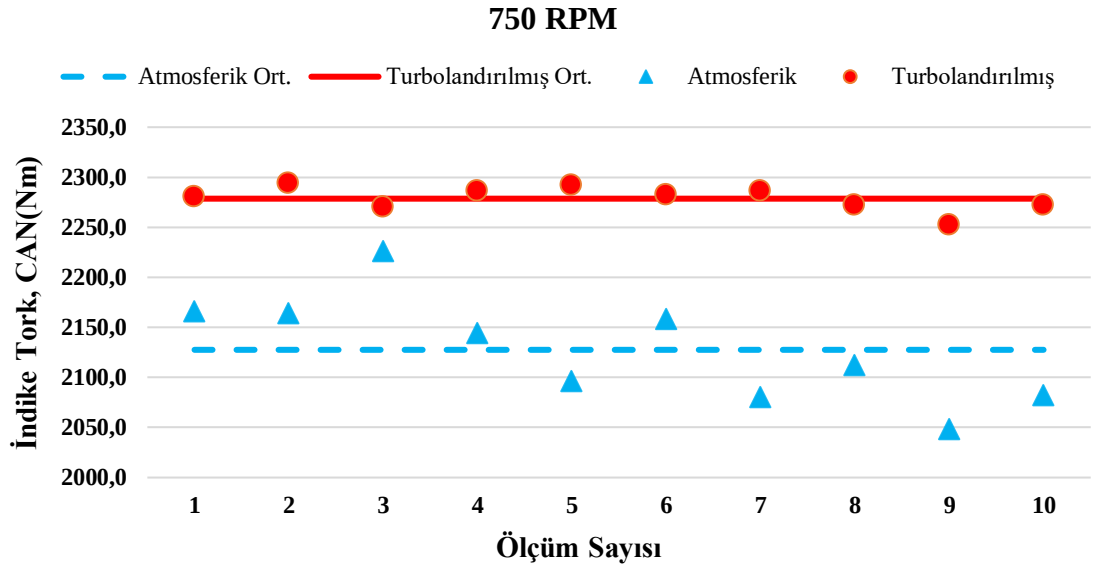
Şekil 4.4. Hava tankı dolum süreleri

Aydıner ve arkadaşları 2019 yılında yaptıkları deneysel çalışmada 0-3000 d/dk arasında, 500 d/dk aralıkla yapmış oldukları ölçümlerde, kompresör hava giriş debisinin (m^3/dk) artmış olduğunu elde etmişlerdir (Aydıner ve ark., 2019). Kompresör giriş havası turbolandırılmış bir şekilde beslendiğinde hacimsel verim artacağından dolayı tank dolum

sürelerinde azalma görülmüştür. Bu azalma turbo beslemeli kompresör durumunda 750 d/dk'da gerçekleştrilen ölçümlerde % 17, 1250 d/dk'da % 25 ve 1750 d/dk için % 14 değerinde azalma olarak tespit edilmiştir. Tassou ve Qureshi 1998'de yapmış oldukları çalışmalarında yüksek devirlerde emme valflerinde kısılma kayıpları meydana geleceğini ifade etmiştir. Yüksek devirlerde kompresör valf verimi düşmesinden dolayı hızlı doldurma etkisi daha az gözlemlenmiştir.

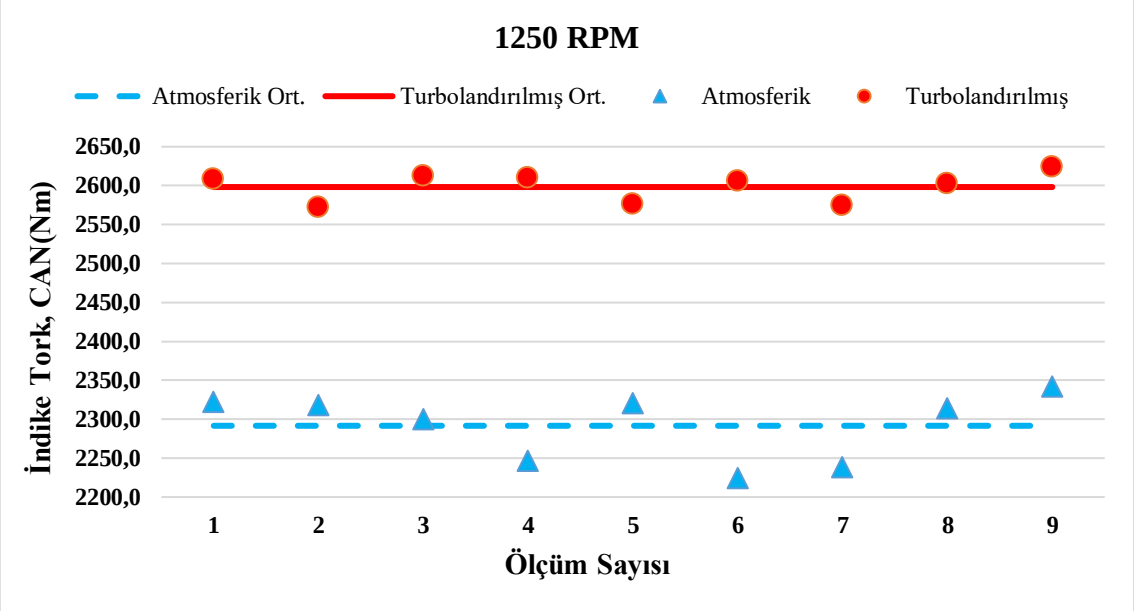
4.4. Tork ve Yakıt Tüketimi Değerleri

Her iki bağlantı durumu için motor CAN modülünden alınan indike tork değerleri ve ortalamaları 750, 1250 ve 1750 d/dk için sırasıyla Şekil 4.5, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de verilmiştir. Ünüvar ve arkadaşları 2019 yılında ağır vasıta hava fren kompresörü performansı üzerine yapmış oldukları deneysel çalışmada artan devir ile hava debisinin miktarının arttığını ve böylelikle kompreör krank milinin çektiği güç miktarının da artmış olduğunu göstermişlerdir. Turbo beslemeli durumda, deneylerde aynı alana sahip piston üzerine daha fazla basınç geldiğinden dolayı havayı sıkıştırırken daha fazla kuvvete ihtiyaç duyulmuştur. Bu yüzden kompresör dişlisinin ihtiyaç duyduğu tork miktarı artmıştır ve motordan daha fazla güç çekmiştir. Grafiklerden görüleceği gibi motordan ölçülen indike tork değerlerinde hem devir arttıkça hem de aşırı doldurma kompresör bağlantısında atmosferik emişli hava girişine göre artış gözlemlenmiştir.

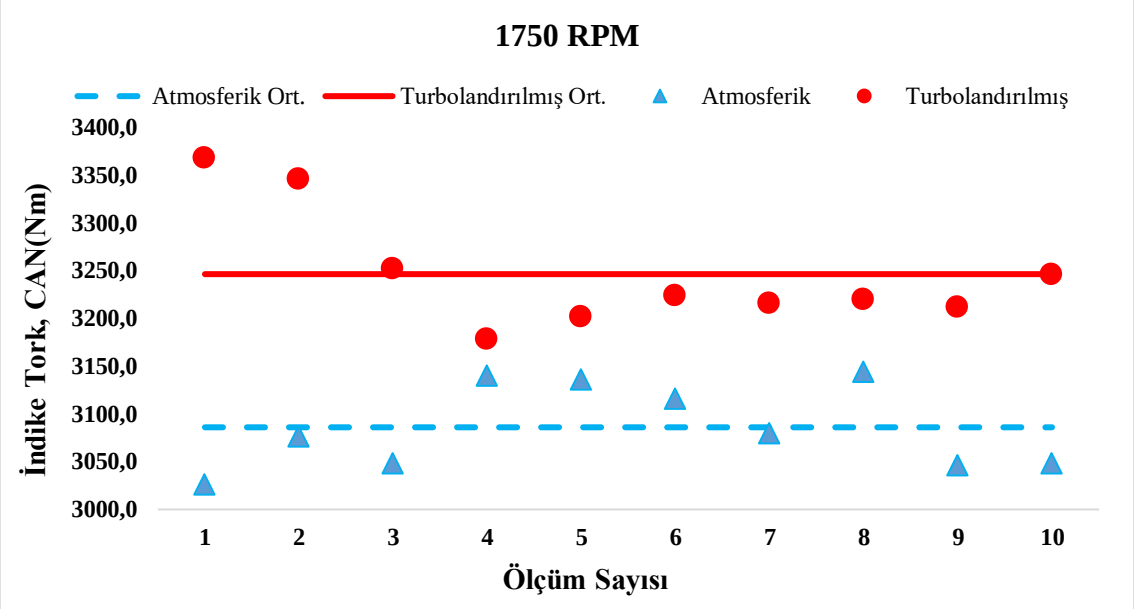


Şekil 4.5. 750 d/dk motor indike tork değerleri

Araç CAN modülünden alınan anlık yakıt tüketimi değerleri sırasıyla Şekil 4.8, Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da verilmiştir. Tanklar her deney için doldurulana kadar tüketilen yakıt miktarı litre cinsinden Şekil 4.11'de gösterilmiştir. Anlık yakıt tüketimi ortalama değerleri ile tank dolum süreleri çarpılarak hesaplanmıştır.



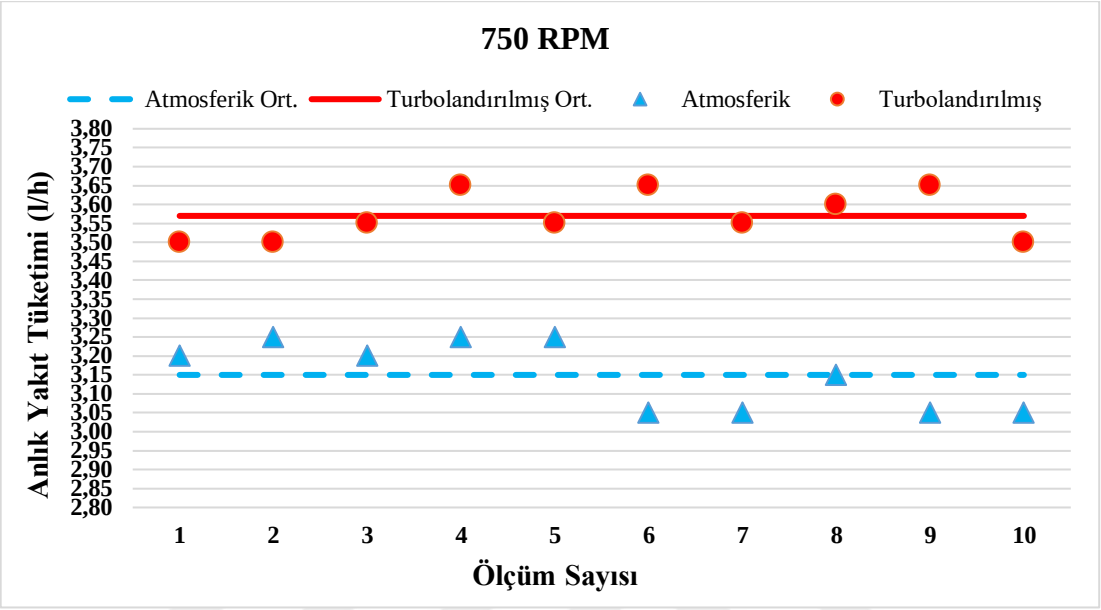
Şekil 4.6. 1250 d/dk motor indike tork değerleri



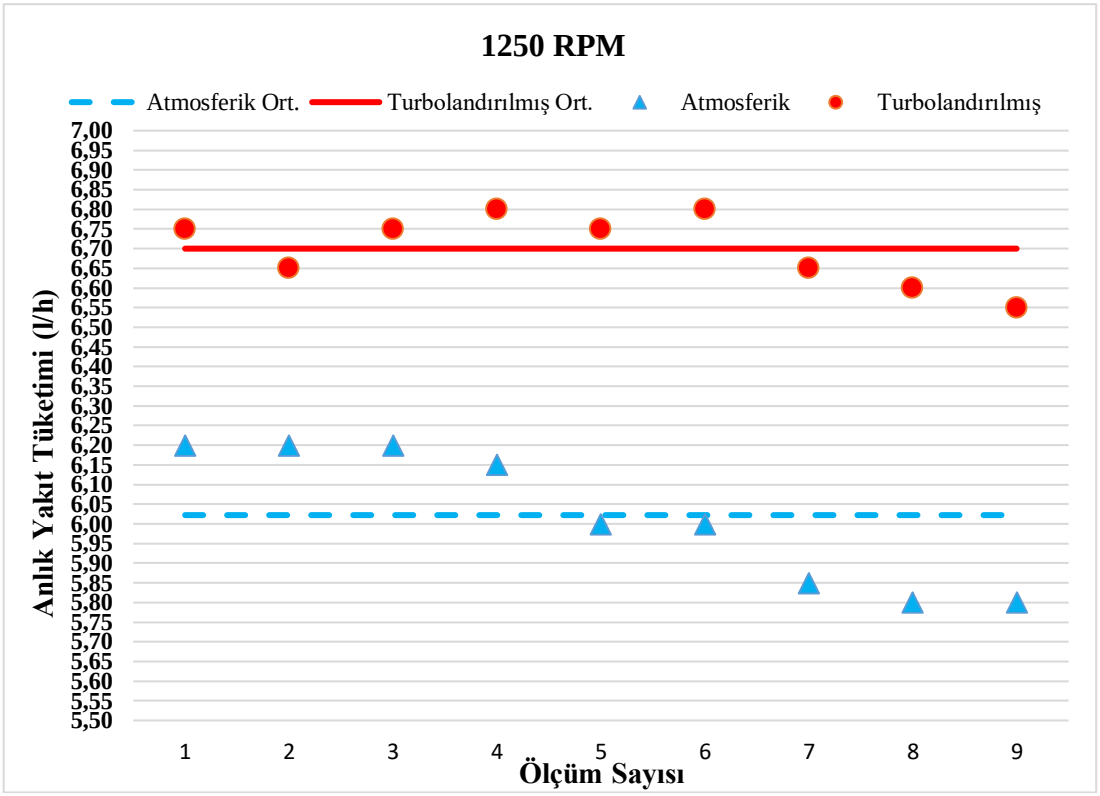
Şekil 4.7. 1750 d/dk motor indike tork değerleri

Tork miktarındaki artış yakıt tüketimi miktarında da artışa sebep olmaktadır. Dizel motorlarda yanma, yakıtın yanma odasına püskürtülmeye başlamasından, yanma sonu

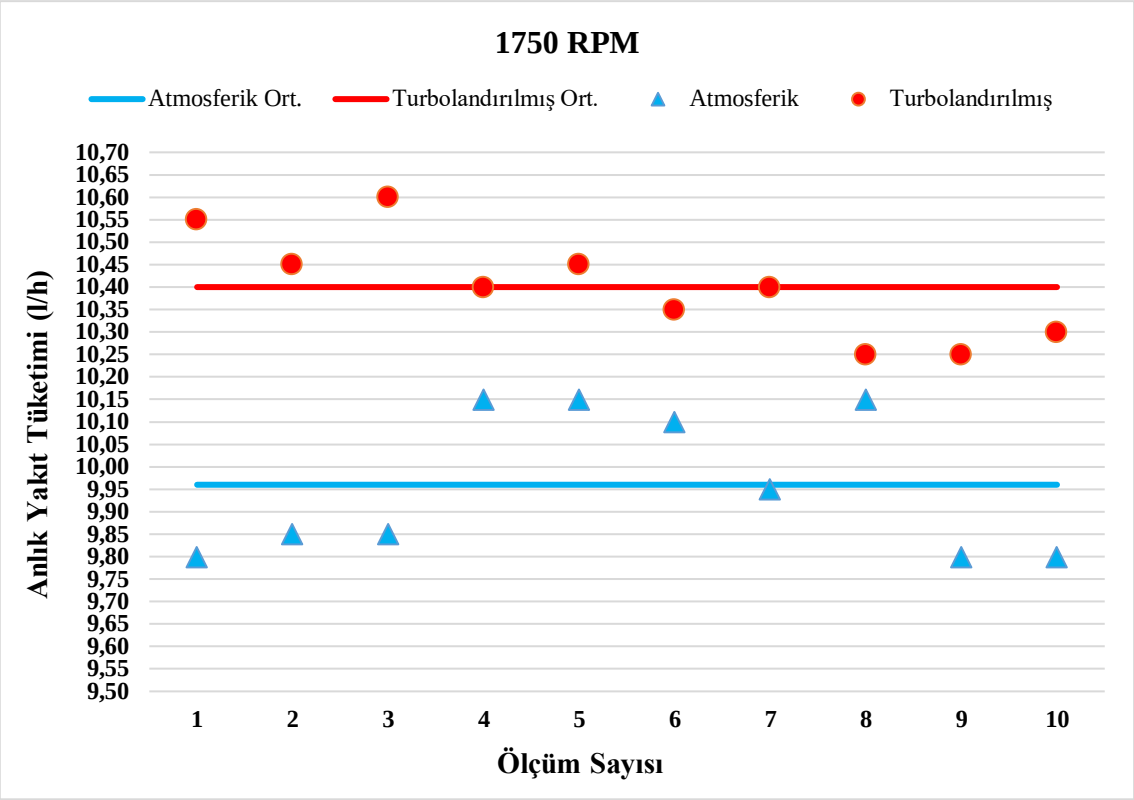
ürünlerinin dışarıya atıldığı egzoz zamanı başlangıcına kadar geçen periyotta meydana gelen karmaşık fiziksel ve kimyasal olayları kapsar. Sıkıştırtırma ile patlamalı motorlarda yanma odası içerisinde homojen bir karışım yoktur (Safgönül ve ark., 2013). Grafiklerde ölçümler sonucu anlık verilerde görülen küçük farklılıkların temel sebebi budur.



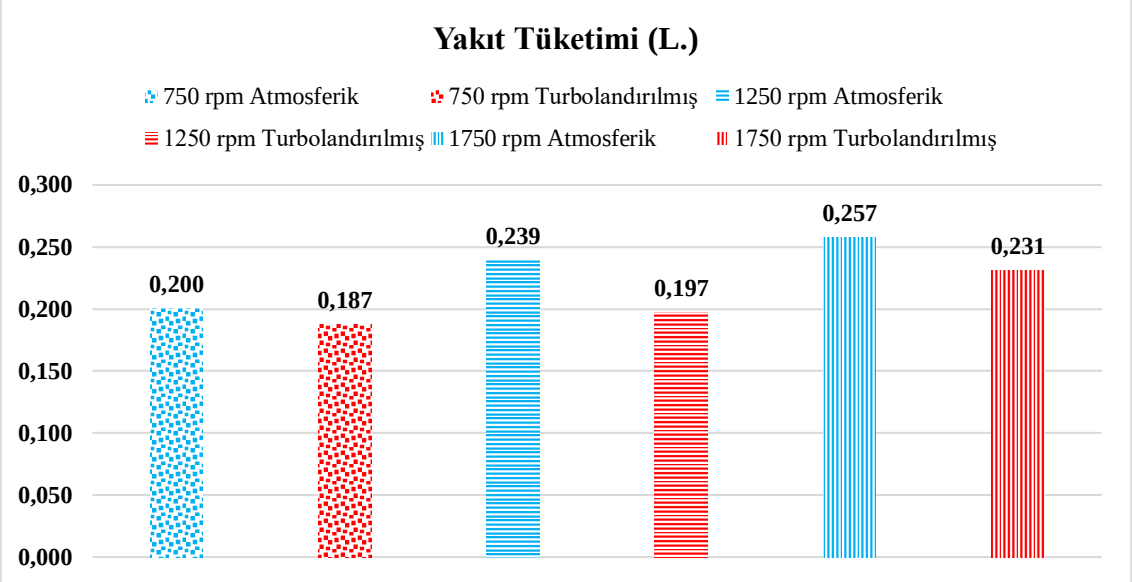
Şekil 4.8. 750 d/dk yakıt tüketim değerleri



Şekil 4.9. 1250 d/dk yakıt tüketim değerleri



Şekil 4.10. 1750 d/dk yakıt tüketim değerleri



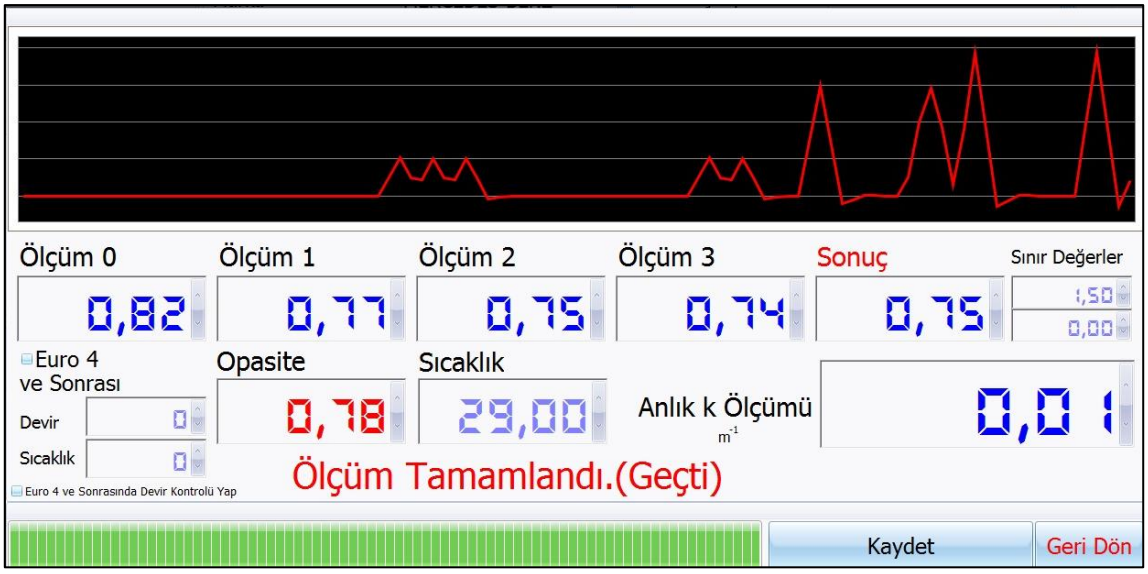
Şekil 4.11. Tanklar dolana kadar tüketilen yakıt miktarı

Atmosferik beslemeye göre kompresör giriş havası turboşarjdan beslendiğinde ve motor devri arttıkça anlık yakıt tüketiminde artış görülmesine rağmen, tank dolum sürelerindeki azalma, tank dolana kadar tüm sistemdeki yakıt tüketimi miktarında Şekil 4.11'de görüldüğü gibi azalma göstermiştir. Aynı iş (kompresör aracılığıyla basınçlı

havayı tanklara doldurma) daha kısa sürede gerçekleşmiş olup, iş yaparken enerji olarak kullanılan yakıt miktarı azaltılmıştır.

4.5. Emisyon Değerleri

Atmosferik hava bağlantısı durumunda ölçülen emisyon değeri ekranı Şekil 4.12'de, turbolandırılmış kompresör hava giriş hattı emisyon değerleri ise Şekil 4.13'te verilmiştir.



Şekil 4.12. Atmosferik bağlantı emisyon ölçüm değerleri



Şekil 4.13. Turbolandırılmış bağlantı emisyon ölçüm değerleri

Ekranda “Ölçüm 0” olarak gösterilen alan, ölçüm probu egzoza takıldığında ölçüm başlamadan önceki sonucu göstermektedir. Değer okunan sıcaklık bölmesi ölçüm yapılan ortamın sıcaklık değerini göstermektedir. Hemen sol yanındaki kırmızı ile gösterilen opasite ise anlık opaklık durumunu göstermektedir. Ekranların üst tarafındaki grafiklerden görüldüğü gibi testlerden sonra atmosferik bağlantıda cihaz belli bir duman yoğunluğu ile karşılaşmıştır. İki ölçüm ekranı arasındaki farkın sebebi budur. Asıl sonucun hesaplanmasında kullanılan değerler “Ölçüm 1”, “Ölçüm 2” ve “Ölçüm 3” ile ifade edilen değerleridir. Ardışık bu üç ölçümden alınan değerler ile belli oranda yüzdelerde ISO 8178-9 (Pistonlu içten yanmalı motorların egzoz emisyon ölçümü standartı)’de belirtilen Bessel algoritması ile hesaplanan sonuç değeri elde edilmiştir. Ölçüm 0 değeri ölçüm gerçekleştirilmeden önceki duruma ait bir değer verdiği için bu değer hesaplamaya dâhil değildir.

Duman yoğunluğu, egzoz gaz yoğunluğunun ve parçacık sayısının sabit olduğu sürece sabit kalır. Bununla birlikte, egzoz gaz sıcaklığındaki değişmeler gaz yoğunluğunda değişikliklere sebep olur (Green ve Wallace, 1980). Egzoz Gazı Emisyonu Kontrolü İle Benzin Ve Motorin Kalitesi Yönetmeliği – Ek2’ de trafikte kullanılmakta olan dizel motorlu taşıtlarda absorpsiyon katsayısı sınır değerleri Çizelge 4.2’de gösterilmiştir. Bu yönetmeliğin, egzoz gazı emisyon ölçüm esasları ve sınır değerleri Madde – 8 ‘de püskürtme pompasından azami besleme sağlamak amacıyla gaz pedalına, tam ve devamlı olarak, fakat sert olmayacak bir şekilde basılması izah edilmiştir. Ölçüm esnasında her iki durum için tam gaz durumunda motor devri arttığından egzoz gazı akışı hızlanmıştır. Egzoz gazlarının kinetik enerjisiyle tahrik edilen turboşarj türbini yüksek devirlere çıktığı için hem 12 litrelik içten yanmalı motoru hem de 0,6 litrelik kompresörü besleyecek hava debisine erişebilmiştir. Bu yüzden iki durumda da sonuçlar aynı ölçülmüştür.

Çizelge 4.2. Trafikte kullanılmakta olan dizel motorlu taşıtlarda absorpsiyon katsayısı sınır değerleri (Anonim, 2013)

TAŞITA AİT BİLGİ	ABSORPSİYON KATSAYISI (m^{-1})
-Normal emişli dizel motorlarda	2,5
-Aşırı doldurmalı dizel motorlarda (Turbo Şarjlı)	3,0
-2010 yılından sonra üretilmiş dizel motorlarda	1,5

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Doğal emişli bir pistonlu hava kompresörü ve aynı kompresörün bir ara bağlantı vasıtasıyla turboşarj ara soğutucusundan hava ile beslenmesi durumunda deneyler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler ile sonuçlar, kompresör, motor ve emisyon çerçevesinde ele alınabilir.

Kompresör tarafından elde edilen verilere bakıldığında, atmosferik beslemeli kompresörün hacimsel verimi %86,89 iken, turbo beslemeli durumda 750, 1250 ve 1750 d/dk motor hızlarında sırasıyla % 6, % 36 ve % 69 artış elde edilmiştir. Böylelikle tank dolum süreleri açısından turbo beslemeli durumda konvansiyel bağlantı şekline göre kısalma elde edilmiştir.

Motor CAN modülünden alınan indike tork ve anlık yakıt tüketimi değerlerinde kompresör hava girişi turboşarjdan alınan hava ile beslendiğinde artış gözlemlenmiştir. Hava tankları dolana kadar sistemden çekilen yakıt tüketim değeri açısından bakıldığında, tanklara basınçlı hava turbo beslemeli durumda daha kısa sürede servis edildiğinden anlık yakıt tüketiminde artış olsa da toplamda yakıt tüketim miktarı azalmıştır.

Opasimetre ile emisyon ölçüm sonuçlarına bakıldığında her iki durum için de absorpsiyon katsayısı 0,75 m^{-1} ölçülmüştür ve bu değer EURO IV standarta sahip bir aracın izin verilen değerlerinin içerisindedir.

Bu çalışma ile basınçlı havanın çokça ihtiyaç duyulduğu belediye otobüsleri, şantiye araçları, çöp kamyonları gibi ağır vasıta türlerinde kompresör girişinin turboşarj ara soğutucusundan bir bağlantı aracılığıyla beslenebileceği gösterilmiştir. Bu durumda kompresör ana sanayi üreticilerinin arıza giderme kılavuzlarında değinmiş olduğu uygun çalışma çevrimi kısaltılmış olup, yüksek çalışma çevrimlerinin getireceği ek bakım maliyetleri azalacak ve servis süreleri kısalacaktır.

5.2 Öneriler

Araç içerisinden yönetilen bir kontrol elemanı ile ihtiyaç duyulması durumunda kompresör hava giriş hattının yönü değiştirilebilecek şekilde ileri düzey bir ara bağlantı geliştirilerek gelecekte bu çalışmada bahsedilen bağlantı şekli basınçlı hava kullanılan taşıtlara uygulanabilir.

KAYNAKLAR

Aksoy, S., Ünüvar, E. ve Acarer, M., 2017, AlSi12 Alaşımından Üretilen Kompresör Silindir Kapağında Abrasif Aşınma Davranışının İncelenmesi, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5 (1), 161-168.

Alcan, G., 2019, Data driven nonlinear dynamic models for predicting heavy-duty diesel engine torque and combustion emissions.

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

Anglani, N. ve Benzi, F., 2010, Variable speed drive air compressors: an analytic approach to energy saving evaluation, *The XIX International Conference on Electrical Machines-ICEM 2010*, 1-6.

Resmi Gazete, 2013. Egzoz Gazi Emisyonu Kontrolü İle Benzin ve Motorin Kalitesi Yönetmeliği p. 1-14.

Anonim, 2015, Pistonlu Kompresör Nedir?, https://www.elektrikrehberiniz.com/kompresor/pistonlu-kompresor-nedir-11027/:

Anonim, 2019, Industrial Pressure Transmitter, https://www.alfasanayi.com/content/img/EPI/H72317i_EN_8287_EPI_Industrial_Pressure_Transmitter.pdf: [March, 18].

Anonim, 2020a, Knorr-Bremse Türkiye, https://www.knorr-bremse.com.tr/tr/commercialvehicles/products_1/productsearch_1/search.jsp: [March, 18].

Anonim, 2020b, Termokupullar ile İlgili Genel Bilgiler, https://www.elimko.com.tr/files/TermokupllarGenelBilgiler.pdf:

Athanasios Mamakos, A. K., Anke Jordan-Gerkens, 2012, Consistent requirements specified for novel measuring instruments (prototypes) and comparison with European legislative requirements, 6.

Aydıner, M. Ş., Ünüvar, Ü. ve Kalyoncu, M., 2019, Bir Ağır Vasıta Hava Kompresörünün Performansının Deneysel Olarak İncelenmesi, *International Symposiom on Automotive Science and Technology (Isastech 2019)*, Ankara, 388-397.

Beem, S., 2013, Wabco Air Compressors Installation Requirements, *Cummins Application Engineering Bulletin*, 31-37.

Ben-Chaim, M., Shmerling, E. ve Kuperman, A., 2013, Analytic modeling of vehicle fuel consumption, *Energies*, 6 (1), 117-127.

Bhakta, A., Dhar, S., Bahadur, V., Angadi, S. ve Dey, S., 2012, A valve design methodology for improved reciprocating compressor performance.

Bin, T., Yuanyang, Z., Liansheng, L., Guangbin, L., Le, W., Qichao, Y., Haiping, X., Feng, Z. ve Wenhui, M., 2013, Thermal performance analysis of reciprocating compressor with stepless capacity control system, *Applied thermal engineering*, 54 (2), 380-386.

Bodin, A., 2010, Opacimeter for high temperature diesel exhaust gases, *Retrieved February*, 7, 2015.

Brun, K. ve Nored, M., 2012, Valve performance and life of reciprocating compressors, *Proceedings of the 41st Turbomachinery Symposium*.

Bukac, H., 2002, Understanding valve dynamics, 1564, 11.

Cabrera, D., Sancho, F., Long, J., Sánchez, R.-V., Zhang, S., Cerrada, M. ve Li, C., 2019, Generative adversarial networks selection approach for extremely imbalanced fault diagnosis of reciprocating machinery, *IEEE Access*, 7, 70643-70653.

Chiavola, O., Chiatti, G. ve Recco, E., 2014, Analysis of the relationship between noise emission and in-cylinder pressure in a small displacement diesel engine, *SAE Technical Paper*.

Chiavola, O., Palmieri, F. ve Recco, E., 2017, Turbocharger speed estimation via vibration measurements for combustion sensing, *Energy Procedia*, 126, 842-849.

Chiavola, O., Palmieri, F. ve Recco, E., 2018, Vibration analysis to estimate turbocharger speed fluctuation in diesel engines, *Energy Procedia*, 148, 876-883.

Chuepeng, S. ve Saipom, S., 2018, Lubricant thermo-viscosity effects on turbocharger performance at low engine load, *Applied Thermal Engineering*, 139, 334-340.

Çatak, E., 2005, Pnömatik Sistemlerde Enerji Tasarrufu, 12.

Çengel, Y. ve Boles, M., 1996, Mühendislik Yaklasimiyla Termodinamik, *Çev. T. Derbentli). Istanbul: Literatür Yayincilik*.

Dağlar, S., 2012, Ağır Vasıta Araç Motorları İçin Tek Kademeli Değişken Geometrili ve Çift Kademeli Turboşarj Karşılaştırması ve Seçimi, Yüksek Lisans, *İstanbul Teknik Üniversitesi*, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı/Otomotiv Mühendisliği Programı, 129.

Dalmış, F., Tuğ, S., Dalmış, İ. S., Aktaş, T. ve Kayişoğlu, B., 2018, Laboratuvar Tipi Gazlaştırıcılar İçin PLC Tabanlı Prototip Veri Toplama ve Kontrol Sisteminin Geliştirilmesi, *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 15 (1), 143-156.

Disconzi, F. P., Deschamps, C. J. ve Pereira, E. L., 2012, Development of an in-cylinder heat transfer correlation for reciprocating compressors.

Elhaj, M., Gu, F., Ball, A., Albarbar, A., Al-Qattan, M. ve Naid, A., 2008, Numerical simulation and experimental study of a two-stage reciprocating compressor for condition monitoring, *Mechanical Systems and Signal Processing*, 22 (2), 374-389.

Elżbieta, D., Małgorzata, S., Pośniak, M., Andrzej, S., Bartosz, P. ve Woodburn, J., 2019, Exhaust emissions from diesel engines fuelled by different blends with the addition of nanomodifiers and HVO, *Environmental Pollution*, 113772.

Engel, R. C. ve Deschamps, C. J., 2019, Comparative analysis between the performances of reciprocating and rolling piston compressors applied to a domestic heat pump water heater, *International Journal of Refrigeration*, 102, 130-141.

Erol, H., Kabasakal, M. ve Karaman, Y., 1998, Taşıtlarda Kullanılan Fren Kompresörlerinin Dinamik Ve Akustik Analizi. 4. Ulusal Akustik Kongresi. Derneği, T. A. Antalya. 14.

Erol, H. ve Gurdogan, A., 2000, The Noise and Vibration Characteristics of a Reciprocating Compressor: Effects of Size and Profile of Discharge Port.

Gao, G., Wu, H., Sun, L. ve He, L., 2017, Comprehensive quality evaluation system for manufacturing enterprises of large piston compressors, *Procedia engineering*, 174, 566-570.

Gerke, D. H., 1983, Real-time measurement of diesel particulate emissions with a light extinction opacity meter, *SAE Transactions*, 769-774.

Giechaskiel, B., Maricq, M., Ntziachristos, L., Dardiotis, C., Wang, X., Axmann, H., Bergmann, A. ve Schindler, W., 2014, Review of motor vehicle particulate emissions sampling and measurement: From smoke and filter mass to particle number, *Journal of Aerosol Science*, 67, 48-86.

Goodarzia, G., Dehghani, S., Akbarzadeh, A. ve Date, A., 2017, Energy saving opportunities in air drying process in high-pressure compressors, *Energy Procedia*, 110, 428-433.

Gramsch, E., Ormeno, I., Palma, G., Cereceda-Balic, F. ve Oyola, P., 2004, Use of the light absorption coefficient to monitor elemental carbon and PM2. 5—example of Santiago de Chile, *Journal of the Air & Waste Management Association*, 54 (7), 799-808.

Green, G. L. ve Wallace, D., 1980, Correlation studies of an in-line, full-flow opacimeter, *SAE Transactions*, 4351-4368.

Güneş, S. ve Hançer, E., 2017, Termoelektrik Modül Kullanarak İçten Yanmalı Bir Otomobilin Egzozundan Atılan Isıdan Enerji Geri Kazanımının Termal Analizi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 33 (3), 1-12.

Hareland, M., Hoel, A., Jonsson, S., Liang, D. ve Chai, G., 2014, Selection of Flapper Valve Steel for High Efficient Compressor.

Hayashi, Y. ve Itoh, Y., 1986, Intercooler arrangement for supercharged internal combustion engine, Google Patents.

Hibbeler, R. C., 2007, Engineering Mechanics Dynamics SI Units, Pearson Education South Asia, Singapore.

Horvath, H., 1993, Atmospheric light absorption—A review, *Atmospheric Environment. Part A. General Topics*, 27 (3), 293-317.

Horvath, H., Catalan, L. ve Trier, A., 1997, A study of the aerosol of Santiago de Chile III: Light absorption measurements, *Atmospheric Environment*, 31 (22), 3737-3744.

Ingale, M., Kawale, H., Thakre, A. ve Shrikhande, N., 2010, Performance enhancement of engine using turbocharger: A Review.

Jiaqiang, E., Zhao, X., Qiu, L., Wei, K., Zhang, Z., Deng, Y., Han, D. ve Liu, G., 2019, Experimental investigation on performance and economy characteristics of a diesel engine with variable nozzle turbocharger and its application in urban bus, *Energy Conversion and Management*, 193, 149-161.

Johnson, K. W., 2005, Electrical system architecture and controls for the electrification of heavy-duty trucks, *2005 IEEE International Conference on Electro Information Technology*, 4 pp.-4.

Kaynak, B., 2016, Otobüslerde pnömatik sistemlerin ölçümü, kontrolü ve değerlendirilmesi, *Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.

Kelen, F., 2014, Motorlu taşıt emisyonlarının insan sağlığı ve çevre üzerine etkileri, *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 19 (1-2), 80-87.

Keskin, A. ve Sağıroğlu, S., 2010, Dizel motorlarından kaynaklanan egzoz emisyonları ve kontrol yöntemleri, *Mühendis ve Makina*, 51 (606), 1-8.

Khan, S. A. ve Langer, T., 2011, Heavy-Duty Vehicle Fuel Efficiency and Greenhouse Gas Emissions: The 2014-2019 Standards and a Pathway to the Next Phase.

Koç, E. ve Şenel, M. C., 2013, Dünyada ve Türkiye'de enerji durumu-genel değerlendirme, *Mühendis ve Makina*, 54 (639), 32-44.

Krzyżanowski, M., Kuna-Dibbert, B. ve Schneider, J., 2005, Health effects of transport-related air pollution, WHO Regional Office Europe, p.

Kula, G., Ciniviz, M. ve Toy, İ., 2019, Ağır Hizmet Tipi Araç Kompresörlerinin Şartlandırılmış Hava ile Beslenmesi Sonucu Çalışma Koşullarının İncelenmesi - Investıgatıon of Runnıng As A Result Of Heavy Duty Vehıcle

Compressors wıth Condıtıoned Aır Feed, *Ispec 5th International Conference On Engineering & Natural Sciences*, Van, 580-593.

Kumar Agrawal, A., Singh, S. K., Sinha, S. ve Shukla, M. K., 2004, Effect of EGR on the exhaust gas temperature and exhaust opacity in compression ignition engines, *Sadhana*, 29 (3), 275-284.

Kumar, N. S., Dhinakarraj, C., Deepanraj, B., Babu, N. M. ve Santhoshkumar, A., 2012, Modification and analysis of compressor intercooler fin in turbocharger using FEM, *Procedia engineering*, 38, 379-384.

Kunt, M. ve Güneş, H., 2015, İçten Yanmalı Motorlarda Pnömatik Tahrik Sistemlerinin Uygulanabilirliği Üzerine Bir Çalışma, *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 2 (2), 41-59.

Kus, A., Isik, Y., Cakir, M. C., Coşkun, S. ve Özdemir, K., 2015, Thermocouple and infrared sensor-based measurement of temperature distribution in metal cutting, *Sensors*, 15 (1), 1274-1291.

Lawson, W., 1986, Intercooler for turbocharged internal combustion engine, Google Patents.

Lay-Ekuakille, A., Carlucci, P., Ficarella, A., Laforgia, D. ve Pascali, A., 2002, Measurements of opacity at exhaust of diesel engine using extinction laser technique, *Lasers in Material Processing and Manufacturing*, 199-207.

Liu, S., Cui, Y., Wang, Y., Deng, K. ve Liu, S., 2019, An evaluation method for transient response performance of turbocharged diesel engines, *Energy*, 182, 852-863.

Liu, S. ve Zhang, Y., 2020, Research On The Integrated Intercooler Intake System Of Turbocharged Diesel Engine, *International Journal of Automotive Technology*, 21 (2), 339-349.

Liu, X., Shi, Y. T., Luo, R. ve Wang, J. Q., 2018, Study on multi-function air dryer of commercial vehicle, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 032016.

Llc., B. C. V. S., 2004, Introduction to the Air Brake Charging System, Advance Troubleshooting Guide for Air Brake Compressors 2.

Malka, L. ve Bidaj, F., 2015, Opacity Evaluation for Passenger Diesel Vehicle Cars in Tirana, *Journal of Environmental Science and Engineering*, 4 (7), 352-358.

Megep, 2012, Kimya Teknolojisi - Spektrofotometre, *Ankara*, p. 98.

Muqeem, M., 2012, Turbocharging with air conditioner assisted intercooler, *Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 2 (3), 38-44.

Naser, L., Ilir, D. ve Shpetim, L., 2016, Modelling and simulation of the turbocharged diesel engine with intercooler, *IFAC-PapersOnLine*, 49 (29), 237-242.

Nikam, O. C. ve Acharya, A. R., 2018, Experimental investigation on performance of reciprocating air compressor by using nanoparticle in lubricating oil.

Original, V., 2018, Air Brake Compressor & Repair Kits Catalogue. V.1**:** 176-178.

Özdemir, B., 2013, Ölçü Aletleri Ulusal Tip Onay Belgesi, T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, http://www.fdrotomotiv.com/userfiles/image/SANAYI.BAKANLIGI.TIP.ONAYI.DIZEL_1385106906.pdf:

Patil, V. C., Liu, J. ve Ro, P. I., 2020, Efficiency improvement of liquid piston compressor using metal wire mesh for near-isothermal compressed air energy storage application, *Journal of Energy Storage*, 28, 101226.

Pereira, E. L. ve Deschamps, C. J., 2010, A theoretical account of the piston influence on effective flow and force areas of reciprocating compressor valves.

Pichler, K., Lughofer, E., Pichler, M., Buchegger, T., Klement, E. P. ve Huschenbett, M., 2016, Fault detection in reciprocating compressor valves under varying load conditions, *Mechanical Systems and Signal Processing*, 70, 104-119.

Pişirici, S., 2017, Üç Kademeli Tek Etkili Pistonlu Kompresörün Dinamik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi*, 104.

Potur, R. A., 2009, Faz Iıı-b Emisyon Standardına Cevap Veren Dizel Traktör Motorunun Tasarımı İçin Gerçek Çevrimin Matematik Modellenmesi Ve Optimum Yanma Kanununun Belirlenmesi, Yüksek Lisans, *İstanbul Teknik Üniversitesi*, 114.

Putra, D. S. ve Fernandez, D., 2018, Optimization of Digital Image Processing Method to Improve Smoke Opacity Meter Accuracy, *JOIV: International Journal on Informatics Visualization*, 2 (2), 88-91.

Ravur, S. ve Subba, E., 2015, Experimental Investigation to Increase the Efficiency of the Air Compressor by Changing the Coolants in Inter Cooler, *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Tech*, 3.

Real, M. A. ve Pereira, E. A. G., 2010, Using PV diagram synchronized with the valve functioning to increase the efficiency on the reciprocating hermetic compressors.

Reihani, A., Hoard, J., Klinkert, S., Kuan, C.-K., Styles, D. ve McConville, G., 2020, Experimental response surface study of the effects of low-pressure exhaust gas recirculation mixing on turbocharger compressor performance, *Applied Energy*, 261, 114349.

Riad, W., Hussain, B. ve Shalaby, H., 2010, Cracking of aluminum cast pistons of fuel gas reciprocating compressors, *Engineering Failure Analysis*, 17 (2), 440-446.

Ribbens, W., 2017, Understanding automotive electronics: an engineering perspective, Butterworth-heinemann, p.

Safgönül, B., Ergeneman, M., Arslan, H. E. ve Soruşbay, C., 2013, İçten yanmalı motorlar, Birsen Yayınevi, p.

Shinde, A. ve Jadhav, H., 2017, Energy saving through air compressor system automation, *2017 International Conference on Circuit, Power and Computing Technologies (ICCPCT)*, 1-7.

Simona, 2010, Scania G-Series, https://www.topspeed.com/trucks/truck-reviews/scania/scania-g-series-ar90030.html: [March, 18].

Smith, A. ve Davies, H., 1970, A review of the history of emission legislation, urban and national transport trends and their impact on transport emissions, *WIT Transactions on The Built Environment*, 26.

Sultan, I. A. ve Kalim, A., 2011, Improving reciprocating compressor performance using a hybrid two-level optimisation approach, *Engineering Computations*.

Sztyber, A., Chechlinski, L., Syfert, M., Wnuk, P., Lipnicki, P. ve Lewandowski, D., 2018, Analysis of Applicability of Deep Learning Methods in Compressor Fault Diagnosis, *DX@ Safeprocess*.

Şengül, K., 2019, Pistonlu Kompresörlerde Parametik Valf Tasarımı ve Deneysel İncelemesi, Yüksek Lisans Tezi, *Gebze Teknik Üniversitesi*, 76.

Tassou, S. ve Qureshi, T., 1998, Comparative performance evaluation of positive displacement compressors in variable-speed refrigeration applications, *International Journal of Refrigeration*, 21 (1), 29-41.

Tenşi, İ., 2013, Ağır Vasıta Fren Sistemleri ve Standart Testleri, Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi*, 11-55.

Tmmob, 2003, Basınçlı Hava Tesisatı Ve Kompresörler, Yapım Tanıtım Yayıncılık Ltd. Şti., p. 11-13.

Touber, S., 1976, A contribution to the improvement of compressor valve design.

Townsend, J. ve Badar, M. A., 2018, Impact of condition monitoring on reciprocating compressor efficiency, *Journal of Quality in Maintenance Engineering*.

Tretsiak, D., Häberlein, T. ve Bäker, B., 2016, Energy efficient control of the air compressor in a serial hybrid bus based on smart data, *IFAC Papers Online*, 49, 385-392.

Trochon, E. P., 2001, A new type of silencers for turbocharger noise control, *SAE Transactions*, 1587-1592.

Tuhovcak, J., Hejčík, J. ve Jícha, M., 2015, Modelling fluid flow in a reciprocating compressor, *EPJ Web of Conferences*, 02100.

Uçarol, H., Kural, E., Bahar, D. M., Özsu, E., Elcik, E., Çimen, M. A., Demirci, M., Güler, M., Ararat, Ö. ve Biliroğlu, A. Ö., 2009, Hibrid Ve Elektrikli Araçlar Ulaşımda Enerji Verimliliği İçin Bir Alternatif, 50 (Mühendis ve Makine), 66-71.

Ünüvar E., Gül E., Aydıner M. Ş. ve M., K., 2019, Investigation of the Effect of Intake and Exhaust Valve Dimensions on Performance for Heavy Duty Vehicle Air Compressors, *The International Alumınıum-Themed Engineering and Natural Sciences Conference (IATENS'19)*, Seydişehir/Turkey, 556-559.

Verma, N. K., Sevakula, R. K., Dixit, S. ve Salour, A., 2015, Intelligent condition based monitoring using acoustic signals for air compressors, *IEEE Transactions on Reliability*, 65 (1), 291-309.

Wang, X., Shi, G., Huang, C., Wang, M. ve Wang, Z., 2013, Affect of Power Consumption Decline of Air Compressor on Oil Saving of Heavy-duty Vehicle, *2013 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC)*, 1-5.

Yasin Orha ve Özcan, M., 2019, Turkey's 2023 Target in Electricity Generation, *The International Alumınıum-Themed Engineering and Natural Sciences Conference (IATENS'19)*, Seydişehir/TURKEY, 259-263.

Zahoransky, R., Laile, E., Terwey, B. ve Konstandopoulos, A., 2000, On-Line/In-Line Measurements of Particle Emissions of Diesel Engines by Optical Multi-Wavelength Technique, *Proceedings of the Fourth Nanoparticle Workshop of ETH, Zürich*.

Zanghelini, G. M., Cherubini, E., Orsi, P. ve Soares, S. R., 2014, Waste management Life Cycle Assessment: the case of a reciprocating air compressor in Brazil, *Journal of Cleaner Production*, 70, 164-174.

Zhang, X., Yang, L., Wang, X. Y., Tan, X. Y. ve Wang, W., 2017, Machine & electrical double control air dryer for vehicle air braking system, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 012156.

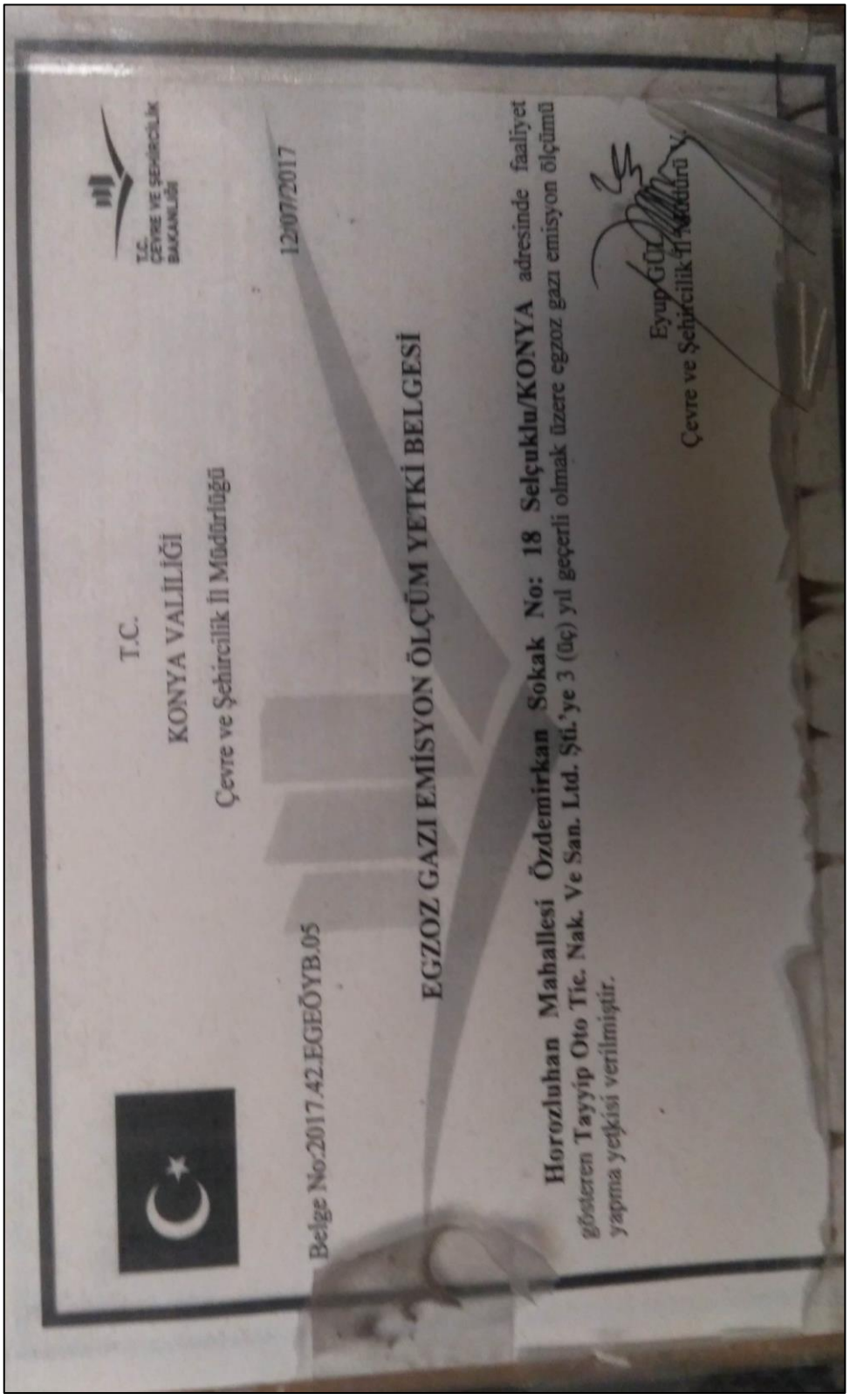
Zhao, D., Ji, C., Li, X. ve Li, S., 2015, Mitigation of premixed flame-sustained thermoacoustic oscillations using an electrical heater, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 86, 309-318.

Zuo, Q., Zhu, X., Liu, Z., Zhang, J., Wu, G. ve Li, Y., 2019, Prediction of the performance and emissions of a spark ignition engine fueled with butanol-gasoline blends based on support vector regression, *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 38 (3), e13042.

Zweiri, Y. H. ve Seneviratne, D., 2007, Diesel engine indicated torque estimation based on artificial neural networks, *2007 IEEE/ACS International Conference on Computer Systems and Applications*, 791-798.

EKLER

EK-1 Egzoz Gaz Emisyon Ölçüm Yetki Belgesi



T.C.
KONYA VALİLİĞİ
Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü

T.C. ÇEVRE VE ŞEHİRCİLİK BAKANLIĞI

Belge No:20017.42.EGEÖYB.05

12/07/2017

EGZOZ GAZI EMİSYON ÖLÇÜM YETKİ BELGESİ

Horozluhan Mahallesi Özdemirkan Sokak No: 18 Selçuklu/KONYA adresinde faaliyet gösteren **Tayyip Oto Tic. Nak. Ve San. Ltd. Şti.'ye** 3 (üç) yıl geçerli olmak üzere egzoz gazı emisyon ölçümü yapma yetkisi verilmiştir.

Eyup GÜ
Çevre ve Şehircilik İl Müdürü

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	**:**	Gökselhan KULA
Uyruğu	**:**	T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi	**:**	Yenimahalle/ANKARA – 05.02.1992
Telefon	**:**	+905386877105
Faks	**:**	-
e-mail	**:**	gokselhankula@gmail.com

EĞİTİM

Derece	**Adı, İlçe, İl**	**Bitirme Yılı**
Lise :	Meram 75. Yıl Lisesi Meram/KONYA	2010
Üniversite :	Karabük Üniversitesi Merkez/KARABÜK	2016
Yüksek Lisans :	Selçuk Üniversitesi Selçukulu/KONYA	2020

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	**Kurum**	**Görevi**
2017	Büyük Eker Bijon San. Ve Tic. A.Ş.	Üretim Mühendisi
2018	Yıldız Pul Otomotiv Motor Parçaları Sanayi Ticaret A.Ş.	Ar-Ge Mühendisi

UZMANLIK ALANI

Ağır vasıta hava kompresörlerinin incelenmesi, arıza tespiti, araç üzerindeki diğer sistemlerle ilişkileri.

YABANCI DİLLER

İngilizce

YAYINLAR

Uluslararası Çalışmalar

1. Gokselhan Kula, Murat Ciniviz, “Atmospheric and Turbocharged Experimental Investigation of Heavy Vehicle Compressor Air Inlet Line” *International Journal Of Automotıve Science And Technology*, 2020, Vol. ?, No: ?, ?-?, TR Dizin Dergi Kabul Aşamasında (Yüksek Lisans tezinden yapılmıştır).

Uluslararası Bildiriler

1. Kula Gökselhan, Ciniviz Murat, Toy İbrahim. ‘Investigation Of Running As a Result Of Heavy Duty Vehicle Compressors with Conditioned Air Feed.’ *ISPEC 5th Internatıonal Conference Onengıneerıng & Natural Scıences* December 20-22, 2019 Van, Turkey, Congress e-Book, pp. 580-593. (Sözlü Sunum).
2. Doğan Dilan, Neşeli Süleyman, Kula Gökselhan. ‘Analysıs Of Parameters Affectıng Honıng Lıne Depth.’ *ISPEC 5th Internatıonal Conference Onengıneerıng & Natural Scıences* December 20-22, 2019 Van, Turkey, Congress e-Book, pp. 569-579. (Sözlü Sunum).