TÜRKİYE CUMHURİYETİ
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DEĞİŞKEN GEOMETRİLİ TÜRBİN KULLANIMININ DİZEL MOTOR PERFORMANS KARAKTERİSTİKLERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Miraç ÖZTÜRK

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Enerji Programı

Danışman
Doç. Dr. Tarkan SANDALCI

Mayıs, 2019

TÜRKİYE CUMHURİYETİ
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DEĞİŞKEN GEOMETRİLİ TÜRBİN KULLANIMININ DİZEL MOTOR PERFORMANS KARAKTERİSTİKLERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Miraç ÖZTÜRK tarafından hazırlanan tez çalışması 08.05.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Enerji Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Tarkan SANDALCI
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

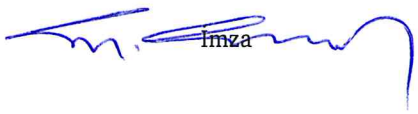
Doç. Dr. Tarkan SANDALCI, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr. Ögr. Üyesi Övün IŞIN, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Erdem UZUNSOY, Üye
Bursa Teknik Üniversitesi

Danışmanım Doç. Dr. Tarkan SANDALCI sorumluluğunda tarafımca hazırlanan DEĞİŞKEN GEOMETRİLİ TÜRBİN KULLANIMININ DİZEL MOTOR PERFORMANS KARAKTERİSTİKLERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Miraç ÖZTÜRK



Bu çalışma, TÜMOSAN Motor ve Traktör A.Ş. tarafından, Ar-Ge çalışmaları kapsamında desteklenmiştir.

Sevgili Aileme
ve Çalışma Arkadaşlarıma

TEŞEKKÜR

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, yönlendirmelerinden ve katkılarından dolayı değerli hocalarım Doç. Dr. Tarkan SANDALCI ve Arş. Gör. Dr. Yasin KARAGÖZ' e; tez çalışması süresince her türlü test ve araştırma imkânını sağlayan TÜMOSAN Motor ve Traktör A.Ş. firmasına ve ekip arkadaşlarıma; bugünlere gelmemde en büyük pay sahibi olan çok değerli aileme; hayatımın her anında yanımda olan ve desteklerini esirgemeyen sevgili eşim Büşra ÖZTÜRK' e en içten sevgi, saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Miraç ÖZTÜRK

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ viii

KISALTMA LİSTESİ x

ŞEKİL LİSTESİ xi

TABLO LİSTESİ xiii

ÖZET xiv

ABSTRACT xvi

1 GİRİŞ 1

1.1 Literatür Özeti 1

1.2 Tezin Amacı 2

1.3 Hipotez 2

2 AŞIRI DOLDURMANIN NEDENLERİ, AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI 3

2.1 Aşırı Doldurmanın Nedenleri 3

2.2 Aşırı Doldurmanın Avantajları 3

2.3 Aşırı Doldurmanın Dezavantajları 4

3 AŞIRI DOLDURMA ÇEŞİTLERİ 5

3.1 Mekanik Tahrikli Aşırı Doldurma Sistemleri 5

3.2 Egzoz Gazı Tahrikli Aşırı Doldurma Sistemleri 5

3.2.1 İki Kademeli Aşırı Doldurma Sistemleri 6

3.2.2 Değişken Geometrili Türbin Aşırı Doldurma Sistemleri 7

3.2.3 Basınç Dalgaları İle Aşırı Doldurma 11

4 GT POWER 1-D MOTOR MODELİ 13

4.1 Motor Piston Çapı, Strok ve Sıkıştırma Oranının Modele Eklenmesi . . 13

4.2 Motor Emiş Hattının Modellenmesi 13

4.3 Motor Egzoz Hattının Modellenmesi 14

4.4 Modele Kompresör, Türbin ve Waste-Gate Komponentlerinin Eklenmesi 15

4.5 Emme ve Egzoz Valflerinin Modele Eklenmesi 16
4.6 Isı Transfer ve Sürtünme Modellerinin Belirlenmesi 16
4.7 Enjektör Delik Çapı, Delik Sayısı ve Püskürtme Profillerinin Modele Eklenmesi 17
4.8 Yanma Modelinin Belirlenmesi Ve Modele Eklenmesi 18
4.9 Motor Test Sonuçları ile 1-D motor modelinin karşılaştırılması 18
4.10 Değişken Geometrili Turboşarj Gereksinimlerinin çıkarılması ve Firmadan Alınan Haritaların Modele Eklenmesi 19

5 DENEY **22**
5.1 Test Motorunun Teknik Özellikleri 22
5.2 Deneyde Kullanılan Ölçüm Ekipmanları 23

6 DEĞİŞKEN GEOMETRİLİ TÜRBİNİN MOTORA ENTEGRASYONU VE KONTROL YÖNTEMİNİN BELİRLENMESİ **25**
6.1 Döner Kanatçıkların Pozisyonunun Elektronik Olarak Kontrol Edilmesi 25
6.2 DGT in Motora Entegrasyonu ve Testlerin Gerçekleştirilmesi 26

7 SONUÇ VE ÖNERİLER **27**

A Kontrol Algoritması **33**

Referanslar **36**

Tezden Üretilmiş Yayınlar **37**

SİMGE LİSTESİ

A	Maksimum Silindir İçi Basınç Faktörü
A_1	Alan $[m^2]$
B	Ortalama Piston Hızı Faktörü
C	Ortalama Piston Hızı Kare Faktörü
D	Motor Hacmi $[l]$
$c_{p,m}$	Ortalama Piston Hızı $[m/s]$
F_i	Atalet Kuvveti $[N]$
$fc(.)$	Dynamic Bayesian Networks
Gh	Toplam Hava Miktarı $[kg/h]$
Gy	Toplam Yakıt Miktarı$[kg/h]$
λ	Biyel Eğikliği (krank yarıçapı/biyel boyu)
m	Kütlesel Debi $[m^3/dk]$
m_{gg}	Gidip Gelen Kütleler $[kg]$
n	Motor Devri $[devir/dk]$
N_e	Motor Gücü $[kW]$
p	Basınç $[bar]$
$P_{cyl,max}$	Maksimum Silindir İçi Basınç $[bar]$
p_{me}	Ortalama Efektif Basınç $[bar]$
R	Gaz Sabiti $[kj/kgK]$
ρ	Hava Yoğunluğu $[kg/m^3]$
T	Sıcaklık $[K]$
v	Akışkan Hızı $[m/s]$
V_h	Toplam Motor Hacmi $[m^3]$

Vol_{eff}	Volümetrik Verim
w	Açısal Hız $[rad/s]$

KISALTMA LİSTESİ

DGT	Değişken Geometrili Türbin
FMEP	Sürtünme Ortalama Efektif Basınç

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 3.1 Mekanik Aşırı Doldurma Sistemlerine Bazı Örnekler 5
Şekil 3.2 Kompresör ve Türbin Ünitesi 6
Şekil 3.3 İki Kademeli Turboşarjın Şematik Olarak Gösterimi 6
Şekil 3.4 Değişken Çaplı Bir Borudan Geçen Akışkanın Davranışı 7
Şekil 3.5 Turboşarj A/R Oranı Şematik Gösterimi 7
Şekil 3.6 Değişken Geometrili Turboşarj Örneği 8
Şekil 3.7 Döner Kanatçıklı DGT 9
Şekil 3.8 Hareketli Duvar Tipi DGT 9
Şekil 3.9 Kayar Halka Tipi DGT 10
Şekil 3.10 Değişken Alanlı Tipi DGT 11
Şekil 3.11 Basınç Dalgaları İle Aşırı Doldurma Ünitesi 11
Şekil 4.1 Piston Çapı, Strok ve Sıkıştırma Oranının Modele Eklenmesi 13
Şekil 4.2 Motor Emiş Hattı 1-D modeli 14
Şekil 4.3 Motor Egzoz Hattı 1-D modeli 14
Şekil 4.4 Kompresör ve Türbin 1-D modeli 15
Şekil 4.5 Kompresör Haritasının Modele Eklenmesi 15
Şekil 4.6 Türbin Haritasının Modele Eklenmesi 15
Şekil 4.7 Valflerin Krank Açısına Bağlı Yükselme Eğrisinin Modele Eklenmesi . 16
Şekil 4.8 Yükselme Miktarına Bağlı Akış Katsayılarının Modele Eklenmesi . . . 16
Şekil 4.9 G.F. Hohenberg Isı Transfer Modelinin Eklenmesi 17
Şekil 4.10 Chen- Flynn Sürtünme Modelinin Eklenmesi 17
Şekil 4.11 Enjektör Yakıt Püskürtme Profillerinin Modele Eklenmesi 18
Şekil 4.12 1-D model ile Test Sonucu Silindir İçi Basınç Karşılaştırılması 18
Şekil 4.13 1-D model ile Test Sonucu Güç Karşılaştırılması 19
Şekil 4.14 DGT Türbin Haritalarının Modele Eklenmesi 21
Şekil 4.15 Kanatçık Pozisyonlarının Belirlenmesi 21
Şekil 5.1 TÜMOSAN 4DT-39T-115C 22
Şekil 5.2 Motor Test Düzeneğinin Genel Görünümü 23
Şekil 5.3 DFL3X-5 bar Yakıt Ölçüm Cihazı 23
Şekil 5.4 KHRONE Hava Debimetresi 23
Şekil 5.5 AVL Indicom Sistemi 24

Şekil 5.6 Test Otomasyon Arayüzü 24
Şekil 6.1 Kontrol Şeması 25
Şekil 6.2 DGT in Motora Entegrasyonu 26
Şekil 7.1 DGT Kanat Açıklıkları 27
Şekil 7.2 Motor Tork Eğrilerinin Karşılaştırılması 28
Şekil 7.3 Özgül Yakıt Tüketimlerinin Karşılaştırılması 28
Şekil 7.4 Lambda Değerlerinin Karşılaştırılması 29
Şekil 7.5 Egzoz Sıcaklıklarının Karşılaştırılması 29
Şekil 7.6 Emme Manifold Basınçlarının Karşılaştırılması 30
Şekil 7.7 Tork Noktasında Silindir İçi Basınçların Karşılaştırılması 30
Şekil 7.8 Ortalama İndike basınçlarının Karşılaştırılması 31
Şekil 7.9 Isı Salım Oranlarının Karşılaştırılması 31

TABLO LİSTESİ

Tablo 4.1 Turboşarj Gereksinimleri 20
Tablo 5.1 4DT-39T-105C Teknik Özellikleri 22

ÖZET

DEĞİŞKEN GEOMETRİLİ TÜRBİN KULLANIMININ DİZEL MOTOR PERFORMANS KARAKTERİSTİKLERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Miraç ÖZTÜRK

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Tarkan SANDALCI

Motordan elde edilen güç; motor deviri, hacmi, silindir içerisinde yanan yakıt ve silindir içerisine alınan hava miktarı ile orantılıdır. Doğal emişli motorlarda silindir içerisine alınan hava motor hacmine bağlıdır. Silindirlere birim hacimde daha fazla hava almak için 'aşırı doldurma' sistemleri geliştirilmiştir. Böylece motor hacmi ve motor devri değiştirilmeden motorda güç artışı sağlanmıştır.

Dizel motorlarda kullanılan aşırı doldurma yöntemleri egzoz gazı ile aşırı doldurma ve mekanik aşırı doldurma şeklinde ikiye ayrılmaktadır. Egzoz gazı ile aşırı doldurma yöntemlerine; basınç dalgaları ile aşırı doldurma, iki kademeli turboşarj, iki girişli türbine sahip turboşarj, değişken geometrili türbine sahip turboşarj örnek gösterilebilir.

Bu çalışmada, değişken geometrili türbinin kanatçıkları elektronik olarak kontrol edilip, özellikle düşük motor devirlerindeki performans iyileştirilmeleri incelenecektir.

İlk olarak motor performans analizlerinde kullanılan GT-POWER programında 1-D motor modeli oluşturulmuştur. Bu model, normal turboşarja sahip dizel motor modeli olup, test sonuçları ile valide edilmiştir. Daha sonrasında, düşük motor devirlerinde hedeflenen tork değerleri için gerekli olan emme manifoldu basıncı ve debiye göre tedarikçilerden turboşarj haritası istenilmiştir. Değişken geometrili turboşarjın kompresör ve türbin haritaları motor modelindeki turboşarj ile değiştirilerek, motor modeli simule edilmiştir ve hedeflenen tork değerlerine ulaşabilmek için olması

gereken türbin kanatçık açıları belirlenmiştir. Belirlenen turboşarj tedarikçiden geldikten sonra dizel motora entegre edilmiştir ve dinamometre üzerinde testleri gerçekleştirilmiştir. Tork, Güç, Özgül yakıt tüketimi, lambda, egzoz sıcaklığı gibi motor performans karakteristiklerindeki iyileşmeler incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Aşırı doldurma, değişken geometrili türbin, dizel motor

ABSTRACT

THE EFFECT OF VARIABLE GEOMETRY TURBINE(VGT) TURBOCHARGER ON DIESEL ENGINE PERFORMANCE CHARACTERISTICS

Miraç ÖZTÜRK

Department of Mechanical Engineering
Master of Science Thesis

Advisor: Assoc. Prof. Tarkan SANDALCI

The power generated from the engine, depends on engine speed, volume and the fuel combusted in engine and intake air. Intake air depends on engine volume at naturally aspirated engine. To be able to get more air to cylinders, charging systems are developed. Therefore, without changing engine speed and volume, power increase in engines are developed.

Charging methods in diesel engines are divided into two categories as exhaust gas driven and mechanical driven. Comprex, Two-stage, Twin-Scroll and Variable Geometry Turbine can be given example for exhaust gas driven turbocharger.

In this study, rack positions will be controlled with electronic card and especially at lower engine speed performance characteristic will be investigated.

First of all, 1-D engine model is built on GT-POWER software which is used for performance analysis. This engine model refers to waste-gate turbocharged engine and it is validated with engine test results. Then, Turbine and Compressor maps, which depends on intake pressure and flow rate, are requested from suppliers to achieve target torque values at lower engine speeds. Waste-gate turbocharger are replaced with variable geometry turbine turbochargers at 1-D model and it is simulated and turbine rack position is determined. Delivered VGT turbocharger is assemblied to engine and performed on test bench. Improvements in engine performance characteristics are examined like Torque, Power, Break Specific Fuel Consumption,

Air excess coefficient(lambda) and exhaust gas temperature.

Keywords: Turbocharging, variable geometry turbine, diesel engine

1
GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

1936 yılında Berlin'deki havacılık laboratuvarı başkanı Dr. Werner Theodor Von Der Nuell VNT turboşarjın geliştirilmesini başlatır. II. Dünya Savaşının sona ermesinden sonra küçük bir grup eski BMW çalışanı VNT turboşarjı yapmak için 'Württembergische Metallwarenfabrik' de Dr. Müller liderliğinde çalışmalara başladı. [1]

1999 yılında Aisin Seiki tarafından VTF olarak adlandırılan değişken akışlı turboşarj modeli geliştirilmiştir. Hem turboşarj test ünitesinde hem de 2.0 litre direkt enjeksiyonlu dizel bir motor üzerinde test edilmiştir. [2]

1999 yılında J G Hawley, F J Wallace, A Cox, R W Horrocks ve G L Bird tarafından değişken geometrili türbin kullanımının motorun emisyonu ve tork karakteristiklerine etkileri incelenmiştir. Deney motoru olarak 1.8 litre direkt enjeksiyonlu dizel motor kullanılmıştır. Emisyonlardaki iyileşmeyi incelemek için ECE15+EUCD Avrupa Emisyon test çevrimleri kullanılmıştır. Duman(İs) ve NOx emisyonlarında iyileşme gözlenmiştir. Hava- Yakıt oranı, Tork karakteristiği gibi performans değerlerinde iyileşme gözlenmiştir.[3]

2002 yılında Steve Arnold, Mark Groskreutz, S.M. Shaded and Kevin Slupski tarafından değişken geometrili türbinin tasarımı ve kontol mekanizması üzerinde farklı çalışmalar yapılmış ve bu değişikliklerin dizel bir motorda performans karakteristiklerine etkileri incelenmiştir.[4]

2018 yılında Fernando Ortenzi, Antonino Genovese, Martina Carrazza, Franco Rispoli ve Paolo Venturini tarafından yapılan çalışmada, Microcar araçlarına değişken geometrili bir türbin ve jeneratör ikilisi eklenmiştir. Türbin vasıtası ile egzoz gazlarının enerjisi mekanik enerjiye çevrilmiş, jeneratör vasıtası ile de mekanik enerji elektrik enerjisine çevrilmiş ve araç bataryası ve diğer aksesuarları beslemiştir. Böylece yakıt tüketimlerinde iyileşme amaçlanmıştır. [5]

1.2 Tezin Amacı

Değişken geometrili turboşarjlar günümüzde dizel motorlarlarda oldukça geniş kullanım alanına sahiptir. Emisyon standartlarını yakalayabilmek, turbo gecikmesinin önüne geçebilmek, motor performans değerlerini iyileştirebilmek gibi konularda avantajlarından dolayı dizel motorlarda tercih sebebi olmuştur. Bu çalışmada, pnömatik waste-gate li turboşarja sahip olan dizel motorda değişken geometrili türbin kullanılarak motor performans karakteristiklerinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır.

1.3 Hipotez

Mekanik enjeksiyonlu motorlarda elektronik kontrol ünitesi olmadığı için Değişken Geometrili Turboşarjın kontrolü, harici bir mikroişlemcili kart ile kontrol edilmektedir. Motor yükü (pedal pozisyonu), emme manifold basıncı, yağ basıncı gibi herhangi bir değer kontrol ünitesine girdi olarak verilip bir taramalı tablo oluşturulabilir. PID gibi bir kontrol sistemi tasarlanarak sadece sabit devirler için değil, aynı zamanda ani yük ve devir değişimlerine de tepki verebilecek aktif bir kontrol sistemi tasarlanabilir. Böylelikle özellikle ivmelenme ve emisyonlardaki iyileşmeler takip edilebilir.

2
AŞIRI DOLDURMANIN NEDENLERİ, AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI

Dizel motorda aşırı doldurmanın nedenleri, avantajları ve dezavantajları aşağıdaki bölümlerde açıklanmıştır.

2.1 Aşırı Doldurmanın Nedenleri

İçten yanmalı bir motordan alınan güç,

$$N_e \approx V_h p_{me} n \tag{2.1}$$

Görüldüğü gibi güç; motor hacmi, ortalama efektif basınç ve dönme sayısı ile orantılıdır. Motorun hacmini büyütmeden efektif motor gücünü arttırmak için devir sayısı veya ortalama efektif basınç arttırılmalıdır. Motor devri günümüz araçlarında belirli sebeplerden ötürü sınırlandırılmıştır. Motor devrinin artması, çözülmesi gereken bazı problemleri de beraberinde götürmektedir. Yüksek dönme sayılarında volumetrik verimin ve yanma veriminin düşmesinin yanında piston-biyel-supap mekanizmalarında dönen parçalardan kaynaklanan atalet kuvvetlerinin artması da söz konusudur. [6]

$$F_i = m_{gg} r w^2 (1 + \lambda) \tag{2.2}$$

Denklemden görüleceği gibi, dönen parçalardan kaynaklanan atalet kuvvetleri motor hızının karesi ile doğru orantılıdır.[7]

2.2 Aşırı Doldurmanın Avantajları

Motor hacmini büyütmeden güç arttırımı sağlanabilir. Böylelikle ağırlıktan ve maliyetten tasarruf edilebilir. Motor gücünün çalıştığı dış ortam basıncına bağlılığı azalır. Özgül yakıt tüketimlerinde ve egzoz emisyonlarında iyileşme görülür. [8]

2.3 Aşırı Doldurmanın Dezavantajları

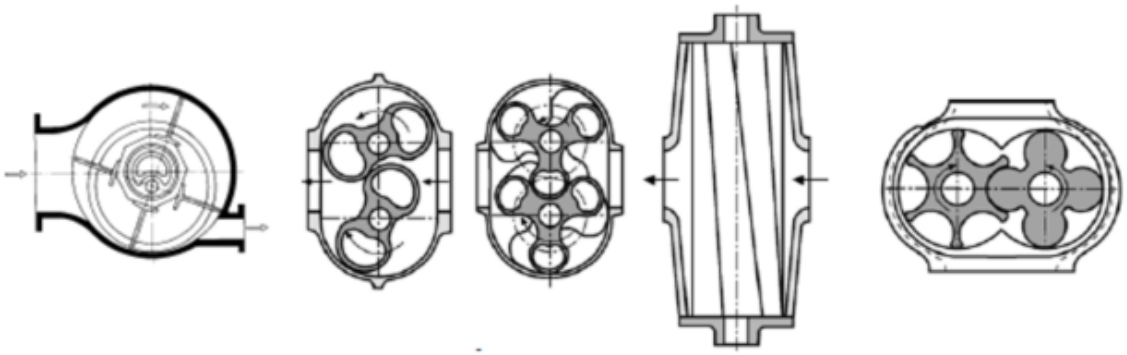
Atmosferden emilen havanın kompresör tarafından sıkıştırılıp basıncı arttırılırken aynı zamanda sıcaklığı da artmaktadır. Sıcaklığı artan bu havanın silindir içerisine gitmeden ara soğutucular kullanılarak soğutulması gerekmektedir. Bunun yanında yanma sonucu oluşan basınç ve sıcaklık artacağı için motorun piston, biyel, supap, motor bloğu gibi malzemerinin dayanımları arttırılmalıdır. [9]

3
AŞIRI DOLDURMA ÇEŞİTLERİ

İçten yanmalı motorlarda kullanılan aşırı doldurma sistemleri aşağıdaki bölümlerde detaylıca incelenmiştir.

3.1 Mekanik Tahrikli Aşırı Doldurma Sistemleri

Bu aşırı doldurma sistemleri tahriklerini kayış, zincir, dişli mekanizma veya harici bir yardımcı motordan alır. Hacim süpürmeli, vida çarklı doldurucu tipleri mevcuttur.[7]

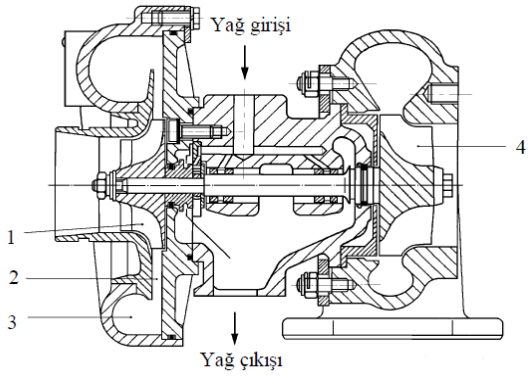


Şekil 3.1 Mekanik Aşırı Doldurma Sistemlerine Bazı Örnekler

3.2 Egzoz Gazı Tahrikli Aşırı Doldurma Sistemleri

Egzoz gazı ile aşırı doldurmada sistem tübin tarafı ve kompresör tarafı olmak üzere iki bölümden oluşur. Türbin, motor tarafından üretilen egzoz gazları tarafıdan tahrik edilir. Türbin ve kompresör birbirine bir mil ile bağlıdır. Kompresör tarafından üretilecek olan basınç artışı motordan üretilen egzoz ile doğrudan orantılır.

Motordan üretilen egzoz gazı motor gücüne, yanma verimine, motor devri gibi parametrelere göre değişkenlik göstermektedir. Özellikle düşük motor yükü ve devirlerinde egzoz türbinini yeteri kadar döndürebilecek debi üretilememekte, bu noktalarda motor is noktasına düşmektedir. Yine buna bağlı olarak motor gücünde



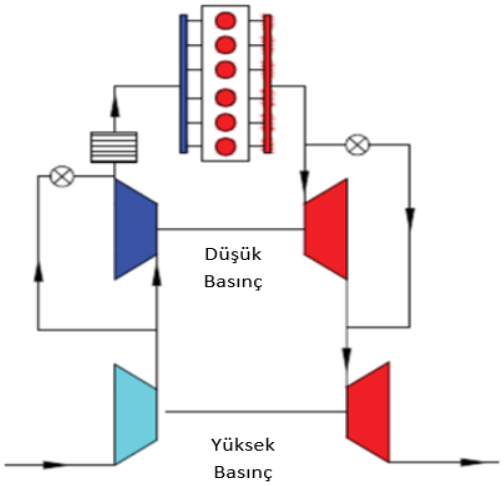
Şekil 3.2 Kompresör ve Türbin Ünitesi

düşme, ani hız ve yük isteklerinde hızlı tepki verememektedir. Bu gibi sorunları çözebilmek için zaman içerisinde farklı çalışmalar yapılmıştır.

3.2.1 İki Kademeli Aşırı Doldurma Sistemleri

İki kademeli turboşarj üniteleri, tek kademeli turboşarjlara göre daha geniş bir çalışma aralığı ve yüksek basınç artış oranında istikrarlı olarak çalışabilirler.

Sistem, düşük basınç ve yüksek basınç bölgesinden oluşmaktadır. Düşük ve yüksek basınç adlandırması türbin kısımlarının atmosfere veya egzoz manifolduna muhattap olmasıyla ilgilidir.



Şekil 3.3 İki Kademeli Turboşarjın Şematik Olarak Gösterimi

Düşük motor yük ve devirlerinde, yüksek basınç kademesi devrede olup motor için istenilen taze dolgu ve basınç artışını sağlar. Orta yük ve devirlerde by-pass kanalları sayesinde iki turboşarj birlikte çalışırlar. Yüksek motor devirlerinde ise hem egzoz geri basınçlarını önlemek için hem de istenilen yüksek basınç artış oranlarını sağlayabilmek için tüm yükü düşük basınç kademesinde çalışan büyük turbo alır. [9]

3.2.2 Değişken Geometrili Türbin Aşırı Doldurma Sistemleri

Bu sistemin çalışma mantığını anlamak için bazı hidrodinamik yasaları gözden geçirmemiz gerekmektedir. Aşağıda şekilde gösterilen uzunluğu boyunca değişken çaplara sahip bir borudan geçen bir akışkan düşünülürse, kütlesel debi korunacağından dolayı A1 alanından geçen akışkanın hızı A2 alanına geldiğinde artacaktır.



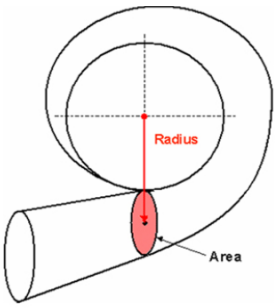
Şekil 3.4 Değişken Çaplı Bir Borudan Geçen Akışkanın Davranışı

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 = sbt \tag{3.1}$$

Akışkanın basınç ve hız ilişkisini ayrıca 'Bernoulli Kanunu'ndan da açıklayabiliriz.

$$\rho \times \frac{v_2^2}{2} + p_2 = \rho \times \frac{v_1^2}{2} + p_1 = sbt \tag{3.2}$$

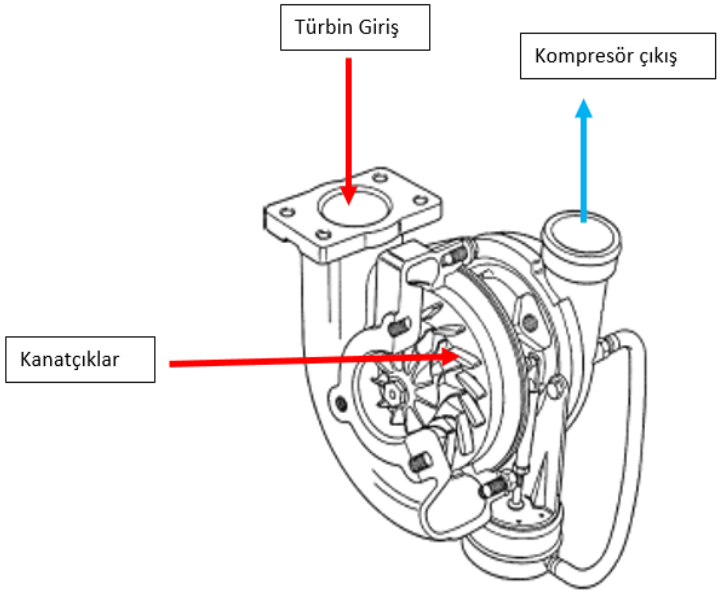
Denklemden görüleceği üzere; $p_1 > p_2$, $A_1 > A_2$ olduğu için $v_1 < v_2$ olacaktır. Böylece debiyi değiştirmeden akışkanın hızı artmış olacaktır. Sistemin çalışma prensibine geçmeden önce turboşarjlarda oldukça önemli olan, turboşarjın geometrik parametresi A/R oranına da değinmek gerekmektedir. Buna karşın düşük A/R



Şekil 3.5 Turboşarj A/R Oranı Şematik Gösterimi

oranı, egzoz gazlarının türbin çarkında teğet akışa sebep olduğundan turboşarjın akış kapasitesini azaltır. Bu durum, yüksek motor devirlerinde egzoz geri basıncına yaratır ve motorda güç düşmesine sebep olur. Yüksek A/R oranı, yüksek motor devirlerinde akış kapasitesini arttırarak egzoz geri basıncını düşürür. Böylece motordan alınan maksimum güç arttırılmış olur. Buna karşın, düşük motor devirlerinde egzoz

gazı hızları düştüğünden kompresör tarafından yeterli basınç artışı sağlanamamış olur ve ani hız ve yük değişimlerinde turbo gecikmesi denilen olay meydan gelir. Özetle, değişken geometrili turboşarjlar küçük A/R oranının ve büyük A/R oranının faydalarını tek bir ünitede birleştirerek her iki türün avantajlarını bir araya getirir.

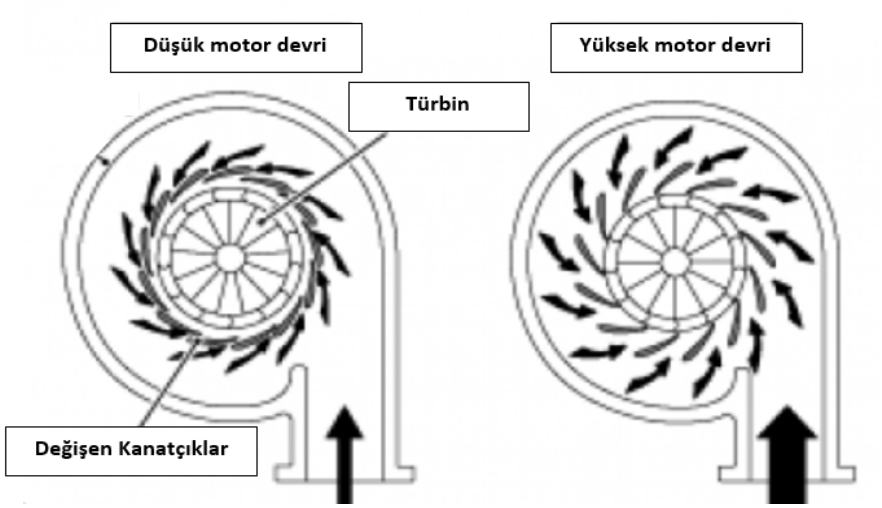


Şekil 3.6 Değişken Geometrili Turboşarj Örneği

Düşük motor devirlerinde kanatçıklar türbin giriş alanını küçülterek A/R oranını küçültürler. Böylelikle aynı egzoz debisi ile daha hızlı bir akış oluşturulur. Yüksek motor devirlerinde ise A/R oranını büyüterek daha fazla bir akış sağlayarak motor gücünün artmasını sağlarlar. Motorlarda kullanılmasının asıl amacı düşük devirlerdeki hava yetersizliğini ve hızlanma ve ivmelenmedeki tepki sürelerini iyileştirmektir.

3.2.2.1 Döner Kanatçıklı Tipi

Döner kanatçığa sahip değişken geometrili turboşarjlar ticari ve binek araçlarda günümüzde en çok tercih edilen modeldir. Türbin içerisinde yer alan bu kanatçıklar, egzoz gazlarının geçtiği kesit alanını, kanatçık açılarını değiştirerek türbin çarkına çarpma hızlarını arttırır. Böylece düşük devirlerde yüksek basınç artış oranları elde edilmiş olur.

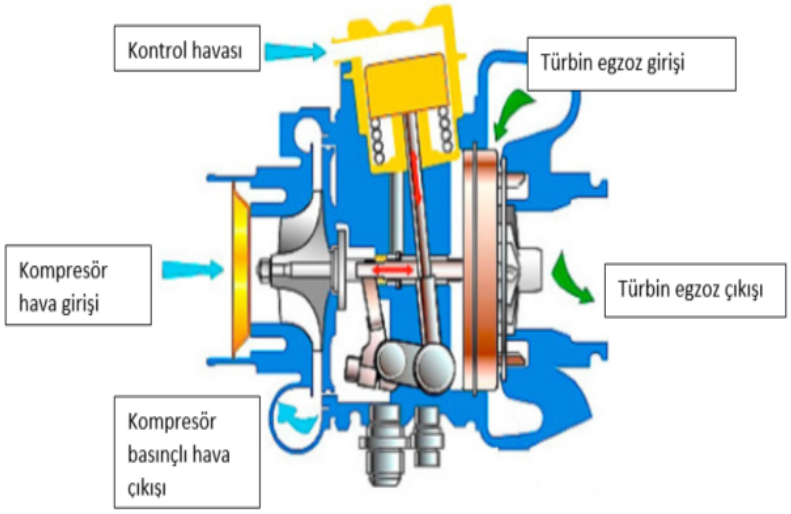


Şekil 3.7 Döner Kanatçıklı DGT

Bu kanatçıklar emme manifold basıncı ile pnömatik olarak kontrol edilebildiği gibi, motor elektronik kontrol ünitesi ile de kontrol edilmektedir. [10]

3.2.2.2 Hareketli Duvar Tipi

A/R oranını değiştirmenin diğer bir yolu da türbin içerisinde hareketli bir duvar kullanmaktır.



Şekil 3.8 Hareketli Duvar Tipi DGT

Düşük motor devirlerinde, hareketli duvar sağa doğru itilerek egzoz gazlarının geçtiği kesit alanı ve A/R oranı azaltılır. Egzoz gazlarının hızı artırılarak turboşarjın dönme hızı artar. Böylece kompresör tarafında yüksek basınç artış oranı elde edilmiş olur. Yüksek motor devirlerinde ise hareketli duvar en sola dayanmış şekildedir. Egzoz gazlarının geçeceği kesit alanı ve A/R oranı maksimum değerindedir.

Döner kanatçıklı tip ile kıyasla hareketli duvar tipi DGTler daha az hareketli parçaya sahip olduğu için daha az aşınma söz konusudur. Yüksek egzoz gaz akışlarında daha yüksek verimlilik elde edilebilir. Buna karşın, hareketli parçalar arasındaki boşlukların çok az olması nedeni ile üretimdeki toleranslar çok düşüktür. Bu da yüksek üretim maliyeti anlamına gelmektedir.

3.2.2.3 Kayar Halkalı Tipi

Kayar halkalı tipi DGT'nin tasarımı hareketli duvar tipine oldukça benzemektedir. Kayar halkalı tipte farklı olarak nozül plakası sabitlenmiştir. Egzoz gazının geçtiği kesit alanının değiştirilmesi kayar bir halka ile yapılmaktadır.



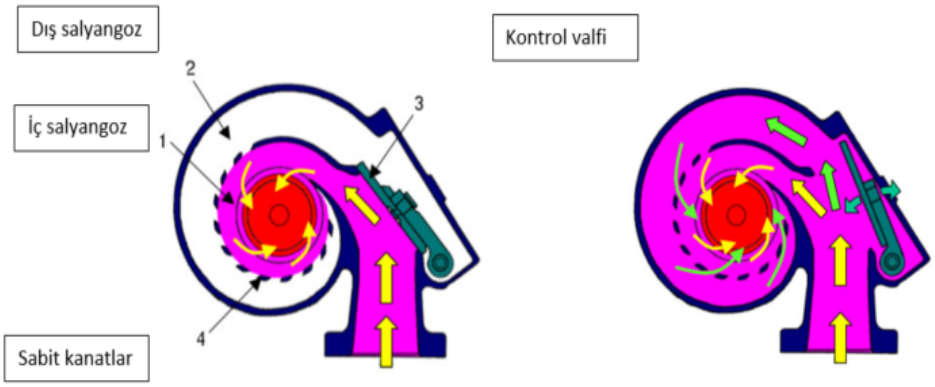
Şekil 3.9 Kayar Halka Tipi DGT

Düşük motor devirlerinde, kayan halka sabit olan nozül plakasına yaklaşarak egzozu kanatçıkların üzerinden geçmeye zorlar. Egzoz gazlarının geçtiği kesit alanı ve A/R oranı azaldığı için turboşarjın dönüş hızı artar ve daha yüksek basınç artış oranları elde edilir. Yüksek motor devirlerinde ise kayan halka nozül plakasından uzaklaşır ve yüksek A/R oranı elde edilir. [11]

3.2.2.4 Değişken Alanlı Tipi

Aisin Seiki tarafından geliştirilen değişken akışlı turboşarj, değişken alan prensibine bağlı çalışmaktadır. Türbin gövdesi içerisinde bir vana ile bölünmüş iki ayrı salyangoz yapısı mevcuttur.

Düşük motor devirlerinde kontrol valfi yardımıyla egzoz gazları düşük A/R oranına sahip iç salyangoza yönlendirilir. Böylelikle yüksek dönme hızları ve basınç artış oranları elde edilir. Yüksek motor devirlerinde ise valf açılır ve egzoz debisinin büyük bir kısmı yüksek A/R oranına sahip dış salyangoza yönlendirilir. Kontrol valfi

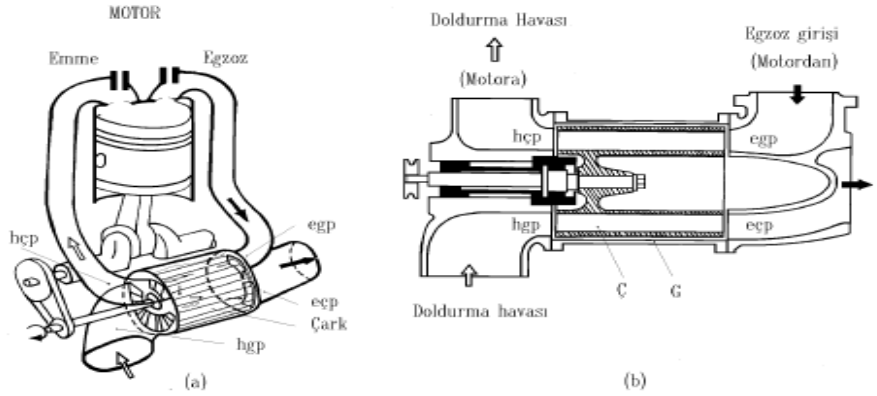


Şekil 3.10 Değişken Alanlı Tipi DGT

elektronik kontrol ünitesi ile rahatlıkla yönlendirilebilir. Döner kanatçıklı tipe kıyasla daha az komplike bir sistem olup üretim maliyetleri daha düşüktür. [12]

3.2.3 Basınç Dalgaları İle Aşırı Doldurma

Bu sistem, compression (sıkıştırma) ve expansion (genişleme) kelimelerinden oluşan COMPREX adı ile bilinen, kompresör ve türbin yapısının diğer egzoz tahrikli aşırı doldurmalardan farklı bir sistemdir. Basitçe, motora alınan taze dolgu egzoz kanalının basınç dalgalarından faydanılarak basınçlandırılır.



Şekil 3.11 Basınç Dalgaları İle Aşırı Doldurma Ünitesi

Bu sistemin egzoz gazı ile tahrik edilen aşırı doldurmaya karşı avantajları ve dezavantajları mevcuttur. Basınç artış oranı, motor yükü ve devir ile doğrudan orantılı olduğu için artan motor yüklerinde efektif basınç ve sıcaklığın artmasına bağlı olarak egzoz basınç dalgasının hızı artmaktadır. Böylece emme havası daha efektik olarak basınçlandırılabilmektedir. Bu sayede düşük motor devirlerinde istenilen hızlı tepkiyi verebilmektedir. Bununla birlikte sistemde olan çark motor gücünden çok az miktarda

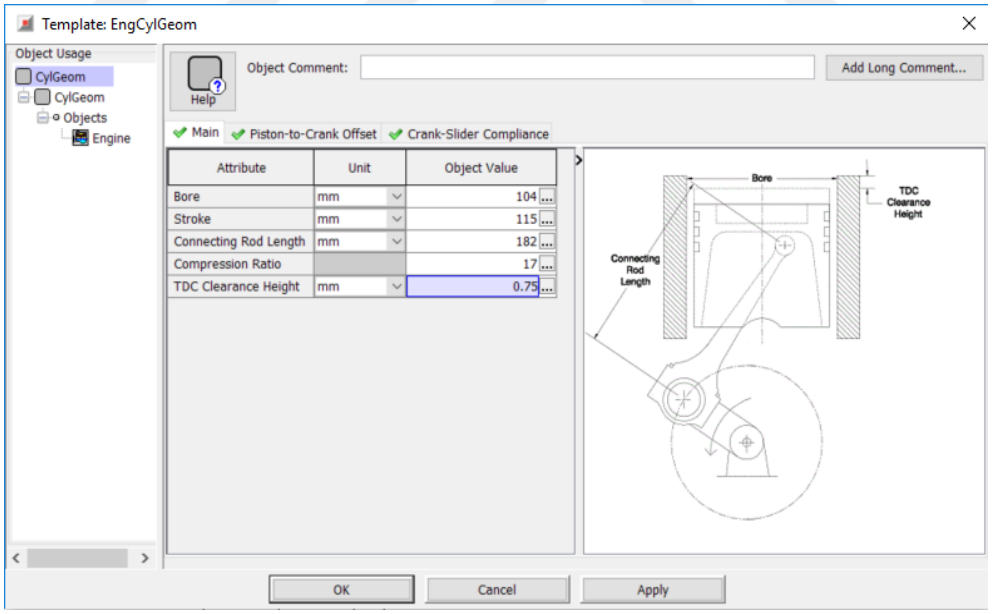
yutmaktadır. Buna karşın, sistem hacminden dolayı harici bir paketleme alanına ihtiyaç duyulmaktadır ve sistem emme ve egzoz geri basınçlarına karşı çok duyarlı olduğu için hava filtre ve susturucu seçimi önem arz etmektedir.

4
GT POWER 1-D MOTOR MODELİ

Değişken geometrili turboşajın gereksinimlerini çıkarmak ve motor performans karakteristiklerine etkilerini görebilmek için GT-POWER programında 1-D motor modelinin nasıl oluşturulduğu açıklanmıştır.

4.1 Motor Piston Çapı, Strok ve Sıkıştırma Oranının Modele Eklenmesi

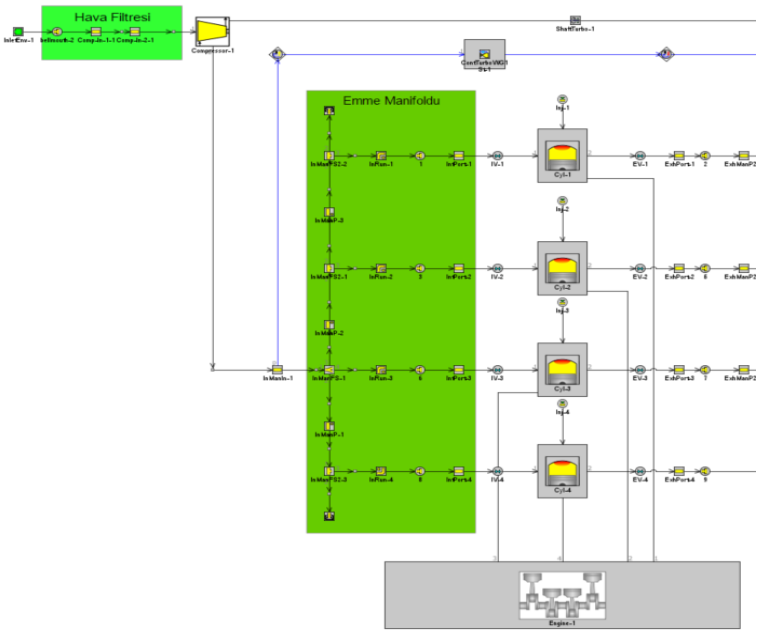
Çap, strok ve sıkıştırma oranı şekildeki gibi modele eklenmiştir.



Şekil 4.1 Piston Çapı, Strok ve Sıkıştırma Oranının Modele Eklenmesi

4.2 Motor Emiş Hattının Modellenmesi

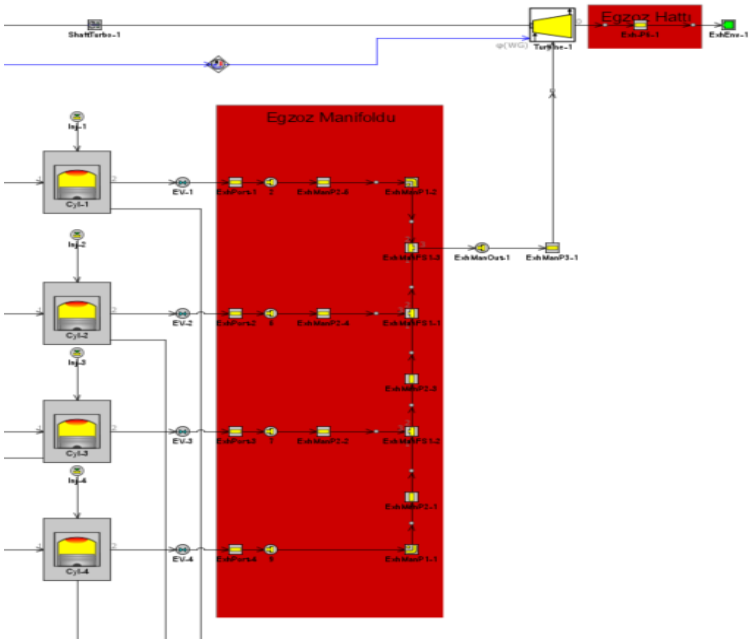
Motor üzerinden alınan ölçüler ve 3D modeller yardımı ile motor hava filtresi ve emme manifoldu şekildeki gibi modellenmiştir.



Şekil 4.2 Motor Emiş Hattı 1-D modeli

4.3 Motor Egzoz Hattının Modellenmesi

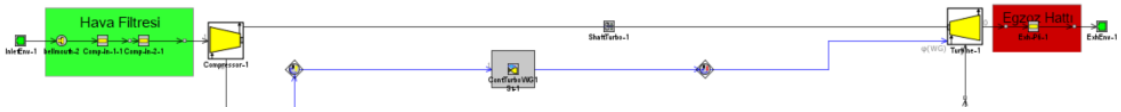
Motor üzerinden alınan ve 3D modeller yardımı ile egzoz manifoldu ve egzoz hattı modellenmiştir.



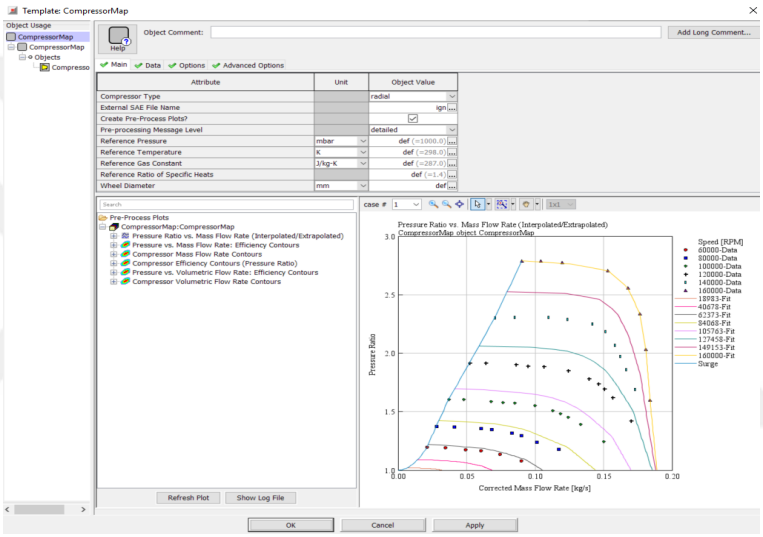
Şekil 4.3 Motor Egzoz Hattı 1-D modeli

4.4 Modele Kompresör, Türbin ve Waste-Gate Komponentlerinin Eklenmesi

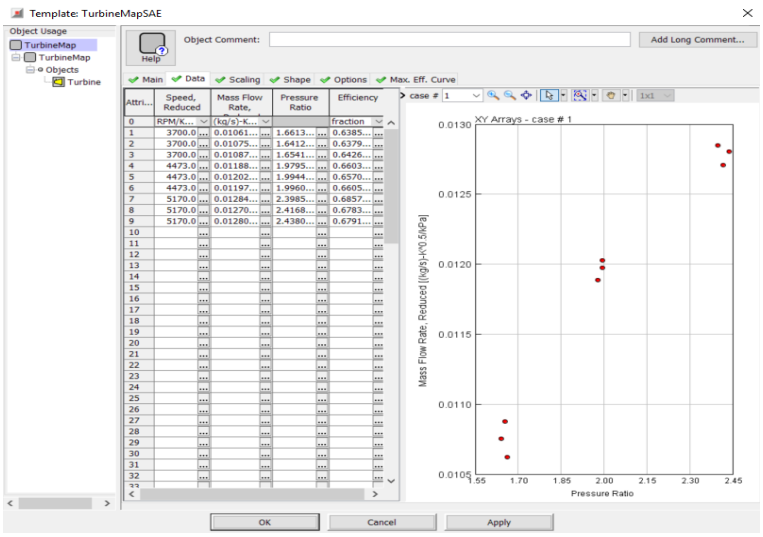
Motorun üzerinde olan kompresör ve türbin komponentlerinin SAE formatında olan haritaları tedarikçiden alınmış ve modele eklenmiştir. Türbin üzerindeki Waste-Gate pnömatik olup kontrolü manifold basıncı ile sağlanmaktadır.



Şekil 4.4 Kompresör ve Türbin 1-D modeli



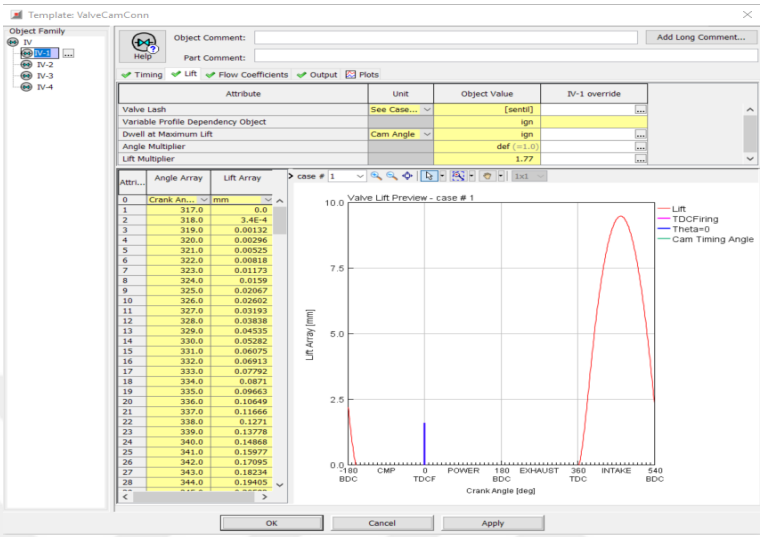
Şekil 4.5 Kompresör Haritasının Modele Eklenmesi



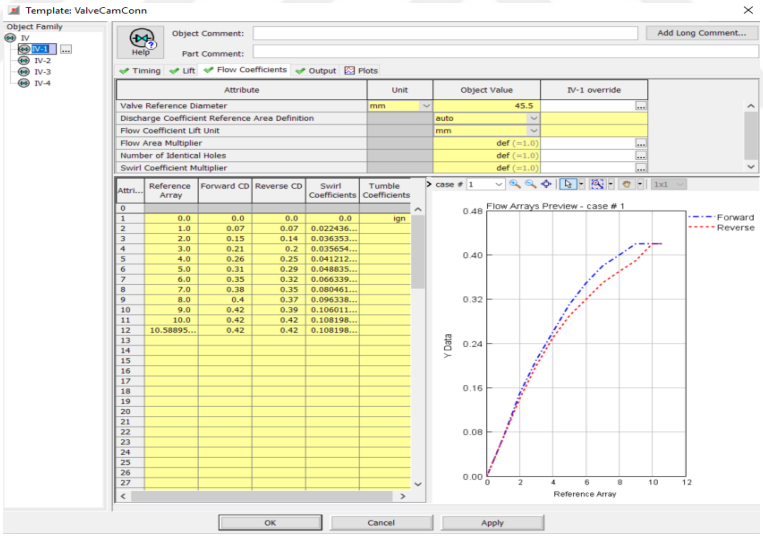
Şekil 4.6 Türbin Haritasının Modele Eklenmesi

4.5 Emme ve Egzoz Valflerinin Modele Eklenmesi

Emme ve Egzoz valflerinin krank açısına bağlı yükseliş miktarları motor üzerinden ölçülerek, bu yükselişe bağlı olarak değişen akış katsayıları da akış test cihazında ölçülerek modele eklenmiştir.



Şekil 4.7 Valflerin Krank Açısına Bağlı Yükselme Eğrisinin Modele Eklenmesi

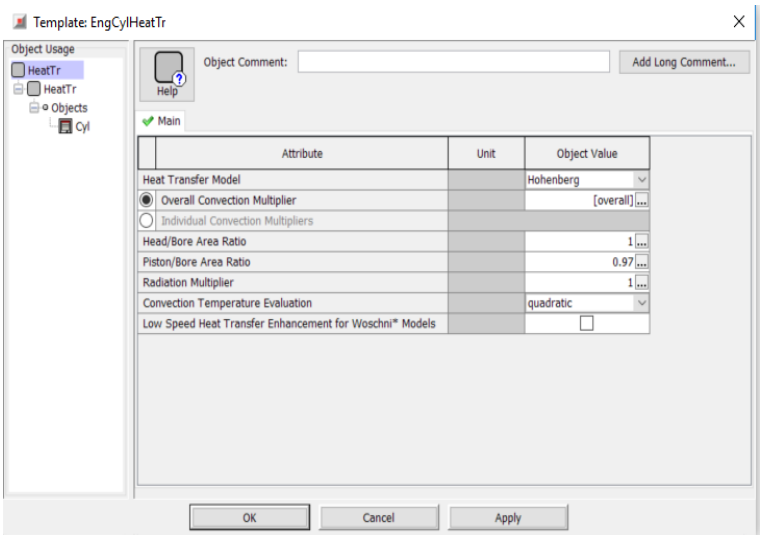


Şekil 4.8 Yükselme Miktarına Bağlı Akış Katsayılarının Modele Eklenmesi

4.6 Isı Transfer ve Sürtünme Modellerinin Belirlenmesi

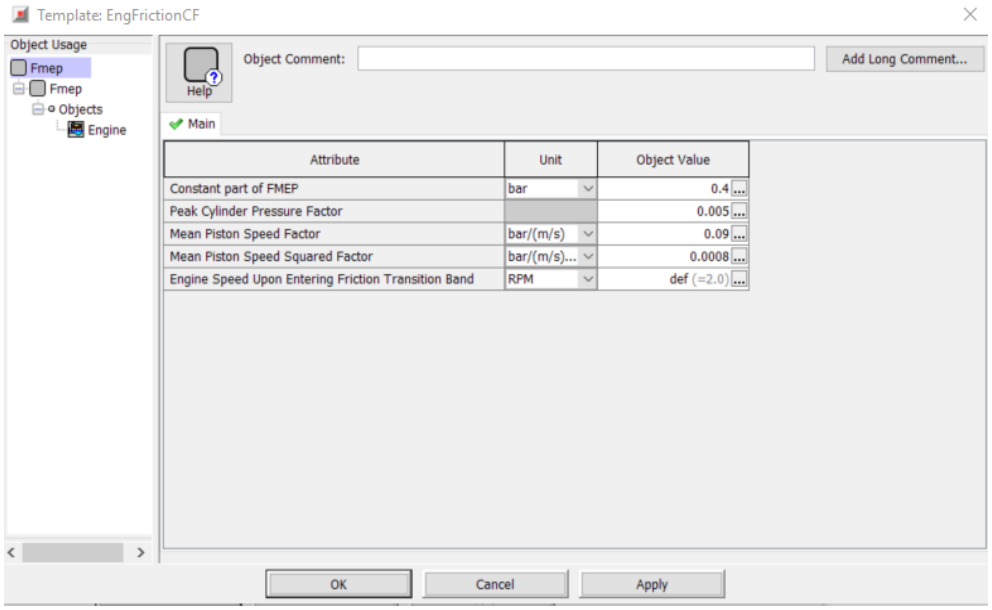
Modelde ısı transferi olarak G.F. Hohenberg tarafından geliştirilen ısı transfer modeli kullanılmıştır.

Sürtünme modeli olarak, Chen-Flynn tarafından geliştirilen, silindir içi basınç ve ortalama piston hızının bir fonksiyonu olan sürtünme modeli kullanılmıştır. [13]



Şekil 4.9 G.F. Hohenberg Isı Transfer Modelinin Eklenmesi

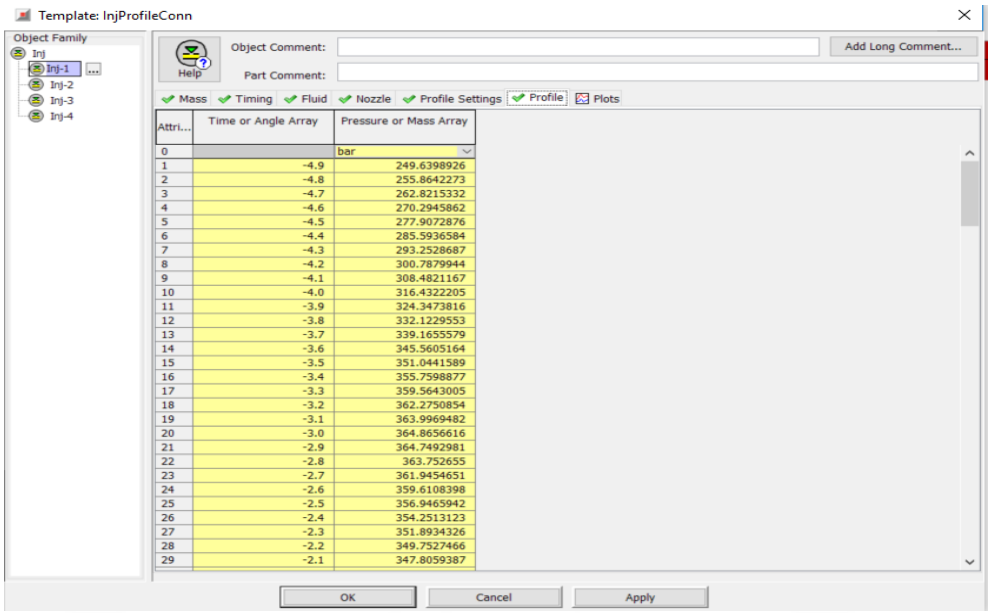
$$FMEP = FMEP_{constant} + AP_{Cyl,max} + Bc_{p,m} + Cc^2_{p,m} \tag{4.1}$$



Şekil 4.10 Chen- Flynn Sürtünme Modelinin Eklenmesi

4.7 Enjektör Delik Çapı, Delik Sayısı ve Püskürtme Profillerinin Modele Eklenmesi

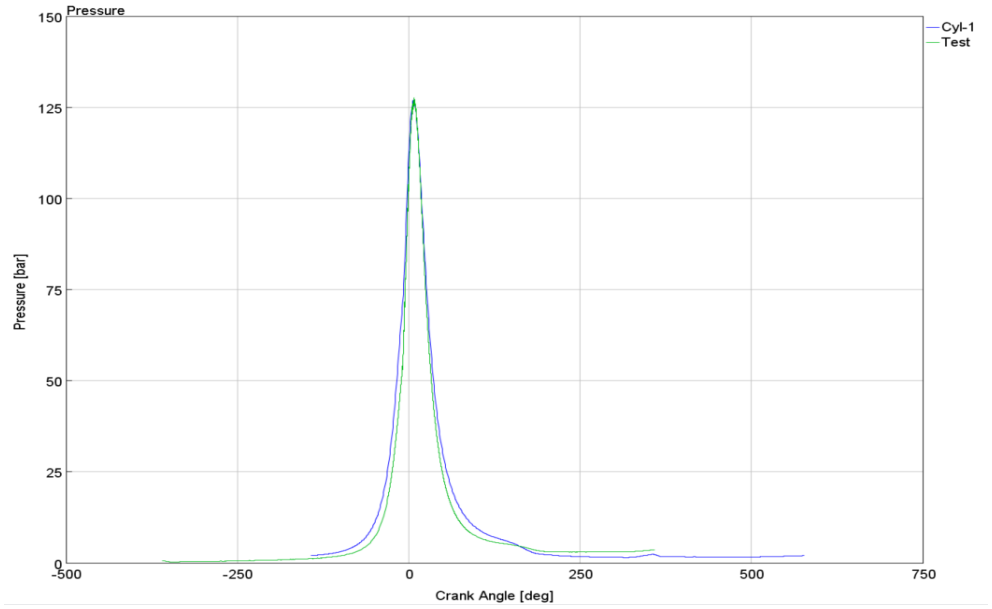
Motorda kullanılan enjektör 5 delikli olup 0.267 mm delik çapına sahiptir. Yakıt pompasından çıkan yakıt boruları üzerinden hat basıncı ve püskürtme başlangıcı (avans) ölçülmüştür ve modele eklenmiştir.



Şekil 4.11 Enjektör Yakıt Püskürtme Profillerinin Modele Eklenmesi

4.8 Yanma Modelinin Belirlenmesi Ve Modele Eklenmesi

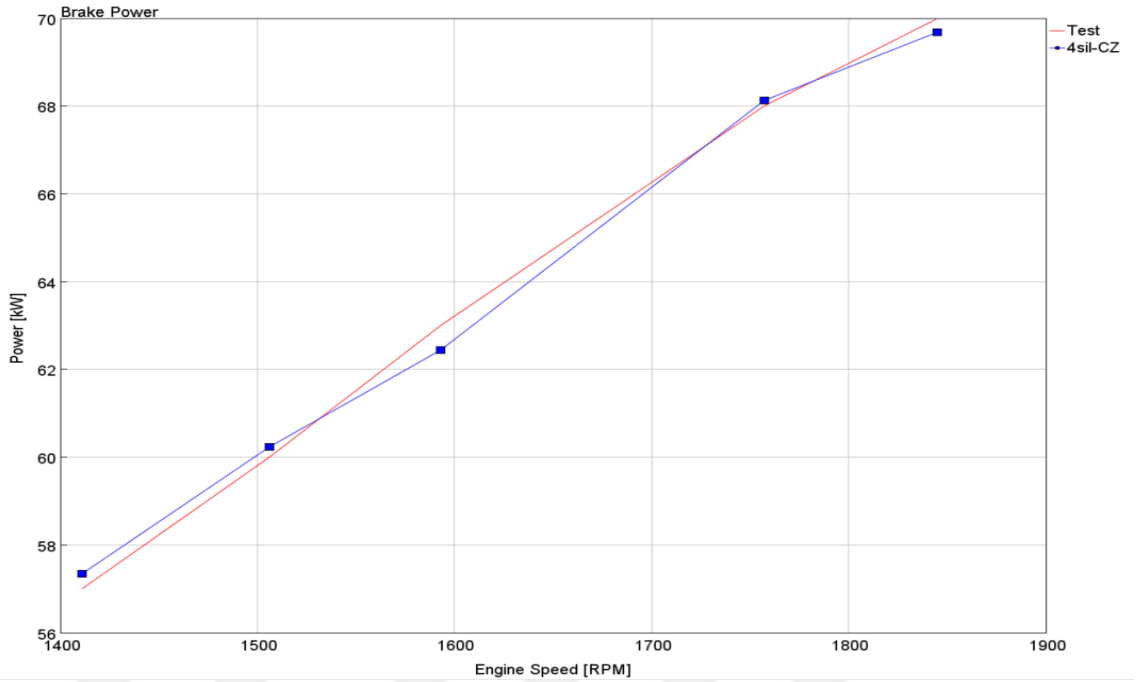
Yanma modeli olarak DI-Wiebe Yanma modeli seçilmiş olup ölçülen silindir içi basınçlar ile yanma kalibrasyonu yapılmıştır.



Şekil 4.12 1-D model ile Test Sonucu Silindir İçi Basınç Karşılaştırılması

4.9 Motor Test Sonuçları ile 1-D motor modelinin karşılaştırılması

1-D motor modelinde yanma kalibrasyonu yapıldıktan sonra tork, özgül yakıt tüketimleri de test sonuçları ile valide edilmiştir.



Şekil 4.13 1-D model ile Test Sonucu Güç Karşılaştırılması

4.10 Değişken Geometrili Turboşarj Gereksinimlerinin çıkarılması ve Firmadan Alınan Haritaların Modele Eklenmesi

Motor tam yük eğrisi çıkartıldıktan sonra, düşük motor devirlerinde ve özellikle tork noktasında hedeflenen yeni tork değerleri için hava ve basınç artış oranı hesaplanarak, gerekli turboşarj gereksinimleri çıkartılmıştır. Grafikte görüldüğü gibi, 1500 dev/dk da motorun tork değeri 380Nm olarak ölçülmüştür. Motorda bu nokta için 430Nm hedef tork belirlenmiştir. Bu tork artışını sağlayacak yakıt ve hava miktarı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

1500 dev /dk için;

Tüketilen yakıt miktarı: 13.73 kg/h

Tüketilen hava miktarı: 253 kg/h

Lambda: 1.27

430 Nm için gerekli yakıt hesabı kabaca;

$$G_y = 430 \times 13.73 \div 380 = 15.53 kg/h \tag{4.2}$$

olarak hesaplanabilir.Hava fazlalık katsayısı (lambda) yaklaşık olarak 1.4 olarak kabul

edilirse ve 14.5 stokiometrik oran ile hava hesabı yapılırsa, gerekli hava debisi ;

$$G_h = 15.53 \times 1.4 \times 14.5 = 315.25 kg/h \tag{4.3}$$

Bu hava debisini sağlayacak sıcaklık ve basınç değerlerinin belirlenmesi aşağıda açıklanmıştır.

$$D = m \times \rho^{-1} \times 1000 \times \ n^{-1} \times 2 \times Vol_{eff}^{-1} \tag{4.4}$$

Motor hacmi 3.9 litre olup volumetrik verim o nokta için yaklaşık olarak 0.9 olarak kabul edilmiştir. Değerler yerine yazıldığında hava yoğunluğunun o nokta için yaklaşık 2 kg/m^3 olarak çıktığı görülmektedir. Bu hava yoğunluğunu sağlayan basınç ve sıcaklığı bulurken aşağıdaki formülden yararlanılmıştır. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, basınç ve sıcaklık değerlerinin emme manifoldundan alınması gerektiğidir. Motor testleri yapılırken ara soğutucu radyatör kullanılmadığı için emme manifold sıcaklıkları 1500d/dk için 150 °C civarında tahmin edilmektedir.

$$\rho = p/RT \tag{4.5}$$

$$p = \rho \times R \times T \tag{4.6}$$

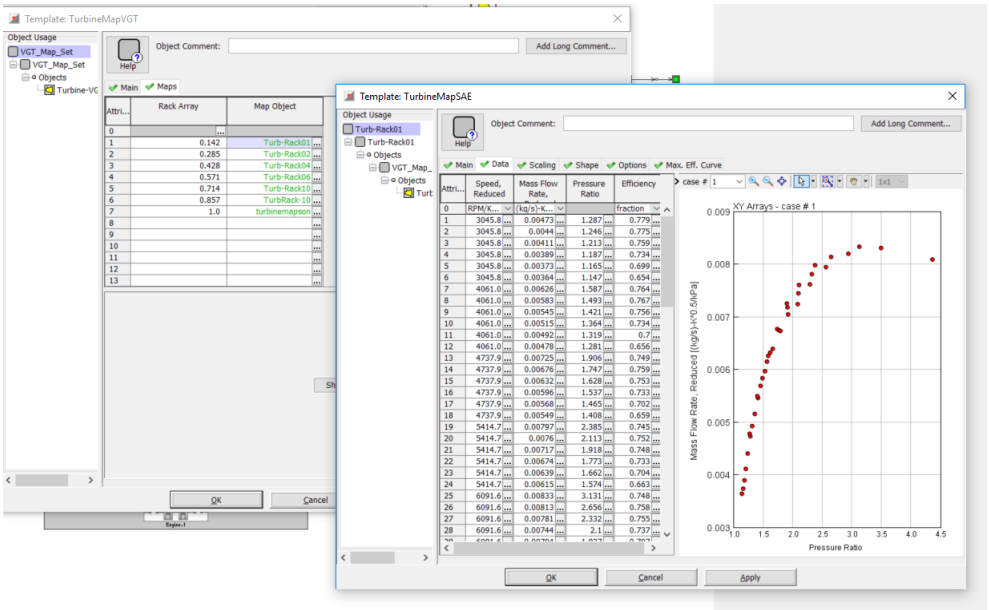
$$p = 2 \times 280 \times (273 + 150) \div 1000 = 2.36 bar \tag{4.7}$$

Bu çalışmada, motorda bir güç artışı hedeflenmediği için güç noktasındaki hava ve basınç artış oranı değerleri aynı alınmıştır.

Tablo 4.1 Turboşarj Gereksinimleri

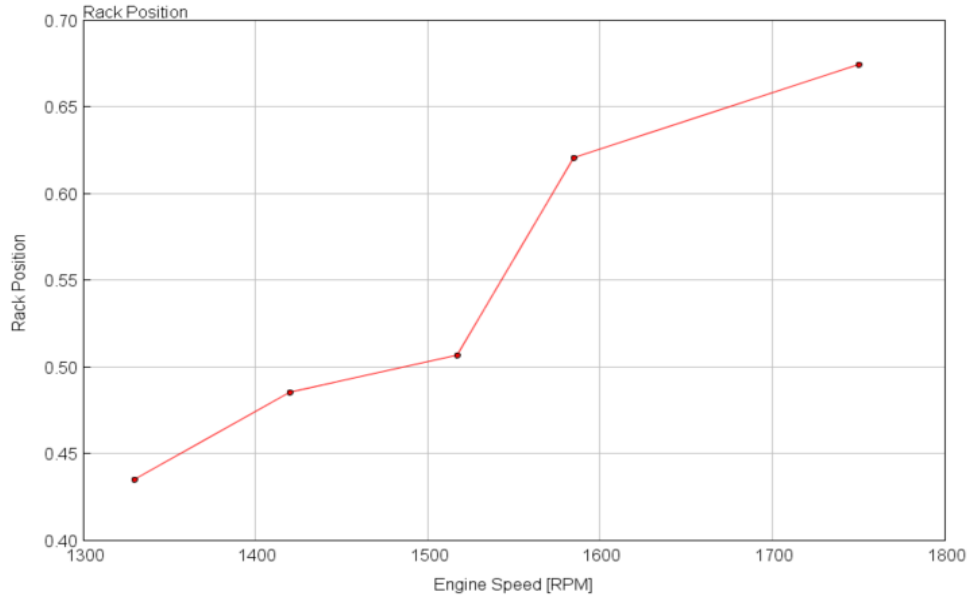
Motor hızı(d/dk)	Hava debisi(kg/s)	Basınç artış oranı
1500	0.0875	2.36
2300	0.102	1.75

Bu değerler doğrultusunda Vander-Lee firmasından Değişken Geometrili Turboşarj haritaları istenmiştir ve GT-POWER 1-D motor modeline eklenmiştir.



Şekil 4.14 DGT Türbin Haritalarının Modele Eklenmesi

Türbin haritaları modele eklendikten sonra 1-D motor modelinden hedef torklar için olması gereken kanatçık pozisyonları belirlenmiştir.



Şekil 4.15 Kanatçık Pozisyonlarının Belirlenmesi

5
DENEY

GT- POWER programında modellenen 1-D motor modelinin validasyonu ve değişken geometrili türbinin gerçek motor üzerinde performans karakteristiklerine etkilerinin incelenmesi için TÜMOSAN firmasının 4DT-39T-105C model dizel motoru kullanılmıştır.



Şekil 5.1 TÜMOSAN 4DT-39T-115C

5.1 Test Motorunun Teknik Özellikleri

Motorun teknik özellikleri tablodaki gibidir.

Tablo 5.1 4DT-39T-105C Teknik Özellikleri

Motor Hacmi [litre]	3.9
Silindir Sayısı	4
Çap x Strok [mm]	104 x 115
Anma Gücü @ Devir [BG]	100 @ 2300
Anma Torku @ Devir [Nm]	380 @ 1500
Aspirasyon	Turboşarj
Sıkıştırma Oranı	17
Yanma Sistemi	Direkt Enjeksiyon
Soğutma Sistemi	Su

5.2 Deneyde Kullanılan Ölçüm Ekipmanları

Motor Ar-Ge Test odasında su freni dinamometresine bağlanılarak, üzerinden çeşitli ölçümler alınmıştır.



Şekil 5.2 Motor Test Düzeneğinin Genel Görünümü

Tüketilen yakıt miktarını ölçmek için KİSTLER firmasının DFL3X- 5 bar modeli kullanılmıştır.



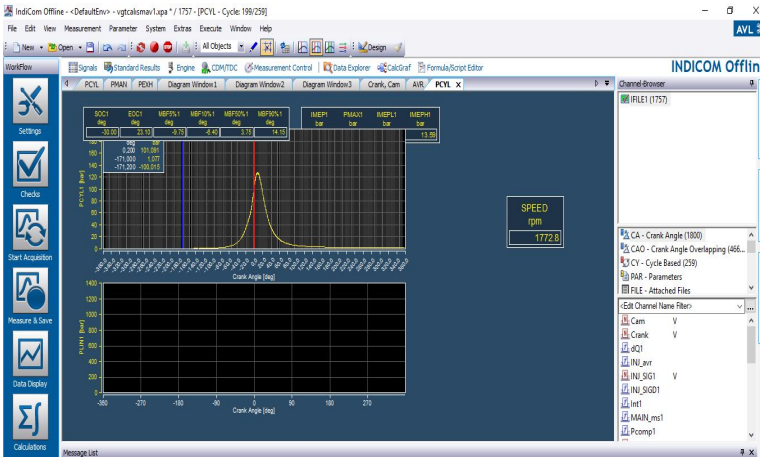
Şekil 5.3 DFL3X-5 bar Yakıt Ölçüm Cihazı

Motora emilen hava miktarını ölçmek için KHRONE marka kütlesel hava debimetresi kullanılmıştır.



Şekil 5.4 KHRONE Hava Debimetresi

Motorun silindir içi basınç değerleri Avl indicom sistemi ile ölçülmüştür.



Şekil 5.5 AVL Indicom Sistemi

Motor giriş-çıkış su sıcaklıkları, yağ basıncı, yağ sıcaklığı, hava debisi, tüketilen yakıt miktarı gibi değerler test otomasyon sistemi ile izlenip, kaydedilmiştir.

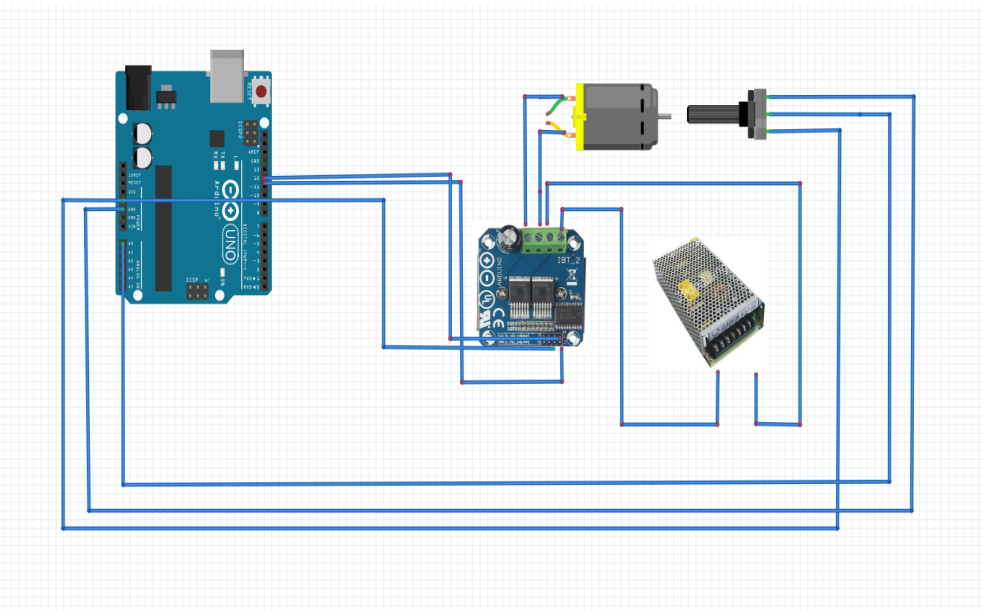


Şekil 5.6 Test Otomasyon Arayüzü

6
DEĞİŞKEN GEOMETRİLİ TÜRBİNİN MOTORA ENTEGRASYONU VE KONTROL YÖNTEMİNİN BELİRLENMESİ

6.1 Döner Kanatçıkların Pozisyonunun Elektronik Olarak Kontrol Edilmesi

Firma tarafından gönderilen turboşarj elektronik kontrollü olup motor elektronik kontrol ünitesi tarafından kontrol edilmektedir. Test sırasında kullanılan motor mekanik enjeksiyonlu olup motor kontrol ünitesine sahip değildir. Bu nedenle harici bir elektronik kontrol mekanizması düşünülmüş ve testler bu şekilde gerçekleştirilmiştir.Sistemde Arduino UNO, çift yönlü DC motor sürücü kartı(BTS7960b), 1k potansiyometre ve 12V bir güç kaynağı kullanılmıştır. Devre şeması şekilde gösterilmiştir. Çift yönlü motor sürücüsü sayesinde motor ileri ve geri hareketi sağlanmıştır. Potansiyometre yardımı ile de konum bilgisi okunmuştur.



Şekil 6.1 Kontrol Şeması

6.2 DGT in Motora Entegrasyonu ve Testlerin Gerçekleştirilmesi

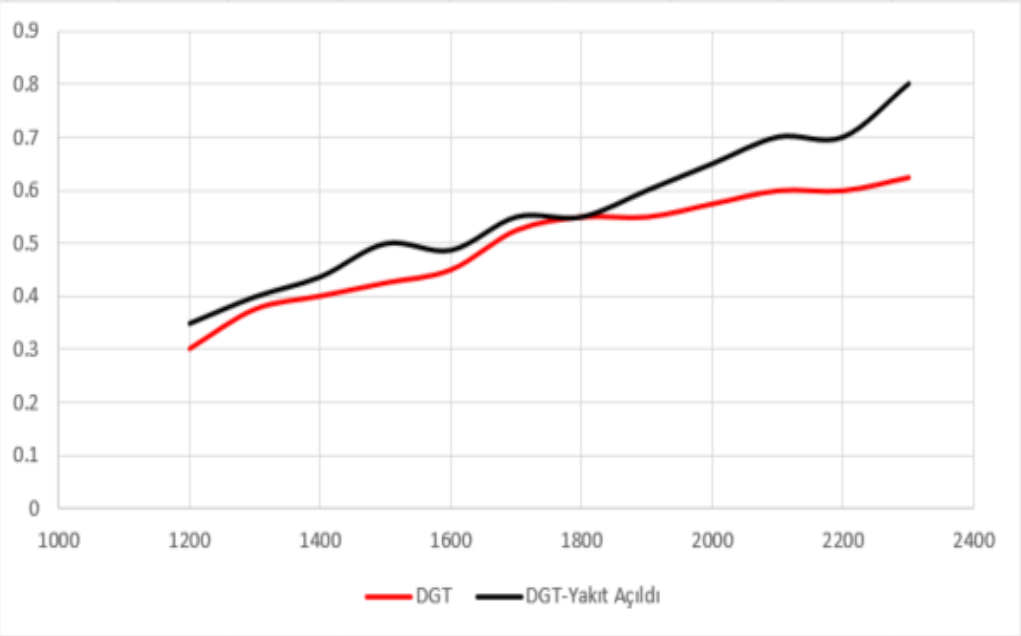
Vander Lee firmasından gelen turboşarj için yağ giriş-çıkış boruları, emme ve egzoz hattı boruları tasarlanmış ve motor üzerinde bağlantıları yapılmıştır.



Şekil 6.2 DGT in Motora Entegrasyonu

7
SONUÇ VE ÖNERİLER

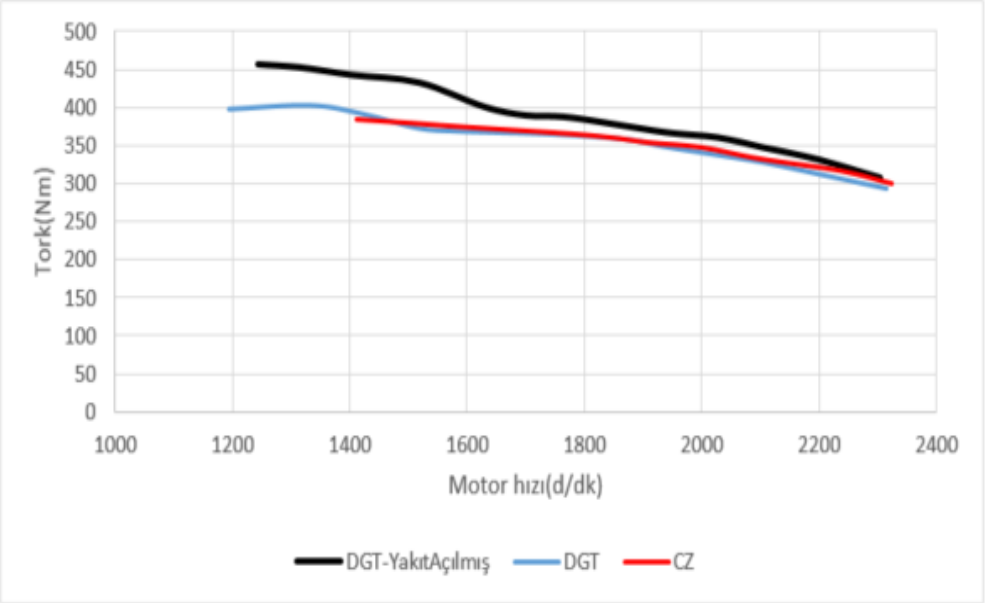
Testler KONYA ‘ da gerçekleştirilmiştir. Bilindiği üzere rakım 1000 m civarında olduğu için atmosfer basıncı yaklaşık olarak 900 mbar seviyelerindedir. Buna ek olarak testler gerçekleştirilirken intercooler kullanılmamıştır. Sonuçları değerlendirirken bu etkenler dikkate alınmalıdır. Testler üç adımda gerçekleştirilmiştir. İlk adımda, motora üzerinde olan pnömatik waste-gate turboşarj ile tam yük testi yapılmıştır ve ölçüm değerleri alınmıştır. İkinci adımda, motor üzerinde hiçbir değişiklik yapmadan firmadan gelen Değişen Geometrili Turboşarj takılarak tam yük eğrisi çıkartılmıştır. Son adımda, hedeflenen tork eğrileri için yakıt miktarı arttırılmış, istenilen hava debilerini sağlamak için kanatçık açıları elektronik olarak kontrol edilmiştir ve yeni tork eğrisi çıkartılmıştır.



Şekil 7.1 DGT Kanat Açıklıkları

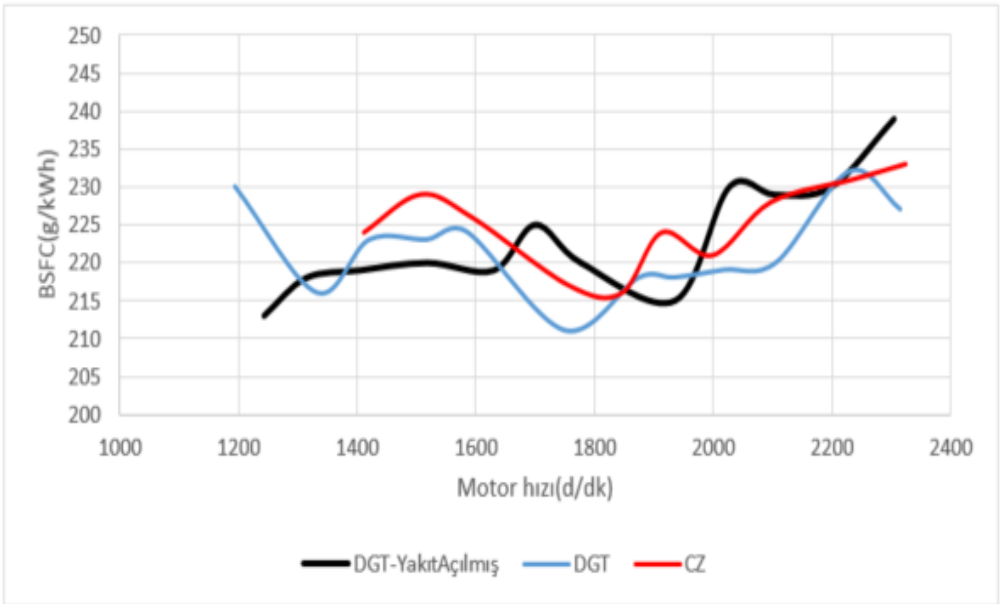
Her motor devri için farklı kanatçık açıklıkları kullanılmış olup grafikte gösterilmiştir. Burda dikkat edilmesi gereken husus, yakıt artımı yapıldığında kanatçık pozisyonlarının nasıl değiştiğidir. Püskürtülen yakıt arttığında türbine gelen toplam

yakıt enerjisi artmaktadır ve bu türbinin daha hızlı dönmesine fayda sağlamaktadır. Dolayısıyla aynı devir için daha az kısılma ile aynı basınç artış oranı sağlanabilmiştir.



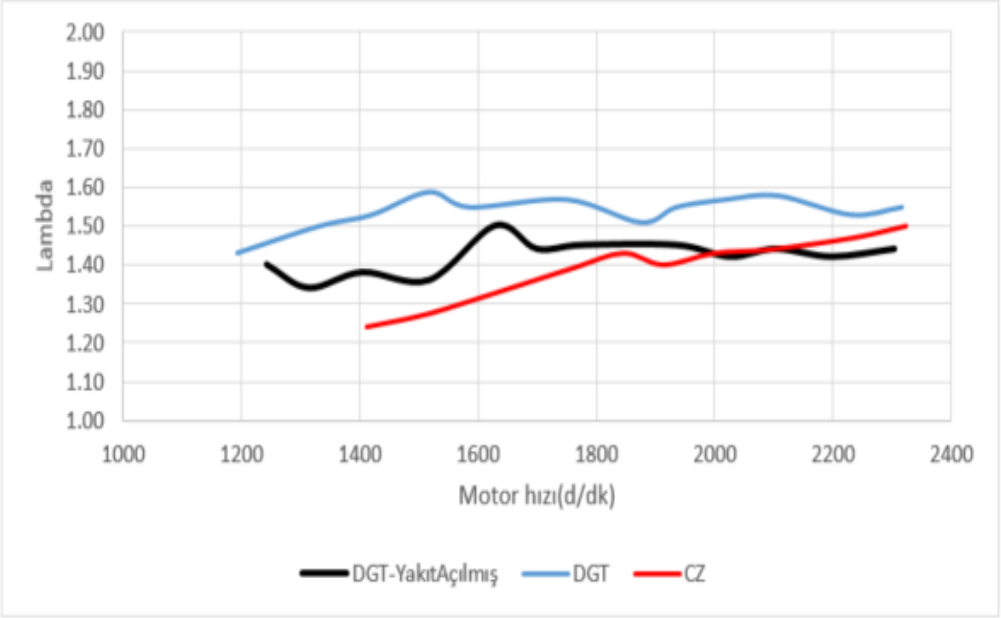
Şekil 7.2 Motor Tork Eğrilerinin Karşılaştırılması

Grafikte görüldüğü gibi, Motor orijinal turbosu ile 1400 devir/dak altındaki devirlere yetersiz hava sebebi ile inememiştir. DGT kullanılarak 1100-1200 devir/dak gibi değerlere çok rahat inilebilmiş istenilen tork artışı sağlanabilmiştir.



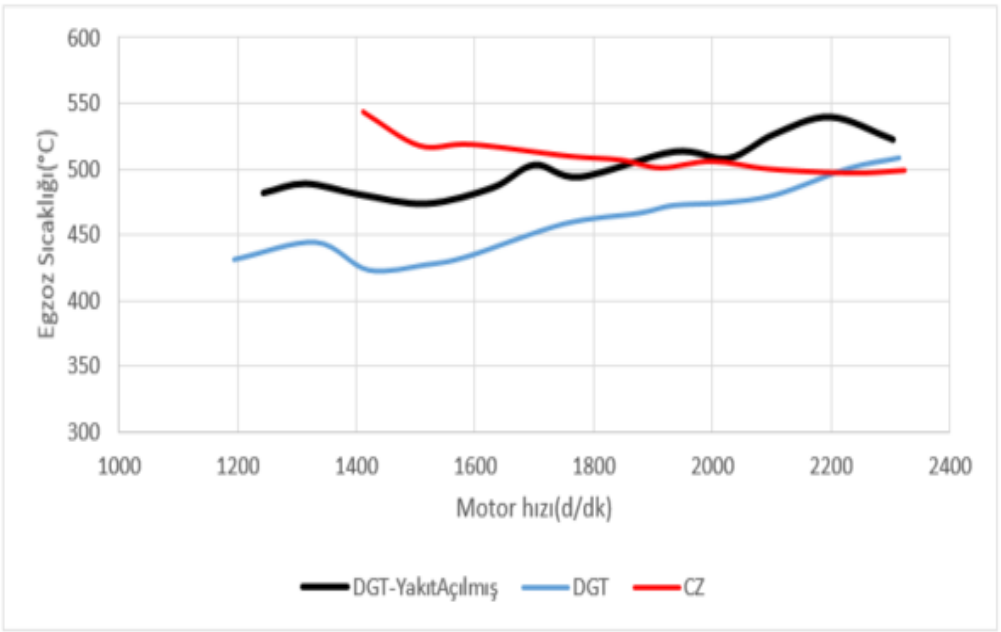
Şekil 7.3 Özgül Yakıt Tüketimlerinin Karşılaştırılması

Grafikte görüldüğü gibi, DGT kullanıldığında özgül yakıt tüketimlerinde iyileşme söz konusudur.



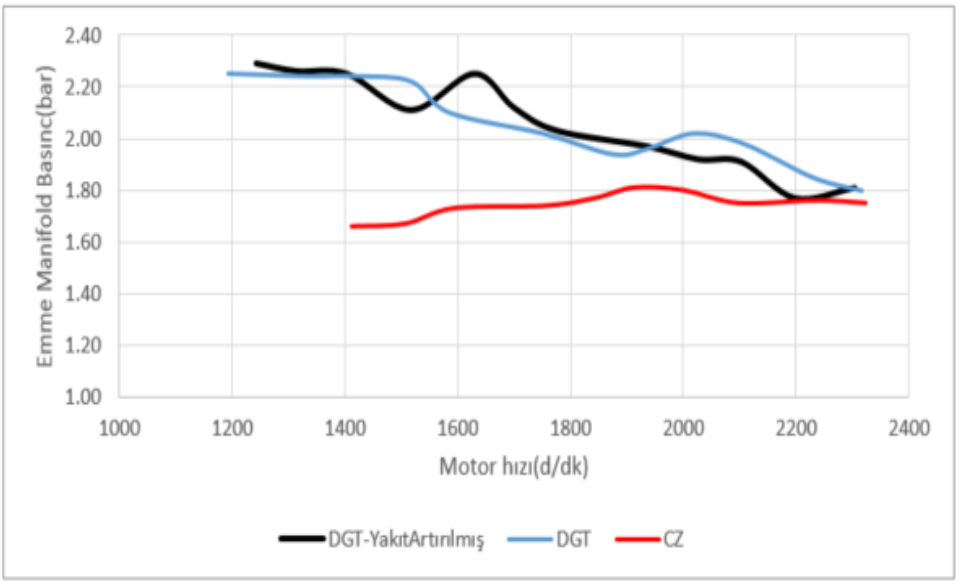
Şekil 7.4 Lambda Değerlerinin Karşılaştırılması

Hava fazlalık katsayısı(lambda) değerleri DGT kullanımı ile gözle görülür derecede artmıştır ve bu sayede düşük motor devirlerinde hedef tork değerlerine ulaşılmıştır.



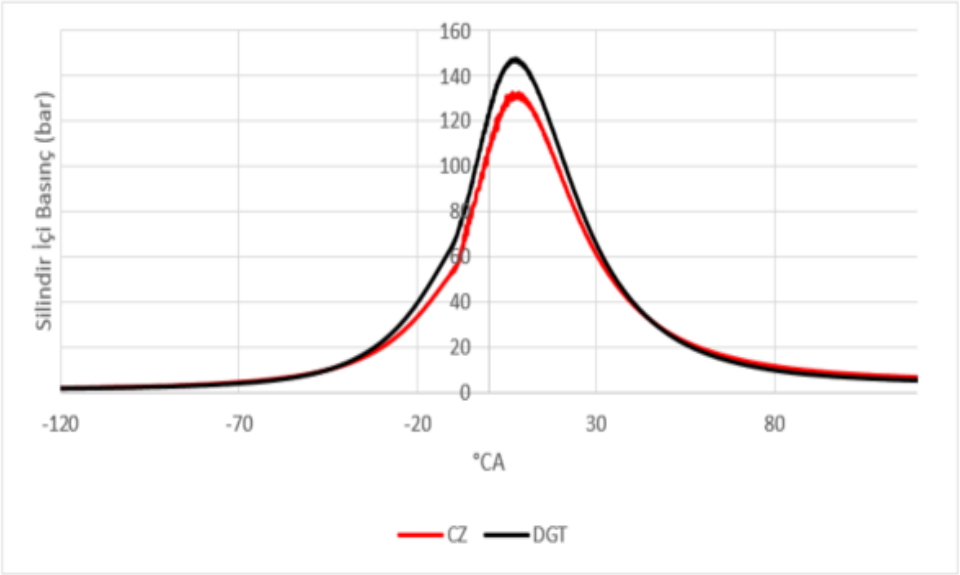
Şekil 7.5 Egzoz Sıcaklıklarının Karşılaştırılması

DGT kullanımı ile birlikte daha fakir hava yakıt karışımları elde edilmiş ve bunun sonucunda egzoz sıcaklıklarında bir miktar azalma gözlenmiştir.



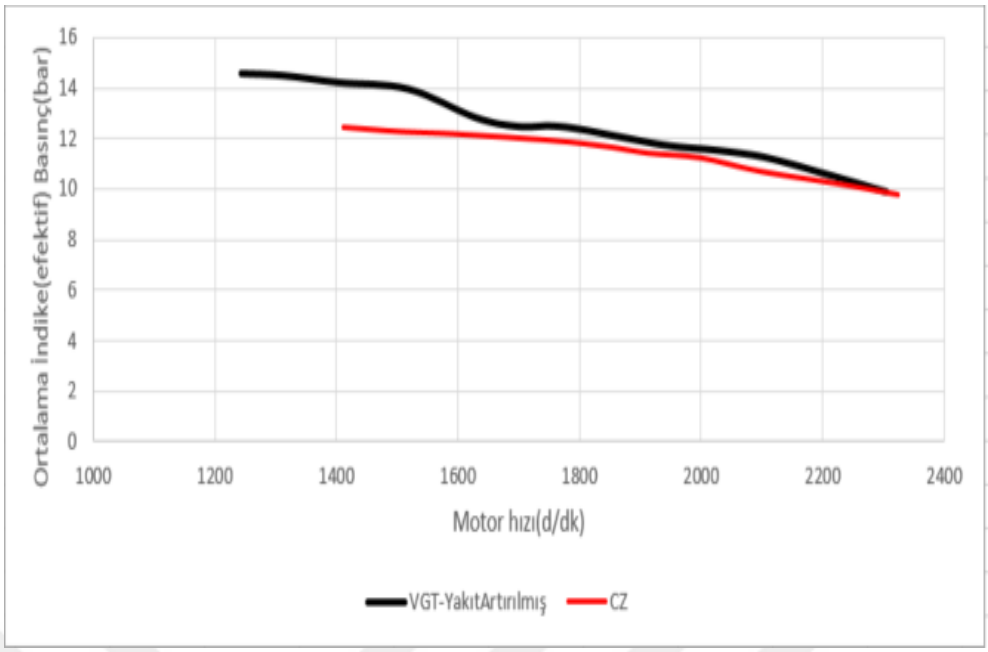
Şekil 7.6 Emme Manifold Basınçlarının Karşılaştırılması

Değişken geometrili türbinin kanatçık açıları değiştirilerek türbin hızı, dolayısıyla kompresör hızı arttırılmıştır. Böylelikle motordan çıkan aynı egzoz debisine karşılık daha fazla basınç artış oranları elde edilebilmiştir.



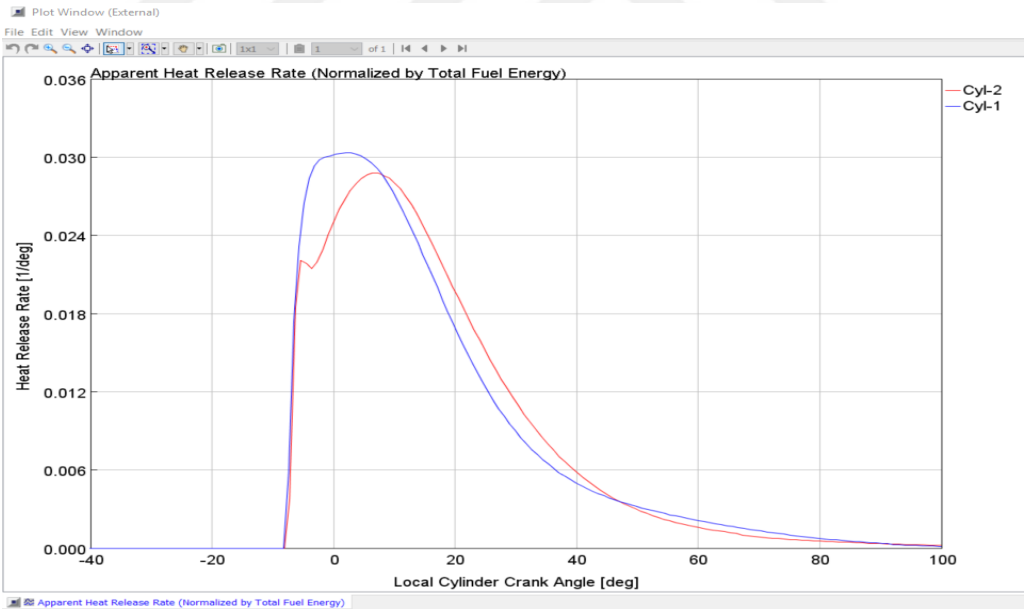
Şekil 7.7 Tork Noktasında Silindir İçi Basınçların Karşılaştırılması

Alüminyum pistonlarda dayanım ortalama 170 bar mertebelerindedir. AVL indismart cihazı ile silindir içi basınç değerleri takip edilmiştir.



Şekil 7.8 Ortalama İndike basınçlarının Karşılaştırılması

DGT kullanılarak, özellikle tork bölgelerinde ortalama indike basınç artışı sağlanabilmiştir.



Şekil 7.9 Isı Salım Oranlarının Karşılaştırılması

DGT kullanıldığında yakıt miktarı da arttırıldığı için ısı salınım oranlarında grafikte görüldüğü gibi bir fark meydana gelmiştir.

Değişken Geometrili Türbin kullanımının başka bir amacı da motorun ivmelenme davranışlarını iyileştirmektir. Bu çalışmada motor testleri su freni dinamometresi ile yapılmıştır. İvmelenmedeki durum üzerinde çalışma yapabilmek için aktif

dinamometreye ihtiyaç vardır. Ek olarak, ivmelenme anında motor kısmi yüklerde de çalışacağı için o noktalar için de hedef emme manifold basınçları belirlenmeli ve kontrolcü mekanizmasına motor yükü, manifold basıncı gibi degerleri geri bildirim olarak verilmelidir. Daha sonra PID, PWM gibi bir kontrol mekanizması kullanılarak testler gerçekleştirilmelidir.

Bu çalışmada motor sadece performans değerleri açısından incelenmiştir. Çalışmanın daha kapsamlı olması açısından emisyon değerlerinin ölçülmesi ve iyileştirilmesi de önem arz etmektedir.

A
Kontrol Algoritması

```
/*
  VTN control

  repeatedly.

*/

#define led 13

#define SAMPLE_COUNT  (10U)
#define CONTROL_ACCR  (10U)

int SENSOR_PIN = 0; // center pin of the potentiometer
int RPWM_Output = 11; // Arduino PWM output pin 5; connect to IBT-2 pin 1 (RPWM)
int LPWM_Output = 12; // Arduino PWM output pin 6; connect to IBT-2 pin 2 (LPWM)

int incomingByte = 0;   // for incoming serial data
String inString = "";    // string to hold input
int value = 0;
int sensorValue = 0;
int sensor_fark = 0;

int16_t pos_sum_value;
int pos_val_idx = 0;
int pos_value = 0;


// the setup function runs once when you press reset or power the board
void setup() {

  pinMode(RPWM_Output, OUTPUT);
  pinMode(LPWM_Output, OUTPUT);
  pinMode(led, OUTPUT);

  Serial.begin(115200);      // opens serial port, sets data rate to 9600 bps
```

```
//*************************************************************//
//**************seri porttan okuma*************************//
// klavyeden gelen set değeri okunmaktadır.
void sdoku(void){
// send data only when you receive data:
  if (Serial.available() > 0)
  {
    // read the incoming byte:
    incomingByte = Serial.read();

    if (isDigit(incomingByte))
    {
      // convert the incoming byte to a char and add it to the string:
      inString += (char)incomingByte;
    }

    if (incomingByte == '\n')
    {
      value = inString.toInt();
      inString = "";
    }
  }
}
//*************************************************************//


////**********kontrol******************//
// sensör değerini ve set edilmesi gereken değerler alınıp, pozitif ya da negatif yönde motor sürülmektedir.
void kontrol(int pos_value, int value){

  if (pos_value > value){
    digitalWrite(RPWM_Output, HIGH);
    delay(1);
    digitalWrite(RPWM_Output, LOW);
    delay(7);
    //Serial.println("pozitif yönde kontrol ");
    //value++;
  }
  else
  {
    digitalWrite(LPWM_Output, HIGH);
    delay(1);
    digitalWrite(LPWM_Output, LOW);
    delay(7);
    //Serial.println("negatif yönde kontrol ");
    //value--;
  }
}
////*********************************//
```

```
// the loop function runs over and over again forever
void loop() {

  sdoku(); //buradan value değeri yani talep derece gelmekte

  if (value > 400)
  {
    value = 400;
  }
  else if (value < 0)
  {
    value = 0;
  }

  konum_oku();

  sensor_fark = abs(pos_value-value); //fark

  if (sensor_fark > CONTROL_ACCR)
  {
    kontrol(pos_value, value);
  }

  // Sensör, Set Değeri, Fark değerleri seri porttan gönderilmektedir.
  Serial.print(sensorValue, DEC);
  Serial.print(" ");
  Serial.print(value, DEC);
  Serial.print(" ");
  Serial.println(sensor_fark, DEC);

}
```

Referanslar

[1] *The history of turbocharging*, https://en.turbolader.net/Technology/History.aspx, [Online; accessed 05-Feb-2019].

[2] J. Kawaguchi, K. Adachi, S.Kono, and T. Kawakami, "Development of VFT," *SAE*, 1999.

[3] H. J.G, W. F.J, and H. R.W, "Variable Geometry Turbocharging for Lower Emissions and Improved Torque Characteristics," *IMechE*, 1999.

[4] S.Arnold, M. Groskreutz, S.Shaded, and K. Slupski, "Advanced Variable Geometry Turbocharger for Diesel Engine Applications," *SAE*, 2002.

[5] F. Ortenzi, A. Genovese, M. Carrazza, F. Rispoll, and P. Venturini, "Exhaust Energy Recovery with Variable Geometry Turbine to Reduce Fuel Consumption for Microcars," *SAE*, 2018.

[6] M. Ergeneman, *İçten Yanmalı Pistonlu Motorlarda Aşırı Doldurma Ders Notları*. İstanbul Teknik Üniversitesi, 1990.

[7] H.Hermann and P. Peter, *Charging the Internal Combustion Engine*. SpringerWienNewYork, 2007, ISBN: 978-3-211-33033-3.

[8] M. Balcı, *Dizel Motorlarında Süperşarj ve Turboşarj*. Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Vakfı Yayınları, 1985.

[9] M. Klaus and T. Helmut, *Handbook of Diesel Engines*. Springer, 2010, ISBN: 978-3-540-89082-9.

[10] *Variable Geometry Turbocharger*, https://www.dieselnet.com/tech/air_turbo_vgt.php, [Online; accessed 10-Feb-2019].

[11] *Variable Geometry Turbocharger*, https://x-engineer.org/automotive-engineering/internal-combustion-engines/ice-components-systems/variable-geometry-turbocharger-vgt/, [Online; accessed 12-March-2019].

[12] H. Ishihara, K. Adachi, and S. Kono, "Development of VFT part 2," *SAE*, 2002.

[13] Chen and Flynn, "Development of Single Cylinder Compression Ignition Research Engine," *SAE*, Paper 650733.

Tezden Üretilmiş Yayınlar

İletişim Bilgileri: miracozturk61@gmail.com

Konferans Bildirisi

1. Öztürk M., Sandalcı T., Özcan E., Büyük C., "The Effect of Variable Geometry Turbine (VGT) Turbocharger on Diesel Engine Performance Characteristics", ICPAT 2018 (PROCEEDINGS BOOK OF INTERNATIONAL CONFERENCE ON PROGRESSES IN AUTOMOTIVE TECHNOLOGIES 2018), İSTANBUL, TÜRKIYE, 10-12 Mayıs 2018, pp.17