



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

**TSI MOTORDA BENZİN-AVGAS  
KARIŞIMLARININ KULLANIMINDA  
MOTOR PERFORMANS, EMİSYON VE  
YANMA KARAKTERİSTİKLERİNİN  
ARAŞTIRILMASI**

**İbrahim DOĞAN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Ekim-2021**  
**KONYA**  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

İbrahim DOĞAN tarafından hazırlanan “TSI Motorda Benzin-Avgas Karışımlarının Kullanımında Motor Performans, Emisyon ve Yanma Karakteristiklerinin Araştırılması” adlı tez çalışması 01/10/2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

### İmza

#### Başkan

Doç. Dr. A. Engin ÖZÇELİK

.....

#### Danışman

Prof. Dr. Hasan AYDOĞAN

.....

#### Üye

Prof. Dr. Mustafa ÖZCANLI

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Sait GEZGİN  
FBE Müdürü

## TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

İbrahim DOĞAN

Tarih:

# ÖZET

## YÜKSEK LİSANS TEZİ

### TSI MOTORDA BENZİN-AVGAS KARIŞIMLARININ KULLANIMINDA MOTOR PERFORMANS, EMİSYON VE YANMA KARAKTERİSTİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

**İbrahim DOĞAN**

**Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Prof. Dr. Hasan AYDOĞAN**

**2021, 71 Sayfa**

**Jüri**

**Prof. Dr. Mustafa ÖZCANLI**

**Prof. Dr. Hasan AYDOĞAN**

**Doç. Dr. A. Engin ÖZÇELİK**

Bu çalışmada dört zamanlı, dört silindri, turboşarjlı, direkt enjeksiyon yakıt sistemine ve 1.2 litre motor hacmine sahip benzinli bir VW marka TSI motorda, havacılık yakıtı Avgas ile Benzin yakıtı karışımlarının motor performans ve emisyonlara etkileri araştırılmıştır. Referans benzin yakıtına hacimce %5 (A5), %10 (A10) ve %15 (A15) Avgas eklenerek yakıt karışımları hazırlanmıştır. Günümüzde TSI motorlarında ülkemizde sayılı çalışma olmasına rağmen Avgas yakıtı ile ilgili bir çalışma olmadığı saptanmıştır.

Taguchi metodu kullanılarak L9 deney tasarım matrisine göre Avgas-Benzin karışım yakıtlarının motor momenti, motor gücü, egzoz gaz sıcaklığı, motor yağı sıcaklığı, hava tüketimi, gürültü, özgül yakıt tüketimi ve emisyonların değişimlerini belirlemek adına deneysel bir çalışma ve istatistiksel bir analiz yürütülmüştür. Motor devri ve Avgas oranı kontrol faktörleri olarak belirlenmiş ve 3 farklı seviye seçilmiştir. ANOVA analiz metodu kullanılarak kontrol faktörlerinin yanıtlar üzerindeki önem seviyeleri belirlenmiştir. Optimum faktör ve seviyeler belirlendikten sonra normal-olasılık grafikleri, kontur grafikleri, regresyon denklemleri ve polinom regresyon ile deneysel çalışma desteklenmiştir.

Deneilerin son aşamasında Avgas-Benzin yakıt karışımlarının deney sonuçları Benzin referans yakıtı ile karşılaştırılmıştır. En yüksek motor gücü değeri 3500 dev/dak'da A15 yakıt karışımında 52,84 kW olarak elde edilmiştir. Egzoz gaz sıcaklığı, motor yağı sıcaklığı ve hava tüketimi değerleri sırası ile 3500 dev/dak'da A15 yakıt karışımında 649 °C, 109,3 °C ve 58,71 dm<sup>3</sup>/s olarak en yüksek değerler elde edilmiştir. Gürültü ve özgül yakıt tüketimi değerleri sırası ile A15 yakıt karışımında 1000 dev/dak'da 80,8 dB, 3000 dev/dak'da 236 g/kWh olarak en düşük değerler elde edilmiştir. Isı salınım oranı ve silindir içi basınç değerlerinde ise Avgas kullanımıyla sırası ile 3500 dev/dak'da benzine göre %62,17 ve %5,55 artış görülmüştür.

Emisyon değerlerinde ise Avgas kullanımı ile NO<sub>x</sub>, HC ve CO<sub>2</sub> emisyonlarında azalma olduğu görülürken CO ve O<sub>2</sub> emisyonlarında artış olduğu görülmüştür. En düşük NO<sub>x</sub>, HC, CO<sub>2</sub>, CO ve O<sub>2</sub> emisyon değerleri farklı devirlerde sırası ile; A15 yakıt karışımında 723 ppm, A15 yakıt karışımında 44 ppm, A15 yakıt karışımında %6,4, Benzinde %0,136, Benzinde %0,87 olarak elde edilmiştir.

Bu çalışma sonunda TSI motorlarda alternatif yakıt çalışmalarının yapılabileceği ve Avgas katkıli yakıt karışımlarının TSI motorlarda kullanılabilceği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** ANOVA, Avgas, Avgas-Benzin Karışımları, Motor Emisyonu, Motor Performansı, Regresyon, Taguchi Metodu, TSI Motor

## ABSTRACT

### MS THESIS

# INVESTIGATION OF ENGINE PERFORMANCE, EMISSION AND COMBUSTION CHARACTERISTICS IN THE USE OF GASOLINE-AVGAS MIXTURES IN TSI ENGINE

**İbrahim DOĞAN**

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

**Advisor: Prof. Dr. Hasan AYDOĞAN**

**2021, 71 Pages**

**Jury**

**Prof. Dr. Mustafa ÖZCANLI**

**Prof. Dr. Hasan AYDOĞAN**

**Assoc. Prof. Dr. A. Engin ÖZÇELİK**

In this study, the effects of aviation fuel Avgas and gasoline fuel mixtures on engine performance and emissions were investigated in a gasoline VW brand TSI engine with a four-stroke, four-cylinder, turbocharged, direct injection fuel system and 1.2-liter engine displacement. Fuel mixtures were prepared by adding 5% (A5), 10% (A10) and 15% (A15) Avgas by volume to the reference gasoline fuel. Although there are few studies on TSI engines in our country today, it has been determined that there is no study on Avgas fuel.

An experimental study and a statistical analysis were carried out to determine the changes in engine torque, engine power, exhaust gas temperature, engine oil temperature, air consumption, noise, specific fuel consumption and emissions of Avgas-Gasoline mixed fuels using the Taguchi method according to the L9 experimental design matrix. Engine speed and Avgas ratio were determined as control factors and 3 different levels were selected. The significance levels of the control factors on the responses were determined using the ANOVA analysis method. After determining the optimum factors and levels, the experimental study was supported with normal-probability graphs, contour graphs, regression equations and polynomial regression.

At the last stage of the experiments, the test results of Avgas-Benzine fuel mixtures were compared with the Gasoline reference fuel. The highest engine power value was obtained as 52.84 kW in A15 fuel mixture at 3500 rpm. The highest values of exhaust gas temperature, engine oil temperature and air consumption values were obtained as 649 °C, 109.3 °C and 58.71 dm<sup>3</sup>/s in A15 fuel mixture at 3500 rpm, respectively. The lowest values of noise and specific fuel consumption values were obtained as 80.8 dB at 1000 rpm and 236 g/kWh at 3000 rpm in A15 fuel mixture, respectively. The heat release rate and in-cylinder pressure values increased by 62.17% and 5.55% at 3500 rpm, respectively, with the use of Avgas.

In the emission values, it was observed that there was a decrease in NO<sub>x</sub>, HC and CO<sub>2</sub> emissions with the use of Avgas, while there was an increase in CO and O<sub>2</sub> emissions. The lowest NO<sub>x</sub>, HC, CO<sub>2</sub>, CO and O<sub>2</sub> emission values are respectively at different cycles; It was obtained as 723 ppm in A15 fuel mixture, 44 ppm in A15 fuel mixture, 6.4% in A15 fuel mixture, 0.136% in gasoline, 0.87% in gasoline.

At the end of this study, it has been seen that alternative fuel studies can be done in TSI engines and that fuel mixtures with Avgas additives can be used in TSI engines.

**Keywords:** ANOVA, Avgas, Avgas-Gasoline Mixtures, Engine Emission, Engine Performance, Regression, Taguchi Method, TSI Engine

## ÖNSÖZ

Bu çalışmada dört zamanlı, dört silindirli, turboşarjlı, direkt enjeksiyonlu, benzinli bir TSI motorda, havacılık yakıtı olan Avgas ile benzin yakıtı karışımlarının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkileri araştırılmıştır. Bu çalışma ile daha iyi motor performansı ve daha düşük egzoz emisyon değerlerine ulaşmak için yapılacak çalışmaların ve testlerde yeni nesil motorların kullanımının desteklenmesi hedeflenmiştir.

Bu çalışmanın konusunun belirlenmesinde, araştırmaların yapılmasında, test ortamının hazırlanmasında, sonuçların elde edilmesinde ve değerlendirilmesinde her zaman bana destek olan ve yol gösteren değerli danışman hocam Prof. Dr. Hasan AYDOĞAN'a, çalışmalar esnasında bana yardımcı olan değerli hocam Öğr. Gör. Mehmet Selman GÖKMEN'e ve mühendislik eğitimim boyunca bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen Selçuk Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Makine Mühendisliği bölümü hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak maddi ve manevi yönden her zaman yanımda olan, desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen AİLEME tüm kalbimle teşekkür ederim.

İbrahim DOĞAN  
KONYA-2021

# İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>iii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>iv</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR</b> .....	<b>vi</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI</b> .....	<b>10</b>
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM</b> .....	<b>14</b>
3.1. Test Düzenğinde Kullanılan Materyal ve Ekipmanlar.....	15
3.1.1. Deney motoru .....	15
3.1.2. Test yakıtları .....	15
3.1.3. Hidrolik dinamometre.....	16
3.1.4. Emisyon ölçüm cihazı.....	17
3.1.5. Elektronik terazi.....	18
3.1.6. Sıcaklık ölçüm cihazı.....	18
3.1.7. Hava akış hızı ölçüm cihazı .....	19
3.1.8. Gürültü ölçüm cihazı .....	19
3.1.9. Silindir içi basınç ölçümü .....	20
3.2. Deneysel tasarım.....	21
3.2.1. Taguchi metodu .....	21
3.3. Motor Karakteristiklerinin Belirlenmesi.....	24
3.3.1. Motor momenti .....	24
3.3.2. Efektif güç.....	24
3.3.3. Özgül yakıt tüketimi .....	25
3.3.4. Hava tüketimi.....	25
<b>4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA</b> .....	<b>27</b>
4.1. Deney Sonuçları.....	27
4.2. ANOVA Analizleri .....	28
4.3. Optimum Faktör Seviyelerinin Belirlenmesi.....	29
4.4. Normal-Olasılık Grafikleri .....	31
4.5. Regresyon Denklemleri .....	33
4.6. Kontur Grafikleri .....	34
4.7. Polinom Regresyon.....	37
4.8. Benzin Referans Yakıtı İle Karşılaştırma .....	38
4.8.1. Motor momenti değerlerinin karşılaştırılması .....	39
4.8.2. Motor gücü değerlerinin karşılaştırılması.....	39
4.8.3. Egzoz gazı sıcaklığı değerlerinin karşılaştırılması .....	40
4.8.4. Motor yağı sıcaklığı değerlerinin karşılaştırılması .....	41

4.8.5. Hava tüketimi değerlerinin karşılaştırılması.....	42
4.8.6. Gürültü değerlerinin karşılaştırılması .....	43
4.8.7. CO emisyon değerlerinin karşılaştırılması .....	43
4.8.8. CO <sub>2</sub> emisyon değerlerinin karşılaştırılması .....	44
4.8.9. HC emisyon değerlerinin karşılaştırılması .....	45
4.8.10. O <sub>2</sub> emisyon değerlerinin karşılaştırılması.....	46
4.8.11. NO <sub>x</sub> emisyon değerlerinin karşılaştırılması .....	47
4.8.12. Özgül yakıt tüketimi değerlerinin karşılaştırılması .....	48
4.8.13. Silindir içi basınç değerlerinin karşılaştırılması .....	49
4.8.14. Isı salınım oranı değerlerinin karşılaştırılması.....	51
<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>53</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>55</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>62</b>



## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

A	: Hava Akış Alanı
a	: Deney Sayısı
b	: Seviye Sayısı
B <sub>e</sub>	: Saatteki Yakıt Tüketimi
b <sub>e</sub>	: Özgül Yakıt Tüketimi
c	: Faktör Sayısı
CO	: Karbonmonoksit
CO <sub>2</sub>	: Karbondioksit
dev/dak	: devir/dakika
F	: Kuvvet
HC	: Hidro Karbon
k <sub>A</sub>	: A Faktörünün Seviyesi
l	: Uzunluk
L <sub>a</sub> (b <sup>c</sup> )	: Ortogonal Dizi
m	: Yakıt Tüketimi
M <sub>d</sub>	: Motor Momenti
n	: Motor Devri
N	: Gürültü
NO <sub>x</sub>	: Azot Oksit
O <sub>2</sub>	: Oksijen
P <sub>e</sub>	: Efektif Güç
S	: Sinyal
V <sub>A</sub>	: A Faktörünün Serbestlik Derecesi
V <sub>AB</sub>	: AB Etkileşiminin Serbestlik Derecesi
V <sub>B</sub>	: B Faktörünün Serbestlik Derecesi
V <sub>hava</sub>	: Hava Tüketimi
V <sub>hız</sub>	: Hava Akış Hızı
V <sub>LN</sub>	: Serbestlik Dereceleeri Toplamı
ω	: Açısal Hız

### Kısaltmalar

A0	: %100 Benzin
A5	: %95 Benzin + %5 Avgas
A10	: %90 Benzin + %10 Avgas
A15	: %85 Benzin + %15 Avgas
AG	: Avgas Oranı
Avgas	: Aviation Gasoline
KA	: Krank Açısı
LL	: Low Lead
MD	: Motor Devri
ppm	: Milyonda Bir Parçacık
TEL	: Tetraethyllead
TSI	: Turbo Supercharger Injection
ÜÖN	: Üst Ölü Nokta

## 1. GİRİŞ

Dünyada nüfus artışı, araç sayısının artması ve ekonomik ilerleme nedenlerinden dolayı enerjiye ihtiyaç artmaktadır. Enerji ihtiyacının artmasıyla enerji kaynaklarına olan ihtiyaçta artmaktadır. İhtiyaç duyulan enerjiyi karşılamak için petrol, kömür ve doğalgaz gibi yenilenemeyen enerji kaynakları kullanılmaktadır (Alpgiray, 2006). Ancak bu kaynakların aşırı kullanımı bu kaynakların tükenmesine, dışa bağımlılığın artmasına ve çevre kirliliğine neden olmaktadır.

Günümüzde taşıtlarda çoğunlukla fosil yakıtlar ile çalışan içten yanmalı motorlar kullanılmaktadır (Tosun ve Özcanlı, 2021). Bu motorlar çevre kirliliğinin en önemli kaynaklarından. Bunun temel nedeni içten yanmalı motorların yakıtı tamamen yakamaması ve bunun sonucunda çıkan emisyonlardır. İçten yanmalı motorlardan kaynaklı CO<sub>2</sub> gazı miktarı gün geçtikçe artmakta ve sera gazı oluşturarak çevre kirliliğine neden olmaktadır ve bu motorlardan kaynaklı çevreye her yıl 420 milyon ton CO<sub>2</sub> emisyonu salınmaktadır (Eliçin, 2011; Sezgin ve ark., 2013).

Günümüzde yaygın olarak kullanılan içten yanmalı motorlardan biri benzinli motorlardır. Bu motorlarda silindir içerisindeki karışımın basıncı ve sıcaklığı sıkıştırma oranına bağlıdır. Motor gücü artırılması amacıyla sıkıştırma oranı artırılır. Ancak vuruşu sebebiyle yüksek sıkıştırma oranı kullanılamamaktadır. Yakıtın oktan seviyesi artırıldığında sıkıştırma oranı artırılmadan motor gücü artırılabilir (Yousufuddin ve Mehdi, 2008). Yakıt hava ile silindir içerisine alındığından yakıt silindir cidarlarına ve piston boşluğuna yapışır. Bu sebeple yüzeylerde oksidasyon tam olarak gerçekleşmez ve yanmamış hidrokarbon emisyonları yükselir (Çınar ve ark., 2015).

Diesel motorlar ise günümüzde kullanılan diğer bir içten yanmalı motorlardır. Yüksek sıkıştırma oranlarında kullanılabilir. Yakıt hava ile sonradan karıştırıldığından karışım heterojendir. Bu sebeple egzoz emisyon değerleri yüksektir (Solmaz ve ark., 2014). Diesel motorlarda kullanılan yakıtlar içerdiği yüksek aromatik bileşik ve sülfür nedeniyle çevre kirliliğine neden olmaktadır.

İçten yanmalı motorlarda kullanılacak yakıtların, yüksek sıkıştırma oranlarında kullanılabilmesi, ısıl değerlerinin yüksek olması ve emisyon değerlerinin düşük olması istenmektedir. Tüm dünyada egzoz emisyonları için yasal sınırlamalar getirilmiştir ve bunun sonucunda da emisyonları azaltmaya yönelik çalışmalar hız kazanmıştır.

Avgas, benzinin formüle edilmesiyle elde edilen ve havacılık benzini olarak adlandırılan yüksek oktanlı yakıttır. Oktanın yüksek olmasının sebebi içerdiği kurşun

tetraetil (TEL)'dir (Kumar ve ark.,2018; Thom ve Atwood, 2011). TEL, vuruntuyu önlemeye yardımcı olmak için havacılık yakıtlarına eklenen bir katkı maddesidir (Atwood ve Rodgers, 2014; Thom ve Atwood, 2011). Avgas'da TEL katkı maddesinin kullanılmasının ana nedeni, uçak motorlarının yüksek güç ayarlarında ve sıcaklıklarda çalıştırıldığında vuruntuya eğilimli olmasıdır (Anonymous, 2011).

TEL oranına göre Avgas havacılık yakıtı sınıflara ayrılmaktadır. En çok kullanılanı Avgas 100 LL'dir. Avgas, normalde 30°C ile 200°C arasında damıtma aralığına sahip piston tipi uçak motorlarında kullanım için özel olarak harmanlanmış bir benzin sınıfıdır (Anonymous, 2015). Dünya çapında yaklaşık 230.000 piston motorlu uçak, güvenli çalışma için Avgas 100 LL kullanmaktadır (Anonymous, 2012a; Anonymous, 2012b).

TEL'in faydalarına bakılacak olursa, otomotiv yakıtlarında ki sorunlardan bilindiği üzere, TEL'in kurşun bileşikler supap yuvasında koruyucu bir tabaka oluşturur ve yumuşak supap yataklarının aşınmasını önler. TEL olmadan yumuşak metal supap yuvasının küçük alanları supaba kaynaşır ve supap oturma yüzeyinden çekilir. Supaba takıldıktan sonra supap yuvasına daha fazla zarar veren aşındırıcı bir yüzey oluştururlar. Bu eylem kombinasyonu, supap yatağı aşındığı ve silindir kapağına girdiği için supap yuvasının çökmesi (VSR) olarak bilinir. Bunun çözümleri ya VSR katkısı kullanmak ya da bu eyleme dayanıklı sertleştirilmiş supap yuvaları kullanmaktır (Anonymous, 2010a).

Kurşunsuz yakıtlarla ilgili diğer bir sorun oktan derecesidir. Oktan oranı, bir yakıtın vuruntuya ne kadar dirençli olduğunun bir ölçüsüdür. Oktan seviyesinin yüksek olması nedeniyle hava/yakıt karışımı tutuşma olmadan daha yüksek oranda sıkıştırılabilir (Anonymous, 2010a).

Daha yüksek oktanlı yakıtların avantajı, daha yüksek bir sıkıştırma oranı veya aşırı doldurma oranının kullanılabilmesidir, bu da daha yüksek bir motor çevrim verimliliğine yol açar. Sonuç olarak belirli bir yakıttan, daha fazla güç çıkışı anlamına gelir.

Avgas'daki uçucu bileşenlerin oranı otomobillerde kullanılan benzine göre daha azdır. Benzinin yanma hızını azaltmak için belirli oranda kurşun tetraetil içerir. İçerdiği kurşun tetraetil oranına göre (Berry, 2009):

- Avgas 80/87: Sadece sıkıştırma oranı düşük motorlarda kullanılır ve 4,5 litrede en fazla 0,5 gram kurşun tetraetil bulunur.
- Avgas 100/130: Yüksek oktanlı havacılık benzinidir. 4,5 litrede en fazla 4 gram veya 1 litrede en fazla 1,12 gram kurşun tetraetil bulunur.

- Avgas 100 LL(Low Lead): 4,5 litrede en fazla 2 gram veya 1 litrede en fazla 0,56 gram kurşun tetraetil bulunur. En çok kullanılan havacılık benzinidir.
- Avgas 115/145: Genellikle askeri havacılıkta kullanılır.

Pilotların ve bakım ekibinin yakıtın cinsini tanıması için Avgas özel bir boya ile renklendirilir. Avgas 80/87 kırmızı, Avgas 100/130 yeşil ve Avgas 100 LL mavi renklidir. Avgas yakıtının fiziksel ve kimyasal özellikleri çizelge 1.1’de verilmiştir.

**Çizelge 1.1.** Avgas’ın fiziksel ve kimyasal özellikleri (Anonymous, 2010b)

Özellik	Maksimum Değer	Minimum Değer
Vuruntu Derecesi, Yalın Karışım (Motor Yöntemi),Oktan Sayısı		99,5
Vuruntu Derecesi, Zengin Karışım (Süperşarj Yöntemi), Performans Sayısı		130
Donma Noktası °C	-58	
Damıtma Bitiş Noktası °C	170	
Reid Buhar Basıncı @38°C, kPa	49	38
Kükürt İçeriği %m	0,05	
Tetraetil Kurşun İçeriği gPb/l		
Avgas 100	0,85	
Avgas 100LL	0,56	
Patlayıcı Sınırları (havadaki hacim %'si)	7,6	1,5
İlk Kaynama Noktası Aralığı °C	170	24
Buhar Basıncı @37.8°C, psia(Reid VP)	7	5,5
Özgül Ağırlık (Su=1) @15.6 °C	0,74	0,68
Kendiliğinden Tutuşma Sıcaklığı °C		440
Buhar Yoğunluğu (hava=1)		>1
Buharlaştırma Hızı (nBuAc=1)		>1
Uçuculuk Yüzdesi		%100
Renk		
Avgas 100		Yeşil
Avgas 100LL		Mavi
Fiziksel Form		Sıvı
Koku		Benzin

ABD Çevre Koruma Kurumuna göre kurşun, yeryüzünde doğal olarak bulunan ve insanlarda sağlık etkilerine neden olabilecek toksik bir maddedir (Anonymous, 2013a). Kurşun Romalılarından beri su tesisatı, seramik çanak çömlek yapımı, evlerimizde kullanılan boya, cephane ve yakıtlara katkı maddesi olarak çeşitli amaçlarla kullanılmaktadır (Lewis, 1985). Kurşun boyada 1978’den beri yasaklanmasına ve 1996’ dan beri benzinin kullanımından tamamen çıkmasına rağmen, bazı sektörlerde hala kullanılmaya devam edilmektedir (Anonymous, 2013b).

Otomotiv yakıtlarında kullanılan kurşuna tetraetil kurşun adı verilmiştir ve kurşunun yakıtta katkı maddesi olarak kullanılması 1920’lerde başlamıştır. TEL, 1921’de General Motors için çalışan mühendisler tarafından, motorlarında kullanılan yakıtta motor vuruntusunu azaltmaya yardımcı olacak bir katkı maddesi ararken keşfedilmiştir (Kitman,

2000). Benzinde kurşun kullanımı çeşitli nedenlerle önemlidir. Ucuz bir oktan güçlendirici görevi görür ve valfler gibi belirli motor bileşenlerinde aşınmayı ve yıpranmayı azaltır. TEL'i benzine karıştırarak, oktan oranı yükseltilir, motorun yanması iyileştirilir, güç çıkışı artırılır ve motor vuruntusu azaltılır.

Temiz hava yasası nedeniyle artık otomotiv benzininde kurşun kullanılmasa da, havacılık sektörünün bazı kısımları hala daha yaygın olarak Avgas 100LL adı verilen kurşunlu benzin kullanılmaktadır (Anonymous, 2013c). Avgas 100LL otomobillere pompalanan benzine benzemektedir, ancak daha yüksek oktan ve düşük miktarda kurşun içerir (Anonymous, 2013d).

Turbo Spercharger Injektion kelimelerinin baş harflerinden oluşan TSI, turboşarjlı ve direkt enjeksiyonlu motor olarak tanımlanır. Genellikle 1.2 lt gibi küçük hacimli motorlarda kullanılır. TSI, düşük hacimli motorda turbo ve kompresör birlikteliği ile oluşturulmuş bir teknolojidir (Anonymous, 2020).

TSI motorları kompakt, yüksek güçlü ve daha az yakıt kullanan motorlardır. Temel olarak Volkswagen TSI motoru, etkileyici ve maksimum fayda sağlamak için turboşarj ve doğrudan yakıt enjeksiyonunu kombinasyonunu kullanmaktadır. Bu teknoloji ile motor hacimlerini küçülterek motor hacmine oranla daha büyük güç elde etme ve yüksek yakıt tasarrufu sağlanması hedeflenmiştir. Doğrudan enjeksiyon teknolojisi turboşarj teknolojisi ile birleştirildiğinde küçük hacimli motorların boyutlarını aşan yüksek tork ve beygir gücü üretmesi sağlanmıştır. Daha küçük tasarımlar ve son derece verimli yanma ile TSI motorları minimum yakıt tüketimiyle maksimum güç üretmektedirler. TSI motorları, 1500 - 1750 dev/dak gibi düşük motor devirlerinden itibaren maksimum tork elde etmek üzere tasarlanmıştır (Anonymous, 2020).

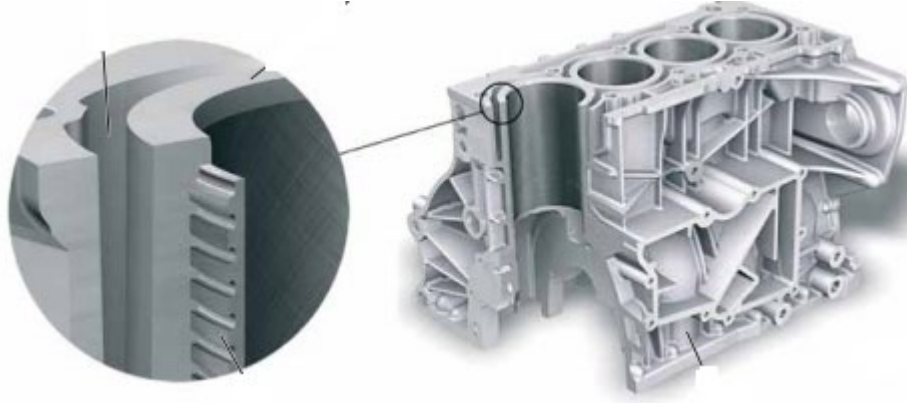
Daha küçük hacimli bir motorda, minimum yakıt tüketimi ile maksimum güç elde edilir. Motor hacmini azaltarak, daha düşük sürtünme kayıpları meydana geldiği için motor verimliliği artırılır. Daha küçük hacimli motorlar ayrıca daha düşük ağırlık avantajına sahiptir ve bu nedenle büyük kütleleri hareket ettirmek zorunda kalmazlar.

TSI motor, ağırlığının azaltılmasının yanı sıra yeni bir alüminyum alaşımlı silindir bloğu ile donatılmış ve yeni geliştirilmiş bir yanma sistemi içermektedir. Dinamik özellikleri, düşük yakıt tüketimi ve düşük CO<sub>2</sub> emisyonu ile ön plana çıkmaktadır.

TSI motorlarda bulunan turboşarj sisteminde, motor soğutma sisteminden bağımsız olarak düşük sıcaklık devresine sahip su soğutmalı ara soğutucu bulunmaktadır. Bunun sonucunda yüksek bir şarj basıncının çok daha hızlı bir şekilde oluşması sağlanmıştır. Bu durum yanma odalarında maksimum şarjın elde edilmesi için gerekli

olan süreyi oldukça kısaltmaktadır. Böylece motorun gelişmiş bir dinamiğe sahip olması sağlanır.

Motor bloğu, 89,5 kg ağırlığa düşürülerek sürtünme kayıpları azaltılmış ve yeni bir yanma süreci oluşturulmuştur. Silindir bloğu ise alüminyum dökümden yapılarak 19,5 kg'a düşürülmüştür (Şekil 1.1) (Anonymous, 2009).

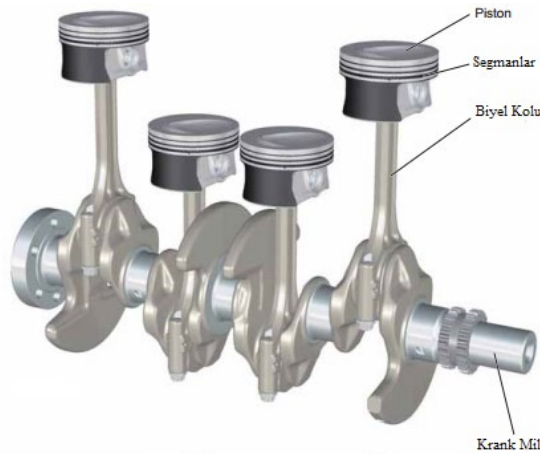


Şekil 1.1. TSI motorun motor bloğu (Anonymous, 2009)

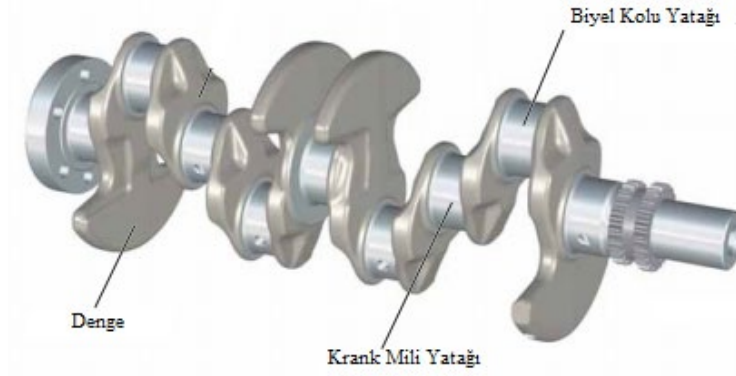
Krank mekanizması, krank mili, biyel kolları, yatak kovanları, pistonlar ve piston pimlerinden oluşur (Şekil 1.2). TSI motorun krank mekanizmasında, sürtünme kayıplarını, ağırlığını azaltmak ve aynı zamanda krank milinin gücünü artırmak için çok sayıda yenilik yapılmıştır.

Krank mili beş katlı olarak monte edilmiş ve dört denge ile donatılmıştır. Krank mili ve biyel kolu yataklarının çapları 42 mm'dir. Rijitliği artırmak için krank mili ve biyel kolu yataklarının genişlikleri azaltılmıştır (Şekil 1.3) (Anonymous, 2009).

Pistonlar dökme demir kalıplarda, alüminyum alaşımından yapılmıştır. Piston kafalarında, doğrudan yakıt enjeksiyonu için tasarlanmış girintiler bulunur. Piston eteği, sürtünme önleyici bir kaplamaya ve piston segmanları da sürtünme kayıplarını azaltan teğet ön yüke sahiptir (Şekil 1.4) (Anonymous, 2009).

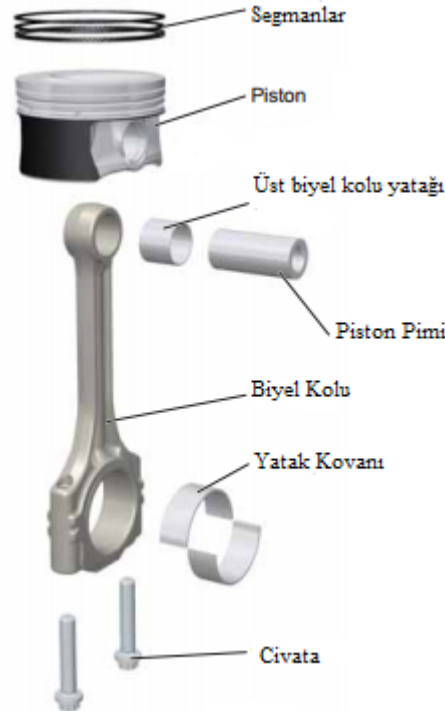


Şekil 1.2. TSI motorun krank mekanizması (Anonymous, 2009)



Şekil 1.3. TSI motorun krank mili (Anonymous, 2009)

Eksantrik milinin ve yağ pompasının tahriki, krank mili tarafından dişli çarklar aracılığıyla tahrik edilen bakım gerektirmeyen dişli zincirler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Dişli zincirin kullanılmasıyla gürültü seviyesi azaltılmıştır.



Şekil 1.4. TSI motorun piston ve biyel kolu (Anonymous, 2009)

TSI motorun silindir kapağı, dökme demir kalıpta ve alüminyum alaşımdan yapılmıştır (Şekil 1.5) (Anonymous, 2009). İki valf teknolojili ve soğutmalı çapraz akışlı bir silindir kapağı olarak tasarlanmıştır. İki valf teknolojisinin kullanılması sürtünmeyi ve ağırlığı azaltmıştır. Emme ve egzoz valfleri motorun dikey eksenine  $12^\circ$ 'lik bir açıyla eğimlidir. Silindir kapağındaki eksantrik mili, hidrolik iticilere sahip silindir külbütör kolları aracılığıyla emme ve egzoz valflerini kontrol eder. Yüksek iç çap/ piston strok

oranı, emme ve egzoz stroku sırasında yanma odasının doldurulmasını ve boşaltılmasını iyileştirir.



Şekil 1.5. TSI motorun silindir kapağı (Anonymous, 2009)

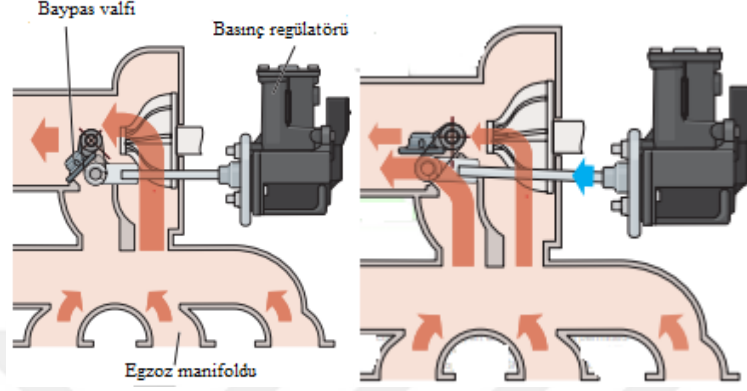
İki valf teknolojisine bağlı olarak, çok iyi bir karışım elde etmek için TSI motorda bir bölme kanalı geliştirilmiştir. Emme kanalı sarmal bir şekle sahiptir. Silindire emilen hava bu kanaldan dönel bir hareketle akar ve tüm silindirde bir girdap hareketi oluşturulur. Avantajları ise geliştirilmiş karışım türbülansı, yüksek yanma oranı ve yüksek vuruntu direncidir. İki valfli girdaplı yanma işlemi, 90 bar'dan daha düşük enjeksiyon basınçlarıyla çalışır. Bu malzemeyi korur ve gürültü seviyesini azaltır.

Enjeksiyon valflerinin hava/yakıt karışımı üzerinde önemli etkileri vardır. Yanma odasında yakıt ne kadar iyi yayılırsa karışım o kadar iyi hazırlanır. Karışım oluşumu üzerinde ki etkinin büyüklüğü; enjektörlerin sayısına, enjektörlerin geometrisi ve oryantasyonuna, enjeksiyon süresine ve enjeksiyon basıncına bağlıdır. TSI motorun her bir enjeksiyon valfi altı ayrı enjektöre sahiptir. Enjeksiyon basıncı ise 40 ila 125 bar arasında düzenlenmektedir.

Şarjlı motorun dinamik özellikleri büyük ölçüde turboşarjın tepki moduna bağlı olduğundan egzoz turboşarjının kompresör çarkı ile yanma odası arasındaki endüksiyon yolunun hacmi azaltılmıştır. Sonucunda ise şarj basıncı oluşumu için geçen zaman azaltılmıştır.

Turbo motorlar için ani yük değişimi belirleyici bir kalite kriteridir. Baypas valfinin hızlı ve hassas kontrolü bu yüzden önemlidir (Şekil 1.6) (Anonymous, 2009). Baypas valfinin ayarı, N75 şarj basıncı kontrolü ve bir basınç kapsülü için daha önce kullanılan solenoid valften çok daha hızlıdır çünkü elektrikle çalışan bir kontrol motoru kullanılmaktadır. Diğer bir avantajı da baypas valfinin istenildiği zaman her konuma ayarlanabilmesidir. Bu sayede gaz keleşi valfinin önündeki minimum doldurma basıncı yaklaşık 0,03 MPa azaltılabilir. Bu, daha az pompalama işi sağlar ve yakıt tüketimi belirgin şekilde düşer.

Tork ihtiyacına bağlı olarak belirli bir miktarda şarj basıncı gereklidir. Baypas valfi, ihtiyaç duyulan şarj basıncına kadar kapalı kalır. Böylece egzoz akışı türbin çarkına yönlendirilerek tahrik edilir. Elektrikle çalışan kontrol motorunu kullanarak, egzoz kapağını açık veya kapalı herhangi bir pozisyonda ayarlamak mümkündür. Baypas valfi açıldığında, egzoz akışının bir kısmı buradan yönlendirilir ve şarj basıncı düşer.



Şekil 1.6. TSI motorun baypas valfi (Anonymous, 2009)

TSI motorda iki devreli bir soğutma sistemi kullanılır. Silindir kapağındaki ve bloğundaki soğutma sıvısının ayrı akışı, her iki kısımdaki sıcaklığın farklı bir şekilde kontrol edilmesini sağlar. Soğutma sıvısı akışı iki termostat tarafından kontrol edilir. Soğutma sıvısı,  $87^{\circ}\text{C}$ 'ye ulaşana kadar silindir bloğunda kalacağı için silindir bloğu daha hızlı ısıtılır. Bu sayede silindir duvarlarının hızlı ısınması sağlanır ve HC emisyonları azalır. Silindir bloğundaki yüksek sıcaklık seviyesi, krank grubunda daha az sürtünmeye yol açar. Silindir kapağındaki daha düşük sıcaklık seviyesi olduğundan yanma odalarının daha iyi soğutulması sağlanır. Bu daha düşük motor vuruşu, daha iyi bir doldurma ve daha az  $\text{NO}_x$  emisyonu sağlar (Anonymous, 2009).

TSI motorda, yakıtı çalışma sıcaklığına hemen getirmek için kapatma mekanizmalı mekanik bir soğutma sıvısı pompası kullanılmaktadır. Motorun ısınma aşamasında  $87^{\circ}\text{C}$  sıcaklığa ulaşana kadar soğutma sıvısı pompası çalışmaz. Bu sebeple soğutma sıvısı tüm motor devresinde dolaşmaz ve motor çalışma sıcaklığına daha hızlı ulaşır, bu da yakıt tüketimini, egzoz gazı miktarını ve  $\text{CO}_2$  emisyonlarını olumlu yönde etkiler (Anonymous, 2009).

Literatürde yapılan araştırmalar sonucu farklı yakıt türleriyle yapılan alternatif karışımların daha eski teknolojilere sahip benzin motorları üzerinde yapıldığı saptanmıştır. Bu çalışmayı önemli kılan unsurlardan en önemlisi, diesel yakıtının sebep olduğu zararlı emisyonlar neticesinde, birçok Avrupa ülkesinde, hatta Ortadoğu ülkelerinde dahi binek araçlarda kullanımının yasaklanması sonucu, benzin motorların ve

alternatif yakıtların öneminin artmasına binaen, günümüzde benzin motorlardaki en modern, verimli, birim hacimden elde edilen gücün çok yüksek olduğu ve dolayısıyla düşük yakıt tüketimine sahip teknolojilerden biri olan TSI motorlar üzerinde yapılacak bir çalışma olmalıdır.

Bu çalışmanın amacı, yüksek oranda sıkıştırılabilir yakıt olan Avgas'ın TSI bir motorda kullanılarak benzine göre motor performans, emisyon ve yakıt tüketimi değişimini araştırmaktır. Yüksek oktanlı yakıtlarda aşırı doldurma kolaylıkla kullanılabilir. TSI motorun sağladığı aşırı doldurma sayesinde belirli bir yakıttan, daha fazla güce erişilmek istenilmektedir. Egzoz emisyon değerlerinde ise benzin kullanımına göre farklılıklar araştırılmıştır.



## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Compton (2008), yapmış olduğu yüksek lisans tez çalışmasında etanol / Avgas 100LL yakıt karışımlarının, seyir uçuşu esnasında uçuş performansına etkilerini incelemiştir. Avgas 100LL ve E95 ana yakıtlarının yanı sıra hazırlanan E10, E20, E40, E60, E80 ve E90 yakıt karışımlarını, dört silindirli, hava soğutmalı, yatay olarak zıt piston tahrikli Lycoming O-235 motorunda test etmiştir. Batarya voltajı, dış hava sıcaklığı, yakıt miktarı, yüzde beygir gücü, dev/dak, yakıt akışı, yağ sıcaklığı, silindir kafası sıcaklığı ve egzoz gazı sıcaklığı veri sonuçlarının toplanması için uçağa motor veri yönetimi sistemi kurulmuştur. Testler 2100 dev/dak, 2300 dev/dak, 2400 dev/dak ve 2500 dev/dak'da üreticilerin tavsiye ettiği ve en iyi ekonomi/ en yüksek egzoz gaz sıcaklığı hava/yakıt karışım ayarları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her iki hava/yakıt karışım ayarında da egzoz gaz sıcaklığı ve silindir kafası sıcaklığı etanol kullanımı ile azaldığı görülmüştür. Etanoldeki her % 10'luk hacimce artış için ortalama yakıt akışı, ilk hava/yakıt karışım ayarında 0,28 gal/sa, ikinci hava/yakıt karışım ayarında 0,16 gal/sa arttığı tespit edilmiştir. Uçak menzili Avgas 100LL'den E95'e kadar ilk hava/yakıt karışım ayarında % 26,4 ile % 31,8 arasında, ikinci hava/yakıt karışım ayarında % 21,9 ile % 26,8 arasında azaldığı ve tam gaz ayarında 40 ve 30 ek dev/dak şeklinde maksimum güç artışı tespit edilmiştir.

Atwood (2009), yaptığı çalışmada tasarladığı Swift 702 yakıtını, hem doğal emişli, altı silindirli Lycoming IO-540-K motorda hem de turboşarjlı, altı silindirli Lycoming TIO-540-J2BD motorda Avgas 100LL yakıtı ile karşılaştırdı. Swift 702 yakıtının daha iyi yanma performansı sağladığını, kütle bazında Avgas 100LL'nin % 96,3'ü olan ve gücünün % 98'inden fazlasını üreten bir enerji içeriğine sahip olduğunu belirtti. Hacimsel yakıt tüketiminde yaklaşık % 8'lik bir azalma ve yaklaşık ortalama egzoz gazı sıcaklığında 50°F'lık bir artış olduğunu gözlemlemiştir.

Czarnigowski ve ark. (2010), radyal pistonlu bir uçak motorunda Avgas 100LL ve ES95 yakıtlarını kullanarak çalışma parametrelerini incelemişlerdir. Test edilen ünite, motor krank mili tarafından çalıştırılan bir radyal kompresörle süper şarj edilen, radyal konfigürasyonda dokuz silindirli, hava soğutmalı, dört zamanlı benzinli bir motordur. Ölçümler 1660 ile 2200 dev/dak arasında değişen motor devri ile gerçekleştirilmiştir. Her iki yakıtında güç değerlerinin birbirine benzer olduğu gözlemlenmiştir. ES95 yakıtının yoğunluğundaki farklılıktan dolayı yakıt tüketiminin %6 arttığı görülmüştür. Araştırma

sonunda ES95 yakıtının havacılık pistonlu motorlar için kullanılabilceğini belirtmişlerdir.

Balicki ve ark. (2010), yaptıkları çalışmada karbüratörlü pistonlu motorun performansını Avgas ve E-85 yakıtlarını kullanarak karşılaştırmışlardır. Araştırmada dört zamanlı, dört silindirli SI uçak pistonlu motor olan Franklin 4A-235 kullanmışlardır. E85 yakıtının Avgas'a göre maksimum güçte % 3 ila % 4 oranında düşüşe ve etanolün daha düşük alt ısıl değerine bağlı olarak özgül yakıt tüketiminde % 17 artışa neden olduğunu belirtmişlerdir. Emisyon değerlerinde ise E-85 yakıtının HC ve CO değerlerinde düşüşe, NOx değerinde ise artışa neden olduğu görülmüştür.

Anderson ve ark. (2011), çalışmalarında Rotax 914 motorunda AKI 100 (100 oktanlı havacılık yakıtı), AKI 87, AKI 70 ve AKI 20 yakıtlarını karşılaştırmışlardır. Motorun güç çıkışını olumsuz etkilemeden AKI 87 yakıtının kullanılarak çalıştırılmasının mümkün olduğunu belirtmişlerdir.

Boguszewicz (2011), yaptığı çalışmada Avgas 100LL ve E-85 yakıtları ile motorun performansını ve egzoz emisyonlarını bir karbüratör ve ardından bir düşük basınçlı enjeksiyon sistemi ile karşılaştırmıştır. Çalışmada Franklin 4A dört silindirli uçak motoru kullanmıştır. Avgas 100LL yerine E-85 yakıtının kullanılması maksimum güçte % 3,5 düşüş ve özgül yakıt tüketiminde % 28 artışa neden olmuştur. Karbüratör kullanıldıktan sonra ise motor gücü % 5,5 ve yakıt tüketimi % 39,5 artmıştır. Benzin enjeksiyon sistemi ile Avgas 100LL maksimum gücü % 4 artırırken özgül yakıt tüketimini % 2,7 azalttığını, E-85 yakıtında ise maksimum güçte % 2 azalma ve özgül yakıt tüketiminde % 25,7 artırdığını gözlemlemiştir.

Xie ve ark. (2014), Çin'deki pistonlu uçak motorlarında karşılaşılan valf yapışması ve kırılması sorunları üzerine Çin ve ABD Avgas yakıtlarını karşılaştırarak bir çalışma yürütmüşlerdir. Motor üzerinde bağlama, sıkıştırma testleri ve boroskop incelemesi yapmışlar ayrıca silindir, valf ve bujiler üzerinde biriken tortulara derinlemesine bir mikroskopik analiz yapılmıştır. Araştırmalar sonunda, motorun ve uçağın sürekli güvenli çalışmasını sağlamak için çözümler ve öneriler sunmuşlardır. Sorunun sadece yakıt kaynaklı değil, aynı zamanda motor çalışma koşulları ve bakım seviyeleri olduğunu belirtmişlerdir.

Nurmehr (2017), yüksek lisans tez çalışmasında Avgas 100LL'ye alternatif olarak 100UL yakıtının uygulanabilirliğini araştırmıştır. Çalışmalarını Cessna-310 çift motorlu uçak üzerinde gerçekleştirmiştir. Araştırmalarında 100UL'nin 100LL'ye kıyasla daha fazla aromatik içerdiğini ve motor yakıt sisteminde kullanılan bazı elastomerlerin 100UL

ile temas ettiğinde etkilendiğini görmüştür. Buna ek olarak, 100UL kullanımının bazı sızdırmazlık malzemelerini olumsuz yönde etkilediğini ve metalik olmayan motor bileşenlerinin hacminin arttığını belirtmiştir. Uçak menziline ise % 4 ile % 5 arasında artış gözlenmiştir. 100LL ile karşılaştırıldığında 100UL'nin yoğunluğunun artması nedeniyle uçağa daha fazla yakıt yüklenebilmektedir. Sonuç olarak 100UL'nin, genel havacılık için alternatif olarak değerlendirilebileceği en iyi kurşunsuz yakıt türü olduğunu belirtmiştir.

Mohsin ve Munusamy (2018), yaptıkları çalışmada Lycoming O-320-B2A pistonlu motoru kullanarak, Mogas yakıtlarının vuruntu özelliklerini Avgas ile karşılaştırmışlardır. Mogas'ın Avgas'a göre daha düşük oktan derecesine sahip olduğu için yanma sırasında kendiliğinden tutuşma eğiliminin yüksek olduğu ve vuruntu meydana gelebileceğinden bahsetmişlerdir. Test edilen yakıtlar, Avgas 100LL, RON 100 Mogas, RON 97 Mogas ve RON 95 Mogas'dır. Yapılan deneylerde Avgas 100LL'nin en iyi vuruntu önleyici özelliklere sahip olduğu ve ardından RON 100 Mogas, RON 97 Mogas, RON 95 Mogas'ın geldiği sonucuna varmışlardır.

Mohsin ve Rajendran (2018), yaptıkları çalışmada Lycoming O-320-B2A pistonlu motoru kullanarak, Mogas yakıtlarının ve Avgas yakıtının emisyon değerlerini karşılaştırmışlardır. Motor 1000 – 2500 dev/dak aralığında 100 er dev/dak artırılarak testler yapmışlardır. Motor devrindeki artışla CO emisyonlarında artış olduğunu görmüşlerdir. En düşük CO emisyon değeri RON 95 yakıtından alınırken en yüksek CO emisyon değeri Avgas 100LL'den alınmıştır. HC emisyonunda CO emisyonuna benzer sonuçlara ulaşmışlardır. NOx oluşumunun doğrudan silindir sıcaklığına bağlı olduğunu söylemişlerdir. Bunun sebebi, yüksek sıcaklıklarda nitrojenin oksijenle reaksiyona girmesidir. En düşük NOx emisyon değerini Avgas 100LL yakıtından elde etmişlerdir. Daha yüksek oktan dereceli motorların havacılık motorlarında daha yüksek verimliliğe sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca yakıtın oktan seviyesi arttıkça HC emisyonunda arttığı görülmüştür. Aynı durum CO emisyonunda da söz konusudur. Sonuç olarak Mogas'ın motor verimini etkileyecek oktan seviyesi olmasa bile havacılık motorlarında kullanılabilirliğini öngörmüşlerdir.

Rambok ve Majid (2018), yaptıkları çalışmada kurşunlu ve kurşunsuz uçak benzini kullanarak kıvılcım ateşlemeli motorların performansını karşılaştırmışlardır. Çalışmalarında, fren beygir gücü (BHP), egzoz gazı sıcaklığı (EGT) ve fren özgül yakıt tüketimi (BSFC) parametrelerini dikkate almışlardır. Testler Lycoming O320 motorunda gerçekleştirilmiştir. Kurşunlu Avgas kullanan test motorunun, 2700 dev/dak'da

kurşunsuz Avgas'a göre % 4,66 daha yüksek güç ürettiğini gözlemlemişlerdir. Ancak EGT verilerinin kurşunsuz Avgas'ın kurşunlu Avgas'dan % 1,39 daha iyi olduğunu belirtmişlerdir. Yakıt tüketiminde ise kurşunsuz Avgas'ın 2700 dev/dak'da kurşunlu Avgas'a göre % 27,46 daha fazla yakıt gerektirdiğini gözlemlemişlerdir. Genel olarak, kurşunlu havacılık benzininin kurşunsuz benzine göre daha iyi motor performansı sağladığı sonucuna ulaşmışlardır.

Kumar ve ark. (2019), yaptıkları çalışmada Yanıt Yüzey Metodolojisi (RSM) optimizasyonu ile Avgas, RON 97, RON 98 ve RON 100 (Mogas) yakıtlarını kullanarak Lycoming O-320 havacılık motorunun motor performansını ve egzoz emisyonlarını araştırmışlardır. Optimizasyon analizi için motor devri ve yakıtı girdi parametreleri olarak kabul etmişlerdir. Çıktı yanıtları, Fren Beygir Gücü (BHP), Fren Termal Verimliliği (BTHE), Frene Özgü Yakıt Tüketimi (BSFC), Egzoz Gazı Sıcaklığı (EGT), Karbon Dioksit (CO<sub>2</sub>), Karbon Monoksit (CO), Hidrokarbonlar (HC) ve Azot Oksitlerdir (NO<sub>x</sub>). En iyi optimize edilmiş yakıtı RON 97 olarak belirlemişlerdir. Motor 2279,064 dev/dak hızla çalıştırıldığında, RON 97 yakıtının test edilen tüm yakıtlar için optimum çözümü verdiğini ve buna karşılık gelen BHP, BTHE, BSFC, EGT, CO, HC ve NO<sub>x</sub> değerlerinin 146,645 HP, % 27,7, 0,270 kg/kWh, 382,008 °C, % 7,162, % 7,201, 199,460 ppm ve 51,296 ppm bulunduğunu göstermişlerdir. Sonuç olarak Mogas'ın performans ve emisyon özellikleri açısından Avgas'ı geride bırakacağını belirtmişlerdir.

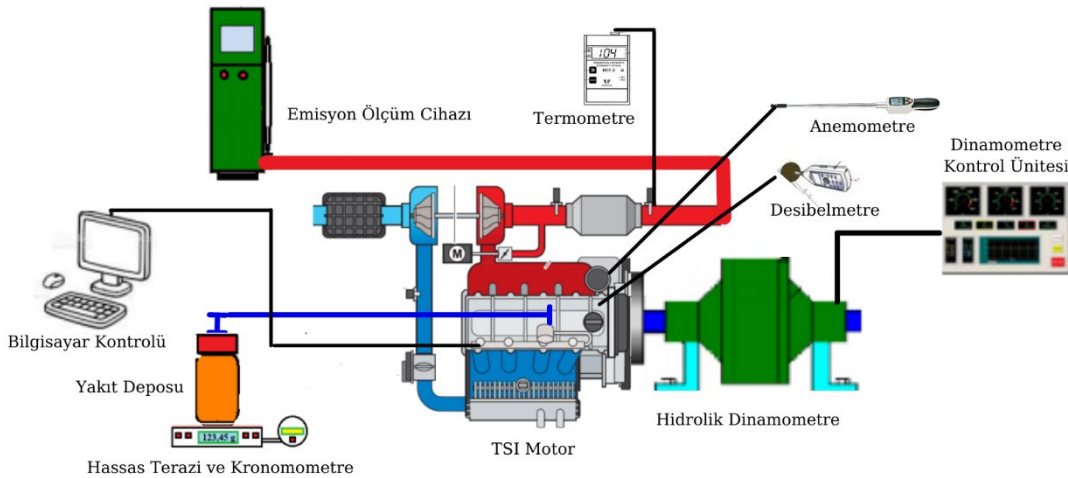
Kumar ve ark. (2020), optimizasyon için Yanıt Yüzey Metodolojisi (RSM) kullanarak, Lycoming IO540K motorunda 83 kurşunlu ve kurşunsuz yakıt karışımının motor vuruş performansını araştırmışlardır. Motor devrini 2350 ile 2700 dev/dak aralığında değiştirmişlerdir. Tasarım matrisini, 581 deneysel çalışma içeren bir yanıt yüzeyi metodolojisi faktörüne dayalı olarak seçmişlerdir. Motor 2700 dev/dak'da çalıştırıldığında, RSM Avgas 100LL MS'nin karşılık gelen fren beygir gücü 292,837 Hp, tork 777,557 Nm, fren ortalama etkin basıncı 1099,521 kPa, frene özgü yakıt tüketimi 0,271 kg/kWh ve hava/yakıt oranı 13,044 değerleri ile optimum çözüm verdiğini belirlemişlerdir. Benzer araştırmaların gelecekte orta ve düşük oktanlı kurşunsuz alternatiflerinin optimizasyonuna odaklanması gerektiğini belirtmişlerdir.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada Avgas 100LL havacılık yakıtı ile 95 oktan benzin yakıtını belirli oranlarda, hacimsel olarak karıştırarak, Volkswagen TSI marka benzinli motorda yakıt olarak kullanımının uygunluğu araştırılmıştır. Çalışmada kullanılan yakıtın tam ismi Avgas 100LL olmakla birlikte, Avgas olarak kısaltılarak kullanılmıştır.

Taguchi metodu ile belirlenen faktör ve seviyelerde deneyler yapılmıştır. Deneyler sonucunda çıkan motor performans ve emisyon değerleri yorumlanmıştır. Benzin referans yakıtı ile karşılaştırma yapılmıştır.

Bu çalışmadaki deneyler Selçuk Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Makine Mühendisliği Motor Test ve Yakıt Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Deneysel kurulum, dört zamanlı dört silindri Volkswagen TSI marka benzinli bir motor, yük testi için bir hidrolik dinamometre, yakıt tüketimi ölçümü için elektronik terazi ve kronometre, egzoz gazı emisyonlarını ölçmek için emisyon ölçüm cihazı, hava akış hızı ölçüm cihazı, egzoz sıcaklığı ölçüm cihazı, ses seviyesi ölçüm cihazı ve silindir basıncı ölçüm sisteminden oluşur. Deney düzeneğinin şematik görünümü şekil 3.1’de gösterilmektedir.



**Şekil 3.1.** Test düzeneği şematik görünümü

Deneyler tam yük şartlarında ve tam gaz kelebeği açıklığında gerçekleştirilmiştir. Yakıt karışımları için deneylere başlanmadan önce motor benzin ile bir süre çalıştırılmıştır. Her yakıt testinde bir önceki yakıt motordan tamamen arındırılmıştır. Atmosferdeki nem ve sıcaklık farkından dolayı, veri sapmalarını önlemek için aynı gün deneyler yapılmıştır. Deneysel sonuçların güvenilirliğini artırmak için deneyler üç tekrarda gerçekleştirilmiş ve değerlerin ortalaması alınmıştır.

### 3.1. Test Düzeneginde Kullanılan Materyal ve Ekipmanlar

#### 3.1.1. Deney motoru

Deneyler Volkswagen markasının TSI motorunda gerçekleştirilmiştir. Çizelge 3.1’de deney motoruna ait teknik özellikler, şekil 3.2’de deney motoru gösterilmiştir.

**Çizelge 3.1.** Deney motoru teknik özellikleri

Özellik	Açıklama
Motor Kodu	CBZB
Yapısı	Üretim motoru
Silindir Sayısı	4
Silindir Başına Supap Sayısı	2
Hacim	1197 cm <sup>3</sup>
Silindir Çapı	71 mm
Strok	75,6 mm
Kompresyon Oranı	10:1
Azami Güç Çıkışı	500 dev/dak’da 77 kW
Azami Tork	1500-3500 dev/dak aralığında 175 Nm
Kontrol Ünitesi	Continental Simos 10.1
Yakıt	95 oktan süper kurşunsuz
Egzoz Son İşlemi	Üç yollu katalitik konvertör, katalitik konvertörden önce lineer lambda sondası, katalitik konvertörden sonra ani hareketli lambda sondası
Emisyon Standardı	EU5



**Şekil 3.2.** Deney motoru

#### 3.1.2. Test yakıtları

Testlerde kullanmak için, çizelge 3.2’de özellikleri verilen Avgas ile Benzin yakıtları hacimsel olarak karıştırılarak üç farklı yakıt hazırlanmıştır. Yakıtlar A0 (Benzin %100, Avgas %0), A5 (Benzin %95, Avgas %5), A10 (Benzin %90, Avgas %10) ve A15 (Benzin %85, Avgas %15) olarak belirlenmiştir (Şekil 3.3).

**Çizelge 3.2.** Avgas ve Benzinin Özellikleri (Anonymous, 2010b; Kodanlı, 2016)

Özellikler	Birim	Avgas	Benzin
Motor Oktan Sayısı	MON	99,5	85
Araştırma Oktan Sayısı	RON	130	95
Donma Noktası	°C	-58	-45
Kaynama Noktası	°C	170	210
Buhar Basıncı	kPa	38-49	45-90
Sülfür İçeriği	g/kg	0,5	0,01
Kurşun İçeriği	g/L	0,56	0,005
Patlama Sınırları	%Hava	1,5-7,6	1,3-7,1
Kendiliğinden Tutuşma Sıcaklığı	°C	440	280
Yoğunluk	kg/m <sup>3</sup>	720	720-775
Alt Isıl Değeri	kJ/kg	44650	43430



Şekil 3.3. Test yakıtları

### 3.1.3. Hidrolik dinamometre

Hidrolik dinamometre, motora bağlanarak motordaki güç, moment ve yağ sıcaklığı değerleri ölçülmüştür (şekil 3.4). Hidrolik dinamometrenin teknik özellikleri çizelge 3.3’de verilmiştir. Motor momenti, hidrolik dinamometrenin üzerine monte edilen şekil 3.5’de gösterilen yük hücresi ile ölçülmektedir. Bu yük hücresi çekme ve basma yönünde oluşan kuvvetin oluşturduğu düşük voltaj sinyalini dijital dönüştürücü ile sayısal değere dönüştürmektedir. Bu şekilde motor momenti belirlenmektedir.



Şekil 3.4. Hidrolik dinamometre kontrol ünitesi

**Çizelge 3.3.** Hidrolik dinamometre özellikleri

Fren Modeli	BT-190 FR
Maksimum Frenleme Gücü	100 Kw
Maksimum Devir	6000 dev/dak
Maksimum Moment (Tork)	750 Nm
Fren Suyu Çalışma Basıncı	0-2 kg/cm <sup>2</sup>
Maksimum Güç İçin Su İhtiyacı	2,3 m <sup>3</sup> /sa
Maksimum Fren Suyu Çıkış Sıcaklığı	80 °C
Tork Ölçümü	Elektronik Load-Cell
Dönüş Yönü	Sağ ve Sol

**Şekil 3.5.** Yük hücresi

### 3.1.4. Emisyon ölçüm cihazı

Yanma sonucu ortaya çıkan emisyonlar motor için önemli çalışma parametreleridir. Bu parametrelerin ölçümü için deneylerde Bosch marka BEA 350 model emisyon ölçüm cihazı kullanılmıştır. Şekil 3.6’da emisyon ölçüm cihazı ve çizelge 3.4’de teknik özellikleri verilmiştir.

**Şekil 3.6.** Emisyon ölçüm cihazı

**Çizelge 3.4.** Emisyon ölçüm cihazı teknik özellikleri

Bosch BEA 350	Ölçüm Aralığı	Hassasiyet
CO	0,000 – 10,00 (%) hacimsel	% 0,001
CO <sub>2</sub>	0,00 – 18,00 (%) hacimsel	% 0,01
HC	0 – 9999 ppm hacimsel	1 ppm
NO <sub>x</sub>	0 – 5000 ppm hacimsel	1 ppm
O <sub>2</sub>	0,00 – 22,00 (%) hacimsel	% 0,01
Lamda ( $\lambda$ )	0,500 – 9,999	0,001
Bulanıklık Derecesi	0 – 100 (%)	% 0,1

### 3.1.5. Elektronik terazi

Yakıt tüketimi, motorun performans parametrelerini belirlemede kritik öneme sahiptir ve deneyler yapılırken ölçülmesi gerekmektedir. Şekil 3.7’de yakıt tüketimini ölçmede kullanılan elektronik terazi verilmiştir. Elektronik terazi, belirli bir zaman içerisinde tüketilen yakıt miktarını kütsel olarak belirlemede kullanılır. Elektronik terazinin teknik özellikleri çizelge 3.5’de verilmiştir.



Şekil 3.7. Elektronik terazi

**Çizelge 3.5.** Elektronik terazinin teknik özellikleri

Marka	Dikomsan
Model	JS-30BM
Hassasiyeti	1 gr
Ölçüm ağırlığı	30 kg
Güç kaynağı	Batarya veya adaptör

### 3.1.6. Sıcaklık ölçüm cihazı

Egzoz gazları sıcaklığı, egzoz gazları çıkış noktasında şekil 3.8’de verilen dijital göstergeli K tipi bir termocouple ile ölçülmüştür.



Şekil 3.8. K tipi termocouple

### 3.1.7. Hava akış hızı ölçüm cihazı

Hava akış hızı şekil 3.9’da verilen anemometre cihazı ile ölçülmüştür. Çizelge 3.6’da anemometre cihazının teknik özellikleri verilmiştir. Elde edilen değerler kullanılarak hava tüketimi hesaplanmıştır.



Şekil 3.9. Anemometre

Çizelge 3.6. Anemometrenin teknik özellikleri

Özellik	Ölçüm Aralığı	Hassasiyet	Doğruluk
Hava hız (m/s)	0,1 – 25,0 m/s	0,01 m/s	$\pm 5\% + 0,03$ m/s
Hava sıcaklığı	(-20°C) – (60°C)	0,1°C	$\pm 1^\circ\text{C}$ , Hız > 0,3 m/s $\pm 2^\circ\text{C}$ , Hız < 0,3 m/s
Bağıl nem	0% - 100%	0,1%	$\pm 3,5\%$ , (20 – 80%) $\pm 5\%$ , (80 – 100%)

### 3.1.8. Gürültü ölçüm cihazı

Gürültü değerleri şekil 3.10’da verilen desibelmetre ile ölçülmüştür. Desibelmetrenin teknik özellikleri çizelge 3.7’de verilmiştir.



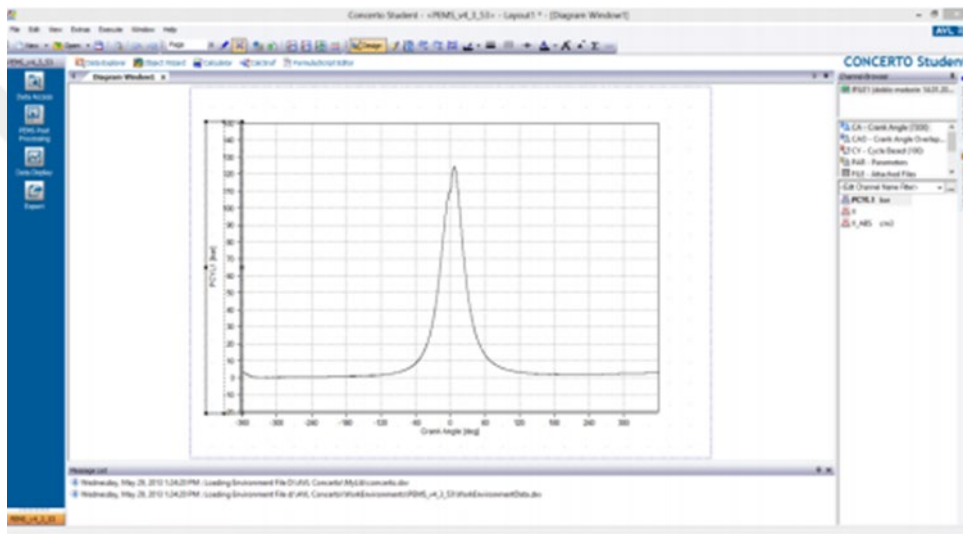
Şekil 3.10. Desibelmetre

**Çizelge 3.7.** Desibelmetrenin teknik özellikleri

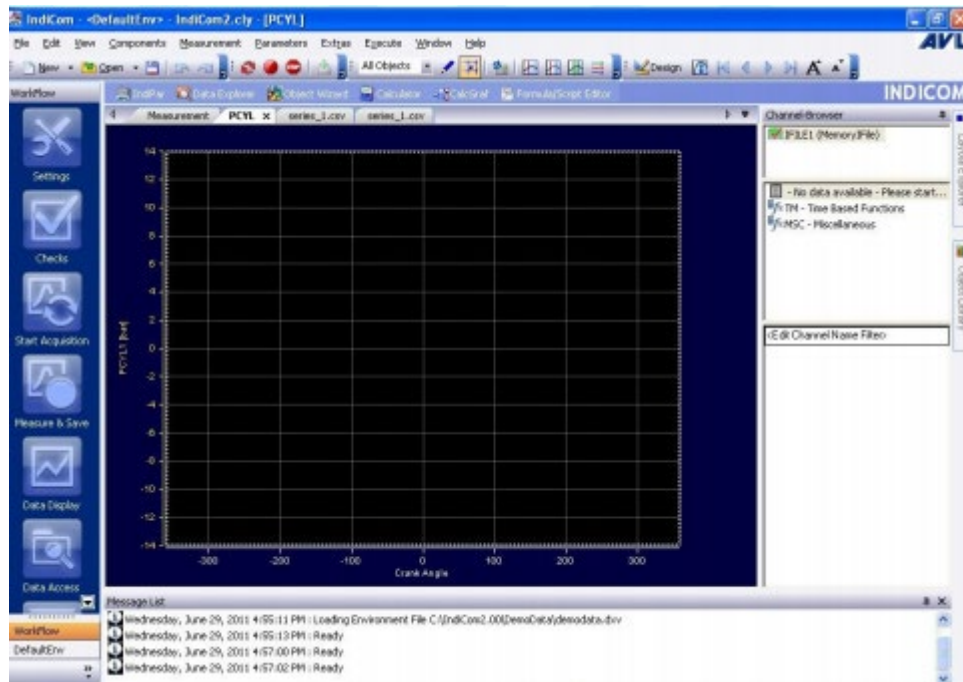
Özellik	Ölçüm aralığı
Ses ölçüm aralığı	35 dB – 130 dB
Çözünürlük	0,1 dB
Hassasiyet	$\pm 3,5$ dB (94 dB seviyesinde)

### 3.1.9. Silindir içi basınç ölçümü

Silindir içi basınç ve sıcaklık verileri krank mili açısına bağlı olarak deney sırasında programlarla bilgisayara kaydedilmiş ve grafikleri çizdirilmiştir. Ölçümler 2000 ve 3500 dev/dak'da silindir içi basınç sensörü 1 nolu silindire bağlanarak yapılmıştır. Motorun her çevrimi için 0,1 °KA açısına bağlı olarak veriler alınmıştır. Kullanılan programlar AVL Concerto şekil 3.11'de ve AVL Indicom şekil 3.12'de verilmiştir.



Şekil 3.11. AVL Concerto programı



Şekil 3.12. AVL Indicom programı

### 3.2. Deneysel tasarım

Deney tasarımı, mühendislik uygulamaları için önemli olan deneysel çalışmanın bilimsel ve sistematik bir şekilde kurgulanmasıdır. Deneyin, güçlü, objektif ve minimum maliyetli olabilmesi tasarım sürecinde takip edilen sistematik stratejiye bağlıdır.

Deney, hipotezleri desteklemek veya çürütmek ya da proses hakkında yeni bir bilgiye ulaşmak için yapılan planlı sorgulama metodudur (Mitra, 1993). Bir prosesin yanıtlarındaki değişimleri gözlemlemek üzere girdi faktörlerinin değiştirilmesi ile yapılan testler dizisine tasarlanmış deney denir. Yapılan deneylerin amaçları ise;

- Girdi faktörlerinin hangisinin en çok etkili olduğunu belirlemek
- Uygun çıktı değerinin elde edilmesi için girdi faktörlerinin alması gereken değerlerin bulunması
- Kontrol edilemeyen değişkenlerin etkilerini en aza indirmek için girdi faktörlerinin alması gereken değerlerin bulunmasıdır (Montgomery, 1991).

#### 3.2.1. Taguchi metodu

Taguchi, az sayıda test miktarıyla optimum çalışma şartlarını araştıran, deneyler yoluyla zamanı ve fiyatı azaltan etkili bir istatistiksel yöntemdir (Kumar ve ark., 2015). Taguchi tekniği; kaliteyi arttıran, araştırma ve geliştirme faaliyetlerini hızlandıran ve maliyeti azaltan bir tekniktir (Sağlam, 2016).

Taguchi deney tasarımında elde edilen deney sonuçları sinyal gürültü (S/N) oranlarına dönüştürerek değerlendirir. Burada sinyal (S), kontrol faktörlerini temsil etmekte, gürültü (N) ise kontrol edilemeyen ve sinyali negatif yönde etkileyen tüm faktörleri kapsamaktadır. Gürültü faktörleri kimi zaman deneyden kimi zamanda dış kaynaklardan kaynaklanmaktadır (Yanar, 2008). Deney sonuçları S/N oranına çevrilirken hedefe göre, Büyük değer en iyi, Küçük değer en iyi, Nominal değer en iyi şeklinde hesaplanır. Hangi hedef kullanılırsa kullanılsın sonuçta elde edilen en büyük S/N oranı en iyi sonuçtur (Nalbant ve ark., 2007; Sun ve ark., 2015). Yüksek S/N oranı daha az kayıp anlamına gelmektedir (İzgiz, 1999). S/N oranı;

En büyük en iyi; hedef değer istenilen değeri en büyük değeridir. Denklem 3.1 ile en büyük en iyi S/N oranı formülü verilmiştir (İzgiz, 1999; Şimşek, 2014).

$$S/N = -10 \log \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right] \quad (3.1)$$

En küçük en iyi; hedef değer istenilen değeri en küçük değeridir. Denklem 3.2 ile en küçük en iyi S/N oranı formülü verilmiştir (İzgiz, 1999; Şimşek, 2014).

$$S/N = -10 \log \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \quad (3.2)$$

Hedef değer en iyi; hedef değer istenilen değeri vardır ve amaç bu değere ulaşmaktır. Denklem 3.3 ile hedef değer en iyi S/N oranı formülü verilmiştir (İzgiz, 1999; Şimşek, 2014).

$$S/N = 10 \log \left[ \frac{y^2}{s^2} \right] \quad (3.3)$$

Deney sonuçlarını etkileyen ana deney parametreleri girdi faktörleri olarak alınır ve deney, tasarlanmış ortogonal diziye göre gerçekleştirilir. Ortogonal diziler faktörlerin birbirleri ile varyasyonlu olarak seçilmesini sağlar. Ayrıca yapılacak deney sayılarını en aza indirirler (Kaçkar, 1989).

Serbestlik derecesi, ortogonal dizi seçiminde önemlidir. Serbestlik derecesi, bir faktörün seviyesinin bir eksigidir (Ross, 1988).

$$V_A = k_A - 1 \quad (3.4)$$

$V_A$  = A faktörünün serbestlik derecesi

$k_A$  = A faktörünün seviyesi

Etkileşimlerin serbestlik derecesi ise etkileşen faktörlerin serbestlik derecelerinin çarpımına eşittir (Ross, 1988).

$$V_{A*B} = (V_A) * (V_B) \quad (3.5)$$

$V_{A*B}$  = AB etkileşiminin serbestlik derecesi

$V_B$  = B faktörünün serbestlik derecesi

Toplam serbestlik derecesi, toplam deney sayısının bir eksigine eşittir (Ross, 1988).

$$V_{LN} = N - 1 \quad (3.6)$$

$V_{LN}$  = Serbestlik dereceleri toplamı

$N$  = Toplam deney sayısı

Seviyeler, faktörler ve serbestlik dereceleri belirlendiğinde uygun ortogonal dizi seçilir (Çizelge 3.8) (Çeber, 2010). Ortogonal diziler  $L_a(b^c)$  şeklinde gösterilir. Burada; a deney sayısını, b seviye sayısını, c ise faktör sayısını belirtmektedir (Taguchi ve ark., 1999).

**Çizelge 3.8.** Ortogonal dizi seçim tablosu (Çeber, 2010)

Faktör Sayısı	Seviye Sayısı				
	2	3	4	5	
2		2		2	
3	L4	3	L9	3	
4		4		L16	L25
5	L8	5		5	
6		6	L18	6	
7		7		7	
8		8		L32	
9	L11	9		9	L50
10		10	L27	10	
11		11		11	
12		12		12	
13	L16	13			
14		14			
15		15			
16		16			
17		17			
18		18	L36		
19		19			
20		20			
21		21			
22		22			
23	L32	23			
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					
31					

Tasarlanan deneyde iki faktör için farklı seviyeler seçilmiş ve L9 ( $3^2$ ) deney tasarım matrisi kullanılmıştır. Seçilen faktörler ve düzeyleri çizelge 3.9’da ve L9 ( $3^2$ ) deney tasarım matrisi çizelge 3.10’da verilmiştir.

**Çizelge 3.9.** Taguchi metodu faktör ve seviyeleri

Faktörler	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
A-Motor Devri (dev/dak)	1500	2500	3500
B-Avgas (%vol)	5	10	15

**Çizelge 3.10.** L9 ( $3^2$ ) deney matrisi

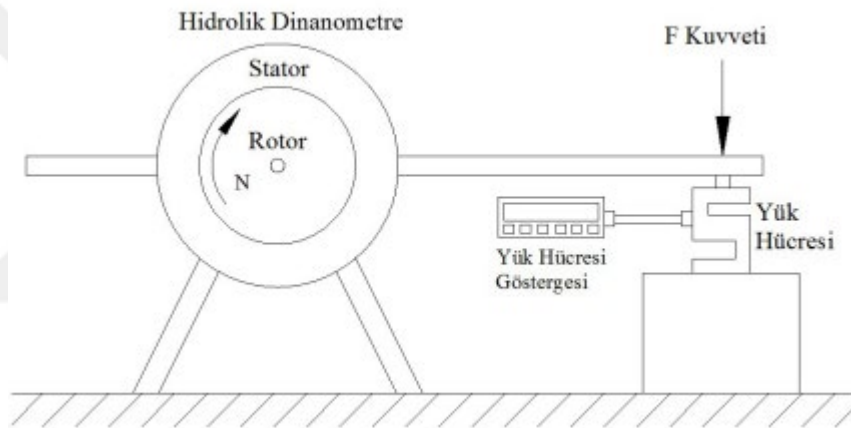
Deney No	Motor Devri (dev/dak)-A	Avgas (%vol)-B
1	1	1
2	1	2
3	1	3
4	2	1
5	2	2
6	2	3
7	3	1
8	3	2
9	3	3

### 3.3. Motor Karakteristiklerinin Belirlenmesi

#### 3.3.1. Motor momentini

Motorun biyel kollarının krank miline uyguladıkları döndürme kuvvetine motor momentini denir (Aşıcı, 2018). Hidrolik, mekanik ve elektromanyetik dinamometreler yardımı ile döndürme momentini ölçülebilmektedir (Gilles, 2011). Bu tez çalışmasında motor momentini ölçebilmek için hidrolik dinamometre kullanılmıştır.

Motor momentini belirlemek için kullanılan sistemin şematik resmi şekil 3.13'de verilmiştir. Motordan gelen döndürme momentini, rotora etki yaparak önce rotoru daha sonrada rotor ile stator arasında bulunan sıvı ile statoru döndürmektedir (Atkins, 2009). Stator üzerinde bulunan kol yük hücresine baskı yaparak bir kuvvet uygulamaktadır. Bu kuvvet motorun döndürme momentini olarak tanımlanmaktadır (Aydoğan, 2011).



Şekil 3.13. Motor momentinin ölçülmesi (Şahin, 2013)

$$M_d = F * l \quad (3.7)$$

Bu formülde;

$M_d$  = Motor momentini

$F$  = Kuvvet

$l$  = Uzunluk

olarak ifade edilmektedir.

#### 3.3.2. Efektif güç

Motorun volanından alınan faydalı güce, efektif güç denir (Aşıcı, 2018). Efektif güç, açısal hız ve motor momentini kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$P_e = \omega * M_d \quad (3.8)$$

Motor devri (n), dev/dak olduğu için açısal hız;

$$\omega = \frac{2*\pi*n}{60} = \frac{\pi*n}{30} \left(\frac{1}{s}\right) \quad (3.9)$$

şeklinde hesaplanır. Denklem 3.8 düzenlendiğinde;

$$P_e = \frac{\pi*n}{30} * M_d * 10^{-3} \quad (3.10)$$

$$P_e = \frac{n*M_d}{9549,58} (kW) \quad (3.11)$$

olarak hesaplanır. Bu formüllerde;

$P_e$  = Efektif güç (kW)

$\omega$  = Açısal hız (rad/s)

n = Motor devri (dev/dak)

olarak ifade edilmektedir.

### 3.3.3. Özgül yakıt tüketimi

Birim zamanda birim güç başına tüketilen yakıt miktarına özgül yakıt tüketimi denir. Motor performansını belirlemede en önemli parametrelerden birisi özgül yakıt tüketimidir (Uyumaz ve ark., 2014). Motorun yaktığı yakıt miktarı g/s cinsinden, hassas bir terazi ve kronometre yardımıyla belirlenebilmektedir (Aydoğan, 2011).

$$B_e = \left(\frac{m*3600}{t}\right) / 1000 \quad (3.12)$$

$$b_e = \frac{B_e}{P_e} * 10^3 \quad (3.13)$$

Bu formüllerde;

$B_e$  = Yakıt tüketimi (kg/h)

$b_e$  = Özgül yakıt tüketimi (g/kWh)

m = Yakıt tüketimi (g)

$P_e$  = Efektif güç (kW)

olarak ifade edilmektedir.

### 3.3.4. Hava tüketimi

Bir orifis ve anemometre ile hava akış hızı ölçülmüştür. Ölçülen bu değer ile hava tüketimi hesaplanmıştır. Orifis hava akış alanı ve geometrisi için 0,6 düzeltme katsayısı kullanılmıştır (Aydoğan, 2011).

$$V_{hava} = v_{hız} * 10 * A * 0,6 \quad (3.14)$$

Bu formülde;

A = Hava akış alanı (dm<sup>2</sup>)

V<sub>hava</sub> = Hava tüketimi (dm<sup>3</sup>/s)

v<sub>hız</sub> = Hava akış hızı (m/s)

olarak ifade edilmektedir.



## 4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

### 4.1. Deneysel Sonuçları

Taguchi metodu ile tasarlanan L9 ortogonal dizisinde ki deney sırasına göre testler yapılmıştır. Test sonuçları çizelge 4.1’de gösterilmektedir.

**Çizelge 4.1.** Test sonuçları

No.	A-Motor Devri	B-Avgas	Motor Momenti	Motor Gücü	Egzoz Sıcaklığı	Motor Yağı Sıcaklığı	Hava Tüketimi	Gürültü
1	1500	5	41,82	6,75	241	86,6	7,1	86,4
2	1500	10	42,05	6,92	249	87,3	7,28	85,3
3	1500	15	42,66	7,03	253	89,1	7,6	84,5
4	2500	5	97,37	25,78	427	96,1	24,42	100,8
5	2500	10	98,3	26,32	432	97,3	25,51	99,5
6	2500	15	99,65	27,07	445	98,7	24,42	98,1
7	3500	5	135,61	51,1	635	107,3	54,84	102,7
8	3500	10	136,19	51,92	645	108,7	58,01	102,3
9	3500	15	137,64	52,84	649	109,3	58,71	102

No.	A-Motor Devri	B-Avgas	CO	CO <sub>2</sub>	HC	O <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	Özgül Yakıt Tüketimi
1	1500	5	0,978	8,03	76	11,26	894	332
2	1500	10	0,897	7,35	69	12,51	815	329
3	1500	15	0,786	6,4	64	13,11	758	319
4	2500	5	1,067	10,12	64	4,62	2545	268
5	2500	10	1,018	9,67	58	5,32	2413	264
6	2500	15	0,934	8,76	55	5,92	2214	258
7	3500	5	0,376	12,95	51	1,02	2998	271
8	3500	10	0,331	12,58	48	1,17	2776	263
9	3500	15	0,305	12,08	44	1,21	2581	260

Deneysel sonuçları dikkate alınarak taguchi metodu uygulanmıştır. Taguchi metoduna göre her bir yanıtın model güvenilirliği çizelge 4.2’de gösterilmiştir.

**Çizelge 4.2.** Yanıtların model güvenilirlikleri

Yanıt	R <sup>2</sup> (%)	Adj. R <sup>2</sup> (%)
Motor Momenti	100	100
Motor Gücü	100	100
Egzoz Sıcaklığı	99,98	99,96
Motor Yağı Sıcaklığı	99,91	99,82
Hava Tüketimi	99,96	99,92
Gürültü	99,8	99,6
CO	99,86	99,72
CO <sub>2</sub>	98,71	97,42
HC	99,76	99,52
O <sub>2</sub>	99,97	99,93
NO <sub>x</sub>	99,98	99,97
Özgül Yakıt Tüketimi	99,85	99,69

Tabloda görüldüğü gibi taguchi metodu tüm yanıtlar için %98 üzerinde model güvenilirliği sağlamaktadır. Bu da yapılan deneylerin ve tahmin edilecek değerlerin güvenilir olduğunu göstermektedir.

## 4.2. ANOVA Analizleri

ANOVA, deneylerin sonuçlarının yorumlanmasında ve gerekli kararların verilmesinde kullanılan en nesnel ve istatistiksel yöntemdir. Toplam varyasyonu bileşenlerine parçalayarak, serbestlik derecesi, ortalama kareler, karelerin toplamı vb. niceliklerin hesaplanması için kullanılan matematiksel bir tekniktir (Ross, 1996)

Faktörlerin çıkış parametrelerini nasıl etkilediğini görmek için ANOVA analizi yapılır. Bu analizden üretilen P değerine dayanarak hangi kontrol faktörünün çıkış parametresini en çok etkilediği sonucuna varılabilir. Çıkış parametreleri en düşük P değerine sahip kontrol faktörlerine büyük ölçüde bağlıdır (Kumar ve ark., 2020). Çizelge 4.3’de performans parametrelerinin anova analiz sonuçları verilmiştir.

**Çizelge 4.3.** Performans parametrelerinin Anova analiz sonuçları

Faktörler		DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Motor	Motor Devri (dev/dak)	2	166,294	166,294	83,1471	227908,41	0,000
Momenti	Avgas (%vol)	2	0,044	0,044	0,0219	59,91	0,001
	Ölçüm Hatası	4	0,001	0,001	0,0004		
	Toplam	8	166,339				
Motor	Motor Devri (dev/dak)	2	477,879	477,879	238,939	154032,74	0,000
Gücü	Avgas (%vol)	2	0,190	0,190	0,095	61,27	0,001
	Ölçüm Hatası	4	0,006	0,006	0,002		
	Toplam	8	478,075				
Egzoz	Motor Devri (dev/dak)	2	104,145	104,145	52,0723	9096,04	0,000
Sıcaklığı	Avgas (%vol)	2	0,157	0,157	0,0786	13,72	0,016
	Ölçüm Hatası	4	0,023	0,023	0,0057		
	Toplam	8	104,325				
Motor	Motor Devri (dev/dak)	2	5,11701	5,11701	2,55850	2216,39	0,000
Yağı	Avgas (%vol)	2	0,06835	0,06835	0,03417	29,60	0,004
	Ölçüm Hatası	4	0,00462	0,00462	0,00115		
	Toplam	8	5,18998				
Hava	Motor Devri (dev/dak)	2	483,325	483,325	241,663	5163,79	0,000
Tüketimi	Avgas (%vol)	2	0,287	0,287	0,144	3,07	0,154
	Ölçüm Hatası	4	0,187	0,187	0,047		
	Toplam	8	483,800				
Gürültü	Motor Devri (dev/dak)	2	4,28436	4,28436	2,14218	995,87	0,000
	Avgas (%vol)	2	0,03979	0,03979	0,01990	9,25	0,032
	Ölçüm Hatası	4	0,00860	0,00860	0,00215		
	Toplam	8	4,33276				
Özgül	Motor Devri (dev/dak)	2	6,84767	6,84767	3,42383	1273,39	0,000
Yakıt	Avgas (%vol)	2	0,17982	0,17982	0,08991	33,44	0,003
	Ölçüm Hatası	4	0,01075	0,01075	0,00269		
	Toplam	8	7,03824				

ANOVA tablosu, yanıtlardaki değişkenliği faktörlerin her biri için ayrı parçalara böler. Daha sonra, ortalama kareyi deneysel hata tahminiyle karşılaştırarak her faktörün istatistiksel önemini test eder. Çizelge 4.3 incelendiğinde tüm yanıtlar için motor devri faktörünün P değerinin 0,05 ten az olduğu görülmüştür. Bir faktörün P değerinin 0.05’den küçük olması, oluşturulan modelde daha fazla etki ve öneme sahip olduğunun bir göstergesidir (Candiotti ve ark., 2014). Bu durumda motor devri %99’luk bir güven

derecesi ile yanıtların tahmin edilmesinde önemlidir. Avgas faktörü ise sadece hava tüketimi yanıtında P değeri 0,05 ten büyük olduğu için anlamsızdır. Diğer yanıtlar tahmin edilmesinde ise %95’lik bir güven derecesi ile önemlidir. Avgas faktörünün etkisinin çoktan aza doğru sırası; motor momenti, motor gücü, özgül yakıt tüketimi, motor yağı sıcaklığı, egzoz gazı sıcaklığı ve gürültü olarak belirlenmiştir.

**Çizelge 4.4.** Emisyon parametrelerinin Anova analiz sonuçları

	Faktörler	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
CO	Motor Devri (dev/dak)	2	162,221	162,221	81,1105	1404,56	0,000
	Avgas (%vol)	2	3,963	3,963	1,9816	34,31	0,003
	Ölçüm Hatası	4	0,231	0,231	0,0577		
	Toplam	8	166,415				
CO <sub>2</sub>	Motor Devri (dev/dak)	2	34,2573	34,2573	17,1287	142,49	0,000
	Avgas (%vol)	2	2,4979	2,4979	1,2490	10,39	0,026
	Ölçüm Hatası	4	0,4808	0,4808	0,1202		
	Toplam	8	37,2361				
HC	Motor Devri (dev/dak)	2	16,3263	16,3263	8,16314	705,59	0,000
	Avgas (%vol)	2	2,7967	2,7967	1,39835	120,87	0,000
	Ölçüm Hatası	4	0,0463	0,0463	0,01157		
	Toplam	8	19,1693				
O <sub>2</sub>	Motor Devri (dev/dak)	2	661,483	661,483	330,741	5858,53	0,000
	Avgas (%vol)	2	4,259	4,259	2,130	37,72	0,003
	Ölçüm Hatası	4	0,226	0,226	0,056		
	Toplam	8	665,968				
NO <sub>x</sub>	Motor Devri (dev/dak)	2	200,122	200,122	100,061	12885,02	0,000
	Avgas (%vol)	2	2,593	2,593	1,297	166,98	0,000
	Ölçüm Hatası	4	0,031	0,031	0,008		
	Toplam	8	202,747				

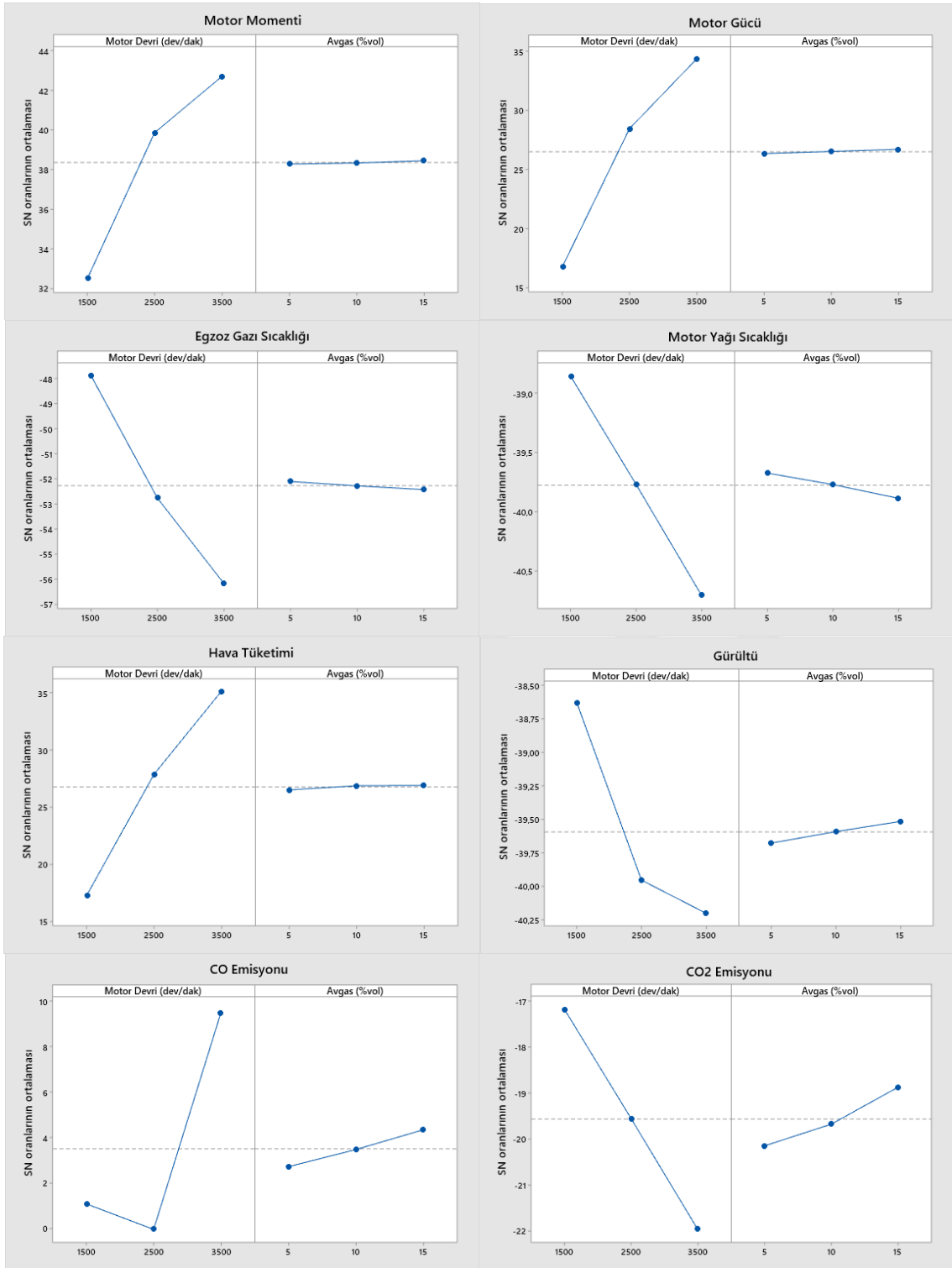
Çizelge 4.4’de emisyon parametrelerinin anova analiz sonuçları verilmiştir. Motor devri, yanıtların tahmin edilmesinde %99’luk bir güven derecesi ile önemlidir. Avgas faktörü ise HC ve NO<sub>x</sub>’de %99, CO ve O<sub>2</sub> de %95 ve CO<sub>2</sub> de %90 ‘lık bir güven derecesine sahip olduğu belirlenmiştir. Avgas faktörü tüm emisyon yanıtlarında anlamlıdır.

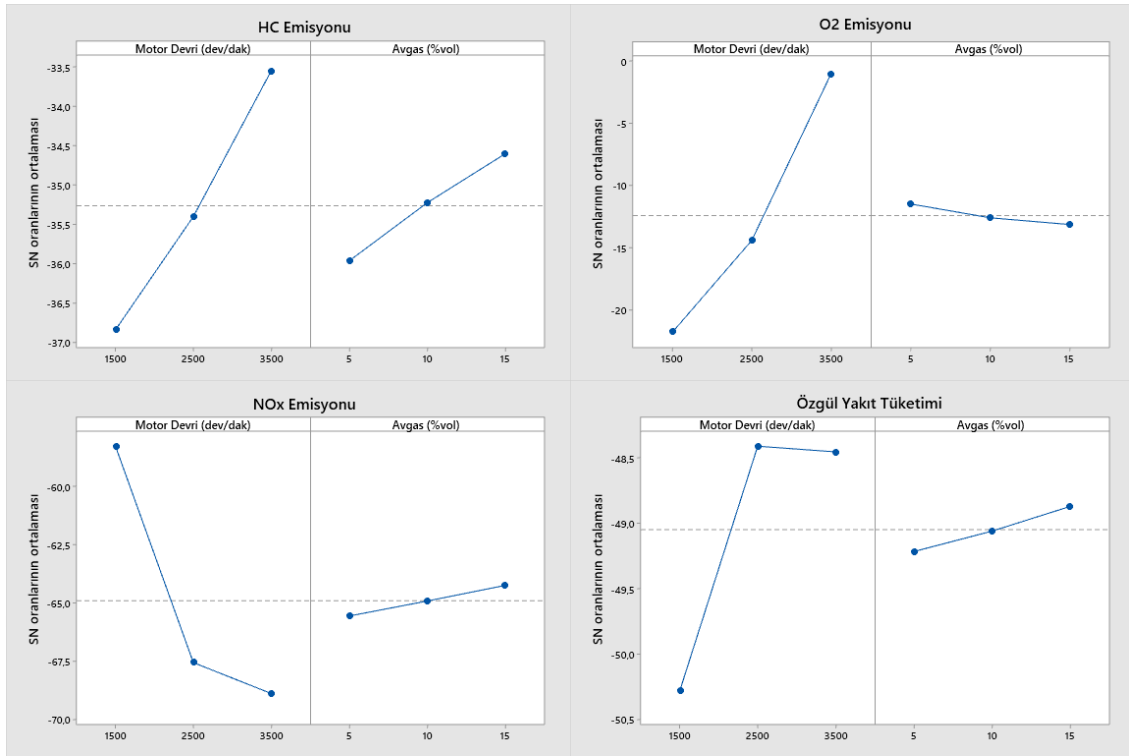
### 4.3. Optimum Faktör Seviyelerinin Belirlenmesi

Şekil 4.1’de Taguchi metodunu kullanarak yanıtları etkileyen faktörlerdeki değişikliklerin etkileri gösterilmektedir. En büyük S/N oranı parametreler için en iyi seviyeleri sağlar.

Şekil 4.1’de motor momenti, motor gücü, hava tüketimi, CO emisyonu ve HC emisyonu incelendiğinde, bu yanıtlar için optimum faktör seviyeleri, 3500 dev/dak ve %15 Avgas olarak belirlenmiştir. Bu yanıtlar için optimum faktör kombinasyonu ‘A3-B3’tür.

Şekil 4.1’de egzoz gazı sıcaklığı ve motor yağı sıcaklığı incelendiğinde, bu yanıtlar için optimum faktör seviyeleri, 1500 dev/dak ve %5 Avgas olarak belirlenmiştir. Bu yanıtlar için optimum faktör kombinasyonu ‘A1-B1’dir.





Şekil 4.1. S/N oranlarına göre ana etki grafikleri

Şekil 4.1’de gürültü, CO<sub>2</sub> emisyonu ve NO<sub>x</sub> emisyonu incelendiğinde bu yanıtlar için optimum faktör seviyeleri, 1500 dev/dak ve %15 Avgas olarak belirlenmiştir. Bu yanıtlar için optimum faktör kombinasyonu ‘A1-B3’ tür.

Şekil 4.1’de O<sub>2</sub> emisyonu incelendiğinde bu yanıt için optimum faktör seviyeleri 3500 dev/dak ve %5 Avgas, optimum faktör kombinasyonu ‘A3-B1’ olarak belirlenmiştir.

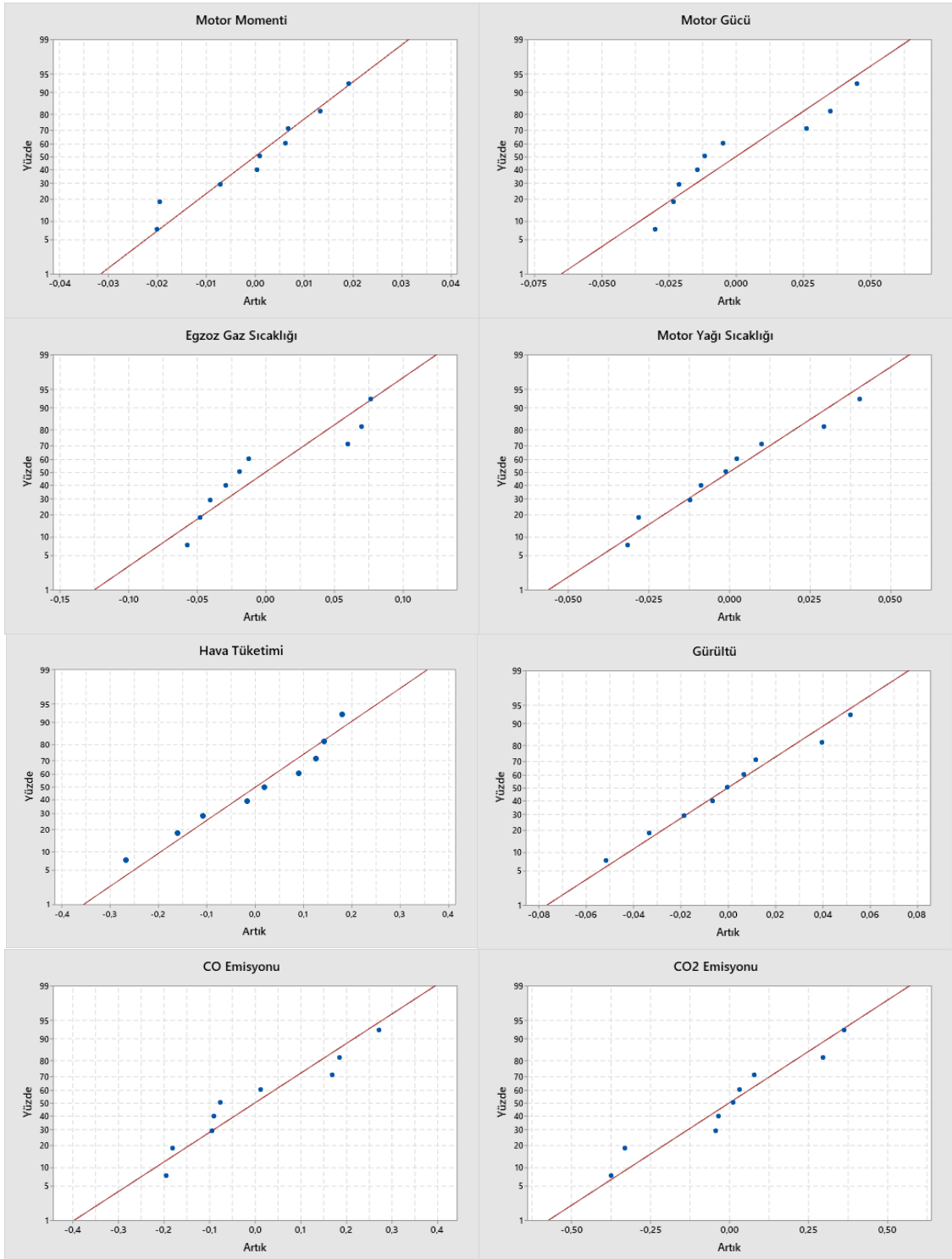
Şekil 4.1’de özgül yakıt tüketimi incelendiğinde bu yanıt için optimum faktör seviyeleri 2500 dev/dak ve %15 Avgas, optimum faktör kombinasyonu ‘A2-B3’ olarak belirlenmiştir.

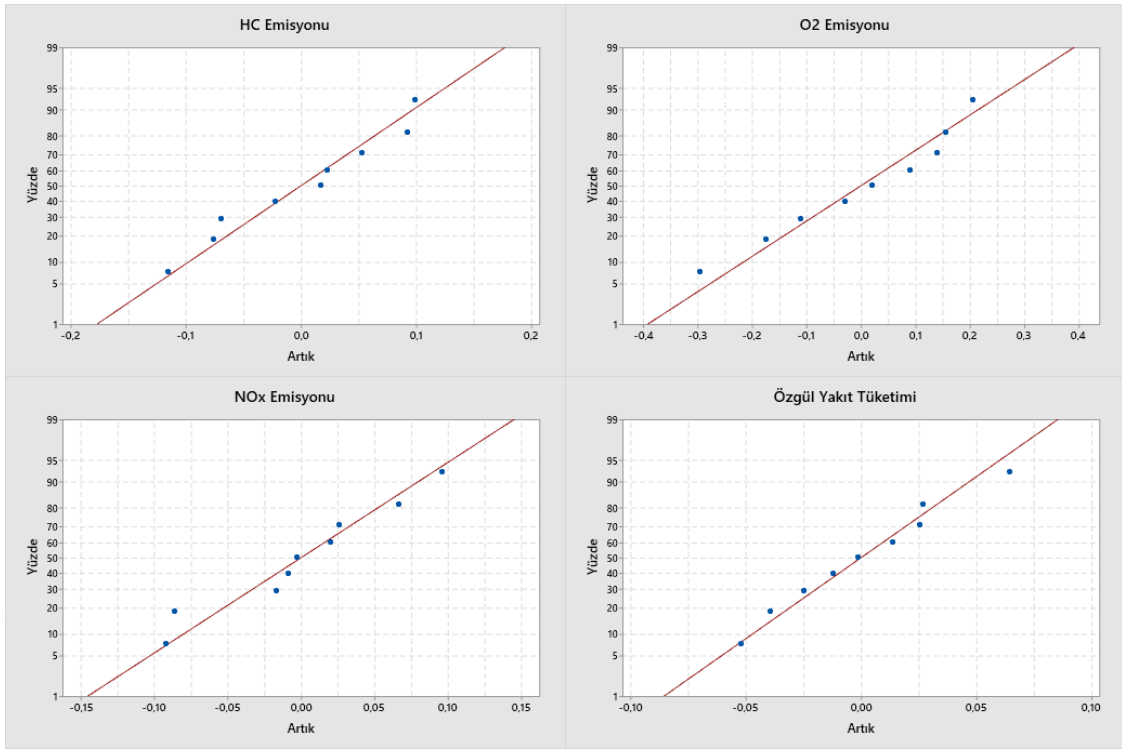
#### 4.4. Normal-Olasılık Grafikleri

Normal-olasılık grafiği, deneye etkisi olan veya olmayan faktör ve etkileşimlerin ortalama etkilerine karşı gelen olasılıklarının ölçekli grafik kağıdının üzerinde gösterilmesidir. Her bir faktörün ve etkileşimlerin ortalama etkileri belirlenir (Anagün, 2000).

Şekil 4.2’de yanıtların S/N oranlarına göre normal-olasılık grafikleri gösterilmektedir. Normal olasılık grafiği, bir veri setinin yaklaşık olarak normal dağılmış olup olmadığını değerlendirmek için grafiksel bir tekniktir (Chambers ve ark., 1983).

Şekil 4.2 incelendiğinde tüm yanıtlar için veri setinin güvenilir olduğunu görebilmekteyiz. Veriler düz bir çizgide düştüğü için, normal bir dağılıma sahip olduğumuzu varsayabiliriz.





Şekil 4.2. Normal-Olasılık grafikleri

#### 4.5. Regresyon Denklemleri

Aşağıda tüm yanıtlar için regresyon denklemleri verilmiştir. Faktör değerlerini regresyon denkleminde yazdığımızda, yanıtların değerlerini bulabiliriz. Birden fazla bağımsız değişkenin bulunduğu regresyon modeline çoklu regresyon modeli denir (Kutner ve ark., 2005). Genellikle bir bağımlı değişken birden çok bağımsız değişkenin etkisi altındadır (Sucu, 2010).

$$\text{Motor Momenti (Nm)} = -75,69 + (0,09212 * MD) - (0,2 * AG) - (9 \times 10^{-6} * MD^2) + (0,01113 * AG^2) + (6 \times 10^{-5} * MD * AG) \quad (4.1)$$

$$\text{Motor Gücü (kW)} = -10,087 + (0,006613 * MD) - (0,1055 AG) + (3 \times 10^{-6} * MD^2) + (0,00167 * AG^2) + (7,3 \times 10^{-5} * MD * AG) \quad (4.2)$$

$$\text{Egzoz Gaz Sıcaklığı (C)} = -6,1 + (0,1433 * MD) + (1,48 * AG) + (1,1 \times 10^{-5} * MD^2) - (0,0133 * AG^2) + (1 \times 10^{-4} * MD * AG) \quad (4.3)$$

$$\text{Motor Yağı Sıcaklığı (C)} = 72,97 + (0,00722 * MD) + (0,233 * AG) + (1 \times 10^{-6} * MD^2) + (0,00333 AG^2) - (2,5 \times 10^{-5} * MD * AG) \quad (4.4)$$

$$\text{Hava Tüketimi (dm}^3/\text{s)} = 9,42 - (0,01412 * MD) + (0,326 * AG) + (7 \times 10^{-6} * MD^2) - (0,0301 * AG^2) + (16,8 \times 10^{-5} * MD * AG) \quad (4.5)$$

$$\text{Gürültü (dB)} = 46,73 + (0,03587 * MD) - (0,367 * AG) - (6 \times 10^{-6} * MD^2) + (0,0020 * AG^2) + (6 \times 10^{-5} * MD * AG) \quad (4.6)$$

$$\text{CO Emisyonu (%vol)} = -0,5124 + (0,001636 * MD) - (0,02219 * AG) - (4 \times 10^{-7} * MD^2) - (3,07 \times 10^{-4} * AG^2) + (6 \times 10^{-6} * MD * AG) \quad (4.7)$$

$$\text{CO}_2 \text{ Emisyonu (\%vol)} = 7,065 + (0,000350 * \text{MD}) - (0,1090 * \text{AG}) + (4 \times 10^{-7} * \text{MD}^2) - (0,00573 * \text{AG}^2) + (3,8 \times 10^{-5} * \text{MD} * \text{AG}) \quad (4.8)$$

$$\text{HC Emisyonu (ppm vol)} = 102,22 - (0,01183 * \text{MD}) - (2,092 * \text{AG}) - (4 \times 10^{-7} * \text{MD}^2) + (0,0267 * \text{AG}^2) + (0,000250 * \text{MD} * \text{AG}) \quad (4.9)$$

$$\text{O}_2 \text{ Emisyonu (\%vol)} = 24,487 - (0,011883 * \text{MD}) + (0,4335 * \text{AG}) + (1 \times 10^{-6} * \text{MD}^2) - (0,00573 * \text{AG}^2) - (8,3 \times 10^{-5} * \text{MD} * \text{AG}) \quad (4.10)$$

$$\text{NO}_x \text{ Emisyonu (ppm vol)} = -3798 + (4,0568 * \text{MD}) + (8,1 * \text{AG}) - (5,87 \times 10^{-4} * \text{MD}^2) - (0,120 * \text{AG}^2) - (0,01405 * \text{MD} * \text{AG}) \quad (4.11)$$

$$\text{Özgül Yakıt Tüketimi (g/kWh)} = 554,5 - (0,19367 * \text{MD}) - (0,85 * \text{AG}) + (3,2 \times 10^{-5} * \text{MD}^2) - (0,0267 * \text{AG}^2) + (1 \times 10^{-4} * \text{MD} * \text{AG}) \quad (4.12)$$

#### 4.6. Kontur Grafikleri

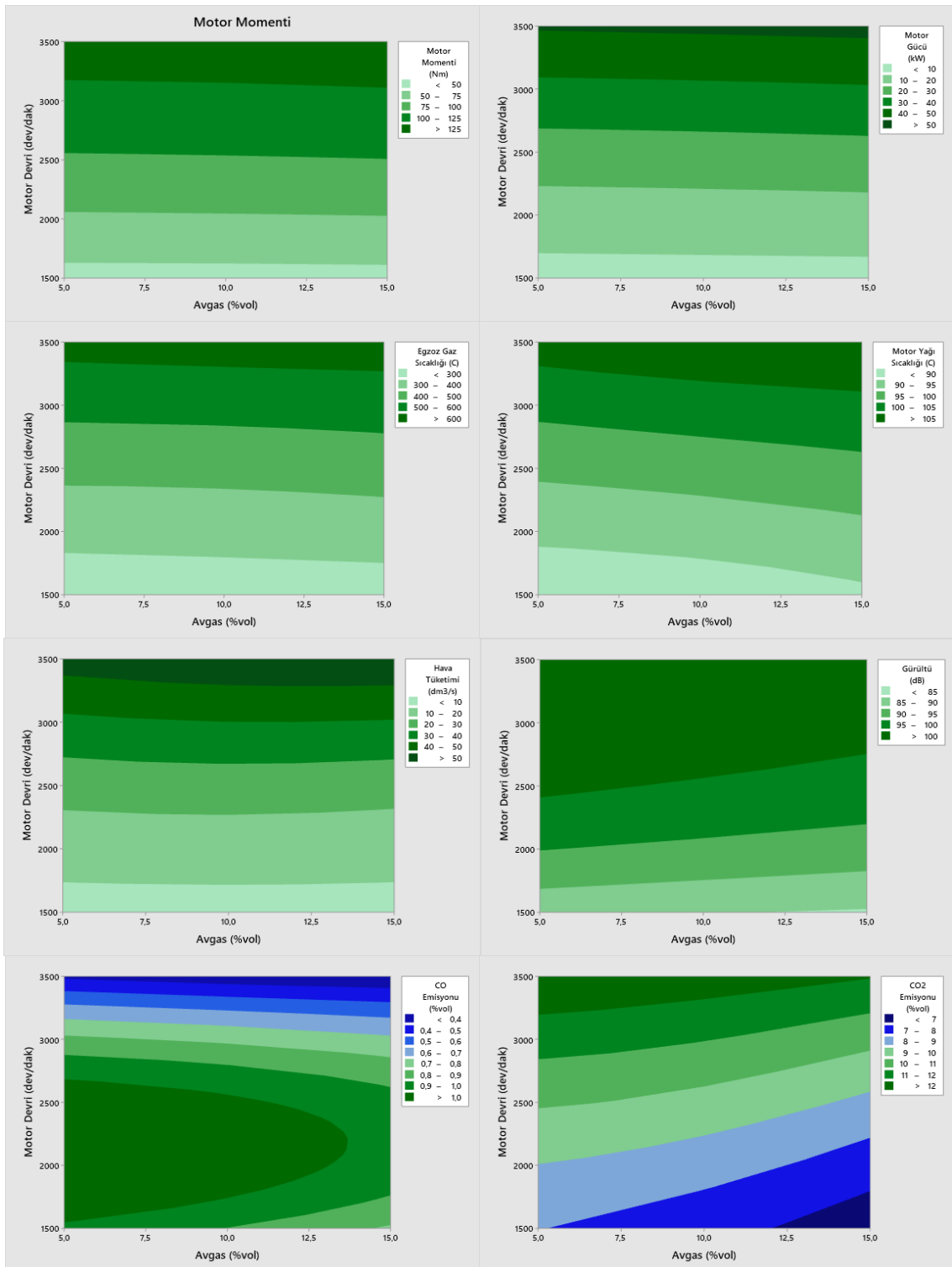
Kontur grafiği, kontur adı verilen sabit z dilimlerini 2 boyutlu bir formatta çizerek 3 boyutlu yüzeyi temsil etmeye yönelik bir grafik tekniğidir. İki faktörün x ve y koordinatında konumlandırdıktan sonra yanıt faktörünü z koordinatında verdiği değerler bu grafiklerde renklendirilerek gösterilmektedir.

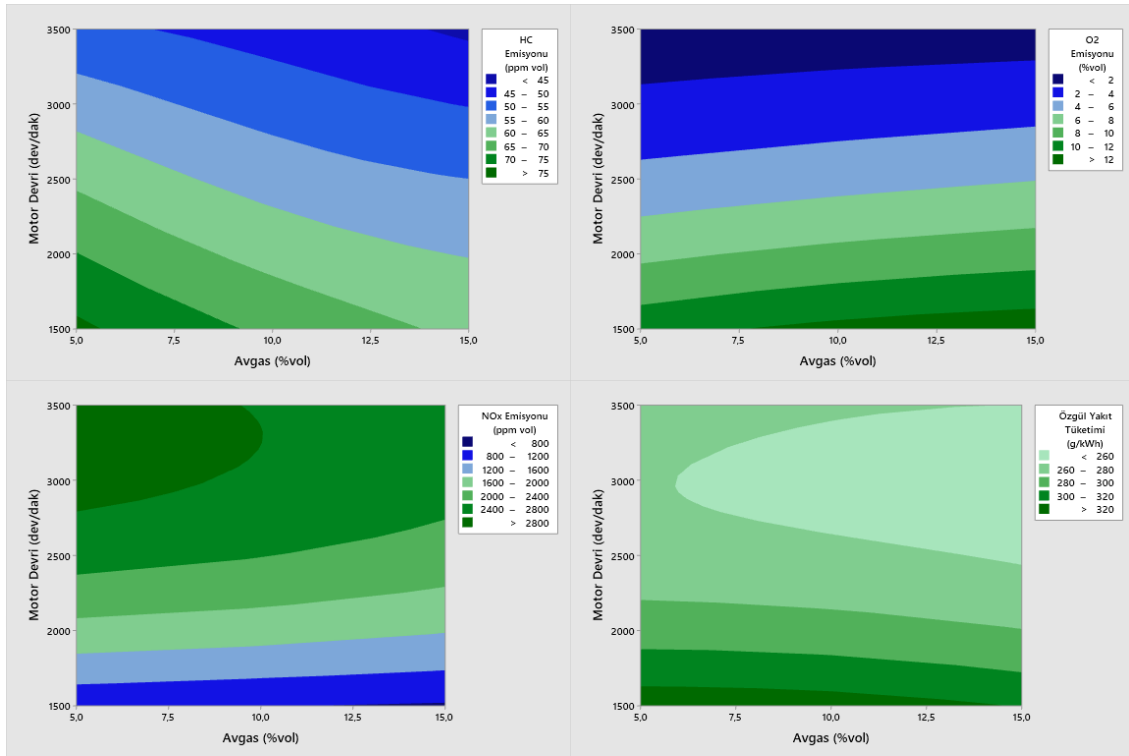
Şekil 4.3’de her bir yanıtın motor devri ve Avgas oranına göre kontur grafikleri verilmiştir. Motor gücü ve motor momenti grafiklerinde maksimum değerler (koyu alanlar), diğer grafiklerde minimum değerler (açık alanlar) istenmektedir.

Şekil 4.3’de motor momentinin grafiği incelendiğinde, motor devri ile beraber arttığı görülmektedir. Avgas oranı ise arttıkça kontur çizgileri aşağı yönde eğim yapmaktadır. Buda motor momentinin Avgas kullanımı ile arttığını göstermektedir. Aynı durum motor gücü kontur grafiğinde de geçerlidir.

Egzoz gazı sıcaklığı kontur grafiği şekil 4.3’de verilmiştir. Motor devri ve Avgas oranı arttırıldıkça egzoz gaz sıcaklığı arttığı görülmüştür. Motor yağı sıcaklığı ise motor devri ve Avgas oranı arttırıldıkça artmaktadır. Ancak şekil 4.3’de görüldüğü üzere, Avgas oranının arttırılması kontur çizgilerinin eğimini arttırmıştır yani etkisi daha fazladır.

Hava tüketimi kontur grafiği şekil 4.3’de verilmiştir. Hava tüketimi, motor devri ile artmakta iken Avgas oranında ise %5 kullanımda ve %15 kullanımda artışlar olduğu ancak %10 kullanımda aşağı yönde eğim yaptığı bu yüzden de daha fazla artış olduğu görülmektedir. Şekil 4.3’de gürültü yanıtının kontur grafiği incelendiğinde motor devri ile gürültü seviyesinin artmasına rağmen Avgas kullanımı olumlu yönde etki yaparak gürültü seviyelerini azaltmıştır.





Şekil 4.3. Kontur grafikleri

Emisyon parametreleri incelenecek olursa; şekil 4.3’de CO emisyonu kontur grafiği verilmiştir. Yaklaşık 1600 dev/dak ile 2700 dev/dak sınırları içerisinde emisyon değeri en yüksek değerlerdedir ve motor devri ile fazla bir değişim göstermemiştir. Ancak Avgas oranı arttırıldıkça emisyonunda azalmalar görülmektedir. Yaklaşık 1600 dev/dak’ya gelene kadar emisyon değeri motor devri ile kademeli olarak artmakta iken yaklaşık 2700 dev/dak’dan sonra ise azalmaktadır. Avgas oranı artırılması CO emisyonunda sürekli bir azalma göstermiştir.

Şekil 4.3’de CO<sub>2</sub> emisyonu kontur grafiği incelendiğinde, motor devri ile beraber artış göstermesine rağmen Avgas oranının arttırılmasıyla kontur çizgileri yukarı yönlü eğim yapmakta ve emisyon değeri azalmaktadır. En düşük CO<sub>2</sub> emisyon değerleri %12,5 ile %15 Avgas aralığında olduğu görülmüştür. Şekil 4.3’de HC emisyonu kontur grafiği incelendiğinde, Avgas oranı için CO<sub>2</sub> emisyonuna benzer bir durum söz konusudur. Ancak HC emisyonunda motor devri ile beraber artış değil azalma görülmüştür.

Şekil 4.3’de O<sub>2</sub> emisyonu kontur grafiği incelendiğinde, motor devri ile beraber O<sub>2</sub> emisyon değerlerinde azalma görülmüştür. Ancak Avgas oranının arttırılması O<sub>2</sub> emisyon değerlerini arttırmaktadır. Şekil 4.3’de NO emisyonu kontur grafiği incelendiğinde, Avgas oranının arttırılması ile NO emisyon değerlerinde azalma görülmüştür. Motor devri ile ise artmaktadır. Ancak yaklaşık 2700 dev/dak’dan sonra

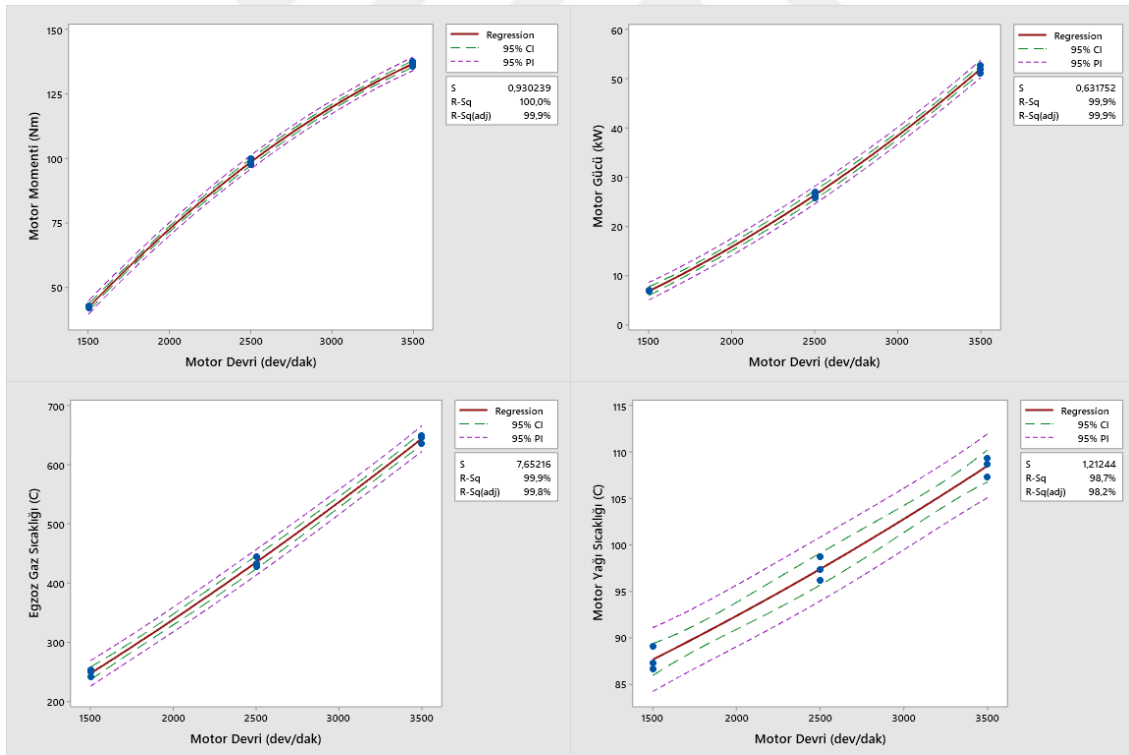
motor devri artmasına rağmen Avgas oranı emisyon değerlerinin düşmesinde etkili olmuştur.

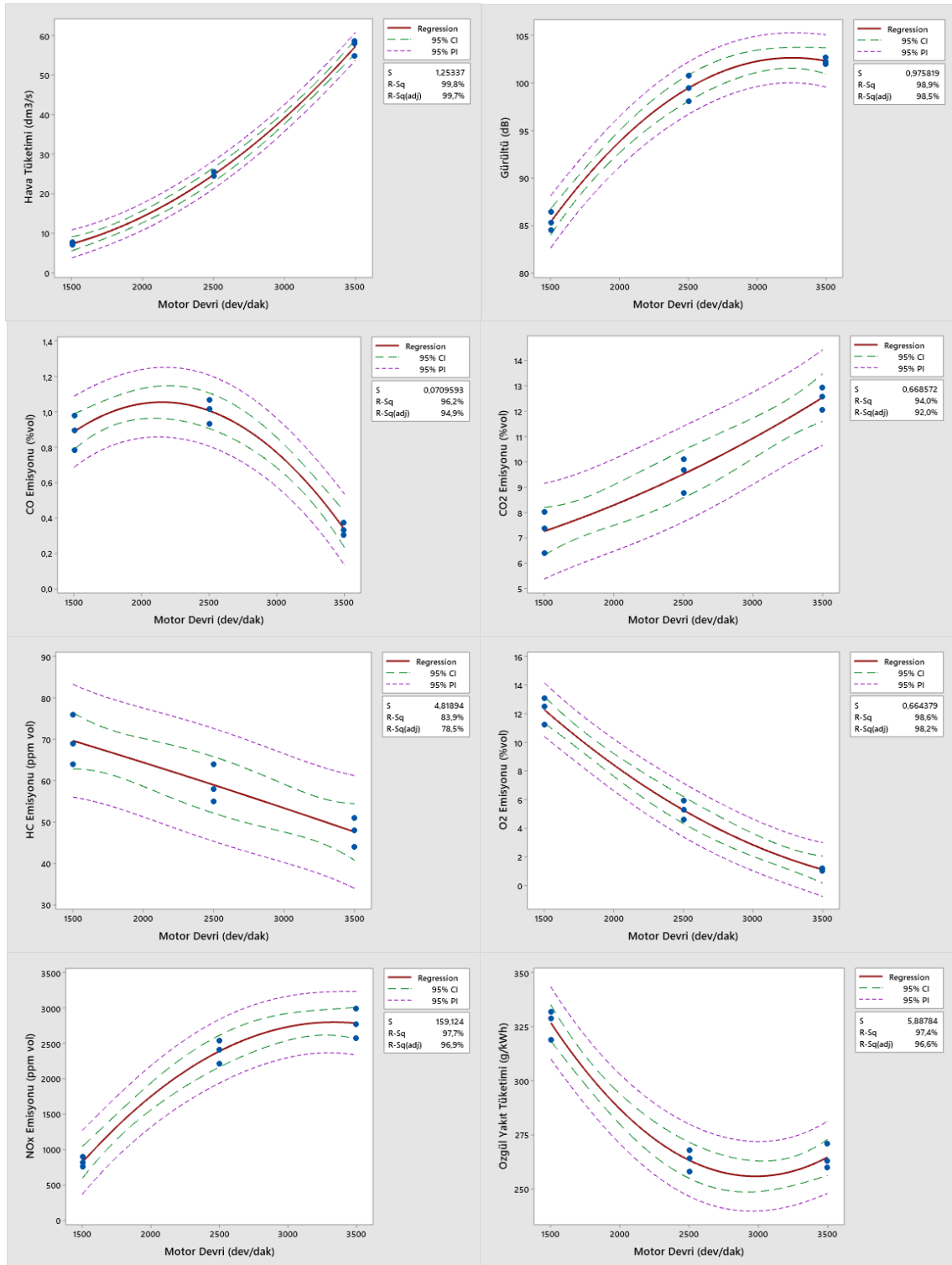
Şekil 4.3’de özgül yakıt tüketimi kontur grafiği incelendiğinde, yaklaşık 3000 dev/dak’ya kadar motor devri ile azalan özgül yakıt tüketimi sonrasında artış göstermiştir. Ancak Avgas oranının artırılması özgül yakıt tüketimi değerlerini azaltmış ve motor devrine göre artış gösteren aralığı da önemli ölçüde azaltarak etkisini göstermiştir.

#### 4.7. Polinom Regresyon

Şekil 4.4’de yanıtların etken faktör olan motor devrine bağlı olarak, ikinci dereceden bir polinom modelin uygulanmasının sonuçlarını göstermektedir. İç sınırlar, verilen motor devri değerlerinde birçok gözlemin ortalama yanıtlar için %95 güven sınırlarını gösterir. Dış sınırlar yeni gözlemler için %95 tahmin sınırlarını gösterir. Şekilde deneylerin bu sınırlar içerisinde olduğu görülmektedir.

Etken değer için de bir aykırılık belirlenmemiştir. Buda bizim modelimizin tahminlerinin ve deneylerin güvenilir olduğunu göstermektedir.





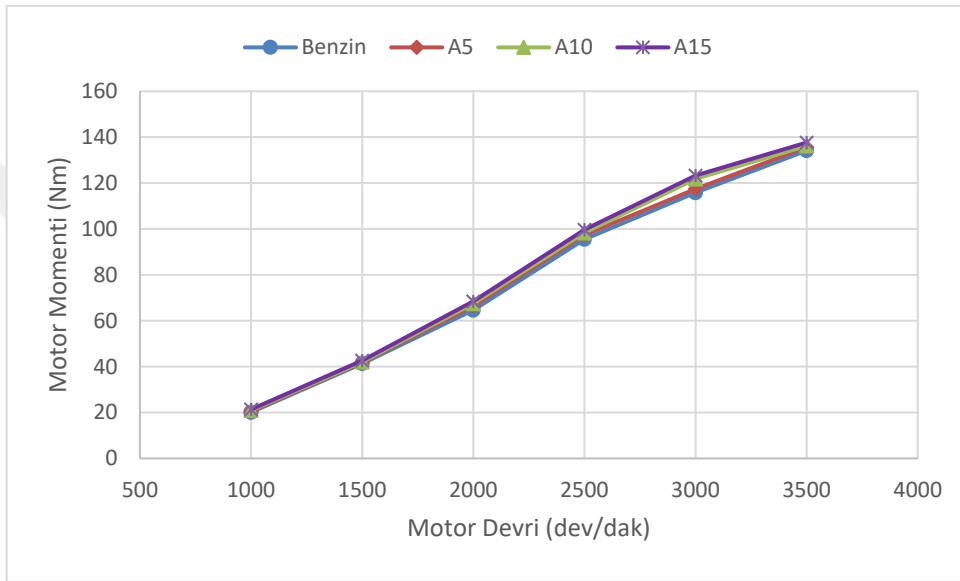
Şekil 4.4. Polinom regresyon grafikleri

#### 4.8. Benzin Referans Yakıtı İle Karşılaştırma

Avgas karışım yakıtlarının test sonuçları, benzin referans yakıtının sonuçları ile aşağıdaki grafiklerde karşılaştırılmıştır.

#### 4.8.1. Motor momenti değerlerinin karşılaştırılması

Motor devir aralıklarına bağlı olarak; benzin, A5, A10 ve A15 yakıtlarına bağlı motor moment değişimleri şekil 4.5’de gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi tüm yakıtlarda oluşan maksimum moment değerleri yaklaşık 3500 dev/dak’da olmuştur. En yüksek motor momenti değeri A15 ile elde edilmiştir. En düşük değer ise 1000 dev/dak da benzinden elde edilmiştir. Her üç farklı yakıt karışımında 3500 dev/dak’da motor momenti benzine göre sırasıyla A5’te %1,11, A10’da %1,54 ve A15’te %2,62 arttığı tespit edilmiştir.



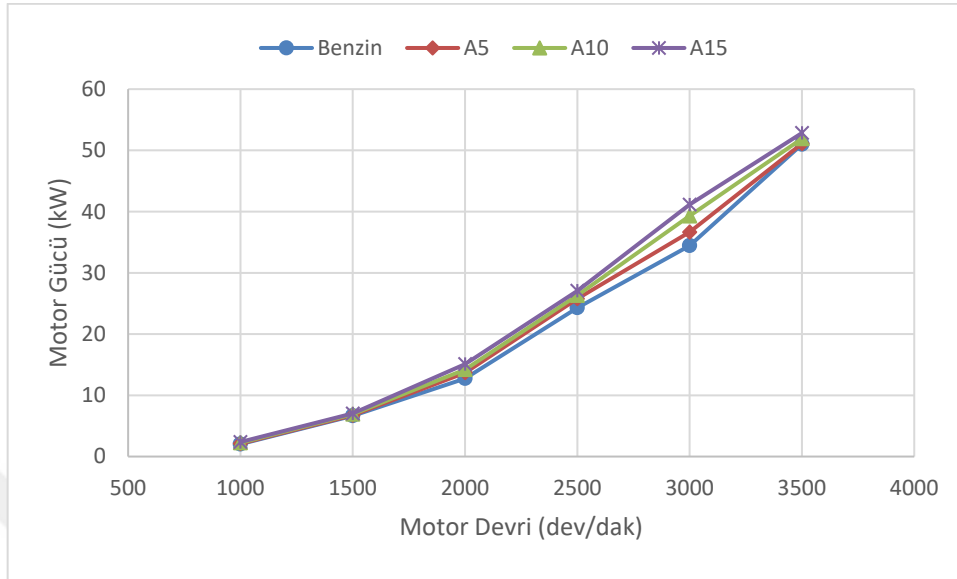
Şekil 4.5. Motor momenti test yanıtlarının grafiği

Avgas kullanımı ile birlikte yakıt karışımlarının alt ısıl değeri artmaktadır. Buna bağlı olarak, motor momentindeki artışın, yakıtın yüksek yanma veriminden ve daha iyi atomizasyon özelliklerinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Acaroğlu ve ark., 2010; Palash ve ark., 2014). İyileşen yakıt özellikleri ile birlikte daha iyi hava/yakıt karışımı meydana gelmektedir.

#### 4.8.2. Motor gücü değerlerinin karşılaştırılması

Motor devir aralıklarına bağlı olarak; benzin, A5, A10 ve A15 yakıtlarına bağlı motor gücü değişimleri şekil 4.6’da gösterilmiştir. Motor gücü, motor devrinin artışıyla beraber test edilen bütün yakıtlarda artış göstermiştir. Tüm yakıt karışımları için maksimum motor gücü değerleri 3500 dev/dak’da ölçülmüştür. En yüksek motor gücü değeri, A15 yakıt karışımında 52,84 kW olarak ölçülmüştür. Benzinde ise en yüksek motor gücü değeri 50,99 kW’dır. Avgas kullanımı benzine göre motor gücünde yaklaşık

%3,63'lük bir artış göstermiştir. Diğer yakıt karışımlarında ise en yüksek motor gücü değerleri, A10 yakıt karışımında 51,92 kW, A5 yakıt karışımında 51,1 kW olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.6. Motor gücü test sonuçlarının grafiği

Düşük devirlerde yanma verimi kötü olduğu için motor gücü düşük çıkmaktadır. Devir yükseldikçe yanma verimi iyileştiği için bütün test yakıtlarında motor gücü artış göstermektedir (Hazar ve ark., 2011).

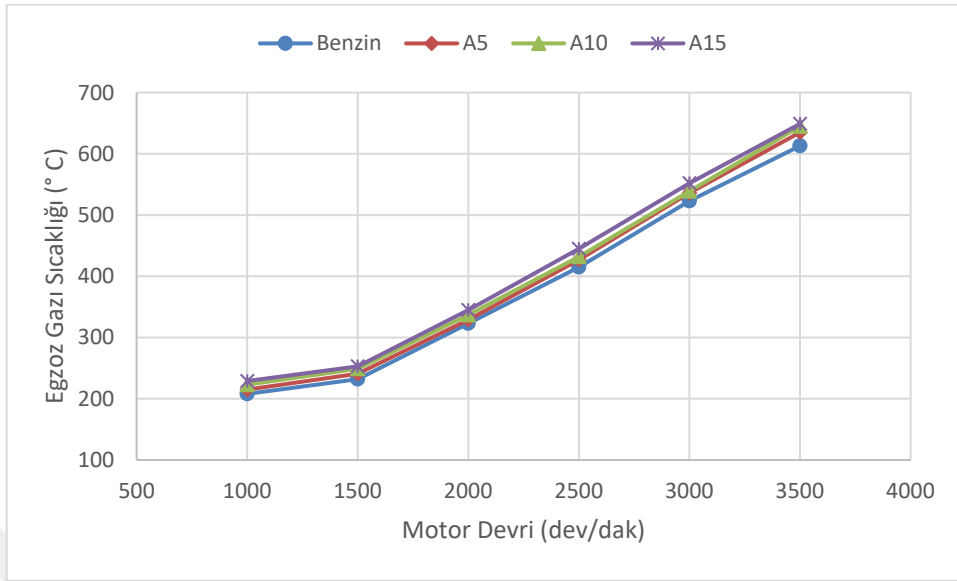
Avgas'ın alt ısıl değeri benzinden fazladır. Bu sebeple motor gücündeki artış, yakıtın alt ısıl değerinin yükselmesine bağlı olarak yüksek yanma veriminden ve daha iyi atomizasyon karakteristiklerinden gerçekleştiği düşünülmektedir. Ayrıca Avgas içerisindeki TEL katkı maddesi sayesinde yakıtın tutuşma ve yanma kalitesi geliştiği için motor gücünde artış gerçekleşmiştir. Sonuçların Czarnigowski ve ark. (2010), ayrıca Kodanlı (2016) tarafından yapılan çalışmalarla uyumlu olduğu görülmüştür.

#### 4.8.3. Egzoz gazı sıcaklığı değerlerinin karşılaştırılması

Egzoz gazı sıcaklığı, egzoz emisyonlarını etkileyen önemli parametrelerden biridir. Egzoz gazı sıcaklığı, yakıtın özelliğine ve motor işletme parametrelerine bağlıdır (Candan, 2012).

Motor devir aralıklarına bağlı olarak; benzin, A5, A10 ve A15 yakıtlarına bağlı egzoz gaz sıcaklığı değişimleri şekil 4.7'de gösterilmiştir. Egzoz gaz sıcaklığı, motor devrinin artışıyla beraber test edilen bütün yakıtlarda artış göstermiştir. En düşük egzoz gaz sıcaklığı 1000 dev/dak'da 208 °C olarak benzin yakıtı kullanımında ölçülmüştür. Diğer yakıtlarda ise Avgas oranı arttıkça egzoz gaz sıcaklığı artmıştır. En yüksek egzoz

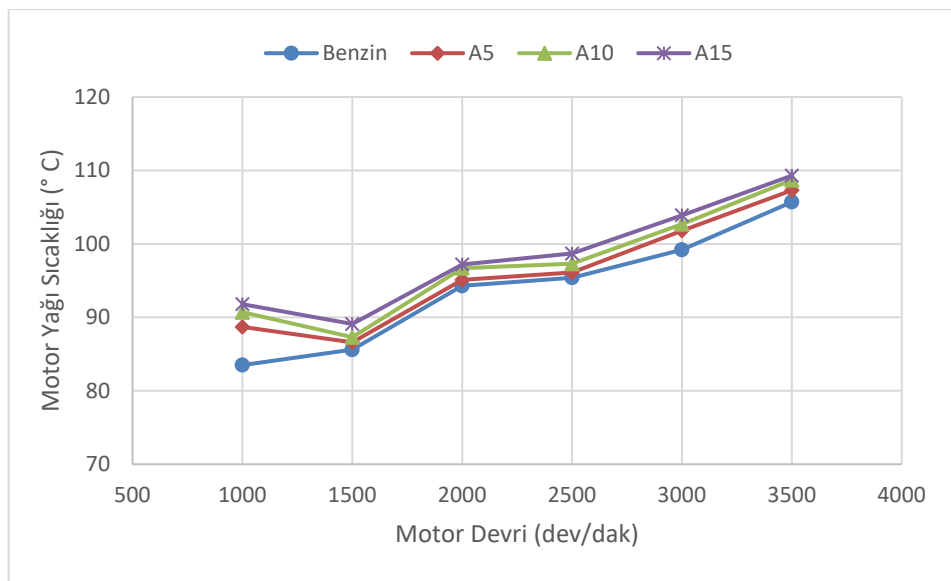
gaz sıcaklık değerleri 3500 dev/dak'da benzin yakıtında 613 °C iken A15 yakıt karışımında 649 °C dir.



Şekil 4.7. Egzoz gaz sıcaklığı test sonuçlarının grafiği

Avgasın alt ısı değerinin benzine göre yüksek olmasından dolayı, silindir içi sıcaklığının da yüksek olduğu söylenebilir. Bu yüzden de Avgas kullanımı egzoz gaz sıcaklığını artırmıştır. Ayrıca, yüksek devirlerdeki hava hareketlerinin fazla olması yanma reaksiyonlarını etkilediği ve yanma sonucu ürünlerin sıcaklığını artırdığı söylenebilir. Sonuçlar Rambok ve Majid (2018), ayrıca Kumar ve ark. (2019) yaptığı çalışmalarla benzerlik göstermektedir.

#### 4.8.4. Motor yağı sıcaklığı değerlerinin karşılaştırılması



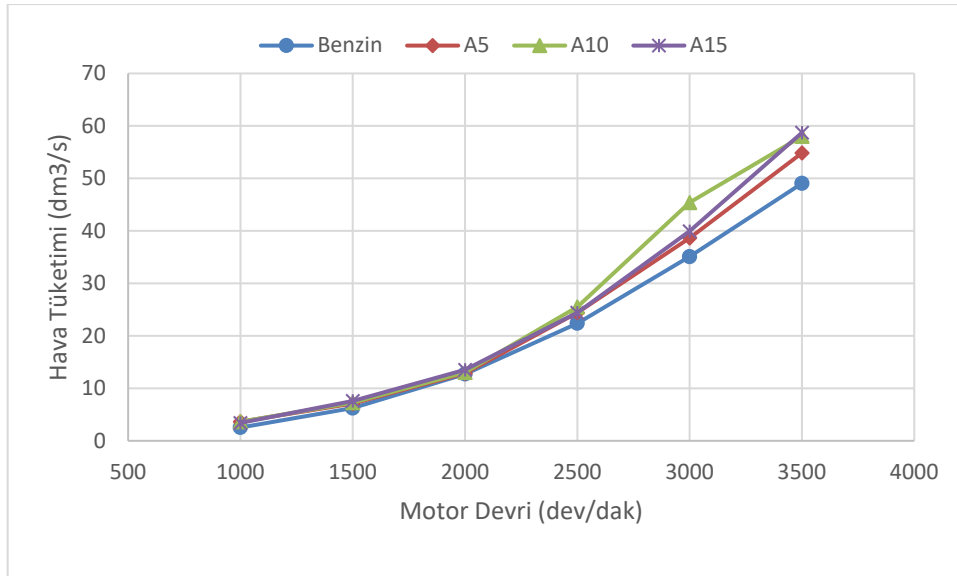
Şekil 4.8. Motor yağı sıcaklığı test sonuçlarının grafiği

Motor devir aralıklarına bağlı olarak; benzin, A5, A10 ve A15 yakıtlarına bağlı motor yağı sıcaklığı değişimleri şekil 4.8'de gösterilmiştir. En düşük motor yağı sıcaklığı 1000 dev/dak'da benzinde 83,5 °C olarak ölçülmüştür. Diğer yakıtlarda ise sırasıyla en düşük motor yağı sıcaklıkları 1500 dev/dak da; A5 yakıt karışımında 86,6 °C, A10 yakıt karışımında 87,3 °C ve A15 yakıt karışımında 89,1 °C olarak ölçülmüştür. Avgas kullanımı motor yağı sıcaklığını artırmıştır.

En yüksek motor yağı sıcaklıkları ise 3500 dev/dak'da benzinde 105,7 °C ve A15 yakıt karışımında 109,3 °C olarak ölçülmüştür. Sonuçların Jaklinski ve ark. (2009) yaptığı çalışmayla uyumlu olduğu görülmüştür.

#### 4.8.5. Hava tüketimi değerlerinin karşılaştırılması

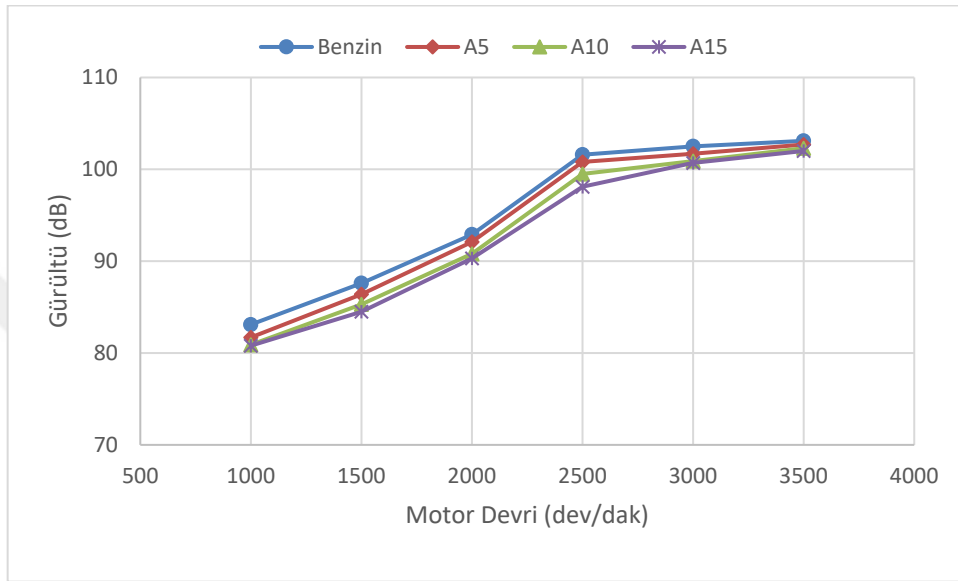
Motor devir aralıklarına bağlı olarak; benzin, A5, A10 ve A15 yakıtlarına bağlı hava tüketimi değişimleri şekil 4.9'da gösterilmiştir. Hava tüketimi, motor devrinin artışıyla beraber test edilen bütün yakıtlarda artış göstermiştir. En düşük hava tüketimi 1000 dev/dak da benzinde 2,53 dm<sup>3</sup>/s olarak ölçülmüştür. Aynı devirde hava tüketimi, A5 ve A10 yakıt karışımlarında 3,64 dm<sup>3</sup>/s iken A15 yakıt karışımında 3,41 dm<sup>3</sup>/s'dir. En yüksek hava tüketim değerleri 3500 dev/dak'da ölçülmüştür. Benzinde 49,05 dm<sup>3</sup>/s, A5 yakıt karışımında 54,84 dm<sup>3</sup>/s, A10 yakıt karışımında 58,01 dm<sup>3</sup>/s ve A15 yakıt karışımında 58,71 dm<sup>3</sup>/s olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.9. Hava tüketimi test yanıtlarının grafiği

#### 4.8.6. Gürültü değerlerinin karşılaştırılması

Motor devir aralıklarına bağlı olarak; benzin, A5, A10 ve A15 yakıtlarına bağlı gürültü değişimleri şekil 4.10'da gösterilmiştir. Gürültü, motor devrinin artışıyla beraber test edilen bütün yakıtlarda artış göstermiştir. En düşük gürültü değeri 1000 dev/dak'da A15 yakıt karışımında 80,8 dB olarak ölçülmüştür. Benzinde ise aynı devirde 83,1 dB dir.

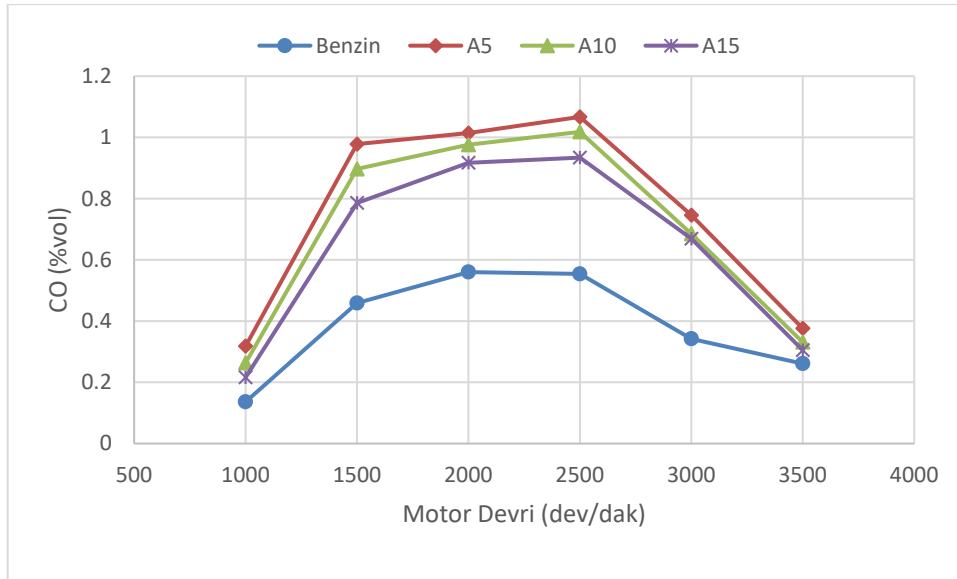


Şekil 4.10. Gürültü test yanıtlarının grafiği

En yüksek gürültü değerleri 3500 dev/dak'da, sırasıyla; benzinde 103,1 dB, A5 yakıt karışımında 102,7 dB, A10 yakıt karışımında 102,3 dB ve A15 yakıt karışımında 102 dB olarak ölçülmüştür. Avgas kullanımı gürültü değerlerinin azalmasını sağlamıştır. Sonuçların Soydaş (2007) yaptığı çalışma ile benzer olduğu görülmüştür.

#### 4.8.7. CO emisyon değerlerinin karşılaştırılması

Motor devir aralıklarına bağlı olarak; benzin, A5, A10 ve A15 yakıtlarına bağlı CO emisyonu değişimleri şekil 4.11'de gösterilmiştir. Yapılan ölçümlerde en düşük CO emisyonları, benzinde 1000 dev/dak'da %0,136, A15 yakıt karışımında 1000 dev/dak'da %0,216, A10 yakıt karışımında 1000 dev/dak'da %0,263 ve A5 yakıt karışımında 1000 dev/dak'da %0,263 olarak ölçülmüştür. Avgas kullanımı CO emisyon değerlerini benzine göre artırmıştır. Ancak %10 avgas karışımından sonra Avgas miktarının artırılması, CO emisyonunda düşüş göstermiştir.



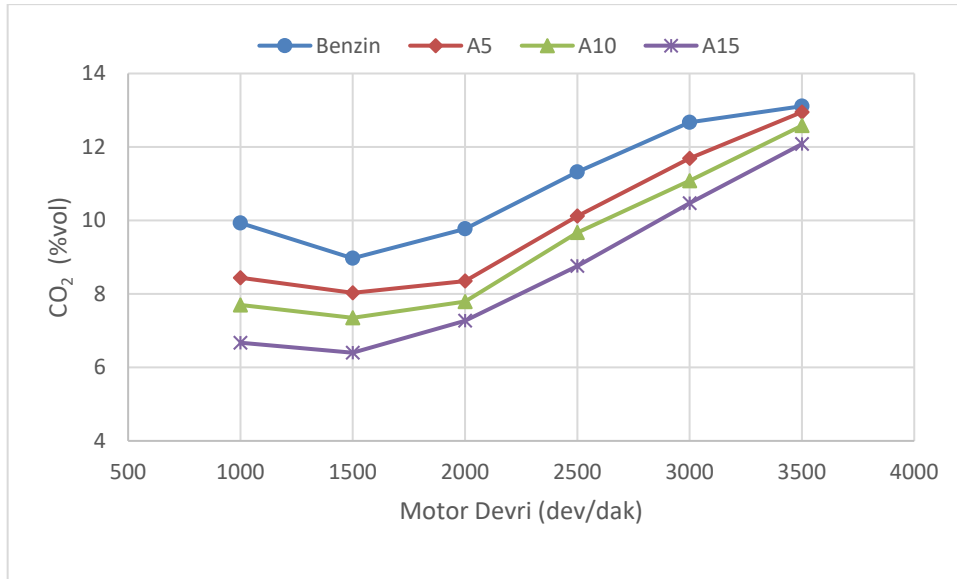
Şekil 4.11. CO emisyonu test yantlarının grafiği

CO emisyonu oluşumu esas olarak yakıtın eksik yanmasından kaynaklanmaktadır (Senthur ve ark., 2018). CO emisyon değeri, oksijenin yetersiz olması veya tam yanmanın olmaması durumlarında ortaya çıkmaktadır. Ancak yakıt karışımlarının homojen olmamasından dolayı da bölgesel olarak oksijen yetersizliği de oluşabilmektedir. CO emisyonu, hava fazlalık katsayısının önemli bir fonksiyonu olması ve yanma ürünleri arasında motorda kullanılmayan gücü gösterdiği için önemli bir parametredir (Aydoğan, 2011).

Turboşarjın etkisinin az olduğu motorun düşük devirlerinde içeriye yeterli miktarda hava alınmamasından dolayı CO emisyon değerleri artmaktadır. 2500 dev/dak'dan sonra turboşarjın etkisinin artmasıyla birlikte tüm yakıt karışımlarında daha iyi yanma gerçekleşmiştir ve CO emisyon değerleri azalmıştır. Yanma sıcaklığının yükselmesi ve daha fazla hava miktarı daha düşük CO emisyonu sağlamıştır. Sonuçların Mohsin ve Rajendran (2018), ayrıca Kumar ve ark. (2019) yaptıkları çalışmalar ile uyumlu olduğu görülmüştür.

#### 4.8.8. CO<sub>2</sub> emisyon değerlerinin karşılaştırılması

Motor devir aralıklarına bağlı olarak; benzin, A5, A10 ve A15 yakıtlarına bağlı CO<sub>2</sub> emisyonu değişimleri şekil 4.12'de gösterilmiştir. En düşük CO<sub>2</sub> emisyon değerleri 1500 dev/dak'da, A15 yakıt karışımında %6,4, A10 yakıt karışımında %7,35, A5 yakıt karışımında %8,03 ve benzinde %8,97 olarak ölçülmüştür. 1500 dev/dak'dan sonra motor devri ile beraber CO<sub>2</sub> emisyonu artmaktadır. Ancak Avgas kullanımı CO<sub>2</sub> emisyonunu azaltmıştır.

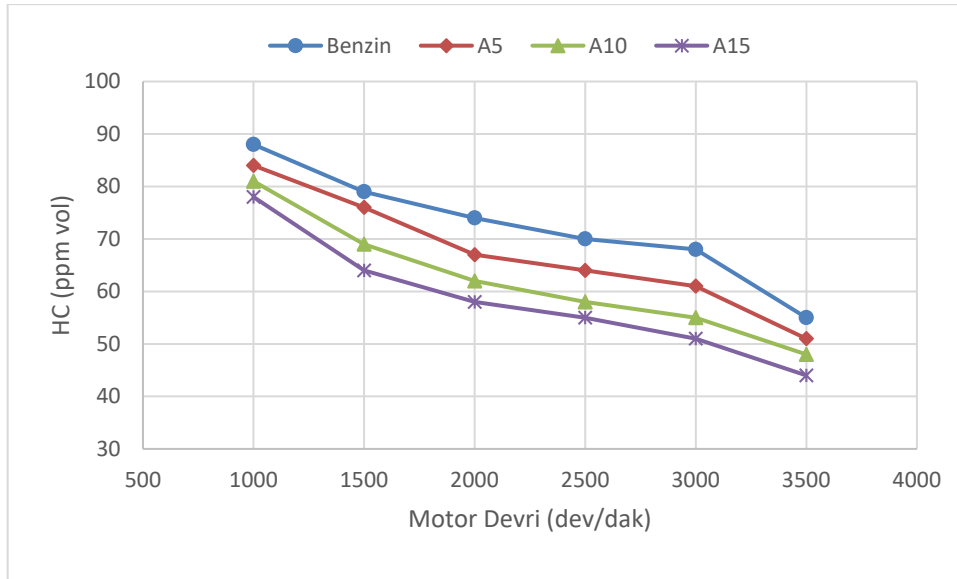


Şekil 4.12. CO<sub>2</sub> emisyonu test yanıtlarının grafiği

Yakıtın tamamen yanması sonucunda CO<sub>2</sub> emisyonu meydana gelmektedir (Sathish ve ark., 2018). Artan CO<sub>2</sub> emisyonunun atmosferde sera etkisi oluşturması, günümüzde dünyanın önemli çevre sorunlarından biri olan küresel ısınmada temel etkenlerden biridir. Düşük devirlerde yükün artmasıyla yanma kötüleşmektedir ve CO<sub>2</sub> emisyonları azalmaktadır. Motor devrinin artmasıyla beraber turboşarjın etkisi artmakta ve içeriye daha fazla oksijen alınmaktadır. Dolayısıyla yanma iyileşmektedir. Bunun sonucunda da CO<sub>2</sub> emisyonları artmaktadır. Zengin yakıt karışımında ise C atomu artmakta ve yakacak oksijen bulamamaktadır. Dolayısıyla CO<sub>2</sub> emisyonu azalmaktadır. Avgasın, katkı maddesi olan TEL'in yanmaya karşı gösterdiği dirençten dolayı CO<sub>2</sub> emisyonunu azalttığı söylenebilir. Sonuçların Şimşek (2016) yaptığı çalışma ile benzer olduğu görülmüştür.

#### 4.8.9. HC emisyon değerlerinin karşılaştırılması

Motor devir aralıklarına bağlı olarak; benzin, A5, A10 ve A15 yakıtlarına bağlı HC emisyonu değişimleri şekil 4.13'de gösterilmiştir. En düşük HC emisyon değerleri 3500 dev/dak'da, A15 yakıt karışımında 44 ppm, A10 yakıt karışımında 48 ppm, A5 yakıt karışımında 51 ppm ve benzinde 55 ppm olarak ölçülmüştür. Motor devri ile beraber HC emisyonu azalmaktadır. Avgas kullanımı da HC emisyonunu azaltmıştır.

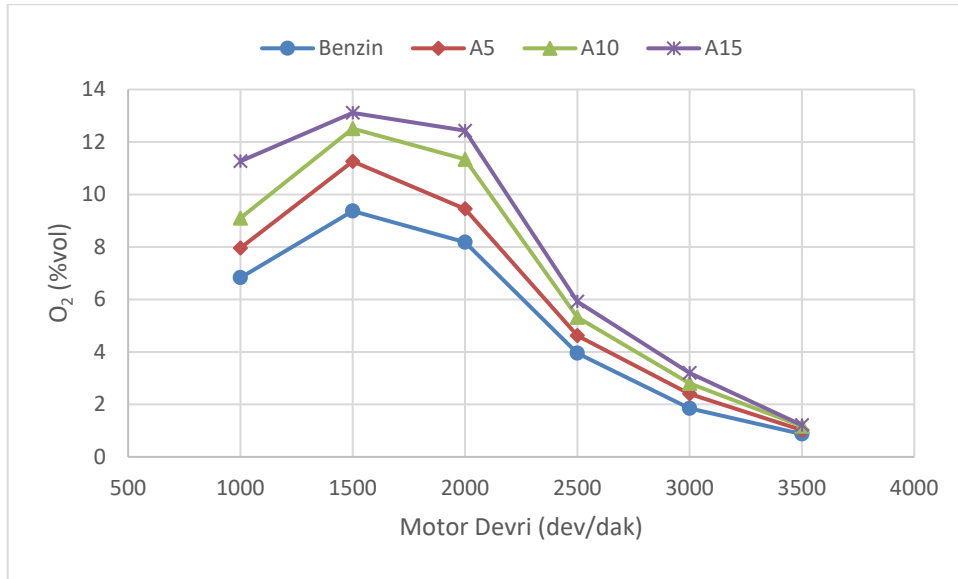


Şekil 4.13. HC emisyonu test yanıtlarının grafiği

HC emisyonu egzozdan atılan yanmamış yakıt partiküllerinden oluşmaktadır. HC emisyonu oluşumu yakıtın yanma için yeterli oksijen ve zamanı bulamayışından ve tutuşma sıcaklığına gelememesinden dolayı gerçekleşir (Lieberman, 2010). Motor ilk çalıştırıldığında zengin karışımda çalıştığından yüksek HC emisyonu görülmektedir (Pulkrabek, 1997). Ayrıca silindir ile piston arasındaki boşluğun etkileri, yağlama yağının yüzeyde tutma etkileri ve kısmi yanma etkilerinden de HC emisyonları meydana gelmektedir (Uyumaz, 2014). Motor devrinin artmasıyla, silindir içerisinde daha iyi homojen karışım meydana gelir. Bunun sonucunda da HC emisyonları azalma eğilimi gösterir. Ayrıca Avgas kullanımı ile birlikte silindir içindeki sıcaklık arttığı için HC emisyonları azalmıştır. Sonuçların Balicki ve ark. (2010) yaptıkları çalışma ile uyumlu olduğu görülmüştür.

#### 4.8.10. O<sub>2</sub> emisyon değerlerinin karşılaştırılması

Motor devir aralıklarına bağlı olarak; benzin, A5, A10 ve A15 yakıtlarına bağlı O<sub>2</sub> emisyonu değişimleri şekil 4.14'de gösterilmiştir. En düşük O<sub>2</sub> emisyonları 3500 dev/dak'da sırasıyla benzinde %0,87, A5 yakıt karışımında %1,02, A10 yakıt karışımında %1,17 ve A15 yakıt karışımında %1,21 olarak ölçülmüştür. En yüksek O<sub>2</sub> emisyonu 1500 dev/dak'da olduğu görülmüştür. Bu devirden sonra O<sub>2</sub> emisyonu azalma eğilimi göstermiştir. Avgas kullanımı O<sub>2</sub> emisyonunu artırmıştır. Sonuçların Kırmaz (2019) yaptığı çalışma ile benzer olduğu görülmüştür.

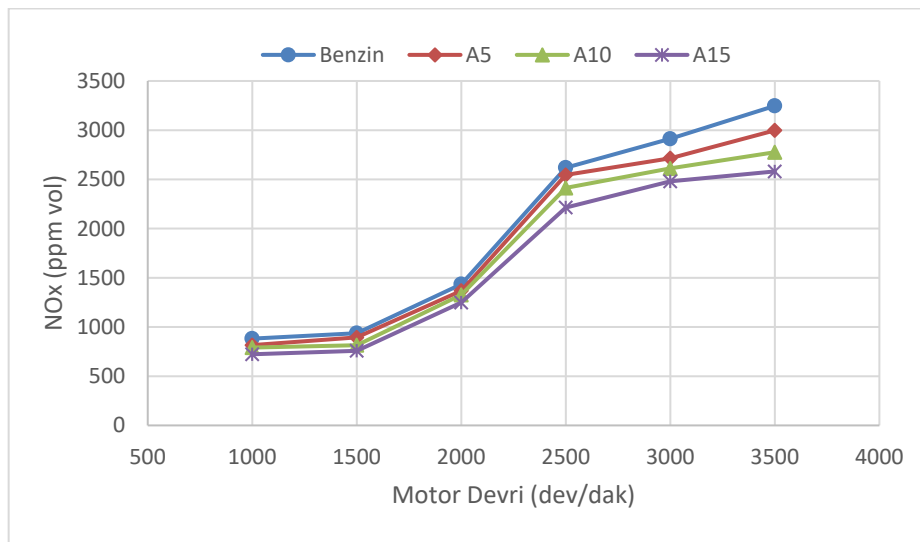


Şekil 4.14. O<sub>2</sub> emisyonu test yanıtlarının grafiği

#### 4.8.11. NO<sub>x</sub> emisyon değerlerinin karşılaştırılması

Azot ve oksijenin yanma odasında reaksiyonu sonucu oluşan NO<sub>x</sub> emisyonu istenmeyen bir emisyondur. Genellikle havada ki azottan oluşmaktadır (Aşcı, 2018). Yanma sıcaklığı, yanma süresi, hava/yakıt oranı ve silindir basıncı NO<sub>x</sub> oluşumu ile doğrudan alakalıdır (Pulkrabek, 1997).

Motor devir aralıklarına bağlı olarak; benzin, A5, A10 ve A15 yakıtlarına bağlı NO<sub>x</sub> emisyonu değişimleri şekil 4.15’de gösterilmiştir. En düşük NO<sub>x</sub> emisyon değerleri 1000 dev/dak’da sırasıyla A15 yakıt karışımında 723 ppm, A10 yakıt karışımında 791 ppm, A5 yakıt karışımında 816 ppm ve benzinde 882 ppm olarak ölçülmüştür. Motor devri ile beraber NO<sub>x</sub> emisyon değerlerinde artış gözlenmiştir. Ancak Avgas kullanımı her devirde NO<sub>x</sub> emisyon değerlerini azaltmıştır.



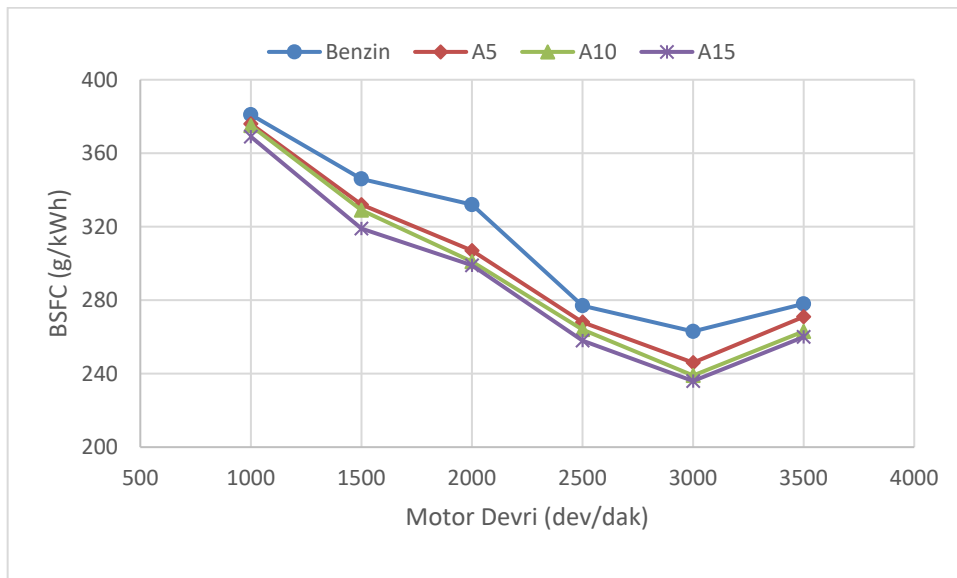
Şekil 4.15. NO<sub>x</sub> emisyonu test yanıtlarının grafiği

Yük artışıyla beraber silindir içerisindeki ortalama gaz ısısı yükselir, buda NOx emisyonunu artırır (Xue ve ark., 2011). Yanma sonucunda ulaşılan yüksek sıcaklıklarda, azot oksijen ile reaksiyona girerek NOx meydana gelmektedir (Özsezen ve Çanakçı, 2009). Ancak Avgas içeren yakıt karışımlarında yanmaya karşı gösterilen direnç ve direkt enjeksiyon teknolojisi ile NOx emisyonlarının azaldığı söylenebilir. Ayrıcı şekil 4.14'de O<sub>2</sub> emisyon değerleri ile karşılaştırıldığında tam bir aynalama yaptığı görülmüş ve bu iki grafik birbirini doğrulamıştır. Sonuçların Mohsin ve Rajendran (2018) yaptıkları çalışma ile uyumlu olduğu görülmüştür.

#### 4.8.12. Özgül yakıt tüketimi değerlerinin karşılaştırılması

Özgül yakıt tüketimi, harcanan yakıtın üretilen enerjiye oranı ile belirlenmektedir (Özer, 2014). Motor verimliliğini gösteren çok kritik bir motor performans parametresidir (Baş ve ark., 2020). Yakıt tüketiminde, yakıtın fiziksel ve kimyasal özellikleri önemli bir rol oynamaktadır (Xue ve ark., 2011). Reaksiyon bölgelerinde, iyi atomize olmayan yakıt azalmaya neden olduğundan yakıt tüketimi artmaktadır (Özsezen ve Çanakçı, 2009).

Motor devir aralıklarına bağlı olarak; benzin, A5, A10 ve A15 yakıtlarına bağlı özgül yakıt tüketimi değişimleri şekil 4.16'da gösterilmiştir. En düşük özgül yakıt tüketimi değerleri 3000 dev/dak'da sırasıyla, A15 yakıt karışımında 236 g/kWh, A10 yakıt karışımında 239 g/kWh, A5 yakıt karışımında 246 g/kWh ve benzinde 263 g/kWh olarak ölçülmüştür. 3000 dev/dak'ya kadar özgül yakıt tüketimi azalmış bu devirden sonra ise tekrar artış göstermiştir. Avgas kullanımı ise özgül yakıt tüketimini azaltmıştır. Bunun nedeni avgasın alt ısıl değerinin benzinden yüksek olmasıdır.



Şekil 4.16. Özgül yakıt tüketimi test yanıtlarının grafiği

Alt ısı değer ile özgül yakıt tüketimi arasında ters orantı vardır. Alt ısı değer arttıkça özgül yakıt tüketimi azalmaktadır (Prbakaran ve Viswanatham, 2016). Benzinin alt ısı değerinin düşük olması sebebiyle aynı gücü sağlamak için daha fazla yakıt kullanılmaktadır.

Düşük motor devirlerinde, türbülansın kötü olması ve hareketli parçaların atalet kuvvetlerinin fazla olması özgül yakıt tüketimini artırmıştır. Orta motor devirlerinde, yeterli yanma süresi olması ve türbülansın iyi olması nedeniyle homojen karışımın olması özgül yakıt tüketimini düşürmüştür. Yüksek motor devirlerinde ise sürtünme kayıplarının artması, homojen karışım ve yeterli yanma süresinin olmaması nedeniyle özgül yakıt tüketimi artmıştır (Örs, 2014; Özdemir, 2011). Sonuçların Rambok ve Majid (2018) yaptıkları çalışma ile uyumlu olduğu görülmüştür.

#### **4.8.13. Silindir içi basınç değerlerinin karşılaştırılması**

Silindir içi basınç, silindir hacminin değişmesinden, yakıtın yanma şeklinden, silindir duvarlarına etki eden ısı transferlerinden ve sıkıştırma esnasında gerçekleşen kaçaklardan etkilenmektedir (Heywood, 1988). Herhangi bir yakıtın içten yanmalı bir motorda yakılması sonucunda silindir içerisinde oluşan mekanik yüklemelerin krank açısına göre dağılımı silindir içi basınç eğrileri ile belirtilir (Aydoğan, 2015). Silindir içi basınç; yakıtın viskozitesine, yoğunluğuna, atomizasyonuna, oktan sayısına ve motor yüküne, devrine bağlı olarak değişmektedir (Tesfa ve ark., 2013; Türkcan ve Çanakçı, 2009).

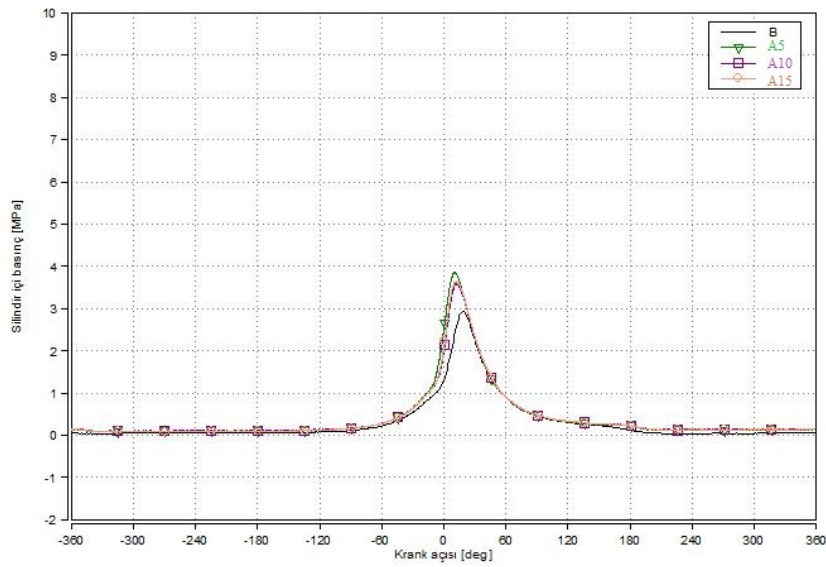
Şekil 4.17 ve şekil 4.18’de, testlerde kullanılan yakıtların 2000 ve 3500 dev/dak’da ki silindir içi basınç grafikleri görülmektedir. 2000 dev/dak’da silindir içi basınç grafiği incelendiğinde; maksimum basınç A5 yakıt karışımında 3,8 MPa ve ÜÖN’den yaklaşık 9,8 °KA sonra meydana gelmiştir. Diğer yakıt karışımlarında ise sırasıyla; A15 yakıt karışımında 3,3 MPa ve 10 °KA, A10 yakıt karışımında 3,25 MPa ve 10 °KA ve benzinde 2,95 MPa ve 18 °KA olarak meydana gelmiştir.

3500 dev/dak’da silindir içi basınç grafiği incelendiğinde; maksimum basınç A15 yakıt karışımında 7,6 MPa ve ÜÖN’den yaklaşık 20 °KA sonra meydana gelmiştir. Diğer yakıt karışımlarında ise sırasıyla; A5 yakıt karışımında 7,4 MPa ve 10 °KA, A10 yakıt karışımında 7,35 MPa ve 15 °KA ve benzinde 7,2 MPa ve 12,5 °KA olarak meydana gelmiştir.

3500 dev/dak'da A15 yakıt karışımının benzine göre tutuşma gecikmesinin daha belirgin olduğu görülmektedir. Bunun nedeni Avgas'ın yakıttaki oktan seviyesini artırması sonucunda yakıtın daha geç tutuşmasıdır.

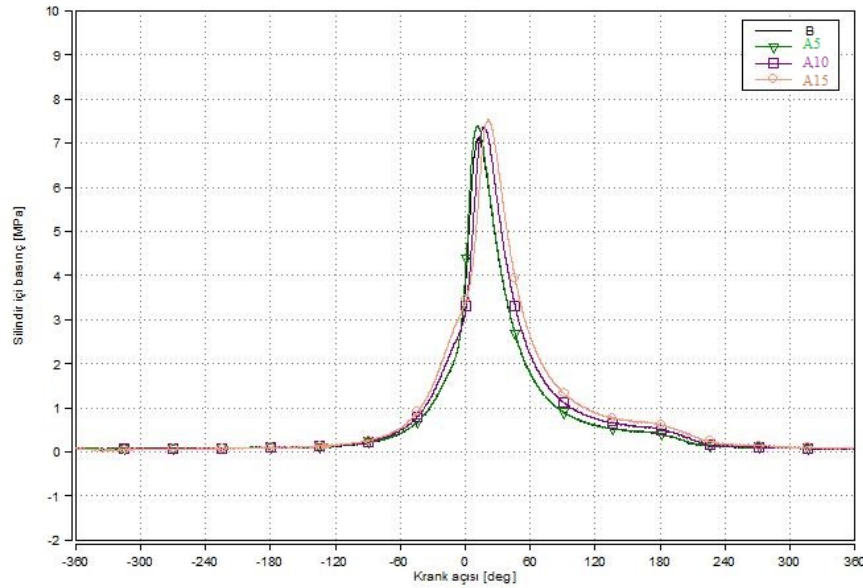
Avgas kullanımı ile birlikte silindir içi basıncın arttığı görülmüştür. Avgas ile yakıtın oktan seviyesi artmaktadır. Oktan sayısının artması yakıtın yanma davranışını geliştirmektedir. Aynı zamanda motor devri arttıkça silindir içi basıncında artışı görülmüştür. Çünkü artan devir ile birlikte silindire daha fazla yakıt/hava karışımı girmekte ve enerji yoğunluğu artmaktadır.

Silindir içi basınç verimli yanmanın ve motor performansına yakıtın etkisi noktasında önemli bir kriterdir. Oluşan yüksek basınç, pistonun alt ölü noktaya olan hareketinde daha fazla itme kuvveti uyguladığından motor performansına olumlu etki etmektedir. Sonuçlar Anderson ve ark. (2011) yaptığı çalışma ile benzerlik göstermektedir.



Created with Concordio Student Edition. Licensed for: SELÇUK UNIVERSITY

Şekil 4.17. 2000 dev/dak'da silindir içi basınç grafiği



Created with Concordia Student Edition. Licensed for: SELCUK UNIVERSITY

Şekil 4.18. 3500 dev/dak'da silindir içi basınç grafiği

#### 4.8.14. Isı salınım oranı değerlerinin karşılaştırılması

Motorda yakılan yakıtın kimyasal enerjisinin yanma süresi esnasında hangi oranda enerjiye dönüştüğünün göstergesi ısı salınım oranıdır. Isı salınım oranı tutuşma gecikmesi sırasında silindirden ısı çekildiği için azalmakta, yanma başladıktan sonra maksimum noktaya ulaşmakta ve bu noktadan sonra tekrar azalmaktadır.

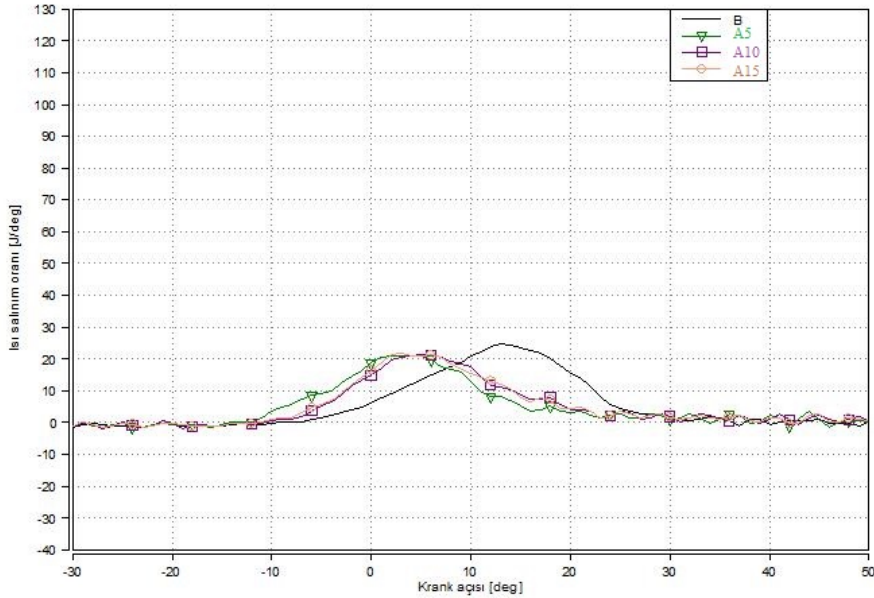
Şekil 4.19 ve şekil 4.20'de, testlerde kullanılan yakıtların 2000 ve 3500 dev/dak'da ki ısı salınım oranı grafikleri görülmektedir. 2000 dev/dak'da ısı salınım oranı grafiği incelendiğinde; maksimum ısı salınım oranı benzinde 24,98 J/deg olduğu görülmektedir. Diğer yakıt karışımlarında ise sırasıyla; A15 yakıt karışımında 21,66 J/deg, A10 ve A5 yakıt karışımlarında 20 J/deg olduğu görülmektedir.

3500 dev/dak'da ısı salınım oranı grafiği incelendiğinde; maksimum ısı salınım oranı A15 yakıt karışımında 100 J/deg olduğu görülmektedir. Diğer yakıt karışımlarında ise sırasıyla; A10 yakıt karışımında 74,98 J/deg, A5 yakıt karışımında 64,98 J/deg ve benzinde 61,66 J/deg olduğu görülmektedir.

3500 dev/dak'da ısı salınım oranı en düşük olan yakıt benzindir. Benzinin ısı salınım oranı eğrisi, A10 ve A15 yakıt karışımlarına göre daha solda olduğu görülmektedir. Bu durum için silindir içi basıncın benzinde daha erken yükselmesine bağlı olarak ısı dağılımının da erken oluştuğu söylenebilir. 2000 dev/dak'da ise Avgas kullanılan yakıtlara göre ısı salınım oranı eğrisi daha sağdadır. Çünkü silindir içi basınç

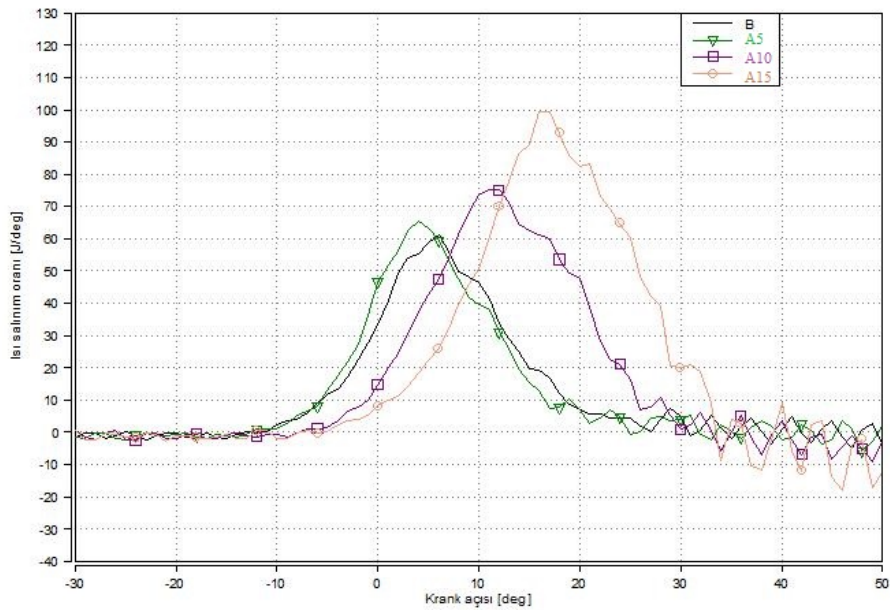
daha geç yükselmektedir ve bu duruma bağlı olarak ısı salınım oranı da daha geç artmaktadır.

Avgas kullanımı ile birlikte yakıtın yanmaya karşı direnç gösterdiği ancak daha fazla basınç nedeniyle de ısı salınım oranının arttığı gözlemlenmiştir. Sonuçların Polat ve ark.(2013) yaptıkları çalışma ile benzer olduğu görülmüştür.



Created with Concordia Student Edition. Licensed for: SELCUK UNIVERSITY

Şekil 4.19. 2000 dev/dak'da ısı salınım oranı grafiği



Created with Concordia Student Edition. Licensed for: SELCUK UNIVERSITY

Şekil 4.20. 3500 dev/dak'da ısı salınım oranı grafiği

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışmada Avgas yakıtının, VW marka dört zamanlı, dört silindirli ve direkt enjeksiyon sistemine sahip benzinli bir TSI motorda, belirli oranlarda benzin ile karışımları kullanılarak, motor performansı ve emisyon değerlerindeki değişiklikler araştırılmıştır.

Deneylerde, benzin, A5 (%95 benzin, %5 Avgas), A10 (%90 benzin, %10 Avgas) ve A15 (%85 benzin, %15 Avgas) yakıt karışımları kullanılarak toplamda 4 farklı yakıt ile motor gücü, motor moment, egzoz gaz sıcaklığı, motor yağı sıcaklığı, hava tüketimi, gürültü değerleri, silindir içi basınç ve ısı salınımı ve emisyon değerleri ölçülmüştür. Deneyler tam yük şartlarında, 1000 dev/dak ve 3500 dev/dak aralığında 3 kez tekrar edilerek yapılmıştır.

Taguchi metodu ile uygun faktör ve seviyeler seçilerek deneysel tasarım oluşturulmuştur. Yakıt karışımları faktör, motor devri ise seviye olarak belirlenmiştir. Oluşturulan deneysel tasarım ile model güvenirlilikleri yani deneylerin doğrulukları sağlanmıştır. ANOVA analizi yapılarak faktörlerin test sonuçlarının üzerindeki etkileri belirlenmiştir.

Deneysel tasarımla, sinyal/gürültü oranlarına göre sonuçların optimum faktör seviyeleri belirlenmiştir. Buna göre optimum faktör seviyeleri, motor moment, motor gücü, hava tüketimi, CO emisyonu ve HC emisyonu için 3500 dev/dak ve A15 yakıt karışımı, egzoz gazı sıcaklığı ve motor yağı sıcaklığı için 1500 dev/dak ve A5 yakıt karışımı, gürültü, CO<sub>2</sub> emisyonu ve NO<sub>x</sub> emisyonu için 1500 dev/dak ve A15 yakıt karışımı, O<sub>2</sub> emisyonu için 3500 dev/dak ve A5 yakıt karışımı, özgül yakıt tüketimi için ise 2500 dev/dak ve A15 yakıt karışımı olarak belirlenmiştir. Deneysel tasarım normal-olasılık grafiği, polinom regresyon grafiği, kontur grafiği ve sonuçların tahmin edilebilmesi için regresyon denklemleriyle desteklenmiştir.

Çalışmanın son aşamasında ise sonuçlar için elde edilen tüm sonuçlar benzin referans yakıtı ile karşılaştırılmıştır. Motor moment ve motor gücü değerlerinde Avgas kullanımı ile artış olduğu görülmüştür. En yüksek motor gücü değerleri 3500 dev/dak'da A15 yakıt karışımında 52,84 kW iken benzinde ise 50,99 kW'dır.

Egzoz gaz sıcaklığı, motor yağı sıcaklığı ve hava tüketimi değerlerinde Avgas kullanımı ile artış olduğu görülmüştür. En yüksek egzoz gaz sıcaklığı 3500 dev/dak'da benzinde 613 °C iken A15 yakıt karışımında 649 °C'dir. En yüksek motor yağı sıcaklıkları ise 3500 dev/dak'da benzinde 105,7 °C iken A15 yakıt karışımında 109,3

°C'dir. En yüksek hava tüketimi değerleri 3500 dev/dak'da benzinde 49,05 dm<sup>3</sup>/s iken A15 yakıt karışımında 58,71 dm<sup>3</sup>/s'dir.

Gürültü ve özgül yakıt tüketimi değerlerinde Avgas kullanımı ile azaldığı görülmüştür. En düşük gürültü değerleri 1000 dev/dak'da benzinde 83,1 dB iken A15 yakıt karışımında 80,8 dB'dir. En düşük özgül yakıt tüketimi değerleri ise 3000 dev/dak'da benzinde 263 g/kWh iken A15 yakıt karışımında 236 g/kWh'dir.

Emisyon değerlerinde Avgas kullanımı ile NO<sub>x</sub>, HC ve CO<sub>2</sub> emisyonlarında azalma görülürken, CO ve O<sub>2</sub> emisyonlarında artışlar görülmüştür. En düşük emisyon değerlerine bakıldığında; NO<sub>x</sub> emisyonunda 1000 dev/dak'da benzinde 882 ppm iken A15 yakıt karışımında 723 ppm, HC emisyonunda 3500 dev/dak'da benzinde 55 ppm iken A15 yakıt karışımında 44 ppm, CO<sub>2</sub> emisyonunda 1500 dev/dak'da benzinde %8,97 iken A15 yakıt karışımında %6,4, CO emisyonunda 1000 dev/dak'da benzinde %0,136 iken A15 yakıt karışımında %0,216, O<sub>2</sub> emisyonunda ise 3500 dev/dak'da benzinde %0,87 iken A15 yakıt karışımında %1,21 olarak ölçülmüştür.

Isı salınım oranlarının düşük devirlerde benzinde daha fazla olduğu görülürken devir artışı ile Avgas yakıtını hacimce daha fazla ihtiva eden yakıt karışımlarında daha fazla olduğu görülmüştür. 2000 dev/dak'da ısı salınım oranı benzinde 24,98 J/deg iken A15 yakıt karışımında 21,66 J/deg'dir. 3500 dev/dak'da ise benzinde 61,66 J/deg iken A15 yakıt karışımında 100 J/deg'dir. Silindir içi basınç değerlerinde ise Avgas kullanımı ile tüm devirlerde artış görülmüştür.

Yapılan deneyler sonrasında Avgas yakıtının TSI motorlarda %15 oranına kadar kullanılabilceği tespit edilmiştir. Benzine kıyasla Avgasın yüksek oktanlı olması, motorun daha yüksek sıkıştırma oranlarında kullanılmasına olanak sağlamaktadır. TSI motorda Avgas kullanımı yakıtın yanmaya karşı direncini artırmıştır. Bunun sonucunda da motor gücü, verimi artmış ve bazı emisyonlarla birlikte özgül yakıt tüketiminin azaldığı tespit edilmiştir.

Benzinli motorlara kıyasla diesel motorların emisyonlar açısından daha zararlı olduğu bilinmektedir. Bu sebeple benzinli motorlarda kullanılacak alternatif yakıt çalışmalarının hız kazanması gerekmektedir. Bundan sonraki çalışmalarda Avgas daha farklı karışım oranları ile yeni sistemlere sahip benzinli motorlar üzerinde kullanılarak araştırmalar yapılabilir. Farklı karışım oranları kullanılarak motorların sıkıştırma oranları yükseltilebilir ve bu sayede daha iyi motor performansları ve daha düşük emisyonlar elde edilebilir. Daha uzun süreli testlerin yapılması ile, uzun dönemde motor parçaları ve motor torku, güç, yakıt tüketimi ve emisyon değerlerindeki değişimler incelenebilir.

## KAYNAKLAR

- Acaroğlu, M., Ünalı, M. ve Aydoğan, H., 2010, Yakıtlar ve Yanma, *Nobel Yayın Dağıtım*, Ankara.
- Alpgiray, B., 2006, Kanola yağının diesel motorunun performansına ve emisyon karakteristiklerine etkilerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara,1-13.
- Anađun, S. A., 2000, Kalite kontrolde ileri teknikler ders notları.
- Anderson, E. K., Brown, A. C., Baranski, J., Hoke, J., L., Litke, P., J. and Schauer, F. R., 2011, Performance of low-octane fuel in a rotax 914 engine with advanced knock mitigation strategies, *47th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit 31 July - 03 August 2011*, San Diego, California.
- Anonymous, 2009, 1.2 ltr./77kW TSI petrol engine service booklet <https://procarmanuals.com/self-study-program-74-skoda-1-2-cbzb-77kw-tsi-petrol-engine-with-turbocharger/> [Ziyaret Tarihi: 15.03.2021].
- Anonymous, 2010a, AVGAS FACTS AND FUTURE, <https://www.shell.com/business-customers/aviation/aeroshell/knowledge-centre/technical-talk/techart12-30071515.html>. [Ziyaret Tarihi:01.07.2020].
- Anonymous, 2010b, Shell Spec Sheets, [http://www.epc.shell.com/Docs/GPCDOC\\_Fuels\\_Local\\_TDS\\_Aviation\\_Fuels\\_TDS\\_-\\_Avgas\\_100\\_100LL.pdf](http://www.epc.shell.com/Docs/GPCDOC_Fuels_Local_TDS_Aviation_Fuels_TDS_-_Avgas_100_100LL.pdf). [Ziyaret Tarihi: 01.07.2020].
- Anonymous, 2011, Alcohol, Lead, Compression Ratio: Fuel Guidance, *LTD, J. A.*, Queensland, Australia.
- Anonymous, 2012a, Federal Aviation Administration, *Unleaded AVGAS Transition Aviation Rulemaking Committee (UAT ARC)*, Final Report Part I Body, USA.
- Anonymous, 2012b, Federal Aviation Administration, *Unleaded AVGAS Transition Aviation Rulemaking Committee (UAT ARC)*, Final Report Part II Appendices, USA.
- Anonymous, 2013a, Learn about Lead, *U.S. EPA*, <http://www2.epa.gov/lead/learn-about-lead#lead> [Ziyaret Tarihi: 25.09.2020].
- Anonymous, 2013b, Lead: Protect Your Family, *U.S. EPA*, <http://www2.epa.gov/lead/protect-your-family#sl-home> [Ziyaret Tarihi: 18.09.2020].
- Anonymous, 2013c, AVGAS Grades and Specifications, *Shell Global*, <http://www.shell.com/global/productsservices/solutions-for-businesses/aviation/shell-aviation-fuels/fuels/types/avgas.html> [Ziyaret Tarihi: 01.09.2020].

- Anonymous, 2013d, Experimental Aircraft Ass'n., Avgas Specifications US Military and Commercial Specifications, [http://www.eaa.org/autofuel/avgas/avgas\\_specs.asp](http://www.eaa.org/autofuel/avgas/avgas_specs.asp) [Ziyaret Tarihi: 01.09.2020].
- Anonymous, 2015, Malaysia energy statistics, *In Suruhanjaya Tenaga Energy Commission*, Energy Commission.
- Anonymous, 2020, TSI, <https://www.volkswagen.co.uk/technology/engines/petrol>, [Ziyaret Tarihi: 01.07.2020].
- Aşcı, Z., 2018, Bir CRDI dizel motorda oksijen içerikli yakıt karışımlarının enjeksiyon, performans ve emisyon karakteristiklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli Üniversitesi*, Kocaeli.
- Atkins, D. R., 2009, An Introduction to Engine Testing and Development, *SAE International*, ISBN 978-0-7680-2099-1, SAE Order No. R-344, Printed in the United States of America, 289.
- Atwood, D., 2009, Full-scale engine detonation and power performance evaluation of swift enterprises 702 fuel, *Air Traffic Organization Operations Planning Office of Aviation Research and Development*, Washington, DC 20591.
- Atwood, D. and Rodgers, M., 2014, Anti-Knock Performance of Reduced Lead Aviation Gasoline in a Full-Scale Engine, *Springfield*, Virginia 22161.
- Aydoğan, H., 2011, Biyoetanol-dizel yakıtı karışımlarının (e-dizel) motor performans ve emisyonlarına etkisinin araştırılması, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- Aydoğan, H., 2015, Performance, Emission And Combustion Characteristics Of Bioethanol-Biodiesel-Diesel Fuel Blends Used In A Common Rail Diesel Engine, *Journal of Thermal Science and Technology*, 35, 2, 19-27, ISSN: 1300-3615.
- Balicki, W., Irzycki, A. and Snopkiewicz, K., 2010, Comparison the piston air engine performance with aviation gasoline (avgas) or the E-85 ecological fuel supply, *Journal of KONES Powertrain and Transport*, Vol. 17, No. 3.
- Baş, O., Akar, M. A., Serin, H., Özcanlı, M. and Tosun, E., 2020, Variation of spark plug type and spark gap with hydrogen and methanol added gasoline fuel: Performance characteristics, *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(50), 26513-26521.
- Berry, M., 2009, Autogas vs Avgas, <http://www.eaa.org/autofuel/autogas/articles/1AutogasvsAvgas.pdf>. [Ziyaret Tarihi: 01.07.2020].
- Boguszewicz, P., 2011, Research for performance and combustion emissions Franklin-4A fuelled fuel avgas and E85, *Prace Instytutu Lotnictwa*, 213, s. 189-203, Warszawa.
- Candan, F., 2012, Dizel metanol ve katkı maddelerinin dizel motor performansı ve emisyonuna etkisinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi*, Konya.

- Candiotti, L. V., Dezan, M. M., Camara, M. S. and Goicoechea, H. C., 2014, Experimental design and multiple response optimization. Using the desirability function in analytical methods development, *Talanta*, vol. 124, pp. 123–138.
- Chambers, J., Cleveland, W., Kleiner, B. and Tukey, P., 1983, *Graphical Methods for Data Analysis*, Wadsworth.
- Compton, T. J., 2008, Flight performance testing of ethanol/100LL fuel blends during cruise flight, Master of Degree, *Baylor University*.
- Czarnigowski, J., Jaklinski, P. and Wendeker, M., 2010, Fuelling of aircraft radial piston engines by ES95 and 100LL gasoline, *Fuel*, 89, 3568–3578
- Çeber, Y., 2010, Hata Türü ve Etkileri Analizi Yönteminin (FMEA) Üretim Sektöründe Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Toplam Kalite Yönetimi Anabilim Dalı*, İzmir.
- Çınar, C., Uyumaz, A., Solmaz, H., Şahin, F., Polat, S., and Yılmaz, E., 2015, Effects of intake air temperature on combustion, performance and emission characteristics of a HCCI engine fuelled with the blends of 20 % n-heptane and 80 % isooctane fuels, *Fuel Processing Technology*, 130, 275-281.
- Eliçin, K. A., 2011, Biyodizel Yakıtla Çalıştırılan Küçük Güçlü Bir Dizel Motorun Performans Ve Emisyonuna Giriş Hava Basıncı Etkisinin Deneysel Olarak Araştırılması, Doktora Tezi, *Ankara Üniversitesi*, 1-10.
- Gilles, T., 2011, *Automotive Engines, Diagnosis, Repair And Rebuilding*, Delmar, New York, United States of America, 6th Edition, 366-375.
- Hazar, H., Temizer, İ. ve Gür, F., 2011, Bir dizel motorunun motor performansı ve motor parçaları üzerinde katkı maddelerinin etkisinin incelenmesi, *6th International Advanced Technologies Symposium*.
- Heywood, B. J. 1988, *Internal Combustion Engine Fundamentals*, McGraw-Hill.
- İzgiz, S. 1999, *Deney Tasarımı ve Taguchi Metodu - Ürün ve Proseslerin Optimizasyonu*, Kocaeli.
- Jaklinski, P., Wendeker, M., Czarnigowski, J., Duk, M., Zyska, T. and Klimkiewicz, J., 2009, The comparison of the operating parameters in an aircraft radial piston engine fuelled by 100LL and ES95 gasoline, *Combustion Engines*, No. 1/2009 (136).
- Kaçkar, N. R., 1989, Taguchi's quality philosophy: analysis and commentary, *In Quality control, robust design, and the Taguchi method*, pp. 3-21, Springer, Boston, MA.
- Kırmaz, İ., 2019, Yeni nesil yakıt sistemine sahip benzinli motorlarda LPG' nin deneysel olarak incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü, Necmettin Erbakan Üniversitesi*, Konya.

- Kitman, J. L., 2000, The Secret History of Lead, <http://www.thenation.com/article/secret-history-lead?page=full#> [Ziyaret Tarihi: 15.09.2020].
- Kodanlı, E., 2016, Buji ateşlemeli bir motorda, farklı etanol-benzin karışımları kullanımının motor performans ve egzoz emisyonlarına etkilerinin deneysel araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale*.
- Kumar, S. R., Sureshkumar, K. and Velraj, R., 2015, Optimization of biodiesel production from Manilkara zapota (L.) seed oil using Taguchi method, *Fuel*, 140:90–6.
- Kumar, T. B., Panda, A., Sharma, G. K., Johar, A. K., Kar, S. K. and Boolchandani, D., 2020, Taguchi DoE and ANOVA: A systematic perspective for performance optimization of cross-coupled channel length modulation OTA, *AEU-International Journal of Electronics and Communications*, 116: 153070.
- Kumar, T., Mohsin, R., Ghafir, A. M. F., Kumar, I. and Wash, M. A., 2018, Concerns over use of leaded aviation gasoline (AVGAS) fuel, *Chem Eng Trans*, 63.
- Kumar, T., Mohsin, R., Majid, Z. A. and Ghafir, F. A., 2020, Material and chemical stability of using motor gasoline/automotive gasoline in piston engine aircrafts – a review, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 884 012015.
- Kumar, T., Mohsin, R., Majid, Z. A., Ghafir, M. A. F., Kim, J. Y. and Wash, A. M., 2019, Response surface methodology (RSM) in optimization of performance and exhaust emissions of RON 97, RON 98 and RON 100 (motor gasoline) and Avgas 100LL (Aviation gasoline) in Lycoming O-320 Engine, *SAE International Journal of Engines*, Vol. 12, No. 4, pp. 427-454.
- Kutner, H. M., Nachtsheim, J. C., Neter, J. and Li, W., 2005, Applied Linear Statistical Models, *Fifth Edition, The McGraw-Hill/Irwin Series*, p. 1420.
- Lewis, J., 1985, EPA Journal, <http://www2.epa.gov/aboutepa/lead-poisoninghistorical-perspective> [Ziyaret Tarihi: 18.09.2020].
- Liberman, A. M., 2010, Introduction to physics and chemistry of combustion: explosion, flame, detonation, *Springer Science & Business Media*, p.
- Mitra, A., 1993, Fundamentals of Quality Control and Improvement, *Macmillan Publishing Company, Toronto*.
- Mohsin, R. and Rajendran, Y., 2018, Emission due to motor gasoline fuel in reciprocating Lycoming O-320 engine in comparison to aviation gasoline fuel, *Environment & Ecosystem Science (EES)*, 2(2) 20-24.
- Montgomery, C. D., 1991, Introduction to Statistical Quality Control, *John Wiley&Sons Inc, New York*.

- Nalbant, M., Gökkaya, H. and Sur, G., 2007, Application of Taguchi method in the optimization of cutting parameters for surface roughness in turning, *Materials & Design*, 28, 1379-1385.
- Nurmehr, A., 2017, Impact assessment of aviation gasoline formulation change on aircraft operating limitation, Master of Science, *Aerospace Engineering, Delft University of Technology*.
- Örs, İ., 2014, Biyoyakıt kullanan bir dizel motorunun performans, yanma ve emisyon analizi, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi, Konya*.
- Özdemir, M., 2011, Bir dizel motorda biyodizel ve etanol kullanımının motor performansına ve emisyonlara etkisinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi, Karabük*.
- Özer, S., 2014, Alkollerin İçtenYanmalı Motorlarda Alternatif Yakıt Olarak Kullanılması, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 19(1), 97-114.
- Özsezen, N. A. ve Çanakçı, M., 2009, Biyodizel ve karışımlarının kullanıldığı bir dizel motorda performans ve emisyon analizi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 15 (2),173-180.
- Palash, M. S., Kalam, A. M., Maşjuki, H. H., Arbab, I. M., Masum, M. B. and Sanjid, A., 2014, Impacts of NOx reducing antioxidant additive on performance and emissions of a multi-cylinder diesel engine fueled with, *Energy Conversion and Management*, 77, 577-585.
- Polat, S., Solmaz, H., Yücesu, H. S. ve Uyumaz, A., 2013, Bir dizel motorunun bilgisayar yardımı ile termodinamik ve performans analizi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 1(3):139-151.
- Prbakaran, B. and Viswanathan, D., 2016, Experimental investigation of effects of addition of ethanol to bio-diesel on performance, combustion and emission characteristics in CI engine, *Alexandria Engineering Journal*.
- Pulkrabek, W. W., 1997, Engineering fundamentals of the Internal Combustion Engine, 1st ed., *Prentice Hall, New Jersey*.
- Rambok, A. and Majid, Z., 2018, Comparison of leaded and unleaded aviation gasoline based on engine performance, *Energy Reviews (ER)*, 2(2) 08-11.
- Ross, P. J., 1988, Taguchi Techniques for Quality Engineering, *McGraw-Hill Publishing Company, TS156.R67, New York, USA*.
- Ross, P. J., 1996, Taguchi Techniques for Quality Engineering, *McGraw-Hill Press, New York*.

- Sağlam, M., 2016, Taguchi Deney Tasarım Yöntemi Kullanılarak Sementasyon Çeliğinin Teğetsel Silindirik Taşlama Yöntemi İle İşlenmesinde Kesme Parametrelerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı*, Elazığ.
- Sathish, R. K., Sureshkumar, K. and Velraj, R., 2018, Combustion, Performance and Emission Characteristics of an Unmodified Diesel Engine Fueled with Manilkara Zapota Methyl Ester and Its Diesel Blends, *Appl. Therm. Eng.*, 139:196–202.
- Senthur, S. P., Asokan, A. M., Prathiba, S., Ahmed, S. and Puthean, G., 2018, Effect of Additives on Performance, Combustion and Emission Behavior of Preheated Palm Oil/Diesel Blends in DI Diesel Engine, *Renew. Energ.*, 122: 196–205.
- Sezgin, B., Bilen, K. ve Çelik, V., 2013, Bir Dizel Motorun Doğal Gazla Çalışır Hâle Getirilmesi Ve Dönüştürülmüş Motorun Performans Ve Egzoz Emisyonunun Deneysel Analizi, *Mühendis ve Makine*, 54 (642), 41-51.
- Solmaz, H., Uyumaz, A., Yılmaz, E., Yamık, H. and Polat, S., 2014, Experimental examination of the effects of military aviation fuel jp-8 and biodiesel fuel blends on the engine performance, exhaust emissions and combustion in a direct injection engine, *Fuel Processing Technology*, 128, 158-168.
- Soydaş, İ. H., 2007, Taşıtlarda gürültü sebebinin tespiti ve giderilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü, Mustafa Kemal Üniversitesi*, Hatay.
- Sucu, Y., 2010, Yönetimde Öngörü ve Öngörü Yöntemleri, <http://www.yasarsucu.net/word/yo.doc> [Ziyaret Tarihi: 30.12.2020].
- Sun, G., Fang, J., Tian, X., Li, G. and Li, Q., 2015, Discrete robust optimization algorithm based on Taguchi method for structural crashworthiness design, *Expert Systems with Applications*, 42, 4482-4492.
- Şahin, S., 2013, Keten yağı biyodizelinin ve motorinle karışımlarının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi*, Konya.
- Şimşek, B., 2014, Hazır Betonun Optimal Karışım Oranlarının Belirlenmesi İçin Bir Çok Yanlıtlı Modelleme ve Eniyileme Uygulaması: Topsis Tabanlı Taguchi Yaklaşımı İle Cevap Yüzey Yöntem, Doktora Tezi, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı*, Ankara.
- Şimşek, R., 2016, Ketencik biyodizelinin üretilmesi, içten yanmalı bir motorun performans ve emisyonlarına etkisinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi*, Konya.
- Taguchi, G., Chowdhury, S. and Taguchi, S., 1999, Robust Engineering, *McGraw-Hill Publishing Company*, TS156.T335, New York, USA.

- Tesfa, B., Mishra, R., Zhang, C., Gu, F. and Ball, D. A., 2013, Combustion and performance characteristics of CI engine runnin with biodiesel, *Energy*, 51,101-115.
- Thom, M. and Atwood, D., 2011, Review of Certificates of Analysis and Test Data of Aviation Gasoline for Current Ranges of Lead Additive, *Springfield*, Virginia 22161.
- Tosun, E. and Özcanlı, M., 2021, Hydrogen enrichment effects on performance and emission characteristics of a diesel engine operated with diesel-soybean biodiesel blends with nanoparticle addition, *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 24(3), 648-654.
- Türkcan, A. and Çanakçı, M., 2009, Experimental investigation of combustion characteristics and emissions of an indirect injection diesel engine under different operating conditions, *Energy & Fuels*, 23,1790–1796.
- Uyumaz, A., 2014, Homojen dolgulu sıkıştırma ile ateşlemeli bir benzin motorunda supap kalkma miktarının yanma ve performans etkilerinin incelenmesi, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 87-123, Ankara.
- Uyumaz, A., Solmaz, H., Yılmaz, E., Yamık, H. and Polat, S., 2014, Experimental examination of the effects of military aviation fuel JP-8 and biodiesel fuel blends on the engine performance, exhaust emissions and combustion in a direct injection engine, *Fuel Processing Technology*, 128,158–165.
- Xie, J., Zhou, Y. and Tian, M., 2014, Study on continuing airworthiness of reciprocating aeroengine about valve sticking and valve breakage, *3rd International Symposium on Aircraft Airworthiness, ISAA, Procedia Engineering*, 80 445 – 455.
- Xue, J., Grift, E. T. and Hansen, C. A., 2011, Effect of biodiesel on engine performances and emissions, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15,1098- 116.
- Yanar, N., 2008, Hidrolik silindir imalatında yüzey pürüzlülüğüne etkili parametrelerinin Taguchi yöntemi ile belirlenmesi, Doktora tezi, *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- Yousufuddin, S. and Mehdi, N. S., 2008, Effect of ignition timing, equivalence ratio, and compression ratio on the performance and emission characteristics of variable compression ratio SI engine using ethanol-unleaded gasoline blends, *IJE Trans B Appl*, 21(1):97-106.

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : İbrahim DOĞAN  
 Uyruğu :  
 Doğum Yeri ve Tarihi :  
 Telefon :  
 Faks :  
 e-mail :

### EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	M.K.Paşa Mes. Tek. ve And. Lisesi, M.K.P/BURSA	2012
Üniversite	Selçuk Üniversitesi Teknoloji. Fak., Makine Müh., Selçuklu/KONYA	2018
Yüksek Lisans	Selçuk Üniversitesi F.B.E. Makine Müh. A.B.D., Selçuklu/KONYA	-

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2018	MPG Makina İmalat San. ve Tic. A.Ş.	AR-GE Mühendisi
2019	Yıldız Pul Otomotiv A.Ş.	AR-GE Mühendisi
2021	Milli Savunma Bakanlığı	Makine Mühendisi

**UZMANLIK ALANI:** İçten Yanmalı Motorlar, Taşıt Teknolojisi, Yakıtlar ve Yanma, Alternatif Yakıtlar

**YABANCI DİLLER:** İngilizce

### BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

### YAYINLAR

Doğan, İ. and Aydoğan, H., 2021, Vehicle Retarder Systems, *Renewable Energy Sources Energy Policy and Energy Management*, 2(1), pp. 10-26.

Gökmen, M. S., Doğan, İ. ve Aydoğan, H., 2021, Yanıt Yüzey Metodolojisi Kullanılarak 1-Propanol/Benzin Yakıt Karışımlarının Egzoz Emisyonlarına Etkisinin Araştırılması, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, Ejosat Özel Sayı 2021 (ARACONF), 67-74, DOI: 10.31590/ejosat.898563.

Doğan, İ., Gökmen, M. S. and Aydoğan, H., 2021, Effect of Gasoline-AVGAS Blends on Exhaust Emission of Gasoline Engine Using Taguchi Approach, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, Ejosat Özel Sayı 2021 (ARACONF), 190-201, DOI: 10.31590/ejosat.900212 (Yüksek Lisans Tezinden Yapılmıştır.)