

**BENZİNLİ MOTORLARDA EMİLEN HAVA  
SICAKLIĞI DEĞİŞİMİNİN PERFORMANS VE  
EMİSYONLARA ETKİSİ**

**2016  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

**Ahmet Ümit TEPE**

**BENZİNLİ MOTORLARDA EMİLEN HAVA SICAKLIĞI DEĞİŞİMİNİN  
PERFORMANS VE EMİSYONLARA ETKİŐİ**

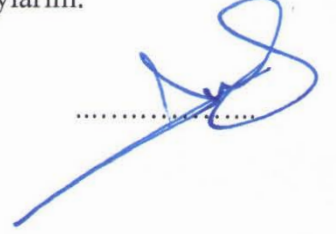
**Ahmet Ümit TEPE**

**Karabük Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında  
Yüksek Lisans Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK  
Ocak 2016**

Ahmet Ümit TEPE tarafından hazırlanan “BENZİNLİ MOTORLARDA EMİLEN HAVA SICAKLIĞI DEĞİŞİMİNİN PERFORMANS VE EMİSYONLARA ETKİSİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Selami SAĞIROĞLU  
Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir. 08/ 01/ 2016

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. M. Bahattin ÇELİK (KBÜ)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Ahmet KESKİN (AİBÜ)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Selami SAĞIROĞLU (KBÜ)

...../...../2016

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nevin AYTEMİZ  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



*“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”*

Ahmet Ümit TEPE

## **ÖZET**

**Yüksek Lisans Tezi**

### **BENZİNLİ MOTORLARDA EMİLEN HAVA SICAKLIĞI DEĞİŞİMİNİN PERFORMANS VE EMİSYONLARA ETKİSİ**

**Ahmet Ümit TEPE**

**Karabük Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Yrd. Doç. Dr. Selami SAĞIROĞLU**

**Ocak 2016, 62 sayfa**

Bu çalışmada; benzinli motorların soğuk hava şartlarında tüketmiş olduğu havanın sıcaklığının yükseltilerek motor performans parametrelerinin iyileştirilmesine çalışılmıştır. Efektif verim, özgül yakıt sarfiyatı, CO ve HC emisyonları, hava fazlalık katsayısı ve volumetrik verim incelenmiştir. Deneyleerde 2,3 kW kapasiteli benzinli jeneratör kullanılmıştır. Deneyleer -5 °C'de gerçekleştirilmiştir. Motorun tükettiği hava, elektrikli ısıtıcı ile 10 °C, 25 °C, 40 °C, 55 °C ve 70 °C'ye çıkarılmıştır. Daha sonra jeneratörde üretilen elektrik enerjisi 500 Watt gücündeki halojen lambalarla 0,5 kW, 1,0 kW, 1,5 kW ve 2,0 kW şeklinde tüketilerek 4 farklı yük altında testler gerçekleştirilmiştir. Ön ısıtmanın yapıldığı 10 °C, 25 °C, 40 °C, 55 °C ve 70 °C'deki sonuçlar ile ön ısıtmanın yapılmadığı -5 °C'deki sonuçlar karşılaştırılmıştır. Efektif verimin 70 °C'de maksimum, özgül yakıt tüketiminin 70 °C'de minimum, HC emisyonunun 70 °C'de minimum ve CO emisyonunun 55 °C'de minimum olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar Sözcükler :** Benzinli motorlar, emme havasının ön ısıtılması, motor performansı, egzoz emisyonları.

**Bilim Kodu :** 914.1.090

## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **THE EFFECT OF THE INLET AIR TEMPERATURE CHANGE TO THE PERFORMANCE AND EMISSIONS OF THE GASOLINE ENGINE**

**Ahmet Ümit TEPE**

**Karabük University**

**Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Department of Mechanical Engineering**

**Thesis Advisor:**

**Assist. Prof. Dr. Selami SAĞIROĞLU**

**January 2016, 62 pages**

In this study, we were studied to be improved the engine performance parameters by increasing the intake air temperature of the gasoline engine at the cold wheather condition. Effective efficiency, specific fuel consumption, CO and HC emissions, excess air ratio and volumetric efficiency were investigated. 2,3 kW capacity of gasoline generator was used in the experiments. Tests were conducted at -5 °C. Temperature of the intake air of the engine was increased to 10 °C, 25 °C, 40 °C, 55 °C, 70 °C by an electrical heater. Then, Electrical energy which produced by the generator was consumed 0,5 kW, 1,0 kW 1,5 kW, 2,0 kW at the 4 different loads with 4 electrical lamp which has the capacity of 500 W. It was comparised results in preheating at 10 °C, 25 °C, 40 °C, 55 °C, 70 °C with without preheating at -5 °C.

The highest effective efficiency, the lowest specific fuel consumption, the lowest HC emission at 70 °C and the lowest CO emissions at 55 °C was achieved.

**Key Word** : Gasoline engine, preheating inlet air, engine performans, exhaust emissions.

**Science Code** : 914.1.090



## TEŞEKKÜR

Tezin uygulanmasında ve gerekleştirilmesinde yardımlarını hi bir zaman esirgmeden destek olan ve yol gösteren danışmanım Yrd. Doç. Dr. Selami SAĞIROĞLU'na teŐekkürlerimi sunarım. Deney düzeneğinin kurulmasında engin bilgi ve tecrübeleriyle beni yönlendiren Prof. Dr. M. Bahattin ÇELİK'e ayrıca sonsuz teŐekkürlerimi sunarım.

Testlerin gerçekleştirilmesinde emeği geçen ÖĞr. Gör. Ekrem GÜLSEVİNLER'e, bize tüm imkanlarını sunarak egzoz emisyon testlerini gerekleştirmemizde katkıları bulunan Kastamonu Güven Makina'ya ayrıca teşekkür ederim.

Manevi desteğini her zaman yanımda hissettiğim sevgili aileme tüm kalbimle teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xv
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 .....	9
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....	9
BÖLÜM 3 .....	19
BENZİNLİ MOTORLARDA PERFORMANS VE EMİSYONLARIN İYİLEŞTİRİLMESİ .....	19
3.1. SIKIŞTIRMA ORANININ PERFORMANSA ETKİSİ .....	19
3.2. ATEŞLEME AVANSI.....	21
3.3. HAVA/YAKIT ORANI .....	23
3.4. GİRİŞ BASINCI VE SICAKLIĞI .....	25
BÖLÜM 4 .....	26
MATERYAL VE METOD .....	26
4.1. DENEYLERDE KULLANILAN MATERYALLER.....	26
4.1.1. Benzinli Jeneratör .....	26
4.1.2. Elektrikli Isıtıcı .....	27

	<b><u>Sayfa</u></b>
4.1.3. Wattmetre.....	28
4.1.4. PWM Modülü .....	29
4.1.5. Dijital Termometre .....	30
4.1.6. Infrared Termometre.....	31
4.1.7. Hava Debi Ölçeri .....	32
4.1.8. Dijital Manometre.....	34
4.1.9. Dijital Terazi .....	35
4.1.10. Kronometre .....	35
4.1.11. Egzoz Emisyon Cihazı.....	35
4.1.12. Halojen Ampüller .....	36
4.2. DENEY METODU .....	37
4.2.1. Efektif Güç.....	37
4.2.2. Özgül Yakıt Tüketimi.....	38
4.2.3. Efektif Verim.....	38
4.2.4. Hava Fazlalık Katsayısı Ve Orifis .....	39
4.2.5. Volumetrik Verim.....	43
<b>BÖLÜM 5 .....</b>	<b>44</b>
<b>DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....</b>	<b>44</b>
5.1. ÖN ISITMANIN MOTOR PERFORMANSINA ETKİLERİ .....	44
5.1.1. Özgül Yakıt Tüketimi.....	45
5.1.2. Efektif Verim.....	46
5.1.3. Hava Fazlalık Katsayısı .....	47
5.1.4. Volumetrik Verim.....	47
5.2. ÖN ISITMANIN EGZOZ EMİSYONLARINA ETKİSİ .....	48
5.2.1. CO Emisyonu .....	48
5.2.2. HC Emisyonu .....	50
5.3. ÖN ISITMA İÇİN TÜKETİLEN ELEKTRİK ENERJİSİ.....	51
5.4. ÖN ISITMA İÇİN TÜKETİLEN ELEKTRİK ENERJİSİNİN EFEKTİF VERİME ETKİSİ.....	51
5.4.1. 0,5 kW Yük Altında Elektrikli Isıtıcının Efektif Verime Etkisi.....	52
5.4.2. 1,0 kW Yük Altında Elektrikli Isıtıcının Efektif Verime Etkisi.....	53

	<b><u>Sayfa</u></b>
5.4.3. 1,5 kW Yük Altında Elektrikli Isıtıcının Efektif Verime Etkisi.....	53
5.4.4. 2,0 kW Yük Altında Elektrikli Isıtıcının Efektif Verime Etkisi.....	54
BÖLÜM 6 .....	56
SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	56
KAYNAKLAR .....	58
ÖZGEÇMİŞ .....	62

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 1.1. Enerji kaynakları ithalatının yıllara göre dağılımı .....	2
Şekil 2.1. Elektrikli film ısıtıcı ile kaplanmış emme sisteminin bir bölümü.....	12
Şekil 2.2. 5 Farklı emme havası sıcaklığına göre yakıt gönderme .....	13
Şekil 3.1. Ateşleme avansının egzoz emisyonlarına ve özgül yakıt tüketimine etkisi .....	22
Şekil 3.2. $\lambda$ 'nın egzoz emisyonlarına etkisi.....	24
Şekil 4.1. Deneylerde kullanılan jeneratör .....	26
Şekil 4.2. Elektrikli ısıtıcı.....	27
Şekil 4.3. Wattmetre .....	28
Şekil 4.4. PWM modülü .....	29
Şekil 4.5. Dijital termometre .....	30
Şekil 4.6. Infrared termometre.....	31
Şekil 4.7. Tek silindirli 4 zamanlı motorda hava akışı modeli.....	33
Şekil 4.8. Hava deposu kesiti .....	33
Şekil 4.9. Orifis kesiti ve hava deposundaki konumu .....	34
Şekil 4.10. Dijital manometre.....	34
Şekil 4.11. Egzoz emisyon cihazı.....	36
Şekil 4.12. Halojen ampüller .....	36
Şekil 4.13. Deney düzeneği .....	37
Şekil 5.1. Ön ısıtmanın özgül yakıt tüketimine etkisi .....	45
Şekil 5.2. Ön ısıtmanın efektif verime etkisi.....	46
Şekil 5.3. Ön ısıtmanın hava fazlalık katsayısına etkisi. ....	47
Şekil 5.4. Hava giriş sıcaklığının volumetrik verime etkisi .....	48
Şekil 5.5. Ön ısıtmanın CO emisyonuna etkisi.....	49
Şekil 5.6. Ön ısıtmanın HC emisyonuna etkisi.....	50
Şekil 5.7. Elektrikli ısıtıcının tükettiği elektrik enerjisi .....	51
Şekil 5.8. Elektrikli ısıtıcının 0,5 kW yük altında efektif verime etkisi.....	52

**Sayfa**

Şekil 5.9. Elektrikli ısıtıcının 1,0 kW yük altında efektif verime etkisi..... 53  
Şekil 5.10. Elektrikli ısıtıcının 1,5 kW yük altında efektif verime etkisi..... 54  
Şekil 5.11. Elektrikli ısıtıcının 2 kW yük altında efektif verime etkisi..... 54

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

Çizelge 1.1. Motorlu kara taşıtları istatistikleri.....	1
Çizelge 1.2. Yakıt tüketiminden kaynaklanan emisyonlar .....	3
Çizelge 1.3. CARB egzoz emisyon sınırları .....	4
Çizelge 1.4. EPA egzoz emisyon sınırları .....	4
Çizelge 1.5. AB binek otomobiller egzoz emisyon standartları .....	5
Çizelge 1.6. Dizel binek otomobiller için Japonya emisyon standartları.....	6
Çizelge 1.7. Benzinli otomobiller için Japonya emisyon standartları.....	7
Çizelge 4.1. Benzinli jeneratörün teknik özellikleri. ....	27
Çizelge 4.2. Elektrikli ısıtıcının teknik özellikleri. ....	28
Çizelge 4.3. Watmetrenin teknik özellikleri. ....	29
Çizelge 4.4. PWM modülünün teknik özellikleri. ....	30
Çizelge 4.5. Dijital termometrenin teknik özellikleri. ....	31
Çizelge 4.6. Infrared termometrenin teknik özellikleri. ....	32
Çizelge 4.7. Dijital manometrenin teknik özellikleri. ....	35

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

Ah	: Amper Saat
AC	: Alternatif Akım
B	: Saatte kullanılan yakıt miktarı (kg/h)
be	: Özgül yakıt tüketimi (kg/kWh)
CO	: Karbon Monoksit
CO <sub>2</sub>	: Karbondioksit
DC	: Doğru Akım
d/d	: devir/dakika
HC	: Hidrokarbon
$H_u$	: Benzinin alt ısı değeri (kJ/kg)
$H/Y_{gerçek}$	: Gerçek hava yakıt oranı
$H/Y_{teorik}$	: Teorik hava yakıt oranı
NO <sub>x</sub>	: Azot oksitler
mA	: Mili Amper
mS	: Mili Saniye
$\dot{m}$	: Kütleli debi (kg/s)
$\dot{m}_{hava}$	: Havanın kütleli debisi (kg/s)
$\dot{m}_{yakıt}$	: Yakıtın kütleli debisi (kg/s)
$n$	: Motor devri (d/d)
$P_{atm}$	: Atmosfer basıncı (Pa)
$P_e$	: Efektif güç (kW)
$T_{atm}$	: Atmosfer sıcaklığı (°C)
$V_h$	: Kurs hacmi (dm <sup>3</sup> )
$V_c$	: Yanma odası hacmi (dm <sup>3</sup> )
$V_k$	: A.Ö.N'dan sonra emme supabının kapanmasına kadar pistonun taradığı hacim (dm <sup>3</sup> )



- $\dot{V}_{\text{teorik}}$  : Teorik hava tüketimi ( $\text{m}^3/\text{s}$ )  
 $\dot{V}_{\text{gerçek}}$  : Gerçek hava tüketimi ( $\text{m}^3/\text{s}$ )  
 $\rho_h$  : Havanın yoğunluğu ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )  
 $\varepsilon$  : Havanın genleşme katsayısı  
 $\lambda$  : Hava fazlalık katsayısı  
 $\eta_v$  : Volumetrik verim (%)  
 $\eta_e$  : Efektif verim (%)  
 $\mu$  : Viskozite ( $\text{kg}/\text{m.s}$ )  
 $\varepsilon$  : Sıkıştırma oranı  
 $\varepsilon_g$  : Gerçek sıkıştırma oranı  
 $^{\circ}\text{C}$  : Santigrat Derece  
 $^{\circ}\text{K}$  : Kelvin Derece

## KISALTMALAR

A.Ö.N	: Alt Ölü Nokta
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AB	: Avrupa Birliği
EGR	: Egzoz Gazı Re-Sirkülasyonu
HCCI	: Homojen Doldurmalı Sıkıştırma Ateşleme
HCHO	: Formaldehitler
K.M.A	: Krank Mili Açısı
LPG	: Sıvılaştırılmış Petrol Gazı
MTEP	: Milyon Ton Eşdeğer Petrol
MVEG-A	: Binek Otomobilleri İçin Motorlu Taşıtlar Emisyon Grubu
NMHC	: Metan İçermeyen Hidrokarbonlar
NMOG	: Egzoz Gazındaki Oksijen İçermeyen Ve Oksijen İçeren Toplam Hidrokarbonlar
Ppm	: Parts Per Million (Milyonda Bir)
PTC	: Sıcaklıkla Direnci Artan
PWM	: Sinyal Genişlik Modülü
THC	: Toplam Hidrokarbon
US FTP-75	: Birleşmiş Milletler Federal Test Prosedürü
Ü.Ö.N	: Üst Ölü Nokta

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Petrol rezervlerinin sınırlı olması, petrol ve petrol türevli yakıtların egzoz emisyonlarının çevreye olan olumsuz etkileri ve petrol konusunda dışa bağımlılığımız düşünüldüğünde içten yanmalı motorlarla ilgili yapılan araştırmaların önemini bir kat daha artmaktadır. Bu da bilim insanlarını içten yanmalı motorların performans ve egzoz emisyonlarının iyileştirilmesine yönelik araştırmalar yapmaya teşvik etmektedir.

İçten yanmalı motorlar yaygın olarak petrol ve petrol türevli yakıtlar kullanmaktadır. Her geçen gün trafikteki motorlu taşıt sayısındaki artış, petrole olan ihtiyacı gün geçtikçe hızla arttırmaktadır. Son 13 yılda motorlu taşıt sayısındaki artış Çizelge 1.1’de görülmektedir. 2002 yılında toplamda 8655170 adet olan motorlu taşıt sayısı 2015 yılının ilk yarısı verilerine göre yaklaşık %225 oranında artarak 19407326 adete ulaşmıştır (<http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=18768>, 2015).

Çizelge 1.1. Yıllara göre motorlu kara taşıtları sayısı, 2002 – 2015  
(<http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=18768>, 2015).

Yıl	Toplam	Otomobil	Minibüs	Otobüs	Kamyonet	Kamyon <sup>(2)</sup>	Motosiklet	Özel amaçlı Special purpose	Traktör
Year	Total	Car	Minibus	Bus	Small truck	Truck <sup>(2)</sup>	Motorcycle		Tractor
2002	8 655 170	4 600 140	241 700	120 097	875 381	567 152	1 046 907	23 666	1 180 127
2003	8 903 843	4 700 343	245 394	123 500	973 457	579 010	1 073 415	24 468	1 184 256
2004	10 236 357	5 400 440	318 954	152 712	1 259 867	647 420	1 218 677	28 004	1 210 283
2005	11 145 826	5 772 745	338 539	163 390	1 475 057	676 929	1 441 066	30 333	1 247 767
2006	12 227 393	6 140 992	357 523	175 949	1 695 624	709 535	1 822 831	34 260	1 290 679
2007	13 022 945	6 472 156	372 601	189 128	1 890 459	729 202	2 003 492	38 573	1 327 334
2008	13 765 395	6 796 629	383 548	199 934	2 066 007	744 217	2 181 383	35 100	1 358 577
2009	14 316 700	7 093 964	384 053	201 033	2 204 951	727 302	2 303 261	34 104	1 368 032
2010	15 095 603	7 544 871	386 973	208 510	2 399 038	726 359	2 389 488	35 492	1 404 872

Çizelge 1.1. (Devam ediyor).

2011	16 089 528	8 113 111	389 435	219 906	2 611 104	728 458	2 527 190	34 116	1 466 208
2012	17 033 413	8 648 875	396 119	235 949	2 794 606	751 650	2 657 722	33 071	1 515 421
2013	17 939 447	9 283 923	421 848	219 885	2 933 050	755 950	2 722 826	36 148	1 565 817
2014	18 828 721	9 857 915	427 264	211 200	3 062 479	773 728	2 828 466	40 731	1 626 938
2015 <sup>(1)</sup>	19 407 326	10 218 338	436 864	213 788	3 159 967	792 579	2 883 866	42 762	1 659 162

**TÜİK, Motorlu Kara Taşıtları, Haziran 2015**

TurkStat, Road Motor Vehicles, June 2015

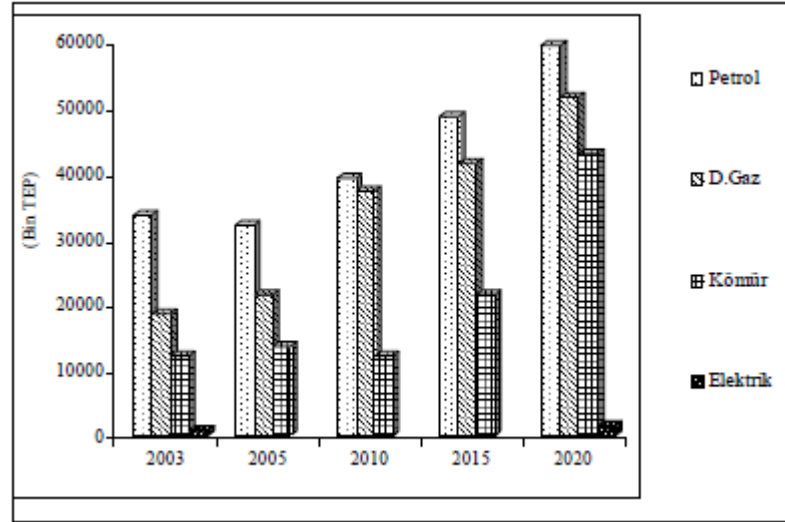
(1) Veriler Haziran ayı sonu itibarıdır.

(1) Data is by the end of June.

(2) Ağır tonajlı yük taşıtlarını da kapsar (çekici, damperli kamyon, tanker, çöp kamyonu vb.).

(2) It also covers heavy vehicles (tractor truck, dumper truck, tanker, garbage truck etc.).

Motorlu taşıtların sayısındaki artış dolaylı olarak ülkemizin enerji ithalatındaki artışı da tetiklemektedir. Şekil 1.1’de farklı türlerdeki enerji kaynaklarının yıllara göre ithalat dağılımı verilmiştir. Görüldüğü gibi 2003 yılında petrol ithalatı yaklaşık olarak 35 MTEP iken 2020 yılında yaklaşık 60 MTEP dolaylarında olması beklenmektedir. 2003 yılında petrol ithalatı toplam ithalatın yaklaşık %50’sini oluşturuyorken 2020 yılında bu oran yaklaşık %40 olması beklenmektedir (Anonim, 2015).



Şekil 1.1. Enerji kaynakları ithalatının yıllara göre dağılımı (Anonim 2015).

Çizelge 1.2’de Türkiye’de yakıt tüketimine göre sera gazı emisyon değerlerinin 1990 ile 2009 yılları arasındaki verileri yer almaktadır. Çizelge’den de görüleceği üzere CO<sub>2</sub> salınımı 1990 yılında 126701,07 Gg iken 2009 yılına gelindiğinde 2,1 kat artarak 271109,03 Gg seviyesine ulaşmıştır. NO<sub>x</sub> salınımına bakıldığında 1990

yılında 628,65 Gg iken 2009 yılında bu rakam 2,25 kat artarak 1410,41 Gg değerine ulaşmıştır. Aynı şekilde CO gazı salınımı 1990 yılında 3445,45 Gg seviyesindeyken 1997 yılında gelindiğinde 1,37 kat artarak 4723,85 Gg seviyelerine çıkarak en yüksek seviyeye çıkmış ardından düşüş eğilimi göstererek 2009 yılı gelindiğinde 3 276,37 Gg seviyelerine gerilemiştir (<http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=18744>, 2015).

Çizelge 1.2. Yakıt Tüketiminden Kaynaklanan Emisyonlar (<http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=18744>, 2015).

Yıllar	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	NO <sub>x</sub>	CO	NMVOc
1990	126 701.07	143.02	3.21	628.65	3 445.45	445.99
1991	132 470.80	146.04	3.25	634.17	3 422.75	445.61
1992	138 638.26	147.30	3.29	652.98	3 593.41	472.20
1993	145 246.92	143.04	3.44	723.75	3 891.86	515.23
1994	143 208.79	132.54	3.43	743.43	4 294.52	572.99
1995	155 347.30	137.27	3.59	789.51	4 491.64	610.59
1996	173 367.39	136.96	3.89	869.29	4 609.80	637.46
1997	185 596.47	142.00	3.94	897.78	4 723.85	654.21
1998	185 004.09	132.50	3.88	888.57	4 649.10	649.92
1999	185 203.17	124.00	3.93	920.20	4 438.16	634.04
2000	207 054.44	122.46	4.20	1 009.66	4 090.47	588.01
2001	190 878.73	109.01	3.97	969.21	3 691.24	538.27
2002	198 951.36	111.65	4.13	1 000.92	3 604.69	524.29
2003	212 964.27	114.08	4.36	1 061.18	3 511.87	516.27
2004	222 283.61	115.94	4.78	1 117.47	3 407.55	509.10
2005	236 355.33	114.38	4.89	1 049.19	3 036.11	459.78
2006	253 150.17	113.31	4.57	1 088.29	3 141.82	485.26
2007	282 833.96	115.89	5.12	1 175.51	3 093.49	489.98
2008	270 862.11	160.28	4.97	1 269.66	2 702.07	517.11
2009	271 109.03	176.58	4.89	1 410.41	3 276.37	519.77

Taşıt sayısındaki artış egzoz emisyonlarındaki artışı da tetiklediğinden çevre için ciddi tehdit oluşturmaktadır. Bu nedenle dünya genelinde ABD, Japonya ve AB olmak üzere 3 farklı egzoz emisyon standartları belirlenmiştir. Bunlardan ABD tarafından, Çizelge 1.3'de görülen CARB ve Çizelge 1.4'de görülen EPA emisyon standartlarını belirlenmiştir (<http://www3.epa.gov/otaq/standards/>, 2015).

Çizelge 1.3. CARB egzoz emisyon sınırları (<http://www3.epa.gov/otaq/standards/>, 2015).

Standart (geçerlilik)	Benzin/Metan/Etanol/CNG/LPG				Dizel				HCHO*
	NMHC*	NMOG*	CO	NO <sub>x</sub>	NMHC*	CO	NO <sub>x</sub>	PM	
Aşama 1 (1995-1997)	0,15 0,19	-	2,11 (2,6)	0,25 (0,37)	(0,19)	(2,6)	(0,62)	0,05	0,009
TULEV (1997-2002)	-	0,078 (0,097)	2,11 (2,6)	0,25 (0,37)	0,078 (0,097)	2,11 (2,6)	0,25 (0,37)	(0,05)	0,009 (0,011)
LEV (2002-2004)	-	0,047 (0,056)	2,11 (2,6)	0,12 (0,19)	2,11 (2,6)	2,11 (2,6)	0,12 (0,19)	(0,05)	0,009 (0,011)
ULEV (2004- )	-	0,25 (0,034)	1,056 (1,3)	0,12 (0,19)	1,056 (1,3)	1,056 (1,3)	0,12 (0,19)	(0,025)	0,005 (0,007)
SULEV	-	-	1	0,02	-	-	-	0,01	-

Çizelge 1.4. EPA egzoz emisyon sınırları (<http://www3.epa.gov/otaq/standards/>, 2015).

Standart (geçerlilik)	Benzin/Doğal Gaz/Metanol/Etanol <sup>2)</sup> /Dizel/LPG						Dizel		
	HC	NMHC*	NMOG*	O	NO <sub>x</sub> <sup>3)</sup>	PM <sup>3)</sup>	HCHO*	NO <sub>x</sub>	PM
Aşama 1 (1995-1997)	0,25	0,15 (0,193)	-	0,11 (2,6)	0,25 (0,37)	0,05 (0,062)	-	0,62 (0,78)	0,05 (0,062)
TULEV (1997-2002)	0,25	-	0,078 (0,097)	0,11 (2,6)	0,25 (0,37)	0,05 (0,062)	0,009 (0,011)	0,25 (0,37)	0,05
LEV (2002-2004)	0,25	-	0,047 (0,056)		0,12 (0,19)	0,05 (0,062)	0,009 (0,011)	0,12 (0,19)	0,05
ULEV (2004-...)	0,25	-	0,025 0,034		0,12 (0,19)	0,05 (0,062)	0,009 (0,007)	0,12 (0,19)	0,025

Parantez içindeki değerler: 10 yıl / 100000 mil dayanıklılık testi, diğerleri 5 yıl / 50000 mil.

- 1) Sadece alkolle çalışan araçlar.
- 2) Aşama 1'e ait araçlar için standart etanol değeri yoktur.
- 3) Dizel araçlar hariç.

\*Simgeler ve Kısaltmalar bölümünde açıklamaları mevcuttur.

Avrupa Birliği tarafından egzoz emisyonlarıyla ilgili binek otomobiller için belirlenen standartlar Çizelge 1.5'deki gibidir ([https://en.wikipedia.org/wiki/European\\_emission\\_standards](https://en.wikipedia.org/wiki/European_emission_standards), 2015).

Çizelge 1.5. AB binek otomobiller egzoz emisyon standartları ([https://en.wikipedia.org/wiki/European\\_emission\\_standards](https://en.wikipedia.org/wiki/European_emission_standards), 2015).

Sıra	Tarih	<u>CO</u>	<u>THC</u>	<u>NMHC</u>	<u>NOx</u>	<u>HC+NOx</u>	<u>PM</u>	<u>P</u> [#/km]
<b>Dizel</b>								
Euro 1	Temmuz 1992	2,72 (3.16)	-	-	-	0,97 (1,13)	0,14 (0.18)	-
Euro 2	Ocak 1996	1,0	-	-	-	0,7	0,08	-
Euro 3	Ocak 2000	0,64	-	-	0,50	0,56	0,05	-
Euro 4	Ocak 2005	0,50	-	-	0,25	0,30	0,025	-
Euro 5a	Eylül 2009	0,50	-	-	0,180	0,230	0,005	-
Euro 5b	Eylül 2011	0,50	-	-	0,180	0,230	0,005	6×10 <sup>11</sup>
Euro 6	Eylül 2014	0,50	-	-	0,080	0,170	0,005	6×10 <sup>11</sup>
<b>Petrol (Benzin)</b>								
Euro 1	Temmuz 1992	2,72 (3.16)	-	-	-	0,97 (1.13)	-	-
Euro 2	Ocak 1996	2,2	-	-	-	0,5	-	-
Euro 3	Ocak 2000	2,3	0,20	-	0,15	-	-	-
Euro 4	Ocak 2005	1,0	0,10	-	0,08	-	-	-
Euro 5	Eylül 2009	1,0	0,10	0,068	0,060	-	0,005*	-
Euro 6	Eylül 2014	1,0	0,10	0,068	0,060	-	0,005*	6×10 <sup>11</sup>

\* Yalnızca direk enjeksiyonlu araçlara uygulanır.

Japonya’da ise ilk olarak 1970’lerde egzoz emisyonları limitleriyle ilgili standartlar yayınlamıştır. 2000 yılından sonra; 2000-2002 ("New Short Term Standards"), 2005-2007 ("New Long Term Standards") ve 2009-2010 ("Post New Long Term Standards") olmak üzere ilgili standartlar 3 kez yenilenmiştir. Dizel ve benzinli otomobiller için belirlenen standartlar sırasıyla Çizelge 1.6 ve Çizelge 1.7’de görülmektedir (<http://transportpolicy.net/index.php?title=Japan: Light-duty: Emissions>, 2015).

Çizelge 1.6. Dizel binek otomobiller için Japonya emisyon standartları (<http://transportpolicy.net/index.php?title=Japan: Light-duty: Emissions>, 2015).

Araç Ağırlığı	Tarih	Test	CO	HC	NOx	PM
			ortalama (maksimum)	ortalama (maksimum)	ortalama (maksimum)	ortalama (maksimum)
< 1250 kg*	1986	10-15 mode**	2,1 (2,7)	0,40 (0,62)	0,70 (0,98)	
	1990		2,1 (2,7)	0,40 (0,62)	0,50 (0,72)	
	1994		2,1 (2,7)	0,40 (0,62)	0,50 (0,72)	0,20 (0,34)
	1997		2,1 (2,7)	0,40 (0,62)	0,40 (0,55)	0,08 (0,14)
	2002 <sup>a</sup>		0,63	0,12	0,28	0,052
	2005 <sup>b</sup>	JC08 <sup>c***</sup>	0,63	0,024 <sup>d</sup>	0,14	0,013
	2009		0,63	0,024 <sup>d</sup>	0,08	0,005
> 1250 kg*	1986	10-15 mode	2,1 (2,7)	0,40 (0,62)	0,90 (1,26)	
	1992		2,1 (2,7)	0,40 (0,62)	0,60 (0,84)	
	1994		2,1 (2,7)	0,40 (0,62)	0,60 (0,84)	0,20 (0,34)
	1998		2,1 (2,7)	0,40 (0,62)	0,40 (0,55)	0,08 (0,14)
	2002 <sup>a</sup>		0,63	0,12	0,30	0,056
	2005 <sup>b</sup>	JC08 <sup>c***</sup>	0,63	0,024 <sup>d</sup>	0,15	0,014
	2009 <sup>e</sup>		0,63	0,024 <sup>d</sup>	0,08	0,005

Notlar:

\* - Eşdeğer atalet ağırlığı (EIW); araç ağırlığı 1265 kg olan.

\*\* - 10-15 mod: Japonya’da hafif hizmet taşıtları için uygulanan yakıt ekonomisi test programı.

\*\*\* - JC08<sup>c</sup>: Japonya’da 2005 egzoz emisyonları standartları düzenlemesinden sonra başlatılan dizel ve benzinli motorlar için yakıt ekonomisi test programı.

a - Yurt içi araçlar için 2002.10, ithal edilenler için 2004.09

b - 2005 yılı sonunda uygulamaya başlayan

c - 2011 yılında tam aşama

d - Metan içermeyen hidrokarbon

e - Yeni yurt içi modeller için 2009.10; mevcut modeller ve ithal edilenler için 2010.09



Çizelge 1.7. Benzinli otomobiller için Japonya emisyon standartları (<http://transportpolicy.net/index.php?title=Japan: Light-duty: Emissions>, 2015).

Tarih <sup>1</sup>	Test Programı	Birim	Maksimum kabul edilebilir emisyonlar <sup>2</sup>			
			CO	NMHC <sup>3</sup>	NO <sub>x</sub>	PM
1973	10 mode	g/km	26,0	3,80	3,00	----
1975 <sup>4</sup>	10 mode	g/km	2,70	0,39	1,60	----
	11 mode	g/test	85,0	9,50	11,0	----
1976	10 mode	g/km	2,70	0,39	1,20	----
	11 mode	g/test	85,0	9,50	9,00	----
1978	10 mode	g/km	2,70	0,39	0,48	----
	11 mode	g/test	85,0	9,50	6,00	----
2000	10 mode	g/km	1,27 (0,67)	0,17 (0,08)	0,17 (0,08)	----
	11 mode	g/test	31,1 (19,0)	4,42 (2,20)	2,50 (1,40)	----
2005	10-15 mode + 11 mode	g/km	1,92 (1,15)	0,08 (0,05)	0,08 (0,05)	----
2008	10-15 mode + JC08C	g/km	1,92 (1,15)	0,08 (0,05)	0,08 (0,05)	----
2009	JC08H+C	g/km	1,92 (1,15)	0,08 (0,05)	0,08 (0,05)	0,007 (0,005)
Notlar:						
1. Uygulaması devam eden modeller ve 1 yıldan 2 yıla kadar gecikmeli olan ithalatlar.						
2. Parantez içerisindeki değerler ortalama limitleri belirtmektedir.						
3. 1999'dan önce HC.						
4. Atalet ağırlığı 1000 kg'dan fazla olanlar.						

İçten yanmalı motorların performans ve egzoz emisyonları çevresel faktörlerden büyük ölçüde etkilenmektedir. Bunun nedenleri motorların, yasalarla belirlenmiş dizayn parametreleri içerisinde testlerinin yapıp üretilmesindedir. Özellikle atmosfer sıcaklığının düşük olduğu kış şartlarının bu dizayn kriterleri arasında olmaması ve katalitik konvektörün soğuk havalarda performansının azalması egzoz emisyonlarının kötüleşmesinin önemli nedenlerindedir.

Laurikko (1995), farklı teknolojilere sahip 10 araç üzerinde yapılan bir araştırmada, sıcaklığın 0 °C'nin altında olduğu durumlarda ECE15 ve EUDC sürüş programı sınırları içerisinde testler gerçekleştirilmiş ve araçların egzoz emisyonlarının normale göre arttığını belirlemiştir

Soğuk hava şartlarında emme sisteminin soğuk olması yakıtın buharlaşmasını zorlaştırmaktadır ve yakıtın bir miktarının emme sisteminin yüzeyine yapışmasına ve film tabakası oluşturarak birikmesine neden olmaktadır. Bu ise reaksiyona giren yakıt miktarı düşürdüğünden, yanmanın gerçekleşebilmesi için karışıma olması gereğinden fazla yakıt gönderilmesine neden olmaktadır (Saito vd. 1995). Bundan dolayı motorun ilk çalışmasından ideal ısısına ulaşana kadar geçen sürede motor olağandan fazla yakıt tüketmektedir ve egzoz emisyonları da buna bağlı olarak kötüleşmektedir.

Emme hava sıcaklığının artması yakıtın daha kolay buharlaştırmakta ve kimyasal reaksiyon oranını arttırmaktadır. Sıcaklığın her 10 °C artışıyla kimyasal reaksiyon hızı 2-4 kat hızlanmaktadır. Emme hava sıcaklığı artmasıyla birlikte aktif haldeki moleküllerin sayısı artmakta ve moleküllerin çarpışma olasılığı artmaktadır. Bunun sonucunda reaksiyon oranı iyileşmekte ve reaksiyon süresi kısalmaktadır (Zhang vd. 2011).

Yanma verimini iyileştirmeye yönelik olan egzoz gazı sirkülasyonu (EGR), değişken sıkıştırma oranı ve enjeksiyon stratejileri gibi yöntemler kompleks metotlardır ve motor üzerinde önemli modifikasyonlar gerektirmektedir. Kızdırma bujileri de dizel motorlarda soğuk çalışmada yanma odasını ısıtarak yanmayı iyileştirmeye yardımcı olmaktadır. Fakat motorun normal çalışma ısısına ulaşmasıyla görevini tamamlamakta ve yanma odasında fazladan bulunması nedeniyle yanmayı olumsuz etkileyebilmektedir (Broatch vd. 2008). Buna karşın elektrik rezistansı ile emme havasının ısıtılması dizel motorlarda da kızdırma bujisi gibi görev yapıp soğuk çalışma esnasında motorun çalışmasına yardımcı olabilir (Payri vd. 2006).

Yukarıda bahsedilen yöntemlerle kıyaslandığında emme havasının elektrik rezistansı ile ısıtılarak yanma veriminin iyileştirilmeye çalışılması, kompleks olmaması, maliyetinin az olması, motor üzerinde daha az modifikasyon yapılması ve uygulanabilirliğinin kolay olması gibi avantajları nedeniyle bu sistemlere önemli bir alternatif oluşturmaktadır.

## BÖLÜM 2

### LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Maurya and Agarwal (2011), yaptıkları çalışmada emme havası sıcaklığının ve hava/yakıt karışım oranının HCCI yanma ve performans parametrelerine olan etkisini araştırmışlardır. Testleri, emme hava sıcaklığı 120 °C-150 °C ve hava/yakıt ( $\lambda$ ) oranı 2,0-5,0 aralığında yürütmüşlerdir. Testlerde; Krank açısına göre silindir iç basıncı ve ısı salınım oranı  $\lambda$  oranı arttıkça azaldığını, yanma verimi  $\lambda$  oranı arttıkça azaldığı sıcaklık arttıkça arttığı ve termal verimlilik  $\lambda$  arttıkça azaldığı sonucuna varmışlardır. Emisyon değerleri ise HC ve CO salınımı sıcaklık yükseldikçe azalırken  $\lambda$  arttıkça arttığı, NO<sub>x</sub> emisyonu sıcaklık arttıkça az bir miktar artarken  $\lambda$  oranı arttıkça az bir miktar düştüğünü elde etmişlerdir.

Zhang vd. (2011), yaptıkları çalışmada HCCI yanmada emme havası sıcaklığının ve hava fazlalık katsayısının yanma karakteristikleri ve egzoz emisyonlarına olan etkisini araştırmışlardır. Deneylede yakıt olarak benzin, etanol ve metanol kullanmışlardır. Testlerde; emme havası sıcaklığı arttıkça HC ve CO salınımı tüm yakıtlarda azaldığı, 110 °C-160 °C aralığında NO<sub>x</sub> salınımı etanol ve metanolde 0 iken benzinde emme havası sıcaklığı arttıkça arttığını,  $\lambda$  arttıkça silindir iç basıncı ve sıcaklığının azaldığını,  $\lambda$  artarken NO<sub>x</sub> emisyonu hızlı bir şekilde azaldığını ve  $\lambda$  oranı 2,5'a eşit veya büyük olduğunda NO<sub>x</sub> emisyonu 0 olurken HC ve CO emisyonları arttığı sonuçlarını elde etmişlerdir.

Ceviz vd. (2011), düşük yük şartları altında hava fazlalık katsayısının artırılabilceği ve böylelikle termal verimliliğin ve egzoz emisyonlarının iyileştirilebileceğini belirtmişlerdir. Yaptıkları araştırmada elektronik kontrollü yakıt enjektörü bulunan buji ateşlemeli motor kullanmışlardır ve 13 farklı  $\lambda$  oranını (0,989, 1,087, 1,116, 1,170, 1,199, 1,246, 1,305, 1,339, 1,374, 1,392, 1,420 ve 1,453) incelemişlerdir.

Testlerde;  $\lambda$  oranının stokiyometrik oranından 1,20 oranına kadar artmasıyla CO ve HC emisyonlarının sırasıyla %83 ve %23 azaldığını ve termal verimliliğin %30 kadar arttığını,  $\lambda$  oranının 1,25 seviyesinin üzerine çıkılmasıyla özgül yakıt tüketiminin ve HC emisyonunun artmaya başladığını elde etmişlerdir.

Yaman ve Çelik (2004), yaptıkları bir çalışmada benzinli motorlarda hava fazlalık katsayısı, ateşleme avansı, sıkıştırma oranı ve motor sıcaklığı gibi parametrelerin egzoz emisyonlarına olan etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Deneyler sonucunda; ateşleme avansının uygun değerlerde olmamasının HC emisyonunu arttırdığı,  $\lambda$  oranının 1'den küçük olduğu durumlarda CO ve HC emisyonlarının artarken çok fakir karışımlarda ise HC emisyonunun arttığını, sıkıştırma oranının artmasıyla CO azaldığını ve HC emisyonunun arttığını, motor sıcaklığının artmasıyla HC emisyonunun önemli ölçüde azaldığını elde etmişlerdir.

Çınar vd. (2015), emme havası sıcaklığının, %20 n-heptan ve %80 izooktan karışımı yakıtla çalışan HCCI benzinli motorun yanma, performans ve emisyon karakteristiklerine olan etkisini araştırmışlardır. Emme hava giriş sıcaklığını 40 °C ile 140 °C aralığında değiştirmişlerdir. Testleri tek silindirli HCCI dört zamanlı benzinli motor üzerinde iki farklı  $\lambda$  oranında (0,6 ve 0,7) ve 1200 d/d gerçekleştirmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre; silindir içindeki basınç ve ısı salımı emme hava sıcaklığı arttıkça artmıştır. Emme havası sıcaklığının yükselmesi sıkıştırma işlemi sonucunda silindir içindeki sıcaklığın yükselmesine neden olduğu için kimyasal reaksiyonu hızlandırdığını belirtmişlerdir. Bununla birlikte silindir iç basıncı, silindir iç sıcaklığı ve karışım oranı, ateşleme zamanına ve yanmaya direk etki ettiğini söylemişlerdir. Yanmanın emme havası sıcaklığının yükselmesiyle iyileştiğini ve  $\lambda$  oranının yanma süresine çok az etkisi olduğunu buna rağmen  $\lambda$  oranının artmasıyla yanma süresinin az bir miktar azaldığı sonucuna varmışlardır. Özgül yakıt tüketiminin ve NO emisyonu emme havası sıcaklığının yüksek değerlerinde arttığını, maksimum fren torkunun  $\lambda=0,7$  oranında elde ettiklerini ve emme hava sıcaklığının yüksek değerlere çıkarılmasıyla fren torkunun azaldığını, CO emisyonunun emme havası sıcaklığının artırılması ile ilk önce arttığını daha sonra giderek azaldığı sonuçlarına varmışlardır.

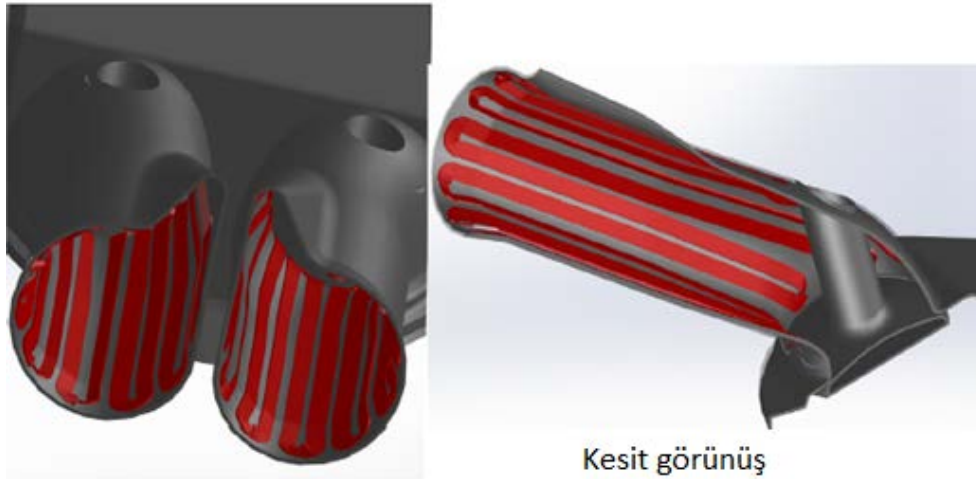
Yılmaz (2012), yaptığı araştırmada ön ısıtmalı emme havası sıcaklığının ve hava fazlalık katsayısının dizel motor üzerindeki etkisini incelemiştir. Testleri dizel, net biyodizel, %85 biyodizel ile %15 metanol karışımını ve %90 biyodizel ile %10 metanol karışımını yakıtlar üzerinde ve hava giriş sıcaklığını 30 °C ve 85 °C olarak 2 farklı sıcaklık değerinde gerçekleştirmişlerdir. Yakıtların sıcaklığı ortam sıcaklığındayken test etmişlerdir. Emisyon sonuçlarına göre metanolün yüksek buharlaşma ısısı nedeniyle CO ve HC emisyonlarına etki ettiğini, emme havasını ön ısıtmaya tabi tutulması veya biyodizel-metanol karışımında metanol konsantrasyonunu düşürülmesi CO ve HC emisyonlarının azaltırken NO emisyonunu arttırdığını belirtmişlerdir. Ön ısıtmanın uygulanması metanol karışımlılarına ilave enerji girişini sağladığından yakıtın buharlaşmasını sağlayan önemli bir faktör olduğunu söylemiştir. Bununla birlikte egzoz gazı sıcaklığına az bir miktar etki ettiğini belirtmiştir.

Maurya and Agarwal (2011), HCCI yanmalı 2 silindirli bir motor üzerinde yaptıkları bir çalışmada emme hava sıcaklığının çevrimden çevrime olan değişimlerini incelemiştir. Deneyle emme hava sıcaklıklarını 120 °C, 140 °C ve 160 °C olarak belirlemişler ve motor 1500 d/d sabit hızdayken testleri gerçekleştirmişlerdir. Testlerde yakıt olarak etanol kullanmışlardır. Etanol hava karışımını emme manifoldu üzerine monte ettikleri bir enjektörden püskürtülerek silindirlere göndermişlerdir. Testlerde HCCI modunda emme hava sıcaklığının düşük değerinde  $\lambda=2$  oranına kadar karışımın tutuşturulabildiğini, emme hava giriş sıcaklığı arttığında, zengin karışımlı yanmada yüksek basınç oranlarına çıkılmasıyla motorun vuruntuya meyil gösterdiğini buna karşılık emme hava sıcaklığının yükselmesiyle HCCI modunda fakir karışımlarda  $\lambda=5,5$  oranına kadar karışımın ateşlenebildiğine değinmişlerdir.

Zhang vd. (2014), yaptıkları çalışmada emme hava giriş sıcaklığının ve hava fazlalık katsayısının HCCI yanmada yanma karakteristiklerine olan etkisini araştırmışlardır. Deneyle 2 silindirli 4 zamanlı dizel bir motor kullanmışlardır. HCCI yanmalı modu elde edebilmek için silindirlerden birini motorun çalışması için dizel modunda çalıştırırken diğer silindir HCCI modunda kullanılmıştır. Yakıt olarak dizel yakıtla benzer performansa sahip fakat düşük sıcaklıklarda daha kolay ateşlenebilmesi

nedeniyle n-heptan kullanmışlardır. testleri 3 farklı  $\lambda$  oranında (1,9, 2,3 ve 2,7) gerçekleştirmişlerdir. Homojen karışım ve ideal yanmayı elde edebilmek için emme sistemi üzerine elektrikli ısıtıcı yerleştirmişlerdir. Emme havası sıcaklığını 30 °C, 50 °C ve 70 °C olarak belirlemişlerdir. Emme hava sıcaklığının yükselmesiyle reaksiyonun hızlandığını ve bu nedenle silindir içi azami basıncın yükseldiği ve tutuşmanın daha önceki krank açılarında meydana geldiğini,  $\lambda$  oranı yükseldikçe silindir iç basıncının azaldığını, emme hava sıcaklığının yüksek sıcaklık değerinde ısı salımının bariz bir şekilde daha fazla meydana geldiğini belirtmişlerdir. Uygulanan test metoduna göre optimum emme hava sıcaklığını 60 °C-70 °C aralığı olduğunu söylemişlerdir. Çok zengin ya da çok fakir karışımlı yanmanın n-heptan yakıtı için uygun olmadığını, emme hava sıcaklığının arttırılması  $\lambda$  oranının üst limitini yükselttiğini belirtmişlerdir.

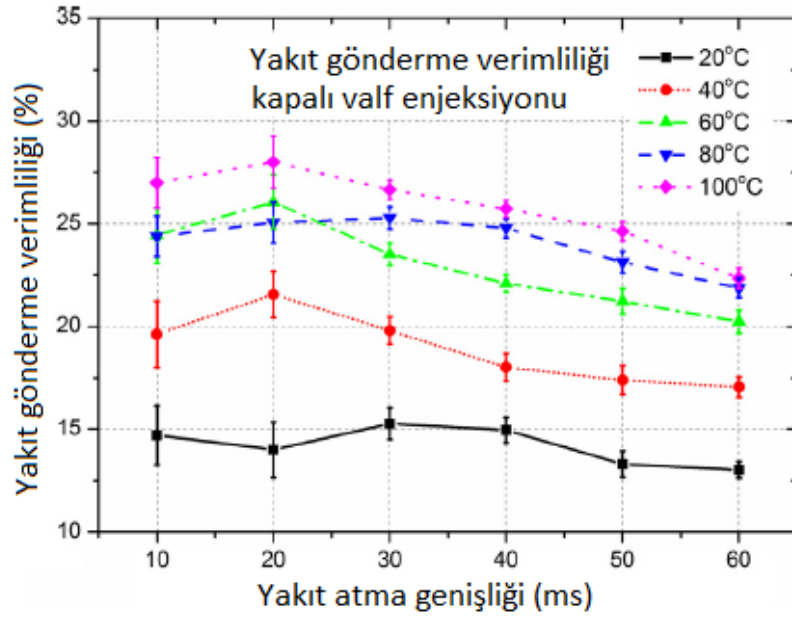
Li vd. (2013), Şekil 2.1'deki gibi 73 kW kapasiteli 4 silindirli bir motorun emme sisteminin bir bölümünü 3mm genişliğinde ve 0,1mm kalınlığında olan elektrikli film ısıtıcı ile kaplamışlardır.



Şekil 2.1. Elektrikli film ısıtıcı ile kaplanmış emme sisteminin bir bölümü (Li vd. 2013).

Böylelikle özellikle motorun ilk çalışması esnasında emme sistemi yüzeyinde yoğunlaşarak biriken yakıtın önüne geçmeye çalışmışlar ve yanma verimini iyileştirerek yakıt sarfiyatını azaltmaya çalışmışlardır. Aynı zamanda egzoz emisyonlarına olan etkisini incelemişlerdir. Testleri emme havası sıcaklığı 20 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C,

80 °C ve 100 °C'de gerçekleştirmişlerdir. Testlerde, Şekil 2.2'den de görüleceği gibi emme havası sıcaklığının yükselmesi bariz bir şekilde hava yakıt karışım ve yakıt gönderme verimliliğini iyileştirdiği sonucuna varmışlardır. Elektrikli film ısıtıcının 60 W'lık elektrik yükü ile yakıt gönderme veriminin %10 oranında iyileştiğini, bunun da emme sisteminin yüzey sıcaklığının düşük sıcaklıktan yüksek sıcaklığa ulaştırmanın karışım hazırlanmasını iyileştirmesinde etkili bir yöntem olduğunu belirtmişlerdir.



Şekil 2.2. 5 farklı emme havası sıcaklığına göre yakıt gönderme verimliliği (Li vd. 2013).

Sales ve Sodr  (2012), 4 silindirli 4 zamanlı buji ateşlemeli motora sahip bir araç üzerinde yaptıkları çalışmada emme sisteminin elektrik rezistansı ile ısıtılmasının ilk çalıştırma anındaki egzoz emisyonlarına olan etkisini araştırmışlardır. Testleri US FTP-75 programına göre gerçekleştirmişlerdir. Testlerin sonucunda; NO<sub>x</sub> emisyonu soğuk çalışmadan 200 saniye sonra azalmaya başladığını, katalitik konvektör veriminin emme havası giriş sıcaklığının yükseltilmesiyle iyileştiğini ve HC ile CO emisyonlarının azaldığını belirtmişlerdir.

Broatch vd. (2008), dizel motorlarda kirlenici gazların emme havasının elektrikli ısıtıcı ile ısıtılarak azaltılmasına yönelik bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada

kızdırma bujisine göre elektrikli ısıtıcı ile emme havasının ısıtılmasının daha sade, ekonomik ve uygulanabilirliği daha kolay bir yöntem olduğuna değinmişlerdir. Yüksek emme hava sıcaklığının NO<sub>x</sub> emisyonunu arttırmasına rağmen HC ve CO emisyonlarını motorun ısınma anında azalttığını belirtmişlerdir. Testlerde turbo şarjlı direk enjeksiyonlu dizel motor kullanmışlar ve MVEG-A programına göre testleri gerçekleştirmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlarla emme havasının uygun elektrikli ısıtıcı ile uygun sıcaklığa ayarlanmasıyla az bir miktar partikül maddelerinin artmasına rağmen HC, CO ve NO<sub>x</sub> emisyonlarının azaltılabileceğini ispatlamışlardır. Bununla birlikte elektrikli ısıtıcı ile emme havasının ısıtılması yöntemi egzoz emisyonlarının iyileştirilmesi için uygun bir yöntem olduğunu belirtmişlerdir.

Laurikko (1995), farklı teknolojilere sahip 10 araçla test yapmıştır. Araçları atmosfer sıcaklığı 0 °C'nin altında ECE15 ve EUDC sürüş programına göre test etmiştir. Test sonuçlarına göre düşük hava sıcaklığının egzoz emisyonuna olumsuz olarak etki ettiğini açıkça göstermiştir.

Gong vd. (2011), metanol ve LPG/metanol karışimli yakıtla çalışan buji ateşlemeli motor üzerinde araştırma yapmışlar ve yapmış oldukları çalışmada, ortam sıcaklığının motorun soğuk çalışma esnasında tutuşma davranışlarına ve emisyonlara olan etkisini araştırmışlardır. Testlerde;

1. Ortam sıcaklığının 301 K'den 289 K'e düşmesi ile enjekte edilen metanol miktarının %86 oranında arttığı,
2. Ortam sıcaklığının 289 K'nin altına düştüğü durumlarda ne kadar fazla metanol enjekte edilse de dış yardım olmadan yanmanın gerçekleşmesinin mümkün olmadığı,
3. Düşük ortam sıcaklığında LPG ilave edilmesiyle LPG/metanol karışimli yakıtın soğuk çalışmada tutuşabildiğini ve LPG/metanol karışımının kütleli oranı ortam sıcaklığı düştükçe hızla arttığı,
4. Ortam sıcaklığının yükselmesiyle silindir iç basıncının, maksimum anlık motor devri ve formaldehit emisyonunun arttığını, bununla birlikte yanmamış metanolün azaldığı sonuçlarını elde etmişlerdir.



Abd-Alla vd. (2001), çift yakıtla çalışan indirek enjeksiyonlu dizel bir motor üzerinde yaptıkları çalışmada EGR'de hava girişi sıcaklığının emisyonlara olan etkisini araştırmışlardır. Birincil yakıt olarak dizel yakıt kullanmışlar ikincil yakıt olarak propan kullanmışlardır. propan gazını emme sistemi üzerine monte ettikleri enjektörden vererek hava ile karışmasını sağlamışlardır. Testlerde;

1. Emme havasına CO<sub>2</sub> ilave edilmesiyle NO<sub>x</sub> emisyonu azalırken HC emisyonunun arttığı,
2. Emme havası sıcaklığının artması ile NO<sub>x</sub> emisyonunun arttığı, HC ve CO emisyonlarının azaldığı,
3. Emme havası giriş sıcaklığının yükselmesi ateşleme gecikmesinin azalmasına neden olduğundan yanma karakteristiklerini iyileştirdiği, böylelikle fren gücü ve termal verimliliğin arttığı,
4. Motor performansının, emme havası sıcaklığının yükseltilerek düşük yüklerde arttırılabileceği buna karşın aşırı yüklerde emme havasının sıcaklığının yüksek değerlere çıkarılmasının vurutuya neden olduğu sonuçlarını elde etmişlerdir.

Laurinaitis ve Slavinskas (2013), farklı yakıtların ve emme havası özelliklerinin HCCI motorları üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Yakıt olarak dizel, jet yakıtı, benzin ve etanol kullanmışlar ve testleri 4 silindirli 4 zamanlı bir motor üzerinde gerçekleştirmişlerdir. Motorun, HCCI modunda çalışırken setan sayısı düşük olan (benzin ve etanol) yakıtlarda daha dengeli çalıştığını belirtmişlerdir. Emme havası sıcaklığı düşük olduğunda özellikle daha ağır yakıt kullanılması hava/yakıt karışımının homojenliğinin azalttığını, emme havası sıcaklığı 120 °C'yken etanol/hava karışımı  $\lambda \leq 3,33$  olduğu durumda Ü.Ö.N'dan 3° K.M.A'ndan önce yanmanın gerçekleştiğini ve sıcaklığın 130 °C ulaşmasıyla  $\lambda \leq 4,4$ 'e kadar motorun dengeli çalışabildiğini söylemişlerdir. Bununla birlikte hava/etanol karışımının HCCI modunda yanmasıyla NO<sub>x</sub> emisyonu 12 ppm'i geçmediği, HC ve CO emisyonlarının 1200 ppm'i aştığı ve duman bulanıklığının <%3,5 olduğu sonuçlarını elde etmişlerdir.

Xiao vd. (2005), emme hava sıcaklığının dizel motorun emisyonlarına etkilerini araştırmışlardır. Intercooler üzerinde yapılan değişiklikle motor soğutma suyundan faydalanarak sudan havaya ısı değiştirici yapmışlardır ve emme havasının sıcaklığını selenoid valf ile ayarlamışlardır. Testleri, emme hava sıcaklığı  $35 \pm 3^{\circ}\text{C}$ ,  $45 \pm 3^{\circ}\text{C}$  ve  $55 \pm 3^{\circ}\text{C}$  sıcaklıklarda gerçekleştirmişlerdir. Emme hava sıcaklığının azalması ile özellikle tam yük altında egzoz dumanının ve  $\text{NO}_x$  emisyonunun azaldığı sonuçlarına varmışlardır.

Su vd. (2007), direk enjeksiyonlu dizel motorun soğuk çalışması sırasında emme havasının egzoz emisyonuna olan etkisini araştırmışlardır. Emme hava sıcaklığının soğuk çalışma esnasında motorun teklemesine ve düzensiz çalışmasına neden olan en önemli etken olduğunu belirtmişlerdir. Testlerde; emme hava sıcaklığının yükselmesi ile ateşleme gecikmesinin azaldığı ve difüzyon yanmanın hızlandığı, bunun sonucu olarak tutuşma şartlarının iyileştiği, soğuk çalışmada yakıt sarfiyatının ve teklemenin azaldığı bu yüzden HC emisyonunun azaldığı sonuçlarını elde etmişlerdir.

Kuboyama vd. (2013), emme hava sıcaklığının ve soğutucu sıcaklığının motor verimine, ısı kaybına ve sürtünme kayıplarına olan etkisini buji ateşlemeli bir motor üzerinde araştırmışlardır. Deneyle, ara yüklerde emme hava sıcaklığının termal verimliliğe az bir miktar etki ettiği, sıcaklığın artmasıyla termal verimliliğin az bir miktar iyileştiği, soğutma suyunun sıcaklığının motor bloğuna yakın bölgelerde yüksek, silindir kapağı bölümünde düşük olması termal verimliliği iyileştirdiği sonuçlarını elde etmişlerdir.

Abassi vd. (2010), emme havası sıcaklığının değişken yükler altında dizel motorun performans parametrelerine olan etkisini ikinci kanun dengesiyle incelemişlerdir. Testlerde; emme hava sıcaklığının artmasıyla kullanılabilir indike işin azaldığı, yanma tersinmezliklerin ve her çevrimde entropi üretiminin azaldığı, kullanılabilir ısı kayıpları ve egzoz gazının arttığı sonuçlarını elde etmişlerdir.

Kumar ve Raj (2013), yakıt enjeksiyon zamanının ve yükseltilmiş emme hava sıcaklığının çift yakıtla çalışan tek silindirli direk enjeksiyonlu dizel motorun yanma ve emisyon karakteristiklerine olan etkisini araştırmışlardır. Testlerde %5 biyodizel

%15 etanol ve %80 dizel karışimli yakıt kullanmışlardır. Enjeksiyon zamanlamasını Ü.Ö.N'dan 12, 15, 18, 21 ve 24° önce olacak şekilde ve emme hava sıcaklığı 40 °C ve 60 °C olarak belirlemişlerdir. Testlerde; enjeksiyon zamanlamasını geliştirmek silindir iç basıncını, sıcaklığını, ısı salınım oranını ve NO<sub>x</sub> emisyonunu arttırdığı, emme hava sıcaklığının yükselmesiyle HC ve CO emisyonlarının düşme eğiliminde olduğu ve enjeksiyon zamanlamasını iyileştirdiği, emme havasının ön ısıtma ile sıcaklığının yükseltilmesi karışımı iyileştirdiğinden yanma verimini de iyileştirdiği bunun sonucu olarak silindir iç basıncının ve ısı salınım oranını arttırdığı sonuçlarını elde etmişlerdir.

Papagiannakis (2013), yapmış olduğu çalışmada, ön ısıtmanın ve EGR'nin tek silindirli direk enjeksiyonlu sıkıştırma ile ateşlemeli çift yakıt kullanan bir motorun performans ve egzoz emisyon karakteristiklerine olan etkisini araştırmıştır. Bu çalışmada, LPG, emme sistemine enjektörle verilerek hava ile karıştırılıp silindir içerisine gönderilmiş, dizel yakıtın da sıkıştırılan LPG/hava karışımını tutuşturmak için silindir içerisine püskürtülmesiyle çift yakıtla yanma işleminin gerçekleşmesini sağlamıştır. İstenilen motor çıkış gücünü, LPG yakıtının miktarı ile ayarlamıştır. LPG/hava karışımı sıcaklığı 50 °C, 65 °C ve 80 °C olmak üzere 3 farklı sıcaklıkta ve her sıcaklıkta EGR yüzdeliği %0 ile %26 aralığında alarak testleri gerçekleştirmiştir. Yapılan bu çalışmada;

1. EGR kullanılmaksızın ön ısıtmanın yapılması motor verimliliğini tam yükte %20 arttırdığı ve silindir iç basıncını yükselttiğini, silindir iç basıncının aşırı yükselmesinin motor bileşenlerine zarar verebileceğinden dolayı ön ısıtmanın sınırlandırıldığı,
2. Maksimum silindir basıncının motora bileşenlerine zarar vermemesi için EGR yüzdeliği ile kontrol edilebileceği, böylelikle yüksek emme hava sıcaklığında EGR kullanımı, çift yakıtla çalıştırılan motorun verimini iyileştirmek için uygulanabilecek potansiyeli olan bir yöntem olduğu,
3. Çift yakıtlı yanmanın negatif etkisi olan CO emisyonu, ön ısıtmayla birlikte tam yükte %40 kadar azaltılabileceği, bununla birlikte bu tekniğin NO emisyonunu %50 kadar arttırdığı,

4. EGR kullanımının NO emisyonunu azaltabilecek potansiyeli olan bir yöntem olduğu, fakat aynı zamanda CO ve is miktarını arttıran olumsuz etkisinin de olduğu,
5. Genel olarak, EGR yüzdeliğinin artırılması ile ön ısıtmanın da yapılması motor verimini iyileştirmek ve CO emisyonunu azaltmak için önemli bir çözüm olduğu ve bunların motor ömrüne olumsuz etkisini bulunmaması nedeniyle potansiyeli olan önemli yöntemler olduğu sonuçlarına varmıştır.

## BÖLÜM 3

### BENZİNLİ MOTORLARDA PERFORMANS VE EMİSYONLARIN İYİLEŞTİRİLMESİ

Benzinli motorlarda teorik yanma olayında yanma sabit hacimde gerçekleşirken gerçek yanma olayında belli bir süreye ihtiyaç olduğundan gerçek yanma olayı sabit hacimde gerçekleşmez. Emme hava sıcaklığı, emme basıncı, volumetrik verim ve hava yakıt oranı gibi çalışma anında değişkenlik gösteren faktörler bu süreyi uzatarak yanma verimini düşürmekte ve yanmanın ideal yanma olayından gittikçe uzaklaşmasına neden olmaktadır. Bu da motor performans ve egzoz emisyonlarının önemli ölçüde değişmesine yol açmaktadır. Bununla birlikte sıkıştırma oranı, ateşleme avansı gibi dizayn parametreleri de performans ve emisyonları etkileyen önemli kriterlerdendir.

#### 3.1. SIKIŞTIRMA ORANININ PERFORMANSA ETKİSİ

İdeal motorlar için sıkıştırma oranı sıkıştırma başlangıcındaki silindir hacminin ( $V_1$ ) sıkıştırma işlemi sonucu yanma odası hacmine ( $V_2$ ) bölümü ile elde edilir ve Eşitlik (3.1)'den hesaplanır;

$$\varepsilon = \frac{V_1}{V_2} = \frac{V_h + V_c}{V_c} = 1 + \frac{V_h}{V_c} \quad (3.1)$$

Gerçek motorlarda ise sıkıştırma işlemi A.Ö.N'dan değil, emme supabının kapanmasından sonra başlar ve Eşitlik (3.2) ile elde edilir;

$$\varepsilon_g = \frac{(V_h - V_k) + V_c}{V_c} = 1 + \frac{V_h}{V_c} \quad (3.2)$$

$V_k$ , pistonun A.Ö.N'dan sonra supapların kapanana kadar taradığı hacimdir (ÇELİK, 1999).

Sıkıştırma oranı motorun gücünü ve performansını etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Sıkıştırma işlemi sonucu silindir içerisinde basınç ve sıcaklıklar yükselmektedir. Sıkıştırma oranının artmasıyla yanma işlemi sonucu ortalama efektif basıncı yükseltmekte ve çıkış gücü buna bağlı olarak artmaktadır.

Benzinli motorlarda sıkıştırma işlemi sonucu silindir içi sıcaklığının, vuruntu oluşmaması için benzinin kendiliğinden tutuşma sıcaklığının altında olması gerekmektedir. Bu ise sıkıştırma oranının yükseltilmesini kısıtlamaktadır.

Otto motorlarda sıkıştırma oranıyla termik verim arasındaki ilişki Eşitlik (3.3)'deki gibidir (Stone, 1989). Görüldüğü gibi sıkıştırma oranının yükselmesi termik verimin yükselmesine neden olmaktadır.

$$\eta = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \quad (3.3)$$

Hava-yakıt çevrimi, Otto çevriminin geliştirilmiş halidir ve gazların gerçek termodinamik özellikler göstermesine izin verir. Fakir karışımlardaki gazların karakteristikleri Otto çevrimi için kabullenilen karakteristiklere çok yakındır. Bu sebeple maksimum verime fakir karışımlarda ulaşılır. Ancak, gerçekte termik verim Otto çevrimiyle belirlenen seviyede artırılamamaktadır. Bunun başlıca sebepleri, sıkıştırma ve genişleme zamanları esnasında mekanik sürtünme ve ısı transferi olması, yanma işleminin ani olarak oluşmaması, egzoz supabının genişleme zamanı tamamlanmadan önce açılması ve kullanılan yakıtın Otto çevrimi için öngörülen mükemmel gaz özelliklerini göstermemesidir (Radwan, 1992).

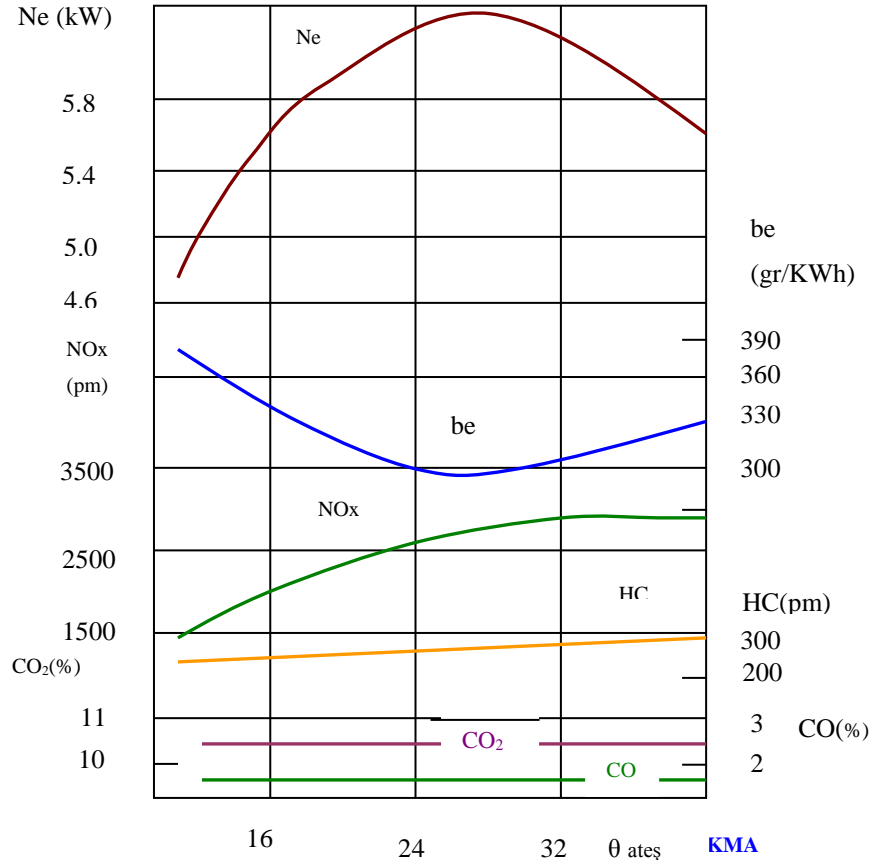
Motorun çalışma anındaki bütün değişkenleri sabit tutulup sıkıştırma oranı değiştirilirse volumetrik verim de değişir, Ancak deneysel çalışmalarda, sıkıştırma oranının artmasıyla volumetrik verimin azaldığı gibi arttığı da görülmüştür. Çünkü sıkıştırma oranının artması bir yandan sıcaklık seviyelerini artırdığı için volumetrik verime olumsuz yönde etki ederken, diğer taraftan artık gazların miktarını azalttığı için volumetrik verimi artırıcı yönde etki etmektedir (Safgönül vd. 1995).

Sıkıştırma oranının yanmayı etkilemesi sonucu motorun emisyon düzeyi az da olsa değişmektedir. Sıkıştırma oranı değişiminin NO<sub>x</sub> emisyonlarına etkisi önemsizdir. Bazı çalışmalarda sabit yük ve hızlarda artan sıkıştırma oranıyla NO<sub>x</sub> emisyonlarında tutarlı bir artış tespit edilmiş, diğer çalışmalarda küçük bir düşüş belirlenmiştir. Sıkıştırma oranındaki artışlar HC emisyonlarını artırmaktadır. Bunun başlıca sebepleri; yüksek sıkıştırma oranlarında genişleme zamanının sonlarında gaz sıcaklıklarının çok düşmesi sonucu silindirdeki HC oksitlenmesinin daha az gerçekleşmesi, daha düşük egzoz sıcaklıkları nedeniyle egzoz sisteminde daha az oksidasyon olmasıdır. Ayrıca yanma odası yüzeylerindeki ve piston bölgesindeki yarık, oyuk kısımların hacmindeki artışlar HC emisyonunu artırmaktadır (Heywood, 1988).

HC emisyonlarının en önemli kaynaklarından birisi de yanma odası yüzey alanıdır. Yanma odası içindeki alev yüzeye yakın bölgelerde soğur ve söner. Bu yanmamış bir HC tabakası bırakır ve bu tabaka yanmış gazlarla karışarak egzozla atılır. Hacme oranlı yanma odası yüzey alanı sıkıştırma oranı ile birlikte artmaktadır. Dolayısıyla sıkıştırma oranının artması HC emisyonunu da artırmaktadır (Scheffler, 1966).

### **3.2. ATEŞLEME AVANSI**

Yakıtın silindir içerisinde yanması ve bu yanmanın sonucunda silindir içerisinde maksimum basıncın elde edilmesi için Ateşleme Krank Mili Açısı (KMA) cinsinden Ü.Ö.N dan belirli derece önce başlatılması gereklidir. Ayrıca silindir içerisinde oluşan maksimum basınç piston Ü.Ö.N'yı 5°-10° derece geçe oluşturduğunda motordan en yüksek güç elde edilebilmektedir. Bu nedenle ateşleme avansı motorun devri ve çalışma koşullarına göre avans 30°-50° dereceye kadar arttırılabilmektedir.



Şekil 3.1. Ateşleme avansının egzoz emisyonlarına ve özgül yakıt tüketimine etkisi (Kutlar vd, 1998).

Ateşleme avansının motorun devrine göre artırılmasının amacı motordan en az yakıt tüketimi ile en fazla gücü elde etmektir (Kutlar vd, 1998). Şekil 3.1’de benzinli bir motorun sabit devir sayısı, yük, hava fazlalık katsayısı ve volumetrik verim koşullarında ateşleme avansının egzoz emisyonları, güç ve özgül yakıt tüketimi üzerindeki etkileri gösterilmektedir (Kutlar ve ark., 1998).

Motor gücünü arttırmak için Krank Mili Açısının (KMA) artırılması kirletici HC emisyon miktarlarını da artırmaktır. Ateşleme avansının azaltılması NO<sub>x</sub> emisyonlarını azaltmasının yanında güçte büyük düşme ve yakıt tüketiminde artış meydana getirdiği için istenmez. Bu nedenle ateşleme avansını HC emisyonunu sınır değerleri aşmayacağı bir KMA’da belirlemek gerekmektedir.



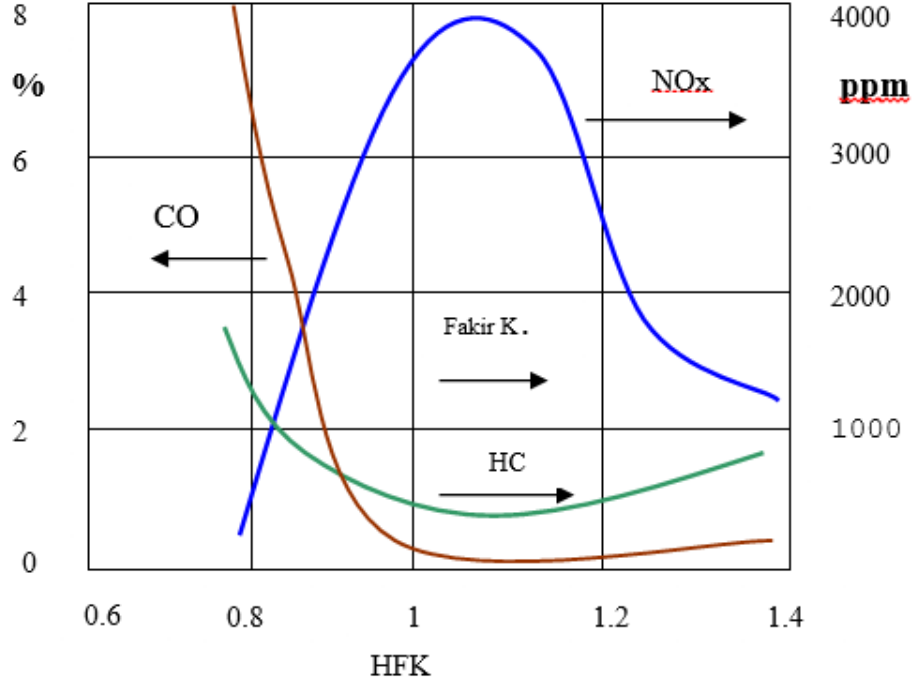
### 3.3. HAVA/YAKIT ORANI

Emisyon miktarlarını etkileyen en önemli değişkenlerden biri hava fazlalık katsayısıdır ( $\lambda$ ).  $\lambda$  ayrıca motorun performansını ve özgül yakıt tüketimini de etkilemektedir. Bu nedenle benzin motorlarının gücü,  $\lambda$  sabit kalacak şekilde motora emilen toplam yakıt-hava karışımının miktarı, bir gaz kelebeği yardımıyla emme kanalı kesiti kısılarak veya açılarak ayarlanmaktadır. Bu nedenle benzin motorlarında, ilk hareket, ivmelenme, maksimum güç vb. bazı çalışma koşulları dışında  $\lambda$ 'nın stokiometrik değer ( $\lambda=1$ ) civarında tutulması, karışımın tüm yanma odasında homojen olması (yanma odası içinde her yerde  $\lambda=1$  olması), bütün silindirlere gönderilen yakıt ve hava miktarlarının eşit olması ve çevrimden çevrime farklılıkların olmaması (silindir içindeki ve silindirler arasındaki düzgün  $\lambda$  dağılımının her çevrimde sağlanabilmesi) amaçlanmaktadır. Karışım oluşturma sisteminin bütün bu şartları sağlamasının mümkün olmadığı durumlarda, silindir içinde bölgesel olarak zengin ve fakir karışımlar oluşmakta ve silindirler arası farklılıklar ortaya çıkmaktadır. Bu durumda emisyonlarda artış olmaktadır (Kutlar vd, 1998).

Benzinli motorlarda  $\lambda$ 'nın egzoz emisyonlarına etkisi Şekil 3.2.'de görülmektedir. Şekil 4.5'de motor devri ve yükün sabit kaldığı kabul edilmiştir. Şekilden anlaşıldığı gibi, karışım oranı stokiometrik orandan zengin tarafa doğru yaklaştıkça CO miktarı artmaktadır. Bunun nedeni hava/yakıt oranının zengin tarafa yaklaştıkça oksijen miktarının azalması ile birlikte yetersiz yanmanın meydana gelmesindedir. Karışım oranı zengin tarafa doğru ilerledikçe CO miktarında artış olmaktadır. Ayrıca karbon monoksit lamda ( $\lambda$ )=1.2 civarından daha fakir tarafa doğru gidildikçe artış göstermektedir. Tekrar CO'nun lamda ( $\lambda$ )=1.2 değerden sonra artış göstermesi silindir içerisindeki yakıt molekülleri arasındaki mesafenin artması ve yanma kalitesinin düşmesi nedeni ile CO emisyonunda artış meydana gelmektedir.

Hidrokarbonların (HC) hava/yakıt oranına göre değişimi Şekil 3.2.'den incelendiğinde, hava/yakıt oranı zengin tarafa doğru ilerledikçe HC oranında artış olduğu görülmektedir. Bunun nedeni hava/yakıt oranı zenginleştikçe yanma için gerekli oksijenin azalması ile yanmanın tam olarak gerçekleşmemesidir. Ayrıca HC

miktarının yakıt çok fakirleştğinde tekrar yükseldiği, böylece yanma kötüleştiği için HC miktarının arttığı görülmektedir.



Şekil 3.2.  $\lambda$ 'nın egzoz emisyonlarına etkisi (Arslan, 1996).

Şekil 3.2.'de motor devri ve yükün sabit kaldığı kabul edilmiştir. Şekilden anlaşıldığı gibi, karışım oranı stokiyometrik orandan zengin tarafa doğru yaklaştıkça CO miktarı artmaktadır. Bunun nedeni hava/yakıt oranının zengin tarafa yaklaştıkça oksijen miktarının azalması ile birlikte yetersiz yanmanın meydana gelmesindedir. Karışım oranı zengin tarafa doğru ilerledikçe CO miktarında artış olmaktadır. Ayrıca karbon monoksit lamda ( $\lambda$ )=1.2 civarından daha fakir tarafa doğru gidildikçe artış göstermektedir. Tekrar CO'nun lamda ( $\lambda$ )=1.2 değerden sonra artış göstermesi silindir içerisindeki yakıt molekülleri arasındaki mesafenin artması ve yanma kalitesinin düşmesi nedeni ile CO emisyonunda artış meydana gelmektedir.

Her ne kadar benzinli motorlarda silindirlere emilen hava/yakıt oranı  $\lambda=1$  olacak şekilde ayarlansa da yanma zamanında yanmaya katılan hava/yakıt oranı değişiklik gösterebildiğinden emisyon değerleri de buna göre değişebilmektedir. Özellikle soğuk hava şartlarında yakıtın hava içerisinde yeterince buharlaşmaması yanmanın daha fakir karışımda gerçekleşmesine ve yanmayan yakıtın egzozdan atılmasına

neden olmaktadır. Bu nedenle silindirlere alınan hava/yakıt oranı  $\lambda=1$  olarak ayarlanmak istense de yanmanın  $\lambda>1$  değerlerinde gerçekleştiği anlamına gelmektedir. Bunun da HC ile CO emisyonlarının arttırmasına neden olacağı görülmektedir.

### **3.4. GİRİŞ BASINCI VE SICAKLIĞI**

Benzinli motorlarda motorun tükettiği havanın basıncı ve sıcaklığı performans ve emisyonlara önemli etkileri olur. Motorun çalışma anında diğer tüm parametreleri sabit tutulup basıncın yükseltilmesi silindirlere alınan havanın yoğunluğunu arttıracığından silindirlere normal şartlara göre kütleli olarak daha fazla hava alınmasına neden olur ve böylelikle daha fazla yakıtın yanmasıyla motor gücünün arttırılması sağlanır. Basıncın azalması ise tam tersi etki gösterir (Husaboe, 2013). Emilen hava sıcaklığı ise 300 K'den 600 K'e çıkması alev hızını 3 kat hızlandırmaktadır. Bunun sonucunda tutuşma gecikmesi azalır ve yanma verimi iyileşir (Turns, 2012).

Soares ve Sodré (2002) değişken atmosfer şartlarının 4 silindirli benzinli bir taşıtın ivmelenmesine etkisini incelemiştir. Atmosfer basıncının düşmesi, havanın yoğunluğunun düşmesine neden olduğunu belirtmiştir. Bunun da emilen hava/yakıt miktarını ve volumetrik verimi düşürdüğü, buna bağlı olarak da çıkış gücünün azalttığını tespit etmiştir. Düşük emme hava sıcaklığının da yanma hızını düşürdüğünden çıkış gücünü düşürdüğü, diğer taraftan emme hava sıcaklığının yüksek olmasının ise yüksek devirlerde volumetrik verimi düşürdüğü sonucuna varmıştır.

Kuboyama vd. (2013), benzinli bir motorda, emme hava sıcaklığının ve soğutucu sıcaklığının motor verimine, ısı kaybına ve sürtünme kayıplarına olan etkisini araştırmışlardır. Deneylerde, ara yüklerde emme hava sıcaklığının termal verimliliğe az bir miktar etki ettiği, sıcaklığın artmasıyla termal verimliliğin az bir miktar iyileştiği, soğutma suyunun sıcaklığının motor bloğuna yakın bölgelerde yüksek, silindir kapağı bölümünde düşük olması termal verimliliği iyileştirdiği sonuçlarını elde etmişlerdir.

## BÖLÜM 4

### MATERYAL VE METOD

#### 4.1. DENEYLERDE KULLANILAN MATERYALLER

##### 4.1.1. Benzinli Jeneratör

Deneyleerde benzinli motorun yüke bindirilmesi gerekmektedir. Uygulamada kolay temin edilebilir, ekonomik ve motora bindirilecek olan karşı yükün elektrik yükü olarak istenilen değerlerde ayarlanabilir olması nedeniyle deneyleerde Solax YM3000LQ marka ve model Şekil 4.1'deki gibi benzinli bir jeneratör kullanılmıştır.



Şekil 4.1. Deneyleerde kullanılan jeneratör.

Jeneratörde, 168F-2 modelinde yakıt olarak benzin kullanan karbüratörlü motor kullanılmıştır. Jeneratör, maksimum 2,5 kW ve sürekli 2,3 kW elektrik enerjisi üreten bir dinamoya sahiptir. Jeneratörün teknik özellikleri Çizelge 4.1.'deki gibidir.

Çizelge 4.1. Benzinli jeneratörün teknik özellikleri.

MOTOR	Motor tipi	4 zamanlı-OHV tek silindir
	Silindir hacmi (cm <sup>3</sup> )	196
	Çap x strok (mm)	68 x 54
	Sıkıştırma oranı	8,5:1
	Sürekli güç (Hp/rpm)	5,5/1800
	Maksimum güç	6,5/1800
	Maksimum tork (kgm/rpm)	2,24/1500
JENERATÖR	Faz adedi	1
	Frekans (Hz)	50
	Maksimum Çıkış	2,5 kW
	Sürekli Voltaj (V)	230
	Sürekli Akım (A)	10,8
	Güç Faktörü (cosΦ)	1,0
	DC Çıkış	12V 8,3 A

#### 4.1.2. Elektrikli Isıtıcı

Motorun emmiş olduğu havanın ısıtılması için Şekil 4.2'deki gibi 2 adet elektrikli ısıtıcı kullanılmıştır. Elektrikli ısıtıcı için gereken elektrik enerjisi 12 V 60 A özelliklerindeki bir otomobil aküsünden karşılanmıştır. Elektrikli ısıtıcının teknik özellikleri Çizelge 4.2'deki gibidir.



Şekil 4.2. Elektrikli ısıtıcı.

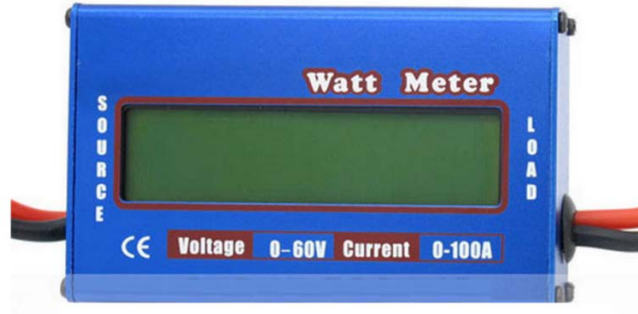
Çizelge 4.2. Elektrikli ısıtıcının teknik özellikleri.

Maksimum Güç	200 W
Voltaj	12 V AC/DC
Ölçüler	120x50x26 mm
Isı Malzemesi	PTC Termistör
Isıtma Metodu	Hava akışı ile ısı radyasyonu

Elektrikli ısıtıcıların ısı transfer verimlerini arttırmak için yan yana montaj edilerek paralel tek bir radyatör gibi (100x120x26mm) birleştirilmiş ve hava deposunun içine montajı yapılmıştır.

#### 4.1.3. Wattmetre

Elektrikli ısıtıcının anlık olarak harcadığı gücü, güç kaynağından çekmiş olduğu akımı ve voltajı belirlemek için Şekil 4.3'deki gibi anlık ölçüm yapabilen dijital wattmetre kullanılmıştır.



Şekil 4.3. Wattmetre.

Kullanılan Wattmetrenin teknik özellikleri Çizelge 4.3.'deki gibidir.

Çizelge 4.3. Watmetrenin teknik özellikleri.

Voltaj ölçüm aralığı	7,2 V-60 V (0,01 V çözünürlük)
Akım	0-100 A (0,01 A çözünürlük)
Güç	0-6554 W (0,1 W çözünürlük)
Şarj	0-60 Ah (0,001 Ah çözünürlük)
Enerji	0-6554 Wh (0,1 Wh çözünürlük)
Ölçüm güncelleme periyodu	400 mS
Sinyal örnek oranı	Örnek/s
İç rezistans	0,001 Ohms
İşletme akımı	7 mA
Ölçüler (UxGxD)	84x50x20 mm

#### 4.1.4. PWM Modülü

Motorun emme hava sıcaklığını istenilen sıcaklıkta sabit tutabilmek için elektrikli ısıtıcının gücünün ayarlanması gerekmektedir. Bunun için Şekil 4.4'deki gibi PWM modülü kullanılmıştır.



Şekil 4.4. PWM modülü.

PWM modülünün teknik özellikleri Çizelge 4.4'deki gibidir.

Çizelge 4.4. PWM modülünün teknik özellikleri.

Güç gereksinimi	10-50 V DC
Maksimum akım	40 A
Frekansı	1200 HZ
Kontrol güç aralığı	0,01-480 W (12 V işletmede)
	0,01-960 W (24 V işletmede)
	0,01-1440 W (36 V işletmede)
	0,01-2000 W (50 V işletmede)
Kontrol oranı	%5-100
Ölçüler	105x55x40mm
	Ağırlık: 130 gram

#### 4.1.5. Dijital Termometre

Emme sistemi üzerindeki elektrikli ısıtıcı ile ısıtılan havanın sıcaklığının belirlenmesi için Şekil 4.5'deki gibi dijital termometre kullanılmıştır. Emme hattı üzerine delik açılarak termometre probu emme hattı içine yerleştirilerek emme havasının sıcaklığının ölçülmesi sağlanmıştır.



Şekil 4.5. Dijital termometre.

Kullanılan dijital termometrenin teknik özellikleri Çizelge 4.5'deki gibidir.



Çizelge 4.5. Dijital termometrenin teknik özellikleri.

Çalışma voltajı	12 V DC
Ölçüm aralığı	-5~ 100 °C
Ölçüm hassasiyeti	0,1 °C
Tazeleme oranı	200mS/adet
Enerji tüketimi	0,2 W
Sıcaklık probu	B3950-10K
Ortam çalışma sıcaklığı	-40~65 °C

#### 4.1.6. Infrared Termometre

Testlerde motor sıcaklığı ve egzoz gazı sıcaklıklarının ölçümü için Şekil 4.6'daki gibi maksimum, minimum ve ortalama sıcaklık değerlerini ölçebilen temassız infrared termometre kullanılmıştır.



Şekil 4.6. Infrared termometre.

Motor sıcaklığı için ölçümler silindir bloğundan, egzoz sıcaklığı için egzoz sistemi hattı başlangıcından 5 cm uzaklıktaki bir noktadan yapılmıştır. Kullanılan infrared termometrenin teknik özellikleri Çizelge 4.6'daki gibidir.

Çizelge 4.6. Infrared termometrenin teknik özellikleri.

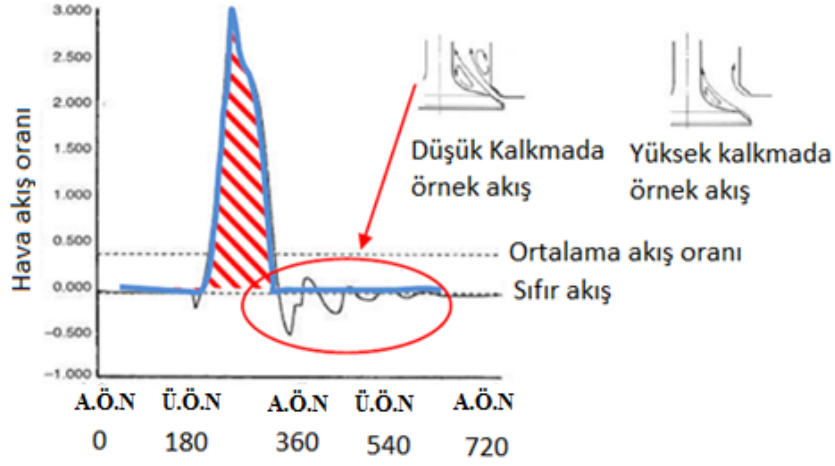
Sıcaklık ölçüm aralığı	-50~700 °C
Hassasiyet	0~700 °C : %±1,5; -50~0 °C : ±3,0 °C
Çözünürlük	0,1 °C
Tekrarlanabilirlik	%1 okuma
Spektral tepki	8-14 um
Yayıcılık	0,95
Ölçüm uzaklığının ölçüm ışığı büyüklüğüne oranı	12:1

#### 4.1.7. Hava Debi Ölçeri

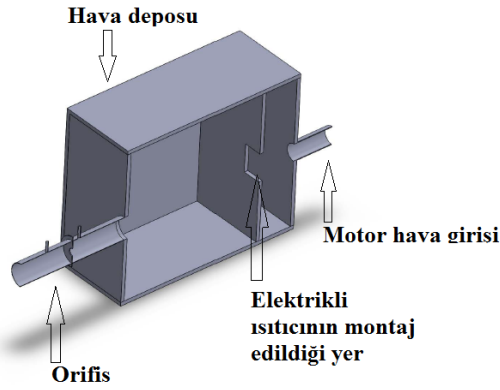
İçten yanmalı motorlar bir iş periyodunda yalnız 1 kere emme işlemi gerçekleşmektedir ve emme işleminde emme supabının ani açılıp kapanması akışta düzensizlikler meydana getirmektedir.

Şekil 4.7.'den de görüldüğü üzere grafiğin kırmızı çizgilerle belirtilen bölümü emme zamanını göstermektedir. Kırmızı elips içine alınan bölümde supapların açılıp kapanması esnasında hava akışında oluşan titreşimler görülmektedir. Bunun sonucunda ise hava debisinin ölçülmesinde hatalar oluşmakta ve hassas bir ölçümün yapılması zorlaşmaktadır (Persoons, 2006).

Bu olumsuzlukların önüne geçmek için emme sistemine rezervuar olarak düşünülebilecek kesiti Şekil 4.8'deki gibi büyük bir hava deposu imal edilmiş ve emme havasının titreşimleri hava deposu içerisinde sönümlenmesi sağlanmıştır.



Şekil 4.7. Tek silindirli 4 zamanlı motorda hava akışı modeli (Persoons, 2006).

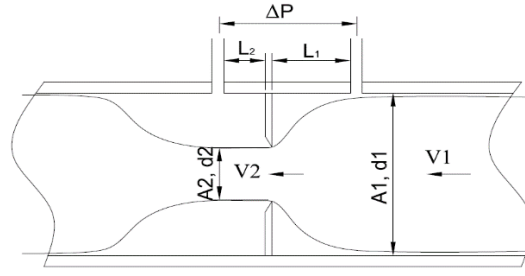


Şekil 4.8. Hava deposu kesiti.

Atmosferden emilen havanın hava deposuna dolan hat üzerine detayları Şekil 4.9.'daki gibi olan orifis yerleştirilmiş ve havanın orifis içerisinden geçerek hava deposuna dolması sağlanmıştır.

Böylelikle hava deposunda titreşimleri sönmüş emme havası, orifiste hassas bir şekilde ölçülmesi sağlanmıştır. Orifisin dizaynı uluslararası standart olan ve orifis plakası ile akışkan ölçümünü kapsayan ISO-5167 2003 standartlarına göre yapılmıştır. Orifis ölçüleri "4.2.4. Hava fazlalık katsayısı ve orifis" başlığı altında belirtilen formüllerden hesaplanmıştır ve aşağıdaki gibi belirlenmiştir;

$$L_1=55 \text{ mm}, L_2=35 \text{ mm}, d_1=53 \text{ mm}, d_2=12,5 \text{ mm},$$



(a)



(b)

(c)

Şekil 4.9. Orifis, a) Orifis kesiti b) iç görünüşü c) hava deposundaki konumu.

#### 4.1.8. Dijital Manometre

Motor hava debisinin hesaplanmasında orifiste meydana gelen basınç farkının bilinmesi için Şekil 4.10'deki gibi dijital manometre kullanılmıştır. Kullanılan dijital manometrenin teknik özellikleri Çizelge 4.7'deki gibidir.



Şekil 4.10. Dijital manometre.

Çizelge 4.7. Dijital manometrenin teknik özellikleri.

Fonksiyon	Ölçüm Aralığı	Çözünürlük	Fonksiyon	Ölçüm Aralığı	Çözünürlük
InH <sub>2</sub> O	±55,40	0,01	Ozin2	±32,00	0,01
Psi	±2,000	0,001	FtH <sub>2</sub> O	±4,612	0,001
Mbar	±137,8	0,1	cmH <sub>2</sub> O	±140,6	0,1
kPa	±13,79	0,01	kgcm <sup>2</sup>	±0,140	0,001
inHg	±0,407	0,001	bar	±0,137	0,001
mmHg	±103,4	0,1			

#### 4.1.9. Dijital Terazi

Testlerde jeneratörün harcadığı yakıtın belirlenebilmesi için hassasiyeti 0,01 g olan dijital terazi kullanılmıştır.

#### 4.1.10. Kronometre

Test sürelerinin tespiti için 1 salise hassasiyetli kronometre kullanılmıştır.

#### 4.1.11. Egzoz Emisyon Cihazı

Testlerde egzoz emisyonlarının ölçümü için Şekil 4.11.'de gösterilen Federal Otomotiv Equipment marka, hacimsel olarak %0-10 aralığında CO, hacimsel olarak %0-20 aralığında CO<sub>2</sub> ve 0-20000 ppmV aralığında HC emisyonlarını ölçebilen egzoz emisyon cihazı kullanılmıştır.



Şekil 4.11. Egzoz emisyon cihazı.

#### 4.1.12. Halojen Ampüller

Jeneratörün kademeli olarak elektrik yüküne bindirilmesi için Şekil 4.12'deki gibi her biri 500 W gücünde olan 4 adet halojen ampüller kullanılmış ve her ampül ayrı anahtarlara bağlanmıştır. Böylelikle testler dört farklı yük altında gerçekleştirilmesi sağlanmıştır.

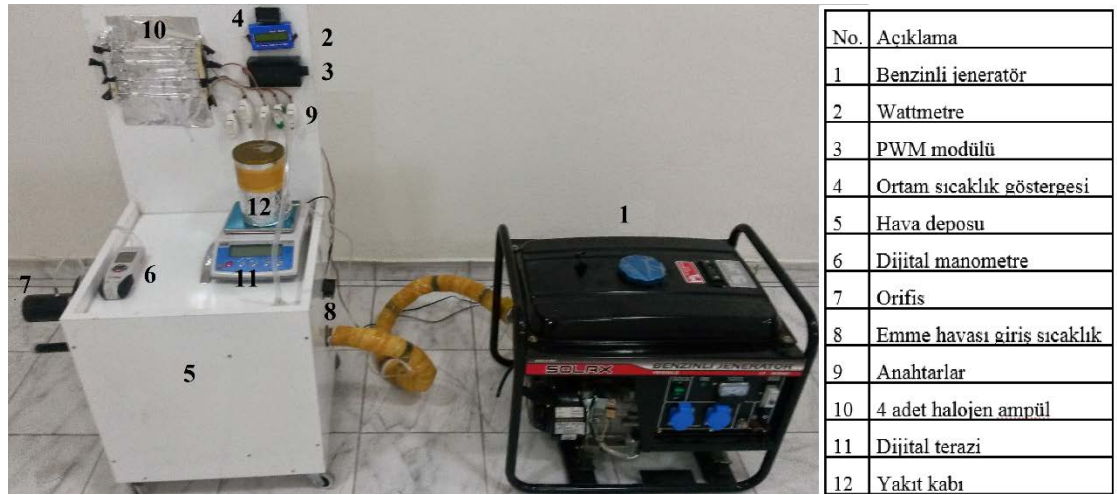


Şekil 4.12. Halojen ampüller.

## 4.2. DENEY METODU

Deney düzeneği, bölüm 4.1’de açıklanan araç gereçlerden faydalanılarak Şekil 4.13’deki gibi kurulmuştur.

Deneyle -5 °C sıcaklıkta açık havada ön ısıtma olmaksızın, 10 °C, 25 °C, 40 °C, 55 °C ve 70 °C ön ısıtmalı olarak gerçekleştirilmiştir. Emme havasının sıcaklığı elektrikli ısıtıcı kullanılarak artırılmıştır. Elektrikli ısıtıcı için gerekli olan elektrik enerjisi harici bir güç kaynağından karşılanmıştır. Jeneratörde üretilen elektrik enerjisi, 500 W gücündeki 4 adet halojen lambalar kullanılarak sırasıyla devreye alınıp 0,5 kW, 1,0 kW 1,5 kW, 2,0 kW olarak tüketilmiş ve motor böylelikle sabit devirde (3000 d/d) 4 farklı yük altında test edilmiştir.



Şekil 4.13. Deney düzeneği.

Deneylede motor performans kriterleri olarak, özgül yakıt tüketimi, efektif verim, hava fazlalık katsayısı ve volumetrik verim incelenmiştir. Emisyon karakteristikleri olarak HC ve CO değerleri incelenmiştir.

### 4.2.1. Efektif Güç

Motorun efektif gücü dinamometre verimi ihmal edilerek jeneratörde üretilen elektrik enerji olarak kabul edilmiştir.

#### 4.2.2. Özgül Yakıt Tüketimi

Deneilerde belirli bir zaman diliminde  $\Delta t$  (s) kullanılan yakıt miktarı (kg) bilindiğine göre saatlik yakıt tüketimi;

$$B = \frac{m_{yakıt} * 3600}{\Delta t} \left[ \frac{kg}{h} \right] \quad (4.2)$$

$B$  : Saatlik kullanılan yakıt miktarı  $\left[ \frac{kg}{h} \right]$

$m_{yakıt}$  : Kullanılan yakıt miktarı [kg]

$\Delta t$  : Test süresi [s]

formülünden bulunmuş ve buradan özgül yakıt tüketimi aşağıdaki formülle hesaplanmıştır;

$$b_e = \frac{B}{P_e} [kg/kWh] \quad (4.3)$$

$P_e$  : Efektif güç [kW]

#### 4.2.3. Efektif Verim

Eşitlik (4.2)'den hesaplanan özgül yakıt tüketimi ile motor efektif verimi arasındaki bağıntı kullanılarak efektif verim Eşitlik (4.3)'den hesaplanmıştır;

$$\eta_e = \frac{3600}{b_e * H_u} \quad (4.4)$$

$H_u$ (benzinin alt ısıl değeri) : 43 930 [kJ/kg]



#### 4.2.4. Hava Fazlalık Katsayısı ve Orifis

Birim miktardaki yakıtı yakmak için gerekli olan hava miktarına stokiyometrik oran denir ve Otto motorlar için yaklaşık olarak 14,957 olup Eşitlik (4.4)'den hesaplanmıştır (Haşimoğlu, 2005);

$$(H/Y)_{teorik} = \frac{\dot{m}_{hava}}{\dot{m}_{yakıt}} = 14,957 \left[ \frac{kg \text{ hava}}{kg \text{ yakıt}} \right] \quad (4.5)$$

$\dot{m}_{hava}$ : Havanın kütleli debisi [kg/s]

$\dot{m}_{yakıt}$ : Yakıtın kütleli debisi [kg/s]

Gerçek çalışma koşullarında ise bu oran aşağıdaki gibi alınmıştır;

$$(H/Y)_{gerçek} = \frac{\dot{m}_{hava}}{\dot{m}_{yakıt}} \quad (4.6)$$

Hava fazlalık katsayısı ise Eşitlik (4.4) ve Eşitlik (4.5) kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanmıştır;

$$\lambda = \frac{(H/Y)_{gerçek}}{(H/Y)_{teorik}} \quad (4.7)$$

Hava fazlalık katsayısının belirlenebilmesi için motorun tüketmiş olduğu yakıtın ve havanın kütleli debilerinin bilinmesi gerekmektedir. Yakıtın kütleli debisi aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

$$\dot{m}_{yakıt} = \frac{m_{yakıt}}{\Delta t} \text{ [kg/s]} \quad (4.8)$$

$m_{yakıt}$  : Test süresi boyunca tüketilen yakıt miktarı [kg]

$\Delta t$  : Test süresi [s]

Motorun tüketmiş olduğu havanın kütleli debisi ise kesiti Şekil 4.9'daki gibi olan orifis ile ölçülerek ve aşağıdaki hesaplama adımlarıyla bulunmuştur (Çengel, 2006).

Kütlenin korunumundan aşağıdaki Eşitlik (4.8) yazılmıştır:

$$\dot{V} = A_1 V_1 = A_2 V_2 \quad (4.9)$$

$\dot{V}$ : Hacimsel debi [ $m^3/s$ ]

$V_1$ : 1 konumunda akışkanın hızı [m/s]

$A_1$ : 1 konumundaki orifisin kesit alanı [ $m^2$ ]

$V_2$ : 2 konumunda akışkanın hızı [m/s]

$A_2$ : 2 konumundaki orifisin kesit alanı [ $m^2$ ]

Bernoulli Eşitliği'nden hız çekilerek ( $Z_1=Z_2$ ) orifisin dar alanından geçen havanın hızı aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g}$$

$$V_2 = \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho(1 - \beta^4)}} \quad m/s \quad (4.10)$$

Eşitlik (4.9)'da yer alan  $\beta = \frac{d_2}{d_1}$  olarak orifiste çap oranı olarak bilinmektedir. Eşitlik (4.9), Eşitlik (4.8)'de yerine konulduğunda havanın hacimsel debisi elde edilir ve aşağıdaki Eşitlik (4.10)'dan hesaplanır:

$$\dot{V} = A_2 C_d \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho(1 - \beta^4)}} \quad m^3/sn \quad (4.11)$$

Eşitlik (4.10)'da yer alan  $C_d$  orifis katsayısı olup Eşitlik (4.11)'den hesaplanabilmektedir (ISO-5167 2003);

$$C_d = 0,5959 + 0,0312\beta^{2,1} - 0,184\beta^8 + 0,0029\beta^{2,5} \left(\frac{10^6}{Re}\right)^{0,75} + \quad (4.12)$$

$$0,0900 \left( \frac{L_1}{d_1} \right) \left[ \frac{\beta^4}{(1-\beta^4)} \right] - 0,0337 \left( \frac{L_2}{d_1} \right) \beta^3$$

Eşitlik (4.11)'de geçen  $Re$ , Reynolds sayısı olarak bilinir ve Eşitlik (4.12)'den hesaplanır;

$$Re = \frac{\rho V_2 d_1}{\mu} \quad (4.13)$$

$\mu$ : havanın viskozitesi [kg/m.s]

Eşitlik (4.11) yalnızca  $0,25 < \beta < 0,75$  ve  $10^4 < Re < 10^7$  olması durumunda geçerli olup orifis bu kriterlere göre dizayn edilmiştir. Eşitlik (4.11)' de önceden bilinmeyen  $V_2$  bulunmaktadır ve bu nedenle  $Cd$  katsayısının hesaplanması mümkün olmadığından hacimsel debi ve gerekli diğer hesaplamalar yapılamamaktadır. Deneylerde her testin hesaplamalarında başlangıç olarak bir  $Cd$  tahmin edilerek  $V_2$  bulunmuş ve ardından  $Cd$  Eşitlik (4.11)'de tekrar hesaplanmıştır.  $Cd$  katsayısı, hesaplanan  $Cd$  katsayısı ile başlangıçta tahmin edilen  $Cd$  katsayısı aynı olana kadar tekrarlı hesaplamalarla belirlenmiştir.

Eşitlik (4.10) sıkıştırılmaz akışkanlar için geçerli olup sıkıştırılabilen akışkanlar için genişleme katsayısı ( $\varepsilon$ ) türetilerek Eşitlik (4.10) yeniden düzenlenmiş ve aşağıdaki Eşitlik (4.13) elde edilmiştir (ISO-5167 2003);

$$\dot{V} = A_2 C_d \varepsilon \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho(1 - \beta^4)}} \quad m^3/sn \quad (4.14)$$

Eşitlik (4.13)'de yer alan  $\varepsilon$  Eşitlik (4.14)'den hesaplanmıştır (ISO-5167 2003).

$$\varepsilon = 1 - (0,351 + 0,256\beta^4 + 0,93\beta^8) \left[ 1 - \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{1}{k}} \right] \quad (4.15)$$

$k=1,4$  alınmıştır.

Eşitlik (4.14)'de  $\beta$  oranı bilinmektedir. Atmosfer basıncı da bilindiğine göre orifisten  $P_2$  ve  $P_1$  basınçları dijital manometre ile ölçülerek Eşitlik (4.13)'de yerine konulursa genleşme katsayısı hesaplanabilmektedir. Hesaplamalarda hacimsel debi Eşitlik (4.13)'e göre hesaplanmıştır.

Hacimsel debi ile kütleli debi arasındaki bağıntı aşağıdaki gibidir.

$$\dot{m}_h = \rho_h \dot{V}_h \quad (4.16)$$

$\dot{m}_h$ : Havanın kütleli debisi [kg/s]

$\rho_h$ : Havanın yoğunluğu [kg/m<sup>3</sup>]

$\dot{V}_h$ : Havanın hacimsel debisi [m<sup>3</sup>/s]

Orifiste atmosfer basıncı ile  $P_2$  ve  $P_1$  basınçları arasında ihmal edilebilecek kadar düşük basınç farklılıkları olduğundan havanın yoğunluğu aşağıdaki gibi alınmıştır;

$$\rho_2 = \rho_1 = \rho_{atmosfer} \quad (4.17)$$

İdeal gaz denkleminde faydalanılarak havanın yoğunluğu ( $\rho_h$ ) aşağıdaki Eşitlik (4.17)'den hesaplanmıştır;

$$P_{atm}V = mRT_{atm} \quad (4.18)$$

$$R=0,287 \left[ \frac{kJ}{kgK} \right]$$

$P_{atm}$ : Deney anında T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğünün verisi dikkate alınmıştır.

$$\rho_h = \frac{m}{V} = \frac{P_{atm}}{RT_{atm}} \quad kg/m^3 \quad (4.19)$$

Motorun tüketmiş olduğu havanın hacimsel debisi Eşitlik (4.13)'den hesaplandıktan sonra havanın kütleli debisi ( $m_h$ ) aşağıdaki formülden hesaplanmıştır;

$$\dot{m}_h = \rho_h \dot{V} = \rho_h A_2 C_d \varepsilon \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho(1 - \beta^4)}} \quad kg/s \quad (4.20)$$

#### 4.2.5. Volumetrik Verim

Volumetrik verim motorun her bir yükünde gerçek hava tüketiminin, teorik olarak o devirde motorun tüketmesi hava miktarına bölümü ile yüzde olarak Eşitlik (4.20)'den hesaplanır (Sağiroğlu, 2006).

$$\eta_v = \frac{\dot{V}_{gerçek}}{\dot{V}_{teorik}} \quad (4.21)$$

Burada yer alan teorik hava tüketimi ise Eşitlik (4.21)'den hesaplanır.

$$\dot{V}_{teorik} = V_h x \frac{n}{2} \quad lt/dk \quad (4.22)$$

Burada  $V_h \, dm^3$  olarak motorun kurs hacmi ( $0,196 \, dm^3$ ),  $n$  motorun dakikadaki devir sayısıdır ve jeneratörde devir sabit olup 3000 d/d'dır. Eşitlik (4.21)'den elde edilen teorik hava tüketimini Eşitlik (4.22)'den  $m^3/s$ 'ye dönüştürülür.

$$\dot{V}_{teorik} = V_h x \frac{n}{2x60x1000} \quad m^3/sn \quad (4.23)$$

Motor ölçüleri ve devir sayısı bilindiğinden ve değişmediğinden  $\dot{V}_{teorik}$  Eşitlik (4.21)'den  $0,0049 \, m^3/sn$  olarak bulunur.  $\dot{V}_{gerçek}$  ise deneylerden elde edilen veriler sonucunda Eşitlik (4.13)'den hesaplanır.

## BÖLÜM 5

### DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu çalışma kış şartlarında benzinli motorların ön ısıtma ile emme havasının sıcaklığını yükselterek motor performans kriterlerinin iyileştirilmesine yönelik bir çalışmadır. Deneyler -5 °C sıcaklıkta açık havada ön ısıtma olmaksızın, 10 °C, 25 °C, 40 °C, 55 °C ve 70 °C ön ısıtmalı olarak gerçekleştirilmiştir. Emme havasının sıcaklığı elektrikli ısıtıcı kullanılarak arttırılmıştır. Elektrikli ısıtıcı için gerekli olan elektrik enerjisi harici bir güç kaynağından karşılanmıştır. Jeneratörde üretilen elektrik enerjisi, 500 W gücündeki 4 adet halojen lambalar kullanılarak sırasıyla devreye alınıp 0,5 kW, 1,0 kW, 1,5 kW, 2,0 kW olarak tüketilmiş ve motor böylelikle sabit devirde (3000 d/d) 4 farklı yük altında test edilmiştir.

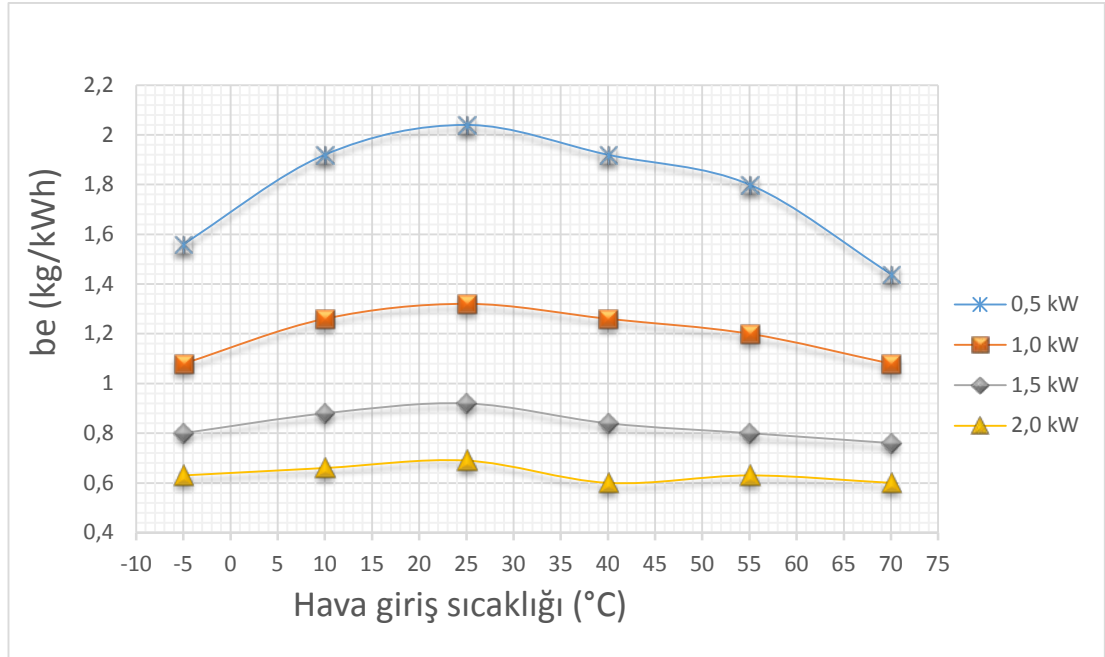
Deneylerde motor performans kriterleri olarak, özgül yakıt tüketimi, efektif verim, hava fazlalık katsayısı ve volumetrik verim; egzoz emisyon karakteristikleri olarak HC ve CO değerleri incelenmiştir.

#### 5.1. ÖN ISITMANIN MOTOR PERFORMANSINA ETKİLERİ

Ön ısıtmanın yapılmadığı -5 °C sıcaklıktaki verilere göre ön ısıtma ile motorun tükettiği havanın 10 °C, 25 °C, 40 °C, 55 °C ve 70 °C sıcaklığa çıkarılması ile elde edilen veriler karşılaştırıldığında motor performansında önemli bir değişim olmadığı görülmüştür. Bu bölümde ön ısıtmanın motor performansına olan etkileri incelenmiştir.

### 5.1.1. Özgül Yakıt Tüketimi

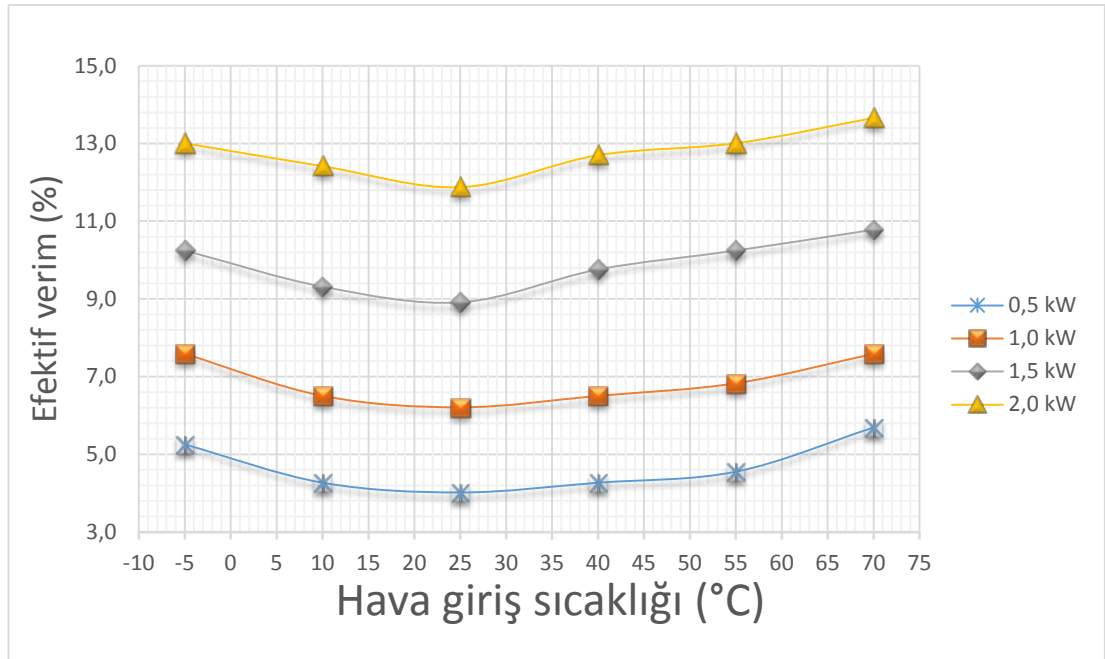
Deney motoru 0,5 kW, 1,0 kW 1,5 kW, 2,0 kW yükler altındayken ve motorun tükettiği hava sıcaklığının -5 °C, 10 °C, 25 °C, 40 °C, 55 °C ve 70 °C olduğu sıcaklıklardayken elde edilen test sonuçları Şekil 5.1’de verilmiştir. Özgül yakıt tüketimi, ön ısıtmanın yapılmadığı -5 °C’deki noktadan ön ısıtmalı 25 °C’ye kadar artmış, ardından azalmış, 70 °C’de ön ısıtmanın yapılmadığı -5 °C’ki seviyeden aşağı düştüğü görülmüştür. Ön ısıtmanın yapıldığı 0,5 kW ve 1,0 kW yükler altında 70 °C’deki özgül yakıt tüketimi değeri, ön ısıtmanın yapılmadığı -5 °C’deki özgül yakıt tüketimi değerine göre yaklaşık %8, aynı sıcaklık değerlerinde 1,5 kW yük altında %5, 2,0 kW yük altında ise %10 kadar azalmıştır. Bunun nedeni emme havasının ön ısıtma sonucu silindir içinde gaz sıcaklıklarının artması ve kimyasal tepkimeyi iyileştirdiği, buna bağlı olarak yanma veriminin iyileşmesiyle yanma zamanında yanmaya katılan yakıt miktarının artmasıdır (Çınar vd. 2015).



Şekil 5.1. Ön ısıtmanın özgül yakıt tüketimine etkisi.

### 5.1.2. Efektif Verim

Efektif verim incelenirken faydalı iş olarak jeneratör verimi ihmal edilerek jeneratörde tüketilen elektrik enerjisi dikkate alınmıştır. Elektrikli ısıtıcının tüketmiş olduğu elektrik enerjisi efektif verime dahil edilmemiştir. Bu kabullenmelere göre farklı yükler altında ön ısıtmanın efektif verime olan etkisi Şekil 5.2’de gösterilmiştir. Efektif verim, ön ısıtmanın yapılmadığı  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ’den ön ısıtmanın yapıldığı  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ’ye kadar olan sıcaklıklarda azalma eğilimi gösterirken,  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ’nin üzerine çıkıldığında efektif verim iyileşmiştir. Ön ısıtma sonucu efektif verimin en yüksek olduğu sıcaklık  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ’dir. Örneğin  $2,0\text{ kW}$  yük altında ön ısıtmanın yapılmadığı  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ’de efektif verim %13 iken ön ısıtma yapıp motorun tüketmiş olduğu hava  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ’ye çıktığında efektif verim %13,7’ye çıkmıştır. Deney sonucunda elde edilen veriler daha önce yapılan çalışmalarla (Payri vd., 2006; Zhang vd., 2011) benzerlik göstermektedir.

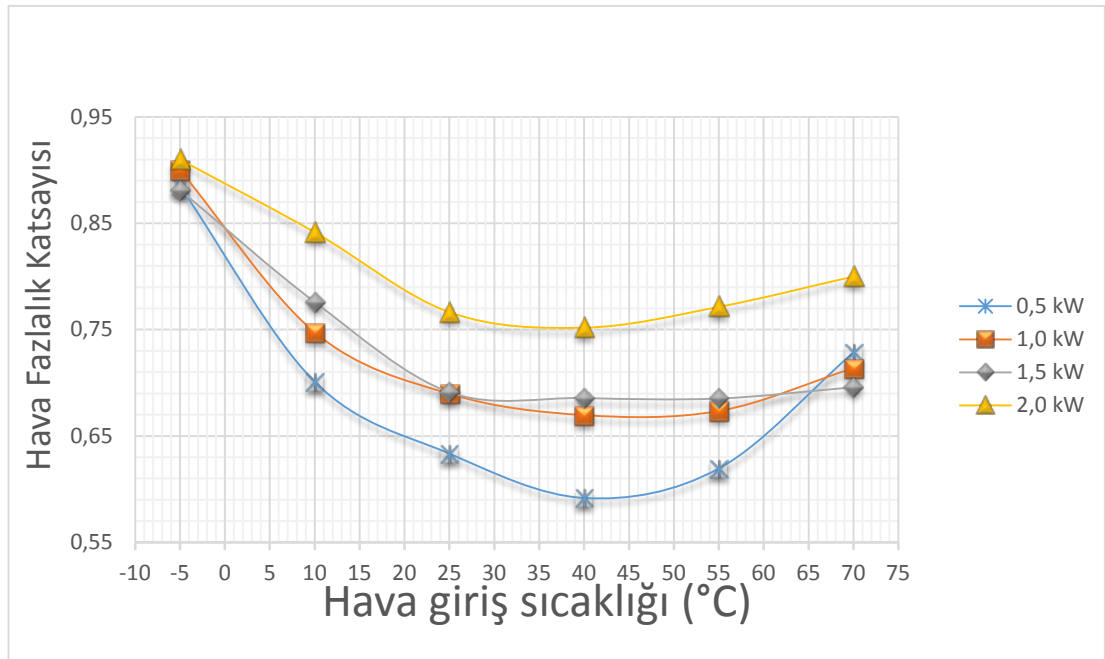


Şekil 5.2. Ön ısıtmanın efektif verime etkisi.



### 5.1.3. Hava Fazlalık Katsayısı

Ön ısıtma işlemi sonucu hava giriş sıcaklığına göre  $\lambda$  değişimi Şekil 5.3'de gösterilmiştir.  $\lambda$  tüm yüklerde ön ısıtmanın yapılmadığı  $-5$  °C'den ön ısıtmanın yapıldığı  $40$  °C sıcaklığa kadar düşüş eğilimi göstermiş,  $40$  °C'den  $70$  °C sıcaklığa kadar da tekrar yükselme eğilimi göstermiştir. Deneylede ön ısıtma işlemi sonucu motorun tükettiği havanın yoğunluğu azalmış ve kütleli olarak emilen havanın miktarı azalmıştır. Bu nedenle  $\lambda$  ön ısıtma işlemi sonucu düşmüş ve yanma işlemi daha fazla zengin karışımda gerçekleşmiştir. Örneğin  $2,0$  kW yük altında ön ısıtmanın yapılmadığı  $-5$  °C'de  $\lambda$   $0,91$  iken  $40$  °C'de  $\lambda$   $0,75$ 'e düşerek en düşük değere inmiş ardından ön ısıtma işlemi sonucu sıcaklığın yükselmesi ile birlikte tekrar yükselme eğilimi göstermiştir. Sıcaklık  $70$  °C'e çıktığında ise  $\lambda$   $0,80$ 'e ulaşmıştır.

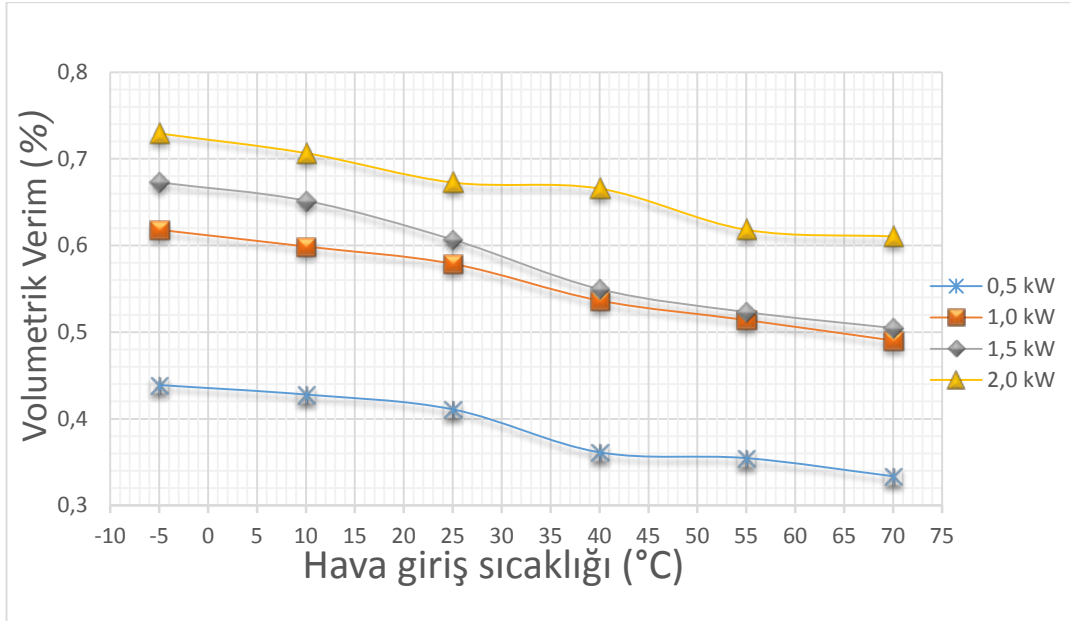


Şekil 5.3. Ön ısıtmanın hava fazlalık katsayısına etkisi.

### 5.1.4. Volumetrik Verim

Şekil 5.4.'den hava giriş sıcaklığının volumetrik verime olan etkisi gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi ön ısıtma yapılmadan  $-5$  °C'de volumetrik verim tüm

yüklerde en yüksek seviyedeysen ön ısıtma yapılması ile birlikte giderek düşme eğilimi göstermiş ve en düşük değer tüm yüklerde 70 °C’de olduğu belirlenmiştir. Bunun nedeni ön ısıtma işlemi sonucunda motor içerisine emilen havanın yoğunluğunun azalmasıdır. Örneğin 2,0 kW yük altında ve -5 °C’de volumetrik verim 0,73 iken sıcaklık 70 °C’ye çıktığında 0,61’e düşmüştür.



Şekil 5.4. Hava giriş sıcaklığının volumetrik verime etkisi.

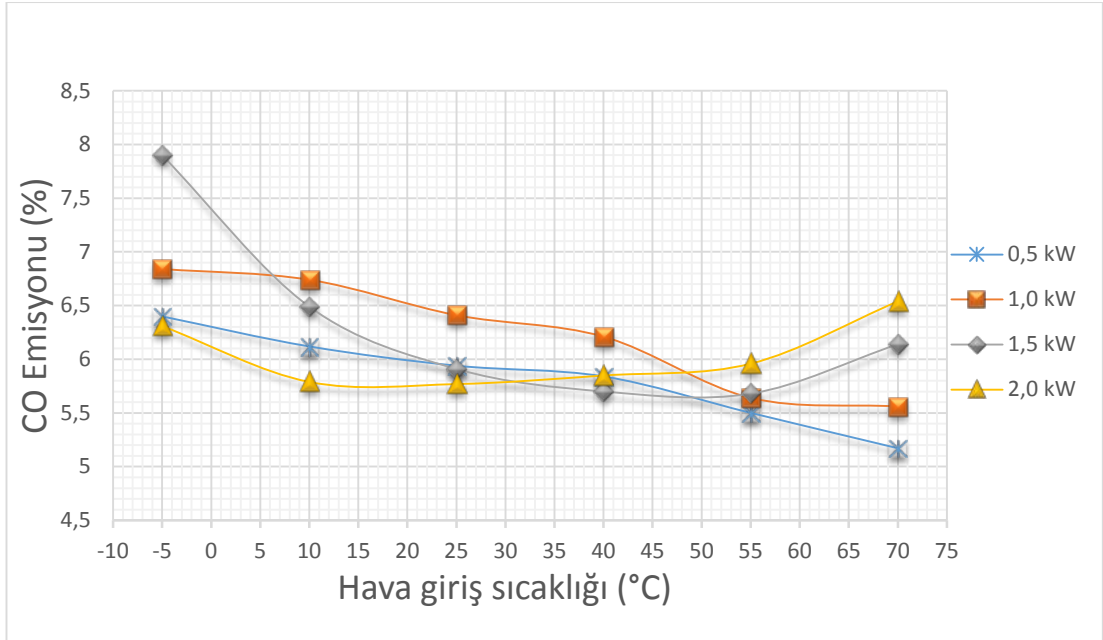
## 5.2. ÖN ISITMANIN EGZOZ EMİSYONLARINA ETKİSİ

Deneylerden elde edilen verilere göre ön ısıtmanın yapılmadığı -5 °C’deki egzoz emisyon değerleri ile ön ısıtmanın yapıldığı tüm sıcaklıklarda elde edilen egzoz emisyon değerleri kıyaslandığında emisyonların soğuk hava şartlarında ön ısıtma işlemi ile iyileştirilebileceği görülmüştür. Bu bölümde ön ısıtmanın egzoz emisyonlarına olan etkisi incelenmiştir.

### 5.2.1. CO Emisyonu

Deney motoru 0,5 kW, 1,0 kW 1,5 kW, 2,0 kW yükler altındayken ve motorun tükettiği hava sıcaklığının -5 °C, 10 °C, 25 °C, 40 °C, 55 °C ve 70 °C olduğu sıcaklıklardayken elde edilen CO emisyonu sonuçları Şekil 5.5’de gösterilmiştir.

Benzinli motorlarda CO oluşumu, oksijenin yetersiz olduğu veya silindirin içindeki bazı bölgelerde karışımın homojen olmayışından kaynaklanmaktadır (Hazar ve Öner 2004). Oksijenin yetersiz olması durumunda tam yanma gerçekleşemediğinden yakıtın içindeki karbon tam yanma ürünü olan CO<sub>2</sub> dönüşmez ve CO olarak kalır. Şekil 5.5'den de görüldüğü gibi ön ısıtma sonucu emme hava sıcaklığının artması yakıtın hava içerisinde daha kolay buharlaşmasını sağlamış ve yanma verimini iyileştirmiştir ve CO emisyonunu azaltmıştır. Bu sonuçlar, bu alanla ilgili literatürde yapılmış çalışmalarla benzer sonuçları vermektedir (Aytav, 2004; Maurya ve Agarwal, 2011; Zhang vd., 2011).

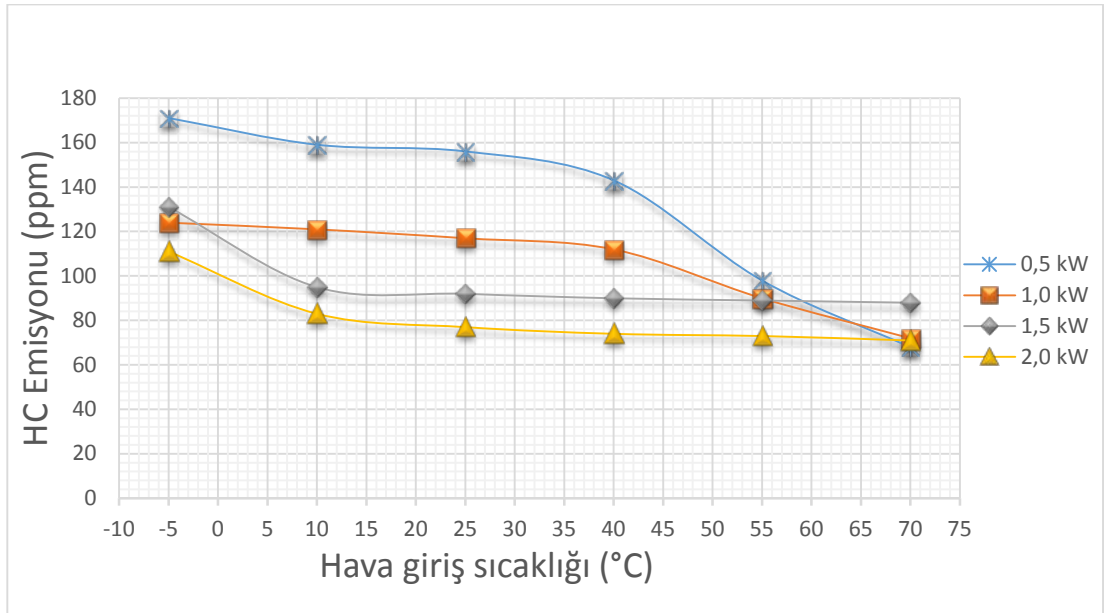


Şekil 5.5. Ön ısıtmanın CO emisyonuna etkisi.

0,5 kW ile 1,0 kW yük altında CO emisyonu, ön ısıtma işlemi sonucu sıcaklığın artması ile düşmüştür. Örneğin 0,5 kW yük altında ön ısıtmanın yapılmadığı -5 °C'de CO emisyonu %6,84 iken, ön ısıtmanın yapıldığı 70 °C'de %5,56 ile en düşük seviyeye inmiştir. 1,5 kW yük altında ön ısıtmanın yapılmadığı -5 °C'de CO emisyonu %7,9 iken ön ısıtmanın yapıldığı 55 °C'de %5,68 ile en düşük seviyeye inmiş ardından 70 °C'de bir miktar yükselerek %6,14 seviyesine çıkmıştır. 2,0 kW yük altında ise ön ısıtmanın yapılmadığı -5 °C'de CO emisyonu %6,31 iken, ön ısıtmanın yapıldığı 30 °C'de %5,77 ile en düşük seviyeye inmiş ardından 70 °C'ye kadar tekrar yükselme eğilimi göstermiş ve 70 °C'de %6,54 seviyesine çıkmıştır.

### 5.2.2. HC Emisyonu

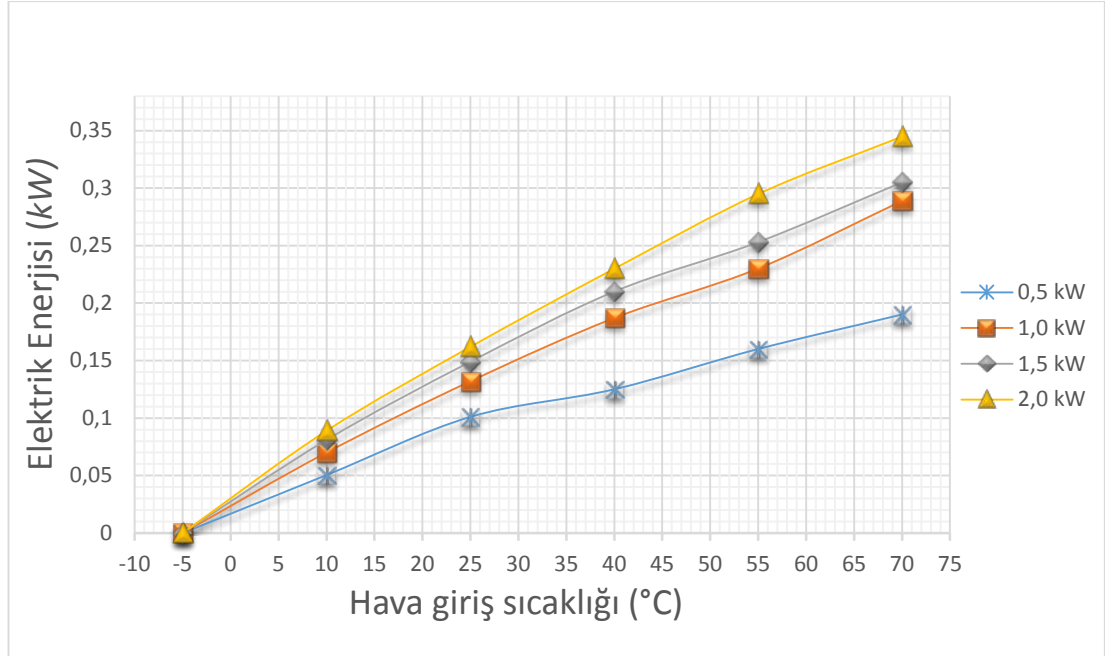
Zararlı gazlardan olan HC emisyonu, deney motoru 0,5 kW, 1,0 kW 1,5 kW, 2,0 kW yükler altındayken ve motorun tükettiği hava sıcaklığının -5 °C, 10 °C, 25 °C, 40 °C, 55 °C ve 70 °C olduğu sıcaklıklarda incelenmiş ve sonuçlar Şekil 5.6'da gösterilmiştir. HC emisyonu, yakıtın yanma işlemi sırasında tamamının yanmaması ve tepkimeye girmeyen yakıtın egzozdan atılması ile oluşmaktadır. Ön ısıtma ile yanma odası sıcaklığının yükseltilmesi ile yanma verimi iyileştirilmiştir. Böylelikle tepkimeye girmeyen yakıt miktarı azalarak HC emisyonu ön ısıtma işlemi sonucu azalması sağlanmıştır. Elde edilen bu sonuç Zhang vd. (2011) ile Kakaee vd. (2015) yapmış oldukları çalışmalarda elde edilen sonuçlarla paralellik göstermektedir. En fazla iyileşme 0,5 kW yük altında gerçekleşmiştir Başlangıçta ön ısıtmanın yapılmadığı -5 °C'de HC emisyonu 171 ppm iken ön ısıtmanın yapıldığı 70 °C'de 68 ppm ile en düşük seviyesine inmiştir. 1,5 kW ve 2,0 kW yüklerde ön ısıtmanın yapıldığı 10 °C'den sonra ise yine azalmaya devam etmekle birlikte önemli bir düşüş olmamıştır.



Şekil 5.6. Ön ısıtmanın HC emisyonuna etkisi.

### 5.3. ÖN ISITMA İÇİN TÜKETİLEN ELEKTRİK ENERJİSİ

Deney motoru 0,5 kW, 1,0 kW 1,5 kW, 2,0 kW yükler altındayken, motorun tükettiği havanın sıcaklığının -5 °C'den, 10 °C, 25 °C, 40 °C, 55 °C ve 70 °C'ye çıkarabilmek için gerekli olan elektrik enerjisi Şekil 5.7.'de gösterilmiştir. -5 °C hava giriş sıcaklığında ön ısıtma işlemi yapılmamıştır ve elektrikli ısıtıcılarının elektrik enerjisi tüketmemiştir. Şekilden de görüldüğü gibi hava giriş sıcaklığı arttıkça gerekli olan elektrik enerjisi de artmaktadır. Örneğin 2,0 kW yük altında motorun tükettiği havayı ön ısıtma ile 70 °C'ye çıkarmak için elektrikli ısıtıcı 345 W elektrik enerjisi harcamıştır.



Şekil 5.7. Elektrikli ısıtıcının tükettiği elektrik enerjisi.

### 5.4. ÖN ISITMA İÇİN TÜKETİLEN ELEKTRİK ENERJİSİNİN EFEKTİF VERİME ETKİSİ

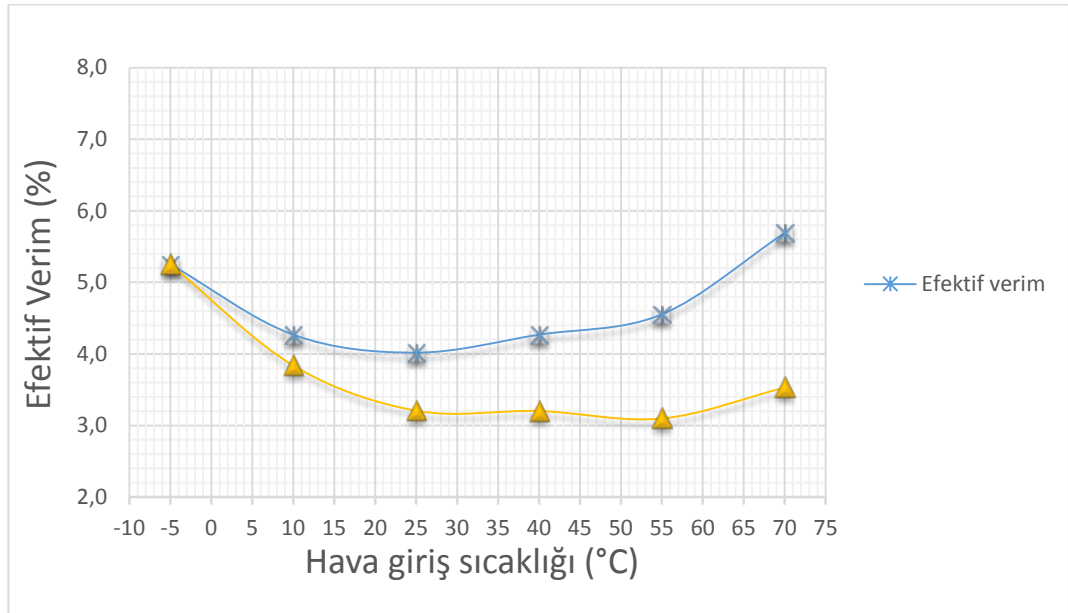
Yapılan bu çalışma benzinli motorlarda ön ısıtma işlemi yapılarak hava giriş sıcaklığı artırılmasının motor performans kriterlerine olan etkisi incelenmiştir. Motorun tükettiği havanın sıcaklığının yükseltilmesi için soğutma suyu sıcaklığından, egzoz gazı sıcaklığından veya elektrikli ısıtıcıda faydalanılabilir. Deneylerde

kullanılan jeneratör hava soğutmalı olduğundan soğutma suyundan faydalanmak mümkün olmamıştır. Testlerde hava giriş sıcaklığının sabit tutulması gerektiğinden egzoz gazı sıcaklığından faydalanılacak bir yöntem için geliştirilecek sistemin karmaşık olması nedeniyle tercih edilmemiştir. Bu nedenlerle istenilen kriterleri karmaşık bir sistem gerektirmeden sağlayabiliyor olması ve uygulanabilirliğinin de kolay olması nedeniyle elektrikli ısıtıcı tercih edilmiştir.

Elektrikli ısıtıcının kullanılması ile birlikte jeneratörde üretilen faydalı işin bir kısmı elektrikli ısıtıcı tarafından tüketildiğinden efektif verimin buna bağlı olarak düşmesine neden olmaktadır. Bu bölümde elektrikli ısıtıcının tüketmiş olduğu elektrik enerjisinin efektif verime olan etkisi incelenmiştir.

#### 5.4.1. 0,5 kW Yük Altında Elektrikli Isıtıcının Efektif Verime Etkisi

0,5 kW yük altında elektrikli ısıtıcının tüketmiş olduğu ön ısıtma işlemi için gerekli olan elektrik enerjisinin efektif verime olan etkisi Şekil 5.8.'de gösterilmiştir.



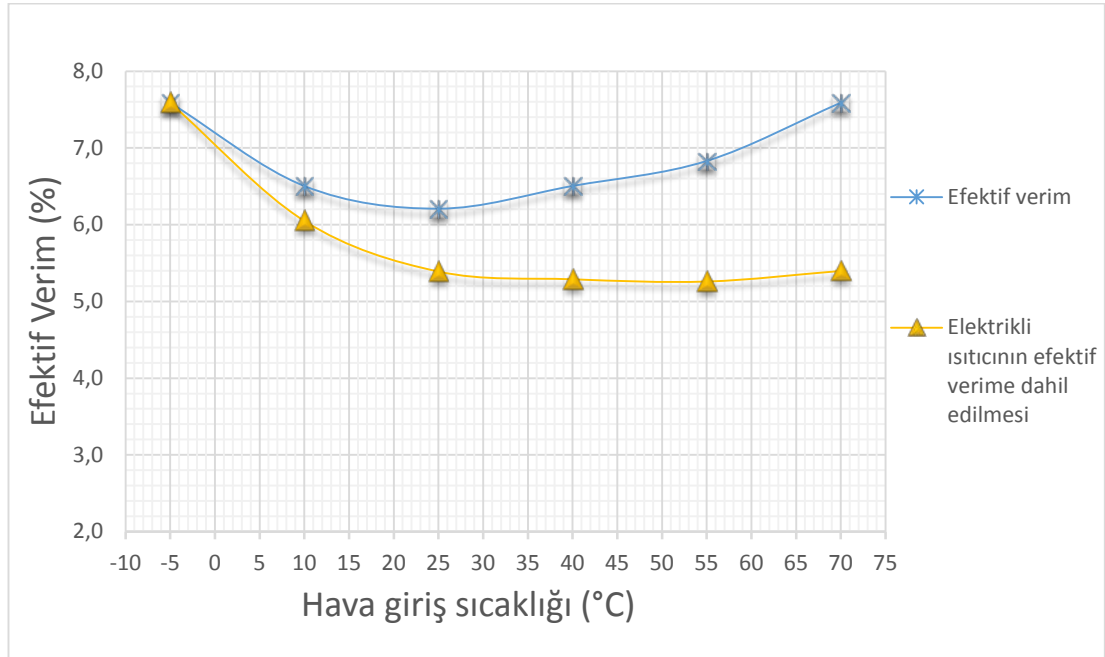
Şekil 5.8. Elektrikli ısıtıcının 0,5 kW yük altında efektif verime etkisi.

Şekilden de görüldüğü gibi elektrikli ısıtıcı faydalı işin bir kısmını tükettiği için verimin düşmesine neden olmuştur. Hava giriş sıcaklığının yükselmesi efektif

verimin düşüşünü hızlandırmıştır. Örneğin ön ısıtma işlemi sonucu 70 °C hava giriş sıcaklığında efektif verim %5,7 iken elektrikli ısıtıcının verime olan etkisi dikkate alındığında bu oran %3,5'e düşmüştür.

#### 5.4.2. 1,0 kW Yük Altında Elektrikli Isıtıcının Efektif Verime Etkisi

1,0 kW yük altında elektrikli ısıtıcının efektif verime etkisi incelendiğinde Şekil 5.9.'dan da görüldüğü gibi elektrikli ısıtıcı ile ön ısıtma işleminin yapılması verimin düşmesine neden olmuştur. Efektif verimdeki düşüşün en fazla olduğu sıcaklık 70 °C hava giriş sıcaklığında olmuştur. 70 °C de efektif verim %7,6 iken, elektrikli ısıtıcı efektif verimin %5,4'e düşmesine neden olmuştur.

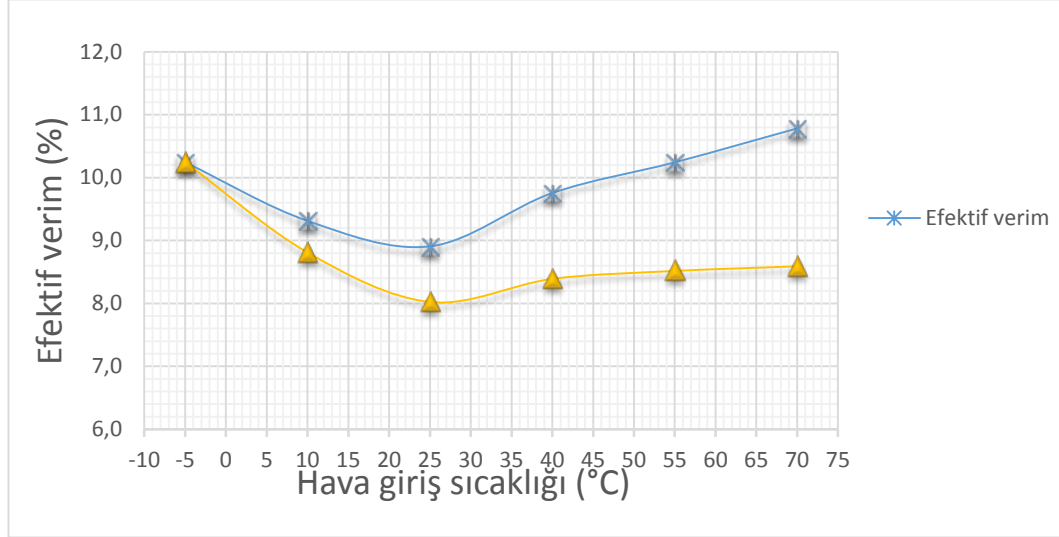


Şekil 5.9. Elektrikli ısıtıcının 1,0 kW yük altında efektif verime etkisi.

#### 5.2.3. 1,5 kW Yük Altında Elektrikli Isıtıcının Efektif Verime Etkisi

Jeneratörde üretilen elektrik enerjisi 1,5 kW'a yükseldiğinde elektrikli ısıtıcının ön ısıtma işlemi sonucu efektif verimi Şekil 5.10.'dan da görüleceği gibi düşürmüştür. Benzer şekilde en fazla efektif verimdeki düşüş ön ısıtmanın yapıldığı 70 °C hava

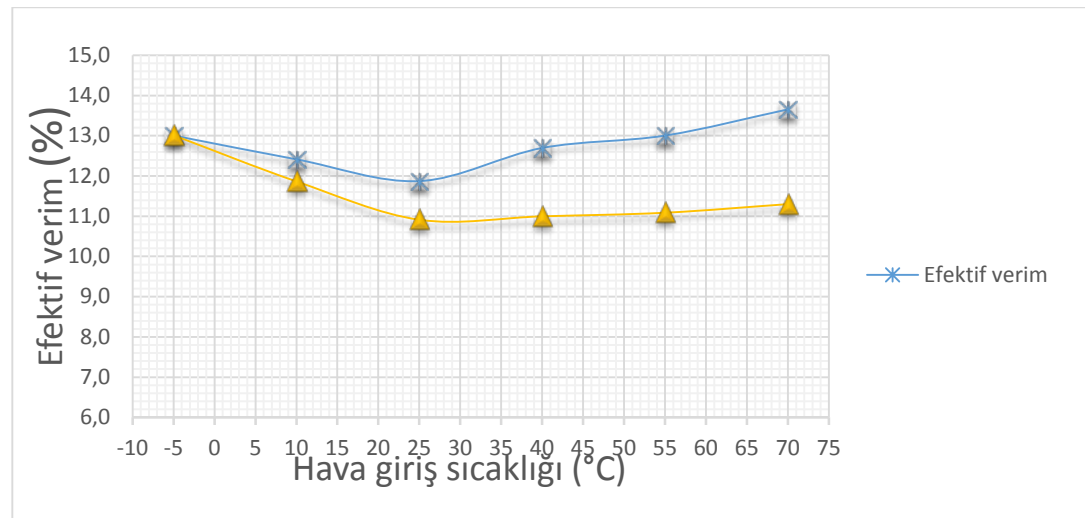
giriş sıcaklığında gerçekleşmiştir. 70 °C de efektif verim %10,8 iken, elektrikli ısıtıcı ile ön ısıtmanın yapılması efektif verimin %8,6'ya düşmesine neden olmuştur.



Şekil 5.10. Elektrikli ısıtıcının 1,5 kW yük altında efektif verime etkisi.

#### 5.4.4. 2,0 kW Yük Altında Elektrikli Isıtıcının Efektif Verime Etkisi

Son olarak 2,0 kW yük altında elektrikli ısıtıcı ile ön ısıtma işlemi yapılmasının efektif verime etkisi incelenmiştir. Bundan önceki yüklerde olduğu gibi Şekil 5.11.'den de görüleceği üzere elektrikli ısıtıcı ile yapılan ön ısıtma işlemi efektif verimin düşmesine neden olmuştur.



Şekil 5.11. Elektrikli ısıtıcının 2,0 kW yük altında efektif verime etkisi.



Efektif verimdeki en fazla düşüş yine 70 °C hava giriş sıcaklığında gerçekleşmiştir. 70 °C de efektif verim %12 iken, elektrikli ısıtıcı efektif verimin %11,3'e düşmesine neden olmuştur.

## BÖLÜM 6

### SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışmada soğuk hava şartlarında düşen motor performans karakteristiklerinin, motorun tüketmiş olduğu havanın ön ısıtma işlemi ile sıcaklığının yükseltilerek iyileştirilmesi araştırılmıştır. Ön ısıtma işleminde elektrikli ısıtıcıdan faydalanılmış, elektrikli ısıtıcı hava filtresinden önce hava deposu içerisine yerleştirilmiş ve motor üzerinde herhangi bir modifikasyona gerek duyulmaması sağlanmıştır. Bu araştırmanın literatürde yer alan benzer çalışmalarla kıyaslandığında uygulanabilirliği kolay ve maliyetinin az olması gibi nedenlerle önemli avantajlara sahip olduğu görülmüştür.

İçten yanmalı motorların soğuk hava şartlarında motor performans parametrelerinin yapılan bu çalışma ile iyileştirilebileceği görülmektedir. Testlerde benzinli tek silindri kurbatörlü motor kullanılmıştır ve oksijen sensörü gibi elektronik sistemlere sahip olmamasından hava yakıt karışımına müdahale edilememiştir. Bu nedenle ön ısıtma yapıldığında  $\lambda$  azalmış ve yanma zengin karışımında gerçekleşmiştir.

Yapılan ön ısıtmasız ve ön ısıtmalı deneylerin sonucu karşılaştırıldığında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Bu çalışmada ön ısıtma için gerçekleştirilen yöntemin uygulanabilirliğinin kolay ve motor üzerinde önemli bir modifikasyona gerek duymaması, benzer çalışmalarda uygulanan yöntemlere göre bazı avantajlara sahip olduğu görülmüştür.
2. Özgül yakıt tüketiminin ön ısıtmasız ve ön ısıtmalı verileri karşılaştırıldığında en düşük olduğu hava giriş sıcaklığı tüm yüklerde ön ısıtmanın yapıldığı 70 °C olarak elde edilmiştir.

3. Efektif verim hava giriş sıcaklığı ön ısıtmanın yapıldığı 25 °C'ye kadar az miktarda azalırken bu sıcaklık ile 70 °C aralığında ise iyileşme olmuştur ve efektif verimin tüm yüklerde en yüksek olduğu hava giriş sıcaklığı ön ısıtmanın yapıldığı 70 °C olarak elde edilmiştir.
4. CO emisyonu tüm yüklerde ön ısıtmanın yapıldığı 25 °C ile 55 °C aralığında en düşük seviyeye inmiştir.
5. HC emisyonu tüm yüklerde düşüş eğilimi göstermiş ve en düşük HC emisyonları ön ısıtmanın yapıldığı 70 °C'de elde edilmiştir.
6. Volumetrik verimin en yüksek değeri tüm yüklerde, ön ısıtmanın yapılmadığı -5 °C'de görülmüştür. Ön ısıtmanın yapılmadığı -5 °C'den, ön ısıtmanın yapıldığı 70 °C'ye kadar düşüş eğilimi göstermiş ve en düşük volumetrik verim tüm yüklerde 70 °C'de olduğu belirlenmiştir.
7. Ön ısıtma işlemi sonucu hava giriş sıcaklığı yükselirken volumetrik verim düşmüştür, buna rağmen sıcaklığın yükselmesi, yakıtın hava içerisinde daha hızlı buharlaşmasını ve buna bağlı olarak karışımın homojen olmasını sağlamıştır. Bunun sonucunda reaksiyona giren yakıt miktarının artmasıyla birlikte yanma veriminin iyileşmesi sağlamış ve yüksek sıcaklıklarda motor performans parametreleri iyileşmiştir.
8.  $\lambda$ , hava giriş sıcaklığı yükseldikçe düşmüştür ve yanma zengin karışımda gerçekleşmiştir. Deneylerde kullanılan motor karbüratörlü olduğundan testler sırasında karışıma müdahale edilememiştir. Oksijen sensörü gibi elektronik sensörlere sahip bir motor üzerinde ön ısıtma işlemi yapıp yanmanın ideal karışım oranında gerçekleştiği bir çalışma ayrı bir çalışma olarak yapılabilir. Bu tür çalışmalarda emme hava sıcaklığı arttırıldıkça karışımın zenginleşmesini önleyecek tedbirler alındığında performans ve emisyonlar daha fazla iyileşecektir.
9. Bu çalışmada hava giriş sıcaklığını yükseltmek için ön ısıtma işleminde elektrikli ısıtıcı kullanılmıştır. Deney sonuçlarına göre jeneratörde üretilen elektrik enerjisinin bir kısmının elektrikli ısıtıcı tarafından tüketilmesi efektif verimin düşmesine neden olmuştur. Bu durum, elektrikli ısıtıcıya alternatif olarak motor soğutma suyu veya egzoz gazı sıcaklığından faydalanacak bir sistem geliştirmek ön ısıtma işleminin daha faydalı olacağı sonucunu ortaya çıkarmıştır.

## KAYNAKLAR

Abassi, A., Khalilarya, S., and Jafarmadar, S., "The influence of the inlet charge temperature on the second law balance under the various operating engine speeds in DI diesel engine", *Fuel*, 89: 2425–2432 (2010).

Abd-Alla, G. H., Soliman, H. A., Badr, O. A., and Abd-Rabbo, M. F., "Effect of diluent admissions and intake air temperature in exhaust gas recirculation on the emissions of an indirect injection dual fuel engine", *Energy Conversion and Management*, 42: 1033-1045 (2001).

Arslan, H., "Taşıt egzoz emisyonları ve İ.T.Ü. motorlar ve taşıtlar laboratuvarlarında 1993-1995 yılları arasında yapılan ölçümlerin değerlendirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 15-16, (1996).

Aytav, E., "Benzinli motorlarda çalışma parametrelerinin karbon monoksit ve hidrokarbon oluşumuna etkisi", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 5-10 (2005).

Broatch, A., Luja, J. M., Serrano, J. R., and Pla, B., "A Procedure to reduce pollutant gases from diesel combustion during european MVEG-A cycle by using electrical intake air-heaters", *Fuel*, 87: 2760–2778 (2008).

Ceviz, M. A., Öner, İ. V., Kaya, F., ve Karacalı, T., " Fakir yanma şartları altında buji ateşlemeli bir motorda termal verim ve çevrimsel farkların analizi", *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 31: 121-127 (2011).

Çengel, Y. A., and Cimbala, J. M., "Orifice plate", Fluid Mechanics Fundamentals and Applications 2nd ed., *Mc Graw Hill*, New York, 366- 367 (2006).

Çınar, C., Uyumaz, A., Solmaz, H., Şahin, F., Polat, S., and Yılmaz, E., "Effects of intake air temperature on combustion, performance and emission characteristics of a HCCI engine fueled with the blends of 20% n-heptane and 80% isooctane fuels", *Fuel Processing Technology*, 130: 275-281 (2015).

Dartnell, P. L., "Future fuels and engines", The Associated Ocel Company Ltd., *Yugoslav Petroleum Institute Symposium 77*, 50-60 (1978).

Gong, C. M., Li, J., Li, J. K., Li, W. X., Gao, Q., and Liu, X. J., "Effects of ambient temperature on firing behavior and unregulated emissions of spark-ignition methanol and liquefied petroleum gas/methanol engines during cold start", *Fuel*, 90: 19–25 (2011).

Haşimoğlu, C., “Düşük ısı kayıplı bir dizel motorunda biyodizel kullanımının performans ve emisyon parametrelerine etkisi”, Doktora Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 60-70 (2005).

Hazar, H., ve Öner, C., “Dizel ve benzin motorlarında vuruntu ve etkileri”, *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları Dergisi*, 101-105 (2004).

Heywood, J. B., “Effect of compression ratio on the exhaust emissions”, Internal combustion engine Fundamentals, *Mc Graw-Hill Book Company*, 110-120 (1988).

Husaboe, T., D., “Effects of temperature on the performance of a small internal combustion engine at altitude”, M. Sc. Thesis, *Air University Air Force Institute of Technology*, Islamabad, 11-21 (2013).

ISO 5167-2:2003, “Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full - Part 2: Orifice plates.”, *International Organization for Standardization (ISO)*, US (2003).

İnternet: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, “Enerji sektöründe Sera Gazı Azaltımı Çalışma Grubu Raporu”, [http://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2F1%2FDocuments%2FBelge%2FEnerji\\_Grubu\\_Raporu.pdf](http://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2F1%2FDocuments%2FBelge%2FEnerji_Grubu_Raporu.pdf) (2015).

İnternet: Türkiye İstatistik Kurumu, “Motorlu Kara Taşıtları İstatistikleri”, <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=18768> (2015).

İnternet: Türkiye İstatistik Kurumu, “Seragazı Emisyon Envanteri”, <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=18744> (2015).

İnternet: EPA, “United States Environmental Protection Agency”, <http://www3.epa.gov/otaq/standards/> (2015).

İnternet: Wikipedia, “European Emission Standards for Passenger Cars”, [https://en.wikipedia.org/wiki/European\\_emission\\_standards](https://en.wikipedia.org/wiki/European_emission_standards) (2015).

İnternet: Transportpolicy.net, “Japan: Light-duty: Emissions”, [http://transportpolicy.net/index.php?title=Japan:\\_Light-duty:\\_Emissions](http://transportpolicy.net/index.php?title=Japan:_Light-duty:_Emissions) (2015).

Kakae, A. H., Rahnama, P., and Paykani, A., “Influence of fuel composition on combustion and emissions characteristics of natural gas/diesel RCCI engine”, *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 25: 58-65 (2015).

Kapsız, M., “Bir buji ateşlemeli motorda segman üst boşluklarından kaynaklanan HC emisyonunun azaltılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 50-60 (2004).

Kuboyama, T., Moriyoshi, Y., Iwasaki, M., and Ilara, J. “Effect of coolant water and intake air temperatures on thermal efficiency of a spark ignition engine”, *Proceedings of the SICE Annual Conference*, 385-388 (2013).

Kumar, K. S., and Raj, R. T. K., “ Effect of fuel injection timing and elevated intake air temperature on the combustion and emission charecteristics of duel fuel operated diesel engine”, *Procedia Engineering*, 64: 1191 – 1198 (2013).

Kutlar, O., A., Ergeneman, M., Arslan, H., ve Mutlu, M., “Taşıt egzozundan çıkan kirleticiler”, *Birsen Yayınevi*, İstanbul, 80-90 (1998).

Maurya, R. K., and Agarwal, A. K., "Experimental investigation on the effect of intake air temperature and air–fuel ratio on cycle-to-cycle variations of HCCI combustion and performance parameters", *Applied Energy*, 88: 1153–1163 (2011).

Maurya, R. K., and Agarwal, A. K., "Experimental study of combustion and emission characteristics of ethanol fuelled port injected homogeneous charge compression ignition (HCCI) combustion engine", *Applied Energy*, 88: 1169–1180 (2011).

Laurikko, J., “Ambient temperature effect on automotive exhaust emissions: FTP and ECE test cycle responses”, *The Science of the Total Environment*, 169: 195-204 (1995).

Laurinaitis, K., and Slavinskas, S., "Influence of fuel type and intake air properties on combustion characteristics of HCCI engine", *Engineering for Rural Development*, 23 (2013).

Li, T., Deng, K., Peng, H., and Wu, C., "Effect of partial-heating of the intake port on the mixture preparation and combustion of the first cranking cycle during the cold-start stage of port fuel injection engine", *Experimental Thermal and Fluid Science*, 49: 14–21 (2013).

Çelik, M., B., “Buji ile ateşlemeli bir motorun sıkıştırma oranının değişken hale dönüştürülmesi ve performans etkisinin araştırılması” Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 30-40 (1999).

Papagiannakis, R. G., "Study of air inlet preheating and EGR impacts for improving the operation of compression ignition engine running under dual fuel mode", *Energy Conversion and Management*, 68: 40–53 (2013).

Payri, F., Broatch, A., Serrano, J. R., Rodriguez, L. F., and Esmoris, A., "Study of the potential of intake air heating in automotive DI diesel engines", *SAE paper*, 1: 12-33 (2006).

Persoons, T., “Experimental flow dynamics in automotive exhaust systems with close-coupled catalyst”, Ph. D. Thesis, *Catholic University Leuven*, <http://www.mech.kuleuven.be/en/tme/doct/Persoons2006> (2015).

Radwan, M. S., “A study of knock in lean burn spark –ignition engines”, *SAE Paper*, 92: 16-68 (1992).

Safgönül, B., Ergeneman, M., Arslan, E., ve Soruşbay, C., “Sıkıştırma oranının volümetrik verime etkisi”, İçten yanmalı motorlar, *Birsen Yayınevi*, 70-60 (1995).

Sağiroğlu, S., “Buji ile ateşlemeli bir motorda elektromanyetik kumandalı supap mekanizmasının tasarımı, imalatı ve uygulanabilirliğinin araştırılması”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 107-109 (2006).

Sales, L. C. M., and Sodré, J. R., "Cold start emissions of an ethanol-fuelled engine with heated intake air and fuel", *Fuel*, 95: 122–125 (2012).

Saito, K., Sekiguchi, K., Imatake, N., Takeda, K., and Yaegashi, T., "A new method to analyze fuel behavior in a spark ignition engine", *SAE Paper*, 10: 42-71 (1995).

Scheffler, E. C., “Combustion chamber surface area, a key to exhaust hydrocarbons”, *SAE Paper*, 66: 01-11, (1966)

Soares, S. M. C., and Sodré, J., "Effects of atmospheric temperature and pressure on the performance of a vehicle," *Journal of Automobile Engineering*, 473-477 (2002).

Stone, R., “Motor vehicle fuel economy”, *Macmillan Educational Ltd.*, Houndmills, 50-55 (1989).

Su, Y., Liu, Z.-C., Han, Y.-Q. Wang, Y.-J. and Du, B.-C., "Effect of intake air temperature on combustion and emissions of direct injection diesel engine during preliminary start phase", *Neiranji Gongcheng/Chinese Internal Combustion Engine Engineering*, 28: 28-32 (2007).

Turns, S. R., “Typical laboratory flame”, An Introduction to Combustion: Concepts and Applications, 3rd ed., *McGraw-Hill*, New York, 261-265, (2012).

Xiao, Z.-C., Wang, Z.-S., Jin, W.-H., and Liu, Z.-C., “Effect of intake air temperature on emission behavior of diesel engine”, *Engineering and Technology Edition*, 35: 263-266 (2005).

Yaman, H., ve Çelik, M. B., “Benzinli motorlarda egzoz emisyonlarına etki eden faktörlerin deneysel olarak incelenmesi”, *Teknoloji*, 7: 681-691 (2004).

Yılmaz, N., “Effects of intake air preheat and fuel blend ratio on a diesel engine operating on biodiesel–methanol blends”, *Fuel*, 94: 444–447 (2012).

Zhang, C. H., Xue, L., and Wang, J., "Experimental study of the influence of  $\lambda$  and intake temperature on combustion characteristics in an HCCI engine fueled with n-heptane", *Journal of the Energy Institute*, 87: 175–182 (2014).

Zhang, C., Pan, J., Tong J., and Li, J., "Effects of intake temperature and excessive air coefficient on combustion characteristics and emissions of HCCI combustion", *Procedia Environmental Sciences*, 11: 1119 – 1127 (2011).

## ÖZGEÇMİŞ

Ahmet Ümit TEPE 1985 yılında İsviçre’de doğdu. İlköğretimini Derinçay ilköğretim okulunda başlayıp Altınay Koleji’nde tamamladı. Liseyi yine Altınay Koleji’nde devam ederek 2003 yılında tamamladı. 2004 yılında Yakındoğu Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünü kazandı ve 2009 yılında bu bölümden mezun oldu. 2013 yılında Kastamonu Üniversitesi Abana Sabahat-Mesut Yılmaz Meslek Yüksek Okulu’nda Öğretim Görevlisi olarak çalışmaya başladı ve halen aynı kurumda çalışmaya devam etmektedir. 2013 yılında kazandığı Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Programında eğitimini sürdürmektedir.

### ADRES BİLGİLERİ

**Adres** : Konakören Mah. Kamil Yazkan Sok. No:2 Abana/KASTAMONU

**E-posta** : autepe@kastamonu.edu.tr