T.C.

TRAKYA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

LPG İLE ÇALIŞAN TAŞITLARDA KLİMA SOĞUTMA YÜKÜNÜN AZALTILMASI İÇİN YENİ BİR BUHARLAŞTIRICI/REGÜLATÖRÜN ISIL TASARIMI VE ANALİZİ

ADEM UĞURLU

DOKTORA TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Tez Danışmanı: PROF.DR. SEMİHA ÖZTUNA

EDİRNE-2016

T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü onayı

Prof.Dr. Mustafa Özcan
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu tezin Doktora tezi olarak gerekli şartları sağladığını onaylarım.

Prof.Dr. Yılmaz Çan
Anabilim Dalı Başkanı

Bu tez tarafımızca okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof.Dr. Metin Gümüş
İkinci Tez Danışmanı

Prof.Dr. Semiha Öztuna
Tez Danışmanı

Bu tez, tarafımızca okunmuş, kapsam ve niteliği açısından Makine Mühendisliği Anabilim Dalında bir Doktora tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	İmza
Prof.Dr. Semiha Öztuna	
Prof.Dr. Metin Gümüş	
Doç.Dr. Uğur Akyol	
Yrd.Doç.Dr. Berrin Karaçavuş	
Yrd.Doç.Dr. Deniz Taşkın	

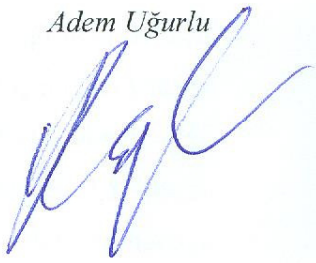
Tarih: 07/04/2016

T.Ü. FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ DOKTORA PROGRAMI
DOĞRULUK BEYANI

İlgili tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin kaynak gösterilerek ilgili tezde yer aldığını beyan ederim.

07/04/2016

Adem Uğurlu



Doktora Tezi

LPG ile Çalışan Taşıtlarda Klima Soğutma Yükünün Azaltılması İçin Yeni Bir Buharlaştırıcı/Regülatörün Isıl Tasarımı ve Analizi

T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

ÖZET

Sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) günümüz buji ateşlemeli taşıt motorlarında silindir içerisine genellikle gaz fazında havayla karıştırılarak gönderilmektedir. Basınç altında sıvı halde bulunan LPG'nin basıncını düşürmek ve gaz haline geçirmek için motorun soğutma suyu ile ısıtılan bir buharlaştırıcı/regülatör (SB/R) kullanılmaktadır. Buharlaştırıcı/regülatörün (B/R) motor soğutma suyu ile ısıtılması LPG'nin soğutucu etkisinin boşa harcanmasına neden olmaktadır. Bu çalışmada, taşıtlardaki klima yükünün de azaltılabilmesi için LPG'nin hava ile ısıtıldığı bir B/R (HB/R) tasarlanmış ve deneysel olarak test edilmiştir. Bu deneyler sonucunda tasarlanan HB/R sisteminin LPG yakıtı kullanabilecek şekilde dönüşümü yapılmış taşıt motorlarında kullanılması durumunda hem LPG'nin motor için gereken duruma şartlandırılabileceği hem de taşıt klima yükünün azaltılabileceği görülmüştür. Deneylerde HB/R giriş çıkışında en yüksek ortalama sıcaklık ve bağıl nem farkı değerleri sırasıyla 5°C ve %34 olarak elde edilmiştir. Ayrıca HB/R sistemi için en yüksek ortalama COP değeri 0,8 olarak bulunmuştur. HB/R sistemi ile LPG'nin soğutma etkisinin ortalama %16'sı havaya aktarılabilmiş ve bu verim değeri için örnek taşıtlarda elde edilebilecek klima tasarrufu en fazla %0,7 olarak hesaplanmıştır. Dünyadaki LPG'li taşıt sayıları dikkate alındığında elde edilebilecek toplam yakıt tüketimi ve zararlı emisyonlardaki azalmanın göz ardı edilemeyecek seviyelerde olduğu açıktır.

Yıl : 2016

Sayfa Sayısı : 171

Anahtar Kelimeler : LPG (Sıvılaştırılmış Petrol Gazı), buharlaştırıcı/regülatör, ısı değiştiricisi, psikrometri, klima yükü

Doctoral Thesis

Thermal Design and Experimental Analysis of a New Evaporator/Regulator to Reduce A/C Load in LPG Powered Vehicles

Trakya University Institute of Natural Sciences

Department of Mechanical Engineering

ABSTRACT

Liquefied petroleum gas (LPG) is sent into the cylinder of today's spark ignition vehicle engines often in the gas phase mixed with air. An evaporator/regulator heated by the engine cooling water (SB/R) is used to reduce the pressure and ensure evaporation of LPG being as liquid under pressure. The evaporator/regulator (B/R) is heated by the engine coolant leads to the wasting of refrigerating effect of LPG. In this study, an LPG B/R heated with air (HB/R) is designed and tested experimentally in order to reduce the A/C load of vehicles also. With the result of these experiments, it has been observed that when using the designed HB/R system in vehicle engines converted to be able to use LPG fuel, both LPG can be conditioned to the required state for the engine, and A/C load can be reduced. The highest mean temperature and relative humidity difference values from input and output of HB/R have been obtained respectively as 5 °C and 34% in the experiments. Furthermore, the highest mean COP value for the HB/R system has been found to be 0.8. Average 16% of the refrigerating effect of LPG could be transfered to the air with the HB/R system and the maximum A/C saving can be achieved for this efficiency value in some sample vehicles is calculated as 0.7%. It is clear that the obtainable reductions from the total fuel consumption and harmful emissions are at the levels that can not be ignored considering the number of LPG vehicles in the world.

Year : 2016

Number of Pages : 171

Keywords : LPG (Liquefied Petroleum Gas), evaporator/regulator, heat exchanger, psychrometry, A/C load

ÖNSÖZ

Sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) benzinle karşılaştırıldığında daha çevreci ve daha ekonomik bir yakıttır. LPG'nin buji ateşlemeli motorlar başta olmak üzere kullanımı, bütün dünyada artış göstermektedir. Ülkemiz, LPG dönüşüm sistemlerinin kullanılması bir yana, üretimi ve dünyaya ihracatı konusunda önemli bir noktaya ulaşmış bulunmaktadır.

Yapılan çalışma ile LPG'ye dönüştürülen taşıtlarda LPG'nin soğutucu etkisinden yararlanarak klima yükünün azaltılması hedeflenmiştir. Bunu sağlamak üzere, LPG'nin motor soğutma suyu ile ısıtıldığı bir buharlaştırıcı/regülatör (SB/R) yerine hava ile ısıtıldığı bir buharlaştırıcı/regülatör (HB/R) tasarlanmış ve her iki sistem bir deney motoru üzerinde test edilerek elde edilen veriler değerlendirilmiştir.

Çalışmada kullanılan ekipmanlar Trakya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (TÜBAP) birimi tarafından kabul edilen 2013/161 numaralı proje kapsamında temin edilmiştir. Ekipmanların kurulumu Kırklareli Üniversitesi Lüleburgaz Meslek Yüksekokulu'nda bulunan otomotiv atölyesine yapılmış ve deneyler burada gerçekleştirilmiştir.

Doktora çalışmamın her aşamasında hiçbir desteğini esirgemeyen başta ailem olmak üzere, danışman hocam sayın Prof.Dr. Semiha ÖZTUNA'ya, ikinci danışman hocam sayın Prof.Dr. Metin GÜMÜŞ'e, Trakya Üniversitesi ve Kırklareli Üniversitesi çalışanlarına teşekkürü bir borç bilirim.

Nisan 2016 **Adem UĞURLU**

İÇİNDEKİLER

Sayfa No:

ÖZET i
ABSTRACT ii
ÖNSÖZ iii
İÇİNDEKİLER iv
SİMGELER DİZİNİ vii
Kısaltmalar xii
TABLOLAR LİSTESİ xiii
ŞEKİLLER LİSTESİ xiv
BÖLÜM 1 GİRİŞ VE AMAÇ 1
1.1. Giriş 1
1.2. Amaç 2
BÖLÜM 2 GENEL BİLGİLER 3
2.1. LPG 3
2.1.1. LPG Yakıtının Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri 3
2.1.2. Taşıtlarda LPG Kullanımının Çevreye Olan Etkisi 6
2.1.3. LPG Yakıtının Ekonomikliği 8
2.1.4. Soğutucu Akışkan Olarak LPG 8
2.2. LPG Dönüşüm Sistemleri 9
2.3. Otomobil Klima Sistemleri 14
2.4. Isı Değiştiricileri 18
2.5. Literatürde Konu ile İlgili Yapılmış Çalışmalar 20
2.5.1. LPG'nin Alternatif Soğutucu Olarak Kullanıldığı Çalışmalar 21
2.5.2. Otomobil Klima Sistemlerinin Olumsuz Yönleri ile İlgili Çalışmalar 24
2.5.3. LPG B/R'si ile İlgili Yapılan Çalışmalar 25
BÖLÜM 3 MATERYAL VE METOT 28
3.1. Deney Tesisatının Tanıtılması 28
3.1.1. Deney Motorunun Özellikleri 28
3.1.2. Egzoz Gazı Tahliye Sistemi 29

3.1.3. Çalışmada Kullanılan LPG Dönüşüm Sistemi …… 30
3.1.3.1. Tasarlanan HB/R Sisteminin Özellikleri …….. 32
3.1.4. Soğutma Test Odası ……..…… 37
3.1.5. Deneylerde Kullanılan LPG Yakıtının Özellikleri …….. 37
3.1.6. Deneylerde Kullanılan Ölçüm Cihazları ……. 38
3.1.7. Deneylerde Kullanılan Ölçüm Cihazlarının Kalibrasyonları .. 43
3.2. Deneylerin ve Hesaplamaların Yapılışı ……. 43
3.2.1. Yakıt Tüketimi ve Maliyetinin Hesabı …… 44
3.2.2. Geleneksel LPG Sistemlerinde Kullanılan SB/R'nin Analizi . 45
3.2.3. Tasarlanan ve Test Edilen HB/R'nin Analizi …….. 46
3.2.4. Araç Analizi …… 53
3.2.5. Hata Analizi ……. 55
3.2.5.1. Yakıt Tüketimi ve Maliyeti Deneylerinde Hata Analizi …….. 56
3.2.5.2. SB/R Deneylerinde Hata Analizi …….. 57
3.2.5.3. HB/R Deneylerinde Hata Analizi ……. 58
BÖLÜM 4 DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA ……. 63
4.1. Yakıt Tüketimleri ve Yakıt Maliyetlerinin Değerlendirilmesi ……... 63
4.2. SB/R Analizinin Değerlendirilmesi ……..... 65
4.2.1. SB/R Rölanti Deneylerinde Sıcaklık ve Isı Değişimleri ……. 65
4.2.2. SB/R Çeyrek Gaz Deneylerinde Sıcaklık ve Isı Değişimleri .. 68
4.2.3. SB/R Yarım Gaz Deneylerinde Sıcaklık ve Isı Değişimleri ... 70
4.3. HB/R Analizinin Değerlendirilmesi …….. 73
4.3.1. Motor Çalışmazken Yapılan HB/R Deneylerinde Sıcaklık, Bağıl Nem ve Isı Değişimleri …….. 73
4.3.2. Hava Hızının 2,3 m/s Olduğu HB/R Deneylerinde Sıcaklık, Bağıl Nem, Isı, Verim ve COP Değişimleri …… 76
4.3.3. Hava Hızının 3,5 m/s Olduğu HB/R Deneylerinde Sıcaklık, Bağıl Nem, Isı, Verim ve COP Değişimleri …… 82
4.3.4. Hava Hızının 4,1 m/s Olduğu HB/R Deneylerinde Sıcaklık, Bağıl Nem, Isı, Verim ve COP Değişimleri …… 88

4.4. SB/R- HB/R Karşılaştırmalarının Değerlendirilmesi ……. 94
4.4.1. Ortalama Motor Devirlerinin Değişimi ……... 95
4.4.2. Ortalama LPG Tank Basınçlarının Değişimi …….. 95
4.4.3. Ortalama Sıcaklık Farklarının Değişimi …….. 96
4.4.4. HB/R Ortalama Bağıl Nem Farklarının Değişimi ……... 98
4.4.5. Ortalama Akışkan Debilerinin Değişimi ……. 99
4.4.6. Akışkan Ortalama Isı Farklarının Değişimi …… 101
4.4.7. LPG'nin Çektiği Ortalama Isıların Değişimi …….. 103
4.4.8. Ortalama HB/R Verimlerinin Değişimi …….. 104
4.4.9. Ortalama HB/R COP'lerinin Değişimi …… 105
4.5. Araç Analizinin Değerlendirilmesi …… 106
4.5.1. Subcompact (B Sınıfı-Hatchback) Araçlarda Klima Tasarrufu …….. 106
4.5.2. Compact (C Sınıfı-Hatchback) Araçlarda Klima Tasarrufu ... 107
4.5.3. Standart (D Sınıfı-Sedan) Araçlarda Klima Tasarrufu ……... 108
4.6. Hata Analizinin Değerlendirilmesi …… 110
BÖLÜM 5 SONUÇLAR VE ÖNERİLER ……... 116
EKLER …….. 123
KAYNAKLAR ……. 145
ÖZGEÇMİŞ …….. 152
TEZ ÖĞRENCİSİNE AİT TEZ İLE İLGİLİ BİLİMSEL FAALİYETLER …… 153

SİMGELER DİZİNİ

A	Yüzey alanı (m^2)
A_{duct}	HB/R giriş-çıkış kanallarının kesit alanı (m^2)
$AC_{LPG,100}$	LPG'nin soğutucu etkisinin HB/R'deki havaya %100 verimle aktarılması durumunda elde edilebilecek soğutma miktarı (kJ/s)
$AC_{LPG,ex}$	Deneysel ortalama HB/R verimine göre elde edilebilecek soğutma miktarı (kJ/s)
$c_{p,ec}$	Motor soğutma suyunun sabit basınçtaki özgül ısısı (kJ/kg°C)
CCl_2F_2	Diklorodiflorometan
CCl_3F	Triklorofloromet an
CFC	Kloroflorokarbon
$CHClF_2$	Klorodiflorometan
CL_a	Otomobilin sahip olduğu soğutma yükü (kJ/s)
CO	Karbonmonoksit
CO_2	Karbondioksit
COP	Soğutma tesir katsayısı
$COP_{R,HB/R}$	HB/R'nin soğutucu etkisini gösteren performans katsayısı
$\dot{C}_g$	Benzin için motorun yakıt maliyeti (TL/h)
$\dot{C}_{LPG}$	LPG için motorun yakıt maliyeti (TL/h)
D_{duct}	HB/R giriş ve çıkışındaki kanal kesitinin ölçülen çap değeri (m)
ΔT	Sıcaklık farkı (°C)
$E_{\pm\%,\dot{C}_g}$	Motorun benzin maliyetindeki hata oranı (±%)
$E_{\pm\%,\dot{C}_{LPG}}$	Motorun LPG maliyetindeki hata oranı (±%)
$E_{\pm\%,COP_{R,HB/R}}$	HB/R soğutma tesir katsayısındaki hata oranı (±%)
$E_{\pm\%,\Delta T_{ec}}$	Motor soğutma suyunun SB/R giriş-çıkışındaki sıcaklık farkı hesabının hata oranı (±%)
$E_{\pm\%,\eta_{HB/R}}$	HB/R verimindeki hata oranı (±%)
$E_{\pm\%,\Phi_{i,air}}$	HB/R girişindeki hava bağıl neminin hata oranı (±%)
$E_{\pm\%,\Phi_{o,air}}$	HB/R çıkışındaki hava bağıl neminin hata oranı (±%)
$E_{\pm\%,h_{i,air}}$	HB/R girişindeki havanın entalpisindeki hata oranı (±%)

$E_{\pm\%,h_{f,w}}$	HB/R'de yoğuşarak oluşan suyun yoğuşma entalpisindeki hata oranı (±%)
$E_{\pm\%,h_{o,air}}$	HB/R çıkışındaki havanın entalpisindeki hata oranı (±%)
$E_{\pm\%,h_{o,LPG}}$	LPG'nin B/R çıkışında sahip olduğu entalpi değerinin hata oranı (±%)
$E_{\pm\%,\dot{m}_{air}}$	HB/R içerisinde akmakta olan havanın kütlesel debisine ait hata oranı (±%)
$E_{\pm\%,\dot{m}_{LPG}}$	LPG'nin kütlesel debisindeki hata oranı (±%)
$E_{\pm\%\omega_{i,air}}$	HB/R girişinde havanın özgül nemindeki hata oranı (±%)
$E_{\pm\%,\omega_{o,air}}$	HB/R çıkışında havanın özgül nemindeki hata oranı (±%)
$E_{\pm\%,\dot{Q}_{air}}$	HB/R çıkışında havadan çekilen ısının hata oranı (±%)
$E_{+\%,\dot{Q}_{ec}}$	SB/R'ye giren motor soğutma suyunun SB/R'de bıraktığı ısı değerindeki hata oranı (+%)
$E_{-\%,\dot{Q}_{ec}}$	SB/R'ye giren motor soğutma suyunun SB/R'de bıraktığı ısı değerindeki hata oranını (-%)
$E_{\pm\%,\dot{Q}_{fan}}$	HB/R fanı tarafından HB/R içerisinden geçmekte olan havaya verilen ısının hata oranı (±%)
$E_{\pm\%,\dot{Q}_{LPG}}$	LPG'nin B/R'den çekmiş olduğu ısı değerindeki hata oranı (±%)
$E_{\pm\%,T_{i,air}}$	HB/R girişindeki hava sıcaklığının hata oranı (±%)
$E_{\pm\%,T_{o,air}}$	HB/R çıkışındaki hava sıcaklığının hata oranı (±%),
$E_{\pm\%,v_{air}}$	Havanın HB/R giriş ve çıkışında ortalama özgül ağırlığındaki hata oranı (±%)
$E_{\pm\%,\dot{v}_g}$	Benzinin hacimsel tüketimindeki hata oranı (±%)
$E_{\pm\%,\dot{v}_{LPG}}$	LPG'nin hacimsel tüketimindeki hata oranı (±%)
$€$	Avrupa Birliği para birimi (Euro)
$\eta_{HB/R}$	HB/R'nin verimi
$\eta_{m,ex}$	Deneysel ortalama HB/R verimi (%)
F_3CCH_2F	1,1,1,2-Tetrafloroetan
$FC_{g,a}$	Otomobilin 100 km'de ortalama benzin tüketimi (L/100 km)
$\Phi_{i,air}$	HB/R girişindeki havanın bağıl nemi (%)
$\Phi_{o,air}$	HB/R çıkışındaki havanın bağıl nemi (%)

h	Entalpi (kJ/kg)
$h_{i,air}$	Havanın HB/R girişindeki entalpi değeri (kJ/kg)
$h_{i,LPG}$	LPG'nin B/R girişindeki entalpi değeri (kJ/kg)
$h_{f,w}$	Suyun entalpisi (kJ/kg)
$h_{fg,LPG}$	LPG'nin buharlaşma entalpisi (kJ/kg)
$h_{o,air}$	Havanın HB/R çıkışındaki entalpi değeri (kJ/kg)
$h_{o,LPG}$	LPG'nin B/R çıkışındaki entalpi değeri (kJ/kg)
HC	Hidrokarbon
$HCFC$	Hidrokloroflorokarbon
HFC	Hidroflorokarbon
k_1	HB/R yalıtımında kullanılan malzemenin ısı iletim katsayısı (W/mK)
k_2	Soğuk oda yalıtımında kullanılan malzemenin ısı iletim katsayısı (W/mK)
k_3	HB/R- soğuk oda bağlantısını sağlayan boru yalıtımında kullanılan malzemenin ısı iletim katsayısı (W/mK)
$\dot{m}_{air}$	HB/R'ye giren havanın kütlesel debisi (kg/s)
$\dot{m}_c$	Soğuk akışkanın kütlesel debisi (kg/s)
$\dot{m}_{ec}$	Motor soğutma suyunun SB/R'deki kütlesel debisi (kg/s)
$\dot{M}_g$	Benzinin kütlesel tüketimi (kg/h)
$\dot{m}_h$	Sıcak akışkanın kütlesel debisi (kg/s)
$\dot{M}_{LPG}$	LPG'nin kütlesel tüketimi (kg/h)
$\dot{m}_{LPG}$	LPG'nin kütlesel debisi (kg/s)
$\dot{m}_{LPG,a}$	Otomobil için yaklaşık kütlesel LPG tüketimi (kg/h)
n_w	Kütlesel yakıt tüketimi ölçümünde tartım sayısı
NO_x	Azotoksit
$\omega_{i,air}$	Havanın HB/R girişindeki özgül nem değeri (kg su/kg kuru hava)
$\omega_{o,air}$	Havanın HB/R çıkışındaki özgül nem değeri (kg su/kg kuru hava)
$\dot{Q}_{air}$	Havadan çekilen ısı (kJ/s)
$\dot{Q}_{fan}$	Fan tarafından havaya verilen ısı (kJ/s)
$\dot{Q}_{LPG}$	LPG'nin çektiği ısı (kJ/s)
P	Basınç (Pa)

PAG	Polialkilenglikol
P_{fan}	HB/R hava fanının çektiği enerji (kW)
P_g	Benzin için güncel yakıt fiyatı (TL/L)
P_{LPG}	LPG için güncel yakıt fiyatı (TL/L)
$R11$	Triklorofloremetan
$R12$	Diklorodifloremetan
$R134a$	1,1,1,2-Tetrafloroetan
$R22$	Klorodifloremetan
$R290$	Propan
$R600$	Bütan
$R600a$	İzobütan
R_{fc}	Deney motorunun üç farklı motor hızında elde edilen LPG/benzin tüketimi oranının ortalaması
ρ_g	Benzinin yoğunluğu (kg/L)
ρ_{LPG}	LPG'nin yoğunluğu (kg/L)
$\rho_{LPG,m}$	LPG'nin 0,5 MPa, 0,4 MPa ve 0,3 MPa basınçları için ortalama yoğunluğu (kg/L)
s	Entropi (kJ/kgK)
$S_{AC,100}$	HB/R'nin %100 verimle çalışması durumunda otomobillerin klimalarında yapılabilecek tasarruf (%)
$S_{AC,ex}$	HB/R'nin deneysel ortalama verimle çalışması durumunda otomobillerin klimalarında yapılabilecek tasarruf (%)
T	Sıcaklık (°C)
T_c	Yoğuşturucu sıcaklığı (°C)
T_e	Buharlaştırıcı sıcaklığı (°C)
$T_{i,air}$	HB/R girişindeki havanın kuru termometre sıcaklığı (°C)
$T_{i,ec}$	Motor soğutma suyunun SB/R'ye giriş sıcaklığı (°C)
$T_{o,air}$	HB/R çıkışındaki havanın kuru termometre sıcaklığı (°C)
$T_{o,ec}$	Motor soğutma suyunun SB/R'den çıkış sıcaklığı (°C)
U	Isı transfer katsayısı (W/m^2°C)
v_{air}	Havanın HB/R giriş ve çıkışındaki ortalama özgül hacmi (m^3/kg)

V_{air}	HB/R'ye giriş çıkış yapan havanın ortalama hızı (m/s)
$\dot{v}_g$	Benzinin hacimsel tüketimi (L/h)
$\dot{v}_{g,a}$	Otomobilin ortalama benzin tüketimini (L/s)
$\dot{v}_{LPG}$	LPG'nin hacimsel tüketimi (L/h)
$\dot{v}_{LPG,a}$	Otomobilin yaklaşık ortalama LPG tüketimi (L/s)

Kısaltmalar

AB	Avrupa Birliği
B/R	Buharlaştırıcı/regülatör
EES	Engineering Equation Solver
EKÜ	Elektronik kontrol ünitesi
GM	General Motors
GWP	Global warming potential- Küresel ısınma potansiyeli
HB/R	Hava ile ısıtılan buharlaştırıcı/regülatör
LMTD	Log mean temperature difference- Logaritmik ortalama sıcaklık metodu
LPG	Liquefied petroleum gas- Sıvılaştırılmış petrol gazı
M.O.N.	Motor oktan sayısı
NEDC	Yeni Avrupa Sürüş Çevrimi
NTU	Number of transfer units- Aktarım ünitelerinin sayısı
ODP	Ozone depletion potential- Ozonu tahrip etme potansiyeli
R.O.N.	Araştırma oktan sayısı
SAE	Otomotiv mühendisleri birliği
SB/R	Su ile ısıtılan buharlaştırıcı/regülatör
TÜBAP	Trakya Üniversitesi bilimsel araştırma projeleri

TABLOLAR LİSTESİ

Sayfa No:

Tablo 2.1 Propan, bütan ve benzinin bazı özellikleri ……... 4

Tablo 2.2 Avrupa ülkelerinde kullanılan LPG'nin propan ve bütan oranları …….. 5

Tablo 2.3 Egzoz emisyonlarının zehirlilik dereceleri …….. 7

Tablo 2.4 LPG, benzin ve motorinin Avrupa ülkelerindeki istasyon fiyatları ve LPG istasyonlarının sayıları ……. 9

Tablo 2.5 Bazı soğutucu akışkanların karşılaştırılması ……... 10

Tablo 2.6 LPG'nin alternatif soğutucu olarak kullanıldığı çalışmalar ……. 21

Tablo 2.7 Otomobil klima sistemlerinin olumsuz yönleri ile ilgili çalışmalar …… 25

Tablo 3.1 Deney motorunun genel özellikleri …… 29

Tablo 3.2 HB/R sisteminde kullanılan evaporatörün özellikleri …….. 35

Tablo 3.3 Soğutma test odasının özellikleri ……. 37

Tablo 3.4 Doymuş sıvı haldeki LPG'nin basınç-yoğunluk değerleri …….. 38

Tablo 3.5 Doymuş sıvı haldeki LPG'nin basınç-kütlesel karışım oranları ……..… 38

Tablo 3.6 Deneylerde kullanılan ölçüm cihazlarının özellikleri …….. 43

Tablo 3.7 Araç analizinde kullanılan otomobiller ……... 55

Tablo 4.1 Hata analizi …….. 110

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No:

Şekil 2.1 Metan, propan, bütan, motorin ve benzinin karbon oranları ……. 7

Şekil 2.2 Mekanik olarak kontrol edilen karbüratörlü sistemler (birinci nesil) … 11

Şekil 2.3 Elektronik olarak kontrol edilen karbüratörlü sistemler (ikinci nesil) ... 12

Şekil 2.4 Sıralı LPG enjeksiyon sistemleri (üçüncü nesil) ……... 13

Şekil 2.5 LPG sıvı enjeksiyon sistemleri …….. 14

Şekil 2.6 İdeal buhar sıkıştırmalı soğutma çevriminin tesisat şeması …….. 15

Şekil 2.7 İdeal buhar sıkıştırmalı soğutma çevriminin P-h ve T-s diyagramı ….. 16

Şekil 2.8 Otomobillerde kullanılan bir klima sisteminin akış şeması ……... 16

Şekil 2.9 Isı değiştiricilerinin sınıflandırılması ……. 20

Şekil 3.1 Deney motorunun bir görünümü ……... 29

Şekil 3.2 Egzoz Gazı Tahliye Sistemi ……... 30

Şekil 3.3 LPG dönüşüm sistemi …… 31

Şekil 3.4 Isı yalıtımı yapılmış SB/R ünitesi …….. 32

Şekil 3.5 SB/R sisteminde gerçekleşen süreçler ……... 33

Şekil 3.6 HB/R sisteminde gerçekleşen süreçler …….. 33

Şekil 3.7 HB/R sisteminde kullanılan evaporatör ……. 34

Şekil 3.8 HB/R sisteminde kullanılan evaporatörün regülatöre bağlanması …… 34

Şekil 3.9 HB/R sisteminin bir görünümü ……. 36

Şekil 3.10 Soğutma test odasına ait bir görünüm …… 37

Şekil 3.11 Hassas terazi …… 39

Şekil 3.12 Devir ölçer ……...…… 39

Şekil 3.13 LPG kaçak tespit dedektörü …… 40

Şekil 3.14 Dijital manifold seti ……..…… 40

Şekil 3.15 Debimetre …… 41

Şekil 3.16 Hava hızı ölçer ……..…… 41

Şekil 3.17 Hava sıcaklık ve nem ölçer ……...…… 41

Şekil 3.18 Termometre ……...…… 42

Şekil 3.19 Ölçüm aletlerinin SB/R ve HB/R deney tesisatları üzerindeki yerleşimleri ……...…… 42

Şekil 4.1 Deney motorunun yakıt tüketimi değerleri (benzin ve LPG) …… 64
Şekil 4.2 Deney motorunun yakıt maliyeti değerleri (benzin ve LPG) …… 65
Şekil 4.3 SB/R sıcaklık ve ısı değişimleri (motor rölantide benzinle çalışıyor) ... 66
Şekil 4.4 SB/R sıcaklık ve ısı değişimleri (motor rölantide LPG ile çalışıyor) … 67
Şekil 4.5 SB/R sıcaklık ve ısı değişimleri (motor çeyrek gazda benzinle çalışıyor) ……. 69
Şekil 4.6 SB/R sıcaklık ve ısı değişimleri (motor çeyrek gazda LPG ile çalışıyor) ……. 70
Şekil 4.7 SB/R sıcaklık ve ısı değişimleri (motor yarım gazda benzinle çalışıyor) ……. 71
Şekil 4.8 SB/R sıcaklık ve ısı değişimleri (motor yarım gazda LPG ile çalışıyor) ……. 72
Şekil 4.9 HB/R (2,3 m/s) sıcaklık ve bağıl nem değişimleri (motor çalışmıyor) . 74
Şekil 4.10 HB/R (3,5 m/s) sıcaklık ve bağıl nem değişimleri (motor çalışmıyor) 75
Şekil 4.11 HB/R (4,1 m/s) sıcaklık ve bağıl nem değişimleri (motor çalışmıyor) 76
Şekil 4.12 HB/R ısı değişimleri (motor çalışmıyor) …… 76
Şekil 4.13 HB/R (2,3 m/s) sıcaklık ve bağıl nem değişimleri (motor rölantide çalışıyor) …….. 77
Şekil 4.14 HB/R (2,3 m/s) sıcaklık ve bağıl nem değişimleri (motor çeyrek gazda çalışıyor) …… 78
Şekil 4.15 HB/R (2,3 m/s) sıcaklık ve bağıl nem değişimleri (motor yarım gazda çalışıyor) …… 79
Şekil 4.16 HB/R (2,3 m/s) ısı değişimleri ……. 80
Şekil 4.17 HB/R (2,3 m/s) verim değişimleri ……... 81
Şekil 4.18 HB/R (2,3 m/s) COP değişimleri ……. 82
Şekil 4.19 HB/R (3,5 m/s) sıcaklık ve bağıl nem değişimleri (motor rölantide çalışıyor) ……... 83
Şekil 4.20 HB/R (3,5 m/s) sıcaklık ve bağıl nem değişimleri (motor çeyrek gazda çalışıyor) …… 84
Şekil 4.21 HB/R (3,5 m/s) sıcaklık ve bağıl nem değişimleri (motor yarım gazda çalışıyor) …… 85

Şekil 4.22 HB/R (3,5 m/s) ısı değişimleri ……. 86
Şekil 4.23 HB/R (3,5 m/s) verim değişimleri ……... 87
Şekil 4.24 HB/R (3,5 m/s) COP değişimleri ……. 88
Şekil 4.25 HB/R (4,1 m/s) sıcaklık ve bağıl nem değişimleri (motor rölantide çalışıyor) ……... 89
Şekil 4.26 HB/R (4,1 m/s) sıcaklık ve bağıl nem değişimleri (motor çeyrek gazda çalışıyor) …… 90
Şekil 4.27 HB/R (4,1 m/s) sıcaklık ve bağıl nem değişimleri (motor yarım gazda çalışıyor) …… 91
Şekil 4.28 HB/R (4,1 m/s) ısı değişimleri ……. 92
Şekil 4.29 HB/R (4,1 m/s) verim değişimleri ……... 93
Şekil 4.30 HB/R (4,1 m/s) COP değişimleri ……. 94
Şekil 4.31 Ortalama motor devirlerinin değişimi ……. 95
Şekil 4.32 Ortalama LPG tank basınçlarının değişimi …….. 96
Şekil 4.33 SB/R ortalama sıcaklık farklarının değişimi …… 97
Şekil 4.34 HB/R ortalama sıcaklık farklarının değişimi ……... 98
Şekil 4.35 HB/R ortalama bağıl nem farklarının değişimi ……... 99
Şekil 4.36 SB/R ortalama akışkan debilerinin değişimi ……... 100
Şekil 4.37 HB/R ortalama akışkan debilerinin değişimi ……... 101
Şekil 4.38 SB/R su ortalama ısı farklarının değişimi …… 102
Şekil 4.39 HB/R hava ortalama ısı farklarının değişimi ……... 103
Şekil 4.40 LPG'nin çektiği ortalama ısıların değişimi …….. 104
Şekil 4.41 Ortalama HB/R verimlerinin değişimi ……. 105
Şekil 4.42 Ortalama HB/R COP'lerinin değişimi ……. 106
Şekil 4.43 Subcompact (B sınıfı-hatchback) araçlarda klima tasarrufu ……... 107
Şekil 4.44 Compact (C sınıfı-hatchback) araçlarda klima tasarrufu ……. 108
Şekil 4.45 Standart (D sınıfı-sedan) araçlarda klima tasarrufu ……. 109

BÖLÜM 1

GİRİŞ VE AMAÇ

1.1. Giriş

İnsan yaşamı için vazgeçilmez bir öneme sahip olan taşıtların enerji ihtiyaçları günümüzde çoğunlukla petrol kökenli yakıtlardan karşılanmaktadır. Ancak bu yakıtların sahip oldukları rezervlerin hızla tükenmekte olması ve çevreye verdikleri zararlar nedeniyle alternatif enerji kaynaklarının taşıtlarda kullanımı için yapılan çalışmalar son yıllarda önem kazanmaktadır. LPG içten yanmalı motorlarda yakıt ekonomisi sağlamak ve egzoz emisyon değerlerini azaltmak için kullanılan alternatif yakıtlardan biridir. LPG'nin alternatif bir yakıt olarak taşıtlarda kullanılması son yıllarda yoğun bir şekilde araştırılmaktadır. Yine LPG yakıtını kullanan araçların emisyonlarını konu alan birçok araştırma literatürde yerini almaktadır. Bu araştırmalardan elde edilen sonuçlardan genel olarak; LPG ile çalışan taşıtların emisyon değerlerinin, benzinle çalışan eşdeğerlerindekinden daha düşük olduğu kabul edilmektedir.

Günümüz taşıt motorlarında LPG silindir içerisine gaz fazında havayla karıştırılarak gönderilmektedir. Tank içerisinde basınç altında sıvı halde bulunan LPG'nin basıncını düşürmek ve gaz haline geçirmek için motorun soğutma suyu ile ısıtılan bir SB/R kullanılmaktadır. SB/R'ye sıvı halde giren LPG gaz haline dönüşürken buharlaşma gizli ısısını çekmektedir. LPG'yi çeşitli yüzdelerde oluşturan propan (R290) ve bütan (R600) soğutucu gazlar sınıfında yer almakta ve yüksek buharlaşma gizli ısılarına sahip olmaktadırlar. Bu yüksek buharlaşma gizli ısısının motorun soğutma suyundan çekilmesi bu ısının boşa harcanmasına neden olmaktadır. Taşıtlarda motorun ihtiyacı olan LPG'nin hava ile ısıtıldığı bir HB/R sistemi kullanılması durumunda ise LPG'nin buharlaşma ısısı havadan çekilecek ve havanın soğuması sağlanmış olacaktır. Böylece HB/R sistemi hem SB/R sisteminin görevini yapmış olacak, hem de soğuyan

havanın kabine yönlendirilmesiyle taşıt klima yükünün düşmesini sağlayacağından enerji verimliliği ve çevresel korumaya katkıda bulunmuş olacaktır.

Bu çalışmada içten yanmalı, buji ateşlemeli, su soğutmalı ve LPG ile çalışan bir motorun soğutma suyu ile ısıtılan bir B/R'ye sahip geleneksel LPG dönüşüm sistemi yerine hava ile ısıtılan bir B/R'ye sahip LPG dönüşüm sistemi ile çalıştırılması incelenmiştir. Tasarlanan ve deneysel olarak test edilen HB/R sistemi ile motorun LPG ile çalıştırılması ve motorun çalışması esnasında ortam havasının soğutulması sağlanmıştır. SB/R ve HB/R sistemlerinin deney motoru üzerinde rölanti, çeyrek gaz ve yarım gaz kelebeği çalışma koşullarındaki ısıl davranışları incelenmiş ve birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Ayrıca HB/R sistemi için farklı hava hızlarında verim ve soğutma tesir katsayısı (COP) değerleri hesaplanmış ve taşıtlarda kullanılması durumunda elde edilebilecek klima tasarrufları hesaplanmıştır.

1.2. Amaç

Bu tezin amacı, LPG dönüşüm sistemlerinde kullanılan geleneksel SB/R ünitesi yerine hem motoru çalıştırabilecek hem de klima yükünü azaltabilecek bir HB/R ünitesinin tasarlanması ve deneysel olarak test edilmesidir. Bu amaçlar doğrultusunda çalışmanın ilk bölümünde LPG, LPG dönüşüm sistemleri, otomobil klima sistemleri, ısı değiştiricileri ve konuyla ilgili literatürde yapılan çalışmalar hakkında bilgi verilecektir. Çalışmanın sonraki safhasında deney teçhizatı tanıtılacak, HB/R sistemi ve hesaplamalarda kullanılan formüller ile ilgili detaylı bilgiler verilecektir. SB/R sistemi ile motorun çalıştırılmasında LPG ve motor soğutma suyu için çeşitli parametreler ölçülecek ve ısıl hesaplamalarla sistemin davranışı incelenecektir. Daha sonra motor HB/R sistemi ile aynı şartlarda çalıştırılarak LPG ve hava için gerekli parametreler ölçülecektir. Elde edilen ölçüm verileri ile psikrometrik hesaplamalardan da yararlanılarak HB/R sisteminin ısıl analizi yapılacak ve SB/R sistemi ile karşılaştırılacaktır. Son aşamada HB/R sisteminde elde edilen deneysel ortalama verime göre tasarlanan sistemin günümüz taşıtlarında kullanılması durumunda elde edilebilecek klima tasarrufları hesaplanacaktır.

BÖLÜM 2

GENEL BİLGİLER

Bu bölümde; LPG, LPG dönüşüm sistemleri, otomobil klima sistemleri ve ısı değiştiricileri alt başlıklarıyla tezin konusunu oluşturan alanlarda genel bilgiler verilmekte ve literatürde konu ile ilgili yapılan çalışmalar sunulmaktadır.

2.1. LPG

Günümüzde fiziksel özelliğinden dolayı basınç altında sıvı olarak tüplerde veya tanklarda kolayca depolanan ve taşınan LPG, mutfaktan sanayiye, ısınmadan aydınlatmaya ve en önemlisi otomobillerde yaygın olarak kullanılan, vazgeçilmez bir enerji kaynağı haline gelmiştir. Özellikle kolay bulunması, ekonomik olması ve diğer yakıtlara oranla çevreyi daha az kirletici özellikte olması nedeni ile dünyada birçok ülke, otomobillerde LPG kullanımını özendirerek yaygınlaştırmaktadır. Günümüzde İtalya, Türkiye, Hollanda, Fransa, Belçika, Japonya, Avusturya ve Amerika başta olmak üzere dünyanın pek çok ülkesinde LPG, yakıt olarak otomobillerde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [1].

2.1.1. LPG Yakıtının Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

LPG, "Sıvılaştırılmış Petrol Gazı" anlamına gelmektedir. LPG, ağırlıklı olarak propan, bütan veya bu ikisinin farklı oranlarda karışımından oluşan, renksiz, kokusuz bir gazdır [1].

Bütanın kimyasal formülü C_4H_{10}, propanın ise C_3H_8'dir. Propan, bütan ve benzinin bazı özellikleri Tablo 2.1'de görülmektedir. Araştırma oktan sayısı (R.O.N.) ve motor oktan sayısı (M.O.N.) değerleri bütan ve propanın benzine göre daha üstün bir vuruntu önleme gücüne sahip olduğunu göstermektedir. R.O.N. ve M.O.N. değerlerinin yüksek olması sayesinde LPG'li motorlarda sıkıştırma oranı benzinli motorlara göre daha yüksek yapılabilmektedir. Sıkıştırma oranının yüksek olması yanma sonu basıncının, dolayısıyla performans ve verimin artmasına neden olacaktır. Kütlesel ısıl

değerleri benzinden propana doğru artarken, hacimsel ısıl değerleri aynı şekilde azalmaktadır. Bunun anlamı, aynı hareketin sağlanması söz konusu iken, benzinden propana geçişte daha az bir yakıt kütlesinin yeterli olacağıdır. Ancak bu işlem için gerekli hacim daha fazladır. Buna göre benzin yerine LPG kullanıldığında, araçlar kütle olarak daha az yakıt tüketirler; hacim olarak ise bunun tersinin doğru olduğu görülür [2,3]. Ayrıca, bütanın özgül ısısının sıvı fazda propandan daha yüksek olduğu ve 1 birim benzin için 1,22 birim bütana ve 1,38 birim propana ihtiyaç olacağı yine Tablo 2.1'den anlaşılmaktadır.

Tablo 2.1 Propan, bütan ve benzinin bazı özellikleri [2-4]

Özellikler	**Propan**	**Bütan**	**Benzin**
Kimyasal formül	C_3H_8	C_4H_{10}	$C_{6,9}H_{14,6}$
Molekül ağırlığı (g/mol)	44,09	58,12	97,4
15°C'de hacimsel kütle (kg/L)	0,508	0,584	0,73-0,78
37,8°C'de buhar basıncı (bar)	12,1	2,6	0,5 – 0,9
Kaynama sıcaklığı (°C)	-42	-0,5	30 - 225
R.O.N.	111	103	96 – 98
M.O.N.	97	89	85 – 87
Alt ısıl değer (MJ/kg)	46,1	45,5	44
Alt ısıl değer (MJ/dm^3)	23,4	26,5	32,3
Teorik eşdeğerlik katsayısı	1,38	1,22	1

LPG'nin yüksek ısıl değerlere sahip olması önemli bir avantajdır. Ancak aynı zamanda daha dikkatli kullanmayı gerektiren bir faktördür. Örneğin, bütanın 0°C'deki buhar basıncı 0,0005 bar ve 15°C'de 0,8 bardır. Propanın 0°C sıcaklıktaki buhar basıncı ise 4 bardır. Yazın aynı sıcaklıkta propan/bütan karışım oranlarının değişmesi basınç üzerinde belirgin farklılıklara neden olmaktadır. Bütan ve propan arasındaki ayırıcı özelliklerden biri de kaynama noktasıdır, yani atmosfer basıncında sıvı fazdan gaz faza geçtikleri derecedir. Propan -42°C'de gaz faza geçerken, bütan 0°C'de kaynar. Özellikle soğuk iklimli bölgelerde, kullanılan LPG'nin içerisindeki propan oranı arttırılarak sıvı fazdan gaz faza geçiş kolaylaştırılır. Ülkemizde hava sıcaklığı bölgeden bölgeye değişeceğinden, taşıtlarda kullanılan LPG'nin içeriğinde yaz aylarında %30 propan, %70 bütan, kış aylarında ise %50 propan, %50 bütan vardır, böylelikle tüm koşullar için uygun karışım sağlanmış olur. Avrupa ülkelerinde otomobillerde kullanılan LPG'nin propan ve bütan karışım oranları Tablo 2.2'de verilmektedir [5].

Tablo 2.2 Avrupa ülkelerinde kullanılan LPG'nin propan ve bütan oranları [5]

Ülke adı	Propan / bütan oranı (%Hacim)	
	Yaz	Kış
Türkiye	30/70	50/50
Almanya	100/0	90/10
Danimarka	30/70	50/50
İngiltere	100/0	100/0
Hollanda	30/70	50/50
İsveç	95/5	50/50

Geleneksel yakıtlarla karşılaştırıldığında LPG'nin bazı önemli avantajları aşağıdaki gibi özetlenebilir [1]:

+ LPG, benzin ve motorin ile karşılaştırıldığında daha ucuz bir yakıttır.
+ LPG'nin daha yüksek bir oktan sayısına sahip olması, detonasyon oluşumunu önlemekte ve motorlarda yüksek sıkıştırma oranlarına imkan vermektedir [6]. Ancak çift yakıtlı (benzin\ LPG) araçlarda sıkıştırma oranı tasarım olarak başlangıçta benzine göre belirlendiğinden dolayı, bu tip araçlarda daha yüksek bir sıkıştırma oranı ancak motor modifikasyonu ile sağlanabilmektedir [7]. Ayrıca ısıl değerinin benzine oranla düşük olması, %2-3 civarında bir güç azalmasına sebep olmaktadır.
+ Gaz yakıtlar hidrojence zengindir ve silindirlere gaz fazında girerler. Bu iki karakteristik temiz bir yanma sağlar. Diğer bir deyimle LPG, taşıtlar için temiz bir enerji kaynağıdır.
+ Yanma odasına tamamen gaz fazında girmesine bağlı olarak LPG motor yağının seyrelmesine neden olmamakta ve artık madde bırakmamaktadır. Böylece benzine nazaran daha düşük bakım masraflarına neden olmaktadır [6].
+ LPG kurşun ya da vernik atığı çıkarmaz. Motor karterini ya da motorun yanma odalarını kirletmez. Motoru temiz tutar, kurum oluşturmaz dolayısıyla motor ömrünü uzatır.
+ Yanma odalarında ya da ateşleme bujilerinde tortu oluşturmaz, çünkü LPG'de katkı maddelerine ihtiyaç bulunmamaktadır. Ateşleme bujileri benzin kullanan araçların motorlarındaki bujilere göre daha uzun ömürlüdür.

LPG'nin tüm bu avantajlarına ek olarak, bazı ülkelerde LPG kullanımını teşvik edici kararlar alınmaktadır. Örneğin İngiltere hükümeti, LPG dönüşüm ücretinin %70'ini karşılamayı önermektedir. Ayrıca Londra'da şehir merkezlerine giriş tüm araçlara ücretli iken, LPG'li araçlar hiçbir ücret ödemeden bu merkezlere girebilmektedirler. LPG sadece İngiltere'de değil, Avrupa'nın diğer önemli merkezlerinde de popülerliğini ve altyapısını artırmaktadır. İtalya'da bir milyonun üzerinde araç LPG ile çalışmaktadır. Bunda, İtalyan hükümetinin LPG'li araçlar için yol vergisini kaldırmasının etkili olduğu söylenmektedir. Buna ek olarak, özellikle trafiğin yoğun olduğu bölgelerde LPG'li araçlar her gün kullanılabilirken, benzinli ve dizel araçlar için sınırlamaya gidilmiştir. Benzer bir uygulama da Fransa'da uygulanmaktadır. "Fransa Temiz Hava Kanunu", LPG'li araç kullanıcılarına bazı avantajlar vermektedir. Hollanda da LPG kullanan taşıtlar lehine bazı kanunlar belirleyen ülkeler arasında bulunmaktadır [8].

LPG'nin bazı olumsuz yönleri ise şöyle sıralanabilir [1]:

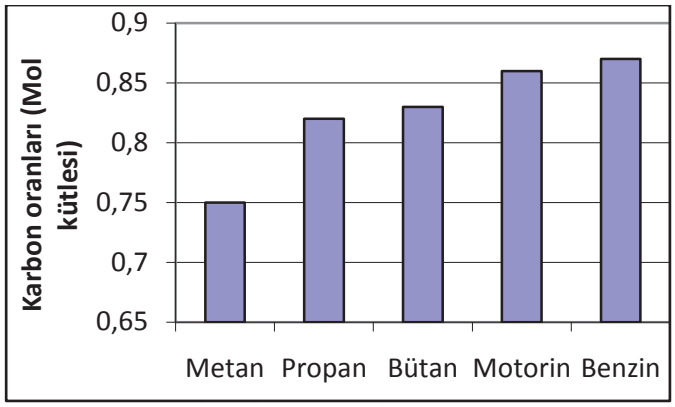
- LPG benzine nazaran daha düşük hacimsel ısıl değere sahiptir. Bu da motorlarda %2-3 civarında güç düşüklüğüne sebep olmaktadır.
- Benzinli bir taşıtın LPG'ye dönüştürülebilmesi için belli bir miktar maliyet gerekmektedir (1000-3000 TL).
- LPG'nin parlayıcı ve patlayıcı bir gaz olması trafik kazalarında düşük de olsa bir tehlike arz etmektedir. LPG tank ve multivalfinin özel tasarımı kaza esnasında LPG patlamalarını önlemektedir.
- LPG yağ ve boyayı eritebilmektedir. Ayrıca doğal lastiği deforme etmekte ve bu nedenle motorlu araçlarda kullanılan LPG iletim boruları uygun kalitede sentetik malzemeden yapılmaktadır. Yakıt tankı ile regülatör arasında yer alan basınç altındaki LPG hatları için özel bakır boru kullanılmaktadır.

Özetle LPG, yeni teknolojilere uyumlu olması, düşük fiyatı ve çevre dostu gibi özelliklerinden dolayı benzine ciddi bir alternatif yakıt haline gelmiş bulunmaktadır [6].

2.1.2. Taşıtlarda LPG Kullanımının Çevreye Olan Etkisi

LPG'li araçlardan yayılan zararlı emisyonlar, konvansiyonel yakıtlı taşıtların emisyonlarına nazaran önemli derecede daha düşüktür. LPG'nin bu özelliği diğer sıvı yakıtlarla karşılaştırıldığında karbon içeriğinin daha düşük olmasından kaynaklanmaktadır (Şekil 2.1) [9]. Bu özellik, LPG'nin daha temiz yanmasına ve

karbonmonoksit (CO), karbondioksit (CO_2), hidrokarbon (HC) ve azotoksit (NO_x) gibi zararlı emisyonların düşük çıkmasına neden olmaktadır. CO_2 üretiminin azalması küresel ısınmanın önlenmesinde önemli bir etkendir [6].



Şekil 2.1 Metan, propan, bütan, motorin ve benzinin karbon oranları [9]

LPG kullanan taşıtların emisyonlarıyla ilgili pek çok çalışma yayınlanmaktadır. Artık genel olarak kabul edilmiştir ki, LPG kullanan taşıtlar, benzin kullanan eşdeğerlerinden çok daha az zararlı emisyon üretmektedir [8]. LPG kullanan taşıtlar, dizel ve benzin yakıtlı taşıtlarla karşılaştırıldığında yaklaşık olarak %60 daha düşük CO, %30 daha düşük HC ve %20 daha düşük NO_x emisyonları yaymaktadır [10]. Bu sonuçlar, yayınlanan farklı kaynaklar tarafından da onaylanmaktadır [6,11-17].

Hem dinamometre hem de yol testleri göstermektedir ki, partikül emisyonları, dizel motorlarında, benzin motorlarına nazaran 10 kat, LPG kullanan motorlara nazaran ise 100 kat daha fazladır [18].

Yanmayla ortaya çıkan tüm ürünler havanın kalitesi üzerinde kötü etki yapar. Ancak mutlak madde miktarlarından daha önemli olan, her bir bileşiğin zehirlilik derecelerinin bilinmesi ve gerçek zararlılık ölçülerinin tanımlanmasıdır [2].

Tablo 2.3 Egzoz emisyonlarının zehirlilik dereceleri [2]

Bileşik	**Zehirlilik parametresi**
Karbonmonoksit	1
Hidrokarbon	60
Azotoksit	100
Aldehit	130
Kükürtdioksit	130

Tablo 2.3'ten anlaşıldığı gibi, yanmadaki en zehirli ürünler olan kükürt dioksit ve aldehit, LPG'de bulunmamaktadır. Dahası, LPG'nin yanmasıyla oluşan yanmamış hidrokarbonlar da, LPG'de katkı ve aromatikler olmadığı için, diğer yakıtlarınkilere oranla daha az zehirlidir. Aşağıdaki nedenlerle LPG'nin daha az kirletici olduğunun altı çizilmelidir [2]:

- Yanma olayı gaz halinde oluşur. LPG'nin gaz olması, bu sürece daha uygun olup, daha homojen ve içinde kömür parçacıkları bulunmayan bir karışımın garantisidir.
- Yüksek termodinamik özellikleri, daha kolay ve iyi yanma sağlar.
- Kurşun, kükürt ve aromatikler gibi katkı maddeleri içermez.

2.1.3. LPG Yakıtının Ekonomikliği

LPG benzin ve motorin ile karşılaştırıldığında ucuz bir yakıttır. Ucuz olmasının nedeni elde ediliş maliyetlerinin düşük olmasıdır. Tablo 2.4'te, LPG, benzin ve motorinin belli başlı Avrupa ülkelerindeki istasyon fiyatları ve LPG istasyonlarının sayıları görülmektedir [19,20]. Genel olarak bakıldığında, LPG, benzine göre ortalama %47, motorine göre ise ortalama %44 daha ucuzdur. Dolum istasyonu bakımından da LPG, başta Türkiye olmak üzere, Almanya, Fransa, Hollanda, İtalya, Polonya ve İngiltere gibi ülkelerde yeterli sayıya ulaşmış durumdadır. Ayrıca ülkemiz, benzin ve motorin fiyatlarının yüksekliği bakımından Avrupa'da lider konumundadır. Bu da, ülkemizde LPG kullanımının artmasına neden olmaktadır. LPG istasyonu sayısının yüksek olması, LPG kullanımının yaygınlaştığını göstermektedir.

2.1.4. Soğutucu Akışkan Olarak LPG

Soğutucu akışkanlar klima, ısı pompası, buzdolabı gibi ısı ekipmanlarında proses gazı olarak kullanılan, cihazların içinde kapalı devre dolaşan gazlardır. İdeal bir soğutucu akışkan; düşük kaynama noktası, yüksek buharlaşma ısısı ve yüksek kritik sıcaklık gibi uygun termodinamik özelliklere sahip olmalı, aşındırıcı, zehirleyici, yanıcı-patlayıcı ve çevreye zararlı özellikte olmamalıdır. Tablo 2.5'te bazı soğutucu akışkanların özellikleri verilmektedir.

Tablo 2.5 dikkatle incelendiğinde LPG'nin içeriğinde farklı oranlarda bulunan propan, bütan ve izobütanın diğer soğutucularla karşılaştırıldığında benzer özelliklere sahip olduğu, farklı olarak küresel ısınma potansiyeli (GWP) değerinin düşük olduğu görülmektedir. Bu da LPG'nin çevresel olarak tercih edilmesi gereken bir soğutucu

olduğunu göstermektedir. LPG'nin iyi bir soğutucunun sahip olması gereken pek çok özelliğe sahip bulunması buzdolapları ve klima sistemlerinde soğutucu akışkan olarak kullanılmasının önünü açmaktadır [21]. Ayrıca LPG'yi oluşturan propan, bütan ve izobütanın ODP değerlerinin de sıfır olduğu yine Tablo 2.5'te görülmektedir. ODP değerinin sıfır olması ozon tabakasına zararsız olduğunu göstermektedir.

Tablo 2.4 LPG, benzin ve motorinin Avrupa ülkelerindeki istasyon fiyatları ve LPG istasyonlarının sayıları [19,20]

Ülke	LPG istasyonu	LPG (€)	Benzin (€)	Motorin (€)
Almanya	8400	0,75	1,59	1,38
Belçika	718	0,7	1,61	1,45
Bulgaristan	278	0,66	1,3	1,3
Çek Cumhuriyeti	716	0,63	1,31	1,32
Danimarka	6	1,2	1,7	1,56
Fransa	2380	0,87	1,47	1,33
Hırvatistan	288	0,69	1,3	1,26
Hollanda	1742	0,86	1,75	1,44
İspanya	307	0,78	1,41	1,35
İtalya	2171	0,76	1,73	1,64
Lüksemburg	11	0,63	1,33	1,2
Macaristan	711	0,85	1,35	1,42
Polonya	3362	0,6	1,27	1,29
Portekiz	299	0,83	1,65	1,42
Romanya	308	0,69	1,24	1,3
Sırbistan	343	0,75	1,35	1,36
Birleşik Krallık	1721	0,89	1,55	1,63
Türkiye	9802	1,06	1,78	1,6
Ortalama	1865	0,79	1,48	1,4

2.2. LPG Dönüşüm Sistemleri

Dünyada, sadece LPG ile çalışan araç tasarımından ziyade çoğunlukla aracın dönüştürülmesi yoluna gidilmektedir. Araçların LPG sistemine dönüşümü için bazı özel parçaların ilave edilmesi yeterli olmaktadır. Aracın mevcut yakıt ve ateşleme sistemi aynen muhafaza edilmektedir. Şoför mahalline yerleştirilen bir yakıt seçici anahtar vasıtasıyla motorun istendiği zaman benzin, istendiği zaman LPG ile çalıştırılması mümkün olmaktadır.

Dönüşüm işleminde kullanılan malzemeler, dönüştürülecek taşıtın sahip olduğu yakıt sistemine bağlı olarak değişmektedir. Karbüratörlü sistemlerde çok basit ekipmanlar kullanılırken, sıralı enjeksiyonlu sistemlerde elektronik kontrol ünitesi, enjektör gibi nispeten karmaşık ekipmanlar kullanılmaktadır. Buji ateşlemeli motorların aynı zamanda LPG ile çalışmasını sağlayacak dönüşüm sistemleri üç grupta sınıflandırılmaktadır [6]:

1) Mekanik olarak kontrol edilen karbüratörlü sistemler (birinci nesil)
2) Elektronik olarak kontrol edilen karbüratörlü sistemler (ikinci nesil)
3) Sıralı LPG enjeksiyon sistemleri (üçüncü nesil)

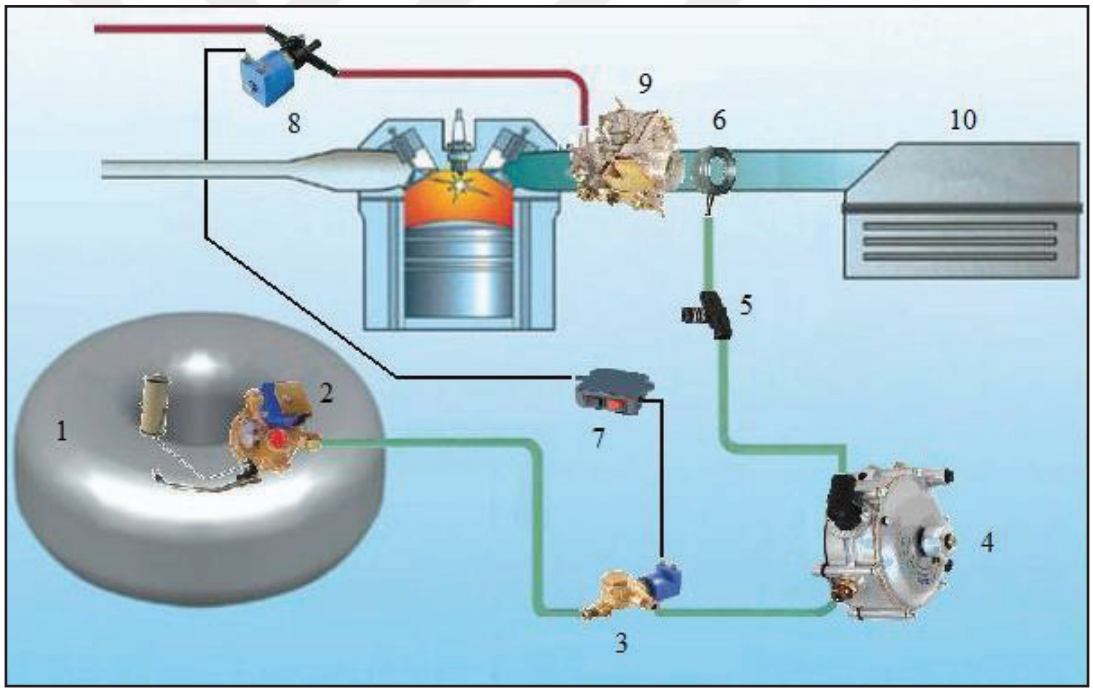
Tablo 2.5 Bazı soğutucu akışkanların karşılaştırılması [22-42]

Soğutucu akışkan	**R11**	**R12**	**R22**	**R134a**	**R290**	**R600**	**R600a**
Adı	Triklorofloro metan	Diklorodifloro metan	Klorodifloro metan	1,1,1,2-Tetraflor oetan	Propan	Bütan	İzobütan
Kimyasal formülü	CCl_3F	CCl_2F_2	$CHClF_2$	F_3CCH_2F	C_3H_8	C_4H_{10}	C_4H_{10}
Soğutucu sınıfı	CFC	CFC	HCFC	HFC	HC	HC	HC
Molekül kütlesi (g/mol)	137,37	120,91	86,47	102,03	44,1	58,13	58,13
Yoğunluğu (kg/L)	1,47 (21,1°C)	1,34 (30°C)	1,21 (21,1°C)	<1,22	0,500 (20°C)	0,579 (20°C)	0,564
Buhar yoğunluğu (Hava=1)	4,8	4,2	3	3,5	1,6	2	2
Kaynama sıcaklığı (°C)	23,8	-29,8	-40,8	-26,1	-42,1	-0,4	-11,7
Kritik sıcaklığı (°C)	198	111,8	96,2	101,08	96,67	152	135
Kritik basıncı (bar)	44,1	41,1	49,9	40,6	42,5	38	36,5
ODP	1	1	0,07	0	0	0	0
GWP (100 yıllık)	3400	8500	1700	1300	3	3	3
Buharlaşma gizli ısısı 1 atm (kj/kg)	227,3	165,24	-	216,87	427,8	385,2	364,25
Atmosferdeki ömrü (Yıl)	-	130	15	16	<1	<1	<1
Patlama limitleri (Havada hacimsel % olarak)	Patlayıcı değil	Patlayıcı değil	-	Patlayıcı değil	2,3 - 7,3	1,6 - 6,5	1,8 - 8,4

ODP : Ozonu tahrip etme potansiyeli (Ozone depletion potential)
GWP : Küresel ısınma potansiyeli (Global warming potential)

Birinci nesil LPG dönüşüm sistemleri en basit olan sistemlerdir. Bu sistemlerde açık devreli LPG donanımı kullanılmaktadır. Yakıt deposundan sıvı halde alınan yakıt, bir B/R yardımıyla emme manifoldunda yer alan bir gaz karıştırıcıya gönderilerek hava ile karıştırıldıktan sonra silindirlere yollanmaktadır. Bu sistem karbüratörlü motorların dönüşümünde kullanılmaktadır.

Birinci nesil LPG dönüşüm sistemlerinin genel bir şeması Şekil 2.2'de görülmektedir. Mekanik olarak kontrol edilen bu sistemde; LPG regülatörü (B/R), regülatör öncesinde bir LPG solenoid valfi ve regülatör sonrasında bir karıştırıcı (mikser) bulunmaktadır. Motora giden LPG miktarı regülatör üzerindeki ayar vidalarından sağlanmaktadır. Ayrıca regülatör içerisinde bulunan diyaframın motor vakumuyla hareketi sayesinde LPG miktarı artmakta veya azalmaktadır. Bu tip bir dönüşüm sistemi, benzinli bir aracı LPG'ye dönüştürmenin en basit yoludur [6].



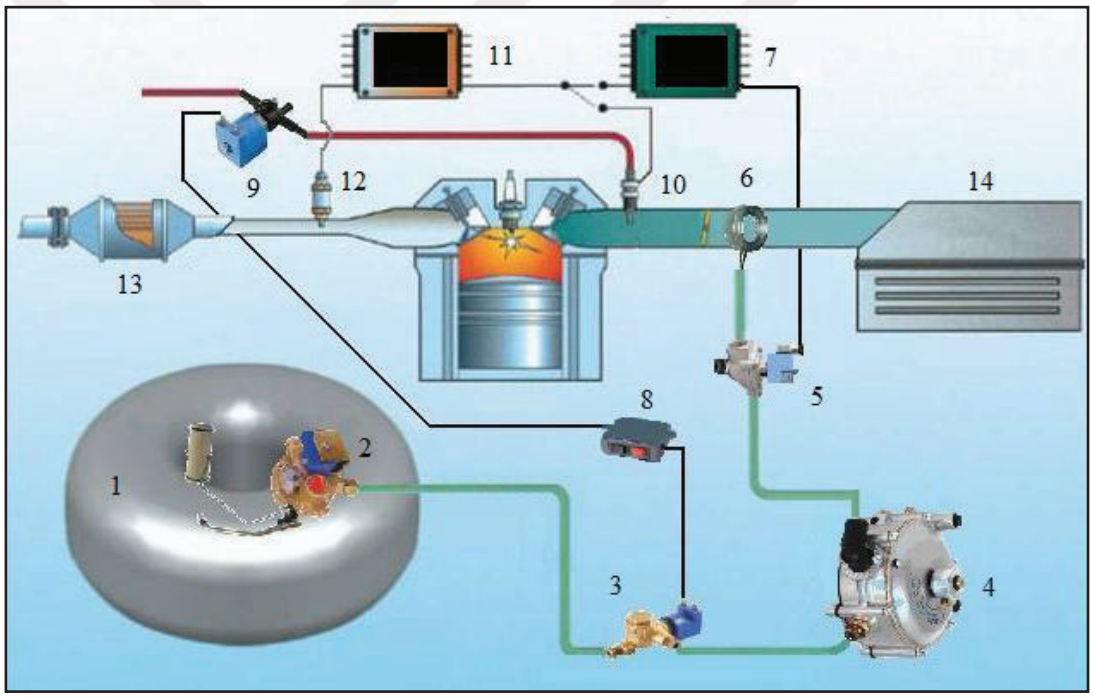
1. LPG tankı, 2. Multivalf, 3. LPG solenoid valfi, 4. Regülatör, 5. Manuel akış ayar valfi, 6.Karıştırıcı, 7. Yakıt seçme anahtarı, 8. Benzin solenoid valfi, 9. Karbüratör, 10. Hava filtresi

Şekil 2.2 Mekanik olarak kontrol edilen karbüratörlü sistemler (Birinci nesil)

İkinci nesil LPG dönüşüm sistemlerinde yine kapalı devreli bir LPG donanımı kullanılır. Kapalı devre sistemlerde egzoz gazı içinde bulunan oksijen miktarı ölçülerek, elektronik kontrol ünitesi yardımıyla yakıt miktarı sistemde uygun şekilde

düzeltilmektedir. Böylece hava fazlalık katsayısı stokiometrik değerde tutulabilmekte ve egzoz sisteminde katalitik konvertör yardımıyla düşük emisyon değerleri sağlanabilmektedir. Yakıt enjeksiyon sistemli taşıtlara uygulanan bu LPG dönüşüm sisteminde ek olarak bir lambda sensörü, devir sayısı, gaz kelebeği konumu, motor sıcaklığı gibi motor parametrelerini değerlendiren bir elektronik kontrol ünitesi ve gaz debisini değiştiren bir debi ayar valfi bulunmaktadır. Şekil 2.3'te elektronik olarak kontrol edilen karbüratörlü sistemin şeması verilmektedir.

İkinci nesil LPG sisteminin kendi kendine öğrenme özelliği sayesinde kullanım ömrü boyunca tekrar ayarlanmasına ihtiyaç yoktur. Ayrıca sistem, propan/bütan oranlarında yapılan değişikliğe göre kontrol parametrelerinin tekrar ayarlanmasına müsaade etmektedir [6].



1. LPG tankı, 2.Multivalf, 3. LPG solenoid valfi, 4. Regülatör, 5. Debi ayar valfi, 6.Karıştırıcı, 7. LPG EKÜ'sü, 8. Yakıt seçme anahtarı, 9. Benzin solenoid valfi, 10. Benzin enjektörü, 11.Benzin EKÜ'sü, 12. Lambda sensörü, 13. Katalitik konvertör, 14. Hava filtresi

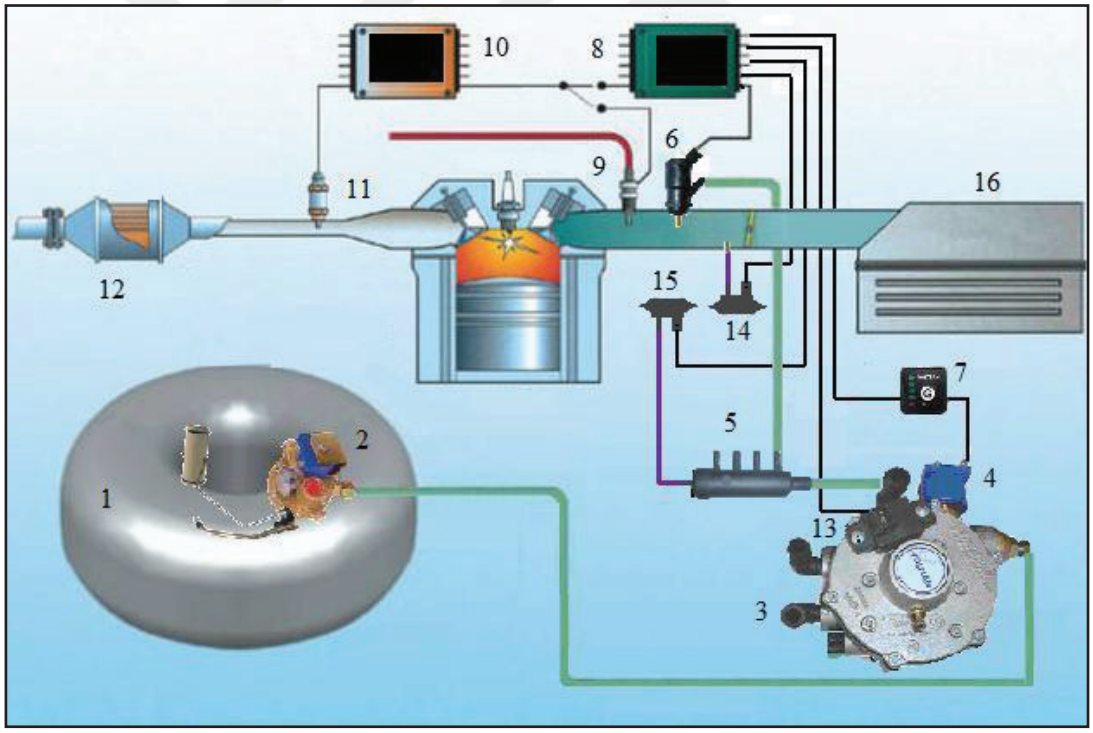
Şekil 2.3 Elektronik olarak kontrol edilen karbüratörlü sistemler (İkinci nesil)

Üçüncü nesil sistemler, birinci ve ikinci nesil sistemlere göre daha karmaşıktır. Bu sistemde motor ilk başta benzin ile çalıştırılır daha sonra otomatik olarak LPG ile çalışmaya devam eder. Üçüncü nesil LPG dönüşüm sistemleri, mikro işlemci ile kontrol edilmekte, kendi kendine öğrenme özelliği bulunmakta ve manüel bir ayarlamaya

ihtiyaç duymamaktadır. Bu sistemlerde LPG, gaz veya sıvı formda enjekte edilebilmektedir. Her silindir için aynı miktardaki yakıtın gönderilmesi işlevini enjektörler yerine getirmektedir.

LPG enjektörleri, yakıt miktarını LPG elektronik kontrol ünitesinden (EKÜ) gelen enjeksiyon sinyallerine göre ayarlamaktadır. LPG EKÜ'sü bu sinyalleri oluştururken, büyük oranda benzin EKÜ'sünün enjeksiyon değerlerinden faydalanmakta, ek olarak LPG sistemiyle ilgili basınç, sıcaklık gibi bilgileri, hafızasındaki enjeksiyon tabloları ile karşılaştırmakta ve en uygun enjeksiyon miktarına karar vermektedir.

Üçüncü nesil sıralı LPG dönüşüm sistemleri, ilk iki nesildeki sistemlerin ürettikleri emisyonlara nazaran çok daha düşük değerlere ulaşmaktadır. Kapalı sistem lambda kontrolü, hassas yakıt ayarlama sistemi gibi özellikleri, üçüncü nesil dönüşüm sistemlerini son teknoloji ürünü olan taşıtlara tam olarak uygun hale getirmektedir. Şekil 2.4'te üçüncü nesil bir LPG dönüşüm sistemi görülmektedir [6].

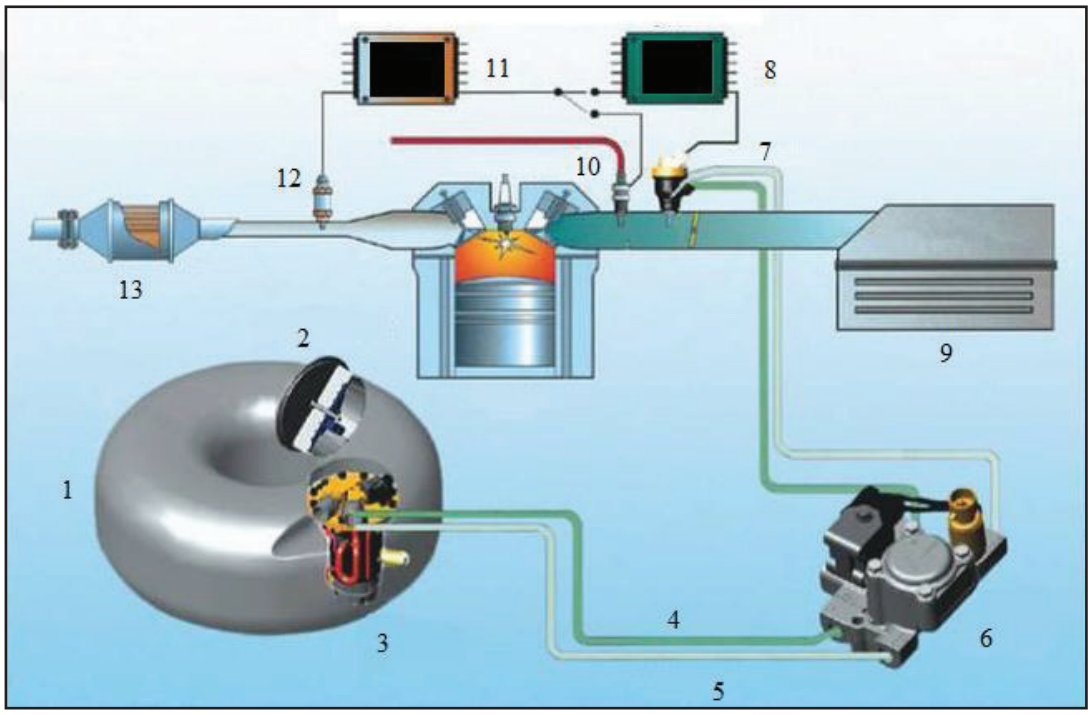


1. LPG tankı, 2.Multivalf, 3. Regülatör, 4. Elektrovalf, 5. LPG enjeksiyon hattı, 6. LPG enjektörü, 7. Yakıt seçme anahtarı, 8. LPG EKÜ'sü, 9. Benzin enjektörü, 10. Benzin EKÜ'sü, 11. Lambda sensörü, 12. Katalitik konvertör, 13. Sıcaklık sensörü, 14. Vakum sensörü, 15.Basınç sensörü, 16. Hava filtresi

Şekil 2.4 Sıralı LPG enjeksiyon sistemleri (Üçüncü nesil)

Ayrıca, pek yaygın olarak kullanılmayan, yine üçüncü nesil içerisinde

değerlendirilen sıvı LPG püskürtmeli sistemler de bulunmaktadır. Bu sistemler çok noktadan benzin püskürtme sistemine benzemektedirler (Şekil 2.5). Bu sistemde, sıvı haldeki LPG, emme supabı üzerine püskürtüldüğü için yakıtın büyük bir miktarı silindire sıvı halde girmektedir. Birinci ve ikinci nesil dönüşüm sistemi uygulanmış araçlarda, LPG'nin gaz halde silindire girmesinden dolayı hacimsel verimdeki kayıplar neticesinde güçteki %2-5 oranındaki azalma, üçüncü nesil sıvı enjeksiyonlu LPG dönüşüm sistemlerinde görülmemektedir. Başlangıç ayarları satıcı tarafından özel ekipmanlarla yapılmakta ve sistem daha sonra bu ayarları ömrü boyunca korumaktadır [43].



1. LPG tankı, 2. Pompa kontrol ünitesi, 3. İç pompa ve valf, 4. LPG besleme hattı, 5. LPG geri dönüş hattı, 6. Basınç regülatörü ve sensörü, 7. LPG enjektörü, 8. LPG EKÜ'sü, 9. Hava filtresi, 10. Benzin enjektörü, 11. Benzin EKÜ'sü, 12. Lambda sensörü, 13. Katalitik konvertör

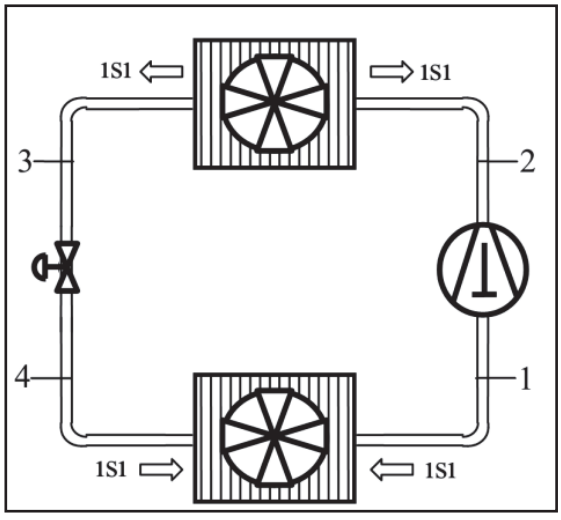
Şekil 2.5 LPG sıvı enjeksiyon sistemleri [43]

2.3. Otomobil Klima Sistemleri

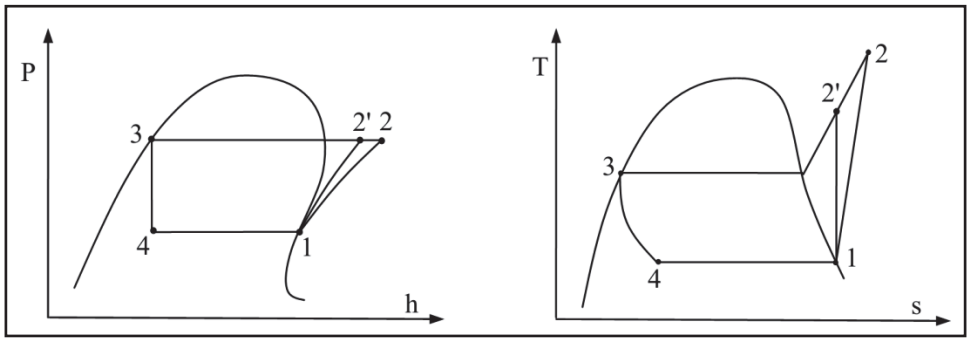
Otomobil klima sistemleri, ferah bir ortam havası oluşturmak için aracın içindeki veya aracın içine alınan taze dış havayı soğutan, buna ilave olarak nemini alan ünitelerdir [44].

Otomobil klima sistemleri buhar sıkıştırmalı soğutma çevrimine göre çalışmaktadırlar. Buhar sıkıştırmalı soğutma çevrimlerinde temel olarak düşük sıcaklıktaki bir ortamdan çekilen ısı, daha yüksek sıcaklıktaki başka bir ortama atılmaktadır. Bu işlemin gerçekleşebilmesi için sistemde soğutucu akışkan dolaştırılırken dışarıdan iş verilmektedir. Bu süreç sırasında soğutucu akışkan bir takım işlemlere tabi tutularak faz değiştirmektedir. Isının çekilmesinde ve atılmasında çoğunlukla bu faz değişiminden yararlanılmaktadır [45].

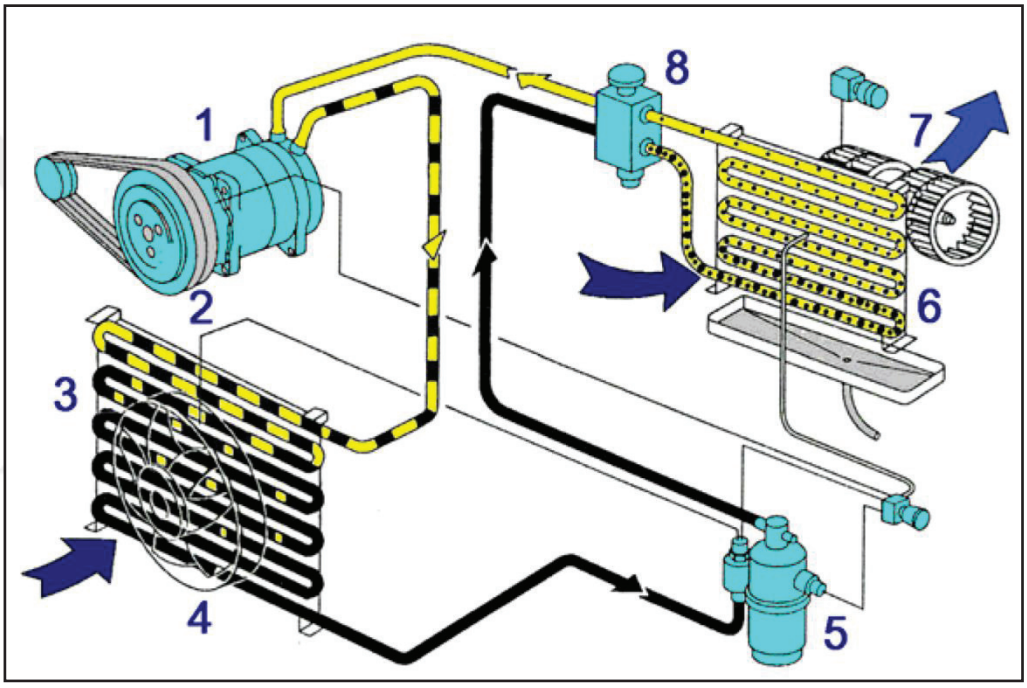
İdeal bir buhar sıkıştırmalı, kompresörlü soğutma sistemi temel olarak kompresör, kondenser, genleşme valfi ve evaporatör olmak üzere dört ana elemandan oluşmaktadır. Böyle bir soğutma sisteminin tesisat şeması Şekil 2.6'da ve P-h ile T-s diyagramları Şekil 2.7'de gösterilmektedir. Şekil 2.6 ve Şekil 2.7 incelersek, 1 noktasından doymuş buhar olarak çıkan soğutucu akışkan, bir kompresör yardımıyla basıncı arttırılarak kondensere basılır. Yüksek basınçta kompresörden çıkan soğutucu akışkan kondensere girer (2 noktası) ve burada ısısını dış ortama atarak sabit basınçta yoğuşur. Yoğuşan akışkan genleşme valfine girer (3 noktası). Genleşme valfinden geçen soğutucu akışkan sabit entalpide genleşerek ıslak buhar haline gelir (4 noktası). Islak buhar halinde evaporatöre giren soğutucu akışkan soğutulmak istenen ortam ısısını çekerek buharlaşır ve buradan geçerek buhar halinde tekrar kompresöre girer (1 noktası). Çevrim böylece devam etmektedir [46]. Benzer bir şekilde otomobillerde kullanılan bir klima sisteminin akış şeması ise Şekil 2.8'de görülmektedir.



Şekil 2.6 İdeal buhar sıkıştırmalı soğutma çevriminin tesisat şeması [47]



Şekil 2.7 İdeal buhar sıkıştırmalı soğutma çevriminin P-h ve T-s diyagramı [47]



1-Kompresör, 2-Elektromanyetik kavrama, 3-Kondenser, 4-Fan, 5-Kurutucu, 6-Evaporatör, 7–Evaporatör fanı, 8-Genleşme valfi

Şekil 2.8 Otomobillerde kullanılan bir klima sisteminin akış şeması [48]

Otomobil klima sistemlerinin tarihi General Motors (GM) tarafından 1928 yılında keşfedilen R12 soğutucu akışkanına dayanmaktadır. İlk prototip sistem ise 1939 yılında Cadillac tarafından oluşturulmuştur. 1939 yılında Packard Motor Company, yazın soğutma, kışın ısıtma yapan klima sistemlerini sunan ilk firma olmuştur. Bu klimalarda soğutucu akışkan olarak R12 kullanılmaktaydı. İkinci dünya savaşının başlamasıyla üretim sürecinin sekteye uğradığı yıllarda klima sistemleri pek çok problemlere sahip bulunmaktaydı. 1953 yılında problemlerin çoğu çözülürken, GM ve Chrysler gelişmiş klima sistemlerini tanıtmışlardır. Bu yıllarda lüks olarak kabul edilen

klima sistemleri artık normal bir ekipman haline gelmiştir. Ayrıca klima sisteminin bazı parçaları bagaj içerisine yerleştirilmiş ve buradaki tüm boşluğun dolmasına sebep olmuştur. 1953 yılında, GM firmasının Harrison radyatör birimi devrim niteliğinde bir değişiklikle klima sisteminin tüm parçalarını kaput ve ön panel bölgesine sığdırmayı başarmıştır. Kurutucu özelliği olan malzemelerin kullanılmasıyla soğutucu hattındaki nemin emilmesi işlemleri yine 1953 yılında başlamıştır. 1955'te GM, ön kısma monte edilen, testleri yapılmış bir vaziyette tamamıyla önceden montajlanıp hazır hale getirilmiş klima ve ısıtma ünitelerini geliştirmiştir. 1957 yılında, tüm otomobil üreticileri bu tasarım yaklaşımını benimsemişlerdir. Evaporatördeki donmanın önlenmesi için, klima sistemlerinde sıcak gaz hattı vanası 1956 yılında kullanılmaya başlanmıştır. 1957'de, Cadillac Eldorado Brougham'larda klima standart donanım haline gelmiştir. 1957 yılında satılan klima sistemlerinin ortalama fiyatı 435$ olmuştur. 1961 ve 1964 yılları arasında otomobil klimalarının tanınırlığı artmış ve araç üzerine monte edilen klima sistemlerinin sayısı üç kat artmıştır. Ayrıca GM, Cadillac üzerinde ilk klima kontrol sistemini tanıtmıştır. 1980 yılında klima sistemlerinin yayılımı %70 seviyelerine yükselmiştir. 1973'teki petrol ambargosu nedeniyle yakıt ekonomisi üzerine yoğunlaşılmaya başlanmıştır. GM firması, kompresörün çalışma zamanını 1/3 oranında azaltmış ve yakıt ekonomisini iyileştirmiştir. 1974 yılında, ozon tabakasının R12 yüzünden delindiği ortaya çıkmıştır. Harrison radyatör dokuz adet soğutucu akışkanı analiz etmiş ve 1976 yılında klorin içermeyen R134a'nın R12 yerine kullanılabileceğini ortaya koymuştur. Fakat o sıralarda Harrison'daki çalışmalar için haftada 400 kg R134a'ya ihtiyaç varken, Allied Chemicals tarafından ancak 0,5 kg üretilebilmiştir. 1978'de Harrison firması Chevrolet üzerinde rüzgar tünelleri yardımıyla R134a'nın olumlu etkisini göstermiş, ancak R134a ile çalışan klima sistemleri Montreal Prokolü'nün Birleşmiş Milletler tarafından Eylül 1987'de kabul edilmesine kadar R134a'nın ticari olarak temin edilememesi nedeniyle devam etmemiştir. Klima sistemlerindeki ilk büyük devrim 1990'larda içeriğinde ozon tabakasına zarar veren klorin bulunan R12'den içeriğinde florin bulunan R134a'ya geçiş ile ortaya çıkmaya başlamıştır. R134a'nın ticari olarak üretimi DuPont ve ICI firmaları tarafından 1990'da başlamıştır. R12'den R134a'ya geçiş klima sistemlerinden yaklaşık %20 daha yüksek yoğuşma kapasiteli kondenser ve mineral yağlayıcı yerine sentetik polialkilen glikol (PAG) yağının kullanılması gibi bazı değişiklikleri zorunlu hale getirmiştir. Amerika, Avrupa ve Japonya'daki R12'den R134a'ya dönüşüm 1991-1994 yılları arasında

gerçekleşmiştir. Dünyanın geri kalanında ise klima sistemlerinde R134a'nın soğutucu olarak kullanılması 1990'ların sonlarından 2000'lerin başlarına kadar devam etmiştir. GWP ise, R12'den R134a'ya geçiş esnasında gündemde olmamıştır. R134a'nın GWP'si (1300) R12'ninkinden (8500) az olmasına rağmen CO_2'ye göre (1) yüksek bir değere sahip bulunmaktadır. Avrupa Birliği'nin (AB) F-gas düzenlemesine göre, 2011 yılından itibaren AB'de piyasaya sürülen tüm yeni klima sistemlerindeki soğutucu akışkanların 150 veya daha az GWP değerine sahip olmaları zorunlu hale getirilmiştir [49,50].

Günümüz klima sistemlerinde bazı eksiklikler bulunmaktadır. Bu eksiklikleri aşağıdaki gibi özetleyebiliriz:

- Klima sistemleri otomobillerin satış fiyatlarını artırmaktadır (Dacia manuel klimalı/klimasız farkı 2000 TL [51]).
- Klima sistemlerinde kullanılan elemanlar otomobillerin ağırlığını ve hacimlerini önemli miktarlarda artırmaktadırlar.
- Sistemde kullanılan kompresör araç motorundan yaklaşık %10 güç çekmektedir [52].
- Motordan çekilen bu güç nedeniyle yakıt tüketiminde ortalama %10'luk bir artış olmaktadır [52-55].
- Yakıt tüketimindeki bu artışın bir sonucu olarak egzozdan yayılan CO, NO_x ve HC emisyonları artmaktadır [52-54].
- Otomobil klima sistemlerinde kullanılan R134a soğutucu akışkanından her yıl %8'in üzerinde kayıp olmaktadır [56]. Klima sistemlerinin ortalama 856 g soğutucu akışkana sahip oldukları düşünülürse, bu kayıp yılda yaklaşık 70 g'a tekabül etmektedir. Bunun telafisi ilave maliyet getirmektedir.
- Soğutucu gaz kaybının maddi kayıplarından ziyade atmosfere dağılan bu gazlar florokarbon içeriği nedeniyle küresel ısınmaya neden olmaktadır.
- Klima kompresörünün hareketini motordan alması nedeniyle, motorun devir sayısının değişimi esnasında kompresör devrinin de sürekli değişmesi klima sisteminde %5-18 arasında termodinamik kayıplara neden olmaktadır [57].

2.4. Isı Değiştiricileri

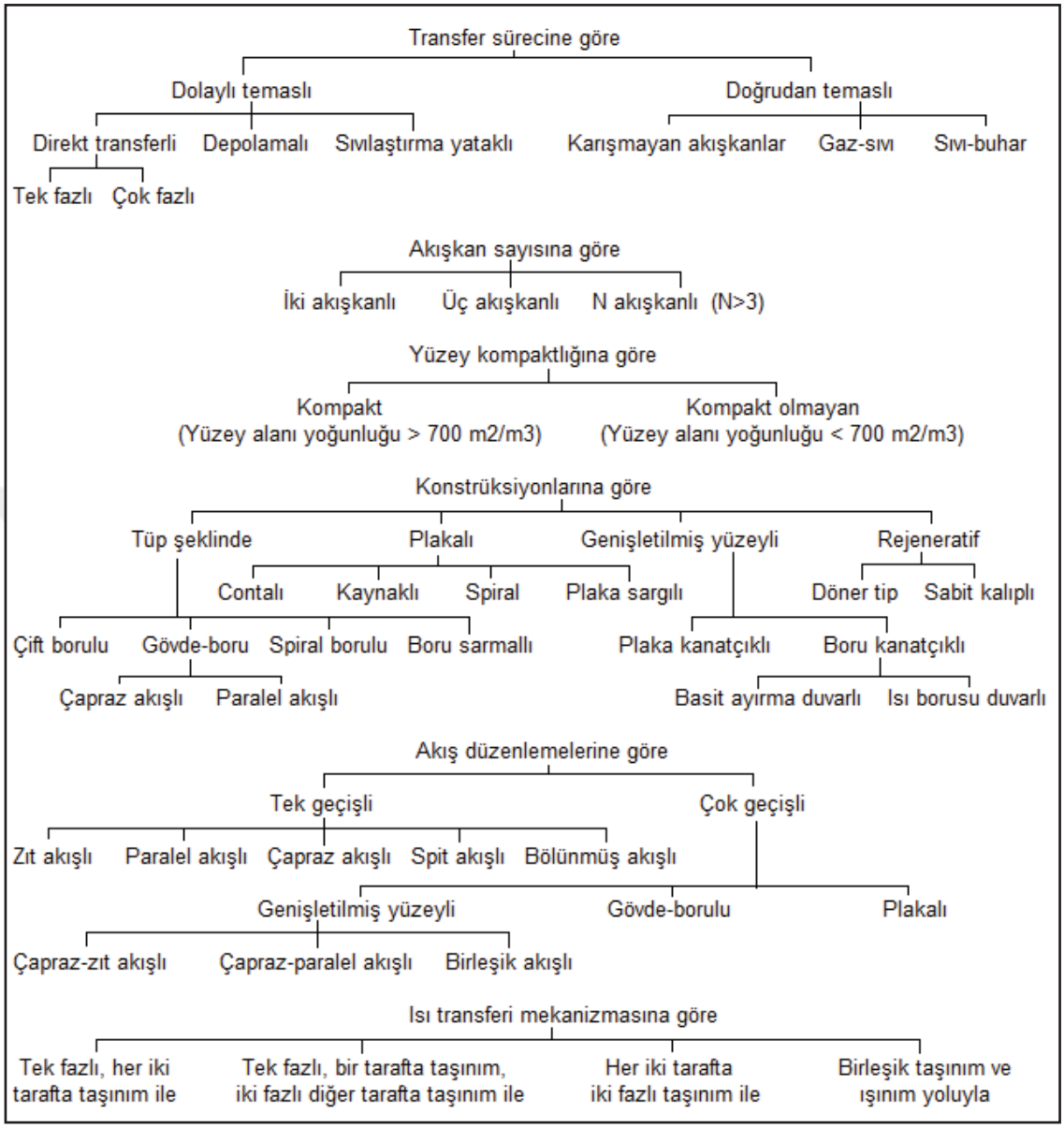
Isı değiştiricileri iki veya daha fazla akışkan arasında, sahip oldukları ısı enerjisinin birbirlerine transferini sağlamak için kullanılan araçlardır. Uygulamada ısıtma, soğutma, buharlaştırma, yoğuşturma, ısının geri kazanımı veya bir sistemden

ısının uzaklaştırılması gibi amaçlarla kullanılmaktadırlar. Günümüz LPG dönüşüm sistemlerinde kullanılan SB/R ve bu çalışmada önerilen HB/R sistemleri birer ısı değiştiricileridirler. Isı değiştiricilerinin çoğunda akışkanlar bir ısı transfer yüzeyi ile birbirlerinden ayrılmakta ve karışmalarının önüne geçilmektedir. Isı transfer yüzeyi akışkanlarla doğrudan temas halinde olan ve ısının iletim yoluyla transfer edildiği kısımdır. Akışkanları birbirinden ayıran bu kısım birincil yüzey olarak ifade edilmektedir. Isı transfer alanını artırmak için kanatçık olarak bilinen eklentiler birincil yüzeye bağlanmaktadır. Bu eklentilere ikincil yüzeyler denilmektedir. Kanatçıkların kullanılmasıyla ısıl direnç azalmakta ve aynı sıcaklık farkı için yüzeyde meydana gelen net ısı transferi miktarı artmaktadır [58].

Isı değiştiricileri pek çok farklı türlerde üretilmektedirler. Bunlardan en basiti çift borulu ısı değiştiricileridir. Paralel akışlı tipte, sıcak ve soğuk akışkanlar ısı değiştiriciye aynı taraftan girip aynı yönde ilerlerken, ters akışlı tipte ise sıcak ve soğuk akışkanlar ısı değiştiriciye zıt taraflardan girip karşıt yönlerde ilerlemektedirler. Kompakt ısı değiştiricilerde iki akışkan birbirlerine dik olarak hareket etmekte ve bu akış şekline çapraz akış denilmektedir. Endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılan diğer ısı değiştirici çeşitleri ise plakalı ve gövde-boru tipi ısı değiştiricileridir. Isı değiştiricilerinde meydana gelen ısı transferi genellikle her bir akışkan için taşınım, iki akışkan arasındaki duvar için de iletim şeklinde meydana gelmektedir [59].

Isı değiştiricileri transfer süreci, konstrüksiyon, akış düzenlemesi, yüzey kompaktlığı, akışkan sayısı ve ısı transfer mekanizmaları gibi faktörlere göre sınıflandırılmaktadırlar (Şekil 2.9).

Bir ısı değiştiricisinin seçimi veya tasarımı ısı transfer oranı, maliyet, basınç düşümü, boyut, ağırlık, konstrüksiyon tipi, malzeme ve çalışma ortamı gibi pek çok faktöre dayanmaktadır [59].



Şekil 2.9 Isı değiştiricilerinin sınıflandırılması [58]

2.5. Literatürde Konu ile İlgili Yapılmış Çalışmalar

Günümüzün en ağır iki evrensel probleminin enerji krizleri ve çevrenin kirlenmesi olduğu söylenebilir. Bu iki problemin acilen çözülmesi gerekmektedir. Bu problemleri çözmek için temiz enerji çeşitlerinin geliştirilmesi, çevreye zarar vermeyen malzemelerin kullanılması ve enerji tasarruf teknolojilerinin ortaya konulması gerekmektedir. Tüm bu konularla ilgili literatürde çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalardan konumuzla ilgili olanlar incelenmiş ve sunulmuştur.

2.5.1. LPG'nin Alternatif Soğutucu Olarak Kullanıldığı Çalışmalar

Soğutma sistemlerinin geliştirilmesi yirmi birinci yüzyılda acil ve önemli bir konu durumundadır. Son yıllarda pek çok defa araştırma konusu olan çevre dostu hidrokarbon soğutucuların soğutma sistemleri için iyi bir soğutma davranışına sahip oldukları görülmektedir. Bu akışkanların soğutma sistemlerinde ozon tabakasına zarar veren akışkanlar yerine soğutucu olarak kullanılmaları pek çok araştırmacı tarafından önerilmektedir. Ayrıca bu soğutucular, pahalı olmama ve bol miktarlarda bulunma gibi diğer avantajlara da sahip bulunmaktadırlar. Sıfır ozon tüketme potansiyeli ve küresel ısınmaya neden olan sera etkisine neden olmama gibi özelliklerle çevre dostu niteliğinde bulunmaktadırlar. En temel dezavantajları yüksek miktarda yanıcı olmaları nedeniyle dikkatli bir şekilde kullanılmaları gerektiğidir. LPG'nin alternatif soğutucu olarak kullanıldığı çalışmalarda (Tablo 2.6) LPG'nin çeşitli büyüklüklerde buzdolabı, klima vb. soğutma cihazlarında herhangi bir değişiklik yapılmadan soğutucu bir gaz olarak kullanılması durumları incelenmiştir. Bu çalışmalardan elde edilen sonuçlara bakıldığında, soğutma makinelerinde LPG kullanılması sonucu COP'de iyileşme, kullanılan soğutucu miktarında azalma ve enerji tasarrufu dikkat çekmektedir. Buradan LPG'nin de bir soğutucu akışkan olarak kullanılabildiği, hatta diğer soğutucu gazlara nazaran soğutma etkisinin daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır. LPG'nin soğutma etkisinin yüksek olması büyük oranda buharlaşma gizli ısısının yüksek olmasına dayanmaktadır.

Tablo 2.6 LPG'nin alternatif soğutucu olarak kullanıldığı çalışmalar

Tarih	Yazar(lar)	Ekipman	Soğutucu	Alternatif	Sonuç
1991	Dieckmann ve diğ. [60]	Otomobil kliması	-	HC	* Yakıt tüketiminde %4 azalma.
1994	Rivis ve Bidone [61]	Teorik	R12	%50 propan + %50 izobütan	* Benzer performans. * T_e=-15°C evaporatör sıcaklığında 3,2'lik bir COP değeri.
1994	Abboud [62]	Otomobil kliması	R12	HC	* Enerji tüketiminde %13 azalma.
1995	Richardson ve Butterworth [63]	Buzdolabı	R12	%50 propan + %50 izobütan	* COP artışı. * Daha düşük soğutucu miktarı. * Daha düşük kompresör muhafaza sıcaklığı.

1995	Leonardi ve Maclaine-cross [33]	Otomobil kliması	R12	LPG	* %10 daha fazla soğutma etkisi.
1995	Liu ve diğ. [64]	Buzdolabı	R12	%70 propan + %30 bütan	* Daha düşük enerji tüketimi.
1995	Parmar [65]	Otomobil kliması	R12	HC	* Enerji tüketiminde %13 azalma.
1996	Jung ve diğ. [66]	Buzdolabı	R12	%20-60 propan + %80-40 izobütan	* %2,3 daha yüksek COP.
1996	Lim ve diğ. [67]	Buzdolabı	R12	Propan/izo bütan	* Soğutma etkisinde iyileşme. * Toplam enerji tüketiminden %3 civarında tasarruf.
1996	Choi ve diğ. [68]	Isı pompası	R22	Propan/izo bütan	* COP değerinde iyileşme. * Kapasitede düşüş.
1998	Meyer [69]	Teorik	R22	LPG	* Hemen hemen aynı soğutma kapasiteleri.
1998	Alsaad ve Hammad [70]	Buzdolabı	R12	%24 propan + %58 bütan + %18 izobütan	* T_e=-15°C evaporatör ve T_c=27°C kondenser sıcaklıklarında 3,4 COP değeri.
1998	Purkayastha ve Bansal [71]	Isı pompası	R22	Propan	* COP'de %18'lik bir artış.
1999	Hammad ve Alsaad [72]	Buzdolabı	R12	%50 propan + %38,3 bütan + %11,7 izobütan	* Daha yüksek COP değeri.
1999	Ghodbane [73]	Otomobil kliması	R134a	Propan	* Performans artışı.
1999	Jung ve diğ. [74]	Otomobil kliması	R12	%60 propan + %40 izobütan	* Benzer performans.
2000	Jung ve diğ. [75]	Buzdolabı	R12	%20-60 propan + %80-40 izobütan	* COP'de %2,3'lük bir artış. * %3-4 civarında enerji verimliliği.
2000	Peixoto ve diğ. [76]	Su soğutucusu	R134a	İzobütan	* COP değerinde iyileşme. * Enerji tüketiminde %13'lük bir düşüş. * Soğutucu miktarında %50 azalma.

2000	Chang ve diğ. [77]	Isı pompası	R22	Propan	* COP'de iyileşme.
2003	Akash ve Said [78]	Buzdolabı	R12	%30 propan + %55 bütan + %15 izobütan	* 3-4 kat daha yüksek soğutma kapasitesi.
2003	Elefsen ve diğ. [79]	Dondurma makinesi	R404a	Propan	* Enerji tüketiminde %90 azalma.
2003	Chaichana ve diğ. [80]	Isı pompası	R22	Propan	* Benzer performans.
2003	Joudi ve diğ. [81]	Otomobil kliması	R12	Propan/izo bütan	* Benzer özellikler.
2004	Urchueguia ve diğ. [82]	Kompresör	R22	Propan	* Soğutma kapasitesinde %13-20 azalma. * COP değerinde %1-3 artış.
2005	Wongwises ve Chimres [83]	Buzdolabı	R134a	%60 propan + %40 bütan	* Yüksek gizli ısısı nedeniyle daha az enerji tüketimi.
2006	Fatouh ve El Kafafy [84]	Buzdolabı	R134a	%60 propan + %20 bütan + %20 izobütan	* %7,6 daha yüksek COP değeri. * Güç tüketiminde %4,3'lük bir düşüş.
2006	Park ve Jung [85]	Ev tipi klima	R22	Propan	* Benzer soğutma kapasitesi. * Daha yüksek COP.
2006	Wongwises ve diğ. [25]	Otomobil kliması	R134a	%50 propan + %40 bütan + %10 izobütan	* Performans katsayısında artış. * Benzer soğutma kapasiteleri.
2008	Mani ve Selladurai [86]	Buh. Sık. Soğ. Sis.	R12 ve R134a	Propan/izo bütan	* R12'den %19,9-50,1; R134a'dan %28,6-%87,2 arasında daha yüksek bir soğutma kapasitesi. * R12'den daha yüksek COP değerleri (%3,9-25,1).

2009	Jwo ve diğ. [29]	Buzdolabı	R134a	%50 propan + %50 izobütan	* Soğutma etkisinde iyileşme. * Tüketilen toplam enerjiden %4,4 oranında tasarruf. * Kullanılan soğutucu miktarında kütlesel olarak %40 azalma.
2009	Mohanraj ve diğ. [87]	Buzdolabı	R134a	%45,2 propan + %54,8 izobütan	* Kompresörün enerji tüketiminde %11,1'lik bir azalma.
2009	Ravikumar ve diğ. [88]	Otomobil kliması	R12	R134a/propan/izobütan	* Benzer performans.
2010	Dalkilic ve Wongwises [89]	Buh. Sık. Soğ. Sis.	R12 ve R22	%40 propan + %60 izobütan	* En uygun alternatif soğutucu karışım olduğu.
2012	Rasti ve diğ. [28]	Buzdolabı	R134a	%56 propan + %44 izobütan	* Kompresörün çalışma süresinde %13 azalma. * Günlük enerji tüketimde %5,3 azalma.

2.5.2. Otomobil Klima Sistemlerinin Olumsuz Yönleri ile İlgili Çalışmalar

Otomobil klima sistemleri buhar sıkıştırmalı soğutma çevrim esasına göre çalışmaktadırlar. Sistemin güç ihtiyacı manyetik bir kavrama yoluyla hareketini motordan alan bir kompresör tarafından karşılanmaktadır. Taşıt motoru tarafından kompresöre sağlanan bu gücün, yakıt tüketiminde, egzoz emisyonlarında ve tekerleklere verilen güç transferinde önemli bir etkisi olmaktadır. Tablo 2.7'de görüldüğü gibi taşıt motorunun klima kompresörüne sağladığı ilave güç, yakıt tüketiminde %28'lere, emisyonlarda ise %81'lere varan oranlarda artışa neden olmaktadır. Otomobillerde soğutma yükünün düşürülmesini sağlayacak her yöntem, klima sistemlerinin küçültülmesini ve/veya daha az çalıştırılmasını sağlayacağından klimaların bu olumsuz etkilerini azaltacaktır. Böylece taşıtlarda seyir konforu bozulmaksızın motor gücündeki azalma, yakıt tüketimindeki artış ve emisyonların yükselmesi gibi olumsuzluklar belli oranlarda ortadan kaldırılmış olacaktır.

Tablo 2.7 Otomobil klima sistemlerinin olumsuz yönleri ile ilgili çalışmalar

Tarih	Yazar(lar)	Sonuç
1991	Dieckmann ve diğ. [60]	* HC soğutucuların kullanılmasıyla yakıt tüketiminde %4 azalma.
1998	Barbusse ve diğ. [90]	* Yakıt tüketiminde 3,1 L/100 km artış. * Egzoz emisyonlarında artış.
1999	Bevilacqua [53]	* Yakıt tüketiminde %28 artış. * CO_2, NO_x ve HC emisyonlarında sırasıyla %71, %81 ve %30 artış.
2000	Ratts ve Brown [57]	* Motor devri artışıyla özellikle kompresörden kaynaklanan termodinamik kayıplarda artış.
2001	Kelly [91]	* Hibrit araçlardaki yakıt ekonomisinde %30-35 azalma.
2003	Kaynakli ve Horuz [92]	* 1,6-1,7 kW civarında kompresör gücü ihtiyacı.
2005	Esen ve Hoşöz [93]	* Artan kompresör devri ile evaporatördeki akışkan miktarının azalması, buharlaşma sıcaklığının düşmesi. * Kompresör devrinin aşırı artması sonucu evaporatörde buzlanma.
2006	Shah [50]	* %2,5-7,5 civarında yakıt tüketiminde artış. * Yıllık 54,7-221,5 kg ilave CO_2 üretimi.
2006	Lambert ve Jones [94]	* %12-17 arasında yakıt tüketiminde artış.
2008	Ok [95]	* 1800-2400 d/min arasında motor gücünde %9 azalma.

2.5.3. LPG B/R'si ile İlgili Yapılan Çalışmalar

LPG dönüşüm sistemleri genellikle benzinle çalışan taşıt motorlarının LPG ile çalışmasını sağlayacak hale getirilmesi için kullanılan ekipmanlardan oluşmaktadırlar. Bu ekipmanlardan en önemlisi LPG'nin buharlaştırıldığı B/R'dür. Burada özetle LPG B/R'si ile ilgili yapılan çalışmalara değinilecektir.

Masi'nin [5] yapmış olduğu deneysel bir çalışmada buji ateşlemeli motorlarda yakıt olarak LPG kullanımının avantajları üzerinde durulmaktadır. LPG'nin B/R'ye giriş sıcaklığının ortalama olarak oda sıcaklığında olduğu (20-30°C) görülen çalışmasında Masi, sonuçlar kısmında B/R'ye giren motor soğutma suyu debisinin ve B/R'de ısı transferinin gerçekleştiği yüzeyin düşük ve orta motor devirleri için gereğinden fazla olduğunu bildirmektedir. Bu fazlalık LPG'nin aşırı ısınmasına neden olmakta ve motorun hacimsel verimini azaltmaktadır. Yüksek devirlerde ise LPG akışının artmasıyla birlikte B/R çıkışındaki gaz halindeki LPG'nin aşırı ısınması azalacağından motorun hacimsel veriminin arttığını göstermektedir.

Masi ve Gobbato [96] yapmış oldukları çalışmada LPG ile çalışan buji ateşlemeli motorlarda görülen iki temel probleme değinmektedirler. Çalışmada bu problemlerin hacimsel verimde meydana gelen düşüş ve LPG B/R'sinin performansı olduğu bildirilmektedir. Ayrıca çalışmada B/R tasarımı ve teorik performans hesabının zor olduğunu ve deneysel testlerle desteklenmesi gerektiğini bildirmektedirler.

Gumus ve Ugurlu [97] LPG ile çalışan motorlarda soğukta çalışma probleminin neden olduğu dezavantajları ortadan kaldırmak için yaptıkları çalışmalarında B/R'yi faz değiştiren malzeme (PCM) ile ısıl enerji depolar şekilde tasarlamışlar ve motorun rölanti devrinde test etmişlerdir. Sonuç olarak ısıl enerji depolama kabiliyeti kazandırılan B/R ile motorun soğuk olduğu durumlarda benzin yerine LPG ile ilk harekete geçmesi sağlanmış ve böylece yakıt ekonomisi artırılarak egzoz emisyonları azaltılmıştır.

Price ve diğ. [8] LPG B/R'sinin termodinamik performansını inceledikleri çalışmalarında motor soğutma suyu sisteminin kalorifer hattına bağladıkları B/R'nin içindeki motor soğutma suyu debisinin motor devrine bağlı olarak 2000-7000 rpm için 0,2-0,6 L/s aralığında değiştiğini bulmuşlardır. Aynı durumda LPG debisinin değişimi ise 0,0003-0,0062 kg/s olarak ortaya çıkmıştır. Çalışmalarında kullandıkları B/R'ye herhangi bir yalıtım uygulamadıkları için B/R'den çevreye yayılan ısı kaybını ihmal kabul etmişlerdir.

Kurddan [98] çalışmasında LPG'li bir araçta LPG'nin soğutucu etkisinden yararlanmayı amaçlamıştır. Bu amacı gerçekleştirmek için LPG B/R'si içinden geçen sıcak suyun giriş çıkış kanallarını iptal ederek suyun geçtiği bölümden iki farklı debide hava vermiştir. Böylece LPG'nin buharlaşmasını ve havanın soğumasını amaçlamıştır. Deneylerde hava için debi ve sıcaklık değişimini ölçmüş ve havadan çekilen ısının hesabını bu değerlere göre yapmıştır. Sonuç olarak üzerinde çalıştığı sistemin, deneysel taşıt için hesapladığı klima yükünü en fazla %2,73 oranında düşürdüğünü bulmuştur.

Karabıyık ve diğ. [99] yapmış olduğu çalışmada buji ateşlemeli hava soğutmalı bir motorda egzoz gazları ile ısıtılmış LPG yakıtının yakıt tüketimi ve egzoz emisyonlarına etkisini deneysel olarak araştırmışlardır. Deneyleri motorun yarım gaz ve tam gaz kelebeği açıklıklarında gerçekleştirmişler ve LPG'nin egzoz gazı sıcaklığı ile ısıtılabilmesi için uygun bir ısı eşanjörü kullanmışlardır. Yazarlar çalışmalarında kullandıkları sistem ile LPG sıcaklığını 150°C civarına yükselttiklerini ve motorun soğutma suyu ile ısıtılan LPG sistemine göre %23 daha düşük yakıt tüketimi elde

ettiklerini belirtmişlerdir. Ayrıca bu sistem ile egzoz emisyonları da daha düşük olarak ortaya çıkmıştır.

Yapılan literatür çalışması ile LPG'nin klima ve buzdolaplarında soğutucu gaz olarak kullanıldığı, otomobil klima sistemlerinin sahip olduğu dezavantajlar ve LPG dönüşüm sistemleri ile ilgili yapılan çalışmalara değinilmiştir. Bu çalışmalarda LPG'nin iyi bir soğutucu etkiye sahip olduğu, otomobil klima sistemlerinin yakıt tüketimi ve egzoz emisyonlarını artırdığı, LPG'nin benzine göre ucuzluğu ve çevresel avantajı gibi üstünlükleri vurgulanmaktadır. Ayrıca literatürde bulunan az sayıdaki LPG dönüşüm sistemleri üzerine yapılan çalışmalara da değinilmektedir. Ancak literatürde günümüz LPG dönüşüm sistemlerinde kullanılan B/R'nin deneysel ısı hesabının yapıldığı, bu hesaba göre hava ile ısıtılan bir B/R'nin tasarlandığı ve test edilerek ilk sistemle karşılaştırıldığı detaylı bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışma ile literatürdeki bu boşluğun doldurulması amaçlanmaktadır.

BÖLÜM 3

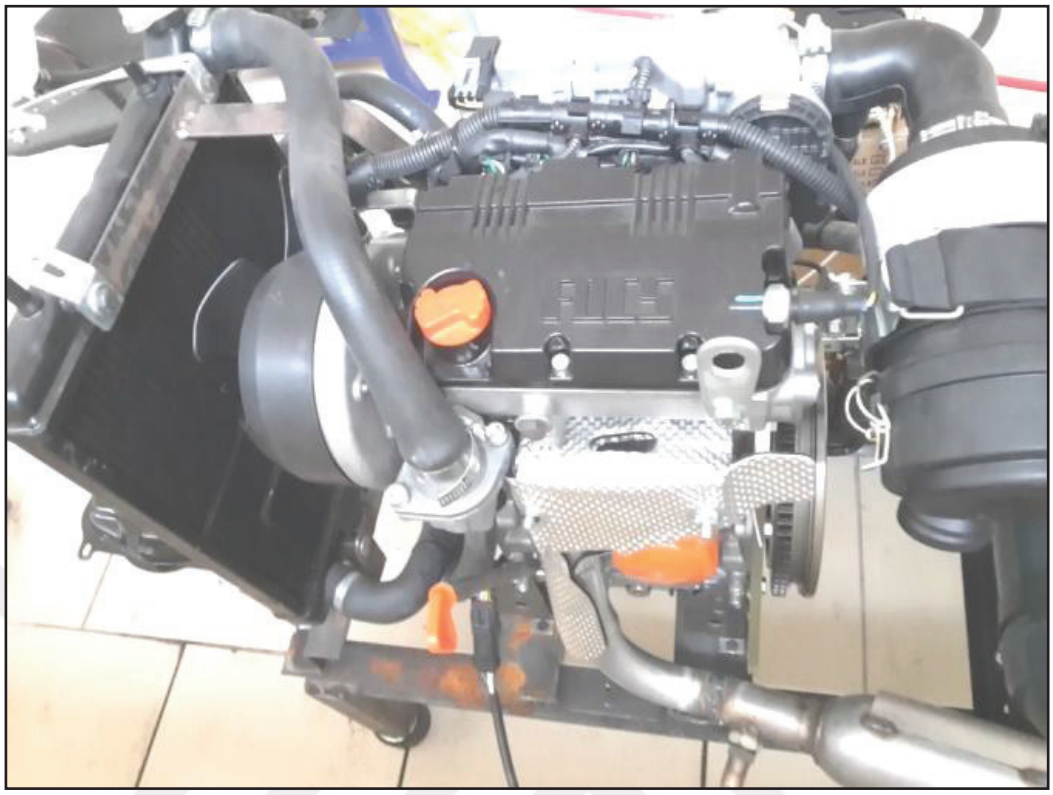
MATERYAL VE METOT

3.1. Deney Tesisatının Tanıtılması

Deneylerde kullanılan makine ve ölçüm aletleri Trakya Üniversitesi tarafından TÜBAP projesi kapsamında temin edilmiştir. Deney tesisatının kurulumu Kırklareli Üniversitesi Lüleburgaz Meslek Yüksekokulu Otomotiv atölyesine yapılmıştır. Deneyler burada gerçekleştirilmiştir.

3.1.1. Deney Motorunun Özellikleri

LPG dönüşümünün kolayca yapılabilmesi için deney motoru olarak buji ateşlemeli ve su soğutmalı bir motor kullanılmıştır. Sehpaya monte edilen motora uygun bir radyatör, akü, susturuculu egzoz borusu ve yakıt deposu takılmıştır. Motor soğutma sıvısı olarak yalnız su kullanılmıştır. Deney motoruna ait bir görünüm ile motorun genel özellikleri sırasıyla Şekil 3.1 ve Tablo 3.1'de görülmektedir.



Şekil 3.1 Deney motorunun bir görünümü

Tablo 3.1 Deney motorunun genel özellikleri

Marka ve model	Lombardini LGW 523 MPI
Çalışma şekli	4 Zamanlı, Otto çevrimi
Yakıt enjeksiyon sistemi	Elektronik kontrollü çok noktadan sıralı enjeksiyon
Soğutma sistemi	Su soğutmalı
Silindir sayısı ve sıralanışı	2, Sıra tipi
Valf sayısı ve kam mili pozisyonu	4, Üstten eksantrikli
Silindir çapı ve uzunluğu	72 X 62 mm
Silindir hacmi	0,505 L
Sıkıştırma oranı	10,7:1
En yüksek motor hızı	5500 rpm
En yüksek motor gücü	15 kW (20,4 HP)
En yüksek motor torku	34 Nm @ 2150 rpm

3.1.2. Egzoz Gazı Tahliye Sistemi

Motorun çalıştırılması laboratuarda gerçekleştirildiği için egzoz gazını dış ortama atmak üzere, yeterli güç ve boyutta bir tahliye sistemi motora bağlanmıştır. Egzoz gazı tahliye sistemine ait bir resim Şekil 3.2'te görülmektedir.

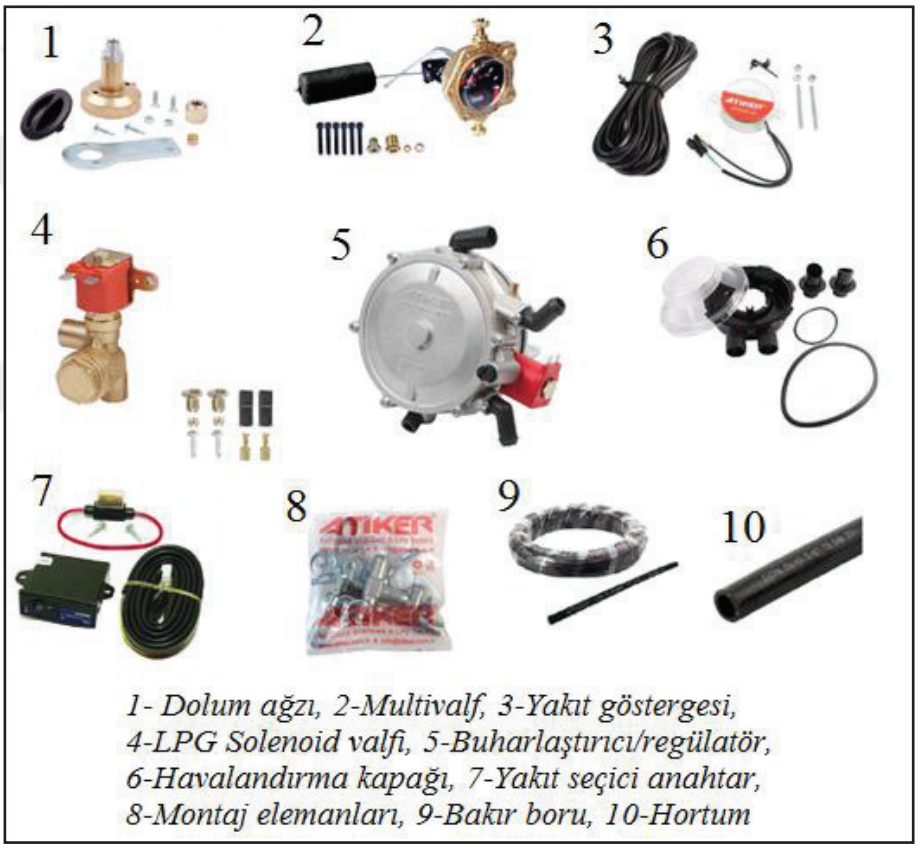


Şekil 3.2 Egzoz gazı tahliye sistemi

3.1.3. Çalışmada Kullanılan LPG Dönüşüm Sistemi

Deney motoruna uygun bir LPG dönüşüm sistemi takılarak, motorun istendiğinde benzin, istendiğinde LPG ile çalışacak hale getirilmesi sağlanmıştır. Kullanılan LPG dönüşüm sisteminin resmi Şekil 3.3'te görülmektedir. Çeşitli deneyler için LPG akışının kolayca ayarlanabilmesi için birinci nesil bir LPG dönüşüm sistemi kullanılmıştır. Fakat motor elektronik olarak kumanda edildiğinden dolayı, LPG

çalışması esnasında benzin enjektörlerinin uyutulabilmesi için ek olarak bir emülatör kullanılmıştır. Sistem LPG tankındaki sıvı haldeki LPG'yi motorun soğutma suyu sıcaklığı ile ısıtarak genleştirmekte ve uygun basınçta motorun emme hattına iletmektedir. Motorun çalışmadığı veya benzinde çalıştığı durumlarda LPG akışını tank çıkışında, B/R girişinde ve tank-B/R arasında durdurmak üzere kesici güvenlik elektrovalflere sahiptir. Ayrıca B/R çıkışında gaz halindeki LPG'nin motora uygun miktarda ayarının yapılabilmesi için elle kumanda edilen bir vanası bulunmaktadır. Sistemin ısıtma hattı motorun silindir kapağından çıkıp devir daim pompasına giden sıcak su hattına yapılmıştır.



Şekil 3.3 LPG dönüşüm sistemi

LPG dönüşüm sisteminin motorun soğutma suyu ile ısıtılan SB/R'nin su giriş-çıkışına ve LPG çıkışına bu sıcaklıkları ölçmek üzere algılayıcılar takılmıştır. Ayrıca SB/R'den geçen motor soğutma suyu miktarını ölçmek için SB/R su hortumuna uygun bir debimetre bağlanmıştır. Isı kayıplarını önlemek için SB/R'nin yalıtım malzemesi ile ısı yalıtımı yapılmıştır (Şekil 3.4).



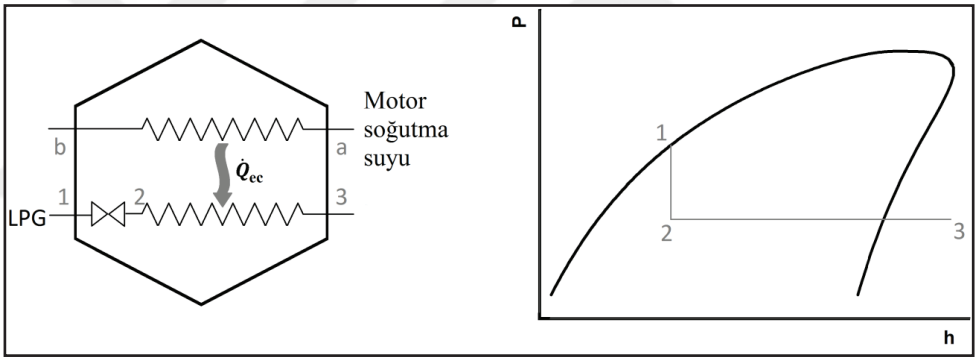
Şekil 3.4 Isı yalıtımı yapılmış SB/R ünitesi

3.1.3.1. Tasarlanan HB/R Sisteminin Özellikleri

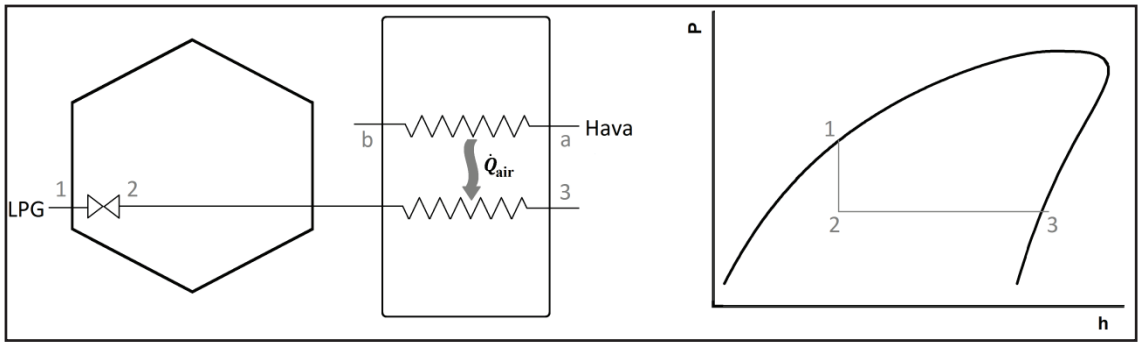
LPG dönüşüm sistemlerinin motor soğutma suyuyla ısıtılan geleneksel B/R'si olan SB/R yerine bu çalışmada ortam havasıyla ısıtılan HB/R kullanılması amaçlanmıştır. B/R'nin iki temel görevi vardır: tanktan yakılmak üzere motora giden LPG'nin basıncının düşürülmesi ve buharlaşan LPG'nin çevresinden çektiği ısının karşılanması. Geleneksel sistemlerde bu iki görev yekpare bir yapıdaki SB/R tarafından karşılanmaktadır. Hem LPG, hem de motor soğutma suyu SB/R'ye girmekte ve farklı kanallarda birbirlerine karışmadan dolaşarak çıkmaktadırlar. LPG'nin basıncının düşürülmesi işlemi SB/R içerisindeki bir regülatör tarafından gerçekleştirilmektedir. Şekil 3.5'te görüldüğü gibi SB/R sistemi 1-2 arasında LPG basıncının düşürülmesini, 2-3 arasında ise LPG'nin buharlaştırılmasını gerçekleştirmektedir. Bu esnada motor soğutma suyu ise SB/R'ye verdiği ısı nedeniyle a-b arasında soğumaktadır. Bu çalışmada ise; LPG'nin basıncının düşürülmesi için SB/R'nin yalnızca regülatör kısmı ile LPG'nin buharlaşırken çektiği ısının karşılanması için bir klima evaporatörü kullanılması tasarlanmıştır. Kullanılan klima evaporatörü deney motorunun tüketeceği

miktardaki LPG'yi fazlasıyla buharlaştırabilecek özellikte seçilmiştir. LPG'nin çektiği ısı miktarı SB/R ön deneylerinde bulunmuştur. Ön deneylerde LPG'nin çektiği en büyük ısı miktarı olarak 0,22 kW değeri bulunmuştur. Evaporatör seçiminde bu değeri fazlasıyla karşılayacak şekilde 13700-32200 BTU (≈4-9,5 kW) aralığında farklı tip ve kapasitede üniteler HB/R sistemine takılarak motor üzerinde denenmiştir.

HB/R içerisinde kullanılan SB/R'nin motor soğutma suyu bağlantıları kesilmiştir. HB/R'ye giriş yapan LPG regülatörde genleşmekte ve evaporatörde de buharlaşmaktadır. Regülatör ve evaporatöre farklı hızlarda üflenen hava LPG'nin buharlaşma ısısını üzerine çekmektedir. Şekil 3.6'da görüldüğü gibi HB/R sistemi 1-2 arasında LPG basıncının düşürülmesini, 2-3 arasında ise LPG'nin buharlaştırılmasını gerçekleştirmektedir. Bu esnada hava ise HB/R'ye verdiği ısı nedeniyle a-b arasında soğumaktadırlar. HB/R sisteminde kullanılan evaporatör Şekil 3.7'de ve evaporatörün regülatöre bağlanma şekli ise Şekil 3.8'de görülmektedir.



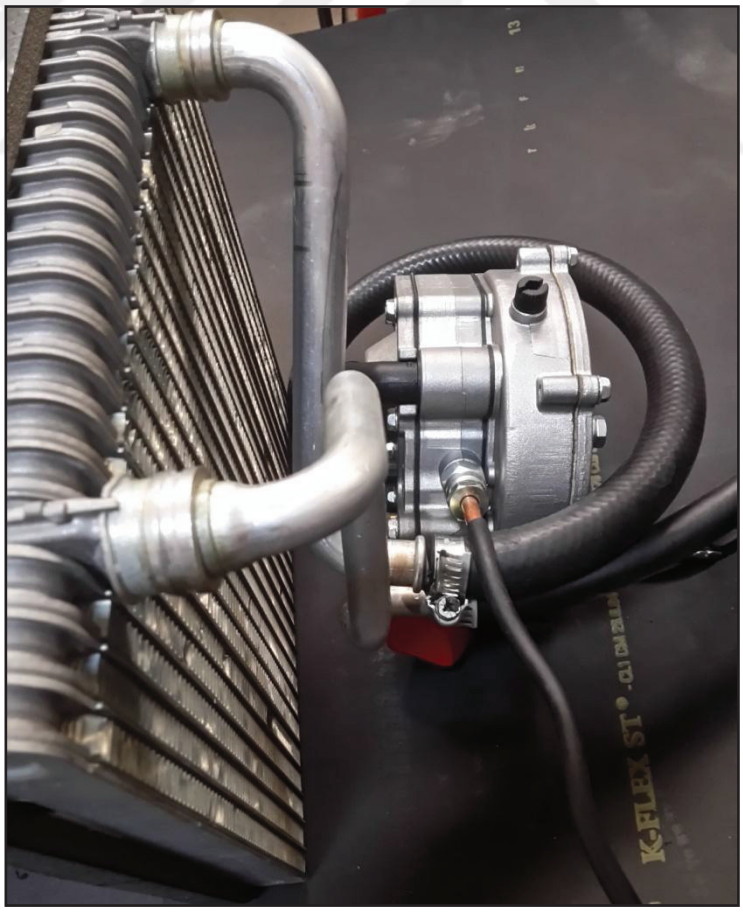
Şekil 3.5 SB/R sisteminde gerçekleşen süreçler



Şekil 3.6 HB/R sisteminde gerçekleşen süreçler



Şekil 3.7 HB/R sisteminde kullanılan evaporatör



Şekil 3.8 HB/R sisteminde kullanılan evaporatörün regülatöre bağlanması

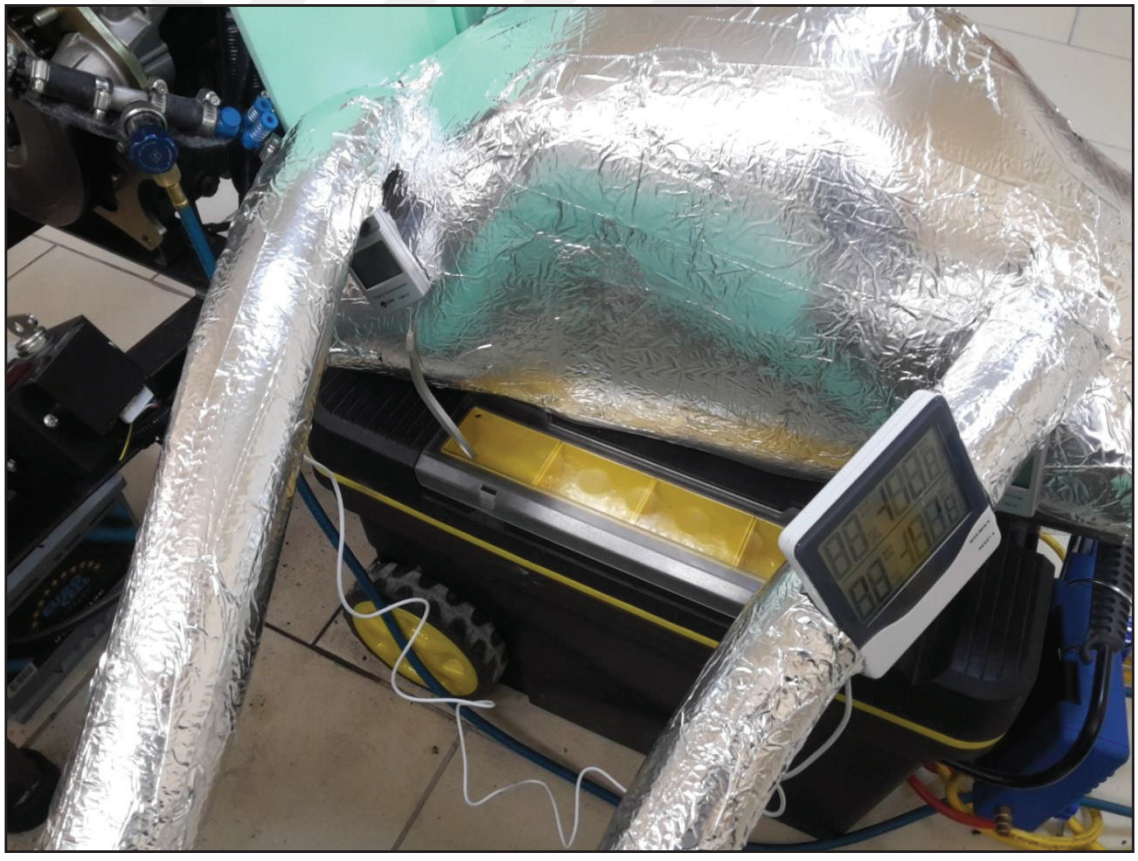
HB/R sisteminde kullanılan evaporatörün bazı önemli özellikleri Tablo 3.2'de verilmiştir. Bu evaporatörün seçilmesinde deneme yanılma yöntemi kullanılmıştır. Deney motoru üzerinde farklı kapasitelerde boru kanallı & kanatçıklı tipte klima evaporatörleri de denenmiş, fakat motoru çalıştırmaları mümkün olmamıştır. Motoru çalıştırmamalarının sebebi LPG'nin serpantin şeklindeki uzun borulardan geçerek zamanında motora ulaşamaması olduğu düşünülmektedir. Plaka kanallı & kanatçıklı tip evaporatörde ise bu tip bir gecikme yaşanmadığından motorun çalışması mümkün olmuştur. HB/R sistemine monte edilen plaka kanallı & kanatçıklı tip evaporatörün soğutucu buharlaştırma kapasitesi deney motorunun LPG ihtiyacını fazlasıyla karşılayabilecek yeterliliktedir. Yapılan ön deneyler bunu göstermiştir.

Tablo 3.2 HB/R sisteminde kullanılan evaporatörün özellikleri

Üretici	Valeo
Tip	Plaka kanallı & kanatçıklı
Ölçüler	245 X 240 X 60
Malzeme	Alüminyum
Ağırlık	1,6 kg
Kanal sayısı	24 adet
Kanal genişliği	3 mm
Kanatçık şekli	Dalgalı
Kanatçık sıra sayısı	23 adet
Kanatçık sıra genişliği	7,3 mm
Ana kanal genişliği	22 mm
Kanatçık sıra uzunluğu	223 mm
Giriş borusu iç çap	8,4 mm
Giriş borusu dış çap	11,55 mm
Çıkış borusu iç çap	11 mm
Çıkış borusu dış çap	14,15 mm
Her sıradaki kanatçık sayısı	134 adet
Kanatçık kalınlığı	0,13 mm
İki kanatçık arası mesafe	1,55 mm

HB/R sistemini oluşturan regülatör ve evaporatör birbirlerine bağlandıktan ve regülatör yüzeyinden evaporatör kanatçıklarına doğru üfleyen hava fanı bu iki elemanın önüne yerleştirildikten sonra bu elemanlar 20 mm kalınlığında bir yalıtım malzemesi

(k_1=0,033 W/mK) ile hava sızdırmayacak şekilde sıkıca kapatılmış ve yalıtım malzemesinin dış yüzeyi boru yalıtımında kullanılan folyo bant ile bantlanmıştır. Sistemin giriş çıkışları ise boru yalıtımında kullanılan yalıtkan bir malzeme ile soğutma test odasına bağlanmıştır. Böylece LPG tankından sıvı halde HB/R'ye giren LPG regülatörde genleşmekte ve evaporatörde buharlaşarak motora gitmektedir. Regülatör ile evaporatör ikilisine fan ile üflenen hava ise LPG'nin buharlaşma ısısıyla soğutularak bir miktar kurutulmuş olmaktadır. Psikrometrik hesaplamalar HB/R giriş-çıkışındaki havanın ölçülen değerlerine göre yapılacağından evaporatör yüzeyinde yoğuşan nem için herhangi bir tahliye düzeneği kurulmasına gerek görülmemiştir. HB/R giriş çıkışındaki havanın hızı ile sıcaklık ve nemi yerleştirilen ölçüm aletleri ile ölçülmektedir. Hava fanının enerji ihtiyacı motorun aküsü tarafından karşılanmaktadır. Hava fanının farklı hızlarda üç kademesi bulunmaktadır. HB/R sisteminin yalıtılmış ve ölçüm aletlerinin yerleştirilmiş olduğu bir resmi Şekil 3.9'da görülmektedir.



Şekil 3.9 HB/R sisteminin bir görünümü

3.1.4. Soğutma Test Odası

HB/R hava giriş-çıkışının bağlandığı soğutma odasının ve bağlantı borularının özellikleri Tablo 3.3'te, soğutma odasına ait bir görünüm ise Şekil 3.10'da verilmektedir. Soğutma test odası HB/R'ye giren-çıkan hava için hem bir dengeleyici görevi görmekte, hem de HB/R çıkışındaki şartlandırılmış havanın deney sürecince giriş havasını nasıl etkilediğinin ölçülmesini sağlamaktadır.

Tablo 3.3 Soğutma test odasının özellikleri

Oda	Malzeme	Bina yalıtım malzemesi (k_2=0,035 W/mK)
	Ölçüler (dış)	600 X 440 X 400 mm
	Kalınlık	20 mm
Bağlantı boruları	Malzeme	Boru yalıtım malzemesi (k_3=0,039 W/mK)
	Ölçüler (dış-iç)	60 mm– 40 mm



Şekil 3.10 Soğutma test odasına ait bir görünüm

3.1.5. Deneylerde Kullanılan LPG Yakıtının Özellikleri

Deneylerde yakıt olarak kullanılan LPG, hacimsel olarak %50 propan ile %50 bütan gazlarından oluşmaktadır. Doymuş sıvı haldeki propan, bütan ve bunların karışımı olan LPG'nin çeşitli tank basınçları için aldıkları yoğunluk değerleri ve yoğunluk

değerlerine göre kütlesel karışım oranları Tablo 3.4 ile Tablo 3.5'te verilmiştir. Yoğunluk değerlerine göre kütlesel karışım oranları, hacimsel olarak %50 propan, %50 bütandan oluşan LPG için verilmiştir.

Tablo 3.4 Doymuş sıvı haldeki LPG'nin basınç-yoğunluk değerleri

Yoğunluk (kg/m^3)			
	Propan	**Bütan**	**LPG**
5 Bar	526,3	555,6	542,0
4 Bar	526,3	555,6	542,0
3 Bar	555,6	555,6	555,6
2 Bar	555,6	588,2	573,1
1 Bar	588,2	588,2	588,2

Tablo 3.5 Doymuş sıvı haldeki LPG'nin basınç-kütlesel karışım oranları

Kütlesel karışım oranları (%)		
	Propan	**Bütan**
5 Bar	48,6	51,4
4 Bar	48,6	51,4
3 Bar	50,0	50,0
2 Bar	48,6	51,4
1 Bar	50,0	50,0

Bu çalışmada, kullanılan LPG yakıtı için kütlesel karışım oranı olarak %50 propan, %50 bütan ortalama değerleri alınmıştır.

3.1.6. Deneylerde Kullanılan Ölçüm Cihazları

Deneylerde gerekli görülen ölçümlerin hassas bir şekilde yapılabilmesi için aşağıda belirtilen cihazlar kullanılmıştır:

- Motorun benzin ve LPG sarfiyatı (hassas terazi),
- Motorun devir sayısı (devir ölçer),
- Olası LPG kaçaklarının tespiti (LPG kaçak tespit cihazı),
- Tank çıkışındaki LPG basıncı ile motor girişindeki vakum (manifold seti),
- SB/R su debisi (debimetre),
- HB/R giriş-çıkışındaki havanın sıcaklığı, hızı ve nem değerleri (hava hızı ve sıcaklık ölçer ile nem ölçer),
- SB/R su giriş-çıkışındaki sıcaklıklar ile SB/R ve HB/R çıkışlarındaki LPG sıcaklıkları (termometre).

Deneyler öncelikle SB/R üzerinde yapılmış, bu deneyler tamamlandıktan sonra HB/R deneylerine geçilmiştir. Yukarıda belirtilen ölçüm aletlerinin resimleri ile bu aletlerin deney tesisatı üzerindeki yerleşimini gösteren şekiller aşağıda sırasıyla verilmiştir (Şekil 3.11- Şekil 3.19):



Şekil 3.11 Hassas terazi



Şekil 3.12 Devir ölçer



Şekil 3.13 LPG kaçak tespit dedektörü



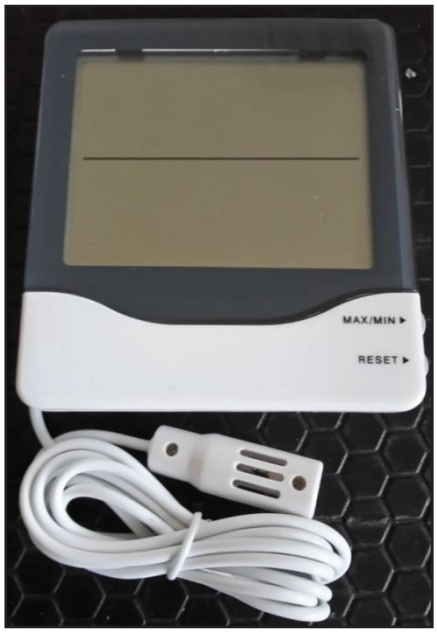
Şekil 3.14 Dijital manifold seti



Şekil 3.15 Debimetre



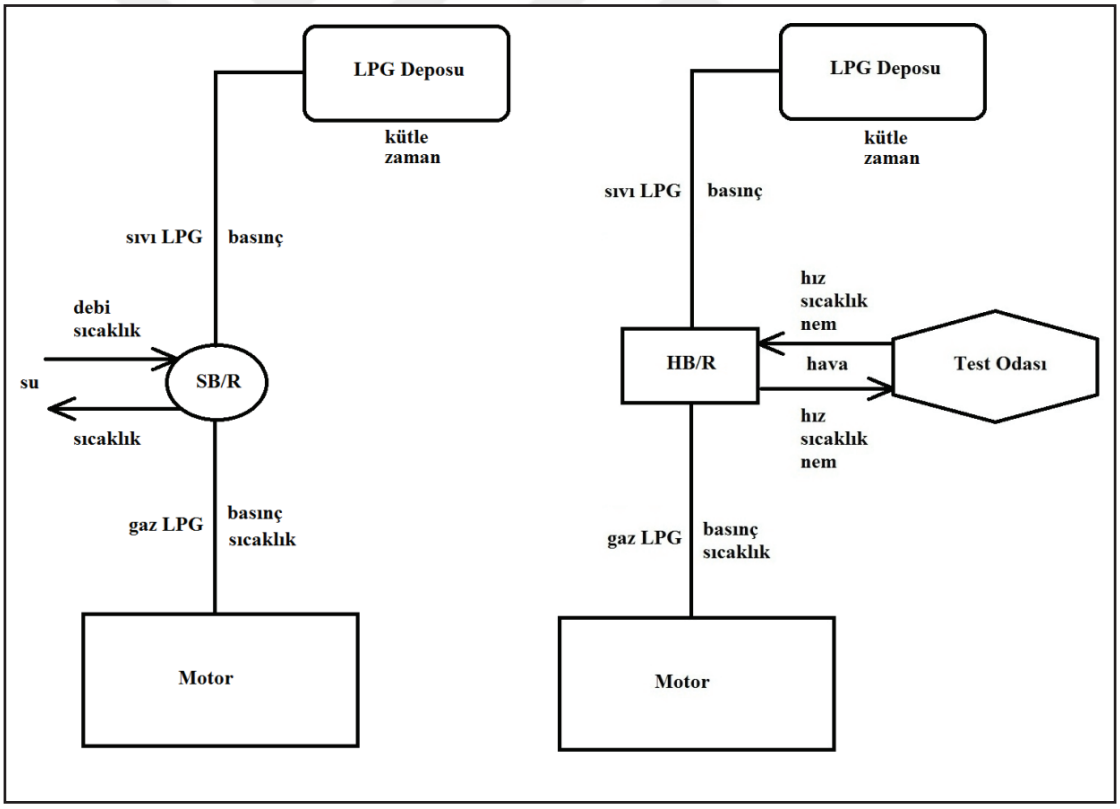
Şekil 3.16 Hava hızı ölçer



Şekil 3.17 Hava sıcaklık ve nem ölçer



Şekil 3.18 Termometre



Şekil 3.19 Ölçüm aletlerinin SB/R ve HB/R deney tesisatları üzerindeki yerleşimleri

3.1.7. Deneylerde Kullanılan Ölçüm Cihazlarının Kalibrasyonları

Ölçüm aletlerinin gerekli testlerinin gerçekleştirilmesi ve kalibrasyonlarının sağlanması üretici firmalar tarafından yapılmıştır. Deneylerde kullanılan ölçüm aletlerinin bazı önemli özellikleri ve hata oranları Tablo 3.6'da verilmektedir.

Tablo 3.6 Deneylerde kullanılan ölçüm cihazlarının özellikleri

Ölçülen değer	Marka-model	Ölçüm aralığı	Hassasiyet	Hata payı
Ağırlık	YCS-B	0-30 kg	1 g	± 5 g
Motor devri	DT-2234C+	2,5-99.999 rpm	0,1 rpm	±(%0,05) + 1 rpm
LPG kaçak tespiti	Mastech MS6310	%10-40	50 ppm	-
LPG basıncı	Mastercool	0-52 Bar	0,07 Bar	±0,07 Bar
Sıcaklık	UNI-T UT325	-200-1372°C	0,1°C	±(%0,2) + 0,6 ºC
Debi	Gentek Gnt604	0,6-6 m^3/h	0,1 L/s	±%0,5
Hava hızı	Tecman TM816	0-30 m/s	0,1 m/s	±%5
Hava sıcaklığı	TFA 30.5013	-10-60°C	0,1°C	±0,8°C
Hava nemi	TFA 30.5013	%10-99 RH	%1 RH	±%3,5 RH

3.2. Deneylerin ve Hesaplamaların Yapılışı

Deneyler Kırklareli ilinin 60 m rakımlı Lüleburgaz ilçesinde, Lüleburgaz Meslek Yüksekokulu otomotiv laboratuarında, yaklaşık 24°C oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Deneyler üçer defa tekrarlanmıştır. Deney motoru benzin, LPG (SB/R) ve LPG (HB/R) olmak üzere üç farklı yakıt/sistem ile; rölanti, çeyrek ve yarım gaz kelebeği açıklıklarında çalıştırılmıştır. Motor hızı dijital takometre ile ölçülmüştür.

Deney sürelerinin belirlenmesinde sistemin rejim durumuna gelmesi dikkate alınmıştır. Deneyler süresince yüksek kalitede çekim yapabilen bir kamera ile ölçüm aletlerinin göstergeleri kaydedilmiştir. Sonrasında bu kayıtlar bilgisayara aktarılarak her 10 saniye için Microsoft Excel programına girilmiştir. Her 10 saniye için hesaplamaların yapılması ve bu hesaplamaların grafiğe dönüştürülmesi aynı program ile sağlanmıştır.

Depoda basınçlı sıvı halde bulunan LPG'nin buharlaştırılması ve basıncının düşürülmesi işlemi geleneksel (sulu) LPG sisteminin B/R'sinde veya yeni (havalı) LPG sisteminin B/R'sinde gerçekleştirilmiştir. Deneyler öncelikle motorun orijinal yakıt sistemi olan benzinli sistemle, sonra geleneksel SB/R'li LPG sistemi ile, son olarak da

HB/R'li LPG sistemi ile yapılmıştır. Rölanti deneyleri ortalama 0,5 MPa, çeyrek gaz deneyleri ortalama 0,4 MPa ve yarım gaz deneyleri ortalama 0,3 MPa LPG tank basınçlarında gerçekleştirilmiştir. LPG'nin SB/R ve HB/R çıkışlarındaki (motorun emme manifoldu girişi) gaz basıncı ortalama 0,1 MPa olarak bulunmuştur.

3.2.1. Yakıt Tüketimi ve Maliyetinin Hesabı

Tüketilen yakıt miktarının ölçümünde dijital terazi kullanılmıştır. Uzun süreli çalıştırmalar öncesi ve sonrasında yapılan ağırlık ölçümleri motorun çalışma süresi ile karşılaştırılarak kütlesel yakıt tüketimi değerleri bulunmuştur. SB/R ve HB/R sistemlerinde aynı B/R, aynı motor devrinde kullanıldığı için LPG tüketimi değerleri bu sistemler için eşit olarak gerçekleşmiştir. Benzin ve LPG için hacimsel yakıt tüketimi değerleri

$$\dot{v}_g = \frac{\dot{M}_g}{\rho_g} \tag{3.1}$$

$$\dot{v}_{LPG} = \frac{\dot{M}_{LPG}}{\rho_{LPG}} \tag{3.2}$$

formülleri ile hesaplanmıştır. Burada $\dot{v}_g$ benzinin hacimsel tüketimi (L/h), $\dot{M}_g$ benzinin kütlesel tüketimi (kg/h), ρ_g benzinin yoğunluğu (kg/L), $\dot{v}_{LPG}$ LPG'nin hacimsel tüketimi (L/h), $\dot{M}_{LPG}$ LPG'nin kütlesel tüketimi (kg/h) ve ρ_{LPG} LPG'nin yoğunluğudur (kg/L). $\dot{M}_g$ ve $\dot{M}_{LPG}$ değerleri hassas terazi ile motorun çalışma süresine göre bulunan yakıt tüketim değerleridir. ρ_{LPG} LPG basıncına göre farklı değerler aldığı için tank basıncına göre uygun değer kullanılmıştır.

Yakıt maliyetleri, yakıt tüketimi değerlerinin güncel yakıt fiyatı ile çarpılması neticesinde elde edilmiştir. Deney motorunun benzin ve LPG için yakıt maliyetleri

$$\dot{C}_g = \dot{v}_g \times P_g \tag{3.3}$$

$$\dot{C}_{LPG} = \dot{v}_{LPG} \times P_{LPG} \tag{3.4}$$

formülleri ile hesaplanmıştır. Burada $\dot{C}_g$ ve $\dot{C}_{LPG}$ sırasıyla benzin ve LPG için motorun yakıt maliyeti (TL/h), $\dot{v}_g$ ve $\dot{v}_{LPG}$ benzin ve LPG'nin hacimsel yakıt tüketimleri (L/h) ve P_g ve P_{LPG} ise benzin ve LPG için güncel yakıt fiyatlarıdır (TL/L).

3.2.2. Geleneksel LPG Sistemlerinde Kullanılan SB/R'nin Analizi

Geleneksel LPG sistemlerinde kullanılan SB/R'ler alüminyumdan imal edilmiş, içerisinde motor soğutma suyu ve LPG için ayrı kanallar bulunan bir ısı değiştirici regülatördür. SB/R LPG'nin hem basıncının düşürülmesi hem de LPG'nin buharlaşırken çektiği ısının karşılanması görevlerini görmektedir. SB/R'ye giren motor soğutma suyunun sıcaklığı motorun ilk çalışmasından itibaren artmakta, belli bir müddet sonra sabit bir değere ulaşmaktadır. SB/R deneyleri benzin ve LPG çalışmaları için motorun rölanti, çeyrek gaz ve yarım gaz devirlerinde gerçekleştirilmiştir. Motorun çalıştırılması ile beraber SB/R su debisi, su giriş ve çıkışlarındaki sıcaklıklar ve LPG çıkış sıcaklığı ile LPG giriş-çıkış basınçları kaydedilmiştir. Motor soğutma suyunun SB/R'ye vermiş olduğu ısı miktarı (kJ/s) her iki yakıt kullanımında benzer olarak şu formülle hesaplanabilir:

$$\dot{Q}_{ec} = \dot{m}_{ec} \times c_{p,ec}(T_{i,ec} - T_{o,ec}) \tag{3.5}$$

Burada $\dot{m}_{ec}$ motor soğutma suyunun SB/R'deki kütlesel debisi (kg/s), $c_{p,ec}$ motor soğutma suyunun sabit basınçtaki özgül ısısı (kJ/kg°C) ve $T_{i,ec}$ ile $T_{o,ec}$ ise motor soğutma suyunun SB/R'ye sırasıyla giriş ve çıkış sıcaklıklarıdır (°C). Motor soğutma suyunun kütlesel debisi SB/R giriş veya çıkışına yerleştirilen bir debimetre ile ölçülmüştür. Motor soğutma suyu olarak, sabit basınçtaki özgül ısısı bilinen su kullanılmıştır. Su için özgül ısı deneylerde karşılaşılan sıcaklıklar için ortalama 4,18 kJ/kg°C alınmıştır [100]. SB/R giriş ve çıkışındaki sıcaklıklar ise uygun sıcaklık ölçerler ile tespit edilmiştir.

SB/R'ler motor soğutma suyundan aldıkları ısının az bir kısmını LPG'ye verdikleri için genellikle çevrelerine ısı yalıtımı yapılmamaktadır. Ancak bu çalışmada SB/R analizinin yapılabilmesi için SB/R boru yalıtımında kullanılan bir yalıtım malzemesi ile yalıtılmıştır. SB/R'ler motorun LPG ile çalışması esnasında sıcak durumdadırlar. Motorun benzinle çalışması durumunda LPG akışı duracağı için SB/R sıcaklığı LPG ile çalışmadakine göre bir miktar yüksek olmaktadır. SB/R'nin motor soğutma suyu ile ısıtılmasının motor veya taşıt için olumlu ya da olumsuz bir etkisi olmasa da SB/R'nin motordan aldığı ısının ne kadarını LPG'ye verdiğini bilmek kıyaslama yapmamızı sağlayacaktır. LPG'nin SB/R'den çekmiş olduğu ısı (kJ/s)

$$\dot{Q}_{LPG} = \dot{m}_{LPG}(h_{o,LPG} - h_{i,LPG}) \quad (3.6)$$

formülüyle bulunabilir. Burada $\dot{m}_{LPG}$ LPG'nin kütlesel debisi (kg/s), $h_{i,LPG}$ ve $h_{o,LPG}$ sırasıyla LPG'nin SB/R giriş ve çıkışındaki entalpi değerleri (kJ/kg) olmaktadır. $\dot{m}_{LPG}$ motorun çalıştırılma öncesi ve sonrasında LPG tankının hassas terazi ile tartılması ve harcanan kütlesel yakıt miktarının motorun çalışma süresine bölünmesi yöntemine göre hesaplanmaktadır. LPG için entalpi değerlerinin bulunmasında ise, LPG'yi oluşturan propan ve bütanın basınç-sıcaklık-entalpi grafiklerinden (EK-A ve EK-B) yararlanan EES isimli bir programdan yararlanılmıştır [101]. Bu programa göre propan ile bütanın LPG içerisindeki yüzdelerine göre LPG için entalpi değerleri elde edilmiştir. $h_{i,LPG}$ değeri deney süresince oda sıcaklığında bulunan LPG tankının ortalama basıncına göre belirlenmiştir. Motorun rölanti, çeyrek gaz ve yarım gaz çalışmalarında ortalama LPG tank basınçları sırasıyla 0,5 MPa, 0,4 MPa ve 0,3 MPa olduğundan; $h_{i,LPG}$ değerleri bu basınçlar için sırasıyla 265,2 kJ/kg, 245,4 kJ/kg ve 220,55 kJ/kg olarak hesaplanmış ve deney süresince değişmediği kabul edilmiştir. $h_{o,LPG}$ değeri ise SB/R çıkışındaki LPG'nin sıcaklığına ve basıncına göre EES yazılımıyla belli aralıklar için hesaplanmış ve deney süresince değişen sıcaklığa göre interpolasyonla belirlenmiştir:

$$h_{o,LPG} = 603{,}65 + \left[\frac{(729{,}35-603{,}65)}{70} \times (T_{o,LPG} - 10)\right] \quad (3.7)$$

Burada 603,65 ve 729,35 değerleri (kJ/kg) LPG'nin SB/R çıkışındaki entalpi değerleridir. Denklem (3.7) ile interpolasyon yöntemi kullanılarak $T_{o,LPG}$ çıkış LPG sıcaklığına göre $h_{o,LPG}$ değerleri anlık olarak hesaplanmaktadır. LPG'nin SB/R giriş ve çıkışındaki basınçları ile SB/R çıkışındaki sıcaklığı uygun bir manometre ve sıcaklık ölçer kullanılarak tespit edilmiştir.

3.2.3. Tasarlanan ve Test Edilen HB/R'nin Analizi

HB/R'nin tasarımında en önemli konu, LPG'nin motorun ihtiyaç duyduğu şartlara ulaştırılmasıdır. Bu şartlar LPG'nin 0,1 MPa basınçta doymuş veya kızgın buhar halinde olmasıdır. SB/R ünitesi bu şartları fazlasıyla karşılamakta, motorun dengesiz çalışmasına veya hiç çalışmamasına izin vermemektedir. Tasarlanan HB/R sisteminin de aynı performansı göstermesi beklenmektedir. Bu beklentiye uygun olarak HB/R'nin oluşturulmasında LPG'nin basıncını 0,1 MPa'a düşüren bir regülatör, LPG'nin

tamamen buharlaşmasını sağlayan bir evaporatör ve birbirine bağlanmış bu regülatör-evaporatör ikilisinden çekilen ısıyı karşılamak üzere hava üfleyecek üç kademeli bir fandan yararlanılmıştır.

HB/R'nin en önemli özelliği, motorun soğutma suyu ile ısıtılan geleneksel sistemdeki SB/R'nin aksine, otomobil klima sistemlerinde kullanılan evaporatörlerde olduğu gibi dış ortamdan bir fan yardımıyla üflenen hava ile ısıtılmasıdır. Böylece, bir yandan LPG'nin buharlaşması sağlanmış olacak, diğer yandan da LPG'nin çekeceği ısı sayesinde soğuyan hava, taşıt kabinine gönderilerek klima soğutma yükünün azaltılmasına katkı sağlayabilecektir. Deneylerde taşıt yerine motor kullanıldığı için HB/R'nin soğutma etkisi bir test odasının giriş-çıkışında incelenmiştir. Taşıtlardaki klima sistemine benzer bir şekilde, HB/R'ye üflenen hava bu test odasından çekilmiş ve HB/R'de soğutulduktan sonra tekrar bu test odasına gönderilmiştir.

HB/R deneyleri motorun çalışmadığı durum ile motorun rölanti, çeyrek gaz ve yarım gaz çalışmalarında HB/R'nin 2,3 m/s, 3,5 m/s ve 4,1 m/s hava hızları için gerçekleştirilmiştir. Böylece toplam 12 farklı HB/R deneyi yapılmıştır. Her deneyin süresi ilk denemelerde elde edilen verilere göre bulunan en geç rejim durumuna gelme süresi baz alınarak belirlenmiştir. Bu süre 1920 s (≈32 dakika) olarak belirlenmiştir. Motorun çalışmadığı durum deneylerinde fanın havaya ilettiği ısının ve sıcaklık ile nem değişimlerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu deneylerde HB/R hava giriş-çıkışındaki hava sıcaklık ve nem değerleri fanın çalıştırılmasıyla kaydedilmeye başlanmıştır. Motorun farklı hızlarda çalıştırıldığı deneylerde ise buna ek olarak LPG çıkışındaki sıcaklık ile LPG'nin HB/R'ye giriş-çıkışındaki basınçlar da ölçülmüştür.

Motorun çalışmadığı durum deneylerinde fanın havaya verdiği ısı enerjisinin hesabı

$$\dot{Q}_{fan} = \dot{m}_{air}\left(h_{o,air} - h_{i,air}\right) \tag{3.8}$$

formülü ile hesaplanmaktadır. Burada $\dot{Q}_{fan}$ fan tarafından havaya verilen ısı (kJ/s), $\dot{m}_{air}$ HB/R'ye giren havanın kütlesel debisi (kg/s), $h_{i,air}$ ve $h_{o,air}$ ise sırasıyla havanın HB/R'ye giriş ve çıkışındaki entalpi değerleridir (kJ/kg). $\dot{m}_{air}$, HB/R'ye giriş çıkış yapan havanın ortalama hızı V_{air} (m/s) ile giriş-çıkış kanallarının kesit alanı A_{duct} (m^2) çarpımının havanın giriş ve çıkıştaki ortalama özgül hacmi v_{air}'e (m^3/kg) bölünmesinden elde edilmektedir:

$$\dot{m}_{air} = \frac{V_{air} \times A_{duct}}{v_{air}} \tag{3.9}$$

V_{air} HB/R'nin giriş ve çıkışına yerleştirilen uygun bir hava hızı ölçer ile tespit edilmiştir. Giriş ve çıkıştaki hava hızı değerleri bütün deneyler için eşit çıkmıştır. A_{duct} hava hızının ölçüldüğü HB/R giriş ve çıkışındaki kanal kesitinin ölçülen çap değeri olan $D_{duct} = 25{,}56\ mm$'ye göre aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$A_{duct} = \frac{\pi \times D_{duct}^2}{4} \tag{3.10}$$

v_{air} ise giriş ve çıkışta ölçülen havanın sıcaklık ve bağıl nem değerlerine göre ortalama olarak aşağıdaki ampirik formül [102] ile hesaplanmıştır:

$$\mathrm{v_{air}} = \{[0{,}777303 + (0{,}002701 \times \mathrm{T_{i,air}}) + (0{,}00000046 \times \mathrm{T_{i,air}^2} \times \Phi_{\mathrm{i,air}})] + [0{,}777303 + (0{,}002701 \times \mathrm{T_{o,air}}) + (0{,}00000046 \times \mathrm{T_{o,air}^2} \times \Phi_{\mathrm{o,air}})]\}/2 \tag{3.11}$$

Burada $T_{i,air}$ HB/R girişindeki havanın kuru termometre sıcaklığı (°C), $\Phi_{i,air}$ HB/R girişindeki havanın bağıl nemi (%), $T_{o,air}$ HB/R çıkışındaki havanın kuru termometre sıcaklığı (°C) ve $\Phi_{o,air}$ HB/R çıkışındaki havanın bağıl nemidir (%). Sıcaklık ve nem değerleri HB/R giriş çıkışlarına yerleştirilen uygun birer sıcaklık ölçer ve nemölçer ile anlık olarak ölçülerek kaydedilmiştir. v_{air} değerlerinin deney süresince elde edilen anlık sıcaklık ve nem değerlerine göre psikrometrik diyagramdan (EK-C) tek tek okunması yerine yukarıda ifade edilen ampirik formül ile hesaplanması büyük kolaylık sağlamıştır. $\dot{Q}_{fan}$'nın hesaplanması için gereken $h_{i,air}$ ve $h_{o,air}$ entalpilerinin hesaplanmasında da yukarıdaki ampirik yönteme benzer bir formül kullanılmıştır. Böylece psikrometrik diyagrama gerek kalmadan deney süresince kaydedilen sıcaklık ve bağıl nem değerlerine göre HB/R giriş çıkışındaki havanın entalpi değerleri kolayca hesaplanmıştır. HB/R giriş ve çıkışındaki entalpi değerleri (kJ/kg) sırasıyla

$$\mathrm{h_{i,air}} = 5{,}4664 + (0{,}779894 \times \mathrm{T_{i,air}}) + (0{,}01173 \times \mathrm{T_{i,air}} \times \Phi_{\mathrm{i,air}}) + (0{,}0000133 \times \mathrm{T_{i,air}^3} \times \Phi_{\mathrm{i,air}}) \tag{3.12}$$

$$\mathrm{h_{o,air}} = 5{,}4664 + (0{,}779894 \times \mathrm{T_{o,air}}) + (0{,}01173 \times \mathrm{T_{o,air}} \times \Phi_{\mathrm{o,air}}) + (0{,}0000133 \times \mathrm{T_{o,air}^3} \times \Phi_{\mathrm{o,air}}) \tag{3.13}$$

formülleri [102] ile hesaplanmıştır.

Motorun rölanti, çeyrek gaz ve yarım gaz hızlarında çalıştığı ve HB/R hava hızlarının 2,3 m/s, 3,5 m/s ve 4,1 m/s olduğu durumlarda yapılan deneylerde havadan çekilen ısının, LPG'nin çektiği ısının, verim ve COP değerlerinin hesaplanmasında aynı formüller kullanılmıştır. Bunlardan havadan çekilen ısı (kJ/s);

$$\dot{Q}_{air} = \dot{m}_{air}\left[\left(h_{i,air} - h_{o,air}\right) - \left(\omega_{i,air} - \omega_{o,air}\right) \times h_{f,w}\right] \tag{3.14}$$

formülüyle hesaplanmaktadır. Burada $\dot{m}_{air}$ HB/R'ye giren havanın kütlesel debisi (kg/s), $h_{i,air}$ ve $h_{o,air}$ sırasıyla havanın HB/R'ye giriş ve çıkışındaki entalpi değerleri (kJ/kg), $\omega_{i,air}$ ve $\omega_{o,air}$ sırasıyla havanın HB/R'ye giriş ve çıkışındaki özgül nem değerleri (kg su/kg kuru hava) ve $h_{f,w}$ ise suyun entalpisidir (kJ/kg). $\dot{m}_{air}$ motorun çalışmadığı durumdakine benzer olarak, HB/R'ye giriş çıkış yapan havanın ortalama hızı V_{air} (m/s) ile giriş-çıkış kanallarının kesit alanı A_{duct} (m^2) çarpımının havanın giriş ve çıkıştaki ortalama özgül hacmi v_{air} 'e (m^3/kg) bölünmesinden elde edilmektedir:

$$\dot{m}_{air} = \frac{V_{air} \times A_{duct}}{v_{air}} \tag{3.15}$$

V_{air} HB/R'nin giriş ve çıkışına yerleştirilen uygun bir hava hızı ölçer ile tespit edilmiştir. Giriş ve çıkıştaki hava hızı değerleri bütün deneyler için eşit çıkmıştır. A_{duct} hava hızının ölçüldüğü HB/R giriş ve çıkışındaki kanal kesitinin çap değeri olan $D_{duct} = 25{,}56\ mm$'ye göre aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$A_{duct} = \frac{\pi \times D_{duct}^2}{4} \tag{3.16}$$

v_{air} ise giriş ve çıkışta ölçülen havanın sıcaklık ve bağıl nem değerlerine göre ortalama olarak aşağıdaki ampirik formül [102] ile hesaplanmıştır:

$$v_{air} = \{[0{,}777303 + (0{,}002701 \times T_{i,air}) + (0{,}00000046 \times T_{i,air}^2 \times \Phi_{i,air})] + [0{,}777303 + (0{,}002701 \times T_{o,air}) + (0{,}00000046 \times T_{o,air}^2 \times \Phi_{o,air})]\}/2 \tag{3.17}$$

Burada $T_{i,air}$ HB/R girişindeki havanın kuru termometre sıcaklığı (°C), $\Phi_{i,air}$ HB/R girişindeki havanın bağıl nemi (%), $T_{o,air}$ HB/R çıkışındaki havanın kuru termometre

sıcaklığı (°C) ve $\Phi_{o,air}$ HB/R çıkışındaki havanın bağıl nemidir (%). Sıcaklık ve nem değerleri HB/R giriş çıkışlarına yerleştirilen uygun birer sıcaklık ölçer ve nemölçer ile anlık olarak ölçülerek kaydedilmiştir. v_{air} değerlerinin deney süresince elde edilen anlık sıcaklık ve nem değerlerine göre psikrometrik diyagramdan tek tek okunması yerine yukarıda ifade edilen ampirik formül ile hesaplanması büyük kolaylık sağlamıştır. $\dot{Q}_{fan}$'nın hesaplanması için gereken $h_{i,air}$ ve $h_{o,air}$ entalpilerinin hesaplanmasında da yukarıdaki ampirik yönteme benzer bir formül kullanılmıştır. Böylece psikrometrik diyagrama gerek kalmadan deney süresince kaydedilen sıcaklık ve bağıl nem değerlerine göre HB/R giriş çıkışındaki havanın entalpi değerleri kolayca hesaplanmıştır. HB/R giriş ve çıkışındaki entalpi değerleri (kJ/kg) sırasıyla

$$\mathrm{h_{i,air}} = 5{,}4664 + (0{,}779894 \times \mathrm{T_{i,air}}) + (0{,}01173 \times \mathrm{T_{i,air}} \times \Phi_{\mathrm{i,air}}) + (0{,}0000133 \times \mathrm{T_{i,air}^3} \times \Phi_{\mathrm{i,air}}) \quad (3.18)$$

$$\mathrm{h_{o,air}} = 5{,}4664 + (0{,}779894 \times \mathrm{T_{o,air}}) + (0{,}01173 \times \mathrm{T_{o,air}} \times \Phi_{\mathrm{o,air}}) + (0{,}0000133 \times \mathrm{T_{o,air}^3} \times \Phi_{\mathrm{o,air}}) \quad (3.19)$$

formülleri [102] ile hesaplanmıştır.

$\omega_{i,air}$ ile $\omega_{o,air}$ özgül nem değerlerinin bulunmasında aşağıdaki ampirik formüllerden yararlanılmıştır:

$$\omega_{\mathrm{i,air}} = -0{,}00053 + (0{,}0000891 \times \Phi_{\mathrm{i,air}}) - (0{,}0000067 \times \Phi_{\mathrm{i,air}} \times \mathrm{T_{i,air}}) + (0{,}00000043 \times \Phi_{\mathrm{i,air}} \times \mathrm{T_{i,air}^2}) \quad (3.20)$$

$$\omega_{\mathrm{o,air}} = -0{,}00053 + (0{,}0000891 \times \Phi_{\mathrm{o,air}}) - (0{,}0000067 \times \Phi_{\mathrm{o,air}} \times \mathrm{T_{o,air}}) + (0{,}00000043 \times \Phi_{\mathrm{o,air}} \times \mathrm{T_{o,air}^2}) \quad (3.21)$$

Formüllerde $\Phi_{i,air}$ ve $\Phi_{o,air}$ sırasıyla HB/R giriş ve çıkışlarındaki havanın bağıl nemi (%) ve $T_{i,air}$ ile $T_{o,air}$ değerleri sırasıyla HB/R giriş ve çıkışlarındaki havanın sıcaklığıdır (°C).

$\dot{Q}_{air}$ değerinin bulunmasında gereken son ifade olan $h_{f,w}$'nun hesaplanması ise;

$$\mathrm{h_{f,w}} = 104{,}83 - \left[\left(\frac{104{,}83-62{,}982}{10}\right) \times \left(25 - \mathrm{T_{o,air}}\right)\right] \quad (3.22)$$

formülüne göre interpolasyon yöntemi ile yapılmıştır. Buradaki $T_{o,air}$ havanın HB/R'den çıkış sıcaklığıdır. HB/R'de yoğuşan suyun HB/R çıkışındaki havanın sıcaklığında olduğu kabul edilmiştir. 62,982 ile 104,83 değerleri (kJ/kg) ise suyun sırasıyla 15°C ve 25°C'deki entalpi değerleri olmaktadır [100].

LPG'nin HB/R'den çektiği ısının bulunmasında kullanılan bağıntı;

$$\dot{Q}_{LPG} = \dot{m}_{LPG}(h_{o,LPG} - h_{i,LPG}) \tag{3.23}$$

şeklindedir. Burada $\dot{m}_{LPG}$ LPG'nin kütlesel debisi (kg/s), $h_{i,LPG}$ ve $h_{o,LPG}$ ise LPG'nin sırasıyla HB/R giriş ve çıkışındaki entalpi değerleri (kJ/kg) olmaktadır. SB/R analizine benzer olarak $\dot{m}_{LPG}$ motorun çalıştırılma öncesi ve sonrasında LPG tankının hassas terazi ile tartılması ve harcanan kütlesel yakıt miktarının motorun çalışma süresine bölünmesi yöntemine göre hesaplanmaktadır. LPG için entalpi değerlerinin bulunmasında ise, LPG'yi oluşturan propan ve bütanın basınç-sıcaklık-entalpi grafiklerinden (EK-A ve EK-B) yararlanan EES isimli bir programdan yararlanılmıştır [101]. Bu programa göre propan ile bütanın LPG içerisindeki yüzdelerine göre LPG için entalpi değerleri elde edilmiştir. $h_{i,LPG}$ değeri deney süresince oda sıcaklığında bulunan LPG tankının ortalama basıncına göre belirlenmiştir. Motorun rölanti, çeyrek gaz ve yarım gaz çalışmalarında ortalama LPG tank basınçları sırasıyla 0,5 MPa, 0,4 MPa ve 0,3 MPa olduğundan; $h_{i,LPG}$ değerleri bu basınçlar için sırasıyla 265,2 kJ/kg, 245,4 kJ/kg ve 220,55 kJ/kg olarak hesaplanmış ve deney süresince değişmediği kabul edilmiştir. $h_{o,LPG}$ değeri ise HB/R çıkışındaki LPG'nin sıcaklığına ve basıncına göre EES yazılımıyla belli aralıklar için hesaplanmış ve deney süresince değişen sıcaklığa göre interpolasyonla belirlenmiştir:

$$h_{o,LPG} = 603{,}65 + \left[\frac{(729{,}35-603{,}65)}{70} \times (T_{o,LPG} - 10)\right] \tag{3.24}$$

Burada 603,65 ve 729,35 değerleri (kJ/kg) LPG'nin HB/R çıkışındaki entalpi değerleridir. Denklem (3.24) ile interpolasyon yöntemi kullanılarak $T_{o,LPG}$ çıkış LPG sıcaklığına göre $h_{o,LPG}$ değerleri anlık olarak hesaplanmaktadır. LPG'nin HB/R giriş ve çıkışındaki basınçları ile HB/R çıkışındaki sıcaklığı uygun bir manometre ve sıcaklık ölçer kullanılarak tespit edilmiştir.

HB/R için verim; HB/R'nin, buharlaşan LPG'nin çektiği ısının ne kadarını havaya verdiğini gösteren bir ölçüt olmaktadır. HB/R için verimin deney süresince anlık olarak hesaplanmasını sağlayan denklem

$$\eta_{HB/R} = \frac{\dot{Q}_{air}}{\dot{Q}_{LPG}} \times 100 \tag{3.25}$$

şeklindedir. Burada $\eta_{HB/R}$ HB/R'nin verimi, $\dot{Q}_{air}$ havadan çekilen ısı (kJ/s) ve $\dot{Q}_{LPG}$ LPG'nin çektiği ısıdır (kJ/s). $\dot{Q}_{air}$'in bulunuşu Denklem (3.14)'te, $\dot{Q}_{LPG}$'nin bulunuşu ise Denklem (3.23)'te gösterilmiştir.

HB/R için COP, HB/R'nin soğutma tesirini göstermesi bakımından önemlidir. HB/R için COP'nin hesabında Peltier etkili termoelektrik soğutuculardan esinlenilmiştir. Klasik soğutuculardan farklı olarak termoelektrik soğutucularda bir kompresör bulunmaz. Çalışmada kullanılan HB/R sistemi de benzer olarak kompresöre sahip değildir. LPG tank içerisinde basınçlı olarak depo edilmektedir. LPG basıncının yetersiz hale gelmesi durumunda depo yakıt istasyonuna gidilerek tekrar doldurulmaktadır. Motorun çalışırken LPG harcaması HB/R enerji tüketimine dahil edilmemektedir. HB/R sisteminin soğutma tesiri oluştururken harcadığı tek enerji havanın dolaştırılması için gereken fan gücüdür. HB/R'de kullanılan fan 3 konumda çalışmaktadır. 2,3 m/s, 3,5 m/s ve 4,1 m/s hava hızları için fanın aküden çektiği enerjiler sırasıyla 24 W, 48 W ve 72 W'tır. HB/R için COP'nin hesaplanması için gereken genel formül

$$COP_{R,HB/R} = \frac{\dot{Q}_{air}}{P_{fan}} \tag{3.26}$$

olarak gerçekleşmektedir. Burada $COP_{R,HB/R}$ HB/R'nin soğutucu etkisini gösteren performans katsayısı (birimsiz), $\dot{Q}_{air}$ HB/R'de havadan çekilen ısı (kJ/s=kW) ve P_{fan} ise HB/R hava fanının aküden çektiği enerjidir (kW). $\dot{Q}_{air}$'in bulunuşu Denklem (3.14)'te gösterilmiştir. P_{fan} yukarıda belirtildiği gibi istenen hava hızına göre değişmektedir. P_{fan}'ın her konum için değeri fanın kataloğundan temin edilmiştir.

3.2.4. Araç Analizi

Araç analizinin yapılma amacı; deneylerde kullanılan motora göre elde edilen ortalama HB/R verimi ile HB/R'nin %100 verimle çalışması durumunda, belirlenen bazı otomobiller için klima tasarrufunun nasıl değişeceğini göstermektir. Araç analizinde öncelikle zamana göre harcanan benzin tüketimi bulunmaktadır:

$$\dot{v}_{g,a} = \frac{\frac{FC_{g,a} \times 11{,}007}{100}}{1180} \tag{3.27}$$

Burada $\dot{v}_{g,a}$ otomobilin ortalama benzin tüketimini (L/s), $FC_{g,a}$ otomobilin 100 km'de harcadığı ortalama benzin miktarını (L/100 km) göstermektedir. $FC_{g,a}$ Yeni Avrupa Sürüş Çevrimi'ne (NEDC) göre belirlenmekte ve otomobil üreticisi tarafından beyan edilmektedir. Bu çevrim 1180 s sürmekte ve çevrim boyunca otomobil 11,007 km yol kat etmiş olmaktadır [103]. Denklem (3.27) ile taşıt üreticisinin beyan ettiği 100 km'deki ortalama (şehir içi-şehir dışı) yakıt tüketiminin saniyede tüketilen yakıta dönüşümü sağlanmaktadır.

Araç analizinde ikinci adım otomobile ait yaklaşık LPG tüketiminin bulunmasıdır:

$$\dot{v}_{LPG,a} = \dot{v}_{g,a} \times R_{fc} \tag{3.28}$$

Denklem (3.28)'de $\dot{v}_{LPG,a}$ otomobile ait yaklaşık ortalama LPG tüketimini (L/s), $\dot{v}_{g,a}$ otomobilin ortalama benzin tüketimini (L/s) ve R_{fc} ise deney motorunun üç farklı motor hızında elde edilen LPG/benzin tüketimi oranının ortalamasını göstermektedir.

Üçüncü adımda otomobilin yaklaşık olarak harcayacağı LPG'nin kütlesel debisi (kg/s) bulunmaktadır:

$$\dot{m}_{LPG,a} = \dot{v}_{LPG,a} \times \rho_{LPG,m} \tag{3.29}$$

Burada $\rho_{LPG,m}$ LPG'nin 0,5 MPa, 0,4 MPa ve 0,3 MPa basınçları için ortalama yoğunluğu olmaktadır. $\rho_{LPG,m}$ olarak hesaplanan değer 0,547 kg/L olarak gerçekleşmiştir.

Dördüncü adımda otomobilin motoruna yanmak üzere giden LPG'nin %100 verimle yapılacak bir HB/R sisteminde oluşturacağı soğutma etkisinin hesabı yapılmaktadır. Bu değer yaklaşık olarak bulunan LPG debisinin buharlaşırken çekeceği

ısının hesaplanması yöntemine göre elde edilmektedir. Bu hesaplama için kullanılan denklem şu şekildedir:

$$AC_{LPG,100} = \dot{m}_{LPG,a} \times h_{fg,LPG} \tag{3.30}$$

Burada $AC_{LPG,100}$ LPG'nin soğutucu etkisinin HB/R'deki havaya %100 verimle aktarılması durumunda elde edilebilecek soğutma miktarıdır (kJ/s). $\dot{m}_{LPG,a}$ otomobil motorunun harcadığı LPG'nin kütlesel debisi (kg/s) ve $h_{fg,LPG}$ ise propan ve bütandan oluşan LPG'nin buharlaşma entalpisidir (kJ/kg). $h_{fg,LPG}$ olarak literatürden 406,5 kJ/kg değeri alınmıştır [100].

Beşinci adımda otomobillerde kullanılacak HB/R sisteminin verimi, bu çalışmada kullanılan HB/R sisteminin sahip olduğu ortalama verime eşit kabul edilmektedir. Bu kabule göre elde edilebilecek soğutma miktarı Denklem (3.30)'a benzer olarak;

$$AC_{LPG,ex} = AC_{LPG,100} \times \eta_{m,ex} \tag{3.31}$$

formülüyle hesaplanmaktadır. Burada $AC_{LPG,ex}$ deneysel ortalama HB/R verimine göre elde edilebilecek soğutma miktarını (kJ/s), $AC_{LPG,100}$ HB/R'nin %100 verimle çalışması durumunda elde edilebilecek soğutma miktarını (kJ/s) ve $\eta_{m,ex}$ ise deneysel ortalama HB/R verimini (%) göstermektedir.

Son olarak altı ve yedinci adımlarda ise $AC_{LPG,100}$ ve $AC_{LPG,ex}$ durumları için otomobillerde yapılabilecek klima tasarrufları incelenmektedir:

$$S_{AC,100} = \frac{AC_{LPG,100}}{CL_a} \times 100 \tag{3.32}$$

$$S_{AC,ex} = \frac{AC_{LPG,ex}}{CL_a} \times 100 \tag{3.33}$$

Denklem (3.32)'de $S_{AC,100}$ HB/R'nin %100 verimle çalışması durumunda otomobillerin klimalarında yapılabilecek tasarrufu (%), $AC_{LPG,100}$ HB/R'nin %100 verimle çalışması durumunda elde edilebilecek soğutma miktarını (kJ/s) ve CL_a otomobilin sahip olduğu soğutma yükünü (kJ/s) göstermektedir. Benzer olarak Denklem (3.33)'te $S_{AC,ex}$

HB/R'nin deneysel ortalama verimle çalışması durumunda otomobillerin klimalarında yapılabilecek tasarrufu (%), $AC_{LPG,ex}$ HB/R'nin deneysel ortalama verimle çalışması durumunda elde edilebilecek soğutma miktarını (kJ/s) ve CL_a otomobilin sahip olduğu soğutma yükünü (kJ/s) göstermektedir. Otomobiller için ortalama CL_a değerleri literatürden alınmıştır [52, 104]. Alınan soğutma yükleri şehir içi-şehir dışı ortalama soğutma yükü değerleridir. Buna göre subcompact (B Sınıfı-Hatchback), compact (C Sınıfı-Hatchback) ve standard (D Sınıfı-Sedan) araçlar için ortalama soğutma yükü değerleri sırasıyla 3,62 kJ/s, 4,15 kJ/s ve 5,12 kJ/s olmaktadır. Tablo 3.7'de araç analizinde kullanılan otomobiller ile bunlara ait bazı özellikler verilmektedir. Seçilen otomobiller Türkiye'de satışa sunulan ve LPG'ye dönüştürülebilen 2015 model araçlardır. Otomobillerin hangi sınıfa ait oldukları literatüre göre belirlenmiştir [105].

Tablo 3.7 Araç analizinde kullanılan otomobiller

Sınıf	Araç	Beygir gücü (HP)	Ortalama benzin tüketimi (L/100 km)	Ortalama taşıt soğutma yükü (kJ/s)
Subcompact (B sınıfı-hatchback)	Peugeot 208 1.2 Access	82	4,5	3,62
	Renault Clio 1.2 Joy	75	4,7	3,62
	Toyota Yaris 1.33 Fun	99	5,1	3,62
	Opel Corsa 1.2 Essentia	70	5,4	3,62
	Hyundai i20 1.4 Jump AT	100	6,7	3,62
Compact (C sınıfı-hatchback)	Peugeot 308 1.2 Access	82	5	4,15
	Toyota Auris 1.6 Active	132	5,9	4,15
	Kia Ceed 1.6 Comfort	135	6,1	4,15
	Opel Astra 1.6 Edition	115	6,4	4,15
	Renault Megane 1.6 Touch Plus	110	6,8	4,15
Standard (D sınıfı-sedan)	Peugeot 508 1.6 Active AT	165	5,8	5,12
	BMW 3 Serisi 328i	245	6,3	5,12
	Toyota Avensis 1.6 Advance	132	6,6	5,12
	Hyundai Elantra 1.6 Elite AT	132	7,1	5,12
	Honda Accord 2.0 Executive AT	156	7,3	5,12

3.2.5. Hata Analizi

Ölçme aletlerinin hata oranları "Deneylerde Kullanılan Ölçüm Cihazlarının Kalibrasyonları" kısmında verilmişti. Burada her ölçüm aletinin yapabileceği hata payları verilmektedir. Fakat bilindiği gibi bazı ifadelerin birden fazla ölçüm aletinden

elde edilen veri ile hesaplanması nedeniyle bu hata oranları sonucu daha yüksek bir oranda etkileyecektir. Bu kısımda çalışma kapsamındaki deneylerin gerçekleştirilmesinde kullanılan ölçme aletlerinden kaynaklanan hata oranlarının incelenmesi amaçlanmıştır. Hata oranlarının hesaplanmasında literatürdeki "Akılcı Yaklaşım (Commonsense Basis) Hata Analizi"nden [106] faydalanılmıştır.

3.2.5. 1. Yakıt Tüketimi ve Maliyeti Deneylerinde Hata Analizi

Motorun benzin ve LPG'de çalışmasına göre yapılan deneylerde elde edilen yakıt tüketimi ve maliyeti verileri için hata analizi Denklem (3.34-3.37)'de verilmektedir:

$$E_{\pm\%,\dot{v}_g} = \frac{100\left[\left(\frac{\dot{M}_g \pm (n_w \times 0{,}005)}{\rho_g}\right) - \dot{v}_g\right]}{\dot{v}_g} \tag{3.34}$$

$$E_{\pm\%,\dot{v}_{LPG}} = \frac{100\left[\left(\frac{\dot{M}_{LPG} \pm (n_w \times 0{,}005)}{\rho_{LPG}}\right) - \dot{v}_{LPG}\right]}{\dot{v}_{LPG}} \tag{3.35}$$

$$E_{\pm\%,\dot{C}_g} = \frac{100\left[\left(\frac{\dot{M}_g \pm (n_w \times 0{,}005)}{\rho_g} \times P_g\right) - \dot{c}_g\right]}{\dot{c}_g} \tag{3.36}$$

$$E_{\pm\%,\dot{C}_{LPG}} = \frac{100\left[\left(\frac{\dot{M}_{LPG} \pm (n_w \times 0{,}005)}{\rho_{LPG}} \times P_{lpg}\right) - \dot{c}_{LPG}\right]}{\dot{c}_{LPG}} \tag{3.37}$$

Verilen denklemlerde $E_{\pm\%,\dot{v}_g}$ benzinin hacimsel tüketimindeki hata oranını (±%), n_w kütlesel yakıt tüketimi ölçümünde tartım sayısını, $E_{\pm\%,\dot{v}_{LPG}}$ LPG'nin hacimsel tüketimindeki hata oranını (±%), $E_{\pm\%,\dot{C}_g}$ motorun benzin maliyetindeki hata oranını (±%), $ve\ E_{\pm\%,\dot{C}_{LPG}}$ motorun LPG maliyetindeki hata oranını (±%) göstermektedir. Benzin ve LPG kütle ölçümlerinde yapılan hatalar ayrıca verilmemiş hassas terazinin sahip olduğu hata payı dikkate alınarak sırasıyla $\dot{M}_g \pm (n_w \times 0{,}005)$ ve $\dot{M}_{LPG} \pm (n_w \times 0{,}005)$ ifadeleri ile belirtilmiştir.$\pm$ ve $\mp$ ifadeleri rastgele değil, $\pm$ hata hesabında; + hata hesabı için denklemdeki tüm ifadelerde üstteki işaretin, - hata hesabı içinse alttaki işaretin dikkate alınmasını ifade etmek üzere konulmuştur.

3.2.5.2. SB/R Deneylerinde Hata Analizi

Motorun benzin ve LPG'de çalışmasına göre SB/R sisteminde yapılan deneylerde elde edilen veriler için hata analizi Denklem (3.38-3.42)'de verilmektedir:

$$E_{+\%,\dot{Q}_{ec}} = \frac{100\left\{\left[\dot{m}_{ec}(1+0{,}005)\times c_{p,ec}(1+0{,}0005)(T_{i,ec}-T_{o,ec})\left(1+\frac{E_{+\%,\Delta T_{ec}}}{100}\right)\right]-\dot{Q}_{ec}\right\}}{\dot{Q}_{ec}} \tag{3.38}$$

$$E_{-\%,\dot{Q}_{ec}} = \frac{100\left\{\left[\dot{m}_{ec}(1-0{,}005)\times c_{p,ec}(1-0{,}0038)(T_{i,ec}-T_{o,ec})\left(1+\frac{E_{-\%,\Delta T_{ec}}}{100}\right)\right]-\dot{Q}_{ec}\right\}}{\dot{Q}_{ec}} \tag{3.39}$$

$$E_{\pm\%,\Delta T_{ec}} = \frac{100\left\{\{[T_{i,ec}(1\pm0{,}002)]+0{,}6\}-T_{i,ec}\right\}}{T_{i,ec}} + \frac{100\left\{\{[T_{o,ec}(1\pm0{,}002)]+0{,}6\}-T_{o,ec}\right\}}{T_{o,ec}} \tag{3.40}$$

$$E_{\pm\%,\dot{Q}_{LPG}} = \frac{100\left\{\left\{\left[\dot{m}_{LPG}\left(1+\frac{E_{\pm\%,\dot{m}_{LPG}}}{100}\right)\right]\left\{\left\{h_{o,LPG}\left[1+\left(\frac{E_{\pm\%,h_{o,LPG}}}{100}\right)\right]\right\}-\left[h_{i,LPG}(1\pm0{,}01)\right]\right\}\right\}-\dot{Q}_{LPG}\right\}}{\dot{Q}_{LPG}} \tag{3.41}$$

$$E_{\pm\%,h_{o,LPG}} = \frac{100\left\{\left\{603{,}65+\left\{\left(\frac{729{,}35-603{,}65}{70}\right)\left\{\{[T_{o,LPG}(1\pm0{,}002)]+0{,}6\}-10\right\}\right\}\right\}-h_{o,LPG}\right\}}{h_{o,LPG}} \tag{3.42}$$

Denklemlerde $E_{+\%,\dot{Q}_{ec}}$ ve $E_{-\%,\dot{Q}_{ec}}$ SB/R'ye giren motor soğutma suyunun SB/R'de bıraktığı ısı değerindeki hata oranını (±%), $E_{\pm\%,\Delta T_{ec}}$ motor soğutma suyunun SB/R giriş-çıkışındaki sıcaklık farkı hesabının hata oranını (±%), $E_{\pm\%,\dot{Q}_{LPG}}$ LPG'nin SB/R'den çekmiş olduğu ısı değerindeki hata oranını (±%) ve $E_{\pm\%,h_{o,LPG}}$ ise LPG'nin SB/R çıkışında sahip olduğu entalpi değerinin hata oranını (±%) göstermektedir. Motor soğutma suyunun kütlesel debi hesabında hata oranı ayrıca verilmemiş olup debi ölçerin hata payına göre Denklem (3.38) ve Denklem (3.39)'da sırasıyla $\dot{m}_{ec}(1+0{,}005)$ ve $\dot{m}_{ec}(1-0{,}005)$ olarak ifade edilmiştir. Sabit basınçta özgül ısı değeri sıcaklığa göre az da olsa değişmesine rağmen 4,18 kJ/kgK olmak üzere sabit kabul edilmiştir. Bu kabul sonucu sıcaklığa bağlı olarak interpolasyonla $c_{p,ec}$ değerinin bulunmasında +%0,05 ve -%0,38 hata olmaktadır. $c_{p,ec}$ değerinin hata oranı ayrıca verilmemiş, sıcaklığa bağlı olarak Denklem (3.38)'de $c_{p,ec}(1+0{,}0005)$ ve Denklem (3.39)'da $c_{p,ec}(1-0{,}0038)$ şeklinde ifade edilmiştir. Sıcaklık ölçümündeki hata Denklem (3.40)'ta $[T(1+0{,}002)]+0{,}6$ ve Denklem (3.42)'de $[T(1\pm0{,}002)]+0{,}6$ genel ifadeleri ile

hesaplanmıştır. Denklem (3.41)'de $E_{\pm\%,\dot{m}_{LPG}}$ LPG'nin kütlesel debisindeki hata oranını (±%) göstermektedir. Bu oranın hesabı Denklem (3.35)'tekine benzer olarak $E_{\pm\%,\dot{m}_{LPG}} = \frac{100[\mathrm{n_w}(\pm 0{,}005)]}{\dot{m}_{LPG}}$ ifadesine göre yapılmaktadır. Denklem (3.41)'de verilen $h_{i,LPG}(1 \pm 0{,}01)$ ifadesi LPG'nin giriş entalpisi için hata oranını göstermektedir. LPG'nin giriş durumunda; oda sıcaklığında bulunan tank içerisinde, ölçülen basınçta ve doymuş sıvı halde olduğu kabul edilmiştir. Bu durumda propan ve bütanın ortalama sıcaklıkları yaklaşık oda sıcaklığında olmaktadır. $h_{i,LPG}$'nin tank basıncı ve yapılan kabul ile doymuş sıvı olduğu durumu göz önüne alınarak EES programında hesaplanmasında ±%1 hata olduğu varsayılmıştır.

3.2.5.3. HB/R Deneylerinde Hata Analizi

Motorun çalışmaması durumu ve LPG'de çalışmasına göre HB/R sisteminde yapılan deneylerde elde edilen veriler için hata analizi Denklem (3.43-3.55)'te verilmektedir:

$$E_{\pm\%,\dot{Q}_{fan}} = \frac{100\left\{\left\{\left[\dot{m}_{air}\left(1+\frac{E_{\pm\%,\dot{m}_{air}}}{100}\right)\right]\left\{\left[h_{o,air}\left(1+\frac{E_{\pm\%,h_{o,air}}}{100}\right)\right]-\left[h_{i,air}\left(1+\frac{E_{\pm\%,h_{i,air}}}{100}\right)\right]\right\}\right\}-\dot{Q}_{fan}\right\}}{\dot{Q}_{fan}} \quad (3.43)$$

$$E_{\pm\%,\dot{m}_{air}} = \frac{100\left\{\frac{A_{duct}\times(1\pm0{,}01)\times V_{air}\times(1\pm0{,}05)}{v_{air}\left(1+\frac{E_{\pm\%,v_{air}}}{100}\right)}-\dot{m}_{air}\right\}}{\dot{m}_{air}} \quad (3.44)$$

$$\begin{aligned}\mathrm{E_{\pm\%,v_{air}}} = 100\Bigg\{\Bigg\{\Bigg\{\Bigg\{0{,}777303 + \Bigg\{0{,}002701 \times \left[\mathrm{T_{i,air}}\left(1+\frac{\mathrm{E_{\pm\%,T_{i,air}}}}{100}\right)\right]\Bigg\} + \\ \Bigg\{0{,}00000046[\mathrm{T_{i,air}}(1+\frac{\mathrm{E_{\pm\%,T_{i,air}}}}{100})]^2\Bigg\} \times [\Phi_{\mathrm{i,air}}(1+\frac{\mathrm{E_{\pm\%,\Phi_{i,air}}}}{100})]\Bigg\} + \\ \Bigg\{0{,}777303 + \Bigg\{0{,}002701 \times [\mathrm{T_{o,air}}(1+\frac{\mathrm{E_{\pm\%,T_{o,air}}}}{100})]\Bigg\} + \\ \Bigg\{0{,}00000046[\mathrm{T_{o,air}}(1+\frac{\mathrm{E_{\pm\%,T_{o,air}}}}{100})]^2\Bigg\} \times [\Phi_{\mathrm{o,air}}(1+\frac{\mathrm{E_{\pm\%,\Phi_{o,air}}}}{100})]\Bigg\}\Bigg\}/2\Bigg\} -\end{aligned} \quad (3.45)$$

$$\left.\mathrm{v}_{\mathrm{air}}\right\}/\mathrm{v}_{\mathrm{air}}$$

$$E_{\pm\%,h_{i,air}} = \left\{100\left\{\left\{\left\{5{,}4664 + \left\{0{,}779894 \times \left[T_{i,air}\left(1 + \frac{E_{\pm\%,T_{i,air}}}{100}\right)\right]\right\} + \right.\right.\right.\right.$$

$$\left\{0{,}01173\left[T_{i,air}\left(1 + \frac{E_{\pm\%,T_{i,air}}}{100}\right)\right] \times \left[\Phi_{i,air}\left(1 + \frac{E_{\pm\%,\Phi_{i,air}}}{100}\right)\right]\right\} +$$

$$\left.\left.\left.\left\{0{,}0000133\left[T_{i,air}\left(1 + \frac{E_{\pm\%,T_{i,air}}}{100}\right)\right]^3 \times \left[\Phi_{i,air}\left(1 + \frac{E_{\pm\%,\Phi_{i,air}}}{100}\right)\right]\right\}\right\}\right\} - \tag{3.46}$$

$$\left.h_{i,air}\right\}/h_{i,air}\left.\right\} \pm$$

$$[(0{,}51389^{0{,}0001}) \times (0{,}02288^{0{,}0001}) \times (0{,}000468^{0{,}0001}) \times$$
$$(0{,}000000206^{0{,}0001})]$$

$$\mathrm{E}_{\pm\%,\mathrm{h_{o,air}}} = \left\{100\left\{\left\{\left\{5{,}4664 + \left\{0{,}779894 \times \left[\mathrm{T_{o,air}}\left(1 + \frac{\mathrm{E}_{\pm\%,\mathrm{T_{o,air}}}}{100}\right)\right]\right\} + \right.\right.\right.\right.$$

$$\left\{0{,}01173\left[\mathrm{T_{o,air}}\left(1 + \frac{\mathrm{E}_{\pm\%,\mathrm{T_{o,air}}}}{100}\right)\right] \times \left[\Phi_{\mathrm{o,air}}\left(1 + \frac{\mathrm{E}_{\pm\%,\Phi_{\mathrm{o,air}}}}{100}\right)\right]\right\} +$$

$$\left.\left.\left.\left\{0{,}0000133\left[\mathrm{T_{o,air}}\left(1 + \frac{\mathrm{E}_{\pm\%,\mathrm{T_{o,air}}}}{100}\right)\right]^3 \times \left[\Phi_{\mathrm{o,air}}\left(1 + \frac{\mathrm{E}_{\pm\%,\Phi_{\mathrm{o,air}}}}{100}\right)\right]\right\}\right\}\right\} - \tag{3.47}$$

$$\left.\mathrm{h_{o,air}}\right\}/\mathrm{h_{o,air}}\left.\right\} \pm$$

$$[(0{,}51389^{0{,}0001}) \times (0{,}02288^{0{,}0001}) \times (0{,}000468^{0{,}0001}) \times$$
$$(0{,}000000206^{0{,}0001})]$$

$$E_{\pm\%,\dot{Q}_{air}} = 100\left\{\left\{\left[\dot{m}_{air}\left(1 + \frac{E_{\pm\%,\dot{m}_{air}}}{100}\right)\right]\left\{\left\{\left[\left(h_{i,air} - h_{o,air}\right) \times \right.\right.\right.\right.$$

$$\left.\left.\left.\left.\left(1 + \frac{E_{\pm\%,h_{i,air}} + E_{\pm\%,h_{o,air}}}{100}\right)\right]\right\} - \right. \tag{3.48}$$

$$\left\{\left[\left(\omega_{i,air}-\omega_{o,air}\right)\times\left(1+\frac{E_{\pm\%\omega_{i,air}}+E_{\pm\%,\omega_{o,air}}}{100}\right)\right]\times\left[h_{f,w}\left(1+\frac{E_{\pm\%,h_{f,w}}}{100}\right)\right]\right\}\Bigg\}\Bigg\}-\dot{Q}_{air}\Bigg\}/\dot{Q}_{air}$$

$$E_{\pm\%\omega_{i,air}}=\left\{100\left\{\left\{-0{,}00053+\left\{0{,}0000891\times\left[\Phi_{i,air}\left(1+\frac{E_{\pm\%,\Phi_{i,air}}}{100}\right)\right]\right\}-\left\{0{,}0000067\times\left[\Phi_{i,air}\left(1+\frac{E_{\pm\%,\Phi_{i,air}}}{100}\right)\right]\times\left[T_{i,air}\left(1+\frac{E_{\pm\%,T_{i,air}}}{100}\right)\right]\right\}+\left\{0{,}00000043\times\left[\Phi_{i,air}\left(1+\frac{E_{\pm\%,\Phi_{i,air}}}{100}\right)\right]\times\left[T_{i,air}\left(1+\frac{E_{\pm\%,T_{i,air}}}{100}\right)\right]^2\right\}\right\}-\omega_{i,air}\right\}/\omega_{i,air}\right\}\pm\left[\left(0{,}000136^{0{,}0001}\right)\times\left(0{,}00000351^{0{,}0001}\right)\times\left(0{,}00000027^{0{,}0001}\right)\times\left(0{,}00000000523^{0{,}0001}\right)\right] \tag{3.49}$$

$$E_{\pm\%\omega_{o,air}}=\left\{100\left\{\left\{-0{,}00053+\left\{0{,}0000891\times\left[\Phi_{o,air}\left(1+\frac{E_{\pm\%,\Phi_{o,air}}}{100}\right)\right]\right\}-\left\{0{,}0000067\times\left[\Phi_{o,air}\left(1+\frac{E_{\pm\%,\Phi_{o,air}}}{100}\right)\right]\times\left[T_{o,air}\left(1+\frac{E_{\pm\%,T_{o,air}}}{100}\right)\right]\right\}+\left\{0{,}00000043\times\left[\Phi_{o,air}\left(1+\frac{E_{\pm\%,\Phi_{o,air}}}{100}\right)\right]\times\left[T_{o,air}\left(1+\frac{E_{\pm\%,T_{o,air}}}{100}\right)\right]^2\right\}\right\}-\omega_{o,air}\right\}/\omega_{o,air}\right\}\pm\left[\left(0{,}000136^{0{,}0001}\right)\times\left(0{,}00000351^{0{,}0001}\right)\times\left(0{,}00000027^{0{,}0001}\right)\times\left(0{,}00000000523^{0{,}0001}\right)\right] \tag{3.50}$$

$$E_{\pm\%,h_{f,w}}=\frac{100\left\{\left\{104{,}83-\left\{\left(\frac{104{,}83-62{,}982}{10}\right)\times\left\{25-\left[T_{o,air}\left(1+\frac{E_{\pm\%,T_{o,air}}}{100}\right)\right]\right\}\right\}\right\}-h_{f,w}\right\}}{h_{f,w}} \tag{3.51}$$

$$E_{\pm\%,\dot{Q}_{LPG}}= \tag{3.52}$$

$$\frac{100\left\{\left\{\left[\dot{m}_{LPG}\left(1+\frac{E_{\pm\%,\dot{m}_{LPG}}}{100}\right)\right]\left\{\left\{h_{o,LPG}\left[1+\left(\frac{E_{\pm\%,h_{o,LPG}}}{100}\right)\right]\right\}-\left[h_{i,LPG}\,(1\pm0{,}01)\right]\right\}\right\}-\dot{Q}_{LPG}\right\}}{\dot{Q}_{LPG}}$$

$$E_{\pm\%,h_{o,LPG}}=\frac{100\left\{\left\{603{,}65+\left\{\left(\frac{729{,}35-603{,}65}{70}\right)\left\{\left\{\left[T_{o,LPG}\,(1\pm0{,}002)\right]+0{,}6\right\}-10\right\}\right\}\right\}-h_{o,LPG}\right\}}{h_{o,LPG}} \tag{3.53}$$

$$E_{\pm\%,\eta_{HB\,/R}}=\frac{100\left[\frac{\dot{Q}_{air}\left(1+\frac{E_{\pm\%,\dot{Q}_{air}}}{100}\right)}{\dot{Q}_{LPG}\left(1+\frac{E_{\pm\%,\dot{Q}_{LPG}}}{100}\right)}-\eta_{HB\,/R}\right]}{\eta_{HB\,/R}} \tag{3.54}$$

$$E_{\pm\%,COP_{R,HB\,/R}}=\frac{100\left[\frac{\dot{Q}_{air}\left(1+\frac{E_{\pm\%,\dot{Q}_{air}}}{100}\right)}{P_{fan}}-COP_{R,HB\,/R}\right]}{COP_{R,HB\,/R}} \tag{3.55}$$

Denklem (3.43)'te $E_{\pm\%,\dot{Q}_{fan}}$ HB/R fanı tarafından HB/R içerisinden geçmekte olan havaya verilen ısının hata oranını (±%), $E_{\pm\%,\dot{m}_{air}}$ HB/R içerisinde akmakta olan havanın kütlesel debisine ait hata oranını (±%), $E_{\pm\%,h_{o,air}}$ HB/R çıkışındaki havanın entalpisindeki hata oranını (±%), $E_{\pm\%,h_{i,air}}$ HB/R girişindeki havanın entalpisindeki hata oranını (±%) göstermektedir. $E_{\pm\%,\dot{m}_{air}}$, $E_{\pm\%,h_{o,air}}$ ve $E_{\pm\%,h_{i,air}}$'nın nasıl hesaplandığı sırasıyla Denklem (3.44, 3.47 ve 3.46)'da gösterilmektedir. Denklem (3.44)'te $E_{\pm\%,v_{air}}$ havanın HB/R giriş ve çıkışında ortalama özgül ağırlığındaki hata oranıdır (±%) ve nasıl hesaplandığı Denklem (3.45)'te gösterilmektedir. Denklem (3.45)'te $E_{\pm\%,T_{i,air}}$ HB/R girişindeki hava sıcaklığının hata oranını (±%), $E_{\pm\%,\Phi_{i,air}}$ HB/R girişindeki hava bağıl neminin hata oranını (±%), $E_{\pm\%,T_{o,air}}$ HB/R çıkışındaki hava sıcaklığının hata oranını (±%), ve $E_{\pm\%,\Phi_{o,air}}$ HB/R çıkışındaki hava bağıl neminin hata oranını (±%) göstermektedir. Sıcaklık ve bağıl nem değerlerindeki hata oranları ölçüm cihazının hata payına göre hesaplanmaktadır. Buna göre sadeleştirme sonucunda elde edilen formüller sıcaklık için genel olarak $E_{\pm\%,T}=\frac{100\times0{,}8}{T}$ ve bağıl nem için genel olarak $E_{\pm\%,\Phi}=\frac{100\times3{,}5}{\Phi}$ şeklinde olmaktadır. Denklem (3.46 ve 3.47)'de $E_{\pm\%,h_{i,air}}$ ve $E_{\pm\%,h_{o,air}}$ değerlerinin hesabı gösterilmektedir. Her iki denklemin son kısmında bulunan üslü

ifadeler literatürden [102] alınmıştır. Bu ifadeler $E_{\pm\%,h_{i,air}}$ ve $E_{\pm\%,h_{o,air}}$ değerlerinin hesabında sıcaklık ve bağıl nem ölçümünde meydana gelen hatalara ek olarak $h_{i,air}$ ve $h_{o,air}$ değerlerinin psikrometrik diyagram kullanılmadan bulunmasında oluşan hataları göstermektedir. Denklem (3.48)'de $E_{\pm\%,\dot{Q}_{air}}$ HB/R çıkışında havadan çekilen ısının hata oranını (±%), $E_{\pm\%\omega_{i,air}}$ HB/R girişinde havanın özgül nemindeki hata oranını (±%), $E_{\pm\%,\omega_{o,air}}$ HB/R çıkışında havanın özgül nemindeki hata oranını (±%) ve $E_{\pm\%,h_{f,w}}$ ise HB/R'de yoğuşarak oluşan suyun yoğuşma entalpisindeki hata oranını (±%) göstermektedir. Denklem (3.49 ve 3.50)'de $E_{\pm\%\omega_{i,air}}$ ve $E_{\pm\%,\omega_{o,air}}$ değerlerinin hesabı gösterilmektedir. Her iki denklemin son kısmında bulunan üslü ifadeler literatürden [102] alınmıştır. Bu ifadeler $E_{\pm\%\omega_{i,air}}$ ve $E_{\pm\%,\omega_{o,air}}$ değerlerinin hesabında sıcaklık ve bağıl nem ölçümünde meydana gelen hatalara ek olarak $\omega_{i,air}$ ve $\omega_{o,air}$ değerlerinin psikrometrik diyagram kullanılmadan bulunmasında oluşan hataları göstermektedir. Denklem (3.52)'de $E_{\pm\%,\dot{Q}_{LPG}}$ LPG'nin HB/R'den çekmiş olduğu ısı değerindeki hata oranını (±%) ve $E_{\pm\%,h_{o,LPG}}$ ise LPG'nin HB/R çıkışında sahip olduğu entalpi değerinin hata oranını (±%) göstermektedir. Denklem (3.52)'de verilen $h_{i,LPG}(1 \pm 0{,}01)$ ifadesi LPG'nin giriş entalpisi için hata oranını göstermektedir. LPG'nin giriş durumunda; oda sıcaklığında bulunan tank içerisinde, ölçülen basınçta ve doymuş sıvı halde olduğu kabul edilmiştir. Bu durumda propan ve bütanın ortalama sıcaklıkları yaklaşık oda sıcaklığında olmaktadır. $h_{i,LPG}$'nin tank basıncı ve yapılan kabul ile doymuş sıvı olduğu durumu göz önüne alınarak EES programında hesaplanmasında ±%1 hata olduğu varsayılmıştır. Denklem (3.53)'te sıcaklık ölçümündeki hata $\{[T_{o,LPG}(1 \pm 0{,}002)] + 0{,}6\}$ ifadesi ile hesaplanmıştır. Denklem (3.54) ve Denklem (3.55)'te $E_{\pm\%,\eta_{HB/R}}$ ve $E_{\pm\%,COP_{R,HB/R}}$ sırasıyla HB/R verimindeki ve HB/R soğutma tesirindeki hata oranlarını (±%) göstermektedir.

BÖLÜM 4

DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

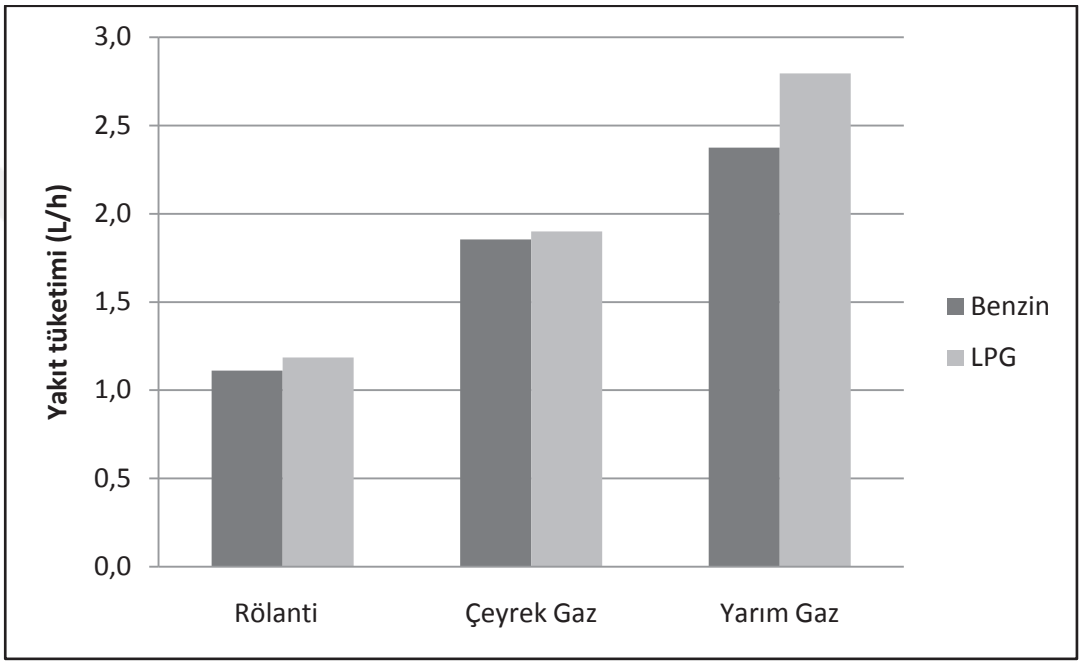
4.1. Yakıt Tüketimleri ve Yakıt Maliyetlerinin Değerlendirilmesi

Bu bölümde, deney motorunun rölanti, çeyrek gaz ve yarım gaz kelebeği açıklıklarında (sırasıyla yaklaşık 1000, 1800 ve 2400 rpm motor devirlerinde) benzin ve LPG tüketimleri ile bu tüketimlerin karşılığı olan maliyetlerin sunumları ve değerlendirmesi yapılmıştır. Ölçüm sonuçları ise ekler bölümünde veri tabloları halinde sunulmuştur.

Deney motorunun benzin ve LPG ile çalışması sonucunda elde edilen hacimsel yakıt tüketimi değerlerinin zamana bağlı değişimleri Şekil 4.1'de görülmektedir. Yakıt tüketimi değerlerinin ölçümleri motorun çalıştırılmadan önce ve çalışma sonrasında yakıt deposunun hassas bir terazi ile tartılması esasına dayanmaktadır. Motorun çalıştırılması periyotları yeteri kadar uzun tutulmuş, yakıt tüketim değerleri rölanti, çeyrek gaz ve yarım gaz durumları için yaklaşık olarak sırasıyla 2, 1 ve 0,5 saat olarak gerçekleşmiştir. Yakıt tüketim değerlerinin diğer deneylerle eşzamanlı olarak elde edilmesi sayesinde bu tüketim değerlerinin kullanıldığı hesaplamaların güvenilir olarak yapılması sağlanmıştır. Ayrıca elde edilen yakıt tüketimi değerleri, deney motorunun yakıt maliyetlerinin hesaplanmasında da kullanılmıştır. Deney motorunun benzin ve LPG ile çalışması sonucunda elde edilen hacimsel yakıt tüketimine bağlı yakıt maliyeti değerlerinin zamana bağlı değişimleri Şekil 4.2'de görülmektedir. Yakıt maliyetlerinin hesabında tüketim değerlerine ek olarak güncel yakıt fiyatlarından da yararlanılmıştır.

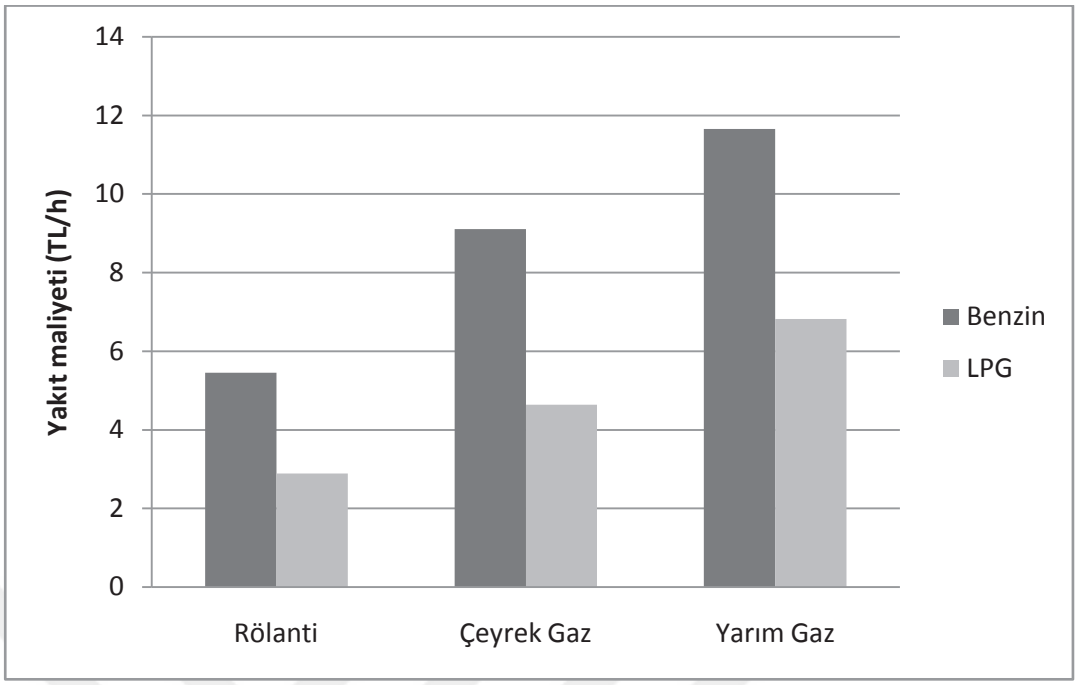
Motorun benzin ile çalıştırılması durumu için yakıt tüketim değerlerinin zamana bağlı değişimleri rölanti, çeyrek gaz ve yarım gazda sırasıyla 1,111 L/h, 1,855 L/h ve 2,374 L/h olarak gerçekleşmiştir. Motorun LPG ile çalışması durumundaki yakıt tüketimi değerleri ise yine rölanti, çeyrek gaz ve yarım gaz için sırasıyla 1,185 L/h, 1,9

L/h ve 2,795 L/h olarak bulunmuştur. Motorun LPG sarfiyatının, benzin sarfiyatının kaç katı olduğunu bulmak için LPG sarfiyatı/benzin sarfiyatı oranlaması yapılmış ve deney motorunun benzine göre LPG ile çalışması esnasında rölanti, çeyrek gaz ve yarım gazda sırasıyla 1,07, 1,02 ve 1,18 kat daha fazla yakıt harcadığı bulunmuştur. Deney motorunun bu üç gaz kelebeği açıklıklarında çalışması esnasında ortalama LPG sarfiyatı/benzin sarfiyatı değeri 1,1 olarak elde edilmiştir. Bu da motorun hacimsel olarak benzine göre %10 daha fazla LPG tükettiğini göstermektedir.



Şekil 4.1 Deney motorunun yakıt tüketimi değerleri (Benzin ve LPG)

Motorun benzin ile çalıştırılması durumu için yakıt maliyeti değerlerinin zamana bağlı değişimleri ise rölanti, çeyrek gaz ve yarım gazda sırasıyla 5,455 TL/h, 9,108 TL/h ve 11,656 TL/h olarak gerçekleşmiştir. Motorun LPG ile çalışması durumundaki yakıt tüketimi değerleri ise yine rölanti, çeyrek gaz ve yarım gaz için sırasıyla 2,891 TL/h, 4,636 TL/h ve 6,82 TL/h olarak bulunmuştur. Motorun LPG maliyetinin, benzin maliyetinin kaç katı olduğunu bulmak için LPG maliyeti/benzin maliyeti oranlaması yapılmış ve deney motorunun benzine göre LPG ile çalışması esnasında rölanti, çeyrek gaz ve yarım gazda sırasıyla %47, %49 ve %41,5 daha düşük maliyetle çalıştığı bulunmuştur. Deney motorunun bu üç gaz kelebeği açıklıklarında LPG ile çalışması esnasında benzinle çalışmasına göre ortalama %45,8 daha ekonomik olarak çalıştığı görülmüştür.



Şekil 4.2 Deney motorunun yakıt maliyeti değerleri (Benzin ve LPG)

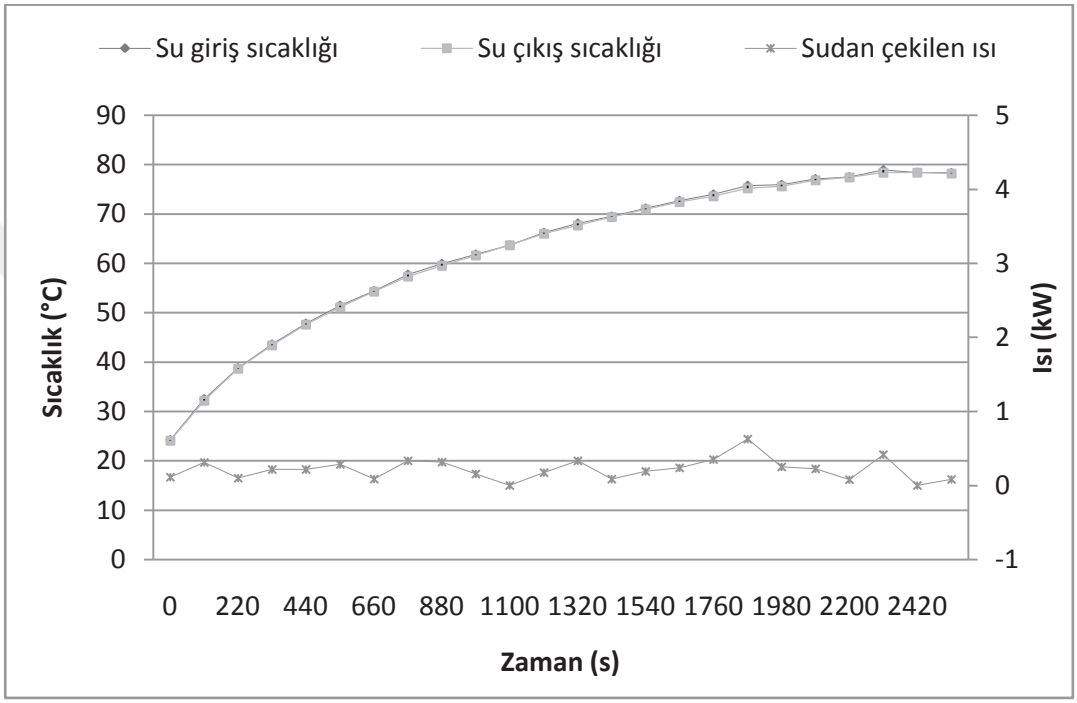
4.2. SB/R Analizinin Değerlendirilmesi

SB/R analizinde motorun rölanti, çeyrek gaz ve yarım gaz kelebeği açıklıklarında benzin ve LPG'de çalışması sırasında motorun soğutma suyu ısısı ile ısıtılan LPG B/R'sinin su giriş-çıkışları ve LPG çıkışındaki (LPG ile çalışma durumunda) sıcaklıkların ölçülmesi ile motorun soğutma suyundan çekilen ve LPG'nin çektiği ısıların hesaplamaları yapılmıştır.

4.2.1. SB/R Rölanti Deneylerinde Sıcaklık ve Isı Değişimleri

Motorun benzinde çalışması durumunda SB/R'den LPG akışı olmamakla beraber SB/R su hattında herhangi bir kesici valf olmadığı için SB/R içerisinden motor soğutma suyunun akışı devam etmektedir. Şekil 4.3'te motorun benzinde çalışması süresince elde edilen SB/R su giriş-çıkış sıcaklıkları ile bu sıcaklığın SB/R'ye bırakmış olduğu ısının zamana bağlı olarak değişimleri görülmektedir. Motorun rölanti çalışmasında ısınarak rejim sıcaklığına ulaşması yaklaşık 2400 s'de gerçekleşmektedir. Bu süre boyunca SB/R su giriş-çıkışındaki sıcaklık değişimi LPG akışı olmadığı için (LPG ısı çekmiyor) çok az değişmektedir (su giriş-çıkış sıcaklık eğrileri neredeyse üst üste). Motor soğutma sisteminin termostatı yaklaşık 78°C'de açıldığı için SB/R sıcaklıkları bu sıcaklık bölgesinde en yüksek değerine ulaşmakta ve sabit kalmaktadır. Motorun rölanti hızında benzinde çalışması deneyleri SB/R su giriş sıcaklığının bir

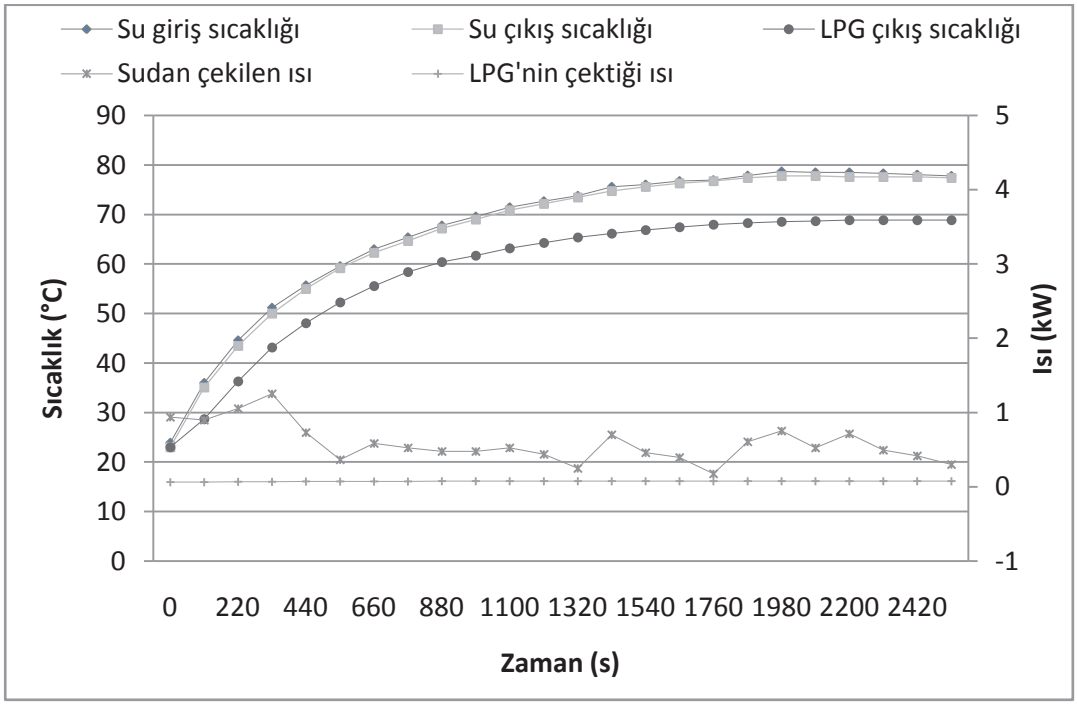
müddet sabit kalmasıyla bitirilmiştir. Süreç boyunca SB/R'nin içerisinde dolaşan motor soğutma suyundan çektiği ısı miktarı 0,2 kW civarında seyretmektedir. SB/R içerisinde dolaşarak sistemi terk eden motor soğutma suyunun bıraktığı bu ısı alüminyumdan imal edilmiş SB/R ünitesi tarafından emilmektedir. SB/R'nin çevresine yapılan ısı yalıtımı sayesinde ısı kaybına uğramadığı kabul edilmektedir. Benzinde çalışma nedeniyle, süreç boyunca LPG akışı olmadığından LPG ısı çekmemektedir.



Şekil 4.3 SB/R sıcaklık ve ısı değişimleri (Motor rölantide benzinle çalışıyor)

Motorun LPG'de çalışması durumunda SB/R'den LPG akışı olmakta ve LPG'nin buharlaşırken soğuttuğu SB/R ünitesi içerisinde dolaşan motor soğutma suyunun akışı ile ısıtılmaktadır. Şekil 4.4'te motorun LPG'de çalışması süresince elde edilen SB/R su giriş-çıkış sıcaklıkları, bu sıcaklıkların SB/R'ye bırakmış olduğu ısı ve LPG çıkış sıcaklığı ile LPG'nin SB/R'den çektiği ısının zamana bağlı olarak değişimleri görülmektedir. Motorun rölanti çalışmasında ısınarak rejim sıcaklığına ulaşması yaklaşık 2400 s'de gerçekleşmektedir. Bu süre boyunca SB/R su giriş-çıkışındaki sıcaklık değişimi LPG akışı olduğu için (LPG ısı çekiyor) benzinde çalışmaya göre farklılık göstermektedir (su giriş-çıkış sıcaklık eğrileri çatallaşıyor). Motor soğutma sisteminin termostatı yaklaşık 78°C'de açıldığı için SB/R sıcaklıkları bu sıcaklık bölgesinde en yüksek değerine ulaşmakta ve sabit kalmaktadır. Motorun rölanti hızında LPG'de çalışması deneyleri SB/R su giriş sıcaklığının bir müddet sabit kalmasıyla

bitirilmiştir. Süreç boyunca SB/R'nin içerisinde dolaşan motor soğutma suyundan çektiği ısı miktarı 0,5 kW civarında seyretmektedir. Bu ısı benzinde çalışmada elde edilen yaklaşık ortalama ısı değerinden 0,3 kW kadar fazladır. Buradaki ısı farkı SB/R'deki LPG akışından kaynaklanmaktadır. SB/R'nin çevresine yapılan ısı yalıtımı sayesinde ısı kaybına uğramadığı kabul edilmektedir. LPG'nin giriş-çıkış hallerine bağlı olarak bulunan entalpi farklarına ve ortalama LPG kütlesel debisine göre bulunan LPG'nin çektiği anlık ısı değeri ortalama yaklaşık 0,08 kW civarında seyretmektedir. LPG'nin çektiği ısının çok fazla değişmemesi çalışmada kullanılan hesaplama yönteminden kaynaklanmaktadır. Bu yönteme göre LPG'nin SB/R'ye girişte doymuş sıvı halindeki propan ve bütandan oluştuğu ve yakıt tüketiminin zamana bağlı olarak değişmediği kabul edilmiştir. Doymuş sıvı halindeki propan ve bütan karışımının sıcaklığı yaklaşık olarak oda sıcaklığına tekabül etmektedir. LPG'nin çektiği ısının hesabında kullanılan çıkıştaki entalpi değeri LPG'nin SB/R çıkışındaki basıncına ve sıcaklığına göre hesaplanmaktadır. SB/R çıkışındaki LPG'nin basıncı ortalama 0,1 MPa olmakta, sıcaklığı ise SB/R'nin motor soğutma suyu sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir. Motorun rölantide LPG'de çalışması durumu için SB/R çıkışındaki LPG sıcaklığı Şekil 4.4'te görüldüğü gibi değişmektedir. LPG sıcaklığı 70°C'de sabit kalmaktadır.



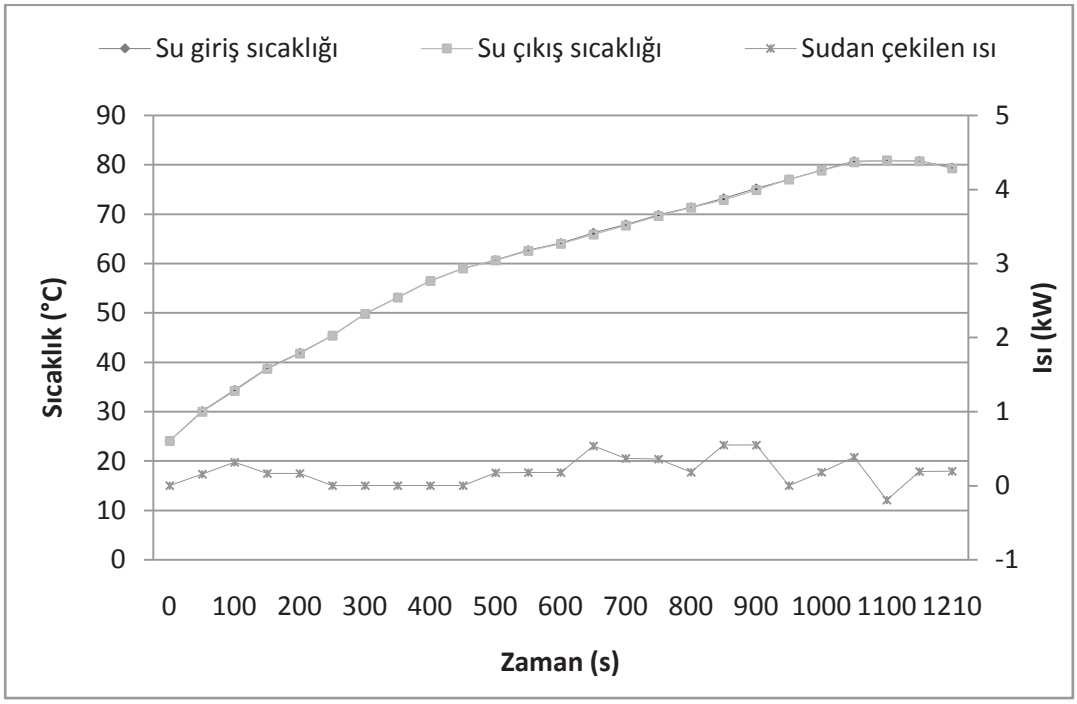
Şekil 4.4 SB/R sıcaklık ve ısı değişimleri (Motor rölantide LPG ile çalışıyor)

4.2.2. SB/R Çeyrek Gaz Deneylerinde Sıcaklık ve Isı Değişimleri

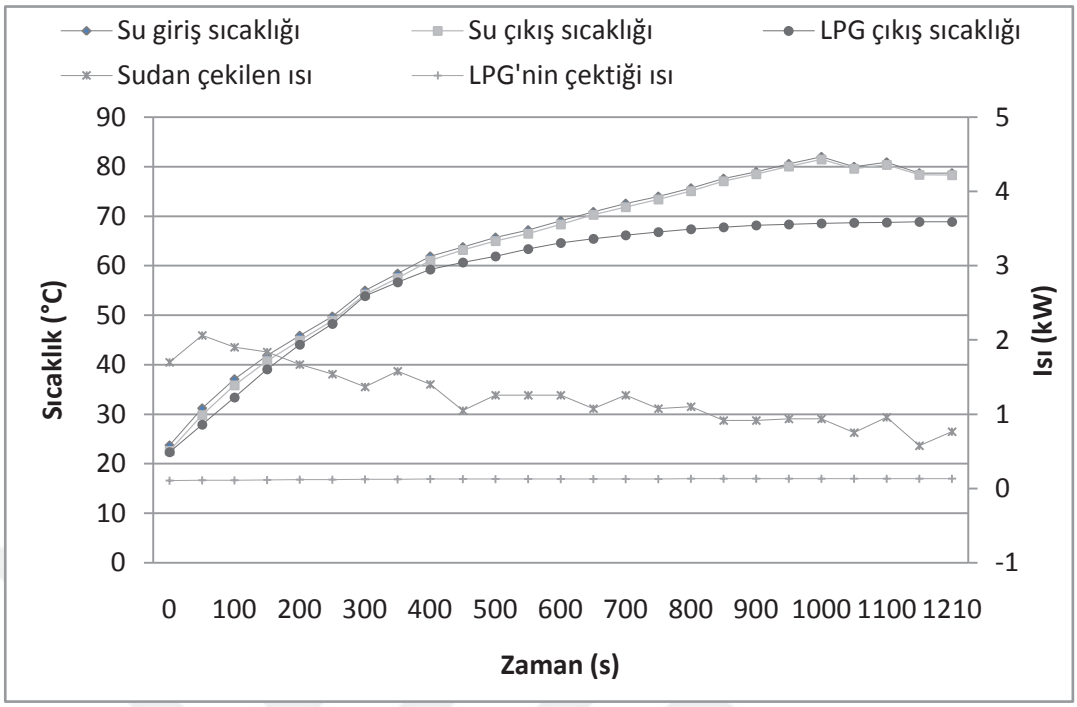
Motorun benzinde çalışması durumunda SB/R'den LPG akışı olmamakla beraber SB/R su hattında herhangi bir kesici valf olmadığı için SB/R içerisinden motor soğutma suyunun akışı devam etmektedir. Şekil 4.5'te motorun benzinde çalışması süresince elde edilen SB/R su giriş-çıkış sıcaklıkları ile bu sıcaklığın SB/R'ye bırakmış olduğu ısının zamana bağlı olarak değişimleri görülmektedir. Motorun çeyrek gazda çalışmasında ısınarak rejim sıcaklığına ulaşması yaklaşık 1200 s'de gerçekleşmektedir. Bu süre rölanti çalışmasında motorun rejim sıcaklığına ulaşma süresinin yarısına tekabül etmektedir. 1200 s boyunca SB/R su giriş-çıkışındaki sıcaklık farkı LPG akışı olmadığı için (LPG ısı çekmiyor) çok az değişmektedir (su giriş-çıkış sıcaklık eğrileri neredeyse üst üste). Motor soğutma sisteminin termostatı yaklaşık 78°C'de açıldığı için SB/R sıcaklıkları bu sıcaklık bölgesinde en yüksek değerine ulaşmakta ve sabit kalmaktadır. Motor hızının rölantiye göre bir miktar yüksek olması nedeniyle SB/R'deki motor soğutma suyu sıcaklığı anlık olarak 80°C mertebelerine ulaşabilmektedir. Motorun çeyrek gaz kelebeği açıklığında benzinde çalışması deneyleri SB/R su giriş sıcaklığının bir müddet sabit kalmasıyla bitirilmiştir. Süreç boyunca SB/R'nin içerisinde dolaşan motor soğutma suyundan çektiği ısı miktarı 0,2 kW civarında seyretmektedir. SB/R içerisinde dolaşarak sistemi terk eden motor soğutma suyunun bıraktığı bu ısı alüminyumdan imal edilmiş SB/R ünitesi tarafından emilmektedir. SB/R'nin çevresine yapılan ısı yalıtımı sayesinde ısı kaybına uğramadığı kabul edilmektedir. Benzinde çalışma nedeniyle, süreç boyunca LPG akışı olmadığından LPG ısı çekmemektedir.

Motorun LPG'de çalışması durumunda SB/R'den LPG akışı olmakta ve LPG'nin buharlaşırken soğuttuğu SB/R ünitesi içerisinde dolaşan motor soğutma suyunun akışı ile ısıtılmaktadır. Şekil 4.6'da motorun çeyrek gazda LPG'de çalışması süresince elde edilen SB/R su giriş-çıkış sıcaklıkları, bu sıcaklıkların SB/R'ye bırakmış olduğu ısı ve LPG çıkış sıcaklığı ile LPG'nin SB/R'den çektiği ısının zamana bağlı olarak değişimleri görülmektedir. Motorun çeyrek gaz çalışmasında ısınarak rejim sıcaklığına ulaşması benzinde çalışmaya benzer şekilde yaklaşık 1200 s'de gerçekleşmektedir. Bu süre boyunca SB/R su giriş-çıkışındaki sıcaklık değişimi LPG akışı olduğu için (LPG ısı çekiyor) benzinde çalışmaya göre farklılık göstermektedir (su giriş-çıkış sıcaklık eğrileri çatallaşıyor). Motor soğutma sisteminin termostatı yaklaşık

78°C'de açıldığı için SB/R sıcaklıkları bu sıcaklık bölgesinde en yüksek değerine ulaşmakta ve sabit kalmaktadır. Motorun çeyrek gazda LPG'de çalışması deneyleri SB/R su giriş sıcaklığının bir müddet sabit kalmasıyla bitirilmiştir. Süreç boyunca SB/R'nin içerisinde dolaşan motor soğutma suyundan çektiği ısı miktarı 1,2 kW civarında seyretmektedir. Bu ısı benzinde çalışmada elde edilen yaklaşık ortalama ısı değerinden 1 kW kadar fazladır. Buradaki ısı farkının temel nedeni SB/R'deki LPG akışıdır. SB/R'nin çevresine yapılan ısı yalıtımı sayesinde ısı kaybına uğramadığı kabul edilmektedir. LPG'nin giriş-çıkış hallerine bağlı olarak bulunan entalpi farklarına ve ortalama LPG kütlesel debisine göre bulunan LPG'nin çektiği anlık ısı değeri ortalama yaklaşık 0,13 kW civarında seyretmektedir. LPG'nin çektiği ısının çok fazla değişmemesi çalışmada kullanılan hesaplama yönteminden kaynaklanmaktadır. LPG'nin çektiği ısının hesabında kullanılan çıkıştaki entalpi değeri LPG'nin SB/R çıkışındaki basıncına ve sıcaklığına göre hesaplanmaktadır. SB/R çıkışındaki LPG'nin basıncı ortalama 0,1 MPa olmakta, sıcaklığı ise SB/R'nin motor soğutma suyu sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir. Motorun çeyrek gazda LPG'de çalışması durumu için SB/R çıkışındaki LPG sıcaklığı Şekil 4.6'da görüldüğü gibi değişmektedir. LPG sıcaklığının 300 s'lik bir sürede hızla 55°C'ye tırmandığı, sonrasında ise 1100 s civarında 70°C'ye ulaşarak bu sıcaklıkta sabit kaldığı görülmektedir.



Şekil 4.5 SB/R sıcaklık ve ısı değişimleri (Motor çeyrek gazda benzinle çalışıyor)

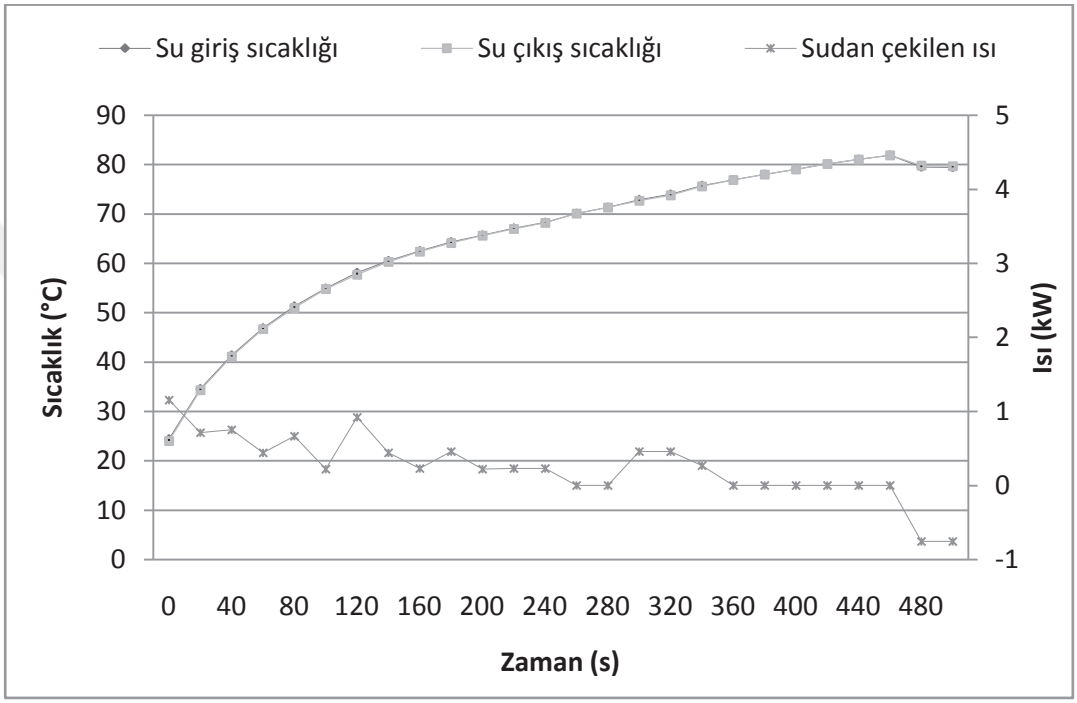


Şekil 4.6 SB/R sıcaklık ve ısı değişimleri (Motor çeyrek gazda LPG ile çalışıyor)

4.2.3. SB/R Yarım Gaz Deneylerinde Sıcaklık ve Isı Değişimleri

Motorun yarım gazda benzinde çalışması durumunda SB/R'den LPG akışı olmamakta ve SB/R içerisinden motor soğutma suyunun akışı devam etmektedir. Şekil 4.7'de motorun benzinde çalışması süresince elde edilen SB/R su giriş-çıkış sıcaklıkları ile bu sıcaklığın SB/R'ye bırakmış olduğu ısının zamana bağlı olarak değişimleri görülmektedir. Motorun yarım gazda çalışmasında ısınarak rejim sıcaklığına ulaşması yaklaşık 500 s'de gerçekleşmektedir. Bu süre rölanti çalışmasında motorun rejim sıcaklığına ulaşma süresinin yaklaşık beşte birine, çeyrek gazda ulaşma süresinin ise yarısına tekabül etmektedir. 500 s boyunca SB/R su giriş-çıkışındaki sıcaklık farkı LPG akışı olmadığı için (LPG ısı çekmiyor) çok az değişmektedir (su giriş-çıkış sıcaklık eğrileri neredeyse üst üste). Motor soğutma sisteminin termostatı yaklaşık 78°C'de açıldığı için SB/R sıcaklıkları bu sıcaklık bölgesinde en yüksek değerine ulaşmakta ve sabit kalmaktadır. Motor hızının yüksek olması nedeniyle SB/R'deki motor soğutma suyu sıcaklığı anlık olarak 80°C mertebelerini geçebilmektedir. Motorun yarım gaz kelebeği açıklığında benzinde çalışması deneyleri SB/R su giriş sıcaklığının bir müddet sabit kalmasıyla bitirilmiştir. Süreç boyunca SB/R'nin içerisinde dolaşan motor soğutma suyundan çektiği ısı miktarı 0,2 kW civarında seyretmektedir. SB/R içerisinde dolaşarak sistemi terk eden motor soğutma suyunun bıraktığı bu ısı SB/R ünitesi

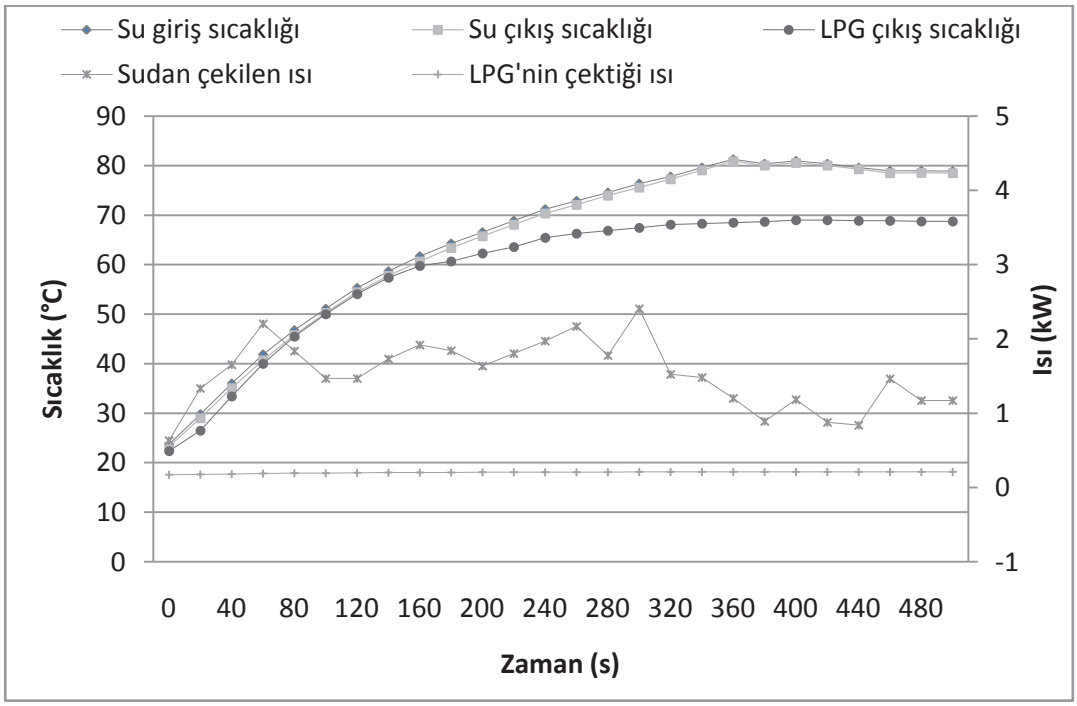
tarafından emilmektedir. SB/R'nin çevresine yapılan ısı yalıtımı sayesinde ısı kaybına uğramadığı kabul edilmektedir. Isının motor soğutma suyundan SB/R'ye geçiş işlemi zaman zaman tersine dönmekte (ısınan SB/R'den motor soğutma suyuna ısı aktarılmakta) bu da sudan çekilen ısı değerlerinin anlık olarak negatife düşmesine neden olmaktadır. Benzinde çalışma nedeniyle, süreç boyunca LPG akışı olmadığından LPG ısı çekmemektedir.



Şekil 4.7 SB/R sıcaklık ve ısı değişimleri (Motor yarım gazda benzinle çalışıyor)

Motorun LPG'ye geçmesi durumunda ise SB/R'deki LPG akışı başlamakta ve LPG'nin buharlaşırken soğuttuğu SB/R ünitesi motor soğutma suyunun akışı ile ısıtılmaktadır. Şekil 4.8'de motorun yarım gazda LPG'de çalışması süresince elde edilen SB/R su giriş-çıkış sıcaklıkları, bu sıcaklıkların SB/R'ye bırakmış olduğu ısı ve LPG çıkış sıcaklığı ile LPG'nin SB/R'den çektiği ısının zamana bağlı olarak değişimleri görülmektedir. Motorun yarım gaz çalışmasında ısınarak rejim sıcaklığına ulaşması benzinde çalışmaya benzer şekilde yaklaşık 500 s'de gerçekleşmektedir. Bu süre boyunca SB/R su giriş-çıkışındaki sıcaklık değişimi LPG akışı olduğu için (LPG ısı çekiyor) benzinde çalışmaya göre farklılık göstermektedir (su giriş-çıkış sıcaklık eğrileri çatallaşıyor). Motor soğutma sisteminin termostatı yaklaşık 78°C'de açıldığı için SB/R sıcaklıkları bu sıcaklık bölgesinde en yüksek değerine ulaşmakta ve sabit kalmaktadır. Motor hızının yüksek olması nedeniyle SB/R'deki motor soğutma suyu sıcaklığı anlık

olarak 80°C mertebelerini geçebilmektedir. Motorun yarım gazda LPG'de çalışması deneyleri SB/R su giriş sıcaklığının bir müddet sabit kalmasıyla bitirilmiştir. Süreç boyunca SB/R'nin içerisinde dolaşan motor soğutma suyundan çektiği ısı miktarı 1,6 kW civarında seyretmektedir. Bu ısı benzinde çalışmada elde edilen yaklaşık ortalama ısı değerinden 1,4 kW kadar fazladır. Buradaki ısı farkının temel nedeni SB/R'deki LPG akışıdır. SB/R'nin çevresine yapılan ısı yalıtımı sayesinde ısı kaybına uğramadığı kabul edilmektedir. LPG'nin giriş-çıkış hallerine bağlı olarak bulunan entalpi farklarına ve ortalama LPG kütlesel debisine göre bulunan LPG'nin çektiği anlık ısı değeri ortalama yaklaşık 0,2 kW civarında seyretmektedir. LPG'nin çektiği ısının çok fazla değişmemesi çalışmada kullanılan hesaplama yönteminden kaynaklanmaktadır. LPG'nin çektiği ısının hesabında kullanılan çıkıştaki entalpi değeri LPG'nin SB/R çıkışındaki basıncına ve sıcaklığına göre hesaplanmaktadır. SB/R çıkışındaki LPG'nin basıncı ortalama 0,1 MPa olmakta, sıcaklığı ise SB/R'nin motor soğutma suyu sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir. Motorun yarım gazda LPG'de çalışması durumu için SB/R çıkışındaki LPG sıcaklığı Şekil 4.8'de görüldüğü gibi değişmektedir. LPG sıcaklığının 160 s'lik bir sürede hızla 60°C'ye tırmandığı, sonrasında ise 440 s civarında 70°C'ye ulaşarak bu sıcaklıkta sabit kaldığı görülmektedir.



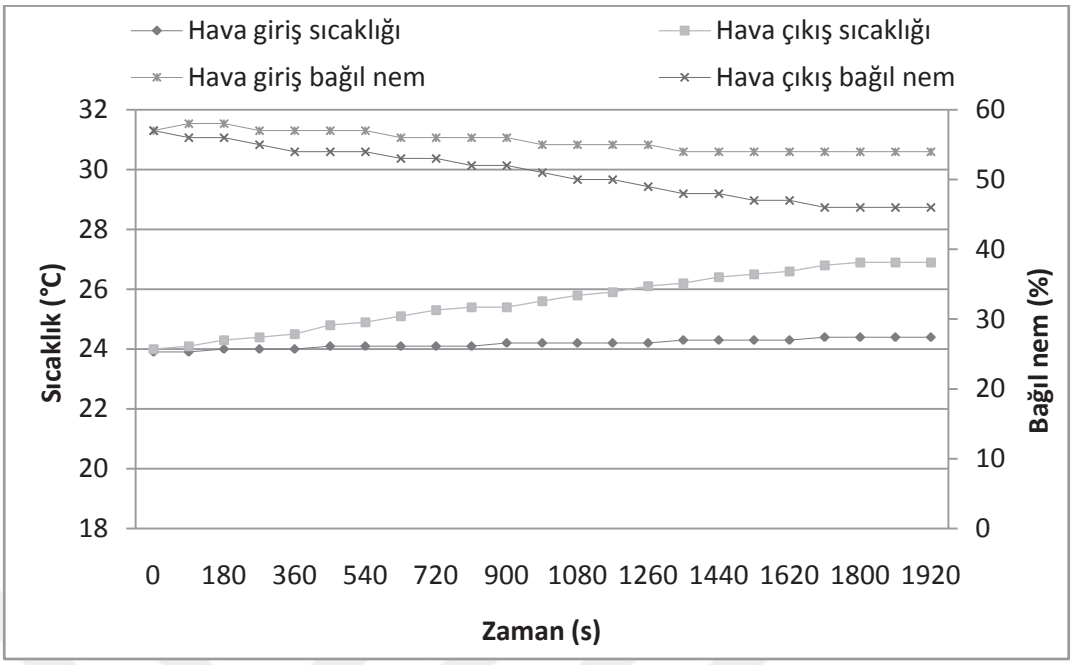
Şekil 4.8 SB/R sıcaklık ve ısı değişimleri (Motor yarım gazda LPG ile çalışıyor)

4.3. HB/R Analizinin Değerlendirilmesi

HB/R analizinde motorun çalışmadığı durum ile rölanti, çeyrek gaz ve yarım gaz kelebeği açıklıklarında LPG'de çalıştığı durumlar için, ortam havası ile ısıtılan LPG B/R'sinin giriş-çıkışındaki havanın hız, sıcaklık ve bağıl nem ölçümleri ile LPG çıkışındaki sıcaklığın ölçülmesi ve ölçüm değerlerine bağlı olarak havadan çekilen ısının, LPG'nin çektiği ısının, HB/R veriminin ve HB/R COP değerinin hesaplamaları yapılmıştır. Deney periyodunun belirlenmesi için tüm HB/R deneyleri gözlenmiş ve en uzun rejim durumuna gelme süresi baz alınarak bütün HB/R deneyleri karşılaştırma yapılabilmesi açısından aynı sürede bitirilmiştir. Bu süre yaklaşık 1900 s olarak gerçekleşmiştir.

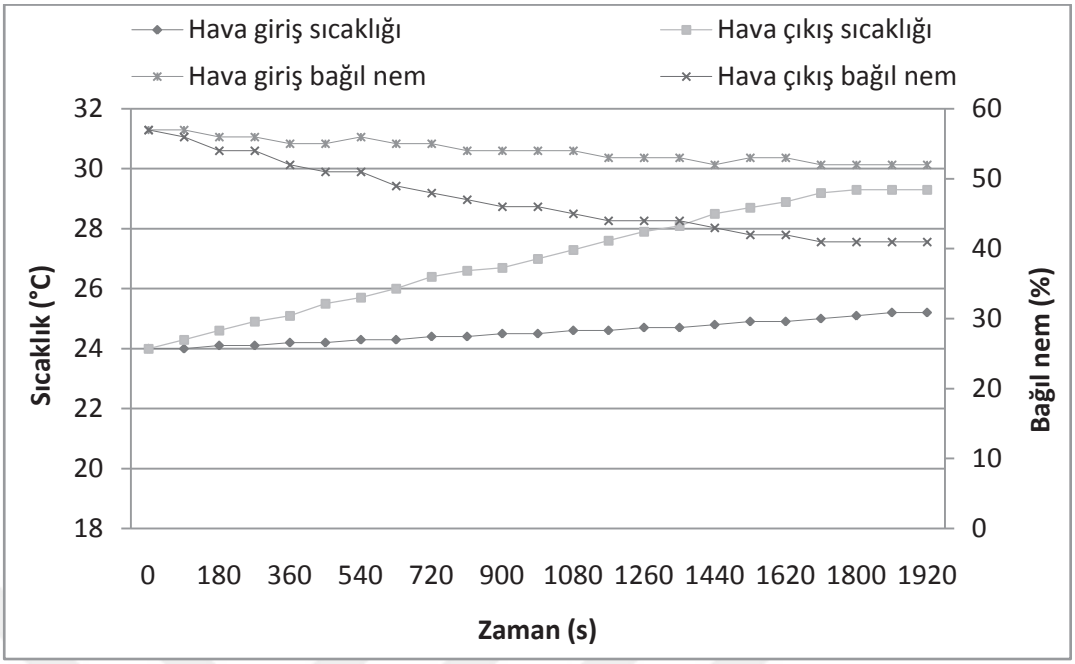
4.3.1. Motor Çalışmazken Yapılan HB/R Deneylerinde Sıcaklık, Bağıl Nem ve Isı Değişimleri

Bu deneylerde farklı hava hızlarında çalıştırılan HB/R'nin fandan kaynaklanan ısı kazancı hesaplanmak istenmiştir. Motorun çalışmadığı durumda LPG akışı olmadığından HB/R'den ısı çekilimi de olmayacaktır. Şekil 4.9'da 2,3 m/s hava hızında çalıştırılan HB/R'nin giriş-çıkışındaki hava sıcaklığı ve bağıl nem değerlerinin zamana bağlı olarak değişimi görülmektedir. Başlangıçta yaklaşık oda sıcaklığında (24°C) bulunan HB/R giriş ve çıkışındaki havanın sıcaklıkları arasındaki fark zamanla artmaktadır. HB/R ünitesi içerisinde yer alan fanın ürettiği ısı havaya geçmekte ve HB/R çıkışındaki hava sıcaklığının artmasına neden olmaktadır. Bu artış yaklaşık 1900 s sonunda 27°C'lere ulaşmaktadır. HB/R çıkışı ile girişi yalıtımlı bir hava deposuna bağlı olduğundan HB/R çıkış sıcaklığı giriş sıcaklığını az da olsa etkilemektedir. Bu etki, deney süresinin sonunda HB/R giriş sıcaklığının yaklaşık 0,5°C kadar artmasını sağlamıştır. HB/R fan ısısının havaya verilmesi sıcaklığın yükselmesini sağlarken bağıl nemin de düşmesine neden olmaktadır. Başlangıçta %57 civarında bulunan havanın bağıl nemi deney sonunda HB/R çıkışında %46'e, HB/R girişinde ise %54'ye kadar düşmektedir. Bağıl nem değerlerinin düşmesi sıcaklığın yükselmesi ve HB/R ünitesi içinde bulunan LPG'nin ısı çekmesi nedeniyle olmaktadır. Motor çalışmadığı için HB/R'de LPG akışı yoktur, fakat LPG valfi kapandığında içeride bir miktar LPG kalmaktadır.



Şekil 4.9 HB/R (2,3 m/s) sıcaklık ve bağıl nem değişimleri (Motor çalışmıyor)

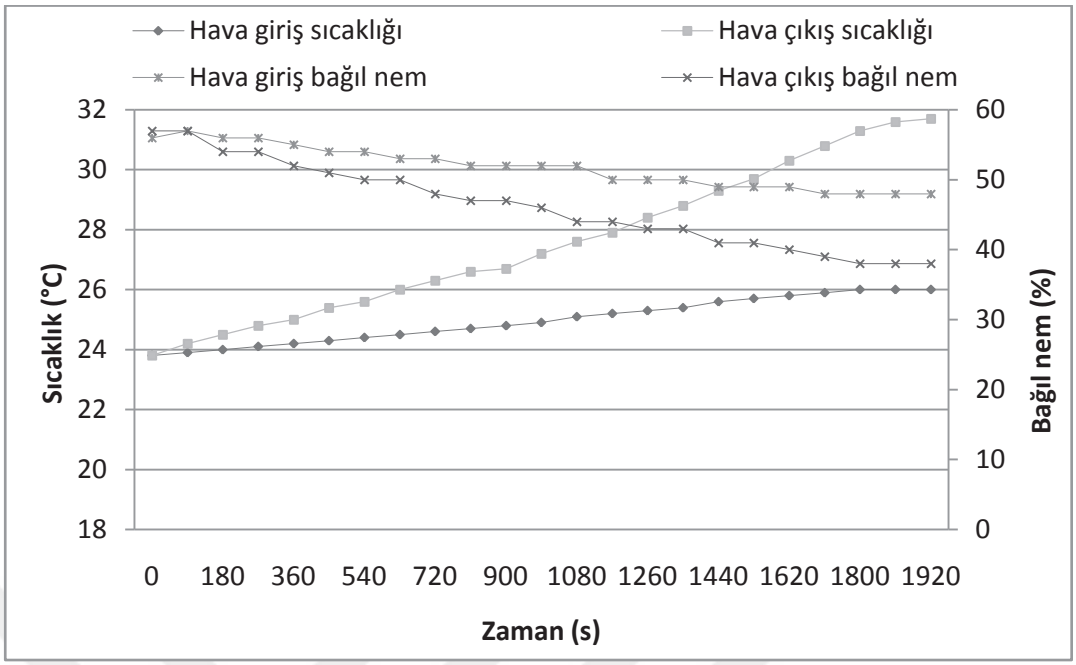
Şekil 4.10'da 3,5 m/s hava hızında çalıştırılan HB/R'nin giriş-çıkışındaki hava sıcaklığı ve bağıl nem değerlerinin zamana bağlı olarak değişimi görülmektedir. Başlangıçta yaklaşık oda sıcaklığında (24°C) bulunan HB/R giriş ve çıkışındaki havanın sıcaklıkları arasındaki fark zamanla artmaktadır. HB/R ünitesi içerisinde yer alan fanın ürettiği ısı havaya geçmekte ve HB/R çıkışındaki hava sıcaklığının artmasına neden olmaktadır. Hava hızının artırabilmek için HB/R fanı daha fazla akım çektiği ve doğru orantılı olarak daha fazla ısı ürettiği için bu artış 2,3 m/s hava hızına göre daha fazla olmaktadır. Yaklaşık 1900 s sonunda HB/R çıkışındaki hava sıcaklığı 29°C'ye, HB/R girişinde ise 25°C'ye ulaşmaktadır. Başlangıçta %57 civarında bulunan havanın bağıl nemi deney sonunda HB/R çıkışında %41'e, HB/R girişinde ise %52'ye kadar düşmektedir.



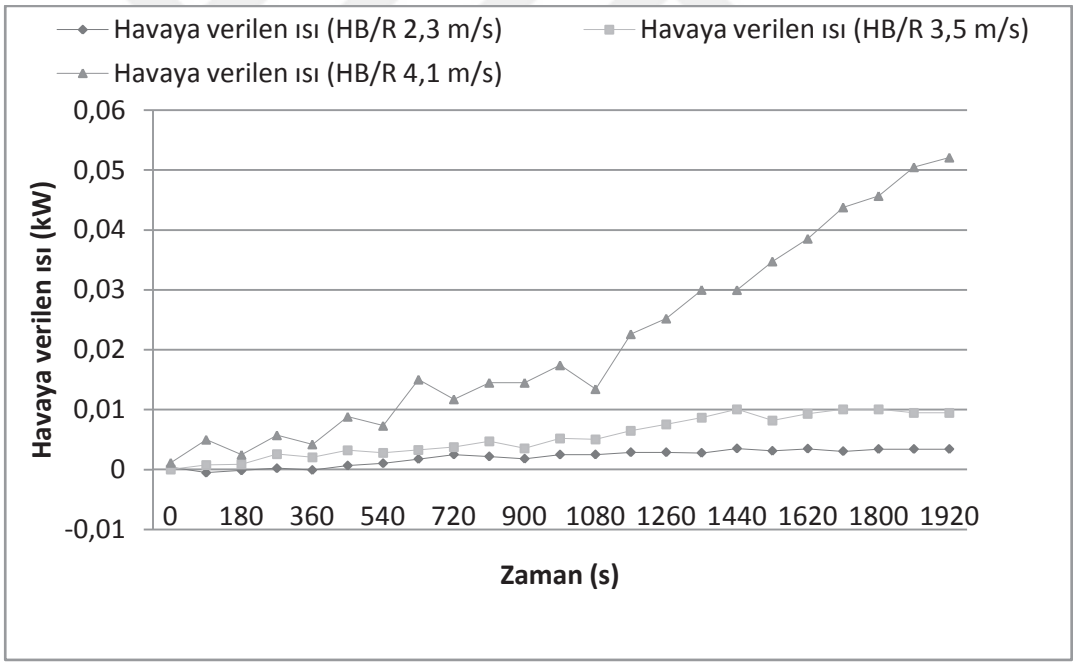
Şekil 4.10 HB/R (3,5 m/s) sıcaklık ve bağıl nem değişimleri (Motor çalışmıyor)

Şekil 4.11'de 4,1 m/s hava hızında çalıştırılan HB/R'nin giriş-çıkışındaki hava sıcaklığı ve bağıl nem değerlerinin zamana bağlı olarak değişimi görülmektedir. Başlangıçta yaklaşık oda sıcaklığında (24°C) bulunan HB/R giriş ve çıkışındaki havanın sıcaklıkları arasındaki fark zamanla artmaktadır. Bu artış 2,3 m/s ve 3,5 m/s hava hızlarına göre daha fazla olmaktadır. Yaklaşık 1900 s sonunda HB/R çıkışındaki hava sıcaklığı yaklaşık 32°C'ye, HB/R girişinde ise 26°C'ye ulaşmaktadır. Başlangıçta %57 civarında bulunan havanın bağıl nemi ise deney sonunda HB/R çıkışında %38'e, HB/R girişinde ise %48'e kadar düşmektedir.

Motorun çalışmadığı (LPG akışının olmadığı) durum için HB/R'de 2,3 m/s, 3,5 m/s ve 4,1 m/s hava hızlarında yapılan deneylerden elde edilen sıcaklık ve bağıl nem değerlerine göre elde edilen ısı değişim grafikleri Şekil 4.12'de görülmektedir. 2,3 m/s hava hızında HB/R ünitesinde havaya verilen ısı yaklaşık 4 W civarında seyrederken, 3,5 m/s hava hızına çıkıldığında 10 W'lara kadar ulaştığı görülmektedir. HB/R ünitesi tarafından havaya verilen ısının en yüksek olduğu durum 4,1 m/s hava hızında gerçekleşmektedir. Bu durumda HB/R fanının güç tüketimi en yüksek değeri almakta ve dolayısıyla ısı üretimi de en yüksek çıkmaktadır. 4,1 m/s hava hızında HB/R tarafından havaya verilen ısı deney sonunda 50 W'ı geçmektedir.



Şekil 4.11 HB/R (4,1 m/s) sıcaklık ve bağıl nem değişimleri (Motor çalışmıyor)

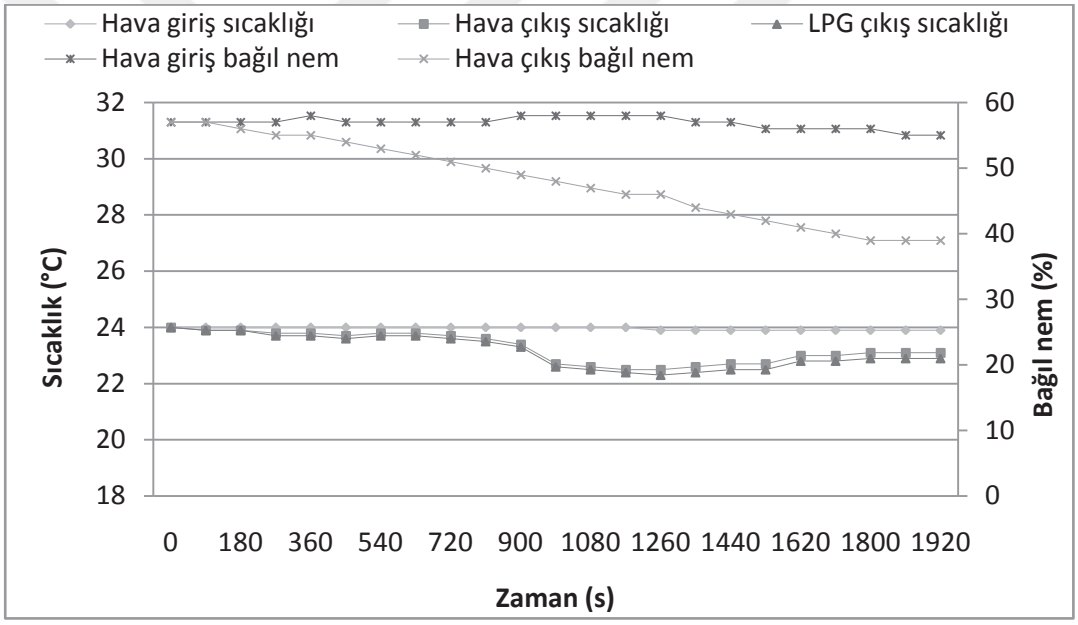


Şekil 4.12 HB/R ısı değişimleri (Motor çalışmıyor)

4.3.2. Hava Hızının 2,3 m/s Olduğu HB/R Deneylerinde Sıcaklık, Bağıl Nem, Isı, Verim ve COP Değişimleri

Hava hızının 2,3 m/s olduğu ve motorun rölanti hızında çalıştığı durum için HB/R giriş ve çıkışındaki hava sıcaklık ve nem değerleri ile LPG çıkış sıcaklıkları Şekil 4.13'te verilmektedir. Başlangıçta 24°C civarında olan HB/R hava giriş sıcaklığı çok az

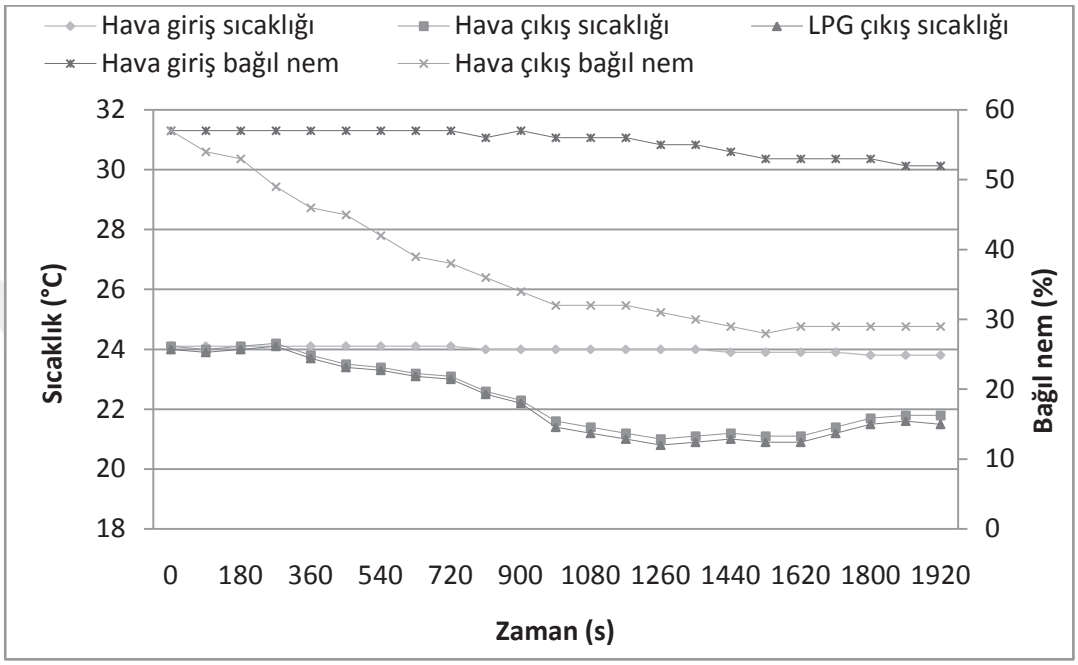
düşmekte ve deney sonunda 24°C'in çok az altında bulunmaktadır. Hava çıkış sıcaklığı ise 22°C'nin biraz üzerine kadar gerilemektedir. Bağıl neme bakıldığında başlangıçta %57 iken, deney sonunda girişte %55'e, çıkışta ise %39'a kadar bir düşüş gözlenmektedir. Bağıl nemin zamanla azalması hem sıcaklıktaki düşüşten hem de içerisinde LPG akışı olan HB/R'nin soğuyarak bir miktar nemi üzerine almasından kaynaklanmaktadır. LPG çıkış sıcaklığı SB/R'deki 70°C'ye kadar sürekli artış durumundan farklı olarak HB/R'de zamanla düşmekte, 1200 s civarında 22°C'ye yaklaşmakta, daha sonra 1600 s civarında toparlanarak 23°C civarında sabit kalmaktadır. LPG çıkış sıcaklığı değerleri hava çıkış sıcaklığı ile deney süresince benzerlik göstermektedir. LPG çıkış sıcaklığı HB/R çıkışındaki havanın sıcaklığını doğrudan etkilemektedir.



Şekil 4.13 HB/R (2,3 m/s) sıcaklık ve bağıl nem değişimleri (Motor rölantide çalışıyor)

Hava hızının 2,3 m/s olduğu ve motorun çeyrek gazda çalıştığı durum için HB/R giriş ve çıkışındaki hava sıcaklık ve nem değerleri ile LPG çıkış sıcaklıkları Şekil 4.14'te verilmektedir. Başlangıçta 24°C civarında olan HB/R hava giriş sıcaklığı çok az düşmekte ve deney sonunda 24°C'in biraz altında bulunmaktadır. Hava çıkış sıcaklığı ise 21°C'ye kadar inmektedir. Bağıl neme bakıldığında girişte %52'e, çıkışta ise %29'a kadar bir düşüş gözlenmektedir. Hava sıcaklığı ve bağıl nemin rölantiye göre daha düşük seviyelere inmesi çeyrek gazda LPG akışının artmasından ve HB/R'nin daha fazla soğuyarak daha fazla ısıyı ve nemi üzerine almasından kaynaklanmaktadır. LPG

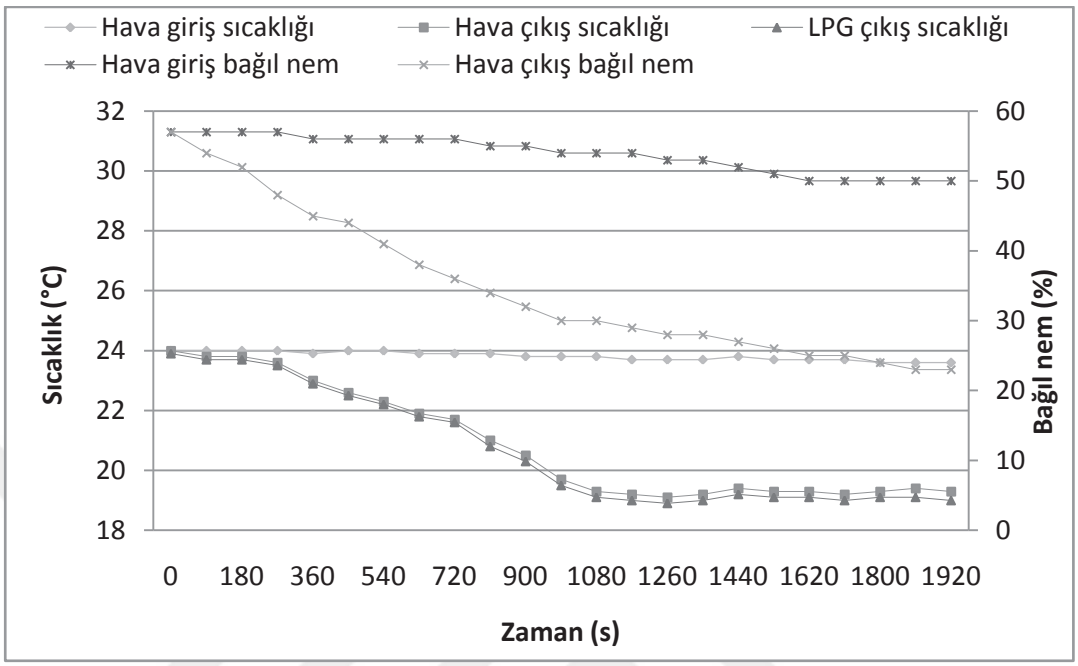
çıkış sıcaklığı zamanla düşmekte, 1000 s civarında 20°C'ye yaklaşmakta, daha sonra 1800 s civarında toparlanarak 22°C civarında sabit kalmaktadır. LPG çıkış sıcaklığı değerleri hava çıkış sıcaklığı değerlerini deney süresince küçük bir miktar düşüşle takip etmektedir. LPG çıkış sıcaklığı HB/R çıkışındaki havanın sıcaklığını doğrudan etkilemektedir.



Şekil 4.14 HB/R (2,3 m/s) sıcaklık ve bağıl nem değişimleri (Motor çeyrek gazda çalışıyor)

Hava hızının 2,3 m/s olduğu ve motorun yarım gazda çalıştığı durum için HB/R giriş ve çıkışındaki hava sıcaklık ve nem değerleri ile LPG çıkış sıcaklıkları Şekil 4.15'te verilmektedir. Başlangıçta 24°C civarında olan HB/R hava giriş sıcaklığı çok az düşmekte ve deney sonunda 24°C'in biraz altında bulunmaktadır. Hava çıkış sıcaklığı ise 1100 s'ye kadar 19°C'nin altına kadar inmekte, sonrasında bu sıcaklık civarında sabit kalmaktadır. Bağıl neme bakıldığında girişte %50'ye, çıkışta ise %24'e kadar bir düşüş gözlenmektedir. Bağıl nemdeki düşüş girişte 1620 s, çıkışta 1890 s civarına kadar sürmekte, sonrasında sabit kalmaktadır. Hava sıcaklığı ve bağıl nemin rölanti ve çeyrek gaza göre daha düşük seviyelere inmesi yarım gazda LPG akışının artmasından ve HB/R'nin daha fazla soğuyarak daha fazla ısıyı ve nemi üzerine almasından kaynaklanmaktadır. LPG çıkış sıcaklığı zamanla düşmekte, 1250 s civarında 19°C'nin altına inmekte, daha sonra toparlanarak 19°C civarında sabit kalmaktadır. LPG çıkış

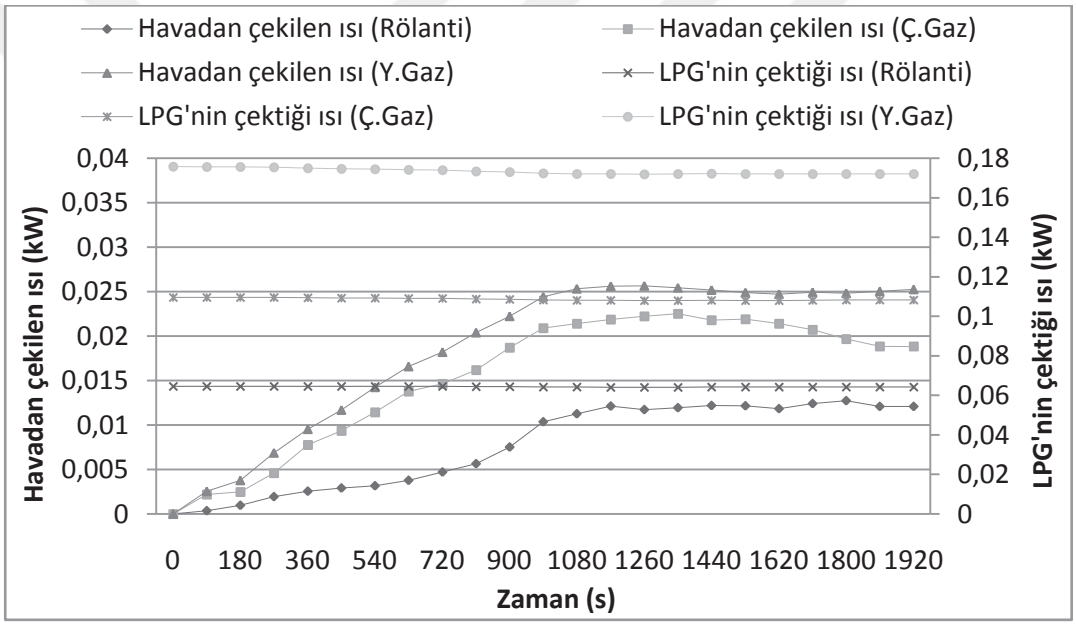
sıcaklığı değerlerinin hava çıkış sıcaklığı değerleri ile benzerliği motorun yarım gazda çalıştırılması deneylerinde de aynı şekilde devam etmektedir.



Şekil 4.15 HB/R (2,3 m/s) sıcaklık ve bağıl nem değişimleri (Motor yarım gazda çalışıyor)

HB/R'nin 2,3 m/s hava hızında motorun rölanti, çeyrek gaz ve yarım gaz durumları için havadan çekilen ve LPG'nin çektiği ısıların zamana göre değişimleri Şekil 4.16'da görülmektedir. Grafikte meydana gelen değişikliklerin daha ayrıntılı görülebilmesi için iki farklı ısı ölçeği kullanılmıştır. Isı ölçeklerindeki en yüksek değerler 3,5 m/s ve 4,1 m/s hızlardaki HB/R deneyleri de dikkate alınarak, karşılaştırma yapılabilmesi için aynı maksimum değerlere göre düzenlenmiştir. Havadan çekilen ısı motorun rölanti hızında 1100 s civarında 12 W mertebelerine ulaşmakta ve ufak değişikliklerle bu civarda sabit kalmaktadır. Motorun çeyrek gazla çalışması rölantiye göre daha fazla LPG akışını doğuracağından HB/R'de havadan çekilen ısının artmasını sağlamaktadır. Çeyrek gaz durumunda havadan çekilen ısı artarak 1300 s civarında 22 W'a ulaşmakta, 1600 s'ye kadar küçük değişikliklerle sabit kalmakta ve 1600 s sonrasında azalarak 18 W'a kadar inmektedir. Havadan çekilen ısının yarım gaz durumundaki değişimi ise 1100 s'ye, 22 W'ın biraz üzerine kadar bir artış ve deney sonuna kadar ufak değişimlerle sabit kalma şeklinde gerçekleşmektedir. Grafikten anlaşıldığı gibi rölantiye göre çeyrek gazda havadan çekilen ısı büyük oranda bir artış

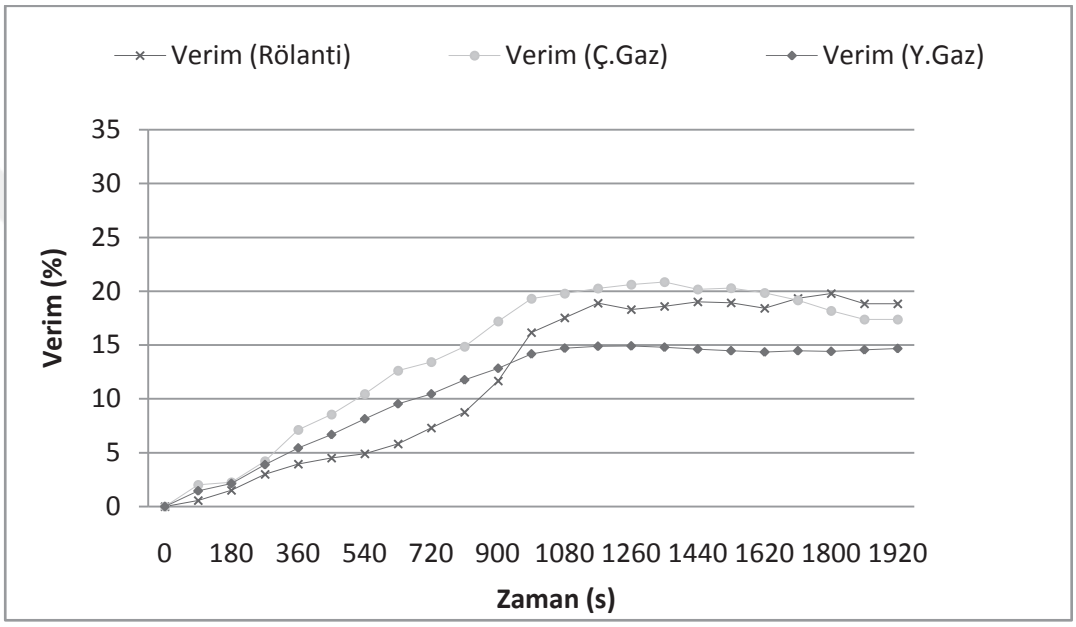
gösterirken, çeyrek gaz durumuna göre yarım gaz durumunda daha küçük bir artış oranı göze çarpmaktadır. HB/R'de buharlaştırılarak motorda yanmaya giden LPG'nin çektiği ısı değişim grafiklerine bakıldığında daha sabit değerler görülmektedir. Bunda LPG çektiği ısının hesabında kullanılan yöntem önemli bir rol oynamaktadır. LPG'nin çektiği ısının hesabında en önemli faktör LPG'nin kütlesel debisidir. LPG'nin kütlesel debisi üç farklı motor devri için LPG tankının başlangıçta ve bitişte hassas terazi ile tartılması yöntemiyle belirlenmiştir. Her motor devri için LPG akışı süreç boyunca sabit kabul edilmiştir. LPG'nin çektiği ısı rölantide 70 W, çeyrek gazda 110 W ve yarım gazda 170 W civarında seyretmektedir. LPG'nin çektiği ısının havadan çekilen ısıdan yüksek oluşu LPG'nin soğutucu etkisinden tam olarak yararlanılamadığını göstermektedir.



Şekil 4.16 HB/R (2,3 m/s) ısı değişimleri

2,3 m/s hava hızında motorun rölanti, çeyrek gaz ve yarım gaz durumları için HB/R verimlerinin zamana göre değişimleri Şekil 4.17'de görülmektedir. Verim ölçeklerindeki en yüksek değerler 3,5 m/s ve 4,1 m/s hızlardaki HB/R deneyleri de dikkate alınarak, karşılaştırma yapılabilmesi için aynı maksimum değerlere göre düzenlenmiştir. HB/R verimi havadan çekilen ısının LPG'nin maksimum çekebileceği ısıya yüzde olarak oranını göstermektedir. Motorun rölanti hızında verim 1100 s'ye kadar artmakta ve yaklaşık %18 civarında sabit kalmaktadır. Çeyrek gaz durumunda verim 1200 s civarında %20'nin üzerinde bir değere kadar artmakta, sonrasında 1650 s civarına kadar sabit kalmakta ve bu saniyeden itibaren %17 civarına kadar bir miktar

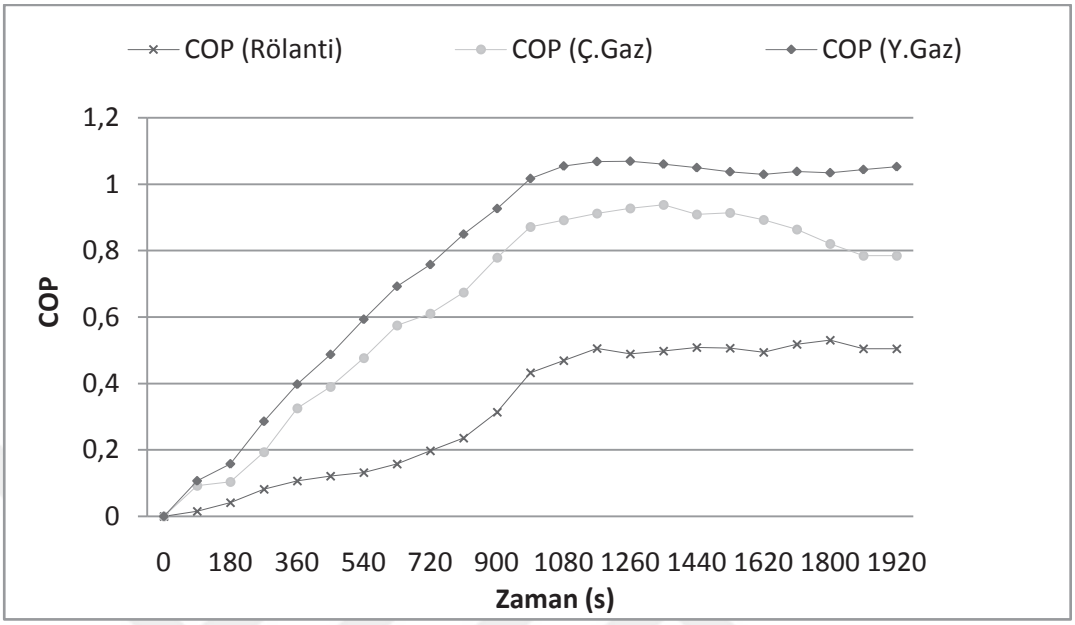
düşmektedir. Genel olarak bakıldığında HB/R ünitesinin en verimli çalıştığı motor hızı çeyrek gaz durumunda gerçekleşmektedir. Yarım gaz durumunda ise verim daha kararlı bir yol izlemekle beraber toplamda en düşük verim değerlerine sahip olmaktadır. 1200 s civarına kadar sürekli artan yarım gaz durumundaki verim, bu süreden sonra küçük dalgalanmalarla sabit kalmaktadır. Rölanti durumundaki HB/R verimi başlangıçta en düşük seviyede artış gösterirken 900 s geçildiğinde yarım gaz durumundaki HB/R verimini geçmektedir.



Şekil 4.17 HB/R (2,3 m/s) verim değişimleri

Soğutma sistemlerinde COP ifadesi soğutma tesir katsayısını gösteren önemli bir göstergedir. Bir soğutma sisteminde soğutulması gereken ortamdan çekilen ısının bu işlemi yaparken harcanan enerjiye bölünmesinden elde edilmektedir. 2,3 m/s hava hızında HB/R sistemine ait COP değerlerinin farklı motor hızları için zamana bağlı değişimleri Şekil 4.18'de görülmektedir. En düşük COP motorun rölanti hızında, en yüksek COP ise yarım gaz durumunda elde edilmiştir. Rölanti durumunda COP 800 s'ye kadar düşük oranda artarken 800-1000 s aralığında yüksek oranda artmakta ve yaklaşık 0,5 değerine ulaşmaktadır. Rölanti durumunda COP yaklaşık 0,5 değerinde sabit kalmaktadır. Çeyrek gaz durumunda COP 1400 s civarına kadar artmakta, bir müddet 0,9 değerinde sabit kalmakta, sonrasında ise küçük değişimlerle azalarak 0,8 değerine ulaşmaktadır. Yarım gaz durumunda COP değeri ise 1100 s'de 1 değerine

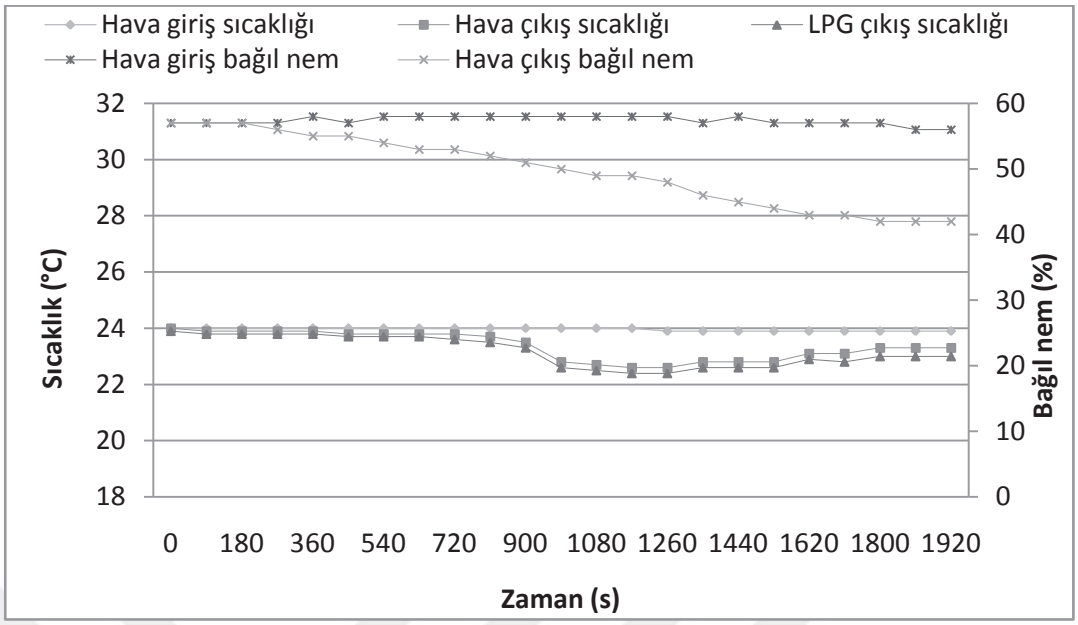
geçmekte ve 1'in altına inmeksizin deney sonuna kadar küçük değişimlerle sabit kalmaktadır.



Şekil 4.18 HB/R (2,3 m/s) COP değişimleri

4.3.3. Hava Hızının 3,5 m/s Olduğu HB/R Deneylerinde Sıcaklık, Bağıl Nem, Isı, Verim ve COP Değişimleri

Hava hızının 3,5 m/s olduğu ve motorun rölanti hızında çalıştığı durum için HB/R giriş ve çıkışındaki hava sıcaklık ve nem değerleri ile LPG çıkış sıcaklıkları Şekil 4.19'da verilmektedir. Başlangıçta 24°C civarında olan HB/R hava giriş sıcaklığı çok az düşmekte ve deney sonunda 24°C'in çok az altında bulunmaktadır. Hava çıkış sıcaklığı ise 22°C'nin biraz üzerine kadar gerilemektedir. Bağıl neme bakıldığında başlangıçta %57 iken, deney sonunda girişte %56'ya, çıkışta ise %42'ye kadar bir düşüş gözlenmektedir. 3,5 m/s hava hızında sıcaklık ve bağıl nem değerleri 2,3 m/s hava hızında elde edilen değerlerle karşılaştırıldığında hava hızının artmasıyla inilebilen sıcaklık ve bağıl nem derecelerinin yükseldiği görülmektedir. Bunun sebebi hava hızının artmasıyla HB/R'den geçen hava miktarının artması olarak söylenebilir. LPG çıkış sıcaklığı 900 s'ye kadar sabit kalmakta, daha sonra bir miktar düşerek 1600 s'ye kadar değişmemekte ve sonrasında bir miktar yükselerek 23°C civarında sabit kalmaktadır. LPG çıkış sıcaklığı hava çıkış sıcaklığı ile benzerlik göstermekte, LPG çıkış sıcaklığı deney süresince hava çıkış sıcaklığının bir miktar altında seyretmektedir.

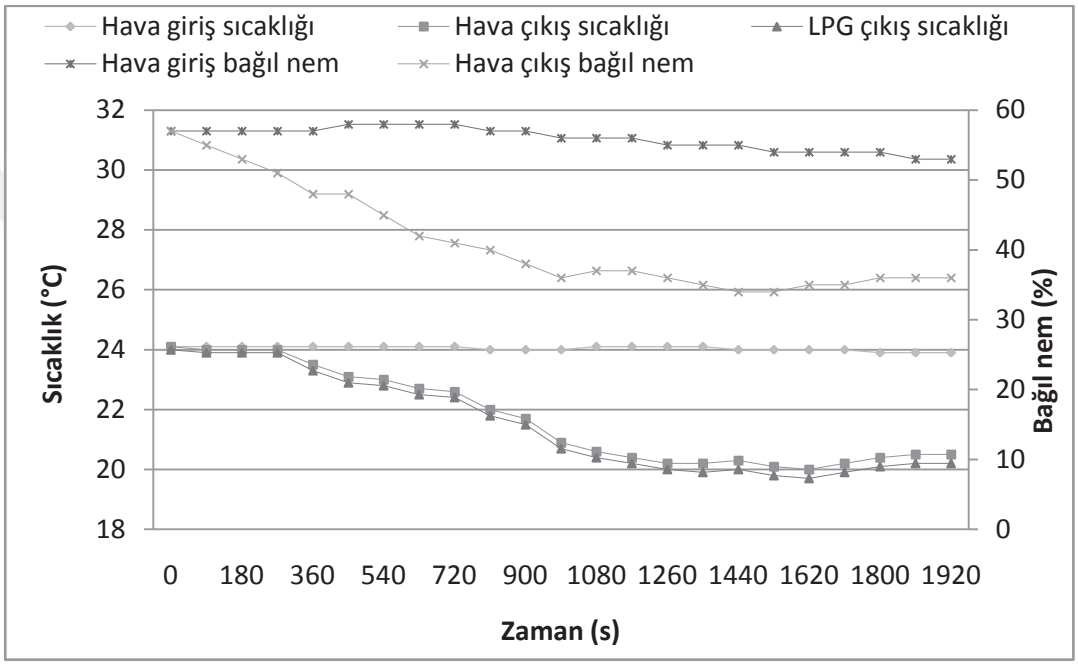


Şekil 4.19 HB/R (3,5 m/s) sıcaklık ve bağıl nem değişimleri (Motor rölantide çalışıyor)

Hava hızının 3,5 m/s olduğu ve motorun çeyrek gazda çalıştığı durum için HB/R giriş ve çıkışındaki hava sıcaklık ve nem değerleri ile LPG çıkış sıcaklıkları Şekil 4.20'de verilmektedir. Başlangıçta 24°C civarında olan HB/R hava giriş sıcaklığı çok az düşmekte ve deney sonunda 24°C'in biraz altında bulunmaktadır. Hava çıkış sıcaklığı ise 20°C'ye kadar inmektedir. Bağıl neme bakıldığında girişte %52'e, çıkışta ise %29'a kadar bir düşüş gözlenmektedir. Hava sıcaklığı ve bağıl nemin rölantiye göre daha düşük seviyelere inmesi çeyrek gazda LPG akışının artmasından ve HB/R'nin daha fazla soğuyarak daha fazla ısıyı ve nemi üzerine almasından kaynaklanmaktadır. LPG çıkış sıcaklığı zamanla düşmekte, 1000 s civarında 20°C'ye yaklaşmakta, daha sonra 1800 s civarında toparlanarak 22°C civarında sabit kalmaktadır. LPG çıkış sıcaklığı hava çıkış sıcaklığı ile benzerlik göstermekte, LPG çıkış sıcaklığı deney süresince hava çıkış sıcaklığının bir miktar altında seyretmektedir.

Hava hızının 3,5 m/s olduğu ve motorun yarım gazda çalıştığı durum için HB/R giriş ve çıkışındaki hava sıcaklık ve nem değerleri ile LPG çıkış sıcaklıkları Şekil 4.21'de verilmektedir. Başlangıçta 24°C civarında olan HB/R hava giriş sıcaklığı çok az düşmekte ve deney sonunda 24°C'in biraz altında bulunmaktadır. Hava çıkış sıcaklığı ise 1100 s'ye kadar 19°C'nin altına kadar inmekte, sonrasında bu sıcaklık civarında sabit kalmaktadır. Bağıl neme bakıldığında girişte %50'ye, çıkışta ise %24'e kadar bir düşüş gözlenmektedir. Bağıl nemdeki düşüş girişte 1620 s, çıkışta 1890 s civarına kadar

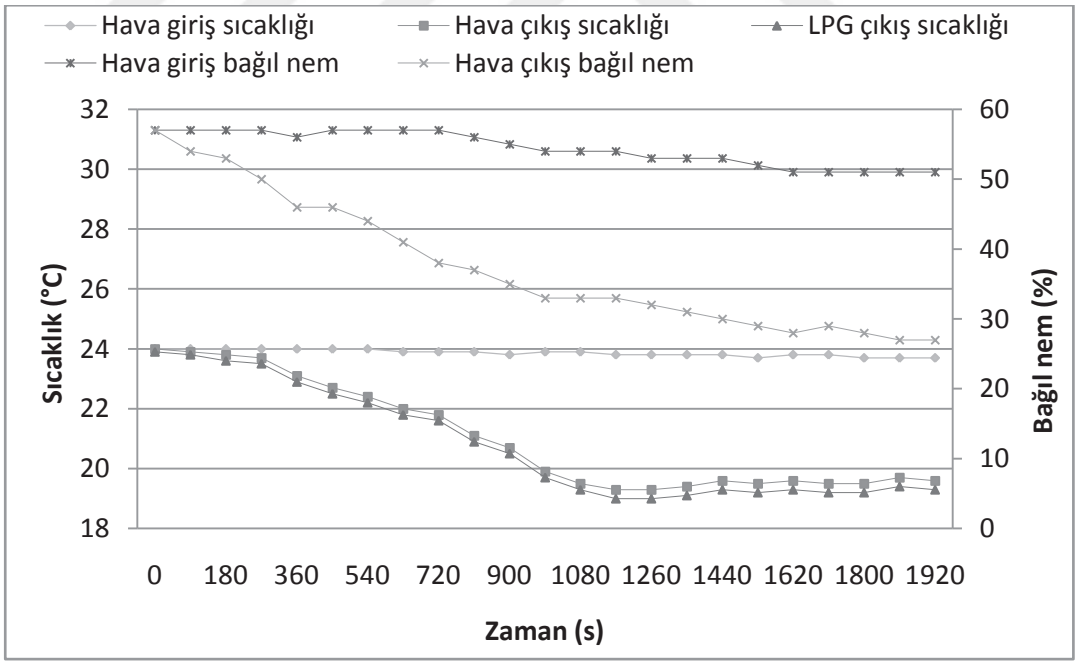
sürmekte, sonrasında sabit kalmaktadır. Hava sıcaklığı ve bağıl nemin rölanti ve çeyrek gaza göre daha düşük seviyelere inmesi yarım gazda LPG akışının artmasından ve HB/R'nin daha fazla soğuyarak daha fazla ısıyı ve nemi üzerine almasından kaynaklanmaktadır. LPG çıkış sıcaklığı zamanla düşmekte, 1250 s civarında 19°C'nin altına inmekte, daha sonra toparlanarak 19°C civarında sabit kalmaktadır. LPG çıkış sıcaklığı hava çıkış sıcaklığı ile benzerlik göstermekte, LPG çıkış sıcaklığı deney süresince hava çıkış sıcaklığının bir miktar altında seyretmektedir.



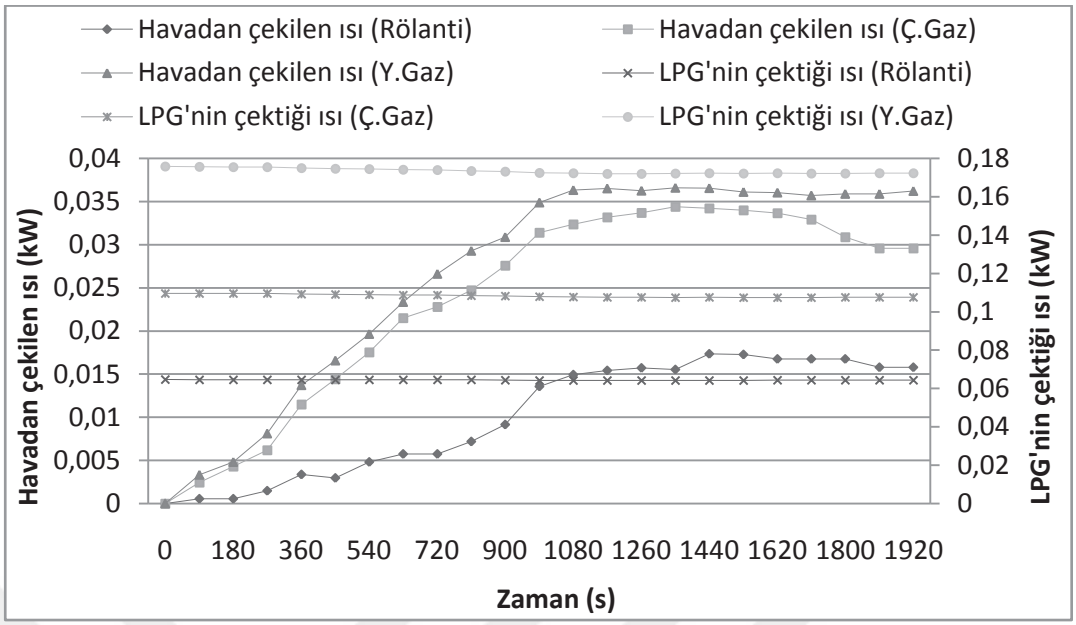
Şekil 4.20 HB/R (3,5 m/s) sıcaklık ve bağıl nem değişimleri (Motor çeyrek gazda çalışıyor)

HB/R'nin 3,5 m/s hava hızında motorun rölanti, çeyrek gaz ve yarım gaz durumları için havadan çekilen ve LPG'nin çektiği ısıların zamana göre değişimleri Şekil 4.22'de görülmektedir. Grafikte meydana gelen değişikliklerin daha ayrıntılı görülebilmesi için iki farklı ısı ölçeği kullanılmıştır. Isı ölçeklerindeki en yüksek değerler 3,5 m/s ve 4,1 m/s hızlardaki HB/R deneyleri de dikkate alınarak, karşılaştırma yapılabilmesi için aynı maksimum değerlere göre düzenlenmiştir. Havadan çekilen ısı motorun rölanti hızında 1100 s civarında 12 W mertebelerine ulaşmakta ve ufak değişikliklerle bu civarda sabit kalmaktadır. Motorun çeyrek gazla çalışması rölantiye göre daha fazla LPG akışını doğuracağından HB/R'de havadan çekilen ısının artmasını sağlamaktadır. Çeyrek gaz durumunda havadan çekilen ısı artarak 1300 s civarında 22

W'a ulaşmakta, 1600 s'ye kadar küçük değişikliklerle sabit kalmakta ve 1600 s sonrasında azalarak 18 W'a kadar inmektedir. Havadan çekilen ısının yarım gaz durumundaki değişimi ise 1100 s'ye, 22 W'ın biraz üzerine kadar bir artış ve deney sonuna kadar ufak değişimlerle sabit kalma şeklinde gerçekleşmektedir. Grafikten anlaşıldığı gibi rölantiye göre çeyrek gazda havadan çekilen ısı büyük oranda bir artış gösterirken, çeyrek gaz durumuna göre yarım gaz durumunda daha küçük bir artış oranı göze çarpmaktadır. HB/R'de buharlaştırılarak motorda yanmaya giden LPG'nin çektiği ısı değişim grafiklerine bakıldığında daha sabit değerler görülmektedir. Bunda LPG çektiği ısının hesabında kullanılan yöntem önemli bir rol oynamaktadır. LPG'nin çektiği ısının hesabında en önemli faktör LPG'nin kütlesel debisidir. LPG'nin kütlesel debisi üç farklı motor devri için LPG tankının başlangıçta ve bitişte hassas terazi ile tartılması yöntemiyle belirlenmiştir. Her motor devri için LPG akışı süreç boyunca sabit kabul edilmiştir. LPG'nin çektiği ısı rölantide 70 W, çeyrek gazda 110 W ve yarım gazda 170 W civarında seyretmektedir. LPG'nin çektiği ısının havadan çekilen ısıdan yüksek oluşu LPG'nin soğutucu etkisinden tam olarak yararlanılamadığını göstermektedir.

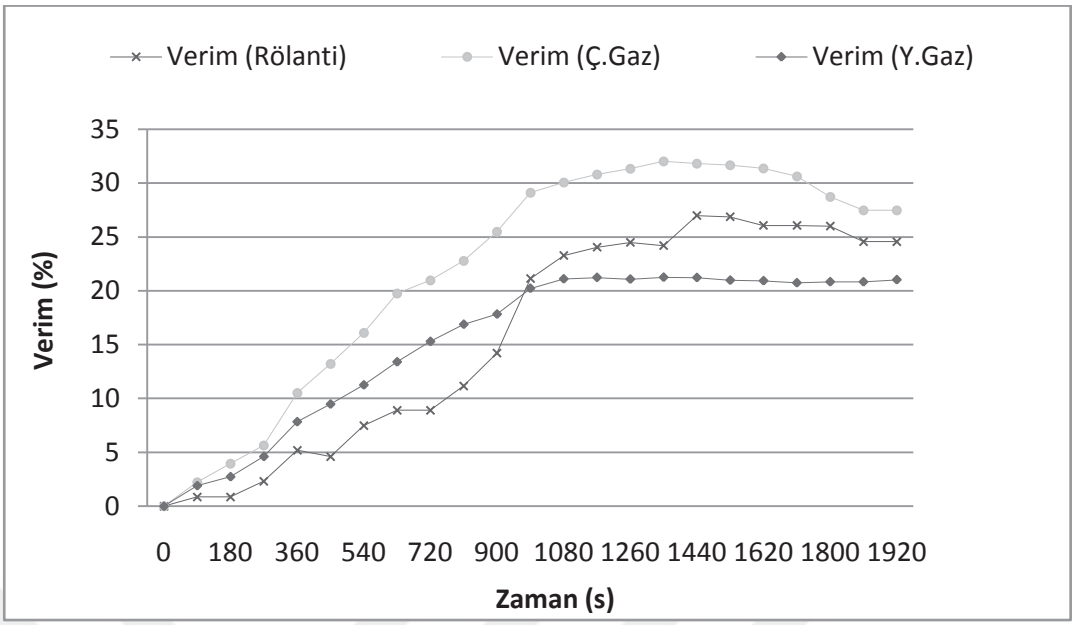


Şekil 4.21 HB/R (3,5 m/s) sıcaklık ve bağıl nem değişimleri (Motor yarım gazda çalışıyor)



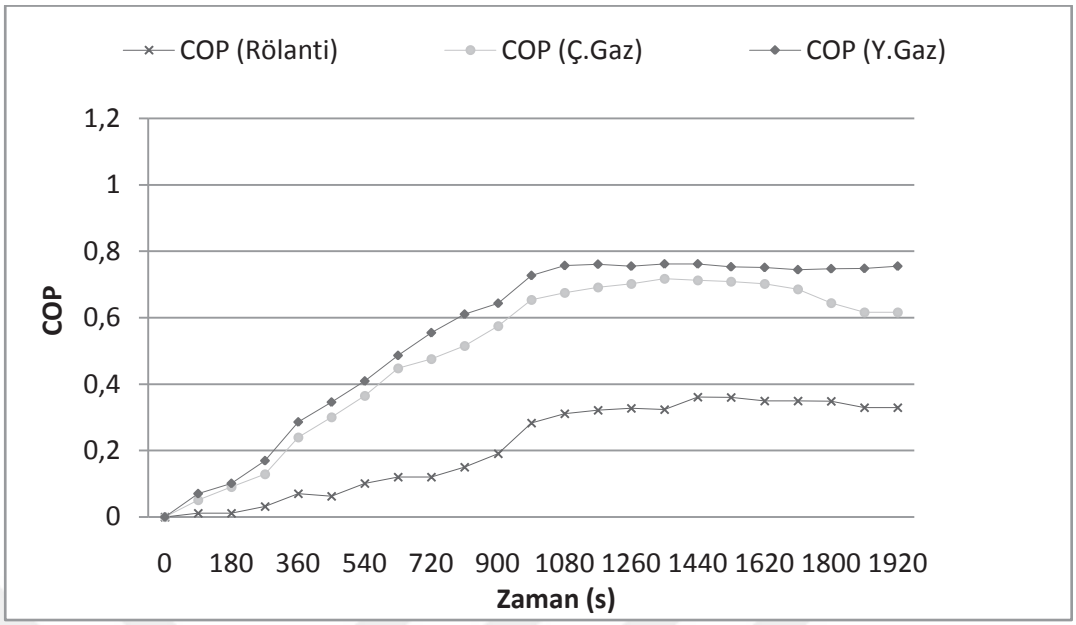
Şekil 4.22 HB/R (3,5 m/s) ısı değişimleri

3,5 m/s hava hızında motorun rölanti, çeyrek gaz ve yarım gaz durumları için HB/R verimlerinin zamana göre değişimleri Şekil 4.23'te görülmektedir. Verim ölçeklerindeki en yüksek değerler 3,5 m/s ve 4,1 m/s hızlardaki HB/R deneyleri de dikkate alınarak, karşılaştırma yapılabilmesi için aynı maksimum değerlere göre düzenlenmiştir. HB/R verimi havadan çekilen ısının LPG'nin maksimum çekebileceği ısıya yüzde olarak oranını göstermektedir. Motorun rölanti hızında verim 1100 s'ye kadar artmakta ve yaklaşık %18 civarında sabit kalmaktadır. Çeyrek gaz durumunda verim 1200 s civarında %20'nin üzerinde bir değere kadar artmakta, sonrasında 1650 s civarına kadar sabit kalmakta ve bu saniyeden itibaren %17 civarına kadar bir miktar düşmektedir. Genel olarak bakıldığında HB/R ünitesinin en verimli çalıştığı motor hızı çeyrek gaz durumunda gerçekleşmektedir. Yarım gaz durumunda ise verim daha kararlı bir yol izlemekle beraber toplamda en düşük verim değerlerine sahip olmaktadır. 1200 s civarına kadar sürekli artan yarım gaz durumundaki verim, bu süreden sonra küçük dalgalanmalarla sabit kalmaktadır. Rölanti durumundaki HB/R verimi başlangıçta en düşük seviyede artış gösterirken 900 s geçildiğinde yarım gaz durumundaki HB/R verimini geçmektedir.



Şekil 4.23 HB/R (3,5 m/s) verim değişimleri

3,5 m/s hava hızında HB/R sistemine ait COP değerlerinin farklı motor hızları için zamana bağlı değişimleri Şekil 4.24'te görülmektedir. En düşük COP motorun rölanti hızında, en yüksek COP ise yarım gaz durumunda elde edilmiştir. Rölanti durumunda COP 800 s'ye kadar düşük oranda artarken 800-1000 s aralığında yüksek oranda artmakta ve yaklaşık 0,5 değerine ulaşmaktadır. Rölanti durumunda COP yaklaşık 1000 s'den sonra ortalama 0,5 değerinde sabit kalmaktadır. Çeyrek gaz durumunda COP 1000 s civarına kadar hızlı artmakta, 1400 s'ye kadar artış hızı yavaşlamakta ve bir müddet ortalama 0,7 değerinde sabit kalmakta, sonrasında ise küçük değişimlerle azalarak 0,6 değerine ulaşmakta ve burada sabit kalmaktadır. Yarım gaz durumunda COP değeri 1100 s'ye kadar artarak 0,75 değerine ulaşmakta ve deney sonuna kadar bu değerde sabit kalmaktadır.

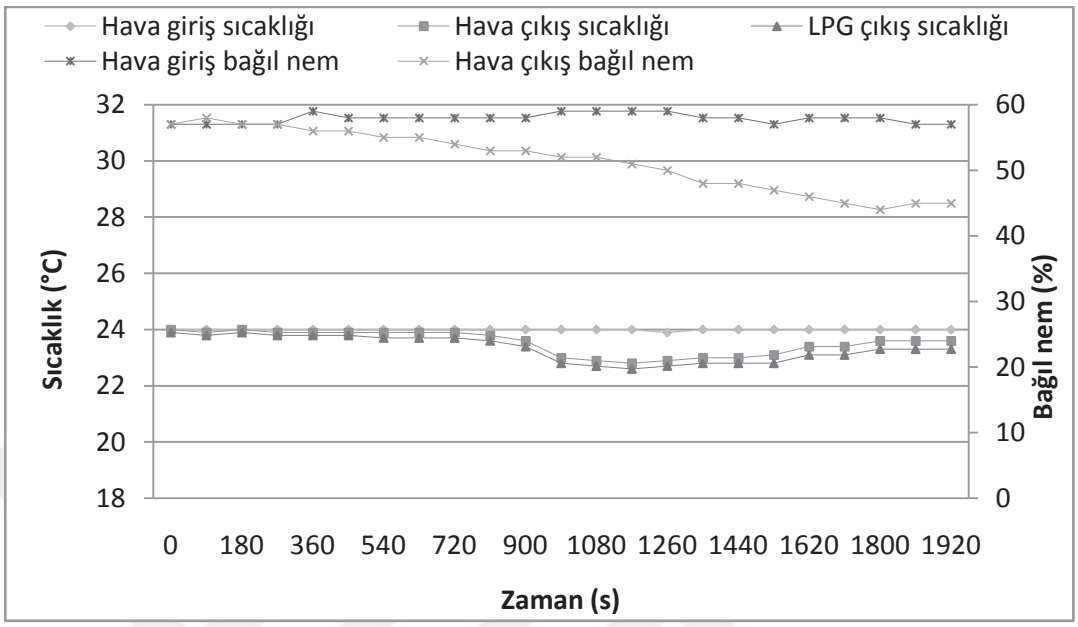


Şekil 4.24 HB/R (3,5 m/s) COP değişimleri

4.3.4. Hava Hızının 4,1 m/s Olduğu HB/R Deneylerinde Sıcaklık, Bağıl Nem, Isı, Verim ve COP Değişimleri

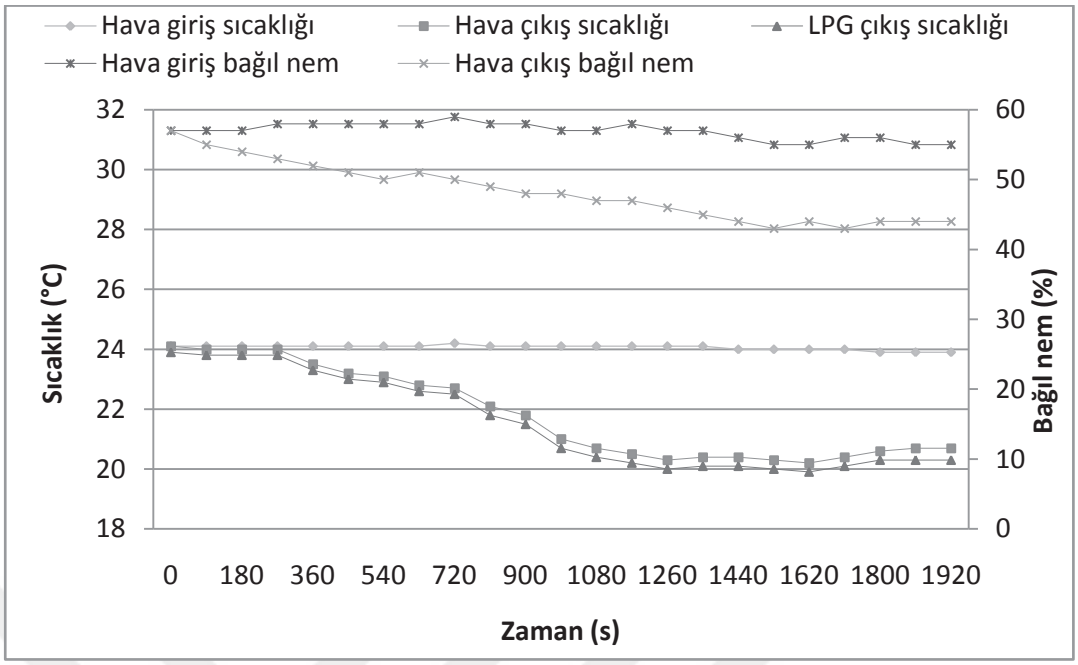
Hava hızının 4,1 m/s olduğu ve motorun rölanti hızında çalıştığı durum için HB/R giriş ve çıkışındaki hava sıcaklık ve nem değerleri ile LPG çıkış sıcaklıkları Şekil 4.25'te verilmektedir. Başlangıçta 24°C civarında olan HB/R hava giriş sıcaklığı deney süresince değişmemektedir. Bunda rölantide LPG'nin havadan çekmiş olduğu ısının fanın vermiş olduğu ısıya yakın olması rol oynamaktadır. Hava çıkış sıcaklığı ise 23°C'nin biraz altına kadar gerilemektedir. Bağıl neme bakıldığında başlangıçta %57 iken; hava girişinde deney süresince bir miktar yükselerek %59 olduğu, sonrasında düşerek %57'ye döndüğü, çıkışta ise %45'e kadar sürekli gerilediği gözlenmektedir. 4,1 m/s hava hızı deneylerinde elde edilen sıcaklık ve bağıl nem değerleri 2,3 m/s ve 3,5 m/s hava hızlarında yapıldan deneylerde elde edilen değerlerle karşılaştırıldığında hava hızının artmasıyla inilebilen sıcaklık ve bağıl nem değerlerinin yükseldiği görülmektedir. Bunun sebebi hava hızının artmasıyla HB/R'den geçen hava miktarının artması olarak söylenebilir. Ayrıca hava hızının artmasını sağlayan fan ünitesi hava hızını artırabilmek için daha fazla enerji çekmekte ve buradan kaynaklanan ısıyı HB/R'den geçmekte olan havaya vermektedir. Bu da LPG'nin buharlaşırken havadan çektiği ısıyı negatif olarak etkilemektedir. LPG çıkış sıcaklığı 900 s'ye kadar çok az düşmekte, daha sonra hızla 23°C'nin altına kadar gerilemekte, 1000-1500 s aralığında bu değerde sabit kalmakta ve sonrasında bir miktar yükselerek 23°C civarında sabit

kalmaktadır. LPG çıkış sıcaklığı hava çıkış sıcaklığı ile benzerlik göstermekte, LPG çıkış sıcaklığı deney süresince hava çıkış sıcaklığının bir miktar altında seyretmektedir.



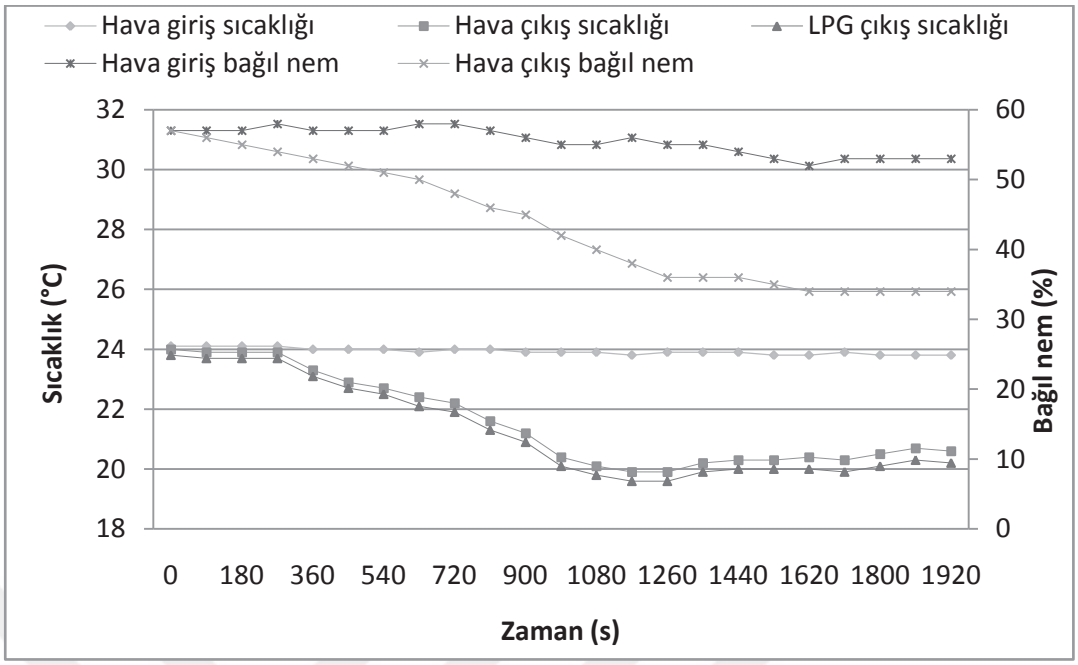
Şekil 4.25 HB/R (4,1 m/s) sıcaklık ve bağıl nem değişimleri (Motor rölantide çalışıyor)

Hava hızının 4,1 m/s olduğu ve motorun çeyrek gazda çalıştığı durum için HB/R giriş ve çıkışındaki hava sıcaklık ve nem değerleri ile LPG çıkış sıcaklıkları Şekil 4.26'da verilmektedir. Başlangıçta 24°C civarında olan HB/R hava giriş sıcaklığı küçük değişikliklerle artmakta ve azalmakta, genel olarak 24°C civarında sabit kalmaktadır. Hava çıkış sıcaklığı ise 20°C'nin altına kadar inmektedir. Bağıl neme bakıldığında girişte %55'e, çıkışta ise %44'a kadar bir düşüş gözlenmektedir. Hava sıcaklığı ve bağıl nemin rölantiye göre daha düşük seviyelere inmesi çeyrek gazda LPG akışının artmasından ve HB/R'nin daha fazla soğuyarak daha fazla ısıyı ve nemi üzerine almasından kaynaklanmaktadır. LPG çıkış sıcaklığı 1200 s civarına kadar sürekli düşerek 20°C'ye inmekte ve deney sonuna kadar yaklaşık olarak bu değerde sabit kalmaktadır. LPG çıkış sıcaklığının deney süresince hava çıkış sıcaklığının bir miktar altında seyrettiği görülmektedir.



Şekil 4.26 HB/R (4,1 m/s) sıcaklık ve bağıl nem değişimleri (Motor çeyrek gazda çalışıyor)

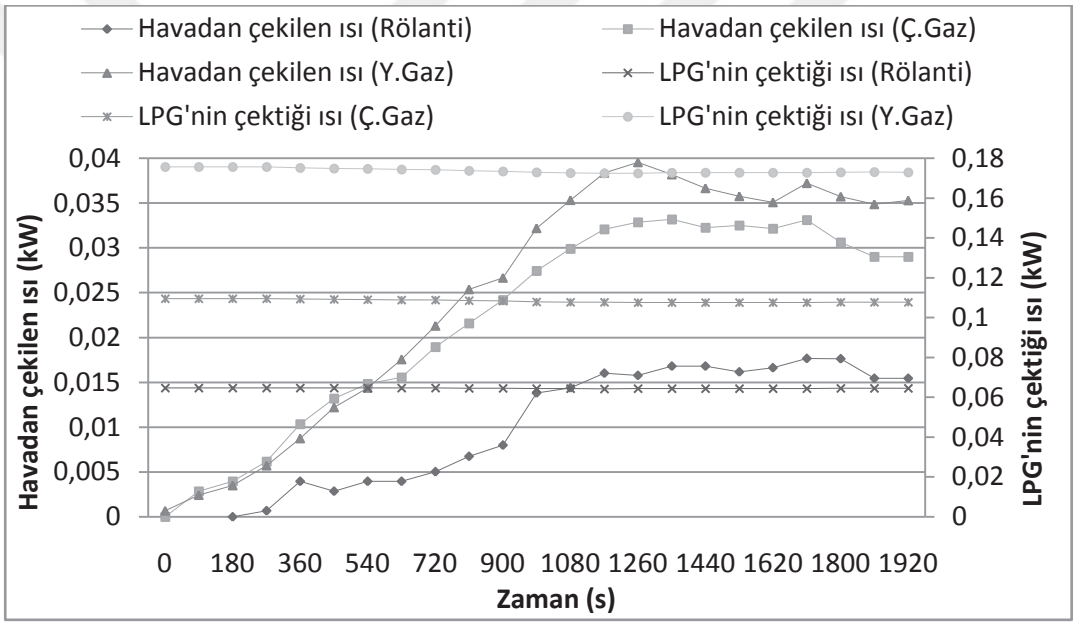
Hava hızının 4,1 m/s olduğu ve motorun yarım gazda çalıştığı durum için HB/R giriş ve çıkışındaki hava sıcaklık ve nem değerleri ile LPG çıkış sıcaklıkları Şekil 4.27'de verilmektedir. Başlangıçta 24°C civarında olan HB/R hava giriş sıcaklığı çok az düşmekte ve deney sonunda 24°C'in biraz altında bulunmaktadır. Hava çıkış sıcaklığı ise 1100 s'ye kadar 20°C'nin altına kadar inmekte, sonrasında bir miktar yükselerek bu sıcaklık civarında sabit kalmaktadır. Bağıl neme bakıldığında girişte %53'ye, çıkışta ise %34'e kadar bir düşüş gözlenmektedir. Bağıl nemdeki düşüş giriş ve çıkışta 1620 s civarına kadar sürmekte, sonrasında sabit kalmaktadır. Hava sıcaklığı ve bağıl nemin rölanti ve çeyrek gaza göre daha düşük seviyelere inmesi yarım gazda LPG akışının artmasından ve HB/R'nin daha fazla soğuyarak daha fazla ısıyı ve nemi üzerine almasından kaynaklanmaktadır. LPG çıkış sıcaklığı zamanla düşmekte, 1200 s civarında 20°C'nin altına inmekte, daha sonra toparlanarak 20°C civarında sabit kalmaktadır. LPG çıkış sıcaklığı hava çıkış sıcaklığı ile benzerlik göstermekte, LPG çıkış sıcaklığı deney süresince hava çıkış sıcaklığının bir miktar altında seyretmektedir.



Şekil 4.27 HB/R (4,1 m/s) sıcaklık ve bağıl nem değişimleri (Motor yarım gazda çalışıyor)

HB/R'nin 4,1 m/s hava hızında motorun rölanti, çeyrek gaz ve yarım gaz durumları için havadan çekilen ve LPG'nin çektiği ısıların zamana göre değişimleri Şekil 4.28'de görülmektedir. Grafikte meydana gelen değişikliklerin daha ayrıntılı görülebilmesi için iki farklı ısı ölçeği kullanılmıştır. Isı ölçeklerindeki en yüksek değerler 2,3 m/s ve 3,5 m/s hızlardaki HB/R deneyleri de dikkate alınarak, karşılaştırma yapılabilmesi için aynı maksimum değerlere göre düzenlenmiştir. Havadan çekilen ısı motorun rölanti hızında 1000 s civarında 15 W mertebelerine ulaşmakta, sonrasında 1800 s civarına kadar ufak artışlarla yaklaşık 17 W olmakta ve miktar düşerek yine 15 W civarında sabit kalmaktadır. Motorun çeyrek gazla çalışması rölantiye göre daha fazla LPG akışı sağlayacağından havadan çekilen ısının artmasını sağlamaktadır. Çeyrek gaz durumunda havadan çekilen ısı artarak 1300 s civarında 33 W'a ulaşmakta, 1700 s'ye kadar küçük değişikliklerle sabit kalmakta ve 1700 s sonrasında azalarak 29 W'a kadar inmektedir. Havadan çekilen ısının yarım gaz durumundaki değişimi ise 1300 s'ye kadar 40 W'ın biraz altına kadar bir artış ve deney sonuna kadar ufak değişimlerle 35 W civarında sabit kalma şeklinde gerçekleşmektedir. Grafikten anlaşıldığı gibi rölantiye göre çeyrek gazda havadan çekilen ısı büyük oranda bir artış gösterirken, çeyrek gaz durumuna göre yarım gaz durumunda daha küçük bir artış oranı göze çarpmaktadır. HB/R'de buharlaştırılarak motorda yanmaya giden LPG'nin çektiği

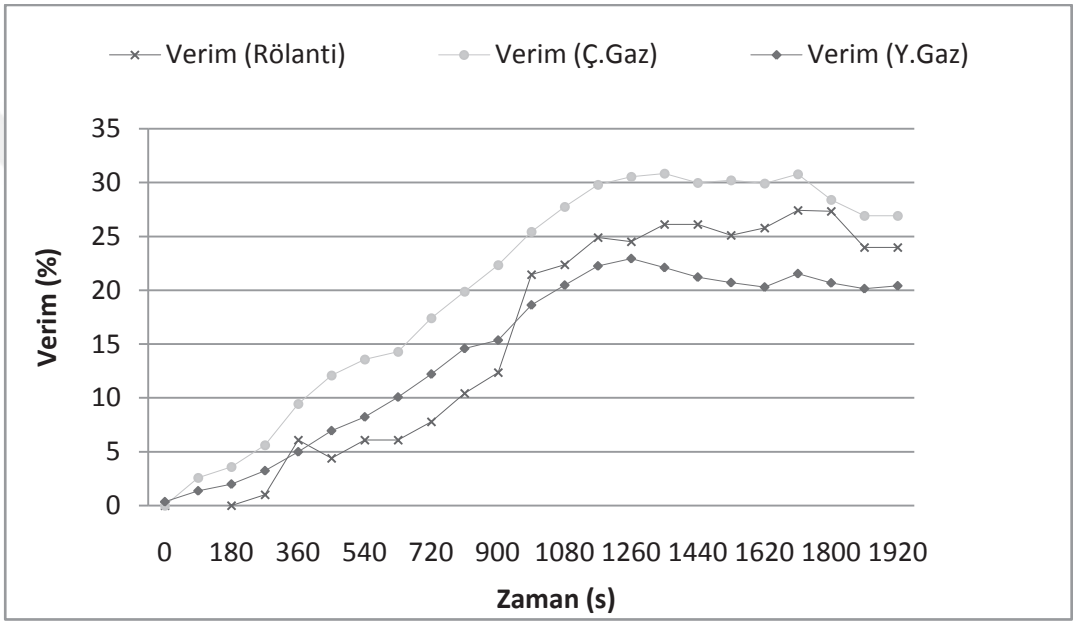
ısı değişim grafiklerine bakıldığında daha sabit değerler görülmektedir. Bunda LPG'nin çektiği ısının hesabında kullanılan yöntem önemli bir rol oynamaktadır. LPG'nin çektiği ısının hesabında en önemli faktör LPG'nin kütlesel debisidir. LPG'nin kütlesel debisi üç farklı motor devri için LPG tankının başlangıçta ve bitişte hassas terazi ile tartılması yöntemiyle belirlenmiştir. Her motor devri için LPG akışı süreç boyunca sabit kabul edilmiştir. LPG'nin çektiği ısı rölantide 70 W, çeyrek gazda 110 W ve yarım gazda 170 W civarında seyretmektedir. LPG'nin çektiği ısının havadan çekilen ısıdan yüksek oluşu LPG'nin soğutucu etkisinden tam olarak yararlanılamadığını göstermektedir. Ayrıca HB/R hava hızının yükselmesi havadan çekilen ısının da yükselmesine neden olmaktadır.



Şekil 4.28 HB/R (4,1 m/s) ısı değişimleri

4,1 m/s hava hızında motorun rölanti, çeyrek gaz ve yarım gaz durumları için HB/R verimlerinin zamana göre değişimleri Şekil 4.29'da görülmektedir. Verim ölçeklerindeki en yüksek değerler 2,3 m/s ve 3,5 m/s hızlardaki HB/R deneyleri de dikkate alınarak, karşılaştırma yapılabilmesi için aynı maksimum değerlere göre düzenlenmiştir. HB/R verimi havadan çekilen ısının LPG'nin maksimum çekebileceği ısıya yüzde olarak oranını göstermektedir. Motorun rölanti hızında verim 1100 s'ye kadar artmakta ve yaklaşık %25 civarında sabit kalmaktadır. Çeyrek gaz durumunda verim 1200 s civarında %30'un üzerinde bir değere kadar artmakta, sonrasında 1700 s civarına kadar sabit kalmakta ve bu saniyeden itibaren %27 civarına kadar bir miktar

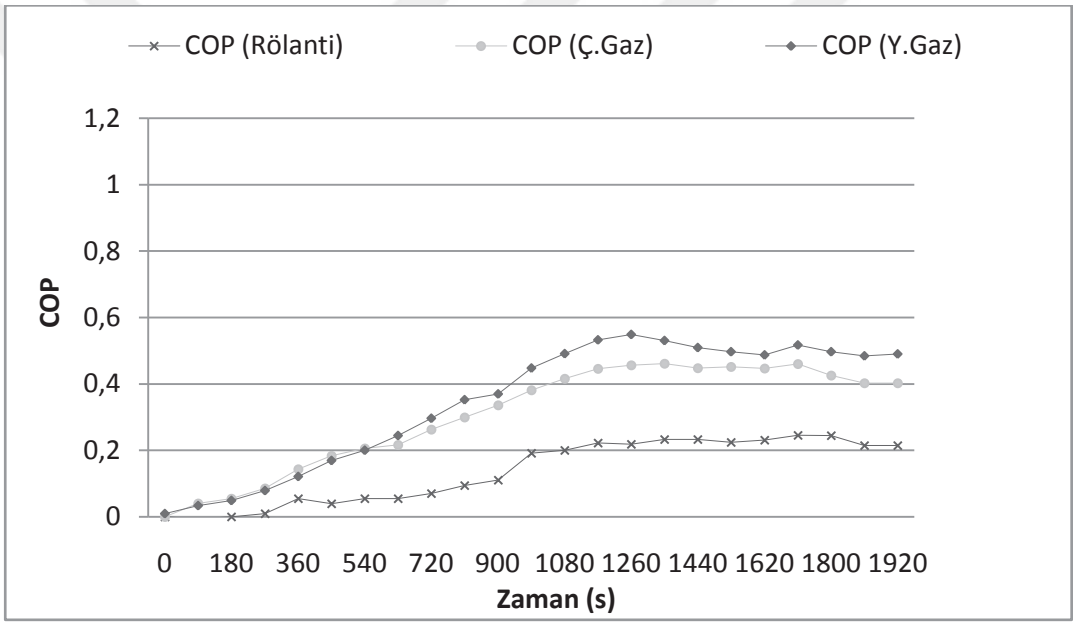
düşmektedir. Genel olarak bakıldığında HB/R ünitesinin en verimli çalıştığı motor hızı çeyrek gaz durumunda gerçekleşmektedir. Yarım gaz durumunda ise verim daha kararlı bir yol izlemekle beraber toplamda en düşük verim değerlerine sahip olmaktadır. 1250 s civarına kadar sürekli artan yarım gaz durumundaki verim, bu süreden sonra küçük dalgalanmalarla sabit kalmaktadır. Farklı hava hızlarında HB/R verimleri karşılaştırıldığında en düşük verimin 2,3 m/s hava hızında elde edildiği görülmektedir. 3,5 m/s hava hızında verim yükselmekte fakat 4,1 m/s hava hızında verim 3,5 m/s hava hızına göre fazla değişmemekte hatta bir miktar düşmektedir.



Şekil 4.29 HB/R (4,1 m/s) verim değişimleri

4,1 m/s hava hızında HB/R sistemine ait COP değerlerinin farklı motor hızları için zamana bağlı değişimleri Şekil 4.30'da görülmektedir. En düşük COP motorun rölanti hızında, en yüksek COP ise yarım gaz durumunda elde edilmiştir. Rölanti durumunda COP 900 s'ye kadar düşük oranda artarken 900-1000 s aralığında yüksek oranda artmakta ve yaklaşık 0,2 değerine ulaşmaktadır. Rölanti durumunda COP yaklaşık 1100 s'den sonra ortalama 0,22 değerinde sabit kalmaktadır. Çeyrek gaz durumunda COP 1200 s civarına kadar hızlı artarak 0,45 değerine ulaşmakta ve 1800 s'ye kadar bu değerde sabit kalmaktadır. Sonrasında ise küçük değişimlerle azalarak 0,4 değerine düşmektedir. Yarım gaz durumunda COP değeri 1300 s'ye kadar artarak 0,55 değerine ulaşmakta ve deney sonuna kadar ortalama 0,5 değerinde sabit kalmaktadır. Farklı hava hızlarında COP değerleri karşılaştırıldığında en yüksek COP değerinin 2,3

m/s hava hızında elde edildiği görülmektedir. 3,5 m/s hava hızında COP düşmekte, 4,1 m/s hava hızında ise COP daha da düşmektedir. Hava hızının artmasıyla COP'nin düşmesi fanın neden olduğu ısı üretiminden kaynaklanmaktadır. Farklı motor hızlarında COP değerleri karşılaştırıldığında ise en yüksek COP değerinin yarım gaz durumunda elde edildiği görülmektedir. Çeyrek gaz durumunda COP düşmekte, rölanti durumunda ise COP daha da düşmektedir. Motor hızının artmasıyla COP'nin yükselmesi LPG akışının dolayısıyla LPG'nin havadan çektiği ısının artmasından kaynaklanmaktadır. Öte yandan motorun çeyrek gazda çalışması ile HB/R'de elde edilen COP ile yarım gaz durumundaki COP arasındaki fark, çeyrek gaz ile rölanti durumlarında elde edilen COP'ler arasındaki farka göre daha küçük olduğu görülmektedir.



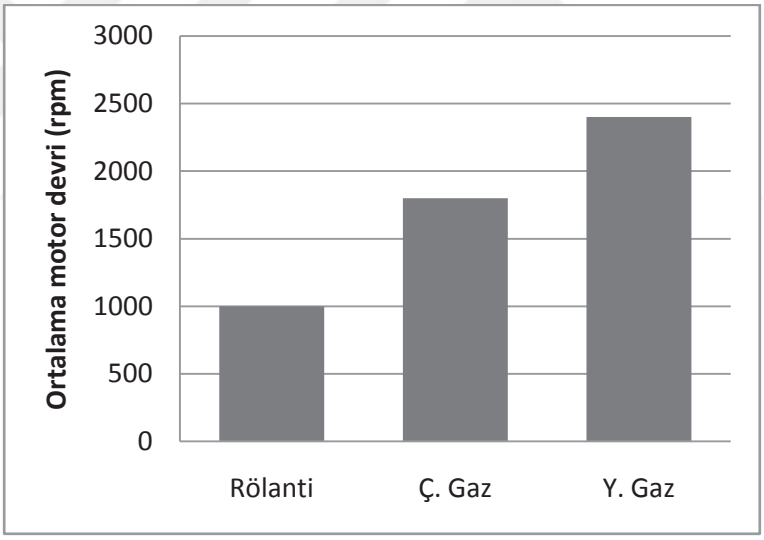
Şekil 4.30 HB/R (4,1 m/s) COP değişimleri

4.4. SB/R- HB/R Karşılaştırmalarının Değerlendirilmesi

Bu kısımda SB/R ve HB/R sistemlerinin deneylerde elde edilen ortalama sonuçlara göre karşılaştırılması yapılmıştır. Ortalama sonuçlar deney süresince 10 s'lik ara ile alınan verilerin ortalamalarından elde edilmiştir. SB/R sisteminde motorun soğutma suyu, HB/R sisteminde ise ortam havası kullanıldığı için her iki sistemin kıyaslanması zor olmasına karşılık, yine de gösterilen ortalama değerler sistemler hakkında fikir verecektir. Sistemlerin kıyaslanmasından önce her iki sistemin çalıştırıldığı ortak deney şartlarından da bahsedilmiştir.

4.4.1. Ortalama Motor Devirlerinin Değişimi

SB/R ve HB/R deneyleri üç farklı motor hızında gerçekleştirilmiştir. Bunlar motorun hızını kumanda eden elektronik gaz kelebeğinin serbest konumda (rölanti), çeyrek tur döndürülmesi durumunda ve yarım tur döndürülmesi durumunda elde edilmiştir. LPG sisteminin B/R'sinin incelenmesi için tek bir motor hızı yeterliyken, farklı motor hızlarında (LPG debisinin değişiminde) SB/R ve HB/R sistemlerinin davranışının belirlenmesi için bu üç motor hızında deneylerin gerçekleştirilmesi gerekli görülmüştür. Şekil 4.31'de gaz kelebeğinin rölanti, çeyrek gaz ve yarım gaz konumlarındaki ortalama motor devirlerinin değişimi görülmektedir. Motorun dakikadaki devir sayısı rölantide ortalama 1000, çeyrek gazda 1800 ve yarım gazda 2400 değerlerini almaktadır. Bu değerler SB/R ve HB/R deneylerinde aynı kalmıştır. Motorun tam gaz kelebeği açıklığında devir sayısı 5500 rpm olmakla beraber motorun arızasız uzun süre çalışabilmesi için yüksek hızlarda deneyler yapılmamıştır.

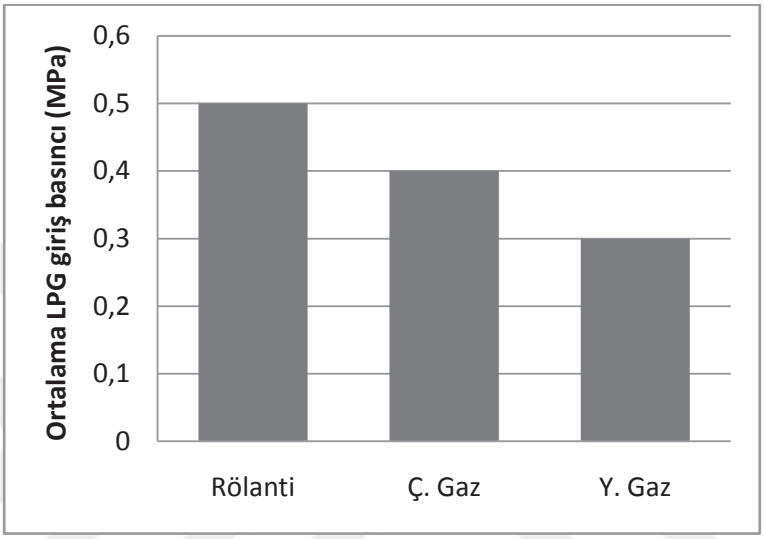


Şekil 4.31 Ortalama motor devirlerinin değişimi

4.4.2. Ortalama LPG Tank Basınçlarının Değişimi

SB/R ve HB/R deneyleri motorun sırasıyla rölanti, çeyrek gaz ve yarım gaz çalışmalarında gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar için B/R girişinde LPG basıncının aldığı ortalama değerler Şekil 4.32'de görülmektedir. LPG tankının tam dolu olduğu durumda tank basıncı yaklaşık 0,55 MPa civarındadır. Bu basınç motorun LPG'de kullanılmasıyla azalmakta ve yaklaşık 0,1 MPa civarında artık motorun çalışması için yeterli olmamaktadır. Bütün deneylerin aynı ortalama LPG tank basıncında gerçekleştirilmesi tankın sürekli yerinden sökülüp doldurulması bakımından zorluk

çıkaracağı için deneylerde üç farklı ortalama LPG tank basıncı durumu seçilmiştir. Seçilen bu değerler motorun LPG ile rölanti hızında çalıştırıldığı deneyler için ortalama 0,5 MPa, çeyrek gaz durumundaki hızında çalıştırıldığı deneyler için ortalama 0,4 MPa ve yarım gaz durumundaki hızında çalıştırıldığı deneyler için ise ortalama 0,3 MPa LPG tankı basınçlarında (B/R giriş basınçlarında) gerçekleşmiştir. Böylece aynı motor devirleri için SB/R ve HB/R deneyleri aynı LPG tank basınçlarında gerçekleştirilmiştir.



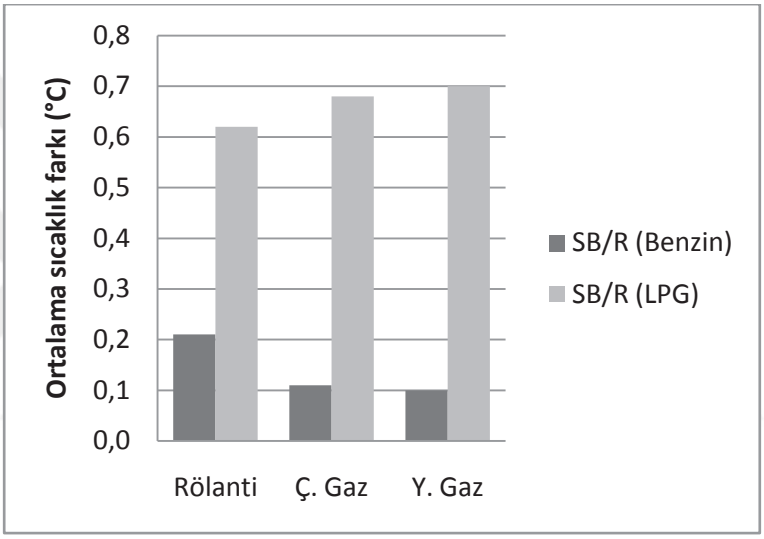
Şekil 4.32 Ortalama LPG tank basınçlarının değişimi

4.4.3. Ortalama Sıcaklık Farklarının Değişimi

B/R giriş ve çıkışındaki ortalama sıcaklık farklarının değişimi SB/R ve HB/R ünitelerinde gerçekleşen olayların anlaşılması bakımından önemli göstergelerden bir tanesidir. Ortalama sıcaklık farklarının hesabı deney süresince 10 s'lik aralıklarla alınan verilerin tamamının ortalamasının alınması yöntemiyle elde edilmiştir.

Şekil 4.33'te SB/R ünitesinin farklı motor devirlerinde (gaz kelebeği açıklıklarında) sahip olduğu giriş-çıkış ortalama su sıcaklık farklarının değişimi görülmektedir. Motorun benzinde çalıştığı durum için rölantide SB/R giriş-çıkışındaki yaklaşık ortalama su sıcaklık farkı 0,2°C, çeyrek gazda 0,1°C ve yarım gazda 0,1°C olarak gerçekleşmiştir. Motorun LPG'de çalıştırılması durumunda ise yine rölanti, çeyrek gaz ve yarım gaz durumları için SB/R giriş-çıkışındaki ortalama su sıcaklık farkları sırasıyla 0,6°C, 0,7°C ve 0,7°C olmuştur. Burada motorun LPG'ye geçmesiyle birlikte SB/R ünitesi içerisinden LPG akışının başlaması sonucu ünitenin motorun soğutma suyundan daha yüksek bir ısı çektiği anlaşılmaktadır. Bu ısı LPG'nin buharlaşırken B/R'den çektiği ısının karşılanmasında sarf olmaktadır. Öte yandan gerek

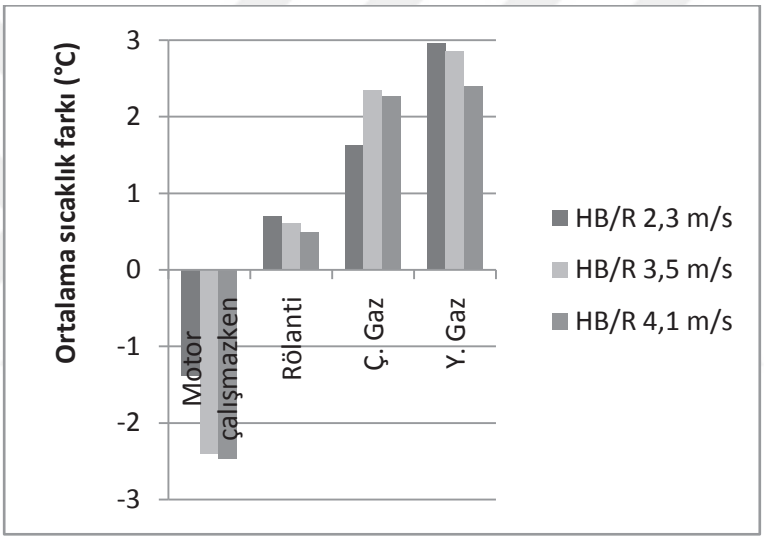
benzin gerekse LPG çalışması esnasında motor devrinin artmasıyla ortalama sıcaklık farklarının çok küçük miktarlarda değişmesi yine grafikte görülmektedir. Bu değişim SB/R ünitesinin farklı devirlerde aynı ısıyı çektiğini göstermemektedir. Çünkü SB/R'nin motor soğutma suyundan çektiği ısı sadece giriş-çıkış sıcaklığına bağlı değildir. Isı hesabında bu sıcaklık farkının yanı sıra motor soğutma suyunun SB/R'deki akış debisi de kullanılmaktadır. Debi miktarı ileride açıklanacağı gibi motorun hızlanması ile birlikte artmaktadır. Böylece ortalama su sıcaklık farkı motorun hızlanmasıyla birlikte aynı kalsa hatta azalsa bile debini artması sayesinde SB/R ünitesinin çektiği ısı artmaktadır.



Şekil 4.33 SB/R ortalama sıcaklık farklarının değişimi

Şekil 4.34'te ise HB/R ünitesinin farklı motor devirlerindeki ve HB/R hava üfleyicisinin farklı hızlarındaki HB/R giriş-çıkışındaki yaklaşık ortalama hava sıcaklık farklarının değişimi görülmektedir. Motorun çalışmadığı ve HB/R hava üfleyicisinin farklı hızlarda çalıştığı durum için HB/R giriş-çıkışındaki ortalama hava sıcaklık farklarının 2,3 m/s, 3,5 m/s ve 4,1 m/s hava hızları için aldığı yaklaşık değerler sırasıyla -1,4°C, -2,4°C ve -2,5°C olmaktadır. Değerlerin negatif çıkması, motorun çalışmaması nedeniyle LPG'ye verilen ısının olmaması, buna karşılık çalışan fanın havaya vermiş olduğu ısıdan kaynaklanmaktadır. Motorun rölantide çalışması durumunda yine 2,3 m/s, 3,5 m/s ve 4,1 m/s hava hızları için HB/R giriş-çıkışındaki ortalama hava sıcaklık farkları sırasıyla 0,7°C, 0,6°C ve 0,5°C değerlerini, çeyrek gazda 1,6°C, 2,3°C ve 2,2°C değerlerini ve yarım gazda ise 3°C, 2,9°C ve 2,4°C değerlerini almaktadır. Görüldüğü gibi motor devrinin artmasıyla beraber LPG akışının da artması HB/R giriş-çıkış hava

sıcaklık farklarının da artmasını sonuç vermektedir. Bunun sebebi debisi yükselen LPG'nin buharlaşırken çektiği daha fazla ısıdır. Bu ısı HB/R girişinden gelen havanın soğumasına ve çıkış sıcaklığının düşmesine neden olmaktadır. Ayrıca HB/R hava hızının artmasıyla ortalama giriş-çıkış hava sıcaklık farklarının da arttığı görülmektedir. Bunun sebebi hava hızının artması için fanın daha fazla enerji harcaması ve bu enerjinin bir kısmının havaya verilmesidir. Yalnızca çeyrek gaz durumunda 2,3 m/s hava hızına göre 3,5 m/s ve 4,1 m/s hava hızlarında ortalama hava sıcaklık farkının yüksek olduğu görülmektedir. Bunun sebebi olarak 3,5 m/s ve 4,1 m/s hava hızlarında HB/R'nin yüksek bir verimle LPG'yi buharlaştırdığı ve dolayısıyla daha yüksek bir ısı çektiği söylenebilir.

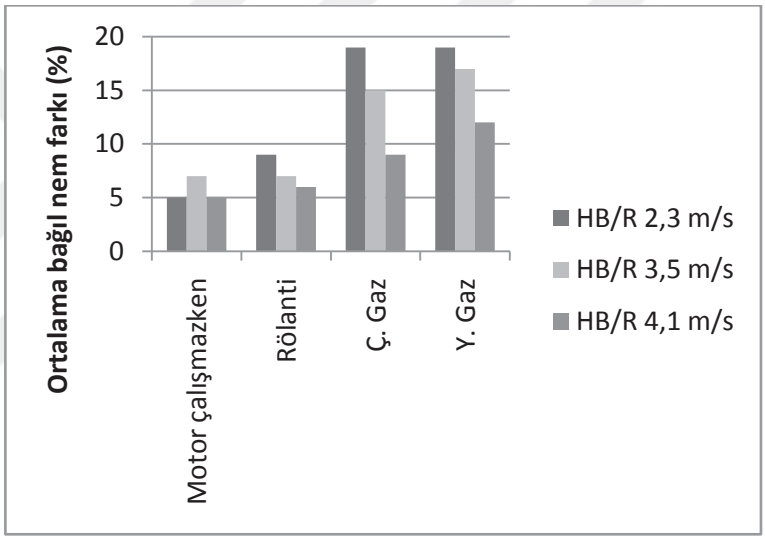


Şekil 4.34 HB/R ortalama sıcaklık farklarının değişimi

4.4.4. HB/R Ortalama Bağıl Nem Farklarının Değişimi

Şekil 4.35'te HB/R ünitesinin farklı motor devirlerindeki ve HB/R hava üfleyicisinin farklı hızlarındaki HB/R giriş-çıkışındaki yaklaşık ortalama hava bağıl nem farklarının değişimi görülmektedir. Motorun çalışmadığı ve HB/R hava üfleyicisinin farklı hızlarda çalıştığı durum için HB/R giriş-çıkışındaki ortalama hava bağıl nem farklarının 2,3 m/s, 3,5 m/s ve 4,1 m/s hava hızları için aldığı yaklaşık değerler sırasıyla %4, %7 ve %5 olmaktadır. Motorun çalışmadığı durum için bağıl nemde meydana gelen düşmenin sebebi fandan kaynaklanan sıcaklık artışı nedeniyle değişen sıcaklık değerine karşılık gelen bağıl nemin farklılaşmasıdır. Motorun rölantide çalışması durumunda yine 2,3 m/s, 3,5 m/s ve 4,1 m/s hava hızları için HB/R giriş-çıkışındaki ortalama hava bağıl nem farkları sırasıyla %9, %7 ve %6 değerlerini, çeyrek

gazda %19, %15 ve %9 değerlerini ve yarım gazda ise %19, %17 ve %12 değerlerini almaktadır. Görüldüğü gibi motor devrinin artmasıyla beraber LPG akışının da artması HB/R giriş-çıkış hava bağıl nem farklarının da artmasını sonuç vermektedir. Bunun sebebi debisi yükselen LPG'nin buharlaşırken çektiği artan ısıdır. Bu ısı nedeniyle HB/R girişinden gelen hava soğumakta ve havadaki nemin bir kısmı B/R cidarlarında yoğuşmaktadır. Ayrıca HB/R hava hızının artmasıyla ortalama giriş-çıkış hava bağıl nem farklarının bir miktar azaldığı görülmektedir. Bunun iki sebebi olduğu söylenebilir: hava hızının artması için fanın daha fazla enerji harcaması sebebiyle hava sıcaklığının artması ve hız artışı ile hareketlenen havanın B/R cidarlarındaki nem yoğuşmasını azaltan özelliğidir.

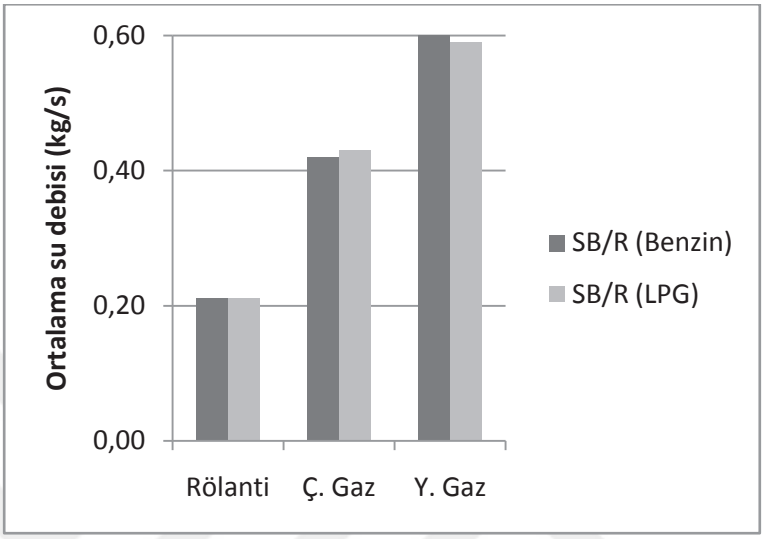


Şekil 4.35 HB/R ortalama bağıl nem farklarının değişimi

4.4.5. Ortalama Akışkan Debilerinin Değişimi

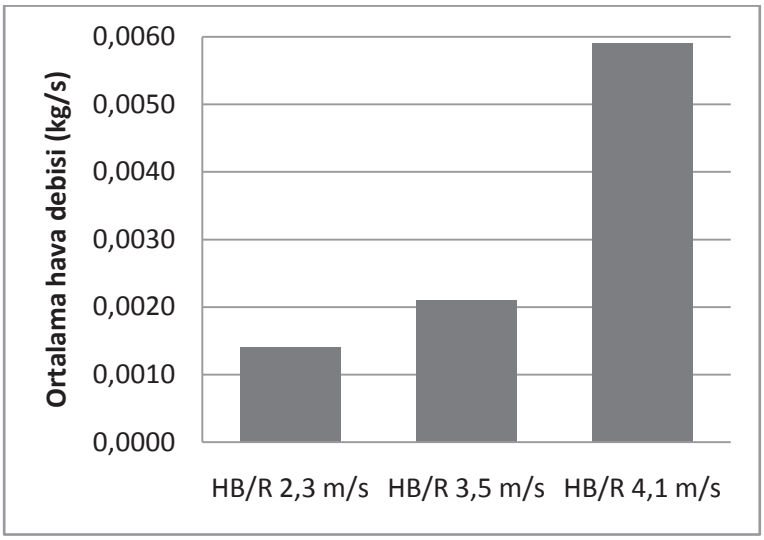
B/R ünitelerinde kullanılan akışkanlar buharlaşan LPG'nin çektiği ısıyı karşılama görevi görmektedirler. SB/R'de akışkan olarak motorun soğutma suyu kullanılırken HB/R'de hava kullanılmaktadır. SB/R deneyleri motorun hem benzin hem de LPG ile çalışmasında gerçekleştirildiği için motorun her gaz kelebeği açıklığı ile çalışmasında iki farklı debi değeri bulunmaktadır. Şekil 4.36'da görüldüğü gibi bu değerler birbirlerine çok yakındır. Meydana gelen bu küçük farklılaşmanın nedeni motorun her deneyde az da olsa değişken çalışma davranışıdır. Rölanti, çeyrek gaz ve yarım gaz kelebeği açıklıklarında SB/R ünitesinden akmakta olan motor soğutma suyunun aldığı yaklaşık ortalama debilerin değişimi sırasıyla 0,2 kg/s, 0,4 kg/s ve 0,6 kg/s olmaktadır. Bu artışın sebebi motor devrinin artmasıyla motor soğutma suyu

pompasının da devrinin artmasıdır. SB/R içerisindeki kendine ait hatta dolaşan motor soğutma suyu debisinin bu artışı, sıcaklık artışıyla beraber LPG'nin daha fazla ısıtılmasına neden olmaktadır. Bu fazla ısıtılmanın faydası olmamakla beraber motorun hacimsel verimini düşürebileceğinden dolayı zararının olduğu söylenebilir.



Şekil 4.36 SB/R ortalama akışkan debilerinin değişimi

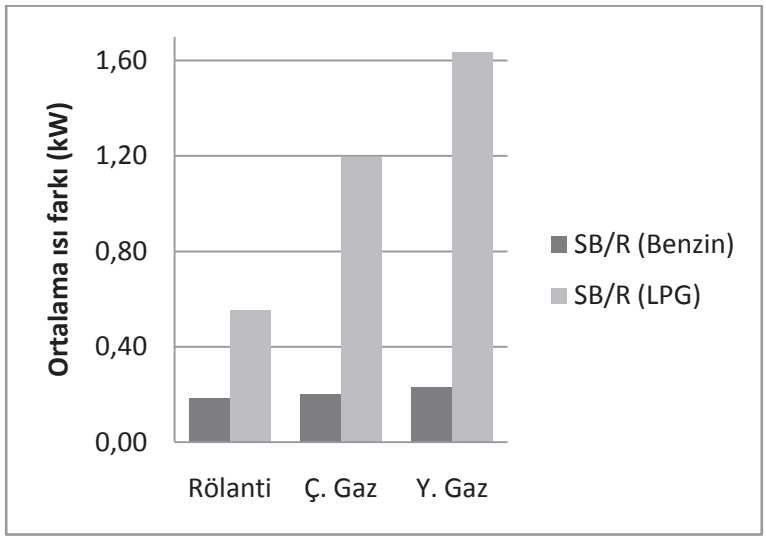
HB/R giriş-çıkışındaki ortalama akışkan debilerinin değişimi Şekil 4.37'de görülmektedir. HB/R'de akışkan olarak hava kullanılmaktadır. Hava debisini değişmesi HB/R ünitesi içerisinde bulunan bir fan tarafından sağlanmaktadır. Bu fanın otomobil klima sistemlerindekine benzer bir şekilde üç farklı konumu bulunmaktadır. Birinci konumda hava hızı 2,3 m/s olarak gerçekleşmekte ve bu hızda hava debisi 0,0014 kg/s olmaktadır. İkinci konumda hava hızı 3,5 m/s ve hava debisi 0,0021 kg/s olmaktadır. Üçüncü konumda ise hava hızı 4,1 m/s olmakta ve bu hıza karşılık gelen hava debisi 0,0059 kg/s olarak gerçekleşmektedir.



Şekil 4.37 HB/R ortalama akışkan debilerinin değişimi

4.4.6. Akışkan Ortalama Isı Farklarının Değişimi

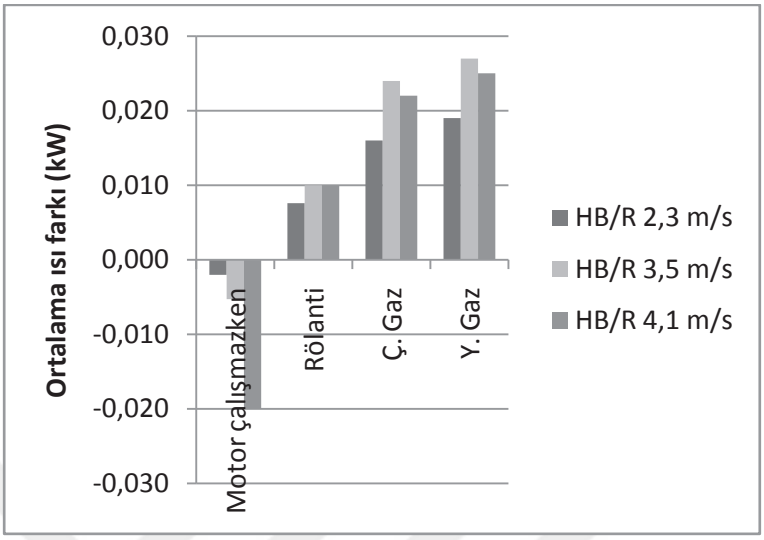
Şekil 4.38'de motorun benzin ve LPG ile çalışması durumları için SB/R ünitesi ile yapılan deneylerde motorun rölanti, çeyrek gaz ve yarım gaz kelebeği açıklıklarındaki SB/R giriş-çıkışındaki ısı farklarının değişimi görülmektedir. Motorun benzin ile çalışması durumunda SB/R'ye bırakılan (veya SB/R'nin motor soğutma suyundan çekmiş olduğu) ısının değişimi rölanti, çeyrek gaz ve yarım gaz durumları için sırasıyla 0,18 kW, 0,2 kW ve 0,23 kW olarak gerçekleşmektedir. Motor hızının artmasıyla SB/R'nin az da olsa daha fazla ısı çekmesinin akışkan hızının artmasından dolayı meydana geldiği düşünülmektedir. Motorun LPG ile çalışması durumunda ise SB/R'nin motor soğutma suyundan çektiği ısı miktarının benzinle çalışmada elde edilene göre 3-7 kat arttığı görülmektedir. Bu artışın sebebi SB/R'de gerçekleşen LPG akışıdır. Bu akışın motor devrine göre değişmesi, çekilen ısının da değişmesine neden olmaktadır. Rölanti, çeyrek gaz ve yarım gaz durumlarında motorun LPG'de çalıştırılması ile SB/R'de elde edilen motor soğutma suyunun giriş çıkıştaki ısı farkları sırasıyla 0,55 kW, 1,2 kW ve 1,64 kW olarak gerçekleşmektedir.



Şekil 4.38 SB/R su ortalama ısı farklarının değişimi

Şekil 4.39'da ise motorun çalışmadığı durumla, rölanti, çeyrek gaz ve yarım gazda çalıştırıldığı durumlar için HB/R ünitesinin 2,3 m/s, 3,5 m/s ve 4,1 m/s hava hızlarında ortalama giriş-çıkış ısı farkları gösterilmektedir. Motorun çalışmadığı durum için HB/R ünitesine giriş çıkış yapan havanın ısı farkları 2,3 m/s, 3,5 m/s ve 4,1 m/s hava hızları için sırasıyla -2 W, -5 W ve -20 W olmaktadır. Fanın 2,3 m/s, 3,5 m/s ve 4,1 m/s hava hızları için sırasıyla 24 W, 48 W ve 72 W enerji çektiği göz önüne alınırsa elde edilen bu ortalama ısı farklarının küçük değerlerde kaldığı görülecektir. Buradan fanın çektiği enerjinin küçük bir kısmını HB/R havasına verdiği anlaşılmaktadır. Ancak 4,1 m/s hava hızında fanın havaya verdiği ısının diğer hızlara nazaran daha yüksek çıktığı da yukarıda verilen değerlerden hesaplanmaktadır. 2,3 m/s, 3,5 m/s ve 4,1 m/s hava hızları için HB/R ünitesine giriş çıkış yapan havanın ısı farkları motorun rölanti, çeyrek gaz ve yarım gazda çalıştığı durumlar için sırasıyla 8 W- 10 W- 10 W, 16 W- 24 W- 22 W ve 19 W- 27 W- 25 W değerlerini almaktadır. Motorun çalışmasıyla birlikte başlayan LPG akışının yine HB/R içerisinden akmakta olan havadan çektiği ısı yukarıda belirtilen değerleri vermektedir. Bu değerlerin motorun hızlanmasıyla yükseldiği görülmektedir. Gerçekleşen artışın rölantiden çeyrek gaza geçişte daha yüksek olduğu görülmektedir. HB/R hava hızının değişmesi 2,1 m/s'den 3,5 m/s'ye geçişte artış olarak görülmektedir. Bunun sebebi olarak hava hızının artmasıyla birlikte artan hava debisi gösterilebilir. Hava debisindeki artış LPG'nin ısı çekmesinden daha fazla yararlanılmasına neden olmaktadır. Ancak motorun her üç devirle çalıştırılmasında HB/R'nin 4,1 m/s hızında havadan çekilen ısı diğer hızlara oranla düşük çıkmıştır.

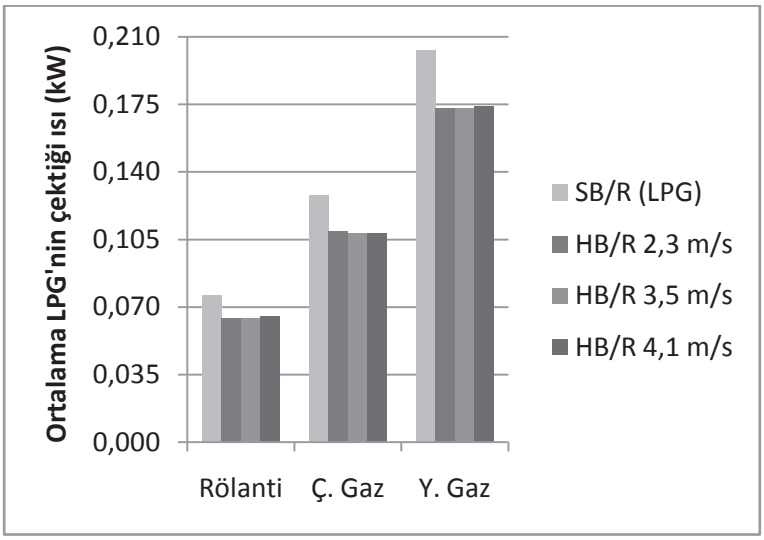
Bunun sebebi olarak 4,1 m/s hızında fanın havaya vermiş olduğu ısının diğer hızlarda verilen ısıya göre yüksek olmasından kaynaklandığı söylenebilir.



Şekil 4.39 HB/R hava ortalama ısı farklarının değişimi

4.4.7. LPG'nin Çektiği Ortalama Isıların Değişimi

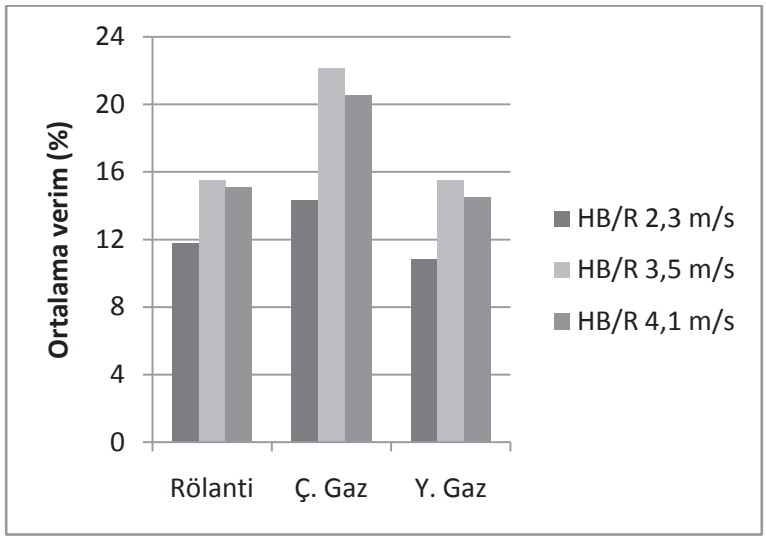
Motorun rölanti, çeyrek gaz ve yarım gazda çalıştırıldığı durumlar için SB/R ve farklı hava hızlarındaki HB/R üniteleri için LPG'nin çektiği ortalama ısı değerlerinin değişimi Şekil 4.40'da gösterilmektedir. SB/R ünitesi için bu değerler rölanti, çeyrek gaz ve yarım gaz durumları için sırasıyla 76 W, 128 W ve 203 W olmaktadır. HB/R ünitesi için ise yine sırasıyla rölanti, çeyrek gaz ve yarım gaz durumlarında bütün hava hızları için birbirine benzer olarak yaklaşık 64 W, 108 W ve 173 W olarak değerleri elde edilmektedir. Motorun hızlanmasıyla LPG debisinin de artması LPG'nin B/R ünitelerinden çektiği ısıların da artmasına neden olmaktadır. Ayrıca HB/R ünitesindeki 24°C civarındaki ortam havasıyla ısıtılan LPG'nin SB/R ünitesinde 80°C'lere kadar ısınan motorun soğutma suyuyla ısıtılması LPG'nin çektiği ortalama ısının SB/R'de daha yüksek çıkmasına neden olmuştur. Grafikte göze çarpan bir diğer husus ise HB/R'nin farklı hava hızlarında çalıştırılmasının LPG'nin çektiği ısıya hemen hiç pozitif veya negatif etki etmemesidir.



Şekil 4.40 LPG'nin çektiği ortalama ısıların değişimi

4.4.8. Ortalama HB/R Verimlerinin Değişimi

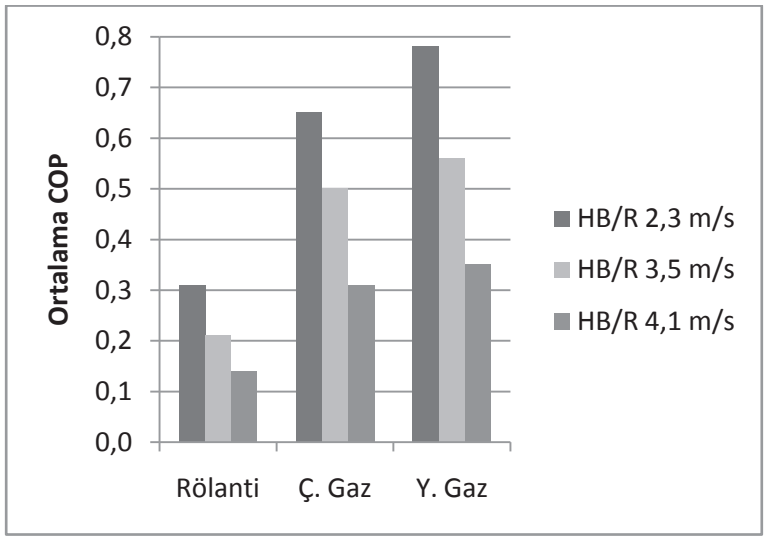
HB/R sistemi için verim LPG'nin soğutma etkisinden nasıl yararlanıldığını gösteren bir ifade olması açısından önemlidir. Verim değerleri havadan çekilen ısının LPG'nin buharlaşırken çekebileceği maksimum ısıya yüzde olarak oranı alınarak elde edilmektedir. HB/R'nin farklı hava hızlarında motorun devir durumuna göre değişen ortalama verimleri Şekil 4.41'de verilmektedir. Motorun rölanti durumunda HB/R'nin 2,3 m/s, 3,5 m/s ve 4,1 m/s hava hızları için elde edilen ortalama verim değerleri sırasıyla yaklaşık olarak %12, %16 ve %15 değerlerini almaktadır. Motorun çeyrek gazda çalıştırılmasıyla HB/R verimi artmakta ve %14, %22, %21 ortalama değerlerine ulaşmaktadır. Motorun yarım gazda çalıştırılmasında ise HB/R verimi tekrar düşüş göstermekte ve rölanti durumundakine benzer olarak %11, %16, %15 ortalama değerlerini almaktadır. Grafikte de görüldüğü gibi LPG'nin çektiği ısının havaya iletilmesinde en yüksek ortalama verim çeyrek gazda HB/R hava hızının 3,5 m/s olduğu durum için gerçekleşmiştir. En düşük ortalama verim ise yarım gazda hava hızının 2,3 m/s olduğu durum için gerçekleşmiştir.



Şekil 4.41 Ortalama HB/R verimlerinin değişimi

4.4.9. Ortalama HB/R COP'lerinin Değişimi

COP herhangi bir soğutma sisteminin performansını gösteren önemli bir ölçüttür. Bir çevrime sahip soğutma sistemlerinde elde edilen soğutma etkisinin o etkiyi ortaya çıkarabilmek için harcanan net işe oranı COP'yi vermektedir. Şekil 4.42'de motorun rölanti, çeyrek gaz ve yarım gaz durumlarında çalıştırılmasıyla HB/R sisteminin 2,3 m/s, 3,5 m/s ve 4,1 m/s hava hızlarında sahip olduğu ortalama COP değerleri görülmektedir. Motorun rölantide çalıştırılmasında HB/R'nin 2,3 m/s, 3,5 m/s ve 4,1 m/s hava hızlarında sahip olduğu COP değerleri sırasıyla 0,3, 0,2 ve 0,1, çeyrek gazda çalıştırılmasında 0,7, 0,5 ve 0,3 ve yarım gazda çalıştırılmasında 0,8, 0,6 ve 0,4 olmaktadır. Motorun bütün hızlarında HB/R sisteminin hava hızının yükselmesi COP'de düşüşe neden olmaktadır. Buradan HB/R hava hızının artmasıyla meydana gelen verimdeki yükselişin, yine hava hızının artmasıyla oluşan elektrik tüketimindeki artıştan daha küçük olduğu anlaşılmaktadır. Öte yandan motor hızının artması LPG akışını artırdığından COP'lerin de artmasına neden olmaktadır. En yüksek COP değeri motorun yarım gazda çalıştırılmasında HB/R'nin 2,3 m/s hava hızında, en düşük COP ise motorun rölantide çalıştırılmasında HB/R'nin 4,1 m/s hava hızında elde edilmiştir.



Şekil 4.42 Ortalama HB/R COP'lerinin değişimi

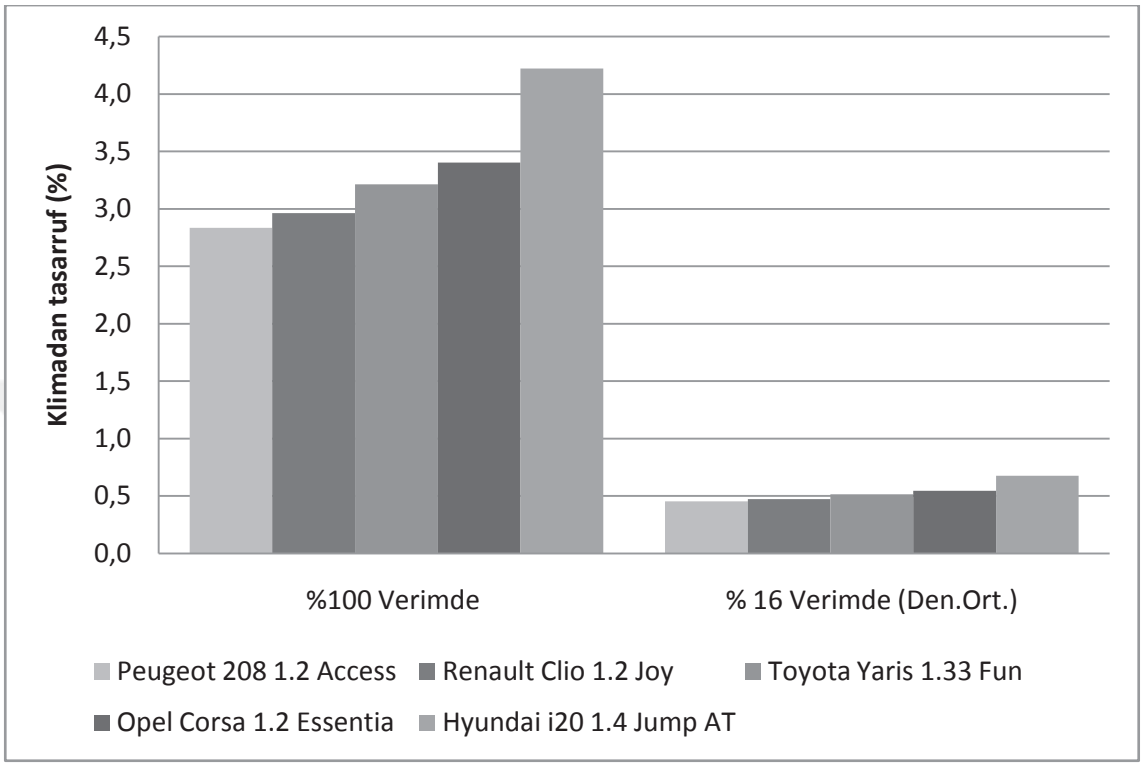
4.5. Araç Analizinin Değerlendirilmesi

Bu kısımda çalışmamızda kullanılan HB/R sistemli LPG dönüşüm sisteminin bazı güncel otomobillerde kullanılması halinde elde edilebilecek klima tasarruflarının analizi yapılmaktadır. Otomobillerin beyan edilen ortalama yakıt tüketim değerlerine göre LPG'ye dönüştürüldüklerinde ne kadar LPG harcayabilecekleri hesaplanmış ve LPG'nin soğutma etkisinden çeşitli yüzdelerde yararlanılması durumlarındaki sonuçlar incelenmiştir. Buradaki deneysel yüzdeler çalışmamızda rölanti, çeyrek gaz ve yarım gaz durumlarındaki motor devirlerinde elde edilen verim değerlerinin ortalamasından oluşmaktadır. Ayrıca karşılaştırma yapabilmek açısından %100 verim değeri de kullanılmaktadır. Motorun rölanti, çeyrek gaz ve yarım gaz durumlarında elde edilen deneysel verim değerlerinin ortalaması %16 olarak elde edilmiştir. Klimadan edilebilecek tasarrufun hesaplanabilmesi için gereken soğutma yükleri ise otomobillerin ait oldukları sınıflara göre literatürden alınmıştır.

4.5.1. Subcompact (B Sınıfı-Hatchback) Araçlarda Klima Tasarrufu

Şekil 4.43'te B sınıfı-hatchback otomobillerde elde edilebilecek klima tasarruflarının yüzde olarak oranları verilmektedir. Grafikte yer verilen otomobiller sırasıyla şunlardır: Peugeot 208 1.2 Access, Renault Clio 1.2 Joy, Toyota Yaris 1.33 Fun, Opel Corsa 1.2 Essentia ve Hyundai i20 1.4 Jump AT. Otomobillerin tamamı 2015 model olarak Türkiye'de satışa sunulan ve LPG dönüşümü yapılabilen otomobillerden seçilmiştir. HB/R sisteminin %100 verimle çalışması durumunda elde edilebilecek klima tasarrufunun belirtilen otomobillerde %2,8 ile %4,2 arasında olduğu grafikten

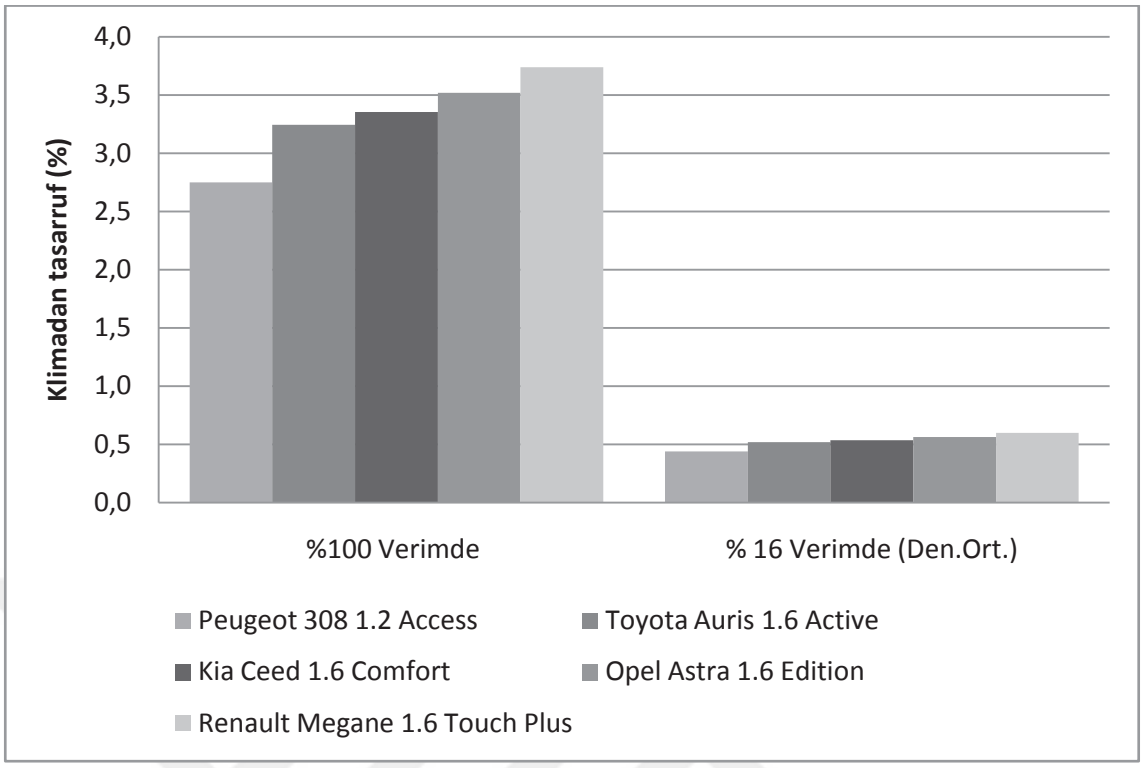
anlaşılmaktadır. HB/R sisteminin deneylerden elde edilen verim değerlerinin ortalaması olan %16 verimle çalışması durumunda ise elde edilen klima tasarrufunun %0,5 ile %0,7 arasında olduğu görülmektedir.



Şekil 4.43 Subcompact (B sınıfı-hatchback) araçlarda klima tasarrufu

4.5.2. Compact (C Sınıfı-Hatchback) Araçlarda Klima Tasarrufu

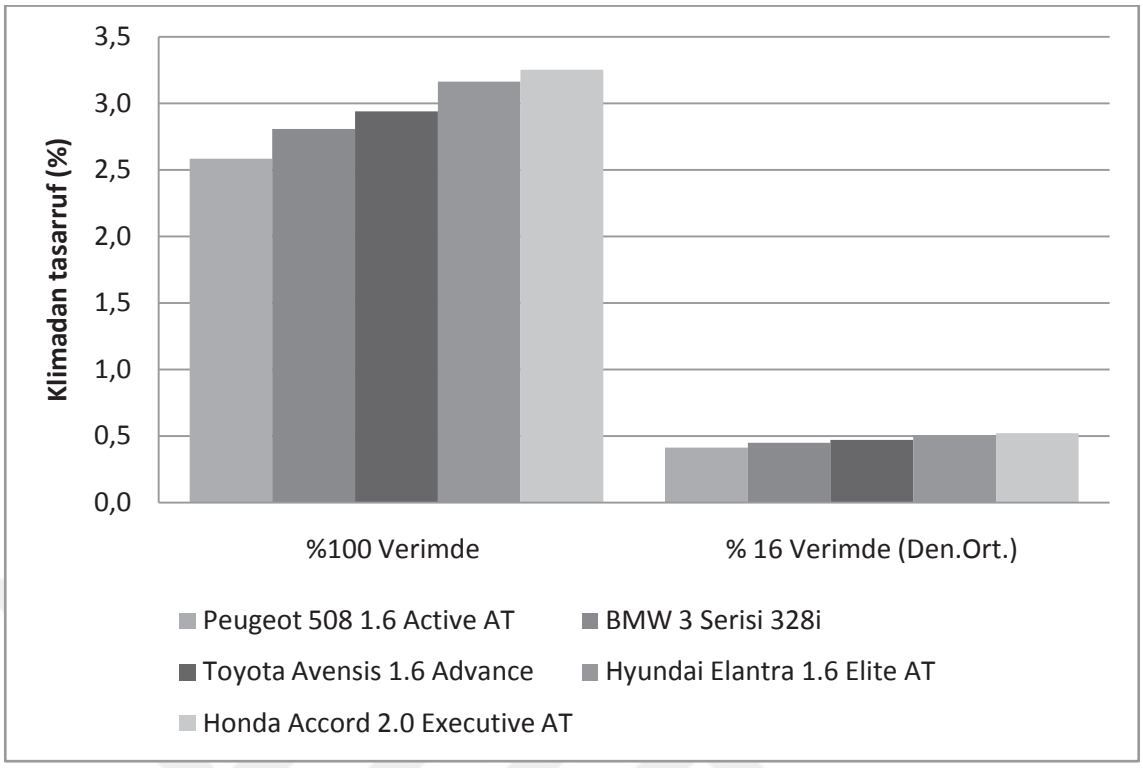
Şekil 4.44'te C sınıfı-hatchback otomobillerde elde edilebilecek klima tasarruflarının yüzde olarak oranları verilmektedir. Grafikte yer verilen otomobiller sırasıyla şunlardır: Peugeot 308 1.2 Access, Toyota Auris 1.6 Active, Kia Ceed 1.6 Comfort, Opel Astra 1.6 Edition ve Renault Megane 1.6 Touch Plus. Otomobillerin tamamı 2015 model olarak Türkiye'de satışa sunulan ve LPG dönüşümü yapılabilen otomobillerden seçilmiştir. HB/R sisteminin %100 verimle çalışması durumunda elde edilebilecek klima tasarrufunun belirtilen otomobillerde %2,7 ile %3,7 arasında olduğu grafikten anlaşılmaktadır. HB/R sisteminin deneylerden elde edilen verim değerlerinin ortalaması olan %16 verimle çalışması durumunda ise elde edilen klima tasarrufunun %0,4 ile %0,6 arasında olduğu görülmektedir.



Şekil 4.44 Compact (C sınıfı-hatchback) araçlarda klima tasarrufu

4.5.3. Standart (D Sınıfı-Sedan) Araçlarda Klima Tasarrufu

Şekil 4.45'te ise D sınıfı-sedan otomobillerde elde edilebilecek klima tasarruflarının yüzde olarak oranları verilmektedir. Grafikte yer verilen otomobiller sırasıyla şunlardır: Peugeot 508 1.6 Active AT, BMW 3 Serisi 328i, Toyota Avensis 1.6 Advance, Hyundai Elantra 1.6 Elite AT ve Honda Accord 2.0 Executive AT. Otomobillerin tamamı 2015 model olarak Türkiye'de satışa sunulan ve LPG dönüşümü yapılabilen otomobillerden seçilmiştir. HB/R sisteminin %100 verimle çalışması durumunda elde edilebilecek klima tasarrufunun belirtilen otomobillerde %2,6 ile %3,3 arasında olduğu grafikten anlaşılmaktadır. HB/R sisteminin deneylerden elde edilen verim değerlerinin ortalaması olan %16 verimle çalışması durumunda ise elde edilen klima tasarrufunun %0,4 ile %0,5 arasında olduğu görülmektedir. D sınıfı-Sedan otomobillerde elde edilebilecek klima tasarruflarının B sınıfı-Hatchback ve C sınıfı-Hatchback otomobillere göre düşük çıkması literatürden alınan soğutma yükü değerine göre yakıt tüketiminin daha az yükselmesinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.45 Standart (D sınıfı-sedan) araçlarda klima tasarrufu

Deneysel ortalamaya göre hesaplanan klima tasarrufu değerlerinin düşük çıkmasının nedeni literatürden alınan soğutma yükü değerlerinin yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Bu değerlerin taşıtların soğutulması için gereken en yüksek soğutma yükü değerleri olduğu açıktır. Taşıtlar her zaman aynı soğutma yükü değerlerine maruz kalmazlar. Klimanın kapalı konumunda (kompresör çalışmazken) dışarıdan gelen havanın hiçbir soğutma işlemine tabi tutulmadan doğrudan kabine yönlendirildiği durumlarla sık karşılaşılmaktadır. Soğutma yükünün bu tür durumlara göre bir miktar arttığı zamanlarda taşıtlarda HB/R'li LPG sisteminin kullanılması yine klima kompresörünün devreye girmeden kabinin soğutulmasını sağlayacaktır. Soğutma yükünün HB/R sisteminin karşılayamayacağı kadar yükselmesi durumunda ise klima kompresörü devreye girecek, ancak HB/R sistemi sayesinde yukarıda örneği verilen oranlarda yakıt ve zararlı emisyonlar azalacaktır. Dünyadaki LPG'li taşıt sayıları dikkate alındığında elde edilebilecek toplam yakıt tüketiminin ve zararlı emisyonlardaki azalmanın göz ardı edilemeyecek seviyelerde olduğu açıktır.

Klima tasarrufunun küçük değerlerde kalmasının nedenlerinden bir diğeri ise deneylerde kullanılan HB/R sisteminin sahip olduğu ortalama verimin düşük olmasıdır. Verimin yükseltilmesi için HB/R B/R'si üzerinde daha fazla çalışmaya ihtiyaç

bulunmaktadır. Özellikle B/R ünitelerinin yekpare bir yapıda olmaları LPG'nin çektiği ısının havanın soğutulmasında daha yüksek verimle kullanılmasını sağlayacaktır. Ayrıca günümüz taşıtlarının düşük yakıt tüketimine sahip olmaları da yine klima tasarrufunun küçük değerlerde çıkmasına neden olmaktadır. HB/R sisteminin küçük kabinli, yüksek yakıt tüketimine sahip taşıtlarda kullanılması klima yükünün önemli bir kısmının yakılmak üzere motora giden LPG tarafından karşılanmasını sağlayacağı düşünülmektedir.

4.6. Hata Analizinin Değerlendirilmesi

Deneylerde elde edilen verilerin hata analizinde Akılcı Yaklaşım (Commonsense Basis) [106] esaslarından yararlanılmıştır. Buna göre hesaplanan ± hata yüzdeleri Tablo 4.1'de verilmektedir. Tablodaki hata değerleri deneylerde kullanılan ekipmanlara ve hesaplama yöntemlerine göre değişkenlik göstermektedir. Hata değerleri tüm deney verileri için hesaplanmış, tabloya elde edilen en yüksek değerler konulmuştur. Bazı ifadelerin ± değerleri farklılık gösterdiğinden tabloda ayrı olarak verilmiştir. Bir ölçüm aleti ile elde edilen verinin herhangi bir değerde karesinin veya küpünün alınması hatanın yüksek olmasına neden olmaktadır. Ayrıca birden çok ölçüm aleti verisinin herhangi bir ifadenin hesabında kullanılması da hata yüzdesinin yükselmesine neden olmaktadır.

Tablo 4.1 Hata analizi

Tüketim hata oranı (Benzin)	Rölanti	±%1,80	
	Ç.Gaz	±%1,08	
	Y.Gaz	±%0,84	
Tüketim hata oranı (LPG)	Rölanti	±%2,34	
	Ç.Gaz	±%1,46	
	Y.Gaz	±%0,97	
Maliyet hata oranı (Benzin)	Rölanti	+%2,29	-%2,38
	Ç.Gaz	+%1,48	-%1,44
	Y.Gaz	+%0,97	-%0,96
Maliyet hata oranı (LPG)	Rölanti	+%1,77	-%1,83
	Ç.Gaz	+%1,13	-%1,03
	Y.Gaz	+%0,87	-%0,82
Su debisi hata oranı		±%0,50	
Özgül ısı hata oranı		+%0,05	-%0,38
Su sıcaklığı farkı hata oranı (SB/R Benzin)	Rölanti	±%5,37	
	Ç.Gaz	±%5,38	

	Y.Gaz	±%5,36	
Suyun bıraktığı ısı hata oranı (SB/R Benzin)	Rölanti	+%5,95	-%6,20
	Ç.Gaz	+%5,79	-%6,04
	Y.Gaz	+%5,94	-%6,19
Su sıcaklığı farkı hata oranı (SB/R LPG)	Rölanti	±%5,52	
	Ç.Gaz	±%5,59	
	Y.Gaz	±%5,51	
Suyun bıraktığı ısı hata oranı (SB/R LPG)	Rölanti	+%6,10	-%6,35
	Ç.Gaz	+%6,17	-%6,42
	Y.Gaz	+%6,09	-%6,34
LPG çıkış sıcaklığı hata oranı (SB/R)	Rölanti	+%2,81	+%2,41
	Ç.Gaz	+%2,88	+%2,48
	Y.Gaz	+%2,88	+%2,48
LPG giriş entalpi hata oranı (SB/R)		±%1,00	
LPG çıkış entalpi hata oranı (SB/R)		+%0,19	+%0,16
LPG'nin çektiği ısı hata oranı (SB/R)	Rölanti	+%3,31	-%1,36
	Ç.Gaz	+%2,30	-%0,57
	Y.Gaz	+%0,79	-%0,19
Hava hızı hata oranı		±%5,00	
Hava kanal kesiti hata oranı		±%1,00	
Sıcaklık hata oranı (HB/R 2,3) (Hava giriş)	M.Ç.	±%3,35	
	Rölanti	±%3,35	
	Ç.Gaz	±%3,36	
	Y.Gaz	±%3,39	
Sıcaklık hata oranı (HB/R 2,3) (Hava çıkış)	M.Ç.	±%3,33	
	Rölanti	±%3,59	
	Ç.Gaz	±%3,81	
	Y.Gaz	±%4,19	
Sıcaklık hata oranı (HB/R 3,5) (Hava giriş)	M.Ç.	±%3,33	
	Rölanti	±%3,35	
	Ç.Gaz	±%3,35	
	Y.Gaz	±%3,38	
Sıcaklık hata oranı (HB/R 3,5) (Hava çıkış)	M.Ç.	±%3,33	
	Rölanti	±%3,57	
	Ç.Gaz	±%4,00	
	Y.Gaz	±%4,15	
Sıcaklık hata oranı (HB/R 4,1) (Hava giriş)	M.Ç.	±%3,36	
	Rölanti	±%3,35	
	Ç.Gaz	±%3,35	
	Y.Gaz	±%3,36	
Sıcaklık hata oranı (HB/R 4,1) (Hava çıkış)	M.Ç.	±%3,36	
	Rölanti	±%3,54	
	Ç.Gaz	±%3,96	

	Y.Gaz	±%4,04	
Bağıl Nem hata oranı (HB/R 2,3) (Hava giriş)	M.Ç.	±%6,48	
	Rölanti	±%6,36	
	Ç.Gaz	±%6,73	
	Y.Gaz	±%7,00	
Bağıl Nem hata oranı (HB/R 2,3) (Hava çıkış)	M.Ç.	±%7,61	
	Rölanti	±%8,97	
	Ç.Gaz	±%12,50	
	Y.Gaz	±%15,22	
Bağıl Nem hata oranı (HB/R 3,5) (Hava giriş)	M.Ç.	±%6,73	
	Rölanti	±%6,25	
	Ç.Gaz	±%6,60	
	Y.Gaz	±%6,86	
Bağıl Nem hata oranı (HB/R 3,5) (Hava çıkış)	M.Ç.	±%8,54	
	Rölanti	±%8,33	
	Ç.Gaz	±%10,29	
	Y.Gaz	±%12,96	
Bağıl Nem hata oranı (HB/R 4,1) (Hava giriş)	M.Ç.	±%7,29	
	Rölanti	±%6,14	
	Ç.Gaz	±%6,36	
	Y.Gaz	±%6,73	
Bağıl Nem hata oranı (HB/R 4,1) (Hava çıkış)	M.Ç.	±%9,21	
	Rölanti	±%7,95	
	Ç.Gaz	±%8,14	
	Y.Gaz	±%10,29	
Özgül nem hata oranı (HB/R 2,3) (Hava giriş)	Rölanti	+%15,05	-%13,87
	Ç.Gaz	+%15,54	-%14,29
	Y.Gaz	+%15,92	-%14,63
Özgül nem hata oranı (HB/R 2,3) (Hava çıkış)	Rölanti	+%18,62	-%17,00
	Ç.Gaz	+%24,33	-%21,96
	Y.Gaz	+%29,57	-%26,52
Özgül nem hata oranı (HB/R 3,5) (Hava giriş)	Rölanti	+%14,91	-%13,74
	Ç.Gaz	+%15,36	-%14,13
	Y.Gaz	+%15,73	-%14,45
Özgül nem hata oranı (HB/R 3,5) (Hava çıkış)	Rölanti	+%17,72	-%16,21
	Ç.Gaz	+%21,31	-%19,26
	Y.Gaz	+%25,60	-%23,03
Özgül nem hata oranı (HB/R 4,1) (Hava giriş)	Rölanti	+%14,75	-%13,60
	Ç.Gaz	+%15,05	-%13,87
	Y.Gaz	+%15,54	-%14,29
Özgül nem hata oranı (HB/R 4,1) (Hava çıkış)	Rölanti	+%17,15	-%15,71
	Ç.Gaz	+%18,15	-%16,49
	Y.Gaz	+%21,23	-%19,20

Hava entalpi hata oranı (HB/R 2,3) (Hava giriş)	M.Ç.	+%8,88	-%8,35
	Rölanti	+%9,92	-%8,33
	Ç.Gaz	+%8,91	-%8,37
	Y.Gaz	+%8,94	-%8,40
Hava entalpi hata oranı (HB/R 2,3) (Hava çıkış)	M.Ç.	+%9,09	-%8,54
	Rölanti	+%9,14	-%8,57
	Ç.Gaz	+%9,31	-%8,71
	Y.Gaz	+%9,34	-%8,72
Hava entalpi hata oranı (HB/R 3,5) (Hava giriş)	M.Ç.	+%8,92	-%8,39
	Rölanti	+%9,24	-%8,32
	Ç.Gaz	+%8,89	-%8,36
	Y.Gaz	+%8,93	-%8,39
Hava entalpi hata oranı (HB/R 3,5) (Hava çıkış)	M.Ç.	+%9,32	-%8,75
	Rölanti	+%9,09	-%8,52
	Ç.Gaz	+%9,17	-%8,59
	Y.Gaz	+%9,28	-%8,67
Hava entalpi hata oranı (HB/R 4,1) (Hava giriş)	M.Ç.	+%9,02	-%8,47
	Rölanti	+%10,11	-%8,31
	Ç.Gaz	+%8,86	-%8,33
	Y.Gaz	+%8,91	-%8,37
Hava entalpi hata oranı (HB/R 4,1) (Hava çıkış)	M.Ç.	+%9,54	-%8,96
	Rölanti	+%9,05	-%8,50
	Ç.Gaz	+%9,03	-%8,48
	Y.Gaz	+%9,18	-%8,60
Hava ortalama özgül hacim hata oranı (HB/R 2,3)	M.Ç.	+%0,49	-%0,47
	Rölanti	+%0,49	-%0,47
	Ç.Gaz	+%0,49	-%0,47
	Y.Gaz	+%0,49	-%0,47
Hava ortalama özgül hacim hata oranı (HB/R 3,5)	M.Ç.	+%0,50	-%0,49
	Rölanti	+%0,49	-%0,47
	Ç.Gaz	+%0,49	-%0,47
	Y.Gaz	+%0,49	-%0,47
Hava ortalama özgül hacim hata oranı (HB/R 4,1)	M.Ç.	+%0,52	-%0,50
	Rölanti	+%0,49	-%0,47
	Ç.Gaz	+%0,49	-%0,47
	Y.Gaz	+%0,49	-%0,47
Hava debisi hata oranı (HB/R 2,3)	M.Ç.	+%5,54	-%5,51
	Rölanti	+%5,56	-%5,53
	Ç.Gaz	+%5,59	-%5,55
	Y.Gaz	+%5,60	-%5,56
Hava debisi hata oranı (HB/R 3,5)	M.Ç.	+%5,54	-%5,51
	Rölanti	+%5,56	-%5,53
	Ç.Gaz	+%5,58	-%5,55

	Y.Gaz	+%5,60	-%5,56
Hava debisi hata oranı (HB/R 4,1)	M.Ç.	+%5,54	-%5,51
	Rölanti	+%5,55	-%5,52
	Ç.Gaz	+%5,57	-%5,54
	Y.Gaz	+%5,59	-%5,55
Su entalpi hata oranı (HB/R 2,3)	Rölanti	±%3,58	
	Ç.Gaz	±%3,80	
	Y.Gaz	±%4,18	
Su entalpi hata oranı (HB/R 3,5)	Rölanti	±%3,56	
	Ç.Gaz	±%3,99	
	Y.Gaz	±%4,13	
Su entalpi hata oranı (HB/R 4,1)	Rölanti	±%3,53	
	Ç.Gaz	±%3,95	
	Y.Gaz	±%4,03	
Havaya verilen ısı hata oranı (HB/R 2,3)	M.Ç.	+%29,83	-%25,09
Havaya verilen ısı hata oranı (HB/R 3,5)	M.Ç.	+%27,35	-%23,11
Havaya verilen ısı hata oranı (HB/R 4,1)	M.Ç.	+%21,51	-%18,71
Havadan çekilen ısı hata oranı (HB/R 2,3)	Rölanti	+%24,77	-%20,95
	Ç.Gaz	+%23,95	-%21,06
	Y.Gaz	+%24,03	-%21,11
Havadan çekilen ısı hata oranı (HB/R 3,5)	Rölanti	+%23,94	-%20,91
	Ç.Gaz	+%23,96	-%21,06
	Y.Gaz	+%24,02	-%21,11
Havadan çekilen ısı hata oranı (HB/R 4,1)	Rölanti	+%24,95	-%20,87
	Ç.Gaz	+%23,89	-%21,01
	Y.Gaz	+%23,98	-%21,08
LPG giriş entalpi hata oranı		±%1,00	
LPG çıkış sıcaklığı hata oranı (HB/R 2,3)	Rölanti	+%2,90	+%2,30
	Ç.Gaz	+%3,08	+%2,68
	Y.Gaz	+%3,37	+%2,97
LPG çıkış entalpi hata oranı (HB/R 2,3)	Rölanti	+%0,19	+%0,16
	Ç.Gaz		
	Y.Gaz		
LPG'nin çektiği ısı hata oranı (HB/R 2,3)	Rölanti	+%1,92	-%1,35
	Ç.Gaz	+%1,12	-%0,56
	Y.Gaz	+%0,71	-%0,17
LPG çıkış sıcaklığı hata oranı (HB/R 3,5)	Rölanti	+%2,90	+%2,31
	Ç.Gaz	+%3,25	+%2,85
	Y.Gaz	+%3,36	+%2,96
LPG çıkış entalpi hata oranı (HB/R 3,5)	Rölanti	+%0,19	+%0,16
	Ç.Gaz		
	Y.Gaz		
LPG'nin çektiği ısı hata oranı (HB/R 3,5)	Rölanti	+%1,92	-%1,35

	Ç.Gaz	+%1,12	-%0,55
	Y.Gaz	+%0,71	-%0,17
LPG çıkış sıcaklığı hata oranı (HB/R 4,1)	Rölanti	+%2,88	+%2,31
	Ç.Gaz	+%3,22	+%2,82
	Y.Gaz	+%3,28	+%2,88
LPG çıkış entalpi hata oranı (HB/R 4,1)	Rölanti	+%0,19	+%0,16
	Ç.Gaz		
	Y.Gaz		
LPG'nin çektiği ısı hata oranı (HB/R 4,1)	Rölanti	+%1,92	-%1,35
	Ç.Gaz	+%1,12	-%0,55
	Y.Gaz	+%0,71	-%0,17
Verim hata oranı (HB/R 2,3)	Rölanti	+%22,42	-%19,67
	Ç.Gaz	+%22,59	-%20,29
	Y.Gaz	+%23,16	-%20,62
Verim hata oranı (HB/R 3,5)	Rölanti	+%21,60	-%19,66
	Ç.Gaz	+%22,60	-%20,31
	Y.Gaz	+%23,16	-%20,61
Verim hata oranı (HB/R 4,1)	Rölanti	+%22,59	-%19,43
	Ç.Gaz	+%22,54	-%20,28
	Y.Gaz	+%23,11	-%20,61
COP hata oranı (HB/R 2,3)	Rölanti	+%24,77	-%20,95
	Ç.Gaz	+%23,95	-%21,06
	Y.Gaz	+%24,03	-%21,11
COP hata oranı (HB/R 3,5)	Rölanti	+%23,94	-%20,91
	Ç.Gaz	+%23,96	-%21,06
	Y.Gaz	+%24,02	-%21,11
COP hata oranı (HB/R 4,1)	Rölanti	+%24,95	-%20,87
	Ç.Gaz	+%23,89	-%21,01
	Y.Gaz	+%23,98	-%21,08

BÖLÜM 5

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan deneysel çalışma ve teorik hesaplamalardan çıkarılabilecek sonuç ve öneriler maddeler halinde aşağıda belirtilmiştir:

- SB/R ve HB/R deneyleri üç farklı motor hızında yüksüz olarak gerçekleştirilmiştir. Motorun dakikadaki devir sayısı rölantide ortalama 1000 rpm, çeyrek gazda 1800 rpm ve yarım gazda 2400 rpm değerlerini almaktadır. Bu değerler SB/R ve HB/R deneylerinde aynı kalmıştır. Motorun tam gaz kelebeği açıklığında devir sayısı 5500 rpm olmakla beraber motorun arızasız uzun süre çalışabilmesi için yüksek hızlarda deneyler yapılmamıştır.
- LPG tankının tam dolu olduğu durumda tank basıncı yaklaşık 0,55 MPa civarında olmuştur. Tank basıncı 0,1 MPa civarında motorun çalışması için yeterli olmamıştır. Tank basıncı motorun LPG ile rölanti hızında çalıştırıldığı deneylerde ortalama 0,5 MPa, çeyrek gaz durumundaki hızında çalıştırıldığı deneylerde ortalama 0,4 MPa ve yarım gaz durumundaki hızında çalıştırıldığı deneylerde ise ortalama 0,3 MPa olarak gerçekleştirilmiştir. Böylece aynı motor devirleri için SB/R ve HB/R deneyleri aynı LPG tank basınçlarında yürütülmüştür.
- Deney motorunun rölanti, çeyrek gaz ve yarım gaz kelebeği açıklıklarında çalışması esnasında ortalama LPG sarfiyatı/benzin sarfiyatı değeri 1,1 olarak elde edilmiştir. Bu da motorun hacimsel olarak benzine göre %10 daha fazla LPG tükettiğini göstermektedir. Deney motorunun bu üç gaz kelebeği açıklıklarında LPG ile çalışması esnasında benzinle çalışmasına göre ortalama %45,8 daha ekonomik olarak çalıştığı görülmüştür.

- Rölanti, çeyrek gaz ve yarım gaz kelebeği açıklıklarında SB/R ünitesinden akmakta olan motor soğutma suyunun aldığı yaklaşık ortalama debilerin değişimi sırasıyla 0,2 kg/s, 0,4 kg/s ve 0,6 kg/s olmaktadır. Bu artışın sebebi motor devrinin artmasıyla motor soğutma suyu pompasının da devrinin artmasıdır.
- HB/R giriş-çıkışındaki hava debileri üç kademeli bir fan ile ayarlanmıştır. Fanın birinci konumunda hava hızı 2,3 m/s olarak gerçekleşmiş ve bu hızda hava debisi 0,0014 kg/s olmuştur. İkinci konumda hava hızı 3,5 m/s ve hava debisi 0,0021 kg/s ve üçüncü konumda ise hava hızı 4,1 m/s ve bu hıza karşılık gelen hava debisi 0,0059 kg/s olarak elde edilmiştir.
- Motor soğutma sistemi termostatı yaklaşık 78°C'de açılmış ve bu sıcaklık bölgesinde SB/R'nin motor soğutma suyu giriş-çıkış ve LPG çıkış sıcaklıkları en yüksek değerine ulaşarak bu değer civarında sabit kalmıştır. LPG çıkış sıcaklığı en yüksek 70°C civarına ulaşmıştır.
- Motorun rölanti çalışmasında ısınarak rejim sıcaklığına ulaşması yaklaşık 2400 s'de, çeyrek gazda yaklaşık 1200 s'de, yarım gazda ise yaklaşık 500 s'de gerçekleşmiştir. Motorun benzin veya LPG ile çalışması rejim sıcaklığına ulaşma süresini çok fazla etkilememiştir.
- Motorun benzinde çalıştığı durum için rölantide SB/R giriş-çıkışındaki yaklaşık ortalama su sıcaklık farkı 0,2°C, çeyrek gazda 0,1°C ve yarım gazda 0,1°C olarak gerçekleşmiştir. Motorun LPG'de çalıştırılması durumunda ise yine rölanti, çeyrek gaz ve yarım gaz durumları için SB/R giriş-çıkışındaki ortalama su sıcaklık farkları sırasıyla 0,6°C, 0,7°C ve 0,7°C olmuştur.
- Motorun rölanti, çeyrek gaz ve yarım gaz hızlarında benzinde çalışması boyunca SB/R'nin motor soğutma suyundan çektiği ortalama ısı miktarları sırasıyla 0,18 kW, 0,2 kW ve 0,23 kW civarında seyrederken, LPG'de çalışması boyunca elde edilen ortalama ısı miktarları sırasıyla 0,55 kW, 1,2 kW ve 1,65 kW civarında gerçekleşmiştir. Motorun benzinde çalışması ile LPG'de çalışması esnasındaki ortalama ısı farkları SB/R'deki LPG akışından kaynaklanmaktadır. Ancak LPG'nin giriş-çıkış hallerine bağlı olarak bulunan entalpi farklarına ve ortalama LPG kütlesel debisine göre bulunan LPG'nin çektiği anlık ısı değeri ortalama yaklaşık 0,08 kW civarında seyretmiştir. LPG'nin çektiği ısının çok fazla

değişmemesi çalışmada kullanılan hesaplama yönteminden kaynaklanmaktadır. Bu yönteme göre giriş durumundaki LPG'nin ölçülen tank basıncına göre doymuş sıvı halinde olduğu kabul edilmiştir. Bu durum literatür ile desteklenmiştir.

- HB/R deneyleri motorun çalışmadığı durumda ve motorun rölanti, çeyrek gaz ve yarım gaz hızlarında hava fanının üç konumu için gerçekleştirilmiştir. Bu konumlarda HB/R'deki hava hızları 2,3 m/s, 3,5 m/s ve 4,1 m/s olarak elde edilmiştir.
- HB/R sistemi için deney süresi 1900 s olarak seçilmiştir. Bu süre için tüm deney koşullarında HB/R sistemi rejim sıcaklığına ulaşmaktadır.
- Motorun çalışmadığı durumda yapılan HB/R deneylerinde başlangıçta yaklaşık oda şartlarında (24°C sıcaklık ve %57 bağıl nem) bulunan hava, deney sonunda 2,3 m/s, 3,5 m/s ve 4,1 m/s hava hızları için sırasıyla 27°C, 29°C ve 32°C sıcaklık ve %46, %41 ve %38 bağıl nem değerlerini almıştır. HB/R çıkışındaki hava sıcaklığının artması HB/R ünitesi içerisinde yer alan fanın ürettiği ısı nedeniyle olmaktadır. Bağıl nem değerlerinin düşmesi ise sıcaklığın yükselmesi ve HB/R ünitesi içinde az da olsa bulunan LPG'nin ısı çekmesi nedeniyle olmaktadır. HB/R ünitesinden havaya verilen ortalama ısı değerleri ise yine sırasıyla 2 W, 5 W ve 20 W civarında bulunmaktadır. Bu ortalama değerler fanın konumlarına göre harcanan enerjiye göre (24 W, 48 W, 72 W) küçük kalmaktadır.
- Motorun çalışmadığı ve HB/R hava üfleyicisinin farklı hızlarda çalıştığı durum için HB/R giriş-çıkışındaki ortalama hava sıcaklık farklarının 2,3 m/s, 3,5 m/s ve 4,1 m/s hava hızları için aldığı yaklaşık değerler sırasıyla -1,4°C, -2,4°C ve -2,5°C olmuştur. Değerlerin negatif çıkması, motorun çalışmaması nedeniyle LPG'ye verilen ısının olmaması, buna karşılık çalışan fanın havaya vermiş olduğu ısıdan kaynaklanmıştır. Motorun rölantide çalışması durumunda yine 2,3 m/s, 3,5 m/s ve 4,1 m/s hava hızları için HB/R giriş-çıkışındaki ortalama hava sıcaklık farkları sırasıyla 0,7°C, 0,6°C ve 0,5°C değerlerini, çeyrek gazda 1,6°C, 2,3°C ve 2,2°C değerlerini ve yarım gazda ise 3°C, 2,9°C ve 2,4°C değerlerini almıştır.

- Motorun çalışmadığı ve HB/R hava üfleyicisinin farklı hızlarda çalıştığı durum için HB/R giriş-çıkışındaki ortalama hava bağıl nem farklarının 2,3 m/s, 3,5 m/s ve 4,1 m/s hava hızları için aldığı yaklaşık değerler sırasıyla %4, %7 ve %5 olmuştur. Motorun çalışmadığı durum için bağıl nemde meydana gelen düşmenin sebebi fandan kaynaklanan sıcaklık artışı nedeniyle değişen sıcaklık değerine karşılık gelen bağıl nemin farklılaşmasıdır. Motorun rölantide çalışması durumunda yine 2,3 m/s, 3,5 m/s ve 4,1 m/s hava hızları için HB/R giriş-çıkışındaki ortalama hava bağıl nem farkları sırasıyla %9, %7 ve %6 değerlerini, çeyrek gazda %19, %15 ve %9 değerlerini ve yarım gazda ise %19, %17 ve %12 değerlerini almıştır. Motor devrinin artmasıyla beraber LPG akışının da artması HB/R giriş-çıkış hava bağıl nem farklarının da artmasını sonuç vermiştir.
- HB/R'nin çıkışında hava sıcaklık ve bağıl nem değerleri motorun rölanti, çeyrek gaz ve yarım gaz hızlarında sırasıyla; hava hızının 2,3 m/s olduğu durum için en düşük 23°C, 21°C ve 19°C sıcaklık ve %39, %28 ve %23 bağıl nem değerlerini, hava hızının 3,5 m/s olduğu durum için en düşük 23°C, 20°C ve 19°C sıcaklık ve %42, %34 ve %27 bağıl nem değerlerini ve hava hızının 4,1 m/s olduğu durum için en düşük 23°C, 20°C ve 20°C sıcaklık ve %44, %43 ve %34 bağıl nem değerlerini görmektedir. Hava sıcaklığının düşmesi motorun çalışırken harcadığı LPG yakıtının buharlaşırken çektiği ısı nedeniyle olmaktadır. Bağıl nem değerlerinin düşmesi ise sıcaklığın düşmesine rağmen HB/R ünitesi içinden akmakta olan LPG'nin B/R yüzeylerinde havadaki nemi yoğuşturmasından kaynaklanmaktadır.
- HB/R hava çıkışı yalıtımlı bir soğutma odacığı üzerinden HB/R hava girişine bağlanmasına rağmen HB/R girişindeki hava sıcaklık ve bağıl nem değerleri başlangıçtaki değerden çok fazla uzaklaşmamıştır.
- HB/R ünitesinde havadan çekilen ortalama ısı değerleri motorun rölanti, çeyrek gaz ve yarım gaz hızlarında sırasıyla; hava hızının 2,3 m/s olduğu durum için 8W, 16 W ve 19 W, hava hızının 3,5 m/s olduğu durum için 10 W, 24 W ve 27 W ve hava hızının 4,1 m/s olduğu durum için 10 W, 22 W ve 25 W olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar HB/R sisteminin motorda yakıt olarak kullanılan LPG ile soğutma yapabildiğini göstermektedir.

- HB/R'nin tüm hava hızlarında motorun rölanti, çeyrek gaz ve yarım gaz durumları için LPG'nin çektiği ortalama ısı rölantide 70 W, çeyrek gazda 110 W ve yarım gazda 170 W olarak bulunmuştur. LPG'nin çektiği ısının havadan çekilen ısıdan yüksek oluşu LPG'nin soğutucu etkisinden tam olarak yararlanılamadığını göstermektedir.
- Motorun rölanti, çeyrek gaz ve yarım gaz durumları için ortalama HB/R verimleri sırasıyla; 2,3 m/s hava hızında %12, %14 ve %11, 3,5 m/s hava hızında %16, %22 ve %16 ve 4,1 m/s hava hızında %15, %21 ve %15 değerlerini almıştır. HB/R veriminin artırılması LPG'nin sahip olduğu soğutucu etkiden daha fazla yararlanılmasını sağlayacaktır.
- Motorun rölanti, çeyrek gaz ve yarım gaz durumları için ortalama COP değerleri sırasıyla; 2,3 m/s hava hızında 0,3, 0,7 ve 0,8, 3,5 m/s hava hızında 0,2, 0,5 ve 0,6 ve 4,1 m/s hava hızında 0,1, 0,3 ve 0,4 değerlerini almıştır. Elde edilen bu COP'lerin kompresörlü bir klima sistemine göre düşük, Peltier etkili termoelektrik bir soğutucuya göre ise yüksek değerler olduğu söylenebilir.
- Araç analizinin yapılabilmesi için motorun rölanti, çeyrek gaz ve yarım gaz durumlarında elde edilen deneysel verim değerlerinin ortalaması %16 olarak hesaplanmıştır.
- HB/R sisteminin %100 verimle çalışması durumunda elde edilebilecek klima tasarrufu B sınıfı-Hatchback otomobillerde %2,8 ile %4,2 arasında, C sınıfı-Hatchback otomobillerde %2,7 ile %3,7 arasında ve D sınıfı-Sedan otomobillerde %2,6 ile %3,3 arasında çıkmıştır. HB/R sisteminin bu otomobillerde %16 verimle çalışması durumunda ise elde edilen klima tasarrufunun yukarıda belirtilen sıra ile %0,5-0,7, %0,4-0,6 ve %0,4-0,5 arasında olduğu görülmüştür. Deneysel ortalamaya göre hesaplanan klima tasarrufu değerlerinin düşük çıkmasının nedeni literatürden alınan soğutma yükü değerlerinin yüksek olmasından kaynaklanmıştır. Bu değerlerin taşıtların soğutulması için gereken en yüksek soğutma yükü değerleri olduğu açıktır. Taşıtlar her zaman aynı soğutma yükü değerlerine maruz kalmazlar. Klimanın kapalı konumunda (kompresör çalışmazken) dışarıdan gelen havanın hiçbir soğutma işlemine tabi tutulmadan doğrudan kabine yönlendirildiği durumlarla sık karşılaşılmaktadır. Soğutma yükünün bu tür durumlara göre bir miktar arttığı

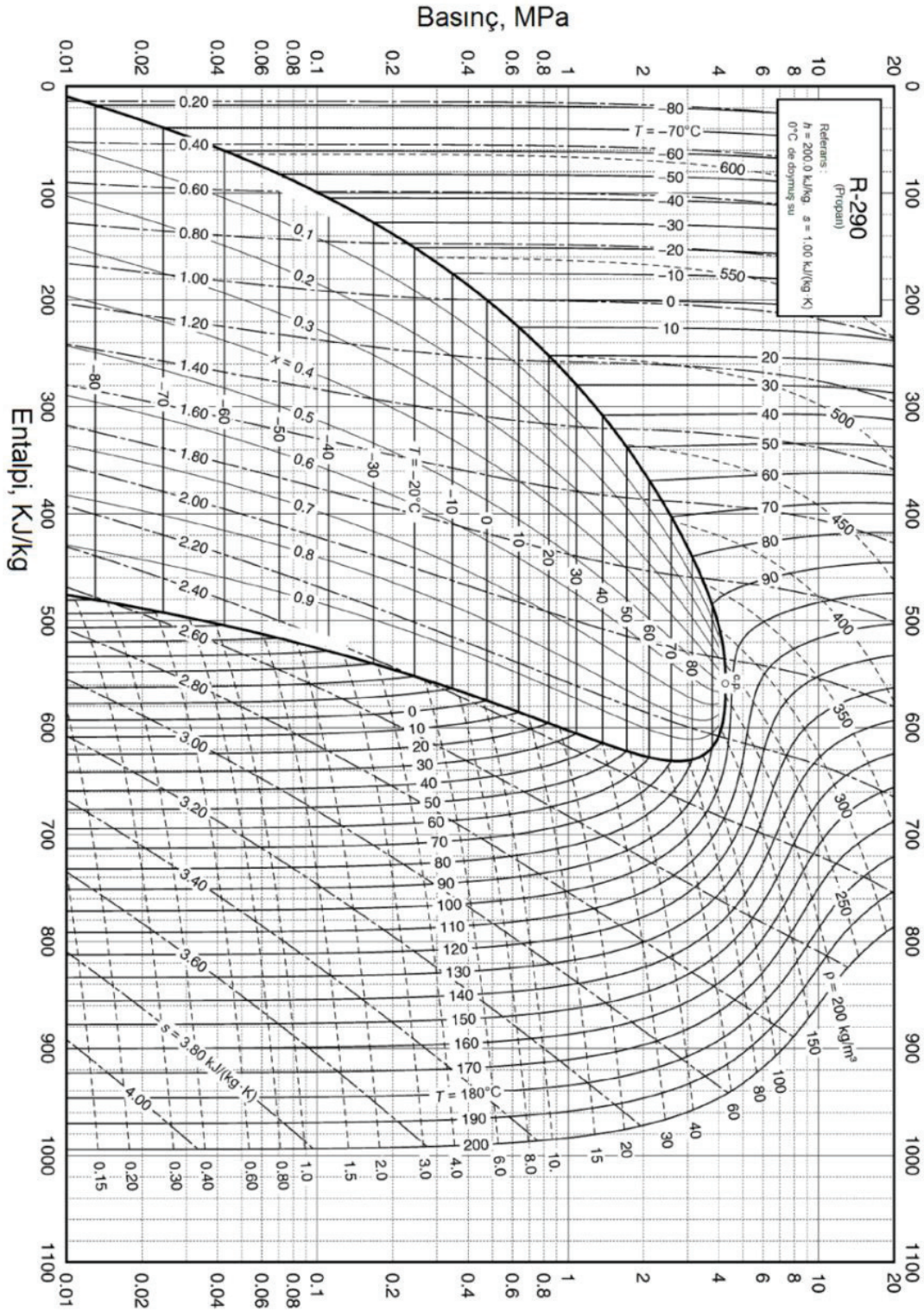
zamanlarda taşıtlarda HB/R'li LPG sisteminin kullanılması yine klima kompresörünün devreye girmeden kabinin soğutulmasını sağlayacaktır. Soğutma yükünün HB/R sisteminin karşılayamayacağı kadar yükselmesi durumunda ise klima kompresörü devreye girecek, ancak HB/R sistemi sayesinde yukarıda örneği verilen oranlarda yakıt ve zararlı emisyonlar azalacaktır. Dünyadaki LPG'li taşıt sayıları dikkate alındığında elde edilebilecek toplam yakıt tüketimi ve zararlı emisyonlardaki azalmanın göz ardı edilemeyecek seviyelerde olduğu açıktır.

- Klima tasarrufunun küçük değerlerde kalmasının nedenlerinden bir diğeri ise deneylerde kullanılan HB/R sisteminin sahip olduğu ortalama verimin düşük olmasıdır. Verimin yükseltilmesi için HB/R B/R'si üzerinde daha fazla çalışmaya ihtiyaç bulunmaktadır. Özellikle B/R ünitelerinin yekpare bir yapıda olmaları LPG'nin çektiği ısının havanın soğutulmasında daha yüksek verimle kullanılmasını sağlayacaktır. Ayrıca günümüz taşıtlarının düşük yakıt tüketimine sahip olmaları da yine klima tasarrufunun küçük değerlerde çıkmasına neden olmuştur. HB/R sisteminin küçük kabinli, yüksek yakıt tüketimine sahip taşıtlarda kullanılması klima yükünün önemli bir kısmının yakılmak üzere motora giden LPG tarafından karşılanmasını sağlayacağı düşünülmektedir.
- Deneylerden elde edilen verilerin hata analizinde hesaplanan hata değerleri %0,05 ile %30 arasında değişen değerler almıştır. Hesaplanan bir değer için birden fazla ölçüm aletinden elde edilen verilerin kullanılması bazı ifadelerde hatanın yüksek çıkmasına neden olmuştur.
- Yakıt tüketimi değerlerinin ölçümlerinde hassas terazi yerine uygun bir debimetre kullanılması LPG akışının anlık takip edilmesini sağlayacak ve motorun rejim sıcaklığına ulaşana kadar harcadığı LPG'nin zamana bağlı değişimlerini gösterebilecektir.
- Motorun rölanti, çeyrek gaz ve yarım gaz durumlarına ek olarak dinamometre ile yüklenerek farklı devirlerde de çalıştırılması elde edilen sonuçlardaki çeşitliliği artıracaktır.
- HB/R sisteminin otomobillerde kullanılması durumunda maliyeti düşük olacaktır. Çünkü otomobil klima sistemlerinde mevcut bulunan fan vb. birçok eleman HB/R sistemiyle ortak kullanılabilecektir.

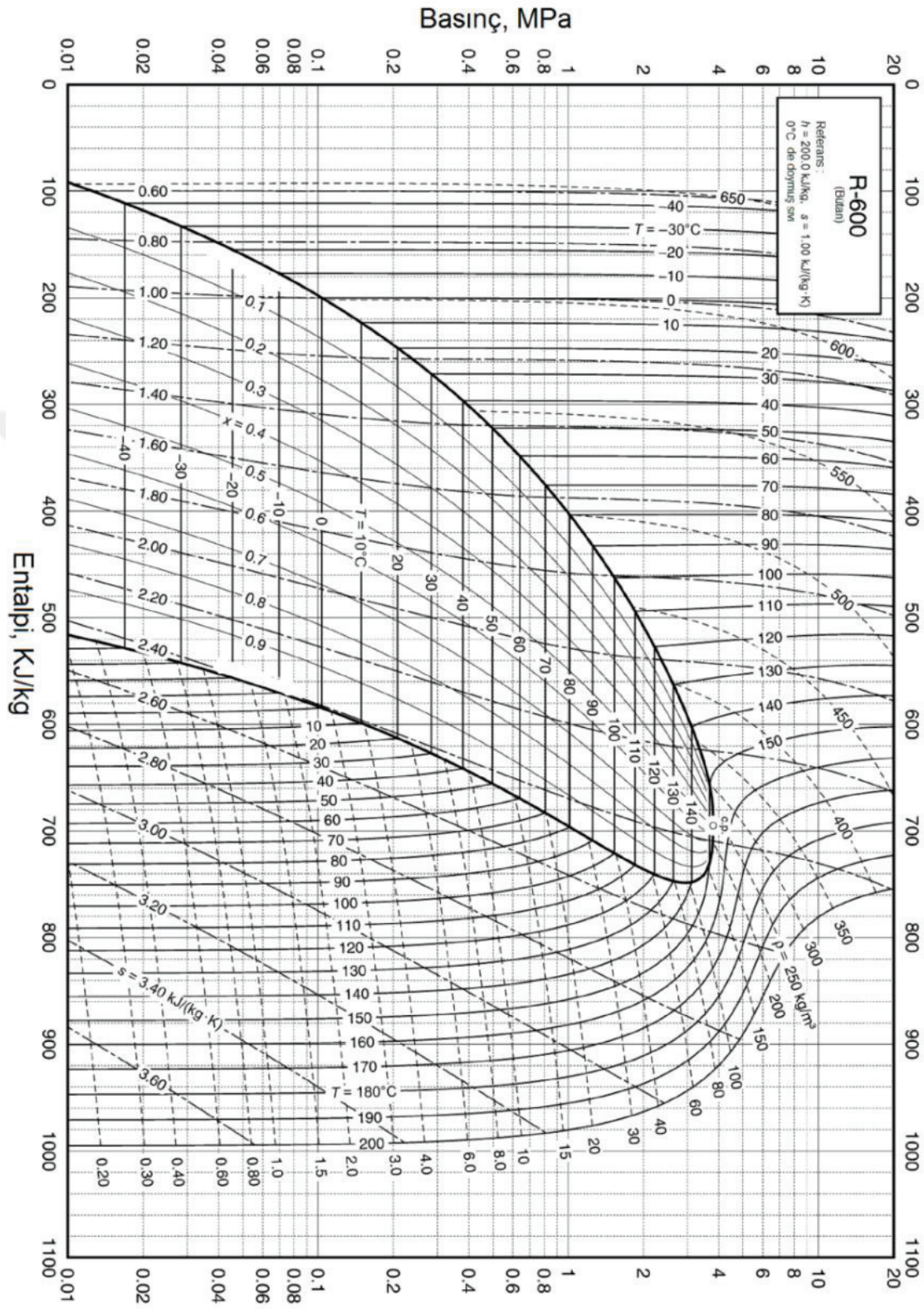
- HB/R sisteminin otomobillerde uygulanması sıcak iklimli bölgelerde ve yaz aylarında sorun çıkarmayacaktır. Hava sıcaklığının LPG'yi buharlaştıramayacak kadar düştüğü bölgelerde ise HB/R sisteminin ısıtılmasında motorun ısısından yararlanılması gibi farklı yöntemlerin denenmesi gerekebilecektir. Ayrıca HB/R sisteminin fanı otomobilin motoru çalıştığı müddetçe çalışmalıdır, havanın kabine gönderilmesinin istenmediği durumlarda bu havanın kabin dışına yönlendirilmesi gerekecektir.
- HB/R sisteminin etkinliğinin artırılması için aşağıda belirtilen hususlarda çalışmaların sürdürülmesi faydalı olacaktır:
    - Daha düşük/yüksek ısı transfer kapasitesine sahip B/R'lerin denenmesi,
    - Değişik tipte B/R'lerin denenmesi,
    - Daha iyi bir tasarım ile hava ve LPG'nin B/R gövdesinin içerisinde farklı geometrilerde dolaştırılması,
    - Daha iyi bir izolasyonun uygulanması,
    - Hava fanının çalışırken ürettiği ısının hava kanalı haricine bırakılması şeklinde tasarım yapılması.

Bu tezde içten yanmalı, buji ateşlemeli, su soğutmalı ve LPG ile çalışan bir motorun soğutma suyu ile ısıtılan bir B/R'ye sahip geleneksel LPG dönüşüm sistemi yerine hava ile ısıtılan bir B/R'ye sahip LPG dönüşüm sistemi ile çalıştırılması üzerinde çalışılmıştır. Tasarlanan ve deneysel olarak test edilen HB/R sistemi ile tezin iki önemli amacı yerine getirilmiştir: motorun yeni sistem üzerinden LPG ile çalıştırılması ve motorun çalışması esnasında ortam havasının soğutulması. Yapılan deneyler ve hesaplamalar ile HB/R sisteminin uygulanabilir olduğu gösterilmiştir. Yapılacak iyileştirmelerle HB/R sisteminin Dünyada ve Türkiye'de milyonlarca LPG'li otomobilde kullanılmasıyla klima sistemi üzerindeki yük hâlihazırda boşa harcanan bir enerji ile azaltılacak ve böylece yakıt tüketimi ile zararlı egzoz emisyonları düşürülebilecektir.

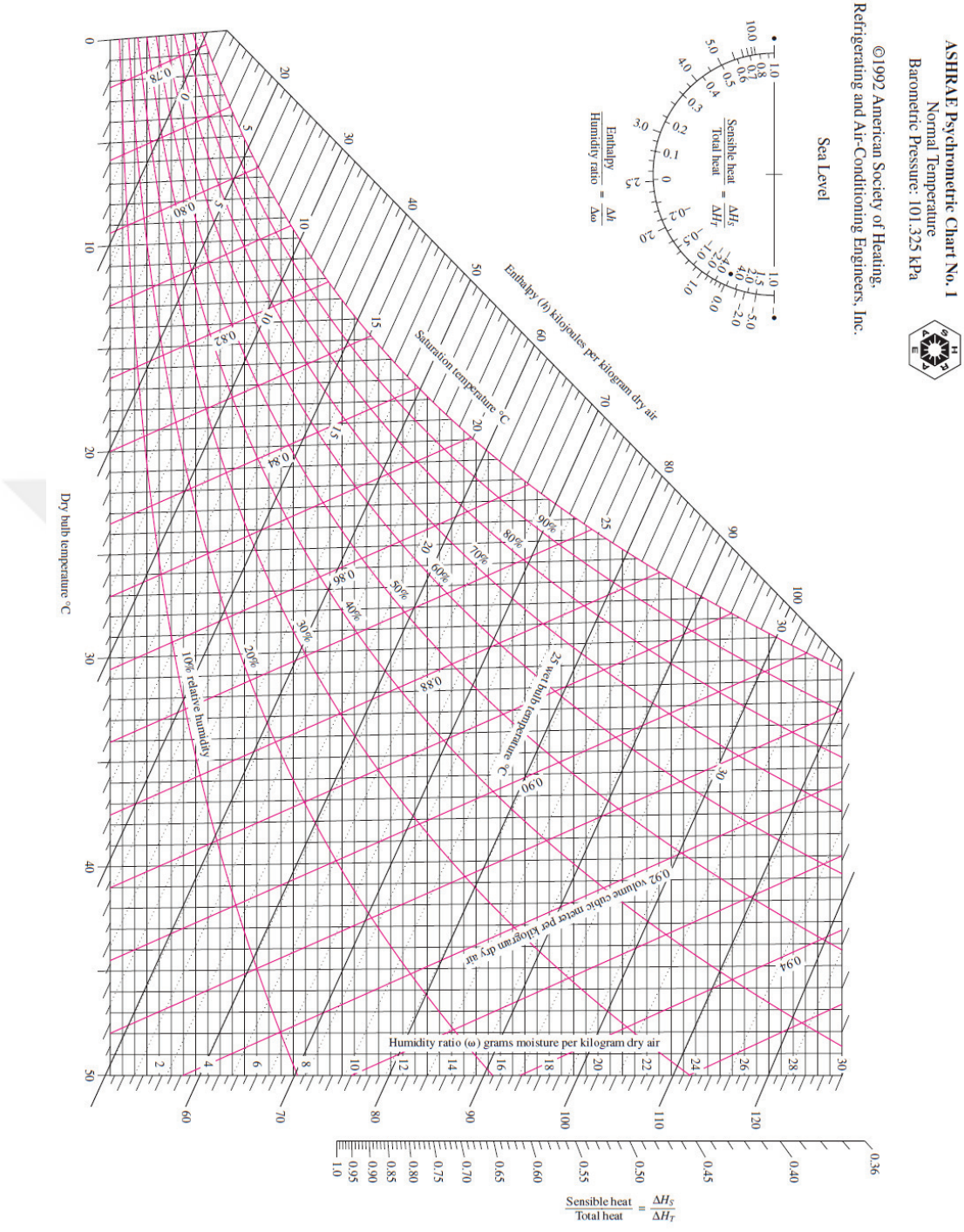
EKLER



EK-A Propanın (R290) basınç-sıcaklık-entalpi diyagramı



EK-B Bütanın (R600) basınç-sıcaklık-entalpi diyagramı



EK-C Psikrometrik diyagram

	Rölanti (Ortalama devir: 1000 r/min, ortalama su debisi: 0,2 L/s)				
Zaman (s)	**Su debisi (L/s=kg/s)**	**Su giriş sıcaklığı (°C)**	**Su çıkış sıcaklığı (°C)**	**Su özgül ısı (kj/kgk)**	**Sudan çekilen ısı (kJ/s)**
0	0,3	24	24	4,2	0,1
110	0,3	33	32	4,2	0,3
220	0,2	39	39	4,2	0,1
330	0,3	44	43	4,2	0,2
440	0,3	48	48	4,2	0,2
550	0,2	51	51	4,2	0,3
660	0,2	54	54	4,2	0,1
770	0,2	58	57	4,2	0,3
880	0,2	60	60	4,2	0,3
990	0,2	62	62	4,2	0,2
1100	0,2	64	64	4,2	0
1210	0,2	66	66	4,2	0,2
1320	0,2	68	68	4,2	0,3
1430	0,2	70	69	4,2	0,1
1540	0,2	71	71	4,2	0,2
1650	0,2	73	72	4,2	0,2
1760	0,2	74	74	4,2	0,4
1870	0,3	76	75	4,2	0,6
1980	0,2	76	76	4,2	0,3
2090	0,2	77	77	4,2	0,2
2200	0,2	78	77	4,2	0,1
2310	0,2	79	78	4,2	0,4
2420	0,2	78	78	4,2	0
2450	0,2	78	78	4,2	0,1

EK-D SB/R benzin deneyi (Rölanti)

	Rölanti (Ortalama devir: 1000 r/min, ortalama su debisi 0,2 L/s, ortalama LPG giriş basıncı: 0,5 MPa)							
Zaman (s)	**Su debisi (L/s=kg/s)**	**Su giriş sıcaklığı (°C)**	**Su çıkış sıcaklığı (°C)**	**Sudan çekilen ısı (kJ/s)**	**LPG çıkış sıcaklığı (°C)**	**LPG çıkış entalpi (kj/kg)**	**LPG giriş entalpi (kj/kg)**	**LPG'nin çektiği ısı (kJ/s)**
0	0,3	24	23	0,9	23	627	265	0,1
110	0,2	36	35	0,9	29	637	265	0,1
220	0,2	45	44	1,1	36	651	265	0,1
330	0,3	51	50	1,3	43	663	265	0,1
440	0,3	56	55	0,7	48	672	265	0,1
550	0,2	60	59	0,4	52	680	265	0,1
660	0,2	63	62	0,6	56	686	265	0,1
770	0,2	65	65	0,5	58	691	265	0,1
880	0,2	68	67	0,5	60	694	265	0,1
990	0,2	70	69	0,5	62	696	265	0,1
1100	0,2	72	71	0,5	63	699	265	0,1
1210	0,2	73	72	0,4	64	701	265	0,1
1320	0,2	74	74	0,3	65	703	265	0,1
1430	0,2	76	75	0,7	66	705	265	0,1
1540	0,2	76	76	0,5	67	706	265	0,1
1650	0,2	77	76	0,4	68	707	265	0,1
1760	0,2	77	77	0,2	68	708	265	0,1
1870	0,3	78	77	0,6	68	708	265	0,1
1980	0,2	79	78	0,8	69	709	265	0,1
2090	0,2	79	78	0,5	69	709	265	0,1
2200	0,2	79	78	0,7	69	709	265	0,1
2310	0,2	78	78	0,5	69	709	265	0,1
2420	0,2	78	78	0,4	69	709	265	0,1
2450	0,2	78	77	0,3	69	709	265	0,1

EK-E SB/R LPG deneyi (Rölanti)

	Çeyrek gaz (Ortalama devir: 1800 r/min, ortalama su debisi: 0,4 L/s)				
Zaman (s)	**Su debisi (L/s=kg/s)**	**Su giriş sıcaklığı (°C)**	**Su çıkış sıcaklığı (°C)**	**Su özgül ısı (kj/kgk)**	**Sudan çekilen ısı (kJ/s)**
0	0,4	24	24	4,2	0
50	0,4	30	30	4,2	0,2
100	0,4	34	34	4,2	0,3
150	0,4	39	39	4,2	0,2
200	0,4	42	42	4,2	0,2
250	0,4	45	45	4,2	0
300	0,4	50	50	4,2	0
350	0,4	53	53	4,2	0
400	0,4	57	57	4,2	0
450	0,4	59	59	4,2	0
500	0,4	61	61	4,2	0,2
550	0,4	63	63	4,2	0,2
600	0,4	64	64	4,2	0,2
650	0,4	66	66	4,2	0,5
700	0,4	68	68	4,2	0,4
750	0,4	70	70	4,2	0,4
800	0,4	71	71	4,2	0,2
850	0,4	73	73	4,2	0,6
900	0,4	75	75	4,2	0,6
950	0,4	77	77	4,2	0
1000	0,4	79	79	4,2	0,2
1050	0,5	81	81	4,2	0,4
1100	0,5	81	81	4,2	-0
1150	0,5	81	81	4,2	0,2
1210	0,5	79	79	4,2	0,2

EK-F SB/R benzin deneyi (Çeyrek gaz)

	Çeyrek gaz (Ortalama devir: 1800 r/min, ortalama su debisi: 0,4 L/s, ortalama LPG giriş basıncı: 0,4 MPa)							
Zaman (s)	**Su debisi (L/s=kg/s)**	**Su giriş sıcaklığı (°C)**	**Su çıkış sıcaklığı (°C)**	**Sudan çekilen ısı (kJ/s)**	**LPG çıkış sıcaklığı (°C)**	**LPG çıkış entalpi (kj/kg)**	**LPG giriş entalpi (kj/kg)**	**LPG'nin çektiği ısı (kJ/s)**
0	0,4	24	23	1,7	22	626	245	0,1
50	0,4	31	30	2,1	28	636	245	0,1
100	0,4	37	36	1,9	33	646	245	0,1
150	0,4	42	41	1,8	39	656	245	0,1
200	0,4	46	45	1,7	44	665	245	0,1
250	0,4	50	49	1,5	48	672	245	0,1
300	0,4	55	54	1,4	54	682	245	0,1
350	0,4	58	58	1,6	57	688	245	0,1
400	0,4	62	61	1,4	59	692	245	0,1
450	0,4	64	63	1,1	61	695	245	0,1
500	0,4	66	65	1,3	62	697	245	0,1
550	0,4	67	67	1,3	63	700	245	0,1
600	0,4	69	68	1,3	65	702	245	0,1
650	0,4	71	70	1,1	66	703	245	0,1
700	0,4	73	72	1,3	66	705	245	0,1
750	0,4	74	73	1,1	67	706	245	0,1
800	0,4	76	75	1,1	67	707	245	0,1
850	0,4	78	77	0,9	68	707	245	0,1
900	0,4	79	79	0,9	68	708	245	0,1
950	0,5	81	80	0,9	68	709	245	0,1
1000	0,5	82	82	0,9	69	709	245	0,1
1050	0,5	80	80	0,8	69	709	245	0,1
1100	0,5	81	80	1	69	709	245	0,1
1150	0,5	79	78	0,6	69	709	245	0,1
1210	0,5	79	78	0,8	69	709	245	0,1

EK-G SB/R LPG deneyi (Çeyrek gaz)

	Yarım gaz (Ortalama devir: 2400 r/min, ortalama su debisi: 0,6 L/s)				
Zaman (s)	**Su debisi (L/s=kg/s)**	**Su giriş sıcaklığı (°C)**	**Su çıkış sıcaklığı (°C)**	**Su özgül ısı (kj/kgk)**	**Sudan çekilen ısı (kJ/s)**
0	0,7	24	24,0	4,2	1,2
20	0,6	35	34,3	4,2	0,7
40	0,6	41	41,1	4,2	0,8
60	0,5	47	46,7	4,2	0,4
80	0,5	51	51,0	4,2	0,7
100	0,5	55	54,8	4,2	0,2
120	0,6	58	57,7	4,2	0,9
140	0,5	61	60,3	4,2	0,4
160	0,6	63	62,4	4,2	0,2
180	0,6	64	64,1	4,2	0,5
200	0,5	66	65,6	4,2	0,2
220	0,6	67	67,0	4,2	0,2
240	0,6	68	68,2	4,2	0,2
260	0,6	70	70,1	4,2	0
280	0,6	71	71,3	4,2	0
300	0,6	73	72,7	4,2	0,5
320	0,6	74	73,8	4,2	0,5
340	0,6	76	75,6	4,2	0,3
360	0,6	77	76,9	4,2	0
380	0,6	78	78,0	4,2	0
400	0,6	79	79,0	4,2	0
420	0,6	80	80,1	4,2	0
440	0,6	81	81,0	4,2	0
460	0,6	82	81,9	4,2	0
480	0,6	80	79,8	4,2	-1
500	0,6	79	79,7	4,2	-1

EK-H SB/R benzin deneyi (Yarım gaz)

	Yarım gaz (Ortalama devir: 2400 r/min, ortalama su debisi: 0,6 L/s, ortalama LPG giriş basıncı: 0,3 MPa)							
Zaman (s)	**Su debisi (L/s=kg/s)**	**Su giriş sıcaklığı (°C)**	**Su çıkış sıcaklığı (°C)**	**Sudan çekilen ısı (kJ/s)**	**LPG çıkış sıcaklığı (°C)**	**LPG çıkış entalpi (kj/kg)**	**LPG giriş entalpi (kj/kg)**	**LPG'nin çektiği ısı (kJ/s)**
0	0,4	24	23	0,6	22	626	221	0,1747
20	0,4	30	29	1,3	27	633	221	0,1779
40	0,4	36	35	1,7	33	646	221	0,1832
60	0,4	42	41	2,2	40	658	221	0,1883
80	0,4	47	46	1,8	46	667	221	0,1926
100	0,4	51	50	1,5	50	675	221	0,1961
120	0,4	55	55	1,5	54	683	221	0,1992
140	0,5	59	58	1,7	57	689	221	0,2018
160	0,5	62	61	1,9	60	693	221	0,2037
180	0,5	64	63	1,8	61	695	221	0,2044
200	0,5	67	66	1,6	62	698	221	0,2056
220	0,5	69	68	1,8	64	700	221	0,2066
240	0,6	71	70	2	66	703	221	0,2081
260	0,7	73	72	2,2	66	705	221	0,2087
280	0,7	75	74	1,8	67	706	221	0,2092
300	0,7	76	76	2,4	68	707	221	0,2096
320	0,7	78	77	1,5	68	708	221	0,2101
340	0,7	80	79	1,5	68	708	221	0,2102
360	0,7	81	81	1,2	69	709	221	0,2104
380	0,7	80	80	0,9	69	709	221	0,2105
400	0,7	81	81	1,2	69	710	221	0,2108
420	0,7	80	80	0,9	69	710	221	0,2108
440	0,7	80	79	0,8	69	709	221	0,2107
460	0,7	79	79	1,5	69	709	221	0,2107
480	0,7	79	79	1,2	69	709	221	0,2106
500	0,7	79	79	1,2	69	709	221	0,2106

EK-I SB/R LPG deneyi (Yarım gaz)

	HB/R 2,3 m/s				
Zaman (s)	**Hava giriş sıcaklığı (°C)**	**Hava çıkış sıcaklığı (°C)**	**Hava giriş bağıl nem (%)**	**Hava çıkış bağıl nem (%)**	**Havaya verilen ısı (kJ/s) (HB/R 2,3 m/s)**
0	23,9	24	57	57	0,00037902
90	23,9	24,1	58	56	-0,000521765
180	24	24,3	58	56	-0,000149616
270	24	24,4	57	55	0,000210939
360	24	24,5	57	54	-7,69423E-05
450	24,1	24,8	57	54	0,000665699
540	24,1	24,9	57	54	0,001042522
630	24,1	25,1	56	53	0,001751373
720	24,1	25,3	56	53	0,002504265
810	24,1	25,4	56	52	0,002174826
900	24,2	25,4	56	52	0,001798217
990	24,2	25,6	55	51	0,002479777
1080	24,2	25,8	55	50	0,002497466
1170	24,2	25,9	55	50	0,002867229
1260	24,2	26,1	55	49	0,002866977
1350	24,3	26,2	54	48	0,002766498
1440	24,3	26,4	54	48	0,00349657
1530	24,3	26,5	54	47	0,003098854
1620	24,3	26,6	54	47	0,003461728
1710	24,4	26,8	54	46	0,003041157
1800	24,4	26,9	54	46	0,003402358
1890	24,4	26,9	54	46	0,003402358
1920	24,4	26,9	54	46	0,003402358

EK-İ HB/R 2,3 m/s deneyi (Motor çalışmazken)

	HB/R 3,5 m/s				
Zaman (s)	**Hava giriş sıcaklığı (°C)**	**Hava çıkış sıcaklığı (°C)**	**Hava giriş bağıl nem (%)**	**Hava çıkış bağıl nem (%)**	**Havaya verilen ısı (kJ/s) (HB/R 3,5 m/s)**
0	24	24	57	57	0
90	24	24,3	57	56	0,00074652
180	24,1	24,6	56	54	0,000853138
270	24,1	24,9	56	54	0,002567105
360	24,2	25,1	55	52	0,002024873
450	24,2	25,5	55	51	0,00320901
540	24,3	25,7	56	51	0,002778221
630	24,3	26	55	49	0,003236429
720	24,4	26,4	55	48	0,003758157
810	24,4	26,6	54	47	0,004705659
900	24,5	26,7	54	46	0,003516034
990	24,5	27	54	46	0,005165006
1080	24,6	27,3	54	45	0,005035878
1170	24,6	27,6	53	44	0,006452178
1260	24,7	27,9	53	44	0,00753941
1350	24,7	28,1	53	44	0,008646736
1440	24,8	28,5	52	43	0,010016504
1530	24,9	28,7	53	42	0,008188214
1620	24,9	28,9	53	42	0,009289194
1710	25	29,2	52	41	0,010034391
1800	25,1	29,3	52	41	0,010023431
1890	25,2	29,3	52	41	0,009461302
1920	25,2	29,3	52	41	0,009461302

EK-J HB/R 3,5 m/s deneyi (Motor çalışmazken)

	HB/R 4,1 m/s				
Zaman (s)	**Hava giriş sıcaklığı (°C)**	**Hava çıkış sıcaklığı (°C)**	**Hava giriş bağıl nem (%)**	**Hava çıkış bağıl nem (%)**	**Havaya verilen ısı (kJ/s) (HB/R 4,1 m/s)**
0	23,8	23,8	56	57	0,001126125
90	23,9	24,2	57	57	0,004980032
180	24	24,5	56	54	0,002458336
270	24,1	24,8	56	54	0,005718372
360	24,2	25	55	52	0,004194381
450	24,3	25,4	54	51	0,008813817
540	24,4	25,6	54	50	0,007298532
630	24,5	26	53	50	0,015014053
720	24,6	26,3	53	48	0,011720798
810	24,7	26,6	52	47	0,01448788
900	24,8	26,7	52	47	0,014482742
990	24,9	27,2	52	46	0,017407186
1080	25,1	27,6	52	44	0,013425454
1170	25,2	27,9	50	44	0,022600831
1260	25,3	28,4	50	43	0,02520638
1350	25,4	28,8	50	43	0,02999573
1440	25,6	29,3	49	41	0,029969853
1530	25,7	29,7	49	41	0,034741215
1620	25,8	30,3	49	40	0,03854423
1710	25,9	30,8	48	39	0,043768523
1800	26	31,3	48	38	0,04567731
1890	26	31,6	48	38	0,050479722
1920	26	31,7	48	38	0,05209041

EK-K HB/R 4,1 m/s deneyi (Motor çalışmazken)

	Rölanti								
Zaman (s)	**Hava giriş sıcaklığı (°C)**	**Hava çıkış sıcaklığı (°C)**	**Hava giriş bağıl nem (%)**	**Hava çıkış bağıl nem (%)**	**Havadan çekilen ısı (kJ/s) (Rölanti)**	**LPG çıkış sıcaklığı (°C)**	**LPG'nin çektiği ısı (kJ/s) (Rölanti)**	**Verim (%) (Rölanti)**	**COP (Rölanti)**
0	24	24	57	57	0	24	0,065	0	0
90	24	23,9	57	57	4E-04	23,9	0,065	0,569	0,015
180	24	23,9	57	56	1E-03	23,9	0,065	1,515	0,041
270	24	23,8	57	55	0,002	23,7	0,065	3,019	0,081
360	24	23,8	58	55	0,003	23,7	0,065	3,972	0,107
450	24	23,7	57	54	0,003	23,6	0,065	4,508	0,121
540	24	23,8	57	53	0,003	23,7	0,065	4,901	0,132
630	24	23,8	57	52	0,004	23,7	0,065	5,842	0,157
720	24	23,7	57	51	0,005	23,6	0,065	7,315	0,197
810	24	23,6	57	50	0,006	23,5	0,065	8,774	0,236
900	24	23,4	58	49	0,008	23,3	0,064	11,69	0,314
990	24	22,7	58	48	0,01	22,6	0,064	16,15	0,432
1080	24	22,6	58	47	0,011	22,5	0,064	17,52	0,469
1170	24	22,5	58	46	0,012	22,4	0,064	18,88	0,505
1260	23,9	22,5	58	46	0,012	22,3	0,064	18,31	0,49
1350	23,9	22,6	57	44	0,012	22,4	0,064	18,61	0,498
1440	23,9	22,7	57	43	0,012	22,5	0,064	19,01	0,509
1530	23,9	22,7	56	42	0,012	22,5	0,064	18,93	0,507
1620	23,9	23	56	41	0,012	22,8	0,064	18,43	0,494
1710	23,9	23	56	40	0,012	22,8	0,064	19,33	0,518
1800	23,9	23,1	56	39	0,013	22,9	0,064	19,78	0,53
1890	23,9	23,1	55	39	0,012	22,9	0,064	18,82	0,505
1920	23,9	23,1	55	39	0,012	22,9	0,064	18,82	0,505

EK-L HB/R 2,3 m/s deneyi (Rölanti)

	Ç.Gaz								
Zaman (s)	**Hava giriş sıcaklığı (°C)**	**Hava çıkış sıcaklığı (°C)**	**Hava giriş bağıl nem (%)**	**Hava çıkış bağıl nem (%)**	**Havadan çekilen ısı (kJ/s) (Ç.Gaz)**	**LPG çıkış sıcaklığı (°C)**	**LPG'nin çektiği ısı (kJ/s) (Ç.Gaz)**	**Verim (%) (Ç.Gaz)**	**COP (Ç.Gaz)**
0	24,1	24,1	57	57	0	24	0,11	0	0
90	24,1	24	57	54	0,002	23,9	0,11	2,024	0,092
180	24,1	24,1	57	53	0,002	24	0,11	2,265	0,103
270	24,1	24,2	57	49	0,005	24,1	0,11	4,224	0,193
360	24,1	23,8	57	46	0,008	23,7	0,109	7,122	0,325
450	24,1	23,5	57	45	0,009	23,4	0,109	8,551	0,39
540	24,1	23,4	57	42	0,011	23,3	0,109	10,47	0,477
630	24,1	23,2	57	39	0,014	23,1	0,109	12,63	0,575
720	24,1	23,1	57	38	0,015	23	0,109	13,43	0,611
810	24	22,6	56	36	0,016	22,5	0,109	14,86	0,674
900	24	22,3	57	34	0,019	22,2	0,109	17,2	0,779
990	24	21,6	56	32	0,021	21,4	0,108	19,31	0,872
1080	24	21,4	56	32	0,021	21,2	0,108	19,78	0,892
1170	24	21,2	56	32	0,022	21	0,108	20,25	0,912
1260	24	21	55	31	0,022	20,8	0,108	20,61	0,927
1350	24	21,1	55	30	0,023	20,9	0,108	20,84	0,938
1440	23,9	21,2	54	29	0,022	21	0,108	20,18	0,909
1530	23,9	21,1	53	28	0,022	20,9	0,108	20,3	0,914
1620	23,9	21,1	53	29	0,021	20,9	0,108	19,83	0,893
1710	23,9	21,4	53	29	0,021	21,2	0,108	19,16	0,864
1800	23,8	21,7	53	29	0,02	21,5	0,108	18,17	0,82
1890	23,8	21,8	52	29	0,019	21,6	0,108	17,38	0,785
1920	23,8	21,8	52	29	0,019	21,5	0,108	17,39	0,785

EK-M HB/R 2,3 m/s deneyi (Çeyrek gaz)

	Y.Gaz								
Zaman (s)	**Hava giriş sıcaklığı (°C)**	**Hava çıkış sıcaklığı (°C)**	**Hava giriş bağıl nem (%)**	**Hava çıkış bağıl nem (%)**	**Havadan çekilen ısı (kJ/s) (Y.Gaz)**	**LPG çıkış sıcaklığı (°C)**	**LPG'nin çektiği ısı (kJ/s) (Y.Gaz)**	**Verim (%) (Y.Gaz)**	**COP (Y.Gaz)**
0	24	24	57	57	0	23,9	0,176	0	0
90	24	23,8	57	54	0,003	23,7	0,176	1,456	0,107
180	24	23,8	57	52	0,004	23,7	0,176	2,149	0,157
270	24	23,6	57	48	0,007	23,5	0,176	3,91	0,286
360	23,9	23	56	45	0,01	22,9	0,175	5,455	0,398
450	24	22,6	56	44	0,012	22,5	0,175	6,693	0,487
540	24	22,3	56	41	0,014	22,2	0,175	8,158	0,593
630	23,9	21,9	56	38	0,017	21,8	0,174	9,534	0,692
720	23,9	21,7	56	36	0,018	21,6	0,174	10,46	0,758
810	23,9	21	55	34	0,02	20,8	0,173	11,76	0,85
900	23,8	20,5	55	32	0,022	20,3	0,173	12,85	0,927
990	23,8	19,7	54	30	0,024	19,5	0,172	14,16	1,018
1080	23,8	19,3	54	30	0,025	19,1	0,172	14,71	1,055
1170	23,7	19,2	54	29	0,026	19	0,172	14,9	1,068
1260	23,7	19,1	53	28	0,026	18,9	0,172	14,93	1,07
1350	23,7	19,2	53	28	0,025	19	0,172	14,79	1,061
1440	23,8	19,4	52	27	0,025	19,2	0,172	14,63	1,05
1530	23,7	19,3	51	26	0,025	19,1	0,172	14,46	1,037
1620	23,7	19,3	50	25	0,025	19,1	0,172	14,36	1,03
1710	23,7	19,2	50	25	0,025	19	0,172	14,48	1,039
1800	23,6	19,3	50	24	0,025	19,1	0,172	14,42	1,034
1890	23,6	19,4	50	23	0,025	19,1	0,172	14,56	1,044
1920	23,6	19,3	50	23	0,025	19	0,172	14,68	1,053

EK-N HB/R 2,3 m/s deneyi (Yarım gaz)

	Rölanti								
Zaman (s)	**Hava giriş sıcaklığı (°C)**	**Hava çıkış sıcaklığı (°C)**	**Hava giriş bağıl nem (%)**	**Hava çıkış bağıl nem (%)**	**Havadan çekilen ısı (kJ/s) (Rölanti)**	**LPG çıkış sıcaklığı (°C)**	**LPG'nin çektiği ısı (kJ/s) (Rölanti)**	**Verim (%) (Rölanti)**	**COP (Rölanti)**
0	24	24	57	57	0	23,9	0,065	0	0
90	24	23,9	57	57	6E-04	23,8	0,065	0,866	0,012
180	24	23,9	57	57	6E-04	23,8	0,065	0,866	0,012
270	24	23,9	57	56	0,001	23,8	0,065	2,307	0,031
360	24	23,9	58	55	0,003	23,8	0,065	5,198	0,07
450	24	23,8	57	55	0,003	23,7	0,065	4,593	0,062
540	24	23,8	58	54	0,005	23,7	0,065	7,477	0,101
630	24	23,8	58	53	0,006	23,7	0,065	8,909	0,12
720	24	23,8	58	53	0,006	23,6	0,065	8,914	0,12
810	24	23,7	58	52	0,007	23,5	0,065	11,17	0,15
900	24	23,5	58	51	0,009	23,3	0,064	14,2	0,191
990	24	22,8	58	50	0,014	22,6	0,064	21,14	0,283
1080	24	22,7	58	49	0,015	22,5	0,064	23,25	0,311
1170	24	22,6	58	49	0,015	22,4	0,064	24,03	0,321
1260	23,9	22,6	58	48	0,016	22,4	0,064	24,47	0,327
1350	23,9	22,8	57	46	0,016	22,6	0,064	24,18	0,324
1440	23,9	22,8	58	45	0,017	22,6	0,064	26,98	0,361
1530	23,9	22,8	57	44	0,017	22,6	0,064	26,87	0,36
1620	23,9	23,1	57	43	0,017	22,9	0,064	26,05	0,349
1710	23,9	23,1	57	43	0,017	22,8	0,064	26,06	0,349
1800	23,9	23,3	57	42	0,017	23	0,064	26	0,349
1890	23,9	23,3	56	42	0,016	23	0,064	24,55	0,329
1920	23,9	23,3	56	42	0,016	23	0,064	24,55	0,329

EK-O HB/R 3,5 m/s deneyi (Rölanti)

	Ç.Gaz								
Zaman (s)	**Hava giriş sıcaklığı (°C)**	**Hava çıkış sıcaklığı (°C)**	**Hava giriş bağıl nem (%)**	**Hava çıkış bağıl nem (%)**	**Havadan çekilen ısı (kJ/s) (Ç.Gaz)**	**LPG çıkış sıcaklığı (°C)**	**LPG'nin çektiği ısı (kJ/s) (Ç.Gaz)**	**Verim (%) (Ç.Gaz)**	**COP (Ç.Gaz)**
0	24,1	24,1	57	57	0	24	0,11	0	0
90	24,1	24	57	55	0,002	23,9	0,11	2,224	0,051
180	24,1	24	57	53	0,004	23,9	0,11	3,937	0,09
270	24,1	24	57	51	0,006	23,9	0,11	5,65	0,129
360	24,1	23,5	57	48	0,012	23,3	0,109	10,53	0,24
450	24,1	23,1	58	48	0,014	22,9	0,109	13,22	0,3
540	24,1	23	58	45	0,018	22,8	0,109	16,08	0,365
630	24,1	22,7	58	42	0,022	22,5	0,109	19,76	0,448
720	24,1	22,6	58	41	0,023	22,4	0,109	20,96	0,475
810	24	22	57	40	0,025	21,8	0,109	22,79	0,515
900	24	21,7	57	38	0,028	21,5	0,108	25,47	0,575
990	24	20,9	56	36	0,031	20,7	0,108	29,09	0,654
1080	24,1	20,6	56	37	0,032	20,4	0,108	30,05	0,675
1170	24,1	20,4	56	37	0,033	20,2	0,108	30,8	0,691
1260	24,1	20,2	55	36	0,034	20	0,108	31,33	0,702
1350	24,1	20,2	55	35	0,034	19,9	0,108	32,01	0,717
1440	24	20,3	55	34	0,034	20	0,108	31,81	0,713
1530	24	20,1	54	34	0,034	19,8	0,107	31,64	0,709
1620	24	20	54	35	0,034	19,7	0,107	31,35	0,702
1710	24	20,2	54	35	0,033	19,9	0,108	30,62	0,686
1800	23,9	20,4	54	36	0,031	20,1	0,108	28,71	0,644
1890	23,9	20,5	53	36	0,03	20,2	0,108	27,47	0,616
1920	23,9	20,5	53	36	0,03	20,2	0,108	27,47	0,616

EK-Ö HB/R 3,5 m/s deneyi (Çeyrek gaz)

	Y.Gaz								
Zaman (s)	**Hava giriş sıcaklığı (°C)**	**Hava çıkış sıcaklığı (°C)**	**Hava giriş bağıl nem (%)**	**Hava çıkış bağıl nem (%)**	**Havadan çekilen ısı (kJ/s) (Y.Gaz)**	**LPG çıkış sıcaklığı (°C)**	**LPG'nin çektiği ısı (kJ/s) (Y.Gaz)**	**Verim (%) (Y.Gaz)**	**COP (Y.Gaz)**
0	24	24	57	57	0	23,9	0,176	0	0
90	24	23,9	57	54	0,003	23,8	0,176	1,908	0,07
180	24	23,8	57	53	0,005	23,6	0,176	2,744	0,1
270	24	23,7	57	50	0,008	23,5	0,176	4,619	0,169
360	24	23,1	56	46	0,014	22,9	0,175	7,844	0,286
450	24	22,7	57	46	0,017	22,5	0,175	9,48	0,345
540	24	22,4	57	44	0,02	22,2	0,175	11,26	0,409
630	23,9	22	57	41	0,023	21,8	0,174	13,4	0,487
720	23,9	21,8	57	38	0,027	21,6	0,174	15,3	0,555
810	23,9	21,1	56	37	0,029	20,9	0,174	16,89	0,611
900	23,8	20,7	55	35	0,031	20,5	0,173	17,83	0,644
990	23,9	19,9	54	33	0,035	19,7	0,173	20,23	0,727
1080	23,9	19,5	54	33	0,036	19,3	0,172	21,1	0,758
1170	23,8	19,3	54	33	0,037	19	0,172	21,23	0,761
1260	23,8	19,3	53	32	0,036	19	0,172	21,08	0,756
1350	23,8	19,4	53	31	0,037	19,1	0,172	21,25	0,762
1440	23,8	19,6	53	30	0,037	19,3	0,172	21,22	0,762
1530	23,7	19,5	52	29	0,036	19,2	0,172	20,98	0,753
1620	23,8	19,6	51	28	0,036	19,3	0,172	20,93	0,751
1710	23,8	19,5	51	29	0,036	19,2	0,172	20,74	0,744
1800	23,7	19,5	51	28	0,036	19,2	0,172	20,83	0,748
1890	23,7	19,7	51	27	0,036	19,4	0,172	20,83	0,748
1920	23,7	19,6	51	27	0,036	19,3	0,172	21,03	0,755

EK-P HB/R 3,5 m/s deneyi (Yarım gaz)

	Rölanti								
Zaman (s)	**Hava giriş sıcaklığı (°C)**	**Hava çıkış sıcaklığı (°C)**	**Hava giriş bağıl nem (%)**	**Hava çıkış bağıl nem (%)**	**Havadan çekilen ısı (kJ/s) (Rölanti)**	**LPG çıkış sıcaklığı (°C)**	**LPG'nin çektiği ısı (kJ/s) (Rölanti)**	**Verim (%) (Rölanti)**	**COP (Rölanti)**
0	24	24	57	57	0	23,9	0,065	0	0
90	24	23,9	57	58	-0	23,8	0,065	-0,67	-0,01
180	24	24	57	57	0	23,9	0,065	0	0
270	24	23,9	57	57	7E-04	23,8	0,065	1,015	0,009
360	24	23,9	59	56	0,004	23,8	0,065	6,1	0,055
450	24	23,9	58	56	0,003	23,8	0,065	4,401	0,04
540	24	23,9	58	55	0,004	23,7	0,065	6,092	0,055
630	24	23,9	58	55	0,004	23,7	0,065	6,092	0,055
720	24	23,9	58	54	0,005	23,7	0,065	7,781	0,07
810	24	23,8	58	53	0,007	23,6	0,065	10,44	0,094
900	24	23,6	58	53	0,008	23,4	0,065	12,38	0,111
990	24	23	59	52	0,014	22,8	0,064	21,44	0,192
1080	24	22,9	59	52	0,014	22,7	0,064	22,38	0,2
1170	24	22,8	59	51	0,016	22,6	0,064	24,9	0,222
1260	23,9	22,9	59	50	0,016	22,7	0,064	24,51	0,219
1350	24	23	58	48	0,017	22,8	0,064	26,11	0,233
1440	24	23	58	48	0,017	22,8	0,064	26,11	0,233
1530	24	23,1	57	47	0,016	22,8	0,064	25,11	0,224
1620	24	23,4	58	46	0,017	23,1	0,064	25,78	0,231
1710	24	23,4	58	45	0,018	23,1	0,064	27,42	0,245
1800	24	23,6	58	44	0,018	23,3	0,064	27,33	0,245
1890	24	23,6	57	45	0,015	23,3	0,064	23,96	0,215
1920	24	23,6	57	45	0,015	23,3	0,064	23,96	0,215

EK-R HB/R 4,1 m/s deneyi (Rölanti)

	Ç.Gaz								
Zaman (s)	**Hava giriş sıcaklığı (°C)**	**Hava çıkış sıcaklığı (°C)**	**Hava giriş bağıl nem (%)**	**Hava çıkış bağıl nem (%)**	**Havadan çekilen ısı (kJ/s) (Ç.Gaz)**	**LPG çıkış sıcaklığı (°C)**	**LPG'nin çektiği ısı (kJ/s) (Ç.Gaz)**	**Verim (%) (Ç.Gaz)**	**COP (Ç.Gaz)**
0	24,1	24,1	57	57	0	23,9	0,11	0	0
90	24,1	24	57	55	0,003	23,8	0,11	2,607	0,04
180	24,1	24	57	54	0,004	23,8	0,11	3,61	0,055
270	24,1	24	58	53	0,006	23,8	0,11	5,623	0,086
360	24,1	23,5	58	52	0,01	23,3	0,109	9,455	0,144
450	24,1	23,2	58	51	0,013	23	0,109	12,09	0,183
540	24,1	23,1	58	50	0,015	22,9	0,109	13,59	0,206
630	24,1	22,8	58	51	0,016	22,6	0,109	14,29	0,216
720	24,2	22,7	59	50	0,019	22,5	0,109	17,4	0,263
810	24,1	22,1	58	49	0,022	21,8	0,109	19,88	0,3
900	24,1	21,8	58	48	0,024	21,5	0,108	22,33	0,336
990	24,1	21	57	48	0,027	20,7	0,108	25,42	0,381
1080	24,1	20,7	57	47	0,03	20,4	0,108	27,75	0,416
1170	24,1	20,5	58	47	0,032	20,2	0,108	29,79	0,446
1260	24,1	20,3	57	46	0,033	20	0,108	30,54	0,456
1350	24,1	20,4	57	45	0,033	20,1	0,108	30,83	0,461
1440	24	20,4	56	44	0,032	20,1	0,108	29,98	0,448
1530	24	20,3	55	43	0,033	20	0,108	30,21	0,451
1620	24	20,2	55	44	0,032	19,9	0,108	29,9	0,447
1710	24	20,4	56	43	0,033	20,1	0,108	30,76	0,46
1800	23,9	20,6	56	44	0,031	20,3	0,108	28,41	0,425
1890	23,9	20,7	55	44	0,029	20,3	0,108	26,92	0,403
1920	23,9	20,7	55	44	0,029	20,3	0,108	26,92	0,403

EK-S HB/R 4,1 m/s deneyi (Çeyrek gaz)

	Y.Gaz								
Zaman (s)	**Hava giriş sıcaklığı (°C)**	**Hava çıkış sıcaklığı (°C)**	**Hava giriş bağıl nem (%)**	**Hava çıkış bağıl nem (%)**	**Havadan çekilen ısı (kJ/s) (Y.Gaz)**	**LPG çıkış sıcaklığı (°C)**	**LPG'nin çektiği ısı (kJ/s) (Y.Gaz)**	**Verim (%) (Y.Gaz)**	**COP (Y.Gaz)**
0	24,1	24	57	57	7E-04	23,8	0,176	0,374	0,009
90	24,1	23,9	57	56	0,002	23,7	0,176	1,369	0,033
180	24,1	23,9	57	55	0,003	23,7	0,176	1,99	0,049
270	24,1	23,9	58	54	0,006	23,7	0,176	3,241	0,079
360	24	23,3	57	53	0,009	23,1	0,175	4,984	0,121
450	24	22,9	57	52	0,012	22,7	0,175	6,968	0,169
540	24	22,7	57	51	0,014	22,5	0,175	8,231	0,2
630	23,9	22,4	58	50	0,018	22,1	0,174	10,07	0,244
720	24	22,2	58	48	0,021	21,9	0,174	12,23	0,296
810	24	21,6	57	46	0,025	21,3	0,174	14,6	0,353
900	23,9	21,2	56	45	0,027	20,9	0,174	15,35	0,37
990	23,9	20,4	55	42	0,032	20,1	0,173	18,63	0,447
1080	23,9	20,1	55	40	0,035	19,8	0,173	20,46	0,491
1170	23,8	19,9	56	38	0,038	19,6	0,173	22,24	0,533
1260	23,9	19,9	55	36	0,04	19,6	0,173	22,92	0,549
1350	23,9	20,2	55	36	0,038	19,9	0,173	22,11	0,531
1440	23,9	20,3	54	36	0,037	20	0,173	21,21	0,509
1530	23,8	20,3	53	35	0,036	20	0,173	20,7	0,497
1620	23,8	20,4	52	34	0,035	20	0,173	20,3	0,487
1710	23,9	20,3	53	34	0,037	19,9	0,173	21,55	0,517
1800	23,8	20,5	53	34	0,036	20,1	0,173	20,67	0,496
1890	23,8	20,7	53	34	0,035	20,3	0,173	20,14	0,484
1920	23,8	20,6	53	34	0,035	20,2	0,173	20,41	0,49

EK-Ş HB/R 4,1 m/s deneyi (Yarım gaz)

						Klimadan Tasarruf (%)	
	Araç	**Beygir gücü (HP)**	**Ortalama benzin tüketimi (L/100 km)**	**Yaklaşık LPG tüketimi (kg/s)**	**Ortalama taşıt soğutma yükü (kj/s)**	**%100 Verimde**	**% 16 Verimde (Den. Ort.)**
Subcompact (B Sınıfı-Hatchback)	Peugeot 208 1.2 Access	82	4,5	0,00025	3,62	2,8	0,5
	Renault Clio 1.2 Joy	75	4,7	0,00026	3,62	3,0	0,5
	Toyota Yaris 1.33 Fun	99	5,1	0,00029	3,62	3,2	0,5
	Opel Corsa 1.2 Essentia	70	5,4	0,0003	3,62	3,4	0,5
	Hyundai i20 1.4 Jump AT	100	6,7	0,00038	3,62	4,2	0,7
Compact (C Sınıfı-Hatchback)	Peugeot 308 1.2 Access	82	5	0,00028	4,15	2,7	0,4
	Toyota Auris 1.6 Active	132	5,9	0,00033	4,15	3,2	0,5
	Kia Ceed 1.6 Comfort	135	6,1	0,00034	4,15	3,4	0,5
	Opel Astra 1.6 Edition	115	6,4	0,00036	4,15	3,5	0,6
	Renault Megane 1.6 Touch Plus	110	6,8	0,00038	4,15	3,7	0,6
Standard (D Sınıfı-Sedan)	Peugeot 508 1.6 Active AT	165	5,8	0,00033	5,12	2,6	0,4
	BMW 3 Serisi 328i	245	6,3	0,00035	5,12	2,8	0,4
	Toyota Avensis 1.6 Advance	132	6,6	0,00037	5,12	2,9	0,5
	Hyundai Elantra 1.6 Elite AT	132	7,1	0,0004	5,12	3,2	0,5
	Honda Accord 2.0 Executive AT	156	7,3	0,00041	5,12	3,3	0,5

EK-T Araç analizi

KAYNAKLAR

[1] A. Ugurlu, S. Oztuna, ***A comparative analysis study of alternative energy sources for automobiles,*** International Journal of Hydrogen Energy, 40, 11178-11188, (2015).

[2] www.2a-engineering.com, (2013).

[3] C. Sayın, M. Çanakçı, İ. Kılıçaslan, N. Özsezen, ***Benzinli Bir Motorda Benzin+LPG Kullanımının Performans ve Emisyonlara Etkisi***, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 21, 117-127, (2005).

[4] www.ipragaz.com.tr/lpg-nedir.asp, (2013).

[5] M. Masi, ***Experimental analysis on a spark ignition petrol engine fuelled with LPG (liquefied petroleum gas)***, Energy, 41, 252-260, (2012).

[6] M. I. Karamangil, ***Development of the Autogas and LPG-powered Vehicle Sector in Turkey: A Statistical Case Study of the Sector for Bursa,*** Energy Policy, 35, 640–649, (2007).

[7] A. P. F. Yoong, A. P. Watkins, ***Study of Liquefied Petroleum Gas (LPG) Spray Modelling***, Thermo fluids, Department of Mechanical, Aerospace & Manufacturing Engineering, Manchester, UK, (2001).

[8] P. Price, S. Guo, M. Hirschmann, ***Performance of an Evaporator for an LPG Powered Vehicle***, Applied Thermal Engineering, 24, 1179–1194, (2004).

[9] P. Bielaczyc, A. Szczotka, H. Brodzinski, ***Analysis of the Exhaust Emissions from Vehicles Fuelled with Petrol or LPG and CNG Alternatively***, Journal of Kones. Combustion Engines, 1-2, 363-370, **(2001)**.

[10] W. W. Pulkrabek, ***Internal Combustion Engine***, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, NJ, USA, (1997)**.**

[11] R. F. Klausmeier, I. F. Billick, ***Comparative Analysis of the Environmental Impact of Alternative Transportation Fuels***, Energy & Fuels, 7, 1–2, (1997).

[12] D. Y. Wu, R. D. Matthews, J. Zheng, K. Shen, J. Chiu, C. Mock, S. Jaeger, ***Texas Project: Part 3–Cycle Emissions of Light-Duty Vehicles Operating on CNG, LPG, Federal Phase 1 Reformulated Gasoline and/or Low Sulphur Certification Gasoline***, SAE Special Publications, 1208, 385–414, (1996).

[13] M.S. Newkirk, L.R. Smith, M.E. Payne, J.S. Segal, ***Reactivity and Exhaust Emissions from an EHC-Equipped LPG Conversion Vehicle Operating on Butane/Propane Fuel Blends***, SAE Special Publications, 1208, 195–206, (1996).

[14] M.B. Çelik, A. Aktaş, B. Özdalyan, ***Gerçek Yol Şartlarında LPG ve Benzinle Çalışan İki Taşıtın Emisyon Bakımından Karşılaştırılması***, Uludağ Üniv. Müh.-Mim. Fak. Der., 11, 45-55, (2006).

[15] Y. Cevik, ***Investigation of LPG and Gasoline Engines in terms of Emission and Performance,*** M.Sc.Thesis, University of Uludag, Bursa, Turkey, (1998)**.**

[16] L. Diaz, ***Optimizing Automotive LPG Belend for Mexico City***, Fuel, 79, 79–88, (2000).

[17] Z.D. Ristovski, E.R. Jayaratne, L. Morawska, G.A. Ayoko, M. Lim, ***Particle and Carbon Dioxide Emissions from Passenger Vehicles Operating on Unleaded Petrol and LPG Fuel***, Science of the Total Environment, 345, 93–98, (2005).

[18] E. Johnson, ***LPG: A Secure, Cleaner Transport Fuel? A Policy Recommendation for Europe***, Energy Policy, 31, 1573–1577, (2003).

[19] www.mylpg.eu/lpg-prices-across-europe, (2013).

[20] EPDK, ***LPG Piyasası 2012 sektör raporu,*** (2012).

[21] Y. Hwang, D.H. Jin, R. Radermacher, ***Comparison of hydrocarbon R-290 and two HFC blends R-404a and R-410a for medium temperature refrigeration applications***, Final Interim Report, University of Maryland, (2004).

[22] World Meteorological Organization, ***Scientic Assessment of Ozone Depletion:1991***, Global Ozone Research and Monitoring Project - Report No. 25, Geneva, (1991).

[23] IPCC, Radiative Forcing of Climate Change, ***The 1994 report of the scientic assessment working group of IPCC, Summary for policy makers***, Intergovernmental Panel on Climate Change, 28, (1994).

[24] I. L. Maclaine-cross, E. Leonardi, ***Hydrocarbon Refrigerant Risk in Car Air-Conditioners***, International CFC and Halon Alternatives Conference, Washington DC, (1995).

[25] S. Wongwises, A. Kamboon, B. Orachon, ***Experimental investigation of hydrocarbon mixtures to replace HFC-134a in an automotive air conditioning system***, Energy Conversion and Management, 47, 1644–1659, (2006).

[26] J.M. Calm, G.C. Hourahan, ***Refrigerant data summery***, Engineering Systems, 18, 74–88, (2001).

[27] M. Mohanraj, S. Jayaraj, C. Muraleedharan, ***Environment friendly alternatives to halogenated refrigerants - A review***; International Journal of Greenhouse Gas Control, 3, 108 – 119, (2009).

[28] M. Rasti, M.S. Hatamipour, S.F. Aghamiri, M. Tavakoli, ***Enhancement of domestic refrigerator's energy efficiency index using a hydrocarbon mixture refrigerant***, Measurement, 45, 1807–1813, (2012).

[29] C.S. Jwo, C.C. Ting, W.R. Wang, ***Efficiency analysis of home refrigerators by replacing hydrocarbon refrigerants***, Measurement, 42, 697–701, (2009).

[30] J.E. Hesselgreaves, ***Compact Heat Exchangers***, Elsevier Science & Technology Books, (2001).

[31] Ed. F. Kreith, ***The CRC Handbook of Thermal Engineering***, CRC Press LLC, (2000).

[32] www.tecumseh.com, (2013).

[33] E. Leonardi, I.L. Maclaine-cross, ***Performance and safety of LPG refrigerants***, Proceeding of the Fuel for Change Conference of the Australian LPG Association Ltd, 149-168, (1995).

[34] www.dupont.com, (2013).

[35] A. Kara, ***Evaporatif kondenser tasarımı, imalatı ve deneysel olarak incelenmesi***, Bilim Uzmanlıgı Tezi, Karabük Üniversitesi, (2008).

[36] E. Beser, ***Sogutucu maddelerle ilgili dünyada ve Türkiye'deki gelişmeler***, IV. Ulusal Tesisat Mühendisligi Kongresi ve Sergisi, Bildiriler Kitabı, 2, 679-697, (1997).

[37] N. Özkol, ***Uygulamalı Soğutma Tekniği***, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Yayın No: 115, 714, Ankara, (1999).

[38] R.J. Dossat, ***Principles of Refrigeration***, Prentice Hall, 512, New Jersey, (1997).

[39] NIST, ***REFPROP-Reference Fluid Thermodynamic and Transport Properties V7.0***, (2002).

[40] E. Beşer, ***Soğutucu maddelerle ilgili dünyada ve Türkiye'deki gelişmeler***, Mühendis ve Makine, 39, 458, 15-26, (1998).

[41] S. Şengür, ***Buzdolaplarında Alternatif Soğutucu Akışkan Olarak LPG Kullanılmasının Deneysel Olarak Araştırılması***, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, (2005).

[42] www.refrigerants.com, (2013).

[43] www.vialle.nl, (2008).

[44] M. Özgören, Ö. Solmaz, A. Kahraman, ***Taşıt Kliması Soğutma Yükünün Saatlik Değişimi,*** Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi, 2, 2, 11-23, (2010).

[45] S. Sincar, ***R134a Soğutucu akışkan ile çalışan ticari soğutucu tasarımı, imalatı ve performans deneyleri***, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, 74, (1999).

[46] R. Yamankaradeniz, İ. Horuz, S. Coşkun, ***Soğutma Tekniği ve Uygulamaları***, VİPAŞ A.Ş., 608, Bursa, (2002).

[47] Ö. Kızılkan, A***lternatif soğutucu akışkanlı değişken hızlı kompresörlü bir soğutma sisteminin teorik ve deneysel incelenmesi,*** Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, (2008).

[48] E. Janotkova, M. Pavelek, ***New Trends in the Field of Automobile Air Conditioning,*** Brno University of Technology, www.aiha.org/aihce06/handouts/janotkova.pdf., (2013).

[49] M.S. Bhatti, ***Riding in Comfort, Part 2: Evolution of Automotive Air Conditioning***, ASHRAE J., 41, 9, 44-52, (1999b).

[50] R.K. Shah, ***Automotive Air-Conditioning Systems – Historical Developments, The State Of Technology And Future Trends,*** Proceedings of the 3rd BSME-ASME International Conference on Thermal Engineering, Dhaka, Bangladesh, (2006).

[51] www.dacia.com.tr, (2013).

[52] Z. Guerra, ***Evaporative Air Conditioner for Automotive Application***, Master of Science Thesis, MIT, (1994).

[53] O.M. Bevilacqua, ***Effect of Air Conditioning on Regulated Emissions for In-Use Vehicles***, Clean Air Vehicle Technology Center, Oakland, CA, Phase I Final Report Prepared for Coordinating Research Council, Inc.,Atlanta, GA, CRC Project E-37, (1999).

[54] T.J. Hendricks, ***Vehicle Transient Air Conditioning Analysis: Model Development & System Optimization Investigations*****,** NREL/TP-540-30715, (2001).

[55] H. Khayyama, A.Z. Kouzani, E.J. Hu, S. Nahavandi, ***Coordinated energy management of vehicle air conditioning system***, Applied Thermal Engineering, 31, 750-764, (2011).

[56] W. Schwarz, ***Emission of Refrigerant R-134a from Mobile Air-Conditioning Systems,*** Environmental Research and Consultancy Office, Frankfurt, (2001).

[57] E.B. Rattsa, J.S. Brownb, ***An experimental analysis of cycling in an automotive air conditioning system***, Applied Thermal Engineering, 20, 11, 1039–1058, (2000).

[58] Ed. F. Kreith, ***Mechanical Engineering Handbook***, Boca Raton: CRC Press LLC, (1999).

[59] Y.A. Çengel, ***Heat Transfer: A Practical Approach***; Mcgraw-Hill 2nd edition, (2002).

[60] J. Dieckmann, J. Bentley, A. Varone, ***Non-inert refrigerant study for automotive applications final report***, US Department of Energy, 76, (1991).

[61] E. Rivis, A. Bidone, ***Isobutane/propane mixtures: comparison with traditional refrigerants***, The Day After Conference, Padua, Italy, 345-353, (1994).

[62] B. Abboud, ***Field Trials of Propane/Butane in Automotive Air-Conditioning***, B.E. thesis, School of Mechanical and Manufacturing Engineering, The University of New South Wales, Sydney, (1994).

[63] R. Richardson, J. Butterworth, ***The performance of propane/isobutane mixtures in vapor compression systems***, International Journal of Refrigeration, 18, 1, 58-62, (1995).

[64] B.Y. Liu, M. Tomasek, R. Radermacher, ***Experimental results with hydrocarbon mixtures in domestic refrigerator/freezers***, ASHRAE Trans., 101, 1415–1421, (1995).

[65] A.S. Parmar, ***Performance of Hydrocarbon Refrigerants in Motor Car Air-Conditioning***, B.E. thesis, School of Mechanical and Manufacturing Engineering, The University of New South Wales, Sydney, in pres, (1995).

[66] D. Jung, C.B. Kim, B.H. Lim, H.W. Lee, ***Testing of a hydrocarbon mixture in domestic refrigerators***, ASHRAE Transactions, 3, 1077–1084, (1996).

[67] B.H. Lim, H.W. Lee, B.K. Chong, J. Dongsoo, ***Testing of a hydrocarbon mixture in domestic refrigerators***, ASHRAE Transactions, 1077– 1084, (1996).

[68] D.K. Choi, P.A. Domanski, D.A. Didion***, Evaluation of flammable refrigerants for use in water-to-water residential heat pump. IIR applications for natural refrigerants***, In: Proceedings, Aarhus, Denmark, 467–476, (1996).

[69] J.P. Meyer, ***Evaluation of LPG as a refrigerant in airconditioning and refrigeration***, Mecahnical Technology, December, 7-12, (1998).

[70] M.A. Alsaad, M.A. Hammad, ***The application of propane/butane mixture for domestic refrigerators***, Applied Thermal Engineering, 18, 911-918, (1998).

[71] B. Purkayastha, P.K. Bansal, ***Experimental study on HC290 and a commercial liquefied petroleum gas (LPG) mix as suitable replacements for HCFC22***, International Journal of Refrigeration, 21, 213–217, (1998).

[72] M.A. Hammad, M.A. Alsaad, ***The use of hydrocarbon mixtures as refrigerants in domestic refrigerators,*** Applied Thermal Engineering, 19, 1181-1189, (1999).

[73] M. Ghodbane, ***An investigation of R152a and hydrocarbon refrigerants in mobile air conditioning***, SAE Technical Papers, Paper No. 1999-01-0874, Society of Automotive Engineers, (1999).

[74] D. S. Jung, B. Park, H. Lee, ***Evaluation of supplementary/ retrofit refrigerants for automobile air conditioning charged with CFC12***, International Journal of Refrigeration, 22, 558–568, (1999).

[75] D. Jung, C.B. Kim, K. Song, B.Park, ***Testing of propane/izobutane mixture in domestic refrigerators,*** International Journal of Refrigeration, 23, 517-527, (2000).

[76] R. Peixoto, S. Epof, D. Parra, ***Experimental Investigation on the Performance of Commercial Freezers Using Refrigerant R600a***, IIF-IIR Commission B1, B2, E1 and E2, Purdue University, USA, 159–165, (2000).

[77] Y.S. Chang, M.S. Kim, S.T. Ro, ***Performance and heat transfer characteristics of hydrocarbon refrigerants in a heat pump system***, International Journal of Refrigeration, 23, 232–242, (2000).

[78] B.A. Akash, S.A. Said, ***Assessment of LPG as a possible alternative to R-12 in domestic refrigerators***, Energy Conversion and Management, 44, 381–388, (2003).

[79] F. Elefsen, J. Nyvad, A. Gerrard, R. VanGerwen, ***Field test of 75 R404A and R290 ice cream freezers in Australia***, ARIAH Journal, 24–27, (2003).

[80] C. Chaichana, A. Lu, W.W.S. Charters, ***Natural working fluids for solar boosted heat pumps***, International Journal of Refrigeration, 26, 637–643, (2003).

[81] K.A. Joudi, A.S. Mohammed and M.K. Aljanabi, ***Experimental and computer performance study of an automotive air conditioning system with alternative refrigerants***, Energy Conversion Management, 44, 2959–2976, (2003).

[82] J.F. Urchueguia, J.M. Corberan, J. Gonzalvez, J.M. Diaz, ***Experimental characterization of a commercial–size scroll and reciprocating compressor working with R22 and propane (R290) as refrigerant***, Ecobibrium Journal of AIRAH, 23–25, (2004).

[83] S. Wongwises, N. Chimres, ***Experimental study of hydrocarbon mixtures to replace HFC134a in domestic refrigerators***, Energy Conversion and Management, 46, 85–100, (2005).

[84] M. Fatouh, M. El Kafafy, ***Experimental evaluation of a domestic refrigerator working with LPG***, Applied Thermal Engineering, 26, 1593–1603, (2006).

[85] K.J. Park, D.S. Jung, ***Thermodynamic performance of HCFC22 alternative refrigerants for residential air conditioning applications***, Energy and Buildings, 39, 675–680, (2006).

[86] K. Mani, V. Selladurai, ***Experimental analysis of a new refrigerant mixture as dropin replacement for CFC12 and HFC134a***, International Journal of Thermal Sciences, 47, 1490–1495, (2008).

[87] M. Mohanraj, S. Jayaraj, C. Muraleedharan, P. Chandrasekar, ***Experimental investigation of R290/R600a mixture as an alternative to R134a in a domestic refrigerator***, International Journal of Thermal Sciences, 48, 1036–1042, (2009).

[88] T.S. Ravikumar, D. M. Lal, ***On-road performance analysis of R134a/R600a/R290 refrigerant mixture in an automobile air-conditioning system with mineral oil as lubricant***, Energy Conversion and Management, 50, 1891–1901, (2009).

[89] A.S. Dalkilic, S. Wongwises, ***A performance comparison of vapour-compression refrigeration system using various alternative refrigerants***, International Communications in Heat and Mass Transfer, 37, 1340–1349, (2010).

[90] S. Barbusse, D. Clodic, J.P. Roumegoux, ***Climatisation Automobile***, Energie et Environnement, (1998).

[91] K.J. Kelly, A. Rajagopalan, ***Benchmarking of OEM Hybrid Electric Vehicles at NREL***, Milestone Report #NREL/TP-540-31086 to the U.S. Department of Energy, National Renewable Energy Laboratory, Golden, CO, (2001).

[92] Ö. Kaynakli, I. Horuz, ***An experimental analysis of Automotive Air Conditioning System***, International Communications in Heat and Mass Transfer, 30, 2, 273-284, (2003).

[93] D. Ö. Esen, M. Hoşöz, ***R12 ve R134a Soğutucu Akışkanlarının ve Kompresör Devrinin Otomobil Klimalarının Performansına Etkisinin Deneysel Analizi***, Tesisat Mühendisliği Dergisi, 90, 62-68, (2005).

[94] M.A. Lambert, B.J. Jones, ***Automotive adsorption air conditioner powered by exhaust heat. part1: conceptual and embodiment design***, Automobile Engineering, 220, 959-972, (2006).

[95] S. Ok, ***Otomobil klima sistemi ve klima sisteminin motor performansı üzerindeki etkilerinin incelenmesi***, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, (2008).

[96] M. Masi, P. Gobbato, ***Measure of the volumetric efficiency and evaporator device performance for a liquefied petroleum gas spark ignition engine***, Energy Conversion and Management, 60, 18–27, (2012).

[97] M. Gumus, A. Ugurlu, ***Application of phase change materials to pre-heating of evaporator and pressure regulator of a gaseous sequential injection system***, Applied Energy, Volume 88, Issue 12, 4803-4810, (2011).

[98] Ö. Kurddan, A***raçlarda LPG ile çalışan klima tasarımı ve uygulanabilirliğinin araştırılması,*** Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, (2008).

[99] Ö. Karabıyık, H. Gürbüz, İ. H. Akçay, ***Buji ateşlemeli hava soğutmalı bir motorda egzoz gazları ile ısıtılmış LPG yakıtının yakıt tüketimi ve egzoz emisyonlarına etkisi***, CBÜ Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimler Dergisi, 1, 9 , (2008).

[100] Y.A. Cengel, M.A. Boles, ***Thermodynamics: An Engineering Approach***, 5th ed., McGraw-Hill, New York, (2005).

[101] ***Engineering Equation Solver (EES)***, http://www.fchart.com, (2003).

[102] B. Cemek, Y. Demir, ***Psikrometrik diyagram parametrelerinin tahmininde regresyon eşitliklerinin kullanımı***, Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Derg., 35 (3-4), 169-176, (2004).

[103] F.A. Pacheco, M.E.S. Martins, H. Zhao, ***New European Drive Cycle (NEDC) simulation of a passanger car with a HCCI engine: Emissions and fuel consumption results***, Fuel, 111, 733-739, (2013).

[104] D.W. Ruth, ***Simulation of modelling of automobile comfort cooling requirements***, ASHRAE Journals, 53-55, (1975).

[105] www.euroncap.com, (2015).

[106] https://msgsufizik.files.wordpress.com/2012/10/ilkdeney.pdf, (2015)

ÖZGEÇMİŞ

Adem UĞURLU, 1984 yılında İstanbul'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini İstanbul'da tamamladı. 2001-2003 yıllarında Kahramanmaraş'ta K.S.Ü. Meslek Yüksek Okulu Otomotiv Programı'ndan, 2006 yılında Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitim Bölümü Otomotiv Öğretmenliği bölümününden nezun oldu. 2007-2008 yıllarında Üçyıldız firmasında (Voltran LPG&CNG) dış ticaret bölge sorumlusu olarak çalıştı. 2008 yılında Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Bölümü'nde yüksek lisansını bitirdi. 2008-2009 yılları arasında GMC firmasının Macaristan-Budapeşte merkezinde Opel-Chevrolet teknik sorumlusu olarak çalıştı. 2009 yılından bu güne Kırklareli Üniversitesi Lüleburgaz Meslek Yüksekokulu Otomotiv Programı'nda öğretim görevlisi olarak çalışmaktadır. Evli ve bir çocuk babasıdır.

TEZ ÖĞRENCİSİNE AİT TEZ İLE İLGİLİ BİLİMSEL FAALİYETLER

1. A. Ugurlu, S. Oztuna, ***A comparative analysis of alternative energy sources used in automobiles***, 7th International Ege Energy Symposium & Exhibition, Usak, Turkey, June 18-20, (2014).
2. A. Ugurlu, S. Oztuna, ***A comparative analysis study of alternative energy sources for automobiles,*** International Journal of Hydrogen Energy, 40, 34, 11178–11188, (2015).