T.C.

TRAKYA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DİZEL MOTORUN TURBO ÇIKIŞ SICAKLIĞINDAN FAYDALANARAK TERMOELEKTRİK JENERATÖRLERLE ELEKTRİK ÜRETİMİ VE İNTERCOOLER GİRİŞ SICAKLIĞINDAKİ DEĞİŞİMİN İNCELENMESİ

RÜŞTÜ ÖZTÜRK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi DİNÇER AKAL

EDİRNE-2023

RÜŞTÜ ÖZTÜRK'ün hazırladığı Dizel Motorun Turbo Çıkış Sıcaklığından Faydalanarak Termoelektrik Jeneratörlerle Elektrik Üretimi ve İntercooler Giriş Sıcaklığındaki Değişimin İncelenmesi başlıklı bu tez, tarafımızca okunmuş, kapsam ve niteliği açısından **Makine Mühendisliği** Anabilim Dalında bir **Yüksek lisans tezi** olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	İmza
Dr. Öğretim Üyesi Dinçer AKAL	……
Dr. Öğretim Üyesi Fatih KARAÇAM	……
Prof. Dr. Uğur AKYOL	……

Tez Savunma Tarihi: 28 / 07 / 2023

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları sağladığını onaylarım.

İmza

Dr. Öğretim Üyesi Dinçer AKAL

Tez Danışmanı ……

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü onayı

Prof. Dr. Hüseyin Rıza Ferhat KARABULUT

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

T.Ü. FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

DOĞRULUK BEYANI

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında, tüm verilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini, kullanılan verilerde tahrifat yapılmadığını, tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını, kullanılan tüm literatür bilgilerinin bilimsel normlara uygun bir şekilde kaynak gösterilerek ilgili tezde yer aldığını ve bu tezin tamamı ya da herhangi bir bölümünün daha önceden Trakya Üniversitesi ya da farklı bir üniversitede tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

10 / 07 / 2023

Rüştü ÖZTÜRK

İmza

Yüksek Lisans Tezi

Dizel Motorun Turbo Çıkış Sıcaklığından Faydalanarak Termoelektrik Jeneratörlerle Elektrik Üretimi ve İntercooler Giriş Sıcaklığındaki Değişimin İncelenmesi

T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

ÖZET

Bu çalışmada; dizel motorun turbo çıkış sıcaklığından faydalanarak elektrik üretimi sağlayacak özel bir termoelektrik jeneratör (TEJ) enerji dönüşüm sistemi tasarlanmıştır. Bu sistem; altıgen şeklinde sökülüp takılabilen 1 adet alüminyum modül, 6 adet termoelektrik jeneratör, 6 adet alüminyum su soğutma bloğu, 6 adet alüminyum hava kanatlı soğutucu, 1 adet alüminyum malzemeden özel tasarlanmış kanatlı ısı iletim borusu ve sıcaklık sensörlerinden oluşmaktadır. Tasarımı yapılan termoelektrik jeneratör enerji dönüşüm sistemi traktör motorunun turbo çıkışına bağlanarak elde edilen gerilim, akım ve enerji değerleri incelenmiştir. Ayrıca eş zamanlı olarak traktör motoru standart halde ve termoelektrik jeneratör enerji dönüşüm sistemi ilave edilerek 1400, 1700 ve 2100 d/dk'da test edilerek güç, tork, yakıt tüketimi ve intercooler giriş - çıkış sıcaklık değişimleri incelenmiştir.

Literatürden farklı olarak sunulan tezde, termoelektrik jeneratör dönüşüm sistemi motorun turbo çıkışı ile intercooler girişi arasına monte edilmiştir. Turbo çıkışındaki ısı transferinden faydalanarak hem ilave elektrik enerjisi elde edilmiş hem de havanın intercoolera giriş sıcaklığı düşürülmüştür. Böylece silindirlere alınan havanın yoğunluğu arttığı için motorun yakıt tüketiminde azalma, güç ve tork değerlerinde yükselme sağlanmıştır. Motor devir parametreleri 1400, 1700 ve 2100 d/dk olarak belirlenenmiş olup deney sonuçları ile teorik modellemedeki termal analizler karşılaştırılmıştır. Deney sonuçlarına bağlı olarak termoelektrik dönüşüm sisteminden elde edilen gerilim ve akım değerleri incelenip raporlanmıştır. Motorun devir sayısı arttıkça enerji dönüşüm

sistemindeki gerilim ve akım değerleri de artış göstermiştir. Elde edilen en yüksek gerilim ve akım değerleri 2100 d/dk'da 3,9 V ve 12 mA olarak tespit edilmiştir.

Yıl : 2023

Sayfa Sayısı : 101

Anahtar Kelimeler : Termoelektrik, Enerji, Isı Transferi, Dizel Motor, Turboşarj

Master's Thesis
Electricity Production with Thermoelectric Generators by Utilizing the Turbo Output Temperature of the Diesel Engine and Investigation of the Change in the Intercooler Inlet Temperature.
Trakya University Institute of Natural and Applied Sciences
Department of Machine Engineering

ABSTRACT

In this study, a special energy conversion system using a thermoelectric generator (TEJ) has been designed to generate electricity from the turbo output temperature of a diesel engine. The system comprises of the following components: 1 hexagonal removable aluminum module, 6 thermoelectric generators, 6 aluminum water cooling blocks, 6 aluminum heatsinks, 1 specially designed aluminum finned heat conduction pipe, and temperature sensors. The thermoelectric generator energy conversion system was connected to the turbo output of the tractor engine, and the obtained voltage, current, and energy values were analyzed. Furthermore, simultaneous tests on the tractor engine at speeds of 1400, 1700, and 2100 rpm with the inclusion of the thermoelectric generator energy conversion system has been conducted.

The power, torque, fuel consumption, and changes in intercooler inlet and outlet temperatures have been analyzed. Unlike previous studies, we installed the thermoelectric generator conversion system between the turbocharger outlet of the engine and the intercooler inlet. This allowed us to harness the heat transfer at the turbo outlet to generate additional electrical energy while simultaneously reducing the inlet temperature of the air into the intercooler. Consequently, as the density of air entering the cylinders increased, the fuel consumption of the engine decreased, and the power and torque values increased. The engine speed parameters have been determined as 1400, 1700, and 2100 rpm and compared the experimental results with the thermal analysis conducted in the theoretical

modeling. Based on the experimental results, we analyzed and reported the voltage and current values obtained from the thermoelectric conversion system. As the engine speed increased, the voltage and current values in the energy conversion system also increased. The highest voltage and current values obtained were 3.9 V and 12 mA, respectively, at 2100 rpm.

Year : 2023

Number of Pafes : 101

Keywords : Thermoelectric, Energy, Heat Transfer, Diesel Engine, Turbocharger

ÖNSÖZ

Sunulan tezde; turbo çıkış sıcaklığından faydalanarak termoelektrik jeneratörler vasıtasıyla ilave elektrik üretimi ve motorun karakteristik özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmış ve literatüre sunulmuştur. Tasarlanan bu dönüşüm sisteminin gelecekte farklı alanlardaki atık ısıdan elektrik üretimi için araştırmacılara katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Bu süreçte bana her türlü desteği veren ve yardımlarını esirgemeyen değerli danışman hocam Sayın Dr. Öğretim Üyesi Dinçer AKAL'a teşekkür ederim. Ayrıca bana bu tezi yapma imkânı sağlayan çalışmakta olduğum şirketim olan HEMA OTOMOTİV SİSTEMLERİ A.Ş.'ye teşekkürü bir borç bilirim. Tez sürecinde deneysel ve teorik çalışmalarda destekleri ile bana yardımcı olan Mustafa KÜTÜK, İlker SELVİ, Ümit UÇAR ve Orçun ORAL'a çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET…….iv
ABSTRACT……..vi
ÖNSÖZ…….viii
İÇİNDEKİLER……..ix
SİMGELER VE KISALTMALAR…….xii
ÇİZELGELER DİZİNİ……...xiv
ŞEKİLLER DİZİNİ…….....…...xv
BÖLÜM 1……..……1
GİRİŞ…….....1
1.1. Mevcut Durum.....1
1.2. Amaç ve Özgünlük 2
BÖLÜM 2…….....4
KAYNAK ARAŞTIRMASI……..…….....4
BÖLÜM 3……..8
TEMEL KAVRAMLAR……..…….....8
3.1. Dizel Motorların Çalışma Prensipleri ve Yanma…….…8
3.2. Dizel Motorlarda Volümetrik (hacimsel) Verim ……10
3.2.1. Dizel Motorlarda Volümetrik Verim Arttırma Yöntemleri 14
3.2.2. İntercooler Yapısı, Özellikleri ve Çeşitleri...…….....16
3.2.3. Aşırı Doldurma (Turboşarj Çeşitleri) Sistemleri..……..20
3.2.4. Egzoz Sistemi, Kısımları ve Yapısal Özellikleri……..……...22
3.2.5. Dizel Motorlarda Egzoz Emisyon Azaltma Yöntemleri...……..25
3.3. Motorlu Araçlardan Elektrik Enerjisi Elde Etme Yöntemleri…….……27
3.4. Alternatör ve Regülatörler……..……...……..29
3.5. Aküler, Yapısal Özellikleri ve Çeşitleri…….....31
3.6. Akülerde Enerji Depolama……. 33
3.7. Termoelektrik Etkiler…….....34
3.7.1. Seebeck Etkisi 34
3.7.2. Peltier Ekisi 35
3.7.3. Thomson Ekisi.....36

3.7.4. Joule Ekisi 36
3.7.5. Yarı İletken Malzemeler.....37
3.7.5.1. N-Tipi Yarı İletkenler.....37
3.7.5.2. P-Tipi Yarı İletkenler 37
3.8. Termoelektrik Modüller…….....38
3.9. Termoelektrik Modüllerin Özellikleri ve Çeşitleri (TES VE TEJ)……. ...39
3.10. Termoelektrik Jeneratörler (TEJ) ve Elektrik Enerjisi Elde Etmede Kullanım Alanları……. 40
3.11. Termoelektrik Malzemelerde ZT Değeri…….....41
3.12. DC/DC Dönüştürücüler……. 42
BÖLÜM 4……43
MOTORLU ARAÇLARDA ENERJİ GERİ KAZANIM YÖNTEMLERİ…..……..43
4.1. Dizel Motorlarda Enerji Dağılımı…….....43
4.2. Egzoz Gazından Enerji Geri Kazanım Sistemleri……. 44
4.3. Egzoz Gazlarının Termofiziksel Özellikleri…….....46
BÖLÜM 5……48
DENEYSEL YÖNTEM……..…..……..48
5.1. Deney Düzeneği…….....48
5.2. Deneyde Kullanılan Motor Özellikleri…….....50
5.3. Deneylerde Kullanılan Cihazların Tanıtımı ve Ölçü Hassasiyeti……..51
5.4. Motor Dinamometresinin Özellikleri……. 52
5.5. Turboşarj Çıkışı İçin Özel Tasarlanmış Isı İletim Borusu…….....53
5.6. Elektrik Üretimi İçin 6 Adet Termoelektrik Jeneratöre Ait Alüminyum Gövde (Altıgen Modül) Tasarımı…….....54
5.7. Kontrol Ünitesi ve Data Toplama Sistemi…….....54
5.8. Deneysel Yöntem…….....58
BÖLÜM 6……59
TEORİK ANALİZ……..…..……..59
6.1. Ansys Analizi İçin Sınır Şartları,……..…….……59
6.2. Elektrik Üretiminde Kullanılan Alüminyum Isı İletim Borusu ve Altıgen Modülün (Gövde) Ansys Analizleri 60
BÖLÜM 7……65
DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA…..……..……..…..……..65
7.1. Motor Devri Maksimum Tork 1400 d/dk İçin Elde Edilen Gerilim, Akım, Enerji Değerleri 65

7.2. Motor Devri Maksimum Güç 2100 d/dk İçin Elde Edilen Gerilim, Akım, Enerji Değerleri. 68

7.3. Motor Devri 1400, 1700 ve 2100 d/dk İçin Elde Edilen Güç, Tork, Yakıt Tüketimi Değerleri.....70

7.4. Motor Devri 1400,1700 ve 2100 d/dk İçin Havanın İntercoolera Giriş ve Çıkış Sıcaklık Değişimleri….. 73

BÖLÜM 8……..…..77

SONUÇ VE ÖNERİLER…….…….……...……....77

8.1. Sonuçlar……...……...77

8.2. Öneriler…...……...……78

KAYNAKLAR…..……..…...….....79

ÖZGEÇMİŞ…..…..……..…...……..84

SİMGELER VE KISALTMALAR

SİMGELER

A	:	Alan (cm^2)
I	:	Akım (A)
H_u	:	Yakıtın alt ısıl değeri (kcal/kg)
k	:	Isı iletim katsayısı (W/mK)
L	:	Silindir içerisine alınan gerçek hava miktarı (m^3 karışım / kg. yakıt)
R	:	Direnç (Ω)
r	:	Kesme Oranı
T	:	Sıcaklık (℃)
U	:	İç enerji (J)
V	:	Hacim (cm^3)
V_s	:	Strok hacmi (m^3)
ZT	:	Termoelektrik performans katsayısı
W	:	İş (J)
Q	:	Isı (J)
h	:	Verim
η_v	:	Volümetrik verim
α	:	Seebeck katsayısı (W/K)
σ	:	Elektrik iletkenlik katsayısı (S/m)

KISALTMALAR

AÖN	:	Alt Ölü Nokta
DPF	:	Dizel Partikül Filtresi
EGR	:	Egzoz Gazı Resirkulasyonu
HEA	:	Hibrit Elektrikli Araç
SCR	:	Seçici Katalitik Azaltıcı
TEJ	:	Termoelektrik Jeneratör
TES	:	Termoelektrik Soğutucu
ÜÖN	:	Üst Ölü Nokta

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 5.1. Motor özellikleri……..……..…50
Çizelge 7.1. Motor devri 1400 d/dk için elde edilen gerilim, akım ve enerji değerleri……...……...…….65
Çizelge 7.2. Motor devri 2100 d/dk için elde edilen gerilim, akım ve enerji değerleri……...……68
Çizelge 7.3. Motor devri 1400, 1700 ve 2100 d/dk için elde edilen güç, tork ve yakıt tüketimi değerleri…….……71
Çizelge 7.4. Motor devri 1400, 1700 ve 2100 d/dk için havanın intercoolera giriş ve çıkış sıcaklık değişimleri …….……73
Çizelge 7.5. Motor devri 1400, 1700 ve 2100 d/dk için soğutma suyunun radyatöre giriş ve çıkış sıcaklık değişimleri ……..……...……...75

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Dizel ve Benzin Motoru…….…….…….8
Şekil 3.2. İçten Yanmalı Dizel Motorun Görünümü……...…….9
Şekil 3.3. P-V Diyagramı……..……...……...……..12
Şekil 3.4. T-s Diyagramı……..……...……...……...12
Şekil 3.5. Dizel çevriminin ısıl veriminin, sıkıştırma oranına ve kesme oranına göre değişimi……..…….14
Şekil 3.6. Devir sayısının volümetrik verimine etkisi……..……...…...…...15
Şekil 3.7. Emme havası sıcaklığının volümetrik verimime etkisi……..……..….15
Şekil 3.8. İntercooler sistemi…….……....……..……16
Şekil 3.9. Hava soğutmalı intercooler……...……...……..……..17
Şekil 3.10. Yuvarlak borulu intercooler.……...……...……..……...18
Şekil 3.11. İç kanatçıksız düz oval borulu lamel intercooler……...…….……18
Şekil 3.12. Doğrudan şarj havası soğutması için prensip düzeni……...…….19
Şekil 3.13. Dolaylı şarj havası soğutması için prensip düzeni……...…….….20
Şekil 3.14. Turboşarj…..…….....……..…...21
Şekil 3.15. Süperşarj…….……...…...……..…22
Şekil 3.16. Egzoz sitemi……...…...…….……23
Şekil 3.17. Katalitik Konvertör……...……...…….…….24
Şekil 3.18. EGR sistemi…….……...……..…….25
Şekil 3.19. SCR sistemi…….……...……...……..……26
Şekil 3.20. Dizel partikül filtre çalışma prensibi (DPF)……...…..……..27
Şekil 3.21. Yakıt hücresinin (yakıt pili) temel çevrimi…….28
Şekil 3.22. Alternatörün araç üzerindeki çalışma döngüsü ……..……...29
Şekil 3.23. Alternatörün yapısı……...……..……...…...…..30
Şekil 3.24. Alternatör üzerine takılı regülatör ……..……..……...…...……31
Şekil 3.25. Akünün yapısı……..……...……..….32
Şekil 3.26. TEJ yapısı…….……....……..…...34
Şekil 3.27. Seebeck etkisi voltaj ölçümü……....……..…...35
Şekil 3.28. Peltier Etkisi Devresi…….....……..…..36

Şekil 3.29. Termoelektrik Modülün Enine Kesit Görünümü……...….....……38
Şekil 3.30. Bir termoelektrik modülün genel görünümü……...…..…….……...39
Şekil 3.31. Termoelektrik ile Araç Entegrasyonu: FORD, GM ve BMW DOE/endüstri sponsorluğu kapsamında yürütülen prototip entegrasyonu ……...…..40
Şekil 3.32. En iyi zT değerine sahip bazı yığın (bulk) termoelektrik malzemeler.....41
Şekil 4.1. Dizel motorlarda enerji dağılımı……...43
Şekil 4.2. Basit bir TEJ şeması ……...……..45
Şekil 4.3. BMW X6 da TEJ kurulumu ……45
Şekil 5.1. Tasarlanan TEJ Sistemi ……...48
Şekil 5.2. TEJ sisteminin motora monte edilmiş hali ……..49
Şekil 5.3. Deneylerde kullanılan dinamometre…….……...……51
Şekil 5.4. Termometre cihazı ile birlikte kullanılan K tipi termokupl……52
Şekil 5.5. Turboşarj çıkışı için özel tasarlanmış ısı iletim borusu…….…...…..…53
Şekil 5.6. Turboşarj çıkışı için özel tasarlanmış ısı iletim borusu….....…….…....53
Şekil 5.7. TEJ sisteminin katı modeli…….……...……..……54
Şekil 5.8. DS18B20 sıcaklık sensörü……...……...……..……55
Şekil 5.9. Arduino Uno mikroişlemcisi …….…..……...……....……55
Şekil 5.10. PLX-DAQ veri kaydedici programı ...……...……....……56
Şekil 5.11. I2C Haberleşmeli Dijital Watmetre...…….……...……....……56
Şekil 5.12. Sistemin elektriksel bağlantısı……...……...……....……57
Şekil 5.13. Deneyde TEJ üzerinde sıcaklık ölçümü yapılan noktalar ..……....……57
Şekil 6.1. TEJ'in ağ yapısı…….…….…….……..…...…60
Şekil 6.2. Isı iletim borusunun termal analizi …….…….……...…..61
Şekil 6.3. Isı iletim borusunun termal analizi …….……..……..……..61
Şekil 6.4. Isı iletim borusunun termal analizi ……..…..……..……..62
Şekil 6.5. Isı iletim borusuna monte edilmiş altıgen modülün (TEJ) termal analizi 62
Şekil 6.6. Isı iletim borusuna monte edilmiş altıgen modülün (TEJ) termal analizi …..…63
Şekil 6.7. Isı iletim borusuna monte edilmiş altıgen modülün (TEJ) termal analizi …….63
Şekil 7.1. Motor devri maksimum tork 1400 d/dk için elde edilen gerilim değerleri…...66
Şekil 7.2. Motor devri maksimum tork 1400 d/dk için elde edilen akım değerleri...….....66
Şekil 7.3. Motor devri maksimum tork 1400 d/dk için elde edilen enerji değerleri..……67
Şekil 7.4. Motor devri maksimum güç 2100 d/dk için elde edilen gerilim değerleri.....69

Şekil 7.5. Motor devri maksimum güç 2100 d/dk için elde edilen akım değerleri…..…..69
Şekil 7.6. Motor devri maksimum güç 2100 d/dk için elde edilen enerji değerleri…...…70
Şekil 7.7. Standart motor ile TEJ sistemi uygulanan motorda 1400, 1700 ve 2100 d/dk'da güç değişimleri…….…….……...…71
Şekil 7.8. Standart motor ile TEJ sistemi uygulanan motorda 1400, 1700 ve 2100 d/dk'da tork değişimleri……...…….…….……...…72
Şekil 7.9 Standart motor ile TEJ sistemi uygulanan motorda 1400, 1700 ve 2100 d/dk'da yakıt tüketimi değişimleri……...……...……..…..……...……....72
Şekil 7.10. Standart motor ile TEJ sistemi uygulanan motorda 1400, 1700 ve 2100 d/dk'da havanın intercoolera giriş sıcaklık değişimleri……..…....73
Şekil 7.11. Standart motor ile TEJ sistemi uygulanan motorda 1400, 1700 ve 2100 d/dk'da havanın intercoolerdan çıkış sıcaklık değişimleri ….……...…….…….....74
Şekil 7.12. Standart motor ile TEJ sistemi uygulanan motorda 1400, 1700 ve 2100 d/dk'da soğutma radyatörü üst hortum sıcaklık değişimleri…….....75
Şekil 7.13. Standart motor ile TEJ sistemi uygulanan motorda 1400, 1700 ve 2100 d/dk'da soğutma radyatörü alt hortum sıcaklık değişimleri …....…….…….……...76

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1. Mevcut Durum

İçten yanmalı motorda, yakıtın yanmasıyla üretilen enerjinin yaklaşık üçte biri aracın tahriki için kullanılırken, geri kalan kısım atık ısı olarak esas olarak egzoz gazı ve motor soğutma sistemi ile kaybedilmektedir. Motor bloğu, silindir kapağı ve diğer kısımlarda motor soğutma suyuna transfer edilen ısı genellikle daha yüksek sıcaklıktaki egzoz gazı ile atmosfere salınmaktadır. Motor soğutma suyu radyatörde oluşturulan sıcaklık farkı ile ısı çekmek amacıyla tekrar sirkülasyona devam etmektedir. Özellikle dizel motorlarda, daha iyi verim elde etmek için egzoz gazının bir kısmı soğutulur ve egzoz gazı devridaim (EGR) sisteminde hava ile karıştırılarak NO_x azaltılmaktadır. Motorlarda kullanılan aşırı doldurma sistemi (Turboşarj) motor gücünü artırmak için egzoz gazından gelen ısıyı kullanan başka bir teknolojidir. Ancak bu teknolojilerde egzoz gazının veya enerjisinin sadece küçük bir kısmı faydalı işe dönüştürülebilmektedir. Egzoz gazının büyük bir kısmı tekrar atmosfere atılmaktadır. Son zamanlarda bu egzoz atık ısısından yararlanarak motor performansında iyileştirme çalışmaları, ısı geri kazanım sistemleri ile enerji dönüşümü ve atık ısı ile ilgili konular araştırmacıların ilgisini çekmektedir.

Ayrıca içten yanmalı motorların zararlı etkilerinin azaltılması için motorun çalışması esnasında gerçekleşen olayları kontrol altında tutmanın önemi de artmaktadır. Motordaki yanma olaylarının performans ve emisyonlar üzerinde büyük bir etkiye sahip olduğu gibi enerjinin korunmasını sağlayan sistemler üzerinde de önemli bir etkisi olduğu bilinmektedir (Topalcı vd. 2020). Bu nedenle içten yanmalı motorlarda gerek enerji verimliliği gerekse egzoz gazlarındaki zararlı emisyonların azaltılması için pek çok

çalışma yapılmaktadır. Motorlu araçlardaki enerji verimliliği daha az yakıt kullanılmasının yanında çevreye atılan zararlı egzoz gazlarının azaltılması yönü ile de büyük önem arz etmektedir. Tüm bunların sonucu olarak günümüz şartlarında otomotiv sektöründe kullanılan içten yanmalı motorlar incelendiğinde; hacim küçültme, yakıt sistemleri, emme manifoldu modellemeleri, malzeme teknolojileri, elektronik kontrol /yönetim sistemleri, soğutma sistemleri, egzoz sistemleri, emisyon azaltma sistemleri, ısı geri kazanım sistemleri vb. alanlarda teknolojik gelişmeler elde edilmiş olsa da bu konulardaki araştırmalar devam etmektedir.

1.2. Amaç ve Özgünlük

Otomotiv sektöründe içten yanmalı motorların kullanıldığı ilk yıllardan bugüne kadar araçları kullanılan kişilerin konfora ve güvenliğe olan ihtiyaçları her geçen gün artmaktadır. İçten yanmalı bir motorun amacı; kullanılan yakıtın yanması sonucu oluşan ısı enerjisini hareket ve elektrik enerjisine dönüştürmektir. Ancak açığa çıkan ısı enerjisinin çok az bir kısmı yararlı enerji olarak kullanılmaktadır. İçten yanmalı motorların verimi yaklaşık olarak %25 - %50 arasındadır. Diğer bir ifade ile içten yanmalı motorlarda ortaya çıkan enerjinin büyük bir kısmı atık ısıya dönüşmektedir. Bu atık ısının bir kısmını geri kazanılması için günümüzde pek çok araştırma yapılmaktadır. Bu çalışmaların en başında termoelektrik modüller kullanılarak atık ısının elektrik enerjisine dönüşümü gelmektedir. Böylece atık ısının bir kısmı ilave elektrik enerji olarak geri kazanılmaktadır.

Motorlu taşıtlar tarafından atmosfere atılan zararlı egzoz gazlarının küresel ısınma, sera gazı etkisi ve iklim değişikliği gibi pek çok olumsuz etkilere sebep olduğu bilinmektedir. Dünya üzerinde her geçen yıl boyunca deniz, kara ve havada ölçülen ortalama sıcaklıklarda bir artış görülmektedir. Fosil yakıtla çalışan içten yanmalı motorlu araçların sera etkisi üzerinde olumsuz yönde büyük etkileri vardır. Bu etkileri azaltmak için motorlardaki termal verimi artırmak ayrıca fosil yakıtlara olan ihtiyacı minimum düzeye indirmek amacıyla yeni teknolojiler geliştirilmeye ve kullanılmaya başlanmıştır. Bu teknolojilerin başında termoelektrik jeneratörler (TEJ), termal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren yarı iletken malzemelerdir. Son zamanlarda termoelektrik jeneratör

sistemleri incelendiğinde; egzoz atık ısısından elektrik üretimi başta olmak üzere ısıtma ve soğutma amacıyla pek çok alanda kullanıldığı görülmektedir.

Bu tez çalışmasında; Hattat Traktör de kullanılan içten yanmalı Perkins marka dizel motorun turboşarj çıkışında oluşan atık ısının bir kısmını termoelektrik jeneratörler ile ilave elektrik enerjisine dönüştürmek hedeflenmiştir. Ayrıca turboşarj ile intercooler arasına tasarlanan bu sistemin motorun karakteristik özelliklerine (güç, tork ve yakıt tüketimi) etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Böylece atık ısının bir kısmı ilave elektrik enerjisine dönüşmüş ve motorun karakteristik özellikleri üzerindeki değişim belirlenmiş olacaktır. Hattat Traktör Ar-Ge Merkezinde yapılacak bu çalışmada termoelektrik enerji dönüşüm sisteminin kurulumu ve amacı literatürden farklı olarak tasarlanmıştır. Turboşarj çıkışındaki havanın ısı transferini arttırmak amacıyla sisteme özel soğutma kanallı alüminyum malzemeden ara boru üretilmiştir. Böylece turboşarjdan çıkan sıcak hava ile hem ilave elektrik hem de motorun karakteristik özelliklerindeki değişim incelenmiş olacaktır. Turboşarj çıkışındaki hava sıcaklığının azaltılması ile motorun volümetrik veriminin yükseltmiş olması çalışmaya özgün bir değer katmaktadır. Tüm bunların sonucu olarak hem ilave elektrik üretilmiş hem de motorun karakteristik özelliklerindeki iyileşmeler görülmüş olacaktır.

BÖLÜM 2

KAYNAK ARAŞTIRMASI

Cıylan ve Yılmaz, (2007) tarafından yapılan çalışmada termoelektrik modüllerin dinamik değişkenlerini hesaplayabilen mikro denetleyici test sistemi geliştirilmiştir. Test yönteminde daha kesin sonuçlar elde etmek amacıyla minimum değişkenleri girdi olarak kabul eden ve mevcut formül setinin daha basitleştirilmiş bir halini kullanan tasarım gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonucunda bir termoelektrik modülün yüzey sıcaklığını, çalışma gerilimini ve akım değerini dinamik olarak ölçebilen bir test sistemi oluşturulmuştur.

Kim, (2013) tarafından termoelektrik jeneratöre (TEJ) uygulanan akım şiddetine bağlı olarak iç sıcaklık farkındaki değişimi açıklayan yeni bir analitik model türetilmiştir. Ayrıca deneysel akım-gerilim eğrilerini kullanılarak termoelektrik jeneratörün Seebeck katsayısı ve elektriksel dirençlerini belirlemek için farklı yöntem önerilmiştir. Deney sonuçlarına bağlı olarak termoelektrik modülün etkin dâhili elektrik direnci yaklaşık % 5 artırılmış ancak Seebeck katsayısı içsel parametrelerle karşılaştırıldığında yaklaşık % 13 oranında zayıfladığı tespit edilmiştir.

Liu vd., (2014) tarafından yapılan çalışmada enerji dönüşümü için giriş ve çıkış sıcaklıkları değiştirilerek farklı malzemelerden üretilen termoelektrik jeneratörlerin (TEJ) çıkış güçleri deneysel olarak belirlenmiştir. Bu amaçla 96 adet TEJ modülden oluşan enerji dönüşüm sistemi 500 W Kurulu güçte özel bir tasarım yapılmıştır. Bu sistemden modül yüzeyleri arasında 80°C sıcaklık farkı ile 160 W'ın üzerinde bir çıkış gücü elde edilmiştir. Termoelektrik sistem tarafından üretilen gücün, sıcak ve soğuk yüzeyler arasındaki sıcaklık farkı ile neredeyse doğru orantılı olduğu görülmüştür.

Högblom ve Andersson, (2014) tarafından termoelektrik jeneratörlerde (TEJ) temas dirençlerinin doğru bir şekilde belirlenmesini ve modül performansını etkileyen parametreleri belirleyen bir yöntem geliştirilmiştir. Temas dirençleri, ısı akısındaki voltaj ve akım değerleri sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak simüle edilmiştir. Ayrıca deneylerden elde edilen sonuçlara dayanarak doğrusal olmayan regresyon analizleri yapılmıştır. İstatistiksel değerlendirmede, modelin ve tanımlanan temas dirençlerinin, tüm çalışma koşulları altında çok iyi bir tahmin sağladığı görülmüştür. Bu çalışmadan elde edilen verilere göre kontak direncinin her zaman modül simülasyonlarına dahil edilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

Kim vd., (2016) tarafından 6 silindirli turbo şarjlı bir dizel motorun egzoz sistemi üzerinde 40 adet termoelektrik jeneratör (TEJ) kullanılarak enerji dönüşüm ünitesi tasarlanmıştır. Bu çalışmada egzoz gazı akış hızı için motor 1000, 1500, 2000 d/dk olmak üzere 3 farklı devirde test edilmiştir. Deney sonuçlarına bağlı olarak; motor 2000 d/dk da iken maksimum enerji dönüşüm verimliliği % 2,8 olarak elde edilmiş ve 119 W güç elde edilmiştir.

Champier, (2017) tarafından yapılan çalışmada, termoelektrik jeneratörler (TEJ) kullanılarak farklı koşullarda elektrik üretimi ve endüstride atık ısı geri kazanımı için yapılan uygulamalar kapsamlı olarak araştırılmıştır. Bu modüllerin enerji dönüşüm verimlilikleri düşük olmasına rağmen kompakt yapıda olmaları ve bakım gerektirmemesinden dolayı ekstrem ortamlarda çözüm olduğu vurgulanmıştır. Ayrıca endüstride veya evsel kullanımlarda hemen hemen her yerde, ısı sıcak bir kaynaktan soğuk bir kaynağa geçerken termoelektrik jeneratörlerle elektrik üretimindeki mevcut tasarımların uygulanabilirliği açıklanmıştır.

Dolatiasl, (2019) çalışmasında, motor soğutma radyatöründeki suyun sıcaklık farkından yararlanarak termoelektrik Jeneratörler (TEJ) ile elektrik üretimi gerçekleştirmiştir. Yapılan deneylerde motor 10 dk sonra rejim sıcaklığına ulaşmış ve termoelektrik jeneratörlerden yaklaşık 357 - 890 mV arasında gerilim elde edilmiştir.

Tang vd., (2020) yüksek sıcaklıktaki ısı borusu (HP-Heat Pipe) ve termoelektrik jeneratörler (TEJ) tarafından desteklenen yeni bir atık ısı geri kazanım sistemi tasarlamışlardır. Geliştirilen bu ısı borulu termoelektrik jeneratörler sistemine HPTEJ adı

verilmiştir. Sistem üzerindeki ısı transferinde %95 termal verim, termoelektrik jeneratörlerden maksimum 42,2 V gerilim ve 183,2 W güç elde edilmiştir.

Aljaghtham ve Çelik, (2020) tarafından içten yanmalı bir motorda oluşan atık ısının bir kısmını geri kazanmak ve yakıt tüketimini azaltmak amacıyla yağ karteri üzerine termoelektrik enerji dönüşüm sisteminin uygulanabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla termoelektrik jeneratörlülerdeki ısı iletimi ve türbülanslı hava soğutmayı hesaba katarak elektrik enerjisi dönüşüm verimliliğini için kapsamlı simülasyonlar yapılmıştır. Termoelektrik jeneratörlerin sıcak ve soğuk tarafları arasındaki sıcaklık farkı 76°C olarak yağ karteri geometrisi optimize edilmiştir. Tasarlanan geri kazanım sistemi ile geleneksel (egzoz ve radyatör) termoelektrik uygulamalarına göre daha yüksek elektrik enerjisi ve yakıt tasarrufu sağlanabileceği anlaşılmıştır.

Ragupathi vd., (2020) tarafından mevcut 6 kW'lık içten yanmalı bir dizel motorun egzoz gazı sıcaklığını termoelektrik jeneratörlere aktarmak için yatay borulu ve düz geçiş kanallı ısı eşanjörü geliştirilmiştir. Yapılan bu deneysel çalışmada motora % 25 ile %100 arasında yük uygulanmış ve ısı eşanjöründeki akışkan sıcaklığı 138°C de sabit tutulduğunda termoelektrik enerji dönüşüm sisteminden maksimum 0,27 kw elektrik üretilmiştir.

Peng vd., (2021) tarafından yüksek güçlü aydınlatmadan kaynaklanan atık ısıyı geri kazanmak amacıyla termoelektrik jeneratör (TEJ) üzerine entegre bir Led Chip modülü önerilmiştir. Isı transferini sağlamak için termoelektrik jeneratörlerin sıcak tarafları doğrudan ledlere yapıştırılmıştır. Sistem üzerine farklı akım değerleri uygulanarak sıcaklık dağılımları, çıkış gerilimleri ve güç değişimleri ölçülmüştür. Tasarlanan Led chip'lerin üzerindeki akım değeri 0,4 A'den 1,4 A'ya yükseltildiğinde meydana gelen sıcaklık 219°C ye kadar ulaşmıştır. Bu şartlarda güç değerinin 1,7 W'tan 9,2 W'a yükseldiği ve 1,23 V gerilim elde edildiği görülmüştür.

Burnete vd., (2022) tarafından içten yanmalı motorlarda atık ısı geri kazanım sistemlerinde kullanılan termoelektrik jeneratörlerin düşük verimliliğinin arttırılması ile ilgili yapılan çalışmaları kapsamlı olarak incelenmiştir. Bu çalışmada termoelektrik malzemelerin verimliliğini etkileyen performans katsayısı olarak adlandırılan boyutsuz ZT parametresinin korelasyonları araştırılmıştır. Ayrıca seebeck katsayısı, elektriksel

direnç ve termal iletkenlik değerlerinin termoelektrik modül verimliliği üzerindeki etkileri açıklanmıştır.

Luo vd., (2022) tarafından, otomobil atık ısı geri kazanımında kullanılan termoelektrik jeneratör sisteminin performansını tahmin etmek için farklı bir sıvı termal elektrik modellemesi yapılmıştır. Aracın gerçek sürüş koşullarındaki farklı hızları, egzoz sıcaklığı ve egzoz gazı kütlesel debisi birleştirilerek comsol programında simule edilmiştir. Yapılan analiz sonuçlarına göre; 120 km/s'lik araç hızında termoelektrik jeneratör sisteminden 38,07 W çıkış gücü elde edilmiştir.

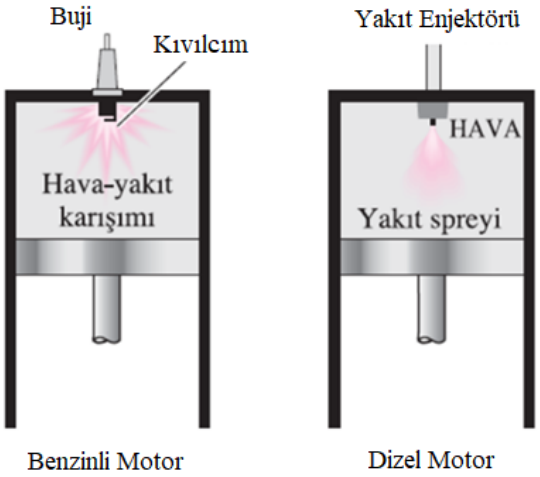
Huang ve Shen, (2022) tarafından yapılan çalışmada, otomobil egzozunda oluşan atık ısıyı geri kazanım için dairesel kesitte termoelektrik jeneratörlerin kullanılması önerilmiştir. Termoelektrik jeneratörlerin performans özelliklerinin değerlendirilmesinde sonlu elemanlar yönteminde kullanılmak üzere teorik bir model oluşturulmuştur. Ayrıca akış düzeni ve çalışma parametrelerinin etkileri detaylı olarak açıklanmıştır. Analiz sonuçlarına göre önerilen dairesel kesitli termoelektrik jeneratörlerden % 1,1 daha fazla güç elde edilmiştir.

BÖLÜM 3

TEMEL KAVRAMLAR

3.1. Dizel Motorların Çalışma Prensipleri ve Yanma

Dizel çevrimli motorlar, içten yanmalı motorlar için ideal termodinamik bir çevrimdir. 1890'larda Alman mühendis tarafından geliştirilen sıkıştırmalı (dizel) motor, daha önce incelenen kıvılcım (buji) ateşlemeli motorla benzerlik gösterir. Yanmanın başlatılması farklı bir yöntemle gerçekleşir; kıvılcım (buji) ateşlemeli motorlarda diğer adıyla benzinli motorlarda yakıt-hava karışımı, yakıtın tutuşma sıcaklığının altında bir sıcaklığa kadar sıkıştırılır ve yanma işlemi bujide oluşturulan bir kıvılcımla başlatılır. Bu sebeple dizel motorlarda buji ve karbüratörün yerini yakıt enjektörü alır (Şekil 3.1) (Çengel vd. 2011).

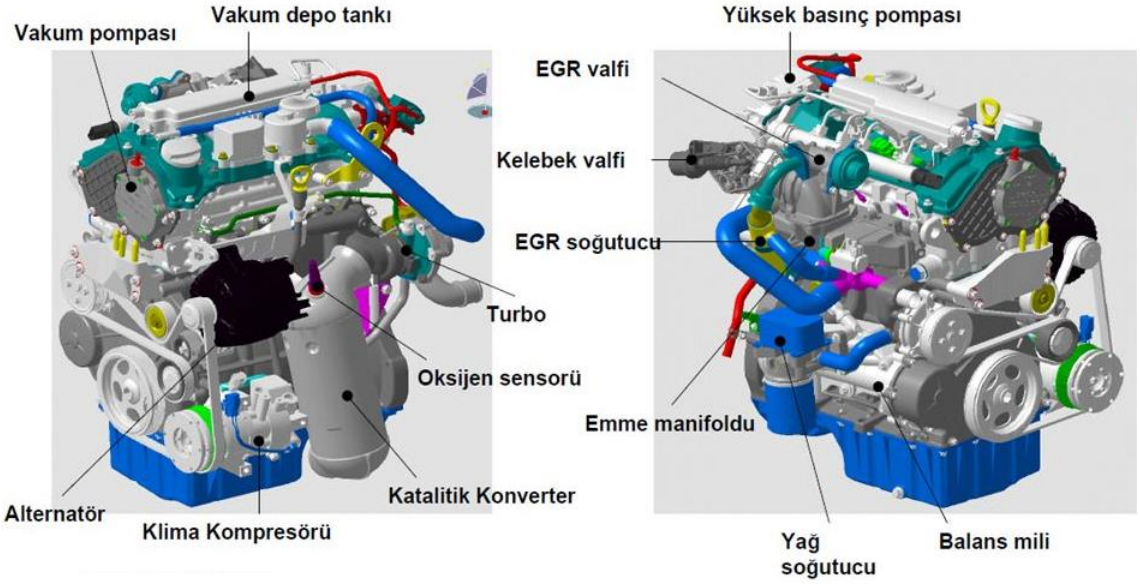


Şekil 3.1. Dizel ve Benzin Motoru (Çengel vd. 2011).

Yanma işlemi içerde gerçekleştiğinden dolayı içten yanmalı olarak adlandırılır. Günümüzde içten yanmalı motorlar benzinli ve dizel olarak iki şekilde kullanılmaktadır. İçten yanmalı motorlar aynı zamanda yakıttan bağımsız, strok sayısına göre 2 ve 4 stroklu olarak iki kategoriye ayrılırlar. İçten yanmalı motorlarda güç üretimi, yakıtın içinde bulunan kimyasal enerjinin yanma sonucunda meydana getirdiği basınç kuvveti etkisiyle piston hareket ederek gerçekleşmektedir. (Çengel vd. 2011).

Dizel motorlarda, silindir içerisinde pistonun alt ölü noktasından (AÖN) başlayarak sıkıştırdığı hava, üst ölü noktada (ÜÖN) yüksek basınç ve yüksek sıcaklığa ulaşır. Bu noktada yakıt atomize olarak yanma odasına püskürtülür. Oluşan karışım tutuşarak yanma sağlar. Yanma sonucu oluşan enerji, pistonu aşağı yönde AÖN'ya hareket ettirerek piston kolu ve krank mili vasıtasıyla doğrusal hareket dairesel harekete dönüştürülür (Çengel vd. 2011).

Şekil 3.2. de içten yanmalı bir dizel motor görülmektedir.



Şekil 3.2. İçten Yanmalı Dizel Motor (https://otomobilteknoloji).

Verimli yanmanın gerçekleşebilmesi için ideal bir hava yakıt karışımını oluşturmak son derece önemli bir unsurdur. İçten yanmalı bir motorun yanma işlemi sırasında gerçekleşen kimyasal olaylar 3.1 denkleminde gösterilmiştir. Motorun çalışabilmesi için gerekli enerjiyi sağlayan maddeye yakıt denir. Yakıt, hava içerisindeki oksijenle birleşip enerjinin meydana çıkmasını sağlayan kimyasal reaksiyon zinciri

oluşturur ve bu zincirlemeye yanma denir. Fosil yakıt, bol miktarda karbon ve hidrojen atomlarından oluşmaktadır. Bu elementleri içeren yakıtın tamamen yanabilmesi için gerekli olan oksijen miktarının hesaplanması gerekir. Yakıtın tamamen yanabilmesi için gerekli olan hava; stokiyometrik hava olarak tanımlanır ve yanma verimi için önemli faktörlerden biridir. Yakıt içerisinde bulunan bütün karbon ve hidrojenin yanma sonucu yaptığı tüm bağlar oksijenle gerçekleşirse bu reaksiyona tam yanma denir. Yanma havasında ki oksijen miktarı fazla ise fakir yanma, oksijen miktarı az ise zengin yanma olarak adlandırılır (Uyumaz vd. 2017).

$$\text{Yakıt} + \text{Hava} \rightarrow (CO_2 + H_2O + N_2 + O_2) + CO + NO + HK \quad (3.1)$$

Dizel motorlardaki yanma ürünleri 3.2 denkleminde gösterilmiştir. Yanma ürünleri CO_2, H_2O, SO_2, O_2 ve N_2'dir. Yakıt tam olarak yanmadığında CO, H_2, NO gibi ürünlerde silindir içinde meydana çıkmaktadır. Yakıtın tam enerjisini alabilmek için tamamen yanması gerekmektedir. Bunun için yanma havasında yeterince oksijen bulunması gerekmektedir (Uyumaz vd. 2017).

$$C_{17}H_{34} + 25.5\lambda(O_2 + 3.76N_2) \rightarrow (CO_2, CO, CH_4, HCHO, C, SO_4, SO_3, H_2O, NO, NO_2, N_2) \quad (3.2)$$

Yanma olayının kısa sürede gerçekleşmesi motorun performansının gelişmesinde son derece önemlidir. Bu gibi durumlarda içten yanmalı motorların, supap açılıp kapanma zamanları, ateşleme avansı, sıkıştırma oranı ve hava/yakıt oranı gibi bazı çalışma değişkenleri motor yüküne ve hızına bağlı olarak değiştirilebilmektedir (Uyumaz vd. 2017).

3.2. Dizel Motorlarda Volümetrik (hacimsel) Verim

Dizel motorlarda silindir içerisine sadece hava girerken benzinli motorlarda yakıt-hava karışımı girmektedir. Teorik olarak hesaplanabilen bu dolum hacimleri, silindir hacmine eşit kabul edilmektedir. Ancak yanma sonrası silindirde kalan sıcak artık gazlar, motor yanma odasındaki bileşenlerin ısınması nedeniyle silindire giren dolgu miktarı azalmaktadır. Bu nedenle motorun strok hacmine fiilen girebilecek dolum

miktarı ile teorik olarak strok hacmine girmesi gereken dolum miktarı arasında fark olmaktadır. Gerçekleşen bu oran, volümetrik (hacimsel) verim olarak adlandırılır (Potur, 2009).

Dizel motorların ve benzinli motorların volümetrik (hacimsel) verimlerinde farklılık vardır. Dizel motorlarda volümetrik verim % 75-95 arasında iken benzinli motorlarda volümetrik verim % 70-80 arasındadır (Şengün, 2014).

$$\eta_v = \frac{\text{Strok hacmi içine giren gerçek hava miktarı}}{\text{Stok hacmi içine girmesi gereken teorik hava miktarı}} \quad (3.3)$$

Volümetrik verim (3.4) denklemi ile hesaplanmaktadır.

$$\eta_v = \frac{V_H}{V_S} \quad (3.4)$$

$$Q = \frac{\eta_v . V_s}{L} . H_u \quad (3.5)$$

Q: Yanma sonucu açığa çıkan ısı (kcal/ iş periyodu)

η_v: Volümetrik verim

V_s: Strok hacmi (m^3)

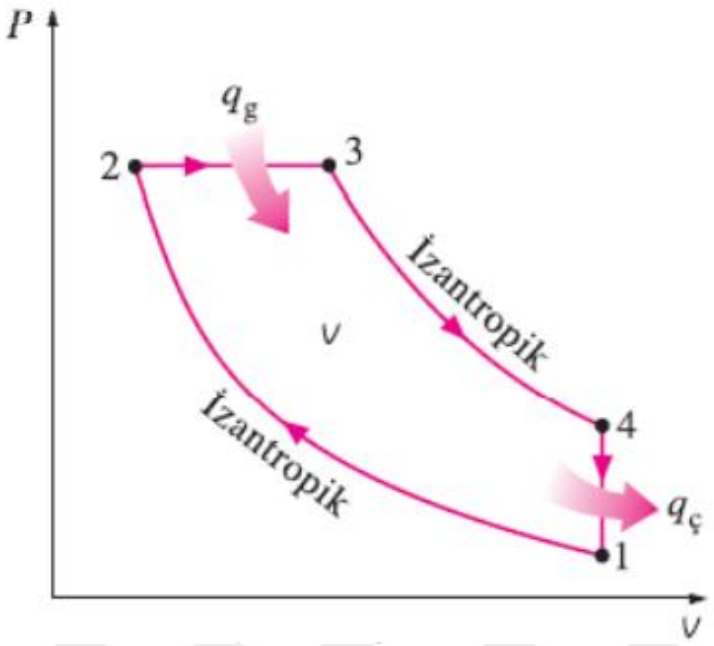
H_u: Yakıtın alt ısıl değeri (kcal/kg)

L: Silindir içerisine alınan gerçek hava miktarı (m^3 karışım / kg. yakıt)

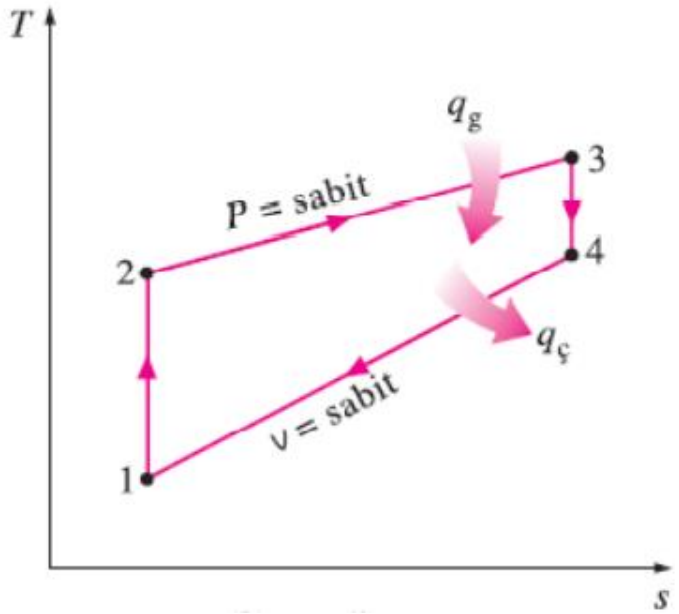
Hacimsel verimdeki bir artış, bir çevrimde yakılan yakıt miktarının artması anlamına gelir, bu da bir çevrimde yapılan işi arttırır.

Dizel ve benzin çevrimleri farklılık göstermektedir. Yani proses 1-2 izentropik sıkıştırma, 2-3 sabit basınçlı ısı ilavesi, 3-4 izentropik genleşme ve 4-1 sabit hacimli ısı

reddidir. İki çevrim arasındaki benzerlik, Şekil 3.3-3.4'te gösterilen dizel çevriminin P-V ve T-s diyagramlarında da açıkça görülmektedir (Çengel vd. 2011).



Şekil 3.3. P-V Diyagramı (Çengel vd. 2011)



Şekil 3.4. T-s Diyagramı (Çengel vd. 2011)

Dizel çevriminin kapalı bir sistem oluşturan piston-silindir düzeneğinde gerçekleştirildiğine dikkat edilerek, çalışma akışkanına sabit basınçta aktarılan ve sabit hacimde buradan atılan ısı miktarı aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$q_{giriş} - w_{çıkış} = u_3 - u_2 \rightarrow q_{giriş} = P_2(V_3 - V_2) + (u_3 - u_2) \tag{3.6}$$

$$h_3 - h_2 = c_p(T_3 - T_2) \tag{3.7}$$

Daha sonra, soğuk hava standart varsayımları altında ideal dizel çevriminin ısıl verim aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$\eta_{th,Dizel} = \frac{w_{net}}{q_{giriş}} = 1 - \frac{q_{çıkış}}{q_{giriş}} \tag{3.8}$$

Kesme oranı $r_ö$, yanma işleminden sonraki ve önceki silindir hacimlerinin oranı olarak ifade edilecek olursa:

$$r = \frac{V_1}{V_2} = \frac{v_1}{v_2} \tag{3.9}$$

$$r_ö = \frac{V_3}{V_2} = \frac{v_3}{v_2} \tag{3.10}$$

1-2 ve 3-4 süreçleri için izentropik ideal gaz ilişkilerini kullanarak, ısıl verim ilişkisinin azaldığı görülmektedir.

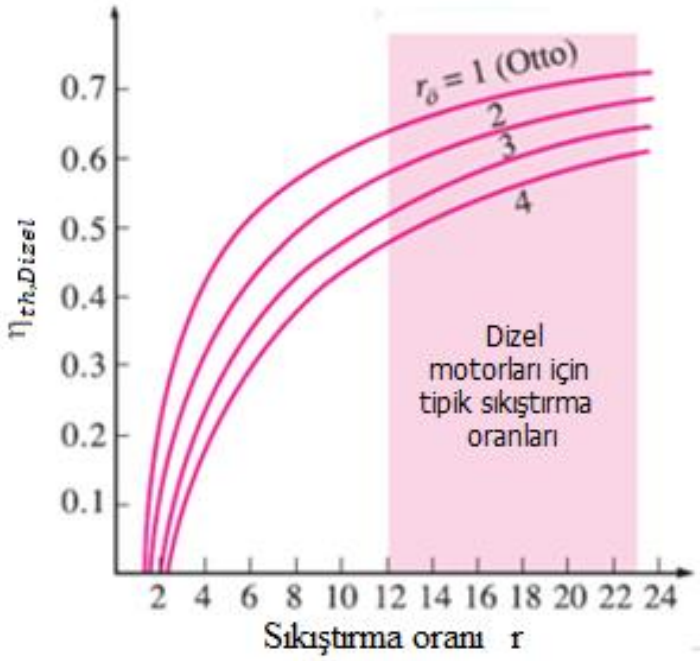
$$\eta_{th,Dizel} = 1 - \frac{1}{r^{(k-1)}}\left[\frac{r_ö^k - 1}{k(r_ö - 1}\right] \tag{3.11}$$

Burada r, denklem 3.9 ile tanımlanan sıkıştırma oranıdır. Burada 3.11 denklemi incelendiğinde soğuk hava standardı varsayımları altında, dizel çevriminin verimi, benzin çevriminin veriminden, parantez içindeki miktara göre farklı olduğu görülmektedir. Bu değer her zaman 1'den büyüktür (Denklem 3.12).

$$\eta_{th,Benzin} > \eta_{th,Dizel} \tag{3.12}$$

Ayrıca kesme oranı azaldıkça dizel çevriminin verimi artar (Şekil 3.5). Sınırlayıcı $r_ö = 1$ durumu için, parantez içindeki miktar 1 olur. Bu nedenle benzin ve dizel çevrimlerinin verimleri aynı olmaktadır. Dizel motorlar çok daha yüksek sıkıştırma

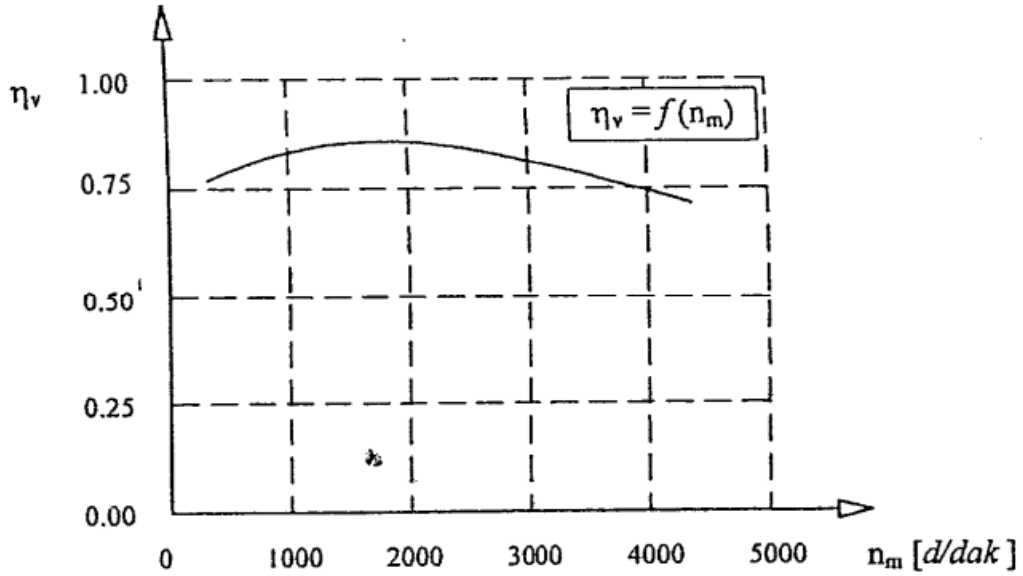
oranlarında çalışmaktadır. Bu nedenle kıvılcım ateşlemeli (benzinli) motorlardan daha verimlidir. Ayrıca dizel motorlar genellikle düşük devirlerde çalıştıkları ve hava-yakıt kütle oranı kıvılcım ateşlemeli motorlara göre çok daha yüksek olduğu için daha iyi yanma sağlanmaktadır. Büyük dizel motorların ısıl verimleri yaklaşık yüzde 35 ila 40 arasında değişmektedir. (Çengel vd. 2011)



Şekil 3.5. Dizel çevriminin sıkıştırma oranına ve kesme oranına göre değişimi (Çengel vd. 2011)

3.2.1. Dizel Motorlarda Volümetrik Verim Arttırma Yöntemleri

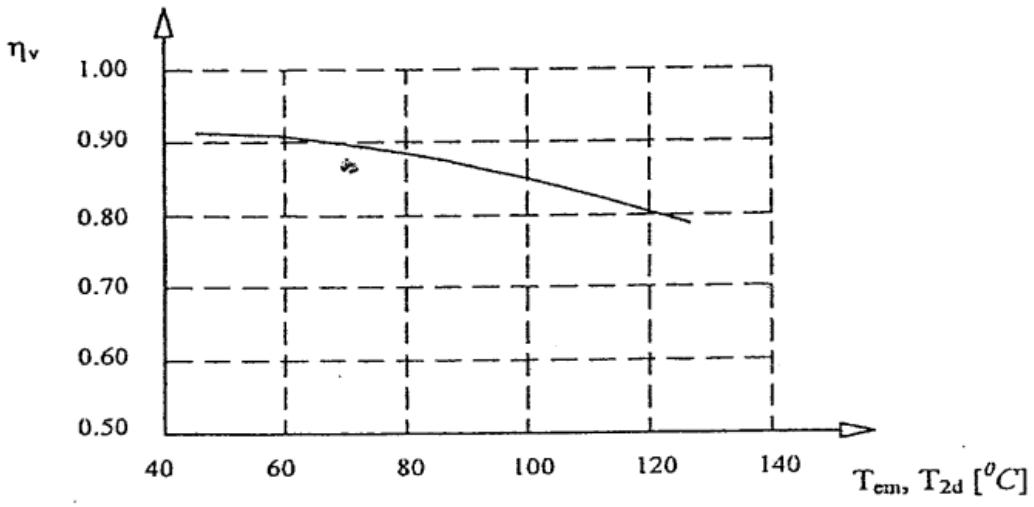
Emme sonunda silindir basıncı artıkça volümetrik verimin arttığı görülmektedir. Emme sonu basıncı, silindir kafası yapısına bağlı olarak motor devir sayısının karesi ile azalmaktadır. Diğer bir ifade ile aynı subap açık kalma alanı için gaz hızı devir sayısıyla, basınç kaybı da hızın karesiyle doğru orantılı olacak şekilde artmaktadır. Şekil 3.6'da görüldüğü gibi düşük devirlerde emme havası ataletinin az olması, devir sayısında ise kısılma kayıplarının artması nedeniyle volümetrik verim düşmektedir.



Şekil 3.6. Devir sayısının volümetrik verimine etkisi (Potur, 2009).

Sıkıştırma oranının daha büyük olması volümetrik verim üzerinde olumlu ve olumsuz etkileri olmaktadır. Olumlu etkisi, sıkıştırma basıncının artışıyla artık gaz miktarının düşmesinden kaynaklı emme sürecinde daha çok dolgu (hava) alınmaktadır. Olumsuz etkisi ise artan sıkıştırma oranı ile birlikte ortalama sıcaklıkların artmasına bağlı olarak dolgu (hava) yoğunluğunun azalmasıdır (Potur, 2009).

Emme sonu sıcaklığı düştükçe volümetrik verim yükselmektedir. Bunun nedeni emme sürecinde alınan dolgunun (hava) daha düşük sıcaklıklarda daha az yer kaplaması ve daha çok dolgunun emilebilmesine olanak sağlamasıdır. Şekil 3.7'de emme havası sıcaklığının volümetrik verime olan etkisi gösterilmiştir (Potur, 2009).

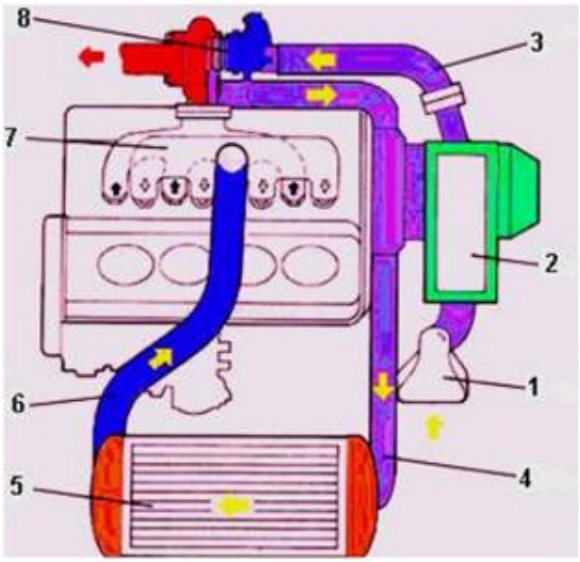


Şekil 3.7. Emme havası sıcaklığının volümetrik verimime etkisi (Potur, 2009).

3.2.2. İntercooler Yapısı, Özellikleri ve Çeşitleri

İntercooler; otomobil, kamyon, çekici, otobüs ve traktörlerde motor suyu soğutma radyatörünün önünde yer alan 'Hava Soğutma' radyatörüdür. Kompresörün yolladığı havayı soğutmaya ve böylece havanın yoğunluğunun yükseltilmesini sağlar. Radyatöre benzeyen intercooler, yüksek sıcaklıklara ulaşan egzoz gazlarının kızgın hale getirdiği türbin kanatçıklarından geçen sıcak basınçlı havanın yoğunluğunu normal seviyeye düşürür (Polat, 2011).

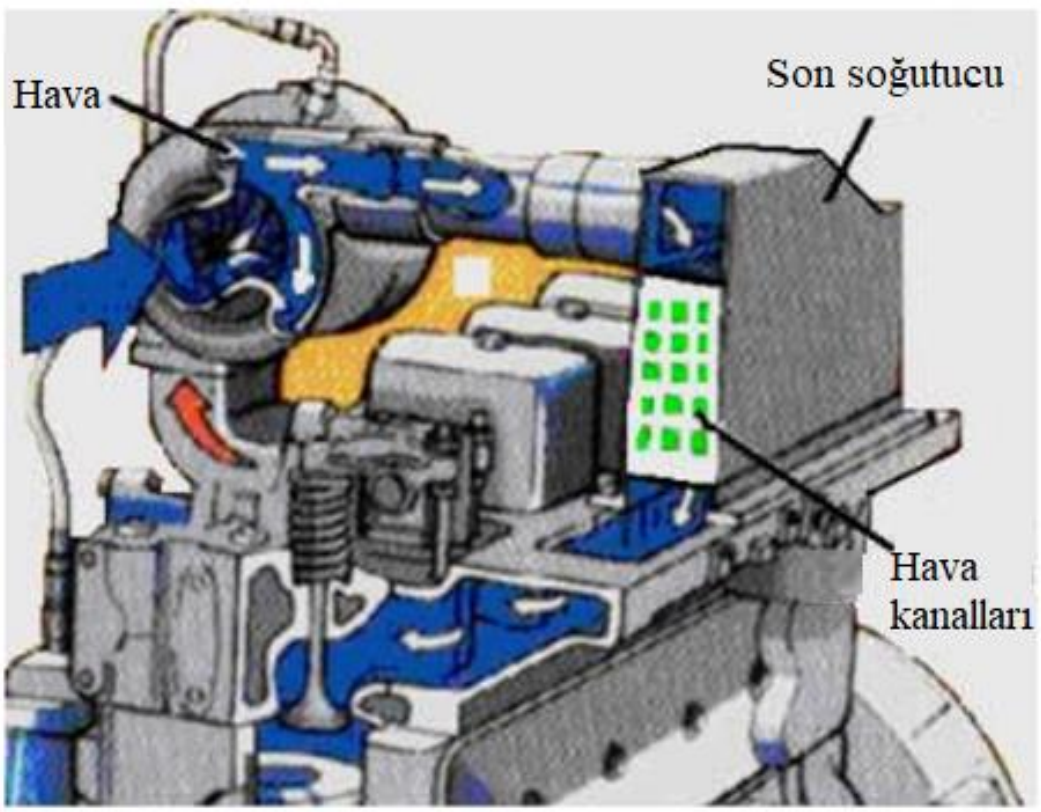
İntercooler kompresörün yakınına konumlandırılmaktadır. İntercoolerın tasarım şeklinden dolayı borularından geçen havanın hızı düşer ve yoğunluğu artmaktadır. Böylelikle basınç kaybı da minimuma indiği için volümetrik verim artmaktadır. İntercooler boruları yüksek ısı transferi sağlaması amacıyla alüminyum alaşımdan yapılmaktadır. İntercooler hava ve su soğutmalı olarak ikiye ayrılmaktadır. Genellikle hava hızı yaklaşık olarak 14 m/sn, su hızı ise yaklaşık 0,76 m/sn'dir. İntercooler kullanılan aşırı doldurmalı sistemlerde, kompresörden çıkan giriş havasının sıcaklığını ayarlayabilen termostatlı kısa devre kelebeği kullanılır. Turboşarj kompresöründen gelen havanın sıcaklığına bağlı olarak çalışan termostat yardımıyla kısa devre yapılır. Silindir içerisine daha fazla hava sokulabilmesi için sıcaklığın düşürülmesi gerekmektedir. Şekil 3.8'de intercooler sistemi gösterilmiştir (Polat, 2011).



Şekil 3.8. İntercooler sistemi (Polat, 2011).

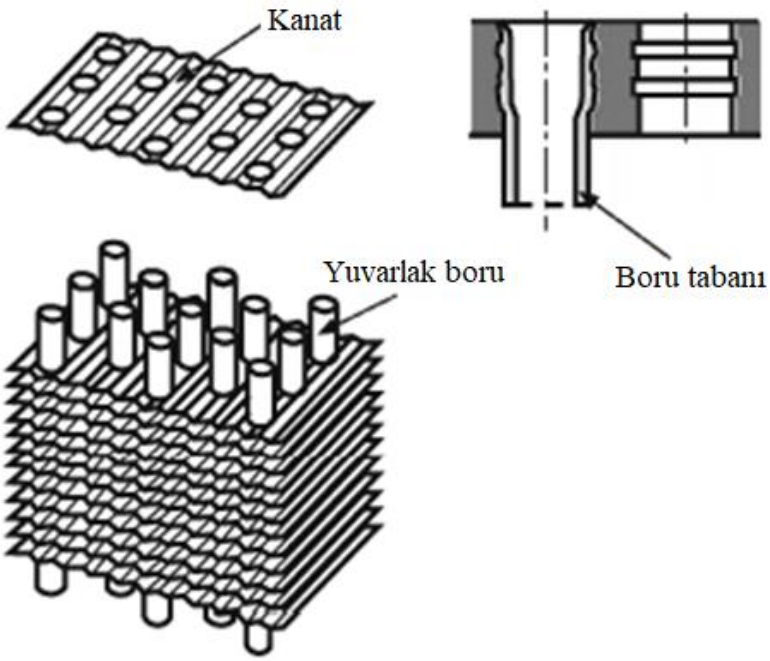
1. Hava girişi
2. Hava filtresi
3. Turbo-hava filtresi bağlantısı
4. İntercooler-turbo bağlantısı
5. İntercooler
6.Emme manifoldu-intercooler bağlantısı
7. Emme manifoldu
8. Turbo kompresör

Yuvarlak borulu ara soğutucu, çok sayıda kanat plakasından oluşmaktadır. Şekil 3.9'da hava soğutmalı bir intercooler gösterilmektedir. Borular ısı iletimi mümkün olduğu kadar iyi destekleyecek şekilde plaka flanşlarına bağlanmıştır. Boruların, hidrolik veya mekanik olarak genişletilmesi ya da plaka flanşlarının yumuşak lehimlenme ile üretilmektedir (Polat, 2011).



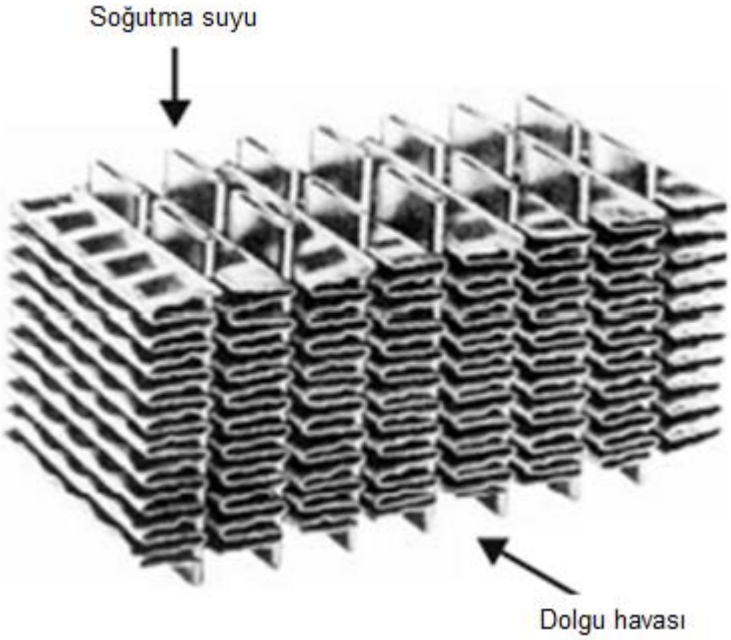
Şekil 3.9. Hava soğutmalı intercooler (Polat, 2011).

İnce duvarlı boru tabanlı düz oval boruların bir kombinasyonunda (Şekil 3.10), borular (iç kanatlı veya kanatsız) hava lamellerine, yan çerçevelere ve boru tabanlarına lehimlenmektedir. İntercooler uçlarında, kaynaklı veya cıvatalı bağlantı olabilir. Seri üretimde ekonomik olarak kullanılmaktadır.



Şekil 3.10. Yuvarlak borulu intercooler (Hiereth vd. 2003).

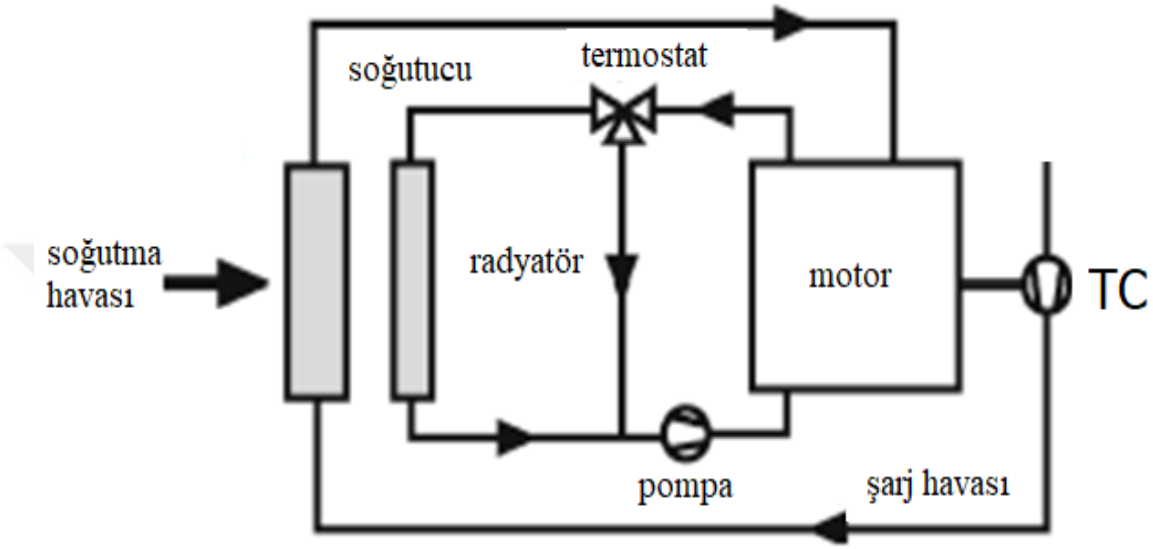
Boru duvar sacı ve lamel çıkıntılarının bir kombinasyonunda (Şekil 3.11), tamamen lehimli ara soğutucu bloğu, birlikte su kanallarını oluşturan sac, çubuklar, destek lamellerinin yanı sıra hava tarafı lamelleri ve yan çerçevelerinden oluşmaktadır. Bu tasarım aynı zamanda düşük hacimli üretim için de uygundur.



Şekil 3.11. İç kanatçıksız düz oval borulu lamel intercooler (Hiereth vd. 2003).

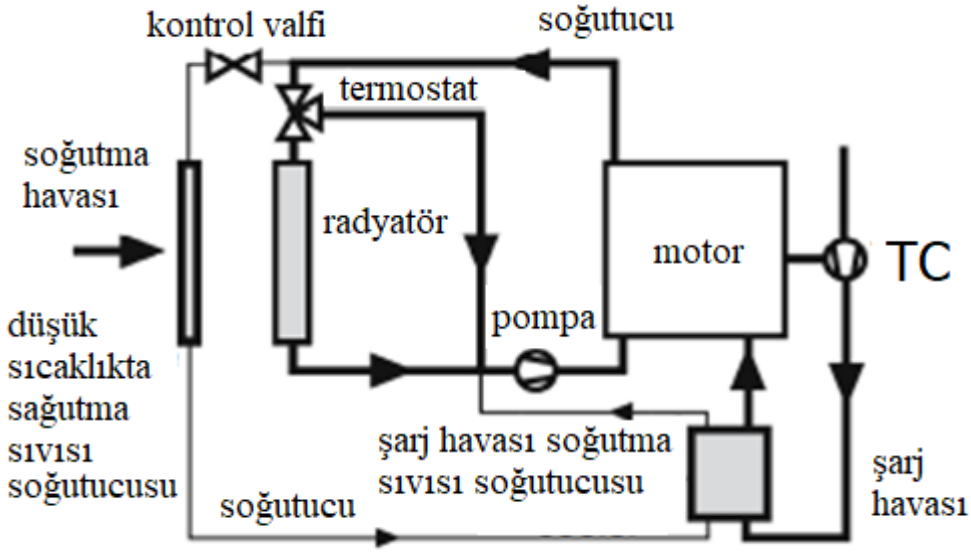
Şekil 3.12'de doğrudan şarjlı hava soğutma sisteminin çalışma prensibi gösterilmiştir. Ortamın sıcaklık değerinin yaklaşık 15-20°C üzerinde soğutma sıvısı sıcaklığı elde edilir. Havadan havaya soğutma uygulandığında, sıcaklık düşüşü olur. Geri kazanımı temel olarak ara soğutucu boyutuna ve verimliliğine bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

.



Şekil 3.12. Doğrudan şarj havası soğutması (Hiereth vd. 2003).

Şekil 3.13'te dolaylı şarj hava soğutma sisteminin çalışma prensibi gösterilmiştir. Şarj havası soğutucusu, kompakt şekilde tasarlanmıştır. İkinci soğutma ünitesi ile de soğutma desteklenmiştir. Böylece bir araçtaki sınırlı soğutma yüzeyleri ile şarj havası sisteminde daha küçük bir basınç kaybı ve geliştirilmiş yoğunluk geri kazanımı sayesinde daha yüksek bir sıcaklık düşüşü mümkün olmaktadır. Doldurma havası sıcaklığı, motor soğutma sıvısı devresine kontrol valf ile bağlantı oluşturarak sistemde verimli hale dönüşür. Isı yönetim sistemi bu şekilde sağlanmaktadır (Hiereth vd. 2003).



Şekil 3.13. Dolaylı şarj havası soğutması için prensip düzeni (Hiereth vd. 2003).

3.2.3. Aşırı Doldurma (Turboşarj çeşitleri) Sistemleri

Dizel motorlardan elde edilen güç yanma haznesine iletilen basınçlı hava ile arttırılmaktadır. Güç aşağıdaki denklem ile hesaplanabilir:

$$P = P_m \, d^2 s \, z \, n \qquad (3.10)$$

P: Motor gücü (kW)

P_m: Ortalama efektif basınç (MPa)

d: Piston çapı (m)

s: Stork boyu (m)

z: Silindir sayısı

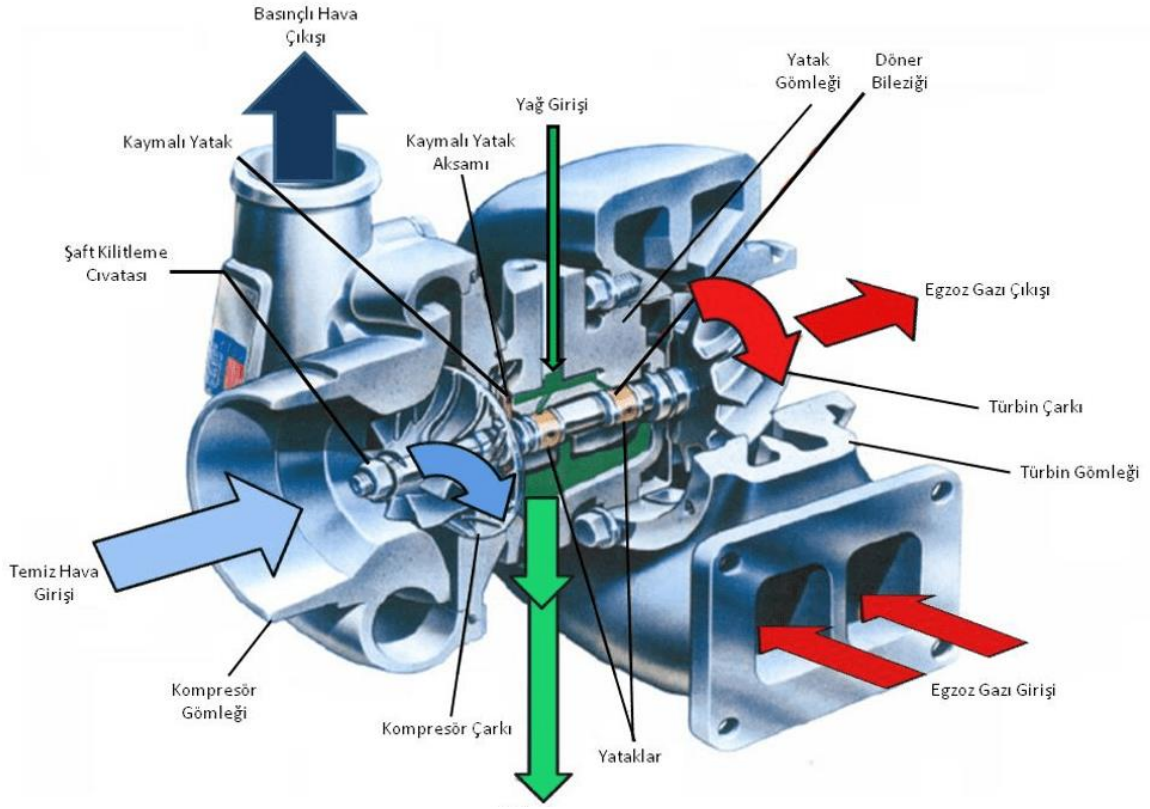
n: Motor devri (d/dk)

Gücü arttırmak için denklemde ki çarpanların birinin veya birkaçının arttırılması gerekir. Piston çapı, piston stroku, silindir sayısı ve motor devri motorun tasarımından dolayı değiştiremeyeceğimiz parametrelerdir. Fakat ortalama efektif basınç (P_m) değişmesi mümkündür (https://malzemebilimi.net).

Ortalama efektif basınç değerinin yükseltilmesi için yanma haznesi içindeki reaksiyonunun arttırılması gerekmektedir. Daha verimli bir yanma için motor içine daha fazla temiz hava gönderilmelidir. Bu işleme aşırı doldurma denir.

Turboşarj ve Süperşarj birer aşırı doldurma sistemleridir. Yanma haznesine yüksek yoğunluk ve basınçta hava gönderilmesini sağlamaktadırlar. Turboşarj ve Süperşarj sistemleri, prensip olarak benzerdir. Basınçlı hava elde etmek için kompresör pervanesini yüksek devirde hareket ettirerek havayı yanma haznesine iletmektedir.

Şekil 3.14'te yaygın olarak kullanılan bir turboşarjın kesit resmi gösterilmiştir. Turboşarj ünitesi; türbin, kompresör ve yataklar olmak üzere üç ana kısımdan oluşmaktadır.

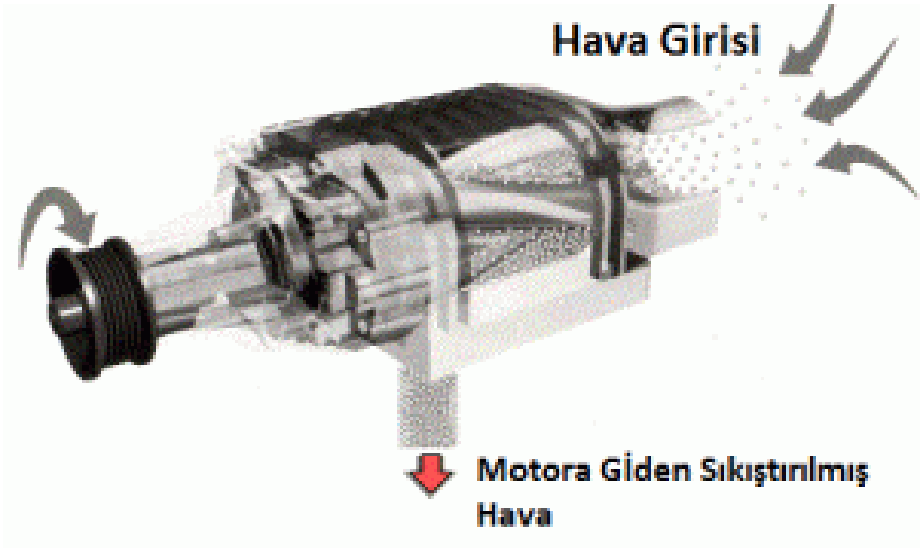


Şekil 3.14. Turboşarj (Şahin, 2019).

Turboşarj tek bir mil üzerine bağlı olan kompresör ve türbin pervaneleri egzoz gazının hareketi ile çalışmaktadır. Turboşarj enerjisini egzoz gazının basıncından

almaktadır. Bir mil ile birbirine bağlı türbin ve kompresör görevi gören iki adet pervaneye sahiptir. Türbin egzoz tarafında, kompresör emme tarafında yer almaktadır.

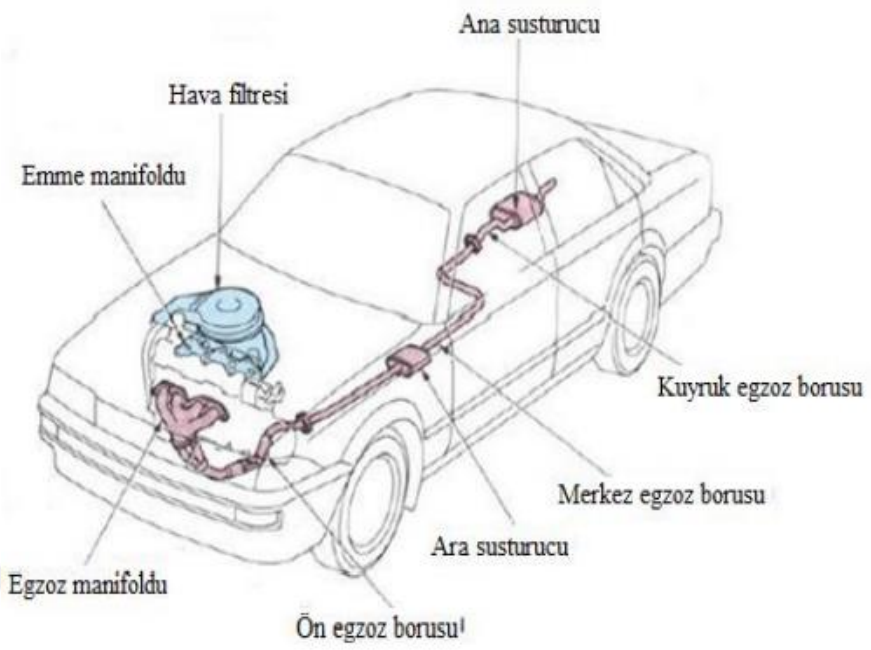
Süperşarj; kayış kasnak yardımıyla krank milinden aldığı hareket ile çalışmaktadır. Bu durum motor veriminden küçük bir miktar kayba neden olmaktadır. Şekil 3.15'te süperşarjın kesit resmi gösterilmiştir.



Şekil 3.15. Süperşarj (https://malzemebilimi.net)

3.2.4. Egzoz Sistemi, Kısımları ve Yapısal Özellikleri

Egzoz sisteminin görevi, yanmış gazların zararlı emisyonlarını filtre ederek ve egzoz gürültüsünü azaltarak dışarı atılmasını sağlamaktır. Şekil 3.16'da egzoz sisteminin araç üzerinde yerleşimi gösterilmiştir.



Şekil 3.16. Egzoz sistemi (Dalar, 2019).

Egzoz boruları; verimli egzoz akışı, minimum gürültü ve düşük emisyon seviyelerine ulaşmak için egzoz komponentlerini birbirine bağlamaktadır. Egzoz sistemi nispeten yüksek sıcaklıkta çalışır. Bu tür çalışma koşulları, termal korozyondan kaynaklı malzeme ömrünü arttırmak için ısıya karşı yüksek dirençli malzemelerin kullanılmasını gerektirmektedir (Dalar, 2019).

Egzoz manifoldu; motor ile egzoz sistemini birbirine bağlayarak silindir içerisinde yanan gazları toplar ve egzoz sistemine gönderir. Motor performansını etkileyen en önemli sistemlerden bir tanesi olan egzoz sistemi, egzoz gazının rahat çıkmasını sağlamak amacıyla tasarlanmıştır. Her geçen gün egzoz sistemlerinin gelişmesiyle manifoldların tasarımları da değişmektedir. Manifold tasarımında, çıkan egzoz gazlarının sürtünmeden en az şekilde etkilenmesi için yüzey kalitesi de dikkate alınmaktadır. Manifold, genellikle dökme demir veya alüminyum alaşımlarından imal edilmektedir. (https://carstechnic.com).

Katalitik konvertör; egzoz sisteminin bir parçası olup egzozdan çıkan zararlı gazları daha az zararlı gazlara dönüştürerek emisyon değerlerini düşürüp çevreye daha az zararlı gazların salınımını sağlamaktadır. Şekil 3.17'de katalitik konvertörün kesit resmi gösterilmiştir. Yanmamış hidrokarbonlara (HC) ikincil bir yanma sağlamakta ve zararlı

gazlara kimyasal reaksiyon olanağı sağlamaktadır. Bu yanma ve kimyasal reaksiyon katalizörler kullanılarak yapılır. Katalizör olarak rodyum (Rh), platin (Pt) ya da paladyum (Pd) kullanılmaktadır.

Üç yollu katalitik konvertörlerde aynı anda aşağıdaki üç kimyasal reaksiyon gerçekleşmektedir.

a) Karbonmonoksitin (CO) yakılarak karbondioksite (CO_2) dönüşmesi

b) Azot oksitlerin (NO_x) azota (N) dönüşmesi

c) Yanmamış hidrokarbonların (HC) karbondioksit (CO_2) ve suya (H_2O) dönüşmesi

Katalitik konvertör kanalları platin (Pt), paladyum, rodyum (Rh) ve seryum (Ce) ile kaplanmaktadır. Konvertör içerisindeki paladyum (Pd) ve platin (Pt), hidrokarbon (HC) ve karbonmonoksitlerin (CO) oksitlenmesini sağlamaktadır. Seryum (Ce) ise zengin ve fakir karışımlarda değişiklik gösteren fazla oksijeni depolayarak gerekli olan miktarını katalizörde bulunmasını sağlamaktadır (Şekil 3.17) (https://carstechnic.com).



Şekil 3.17. Katalitik konvertör (https://carstechnic.com).

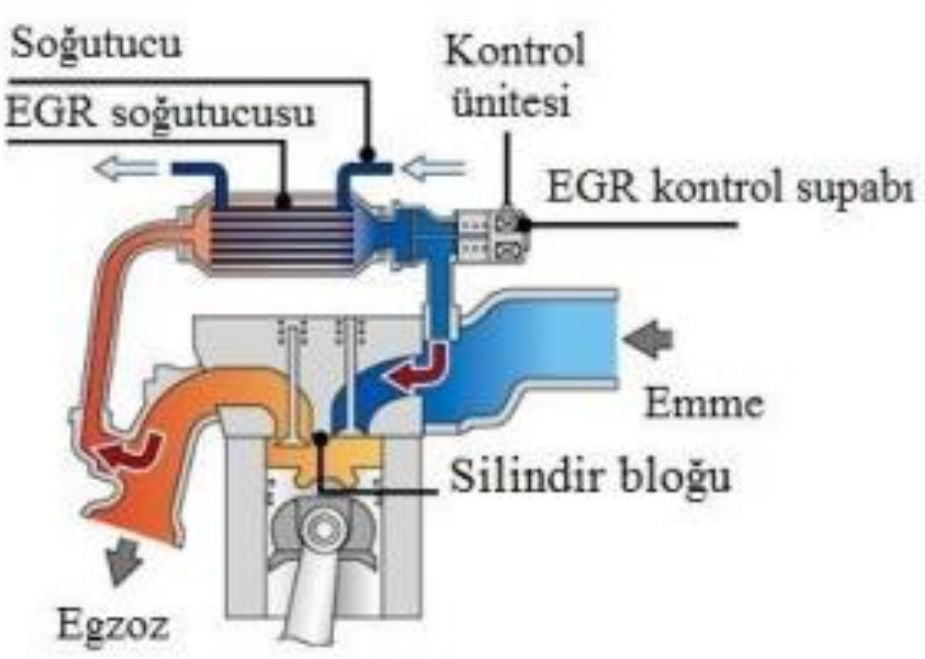
İçten yanmalı araçlarda motordan egzoz gazları sırasıyla, egzoz manifoldu, egzoz borusu, katalitik konvertör, susturucu ve son olarak kuyruk borusu ile atmosfere atılmaktadır. Susturucular, yanmış gazları ileri geri yönde hareket ettirerek hızını düşürmekte dolayısıyla gazların soğumasını da sağlamaktadırlar. Bununla birlikte egzoz gazlarının gürültüsü azalarak kuyruk borusundan atmosfere atılmaktadır.

3.2.5. Dizel Motorlarda Egzoz Emisyon Azaltma Yöntemleri

Dizel ve benzinli motorlarda oluşan egzoz emisyonları karbon monoksit (CO), azot oksit (NO_x), hidrokarbon (HC), partikül madde (PM), kükürt oksit (SO_x) ve kurşun bileşikleridir. SO_x ve kurşun bileşikleri ise yakıttan kaynaklanan kirleticilerdir. Benzinli motorlarda HC ve CO, dizel motorlarda NO_x ve PM daha yüksek oranlarda görülmektedir.

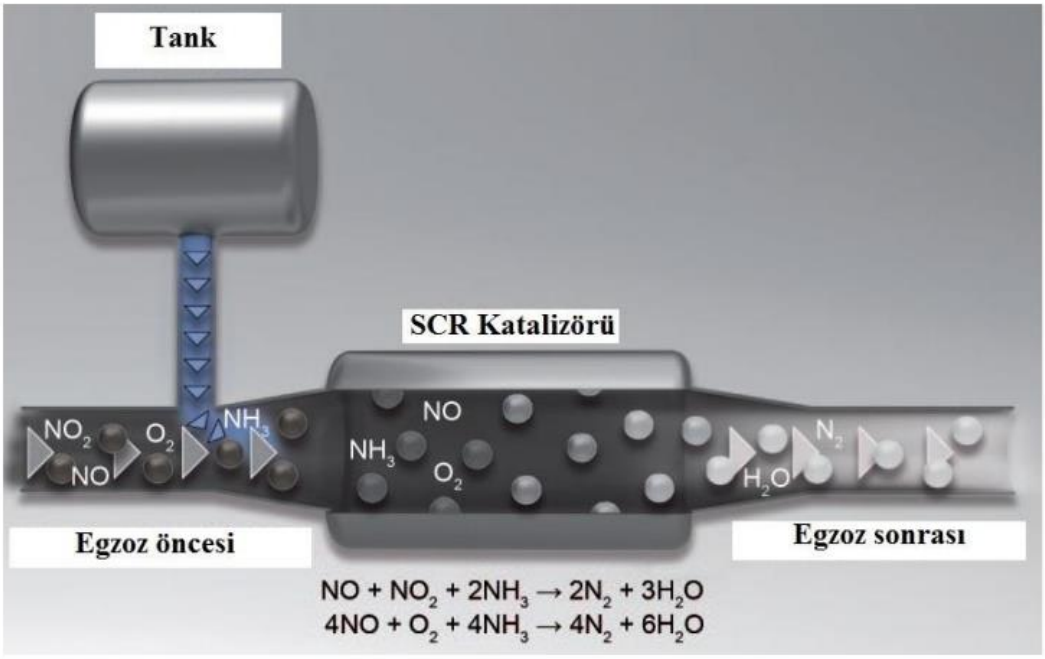
Son 20 yılda emisyon değerleri % 83 oranında azaltılmıştır. İstenen emisyon değerlerine ulaşılabilmesi için araçlarda iki ve üç yollu katalitik konvertörler kullanılmaktadır. Ayrıca dizel motorlu araçlarda açığa çıkan yüksek miktardaki azot oksit değerlerinin düşürülmesi için Egzoz Gazı Resirkülasyonu (EGR) ve Seçici Katalitik Azaltıcı (SCR) teknolojileri, yakıt partiküllerinin azaltılması için de Dizel Partikül Filtre (DPF) kullanılmaktadır (https://carstechnic.com).

Şekil 3.18'de EGR sistemi gösterilmiştir. EGR sistemi, egzoz gazını soğutup tekrar silindirlere göndererek azot oksit (NO_x) emisyonunun azalmasını sağlamaktadır. Soğutma suyu ile egzoz gazının bir kısmının sıcaklığı düşürülerek yanma odasına tekrar göndermektedir.



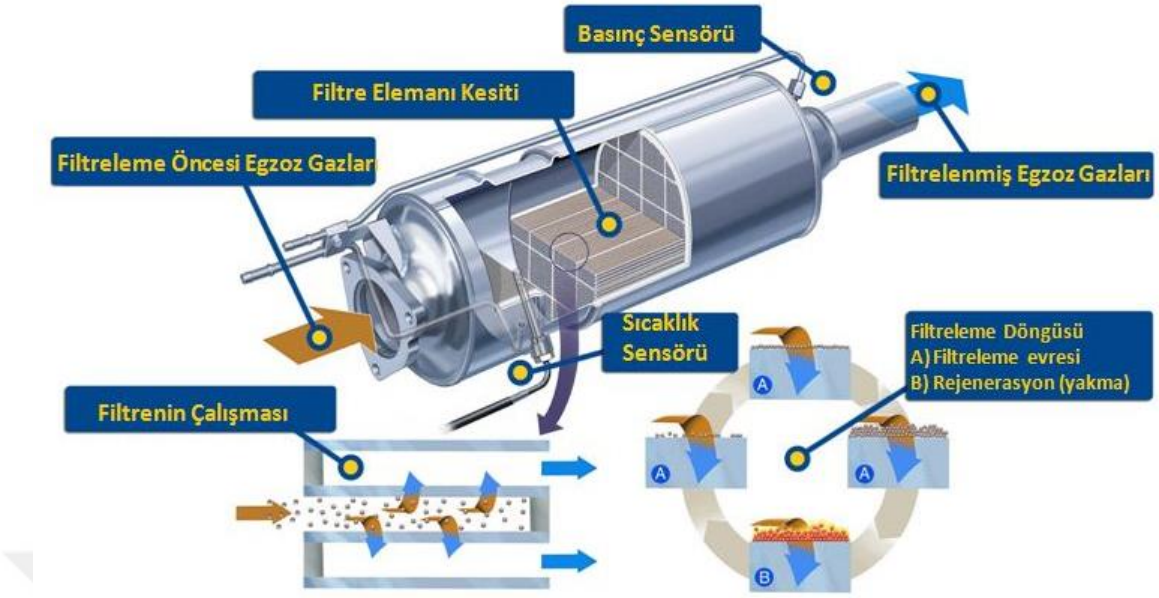
Şekil 3.18. EGR sistemi (Uyumaz vd. 2017).

Şekil 3.19'a Seçici Katalitik Azaltıcı (SCR) sistemi gösterilmiştir. SCR sitemi, dizel motorlarda kullanılan emisyon kontrol teknolojisidir. Egzozdan çıkan NO_x'un emisyon seviyesini düşürmeyi amaçlar. SCR sistemine egzoz gazında bulunan NO_x ile tank içerisinde bulunan dizel egzoz sıvısı (AdBlue) karışarak egzoz çıkışı öncesinde kimyasal reaksiyona girip su buharı ve nitrojen olarak atmosfere atılmaktadır (Uyumaz vd. 2017).



Şekil 3.19. SCR sistemi (Uyumaz vd. 2017).

Dizel araçlarda katalitik konvertörden sonra egzoz gazını partiküllerden temizleyerek egzoz emisyonlarını düşürmek için dizel partikül filtresi (DPF) kullanılmaktadır. Dizel partikül filtresinin iki farklı kullanımı vardır. Yaygın olarak kullanılan DPF içindeki patikülleri yakarak dışarı atar, böylelikle filtre kendisini temizlemektedir. Diğer filtre ise tek kullanımlık olup dolduğu zaman değiştirilmesi gerekmektedir. Şekil 3.20'de görülen DPF'nin çalışma prensibi filtrenin içinde biriken partiküllerin, karbon (C) ve hidrokarbon (HC), yanması ile filtrenin temizlenmesi esasına dayanır. Filtrenin temizlenmesi için sıcaklık ve basınç sensörleri ile filtre doluluğu tespit edilmektedir (https://carstechnic.com).



Şekil 3.20. Dizel partikül filtre çalışma prensibi (DPF) (https://carstechnic.com).

3.3. Motorlu Araçlardan Elektrik Enerjisi Elde Etme Yöntemleri

Motorlu araçlardan elektrik enerjisi elde etmek için alternatör şarj sistemi, frenleme sistemi, yakıt pilleri, TEJ gibi sistemler kullanılmaktadır.

Hibrit aküsünün tam elektrikli araçlar gibi dış kaynaklı şarj edilmesine gerek yoktur. Araç yol alırken yaptığı her frenlemede, sahip olduğu 'Rejeneratif (Üretken) Frenleme Sistemi' sayesinde elektrik enerjisi üretir. Bu frenleme sistemiyle araç kendiliğinden şarj olmaktadır.

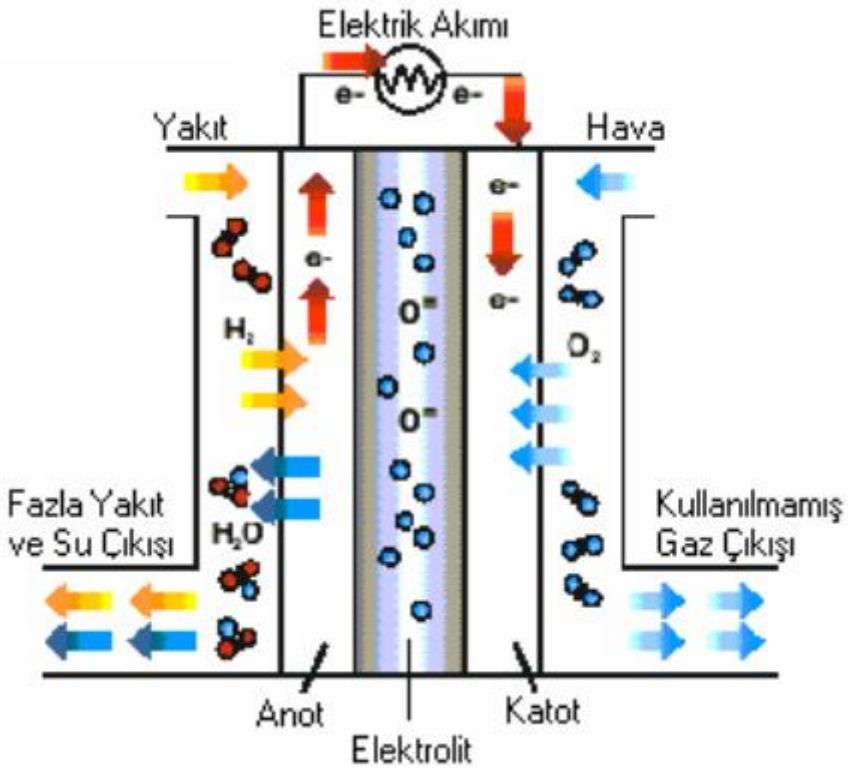
Hibrit elektrikli araçlar (HEA), geleneksel içten yanmalı motor ile elektrikli tahrik sisteminin birleşimiyle oluşmaktadır. Start-Stop sistemini kullanarak rölanti emisyonlarını azaltmaktadır. Bunu, motoru rölantideyken kapatarak ve gerektiği zaman yeniden başlatarak yapmaktadır. Bazı HEA çeşitleri, elektrik sistemini çalıştırmak için içten yanmalı motor kullanılmaktadır. Bu şekilde aracın pilleri şarj olur ve doğrudan hareketi sağlayan elektrik motorlarına güç verir. Bu sistem kombinasyonuna motor-jeneratör adı verilmektedir.

Paralel hibrit sistemde rejeneratif frenleme ile bataryalar şarj edilebilmektedir. Paralel hibrit sistemde, seri sisteme göre daha düşük kapasiteli bataryalar kullanıldığı için genellikle şarj rejeneratif frenleme sırasında yapılır. Sürüş sırasında da elektrik motoru jeneratör gibi davranarak bataryaları şarj etmektedir.

Yakıt pilleri (yakıt hücresi) hidrojen ve oksijenin elektrokimyasal reaksiyonundan doğan kimyasal enerjiyi doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren donanımlardır. Geleneksel teknolojilere göre daha yüksek verime sahiptirler.

Araçlardaki yakıt hücreleri (yakıt pilleri), havadaki oksijeni ve yakıt deposundaki sıkıştırılmış hidrojeni kullanarak elektrik üretmekte ve motora güç vermektedir.

Yakıt hücresi içerisine anot tarafından giren yakıt ve katot tarafından giren oksitleyici oksijen elektrolit/elektrot ünitesinde elektrokimyasal bir reaksiyona girerek elektrik enerjisine dönüşür. Genellikle, reaksiyona girecek olanlar hücreye giriş yaparlarken, reaksiyon ürünleri hücreyi terk etmektedir. Şekil 3.21'de yakıt hücresi temel çevrimi görülmektedir.



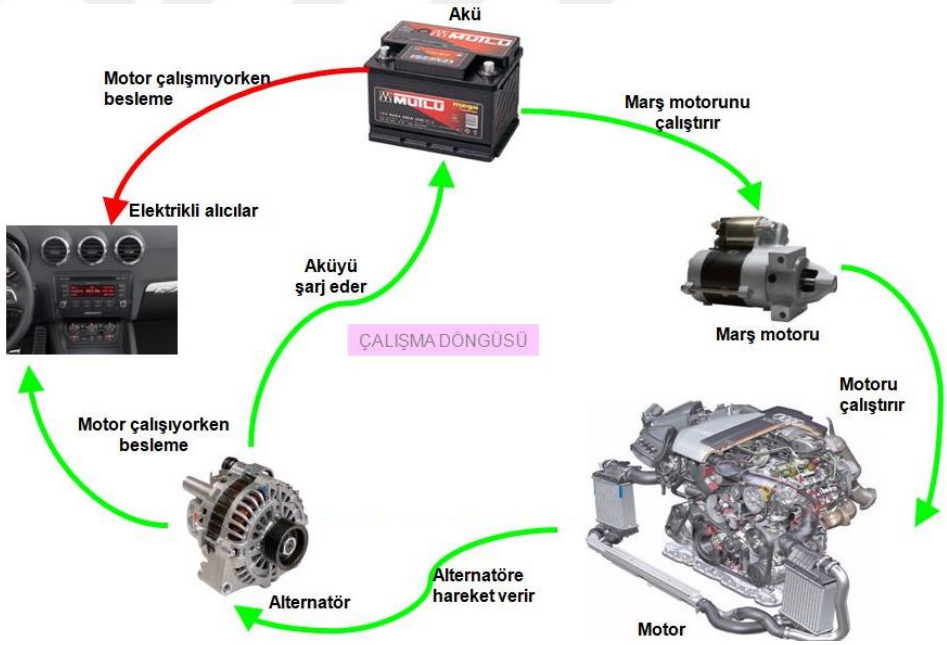
Şekil 3.21. Yakıt hücresinin (yakıt pili) temel çevrimi (Çamcı, 2005).

Son yıllarda prototip olarak çeşitli yakıt hücreleri ve TEJ uygulamaları kullanılmaya başlanmıştır. Gelecekte yakıt hücreleri ve TEJ sistemlerinin araç uygulamalarında daha yaygın olarak kullanılması beklenmektedir.

3.4. Alternatör ve Regülatörler

Araçlarda elektrik enerjisine ihtiyaç duyan pek çok işlev vardır. İçten yanmalı motorlar elektrik akımını alternatör yardımıyla üretir. Üretilen enerji araçta kullanılmak üzere aküde depolanır.

Alternatör tasarımı, araç çalıştığı süre boyunca tüm elektrik sisteminin ihtiyacını karşılayacak şekilde yapılmalıdır. Şekil 3.22'de Alternatörün araç üzerindeki çalışma döngüsü gösterilmiştir.



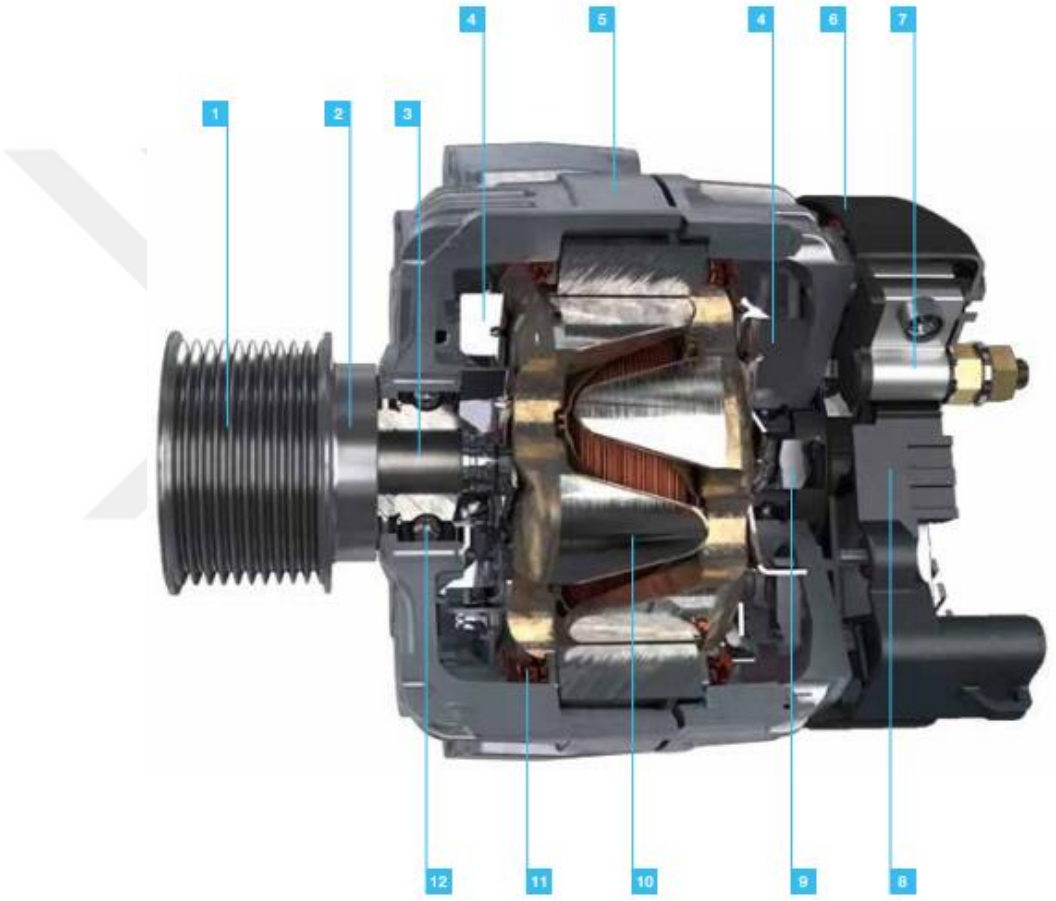
Şekil 3.22. Alternatörün araç üzerindeki çalışma döngüsü (https://otomobilteknoloji).

Alternatör, rotor ve statör olarak iki ana kısımdan oluşur. Bobin sargılarından oluşan döner parçaya rotor, manyetik alan oluşturan mıknatıslı sabit gövdeye ise statör denir. Rotor statörün içinde dönerek endüktif elektrik akımı üretilir.

Alternatif akımı doğru akıma dönüştürmek için, köprü tipi tam dalga doğrultucu kullanılmaktadır. Rotor içerisindeki ikaz diyotları, anlık akım ihtiyacını belirleyerek

gerekli akımı regülatörden alır. Rotorun regülatör tarafından beslenmesi, kömür fırçalar ile rotor üzerinde bulunan kontak bilezikleri tarafından gerçekleşir. Şekil 3.23'te alternatörün yapısı gösterilmiştir.

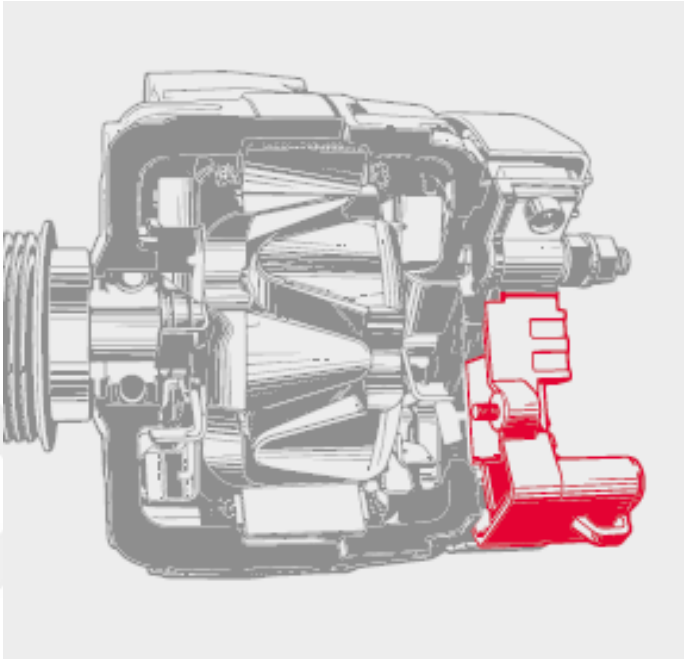
Alternatör içerisinde oluşan ısı, elektromanyetik kayıplara ve elektrik direncine bağlı olarak değişmektedir. Oluşan ısıyı azaltmak için rotor milinde bir veya iki adet fan kullanılmaktadır (https://www.mahle-aftermarket.com).



Şekil 3.23. Alternatörün yapısı (https://www.mahle-aftermarket.com).

1 Kayış kasnağı	5 Gövde muhafazası	9 Arka yatak
2 Ara kasnağı	6 Koruyucu kapak	10 Rotor
3 Mil	7 Doğrultucu / ikaz diyotları	11 Stator
4 Fan	8 Regülatör / kömür fırçaları / kontak bilezikleri	12 Ön yatak

Regülatör, alternatöre bağlı olarak çalışan aküye ve elektrik sistemine iletilen akım/gerilim düzenlenmesini sağlamaktadır. Alternatör çıkış akımının kontrol edilebilmesi için manyetik alanı oluşturan rotor sargılarının çektiği akım şiddetini kontrol etmektedir. Şekil 3.24'te Alternatör üzerine takılı regülatör gösterilmiştir.



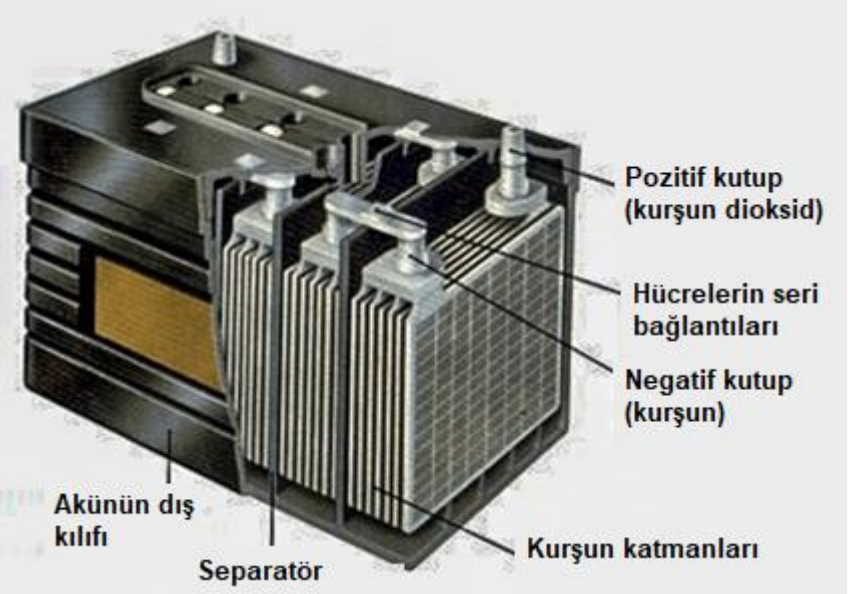
Şekil 3.24. Alternatör üzerine takılı regülatör (https://www.mahle-aftermarket.com).

3.5. Aküler, Yapısal özellikleri ve Çeşitleri

Akü, elektrik enerjisini kimyasal enerjiye çevirerek depolayan ve kullanımı halinde elektrik enerjisi olarak ileten enerji depolama aracıdır.

Kurşun-Asitli akü çeşitleri;

- Konvansiyonel (Standart Sulu) Starter Aküleri
- AGM (Emdirilmiş Cam Elyaf)
- EFB (Gelişmiş Sulu Akü) Aküleri
- JEL Aküler



Şekil 3.25. Akü yapısı (Temizer, 2014).

Konvansiyonel (Standart Sulu) starter aküleri, otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır. % 36 sülfürik asit ve % 64 damıtılmış sudan yapılmış ve elektrolite batırılmış kurşun plakalardan meydana gelmektedir.

AGM (Emdirilmiş Cam Elyaf) aküler, standart polietilen ayırıcı yerine, plakanın aktif materyali ile doğrudan temasını engelleyen cam elyaf ile sarılmıştır. Cam elyafın sarılması hem şarj hem de deşarj verimliliğini artırmaktadır.

AGM akü, iyileştirici frenleme, Start-Stop özellikli araçlarda yüksek dayanımlı bir starter akü olarak kullanılmaktadır.

EFB (Gelişmiş Sulu Akü) aküleri, plaka polietilen bir dolgu ile kaplıdır ve verim arttırıcı bir polimat dolgu ile birleştirilmiştir. AGM akülere göre daha hafif, daha dayanıklı ve daha az maliyetlidir. EFB özellikle Start-Stop, iyileştirici frenleme ve diğer güçlü yakıt tasarrufu özelliklerine sahip küçük ve orta boy araçlar için tasarlanmıştır.

JEL akülerin içi elektrolit jel benzeri bir yoğunluğa sahiptir. Bu da, aküler arasında şarj deşarj döngüsünde en iyi verimi ve % 90'a kadar deşarj derinliği sağlayan son derece güvenli bir enerji sistemidir.

3.6. Akülerde Enerji Depolama

Akü, kimyasal enerjiyi depolayan ve elektriğe dönüştüren bir cihazdır. Bir pili destekleyen sisteme elektrokimyasal hücre denir. Akü, bir veya birkaç elektrokimyasal hücreden oluşmaktadır. Temelde her elektrokimyasal hücre, bir elektrolit ile ayrılmış iki elektrottan oluşmaktadır.

Elektron alışverişi için kullanılacak kimyasal terim redoks reaksiyonu olarak adlandırılan bir indirgeme-yükseltgenme reaksiyonudur. Tüm reaksiyon iki yarı reaksiyona bölünür. Her bir elektrokimyasal hücrede, bir yarı reaksiyon anotta, diğeri katotta gerçekleşmektedir. İndirgeme, katotta meydana gelir ve elektronların kazanılması olayıdır. Yükseltgenme (oksidasyon) ise elektron kaybı olarak tanımlanmaktadır (Temizer, 2014).

Bir anot için ideal seçim, katot için seçtiğiniz malzemeden daha negatif potansiyele sahip reaksiyon üreten bir malzeme olmalıdır. Sonuçta elektronların anottan katoda yönelmesi ve oraya ulaşması için kolay bir yol (iletken bir tel) sağlandığında açığa çıkan enerjiyi elektrik enerjisi olarak kullanılmaktadır.

Elektrotlar arasındaki standart potansiyel fark, elektronların iki elektrot arasında hareket edeceği kuvvete eşit olmasıdır. Bu durum hücrenin genel elektrokimyasal potansiyeli olarak bilinir ve hücrenin voltajını belirler. Fark ne kadar büyük olursa, elektrokimyasal potansiyel fark o kadar büyür ve voltaj da o kadar yükselmektedir.

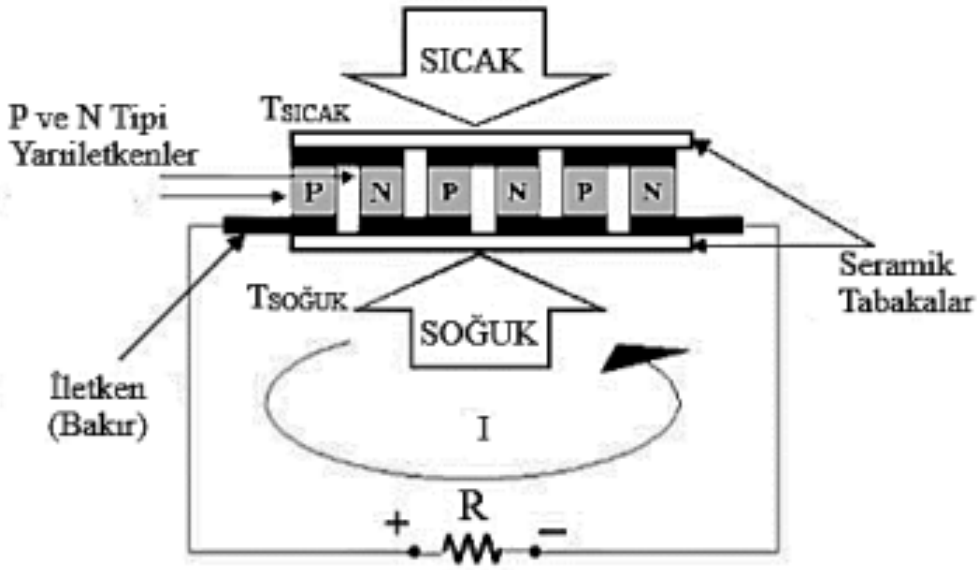
Bir akünün voltajı iki şekilde arttırılmaktadır. Elektrotlar için hücreye daha büyük bir elektrokimyasal potansiyel farkı verecek malzemeler seçilmelidir. Diğer seçenek ise birkaç hücre belirli bir şekilde (seri olarak) birleştirildiğinde akünün voltajı artmaktadır.

Hücreler farklı bir şekilde (paralel olarak) birleştirildiğinde, hücrelerden akan toplam elektron sayısının artmasından dolayı akünün akım kapasitesi artmaktadır (Temizer, 2014).

3.7. Termoelektrik Etkiler

Termoelektrik modülün yüzeyleri arasında sıcaklık farkı oluşturulduğunda, Seebeck etkisi ile elektrik potansiyeli oluşmaktadır. Bu yöntemle çalışan termoelektrik modüllere termoelektrik jeneratör (TEJ) adı verilir. Termoelektrik modülün uçları arasında potansiyel fark oluşmaktadır. Termoelektrik modüller sırasıyla termoelektrik soğutucu ve termoelektrik ısıtıcı olarak adlandırılmaktadır. Termoelektrik modüllerin yapısı basit, gürültü seviyesi az, oldukça güvenilir ve kararlı çalışma gibi avantajları vardır. Araç egzozundan elektrik üretimi, sıcaklık kontrollü araba koltukları, sıcak bacalardan atık ısı geri kazanımı gibi alanlarda uygulanmaktadır (Coulibaly, 2021).

Termoelektrik jeneratörler (TEJ), iki yüzeyi arasındaki sıcaklık farkından dolayı akım üreten elemanlardır. Sıcaklık farkının oluştuğu her alanda elektrik enerjisi üretimi için kullanılan TEJ yapısı Şekil 3.26'da verilmiştir.



Şekil 3.26. TEJ yapısı (Kunt, 2016).

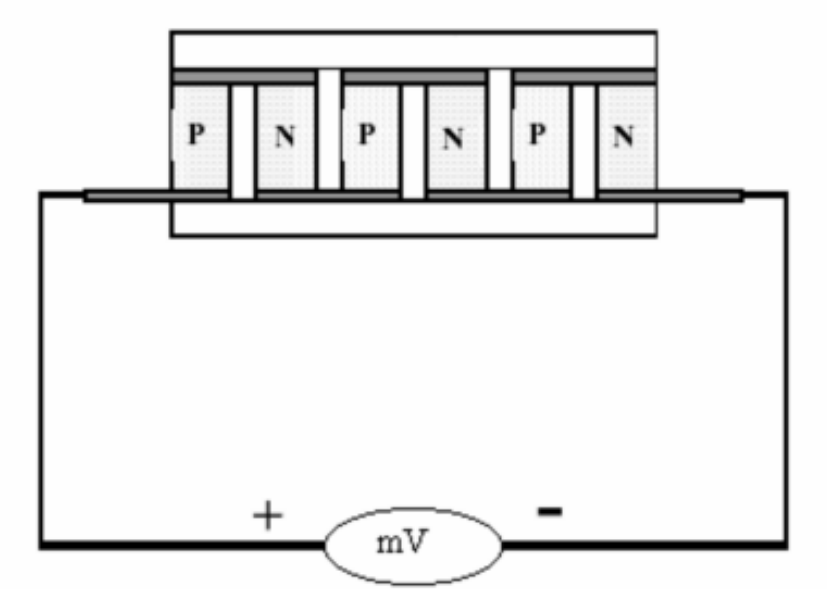
3.7.1. Seebeck etkisi

İki farklı yarı iletken malzemenin birbirine seri olarak birleştirilerek oluşturduğu devrede, değişik sıcaklıklarda elektrik gerilimleri ölçülmüştür. Bu gerilim 'Seebeck

voltajı' olarak adlandırılır. Devreden ölçülen gerilim, denklem 3.11'de gösterildiği gibi malzemelerin yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkı ile doğru orantılıdır.

$$V = \alpha(T_2 - T_1) \tag{3.11}$$

Seebeck etkisi ile voltaj ölçümü şekil 3.27'de verilmiştir.



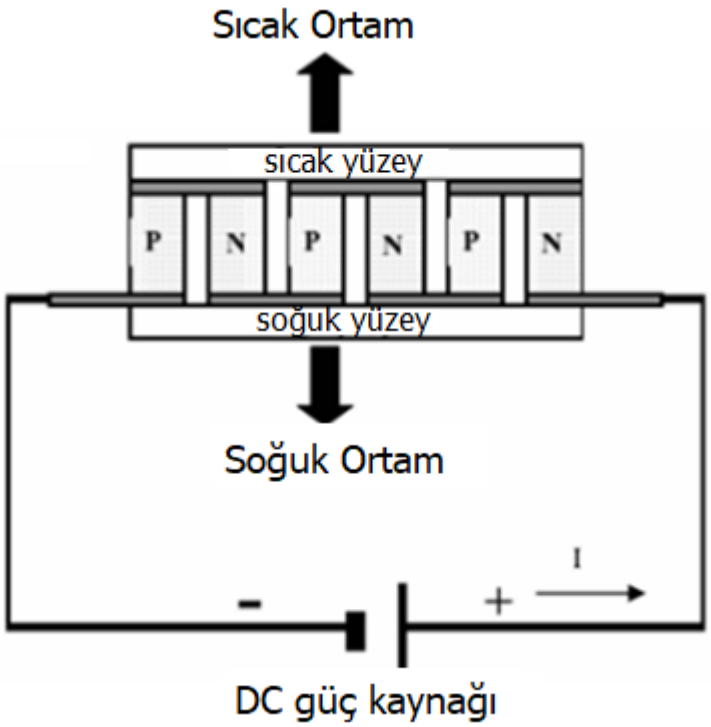
Şekil 3.27. Seebeck etkisi voltaj ölçümü (Özkaymak vd. 2014).

3.7.2. Peltier Etkisi

Farklı iki yarı iletkenden doğru akım (DC) geçirildiğinde akım yönünde oluşan ısıya 'Peltier etkisi' denir. Şekil 3.28'de Peltier etkisi devresi gösterilmiştir. İki farklı yarı iletken malzemenin birbirine bağlanmasıyla oluşan bir devreden doğru akım geçtiğinde Joule ısısı ile birlikte bağlantı noktasından ısı emilir ve başka bağlantı yerlerinden ısı açığa çıkar. Devreden geçen DC akımın açığa çıkardığı ısı ile doğru orantılıdır (Özkaymak vd. 2014).

$$Q_p = \pi I \tag{3.12}$$

$$Q_p = \alpha . T . I \tag{3.13}$$



Şekil 3.28. Peltier Etkisi Devresi (Özkaymak vd. 2014).

3.7.3. Thomson etkisi

İçinden akım geçen bir iletkende akımın yönüne bağlı olarak sıcaklık farkı varsa Joule ısısına ek olarak Thomson etkisinden dolayı ısı da üretilir. Açığa çıkan ısı (Thomson etkisi) akım şiddeti, zaman ve sıcaklık farkıyla doğru orantılıdır. Ortaya çıkan Thomson ısısı;

$$Q_T = t\,\Delta T\,I \tag{3.14}$$

3.14 denkleminden bulunur.

3.7.4. Joule Etkisi

Bir iletkenden geçen akım ile ürettiği ısı arasındaki ilişkiyi veren bir fizik yasasıdır. Denklem 3.15 ile ifade edilmektedir.

$$Q = I^2R \tag{3.15}$$

Joule etkisi (Q), direnci R (ohm) olan iletken üzerinden t (saniye) sürede geçen sabit akım (amper) olduğundan dolayı birimi joule dür.

3.7.5. Yarı iletken malzemeler

Seebeck katsayısı (α) 100 μV/K'den büyük değerli yarıiletkenlere termoelektrik (TE) yarıiletken adı verilmektedir. İyi bir TE yarıiletkende aranan nitelikler aşağıdaki gibi açıklanmaktadır.

- İstenen gerilimi elde etmek için Seebeck katsayısı yüksek olmalıdır.
- Oluşan Joule ısısını azaltmak için iyi bir elektriksel iletkenlikte olmalıdır.
- Isı kayıplarını en aza indirmek için düşük ısıl iletkenlikte olmalıdır.

Seebeck katsayısı TE yarıiletkenin madde cinsine göre değişmektedir. (+) ve (-) işareti ise TE yarıiletkenin elektriksel iletkenlik tipine göre değişmektedir.

3.7.5.1. N-tipi yarı iletkenler

Periyodik tablonun 5. grubunda yer alan As (arsenik), Sb (antimon), P (fosfor) metallerinin Si (silisyum) yapısına eklenmesi ile oluşur. Silisyum atomu 4 değerlik elektronu olduğundan, 5 değerlikli Arsenik eklendiğinde Silisyumun tüm elektronları bağlanacak fakat Arseniğin bir elektronu boşta kalacaktır. Bu boşta kalan arsenik elektronu bağlanamadığı için yörüngede dolaşmaya başlar.

Bu boşta kalan elektron iletkenliğin artmasını sağlar ve elektron fazlalığı olan N-tipi yarı iletken negatif Seebeck katsayılı olur (Dalar, 2019).

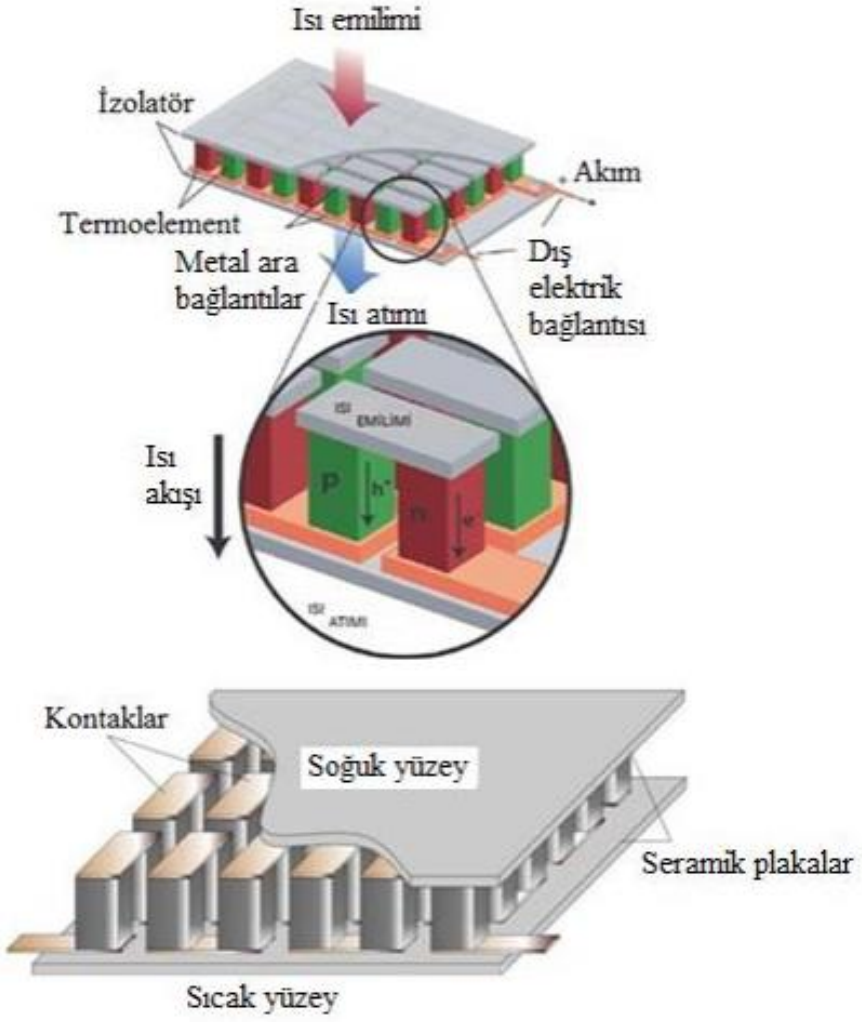
3.7.5.2. P-tipi yarı iletkenler

Periyodik tablonun 3. grubunda yer alan Al (alüminyum), B (bor), Ga (galyum) metallerinin Si (silisyum) yapısına eklenmesi ile oluşur. Silis kristaline bor ilave edildiği durumu ele alırsak; yörüngesinde 3 değerlik elektronu bulunan bor, 4 değerlik elektronu olan Silisyum ile bağlanır. Oluşturduğu bağdaki elektronlardan birini emerek vakum oluşturur. Sonuç olarak serbestçe dolaşan valans bandı bir boşluk oluşturmaktadır. Bor

atomu elektronları emerek boşluk oluşmasına neden olduğu için elektron eksiği olan P-tipi yarı iletken pozitif Seebeck katsayılı olmaktadır (Dalar, 2019).

3.8. Termoelektrik Modüller

Termoelektrik yarı iletken malzemeler farklı yabancı atomların katkılanmasıyla elde edilen N ve P tipi yarı iletken malzemelerden hem termoelektrik jeneratörler (TEJ) hem de termoelektrik soğutucular (TES) elde edilmektedir. N-tipi yarı iletkenlerde ısı/emk kuvveti serbest elektronlar tarafından taşınırken, P-tipi yarı iletkenlerde delikler tarafından taşınmaktadır (Dalar, 2019).



Şekil 3.29. Termoelektrik Modülün Enine Kesit Görünümü (Dalar, 2019).

3.9. Termoelektrik Modüllerin Özellikleri ve Çeşitleri (TES ve TEJ)

Termoelektrik modüller, termoelektrik jeneratörler (TEJ) ve termoelektrik soğutucular (TES) olarak iki gruba ayrılmaktadır.Yüzey kısmı genellikle seramik (Al_2O_3) malzeme ve seramik iki yüzey arasında yarı iletken olan termoelektrik malzeme bulunmaktadır.

TEJ ve TES aynı amaçla kullanılabilmektedir. Bir termoelektrik jeneratörü termoelektrik soğutucu veya bir termoelektrik soğutucuyu da termoelektrik jeneratör olarak çalıştırmak mümkündür. Aralarındaki temel fark, termoelektrik jeneratörlerin yüzeylerinin ısıl iletkenliğini artırarak ortam sıcaklığından en iyi şekilde faydalanmaları için yüksek sıcaklıklara dayanacak şekilde üretilmiş olmalarıdır.

TES bir yüzeyden ısı atmak veya ısı çekmek için kullanılmaktadır. Dolayısıyla birden çok sıcaklık arasında termal döngü için tasarlanmış yüksek performanslı bir termoelektrik modüldür.



Şekil 3.30. Bir termoelektrik modülün genel görünümü (Şahin vd. 2018).

3.10. Termoelektrik Jeneratörler (TEJ) ve Elektrik Enerjisi Elde Etmede Kullanım Alanları

TEJ kullanıldığı koşullara ve ısı kaynaklarının niteliğine göre incelenmektedir.

- Elektrik üretimi için zorlu koşullarda TEJ kullanımı: Isı kaynakları TEJ sistemlerinin çalışma ilkesine uygun konvansiyonel (petrol, doğal gaz, odun, kömür) kaynaklardan oluşmaktadır.
- Atık ısıdan elektrik enerjisi elde etmek için TEJ kullanımı: Genellikle benzin, dizel gibi yakıtların kullanıldığı içten yanmalı motorlarda yanma sonucu oluşan egzoz atık ısı enerjisi kullanılmaktadır.
- Solar sistemlerde TEJ kullanımı: Güneşin ısı enerjisi, enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır.
- Mikro elektronik ve sensörler için mikro-güç üretiminde TEJ kullanımı: Bu sistemlerde enerji tüketim seviyelerinin düşük olması sebebi ile tüm ısı üreten kaynaklar TEJ için kullanılmaktadır.

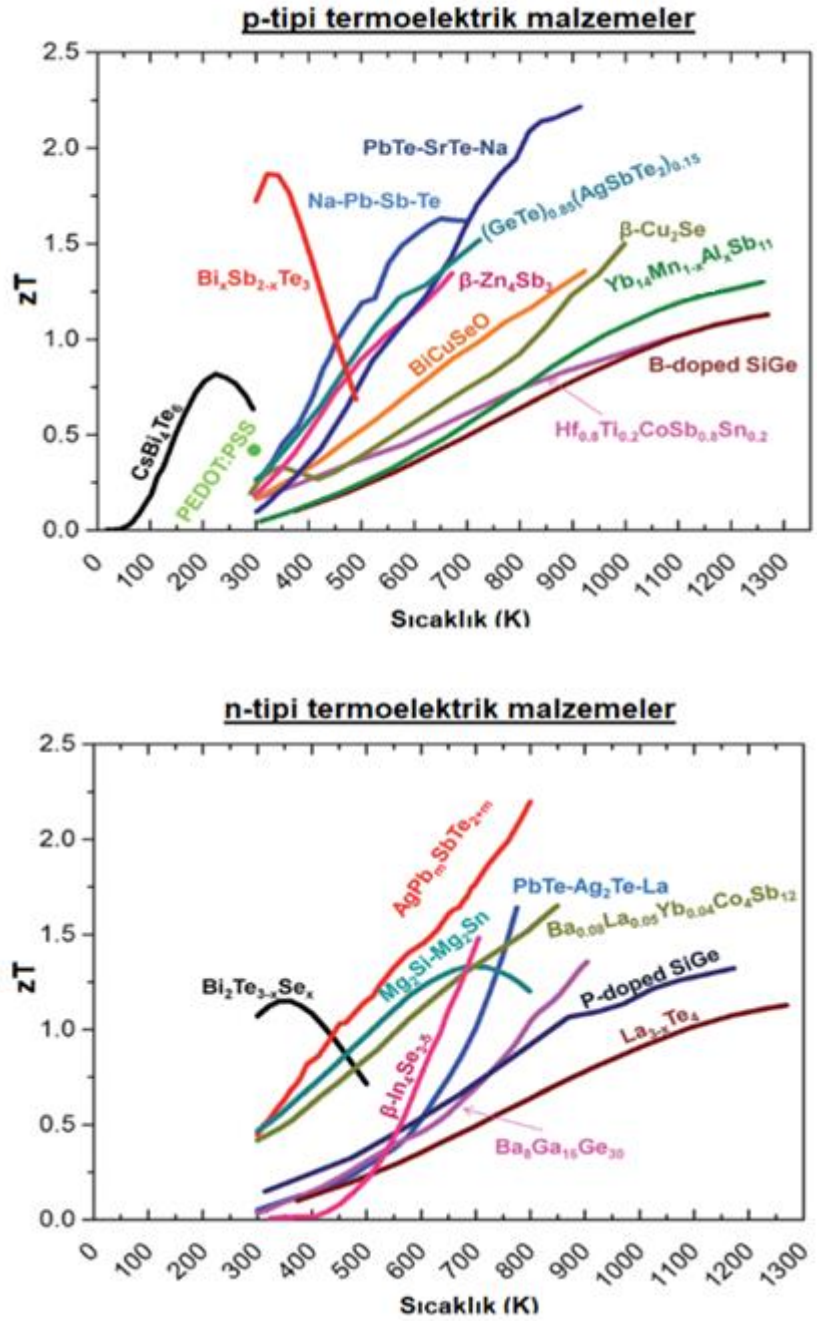
Şekil 3.31'de otomotiv termoelektrik jeneratör uygulamaları gösterilmiştir.



Şekil 3.31. Termoelektrik ile Araç Entegrasyonu: FORD, GM ve BMW DOE/endüstri sponsorluğu kapsamında yürütülen prototip entegrasyonu (www.energy.gov/eere).

3.11. Termoelektrik Malzemelerde ZT Değeri

ZT değeri, performans değerini tanımlayan boyutsuz bir sayıdır. Termoelektrik malzemenin sıcaklık farkından kaynaklı elektrik enerjisine dönüşen değerdir. Dönüşümdeki verimliliği göstermektedir. Şekil 3.32. En iyi ZT değerine sahip bazı yığın (bulk) termoelektrik malzemeler gösterilmiştir (Yanez vd. 2021).



Şekil 3.32. En iyi ZT değerine sahip bazı yığın (bulk) termoelektrik malzemeler (Yanez vd. 2021).

Termoelektrik malzemeler, termoelektrik etki yoluyla ısıyı doğrudan elektriğe dönüştürmek veya soğutma/ısıtma amacıyla kullanılmaktadır. Termoelektrik modüller, TEJ ve TES görevlerini katı hal termoelektrik yarı iletken malzemelerin özellikleri ile gerçekleştirmektedir. Termoelektrik malzemelerin verimliliğini belirlemek için termoelektrik performans katsayısı adı verilen boyutsuz bir ZT parametresi kullanılmaktadır (Dalar, 2019).

ZT değeri denklem 3.16 ile hesaplanabilmektedir(Akman, 2016).

$$ZT = \frac{\sigma\alpha^2}{k} T \tag{3.16}$$

σ: Elektrik iletkenlik katsayısını (S/m)

α: Seebeck katsayısını (W/K)

k: Isı iletim katsayısını (W/mK)

T: Mutlak sıcaklık (K)

3.12. DC/DC Dönüştürücüler

DC-DC çeviriciler genellikle düzenlenmemiş doğru akım gerilim kaynağını, kontrollü şekilde sabit DC gerilimine dönüştürmektedirler. Aküler ve yakıt pilleri de düzenlenmemiş DC gerilim kaynaklarıdır. Çeviricilerin çalışma metodu; sabit olan veya olmayan bir yükü verimli bir şekilde düzenleyerek sabit voltaj üretmektir. Anahtarlamalı DC-DC dönüştürücüler; sabit olmayan DC girişini kontrollü DC çıkışına dönüştürmek için voltaj seviyesini düzenlemek amacıyla kullanılmaktadır. Bu anahtarlamalı DC dönüştürücülerin uygulama alanlarına bakıldığında anahtarlamalı güç kaynakları ve izolasyon trafolu DC motor sürücüsünde kullanılmaktadır (Bağcı, 2011).

BÖLÜM 4

MOTORLU ARAÇLARDA ENERJİ GERİ KAZANIM YÖNTEMLERİ

4.1. Dizel Motorlarda Enerji Dağılımı

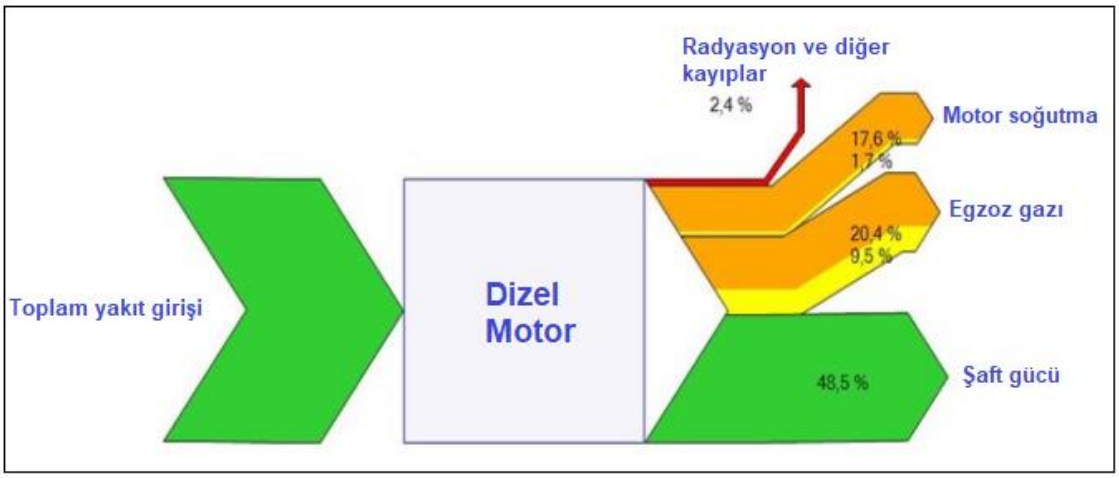
İçten yanmalı motorların ürettiği güçte kayıplar meydana geldiği için enerjinin tamamı kullanılamamaktadır. Üretilen enerjinin bir kısmı faydalı işe dönüşürken kalan kısmı kayıp enerji olarak sistemden uzaklaşır. Sitemden uzaklaşan enerji, ısı ve mekanik enerji olarak kaybolmaktadır.

Dizel motorda yakıttan elde edilen enerjinin;

% 45-50'si motorda kullanılmakta,

% 30'u egzozdan çevreye atılmakta,

% 20'si soğutma suyu ve diğer kayıpları oluşturmaktadır.



Şekil 4.1. Dizel motorlarda enerji dağılımı (https://halukisler.wordpress.com)

4.2. Egzoz Gazından Enerji Geri Kazanım sistemleri

Bir sistemde meydana gelen enerji kayıplarında en büyük payı atık ısı oluşturmaktadır. Verimliliği arttırmak adına oluşan atık ısıda ki ısı enerjisini tekrar geri kazanmak için ısı geri kazanım sistemleri kullanılmaktadır. Sistemden çevreye atılan ısıyı tekrar geri kazanmak için her sektörde atık ısı geri kazanım sistemleri kullanılmaktadır. Atık ısı sıcaklık değerlerine göre;

650°C üzerindeki yüksek sıcaklık,

120°C - 650°C arası orta sıcaklık,

120°C altındaki düşük sıcaklık, olarak sınıflandırılmaktadır.

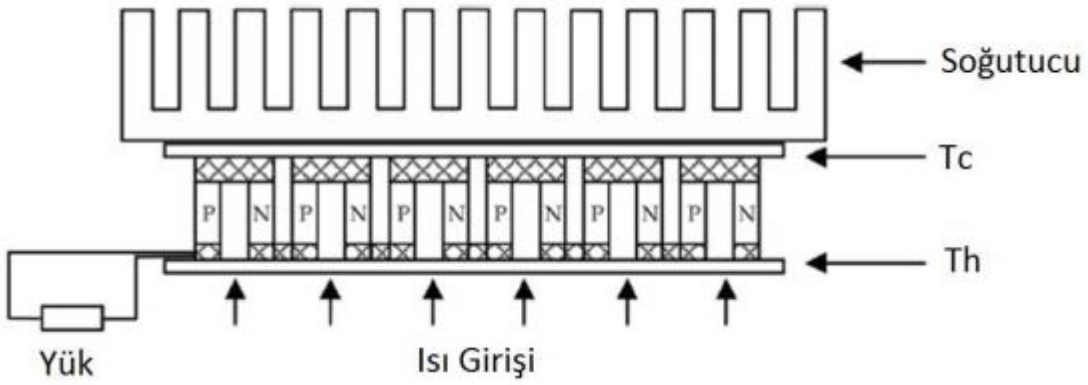
Atık ısıdan enerji geri kazanım sistemlerinin bir kısmı aşağıda belirtilmiştir (Tokgöz vd. 2019).

- Isı borusu ile atık ısıdan enerji geri kazanım
- Eşanjör ile atık ısıdan enerji geri kazanım
- Isı Pompası ile atık ısıdan enerji geri kazanım
- Ekonomizer ile atık ısıdan enerji geri kazanım
- Reküperatör ile atık ısıdan enerji geri kazanım
- Kondenser ile atık ısıdan enerji geri kazanım
- Organik Rankine Çevrimi (ORÇ) ile atık ısıdan enerji geri kazanım
- TEJ ile atık ısıdan enerji geri kazanım

Yapılan araştırmalara göre taşıtlarda atık ısıdan enerji geri kazanımı için TEJ kullanılması uygun görülmektedir.

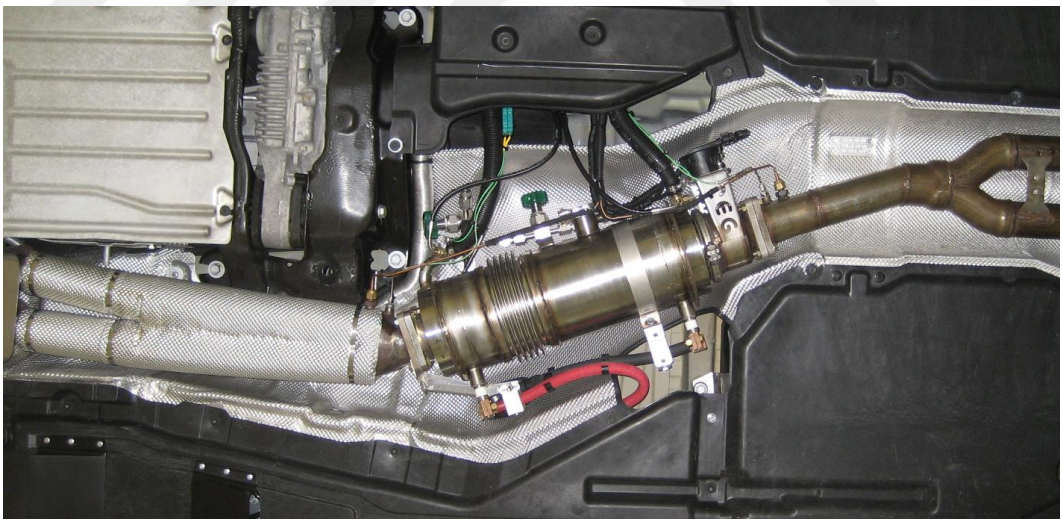
TEJ, Seebeck Etkisi prensibine göre çalışmaktadır. Sistemdeki güç üretimi, aralarında sıcaklık farkı bulunan iki farklı iletken malzemenin birbiriyle temas halinde olması sebebiyle aralarında gerilim oluşması esasına dayanmaktadır. Termoelektrik malzemeler arasında oluşan sıcaklık farkı, elektronların sıcak taraftan soğuk tarafa doğru akmasını sağlar ve gerilim meydana gelir. Termoelektrik gerilimin büyüklüğü, sıcaklık farkına, iletken ve yarı iletken malzemelerin elektrik iletim değerlerine bağlıdır.

N-tipi ve P-tipi yarı iletkenler güç ihtiyacına göre devreye seri/paralel bağlanabilmektedir. TEJ enerji üretim sisteminin basit bir şeması şekil 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Basit bir TEJ şeması (Akman 2016).

Şekil 4.3'te egzoz sistemine bağlanmış otomotiv sektöründeki termoelektrik jeneratör uygulaması gösterilmiştir.



Şekil 4.3. BMW X6'da TEJ kurulumu (www.energy.gov/eere).

4.3. Egzoz Gazlarının Termofiziksel Özellikleri

Yakıt ve havanın yanması sonucu oluşan yanmış gazların kimyasal dengede olduğu gibi kabul edilmesi motorlardaki performans tahminleri için iyi bir yaklaşımdır. Bu nedenle yanma odası içindeki tam gaz bileşiminin bilinmesi doğru hesaplama için önemlidir.

İçten yanmalı motorlarda, yanma hesaplamaları genellikle bir CH (hidrokarbon) yakıtının fazla hava ile tamamen yandığını varsayılarak, çıkan egzoz gazının bileşenleri sadece CO_2, H_2O ve N_2'den oluşan tam yanma ürünlerinin bir karışımı olarak ele alınmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda yanma ürünlerinin ayrışması nedeniyle tüm yakıtı tamamen okside edebilecek yeterli oksijen olmasına rağmen bu yaklaşım kesin sonucu vermeyebilir. Örneğin, bir kaptaki CO_2 gazı kütlesinin sıcaklığı yeterince yükseltilirse, CO_2 moleküllerinin bir kısmı CO ve O_2 moleküllerine ayrışır. CO_2, CO ve O_2 karışımı dengedeyse, bu CO_2 moleküllerinin CO ve O_2'ye ayrıştığı, CO ve O_2 moleküllerinin $CO + \frac{1}{2}O^2 = CO_2$ denklemini sağlamak için gereken oranlarda yeniden birleştiği anlamına gelir. Hidrokarbon yakıtlar düşük sıcaklıklarda yanmaya tabi tutulduğunda, zengin durum için mevcut ana ürün türleri N_2, H_2O, CO_2, CO ve H_2 iken, zayıf durum için N_2, H_2O, CO_2 ve O_2'dir. Ancak daha yüksek sıcaklıklarda (yaklaşık 2200 K den daha yüksek), bu ana türler ayrışır ve önemli miktarlarda ek türler oluşturmak için reaksiyona girmektedir.

İçten yanmalı motorların her çalışma koşulunda stokiyometrik karışım olmamaktadır. Stokiyometrik oran motorun çalışma koşullarına göre fakir veya zengin karışım olarak gerçekleşmektedir. Teoride gereken hava miktarından fazla hava kullanılmış olsa dahi eksik yanma meydana gelebilmektedir. Yakıt ile hava, yanma için ayrılan sürede ideal bir şekilde karışmadığı için eksik yanmaya sebep olmaktadır. Bu durumların oluşması yakıt enerjisinin bir kısmının kaybolması anlamına gelmektedir. Oluşan yanmanın verimi denklem 4.1 ile hesaplanmaktadır (Temizer, 2014).

$$\acute{\eta}_y = \frac{Hu - Qe}{Hu} \tag{4.1}$$

$\acute{\eta}_y$: Yanma verimi

H_u: Yakıt alt ısıl değeri (kj/kg)

Q_e: Belirli bir sıcaklık için yanma entalpisi (kj/kg)

Yakıtın yanma denklemine göre egzoz gazının termofiziksel özellikleri aşağıdaki denklemler ile hesaplanmaktadır (Temizer, 2014).

Egzoz gazı özgül ısısı,

$$Cp_{egzoz} = \frac{\sum Mi.ni.Cpi}{\sum Mi.ni} \quad (4.2)$$

Egzoz gazı yoğunluğu,

$$\rho_{egzoz} = \frac{\sum Mi.ni.\rho i}{\sum Mi.ni} \quad (4.3)$$

Egzoz gazı dinamik viskozitesi,

$$\mu_{egzoz} = \frac{\sum Mi.ni.\mu i}{\sum Mi.ni} \quad (4.4)$$

Egzoz gazı kinematik viskozitesi,

$$\Upsilon_{egzoz} = \frac{\sum Mi.ni.\Upsilon i}{\sum Mi.ni} \quad (4.5)$$

Egzoz gazı ısı iletim katsayısı,

$$k_{egzoz} = \frac{\sum Mi.ni.ki}{\sum Mi.ni} \quad (4.6)$$

M: egzoz gaz bileşeninin kütlesi

n: mol sayısı

i: indisi temsil eder.

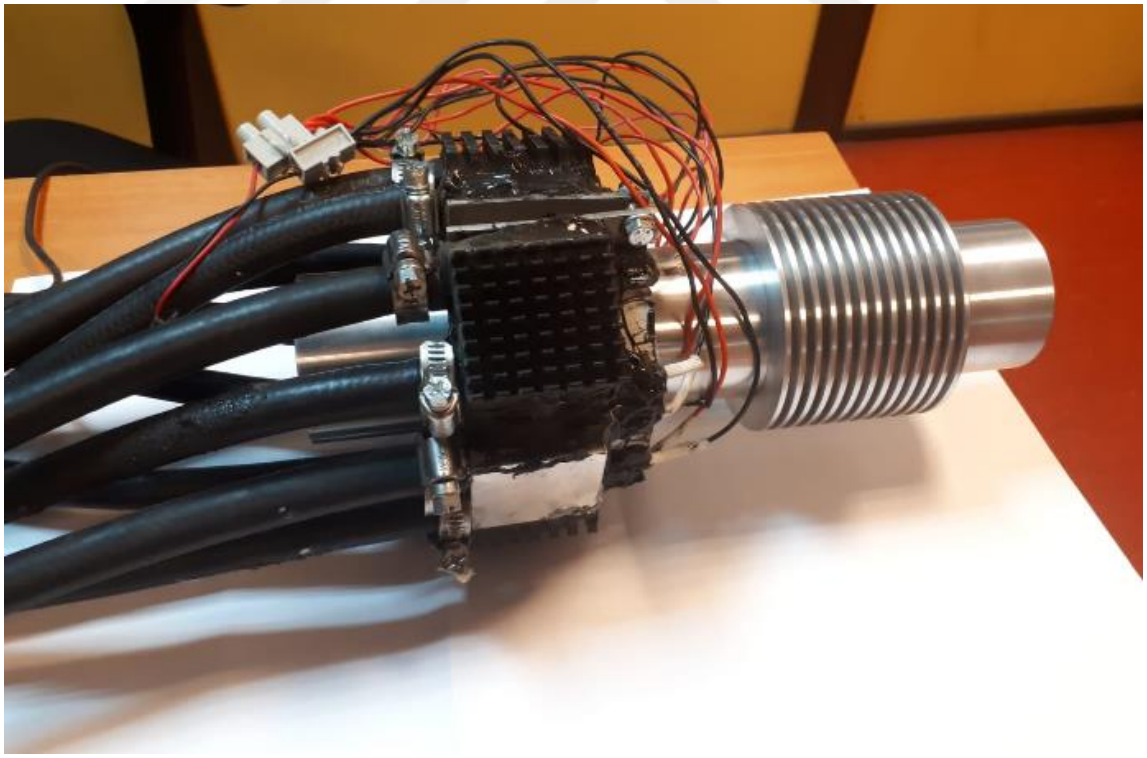
Bu denklemler ile farklı sıcaklıklara sahip egzoz gazlarının termofiziksel özellikleri hesaplanabilmektedir.

BÖLÜM 5

DENEYSEL YÖNTEM

5.1. Deney Düzeneği

Tasarlanan Termoelektrik Jeneratör (TEJ) Şekil 5.1'de gösterilmiştir. Tasarlanan sistemde 6 adet termoelektrik jeneratör seri olarak bağlanmıştır. Bu termoelektrik jeneratörler alüminyum malzemeden üretilen altıgen blok üzerine monte edilmiştir.



Şekil 5.1. Tasarlanan TEJ Sistemi

Termoelektrik jeneratörlerin üzerine su bloğu monte edilmiştir. Su bloğunun üzerine de ısı alıcıları uygulanmıştır. Termoelektrik jeneratörler 120°C'ye kadar dayanabilmektedir. Bu üst sıcaklık değerini aşmamak için sistemde etkin bir soğutma sağlanmıştır. Ayrıca daha iyi bir soğutma performansı için ısı alıcısı tasarlanmış ve sisteme entegre edilmiştir.

TEJ sistemi motorun turbo çıkışı ile intercooler arasına monte edilmiştir. Böylece turbo çıkışındaki ısı enerjisinden elektrik enerjisi elde edilmiştir. Şekil 5.2'de traktör motoruna monte edilmiş TEJ sistemi görülmektedir.



Şekil 5.2. TEJ sisteminin motora monte edilmiş hali

Isı transferinin daha iyi olabilmesi için iletim borusu alüminyum malzemeden üretilmiştir. Ayrıca ısı iletim borusundaki kanallar sayesinde de ısı geçişi artırılmıştır.

5.2. Deneyde Kullanılan Motor Özelikleri

Deneyde kullanılan içten yanmalı motorun özellikleri Çizelge 5.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1. Motor özellikleri

Deneyde Kullanılan Perkins Motor Özellikleri	
Motor Modeli	1104D-44T
Silindir Sayısı	4
Silindir Çapı (mm)	105
Silindir Yüksekliği (mm)	127
Silindir Hacmi (litre)	4,4
Emme	Turboşarjlı
Sıkıştırma Oranı	18,2:1
Egzoz Akışı (kg/dk)	6,96 (13,5 m^3/dk)
Egzoz Sıcaklığı (°C)	500
Motor Hava Akışı (kg/dk)	6,71 (5,76 m^3/dk)
Endüksiyon Manifold Basıncı (kPa)	90

5.3. Deneylerde Kullanılan Cihazların Tanıtımı ve Ölçü Hassasiyetleri

Deneylerde Froment Sigma 5 Dinamometre kullanılmıştır. Froment Sigma 5 Dinamometre, traktörlerin ve kendinden tahrikli makinelerin hızını, gücünü ve torkunu test edip kaydetmektedir. Traktörlerde kuyruk miline bağlanan dinamometre bir testi dakikalar içinde yapabilmektedir. Dinamometrede hareketli parça olarak giriş mili, yük alternatörünün rotoru ve soğutma fanları bulunmaktadır. Dinamometrenin çalışması için 13-16 amperlik bir güç kaynağı gerekmektedir. Şekil 5.3'te testte kullanılan dinamometre gösterilmiştir.



Şekil 5.3. Deneylerde kullanılan dinamometre

Deneyde sıcaklık ölçümü için Şekil 5.4'te gösterilen Fluke 52 II çift girişli dijital termometre cihazı ile birlikte kullanılan K tipi termokupl kullanılmıştır. Termokupl, sıcaklığı ölçmeye yarayan sıcaklık ölçüm sensör çeşididir.

K tipi termokupl ile 100°C nin üzerinde yapılan ölçümlerde sıcaklık doğruluğu +,- (%0,05 + 0.3°C) dir. 100°C nin altında yapılan ölçümlerde sıcaklık doğruluğu +,- (%0,2 + 0.3°C) dir.



Şekil 5.4. Termometre cihazı ile birlikte kullanılan K tipi termokupl

5.4. Motor Dinamometresinin Özellikleri

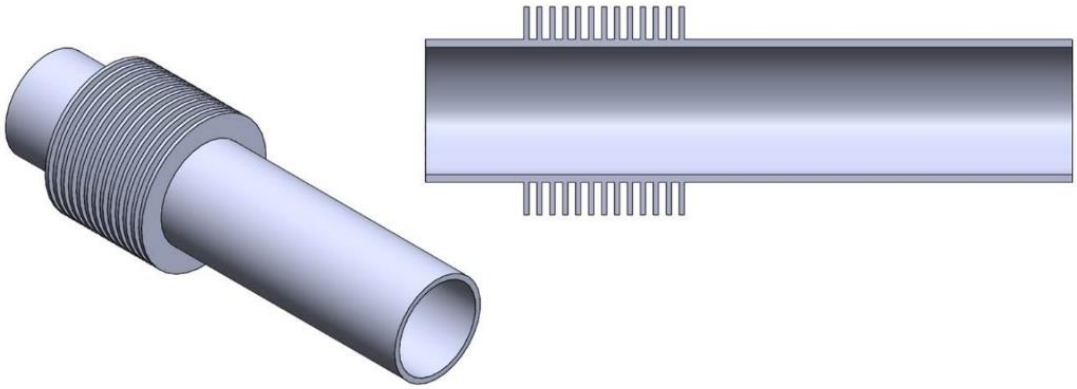
Testte kullanılan Froment 5 Sigma Dinamometre, bugün piyasada bulunan tüm traktör çeşitleri üzerinde testler yapma kapasitesine sahiptir.

Sigma Dinamometrenin tamamında, giriş mili, yük alternatörünün rotoru ve soğutma fanları dışında neredeyse hiçbir hareketli parça yoktur. Dolayısıyla güvenilirlik yüksektir.

Tersine çevrilebilir tork kollu dişli kutusu, hem şanzıman testi hem de motor devri çalışması için esneklik ve geniş bir hız aralığı sağlamaktadır. Giriş mili, 270 d/dk'dan 1300 d/dk'ya kadar tüm traktör şanzıman aralıklarını kapsamaktadır. Dinamometre, 770 d/dk'dan 2600 d/dk'ya kadar doğrudan motor testlerini yapmaktadır. Alternatif olarak, 450 d/dk ila 2100 d/dk hız aralığında doğrudan test yapmak içinde kullanılmaktadır.

5.5. Turboşarj Çıkışı İçin Özel Tasarlanmış Isı İletim Borusu

Şekil 5.5'te Solid Works'te turboşarj çıkışı için özel tasarlanmış ısı iletim borusu gösterilmiştir.



Şekil 5.5. Turboşarj çıkışı için özel tasarlanmış ısı iletim borusu

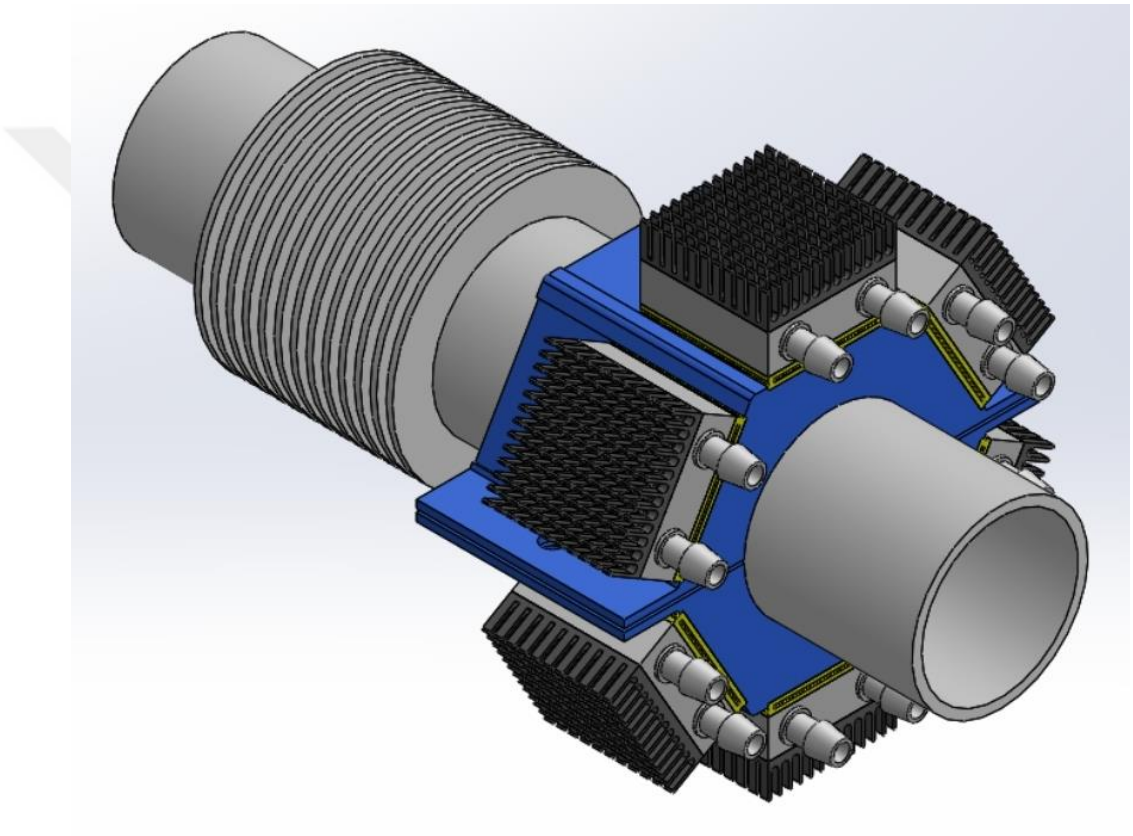
Şekil 5.6'da görülen turboşarj çıkışı için özel tasarlanmış ısı iletim borusu, alüminyum malzemeden torna tezgahında hassas bir şekilde işlenerek üretilmiştir.



Şekil 5.6. Turboşarj çıkışı için özel tasarlanmış ısı iletim borusu

5.6. Elektrik Üretimi İçin 6 Adet Termoelektrik Jeneratöre Ait Alüminyum Gövde (Altıgen Modül) Tasarımı

TEJ sisteminin katı modeli Şekil 5.7'de gösterilmiştir. TEJ sisteminin katı modeli Solid Works'te tasarlanmıştır. Tasarımında 6 adet termoelektrik jeneratör kullanılmıştır. Termoelektrik jeneratörler alüminyum malzemeli altıgen blok üzerine monte edilmiştir. Termoelektrik jeneratörlerin üzerine su blokları montajı yapılmıştır. Su bloklarının üzerine de ısı alıcıları monte edilmiştir.



Şekil 5.7. TEJ sisteminin katı modeli

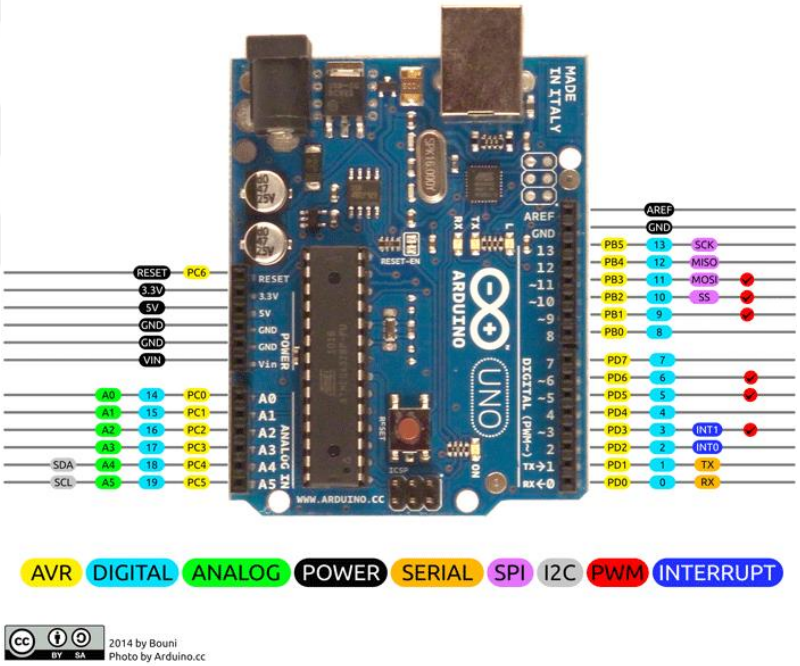
5.7. Kontrol Ünitesi ve Data Toplama Sistemi

Bu çalışmadaki sıcaklık değerlerinin ölçülmesi için Şekil 5.8'de görülen 5 adet DS18B20 sıcaklık sensörü kullanılmıştır. Üst soğutucu blok için 1 adet, alt soğutucu blok için 1 adet, Alüminyum gövde bloğun üst kısmı için 1 adet, Alüminyum gövde bloğun alt kısmı için 1 adet ve ortam havasının sıcaklığının ölçülmesi için de 1 adet sıcaklık sensörü kullanılmıştır.



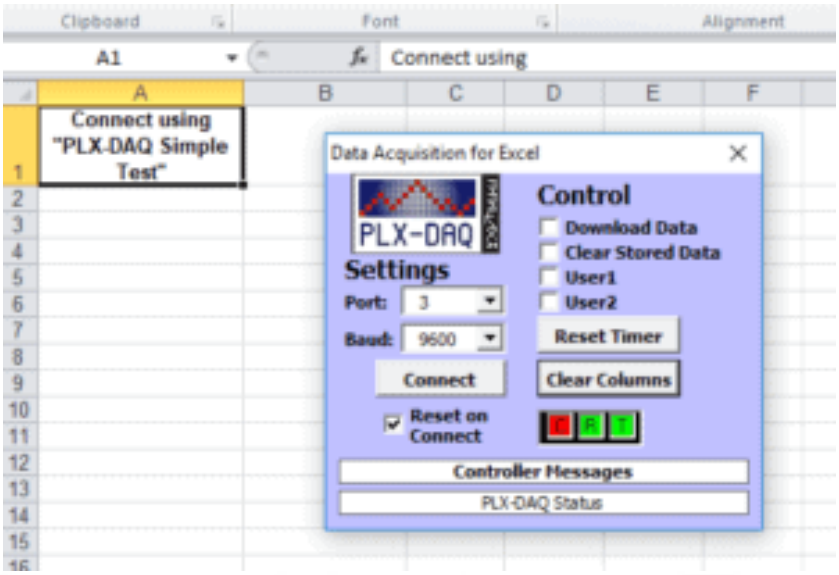
Şekil 5.8. DS18B20 sıcaklık sensörü

Sıcaklık sensörlerinden ve Dijital Watmetreden gelen bilgilerin okunması ve işlenmesi için Şekil 5.9'da görülen Arduino Uno mikroişlemcisi kullanılmıştır.



Şekil 5.9. Arduino Uno mikroişlemcisi

Arduino Uno ile okunan sıcaklık sensörlerinin ve dijital watmetrenin değerleri serial iletişim ile bilgisayara gönderilmiştir. Serial iletişimden gelen veriler Microsoft Excel eklentisi olan Şekil 5.10'da görülen PLX-DAQ ile bilgisayara excel dosyası olarak kaydedilmiştir.



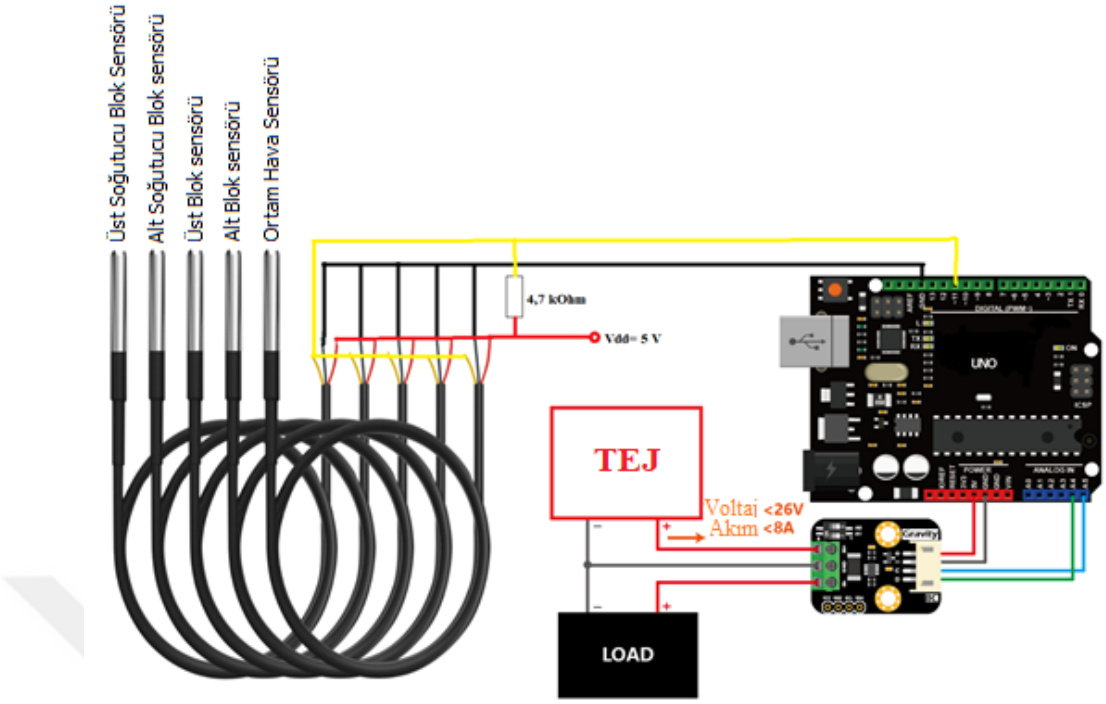
Şekil 5.10. PLX-DAQ veri kaydedici programı

Turba çıkış sıcaklığından elde edilen elektrik enerjisinin ölçülmesi için Şekil 5.11'de görülen I2C Haberleşmeli Dijital Watmetre sensörü kullanılmıştır.



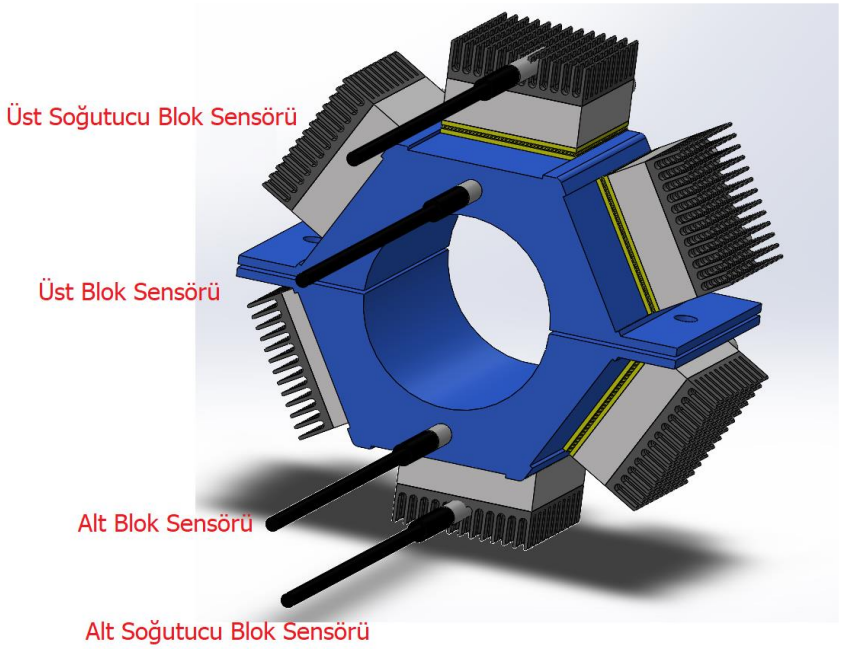
Şekil 5.11. I2C Haberleşmeli Dijital Watmetre

Şekil 5.12'de sistemin elektriksel bağlantısı gösterilmiştir.



Şekil 5.12. Sistemin elektriksel bağlantısı

Deneylerde TEJ sistemi üzerinden sıcaklık değerleri alınmıştır. Şekil 5.13' te bu sıcaklık değerlerinin hangi noktalardan alındığı gösterilmiştir.



Şekil 5.13. Deneyde TEJ üzerinde sıcaklık ölçümü yapılan noktalar

5.8. Deneysel Yöntem

Bu çalışmadaki tüm deneyler Hattat Traktör Ar-Ge merkezinde yapılmıştır. Test şartları traktörlerin çalışma koşullarında motorun en fazla maruz kaldığı 1400, 1700 ve 2100 d/dk olarak seçilmiştir. Traktör motorunun turbo çıkış sıcaklığından yararlanarak çalışan TEJ sistemi ile elektrik üretimi gerçekleşmiştir. Traktöre ait içten yanmalı motorda devir arttıkça üretilen elektrik miktarının arttığı görülmüştür. Bu deneysel çalışmada motor devri 1400 d/dk, 1700 d/dk ve 2100 d/dk parametrelerinde ölçümler yapılmıştır. 6 adet PCX8-7-F2-3030-TA-RT-W6 kodlu ve 120°C'ye dayanabilen termoelektrik jeneratörler kullanılarak TEJ sistemi tasarlanmıştır. Termoelektrik jeneratörleri aşırı derece sıcaklıktan koruyabilmek için su blokları ve ısı alıcıları kullanılmıştır.

BÖLÜM 6

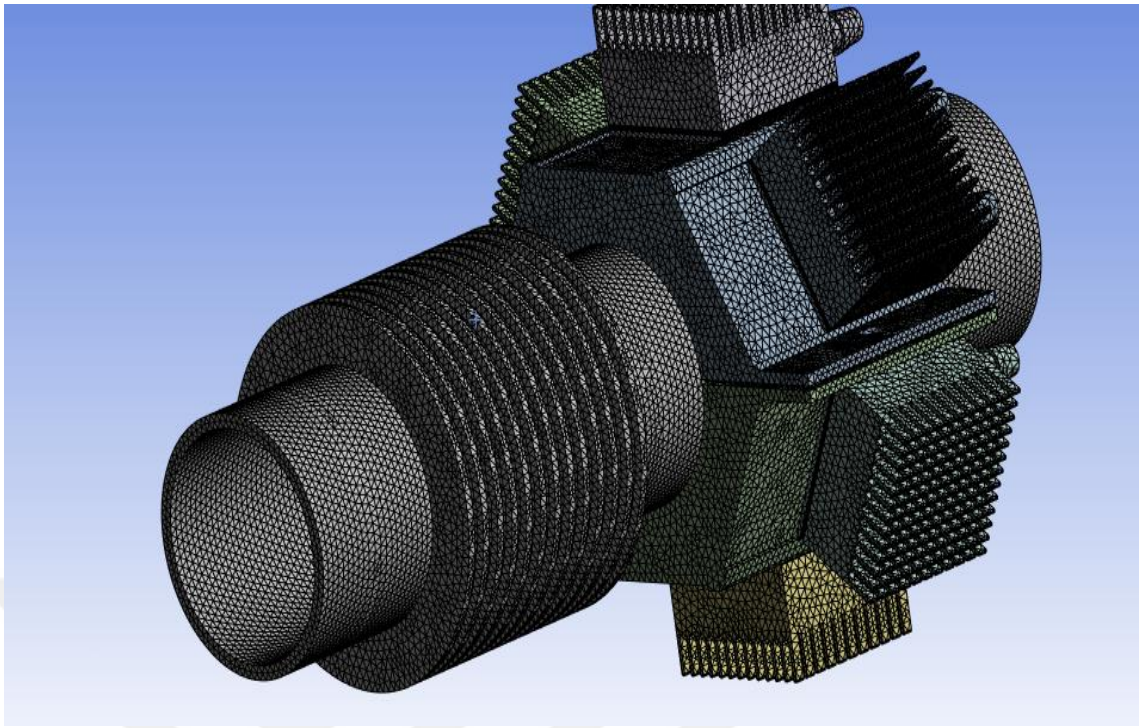
TEORİK ANALİZ

6.1. ANSYS Analizi İçin Sınır Şartları

Sonlu Eleman Analizi, parçalardan/montajlardan, malzeme özelliklerinden ve sınır koşullarından oluşan fiziksel bir sistemin matematiksel gösterimidir. Çoğu durumda, bir ürünün gerçek davranışı basit manuel hesaplamalarla tahmin edilemez. Kısmi diferansiyel denklemleri kullanmak, basitçe analiz edilemeyen karmaşık fiziksel davranışları doğru bir yaklaşımla temsil etmenin uygun bir yöntemidir.

Sonlu elemanlar analizi, düzensiz şekilleri kolayca analiz edemez, ancak küpler gibi yaygın şekilleri daha kolay analiz eder. Ağ yapısının oluşturulması, karmaşık şekilleri 'öğeler' ismi verilen daha tanımlanabilir hacimlere dönüştürme işlemidir.

Standart ağ yapısı için sonlu elemanlar ağ yapısı olarak dört yüzlü elemanlar seçilmiştir standart ağ yapısı boyutu 2 mm tutulmuştur. Bu sayede Şekil 6.1'de görüldüğü gibi yaklaşık 1281764 düğüm noktası ve 779330 element elde edilmiştir. Çarpıklık oranı 0,29'da tutulmuştur.



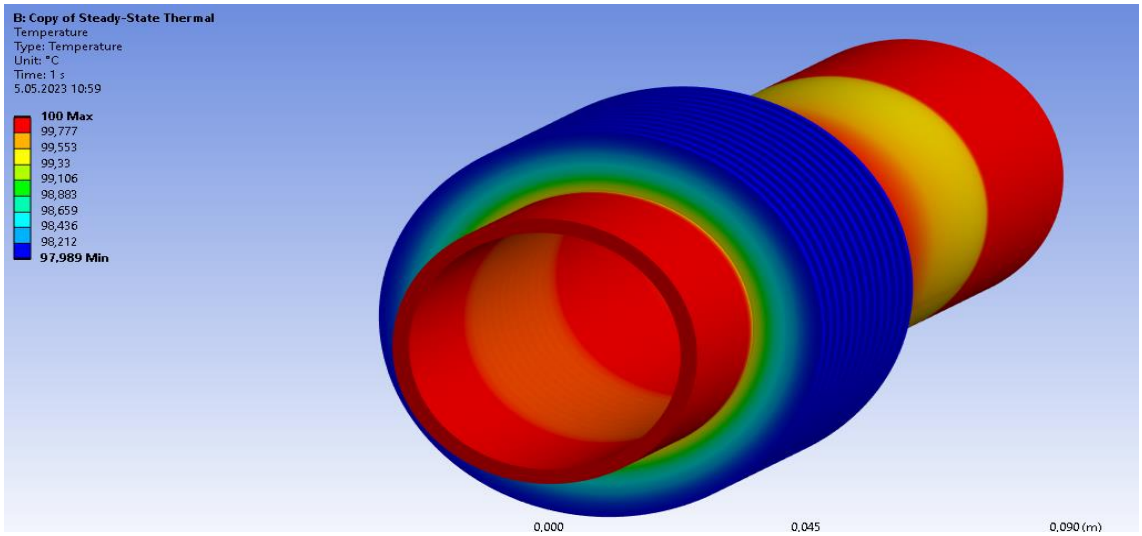
Şekil 6.1. TEJ'in ağ yapısı

6.2. Elektrik Üretiminde Kullanılan Alüminyum Isı İletim Borusu ve Altıgen Modülün (Gövde) ANSYS Analizleri

ANSYS Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği simülasyon yazılımı, tasarım ve üretimin yanı sıra son kullanım sırasında sıvı akışlarının malzeme üzerindeki etkisini güvenle tahmin edilmesini sağlamaktadır.

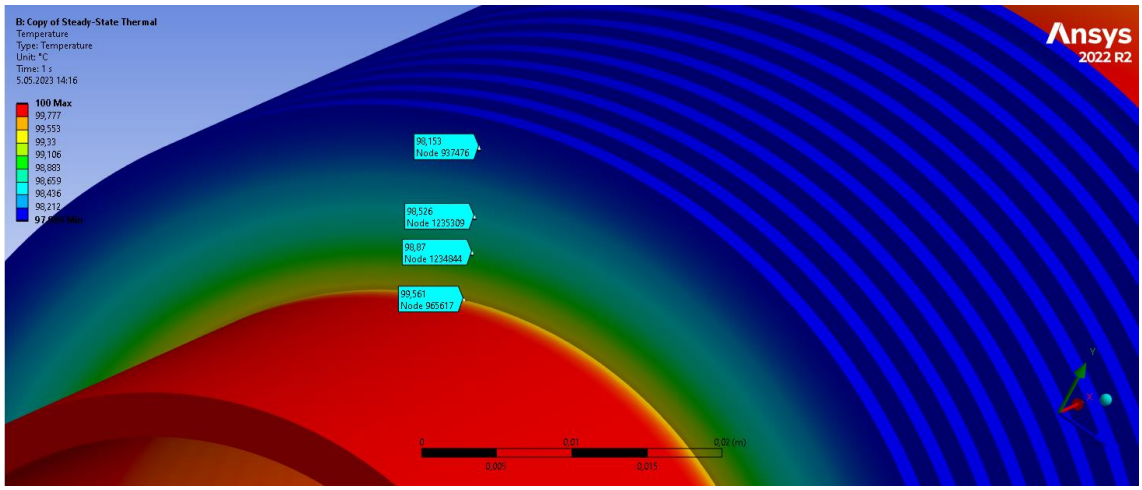
TEJ sisteminin turbodaki yüksek sıcaklıktan intercoolerdaki düşük sıcaklığa olan geçişini göstermektedir. Ansys'te bu sistemin sıcaklık dağılımı gösterilmektedir ve analiz değerleri ile deneysel sonuçlar uyumludur.

Şekil 6.2'de boru içinde akışkan geçişi 100°C'de gerçekleştirilmiştir. Akışkan geçişi içi cidara 100°C'de sıcaklık tanımlanabilir fakat bu doğru bir yaklaşım olmamaktadır. Çünkü 100°C boru cidar sıcaklığı değil akışkan sıcaklığıdır. Bu sebeple boru cidarı yüzeyine taşınım katsayısı (alüminyum ısıl özellikleri) verilmiştir.

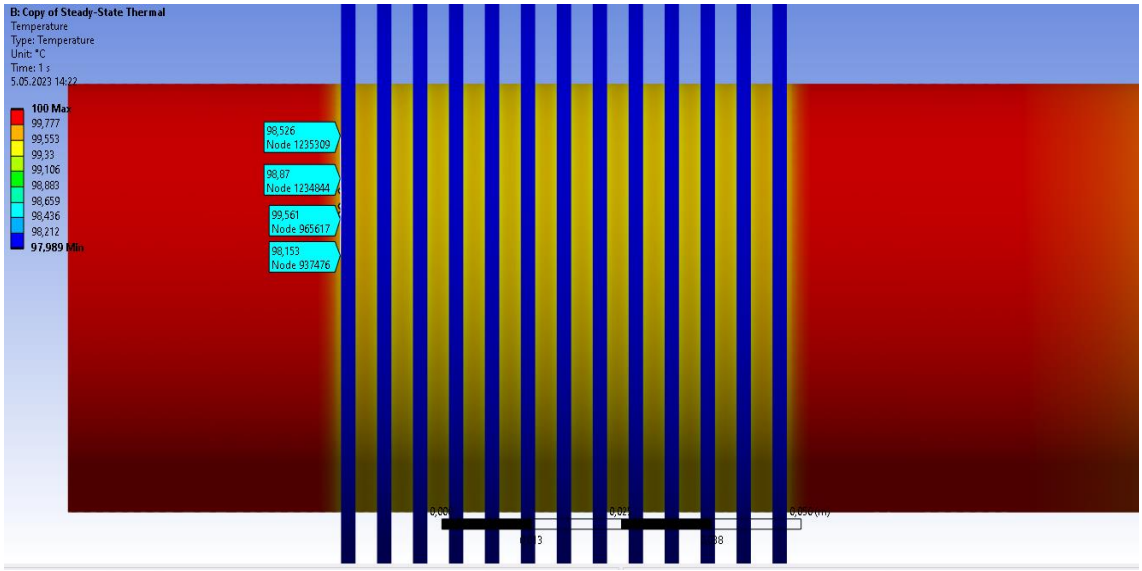


Şekil 6.2. Isı iletim borusunun termal analizi

Şekil 6.3 ve Şekil 6.4'te görüldüğü gibi ısı iletim borusunun kanalları etrafında ısı iletimi radyal olarak gerçekleşmiştir. Kanal yüzeyinde taşınım meydana gelmiş, radyal olarak ısı transferi gerçekleşmiştir. Termal analizde kanalın dip noktasında sıcaklık 99,56°C iken kanalın uç kısmında sıcaklık 98,15°C dir.

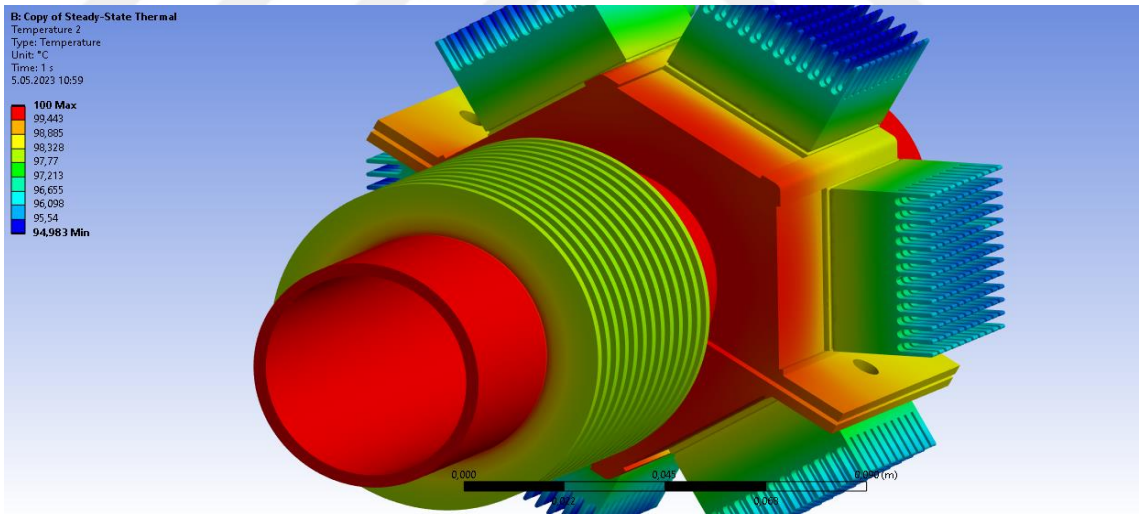


Şekil 6.3. Isı iletim borusunun termal analizi



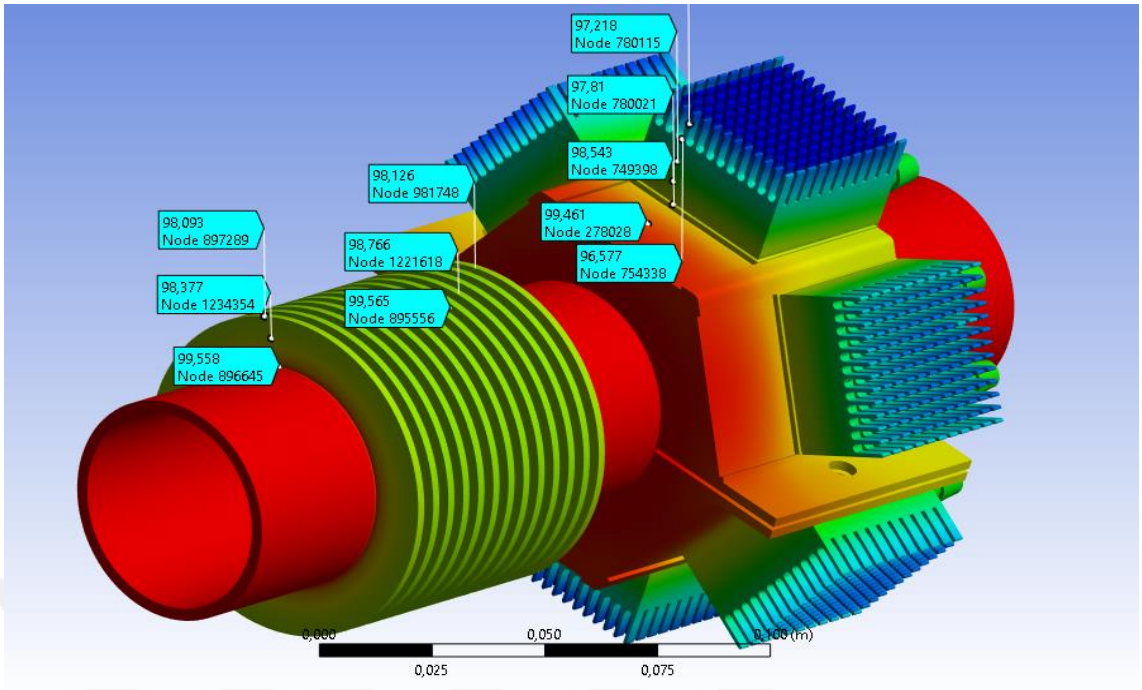
Şekil 6.4**.** Isı iletim borusunun termal analizi

Şekil 6.5'te görüldüğü gibi sonlu elemanlar yöntemi ile TEJ sisteminin termal analizi yapılmıştır.



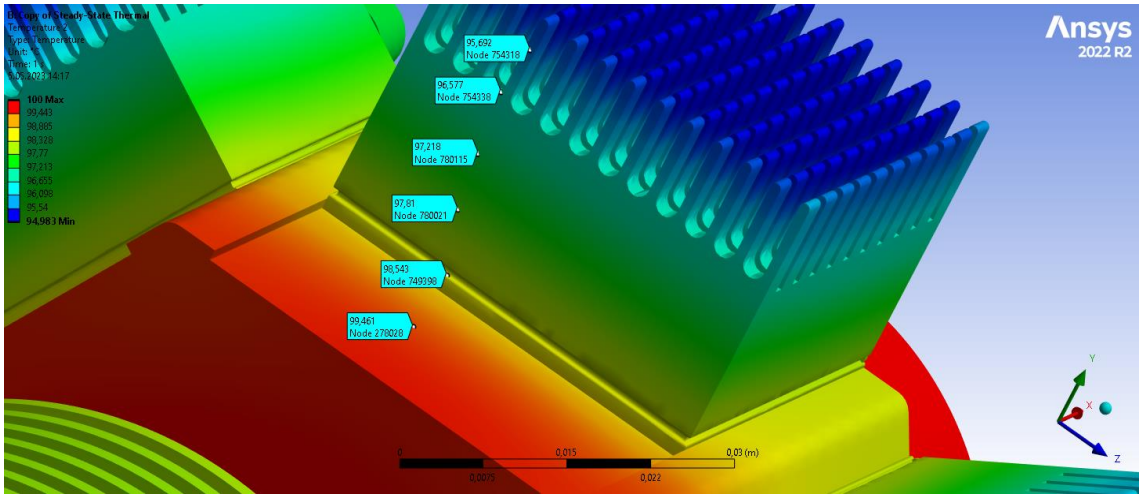
Şekil 6.5. Isı iletim borusuna monte edilmiş altıgen modülün (TEJ sisteminin) termal analizi

Şekil 6.6'da sonlu elemanlar analizi ile TEJ sisteminin termal analizi yapılmış ve sıcak yüzeylerden elde edilen değerler görülmektedir.



Şekil 6.6. Isı iletim borusuna monte edilmiş altıgen modülün (TEJ sisteminin) termal analizi

Şekil 6.7'de altıgen modülde soğutma bloğu çevresi 97,81°C iken ısı alıcı kanalların uçlarına gidildikçe sıcaklık azalmaktadır. Kanalların uç kısmında ki sıcaklık 95,69°C olduğu görülmektedir.



Şekil 6.7. Isı iletim borusuna monte edilmiş altıgen modülün (TEJ) termal analizi

Enerji verimliliği daha önemli hale geldikçe performans analizinin doğruluğu da önem kazanmaktadır.

Bu çalışmada sonlu elemanlar yöntemi ile termal analiz yapılmış olup, sonuçlar yorumlanmıştır. Alüminyum malzemeli boru içi ısı değiştirici mantığı kullanılmıştır. Sistemde üç tür ısı transfer mekanizması kullanılmıştır. Boru iç cidarı taşınım katsayısı ile desteklenmiştir. Boru kanat profili yine taşınım katsayısı ile desteklenmiştir. Taşınım katsayısı olarak alüminyum ısıl özellikleri kullanılmıştır. Analiz çalıştırılmış, sonuçlar gözlemlenmiştir. Analiz sonuçlarına göre kanallar vasıtasıyla soğuma olduğu görülmüş, soğuma radyal olarak gerçekleşmiştir. Kanal sayısı arttırılarak uniform soğuma sağlanmaktadır.

BÖLÜM 7

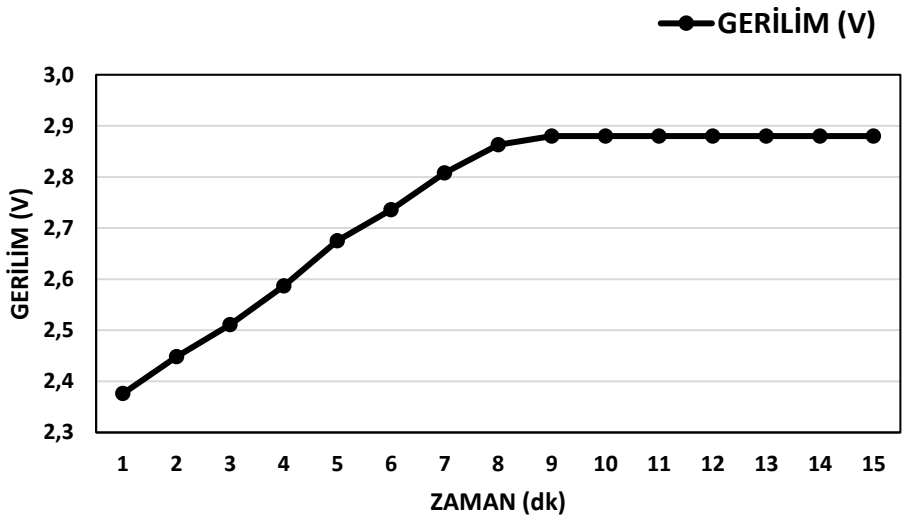
DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

7.1. Motor Devri Maksimum Tork 1400 d/dk İçin Elde Edilen Gerilim, Akım, Enerji Değerleri

Motor devri 1400 d/dk için zamana bağlı olarak elde edilen veriler Çizelge 7.1'de gösterilmiştir.

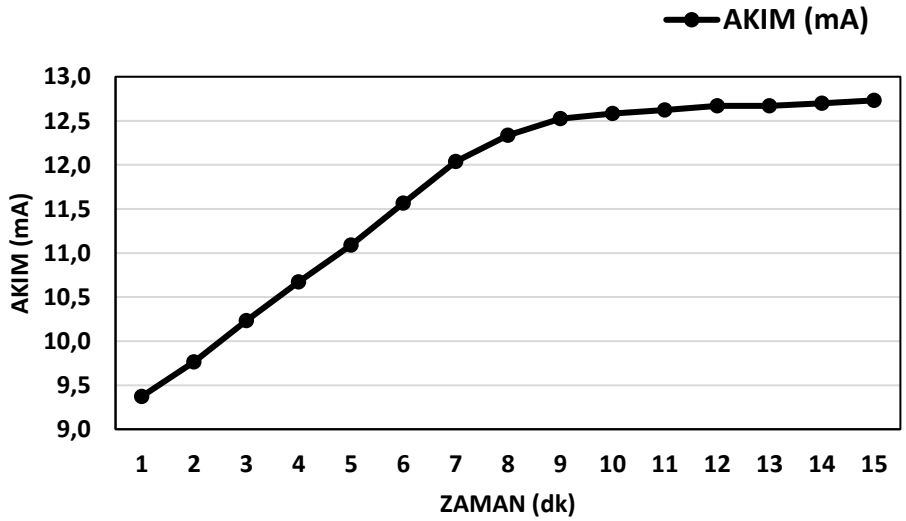
Çizelge 7.1. Motor devri 1400 d/dk için elde edilen gerilim, akım ve enerji değerleri

ZAMAN (dk)	GERİLİM (V)	AKIM (mA)	ENERJİ (mW.dk)
1	2,376	9,372	22,268
2	2,448	9,762	47,795
3	2,511	10,232	77,078
4	2,587	10,672	110,434
5	2,675	11,089	148,315
6	2,736	11,567	189,884
7	2,808	12,036	236,580
8	2,863	12,336	282,544
9	2,880	12,526	324,674
10	2,880	12,584	362,419
11	2,880	12,624	399,928
12	2,880	12,668	437,806
13	2,880	12,668	437,806
14	2,880	12,697	475,376
15	2,880	12,732	550,022



Şekil 7.1. Motor devri maksimum tork 1400 d/dk için elde edilen gerilim değerleri

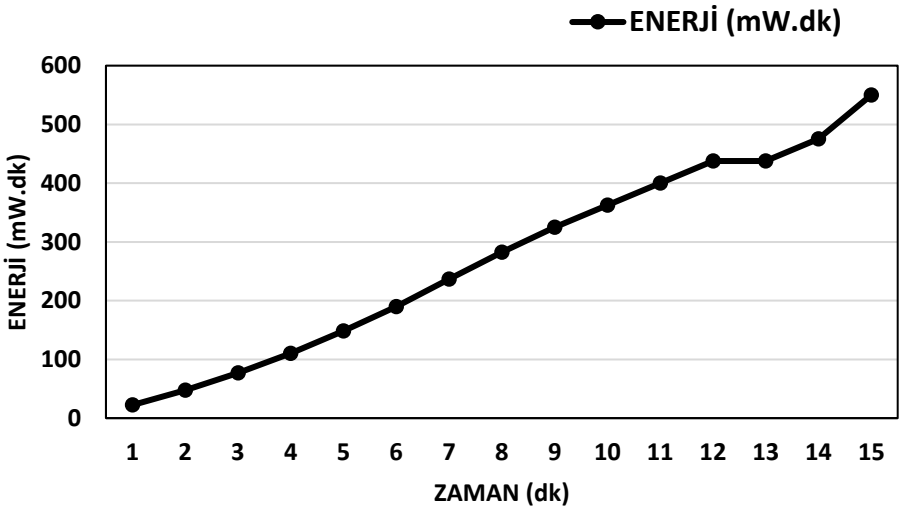
Motor devrini 1400 d/dk'da sabit tutarak 15 dakika süren testte elde edilen gerilim değerleri Şekil 7.1'de gösterilmiştir. Zamana bağlı olarak sistem üzerinden elde edilen gerilim değerleri de artmıştır. Ancak 9. dakikadan sonra gerilim değerinin 2,880 V olarak sabit kaldığı görülmüştür.



Şekil 7.2. Motor devri maksimum tork 1400 d/dk için elde edilen akım değerleri

Motor devrini 1400 d/dk'da sabit tutarak 15 dakika süren testte elde edilen akım değerleri Şekil 7.2'de gösterilmiştir. Zamana bağlı olarak sistem üzerinden elde edilen akım değerlerinde artış elde edilmiştir. Ancak deneyin 9. dakikasından sonra akım

değerinin çok fazla artmadığı görülmüştür. Maksimum akım şiddeti 15. dakikada 12,732 mA olarak ölçülmüştür.



Şekil 7.3. Motor devri maksimum tork 1400 d/dk için elde edilen enerji değerleri

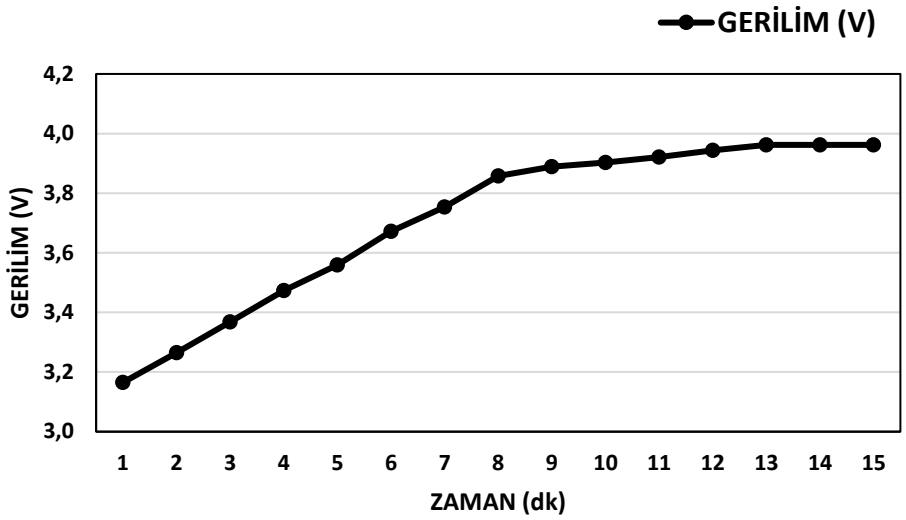
Motor devrini 1400 d/dk'da sabit tutarak 15 dakika süren testte elde edilen enerji değerleri Şekil 7.3'te gösterilmiştir. Zamana bağlı olarak sistem üzerinden elde edilen enerji miktarı da artmıştır.

7.2. Motor Devri Maksimum Güç 2100 d/dk İçin Elde Edilen Gerilim, Akım, Enerji Değerleri

Motor devri 2100 d/dk için zamana bağlı olarak elde edilen veriler Çizelge 7.1'de gösterilmiştir.

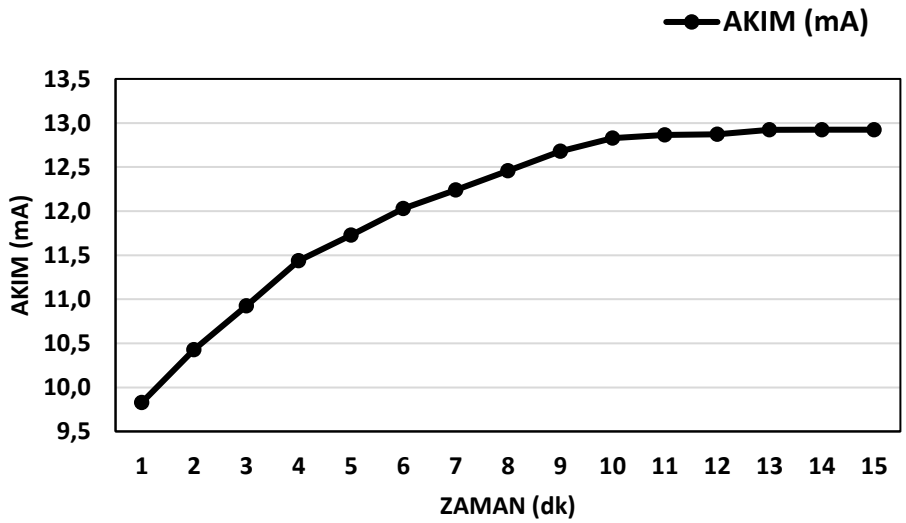
Çizelge 7.2. Motor devri 2100 d/dk için elde edilen gerilim, akım ve enerji değerleri

ZAMAN (dk)	GERİLİM (V)	AKIM (mA)	ENERJİ (mW.dk)
1	3,165	9,826	31,099
2	3,265	10,427	68,088
3	3,368	10,925	110,386
4	3,473	11,438	158,897
5	3,559	11,728	208,700
6	3,672	12,028	265,001
7	3,754	12,238	321,590
8	3,858	12,458	384,504
9	3,889	12,678	443,743
10	3,903	12,828	500,677
11	3,921	12,865	554,880
12	3,944	12,873	609,253
13	3,962	12,921	665,509
14	3,962	12,924	768,073
15	3,962	12,924	768,073



Şekil 7.4. Motor devri maksimum güç 2100 d/dk için elde edilen gerilim değerleri

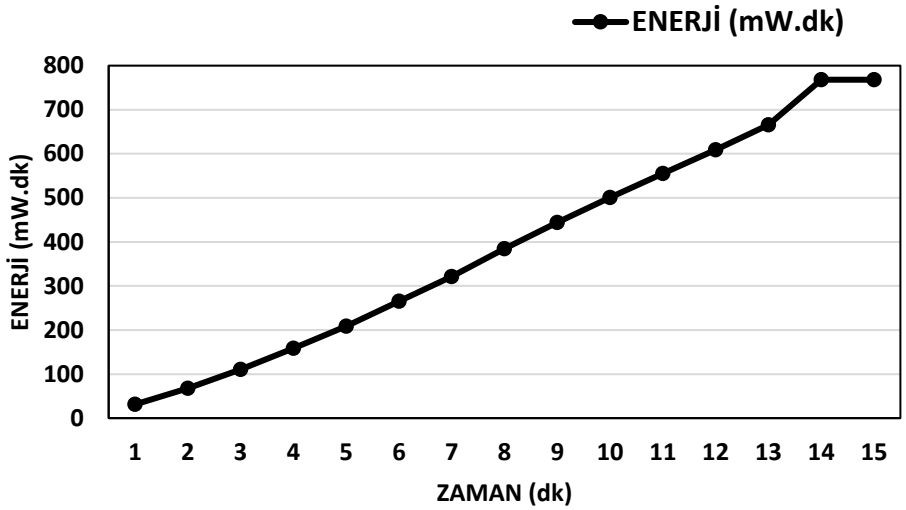
Motor devri maksimum güç 2100 d/dk'da sabit tutarak 15 dakika süren testte elde edilen gerilim değerleri Şekil 7.4'te gösterilmiştir. Zamana bağlı olarak sistem üzerinden elde edilen gerilim değerleri de artmıştır. Ancak 13. dakikadan sonra gerilimin 3,962 V olarak sabit kaldığı görülmüştür.



Şekil 7.5. Motor devri maksimum güç 2100 d/dk için elde edilen akım değerleri

Motor devrini 2100 d/dk'da sabit tutarak 15 dakika süren testte elde edilen akım değerleri Şekil 7.5'te gösterilmiştir. Zamana bağlı olarak sistem üzerinden elde edilen akım değerlerinde artış elde edilmiştir. Ancak deneyin 9. dakikasından sonra akım

değerinin çok fazla artmadığı görülmüştür. Maksimum akım şiddeti 15. dakikada 12,924 mA olarak ölçülmüştür.



Şekil 7.6. Motor devri maksimum güç 2100 d/dk için elde edilen enerji değerleri

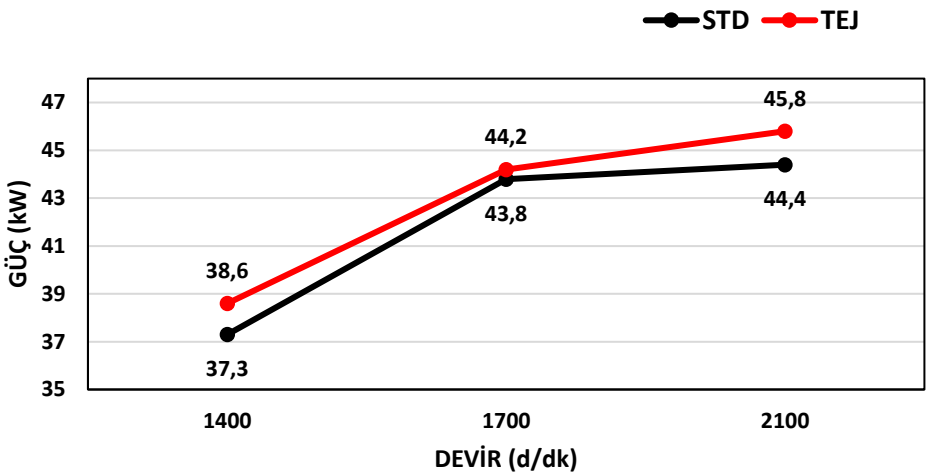
Motor devri maksimum güç 2100 d/dk'da sabit tutarak 15 dakika süren testte elde edilen enerji değerleri Şekil 7.6'da gösterilmiştir. Zamana bağlı olarak sistem üzerinden elde edilen enerji miktarı da artmıştır.

7.3. Motor Devri 1400, 1700 ve 2100 d/dk İçin Elde Edile Güç, Tork, Yakıt Tüketimi Değerleri

Termoelektrik enerji dönüşüm (TEJ) sistemi ilave edildikten sonra motorun standart (STD) haline göre karakteristik özelliklerde meydana gelen değişimler Çizelge 7.3'te gösterilmiştir. Çizelge 7.3'deki deney sonuçları incelendiğinde, standart (STD) haldeki motorun turboşarj çıkışı ile intercooler arasına tasarladığımız termoelektrik jeneratör dönüşüm (TEJ) sisteminin ilave edilmesi ile motorun tüm karakteristik özelliklerinde iyileşmeler elde edilmiştir.

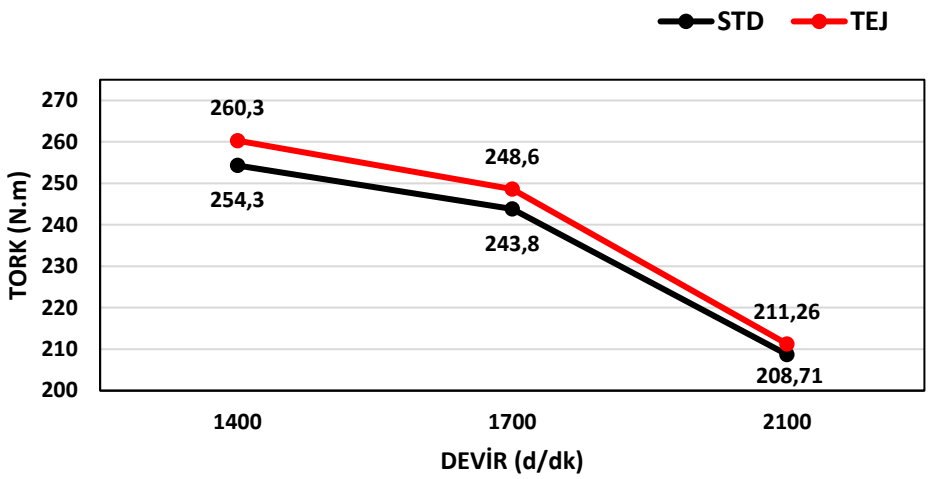
Çizelge 7.3. Motor devri 1400, 1700ve 2100 d/dk için elde güç, tork ve yakıt tüketimi değerleri

DEVİR	GÜÇ		TORK		YAKIT TÜKETİMİ	
d/dk	kW		N.m		L/h	
	STD	TEJ	STD	TEJ	STD	TEJ
1400	37,3	38,6	254,3	260,3	17,6	16,7
1700	43,8	44,2	243,8	248,6	16,9	16,2
2100	44,4	45,8	208,71	211,26	15,96	15,42



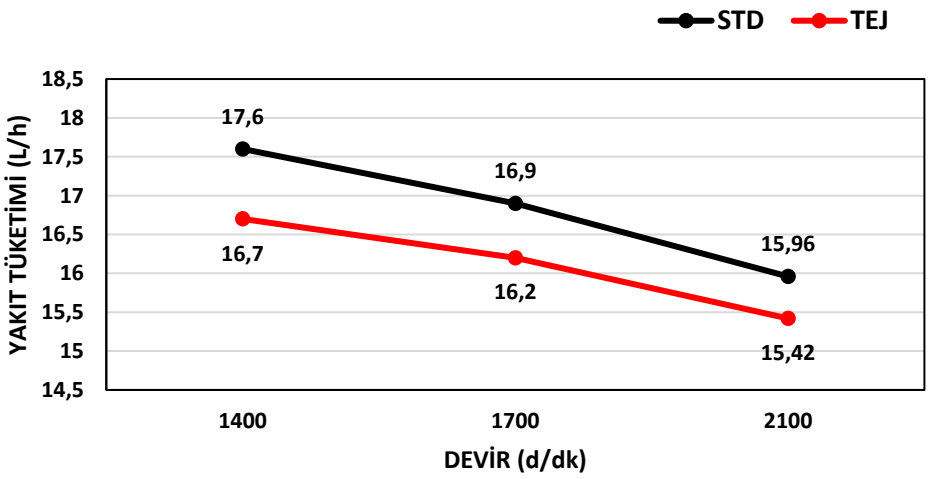
Şekil 7.7. Standart motor ile TEJ sistemi uygulanan motorda 1400, 1700 ve 2100 d/dk'da güç değişimleri

Şekil 7.7'de görüldüğü gibi standart (STD) motora tasarladığımız termoelektrik jeneratör dönüşüm sisteminin (TEJ) ilave edilmesi ile 1400, 1700 ve 2100 d/dk'da yapılan tüm testler sonucunda daha yüksek motor gücü elde edilmiştir.



Şekil 7.8. Standart motor ile TEJ sistemi uygulanan motorda 1400, 1700 ve 2100 d/dk'da tork değişimleri

Şekil 7.8'de görüldüğü gibi standart (STD) motora tasarladığımız termoelektrik jeneratör dönüşüm sisteminin (TEJ) ilave edilmesi ile 1400, 1700 ve 2100 d/dk'da yapılan tüm testler sonucunda daha yüksek motor torku elde edilmiştir.



Şekil 7.9. Standart motor ile TEJ sistemi uygulanan motorda 1400, 1700 ve 2100 d/dk'da yakıt tüketimi değişimleri

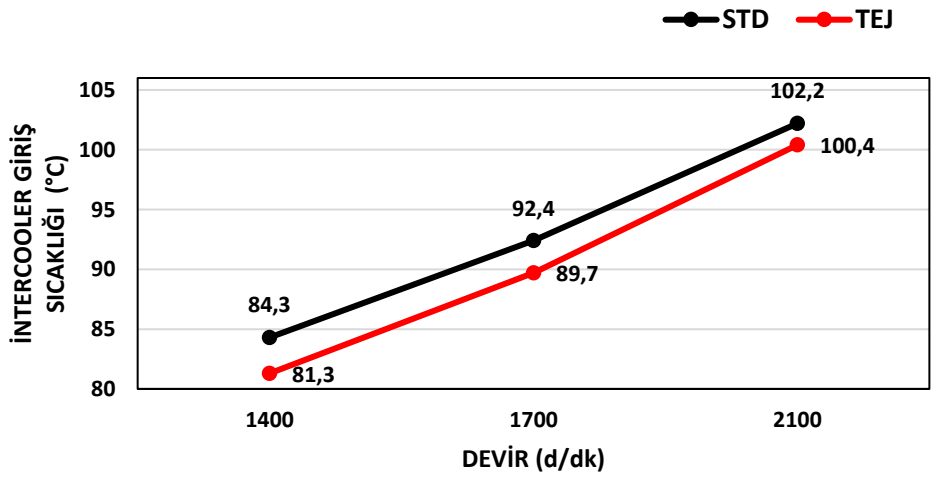
Şekil 7.9'da görüldüğü gibi standart (STD) motora tasarladığımız termoelektrik jeneratör dönüşüm sisteminin (TEJ) ilave edilmesi ile 1400, 1700 ve 2100 d/dk'da yapılan tüm testler sonucunda motorun yakıt tüketiminde azalma sağlanmıştır.

7.4. Motor Devri 1400, 1700 ve 2100 d/dk İçin Havanın İntercoolera Giriş ve Çıkış Sıcaklık Değişimleri

Çizelge 7.4'te görüldüğü gibi standart (STD) motora tasarladığımız termoelektrik jeneratör dönüşüm sisteminin (TEJ) ilave edilmesi ile 1400, 1700 ve 2100 d/dk'da yapılan tüm testler sonucunda havanın intercooler giriş ve çıkış sıcaklıklarında azalma sağlanmıştır.

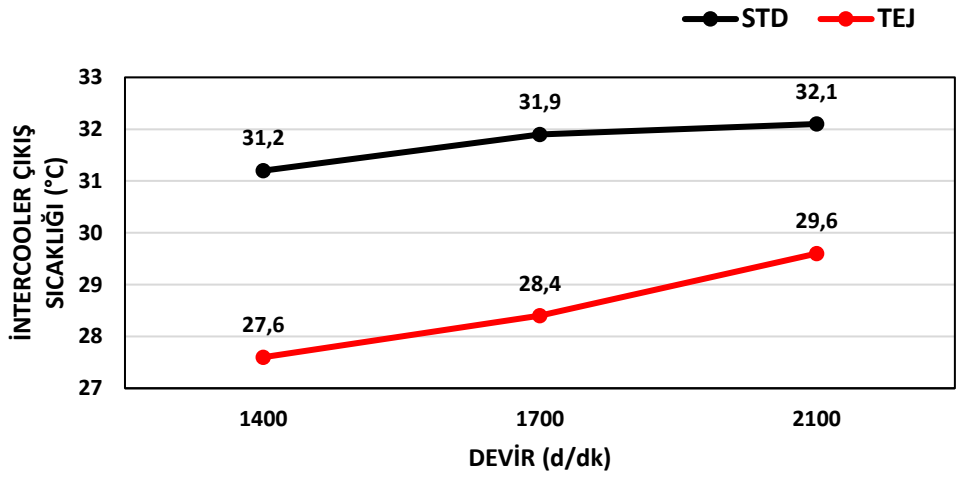
Çizelge 7.4. Motor devri 1400, 1700 ve 2100 d/dk için havanın intercoolera giriş ve çıkış sıcaklık değişimleri

DEVİR	İNTERCOOLER GİRİŞ		İNTERCOOLER ÇIKIŞ	
d/dk	SICAKLIK °C		SICAKLIK °C	
	STD	TEJ	STD	TEJ
1400	84,3	81,3	31,2	27,6
1700	92,4	89,7	31,9	28,4
2100	102,2	100,4	32,1	29,6



Şekil 7.10. Standart motor ile TEJ sistemi uygulanan motorda 1400, 1700 ve 2100 d/dk'da havanın intercoolera giriş sıcaklık değişimleri

Şekil 7.10'da görüldüğü gibi standart (STD) motora tasarladığımız termoelektrik jeneratör dönüşüm sisteminin (TEJ) ilave edilmesi ile 1400, 1700 ve 2100 d/dk'da yapılan tüm testler sonucunda havanın intercooler giriş sıcaklıklarında azalma sağlanmıştır.



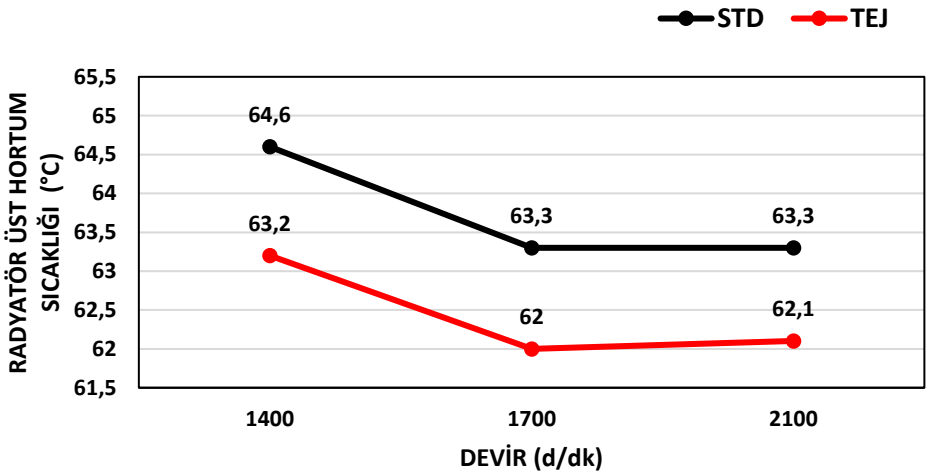
Şekil 7.11. Standart motor ile TEJ sistemi uygulanan motorda 1400, 1700 ve 2100 d/dk'da havanın intercoolerdan çıkış sıcaklık değişimleri

Şekil 7.11'de görüldüğü gibi standart (STD) motora tasarladığımız termoelektrik jeneratör dönüşüm sisteminin (TEJ) ilave edilmesi ile 1400, 1700 ve 2100 d/dk'da yapılan tüm testler sonucunda havanın intercooler çıkış sıcaklıklarında azalma sağlanmıştır.

Çizelge 7.5'te görüldüğü gibi standart (STD) motora tasarladığımız termoelektrik jeneratör dönüşüm sisteminin (TEJ) ilave edilmesi ile 1400, 1700 ve 2100 d/dk'da yapılan tüm testler sonucunda motor soğutma suyunun radyatöre giriş ve çıkış sıcaklıklarında azalma sağlanmıştır.

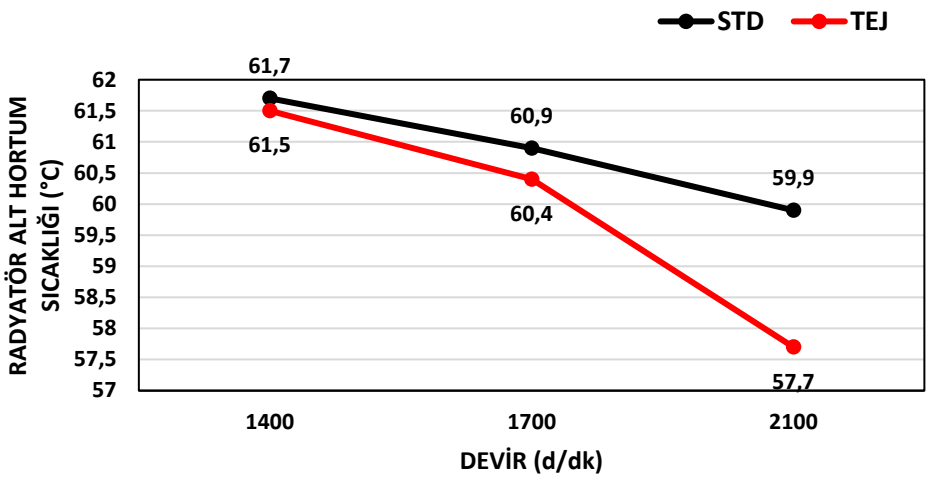
Çizelge 7.5.Motor devri 1400, 1700 ve 2100 d/dk için soğutma suyunun radyatöre giriş ve çıkış sıcaklık değişimleri

DEVİR	RADYATÖR ÜST HORTUM		RADYATÖR ALT HORTUM	
d/dk	SICAKLIK °C		SICAKLIK °C	
	STD	TEJ	STD	TEJ
1400	64,6	63,2	61,7	61,5
1700	63,3	62,0	60,9	60,4
2100	63,3	62,1	59,9	57,7



Şekil 7.12. Standart motor ile TEJ sistemi uygulanan motorda 1400, 1700 ve 2100 d/dk'da soğutma radyatörü üst hortum sıcaklık değişimleri

Şekil 7.12'de görüldüğü gibi motor devri 1400, 1700 ve 2100 d/dk'da yapılan tüm testler sonucunda radyatör üst hortum sıcaklığında azalma sağlanmıştır.



Şekil 7.13. Standart motor ile TEJ sistemi uygulanan motorda 1400, 1700 ve 2100 d/dk'da soğutma radyatörü alt hortum sıcaklık değişimleri

Şekil 7.13'de görüldüğü gibi motor devri 1400, 1700 ve 2100 d/dk'da yapılan tüm testler sonucunda radyatör alt hortum sıcaklığında azalma sağlanmıştır.

BÖLÜM 8

SONUÇ VE ÖNERİLER

8.1. Sonuçlar

Yapılan tez çalışmasında Hattat Traktör Ar-Ge Merkezindeki test traktörü üzerindeki dizel motorun turboşarj çıkışındaki atık ısıdan faydalanarak termoelektrik jeneratörler ile elektrik üretimi gerçekleştirilmiştir. Turboşarj çıkışı ile intercooler arasına tasarlanan alüminyum malzemeden ürettiğimiz soğutma kanallı ısı iletim borusu ve termoelektrik jenaratörlere ait enerji dönüşüm sistemi ile hem elektrik üretilmiş hem de motorun karakteristik özelliklerinde (güç, tork ve yakıt tüketimi) iyileşmeler elde edilmiştir. Deneyler traktörlerin çalışma koşullarında en fazla maruz kaldığı motor devirlerinde (1400, 1700 ve 2100 d/dk'da) yapılmıştır. Deneysel sonuçlara bağlı olarak turboşarj çıkışına monte ettiğimiz termoelektrik jeneratör enerji dönüşümü sistem üzerinden maksimum 3,96 V gerilim ve 12,924 mA akım şiddetinde elektrik elde edilmiştir.

Bu çalışmadan elde edilen diğer önemli sonuç ise turboşarj çıkışına tasarlanan bu sistem ile enerji dönüşümü sırasında intercoolera giriş sıcaklığının azalması ile motor performans değerlerinin iyileşmesidir. Motor devri 1400 d/dk değeri için tork değeri 6Nm artış göstermiştir. Tarla sürüş koşullarında motorun maruz kaldığı 1400 d/dk da yakıt tüketimi 0,9 L/h azalmıştır. Benzer şekilde 2100 d/dk da motorun gücünde 1,4 kW'lık artış sağlanmıştır. Bu şartlarda yakıt tüketimi ise 0,54 L/h azalmıştır.

8.2. Öneriler

Traktörler ve iş makinaları özellikle yaz aylarında yüksek sıcaklıklarda uzun süre kullanıldıkları için çok fazla atık ısı oluşmaktadır. Özellikle arazi şartlarında çalışan araçların motorlarında farklı sıcaklıklarda pek çok atık ısı kaynağı (egzoz sistemi, motor soğutma sistemi, silindir kapağı, yağlama sistemi vb) bulunmaktadır. Gelecekte dönüşüm verimliliği yüksek ve çok sayıda termoelektrik jeneratörün kullanılması ile atık ısıdan daha fazla geri kazanım imkanı sağlanmış olacaktır.

KAYNAKLAR

Akman, M. (2016). *Bir Petrol Tankeri için Organik Rankine Çevrimi Atık Isı Geri Kazanım Sisteminin Termodinamik Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Aljaghtham, M., & Celik, E. (2020). Design optimization of oil pan thermoelectric generator to recover waste heat from internal combustion engines, *Energy*, 117547.

Bağcı, S. (2011). *Hibrit araçlarda güç elektroniği sistemlerinin genelleştirilmiş durum uzay ortalama (GSSA) yöntemiyle modellenmesi*, Yüksek Lisan Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

Burnete, N., & Mariasiu, F. (2022). Review of thermoelectric generation for internal combustion engine waste heat recovery, *Progress in Energy and Combustion*, 101009

Champier, D. (2017). Thermoelectric generators a review of applications. *Energy Conversion and Management*, 140 : 167-181

Cıylan, B., & Yılmaz, S. (2007). Design of a thermoelectric module test system using a novel test method. *International Journal of Thermal Sciences*,46 : 717-725.

Coulibaly, A., Zioui, N., Bentouba, S., Kelouwani, S. & Bourouis, M. (2021). Use of thermoelectric generators to harvest energy from motor vehicle brake discs. *Case Studies in Thermal Engineering*, 101379.

Çamcı, Ö. (2005). Yakıt pilinin motorlu taşıtlarda uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Çengel Y., & Boles, M.A. (2011). *Thermodynamics,* SI Units.

Dalar, U. (2019). *Otomobil Egzoz Sistemlerinde Termoelektrik Jeneratörlü (Tej) Atık Isı Geri Kazanım Sisteminin İrdelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.

Dolatiasl, K. (2019). Electrıc Power Generatıon Usıng a Thermoelectrıc Generator From Coolant Fluıd Of Internal Combustıon Engıne Of Cars, *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 37 (2), 415-422.

Hiereth, H., & Prenninger, P., (2003). *Charging The Internal Combustion Engine.* Springer Wien New York.

Högblom, O., & Andersson, R., (2014). Analysis of Thermoelectric Generator Performance by Use of Simulations and Experiments. Journal of Electronic Materials, 43,6.

https://carstechnic.com/motor-egzoz-sistemleri-ve-parcalari/

https://www.energy.gov/eere/vehicles/articles/automotive-thermoelectric-generators-and-hvac-0

https://halukisler.wordpress.com/2023/02/01/elektrikli-ev-ve-fosil-yakitli-benzinli-dizel-araclarin-verimlilik-ve-cevresel-etki-acisindan-teknik-karsilastirilmasi/

https://www.mahle-aftermarket.com/media/homepage/facelift/media-center/workshop/schadensbroschuere_generatoren_2020_tr_final_low_.pdf

https://malzemebilimi.net/dizel-motorlarda-asiri-doldurma-sitemeleri-turbosarj-supersarj.html

https://otomobilteknoloji.blogspot.com/2016/06/dizel-arac-nedir-nasil-calisir-motor-calisma-prensibi.html

Huang, B., & Shen, Z. G. (2022). Performance assessment of annular thermoelectric generators for automobile exhaust waste heat recovery. *Energy,* 246 (1), 123375.

Kim, S. (2013). Akhannalysis and Modeling of Effective Temperature Differences and Electrical Parameters of Thermoelectric Generators. *Applied Energy*, 1458-1463.

Kim T., Negash A., & Cho G. (2016). Waste heat recovery of a diesel engine using a thermoelectric generator equipped with customized thermoelectric modules, *Energy Conversion and Management,* 280-286.

Kunt, M. A. (2016). İçten Yanmalı Motor Atık Isılarının Geri Kazanımında Termoelektrik Jeneratörlerin Kullanımı, *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi,* 3(2), 192-203.

Liu, C., Chen P., & Li K. (2014). A 500 W low-temperature thermoelectric generator: Design and experimental study. *International Journal of Hydrogen Energy,* 39(28), 15497-15505.

Luo, D., Sun, Z., & Wang, R. (2022). Performance investigation of a thermoelectric generator system applied in automobile exhaust waste heat recovery, *Energy,* 121816.

Özkaymak, M., Baş, Ş., Acar, B., Yavuz,C., Boran, K., Tabak, A. S., Variyenli, H. B., & Asal, Ö. (2014). Atık Baca Gazı Kullanımı ile Termoelektrik Jeneratörlerde Elektrik Üretiminin Faydalı Kullanımının Deneysel İncelenmesi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2(4), 289-298.

Peng, Y., Zhang, X., Liu, J., Li, S., Mou, Y., Xu, J. & Chen, M. (2021). Waste heat recycling of high-power lighting through chips on thermoelectric generator. *Energy Conversion and Management,* 243, 114329.

Polat, S. (2011). *Dizel Motorlar Ders Notları,* Hitit Üniversitesi Meslek Yüksek Okulu, Çorum.

Potur, R. A. (2009). *Faz IIIB Emisyon Standardına Cevap Veren Dizel Traktör Motorunun Tasarımı İçin Geçek Çevrim Matematik Modellenmesi ve Optimum Yanma Kanununun Belirlenmesi,* Yüksek Lisan Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

Ragupathi, P., Barik, D., Vignesh, G., & Aravind, S. (2020). Electricity Generation from Exhaust Waste Heat of Internal Combustion Engine Using Al_2O_3 Thermoelectric Generators, *Journal of Applied Science and Engineering,* 55-60.

Şahin, U. R., Coşkun, G., & Soyhan, H. S. (2018). Traktör egzozundan atılan ısı enerjisinin elektrik enerjisi olarak kazanımını sağlayan termoelektrik jeneratör, *Uluslararası Yakıtlar, Yanma ve Yangın Dergisi*, 6, 10-19.

Şahin, Z. (2019). *Turboşarjlı Dizel Motorlarda Giriş Havası Sıcaklığının Motor Performans ve Emisyonlara Etkilerinin İncelenmesi,* Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.

Şengün, İ.H. (2014). *Motorlar Yapı ve Hesabı*, Kocaeli: Umut tepe

Tang, S., Wenxi, T., Wnag, C., Qiu, S.,Liu, X., Zhang, Q, Su, G., Liu, R., & Bai, S. (2020). Experimental investigation of a novel heat pipe thermoelectric generator for waste heat recovery and electricity generation. *Energy Researrch Wıley,* 7450-7463

Temizer, İ. (2014). *Termoelektrik Jeneratörü kullanılan taşıtlarda egzoz gazlarından elektrik üretilmesi,* Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

Tokgöz N., & Özgün Ö. (2019). Atık Isı Geri Kazanım Sistemlerine Yönelik Literatür Araştırması ve Sanayiden Örnek Vaka İncelemesi, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi,* 34(2), 57-72.

Topalcı, Ü., Gürbüz, H., Akçay, H., & Demirtürk, S. (2020). Buji ateşlemeli bir motorda egzoz atık ısı geri kazanımı için termoelektrik jeneratör modelinin geliştirilmesi, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi,* 8(2), 582-596.

Uyumaz, A., Boz, F., Yılmaz, E., Solmaz, H. & Polat, S. (2017). Taşıt Egzoz Emisyonlarını Azaltma Yöntemlerindeki Gelişmeler. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 15-24.

Yanez, P.F., Romero, V.,Armasi O. & Ceretti, G. (2021). Thermal management of thermoelectric generators for waste energy recovery. *Applied Thermal Engineering*, 117291.

ÖZGEÇMİŞ

2001 yılında Lüleburgaz Anadolu Teknik Lise Makine bölümünü bitirdim. 2007 yılında Gazi Üniversitesi Otomotiv Öğretmenliği bölümünde lisans eğitimini tamamladım. 2021 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi'nde Makine Mühendisliği bölümü lisans eğitimini tamamladım. 2010 yılında Hema Otomotiv Sistemleri A.Ş. şirketinde iş hayatına başladım. İş Güvenliği ve Çevre Şefi olarak görevime devam etmekteyim. Evliyim ve bir kız çocuğu babasıyım.