

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BENZİN MOTORLU BİR OTOMOBİLDE TERMoeLEKTRİK
JENERATÖR SİSTEMİYLE EGZOZDAN ELEKTRİK ÜRETİMİ
VE AKIŞ ANALİZİ

HAKAN TURAL

KOCAELİ 2024

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BENZİN MOTORLU BİR OTOMOBİLDE TERMoeLEKTRİK
JENERATÖR SİSTEMİYLE EGZOZDAN ELEKTRİK ÜRETİMİ
VE AKIŞ ANALİZİ

HAKAN TURAL

Dr. Öğr. Üyesi Dilek Özlem Esen
Danışman, Kocaeli Üniv.

.....

Doç.Dr Ali Türkcan
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.

.....

Prof.Dr. Cenk Sayın
Jüri Üyesi, Marmara Üniv.

.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 26.06.2024

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ

Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım ile ilgili kurallara uygun olarak oluşturduğum bu tez çalışmada,

- Bu tez çalışmasının tamamen bana ait, özgün bir çalışma olduğunu,
- Tez çalışmasının hazırlanma, verileri toplama, analiz etme ve toplanan bilgilerin sunulması olmak üzere tüm basamaklarında bilimsel etik ilke ve şartlarına uygun olarak davrandığımı,
- Bu tez çalışması kapsamında ortaya çıkan veriler ile bilgiler için kaynak belirttiğimi ve bu kaynakların tamamını kaynakçada yazdığımı,
- Bu tez çalışmasının Kocaeli Üniversitesi'nin abone olduğu intihal yazılım programı yardımıyla Fen Bilimleri Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu şartlara uygun şekilde hazırlandığını,
- Kullanılan verilerde hiçbir tahrifata meydan vermediğimi,
- Bu tez çalışmasının herhangi bir bölümünü bu üniversite veya farklı bir üniversitede yine farklı bir tez çalışması amacıyla sunmadığımı,

beyan ederim.

☒ Bu tez çalışmasının herhangi bir safhası hiçbir kurum/kuruluş tarafından maddi/alt yapı desteği ile kesin olarak desteklenmemiştir.

☐ Bu tez çalışması dahilinde ortaya çıkan bütün veri ve oluşturulan bilgilertarafından..... no'lu proje dahilinde Maddi/alt yapı desteği alınarak gerçekleştirilmiştir

Herhangi bir zaman diliminde , tez çalışmam ile alakalı yapmış olduğum bu beyandan farklı bir durumun ortaya çıkması halinde, doğacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildirmek isterim

Hakan Tural

YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI

Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından kabul edilen lisansüstü tez çalışmamın tamamının ya da herhangi bir kısmının, basılı ve elektronik ortamda ki formatta arşivleme ve aşağıda belirtilen kurallarla kullanıma açılma iznini Kocaeli Üniversitesi'ne verdiğimi beyan ediyorum. Verdiğim bu izin ile Üniversiteye verilmiş olan kullanım hakları dışındaki bütün fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının veya bir kısmının gelecekteki bilimsel çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanımı yine bana ait olacaktır.

Bu tez çalışması kendi özgün çalışmamdır. Başkalarının sahip olduğu hakları ihlal etmediğimi ve tez çalışmasının tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tez çalışmamda yer alan telif hakkına sahip olan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiği zaman suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim kurulu tarafından yayınlanan ***“Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge”*** kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricinde YÖK Ulusal Tez Merkezi/ Kocaeli Üniversitesi Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

☐ Enstitü yönetim kurulunun aldığı karar ile tezimin erişime açılması için mezuniyet tarihinden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.

☐ Enstitü yönetim kurulunun aldığı kararı ile tezimin erişime açılması için mezuniyet tarihinden itibaren 6 ay ertelenmiştir.

☒ Tez çalışmam hakkında gizlilik ile ilgili bir karar verilmemiştir.

Hakan Tural

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

İçten yanmalı motorlarda artık gazların kirletici özelliklerinin sönümlenmesi için her geçen gün detaylı çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalar bir miktar istenen seviyeye ulaşsa da sıfır emisyon seviyesine fosil yakıtlarla ulaşmak çok zordur. Bu nedenle elektrikli araçların üretilmesi ve yaygınlaşması gerekliliği ortaya konmuştur. Ancak elektrikli araçlarda batarya kapasitesi, menzil, şarj süreleri gibi problemlerden dolayı tam kapasite ile hayatımıza girmesi ve şu aşamada içten yanmalı motorların her anlamda yerini doldurması imkânsızdır. Bundan dolayı içten yanmalı ile elektrikli araçlar arasından geçiş aşamasında en azından içten yanmalı motorlarda verimliliğin artırılması için birtakım çalışmalar yapılmaktadır. Özellikle atık ısının geçtiği egzoz hattı üzerine yerleştirilen termoelektrik jeneratör yardımıyla elektrik enerjisi elde edilebileceği düşünülmüştür.

Termoelektrik konusunda bana çalışma fırsatı veren değerli hocam Dr.Öğr. Üyesi Dilek Özlem Esen'e teşekkür ederim. Ayrıca hayatım boyunca bana destek olan aileme, hayat arkadaşım eşime sonsuz minnet duygularımı sunarım.

Mayıs - 2024

Hakan TURAL

İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ	i
YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
TABLolar DİZİNİ.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ÖZET	ix
ABSTRACT	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1. İçten Yanmalı Motorlu Araçlarda Enerji Geri Kazanımı	3
1.2. Literatür Çalışması.....	6
2. GENEL BİLGİLER.....	10
2.1. Termoelektrik.....	10
2.2. Seebeck Etkisi.....	12
2.3. Peltier Etkisi	12
2.4. Thomson Etkisi.....	13
2.5. Termoelektrik Modül.....	14
2.6. Termoelektrik Jeneratörler.....	14
2.7. TEJ Sisteminde Enerji Dönüşüm Verimliliği ve Akım	15
2.8. Deney Düzenekinin Şematik Görüntüsü.....	17
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	19
3.1. Deney Prototipinin Tanıtılması.....	19
3.1.1. Termoelektrik Jeneratör (TEJ).....	20
3.1.2. Sıvı Pompası	22
3.1.3. Radyatör ve Fanlar	23
3.1.4. TEM (Termoelektrik Malzeme) Özellikleri.....	24
3.1.5. Data Logger	25
3.2. Deney Aracı Genel Özellikleri	26
3.3. Matematiksel Yöntem.....	27
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	30
4.1. Egzoz Gazı İçin Isı Eşanjörü Akış Analizi	31
4.2. Deneysel Bulgular.....	35
5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	52
KAYNAKLAR.....	53
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER.....	55
ÖZGEÇMİŞ.....	56

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil.1.1.	Brent petrolün son 20 yıldaki dolar bazlı fiyat değişimi	2
Şekil 2.1.	Termoelektrik modül kesit görüntüsü	14
Şekil 2.2.	TEJ elektrik devresi.....	15
Şekil 2.3.	Deney düzeneğinin şematik görseli.....	17
Şekil 3.1.	Deney prototipinin genel görüntüsü	19
Şekil 3.2.	Termoelektrik jeneratör (TEJ).....	20
Şekil 3.3.	Sıvı pompasının genel görünümü.....	22
Şekil 3.4.	Radyatör ve soğutma fanları	23
Şekil 3.5.	Termoelektrik malzeme (TEM).....	24
Şekil 3.6.	Data logger	25
Şekil 3.7.	Deney aracı genel görünümü.....	26
Şekil 3.8.	Matematiksel metot ile elde edilen gerilim parametreleri	29
Şekil 4.1.	1500 dev/dk'da ısı akışına göre sıcaklık dağılım grafiği	32
Şekil 4.2.	2000 dev/dk'da ısı akışına göre sıcaklık dağılım grafiği	32
Şekil 4.3.	2500 dev/dk'da ısı akışına bağlı sıcaklık dağılım grafiği	33
Şekil 4.4.	3000 dev/dk'da ısı akışına bağlı sıcaklık dağılım grafiği	33
Şekil 4.5.	3500 dev/dk'da ısı akışına bağlı sıcaklık dağılım grafiği	34
Şekil 4.6.	4000 dev/dk'da ısı akışına bağlı sıcaklık dağılım grafiği	34
Şekil 4.7.	Sıcak yüzey ile soğuk yüzeyin motor devrine göre ısı grafiği	36
Şekil 4.8.	Soğutma bloğu su giriş ve su çıkış maksimum sıcaklıkları	36
Şekil 4.9.	Radyatör su çıkış sıcaklığı.....	37
Şekil 4.10.	Motor devirlerine göre egzoz sıcaklık değerleri.....	38
Şekil 4.11.	Yüzey sıcaklığına göre üretilen gerilim (1500 dev/dk).....	38
Şekil 4.12.	Yüzey sıcaklığına göre üretilen akım şiddeti (1500 dev/dk).....	39
Şekil 4.13.	Yüzey sıcaklığına bağlı üretilen güç değerleri (1500 dev/dk)	40
Şekil 4.14.	Yüzey sıcaklığına bağlı üretilen gerilim değerleri (2000 dev/dk).....	40
Şekil 4.15.	Yüzey sıcaklığına göre üretilen akım şiddeti (2000 dev/dk).....	41
Şekil 4.16.	Yüzey sıcaklığına bağlı üretilen güç değerleri (2000 dev/dk)	41
Şekil 4.17.	Yüzey sıcaklığına bağlı üretilen gerilim değerleri (2500 Dev/dk).....	42
Şekil 4.18.	Yüzey sıcaklığına göre üretilen akım şiddeti (2500 dev/dk).....	42
Şekil 4.19.	Yüzey sıcaklığına bağlı üretilen güç değerleri (2500 dev/dk)	43
Şekil 4.20.	Yüzey sıcaklığına bağlı üretilen gerilim değerleri (3000 dev/dk).....	43
Şekil 4.21.	Yüzey sıcaklığına göre üretilen akım şiddeti (3000 dev/dk).....	44
Şekil 4.22.	Yüzey sıcaklığına bağlı üretilen güç değerleri (3000 dev/dk)	44
Şekil 4.23.	Yüzey sıcaklığına bağlı üretilen gerilim değerleri (3500 dev/dk).....	45
Şekil 4.24.	Yüzey sıcaklığına göre üretilen akım şiddeti (3500 dev/dk).....	45
Şekil 4.25.	Yüzey sıcaklığına bağlı üretilen güç değerleri (3500 dev/dk)	46
Şekil 4.26.	Yüzey sıcaklığına bağlı üretilen gerilim değerleri (4000 dev/dk).....	46
Şekil 4.27.	Yüzey sıcaklığına göre üretilen akım şiddeti (4000 dev/dk).....	47

Şekil 4.28. Yüzey sıcaklığına bağlı üretilen güç değerleri (4000 dev/dk)	48
Şekil 4.29. Teorik ve deneysel yöntemle elde edilen gerilim değerlerinin grafiği.....	49
Şekil 4.30. Teorik ve Deneysel Akım Şiddeti Grafiği.....	51



TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 2.1.	Termoelektrik farklı malzeme verileri	11
Tablo 3.1.	Termoelektrik Malzeme Özellikleri	24
Tablo 3.2.	Deney otomobili genel özellikleri	27



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

I	: Akım, (A)
K_{th}	: Termal iletkenlik
m_{opt}	: Maksimum verimde direnç, (Ohm)
R_L	: Yük direnç, (Ohm)
T_c	: Soğuk yüzey sıcaklığı, ($^{\circ}C$)
T_H	: Sıcak yüzey sıcaklığı, ($^{\circ}C$)
V	: Gerilim, (V)
V_{oc}	: Açık devre gerilimi, (V)
W	: Güç, (W)
$\dot{Q}_c$	: Soğuk bağlantı noktasından atılan ısı, ($^{\circ}C$)
α	: Seebeck katsayısı
ΔT	: Sıcaklık farkı, ($^{\circ}C$)
π	: Peltier sabiti, (V)
η_t	: Termal verimlilik

Kısaltmalar

DA	: Doğru Akım
TEJ	: Termoelektrik Jeneratör
TEM	: Termoelektrik Malzeme

BENZİN MOTORLU BİR OTOMOBİLDE TERMoeLEKTRİK JENERATÖR SİSTEMİYLE EGZOZDAN ELEKTRİK ÜRETİMİ VE AKIŞ ANALİZİ

ÖZET

İçten yanmalı motorların en büyük problemi yanma sonrası açığa çıkan ısı enerjisinin tam olarak faydalı enerjiye dönüştürülememesidir. Egzoz hattı boyunca sıcaklığın artmasını sağlayan yanmış gazların oluşturduğu atık ısının geri dönüşümü termoelektrik malzemeler yardımıyla gerçekleştirilebilir. Bu çalışmanın amacı otomobiller üzerindeki atık ısı geri kazanımının irdelenmesidir. Toyota Corolla 1.6 litre motor hacmine sahip otomobilin egzoz sistemi üzerine yerleştirilen TEJ (termoelektrik jeneratör) yardımı ile ideal çalışma şartlarındaki araç üzerinde üretilen enerji incelenmiştir. Atık ısının bulunduğu hat olan egzoz sistemi üzerindeki sıcaklık kullanılmak istendiğinden dolayı termoelektrik modüller bu bölüme yerleştirilmiştir. Egzoz manifoldu çıkışında ilk susturucunun olduğu bölgeye toplamda 22 adet termoelektrik modül yerleştirilerek elde edilen enerjinin analizi yapılmıştır. Termoelektrik malzemeler yardımıyla elde edilen elektrik enerjisinin motorun farklı devirlerde çalıştırılmasıyla gösterdiği değişim detaylı olarak incelenerek grafiklerle ifade edilmiştir. Deney sonucunda 13.1 V gerilim ve 2.6 A akım şiddeti elde edilmiştir. Motor dönüş hızı 4000 dev/dk'da bu değerler elde edilmiştir. Çalışmadan elde edilen sıcaklık verileri ile akış analizi oluşturulmuştur. Egzoz gazlarının geçtiği yüzeylerdeki sıcaklık farklılıkları ve bu sıcaklıkların dağılım analizi yapılmıştır. Üretilen enerji termoelektrik yüzeyler arasındaki sıcaklık farkı arttığında maksimum değerleri görmüştür.

Anahtar Kelimeler: Atık Isı, Egzoz, Enerji Üretimi, Motor Devri, Termoelektrik.

ELECTRICITY GENERATION AND FLOW ANALYSIS FROM THE EXHAUST WITH THE THERMOELECTRIC GENERATOR SYSTEM IN A GASOLINE ENGINE CAR

ABSTRACT

The biggest problem of internal combustion engines is that the heat energy released after combustion cannot be fully converted into useful energy. The waste heat generated by the burnt gases that increase the temperature along the exhaust line can be recycled with the help of thermoelectric materials. The aim of this study is to examine the waste heat recovery on automobiles. With the help of the TEJ (thermoelectric generator) placed on the exhaust system of the Toyota Corolla 1.6 liter engine, the energy produced on the vehicle under ideal operating conditions was examined. Thermoelectric modules are placed in this section because the temperature on the exhaust system, which is the line where the waste heat is located, is desired to be used. The energy obtained by placing a total of 22 thermoelectric modules in the area where the first muffler is located at the exit of the exhaust manifold was analyzed. The change in the electrical energy obtained with the help of thermoelectric materials when the engine is operated at different speeds has been examined in detail and expressed in graphics. As a result of the experiment, a voltage of 13.1V and a current of 2.6A were obtained. These values were obtained at engine rotation speed of 4000 rpm. Flow analysis was created with the temperature data obtained from the study. The temperature differences on the surfaces where the exhaust gases pass through and the distribution analysis of these temperatures were made. The energy produced saw maximum values when the temperature difference between the thermoelectric surfaces increased.

Keywords: Waste Heat, Exhaust, Power Generation, Engine Speed, Thermoelectric

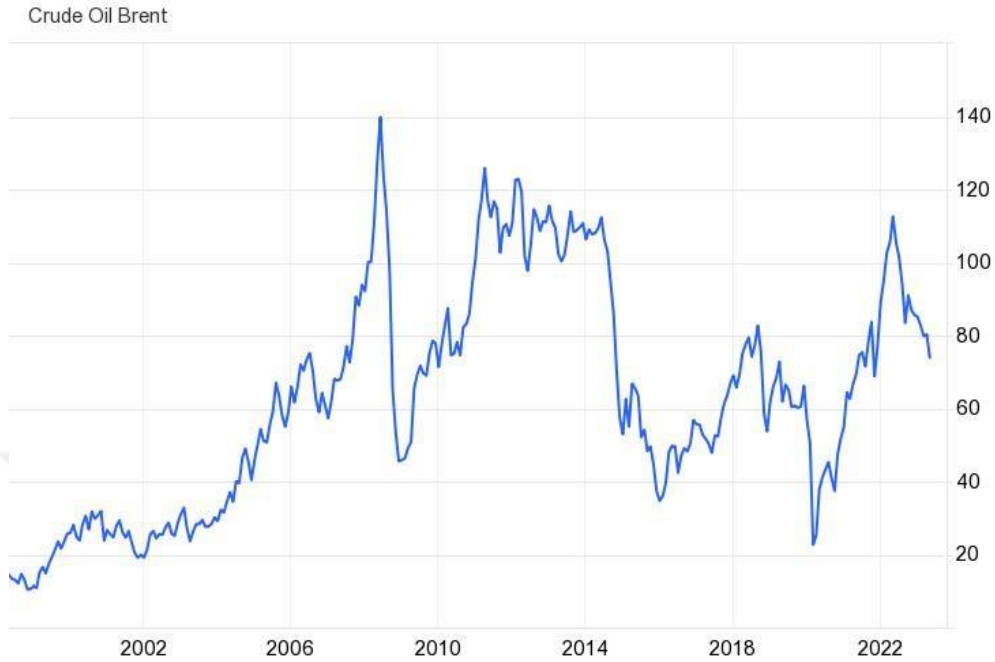
1. GİRİŞ

Günümüzde kullanılan enerji kaynaklarının çok büyük bir bölümü fosil yakıt kökenlidir. Bu durum insanlığı alternatif enerji kaynaklarını araştırmaya teşvik etmiştir. Fosil yakıtlar elbet bir gün tamamen tükenecektir. Dünya üzerinde varlığı bilinen bütün fosil yakıt kaynaklarının çıkarılıp işlenmesi mümkün değildir. Bundan dolayı doğal kökenli yakıtların kaynağı sonunda tükeneceği gerekçesi ile yenilemeyen enerji sınıfına girmektedir. (Temizer, 2010). Pandemi süresince kesin olarak ortaya çıkan kanı aslında dünyanın büyük bir ülke olduğu bütün dünya atmosferinin birbirine bağlı ve ayrılmaz bir bütün olduğudur. Bu yaklaşım ışığında küresel ısınma gündemdeki yerini korumakla birlikte mevsimsel değişiklikler ve sıcaklık artışlarının tek bir ülkede değil bütün dünyada ayırım yapmaksızın etkisini göstereceği bilinci insanlarda her zamankinden daha da etkili şekilde sağlam bir bakış açısı meydana getirmiştir. Atmosfere bırakılan zararlı gazlar her yıl ölçülen sıcaklıkların artmasına neden olmaktadır. Bu artışa neden olan en önemli etmenlerden biri fosil yakıtların kullanılmasıdır. Sera etkisinin azaltılmak istenmesi insanoğlunun en önemli hedeflerindendir.

Enerji verimliliği mevcut teknolojilerin üzerine yeni çalışmalar yapıp geliştirerek ya da yeni teknolojiler geliştirerek oluşturulur. Tüketimin çok olduğu sektörlerde verimlilik çalışmaları ne kadar çok yapılırsa o kadar yüksek geri dönüşüm elde edilir. Enerji teknolojileri açısından en fazla tüketime sahip sektörlerin başında ağır sanayi gelmektedir. Sanayinin ihtiyacı olan enerji alanında geri kazanım teknolojileri ne kadar fazla gelişirse o kadar karşılığı alınmış olur. Bir diğer göz önünde bulundurulması gereken sektör ise ulaşımdır. Son otuz yılda çok hızlı büyüyen sektörde önümüzdeki dönemde çok daha fazla enerji ihtiyacı olacağı ve bu alanda dünyanın en büyüğü olacağı tahmin edilmektedir. Bu yüzden bu alanda yapılan verim çalışmaları çok önemlidir.

Otomotivde elektrik enerjisine olan ihtiyaç her geçen dönem artış göstermektedir. Özellikle elektrikli araçlarla birlikte bataryanın şarj edilmesi elektrik motorlarının çalıştırılması için yüksek miktarda elektrik gereklidir. Hangi yakıt türüne sahip olursa olsun tüm araçların; ısıtma ve soğutma sistemleri, elektronik sensörler, navigasyonlar, aydınlatma sistemleri, ses ve video sistemleri, dijital gösterge panelleri gibi elektronik

sistemler de elektrik enerjisine olan ihtiyacı arttırmıştır. Bu ihtiyacı çeşitli enerji geri dönüşüm çalışmaları sayesinde elde etmek mümkündür.



Şekil.1.1. Brent petrolün son 20 yıldaki dolar bazlı fiyat değişimi

Şekil 1.1’de görüldüğü gibi Brent petrolün varil fiyatı son yıllarda bazı çalkalanmalar olmasına rağmen artış eğilimindedir. Petrol fiyatlarını dünyadaki siyasi istikrarsızlıklar arz talep dengesizlikleri ve savaşlar etkilemektedir. Son olarak Rusya- Ukrayna savaşında yükselen varil fiyatları bütün dünyada ekonomik olarak etkisini göstererek yükselişe geçmiştir. Bu istikrarsızlık ve yüksek tüketim rakamları temiz enerjiye olan ihtiyacı daha da arttırmıştır.

Yukarıda da bahsettiğimiz gibi petrol ve petrol türevi yakıtların her geçen gün azalması ve bu yakıtların çıkarılması için gerekli üretim maliyetlerinin her geçen gün artması ayrıca küresel ısınma gibi nedenlerden dolayı alternatif enerji kaynaklarına yönelimi cazip hale getirmiştir. Alternatif olabilen enerji kaynaklarının en büyük avantajı temiz ve çevreye duyarlı yakıt özellikler olmasıdır. Motorlu araçlar teknolojilerinde alternatif enerji kaynakları konusunda yapılan çalışmalarda çevreci ve temiz yakıt olarak gaz ve sıvı yakıtlar kullanılmıştır. Sıvılaştırılmış petrol gazı, doğalgaz, metanol, etanol, biyodizel yakıt olarak kullanılmış ve bu alanda birçok çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda motorların pratik olarak yüksek verimlere ulaştıkları saptanmıştır. İçten

yanmalı motorlarda yakıt karışım oranlarının değiştirilmesi farklı yanma odası tasarımları gibi çalışmalar bu verimli çalışmalara katkı sunmuştur. Tabii daha iyi tasarımlar ve karışımlar hem yakıt sarfiyatını azaltacak hem de motor performansını arttırılacaktır. Ayrıca yanma sonrası egzoz gazlarının sahip olduğu enerjiden faydalanmak ekonomik anlamda üreticilere ve tüketicilere çok rahatlık sağlayacaktır. Son zamanlarda bu alanda birçok çalışma yapılmış olup bu çalışmalar gelişime açık bir şekilde devam etmektedir. Otomotivde kullanılan motorlarda atık egzoz gazı sıcaklığından açığa çıkan enerjinin geri dönüşümü başlığı altında yapılan çalışmalar araç yönetim sistemleri ile entegre edilerek bu alanda hem giderleri hem de tüketici rahatlığını olumlu derecede etkilemiştir.

Otomotivde kullanılan İçten yanmalı motorlar pratik çevrimlerde hiçbir zaman çok yüksek verimlere ulaşması beklenemez. Meydana gelen enerji egzoz ve soğutma sıvıları aracılığı ile tahliye edilir. Meydana gelen enerjinin çok yüksek kısmı egzoz ve sonrasında soğutma sıvısı vasıtasıyla bertaraf edilir. Bu anlamda atık ısıyı faydalı enerjiye dönüştürmek son zamanlarda dikkat çeken konulardan biridir. İçten yanmalı motorlarda atık ısının geri kazanımı üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Uzun süredir yapılan bu çalışmalar belli noktalara kadar gelip kısmen başarıya ulaşsa da hala açığa kavuşturulmayı bekleyen birçok problem mevcuttur. Enerji dönüşüm verimliliği, malzeme özellikleri, maliyetler gibi ilk akla gelen sorunlar zamanla aşılabacaktır.

1.1. İçten Yanmalı Motorlu Araçlarda Enerji Geri Kazanımı

Dünya’da enerjisinin geri kazanılması her zaman araştırma konusu olmuştur. Enerjinin ülkeler açısından en önemli güç kaynağı olarak görüldüğü bu dönemde faydalı enerji dönüşümü de bu alanda en çok ilgi duyulan başlıklardan biridir. İçten yanmalı motorlarda ise bu amaçla yapılan çalışmalarda öncelikle yakıt verimliliği ön plana çıkmaktadır. Egzozdan geri dönüşüm, aracın dikey salınımı, atalet enerjisi gibi 3 farklı enerji kazanımı ön plana çıkmıştır.

Araç çalışır durumda iken egzozdan yüksek sıcaklıkta artık gaz hızla dışarıya atılmaktadır. Bu sıcaklık her daim geri kazanıma açıktır. Egzoz gazından termal ve kinetik olarak enerji geri kazanımı yapılabilir. (Buenaventura ve Azzopardi, 2015)

İçten yanmalı motorlarda yakıttaki enerjinin yüzde yetmişi ısı enerjisi olarak atılmaktadır. Isı enerjisinin faydalı enerjiye dönüştürme yöntemleri sayesinde atık ısı makul düzeyde kazanılabilmektedir. Bu kazanım yöntemlerinden ilki TEJ yöntemiyle atık ısı geri kazanım yöntemidir. Bir diğer termal ısı geri kazanım yöntemi rankine çevrimidir.

Termoelektrik jeneratör ile atık ısı geri kazanım sistemlerinde termoelektrik malzemeler kullanılarak oluşturulan jeneratörlerden elektrik enerjisi elde edilmektedir. Araç içi çeşitli elektriksel aksam ve batarya şarjında bu enerji kullanılabilmektedir.

Rankine çevrim yöntemleri bu alanda kullanılırken egzozdaki potansiyel ısı enerjisini mekanik enerjiye dönüştürülmek suretiyle kazanım gerçekleşir. Egzozdaki yüksek ısı bir sıvının kaynamasına neden olarak oluşan buhar ile bir türbini besleyebilmektedir. Türbin mekanik enerji açığa çıkarabilmektedir. Bu enerji elektrik üretimi için ya da güç aktarma sistemlerinde kullanılabilmektedir. Bu şekilde elde edilen enerji geri kazanımının en önemli avantajı verimli olmasıdır. Tork elde etmek için egzoz gazlarının genişlemesine gerek olmadığından motordaki akışı engellemez ve pompa kayıplarını arttırmaz. (Rajoo ve diğerleri, 2014). Bu verimliliği arttıran en temel unsurdur.

İçten yanmalı motorda yanmış artık gazlar çok yüksek hızlarda egzozdan dışarıya salınmaktadır. Bu hızdan kaynaklı oluşan kinetik enerji türbin jeneratörleri yardımıyla geri kazanılabilmektedir. Bu geri kazanım yöntemleri elektrikli turboşarj sistemine kaynaklık eder. (Prasad ve Parameshwari, 2012)

Taşıt gövdesinin dikey salınımı ile ortaya çıkan kinetik enerjinin kazanımı rejeneratif amortisör ile gerçekleşmektedir. Bu amortisörler salınımında açığa çıkan kinetik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürerek bataryanın şarj edilmesinde veya yardımcı elemanların beslenmesinde kullanılmasını sağlamaktadırlar. (Buenaventura ve Azzopardi, 2014).

Araç ataletinden dolayı ortaya çıkan geri kazanım bu enerji dönüşümleri açısından bakıldığında en yaygın olarak kullanılandır. Aracın hızından ötürü açığa çıkan bu atalet aslında hızla doğru orantılı olarak açığa çıkan frenleme gücünün kinetik enerji açığa çıkarma potansiyelini ifade etmektedir. Bu enerjinin bir kısmı saklanabilmektedir. Araç

frenleme yaptıkça kazanılan bu enerji rejeneratif frenleme olarak adlandırılmaktadır. Bu sistemde enerjinin geri kazanımında rol oynayan birçok parça mevcuttur. Bunlar volan, alternatör, pnömatik ve hidrolik parçalar, süspansiyon sistemidir. (Buenaventura ve Azzopardi, 2014).

Süspansiyon sistemi sayesinde araç üzerinde her daim bir yaylanma etkisi mevcuttur. Özellikle frenleme esnasında yayın esneyerek deforme olması ile enerji geri kazanımı gerçekleşir. Fren pedalı bırakıldığında yay tansiyonu üzerindeki baskı kalkar ve süreç başa döner. (Buenaventura ve Azzopardi, 2014).

Hidrolik pnömatik sistemlerde ise enerji bir akışkan basıncını arttırarak depolanır. Pnömatikte hava tanklarda depolanırken hidrolikte sıvı akümülatörde depolanmaktadır. Enerji akış basıncı düşürülerek güç aktarma verimi arttırılır. Yakıt tasarrufu olmasına rağmen aktarma organlarında değişiklikler yapılması gerekir. (Buenaventura ve Azzopardi, 2014).

Volandan enerji kazanım sisteminde ise volan açısal hızı arttırılarak kinetik enerjisi dönme enerjisi olarak depolanmaktadır. Araç yavaşladığı sırada enerji tahrik milinden volana gelmektedir. Volan bu enerjiyi depolamaktadır. Ani hızlanmalarda bu enerjiden destek alınabilmektedir. (Buenaventura ve Azzopardi, 2014).

Bir motor jeneratörü yardımı ile aracın kinetik enerjisi elektriğe dönüştürülerek akülerde saklanabilir. Bu jeneratörden ilki güçlü yada hafif elektrikli olanlardır. İkinci en sık kullanılan çeşidi ise şarj dinamosu kontrol merkezli olan jeneratörlerdir. (Buenaventura ve Azzopardi, 2014).

Güçlü ya da hafif elektrikli jeneratör sistemleri hibrit araçlarda daha sık karşımıza çıkar. Jeneratör frenleme esnasında kazandığı enerjiyi aküye gönderir. (Buenaventura ve Azzopardi, 2014).

Şarj dinamosu kontrol merkezli olan jeneratörlerde ise araç alternatörü çok verimli şekilde kullanılabilir. Alternatör çıkış enerjisi araç hızlanması sırasında azaltılmakta ve elektrik tüketen elemanlar aküden beslenmekte böylece motor gücüne olan talep azalarak yakıttan tasarruf yapılmaktadır. (Buenaventura ve Azzopardi, 2014)

1.2. Literatür Çalışması

(Hussain ve diğ., 2009) hibrit araçlar üzerinde termoelektrik analizler yapmışlardır. Stobart ve Milner otomobillerde termoelektrik jeneratör kullanarak elektrik enerjisi elde edebileceklerini fark etmişler ve bu çalışma sonucunda 1.3 KW güç üretimi elde etmişlerdir.

(Orr ve diğ., 2016) otomobil egzozundan termoelektrik malzemeler yardımıyla elektrik enerjisi üretebilmek için iki kademeleri termoelektrik jeneratör (TEJ) kullanmışlardır. Matematiksel model üzerinde çalışma yaptıktan sonra deneysel olarak bu sistem üzerinde aktif olarak gözlemler yapmışlardır. Altıgen yapıdaki TEJ prototipi 2 kademeli olarak yerleştirilmiştir. İkisi arasında alüminyum plaka bulunmaktadır. Sıcak yüzeyler egzoz sayesinde ısınmakta soğuk yüzeyle soğutma suyu vasıtasıyla soğutulmaktadır. Deney sonucunda sıcak yüzey sıcaklığı 473K olduğu durumda maksimum güç 250W olarak elde edilmiştir.

(Caol ve diğ., 2017) otomobillerde egzoz gazının termoelektrik malzeme (TEM) yardımıyla elektrik enerjisi üretmesi aşamasında yeni bir termoelektrik jeneratör geliştirmiştir. Buna göre Termoelektrik jeneratör, yan yüzeylerinde ısıyı en iyi koruyacak edecek şekilde maksimum değerleri 15° açı olacak şekilde ve 60 mm olarak yerleştirilmiş olan totalde 8 adet ısıtıcı tüp ve toplam 36 tane termoelektrik malzemeden oluşmuştur. Üretilen maksimum elektriksel gerilim 81,09V, güç 13,08W, basınç düşüşü 1657 Pa ve termoelektrik jeneratör çalışma verimi %2,58 olarak saptanmıştır.

(Su ve diğ., 2014) yaptıkları çalışmada termal kapasiteyi yükselterek ısı transferini arttırmaya yönelik bir prototip üzerinde durmuşlardır. Tasarım öncesi akışkanlar dinamiği programı olan (CFD) ile eşanjörün içyapısı ve malzeme kalitesi değiştirilerek simüle edilmiştir. Daha sonra en verimli değeri hesaplayarak bu değere göre tasarımı gerçekleştirmişlerdir. Tasarımda 3 ayrı içyapı mevcuttur. Bunlar dağınık şekilli, kılçık, akordeondur. Eşanjör için pirinç ve demir malzemeleri ayrı ayrı simüle edilmiştir. Bunlar içinde akordeon model en verimli olarak saptanmıştır. Bu saptama sonrası akordeon modelin boyutlarında değişiklik yaparak çalışmaya devam etmişlerdir. 3 farklı akordeon boyut tasarımı yapmışlardır. Boyut küçülüp yüzey alanı azaldıkça termal sıcaklığın arttığını gözlemlemişlerdir. Çalışmada oluşturdukları modelde malzeme cinsi

olarak pirincin daha verimli olduğu kanısına varmışlardır. Yapılan benzetim sonucunda elde edilen veriler ile deneysel sonuçlar karşılaştırıldığında 660x305 mm yüzey alanına sahip akordeon şekilli yapı kullanım için seçilmiştir. Isı eşanjörü ve termoelektrik malzemeler arasındaki ısı dağılımının homojen olması yüksek yüzey sıcaklığı bunda etkili olmuştur.

(In ve diğ., 2015) dizel motora sahip bir araçta egzoz gazı sıcaklığıyla erişmek istedikleri elektrik enerjisini termoelektrik jeneratör verimliliğini arttırıp çalışma şartlarını iyileştirerek deneyler yapmak suretiyle irdelemişlerdir. TEM'lerin ısı transfer özelliklerini analiz ederek deneysel veriler elde etmişlerdir. Yapılan çalışmada TEJ içindeki ısıyı absorbe eden sütunların 3 farklı tasarımını yapmışlardır. Bunlar ileri yönlü üçgen, ters yönlü üçgen ve dikdörtgenler prizması şeklindedir. Önce üçgensel yapıda olan kullanılmıştır. TEM'in ön ve arkasındaki basınç farkını ölçerek analiz yapmışlardır. Egzoz gazı akış miktarı azaldıkça bu basınç farkı artmaktadır. Buna göre egzoz gazı TEM içinde daha uzun kalmaktadır. Bu sürenin uzaması ısı emici içerisindeki atık egzoz gazının ısıyı aktarma potansiyelini yükselttiğini göstermektedir. Sonrasında ısı emici olarak dikdörtgen prizması yapılı olanı kullanarak test yapmışlardır. Dikdörtgen yapılı olanın yüksek iletkenliğe sahip olduğunu gözlemlemişlerdir.

(Karri ve diğ., 2011) Sıkıştırılmış doğalgaz (CNG) ile çalışan spor bir otomobilin egzoz hattına yerleştirilen Bi_2Te_3 (bizmut tellurid) ve QW (kuantum tabanlı) TEJ'lerin çalışmasını irdelemişlerdir. Ortaya çıkardıkları TEJ sistemini bilgisayar ortamında tanımlayarak simülasyonunu yapmışlardır. Spor SUV otomobilin yakıt tasarrufuna katkıda bulundukları gözlemlenmiştir. 100-450 Watt güç elde edilerek %2-2,5 oranında yakıt tasarruf sağladığı tespit edilmiştir.

(Tian ve diğ., 2015) dizel yakıtla çalışan bir motorun egzoz sıcaklığından yararlanarak bölmeli TEJ'in matematiksel modelini ortaya çıkarmışlardır. Bölmeli TEJ ile klasik TEJ'i kıyaslamışlar. Egzoz sıcaklığı, soğuk kaynak sıcaklığı, termokupl uzunluğunun etkilerini araştırmışlardır. Alınan verilere göre bölmeli TEJ yüksek sıcaklıklar için daha verimlidir. Elde edilen güç termokupl uzunluğu ile ters orantılıdır. Ayrıca elde edilen sonuca göre parçalı TEJ daha güvenli olduğu gözlemlenmiş fakat maliyetinin fazla olmasının en büyük dezavantajı olduğu belirtilmiştir.

Temizer (2014) egzoz sıcaklığından elektrik enerjisi elde etmek için bir TEJ prototipi geliştirmiştir. Bir dizel motorun egzoz sistemine bu prototipi yerleştirmiş ve deneyler yapmıştır. Soğutma sisteminde ise radyatörden yararlanmıştır. Prototip sekizgen yapıya sahip alüminyum malzemeden yapılmıştır. Üzerinde 40 adet TEM seri bağlı şekilde konumlandırılmıştır. Sistemin çalışması ANSYS Workbench Fluent programı ile sıcaklık akış analizi yapılmıştır. 3500 dev/dk ve 100Nm yük çalışma şartlarında 156,7 W güç elde edilmiştir. Elde edilen veriler kayıt edilerek karşılaştırma yapılmıştır.

(Wang ve ark., 2016) yaptıkları çalışmada egzozdan termoelektrik modüller yardımıyla elektrik enerjisi elde etme amaçlı tasarladıkları termoelektrik jeneratörün iç yüzeyindeki silindirik olukların kullanılmasını önermişlerdir. Yaptıkları deneyde bu oluklar sayesinde ısı transfer oranını ve türbülans oranını arttırmışlardır.

(Zhao ve ark., 2019) tasarladıkları matematiksel modelde termoelektrik jeneratör üzerindeki sıcak taraftaki sıcaklık miktarını artırma amaçlı bir sistem ortaya koymuşlardır. Ara akışkan termoelektrik jeneratör adını verdikleri bu sistemde egzoz ısının ara akışkan kaynaması ve yoğunlaşması yoluyla aktarılır. Sonuç olarak egzoz hattı ve termoelektrik modül arasındaki fark, sıcak bölümde daha yüksek bir ısı akışına neden olur.

(Vale ve ark., 2017) yaptıkları çalışmada ağır iş makinalarının egzozundan elde edilen atık termal ısıdan elektrik enerjisi elde etmek için 2 farklı ısı eşanjörü konfigürasyonu ortaya koymuşlardır. TEG içi kanatçık yapısı düz kanatçık ve ofset kanatçık olarak tasarlanmış ve verim analizi yapılmıştır. Düz kanatçıkta maksimum verimlilik elde edilmiştir. Ticari araçta 188W ağır hizmet aracında 886W enerji üretilmiştir.

(Şahin ve ark.,2019) Yaptıkları çalışmada bir traktör egzozundan çıkan artık gazların sıcaklığından termoelektrik modüller yardımıyla elektrik enerjisi üretmeyi hedeflemişlerdir. Sistem parametrelerini belirleyip matematiksel bir model oluşturmuşlardır. Modelde termoelektrik malzeme, soğutma ünitesi ve altıgen blok bulunmaktadır. Modelin şartlara bağlı olarak 200W enerji üretmesi amaçlanmıştır.

(Tao Yin ve diğ., 2021) Geliştirdikleri yeni nesil iki aşamalı termoelektrik jeneratör tasarlamışlardır. Klasik tek kademeli TEJ'lere göre yüzde 13,5 daha fazla çıkış gücü

elde edilmiştir. Bu çıkış gücü daha önce yapılan çalışmalara göre çok iyi seviyede olmakla birlikte verim olarak da üst seviyededir.

(Gaurav Sharma ve diğ., 2021) Bir dizel motorun atık ısı geri kazanım performansını kare profilli bir TEJ tasarımı kullanarak deneysel analizler yapmışlardır. 6 kg maksimum yükte 37W güç elde etmişlerdir.

(J. Ximinis ve diğ., 2021) egzoz gazından atık termal enerji kazanımı için farklı bir tasarım TEJ geliştirmişlerdir. EGH-ATEG adını verdikleri bu tasarım hem egzoz gazı NOx emisyonlarını temizlemekte hem de etrafına montajlanan TEG'ler yardımıyla elektrik enerjisi elde etme özelliğine sahiptir.

Egzoz gazlarından elektrik enerjisi elde etmeyi amaçlandığım bu çalışmada ise TEG sistemi yardımıyla atık ısıdan enerji ürettim. Gerçek bir otomobilin egzoz hattı üzerine yerleştirdiğim termoelektrik modülerin sıcak tarafı egzoz hattı sayesinde ısınmakta soğuk tarafı ise harici bir soğutucu radyatörden geçen soğutma suyu yardımıyla soğutulmaktadır. Farklı devirlerde yaptığım ölçümlerde üretilen enerjinin her devir için farklılık gösterdiğini gözlemledim.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Termoelektrik

Isının direk olarak elektriğe dönüşmesi veya elektriğin ısıya dönüşmesi termoelektrik olarak tanımlanır. (Karri., 2005). Uygun olan malzemeler seçilerek termoelektrik etkiler izlenmelidir. İki adet bağımsız yarı iletken materyalin kimyasal metotlarla bir araya gelmesi ile üretilen herhangi bir basit devreden akım geçirilmesi sayesinde yarı iletkenler üzerinde farklı sıcaklıklar oluşmaktadır. Bu sıcaklıklardaki farklılıklar yarı iletkenler de aynı zamanda farklı etkiler oluşturmaktadır. Bu etkiler Peltier, Seebeck, Thompson, Joule ve Fourier etkileri olarak bilinir. Termoelektrik 1800'lü yılların başından beri aktif olarak incelenmekte olan fizik kurallarındandır. Araştırmalar neticesinde bilim insanları maksimum materyal faktörü (ZT) konusuna yoğunlaşmışlardır. Bu faktörde materyalin elektrik ve termal iletkenliğinin hesaba katılması özellikle belirtilmiştir. Bu konu üzerinde çalışan araştırmacılar yıllarca ZT değerinin 1'i geçemeyeceğini düşünmüşlerdir. 1950 yılında Loffe alaşımlı yarı iletkenlerin çok iyi derece termoelektrik özelliklere sahip olduğunu kanıtlamıştır. Daha sonra ev tipi soğutucularda bu yarı iletkenlerin rahatlıkla kullanılabileceğini ifade etmiştir. Son yapılan çalışmalarda en verimli malzemelerin Bi_2Te_3 ve Sb_2Te_3 alaşımları olduğu saptanmıştır. Silistler (Leblanc, 2014) ve tetraheditler (Lu ve Morelli, Nisan 2013) cinsi materyaller bu çalışmalarda fazlasıyla kullanılmaktaydı. Bunun en önemli nedeni uygun maliyetlerdir. Bu malzemelerle alakalı bilgiler tablo 2.1'de gösterilmektedir. (Seshadri Group, 2013) yapılan çalışmadan alınan veriler kullanılarak bu tablo oluşturulmuştur. Burada malzeme verimliliği $600\text{ }^\circ\text{C}$ 'lik ΔT için maksimum ZT katsayısına göre şekillenir. (LeBlanc, 2014) yaptıkları çalışmada malzeme maliyet verilerini hesaplamışlardır. Tablodaki maliyet analizi bu çalışmadan alınmıştır. Malzemeler şu anda aktif ve yaygın şekilde kullanılmadığından maliyet görece fazla çıkabilir. Ancak aksi durumda maliyetler azalacaktır. (LeBlanc, 2014). Üretilen P tipi kobalt oksite benzeyen sınırlı N tipi oksit olduğundan, şu anda oksit malzemeler daha sık tercih edilmekte. Oksit halde olan TEJ sisteminde bilinen en çok ZT değerleri 0,3'tür. Bu değer malzeme özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Değer arttıkça üretilen enerji de artacaktır.

Tablo 3.1 Termoelektrik farklı malzeme verileri(LeBlanc, 2014; Seshadri Group, 2013)

Malzeme Ailesi	Maksimum ZT Değeri	Sıcaklık (°C)	Verimlilik	Ortalama Malzeme Maliyeti (\$/Kg)
Kobalt Oksit	1,4	727	%12	\$345
Klatrat	1,4	727	%12	\$5.310
SiGe	0,86	727	%9	\$6.033
Kalkojenit	2,27	727	%16	\$730
Yarı-Heusler	1,42	427	%17	\$1.988
Skutterudit	1,5	427	%18	\$562
Silisid	0,93	727	%9	\$151

TEJ sistemleri üretim maliyetleri açısından analiz edildiğinde bu girdi maliyetlerinin büyük bir kısmını termoelektrik malzemeler oluşturmaktadır. Tablo 2.1’de görüldüğü gibi termoelektrik materyallerin üretim safhası bütçesi, kömür, doğalgaz, jeotermal ve fotovoltaik gibi diğer teknolojilere nazaran çok yüksek miktarlardadır. Bu arada maliyet analizine özellikle etki eden rakamlar N ve P tipi yarı iletken malzemenin üretilmesi konusunda birkaç varsayıma dayandırılmaktadır.

Küresel otomotiv dünyasında termoelektrik jeneratörlerin pazar büyüklüğünün yakıt verimli araçlara yönelik artan talep nedeniyle her geçen ivme kazanması beklemektedir. Otomobil endüstrisindeki enerji dönüşüm süreci sırasında önemli miktarda ısı israf edilir. Bir termoelektrik jeneratör, bu israfı azaltmak için gerekli katkıyı sağlar. Atık ısıyı, klima, eğlence ve aydınlatma gibi yardımcılara ve araç sistemlerine güç sağlamak için kullanılabilecek bir forma dönüştüren termoelektrik jeneratörler, yakıt kullanımını azaltma konusunda yüksek bir potansiyele sahiptir.

Termoelektrik jeneratörler sadece güvenilir ve uzun ömürlü olmakla kalmaz, aynı zamanda kimyasal bileşen içermemeleri nedeniyle çevre dostu ve sessizdirler. Mekanik bileşenleri yoktur. Silikon, polimerik ve seramik gibi çeşitli alt tabakalardan yapılabilirler.

2.2. Seebeck Etkisi

Sıcaklık farkının elektrik akımına dönüştürülmesi Seebeck etkisi olarak adlandırılır. Seebeck iki farklı metalden yapılmış ve birer uçları birleştirildiğinde metaller arasındaki sıcaklık farkı nedeniyle kapalı biçimdeki bir pusula iğnesinin saptırılabilirdiğini görmüştür. Bunun nedeni metallerin sıcaklık farklılığına farklı tepkiler vermesidir. Pusula iğnesindeki sapma manyetik alandan kaynaklanmıştır. Seebeck ortaya çıkan bu olayı termomanyetik etki olarak adlandırmıştır. Bu metallerin ikisi arasındaki potansiyel fark yine ikisi arasındaki sıcaklık farkıyla aynı oranda artış gösterir. Denklem 2.1’de α_{AB} A ve B telleri arasındaki Seebeck katsayısıdır. ΔT iki bağlantı arasındaki sıcaklık farkıdır.

$$V = \alpha_{AB} \Delta T \quad (2.1)$$

Denklem 2.1’de yer alan ΔT denklem 2.2’deki gibi bulunabilir. T_H ve T_L bağlantının iki arı bölgesindeki sıcaklık farkını göstermektedir. V devredeki voltaj değeridir.

$$\Delta T = T_H - T_L \quad (2.2)$$

Elektromotor kuvvet (emf) sıcak noktadan soğuk birleşme noktasına ısı transferi şeklinde meyle sahipse α pozitifdir. Denklem 2.3’deki α_{AB} , Denklem 2.1’teki gibi A ve B tellerinin Seebeck katsayılarını göstermektedir. Burada α_A , A telinin sahip olduğu Seebeck katsayısını ve α_B B telinin sahip olduğu Seebeck katsayısını ifade etmektedir.

$$\alpha_{AB} = \alpha_A - \alpha_B \quad (2.3)$$

Uygulamada, mutlak Seebeck katsayısı her zaman ölçülemez, bunun nedeni voltmetrorenin her zaman A, B tel malzemeleri arasında bulunan Seebeck’in katsayısını okumasıdır. (Lee, 2010).

2.3. Peltier Etkisi

İki malzeme arasındaki bir bağlantı noktasından elektrik akımı verildiğinde, bir sıcaklık farkı oluşur. Bağlantı noktalarından biri daha soğuk olurken diğer bağlantı noktası daha sıcak olur. Bu etki, Peltier etkisi olarak bilinmektedir. Bu sistem üzerinden doğru akım

geçirildiğinde, bir bağlantı noktasından ısı emilirken, diğer bağlantı noktasından ısı ortaya çıkmaktadır.

$$Q_P = \pi . I \quad (2.4)$$

$$\pi = \alpha . T \quad (2.5)$$

$$Q_P = \alpha . T . I \quad (2.6)$$

Bu denklemde Q_P birim zamanda aktarılan ısı miktarını (W), I devreden iletilen doğru akım (A), π peltier sabiti (V) ve α seebeck katsayısını, T mutlak sıcaklık göstermektedir. Peltier ısıtma ile peltier soğutma ısı ve elektrik arasında ters orantı mevcuttur. Bu sayede ısıtma soğutma işlemi sırasında enerji kaybı olmaz.

Dışardan herhangi bir kaynaktan gönderilen elektrik gücü yükseltirse elektronların sistemin iç kısmında hareket etme kabiliyeti de bununla doğru orantılı olarak artış göstermektedir. Sıcak yüzey ve soğuk yüzey arasındaki ısı transfer miktarı da bununla doğru orantılı olarak artacaktır. Bu artış fazla oldukça sıcaklıklar arası fark da o kadar yüksek olacağından üretilen enerji o kadar fazla olacaktır.

2.4. Thomson Etkisi

Thomson etkisi, uzunluğu boyunca sıcaklık farkı tek bir homojen malzemeden oluşan bir devreden elektrik akımını geçtiğinde ısının oluşması veya emilmesi olayıdır. Bu etki sırasında sıcaklık farkı ve zaman arttıkça akım şiddeti de artış gösterir. O nedenle Thomson etkisinde özellikle kullanılan materyallerin yapısı büyük önem taşır.

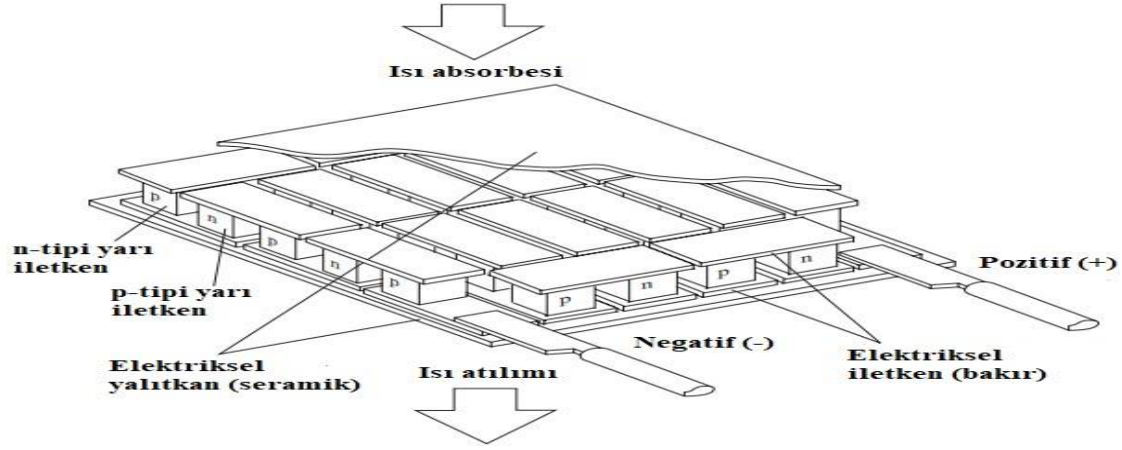
$$Q_T = \iota . \Delta T . I \quad (2.7)$$

Thomson ısı denklem 2.7' de olduğu gibi hesaplanmaktadır. Bu eşitlikte Q_T Thomson ısısını (W) gösterirken, I letken üzerinden geçen elektrik akım şiddetini (A), ΔT iletken uç noktaları arasındaki sıcaklık farkını ($^{\circ}C$), ι Thomson katsayısını göstermektedir.

Thomson etkisine göre sıcaklık farkının yanında zaman kavramı da çok önemlidir. Zaman arttıkça da enerjinin artması beklenir. Malzeme özellikleri burada en önemli noktalardan biridir.

2.5. Termoelektrik Modül

Termoelektrik modül İki farklı yarı iletken maddenin birleşmesi ile oluşturmaktadır. P şeklindeki ve N şeklindeki yarı iletkenler olarak adlandırılan iki materyalin seri ve daha sonra paralel olarak bir araya gelmesiyle termoelektrik modül oluşur. Bu madde çiftlerinin seri ve paralel bağlanmasıyla termoelektrik modül oluşur.



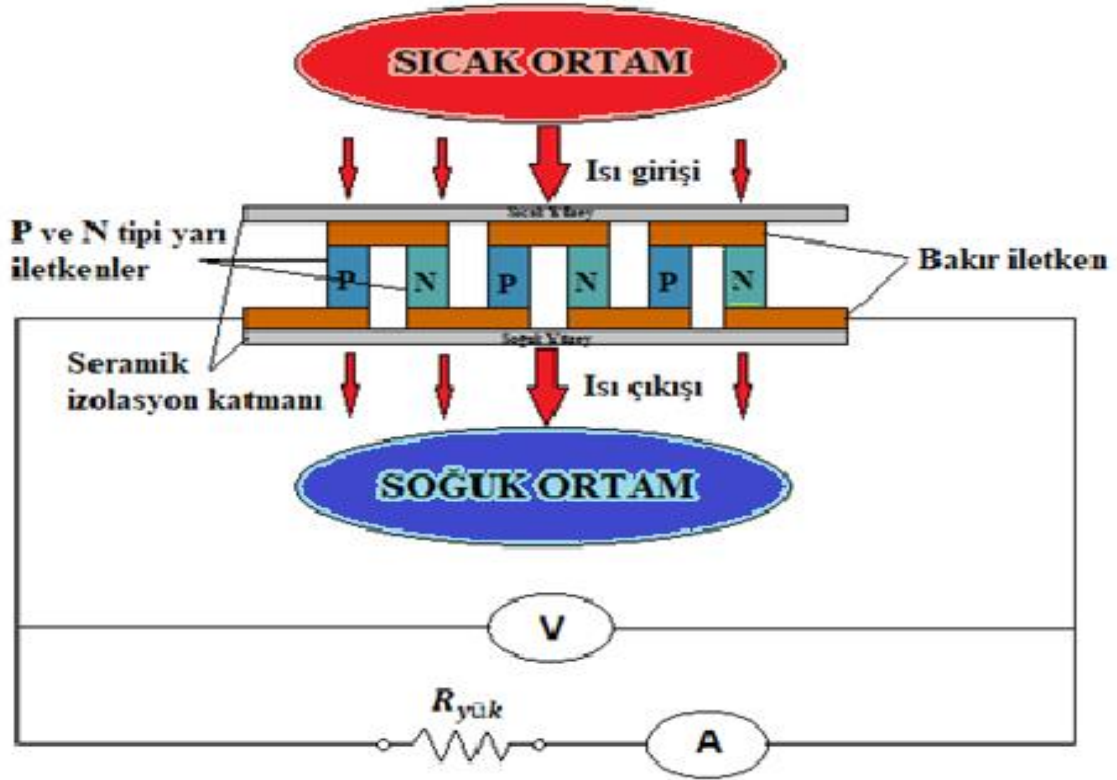
Şekil 2.1 Termoelektrik modül kesit görüntüsü (Lee, 2010)

Termoelektrik malzemeleri oluşturan farklı materyaller vardır. Bu malzemeler termoelementler, seramik tabakalar ve elektrik iletken kablolar olarak sınıflandırılır. Termoelektrik elemanlar, seramik alt tabakalar arasında bulunmaktadır. Elektrik üretim işlemi bu elemanlar aracılığıyla sağlanır. Seramik malzemeden olan alt tabaka ise dışta ki yüzeyden koruma amacıyla kullanılır. Bunun yanı sıra termal iletkenliği çok iyidir. Seramik malzemeler içinde en yaygın olarak kullanılanı alüminyum oksittir.

2.6. Termoelektrik Jeneratörler

Çok sayıda termoelektrik malzemenin bir araya gelmesinden termoelektrik jeneratörler oluşur. Seebeck etkisiyle jeneratör olarak kullanılabilir. Termoelektrik modüller genel olarak üç ana elemandan meydana gelir. Bunlar ısıtma bloğu, soğutma bloğu ve termoelektrik modüldür. Termoelektrik modüllerin dış yüzleri arasında bir sıcaklık farkı ortaya çıktığında ısı sıcak bölgeden soğuk bölgeye doğru hareket ederek jeneratörde bir doğru akım meydana gelir. Termoelektrik jeneratörden elde edilen güç çeşitli parametrelere bağlı olarak değişir. Bunlar sıcaklık farkı, malzeme özelliği ve yük

direnci değeridir. Yarıiletken malzemelerin özelliğine ve harici yük direncinin değerlerine bağlıdır. Termoelektrik jeneratör sistemi bu deneyde egzozdan atılan ısı enerjisinin bir miktar geri kazanımı söz konusudur. Bu sayede yakıt tüketimi olumlu yönde etkilenmişken çevre kirliliği de bir miktar engellenmiştir.



Şekil 2.2. TEJ elektrik devresi (Ahıska ve Mamur. 2011)

2.7. TEJ Sisteminde Enerji Dönüşüm Verimliliği ve Akım

Termoelektrik jeneratöre yük verildiğinde elde edilen güç ($\dot{W}$) Formül (2.8)'deki gibi ifade edilmektedir. Bu formülde R_L yük direnci ve I elde edilen akımını göstermektedir. (Lee, 2010).

$$\dot{W} = I^2 R_L \quad (2.8)$$

Termoelektrik jeneratör termal verimliliği, eşitlik 2.9'da görüldüğü şekliyle ifade edilir. (Lee, 2010).

$$\eta_t = \frac{w}{Q_h} \quad (2.9)$$

Eşitlik 2.8 ve 2.9'dan yararlanarak ısı verimlilik eşitlik 2.10'da olduğu gibi yeniden ortaya koyulmuştur. Eşitlikte R termoelektrik malzemenin iç direncini gösterirken, T_H sıcak dış yüzey sıcaklığını, T_C ise soğuk dış kısım sıcaklığı göstermektedir. (Lee, 2010).

$$\eta_t = \frac{I^2 R_L}{\alpha T_h 1 - \frac{1}{2} I^2 R + K(T_h - T_C)} \quad (2.10)$$

Soğuk bağlantı bölgesinden gönderilen ısı (Q_C) termodinamiğin birinci kanundan yararlanılarak hesaplanmaktadır. Eşitlik 2.11'de bu bağlantı verilmiştir. Q_H sıcak bölgeden alınan ısıyı ortaya koymaktadır. (Lee, 2010).

$$Q_C = Q_H - W \quad (2.11)$$

Termoelektrik jeneratörden elde edilen açık devre gerilimi (V_{OC}) Eşitlik 2.12'deki hesaplanmaktadır.

$$V_{OC} = I (R_L + R) \quad (2.12)$$

V_{OC} 'nin Seebeck denklemiyle ortaya koyulması eşitlik 2.13'te ifade edilmiştir. (Lee, 2010).

$$V_{OC} = \alpha \Delta T \quad (2.13)$$

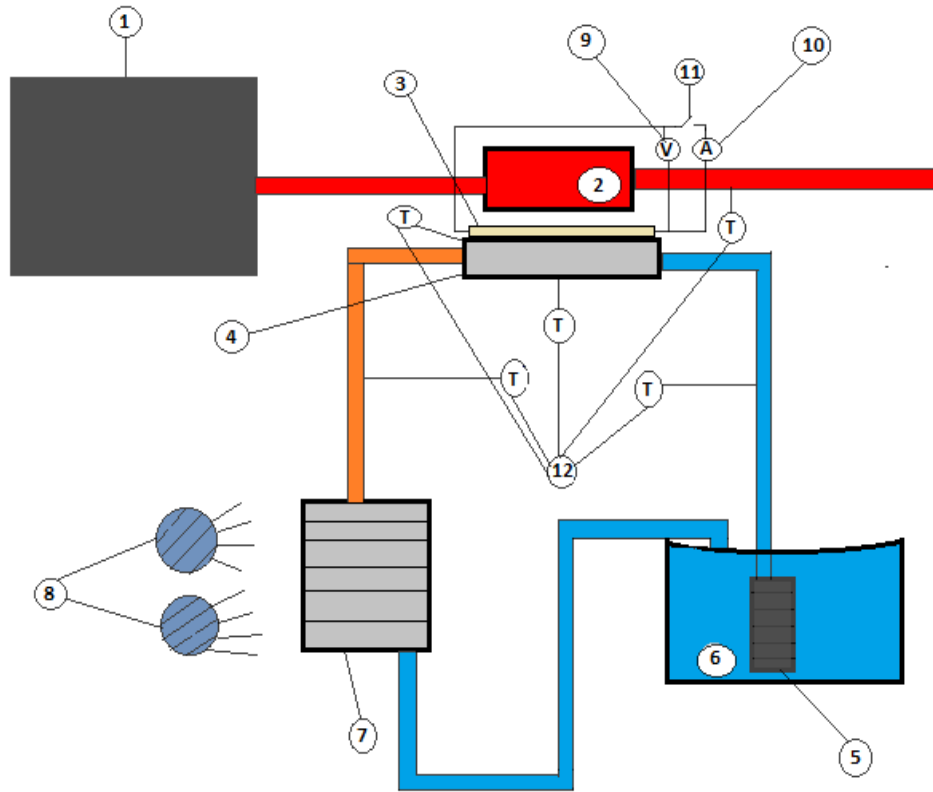
Eşitlik 2.13'te soğuk ve sıcak yüzeyler arasındaki sıcaklık farkı formülize edilmiştir.

$$\Delta T = T_h - T_C \quad (2.13)$$

TEJ'den elde edilen akım şiddeti (I) eşitlik 2.14teki olduğu gibi ifade edilmiştir. (Lee, 2010).

$$I = \frac{\alpha(T_h - T_C)}{(R_L + R)} \quad (2.14)$$

2.8. Deney Düzenineğinin Şematik Görüntüsü



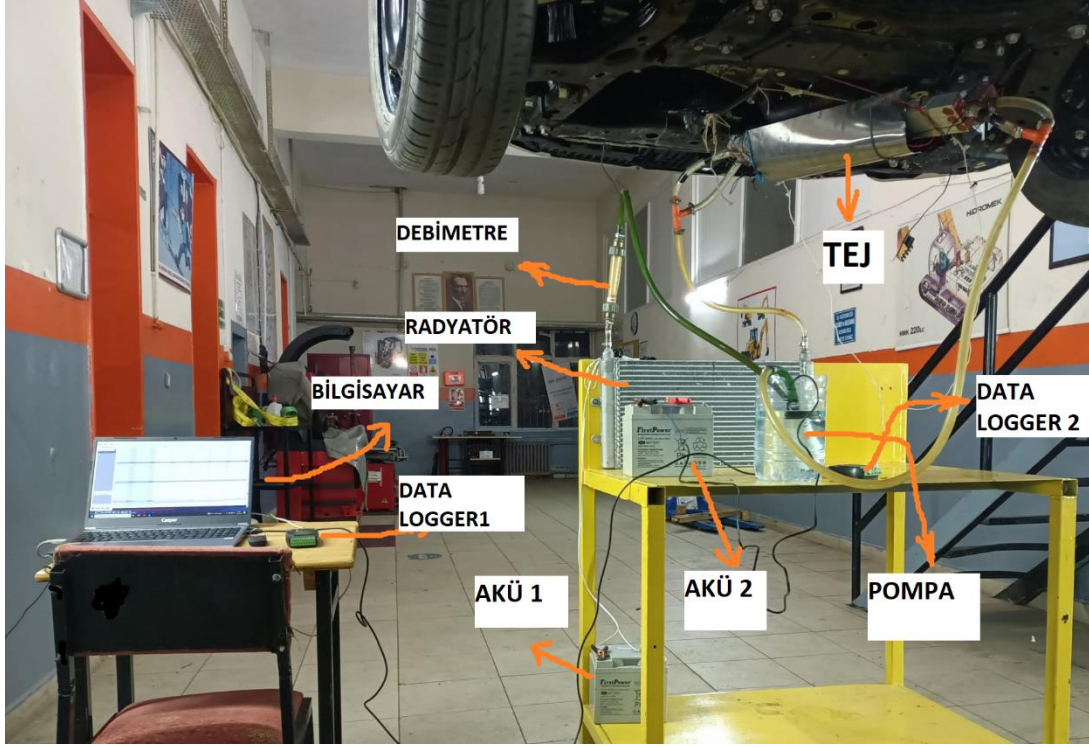
Şekil 2.3. Deney Düzenekinin Şematik Görseli

- 1) Benzin ile Çalışan Motor
- 2) İlk Bölüm Susturucusu
- 3) Termoelektrik Materyal
- 4) Soğutma Bloğu Malzemeleri
- 5) Sıvıyı Döndüren Pompa
- 6) Su Havuzu
- 7) Kondansör
- 8) Fanlar
- 9) Voltmetre
- 10) Ampermetre
- 11) Seçici Anahtar
- 12) Termokupllar

İki boyutlu çizimle şekil 2.3’de deney düzeneğinin genel görüntüsü verilmektedir. Motordan yanma sonrası açığa çıkan artık gazlar egzoz borusunun sıcaklığını artırarak ilk susturucunun alt bölgesinde bulunan termoelektrik modüllerin bağlı olduğu soğutma bloklarının sıcaklığını yükseltmektedir. Soğutma bloğunda sabit olarak konumlanmış termoelektrik modüllerin sıcak olan yüzeyi ısınırken, soğuk olan yüzeyi ise soğutma suyu nedeniyle soğumaktadır. Bu kapsamda ortaya çıkan farklı sıcaklıklarda dolayı elektrik enerjisi meydana gelmektedir. Soğuk su radyatörden su haznesine doğru yol alırken, sonrasında pompa yardımı ile soğutma bloğu içine aktarılır. Soğutma suyu ilk soğutma bloğundan sonra ikinci soğutma bloğuna geçerken, çıkışta anında sıcaklığı yükseltilmiş bir şekilde tekrar radyatöre gider. Sistem kapalı bir döngü halinde olarak kendini tekrar eder.

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. Deney Prototipinin Tanıtılması



Şekil 3.1. Deney prototipinin genel görüntüsü

Bu çalışma Kartepe M. T. A. L motor bölümü mekanik şasi atölyesinde uygulamalı olarak yapılmıştır. Toyota Corolla benzin motora sahip otomobil 1,6 litre motor hacminde olup 132 hp gücünde ve manuel şanzımanlı bir deney aracıdır. Sistemde, egzoz manifoldu çıkışına bağlanan termoelektrik jeneratör susturucunun altına sabitlenmiştir. Termoelektrik modüller, sıcak yüzeyi egzoz borusu görececek biçimde sabitlenirken, soğuk yüzey ise soğutma bloğunu görececek şekilde sabitlenerek soğutma bloklarını görececek şekilde sabitlenerek soğutma bloklarının bulunduğu bölgeye monte edilmiştir. Ayrıca termal macun kullanılarak iletkenlik düzeyi artırılmıştır. Radyatör çıkışında suyun debisini ölçmek amacıyla, debimetre kullanılırken güç kaynağı olarak 12V'lu aküler kullanılmıştır. İlk akü sıvı pompasını harekete geçirirken, iki numaralı akü ise radyatörün arka kısmında sabitlenmiş durumda olan 2 adet soğutma fanına

hareket kazandırma amaçlı kullanılmıştır. Alınan verileri kaydedip bilgisayar ortamına aktarmak amaçlı Dali08 programı kullanılmıştır.

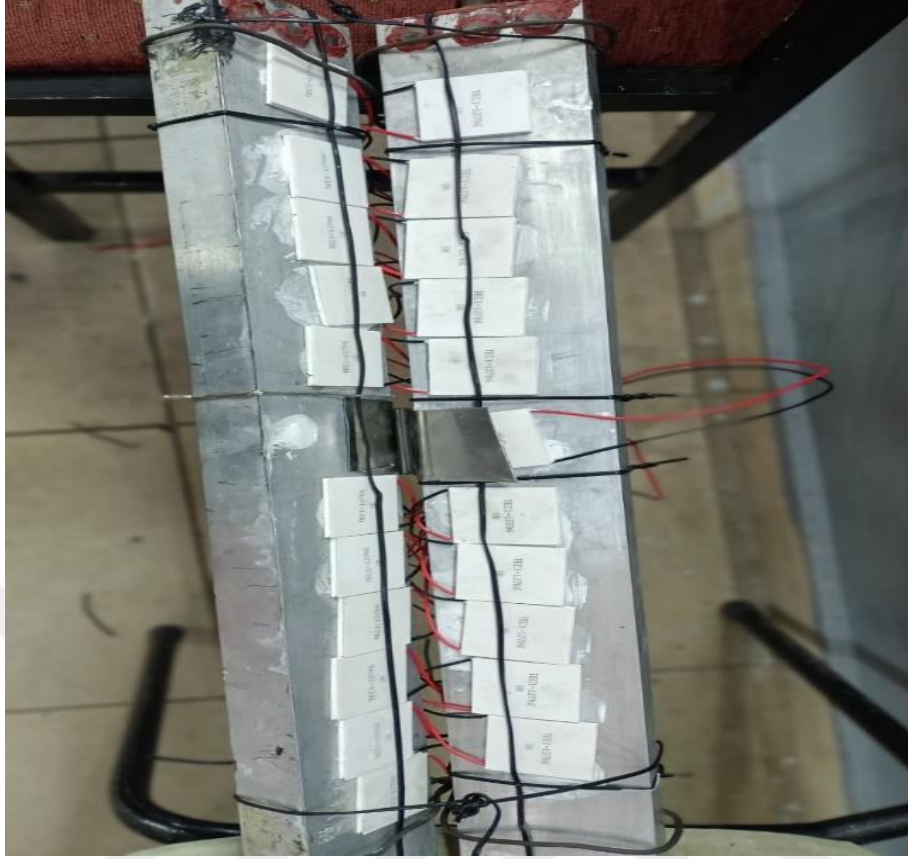
3.1.1. Termoelektrik Jeneratör (TEJ)

Termoelektrik jeneratör birden fazla termoelektrik modülün bir araya gelerek bir sistem içerisinde ısıdan elektrik enerjisi elde etme işlemine yarayan bir nevi ısı eşanjörleridir. Termoelektrik jeneratörler, p-tipi ve n-tipi olmak üzere iki temel bağlantıdan oluşan katı hal ısı bileşenleri olan cihazlardır.

P-tipi bileşenler, daha pozitif yüklü taşıyıcılara sahip olacak şekilde katkılanır, böylece pozitif bir Seebeck katsayısı sağlar. Benzer bir şekilde, n-tipi bileşenler daha negatif yüklü taşıyıcılara sahip olacak şekilde katkılanır, böylece negatif bir Seebeck katsayısı türü sağlar. TEJ'ler uzun ömürlü olmaları, yüksek dayanıklılığa sahip yapıları, çevre dostu olmalarıyla termal kazanımlarla elde edilen güçlerin test ve analizlerinde fazlasıyla kullanılmaktadırlar. Ayrıca bu cihazlar üzerinde yapılan çalışmalarda özellikle son yıllarda farklı kullanım alanlarına göre farklı tasarımlar dikkat çekmektedir. Kullanım alanlarına göre farklılık gösteren boyutlarda tasarlanabilen termoelektrik jeneratörler termoelektrik malzemelerden oluşmaktadır. Termoelektrik jeneratör Seebeck etkisiyle gerilim üretir. Yarıiletken ayakların içinde bulunan elektron ve delikler yükü taşıyan elamanlardır. Sıcaklık alanı içinde bulunan elektron ve delikler aktif şekilde sıcak taraftan soğuk tarafa hareket halindedirler.

TEJ'ler, otomobil üzerindeki şarj dinamosu güç yükünü hafifletmek için floresan aydınlatma araçlarında, pompalarda, fanlarda veya kontrol mekanizmalarına güç sağlamak için kullanılabilirler. Gaz yakıtlı ısıtıcılara yerleştirilmişlerdir. Ayrıca başka bir tasarım çeşidinde küçük reaktörlerde ve küçük yakıcılarda test edilmiştir. Taşınabilir elektronik cihazlar bunların başında gelir. Ayrıca sensör ağ düğümleri için kullanılan küçük güç kaynakları olarak montelenmiş ve düşük enerjiye sahip elektrokimyasal bataryalar ile yakıt hücrelerine alternatif olmuşlardır.

Termoelektrik malzemelerin bir araya gelmesiyle oluşan termoelektrik jeneratörler bu malzemelerin belirli yöntemlerle bir araya gelmesiyle farklı verimlerde çalışırlar.



Şekil 3.2 Termoelektrik jeneratör

TEJ sistemi üzerine Şekil 3.2.'de görüldüğü gibi 22 adet termoelektrik modül seri olarak bağlanmıştır. Soğutma bloğu üzerinde seri bağlı termoelektrik modüllerin sıcak yüzeylerinin hemen üst kısmından egzoz borusu geçmekte ve sıcak yüzeyin sıcaklığını arttırmaktadır. Termoelektrik modüllerin termal macun ile alüminyum bloklara yapıştırılmış haldeki soğuk yüzeylerinin ise içinden soğutulmuş su geçen soğutma bloklarının etkisiyle sıcaklığı düşmektedir. Sıcak yüzey ve soğuk yüzey arasında sıcaklık farkından dolayı Seebeck etkisi gerçekleşmekte elektrik enerjisi elde edilmektedir. Burada termal macun iletkenliğin artmasında önemli rol oynamıştır. Termoelektrik jeneratör yapı itibari ile V şeklindedir. Bunun temel nedeni ısıyı muhafaza etmektir. Bu şekildeki termoelektrik jeneratör etrafı alüminyum sac yardımıyla sarılarak sıcak yüzey sıcaklığının düşmesi engellenmek istenmiştir.

Jeneratör her daim yüksek sıcaklıktan korunmak istenmiştir. Sıcaklık malzemelere zarar verebilir. Bu çalışma için çok önemlidir.

3.1.2. Sıvı Pompası



Şekil 3.3. Sıvı pompasının genel görünümü

Deneyde Gross marka dalgıç tip sıvı pompası kullanılmıştır. Dakikada 25 litre su aktarma kapasitesine sahiptir. Pompa çapı 50 mm olup 3 m yüksekliğe su basma kapasitesine sahiptir. Pompa radyatörden gelen sıcaklığı düşürerek suyu tekrar TEJ sistemine gönderir. Su haznesine gelen suyun pompa yardımıyla devir daimî sağlanır. Pompanın çalışması için 12V gerilim yeterlidir. Şekil 3.3’de genel görüntüsü görülmekte olan su pompasının 7A akım çektiği görülmüştür.

Sıvı olmadan çalıştırıldığında çabuk arıza veren bu pompalarda en önemli nokta deney anında pompanın kesinlikle sıvı olmadan kullanılmasını engellemektir. Deney sırasında özellikle buna dikkat edilmiştir.

Pompa pompalama yeteneği açısından gayet başarılı performans vermiştir. Bu performans deney için önemli bir etkidir.

3.1.3. Radyatör ve Fanlar



Şekil 3.4. Radyatör ve soğutma fanları

Deney seti üzerinde şekil 3.4’de olduğu gibi bir adet binek otomobil radyatörü ve 2 adet soğutucu fan bulunmaktadır. Radyatörün su kapasitesi 1.6 litredir. Deneyde 6 litre şebeke suyu kullanılmıştır. Fanlar 12V gerilim ile çalışmaktadır. Radyatör fanların da etkisiyle suyun sıcaklığını düşürür. Ayrıca sistemde dolaşan sıvının debisini gözlemlemek için bir adet mekanik şekilde çalışan debimetre pompa çıkışına yerleştirilmiştir. Bu debimetre aracılığıyla sistem içerisinde devir daim yapan sıvının debisinin 350L/h olduğu gözlemlenmiştir. Debimetre bu tarz çalışmalarda sistem verimliliğinin hesaplanmasında kullanılabilir. Debimetre ile sistem içerisinde dönen sıvının debi analizi yapılmıştır. Bu en debi analizi verim noktasında doğru analizler yapmaya yardımcıdır.

3.1.4. TEM (Termoelektrik Malzeme) Özellikleri

Tablo 3.1. Termoelektrik Malzeme Özellikleri

Tip	TECI-12706
Hücre Sayısı	127
Akım (A)	6
Voltaj (V)	15,2
Maksimum Soğutma Potansiyeli(W)	56,5
Soğuk Yüzey ile Sıcak Yüzey Arası Max Sıcaklık Farkı (K)	68
Referans Sıcaklık Değeri(K)	300



Şekil 3.5. Termoelektrik malzeme (TEM)

Deneyde kullanılan termoelektrik malzemelerin genel özellikleri, Tablo 3.1’de verilmiştir. TEC1-12706 malzemesi fiyatına göre kaliteli performans vermektedir. Sıcak yüzey ve soğuk yüzey arasında farkın en çok olduğu değerlerde verim maksimum seviyeye ulaşır. Yüksek sıcaklık malzemeye zarar verebilir. Bu noktaya özellikle dikkat edilmelidir. İyi bir soğutma bu konuda çok önemlidir. İçinde 127 adet hücre bulunan bu TEM’lerin 45x40 mm ebatlarına sahiptir. Şekil 3.5’de termoelektrik malzemenin genel görünümü verilmiştir. Bir artı bir eksi kutbu olan malzemenin kablo uzunluğu 150 mm’dir. Sıcak yüzey ile soğuk yüzey arasındaki sıcaklık farkı 68K geçmeyecek şekilde ayarlanması gerekir. Aksi halde TEM’ler zarar görecektir.

3.1.5. Data Logger



Şekil 3.6. Data logger

Yapılan çalışmada 2 adet Ordel UDL 100 marka data logger kullanılarak, deney sonucu ortaya çıkan verilerin bilgisayar ortamına aktarılması sağlanmıştır. Birinci data logger ile sıcaklık verileri alınırken ikinci data logger ile voltaj verileri alınmıştır. Bilgisayara

aktarım sırasında dali08 programı kullanılmıştır. İki kaynaktan gelen veriler anlık olarak kaydedilmiş ve grafik haline dönüştürülmüştür.

3.2. Deney Aracı Genel Özellikleri

Deney otomobili olarak 1.6lt motor hacmine sahip Toyota Corolla seçilmiştir. Aracın detaylı özellikleri tablo 3.2’de gösterilmiştir. Tabloda görüldüğü gibi araç benzinli manuel şanzımanlıdır. Bu tarz çalışmalarda dizel motorlu araçlar belki daha verimli sonuçlar verebilir ancak benzin motorlu araçlarla yapılan çalışma sayısının yeterli seviyede olmadığı düşünüldüğünden özellikle benzin motor tercih edilmiştir.

Atmosferik motora sahip aracımız 160NM tork kapasitesine ve 132hp motor gücüne sahiptir. Yüksüz halde yapılan testler sonucu veriler alınmıştır. Bunun nedeni deney aracımıza zarar gelmesini istememizdir.



Şekil 3.7. Deney aracı genel görünümü

Tablo 3.2. Deney otomobili genel özellikleri

Yakıt Tipi	Benzin
Modifikasyon (Motor)	1.6 Valvematic 132 hb
Şanzıman Türü	6 ileri manuel
Maksimum Hız	200 km/saat
Emisyon Şekli	Euro 5
Güç	132 hp 6400 dev/dk
Tork	160 NMm
Silindir Miktarı	4
Sıkıştırma Oranı	10,7
Motor Tipi	Atmosferik Motor
Valf Şekli	DOCH- Valvematic
Dingil Uzunluğu	2700 mm

Deney otomobili şekil 3.7’de görüldüğü gibi sedan binek otomobildir. Dingil mesafesi 2700 mm olan otomobil Euro 5 emisyon standartlarına sahiptir.

3.3. Matematiksel Yöntem

P-n tipi yarı iletken olan termoelektrik modüller birbirine elektriksel ifade ile seri bağlanmıştır. Bu nedenle p-n şekli yarı iletkenler kendilerini elektriksel ifade ile etkilenmeyeceklerdir. Termoelektrik materyalin sadece bir p-n bacak çiftinin Seebeck’in katsayısı, p-tipinde yarı iletkenine sahip Seebeck katsayısı (α_p) ve n-tipi yarı iletkenine ait Seebeck’in katsayısı (α_n) formülleri eşitlik 3.1’de gösterildiği gibi hesaplanır.

$$\alpha_{pn} = (\alpha_p - \alpha_n) \quad (3.1)$$

Burada termoelektrik modülün Seebeck sayısının (α_{tem}) hesaplanabilmesi için denklem 3.2 kullanılır ve burada (n_{pn}), TEM’de ne kadar p-n bacak çiftinin var olduğunu gösterir.

$$\alpha_{tem} = n_{pn} \cdot \alpha_{pn} \quad (3.2)$$

Termoelektrik Jeneratör (TEJ) içerisinde ne kadar modül olduğuyla doğru orantılı bir şekilde modüllerin toplam Seebeck değeri (α_{tej}) eşitlik 3.3’de gösterilmiştir.

$$\alpha_{tej} = \alpha_{tem} \cdot N_{mod, par} \cdot N_{mod, ser} \quad (3.3)$$

Burada P şeklinde ki termoelektrik materyalin elektriksel yönden öz direnç değeri (r_p), p şekli yarı iletken materyalin elektriksel öz direnç (p_p), p-n bacak çiftlerinin uzunluğunun değeri (L_{pn}) ve p şekli yarı iletken materyalin kesit alanı (A_p) değerleri göze alınarak eşitlik 3.4 sayesinde hesaplanabilmektedir.

$$r_p = p_p^{L_{pn}/A_p} \quad (3.4)$$

Formül 3.5 kullanıldığında bir tane p-n termo-çift bacağının elektriksel yönden direnç hesaplaması (r_{pn}) yapılabilir.

$$r_{pn} = r_p + r_n \quad (3.5)$$

r_{pn} sembolü için bulunan değer TEM’ün sahip olduğu bacak çiftleri sayısı (n_{pn}) ile denklem 3.6’de ifade edildiği gibi bulunursa sonuç olarak termoelektrik modülün toplam elektriksel yönden direnç değeri (r_{tem}) bulunur. Denklem 3.7’de ki formülle ifade edildiği gibi bu değer toplam termoelektrik modül sayısı ile çarpılırsa termoelektrik jeneratör sisteminin toplam elektriksel yönden direnç değeri (r_{tej}) hesaplanabilir.

$$r_{tem} = n_{pn} r_{pn} \quad (3.6)$$

$$r_{tej} = r_{tem} \cdot N_{mod, par} \cdot N_{mod, ser} \quad (3.7)$$

TEM’in Seebeck sayısı (α_{tem}) ve p-n bacakları üzerindeki sıcaklık farkı ΔT_{te} ’ye bağlı olarak elde ettiği açık devre gerilim değeri ($V_{oc, tem}$) eşitlik 3.8 ile bulunabilir.

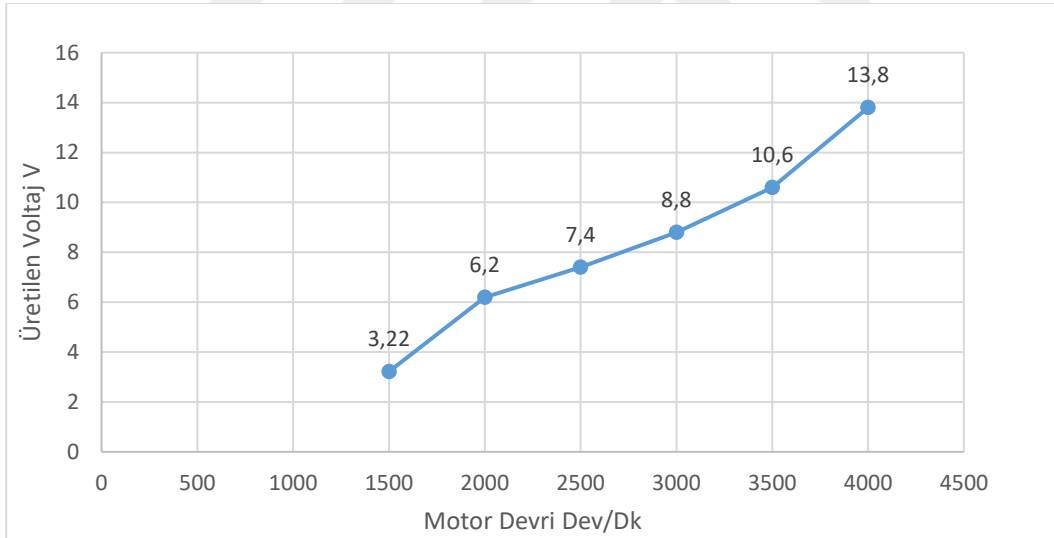
$$V_{oc, tem} = \alpha_{tem} \cdot \Delta T_{te} \quad (3.8)$$

Termoelektrik jeneratörün sahip olduğu Seebeck katsayısı (α_{tej}) ve p-n bacakları üzerinde bulunan sıcaklık farkı değeri ΔT_{te} 'ye bağımlı olarak elde ettiği açık devre gerilim değeri ($V_{oc, tej}$) eşitlik 3.9 ile hesaplanabilmektedir.

$$V_{oc, tej} = \alpha_{tej} \cdot \Delta T_{te} \quad (3.9)$$

Termoelektrik jeneratörün içindeki direnç (r_{tem}) ve termoelektrik jeneratörün sahip olduğu gerilimin ($V_{oc, tej}$) sayesinde ve termoelektrik jeneratörün akım şiddeti değeri (I_{sc}) formül 3.10 ile bulunabilir.

$$I_{sc} = V_{oc, tej} / r_{tem} \quad (3.10)$$



Şekil 3.8. Matematiksel metot ile elde edilen gerilim parametreleri

Şekil 3.8’de matematiksel yöntemle elde edilen gerilim değerleri gösterilmektedir. Ölçüm yapılan her motor devrinde ulaşılan maksimum sıcaklık yüzey sıcaklığına bağlı hesaplanan gerilim değerlerine göre yukarıdaki grafik çizilmiştir. Buna göre yapılan deneyde krank mili dönüş hızının maksimum seviyede olduğu 4000 dev/dk’da teorik olarak üretilen gerilim 13,8V’dur. Yine yapılan hesaplamalara göre minimum gerilim değeri deneyin en düşük dönüş hızına sahip motor devri olan 1500 dev/dk’dır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Test öncesi deney motoru bir süre çalıştırılmıştır. Burada amaç deney motorunun çalışma sıcaklığına gelmesidir. Deney otomobili yüksüz halde 1500, 2000, 2500, 3000, 3500, 4000 dev/dk çalıştırılarak ölçümler alınmıştır. Bu ortamda her bir motor dönüş devri için egzoz atık gaz sıcaklıkları, soğutma suyu giriş çıkış sıcaklık değerleri, TEJ yüzey sıcaklık değerleri, elde edilen gerilim ve akım değerleri gözlemlenmiştir.

TEJ sistemi ilk denemede egzoz hattı üzerinde katalitik konvertörden hemen sonra son susturucu tarafına konumlandırılmıştır. Burada yapılan ölçümler sonucunda istenen sıcaklığın alınmadığı gözlemlenmiş ve TEJ sisteminin konumunun değiştirilmesi gerektiği kanısına varılmıştır. Ayrıca başlangıçta 9 adet kullanılan TEM'lerin sayısı artırılarak 22'ye yükseltilmiştir. TEJ konumu son durumda egzoz manifoldu çıkışında alt bölümde ilk susturucunun bulunduğu bölgeye konumlandırılmıştır. Burada egzoz sıcaklığı fazla olması ve artırılan TEM sayısı sayesinde sistemden alınan verimin gözle görülür bir şekilde yükselmesi sağlanmıştır. TEJ ilk susturucunun hemen alt kısmında yaklaşık 6mm mesafeli olacak şekilde sabitlenmiş ve üst kısımdan alüminyum sac yardımıyla egzoz borusu da dâhil olmak üzere etrafıca sarılmıştır. İlk susturucu veya egzoz borusunun direk TEJ ile temasından kaçınılmasının nedeni termoelektrik malzemelere zarar gelmesinin önüne geçmektir. Soğutma bloklarının üst kısmına sabitlenen TEM'lerin sıcak yüzeyi egzoz sıcaklığı ile ısınmakta olup soğuk yüzeyi ise soğutma bloğu tarafından soğutulmaktadır.

Yüksüz halde yapılan testlerde her bir devir parametresinde sıcaklık değerlerinin yükselmesiyle TEJ'den elde edilen enerjinin arttığı gözlemlenmiştir. Son ölçüm yapılan devir olan 4000 dev/dk'da sıcaklıkla doğru orantılı olarak maksimum voltaj elde edilmiştir.

Enerji artışı gözlemlenen termoelektrik materyaller gözlemlendiğinde yüzeyler arası sıcaklık farkının fazla olduğu anlar göze çarpmaktadır. Fazla sıcaklık farkları fazla enerji oluşumunu etkiler. Ancak burada temel nokta yüksek sıcaklıktan kaçınmaktır. Özellikle bu noktaya dikkat etmek gerekir.

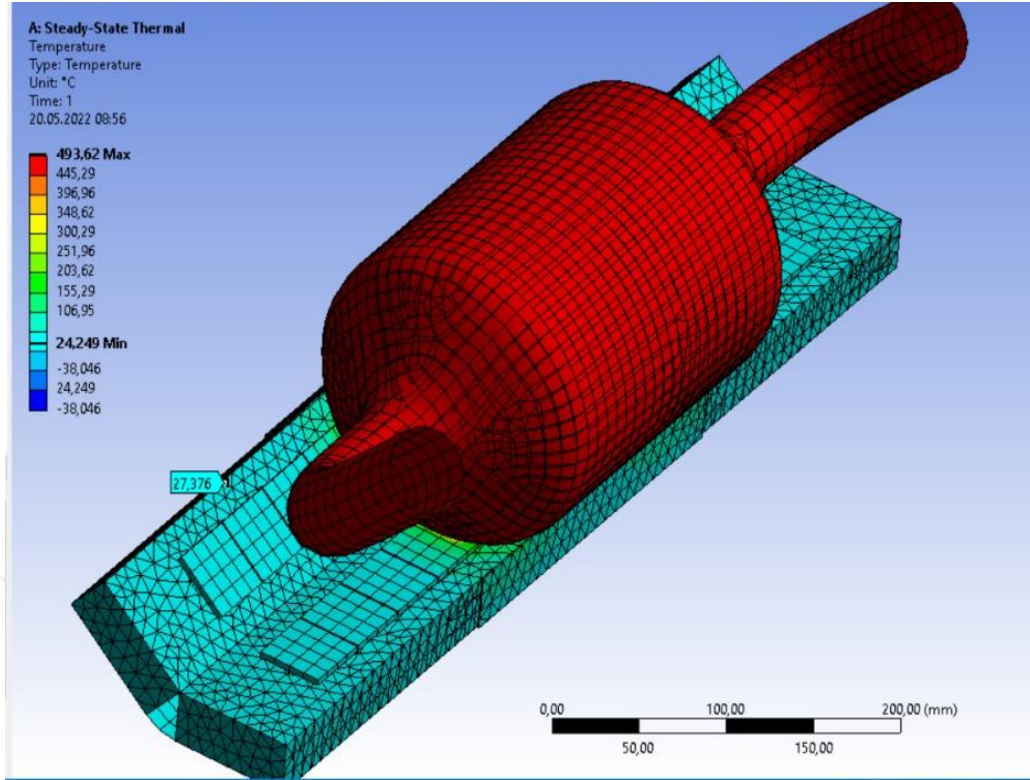
4.1. Egzoz Gazı İçin Isı Eşanjörü Akış Analizi

Katı modelleri oluşturulan termoelektrik jeneratörün ısı akış analizi ANSYS 2020 programında akış analizi gerçekleştirildi. Sonlu elemanlar yöntemi ile parça modellendi. Her elamanın köşelerinde düğümler vardır. Hesaplamalar bu düğümler üzerinde gerçekleştirildi. Düğümlenme gerçekleştikten sonra egzoz ve alüminyum levha içerisindeki konveksiyon tanımlandı. Akışkan içindeki akımlar vasıtası ile ısı transfer edilir. Akışkan, içindeki veya akışkanla sınır yüzey arasındaki sıcaklık farkından ve bu farkın yoğunluk üzerinde oluşturduğu etkiden doğabilmektedir.

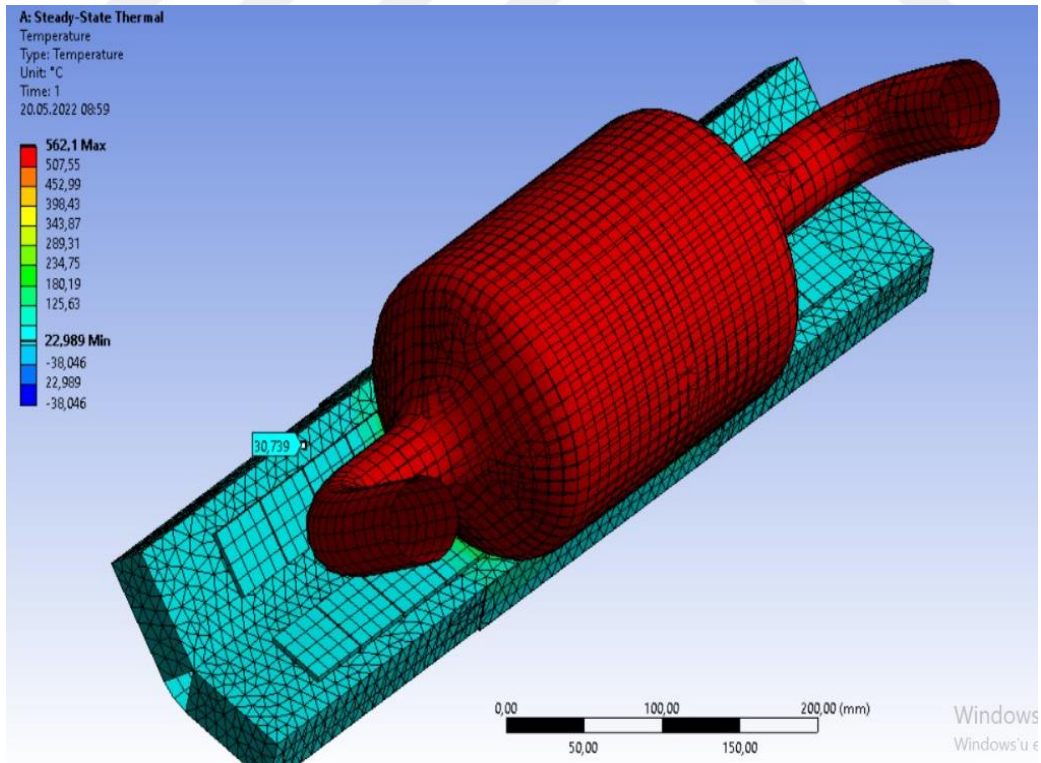
Bu akış analizinde termoelektrik Seebeck etkisi hesaplama formülleri bünye denklemleri olarak kullanılmıştır. Gerçekte bu etkiden faydalanarak elde edilen elektrik enerjisinin teorik ortamda matematiksel olarak modellenmesiyle gerçekte teorik model arasında kıyaslama yapılmıştır.

Araç atölyede lift üzerinde ölçümler yapılmıştır. Bu ölçümler kaydedildi. Radyatör girişi ve çıkışındaki soğutma sıcaklığı ölçüldü. Bu ölçümler doğrultusunda benzinli bir motorun çalışma sıcaklığı aralığı araç yüksüz olduğu için 1500 devirden başlayıp her devre uygun kabuller yapıldı. Ölçülen soğutma suyu sıcaklığı değerleri de girildikten sonra analize başlandı. Aracımız rölanti devrinde on dakika çalıştıktan sonra radyatörden gelen soğutma suyu sıcaklığı ve alüminyum levhanın sıcak yüzünün sıcaklığı ölçülmüştür. Ölçüm sonrası alınan bilgiler kullanılıp analiz sistemi kurulmuştur. Deneysel olarak yapılan sistemler ile hem analiz sistemi kuruldu hem yapılan analiz teyit edildi. Deneyde kullanılan malzemelerde herhangi bir bozunum veya akma gözlemlenmedi. Her bir motor devri için ortaya çıkan yüzey sıcaklık dağılımları aşağıdaki şekillerde detaylı olarak gösterilmiştir. Şekiller incelendiğinde deney ortamında gerçekleştirilen pratik yöntem ile bilgisayar ortamında gerçekleştirilen matematiksel yöntem verilerinin birbirine yakın olası dikkat çekmektedir.

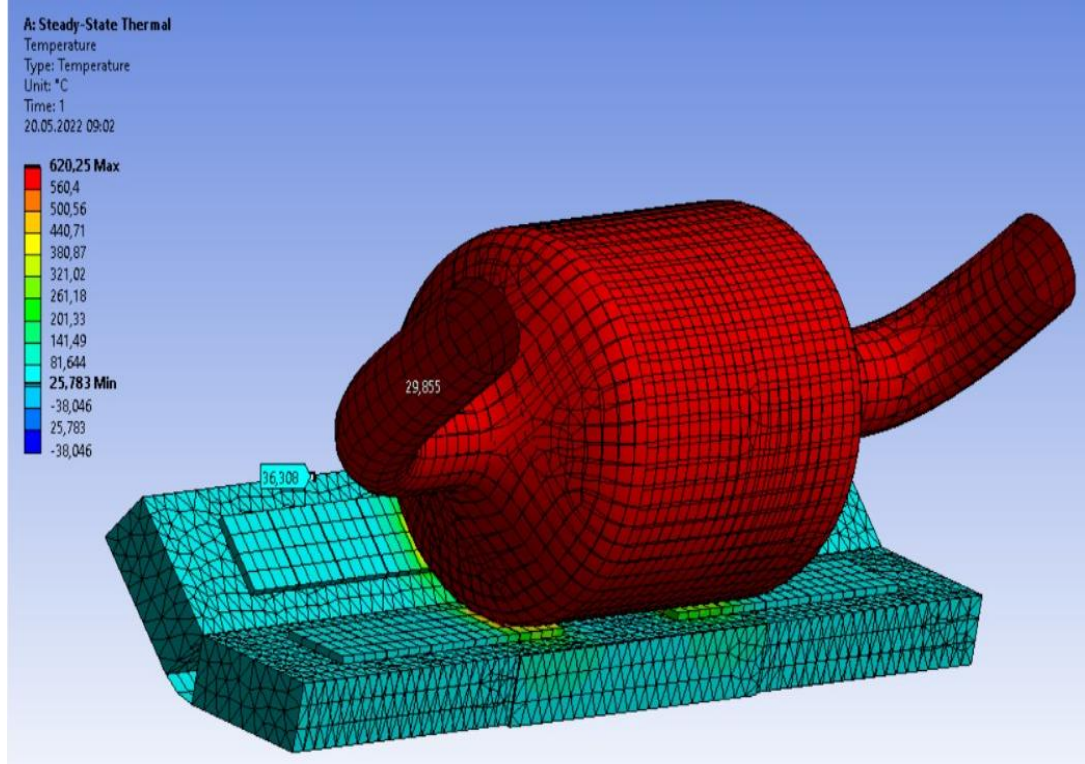
Analizler detaylı incelendiğinde yüzeysel anlamda egzoz borusuna yakın olan termoelektrik malzemelerin daha fazla ısındığı görülmektedir. Bu sıcaklık artışı elektrik enerjisi üretimini de arttırmaktadır. Sıcaklığın azaldığı egzozdan uzaklaşılan noktalardır. Bu noktalarda ise enerji üretimi çok daha düşüktür.



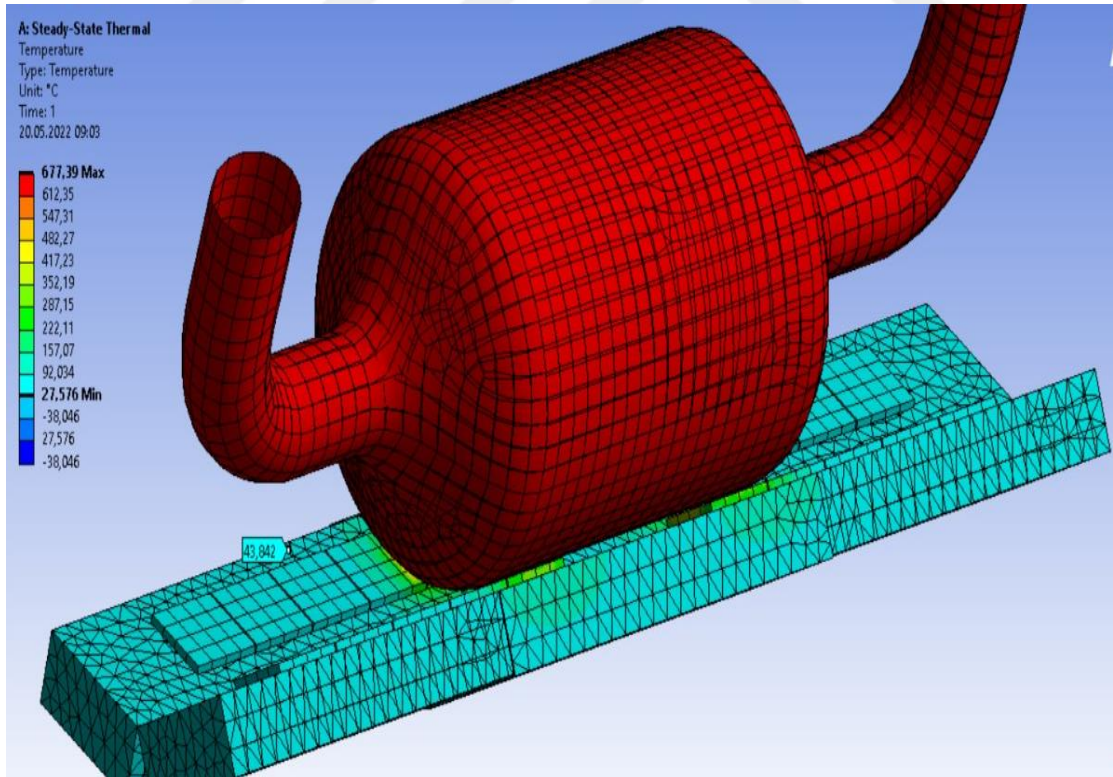
Şekil 4.1. 1500 dev/dk'da ısı akışına göre sıcaklık dağılım grafiği



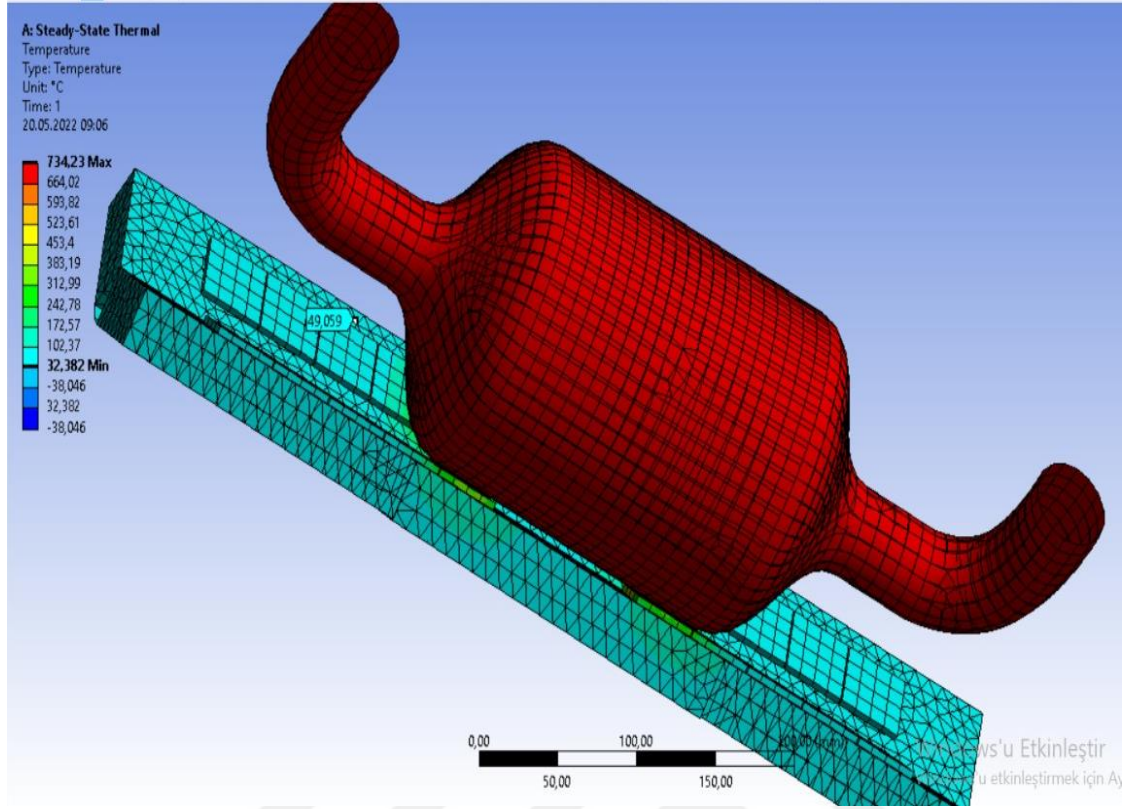
Şekil 4.2. 2000 dev/dk'da ısı akışına göre sıcaklık dağılım grafiği



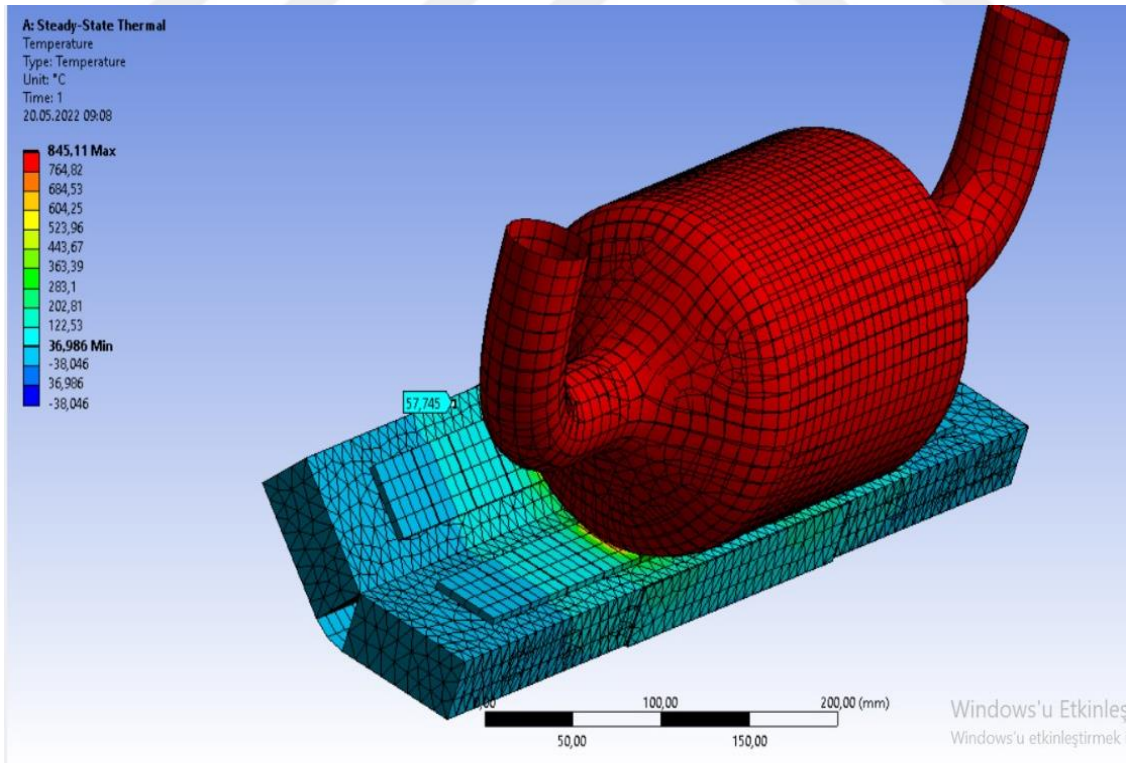
Şekil 4.3. 2500 dev/dk'da ısı akışına bağlı sıcaklık dağılım grafiği



Şekil 4.4. 3000 dev/dk'da ısı akışına bağlı sıcaklık dağılım grafiği



Şekil 4.5. 3500 dev/dk'da ısı akışına bağlı sıcaklık dağılım grafiği



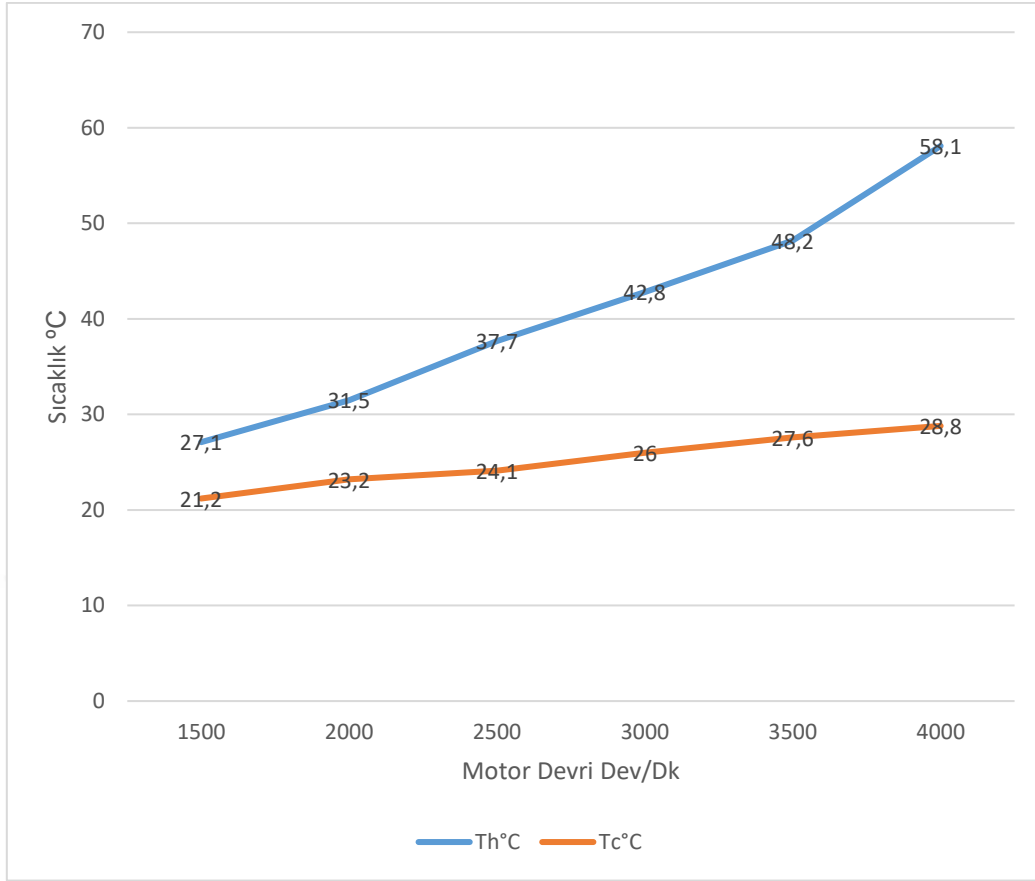
Şekil 4.6. 4000 dev/dk'da ısı akışına bağlı sıcaklık dağılım grafiği

Aracımız yüksüz durumda iken rölanti devrinde on dakika çalıştırıldıktan sonra yeniden ölçülen değerler kullanılıp analiz oluşturuldu. Daha sonrasında yapılmış olan yüzey sıcaklıkları ölçümü ile analiz teyit edildi. Aracımız yine yüksüz durumda dört bin devirde on dakika çalıştırıldıktan sonra analizi tamamlandı. Kamyonetlerimizde sıcaklık sonucu oluşabilecek yapısal sorunlar ile karşılaşılmaı. Şekil 8’de 1500 devrindeyken maksimum egzoz iç sıcaklığı 493 °C sıcaklığın minimum olduğu değeri ise 24 °C’dir. Bu devir üretilen elektrik enerjisi miktarı da en düşük devir olarak göze çarpmaktadır. Şekil 9’da 2000 devir ile döndürülen krank mili motorun ısınmaya başladığı devir olarak kendisini göstermektedir. Maksimum egzoz iç sıcaklığı 562 °C olmakla birlikte termoelektrik malzeme başlangıç yüzey sıcaklığı 30 °C’dir. Şekil 10’da krank milinin 2500 devirle döndüğü anda egzoz sıcaklık dağılımı gösterilmiştir. Maksimum egzoz iç sıcaklığı 620 °C’dir. Şekil 11’de 3000 devirde dönen motorun maksimum egzoz iç sıcaklığı 677 °C’dir. Bu değerde elektrik üretim miktarı ciddi artış eğilimindedir. Şekil 12’de 3500 devir ısı akışı analiz edilmiştir. Maksimum sıcaklık 734 °C’dir. Şekil 13’de motor 4000 devir çevirirken egzoz sıcaklığı da analizin maksimum değerine çıkmıştır. Bu devirde 845 °C değeriinde bir sıcaklığa ulaşılmıştır. Bu değerde elektrik üretim miktarının maksimum olduğu gözlemlenmiştir.

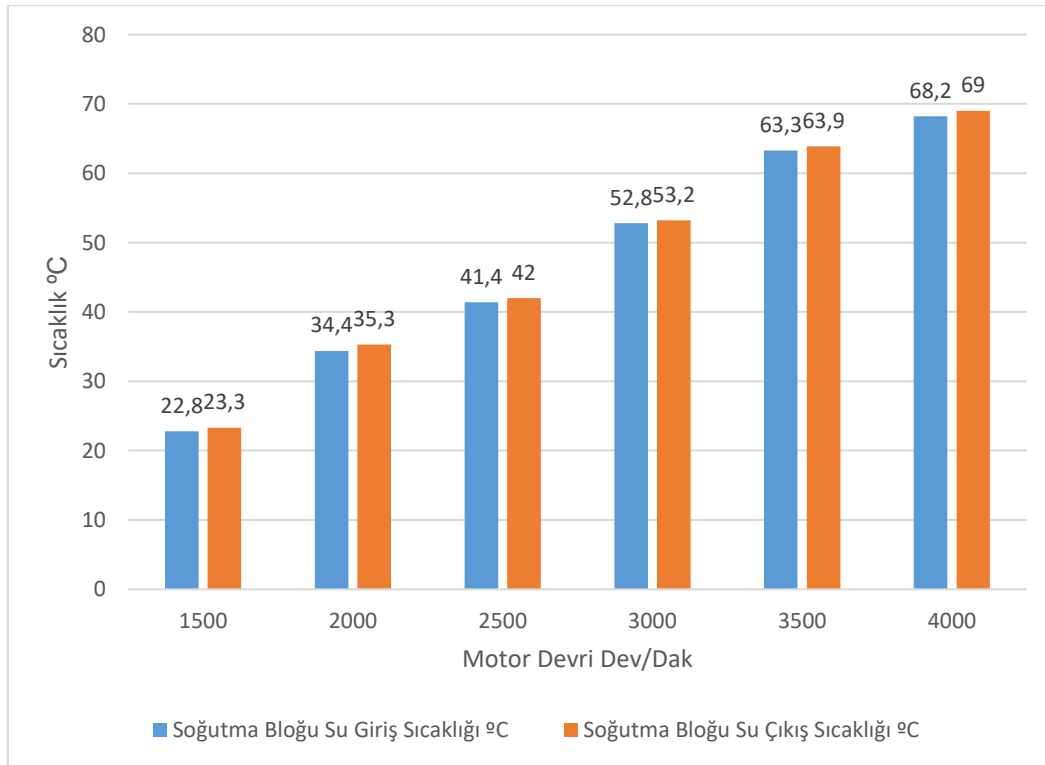
4.2. Deneysel Bulgular

Deney düzeneğinde motor yüke sokulmadan farklı devirlerde çalıştırılmış ve ölçümler yapılarak kıyaslanmıştır. Şekil 4.1’ de eşanjör yüzey sıcaklıkları gösterilmiştir. T_h °C sıcak yüzey sıcaklığını ifade ederken T_c °C ise eşanjörün soğuk yüzeyinin sıcaklığını ifade etmektedir. 4000 devir/dk’da maksimum sıcak yüzey sıcaklığı 57,1 °C olarak ölçülmüştür.

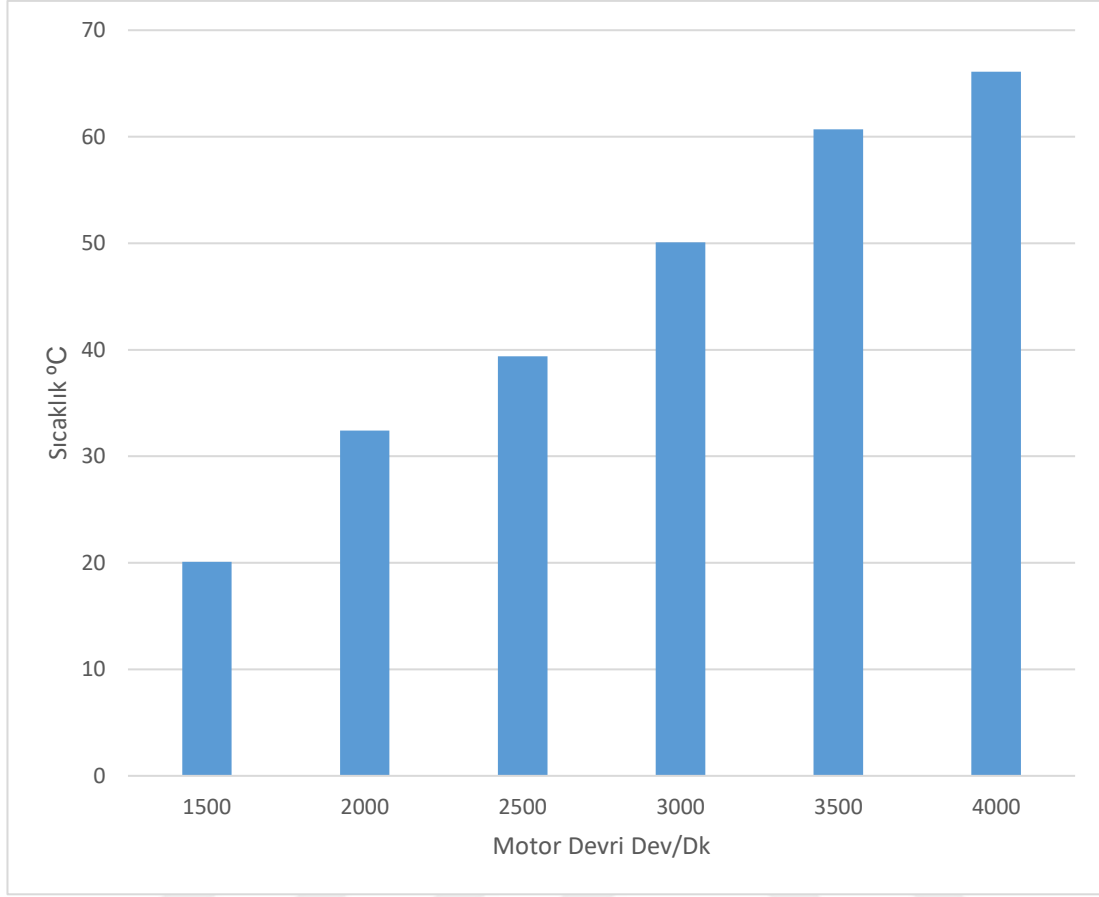
Motor devrinin artması ve çalışma süresiyle de doğru orantılı olarak ölçümü gerçekleştirilen bu maksimum devirde maksimum sıcaklık elde edilmiştir. Soğuk yüzey sıcaklığı ise yine motor devriyle doğru orantılı olarak artış göstermiştir. Burada soğutma sisteminin sorunsuz çalışması sayesinde TEM’lerin zarar görmesi engellenmiştir. Motor devri arttıkça ısınan soğutma bloğunun sıcak yüzeyiyle beraber soğuk yüzeyinde sıcaklık artışı olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.7. Sıcak yüzey ile soğuk yüzeyin motor devrine göre ısı grafiği



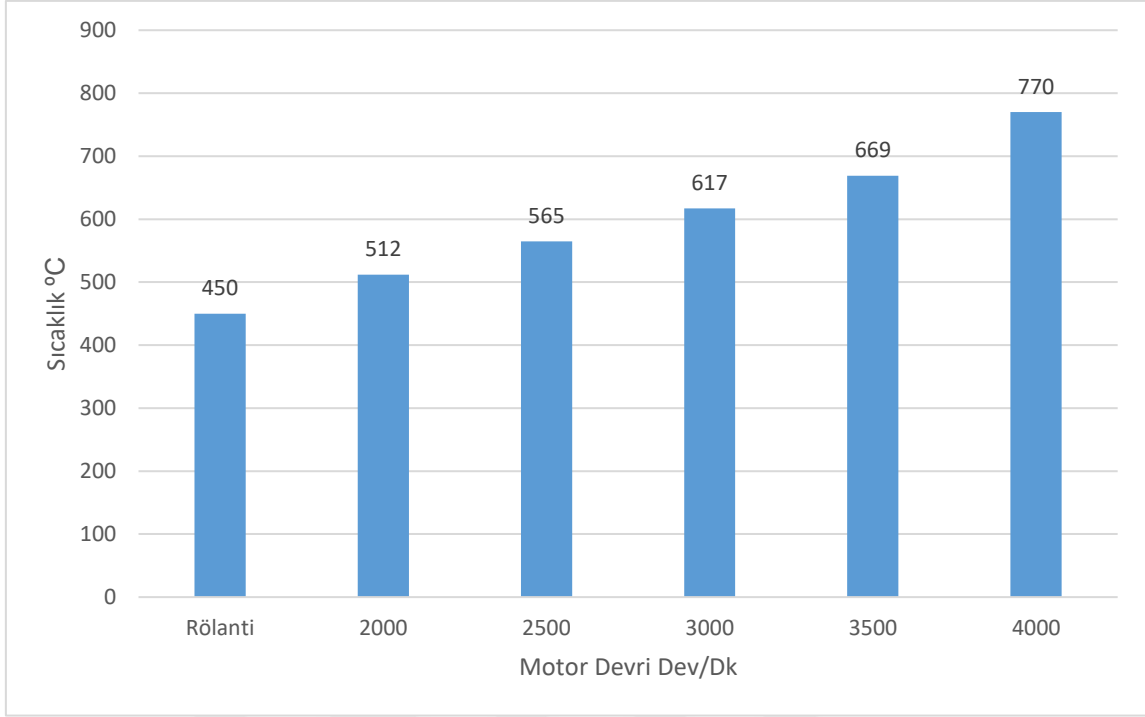
Şekil 4.8. Soğutma bloğu su giriş ve su çıkış maksimum sıcaklıkları



Şekil 4.9. Radyatör su çıkış sıcaklığı

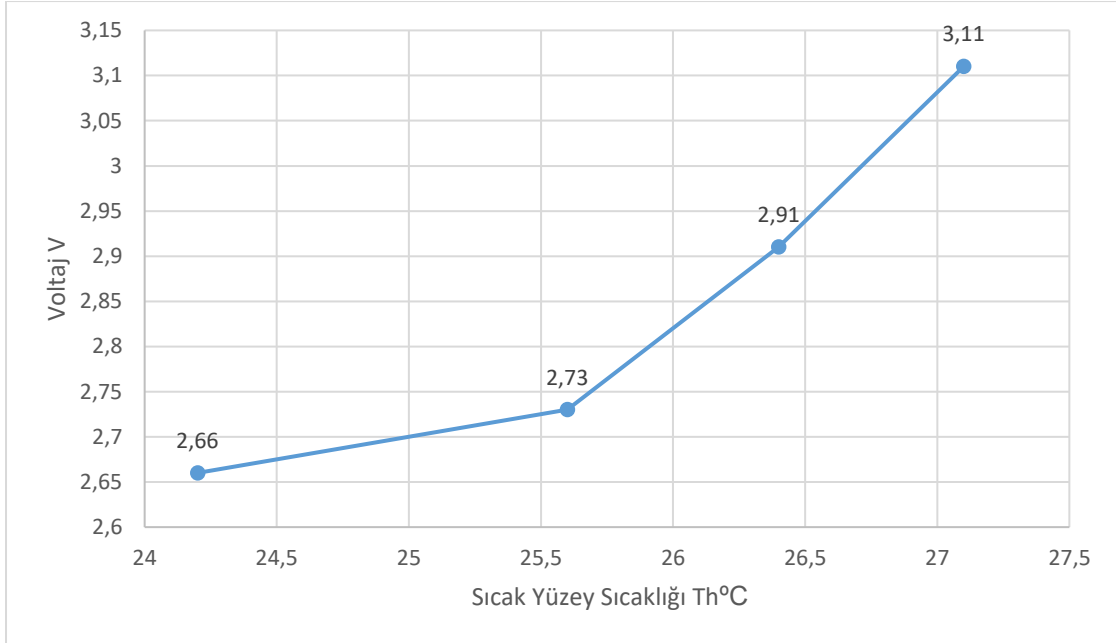
Soğutma bloğuna giren soğutma suyu ısı transferi ile sıcaklığı yükselerek çıkış yapar. Şekil 4.8’de bu motor devirlerine göre soğutma sıvısının sisteme giriş ve çıkış sıcaklıkları görülmektedir. Her devirde motor bir süre çalıştırılarak o devrin maksimum sıcaklık değerleri alınmıştır. 1500 dev/dk 22,8°C giriş sıcaklığına sahip olan soğutma sıvısı soğutma bloğu çıkışında 23,3°C sıcaklığına sahiptir. Yine 4000 dev/dk’da alınan ölçümlere göre 68,2 giriş sıcaklığı ve 69°C çıkış sıcaklığı ile maksimum soğutma sıvısı sıcaklığını görmüştür.

Şekil 4.9’de soğutma bloğundan çıkıp radyatöre gelen soğutma sıvısının radyatör çıkış sıcaklıkları görülmektedir. Radyatörün peteklerinden geçerken hacimce genişleyen ve yine radyatör arkasındaki soğutma fanları yardımıyla sıcaklığı düşürülen soğutma sıvısı tekrar pompaya ve oradan sisteme basılır. Rölantide 20,1°C olan radyatör çıkış sıcaklığı 66,1°C ile en yüksek sıcaklığı 4000 dev/dk’da görmüştür.



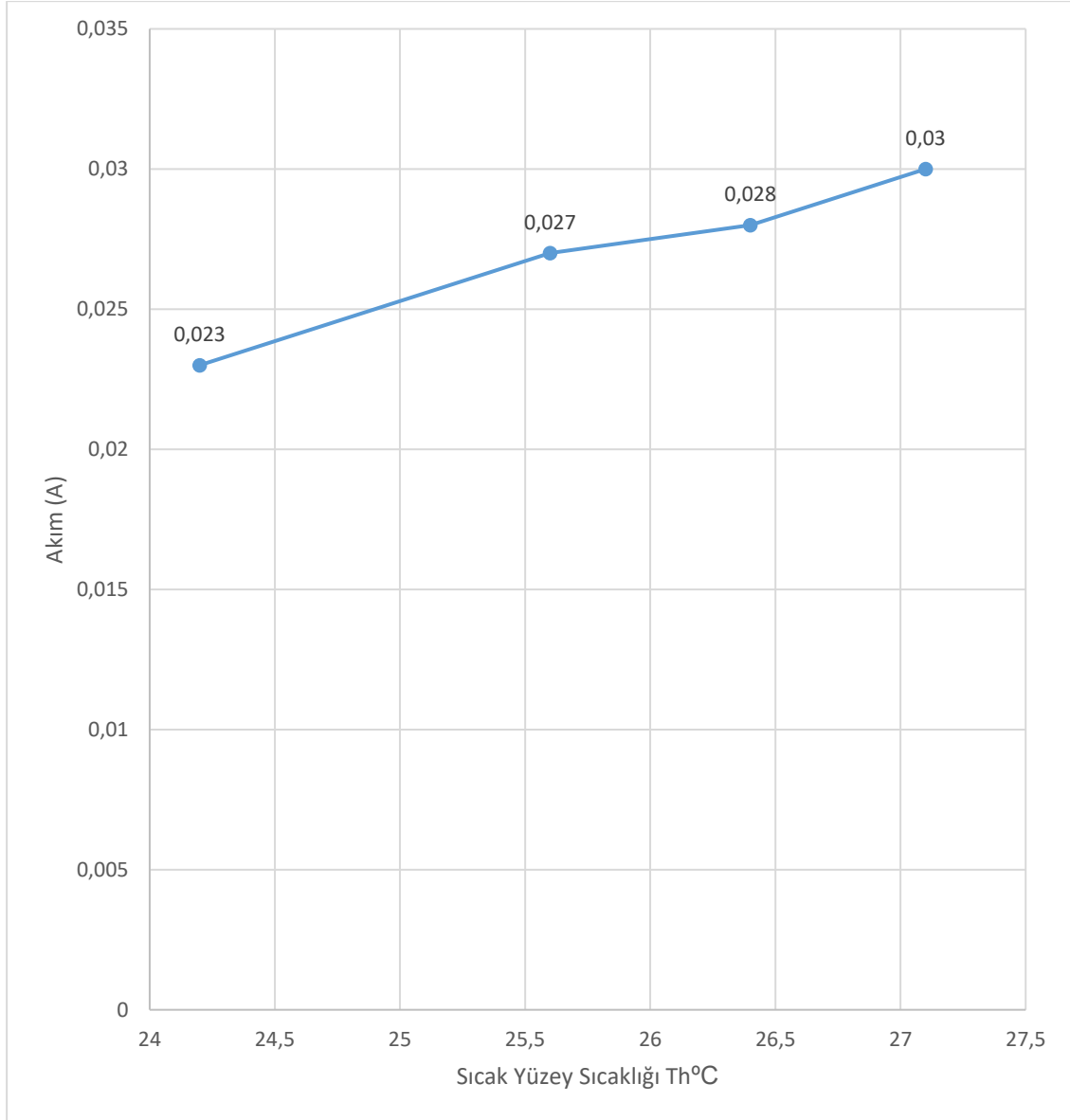
Şekil 4.10. Motor devirlerine göre egzoz sıcaklık değerleri

Egzoz sıcaklık değerleri motor devirlerine göre analiz edildiğinde en yüksek devirde en yüksek egzoz sıcaklığının olması beklenen bir durumdur. Şekil 4.10'de en 4000 dev/dk'da 770°C egzoz sıcaklığına ulaşıldığı görülmektedir.



Şekil 4.11. Yüzey sıcaklığına göre üretilen gerilim (1500 dev/dk)

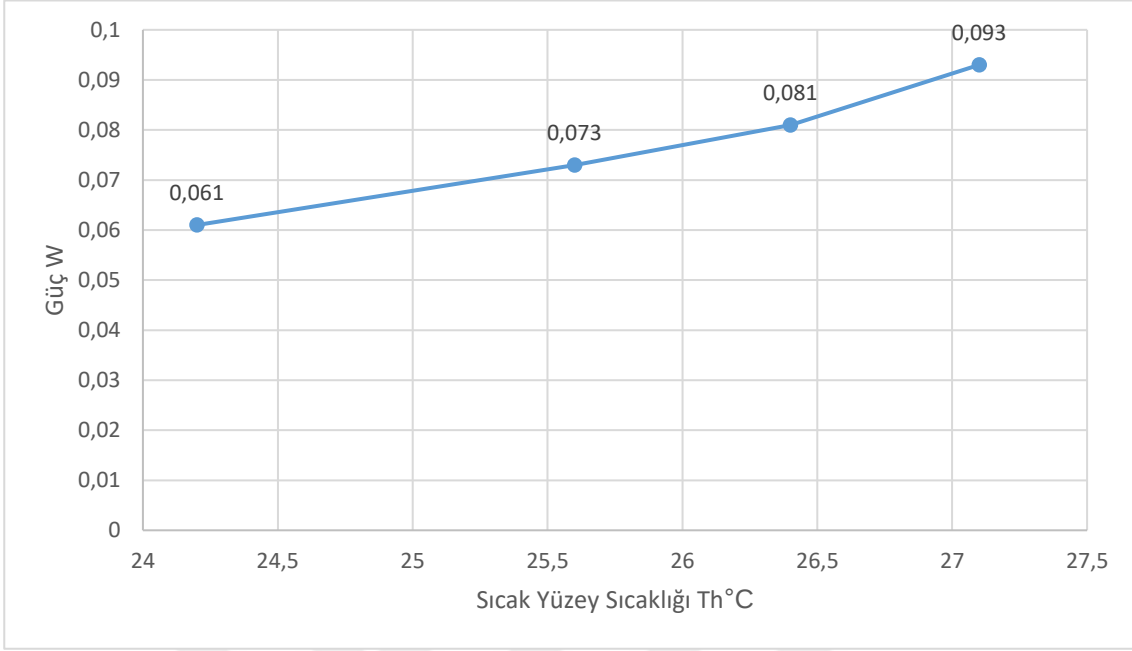
Soğutma bloğunun egzoz tarafına bakan yüzey olan sıcak yüzeyin sıcaklığına bağlı olarak 1500 dev/dk'da üretilen gerilim miktarı şekil 4.11'de gösterilmiştir. Motor 1500 devir çevirirken TEM'lerden üretilen maksimum gerilim 3,11 V olarak kaydedilmiştir.



Şekil 4.12. Yüzey sıcaklığına göre üretilen akım şiddeti (1500 dev/dk)

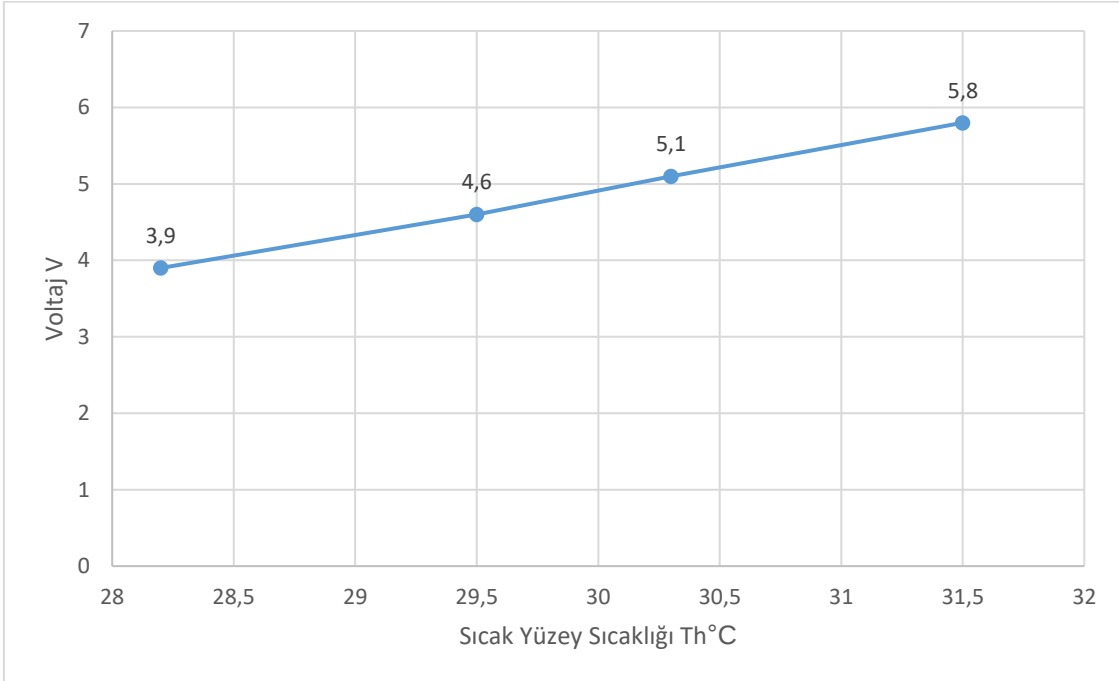
Motor 1500 dev/dk iken sistemden üretilen akım şiddeti (A) şekil 4.12'de gösterilmiştir. Buna göre bu devirde maksimum sıcaklık olan 27,3°C'de 0,03 amper akım üretilmiştir.

Motor dönüş sayısı dakikada 1500 iken aslında ilk çalışma safhalarındadır. Bu başlangıç motor devrinden önce motor ısıtılarak deneysel çalışmalara geçilmiştir.



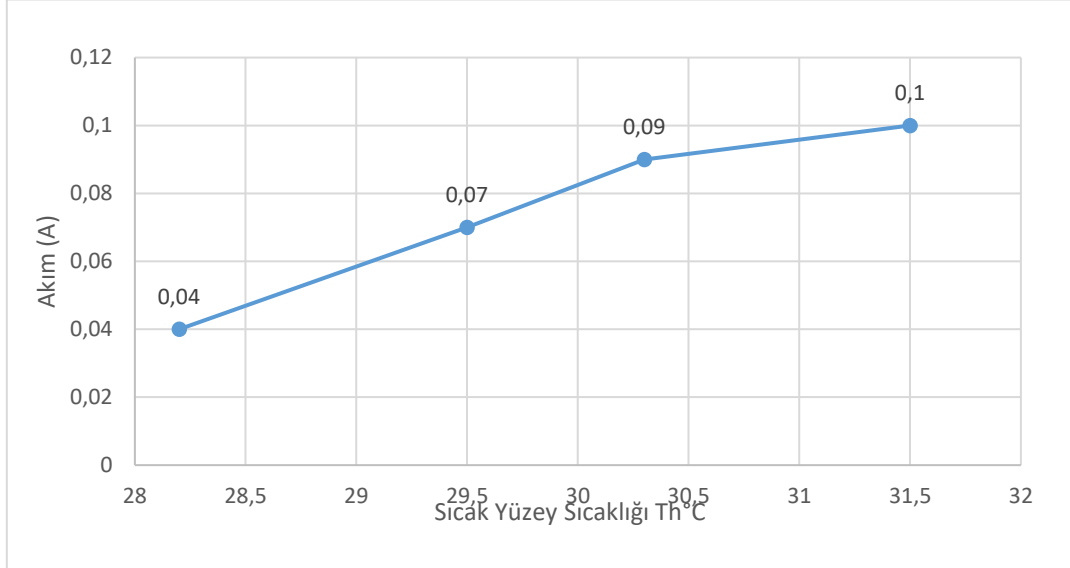
Şekil 4.13. Yüzey sıcaklığına bağlı üretilen güç değerleri (1500 dev/dk)

1500 dev/dk'da yüzey sıcaklığına bağlı olarak üretilen güç şekil 4.13'de gösterilmiştir. En yüzey sıcaklığı 27,3 derecede 0,093 Watt güç elde edilmiştir. Başlangıç sıcaklığı olan 24,2°C'de ise 0,061 Watt ölçülmüştür,



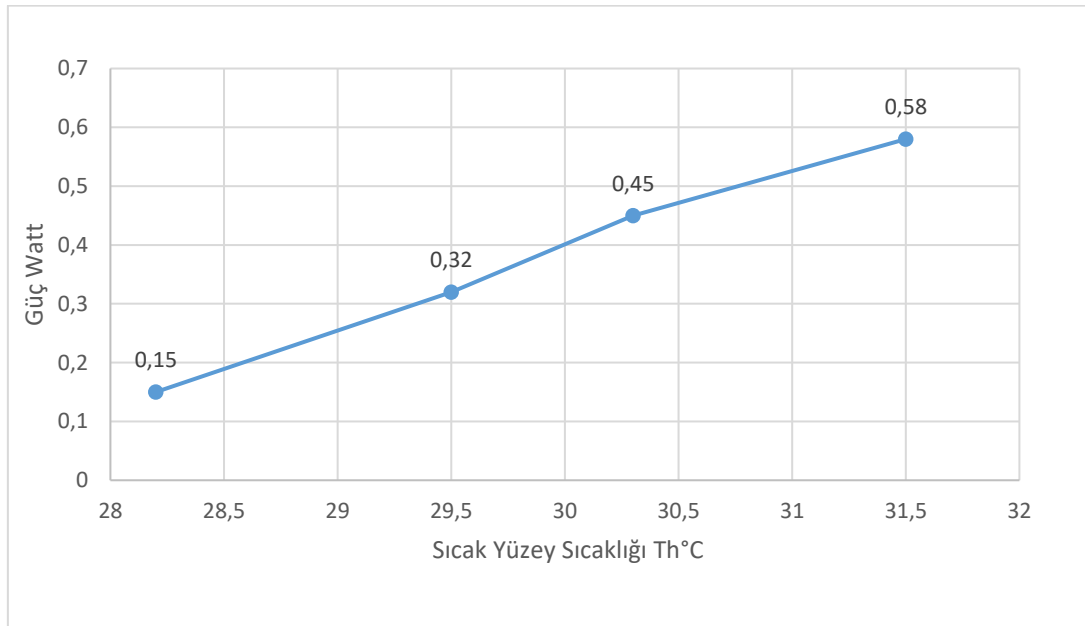
Şekil 4.14. Yüzey sıcaklığına bağlı üretilen gerilim değerleri (2000 dev/dk)

Şekil 4.14’de görüldüğü yüzey sıcaklığının artmasıyla doğru orantılı 2000 dev/dk’da üretilen maksimum gerilim 5,8V’dur. Yüzey sıcaklığının 28,2°C olduğu noktada ise üretilen gerilim 3,9V’dur.



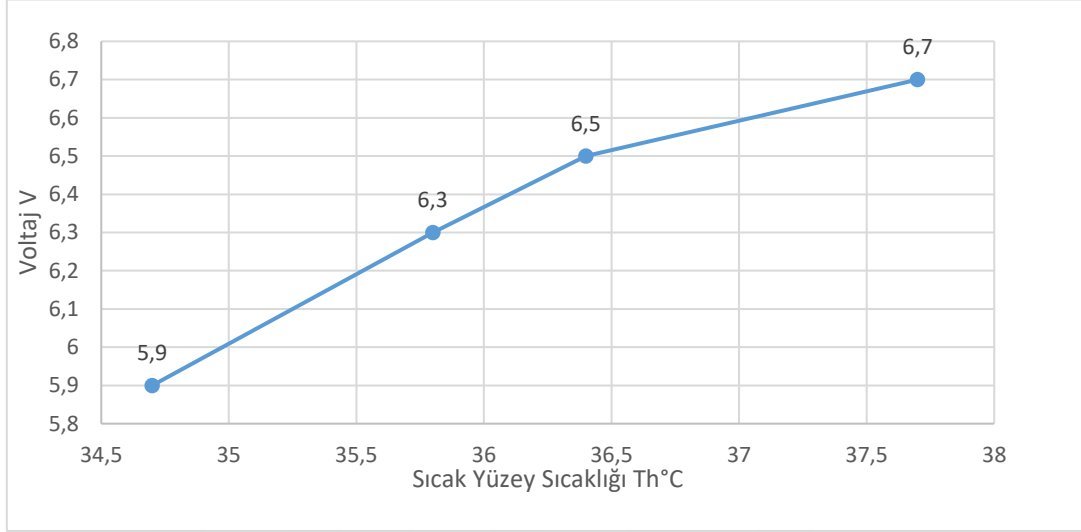
Şekil 4.15. Yüzey sıcaklığına göre üretilen akım şiddeti (2000 dev/dk)

2000 dev/dk’ da 31,5°C sıcaklıkta 0,1A akım elde edilmiştir. Şekil 4,15’da görüldüğü gibi bu devirde yine doğrusal bir artış gözlemlenmiştir. 28,2°C sıcaklıkta 0,04A akımın elde edilmesi bu devirde başlangıç noktasıdır.



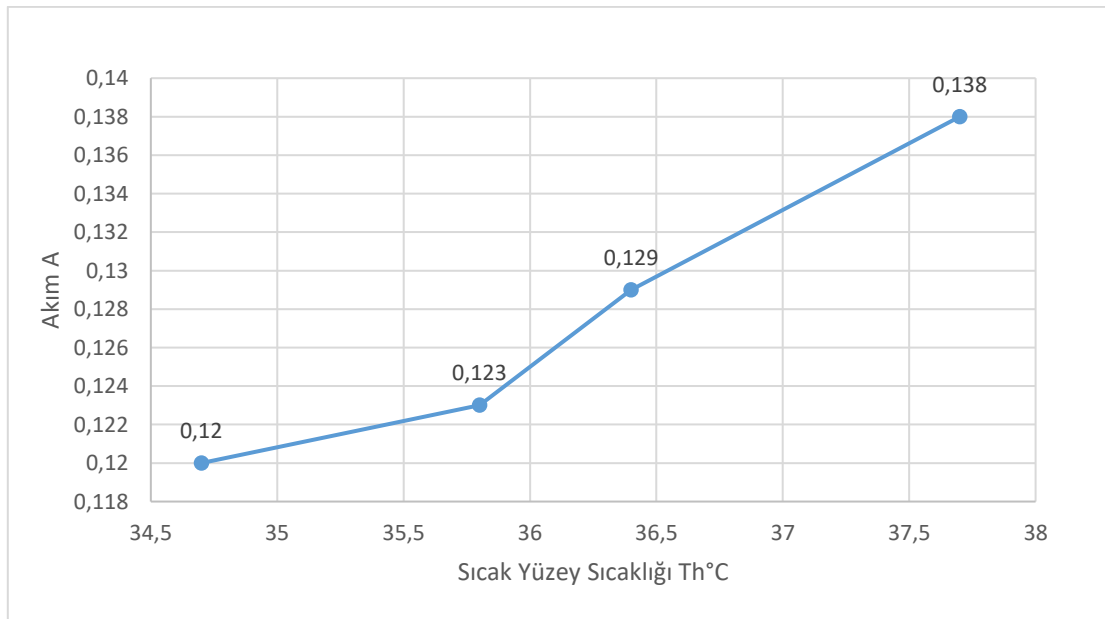
Şekil 4.16. Yüzey sıcaklığına bağlı üretilen güç değerleri (2000 dev/dk)

Şekil 4.16’da görüldüğü gibi 2000 dev/dk’da sıcak yüzey sıcaklığı 31,5°C iken sistemden 0,58 Watt güç elde edilmiştir. Aynı devirde elde edilen minimum güç değeri ise 0,15 Watt olarak ölçülmüştür.



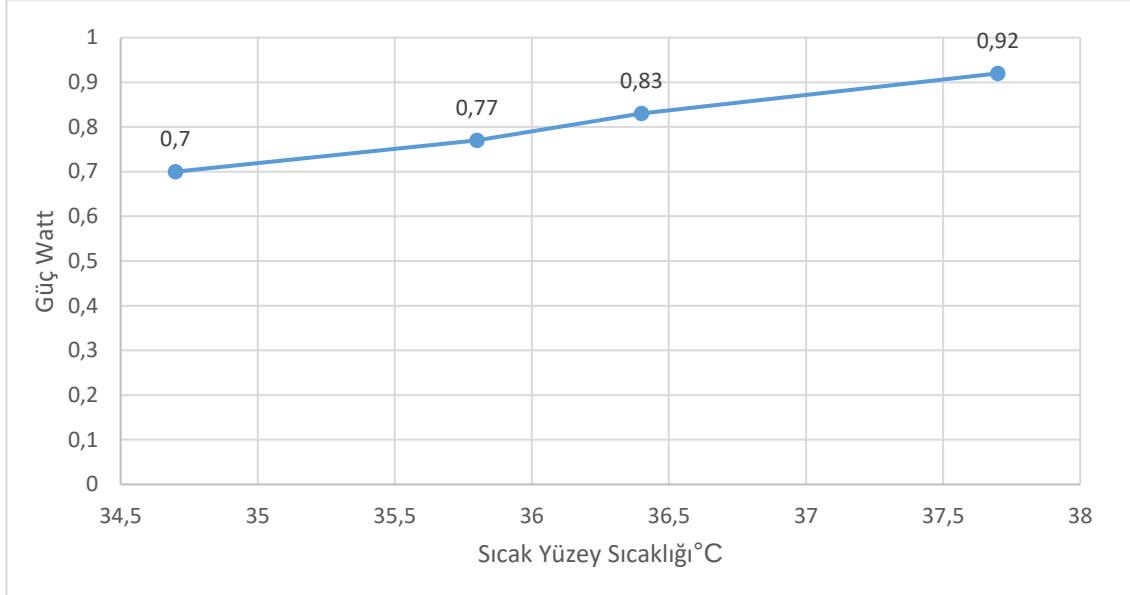
Şekil 4.17. Yüzey sıcaklığına bağlı üretilen gerilim değerleri (2500 Dev/dk)

Yüzey sıcaklığına bağlı gerilim değerleri 2500 dev/dk için incelendiğinde elde edilen maksimum gerilimin 6,7V, minimum değerinin ise 5,9V olduğu görülmüştür. Egzoz hattı sıcaklığının artmasıyla bu devirde de elde edilen enerji artış halinde olduğu belirlenmiştir.



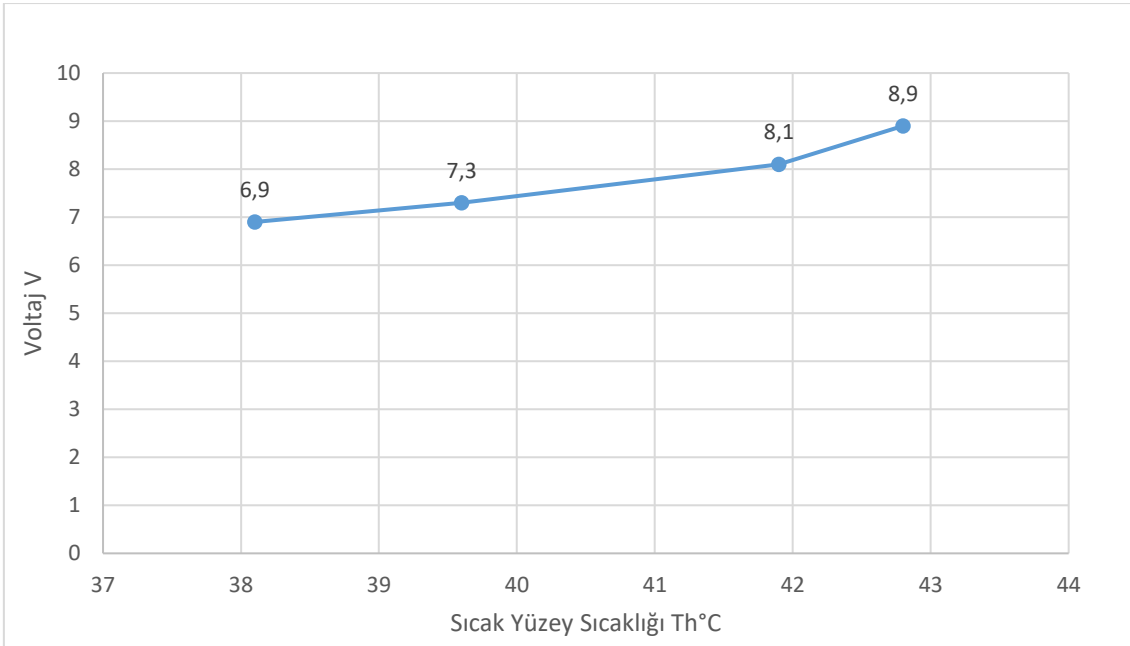
Şekil 4.18. Yüzey sıcaklığına göre üretilen akım şiddeti (2500 dev/dk)

Krank mili 2500 dev/dk ile dönerken yapılan akım şiddeti ölçümleri şekil 4.18’de detaylı olarak gösterilmiştir. Bu devirde akım şiddeti 0,13A ile 0,12A arasında bir ölçüm skalasına sahiptir.



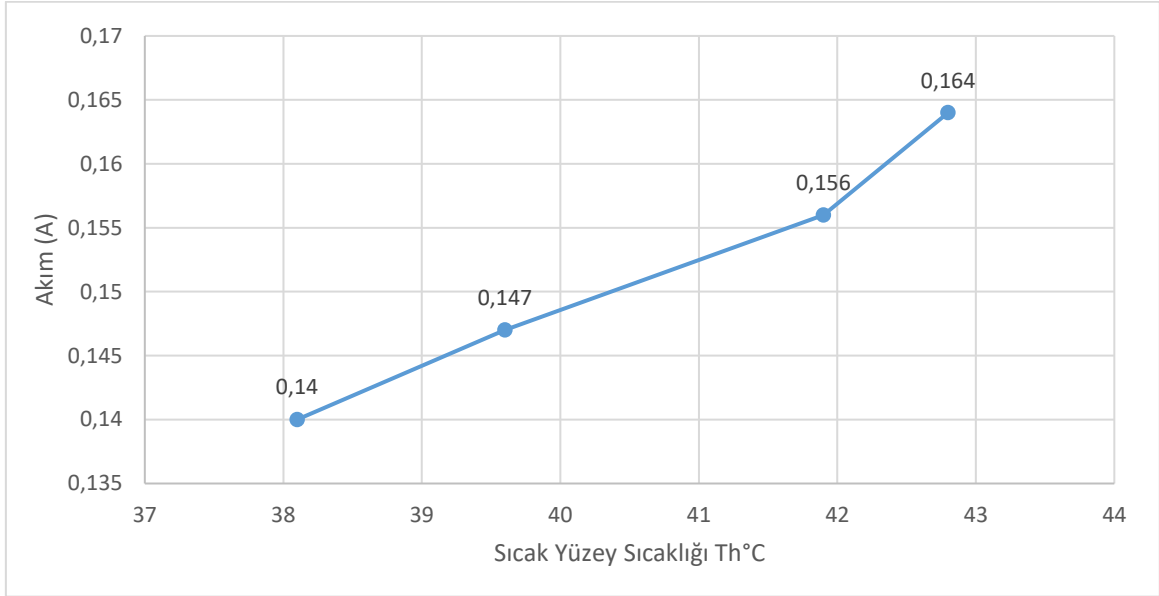
Şekil 4.19. Yüzey sıcaklığına bağlı üretilen güç değerleri (2500 dev/dk)

2500 dev/dk’da üretilen güç değerleri şekil 4,13’de detaylı olarak gösterilmiştir. Maksimum 0,92 Watt güç elde edilirken. Minimum 0,7 Watt güç değeri elde edilmiştir.



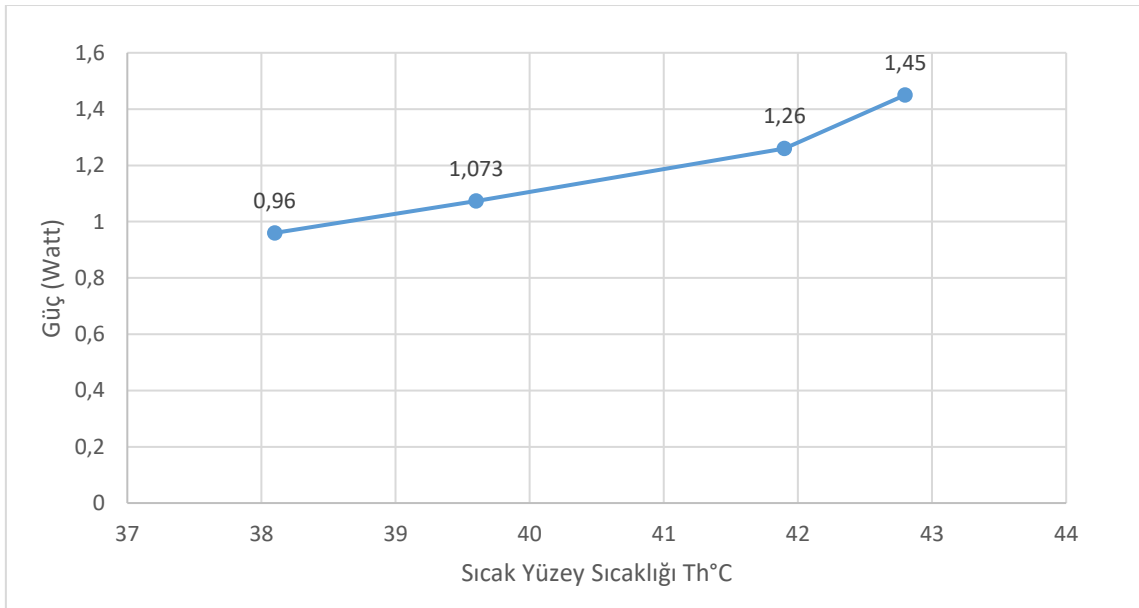
Şekil 4.20. Yüzey sıcaklığına bağlı üretilen gerilim değerleri (3000 dev/dk)

Motor sıcaklığının bir hayli yükselmeye başladığı 3000 dev/dk'da yapılan ölçüm sonuçlarında ortaya çıkan gerilim değerleri şekil 4.20'de gösterilmiştir. Buna göre bu devirde elde edilen maksimum gerilim değeri 8,9V'dur. Yine aynı devre sahip minimum gerilim değeri 6,9V'dur.



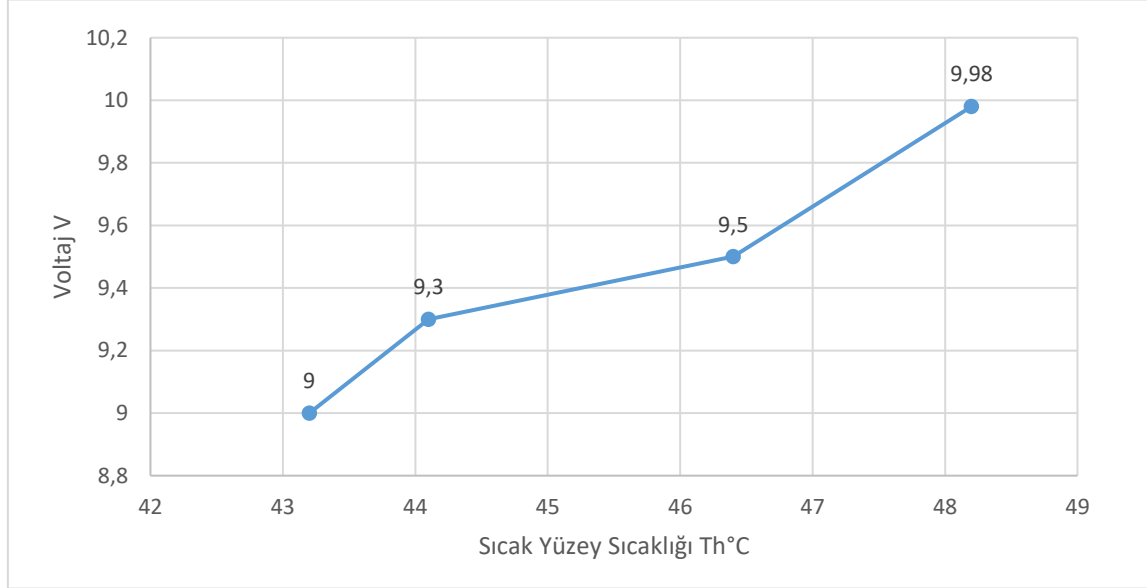
Şekil 4.21. Yüzey sıcaklığına göre üretilen akım şiddeti (3000 dev/dk)

Motor krank milini dakikada 3000 devir ile çevirirken TEJ sisteminde ortaya çıkan maksimum akım değeri 0,16A olarak kaydedilmiştir. Bu devirde minimum akım değeri 0,14A'dir.



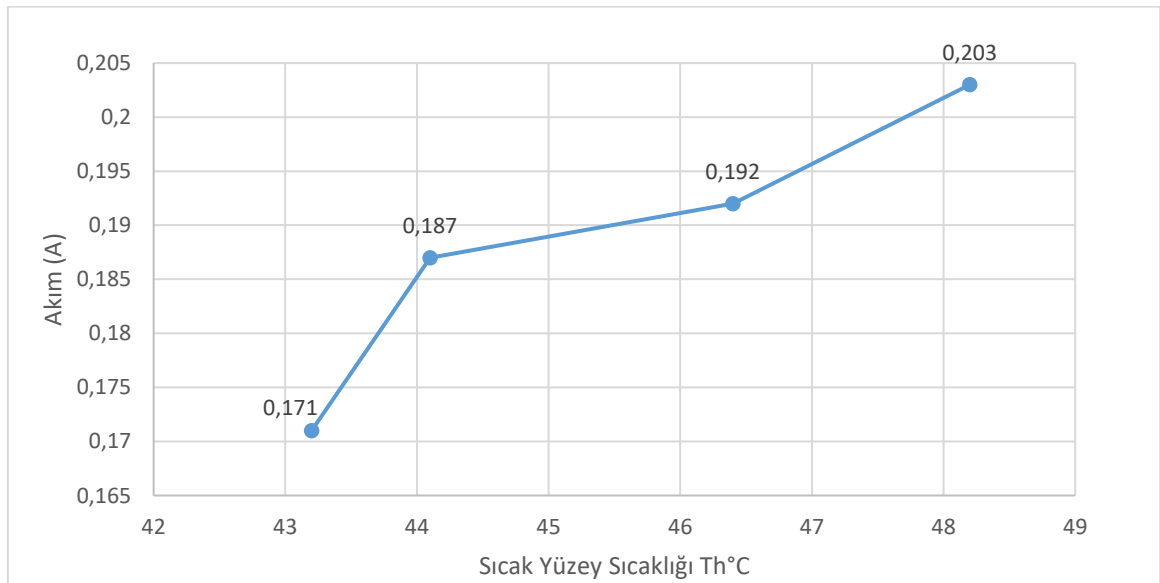
Şekil 4.22. Yüzey sıcaklığına bağlı üretilen güç değerleri (3000 dev/dk)

3000 devir/dk' da edilen güç değerleri şekil 4.22'de gösterildiği gibi maksimum 1,45 Watt minimum 0,96 watt değerlerine sahiptir.



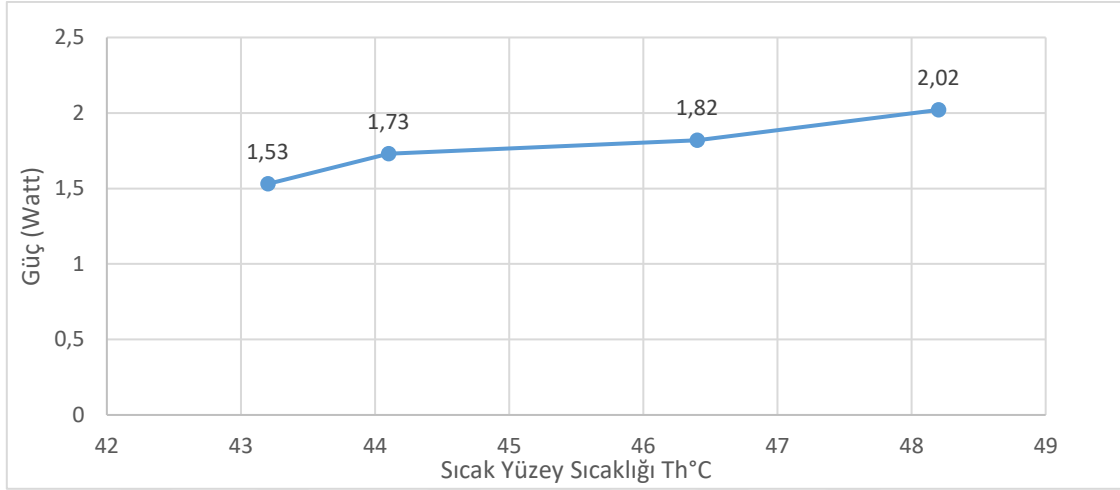
Şekil 4.23. Yüzey sıcaklığına bağlı üretilen gerilim değerleri (3500 dev/dk)

Motor sıcaklığının artışına devan ettiği bu devirde egzoz hattı sıcaklığından dolayı TEJ sıcak yüzey sıcaklığı da artış göstermektedir. Sıcak yüzey sıcaklığının 48,2°C olduğunda 9,98V ile maksimum gerilim elde edilmiştir. Yine yüzey sıcaklığının 43,2°C olduğu anda 9V gerilim değeri ölçülmüştür.



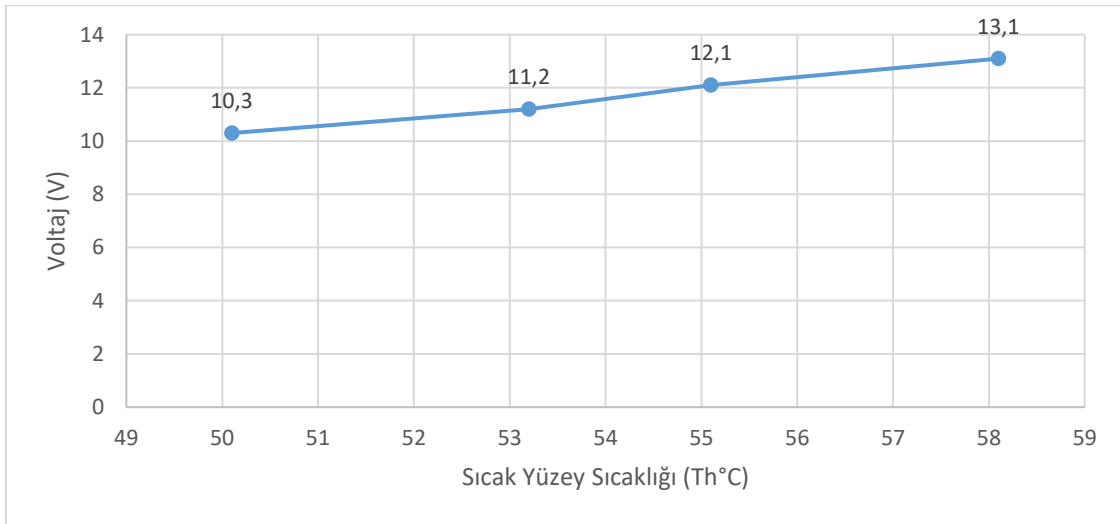
Şekil 4.24. Yüzey sıcaklığına göre üretilen akım şiddeti (3500 dev/dk)

Motor devri 3500 dev/dk olduğunda devreden geçen akım maksimum 0,20A minimum 0,17A'dır. Şekil 4,24'de bu devir için akım şiddeti ölçümleri gösterilmiştir.



Şekil 4.25. Yüzey sıcaklığına bağlı üretilen güç değerleri (3500 dev/dk)

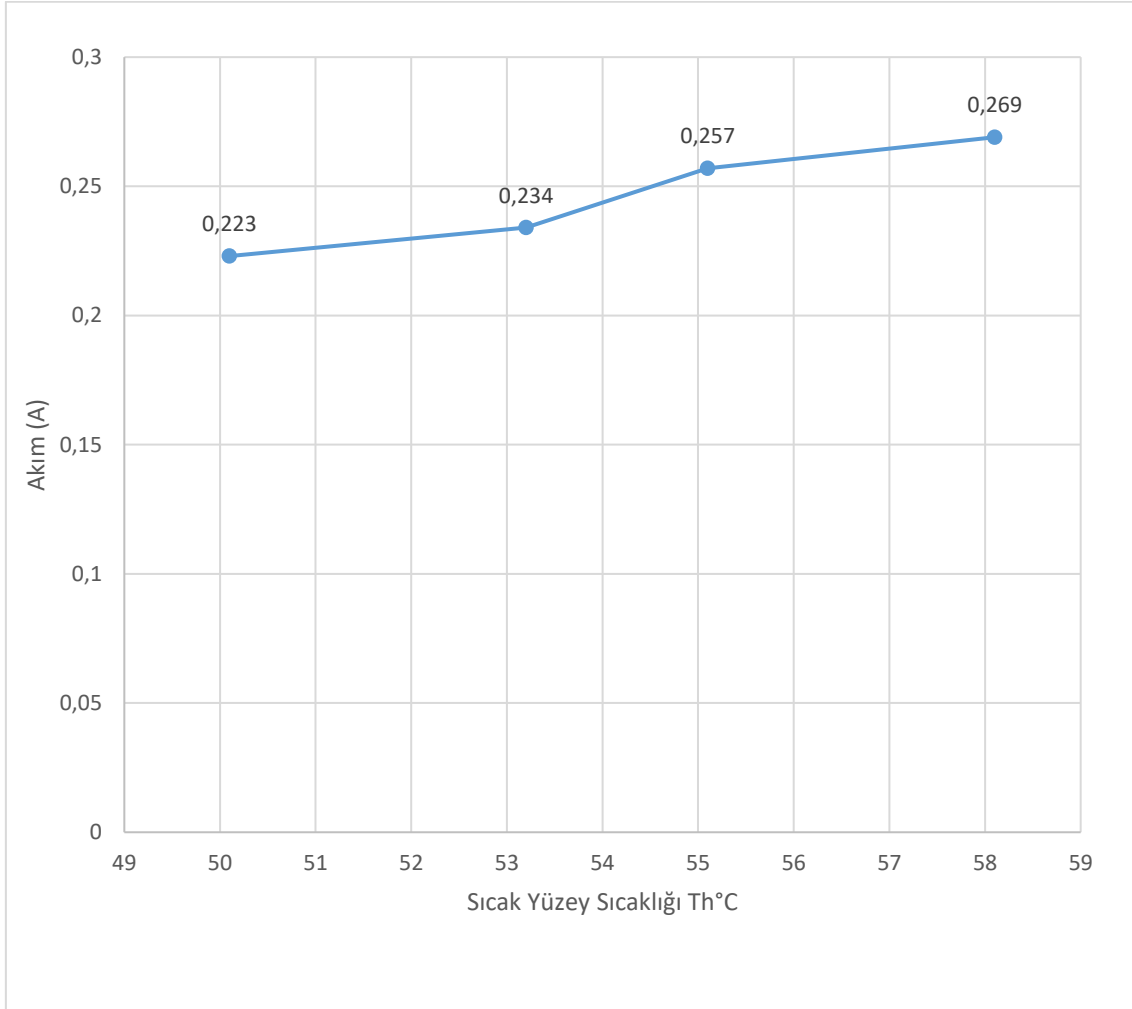
Krank mili dönüş hızı 3500 dev/dk olduğunda üretilen güç değerleri şekil 4.25'de detaylı olarak gösterilmiştir. Bu dönüş hızında üretilen maksimum güç 1,53 Watt ile 2,02Watt arasında bir ölçüm skalasına sahiptir.



Şekil 4.26. Yüzey sıcaklığına bağlı üretilen gerilim değerleri (4000 dev/dk)

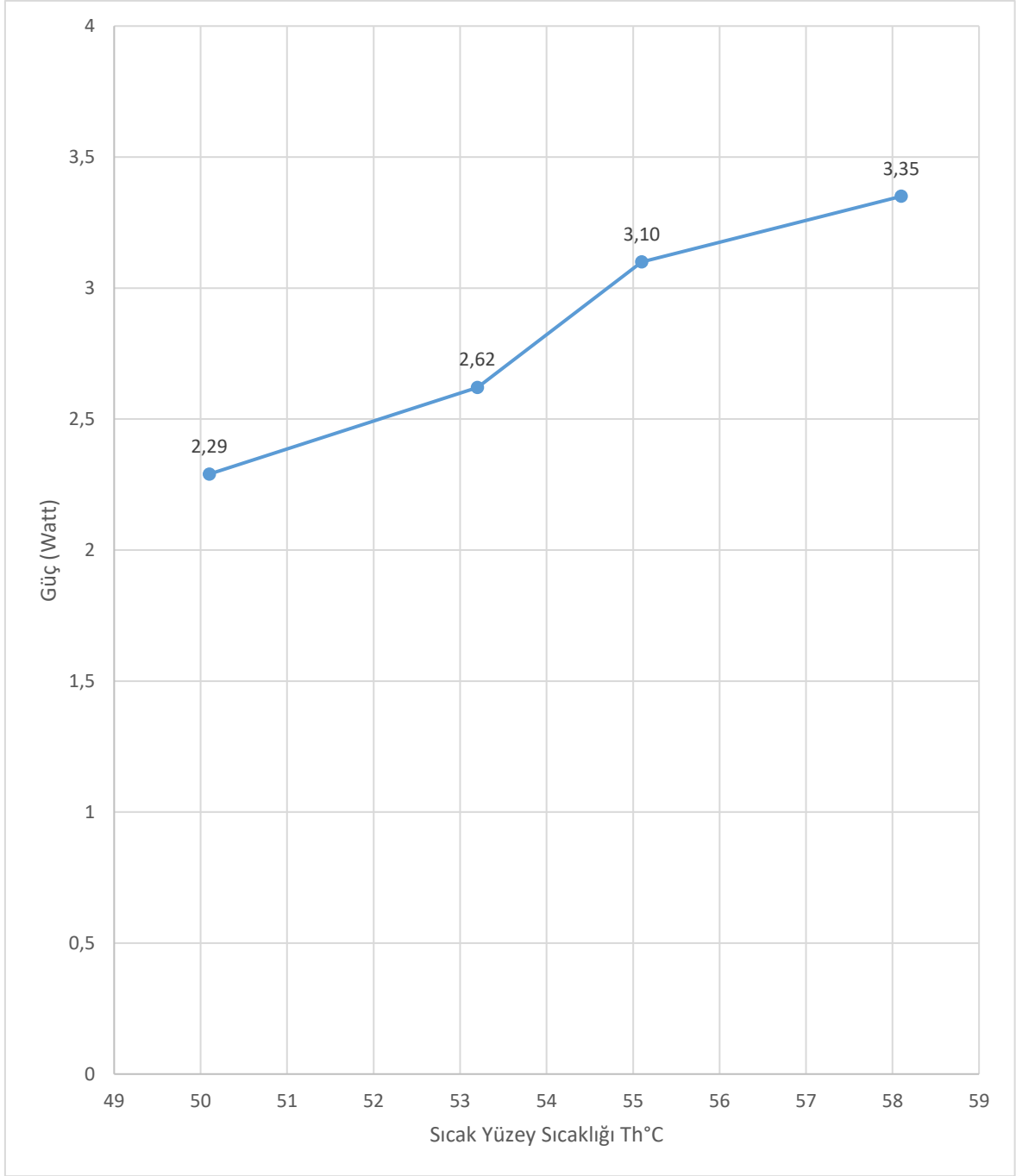
Şekil 4.26' de deneyin son aşaması olan 4000 dev/dk'da yapılan ölçümler gösterilmiştir. Bu dönüş hızında deneyin en yüksek değerleri elde edilmiştir. Maksimum sıcak yüzey sıcaklığının 58,1°C, minimum sıcak yüzey sıcaklığının 50,1°C olarak ölçüldüğü bu

motor devrinde elde edilen gerilim değerleri şekil 4.20’de detaylı olarak gösterilmiştir. Deneyin en yüksek gerilim değeri olan 13,1V en yüksek yüzey sıcaklığında elde edilmiştir. Yine bu devirde minimum 10,3V gerilim değeri kayıt altına alınmıştır.



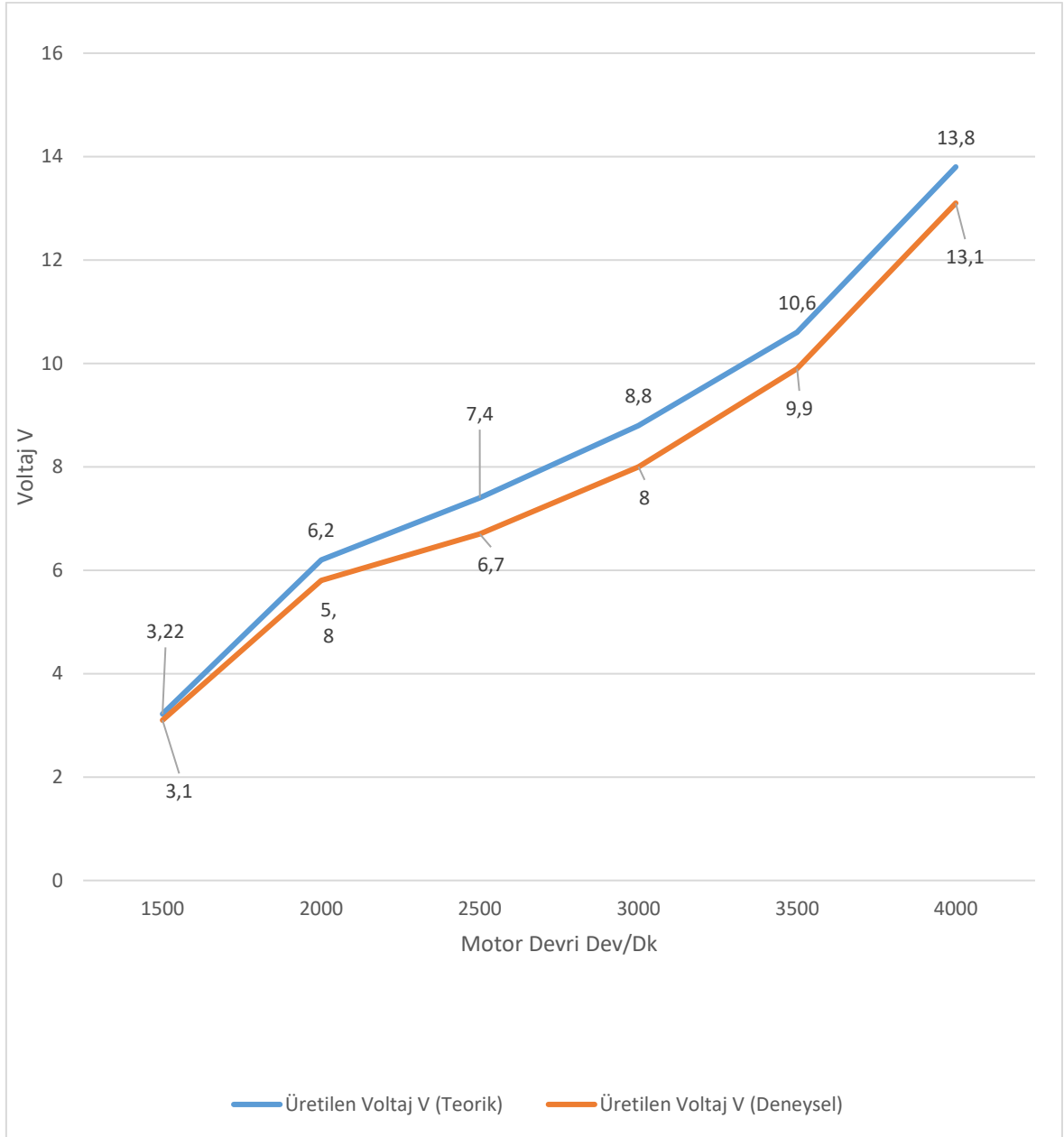
şekil 4.27. Yüzey sıcaklığına göre üretilen akım şiddeti (4000 dev/dk)

şekil 4.27’de görüldüğü gibi 4000 dev/dk’da maksimum 0,26A akım sistemden geçmekte iken minimum 0,22A retilmektedir. Akım şiddeti yine termoelektrik malzemenin özelliğiyle doğru orantılı olarak bu devirde deneyin en yüksek seviyesine çıkmıştır. Bunun nedeni sıcak yüzey ile soğul yüzey arasındaki sıcaklık farkının bu dönüş hızında maksimum seviyeye çıkmış olmasıdır. Aynı soğutma bloğu zerindeki TEM’ler seri bağlanıp yine 2 farklı bloktaki TEM birbirine paralel bağlansaydı akım şiddeti daha da artardı. Ancak voltaj düşüklüğü engellenmesi adına bütün malzemeler seri bağlandı.



Şekil 4.28. Yüzey sıcaklığına bağlı üretilen güç değerleri (4000 dev/dk)

Motor dönüş hızı 4000 dev/dk olduğunda yine maksimum güç değerleri elde edilmiştir. Şekil 4.28’de bu değerlerin grafiksel hali gösterilmiştir. TEJ sıcak yüzey sıcaklığı 58,1°C olduğunda 3.35Watt güç elde edilmiştir. Bu dönüş hızında elde edilen güç minimum 2,29Watt’dır. Bu dönüş hızına göre beklenen bir değerdir. Bu değer en yüksek sıcaklığın elde edildiği değerdir.



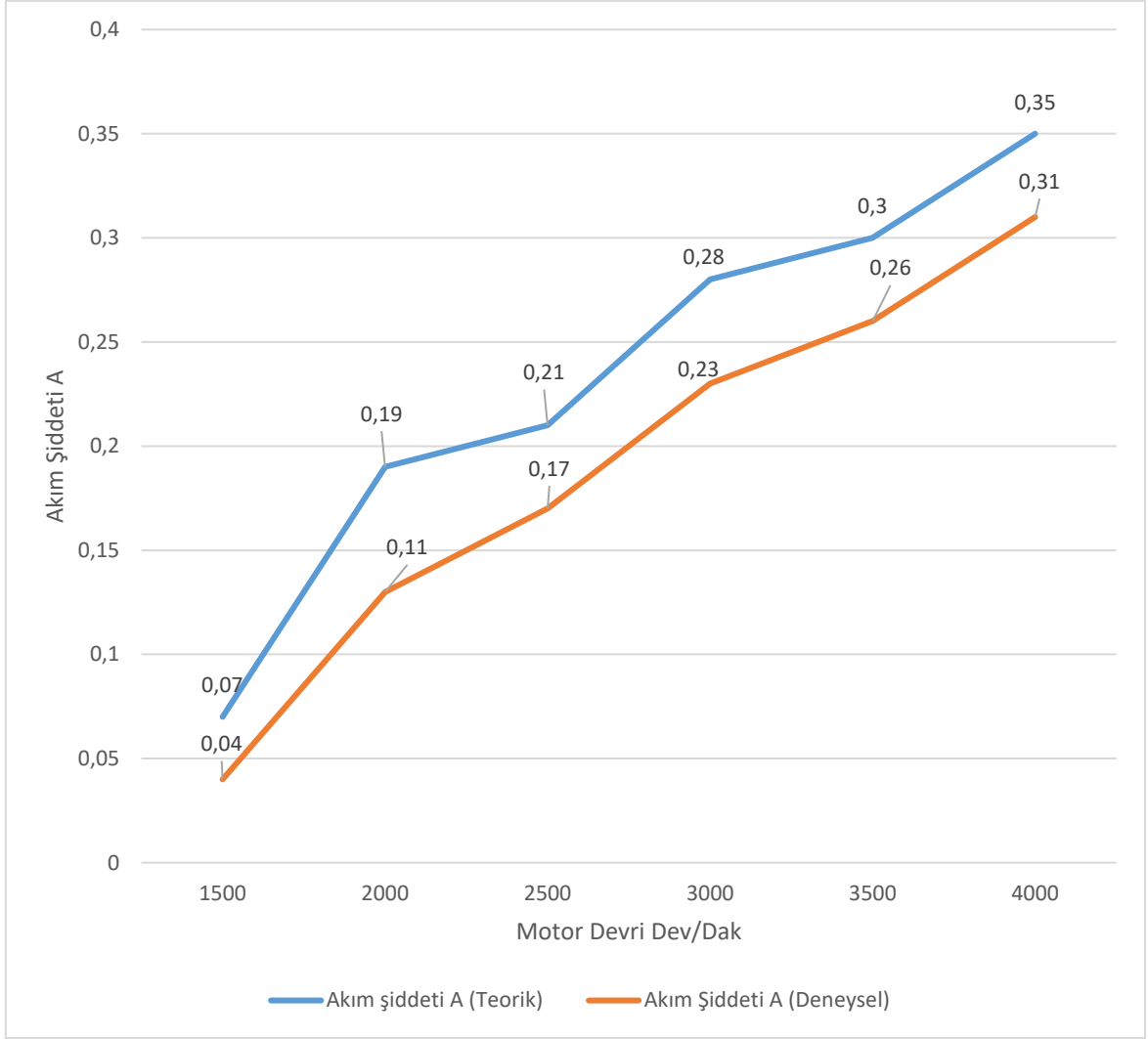
Şekil 4.29. Teorik ve deneysel yöntemle elde edilen gerilim değerlerinin grafiği

Şekil 4.29’de hem teorik hem deneysel olarak ortaya çıkan açık devre voltajları gösterilmektedir. Motor devrine bağlı açık devre voltaj değerleri belirlenmiştir. Bu ölçümlere bağlı olarak birtakım çıkarımlar yapılmıştır. Yapılan ölçümlerde 1500 dev/dk’da en yüksek açık devre gerilimi 3,1V olarak belirlenmiştir. Ortaya çıkan değerlerde her biri ayrı ayrı ölçüm gerçekleştirilmiş ve bu değerlere göre analizler gerçekleştirilmiştir. Belirlenen değerlerde deneysel verilere bakıldığında motor dönüş

sayısı dakikada 1500 olduğunda en yüksek gerilim değeri 3,1V olarak göze çarpmaktadır. Egzoz hız ve sıcaklığının daha aşağıda bulunduğu bu motor devrinde elde edilen gerilim değerinin düşük olması beklenmektedir. Başka bir deyişle motor devri 2000 dev/dk'da ise elde edilen voltaj değeri 5,8V ayrıca 2500 dev/dk olduğunda ise 6,7V gerilim belirlenmiştir. Ayrıca sıcaklığı yüksek olan yüzey ile sıcaklığı soğuk olan yüzey arasında ki ısı farkının yükselmesiyle voltaj grafiğinin daha da arttığını söyleyebiliriz. Motor dönüş devri 3000 ve 3500 devir olduğunda sırayla 8V ile 9,9V şeklinde gözlemlenmekle birlikte en son ölçülen motor devri 4000 dev/dk olarak çalışma tamamlanmıştır. Bu motor devrinde 13,1V ile en yüksek gerilim değeri ölçülmüştür. Yanma sonrası açığa çıkan egzozun ölçümü yapıldığında ortaya çıkan değerler içerisinde akış hızı bakımından ve sıcaklık bakımından en yüksek düzeye gelmiştir. Bu motor dönüş devrinde yanma sonrası ortaya çıkan sıcaklık değeri ile tepkimeye giren yakıt miktarının aynı miktarda artması ve bunun da egzoz sıcaklığını yükselttiği bilindiğinden maksimum gerilim değeri gelmesi tahmin edilmektedir. Burada ki motor devrinde T_h ve T_c ölçülen sıcaklıkları arasında en yüksek fark oluştururken bu da ortaya çıkan enerji miktarına önemli katkıda bulunmuştur.

Matematiksel yöntem ile aynı çalışmalar denendiğinde iki bağımsız çalışma arasında tutarlı veriler elde edildiği görülmüştür. Teorik olarak ortaya çıkan maksimum değer 4000 dev/dk'da 13,8V gerilim aralığıdır. 3,22V gerilim 1500 dev/dk'da elde edilen matematiksel yöntemlerle ortaya çıkan değerlerin en düşük gerilim değeridir.

Matematiksel ve deneysel veriler ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeler neticesinde tutarlı noktalar saptanmıştır. Burada iki çalışmanın tutarlı olması önemlidir. Tutarlı olmayan çalışmalarda başarı şansı çok düşüktür. Veriler orası doğru orantı olması çalışmada doğru noktaların saptandığının bir başka göstergesidir. Çalışma öncelikle bu yönüyle olumlu izlenim bırakmıştır. Teorik ve deneysel çalışmalarda her çalışmada olduğu gibi küçük farklılıklar olabilir. Bu çalışmanın etkinliğinden bir şey kaybettirmez. Bu tarz çalışmalarda bu kadar küçük farklılıklar olması göze alınmayabilir. Önemli olan verilerin deneysel ve teorik çalışmada doğru orantılı artması ya da azalmasıdır. Grafikte de görülen eğriler bahsedilen noktayla aynı ifadedir. Artış ve azalış eğrileri birbiriyle uyumludur.



Şekil 4.30. Teorik ve Deneysel Akım Şiddeti Grafiği

Şekil 4.30’de belirlenen akım şiddeti değerlerinin 1500 motor devrinden başlanarak en yüksek devir olan 4000 motor devrine kadar deneysel yöntemle yapılan çalışma ile matematiksel yöntemde yapılan çalışmada ki çalışmada lineer şekilde artış gösterdiği görülmektedir. Deneysel yöntemle yapılan çalışmada 1500, 2000, 2500, 3000, 4000 motor devirlerinde sırasıyla; 0,04, 0,11, 0,17, 0,23, 0,26, 0,31A akım şiddeti değerleri elde edilmiştir. Maksimum akım şiddeti değeri yine maksimum ölçüm devri olan 4000 dev/dk’da belirlenmiştir.

Matematiksel olarak belirlenen hesaplama yönteminde ise en düşük elektrik akımı 1500 dev/dk’da 0,07A değerinde belirlenirken en yüksek elektrik akımı 4000 dev/dk’da 0,35A olarak belirlenmiştir. Burada da deneysel olarak yapılan hesaplamalar ile teorik hesaplamalar arasında yakınlık gözle çarpılmaktadır.

5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Motor dönüş hızının artış göstermesiyle birlikte egzoz hattından geçen akışkan miktarının da artış göstermesiyle termoelektrik malzemenin yüzey sıcaklığı artmıştır. Modül yüzeylerindeki sıcak ve soğuk yüzeyleri arasındaki sıcaklık artış hızı farklıdır. Bu durum iki yüzey arasındaki ΔT sıcaklık farkının artmasına yol açmıştır. Sıcaklık artışı sistemden elde edilen gerilimin artmasına neden olmuştur. Yapılan çalışmada TECI-12706 marka modülden 22 adet kullanılmıştır. En yüksek değerler motorun 4000 dev/dk dönüş hızına sahip olduğu çalışma şartlarında elde edilmiştir. Bu dönüş hızında 13,1V gerilim ve 0,26A akım elde edilmiştir. Yapılan deneysel çalışma ile matematiksel çalışma ciddi oranda örtüşmektedir. Termoelektrik jeneratörlerde yük çok önemlidir. Yük arttıkça egzoz sıcaklığı artacak buna paralel olarak elde edilen elektriksel verilerde artış gösterecektir. Çalışmada kullanılan otomobilimiz eğitim aracı olduğundan yüke sokmanın motor için risk teşkil edeceği düşüncesiyle bundan kaçınılmıştır. Aynı motor şartlarında deneyler yük altında yapılırdı elde edilen elektriksel değerler daha fazla olacaktı.

Alüminyum soğutma blokları yerine iletkenliği daha fazla olan bakır soğutma bloklarının kullanılması verimi daha da arttıracaktır. Ayrıca tasarım olarak direk egzozla temas halinde olan içinden egzoz gazlarının geçtiği farklı TEJ tasarımları ve ayrıca bu tasarımların kanatçık yapılarındaki farklılaşmalar da yenine enerji verimliliğini arttıracaktır. Bu gibi tasarımlar sayesinde egzozdaki ısı kayıpları azalır üretilen elektriksel değerler artacaktır.

Bu çalışmanın geliştirilmesi ile alternatör üzerindeki yükün azaltılabileceği de söylenebilir. Alternatör yapı itibarı ile krank kasnağından V kayışı yardımıyla motordan güç çekmekte ve motorun hem performansını düşürmekte hem de yakıt tüketimini arttırmaktadır. Termoelektrik modüllerden elde edilen enerji ile araç içinde bulunan elektrik ile çalışan malzemeler beslenirse alternatöre binen yük azalacağından amaca hizmet eden faydalı enerji dönüşümü gerçekleşmiş olacaktır.

KAYNAKLAR

- Ahıska, R., Mamur, H., & Uliş, M. (2011). Termoelektrik Modülün Jeneratör Olarak Modellenmesi ve Deneysel Çalışması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 26(4).
- Bolatlı, G. (2019). Termoelektrik Modül İle Atık Isıdan Elektrik Üreten Bir Sistem Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 581917
- Gabriel-Buenaventura, A., & Azzopardi, B. (2015). Energy Recovery Systems for Retrofitting in Internal Combustion Engine Vehicles: A Review of Techniques. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 955-964.
- Cao, Q., Luan, W., & Wang, T. (2018). Performance Enhancement of Heat Pipes Assisted Thermoelectric Generator for Automobile Exhaust Heat Recovery. *Applied Thermal Engineering*, 130, 1472-1479.
- Dalar, U. (2019). Otomobil Egzoz Sistemlerinde Termoelektrik Jeneratörlü (TEJ) Atık Isı Geri Kazanım Sisteminin İrdelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya, 539529
- Deok In, B., İk Kim, H., Wook Son, J. ve Hyung Lee, K. (2015). Bir Dizel Motordan Çıkan Egzoz Gazının Çeşitli Termal Koşullarına Sahip Bir Termoelektrik Jeneratörün İncelenmesi. *Uluslararası Isı ve Kütle Transferi Dergisi*, 86, 667-680
- Hosung. L. (2022). Thermal design: heat sinks, thermoelectrics, heat pipes, compact heat exchangers, and solar cells. WILEY-BLACKWELL.
- Hussain, Q. E., Brigham, D. R., & Maranville, C. W. (2009). Thermoelectric Exhaust Heat Recovery for Hybrid Vehicles. *SAE International Journal of Engines*, 2(1), 1132-1142.
- Karri, M. A. (2005). Modeling of an Automotive Exhaust Thermoelectric Generator: A Thesis Doctoral Dissertation, Clarkson University, Potsdam
- LeBlanc, S., Yee, S. K., Scullin, M. L., Dames, C., & Goodson, K. E. (2014). Material and Manufacturing Cost Considerations for Thermoelectrics. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 32, 313-327.
- Prasad, S. N. S., & Parameshwari, N. (2012, October). A Feasibility Study on Waste Heat Recovery in an IC Engine Using Electro Turbo Generation. In *Proceedings of National Conference on Trends and Advances in Mechanical Engineering, YMCA University of Science & Technology* (pp. 55-60).

- Rajoo, S., Romagnoli, A., Martinez-Botas, R., Pesiridis, A., Copeland, C., & Bin Mamat, A. M. I. (2014). Automotive Exhaust Power and Waste Heat Recovery Technologies. *Automotive Exhaust Emissions and Energy Recovery*, 265-281.
- Sharma, G., Kumar, J., Sharma, S., Singh, G., Singh, J., Sharma, A., ... ve Obaid, AJ (2022). Paslanmaz Çelikten Yapılmış Egzoz Gazı Borusuna Sabitlenmiş Atık Isı Geri Kazanım Sistemine Sahip Dizel Motorun Performansı. *Bugünün Materyalleri: Bildiriler Kitabı* , 48 , 1141-1146.
- Su, C. Q., Wang, W. S., Liu, X., & Deng, Y. D. (2014). Simulation and Experimental Study on Thermal Optimization of the Heat Exchanger for Automotive Exhaust-Based Thermoelectric Generators. *Case Studies in Thermal Engineering*, 4, 85-91.
- Şahin, U. R., Coşkun, G., & Soyhan, H. S. (2018). Traktör Egzozundan Atılan Isı Enerjisinin Elektrik Enerjisi Olarak Kazanımını Sağlayan Termoelektrik Jeneratör. *Uluslararası Yakıtlar Yanma ve Yangın Dergisi*, (6), 10-19.
- Temizer, İ. (2014). Termoelektrik Jeneratörü Kullanılan Taşıtlarda Egzoz Gazlarından Elektrik Üretilmesi (Doctoral Dissertation, Doktora tezi). Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 373825
- Temizer, İ., (2010) Bir Dizel Motorunun Performans ve Emisyonları Üzerine Katkı Maddelerinin Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 269984
- Tian, H., Sun, X., Jia, Q., Liang, X., Shu, G., & Wang, X. (2015). Comparison and Parameter Optimization of a Segmented Thermoelectric Generator by using the High Temperature Exhaust of a Diesel Engine. *Energy*, 84, 121-130.
- Wang, Y., Li, S., Zhang, Y., Yang, X., Deng, Y., & Su, C. (2016). The Influence of Inner Topology of Exhaust Heat Exchanger and Thermoelectric Module Distribution on the Performance of Automotive Thermoelectric Generator. *Energy Conversion and Management*, 126, 266-277.
- Ximinis, J., Massaguer, A., Pujol, T., & Massaguer, E. (2021). Nox Emissions Reduction Analysis in a Diesel Euro VI Heavy Duty Vehicle Using a Thermoelectric Generator and an Exhaust Heater. *Fuel*, 301, 121029.
- Yin, T., Li, Z. M., Peng, P., Liu, W., Shao, Y. Y., & He, Z. Z. (2021). Performance Analysis of a Novel Two-Stage Automobile Thermoelectric Generator with the Temperature-Dependent Materials. *Applied Thermal Engineering*, 195, 117249.
- Zhao, Y., Wang, S., Ge, M., Liang, Z., Liang, Y., & Li, Y. (2018). Performance Analysis of Automobile Exhaust Thermoelectric Generator System with Media Fluid. *Energy Conversion and Management*, 171, 427-437.

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Esen, D., **Tural, H.** (2024). ISARC 3. Boğaziçi Scientific Research Congress, İstanbul, 20-21 Ocak 2024.



ÖZGEÇMİŞ

İlk ve orta ęretimini İzmit'te tamamladıktan sonra lise hayatını İzmit Endüstri Meslek Lisesi makine bölümünde 2003-2007 yılları arasında tamamladı. 2008-2013 yılları arasında Kocaeli Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Öğretmenliği bölümünde lisans eğitimini tamamladı. 2015 yılında Motorlu Araçlar Teknolojisi Öğretmeni olarak İstanbul Samandıra'da göreve başladı. Halen Kocaeli Kartepe Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi'nde motorlu araçlar teknolojisi alan şefi olarak görev yapmaktadır.

