



SICAKLIK KONTROLLÜ TERMOELEKTRİK YATAY ATIK ISI

JENERATÖRÜ TASARIMI

OĞUZHAN SÖNMEZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

YRD. DOÇ.DR. Abdullah Hakan YAVUZ

Ağustos - 2016

Her hakkı saklıdır

**T.C.
GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**SICAKLIK KONTROLLÜ TERMoeLEKTRİK YATAY ATIK ISI
JENERATÖRÜ TASARIMI**

OĞUZHAN SÖNMEZ

**TOKAT
Ağustos - 2016**

Her hakkı saklıdır

Bu tez çalışması;

GOÜ Bilimsel Araştırma Projeleri koordinatörlüğü tarafından 2014/112 nolu proje ile desteklenmiştir.



Oğuzhan SÖNMEZ tarafından hazırlanan “Sıcaklık Kontrollü Termoelektrik Yatay Atık Isı Jeneratörü Tasarımı” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 12 AĞUSTOS 2016 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen Jüri tarafından Oy Birliği / Oy Çokluğu İle Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman
YRD. DOÇ. DR. Abdullah Hakan YAVUZ



Üye
Prof. Dr. Raşit AHISKA
Gazi Üniversitesi
Üye
Yrd. Doç.Dr. Cem EMEKSİZ
Gaziosmanpaşa Üniversitesi




Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
..... tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.


Prof. Dr. Mehmet Ali AKIN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü
17.08/2016

TEZ BEYANI

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezin içerdiği yenilik ve sonuçların başka bir yerden alınmadığını, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

Oğuzhan SÖNMEZ

12 Ağustos 2016

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SICAKLIK KONTROLLÜ TERMoeLEKTRİK YATAY ATIK ISI JENERATÖRÜ TASARIMI

OĞUZHAN SÖNMEZ

GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI: YRD. DOÇ.DR. ABDULLAH HAKAN YAVUZ)

Son yıllarda enerji ihtiyacının hızlı bir şekilde artmasıyla yeni enerji kaynaklarına ihtiyaç duyulmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının büyük öneme sahip olduğu günümüzde atık ısıların değerlendirilmesi de önem arz etmektedir. Termoelektrik jeneratörler atık ısının doğrudan elektrik enerjisine dönüştürülerek geri kazanımı konusunda en önemli teknolojidir. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte termoelektrik malzemelerin verimlerinde önemli derecede artışlar sağlanmıştır. Bu çalışmada, geliştirilen yeni sistemler sayesinde çimento ve tuğla fabrikalarındaki fırınlardan, soğutma bacalarından, ekmek fırınlarından, sobalardan çıkan atık ve atıl ısılar tekrar sanayiye kazandırılmaya çalışılmaktadır. Ekonomik katkının yanında çevre kirliliğinin azalması ve çevre dengesi gözetilmektedir. Bu kapsamda 100 °C sıcaklık farkında 7 W güç üreten 5 adet termoelektrik modüller kullanılarak teorik olarak 35 W'lık bir jeneratör tasarlandı. Tasarlanan jeneratör ile 91 °C'lik sıcaklık farkı meydana geldiğinde yük direnci 12 Ω olarak ayarlandığında maksimum güç transferi sağlandı ve güç 29.24 W olarak ölçüldü. Termoelektrik jeneratör verimi ise % 4.8 olarak hesaplandı. Yapılan deneylerle ilgili sonuçlar tablolar ve grafikler halinde gösterilmiştir.

2016, 54 SAYFA

ANAHTAR KELİMELELER: Termoelektrik jeneratörler, Termoelement, Atık ısı, Atıl ısı, Yenilenebilir enerji.

ABSTRACT

MASTER THESIS

DESIGN OF TEMPERATURE CONTROLLED THERMOELECTRIC HORIZONTAL WASTE HEAT GENERATOR

OĞUZHAN SÖNMEZ

**GAZIOSMANPASA UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF MECHATRONICS ENGINEERING**

(SUPERVISOR: ASST. PROF. DR. ABDULLAH HAKAN YAVUZ)

With the worldwide rapid increase of the energy demand in recent years, there is need for new sources of energy. Nowadays, renewable energy sources is of great importance also evaluation of waste heat important too. The thermoelectric generators are the most important technologies for the recovery of waste heat is converted directly into electrical energy. With the development of technology substantial increases have been achieved in the efficiency of thermoelectric materials. Thanks to the new developed systems in this study through the oven in cement and brick factories, the cooling chimney, bread from the oven, and laid waste heat from industrial furnaces is trying to win again. Besides the economic benefits, the reduction of environmental pollution and environmental balance is sought. In this context, theoretically a 35 Watt generator in 100 °C temperature difference 7 Watts power generating was being designed by using 5 pieces of thermoelectric modules. When the designed generator with 91 °C temperature difference occurs load resistance of 12 Ω was set to provide maximum power transfer and power was measured as 29.24 Watts. The thermoelectric generator efficiency was calculated as 4.8 %. The results related to the experiments are shown in tables and graphs.

2016, 54 PAGE

KEYWORDS: Thermoelectric Generators, Thermocouple, Waste Heat, Residual Heat, Renewable Energy

ÖNSÖZ

Çalışmalarım süresince, her türlü konuda yardımlarını esirgemeyen fikirleriyle çalışmama yön veren değerli hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Abdullah Hakan YAVUZ'a desteklerini esirgemeyen Prof. Dr. Raşit AHISKA'ya teşekkür ederim. Ayrıca çalışmamda yardımlarını esirgemeyen kardeşim Metehan SÖNMEZ'e teşekkür ederim. Teşvik ve desteklerini hiç esirgemeyen Lütfiye SÖNMEZ'e, annem Güler SÖNMEZ'e ve ablam Neslihan SÖNMEZ'e minnettarlığımı belirtmek isterim

OĞUZHAN SÖNMEZ

12 Ağustos 2016

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR	vi
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	x
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÖZETLERİ.....	6
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	9
3.1. Elektrik, Termoelektrik Etkiler ve Termoelektrik Elemanlar	9
3.1.1. Joule etkisi	9
3.1.2. Termoelektrik etkiler	9
Seebeck etki	10
Peltier etki	11
Thomson etki.....	12
3.2. Termoelement ve Termoelektrik Modül.....	13
3.2.1. Termoelektrik yarıiletkenler ve elde edilme yöntemleri	13
3.2.2. Termoelement.....	15
3.2.3. Termoelektrik modül	17
3.2.4. Termokupllar ve termoelementler arasındaki farklar	19
3.2.5. Termoelektrik modülün avantajları ve uygulama alanları.....	20
3.2.6. Termoelektrik Modülün Soğutucu Olarak Kullanılması.....	21
3.2.7. Termoelektrik Modülün Jeneratör Olarak Kullanılması	22
Termoelektrik jeneratör verimi	23
Maksimum Güç Transferi	24
Termoelektrik jeneratör çıkış karakteristiği	26
Termoelektrik jeneratör tipleri	27
3.3. Termoelektrik jeneratör tasarımı	29
3.3.1. TEJ'in Tasarım Aşamaları.....	31
3.4. Deneysel Kurulum	32
3.4.1. Su Soğutmalı Dolaşım Sistemi.....	33
3.4.2. K Tipi Termokupl.....	34
3.4.3. Varyak	35
3.4.4. Fluke 17B+ Dijital Ölçü Aleti	36
3.4.5. Yükler	36

3.4.6. Elektrikli Isıtıcı.....	37
3.4.7. Su Pompası	38
4. BULGULAR.....	39
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	49
6. KAYNAKLAR	50
7. ÖZGEÇMİŞ	54



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler	Açıklama
I	Akım
I_{max}	Maksimum akım
I_L	Yük akımı
I_{SC}	Kısa devre akımı
k	Isıl iletkenlik
P	Güç
P_L	Yüke aktarılan güç
P_A	Alınan güç
P_V	Verilen güç
Q_J	Joule ısısı
Q_L	Isıl yük
Q_P	Peltier ısısı
Q_T	Thomson ısısı
P_{Lmax}	Termoelektrik jeneratörün ürettiği maksimum güç
R	Direnç
R_{in}	İç direnç
R_L	Yük direnci
T	Sıcaklık
T_{ave}	Ortalama sıcaklık
T_C	Soğuk yüzey sıcaklığı
T_H	Sıcak yüzey sıcaklığı
$T_{sç}$	Su çıkış sıcaklığı
T_{sg}	Su giriş sıcaklığı
V	Gerilim
V_L	Yük gerilimi
V_{OC}	Açık devre gerilimi
V_{TEJ}	Termoelektrik jeneratör çıkış gerilimi

η	Verim
ΔT	Sıcaklık farkı
ΔV	Gerilim farkı
α	Seebeck katsayısı
α_p	P tipi yarıiletkenin seebeck katsayısı
α_n	N tipi yarıiletkenin seebeck katsayısı
Π	Peltier katsayısı
Ω	Ohm
σ	Stefan–Boltzmann sabiti

Kısaltmalar

Açıklama

EİE	Elektrik İşleri Etüt İdaresi
LED	Light Emitting Diode
WHR	Waste Heat Recovery- Atık Isı Geri Dönüşümü
TEJ	Termoelektrik Jeneratör
TEM	Termoelektrik Modül
ZT	TEM Kalite Katsayısı
TE	Termoelektrik
MAM	Marmara Araştırma Merkezi
TÇMB	Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği
TÜBİTAK	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
DC	Doğru akım
TES	Termoelektrik Soğutucu
Q_w	Quantum Wells
THM	Bölge Eritme Yöntemi (Travelling Heater Method)

PID	Oransal-İntegral-Türevsel Denetleyici
RPM	Dakikadaki devir sayısı (Revolutions Per Minute)

ŞEKİL LİSTESİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1. Türkiye’de kurulu gücün kaynaklara göre dağılımı	3
Şekil 1.2. Toplam kurulu gücün enerji kaynağı türlerine göre dağılımı.....	3
Şekil 3.1. Seebeck etkiyi açıklayan TE devre.....	11
Şekil 3.2. Peltier etkiyi açıklayan TE devre.....	12
Şekil 3.3. Thomson etkiyi açıklayan TE devre	12
Şekil 3.4. Termoelementin temel yapısı	16
Şekil 3.5. Termoelementin soğuyan levhasında akıma bağlı ısı değişimleri	17
Şekil 3.6. TEM’ün yapısı.....	18
Şekil 3.7. Çeşitli yapı ve özelliklerde TE modüller	18
Şekil 3.8. T-tip termokupl	19
Şekil 3.9. TES modda bir TEM	21
Şekil 3.10. TEJ modda bir TEM	22
Şekil 3.11. Maksimum güç transferini açıklayan devre.....	24
Şekil 3.12. Maksimum güç transferini sağlayacak R_L değerini için devre	25
Şekil 3.13. TEJ eşdeğer elektrik devresi.....	26
Şekil 3.14. Termoelektrik modül boyutları.....	30
Şekil 3.15. Termoelektrik modül sıcak ve soğuk yüzeyleri.....	30
Şekil 3.16. Prototip TEJ kurulumu	30
Şekil 3.17. Bakır levhanın temizlenmesi	31
Şekil 3.18. TEM’lerin temizlenmesi.....	31
Şekil 3.19. TEM’lerin bakır levha üzerine termal macunla yerleştirilmesi.....	32
Şekil 3.20. Deney düzeneği	32
Şekil 3.21. LC 200 su soğutucusu.....	33
Şekil 3.22. LC 200’ün su devir daim sistemlerinde kullanılması.	34

Şekil 3.23. K tipi direkt temaslı sıcaklık probu.	35
Şekil 3.24. Varyak	35
Şekil 3.25. Fluke 17B+ Dijital ölçü aleti	36
Şekil 3.26. LED ampul, fan, potansiyometre.....	37
Şekil 3.27. Seramik rezistanslı 1 000 W gücünde elektrikli ısıtıcı.....	37
Şekil 3.28. Su devir daim motoru	38
Şekil 4.1. Deneysel kurulum şeması	39
Şekil 4.2. Üreteç.....	40
Şekil 4.3. $R_{in} - T_H$ Grafiği.....	41
Şekil 4.4. $V_{OC} - \Delta T$ Grafiği	42
Şekil 4.5. $V_{OC} - \Delta T$ Grafiği (Varyak %40 Güç Uygulandığında)	43
Şekil 4.6. $V_{OC} - \Delta T$ Grafiği (Varyak %60 Güç uygulandığında).....	44
Şekil 4.7. $V_{OC} - \Delta T$ Grafiği (Varyak %100 Güç Uygulandığında).....	44
Şekil 4.8. $P - T_H$ grafiği.....	46
Şekil 4.9. Fan ve LED ampulün çalışması.....	47
Şekil 4.10. R_L 'ye bağlı I, V ve P grafiği.....	48

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge

Sayfa

Çizelge 1.1. Mevcut enerji üretim sistemlerinin çevresel etkileri	2
Çizelge 4.1. Varyak Oranlarına göre V-A-P- ΔT değerleri	41
Çizelge 4.2. T_H 'a bağlı R_{in} Değerleri	45
Çizelge 4.3. T_H 'a bağlı I –V değerleri.....	46

1. GİRİŞ

Gelişen sanayileşme ve artan nüfusla birlikte ihtiyaç duyulan enerji gereksinimi mevcut enerji kaynaklarıyla karşılanamamaktadır. Diğer taraftan enerji üretiminde başı çeken fosil yakıtlar çevre kirliliğine de sebep olmaktadır. Endüstriyel faaliyetler sonucunda her yıl atmosfere yaklaşık 20 milyar ton karbondioksit, 100 milyon ton kükürt bileşikleri, 2 milyon ton kurşun ve diğer zehirli kimyasal bileşikler salınmaktadır. Fosil yakıtlarla sağlanan enerji, dışa bağımlılık, yüksek ithalat giderleri ve çevre sorunları gibi önemli olumsuzlukları beraberinde getirmektedir. Kıt olan fosil yakıt kaynaklarının hızlı tüketilmesiyle yenilenebilir enerji kaynaklarının önemini artırmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının sürekliliğinin sürdürülebilir olması ve her ülkede bulunabilir olması nedeniyle de büyük önem taşımaktadır. Ayrıca çevresel etkileri, yenilenemeyen enerji kaynaklarına oranla çok azdır. Teknik ve ekonomik sorunların çözülmesiyle beraber yenilenebilir enerji kaynakları 21. Yüzyılda en önemli enerji kaynağı olarak kabul edilmektedir (ÇKA, 2010).

Fosil yakıtlar ve yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji üretimi sırasında çevresel etkilerinin değerlendirilmesi Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) tarafından yapılan Çizelge 1'de yer almaktadır. Buna göre, fosil yakıt olarak nitelendirilen petrol, kömür ve doğalgaza bağlı enerji üretiminin olumsuz çevresel etkileri bu kaynaklardan uzaklaşma gereğini ortaya koymaktadır. Diğer taraftan, yenilenebilir enerji kaynakları olarak nitelendirilen güneş ve rüzgâr enerjisinin yalnızca fosil yakıtlara değil, diğer yenilenebilir kaynaklara kıyasla da daha temiz ve çevreye zararı olmayan enerji üretim kaynakları olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu çerçevede, güneş enerjisinin çevreye zararı olmazken, rüzgâr enerjisinin yalnızca gürültü kirliliğine sebep olduğu görülmektedir. Gelişen teknolojiyle birlikte bu sorunun ortadan kalkacağı görüşü öne çıkmaktadır.

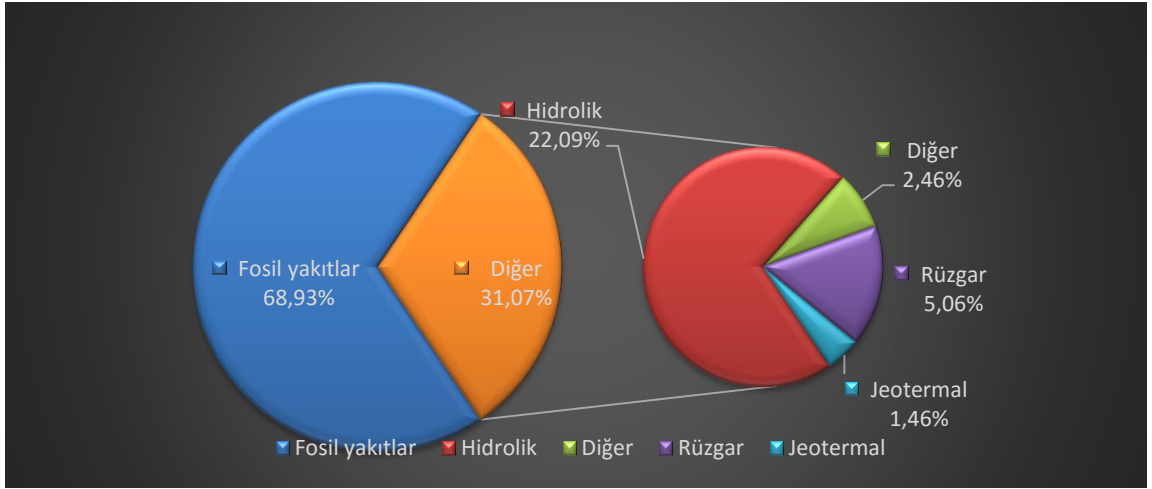
Çizelge 1.1. Mevcut enerji üretim sistemlerinin çevresel etkileri

	İklim Değişikliği	Asit Yağmurları	Su Kirliliği	Toprak Kirliliği	Gürültü	Radyasyon
Petrol						
Kömür						
Doğalgaz						
Nükleer						
Hidrolik						
Rüzgâr						
Güneş						
Jeotermal						

■ Negatif Etki

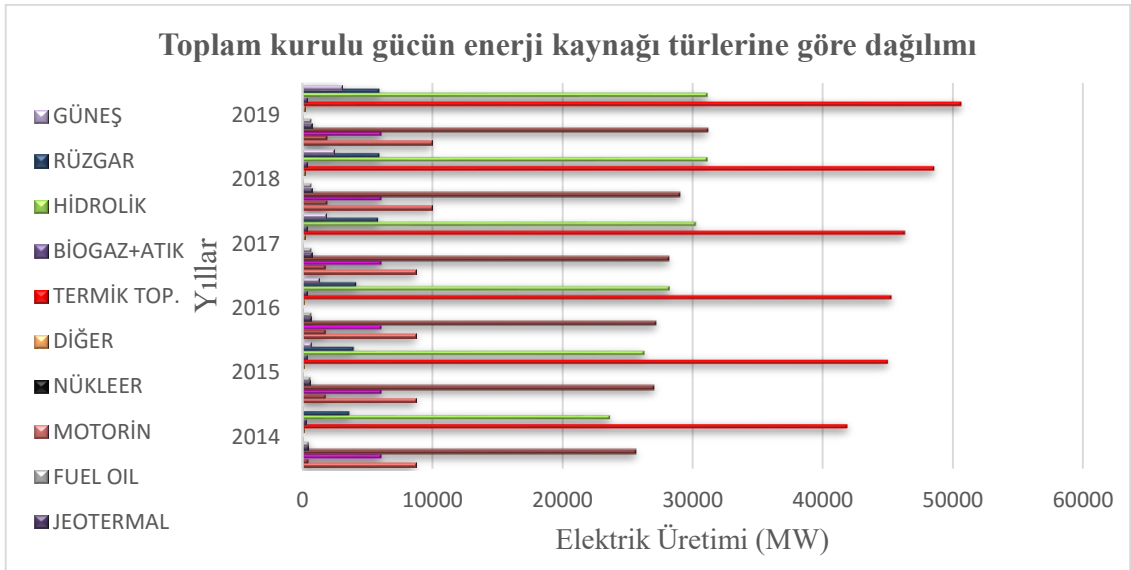
Yenilenebilir enerji sektöründeki hızlı gelişim sektörün hedeflerinin revize edilmesine ihtiyaç duyulmuştur. Birçok ülkede yenilenebilir enerji alanında istihdam edilen personel sayısı 100 000 kişiyi, bu sektörün küresel çapta istihdama direkt olarak katkısı 3.5 milyonu bulduğu görülmektedir (REN21, 2011).

Şekil 1.1’de görüldüğü gibi Türkiye’nin 28.07.2016 dahil son 365 günü kurulu gücünün yaklaşık % 65.85’ni fosil yakıtlar oluşturmakta ve söz konusu enerji kaynaklarındaki dışa bağımlılık ülke ekonomisini baskı altında tutmaktadır. 27.07.2016 dâhil son 365 günde Türkiye birincil enerji arzının % 52.41’ini ithal etmiştir. Oysa ki Türkiye yenilenebilir enerji kaynakları açısından çok elverişli bir coğrafi yapıya sahip olup başlıca yenilenebilir enerji kaynakları arasında hidrolik enerji, biokütle, rüzgâr, biyogaz, jeotermal ve güneş enerjisi gelmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları açısından bu kadar zengin bir potansiyele sahip olunmasına rağmen, 2016 yılında toplam kurulu enerji kapasitesinin % 32.52’sini yenilenebilir enerji kaynakları oluşturmuştur (TEİAŞ, 2016). Türkiye’de yenilenebilir kaynaklara dayalı enerji üretiminde en büyük paya sahip olan alt sektör hidroelektrik olup, hidroelektrik dışında kalan yenilenebilir kaynaklar toplam enerji kapasitesinin yalnızca % 6.42’sini oluşturmaktadır. Hidroelektrik dışındaki yenilenebilir enerji kaynakları arasında en büyük paya rüzgâr enerjisi sahiptir ve rüzgâr enerjisi yıllar içinde payını artırmaya da devam etmektedir.



Şekil 1.1. Türkiye’de kurulu gücün kaynaklara göre dağılımı (Anonim, 10.08.2016)

Türkiye genelinde kişi başına düşen yıllık ortalama elektrik tüketimi 2015 yılı itibariyle 3373 kWh / kişi yıl düzeyindedir (Enerjiatlası, 2016). Bununla birlikte Türkiye’de artan nüfus, refah seviyesi ve mevcut eğilimlere bağlı olarak elektrik talebinin 2024 yılına kadar her yıl ortalama % 5.5 oranında artış göstereceği öngörüsünde bulunmaktadır (EPDK, 2015). Elektrik üretimi projeksiyonlarının elektrik üretim türlerine göre dağılımı Şekil 1.2’de görülmektedir. Buna göre 2019 yılına kadar fosil yakıtlardan sağlanan elektrik oranının, yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarına göre daha az artacağı öngörülmektedir.



Şekil 1.2. Toplam kurulu gücün enerji kaynağı türlerine göre dağılımı (Anonim, 10.08.2016)

Türkiye’de yenilenebilir enerji konusundaki politika çerçevesini öncelikle 5346 sayılı “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına ilişkin Kanun” çizmektedir. Bu kanun kapsamında; yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi amaçlı kullanımının yaygınlaştırılması, bu kaynakların güvenilir, ekonomik ve kaliteli biçimde ekonomiye kazandırılması, kaynak çeşitliliğinin artırılması, sera gazı salınımlarının azaltılması, atıkların değerlendirilmesi, çevrenin korunması ve bu amaçların gerçekleştirilmesinde ihtiyaç duyulan imalat sektörünün geliştirilmesi hedeflenmektedir.

Endüstriyel alanlarda, ısıtmanın söz konusu olduğu işlemlerde harcanan ısının belirli bir miktarı kullanılabilir kısımla kullanılmayan kısım değişik yollarla ve çoğunlukla baca gazları vasıtasıyla atılmaktadır. Atmosfere bırakılan atıl ve atık sıcak gazlar Waste Heat Recovery (WHR) sistemi kullanılarak elektrik enerjisi üretimi mümkün olmaktadır. Böylece, atmosfere bırakılan ısı kullanılarak hem elektrik enerjisi üretilip ekonomik fayda sağlanmakta hem de çevre bakımından faydalı bir işlem yapılmaktadır.

Termoelektrik Jeneratörler (TEJ) giriş kaynağı olarak, atık ısı kullandığı için elektrik üretiminde tamamen çevre dostudur ve enerjinin verimli kullanılmasına olanak sağlarlar (Dai ve ark., 2011). TEJ’lerden elektrik enerjisi üretimi Seebeck etkiye dayanır. TEJ yüzeyleri arasında ne kadar yüksek sıcaklık farkı olursa o oranda elektrik enerjisi üretimi artar. Bu sıcaklık farkı kullanılan kaynağa göre değişkenlik gösterdiğinden sabit gerilim elde edebilmek amacıyla gerilim düzenlemesine ihtiyaç duyarlar (Nagayoshi ve ark., 2007). TEJ’lerin dezavantajları arasında; diğer yenilenebilir enerji teknolojileriyle karşılaştırıldığında, TEJ’lerde kullanılan yarıiletkenlerin kalite faktörünün küçüklüğü ve buna bağlı olan çevrim verimliliğinin %10’dan düşük düzeyde olmasıdır (Karabetoğlu ve ark., 2012). Son yıllara kadar, Termoelektrik (TE) uygulamalar Termoelektrik modül (TEM)’lerin üretiminde kullanılan yarı iletkenlerin kalite değerlerinin (ZT) 1’den küçük olmasından dolayı sınırlı iken, 1990’ların başlarından itibaren, ZT’lerinin 1’den 2 değerlerine yaklaşmasıyla ilgili raporlar yayınlanmıştır. Buna bağlı olarak, TEM uygulamaları hızla artmış ve artacağı da anlaşılmıştır (Zhao ve ark., 2008). Fakat bu dezavantajının yanında, TE enerji üretim sistemlerinde kullanılan ısı kaynağının atık, jeotermal ve güneş enerjisi ısıları gibi, yenilenebilir olduğu düşünüldüğünde bu çevrim sistemlerindeki verimliliğinin göz ardı edilebileceği görülmektedir (Xi ve ark., 2007).

TEJ veriminin düşük olmasına karşın, enerji giriş kaynağının yenilenebilir olması bu sistemlerin ekonomikliğini arttırmaktadır ve uygulamalar bunu göstermiştir. Son yıllarda, TEJ'lerle elektrik enerjisi üretimi üzerine yapılan çalışmalar endüstriyel fabrikalar, jeotermal alanlar, otomobil motorları, tümleşik devreler, bilgisayarlar ve insan vücudundan atılan atık ısıların geri kazanımı üzerine odaklanmıştır (Riffat ve ark., 2003). Dünyada enerji ihtiyacının devamlı artış gösterdiği, hali hazırda kullanılan enerji kaynakları nedeniyle çevre kaygıları devam ettiği müddetçe ve enerjinin verimli kullanımı dikkate alındığı sürece yenilenebilir enerji kaynaklarından olan TEJ'lere ihtiyaç sürekli olacak ve sıcak araştırma konuları arasında yer almayı sürdürecektir.

TEM üretim teknolojisinde ve güç elektroniğindeki değişimler nedeniyle TEM'lerin matematiksel modellenmeleri ve en yüksek verimle çalıştırma çabaları devam etmektedir (Champier ve ark., 2010). TEJ modellemeleri ısı iletimi ve elektrotermal özelliklerin incelenmesi üzerinedir. Bununla birlikte, TEJ'lerin elektronik devrelerin benzetim programlarında kullanabilmesi amacıyla da modellemeleri yapılmıştır. Atık ısıdan TEJ yardımıyla elektrik enerjisi elde edilmesinde TEJ'den en iyi verimin alınması için TEJ iç direnciyle (R_{in}) yük direnci (R) birbirine eşit olmalıdır. TEJ'ler farklı sıcaklık aralıklarında kullanıldıkları için buna bağlı olarak parametreleri sürekli olarak değişim göstermektedir (Fraisse ve ark., 2013).

Bu çalışmanın temel amacı, enerji konusunun önemine dikkat çekmek, alternatif yaklaşımlarla enerji tüketimini azaltmak, atık enerjiyi geri kazanabilecek çözümler üreterek, bunların kullanımını en küçük birimlere indirgeyecek cihazlar geliştirmektir.

Bu amaçla alternatif enerji kaynakları genel olarak göz önüne alınarak avantajlı ve dezavantajlı yönleri incelenmiştir. Atık ısı enerjisinin yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde yeterli değeri almadığı oysa ister endüstriyel ister evsel olsun irili ufaklı birçok ısı kaynağı olduğu görülmüştür. Özellikle kırsal kesimde ısınmak için kullanılan odun sobaları için yeni nesil TE malzemeler kullanılarak bir jeneratör tasarımı gerçekleştirilmiştir. Böylece atık ısının elektrik enerjisine doğrudan dönüştürülmesi için iyi bir alternatif olarak önerilmiştir.

2. LİTERATÜR ÖZETLERİ

Atık ısı, işleyen makineler ve değişik işlemlerde kullanılan enerji kullanıldıktan sonra yüksek miktarda enerji zorunlu yan ürün olarak üretilir. Her türlü insan aktivitesi, doğal sistemler ve bütün organizmalarda atık ısı kaynağıdır. Evdeki yanan sobadan veya kombiden, araç egzozlarından çıkan ısıdan, ekmek veya pide fırını dış yüzeylerinden ve bacalarından, tuğla fabrikalarındaki bacalardan, çimento fabrikalarındaki fırınlardan ve soğutma bacalarından. Dolayısıyla atık ısı birçok kaynaktan elde edilir. Geliştirilen yeni sistemler sayesinde bu atık ve atıl ısılar tekrar sanayiye kazandırılmaya çalışılmaktadır. Ekonomik katkının yanında çevre kirliliğinin azalması ve çevre dengesi gözetilmektedir.

Tütüncü, (2012) tezinde çimento fabrikalarının bacalarından atılan ısı ile elektrik enerjisi üreten tesisin kullanılmasının sanayide enerji verimliliğine olan etkisini değerlendirmiştir. WHR sisteminin kullanımıyla toplam 420 MW elektriksel güç elde etmeyi öngörmüş olup dolaylı yollardan da CO₂ salınımlarının azalmasına katkı sağlayabilecektir.

Akgün ve ark., (2000), Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) Marmara Araştırma Merkezi (MAM) ile Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği (TÇMB) ile birlikte yapılan çalışmada optimize edilmiş bir çimento fabrikasında atılan ısı miktarının 262 kcal/kg klinker olarak tespit ettiklerini ve eğer kömürün kalorifik değerinin 5 700 kcal olduğunu kabul edilirse atılan ısının ekonomik değerinin yıllık 1 ile 1.6 milyon dolar arasında değiştiğinin üzerinde durmuşlardır.

Yamankaradeniz, (2011) doktora tezinde endüstride yaygın olarak kullanılan kurutma proseslerinde, kurutma odasından ayrılan nemli ve sıcak havanın ısısının geri kazanılması amacıyla değerlendirilmesi üzerine çalışma yapmıştır.

Koçlu, (2011), tezinde Tekstil sektöründe atık sızılardan ısı geri kazanım sistemi uygulaması olarak, bir tekstil işletmesi bünyesinde boyahaneye ısı geri kazanım sistemi kurulmuştur. Sistem sayesinde 1 kg pamuk boyama için harcanan doğalgaz miktarında aylık ortalama % 28.36 oranında azalma kaydedilmiştir.

Dişlitaş ve ark., (2003), jeotermal enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren jeneratör yapmış ve test etmişlerdir. Bu yenilenebilir enerji kaynağı sayesinde temiz ve ucuz enerji elde edilmiştir.

Kılıç, (2010), yapılardaki atık ısının geri kazanımı üzerine termoelektrik jeneratörler kullanılarak bir çalışma yapmıştır. Bacaya yerleştirdiği deney düzeneğiyle ısı kaybı olmaksızın sıcak su ve enerji ihtiyacını karşılamıştır. Sonuç olarak yapılan hesaplamalarla % 12.2'lik fayda sağlanmıştır.

Trottmann ark., (2010), çalışmalarında araçların çalışırken yakıt yakmasından dolayı ortaya çıkan ısının egzozdan atılırken değerlendirmek için bir çalışma yapılmıştır. Egzoza monte edilen termoelektrik üretici sayesinde % 5 oranında yakıt tasarrufu sağlamıştır.

Wojciechowski ark., (2007), makalesinde otomatik ateşlemeli 1.3 dm³ dizel motor araç egzozu üzerine yerleştirilen termoelektrik üreticiden ölçümler sonucu 750 W güç elde ettiğini belirtmiştir.

Nuwayhid ark., (2003), makalesinde soba üzerine yerleştirdiği termoelektrik üretici sayesinde kış aylarındaki elektrik kesintilerine alternatif olması için basit bir enerji kaynağı elde etmiştir. Bu kaynağı aydınlatmada kullanılabileceğine değinilmiştir. Elde edilen güç miktarı 4 W'dır.

Gür ve ark. (2009), çalışmalarında güneş enerjisinden yararlanarak yoğunlaştırılmalı güneş enerjisi sistemi ve termoelektrik jeneratör kullanarak elektrik üretimi yapmışlardır. Bu deneyle, optimum olmayan şartlarda yapılan ölçümlerde elde edilen verim değerleri % 1.043 olarak hesaplanmıştır.

Baş, (2014) tezinde soba borusunda üretilen atık gaz ile ısıtılan termoelektrik jeneratör sıcaklık farkı prensibiyle elektrik üretimi sağlamıştır. Ölçümlerde gerilim değerlerinin 5.11 V ile 8.69 V arasında değiştiği gözlenmiştir.

Vieira ve ark., (2009), çalışmasında su ısıtma sistemindeki ısıyı termoelektrik üreticiyle elektrik enerjisine çevirerek pil şarj edilmiştir. Çalışmada % 34 şarj verimini arttırmıştır. 2.3 W güç elde etmiş ve 12 V 20 Ah' lik bir akü şarj etmiştir.

Eakburanawat ve ark., (2006), tezinde aküyü şarj etmek için termoelektrik enerjiden yararlanmışır. Hesaplamalarda 7.99 W güç elde etmiştir. Bu sayede % 15 şarj verimini arttırmıştır.

Maneewan ark., (2004), çalışmalarında termoelektrik modülleri binanın çatısına yerleştirmişler ve bir bilgisayar programı ile simule etmişlerdir. Çalışma sonucunda sistemin maliyeti kendisini 4.36 yılda amorti edeceğini hesaplamışlar.

Bass ve ark., (2001), çalışmasında 550 hp gücünde kamyonun egzozuna yerleştirdikleri termoelektrik modüllerle yaklaşık 1 kW güç elde etmişlerdir. Termoelektrik jeneratör 72 adet HZ-14 termoelektrik modülden oluşmaktadır.

Inayat ve ark., yeşil bina teknolojisi için plastik cama yerleştirilmiş termoelektrik sistemlerden güç üretimini araştırmışlardır. Pleksiglass malzemenin pencere olarak kullanılabileceği düşünülerek termoelektrik malzemenin 5 mm'lik alanda 10 nW'lık güç üretebileceği görülmüştür.

Çalışmalarda ön plana çıkan, atıl ısı ve geri dönüşümün yapılmadığı durumlarda termoelektrik enerjinin kullanılabileceğidir. Aydınlatma, araçlarda yakıt tasarrufu, pil ve akülerin şarjı için çalışmalar yapılmış ve ortaya değerlendirilebilir sonuçlar çıkmıştır. Atıl ısının değerlendirilebileceği birçok kaynak mevcuttur. Bu çalışmalarda, güneş ışınları, araç egzozları, sobalar, doğal sıcak su kaynakları ve su ısıtıcılarından yararlanılmışır.

Uygulamamızda ise termoelektrik modüllerin uygulama alanlarına göre çalışma prensibi ve karakteristik özelliklerine yönelik araştırmalar yapılmıştır. Termoelektrik jeneratör sistemi ile elektrik üretimi için deney sistemi oluşturulmuş, oluşturulan bu deney sisteminde termoelektrik jeneratörün sıcak olması gereken kısmının atık gaz tarafından ısıtılması ve soğutulan kısım ise farklı su debilerinde soğutulması sağlanmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Elektrik, Termoelektrik Etkiler ve Termoelektrik Elemanlar

Uygulama açısından büyük öneme sahip olan maddenin elektriksel özelliklerini joule ve TE etkiler karakterize etmektedir (Kapıdere, 2005).

3.1.1. Joule etkisi

James Prescott Joule'un isminin verildiği ve elektrik enerjisinin ısı enerjisine dönüşümünü ifade eden kanununa göre; bir iletkenin ısısı, direnci ve içinden geçen akımın karesiyle orantılı olarak artar. Bir elektrik devresinde birim zamanda ortaya çıkan Joule ısı (Q_J) miktarı watt olarak;

$$Q_J = I^2 \cdot R \quad (2.1)$$

eşitliğiyle ifade edilir. Burada I iletkenden geçen akım ve birimi Amper (A), R ise iletkenin direncidir birimi ise ohm'dur (Ω).

3.1.2. Termoelektrik etkiler

TE etki, ısı enerjisi ile elektrik enerjisinin birbirlerine doğrudan dönüşümü olarak tanımlanır. TE etki, İngiliz fizikçi James P. Joule'un tanımladığı geri dönüşümü olmayan elektrik-ısı dönüşümü ile tersine çevrilebilir seebeck, peltier ve thomson etkilerini kapsamaktadır. Seebeck etki 1821 yılında Alman Fizikçi Thomas Johann seebeck, peltier etki 1834 yılında Jean Charles Athanese Peltier, thomson etki ise 1856 yılında William Thomson (Lord Kelvin) tarafından keşfedilmiş ve adları bu olaylara verilmiştir. Peltier

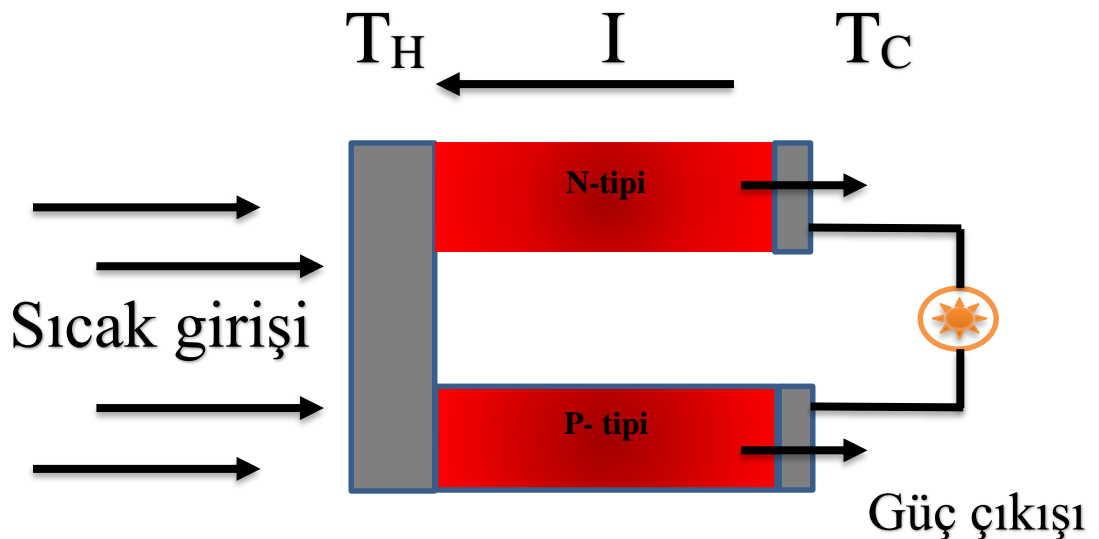
etki TE soğutucuların, seebeck etki ise TE jeneratörlerin temelini oluşturmaktadır. thomson etki ise düşük etkili olduğundan genellikle göz ardı edilmektedir. Isı ve elektriksel etkilerin bir arada bulunduğu ve etkileşim halinde olduğu devreye TE devre, TE prensibine göre çalışan sistemlere de TE sistem adı verilmektedir (Dişlitaş, 2009).

Seebeck etki

Alman fizikçi Thomas Johann Seebeck 1821 yılında, farklı metallere yapılmış iki iletkenin uçları birleştirilerek oluşturulan ve termokupl olarak adlandırılan kapalı bir TE devrede; iletkenlerin birleşim noktaları arasında oluşturulan sıcaklık farkıyla doğru orantılı bir gerilim meydana geldiğini bulmuştur. Seebeck etkinin anlatıldığı TE seri devre Şekil 3.1’de görülmektedir. Burada a ve b gibi farklı iletken kullanılarak oluşturulan seri devrede, iletkenlerin birleşim noktalarına birbirinden farklı T_1 ve T_2 sıcaklıkları uygulandığında, iletken uçlarında bir potansiyel farkı meydana gelmektedir. ΔT sıcaklık farkıyla doğru orantılı olarak meydana gelen bu potansiyel fark (ΔV);

$$\Delta V = \alpha \cdot \Delta T \quad (2.2)$$

eşitliği ile ifade edilir. Burada α , Seebeck katsayısı (termoemk) olup birimi V / K ’ dir. seebeck etkinin, TE yarıiletkenlerde jeneratör olarak, metallere ise ısı ölçümü (termokupl) olarak kullanıldığı iki önemli ana uygulaması vardır (Fidan, 2000).



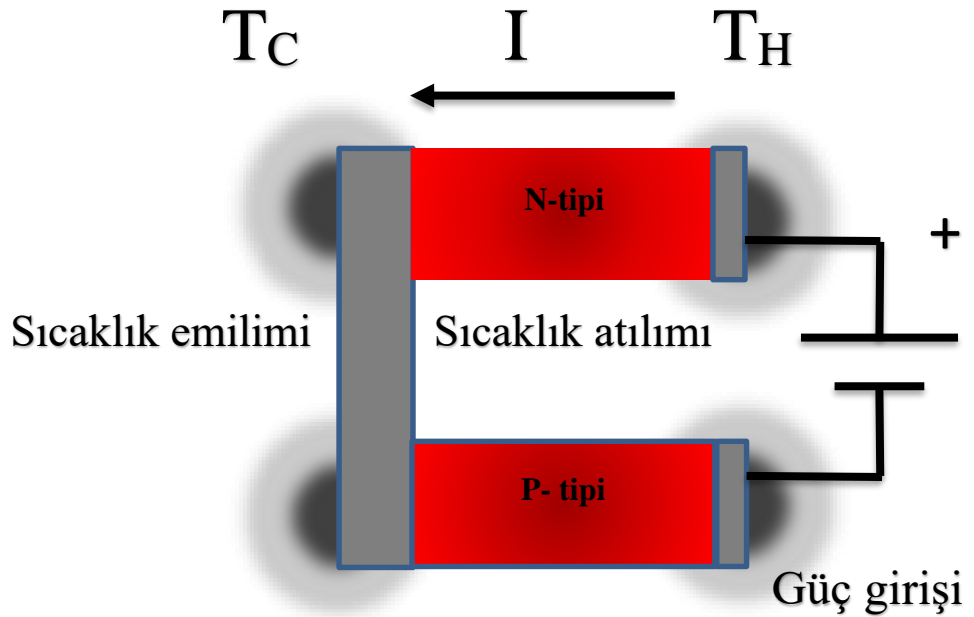
Şekil 3.1. Seebeck etkiyi açıklayan TE devre

Peltier etki

Fransız fizikçi Jean Charles Athanese Peltier 1834'te seebeck etkinin tersi durumunda olan peltier etkiyi keşfetmiştir. Peltier etkiyi açıklayan TE devre Şekil 2.2'de görülmektedir. Eğer termokupl içerisinde bir DC akım geçerse, joule ısı ile birlikte akım yönüne bağlı olarak temas noktalarının birinden ısı emilirken (soğutma) diğer temas noktasından ısı açığa çıkmaktadır (ısıtma). Joule ısından farklı olarak ortaya çıkan bu ısıya peltier ısı denir. Açığa çıkan ısı miktarı, uygulanan akım şiddetiyle doğru orantılıdır ve yönü akım yönünün değiştirilmesi ile değişir. Birim zamanda üretilen peltier ısı (Q_P) watt olarak Eş. 2.3 ile ifade edilir:

$$Q_P = \pi \cdot R \quad (2.3)$$

Burada; π peltier katsayısıdır (Dişlitaş, 2009).



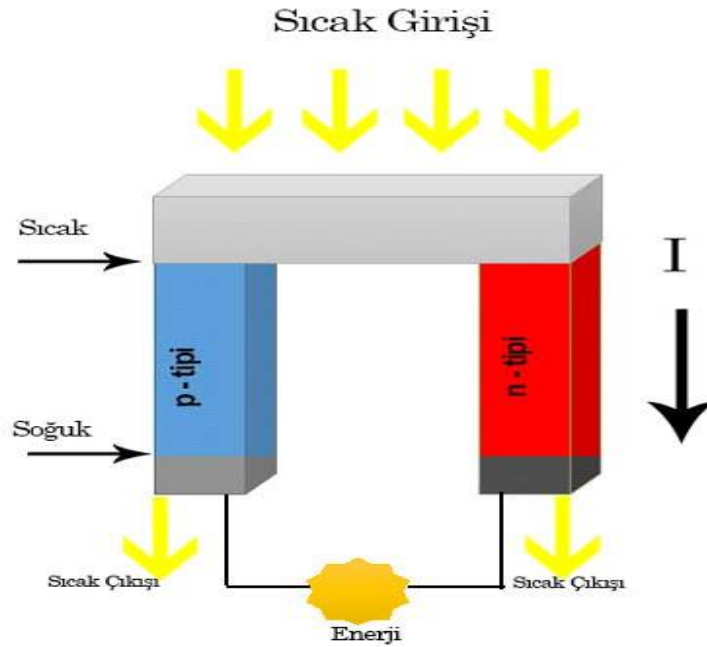
Şekil 3.2. Peltier etkiyi açıklayan TE devre

Thomson etki

İskoç bilim adamı William Thomson (Lord Kelvin), 1856 yılında termoemk (α) ve peltier katsayısı (π) arasında,

$$\alpha = \frac{\pi}{T(K)} \quad (2.4)$$

Eşitliğini ifade etmiştir. Ayrıca kendi ismini taşıyan ve 1867’de Leru tarafından deneysel olarak kanıtlanan thomson etkisinin hipotezini öne sürmüştür. Şekil 3.3’te görüldüğü gibi, akım taşıyan bir iletkenin herhangi iki noktası arasında bir sıcaklık farkı varsa, akım yönüne göre iletkende joule ısısına ek olarak thomson ısısı (Q_T) açığa çıkmaktadır.



Şekil 3.3. Thomson etkiyi açıklayan TE devre

Birim zamanda ortaya çıkan thomson ısısı,

$$Q_T = I \cdot \alpha \cdot \Delta T = I \cdot \alpha_T \cdot (T_2 - T_1) \quad (2.5)$$

Şeklinde akım şiddeti (I) ve sıcaklık farkı (ΔT) ile doğru orantılı olarak ifade edilir. İki farklı metalden oluşan bir devre için thomson termoemk değerleri arasındaki ilişki ise;

$$\alpha_T = (\alpha_{Ta} - \alpha_{Tb}) \frac{T_2 - T_1}{T_2} \quad (2.6)$$

olarak ifade edilmektedir. Burada α_T thomson etkisi ile meydana gelen termoemk miktarıdır. α_{Ta} ve α_{Tb} ise farklı maddelerden oluşan devreyi ifade etmek için kullanılmaktadır. TE etkilerin oluştuğu devrelerde thomson etkisini yok etmek amacıyla α_T değerleri eşit olan malzemeler seçilmelidir (Fidan, 2000).

3.2. Termoelement ve Termoelektrik Modül

3.2.1. Termoelektrik yarıiletkenler ve elde edilme yöntemleri

Yarıiletkenlerin elde edilmesi, özelliklerinin araştırılması, çeşitli cihaz ve sistemlere uyarlanarak sanayiye kazandırılmasına kadar uzanan birçok teknolojiyi içeren yarıiletken teknolojileri üzerinde dünyada geniş çapta araştırmalar yapılmaktadır (Riffat, 2003; Boztepe, 1995).

Maddeler elektrik iletimine göre iletken, yarıiletken ve yalıtkan olmak üzere üçe ayrılırlar. Elektrik akımını oluşturan yük taşıyıcıları; elektrolitlerde iyonlar, metallerde elektronlar, yarıiletkenlerde ise elektron ve deliklerdir. n-tip yarıiletkenlerde negatif yük taşıyıcıları (elektronlar), p-tip yarıiletkenlerde ise pozitif yük taşıyıcıları (delikler) çoğunluktadır. Sahip oldukları serbest elektrik yükleri sayesinde elektrik akımını iyi ileten maddelere iletken, serbest elektrik yüklerine sahip olmayan ve bu nedenle elektrik akımını iletmeyen maddelere ise yalıtkan veya dielektrik adı verilir. Yarıiletkenler ise; iletkenlik özelliği iletken ve yalıtkan arasında bulunan maddelerdir (Fidan, 2000; Boztepe, 1995).

İyi bir TE yarıiletkende aranan özellikler şu şekilde sıralanabilir (Möröydor, 2005):

Gereken gerilimi sağlamak için yüksek seebeck katsayısına (α) sahip olmalıdır.

İstenmeyen joule ısısını ($Joule, I^2R$) azaltmak için çok iyi elektriksel iletkenliğe (σ) sahip olmalıdır.

Isı kayıplarının azaltılması için düşük ısı iletkenliğe (k) sahip olmalıdır.

Seebeck katsayısının değeri madde cinsine göre değişmektedir. Seebeck katsayısı metallerde $50 \mu V/k$ 'den küçük, yarıiletkenlerde ise $200 - 300 \mu V/k$ arasındadır. Seebeck katsayısı (α), $100 \mu V/k$ 'den büyük yarıiletkenlere TE yarıiletken adı verilmektedir. TE özelliği yüksek yarıiletkenlere Bizmut (Bi), Antimon (Sb), Selenyum (Se) ve Telleryum (Te) örnek olarak gösterilebilir. Ayrıca Bi_2Te_3 , Bi_2Se_3 , Sb_2Te_3 vb. bileşimler ile $Bi_2Te_3+Bi_2Se_3$, $Sb_2Te_3+Bi_2Te_3$ gibi alaşımların da TE özelliği oldukça yüksektir. Dünyada soğutucu ve jeneratörlerin üretiminde genellikle seebeck katsayısı $200-240 \mu V/K$ arasında değişen $Bi_2Te_3+Bi_2Se_3$ ve $Sb_2Te_3+Bi_2Te_3$ gibi alaşımlar kullanılmaktadırlar. Seebeck katsayısının işareti yarıiletkenlerin tipine göre değişmektedir. Elektron fazlalığı olan n-tip TE yarıiletken negatif seebeck katsayılı iken, elektron eksikliği olan p-tip TE yarıiletken ise pozitif seebeck katsayılıdır (Fidan, 2000; Boztepe, 1995).

TE yarıiletkenlerin üretilmesine yönelik araştırmalardaki temel amaç, yüksek Z parametresine sahip alaşımların elde edilmesi olmuştur. Bu nedenle TE yarıiletkenlerin elde edilmesine yönelik birçok yöntem geliştirilmiştir. Ancak bu işlem için genellikle Bölge Eritme ve Presleme Yöntemi kullanılmaktadır (Yang ve ark., 2000).

Bölge eritme yöntemi (Travelling Heater Method, THM) ile TE yarıiletken üretiminde; öncelikle n-tip yarıiletkenler için % 80 Bi_2Te_3 + % 20 Bi_2Se_3 bileşimi, p-tip yarıiletkenler için ise % 74 Bi_2Te_3 + % 26 Sb_2Te_3 bileşimi kum şeklinde kuvarz tüplerin içine konularak basınç $1,3 \times 10^{-6} atm = 0.133 Pa$ 'ya kadar basınç düşürülür ve tüplerin açık kalan uçları kaynak yapılarak kapatılır. Bu aşamadan sonra tüpler bölge eritme makinesine monte

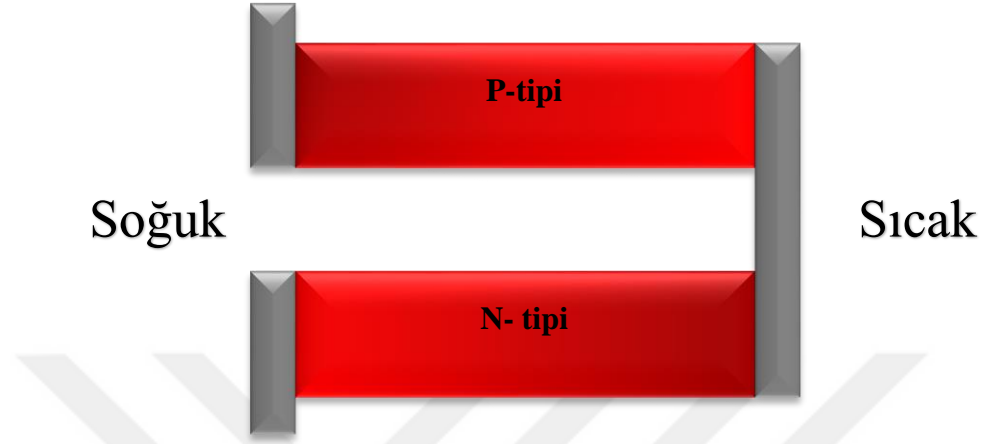
edilir ve elektrik rezistans ısıtıcıyla bölge bölge eritilmektedir. Bölge eritme makinesinde ısıtıcı çok düşük hızla yukarı aşağı hareket ederek, tüpteki tüm maddenin erimesi sağlanır. Bu yöntemde n–tip yarıiletkenlerin erime sıcaklığı 706 °C iken p–tip yarıiletkenlerin ise 711 °C’dir. Kuvartz tüplerin iç çapına göre elde edilen alaşımların kesitleri değişebilmekle birlikte, genelde kesiti 8 mm olan yarıiletkenler üretilmektedir (Fidan, 2000).

TE yarıiletkenlerin elde edilmesinde kullanılan bir diğer önemli yöntem olan presleme yöntemi ise toz metalürji tekniğine dayanmaktadır. Bu yöntemde etrafı ısıtıcıyla sarılarak oluşturulmuş düz prizma şeklindeki kalıbın içine toz haline getirilmiş n–tip yarı iletken için % 80 Bi₂Te₃ + % 20 Bi₂Se₃’den oluşan, p–tip yarıiletken için % 74 Bi₂Te₃ + % 26 Sb₂Te₃’den oluşan bir karışım konulur. Kalıp 400 °C’ye kadar ısıtılarak presle 7 atm = 7×10⁵ Pa basınca tabi tutulur. Kalıbın boyutlarına göre üretilen yarıiletkenlerin çapları değişmekle birlikte, genelde kesiti kare şeklinde ve alanı 7×7 = 49 mm² olan n– ve p–tip kristaller elde edilmektedir (Ökten, 2007).

3.2.2. Termoelement

Herhangi bir TE devre veya sistemin temelinde, ısı pompası olarak çalışan bir TEM (Peltier Soğutucu) yer almaktadır. TEM’in temelini ise elektriksel yönden seri termal yönden paralel olarak bağlantılı termoelementler oluşturmaktadır. Şekil 3.4’te temel yapısı görülen bir termoelement, n– ve p–tip yarıiletkenlerin birbirine iletkenler yardımıyla elektriksel yönden seri bağlanmasıyla oluşmaktadır. Eğer termoelemente bir DC akım uygulanırsa; yük taşıyıcıları enerji seviyesi düşük olan üstteki bakırdan yarıiletkene geçerler ve böylelikle de üstteki bakırın sıcaklığı düşer. Alttaki bakıra gelince; yüksek enerji seviyesinden düşük enerji seviyesine geçen yük taşıyıcıları sahip oldukları fazla enerjiyi alttaki iletkene aktararak onun ısınmasına neden olurlar. Bu geçiş sırasında soğuyan yüzeyden emilen ısı, ısınan yüzeye transfer edilir. Böylelikle soğuyan yüzeyin sıcaklığı düşerken, ısınan yüzeyin sıcaklığı da artacaktır. Termoelemente

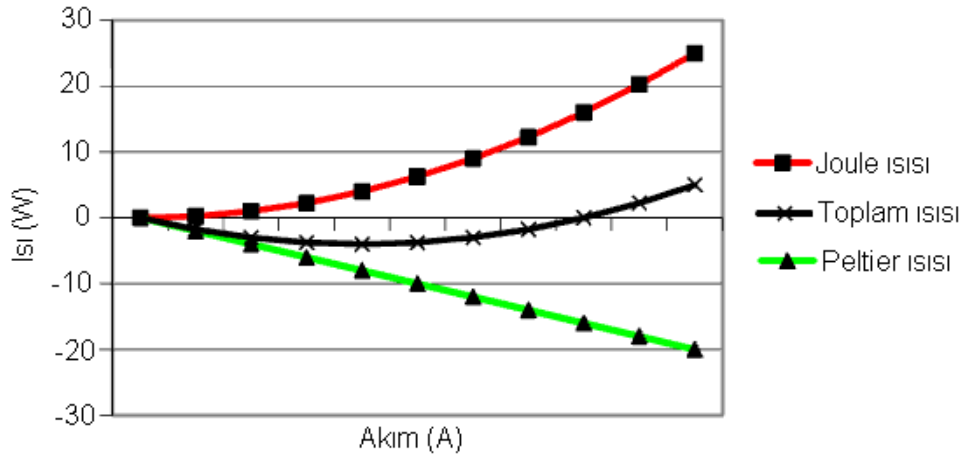
uygulanan DC akım yönü değiştirildiğinde ise; soğuyan yüzey ısınmaya, ısınan yüzey de soğumaya başlar (Riffat ve ark., 2003).



Şekil 3.4. Termoelementin temel yapısı

Eğer termoelementin ısınan yüzeyindeki ısı, bir ısı transfer sistemi ile alınıp T_1 sıcaklığı sabitlenirse; devreye uygulanan I akımına bağlı olarak soğuyan yüzey sıcaklığı da belli bir T_2 değerine kadar düşer. Termoelemente uygulanan I akımı sabit tutulduğunda ise; T_2 ısınan yüzey sıcaklığı, soğuyan yüzeyden gelen ve emilen ısı yüküne bağlı olarak değişir. Bu ısı yükü; öncelikle dış ortam ile ısınan levhadan ısı iletim yoluyla soğuyan levhaya gelen ısıdan ve termoelement devresinde I akım şiddetine bağlı olarak açığa çıkan joule ısısından oluşmaktadır (Fidan, 2000).

Şekil 3.5'te verilen grafikte; bir termoelementin soğuyan levhasına düşen joule ve peltier ısısı ile bu ısılardan toplamının akım şiddetine göre değişimleri görülmektedir.

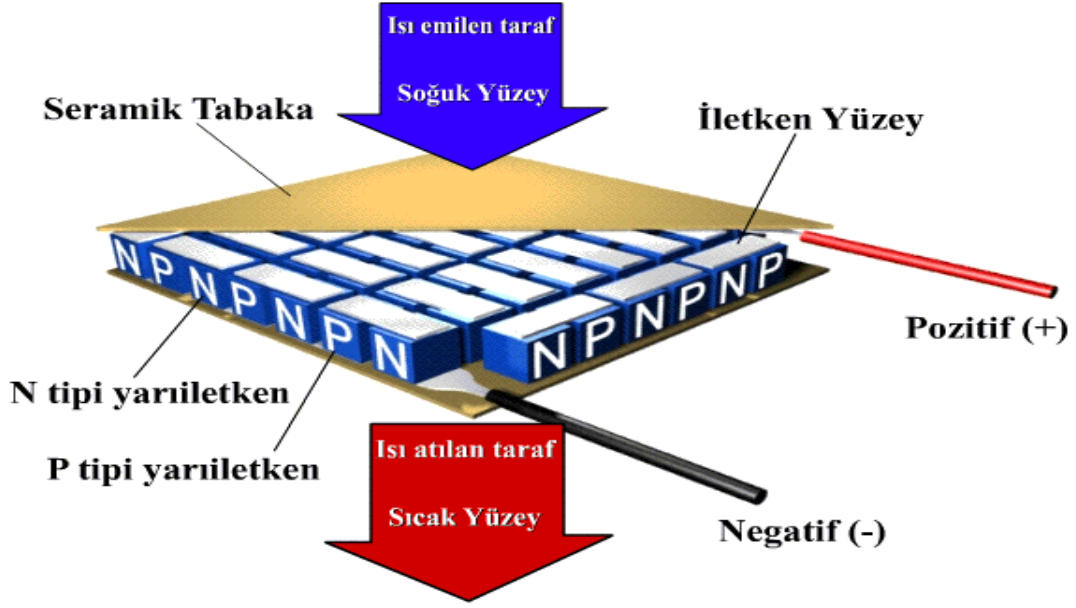


Şekil 3.5. Termoelementin soğuyan levhasında akıma bağlı ısı değişimleri

Termoelementte toplam ısının minimum olduğu akım şiddetine maksimum akım (I_{max}) denir. Bir termoelemente uygulanan akım I_{max} iken, soğuyan levha sıcaklığı minimum olur. I_{max} değeri TE yarıiletkenlerin kalitesine, boyutlarına ve yapısal özelliklerine göre değişmektedir. Uygulanan akım ($I > I_{max}$) olması durumunda; joule ısısı peltier ısısına oranla daha fazla artacağından soğutma etkisi azalır. Uygulanan akım ($I = 2I_{max}$) olduğunda; peltier ısısı joule ısısını dengeler ve soğutma işlemi gerçekleşmez. Uygulanan akım ($I > 2I_{max}$) olduğunda ise; joule ısısı peltier ısısından daha fazla olacağından termal denge bozulur. Böylelikle termoelement bir rezistans gibi davranarak ısınır ve soğutma özelliğini kaybeder (Dişlitaş 2009).

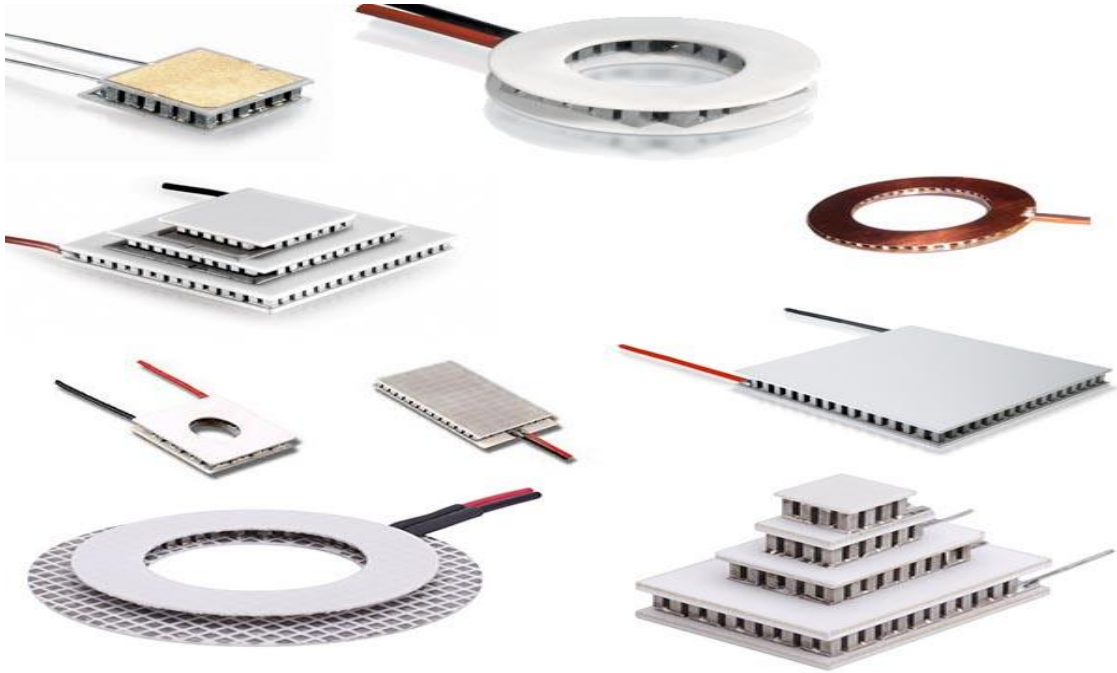
3.2.3. Termoelektrik modül

TEM'lerin temelinde elektriksel yönden seri, termal yönden paralel bağlantılı n- tipi ve p- tipi yarıiletkenlerin oluşturduğu termoelementler yer almaktadır. Termoelementler seramik iki plaka arasına yine aynı şekilde elektriksel yönden seri, termal yönden paralel olacak şekilde paketlenmişlerdir. Şekil 3.6'da temel yapısı görülen bu pakete TEM adı verilmektedir. TEM'lerin paketlenmesinde seramik plakalar; mekanik gerilim, elektriksel direnç ve termal iletkenlik arasında en iyi uyumu sağladığından endüstri standardı olmuştur. Seramiğin dış yüzeyleri, dış dünya ve TEM arasında termal arabirim olarak kullanılmaktadır(Tellurex, 2009).



Şekil 3.6. TEM'ün yapısı

Üretim aşamasında belirli bir sayıda termoelementin bir araya getirilmesiyle değişik yapı ve büyüklüklerde TEM'ler elde edilmektedir. Şekil 3.7'de çeşitli yapı ve özelliklerde TEM'ler verilmiştir.

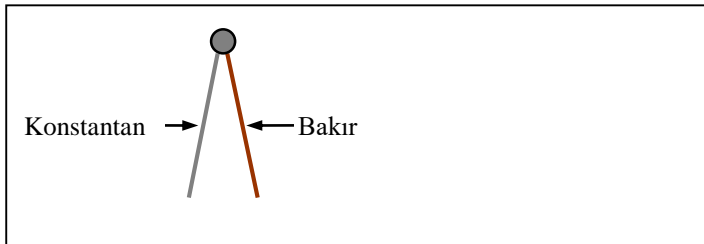


Şekil 3.7. Çeşitli yapı ve özelliklerde TE modüller

Uygulamalarda tek bir TEM, birkaç TEM kaskat veya paralel bağlanarak kullanılabilir. Kaskat bağlantıda TEM'ler üst üste yerleştirilerek aynı güçte daha fazla ΔT sıcaklık farkı elde edilmektedir. Isı transfer yönüne dikkat edilerek TEM'lerin yan yana yerleştirildiği paralel bağlantıda ise aynı ΔT sıcaklık farkıyla daha fazla soğutma gücü elde edilmektedir. TEM'ün maksimum akım (I_{max}) şiddetinin değeri TE yarıiletkenlerin kalitesine, boyutlarına ve imalat özelliklerine göre değişmektedir (Pramanick ve ark., 2006; Mcenaney, 2010).

3.2.4. Termokupllar ve termoelementler arasındaki farklar

TE'lerle termokupllar arasında bağlantı kurulmaya çalışılmaktadır. Fakat aralarında çok büyük fark vardır. Termokupllarla TE'ler seebeck etkisi dışında bir benzerlik göstermezler. Termokupllar iki farklı metalden yapılmaktadırlar, Şekil 3.8'de bakır ve konstantandan yapılmış olan bir T-tip termokupl verilmiştir. Termokuplların birleşim noktası sıcakta veya soğukta tutulup çevre sıcaklığıyla karşılaştırıldığında, seebeck etkisiyle her bir derece sıcaklık değişiminde $40 \mu V/^\circ C$ 'ye yakın değerlerde küçük gerilim oluştururlar. Termokupllar soğutucular, ısıtıcılar ve klimalar gibi sıcaklığın ölçülmesi gereken yerlerde sıcaklık algılayıcısı olarak çok tercih edilirler (Rowe, 2006).



Şekil 3.8. T-tip termokupl

TE'ler, iki yarıiletkenin bir uçlarının birleştirilmesinden oluşturulur. TE'lerin sıcaklık farkına bağlı olarak gerilim üretme değeri termokupllara çok göre yüksektir. Örneğin,

Bi_2Te_3 yarıiletkenlerden yapılan bir termoelementin seebeck katsayısı $560\text{--}640 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ olup, yapısı termokupla nazaran farklıdır (Rowe, 2006).

3.2.5. Termoelektrik modülün avantajları ve uygulama alanları

Soğutma, ısıtma ve elektrik enerjisi üretimi amacıyla kullanılabilen TEM'lerin sahip oldukları avantajlar şu şekilde sıralanabilir (Kapıdere, 2005; Niu ve ark., 2009):

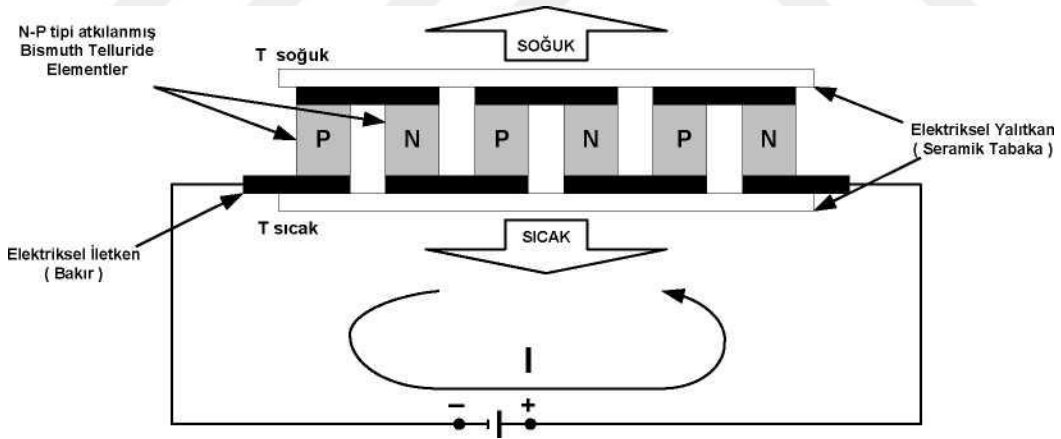
- Küçük, hafif ve basit yapıdadırlar.
- Hareketli parçaları olmadığından sessiz, sarsıntısız ve güvenilir bir şekilde çalışırlar.
- Herhangi bir yönde çalışabilirler.
- Ortalama ömürleri 200 000 saat kadardır (> 22 yıl). Montaj edildikten sonra uzun süre bakım gerektirmezler.
- Sıcaklık kontrolleri hassasiyeti yüksek ve etkin bir şekilde kolaylıkla yapılabilmektedir.
- Elektriksel ve elektromanyetik gürültüleri minimum seviyededir.
- Yerçekimi ve titreşimden etkilenmezler.
- TEM'ler DC akım ile çalışırlar.
- Uygulanan akım yönü değiştirilerek, TEM'deki ısınma ve soğuma yüzeyleri yer değiştirilebilir.
- Rejime girme süresi kısadır.
- Seebeck etkisinden yararlanılarak elektrik enerjisi üretimi amaçlı kullanılabilirler.
- Çevreye zararlı etkileri yoktur.

TEM'ler sahip oldukları bu özellikler sayesinde birçok alanda rahatlıkla kullanılabilir. TEM'ler TES modda ulaşım araçlarında, ilaç muhafazalarında ve elektrik donanımlarında soğutucu olarak kullanılırken (Dişlitaş, 2009), TEJ modda hem jeotermal enerjiden elektrik enerjisi üretmekte hem de kullanılan jeotermal enerjinin geri kazandırılmasında enerji verimliliğine katkıda bulunmaktadır (Niu ve ark., 2009). TEJ'lerin kullanım alanları çok çeşitlidir. Bunlar; kablosuz algılayıcılar (Pasold ve ark., 2011), güneş enerjisinin direkt olarak elektriğe çevrilmesi, biyomedikal sistemler ve ısı

geri kazanım sistemleri (Singh ve ark., 2011; Champier ve ark., 2011) gibi çeşitli alanlar görülmektedir.

3.2.6. Termoelektrik Modülün Soğutucu Olarak Kullanılması

Şekil 3.9’da TEM’in Termoelektrik soğutucu (TES) modunda kullanıldığı TE devre görülmektedir. TEM’de Peltier etkisi ile oluşan ısı transferi sonucunda yüzeylerden biri soğumakta, diğeri ısınmaktadır. TEM’ün uygun kutbuna DC akımın uygulanmasıyla üst tabakadan alt tabakaya doğru ısı pompalanacak ve sonuçta üst yüzey soğuyacaktır. Peltier etkisiyle ısı soğuyan yüzeyden alınarak ısınan yüzeye transfer edilmektedir. Eğer TEM’e uygulanan DC akım yönü değiştirilirse; bu işlem tersine işleyecek ve dolayısıyla TEM’ün soğuyan ve ısınan yüzeyleri de kendi arasında yer değiştirmiş olacaktır. TEM’e uygulanan enerji tamamen kesildiğinde ise; ısı hızlı bir şekilde sıcaklık dengesi sağlanıncaya kadar yine TEM üzerinden ters yönde transfer edilmektedir(Ahıska ve ark., 2009).



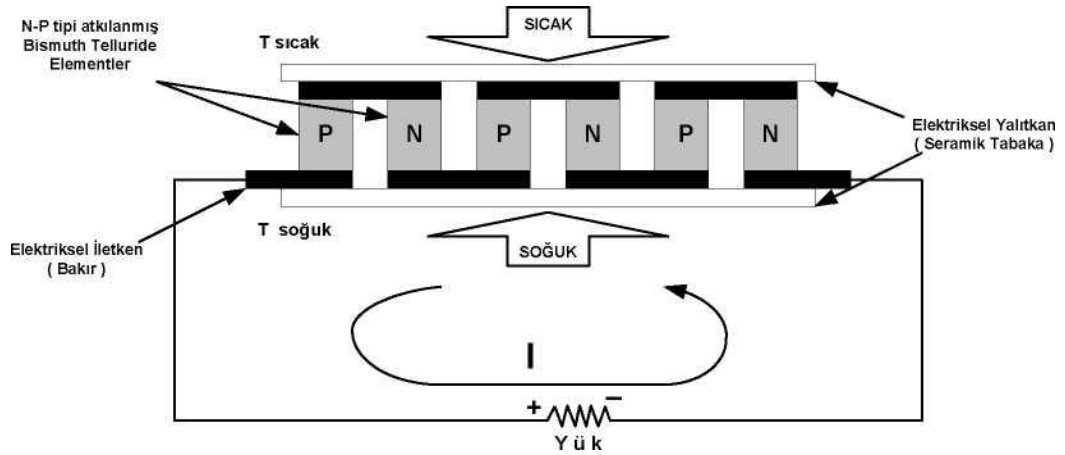
Şekil 3.9. TES modda bir TEM

Sonuç olarak, TEM’ün uçlarına uygulanan DC akım yönü ve şiddetine bağlı olarak kolaylıkla ısıtma veya soğutma yapılabilmektedir. Bu sayede TEM’ler; hem hızlı soğutma-ısıtma istenildiğinde yüksek ısı pompalama kapasitesi modunda hem de istenen sıcaklık elde edildiğinde minimum güç tüketimi (yüksek COP) ile düşük ısı pompalama kapasitesi modunda olmak üzere iki farklı modda çalıştırılabilmektedirler. Eğer TEM

açık–kapalı modunda işletilirse; sıcak kenarda genleşme ve soğuk kenarda da büzülme meydana gelerek TEM'deki stresi artırmaktadır. Bu durum da TEM'ün güvenilirliğini önemli ölçüde azaltmaktadır. Bu nedenlerden dolayı, TEM'deki ısı sızıntısının ve stresin en aza indirilmesi amacıyla PID (Oransal - Integral - Türev) tekniğiyle çalışan bir sıcaklık kontrolünün kullanılması TEM'ün çalışması açısından daha uygun olmaktadır (Dikmen, 2002; Min ve ark., 2006).

3.2.7. Termoelektrik Modülün Jeneratör Olarak Kullanılması

Çok sayıda TE'in birleşmesinden TEM oluşturulur. TEM'ler, Seebeck etkisinin kullanılmasıyla jeneratör olarak çalışabilmektedirler. Şekil 3.10'da TEM'ün TEJ modunda kullanıldığı TE devre görülmektedir. Bir TEJ sistemi temelde üç parçadan meydana gelir; ısıtıcı blok, soğutucu blok ve TEM (Tsai ve ark., 2010). TEM'ün yüzeyleri arasında bir sıcaklık farkı oluşturulduğunda; Termodinamiğin II. Kanunu gereğince ısı sıcak yüzeyden soğuk yüzeye doğru transfer edilecek ve bu durumda TEJ uçlarında bir DC gerilim düşümü olacaktır (Buist ve ark., 1997). TEJ uçlarına harici bir yük bağlanırsa, yük üzerinden bir I akımı geçişi olur. TEJ'den elde edilen P gücü veya I akımı; ΔT sıcaklık farkına, yarıiletken materyallerin özelliklerine ve harici R_L yük direncinin değerlerine bağlıdır (Ahıska, 2007). Elektrik enerjisi, ısı transferine bağlı olarak TE yarıiletkenler boyunca elektriksel yük taşıyıcıların hareketinden üretilmektedir.



Şekil 3.10. TEJ modda bir TEM

Termoelektrik jeneratör verimi

TEJ'in verimi; alınan gücün (P_A) verilen güce (P_V) oranı olarak aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$\eta = P_A / P_V \quad (2.7)$$

Bir TEJ'de kullanılan yarıiletken güç ölçümü, kalite faktörü (ZT) olarak da verilmektedir. Yarıiletkenin güç ölçümü kalite faktörü ZT aşağıdaki gibidir:

$$ZT = \frac{\alpha^2}{KR_{in}} T \quad (2.8)$$

Burada; T sıcaklık (Kelvin), α ($\alpha = \alpha_{pn} = |\alpha_p| + |\alpha_n|$) Seebeck sabiti (V/K), K termal iletkenliktir (W/mK). Bir TEJ'de ZT ve TEM yüzeyleri arası sıcaklık farkının ΔT bir fonksiyonudur. Son yıllarda üretilen TEJ'lerin ZT 'leri yüksektir ve buna bağlı olarak verimlerinde de kayda değer bir artış olmuştur (Ahıska ve ark., 2011).

TEJ verimliliği Carnot verimliliği terimleriyle de ifade edilmektedir. Carnot verimliliği TEJ'ler için aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$\eta_{max} = \frac{(T_H - T_C)}{T_H} \times \frac{\sqrt{1 + ZT_{ave}} - 1}{\sqrt{1 + ZT_{ave}} + \frac{T_C}{T_H}} \quad (2.9)$$

Burada; T_H TEJ'in sıcak taraf sıcaklığı, T_C TEJ'in soğuk taraf sıcaklığı ve T_{ave} TEJ'in ortalama $(T_H + T_C) / 2$ sıcaklığıdır. TEJ tarafından üretilen gerilimin en yüksek değeri uçlarının açık olduğu zamandır. Açık devre gerilimi V_{OC} aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$V_{OC} = N(\alpha_p - \alpha_n)(T_H - T_C) \quad (2.10)$$

TEJ açık devre gerilimi doğrudan doğruya termoelementlerin sayısı N , TEJ'in sıcak taraf yüzey sıcaklığı T_H ve soğuk taraf yüzey sıcaklığı T_C arasındaki sıcaklık farkı ΔT ve

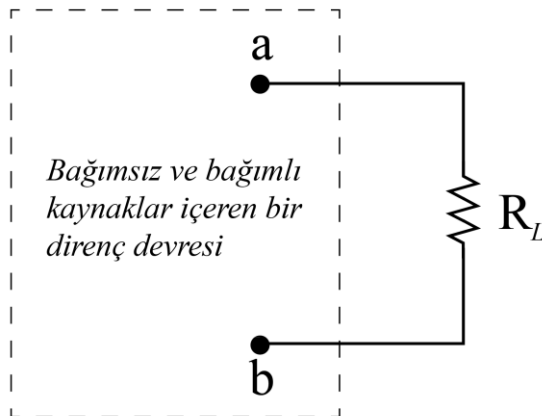
kullanılan p–tip yarıiletken materyalin Seebeck sabiti α_n ve n–tip yarıiletken materyalin Seebeck sabitiyle α_p orantılıdır (Bierschenk., 2008).

Maksimum Güç Transferi

Devre analizi bir kaynaktan bir yüke güç aktarmak için tasarlanmış devrelerin analizinde önemli bir rol oynar. Güç aktarımını iki temel sistem tipi için tartışacağız. Bunlardan ilki güç aktarımının verimliliği üzerinde yoğunlaşır. Güç sistemleri büyük miktarda elektrik gücünün üretimi, aktarımı ve dağıtımını ile ilgilendiklerinden, bu tip sistemlere iyi bir örnektir. Eğer bir güç sistemi verimsizse üretilen gücün büyük kısmı aktarım ve dağıtım kısmında kaybolur yani boşa gider.

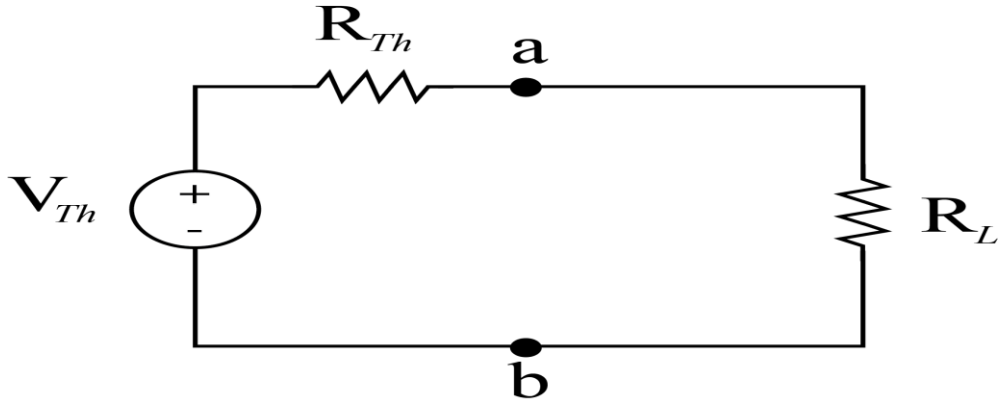
Diğer bir sistem çeşidi de aktarılan gücün miktarına yoğunlaşır. Bilginin elektrik sinyalleri ile aktarımı sırasında verici devrede veya sezicide kullanılabilecek güç sınırlı olduğundan, haberleşme ve enstrümantasyon sistemleri bu tipin iyi örnekleridir. Böylece bu gücün olabildiğince çoğunun alıcıya veya yüke aktarımı istenir. Bu tip uygulamalarda aktarılan güç miktarı az olduğundan aktarım verimliliği en çok ilgilendiğimiz konu değildir. Şimdi, tamamen dirençlerle modellenen devreler için maksimum güç aktarımını tartışacağız.

Maksimum güç aktarımını en iyi Şekil 3.11’de gösterilen devre ile anlatılabilir. Bağımlı ve bağımsız kaynakların bulunduğu dirençlerden oluşan bir devrenin a, b terminallerine R_L yükünün bağlı olduğunu varsayacağız. Problem, R_L yüküne maksimum güç aktarımını sağlayacak R_L değerini bulmaktır.



Şekil 3.11. Maksimum güç transferini açıklayan devre

Bu işlemde ilk adım dirençlerden oluşan bir devrenin her zaman Thevenin eşdeğeri ile yer değiştirilebileceğini fark etmektir. Bu yüzden Şekil 3.11’de gösterilen devreyi Şekil 3.12’de gösterildiği gibi yeniden çizeriz, Baştaki devreyi Thevenin eşdeğeri ile yer değiştirmek R_L bulma görevini büyük oranda basitleştirir. R_L çıkarımı, R_L üzerinde harcanan gücü üç devre parametresi V_{Th} , R_{Th} ve R_L ’nin bir fonksiyonu olarak ifade etmeyi gerektirir. Böylece,



Şekil 3.12. Maksimum güç transferini sağlayacak R_L değerini için devre

$$p = i^2 R_L = \left(\frac{V_{Th}}{R_{Th} + R_L} \right)^2 R_L \quad (2.11)$$

bulunur. Ardından verilen bir devre için V_{Th} ve R_{Th} değerlerinin sabit olduğunun farkına varırız. Bu nedenle harcanan güç bir tek R_L ’nin fonksiyonudur. Gücü en büyük yapan R_L değerini bulmak için temel hesap kullanırız. p ’nin R_L ’ye göre türevini alarak denklemi yazmaya başlarız:

$$\frac{dp}{dR_L} = V_{Th}^2 \left(\frac{(R_{Th} + R_L)^2 - R_L^2}{(R_{Th} + R_L)^2} \right) \quad (2.12)$$

p ’nin maksimum olduğu yerde türevi sıfırdır. Böylece,

$$(R_{Th} + R_L)^2 = 2R_L(R_{Th} + R_L) \quad (2.13)$$

Çözüldüğünde,

$$R_L = R_{Th} \quad (2.14)$$

elde edilir.(Toker ve ark., 2014)

Termoelektrik jeneratör çıkış karakteristiği

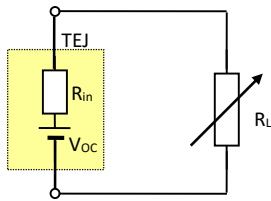
Tek bir termoelemente bağlı yük R_L üzerinde üretilen güç P_L aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$P_L = I_L V_L = I_L [\alpha \Delta T - I_L R_{in}] = \alpha^2 \Delta T^2 \frac{R_L}{(R_{in} + R_L)^2} \quad (2.15)$$

Burada; P_L TEJ'in yük üzerinden elde edilen çıkış gücü, I_L TEJ'in yük üzerinden geçirdiği elektrik akımı, V_L TEJ'in bağlanan yük üzerinde oluşturduğu gerilimdir (Ferrari ve ark., 2007). Yük direnci R_L TEJ'in iç direncine R_{in} eşit olduğunda, TEJ'in maksimum çıkış gücü ürettiği yük karşılaşma durumu oluşur ve alınacak maksimum güç P_{Lmax} değeri aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$P_{Lmax} = \frac{\alpha^2 \Delta T^2}{4R_{in}} \quad (2.16)$$

TEJ uçları açık devre yapıldığında TEJ'den maksimum gerilim V_{OC} , kısa devre yapıldığında ise maksimum akım I_{SC} elde edilir. TEJ'den elde edilen güç P_L bağlanan yükün değerine bağlı olarak değişim gösterir (Ferrari ve ark., 2007).



Şekil 3.13. TEJ eşdeğer elektrik devresi

Bir TEJ açık devre geriliminin V_{OC} kısa devre akımına I_{SC} bölümünden (V_{OC}/I_{SC}) elde edilebilen TEJ iç direncine R_{in} sahip V_{OC} gerilim kaynağı olarak modellenebilir. Burada açık devre gerilimi; V_{OC} sıcaklık farkı ΔT ve Seebeck sabiti α ile orantılı açık devre gerilimidir. TEJ kısa devre akımı I_{SC} ise belirli bir sıcaklık farkında ΔT uçları kısa devre

edilmiş TEJ'ün akımıdır. TEM'ün TEJ olarak kullanılmasıyla ilişkili eşdeğer elektrik devresi Şekil 3.13'de verilmiştir. Yük direncinin R_L değerine bağlı olarak TEJ'den elde edilen güç miktarı değişir (Champier ve ark., 2010).

Termoelektrik jeneratör tipleri

TE güç üretim teknolojisi, termal enerjiyi elektrik enerjisine çevirmeyi amaçlar. Yüksek güçlü uygulamalarda büyük hacimli TEM'lerden oluşan TEJ'ler ve ince filmlerli TEM'lerden oluşan TEJ'ler (mikro TEJ'ler) kullanılmaktadır ve nano yapıları TEJ'lerin üretim çalışmaları devam etmekte ve verimin artırılmasıyla ilgili umut verici sonuçlar elde edilmektedir. Mikro TEJ'ler, 50 μm kalınlığından daha az kalınlıklı TE gerektirirler. Ticari olarak bulunan ve yaygın olarak kullanılan TEJ'lerin kalınlığı genelde 500 μm 'nin üzerindedir. Bu değerin altına düştüğünde üretim verimliliği dikkate değer bir şekilde azalır (Bierschenk., 2008).

Mikro TEJ'ler hacimli TEJ'lerden daha ince ve daha küçüktür. Bu nedenle daha az yer kaplarlar ve bunların endüstri-standart üretim metotlarına doğrudan bütünleşmesi umut verici olarak görülmektedir. Mikro TEJ'lerde bulunan ince filmler bir nanometreden birkaç mikrona kadar kalınlıkta bölümlü katmanlardaki materyallerdir. İnce film TE materyaller değişik yollarla büyütülebilir. Bunlar swiss yuvarlak, film ve termopil gibi çeşitli düğümlerden oluşurlar ve termopilin sahip olduğu güç yoğunluğundan daha yüksek güç yoğunluğuna sahiptirler. Bu nedenle araştırmalar için daha değerlidirler (Mcenaney, 2010). Hacimli bütünleşik TEJ en fazla çıkış gücü ve gerilimi sağlar. Bunlar kolaylıkla düşük güçlü çeşitli algılayıcıların enerji ihtiyacını sağlamak için yeterli miktarda gerilim (5 °C sıcaklık farkı olduğunda bile) üretebilirler. Mikro TEJ'ler, elektrik enerjisi elde edilecek uygulamaları için kullanıldığında yüksek sıcaklık farklarında olduğunda daha verimlidirler. (Glatz ve ark., 2009).

Mikro TEJ'lerin ve hacimli TEJ'lerin performans değerlerinin arttırılması için üç önemli faktör vardır. Bunlar TEJ termal direncinin arttırılması, TEJ bloğunu oluşturan soğutucu sisteminin ısı giriş-çıkış termal dirençlerinin düşürülmesi ve termoelementler arasındaki kontak elektrik dirençlerinin minimize edilmesidir (Glatz ve ark., 2009). TEM'lerde kullanılan TE materyaller metaller, yarı iletkenlerden seramiğe kadar farklı materyal sistemleri, mono kristal, kutuplu kristallerden nano kompozitlere kadar değişik kristal şekilleri ve hacimli, film, telden kümelere kadar değişik boyutlar içeren termoelektrik materyaller olmak üzere büyük bir çeşitlilik gösterir (Kim ve ark., 2011).

TE materyallerin kalite faktörünün arttırılması materyallerin temel özellikleri nedeniyle oldukça zordur. Son yıllarda, TEM kalite faktörü olan ZT'nin arttırılmasıyla ilgili çalışmalar nano yapılı materyallerin kullanımına doğru gitmektedir (Zhao ve ark., 2008). Yeni TEJ'lerin üretiminde nano yapılı materyaller olarak genellikle quantum wells (QW) (Harman ve ark., 1999), superlattices (Venkatasubramanian ve ark., 2001), nano teller (Chen., 2010) ve nano grains (Poudel., 2008) gibi materyaller kullanılmaktadır. Nano yapılı malzemelerin kullanımıyla birlikte termoelektrik iletkenlik oldukça düşürülebilmektedir (Fang ve ark., 2011).

Qw yeni nano materyaller 10 nm kalınlıklı silikon ve SiGe filmlerden oluşmaktadır. Bunlar TE'in kalite faktörünün arttırılmasına çok büyük katkı sağlamışlardır. Bu materyallerle oda sıcaklığında kalite faktörü (ZT) 3'den büyük termoelementler elde edilmiştir. Bu değer 1'den daha küçük kalite faktörlerine sahip olan hacimli TEJ'lere göre çok önemli bir gelişmedir (Jovanovic ve ark., 2012). Qw materyallerle yapılmış TEM'lerin çevrim verimlilikleri % 20'lere kadar yaklaşmaktadır (Jovanovic ve ark., 2009).

Nano kablolardan nano kristallere kadar nano yapılı termoelektrik materyallerin son yıllarda gelişme çabaları aynı kimyasal yapıdan oluşan hacimli kristallerin performansı ile kıyaslandığında nano ölçülü yüzeyler ve ara yüzeylerde foton yayılmasıyla çarpıcı biçimde termal iletkenliği azaltması yüzünden büyük üstünlükler göstermektedir. Fakat kritik boşluklar hala kalmaktadır. Bu nedenle, ölçülendirilebilirlik, pratik üretim ve nano termoelektrik cihazların geniş yayılımını kısıtlamaktadır (Wu ve

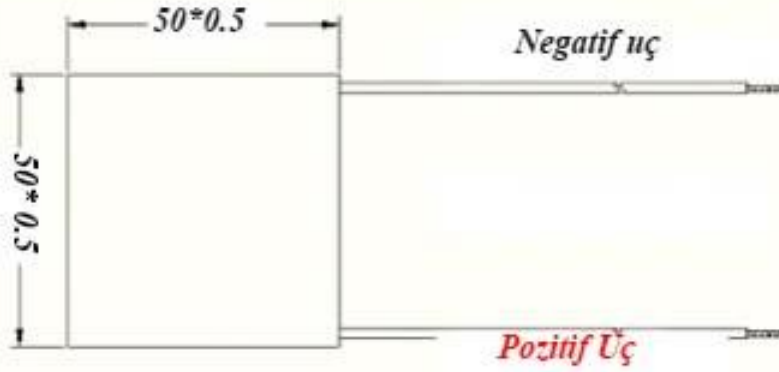
ark., 2012). Enerji dönüşüm teknolojileri (1) süreç basitliği ve materyalin ölçülendirilebilmesi, (2) üretimde ve geri dönüşümde ekonomik idame, (3) var olan üretim alt yapısıyla uyumluluk ve bütünleşebilirlik ve (4) performansın geliştirilebilirlik şartlarını gerektirir. Bu gereksinimler nano yapıları TE gelecek araştırma yönünü belirlemektedir (Wu ve ark., 2012).

3.3. Termoelektrik jeneratör tasarımı

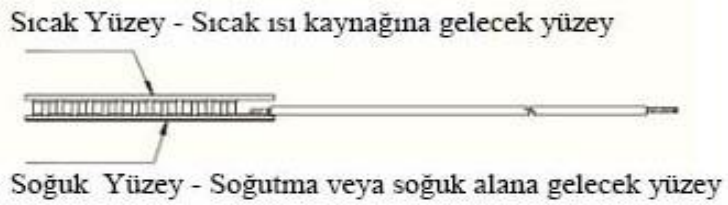
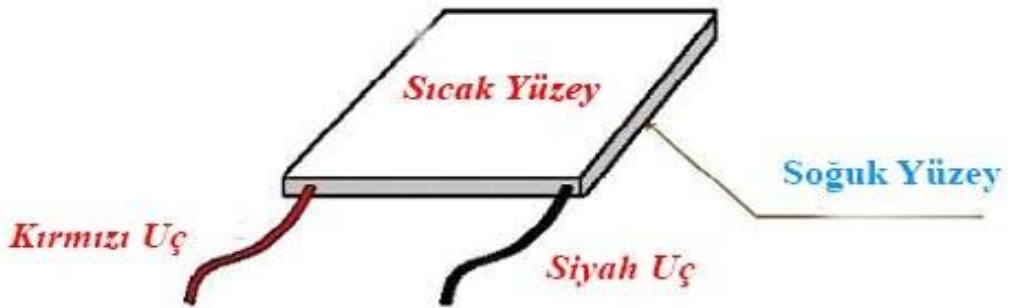
TEJ verim testleri Şekil 3.14'deki kurulum ile gerçekleştirilmiştir. Tasarımda 5 adet ticari olarak bulunabilen ALTEC-GM-1 marka-kodlu TEM'in sıcak yüzeyini oluşturmak için 1 000 W bir düz ısıtıcı tasarlanmıştır. Modüllerin yüzeylerinin soğutulması için soğuk su dolaşım sisteminden faydalanılmıştır. TEM'lerin sıcak (T_H) ve soğuk (T_C) yüzeylerinin ısı değerlerini algılamak ve bu yüzeyler arasındaki sıcaklık farkını (ΔT) bulmak amacıyla iki tane K tipi termokupl kullanılmıştır. TEJ'lerin soğuk yüzey ve sıcak yüzeyleri arasındaki termal iletim direncini en aza indirebilmek amacıyla, yüzeyler arasına silikon jel sürülmüştür. Akım, gerilim ve sıcaklık ölçümlerinin kalibrasyonu Fluke 17B+, çok fonksiyonlu Süreç kalibratör cihazı kullanılmıştır.

Bu çalışmada, ticari olarak bulunabilen ALTEC-GM- 1 marka-kodlu TEM kullanılmıştır. Şekil 3.14'de TEM'in boyutları ve şekil 3.15'de TEM'in sıcak ve soğuk yüzeyleri gösterilmiştir. Üreticinin kullanım kitapçığında verilen parametreler şunlardır; ortam sıcaklığı $T=27\text{ }^\circ\text{C}$ değerindeyken, iç direnci $R = 0.495$ sıcak taraf ısısı $T_H =+130\text{ }^\circ\text{C}$, soğuk taraf sıcaklığı $T_C = +30\text{ }^\circ\text{C}$, maksimum gerilim $V_{\max} = 2.12\text{V}$ maksimum akım $I_{\max} = 3.31\text{ A}$ maksimum güç $P_{\max} = 7.0\text{ W}$ ve verim $n_{\max} = \%3.5$.

Bu parametreler her üretici firma tarafından verilmektedir. Bunlara göre kullanıcılar değişik yüklerde ve sıcaklık değerlerinde TEM'den alabilecekleri güç hesaplamalarını yapabilmektedirler. Yapılan bu hesaplamalar değişik yük değerlerinde TEM'lerden elde edilebilecek güç için önem arz etmektedir.



Şekil 3.14. Termoelektrik modül boyutları



Şekil 3.15. Termoelektrik modül sıcak ve soğuk yüzeyleri



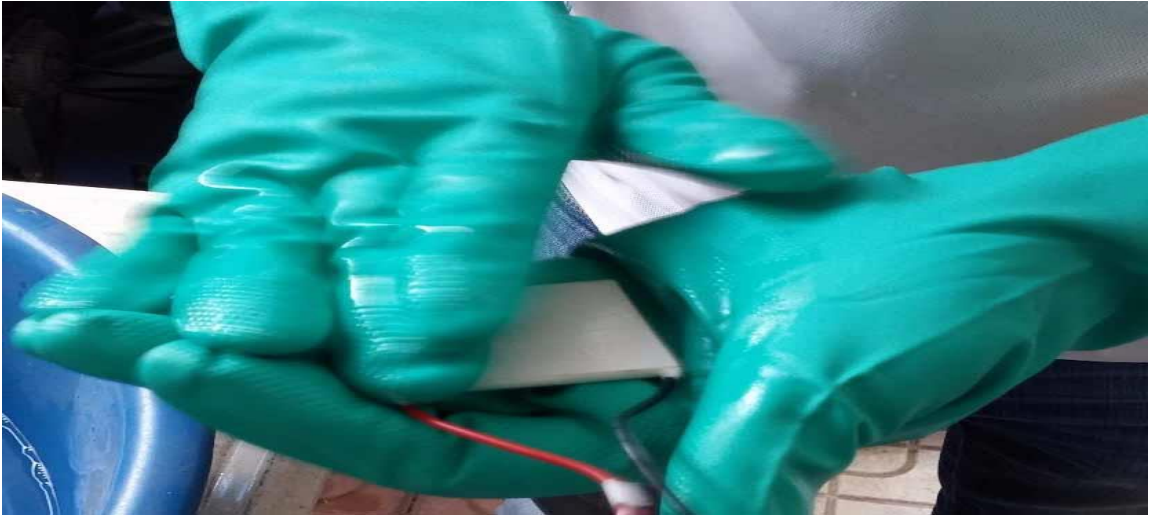
Şekil 3.16. Prototip TEJ kurulumu

3.3.1. TEJ'in Tasarım Aşamaları

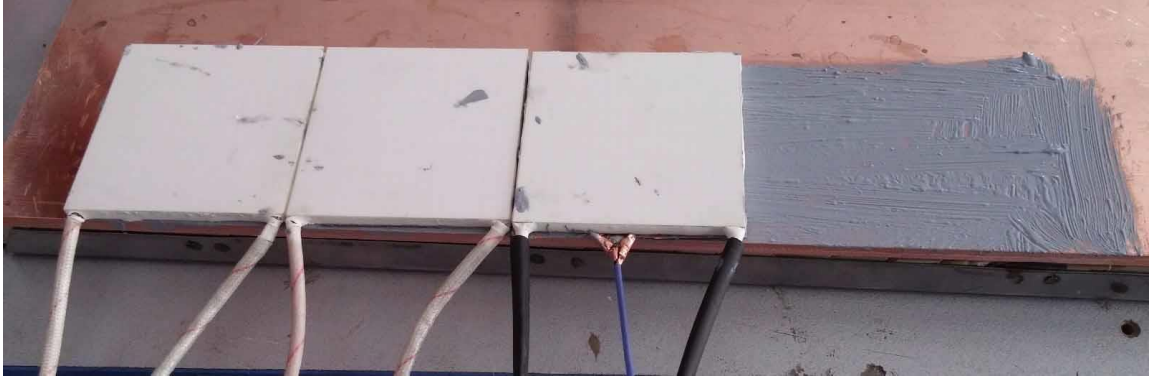
TEJ yapılırken oluşabilecek kayıpları engellemek için malzemelerin temizlenme aşamasıyla başlar. Bakır levha ve TEM'ler resim 3.17 ve 3.18'deki gibi peroksit kimyasalı ile temizlenir ve üzerindeki yağ lekelerinden, el izlerinden arındırılır. 0.4 cm bakır levha üzerine ve TEM'ler üzerine termal macun sürülerek ısı kaybı engellenmeye çalışılmıştır. TEM'lerin bir yüzeyi soğuk suyun dolaştığı sirkülatöre diğer yüzü ise ısıtıcıya bakmaktadır.



Şekil 3.17. Bakır levhanın temizlenmesi



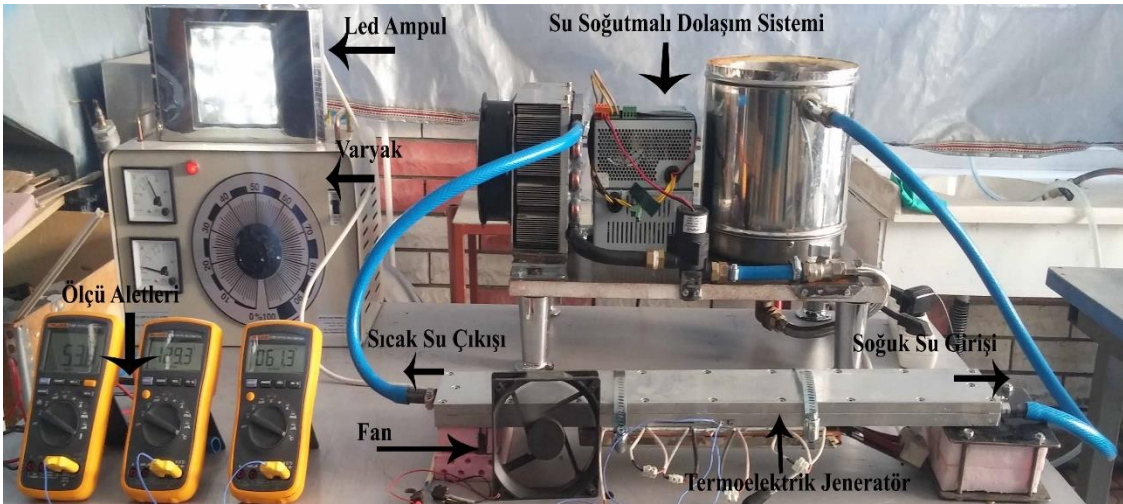
Şekil 3.18. TEM'lerin temizlenmesi



Şekil 3.19. TEM'lerin bakır levha üzerine termal macunla yerleştirilmesi

3.4. Deneysel Kurulum

Bu bölümde tasarlanan TEJ'in karakteristiklerini belirlemek üzere yapılan deney seti ve kullanılan ekipmanlarla ilgili bilgilere yer verildi. Hazırlanan deney düzeneği şekil 3.20'de gösterildiği gibidir.



Şekil 3.20. Deney düzeneği

3.4.1. Su Soğutmalı Dolaşım Sistemi

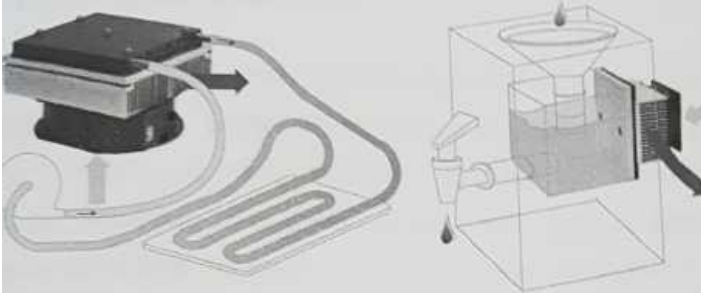
Termoelektrik soğutma sistemlerinde sıcak ve soğuk yüzeyler arasındaki sıcaklık farkının artırılması için sıcak yüzeydeki ısının bir ısı transfer sistemi ile uzaklaştırılması gerekmektedir. Sıcak yüzeydeki ısının sabitlenmesi amacıyla su dolaşım sistemi tasarlanmıştır. Bu amaçla Şekil 3.21’de gösterilen TETECH firması tarafından üretilen LC-200 Liquid Cooler (Su soğutucu) kullanılmıştır. LC 200 su soğutucusu 200 W soğutma kapasitesine sahiptir. 5 adet termoelektrik modülden oluşan cihaz laboratuvar ölçümlerinde, lazer diyot soğutucularında, medikal ürünlerde, su çevrim sistemlerinde ve sıcaklık banyosu uygulamalarında kullanılmaktadır.



Şekil 3.21. LC 200 su soğutucusu

Medikal uygulamalarda, kompakt yapısı, yüksek yoğunluklu ısı kanalları, 5 termoelektrik modül ile yüksek kapasitesi nedeniyle su dolaşım sistemlerinde tercih edilen bir cihazdır.

Şekil 3.22 TETECH firması tarafından üretilen LC200’ün farklı kullanım alanlarından örnekler göstermektedir. Bu çalışmada 3 litrelik paslanmaz çelikten bir su deposu yaptırılmıştır. Depolanan su bir su pompası vasıtasıyla önce LC 200’ün su kanallarından ve daha sonra kasktan dolaştırıldılar sonra tekrar deponun içerisine geri dönmektedir. Bu şekilde Şekil 3.22’de gösterilen her iki uygulamanın avantajlarından da yararlanılmıştır.



Şekil 3.22. LC 200'ün su devir daim sistemlerinde kullanılması.

Bu çalışmada suyu soğuturken bir enerji harcadık ama gerçek hayatta bu sistemi kullanırken suyu soğutmak yerine bu borulardan şebeke suyunun geçmesi planlanmaktadır. Dolayısıyla işletmeler içinde sıcak su ihtiyacını karşılamış olacaktır.

3.4.2. K Tipi Termokupl

Sıcaklık ölçümleri giderek artan oranda önemli bir konu haline gelmiştir. Sıcaklık tamamen fizik ile ilgili temel bir konudur. Çok çeşitli fiziksel özellikleri etkileyen bir parametre olması nedeniyle ölçülmesi gereken önemli bir değişkendir. Sıcaklık ölçümü için çok çeşitli yöntemler vardır. Bunlar içinde elektronik dünyanın en çok kullandığı sensörlerden birisi termokupldur. Termokupllar kullanılarak $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'den $2\ 320\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar ölçüm yapılabilir. En çok kullanılan temel metal termokupl tipleri E, J, K ve T tipleridir. Bunlardan J ve K en kullanışlı olanlarıdır. Bunların emk çıkışları yüksektir, K tipi aşınma ve çürümeye karşı oldukça dirençlidir. T tipinin az bir avantajı vardır, sıcaklık ölçme noktalarının cihazlardan uzak olduğu yerlerde, bağlantı sağlayan iletken bakır ise devrenin toplam direnci diğer tiplerden daha düşük olabilir.

Termokupl olarak Şekil 3.23'de gösterilen K Tipi TPK-01 model yüzey temaslı sıcaklık probu kullanılmıştır. Bu prob aynı zamanda hava, sıvı ve gaz maddelerin sıcaklık ölçümlerinde kullanılmaktadır.



Şekil 3.23. K tipi direkt temaslı sıcaklık probu.

3.4.3. Varyak

Şekil 3.24’de gösterilen varyak, 0-220 V arasında giriş gerilimini değiştirmek için kullanılan cihazdır diğer adı da ayarlanabilir ototransformatör. Varyak ile ısıtıcıya uygulanan gerilimi değiştiriyoruz dolayısıyla 1 000 W gücündeki ısıtıcının sıcaklığı değerini istediğimiz gibi değiştirebiliyoruz.



Şekil 3.24. Varyak

3.4.4. Fluke 17B+ Dijital Ölçü Aleti

Deney düzeneği içerisinde farklı noktalarda sıcaklık ölçümü yapılmaktadır. Bunlar T_H sıcak yüzey sıcaklığı, T_C soğuk yüzey sıcaklığı. Akım, gerilim ve sıcaklık ölçümleri Şekil 3.25’de gösterilen Fluke 17B+ marka ölçü aleti kullanılarak yapıldı.



Şekil 3.25. Fluke 17B+ Dijital ölçü aleti

Fluke 17B+ dijital ölçü aleti IEC 1010-1 güvenlik sınıfında olup % 0.50 hassasiyetle DC, % 3.0 hassasiyetle AC ölçüm yapabilmekte ve 1 000 V AC/DC, 10 A/400 μ A AC/DC akım ölçebilmektedir.

3.4.5. Yükler

Yük olarak Şekil 3.26’de gösterilen 12 V - 12 W gücüne sahip LED (Light Emitting Diode) ampul, 12 V - 1200 revolutions per minute (rpm) dönüş hızına sahip olan 120 X 120 X 25 mm büyüklükte fan ve 100 W – 100 Ω değerine sahip potansiyometre kullanılmıştır.

12 volt ile çalışan ve 12 watt güce sahip olan LED ampul kullanılmıştır. Yine 12 V ile çalışan dakikada 1 200 rpm dönüş hızına sahip olan, 120 X 120 X 25 mm büyüklükte fan kullanılmıştır. 100 Watt-100 Ω değerine sahip potansiyometre kullanılmıştır.

Potansiyometre, maksimum güç transferini hangi noktada sağladığını tespit etmek için kullanılmıştır.



Şekil 3.26. LED ampul, fan, potansiyometre

3.4.6. Elektrikli Isıtıcı

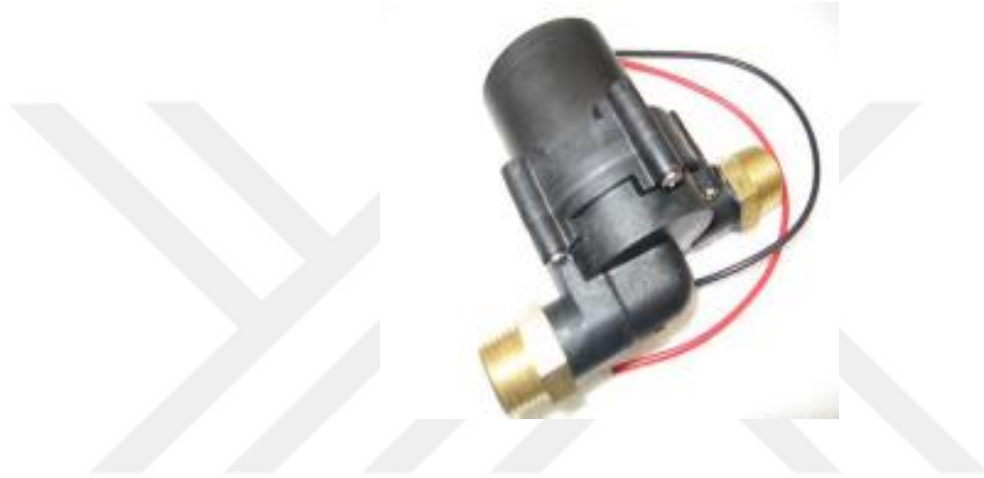
Varyak ile seramik rezistanslı ısıtıcıya uygulanan gerilim değerleri 0-220 volt arasında farklı değerlere ayarlandı. Elektrikli ısıtıcı laboratuvar ortamında atık ısıyı simüle etmek için kullanıldı. Kullanılan seramik rezistanslı elektrikli ısıtıcı şekil 3.27’de gösterilmektedir. Isıtıcı 1 000 W gücündedir.



Şekil 3.27. Seramik rezistanslı 1 000 W gücünde elektrikli ısıtıcı

3.4.7. Su Pompası

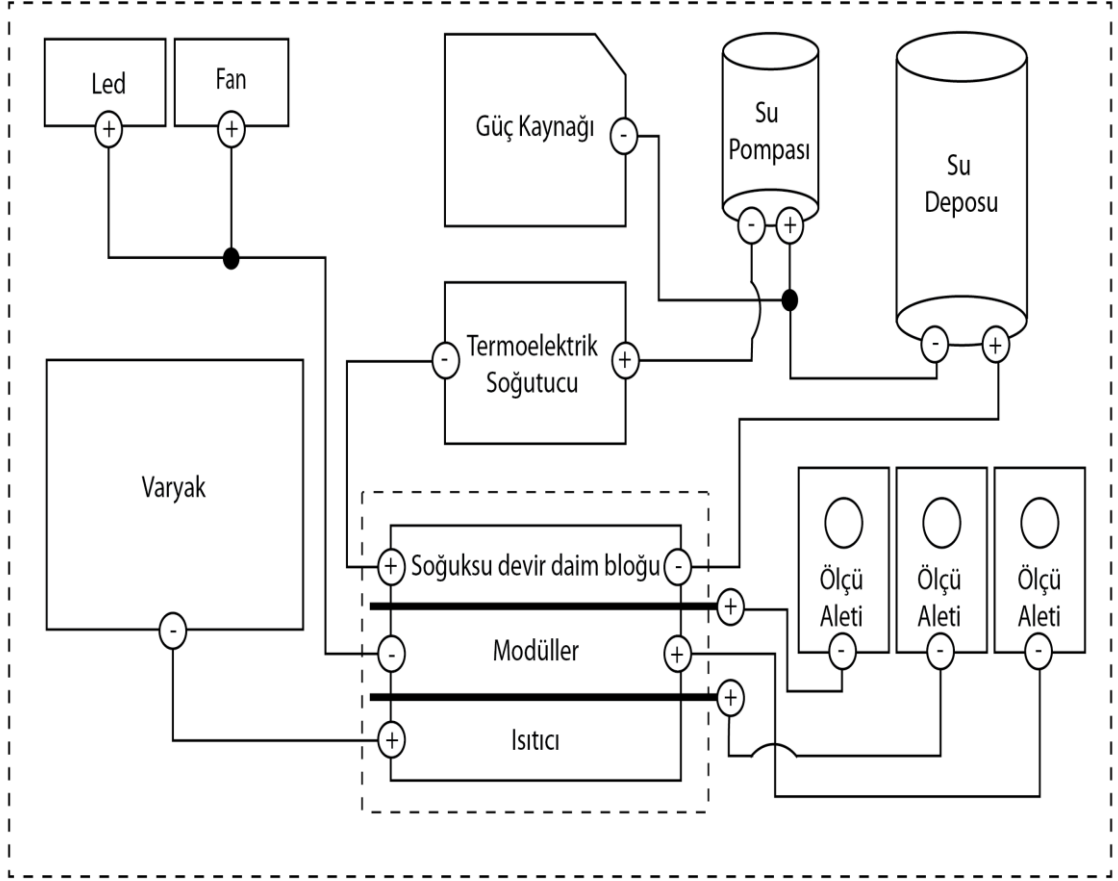
Su devir daim motoru olarak Şekil 3.28’da gösterilen düşük güç tüketimine sahip, 110 °C sıcaklıklarda kullanılabilen, aşırı yük, kuru çalışma ve aşırı sıcaklık korumasına sahip fırçasız DC motor kullanıldı. Dakikada maksimum 12 litre sıvı akışına imkân tanıyan motor 6-24 V gerilimlerde çalışabilmektedir. Çalışma gerilimine bağlı olarak debi ayarlaması kolay bir şekilde yapılabilmektedir.



Şekil 3.28. Su devir daim motoru

4. BULGULAR

Deneysel kurulum blok şeması şekil Şekil 4.1’de gösterildiği gibidir.

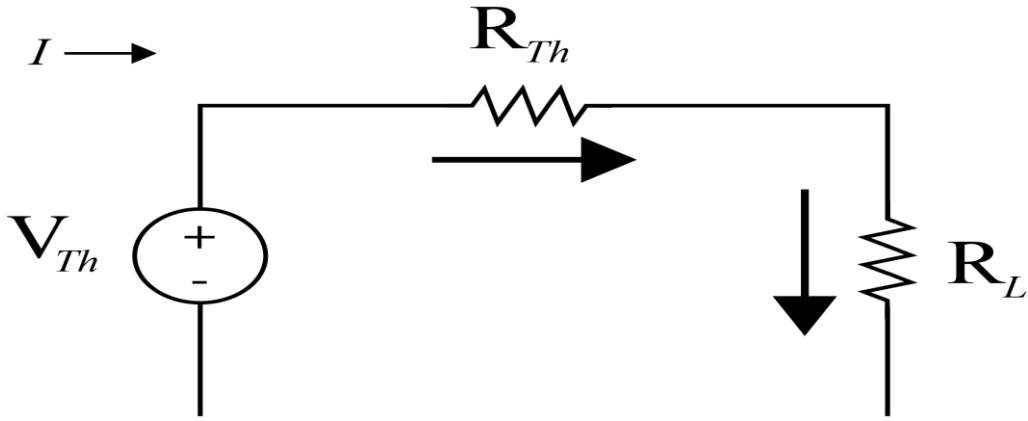


Şekil 4.1. Deneysel kurulum şeması

Bir yarıiletkenin mikroparametreleri ve bir modülün öz direnci, Seebeck katsayısı, ısı iletkenliği ve kalite katsayısı gibi değerleri birçok yöntemle ölçülebilmektedir. Bu parametreleri kullanarak gerektiği takdirde bir modülün ısı çıkış parametreleri de elde edilebilmektedir. Ancak bunlar modül çalışmaz durumda hesaplanmaktadır. Modül çalışırken modülün içindeki yarıiletkenlerin mikroparametreleri değişmektedir. Bir modülün dinamik çıkış parametrelerinin elde edilebilmesi için modül çalışırken yarıiletkenlerin mikroparametrelerinin bulunması gerekmektedir. Modül çalışırken bu

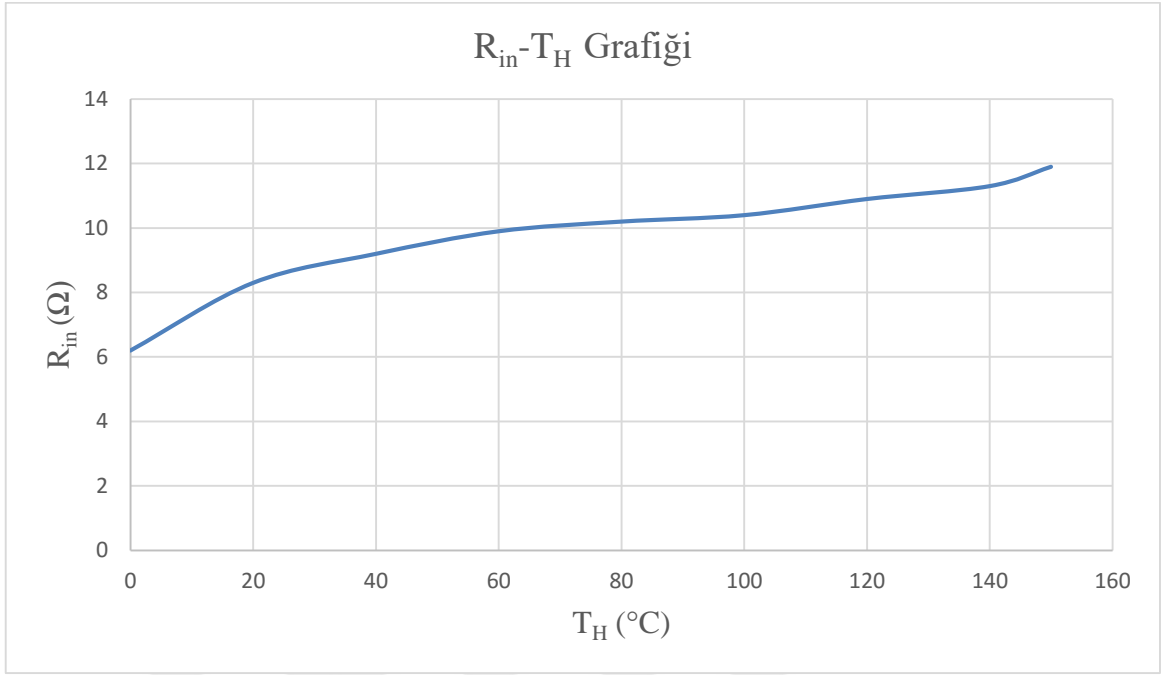
parametrelerin tayini çok zordur. TEJ tasarımında bu parametrelerin ölçülmesi maksimum güç transferi için oldukça önemlidir.

Beş adet termoelektrik modülden oluşan TEJ'in 23 °C çevre sıcaklığındaki iç direnci $R_{in}=6.2 \Omega$ olarak ölçüldü. TEJ'in iç direnci sıcaklık farkına bağlı olarak dinamik bir şekilde değişmektedir.



Şekil 4.2. Üreteç

TEJ tarafından güce maksimum güç aktarımı yapılabilmesi için $R_{in}= R(\text{yük})$ şartının sağlanması gerekmektedir. Su devir sistemi çalıştırılarak sistemde dolaşan suyun debisi 2,9 L/dk olarak ölçüldü. Sisteme ısı gücü uygulanarak $T_H= 20, 40, 60, 80$ ve $100, 120, 140, 150$ °C olduğunda TEJ iç direnci ölçüldü. Sonuçlar grafik olarak şekil 4.3 de gösterilmiştir.



Şekil 4.3. R_{in} - T_H Grafiği

Grafikten görüldüğü üzere T_H sıcaklığına bağlı olarak R_{in} değişmektedir. 23 °C çevre sıcaklığında R_{in} =6.2 Ω olarak ölçülmüşken T_H= 150 °C olduğunda R_{in}= 11.9 Ω olarak ölçüldü.

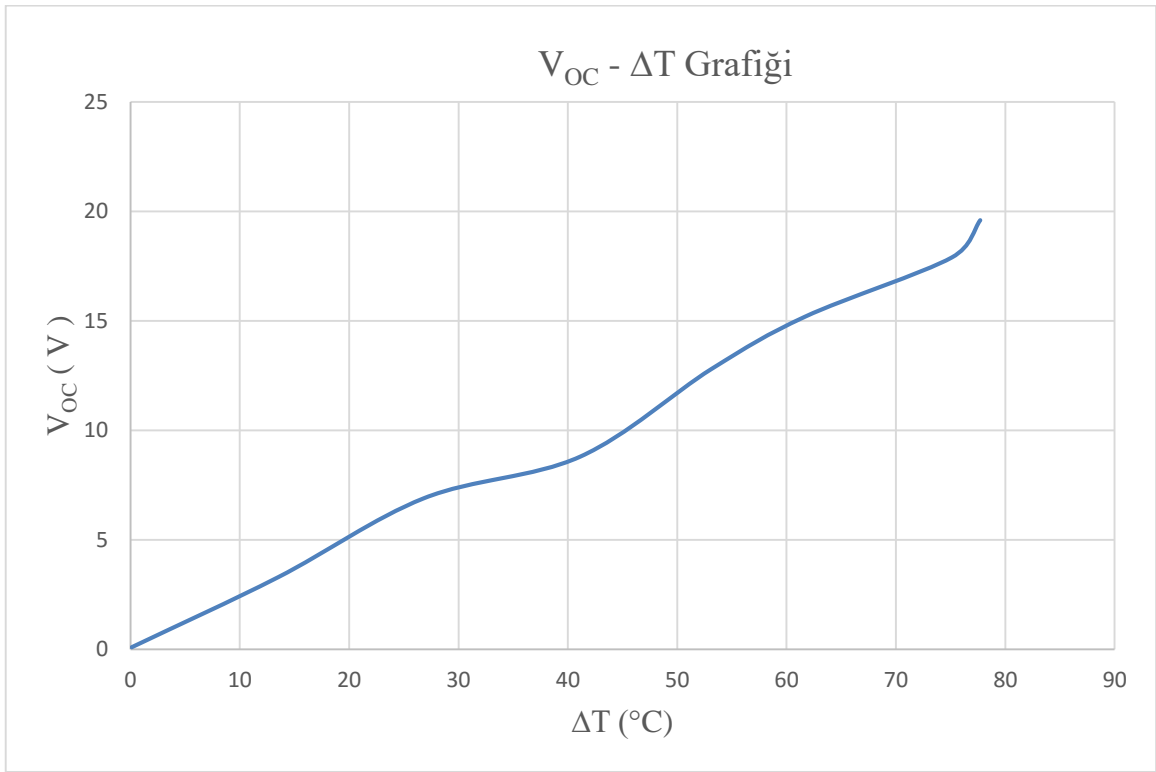
Varyak ile gerilimi ayarlanarak kullanılan elektrikli ısıtıcının gerilim değeri % 20 ile %100 arasında değiştirildi. Bu durumda elde edilen akım ve gerilim değerleri sisteme verilen ısıl güç olarak kabul edildi ve verim hesaplamaları bu giriş değerleri kullanılarak yapıldı. Elde edilen veriler Çizelge 4.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Varyak Oranlarına göre V-A-P-ΔT değerleri

Varyak Oranı	Gerilim, (V)	Akım, (A)	P (W)	T _H (°C)	T _C (°C)	ΔT (°C)
20	50	0.58	29	19.5	19.3	0.2
40	100	1	100	77.2	38.7	38.5
60	150	2.5	375	102	51	51
80	185	3.3	610.5	120	51.5	68.5
100	220	4.55	1001	150	59	91

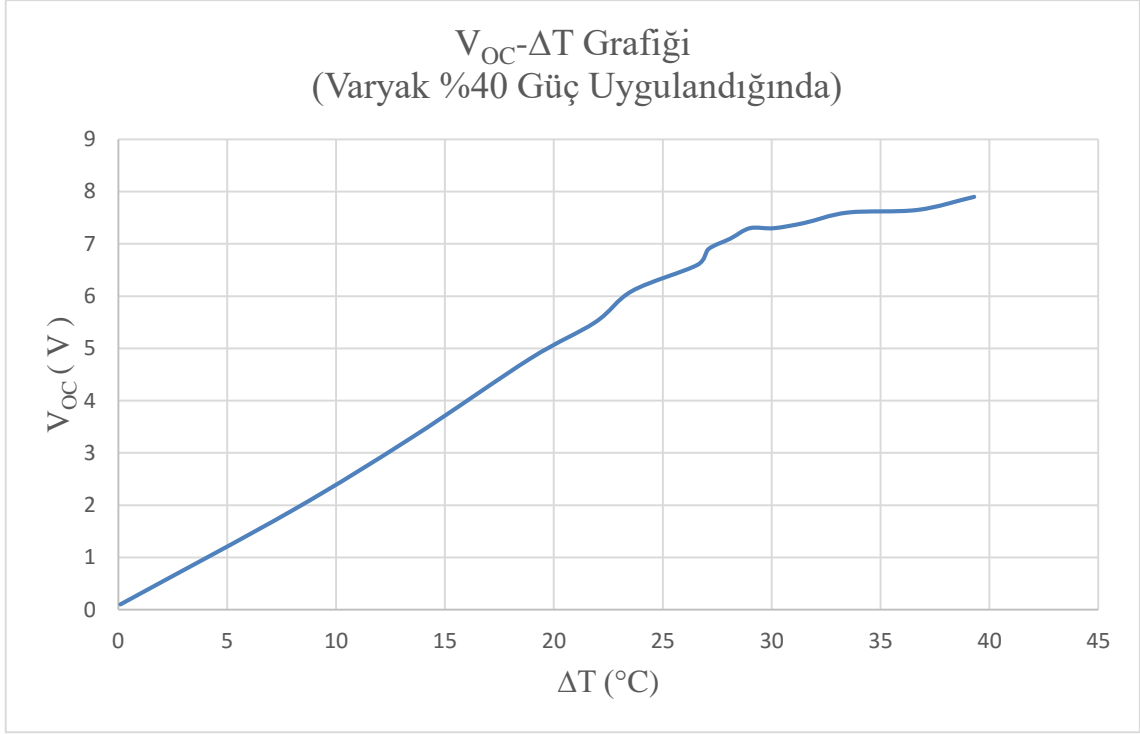
Varyak kullanılarak ayarlanan giriş gerilimlerine karşılık gelen TEJ sıcak yüzey sıcaklıkları ölçüldü. % 100 giriş değeri uygulandığında 220 V gerilim ve 4.55 A akım ölçüldü. Buna göre sisteme verilen maksimum güç 1 000 W iken sıcak yüzey sıcaklığı 150 °C olarak ölçüldü. TEJ yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkı kullanılan su devir daim sistemi ve ısıtıcı kullanılarak 91 °C dereceye çıkarılabildi.

İlk aşamada sistem yüksüz olarak çalıştırıldı ve açık devre gerilimleri kaydedildi. Elde edilen bulgular Şekil 4.4’de gösterilmiştir.



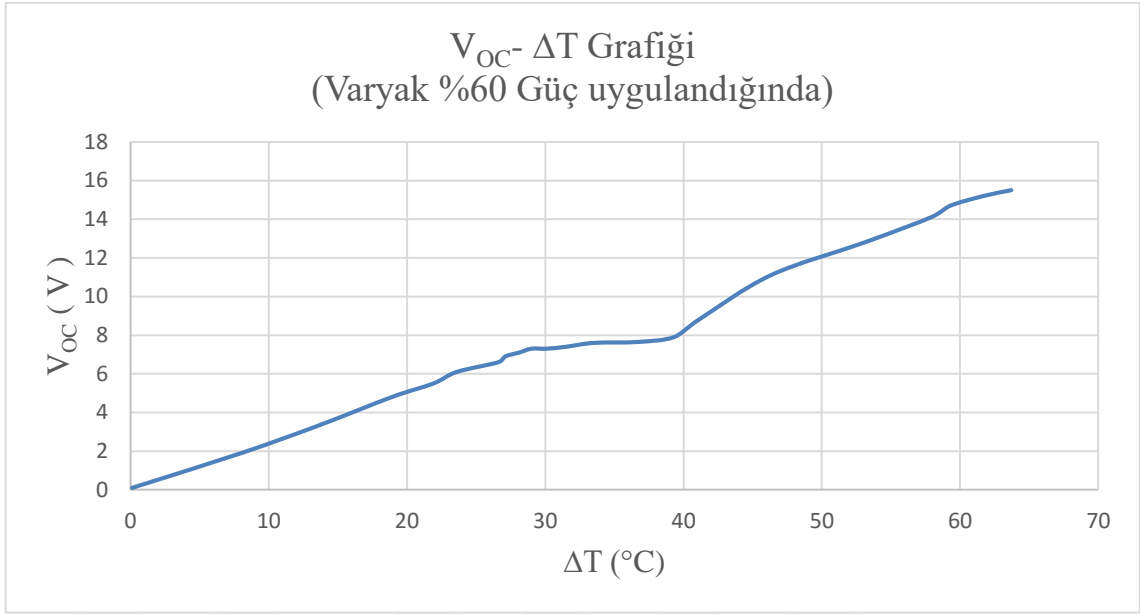
Şekil 4.4. V_{OC} - ΔT Grafiği

Birinci test varyak oranı % 40 iken yapıldı. Su soğutmalı devir daim sistemi kullanılarak sistem kararlı hale getirildiğinde sıcak ve soğuk yüzey sıcaklıkları sırasıyla 19.1 °C ve 19 °C olarak ölçüldü ve sisteme ısı güç uygulanmaya başlandı.



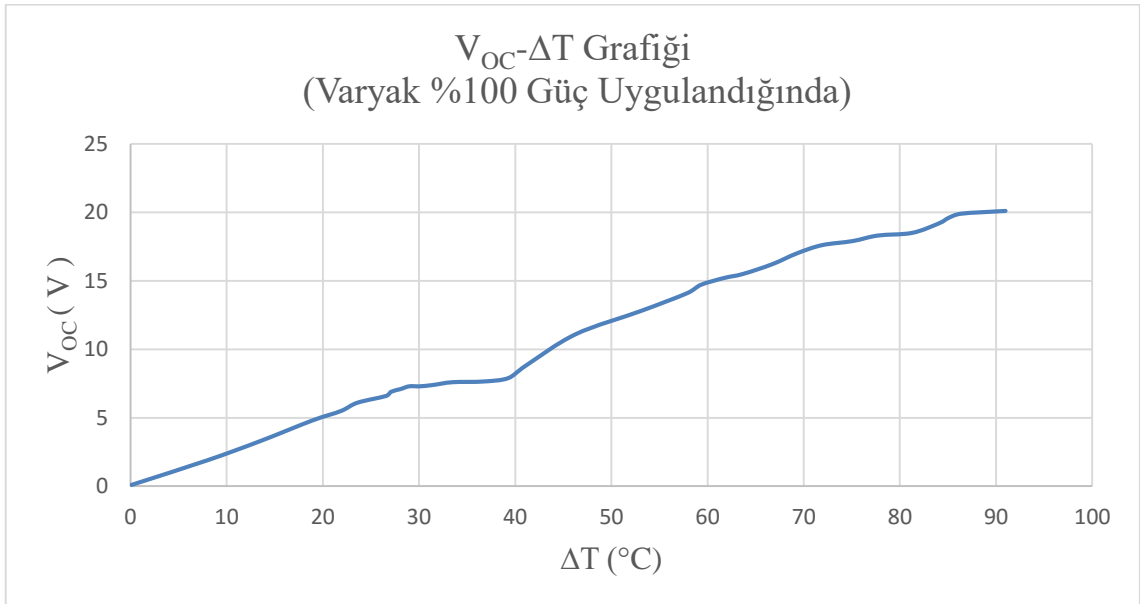
Şekil 4.5. $V_{OC} - \Delta T$ Grafiği (Varyak %40 Güç Uygulandığında)

İkinci test varyak oranı % 60 iken yapıldı. Sistem kararlı hale getirildiğinde ısı güç uygulanmaya başlandı sıcak yüzey sıcaklığı 124.2 °C ulaştığında soğuk yüzey sıcaklığı 60.5 °C olarak ölçülmüştür. Açık devre gerilimi ise 15.5 V olarak ölçülmüştür. Ölçümlere ait V_{OC} ve ΔT değerleri Şekil 4.6 gösterilmiştir.



Şekil 4.6. V_{OC} - ΔT Grafiği (Varyak %60 G¼c uygulandığında)

¼ç¼nc¼ test varyak oranı % 100 iken yapıldı. Sistem kararlı hale getirildiğinde ısıl g¼c uygulanmaya başlandı sıcak y¼zey sıcaklığı 155.2 °C ulaştığında soğuk y¼zey sıcaklığı 64.2 °C olarak ölç¼lm¼řt¼r. Açığ devre gerilimi ise 20.1 V olarak ölç¼lm¼řt¼r. Ölç¼mlere ait V_{OC} ve ΔT değerleri Şekil 4.7 gösterilmiştir.



Şekil 4.7. V_{OC} - ΔT Grafiği (Varyak %100 G¼c Uygulandığında)

TEJ'in yüklü testlerinin yapılabilmesi için 3 farklı yük kullanıldı.

- 12 W gücüne sahip LED
- 8.5 W DC fan
- 100 Ω 50 W potansiyometre

Varyak % 40'a ayarlandığında sistem çıkışına sırası ile yükler bağlanarak akım ve gerilim değerleri ölçüldü ve kaydedildi. Bu durumda yüzeyler arasındaki sıcaklık farkı $\Delta T = 39.3$ °C olarak ölçüldü. Sisteme yük olarak fan bağlandığında fanın çalıştığı görüldü ve fan üzerindeki akım ve gerilim değeri ölçüldü. Fan bağlandığında 7.9 V olan açık devre gerilimi 7.4 V'a düşerken 0.4 A akım çektiği ölçüldü. $P = 7.4 \times 0.4 = 2.96$ W olarak hesaplandı. Yük olarak LED bağlandığında TEJ çıkış gerilimi 6.5 V'a düşerken 0.5 A akım ölçüldü. $P = 6.5 \times 0.5 = 3.25$ W olarak hesaplandı. $T_H = 76.5$ °C'de 39.3 °C sıcaklık farkı elde edildi. Şekil 4.3 de verilen grafikte görüldüğü üzere R_{in} direnci $T_H = 76.5$ °C'de 10 Ω olarak ölçülmüştür. Potansiyometre 10 Ω değerine ayarlanarak TEJ çıkışına bağlandığında $V_{TEJ} = 7.5$ V ve çekilen akım 0.7 A olarak ölçüldü. Bu durumda yüke maksimum aktarılan güç $P = 7.5 \times 0.7 = 5.25$ W olarak hesaplandı.

Şekil 4.3'te verilen grafikteki R_{in} değerleri $T_H = 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 150$ °C ölçümlerde elde edilen değerler Çizelge 4.2'de gösterilmektedir..

Çizelge 4.2. T_H 'a bağlı R_{in} Değerleri

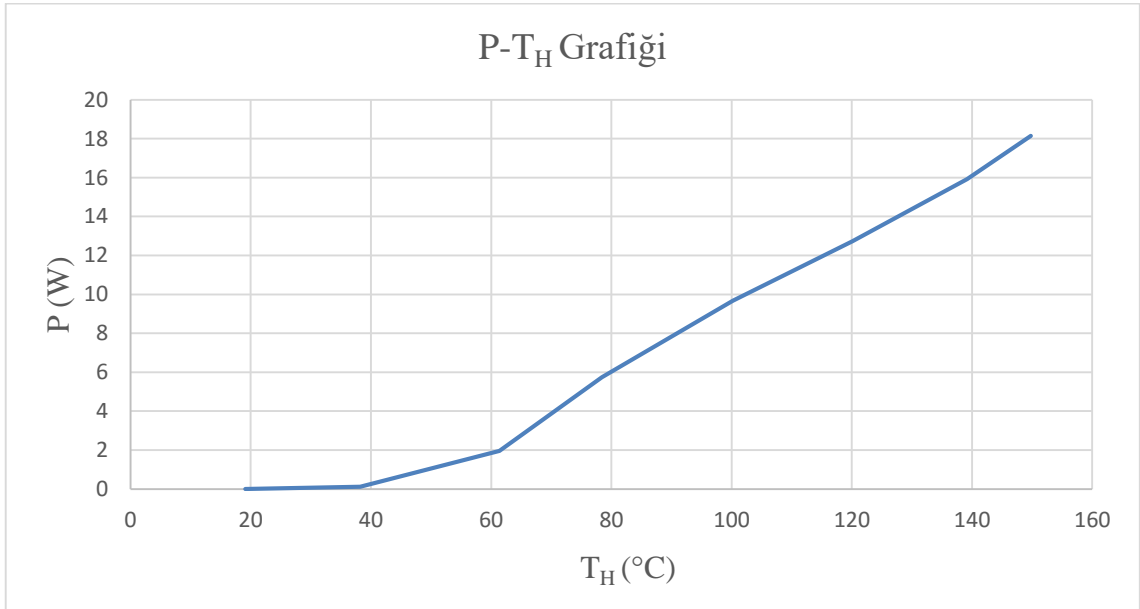
T_H	R_{in}
20	8.3
40	9.2
60	9.9
80	10.2
100	10.4
120	10.9
140	11.3
150	11.9

TEJ'in T_H sıcaklığına bağlı maksimum güç değerlerini elde etmek için yapılan deneyde, Çizelge 4.2'de verilen değerler potansiyometre ile ayarlanarak yüke aktarılan akım ve gerilim değerleri ölçüldü. Elde edilen değerler Çizelge 4.3'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.3. T_H 'a bağlı I –V değerleri

T_H	I	V
20	0.1	1.2
40	0.3	6.5
60	0.7	8.2
80	0.78	12.4
100	0.86	14.8
120	0.91	17.5
140	0.96	18.9

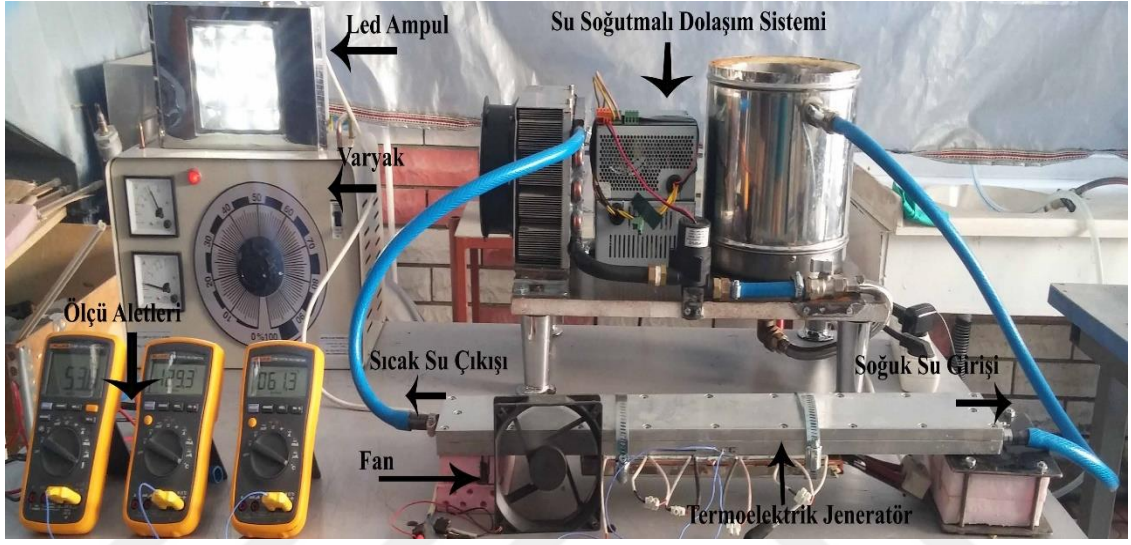
Çizelge 4.3'de elde edilen değerler $P=I \times V$ teoremine göre hesaplandı. T_H 'ye bağlı olarak elde edilen maksimum güç (P) grafiği şekil 4.8 gibidir.



Şekil 4.8. P - T_H grafiği

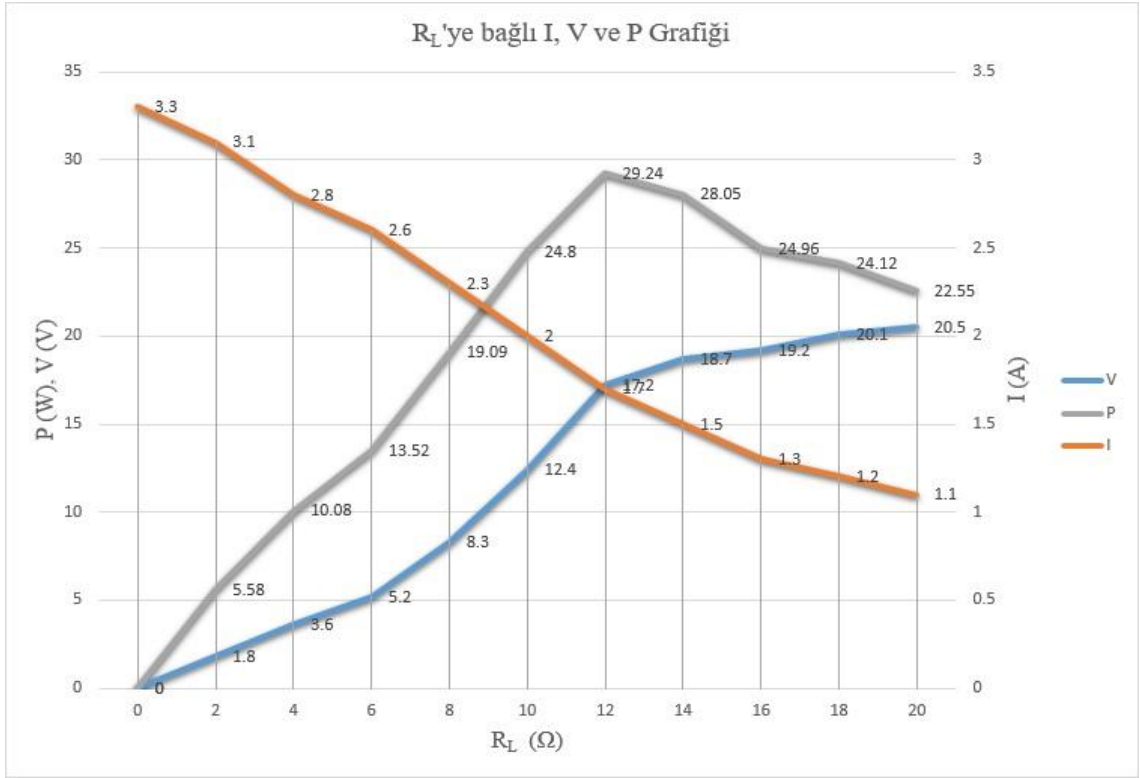
Yapılan deneysel çalışmada en yüksek sıcaklık farkı T_H 155.2 °C ve T_C 64.2 °C olduğunda 91 °C olarak elde edildi. Bu durumda sisteme verilen ısı güç 1 000 W olarak

hesaplandı. Elektrikli ısıtıcı sisteme verdiği ısıl gücün yaklaşık olarak % 60'lık kısmının TEJ yüzeyleri üzerinde etkili olduğu varsayımından hareketle verim hesaplamada kullanılan giriş gücü $P_{in}=1\ 000\ W \times \% 60 = 600\ W$ olarak hesaplandı. Elde edilen maksimum sıcaklık farkında Şekil 4.9'da görüldüğü gibi TEJ çıkışına Fan, LED, ve fan ile LED aynı anda bağlanarak test edildi.



Şekil 4.9. Fan ve LED ampulün çalışması

Aynı sıcaklık farkında maksimum TEJ gücünü ölçmek için varyak % 100 güç uygulanarak ve ayarlı potansiyometre kullanılarak 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18 ve 20 Ω değerleri ayarlanarak yük üzerindeki akım ve gerilim değeri ölçülerek güç hesaplaması yapıldı. Elde edilen sonuçlar grafiksel olarak Şekil 4.10'da gösterilmiştir.



Şekil 4.10. R_L'ye bağı I, V ve P grafiği

TEJ uçları çok kısa bir süre kısa devre edildiğinde yani R_L=0 Ω olarak alındığında maksimum akım I_{sc} kısa devre akımı olarak kabul edilir. Bu durumda V_{TEJ} 0 V olduğundan dolayı güç 0 olarak hesaplanır. R_L=12 Ω olduğunda maksimum güç transferi gerçekleştiği görülmektedir. Bu durumda V_{TEJ} =17.2 V ve I_L=1.7 A olarak ölçüldü ve güç P=17.2X1.7=29.24 W olarak hesaplandı. TEJ verimi $\eta_{TEJ}=(P_{out}/P_{in})\times 100$ formülasyonu ile hesaplandığında % 4.8 olarak bulundu.

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında atık ısıları değerlendirilmesi amacıyla teorik olarak $\Delta T = 100 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklık farkında 7 W nominal güç değerine sahip termoelektrik modüller kullanılarak termoelektrik yatay atık ısı jeneratörü tasarımı yapıldı. Laboratuvar ortamında testlerini yapmak üzere su soğutmalı devir daim sistemi ve elektrikli ısıtıcı kullanılarak yüzeyler arasında sıcaklık farkı elde edildi. $\Delta T = 100 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de $5 \times 7 = 35 \text{ W}$ teorik güce sahip olması gereken TEJ $91 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklık farkında 29.24 W maksimum güç ürettiği görüldü. Tasarlanan TEJ $91 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklık farkında % 4.8 verimle atık ısıyı doğrudan elektrik enerjisine çevirdiği görüldü. Kullanılan termoelektrik modüller $300 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklığa kadar dayanabilmektedir. Sadece $25 \times 5 \text{ cm}^2$ 'lik bir alanda elde edilen 29.24 W güç, sıcaklık farkının 2 katına çıkarılması ile 4 kat artmaktadır. Su devir daim sisteminin debisinin artırılması ile daha yüksek sıcaklık farkı elde etmek mümkün olup, TEJ'in dönüşüm veriminin artırılması sağlanabilmektedir. Özellikle atık baca gazlarının söz konusu olduğu endüstriyel işletmelerde baca kısımları kullanıldığında sıcaklık farkını artırmak mümkündür. Bass ve arkadaşları çalışmalarında egzoz üzerine yerleştirdikleri modüllerle yaklaşık 1 KW güç elde etmişlerdir. İki deney arasındaki elde edilen güç farkının temel sebebi kullanılan modül sayısından kaynaklanmaktadır. Bizim çalışmamızda kullanılan TEM sayısı 5 iken Bass ve arkadaşları deneylerini 72 adet TEM ile gerçekleştirmişlerdir.

TEM'lerin verimleri düşük gibi görünmesine rağmen atık ısı kaynaklarının kesintisiz olması, 24 saat güç üretiminin mümkün olması ve çevre kirliliğine neden olan atık ısının değerlendirilmesine olanak sağladığından TEJ son yılların en önemli teknolojilerinden birisi olarak öne çıkacaktır.

6. KAYNAKLAR

- Ahıska, R., Ahıska, G. ve Ahıska, K., 2009. Analysis of a new method for measurement of parameters of real thermoelectric module employed in medical cooler for renal hypothermia, *Instrumentation Science & Technology*, (37(1): 102–123).
- Ahıska, R., Mamur, H. ve Uliş, M., 2011. Modeling and experimental study of thermoelectric module as generator, *Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, (26(4): 889–896).
- Ahıska, R., 2007. New method for study dynamic exit properties of thermoelectric modules, *J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ.*, (22(4): 709–716), Ankara.
- Anonim, 2016 <http://www.enerjiatlası.com/elektrik-uretimi/>
- Akgün, F., Ve Atakül H., 2010, Çimento Üretiminde Enerji Verimliliği, Tübitak Türkiye Bilimsel Ve Teknik Araştırma Kurumu Marmara Araştırma Merkezi Seminer Notları, Cilt III, T.Ç.M.B, Kocaeli.
- Bass J.C., Kushch A.S., Elsner N.B. 2001. Thermoelectric Generator (TEG) for Heavy Diesel Trucks. <http://www.hi-z.com/tp2001.php>.
- Baş, Ş., 2014. Atık Baca Gazı Kullanımı İle Termoelektrik Jeneratörlerde Elektrik Üretiminin Faydalı Kullanımının Deneysel İncelenmesi.(Yüksek Lisans Tezi), Fen Bilimleri Enstitüsü/Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, Karabük Üniversitesi. Karabük.
- Bierschenk, J., 2008. Optimized thermoelectric for energy harvesting applications, 17th International Symposium on the Applications of Ferroelectrics ISAF 2008, (1–4), Santa Re.
- Boztepe, M., 1995. Güneş pilleri ile çalışan peltier elemanlı bir soğutucu sistemin geliştirilmesi, (Yüksek Lisans Tezi), Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Buist, R. J. ve Lau, P. G., 1997. Thermoelectric power generator design and selection from TE cooling module specifications, XVI. International Conference on Thermoelectrics, (551–554) Dresden.
- Champier, D., Bédécarrats, J. P., Kousksou, T., Rivaletto, M., Strub, F. ve Pignolet, P., 2011. Study of a TE (thermoelectric) generator incorporated in a multifunction wood stove, *Energy*, (36(3): 1518–1526).
- Champier, D., Bedecarrats, J. P., Rivaletto, M. ve Strub, F., 2010 “Thermoelectric power generation from biomass cook stoves”, *Energy*, 35(2): 935–942.
- Chen, T. G., Yu, P., Chou, R. H. ve Pan, C. L., 2010. Phonon thermal conductivity suppression of bulk silicon nanowire composites for efficient thermoelectric conversion, *Optics Express*, (18(S3): 467–479).
- ÇKA, 2016. www.cka.org.tr.
- Dai, D., Zhou, Y. ve Liu, J., 2011. “Liquid metal based thermoelectric generation system for waste heat recovery”, *Renewable Energy*, 36(12): 3530–3636.
- Dikmen, E., 2002. Termoelektrik soğutucuların çalışma kriterlerine etki eden faktörlerin ve endüstrideki kullanım alanlarının tespiti, (Yüksek Lisans Tezi), Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Dişlitaş, S. ve Ahıska, R., 2003. Microprocessor controlled thermoelectric generator that directly convert geothermal energy from renewable energy source to electric

- power, 3rd International Advanced Technologies Symposium, 18-20 Ağustos, 2002, Ankara.
- Dişlitaş, S., 2009. Bilgisayar kontrollü termoelektrik performans analiz sistemi”, (Doktora Tezi), Gazi Üniversitesi Bilişim Enstitüsü, Ankara.
- Enerjiatlası, 2016. [Http://www.enerjiatlası.com/haber/kisi-basi-elektrik-tuketimi-63-kwh-artti](http://www.enerjiatlası.com/haber/kisi-basi-elektrik-tuketimi-63-kwh-artti)
- EPDK, 2015. http://www3.epdk.org.tr/documents/elektrik/rapor_yayin/Elk_UretimKapasiteProjesiyonu2015_2019.pdf.
- Eakburanawat, J., Boonyaroonate I., 2006. Development of a Thermoelectric Battery-Charger with Microcontroller-based Maximum Power Point Tracking Technique. *Applied Energy* (83(7), 687-704).
- Fang, F., Opila, R. L., Venkatasubramanian, R. ve Colpitts, T., 2011. Preparation of clean Bi_2Te_3 and Sb_2Te_3 thin films to determine alignment at valence band maxima, *Journal of Vacuum Science & Technology A: Vacuum, Surfaces, and Films*, (A29(3): 31403–31408)
- Ferrari, M., Ferrari, V., Guizzetti, M., Marioli, D. ve Taroni, A., 2007. Characterization of thermoelectric modules for powering autonomous sensors, *Instrumentation and Measurement Technology Conference*, (1–3), Warsaw.
- Fidan, U., 2000. Mikrodenetleyici kontrollü taşınabilir termoelektrik tıp kiti cihazı tasarımı ve uygulaması, (Yüksek Lisans Tezi), Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Fraisse, G., Ramousse, J., Sgorlon, D. ve Goupil, C., “Comparison of different modeling approaches for thermoelectric elements”, *Energy Conversion and Management*, 65(1): 351–356 (2013).
- Glatz, W., Schwyter, E., Durrer, L. ve Hierold, C., 2009. Bi_2Te_3 -based flexible micro thermoelectric generator with optimized design, *Journal of Microelectromechanical Systems*, (18(3): 763–772).
- Gür, S. ve Atik, K., 2009. Yoğunlaştırıcı güneş kolektörleri ve termoelektrik jeneratörler kullanılarak elektrik üretimi. 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS’09), 2-4 (2009), Karabük.
- Harman, T. C., Taylor, P. J., Spears, D. L. ve Walsh, M. P., 1999. Quantum dot superlattice thermoelectric materials and devices, *Journal Electronic Material Letters*, (28, L1).
- Inayat, S. B. and Hussain, M. M., 2012. Power generation from thermoelectric system-embedded plexiglas for green building technology, *Appl Nanosci*, (10, 32-39).
- Jovanovic, V., Ghamaty, S. ve Bass, J. C., 2012. New thermoelectric materials and applications, 13th IEEE Intersociety Conference on Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems, (1159–1169), San Diego.
- Jovanovic, V., Ghamaty, S., Elsner, N. B., Krommenhoek, D. ve Morris, J., 2009. New technique for testing performance of thermoelectric quantum well materials, *ASME 2009 Conference on Energy Sustainability*, (317–320), San Francisco.
- Kapıdere, M., 2005. Mikrodenetleyici Kontrollü Termohipoterm Tıp Cihazı Tasarımı Ve Gerçekleştirilmesi, (Doktora Tezi), Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Karabetoğlu, S., Şişman, A., Öztürk, Z. F. ve Sahin, T., 2012. “Characterization of a thermoelectric generator at low temperatures”, *Energy Conversion and Management*, 62(1): 47–50.

- Kılıç, T., 2010. A Study About Recycling Waste Energy In Buildings By Using Thermoelectric Generators. (Yüksek Lisans Tezi), Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kim, D. H., Kim, C., Ha, D. W. ve Kim, H., 2011. Fabrication and thermoelectric properties of crystal-aligned nano-structured Bi₂Te₃, Journal Alloy Compounds, (509(17): 5211–5215).
- Koçlu, A., 2011. Tekstil Endüstrisinde Plakalı Isı Değiştiricilerle Atık Isı Geri Kazanım Sistemi Ve Performansının Değerlendirilmesi.(Yüksek Lisans Tezi), Fen Bilimleri Enstitüsü/Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Uşak.
- Maneewan S., Hirunlabh J.,Khedari J.,Zeghmati B.,Teekasap S., 2005. Heat gain reduction by means of thermoelectric roof solar collector, Solar Energy (78, 495-503).
- Mcenaney, K., 2010. Modeling of solar thermal selective surfaces and thermoelectric generators, Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts, (67–70).
- Min, G. ve Rowe, D., M., 2006. Experimental evaluation of prototype thermoelectric domestic-refrigerators, Applied Energy, (83(2): 133–152).
- Möröyodor, E., 2005. Sb₂Te₃ ve Bi₂Te₃ içerikli bileşenlerin termoelektrik, yapısal ve mikroyapısal özelliklerinin incelenmesi,(Doktora Tezi), Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Nagayoshi, H., Tokimusu, K. ve Kajikawa, T., 2007. “Evaluation of multi MPPT thermoelectric generator system”, 26th International Conference on Thermoelectrics, Jeju, 318–321.
- Niu, X., Jianlin, Y. ve Wang, S., 2009. Experimental study on low-temperature waste heat thermoelectric generator, Journal of Power Sources, (188(2): 621–626).
- Nuwayhid R.Y, Rowe D.M, Min G., 2003. Low cost stove-top thermoelectric generator for regions with unreliable electricity supply. Renewable Energy (28, 205-222).
- Ökten, E., 2007. Mikrodenetleyicili sıcaklık ve hız kontrollü termoelektrik yarıiletken üretim sistemi, (Yüksek Lisans Tezi), Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Pasold, G., Etlın, P., Hahn, M., Muster, U., Nersessian, V., Bonfrate, D., Buser, R., Cucinelli, M. ve Gutsche, M., 2011. Powering wireless sensors: microtechnology-based large-area thermoelectric generator for mass applications, 2011 IEEE Sensors, Limerick, (1293–1296).
- Poudel, B., Hao, Q., Ma, Y., Lan, Y., Minnich, A., Yu, B., Yan, X. , Wang, D., Muto, A., Vashaee, D., Chen, X., Liu, J., Dresselhaus, M. S., Chen, G. ve Ren, Z., 2008. High-thermoelectric performance of nanostructured bismuth antimony telluride bulk alloys, Science Express, (320(5876): 634–642).
- Pramanick, A. K. ve Das, P. K., 2006. Constructal design of a thermoelectric device, International Journal of Heat and Mass Transfer, (49(7–8): 1420–1429).
- REN21, 2011. <http://www.ren21.net>.
- Riffat, S. B. ve Ma, X., 2003. “Thermoelectrics: A review of present and potential applications”, Applied Thermal Engineering, 23(8): 913–935.
- Rowe, D. M., 2006. Thermoelectric waste heat recovery as a renewable energy source, International Journal of Innovations in Energy Systems and Power, (1(1): 13–23).
- Singh, R., Tundee, S. ve Akbarzadeh, A., 2011. Electric power generation from solar pond using combined thermosyphon and thermoelectric modules, Solar Energy, (85(2): 371–378).
- TEİAŞ, 2016. Türkiye veri iletim A.Ş-<http://www.enerjiatlası.com/elektrik-uretimi>.

- Tellurex Corporation Ltd. 2009. An Introduction to Thermoelectrics
<http://www.tellurex.com/cthermo.html>
- Toker, C., Yıldız, Ş., Özdemir, S., Aşkar, H., Bulu, G., Sezer, H., 2014. Elektrik Devreleri (126-127).
- Trottmann M., Weidenkaff A., 2010. Thermoelectric Waste Heat Recovery.
http://www.ti.bfh.ch/uploads/media/2009_140_thermoelectric.pdf
- Tsai, H. L. ve Lin, J. M., 2010. Model building and simulation of thermoelectric module using Matlab/Simulink, *Journal of Electronic Materials*, (39(9): 2105–2111).
- Tütüncü, G., 2012. Çimento Sektöründe Atık Isı Kazanım (WHR) Sisteminin Termodinamik İncelenmesi. (Yüksek Lisans Tezi), Fen Bilimleri Enstitüsü/Güneş Enerjisi Anabilim Dalı, Bornova/İzmir.
- Venkatasubramanian, R., Siivola, E., Colpitts, T. ve O'Quinn, B., 2001. Thin-film thermoelectric devices with high room-temperature figures of merit, *Nature*, (413, 597–602).
- Vieira J.A.B., Mota A.M., 2009. Thermoelectric Generator Using Water Gas Heater Energy for Battery Charging. *IEEE International Conference on Control Applications*, 1477-1482.
- Wojciechowski K., Merkisz J., Fuć P., Lijewski P., Schmidt M., 2007. Study of Recovery of Waste Heat From the Exhaust of Automotive Engine. *AGH University of Science and Technology, Al. Mickiewicza* (30, 30-059).
- Wu, Y., Finefrock, S. W. ve Yang, H., 2012. Nanostructured thermoelectric: Opportunities and challenges, *Nano Energy*, (1(5): 651–653).
- Xi, H., Luo, L. ve Fraisse, G., 2007. “Development and applications of solar-based thermoelectric technologies”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11(5): 923–936.
- Yamankaradeniz, N., 2011. Endüstride Isı Pompası Kullanılarak Atık Isıdan Isı Geri Kazanımının Teorik Ve Deneysel İncelenmesi.(Doktora Tezi), Fen Bilimleri Enstitüsü/Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.
- Yang, J., Aizawa, T., Yamamoto, A. ve Ohta, T., 2000. Thermoelectric properties of p-type $(\text{Bi}_2\text{Te}_3)_x(\text{Sb}_2\text{Te}_3)_{1-x}$ prepared via bulk mechanical alloying and hot pressing, *Journal of Alloys and Compounds*, (309(1–2): 225–228).
- Zhao, L. D., Zhang, B. P., Li, J. F., Zhou, M., Liu, W. S. ve Liu, J., 2008. “Thermoelectric and mechanical properties of nano-SiC-dispersed Bi_2Te_3 fabricated by mechanical alloying and spark plasma sintering”, *Journal of Alloys and Compounds*, 455(1–2): 259–264.
- Zhao, L. D., Zhang, B. P., Li, J. F., Zhou, M., Liu, W. S. ve Liu, J., 2008. Thermoelectric and mechanical properties of nano-SiC-dispersed Bi_2Te_3 fabricated by mechanical alloying and spark plasma sintering, *Journal Alloy Compounds*, (455(1–2): 259–264).

7. ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı :SÖNMEZ, Oğuzhan
Uyruğu :Türkiye Cumhuriyeti
Doğum Tarihi ve Yeri :17.02.1981 / Tokat
Medeni Hali :Evli
Telefon :0 505 332 71 85
E-posta :oguzhan.sonmez@gop.edu.tr
Yabancı Dil :İngilizce

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Mekatronik Mühendisliği	Devam ediyor
Lisans	Marmara Üniversitesi – Bilgisayar ve Kontrol Sistemleri Öğretmenliği	2007
Lise	Tokat Endüstri Meslek Lisesi	1999

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2009-	Reşadiye Meslek Yüksekokulu	Öğretim Görevlisi