



**JEOTERMAL ENERJİ KULLANILARAK
TERMOELEKTRİK JENERATÖRLERLE
ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİMİNE ETKİ
EDEN FAKTÖRLERİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Adbullah Cem AĞAÇAYAK

Danışman

Prof. Dr. Hasan ÇİMEN

ELEKTRİK EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

Temmuz 2017

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**JEOTERMAL ENERJİ KULLANILARAK TERMOELEKTRİK
JENERATÖRLERLE ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİMİNE ETKİ
EDEN FAKTÖRLERİN İNCELENMESİ**

Abdullah Cem AĞAÇAYAK

Danışman
Prof. Dr. Hasan ÇİMEN

ELEKTRİK EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

Temmuz 2017

TEZ ONAY SAYFASI

Abdullah Cem AĞAÇAYAK tarafından hazırlanan “Jeotermal Enerji Kullanılarak Termoelektrik Jeneratörle Elektrik Enerjisi Üretimine Etki Eden Faktörlerin İncelenmesi” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 04/07/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Elektrik Eğitimi Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Hasan ÇİMEN

Başkan : Prof. Dr. Cemil SUNGUR
Selçuk Üniversitesi,
Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu

Üye : Prof. Dr. Hasan ÇİMEN
Afyon Kocatepe Üniversitesi,
Teknoloji Fakültesi

Üye : Yrd. Doç. Dr. Said Mahmut ÇINAR
Afyon Kocatepe Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi

İmza



Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
...../...../..... tarih ve
.....sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....
Prof. Dr. Hüseyin ENGİNAR
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

26/07/2017



Abdullah Cem AĞAÇAYAK

ÖZET
Yüksek Lisans Tezi

**JEOTERMAL ENERJİ KULLANILARAK TERMOELEKTRİK JENERATÖRLERLE
ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİMİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLERİN İNCELENMESİ**

Abdullah Cem AĞAÇAYAK

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik Eğitimi Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Hasan ÇİMEN

Jeotermal enerji yenilenebilir enerji kaynakları sınıfında yer almakta olup günümüzde elektrik üretiminde de istifade edilmektedir. Jeotermalden elektrik enerjisi üretmekte buhar türbin-jeneratör çevrimi gibi geleneksel yöntemler kullanılmakla birlikte yarıiletken termoelektrik modülleri gibi yenilikçi yöntemler de kullanılmaktadır. Termoelektrik modüller soğuk ve sıcak yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkına bağlı olarak elektrik üretebilen hareketli parçası bulunmayan yarıiletken devre elemanlarıdır. Bu tez çalışmasında termoelektrik soğutucu (TEC) olarak bilinen modüller ile jeotermal enerjiyi elektrik enerjisini dönüştüren bir prototip üreteç tasarımı gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen prototipte, TEC yüzey sıcaklıklarını istenilen değerde tutabilmek için içerisinde akışkan dolaştırılabilen bakır plakalar kullanılmış ve bu akışkanların basınç ve debileri kademeli olarak değiştirilerek elektrik üretimine etkileri incelenmiştir. Deneylemlerden elde edilen sonuçlar göstermiştir ki; TEC'lerde üretilen elektrik enerjisi, TEC yüzeylerinde dolaştırılan sıcak ve soğuk suların basınç ve debisi ile doğru orantılı olarak değişmektedir.

2017, xiv + 107 sayfa

Anahtar Kelimeler: Jeotermal Enerji, Elektrik Üretimi, Yenilenebilir Enerji, Termoelektrik Soğutucu (TEC).

ABSTRACT
M.Sc. Thesis

INVESTIGATION OF THE FACTORS AFFECTING THE ELECTRIC ENERGY
PRODUCTION OF THERMOELECTRIC GENERATORS BY USING
GEOTHERMAL ENERGY

Abdullah Cem AĞAÇAYAK

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electrical Education

Supervisor: Prof. Hasan ÇİMEN

Geothermal energy is in the category of renewable energy sources and nowadays it is used in electricity generation as well. While traditional methods such as steam turbine-generator loop are used in generating electricity from geothermal, innovative methods such as semiconductor thermoelectric modules are also used. Thermoelectric modules are solid-state semiconductor circuit elements that can generate electricity depending on the temperature difference between their cold and hot surfaces. In this thesis, a prototype generator design which transforms the geothermal energy to electrical energy with the modules known as thermoelectric cooler (TEC) was realized. In the prototype realized in order to maintain the TEC surface temperatures at the desired temperature, copper plates which can be circulated fluidly were used, and the pressure and flow of these fluids were gradually changed to investigate the effects on electricity generation. The results from the tests showed that; The electrical energy produced by the TECs varies in direct proportion to the pressure and temperature of the hot and cold water circulating on the TEC surfaces.

2017, xiv + 107 pages

Keywords: Geothermal Energy, Electricity Generation, Renewable Energy, Thermoelectric Cooler (TEC).

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel alışmaların ynlendirilmesi, sonuların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarında dolayı tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Hasan ÇİMEN, araştırma ve yazım süresince yardımlarını esirgemeyen Sayın Doç. Dr. Süleyman NEŞELİ, Öğr. Gör. Dr. Hakan TERZİğLU, Öğr. Gör. Gökhan YALÇIN'a, her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme teşekkür ederim.

Abdullah Cem AğAçAYAK
AFYONKARAHİSAR, 2017

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiv
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	5
3. MATERYAL ve METOT	16
3.1 Materyal	16
3.1.1 Jeotermal Enerji.....	16
3.1.1.1 Jeotermal Enerjiden Elektrik Üretimi	17
3.1.2 Türkiyede Jeotermal Enerji Kullanımı	19
3.1.2.1 Afyonkarahisar İlinin Jeotermal Enerji Sahaları ve Kullanım Alanları ..	21
3.1.3 Termoelektrik Generatör	23
3.1.3.1 Termoelektrik.....	23
3.1.3.2 Termoelektrik Etkiler.....	25
3.1.3.3 Termoelektrikte Kullanılan Yarıiletken Malzemeler.....	33
3.1.3.4 Yarıiletkenlerdeki İletim Olayı.....	35
3.1.3.5 Yarıiletken Elemanların ısı Kontrolü.....	37
3.1.4 Termoelektrik Modüller	38
3.1.4.1 Termoelektrik Soğutma	38
3.1.4.2 Termoelektrik Modülün Generatör Olarak Kullanılması	42
3.1.4.3 Termoelektrik Generatör Donanımı.....	44
3.1.4.4 Termoelektrik Modülde Güç Üretim Hesaplamaları	47
3.1.4.5 Termoelektrik Modüllerin Avantajları ve Dezavantajları.....	50
3.1.4.6 Termoelektrik Modüllerin Uygulama Alanları.....	51
3.1.4.7 Termoelektrik Generatörlerin Ekonomik Analizi.....	51
3.1.4.8 DC-DC Dönüştürücüler	52
3.1.4.9 Anahtarlamalı DC-DC Dönüştürücüler	52

3.1.4.10 İzolasyonlu DC-DC Dönüştürücüler	53
3.1.4.11 İzolasyonsuz DC-DC Dönüştürücüler	53
3.1.4.12 Azaltan-Artıran DC-DC Dönüştürücüler	53
3.1.5 Termoelektrik Soğutucular	54
3.1.6 Termoelektrik Modüle Isı Transfer Edecek Plaka Tasarımı	55
3.2 Metod	58
3.2.1 Termoelektrik Modüllerin Yerleştirilmesi.....	58
3.2.2 Termoelektrik Modüllerin Elektrik Bağlantıları.....	59
3.2.3 Blokların Sisteme Bağlantısı	60
3.2.4 Deney Düzenğinde Sıcak ve Soğuk Suyun Kapalı Sistem Tasarımı.....	61
3.2.5 Kapalı Sistemde Kullanılma Sıcaklık ve Soğuklu Suyun ve Basınç Ölçü Aletleri	62
3.2.6 Deney Düzenindeki Suyun Isıtma ve Soğutma Sistemleri.....	63
3.2.7 Genleşme Tankları.....	64
3.2.8 Ölçüm ve Aydınlatma.....	65
3.2.9 Azaltan-Artıran DC-DC Dönüştürücü.....	65
4. BULGULAR	68
4.1 İkili Plakadan Oluşturulan Bakır Blok Deneyleri.....	69
4.2 Yapılan Deneylerin Listesi	70
4.2.1 Deney 1 (1 Bar – Motor 1. Kademe).....	70
4.2.2 Deney 2 (1 Bar – Motor 2. Kademe).....	73
4.2.3 Deney 3 (1 Bar – Motor 3. Kademe).....	75
4.2.4 Deney 4 (2,5 Bar – Motor 1. Kademe).....	79
4.2.5 Deney 5 (2,5 Bar – Motor 2. Kademe).....	82
4.2.6 Deney 6 (2,5 Bar – Motor 3. Kademe).....	85
4.2.7 Deney 7 (3,5 Bar – Motor 1. Kademe).....	88
4.2.8 Deney 8 (3,5 Bar – Motor 2. Kademe).....	91
4.2.9 Deney 9 (3,5 Bar – Motor 3. Kademe).....	93
4.2.10 Deney 10 (Azaltan-Artıran DC-DC Dönüştürücü).....	97
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	99
6. KAYNAKLAR.....	102
ÖZGEÇMİŞ	106

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

A	Malzemenin toplam alanı (m ²)
A06(1-1)	TEC1-12706 TEC'in basıç, 1 bar motor debi kademesi 1'de akımı (A)
A06(1-2)	TEC1-12706 TEC'in basıç, 1 bar motor debi kademesi 2'de akımı (A)
A06(1-3)	TEC1-12706 TEC'in basıç, 1 bar motor debi kademesi 3'de akımı (A)
A06(2,5-1)	TEC1-12706 TEC'in basıç, 2,5 bar motor debi kademesi 1'de akımı (A)
A06(2,5-2)	TEC1-12706 TEC'in basıç, 2,5 bar motor debi kademesi 2'de akımı (A)
A06(2,5-3)	TEC1-12706 TEC'in basıç, 2,5 bar motor debi kademesi 3'de akımı (A)
A06(3,5-1)	TEC1-12706 TEC'in basıç, 3,5 bar motor debi kademesi 1'de akımı (A)
A06(3,5-2)	TEC1-12706 TEC'in basıç, 3,5 bar motor debi kademesi 2'de akımı (A)
A06(3,5-3)	TEC1-12706 TEC'in basıç, 3,5 bar motor debi kademesi 3'de akımı (A)
A10(1-1)	TEC1-12710 TEC'in basıç, 1 bar motor debi kademesi 1'de akımı (A)
A10(1-2)	TEC1-12710 TEC'in basıç, 1 bar motor debi kademesi 2'de akımı (A)
A10(1-3)	TEC1-12706 TEC'in basıç, 1 bar motor debi kademesi 3'de akımı (A)
A10(2,5-1)	TEC1-12710 TEC'in basıç, 2,5 bar motor debi kademesi 1'de akımı (A)
A10(2,5-2)	TEC1-12710 TEC'in basıç, 2,5 bar motor debi kademesi 2'de akımı (A)
A10(2,5-3)	TEC1-12710 TEC'in basıç, 2,5 bar motor debi kademesi 3'de akımı (A)
A10(3,5-1)	TEC1-12710 TEC'in basıç, 3,5 bar motor debi kademesi 1'de akımı (A)
A10(3,5-2)	TEC1-12710 TEC'in basıç, 3,5 bar motor debi kademesi 2'de akımı (A)
A10(3,5-3)	TEC1-1270 TEC'in basıç, 3,5 bar motor debi kademesi 3'de akımı (A)
G	Termoelektrik modülün geometri faktörü
Ge	Germanyum malzemesi
K	Malzemenin ortalama ısı iletim katsayısı (W/m ² .°C)
Kc	Termoelektrik mikromodülün ısı iletim katsayısı (W/°C)
Kn	N Tipi yarı iletken malzemenin ortalama ısı iletim katsayısı (W/°C)

Simgeler (Devamı)

Ko	Isıl iletkenlik (W/°C)
Kp	P Tipi yarı iletkene malzemenin ortalama ısı iletim katsayısı (W/°C)
L	Malzemenin uzunluğu (m)
N	Termoelektrik modülde toplam mikromodül çift sayısı
Ns	Her paralel kolda seri termoelektrik modül sayısı
Np	Seri bağlanmış modüllerle oluşturulan paralel kol sayısı
P	Öz direnç
Pmax	Termoelektrik modül uçlarından elde edilen maksimum güç (W)
PV	Fotovoltaik panel (W)
Po	Modülün çıkış gücü (W)
P06(1-1)	TEC1-12706 TEC'in basıç, 1 bar motor debi kademesi 1'de gücü (W)
P06(1-2)	TEC1-12706 TEC'in basıç, 1 bar motor debi kademesi 2'de gücü (W)
P06(1-3)	TEC1-12706 TEC'in basıç, 1 bar motor debi kademesi 3'de gücü (W)
P06(2,5-1)	TEC1-12706 TEC'in basıç, 2,5 bar motor debi kademesi 1'de gücü (W)
P06(2,5-2)	TEC1-12706 TEC'in basıç, 2,5 bar motor debi kademesi 2'de gücü (W)
P06(2,5-3)	TEC1-12706 TEC'in basıç, 2,5 bar motor debi kademesi 3'de gücü (W)
P06(3,5-1)	TEC1-12706 TEC'in basıç, 3,5 bar motor debi kademesi 1'de gücü (W)
P06(3,5-2)	TEC1-12706 TEC'in basıç, 3,5 bar motor debi kademesi 2'de gücü (W)
P06(3,5-3)	TEC1-12706 TEC'in basıç, 3,5 bar motor debi kademesi 3'de gücü (W)
P10(1-1)	TEC1-12710 TEC'in basıç, 1 bar motor debi kademesi 1'de gücü (W)
P10(1-2)	TEC1-12710 TEC'in basıç, 1 bar motor debi kademesi 2'de gücü (W)
P10(1-3)	TEC1-12706 TEC'in basıç, 1 bar motor debi kademesi 3'de gücü (W)
P10(2,5-1)	TEC1-12710 TEC'in basıç, 2,5 bar motor debi kademesi 1'de gücü (W)
P10(2,5-2)	TEC1-12710 TEC'in basıç, 2,5 bar motor debi kademesi 2'de gücü (W)
P10(2,5-3)	TEC1-12710 TEC'in basıç, 2,5 bar motor debi kademesi 3'de gücü (W)
P10(3,5-1)	TEC1-12710 TEC'in basıç, 3,5 bar motor debi kademesi 1'de gücü (W)
P10(3,5-2)	TEC1-12710 TEC'in basıç, 3,5 bar motor debi kademesi 2'de gücü (W)

Simgeler (Devamı)

P10(3,5-3)	TEC1-1270 TEC'in basıç, 3,5 bar motor debi kademesi 3'de gücü (W)
Q	Sıcaklığı yüksek olan bölgeden, düşük olan bölgeye doğru giden ısı miktarı (W)
Q _c	Termoelektrik modülden emilen ısı (W)
Q _m	Termoelektrik modülden yayılan ısı (W)
Q _J	Joule ısısı (W)
Q _P	Peltier ısısı (W)
Q _T	Thomson ısısı (W)
R	Elektriksel direnç (Ω)
R _i	Termoelektrik generatör iç direnci (Ω)
R _L	Yük direnci (Ω)
R _m	Termoelektrik generatör ortalama direnci (Ω)
R _p	P Tipi yarı iletken malzemenin elektriksel direnç (Ω)
R _n	N Tipi yarı iletken malzemenin elektriksel direnç (Ω)
Si	Silisyum malzemesi
T	Mutlak sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)
ΔT	İki yüzey arasındaki sıcaklık farkı ($^{\circ}\text{C}$)
T _i	Malzeme iç ısısı ($^{\circ}\text{C}$)
T _m	Ortalama sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)
ΔT_{max}	Yüzeyler arasında elde edilebilecek maksimum sıcaklık farkı
T _H = T ₁	Sıcak yüzey sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
T _C = T ₂	Soğuk yüzey sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
V	Devrede ölçülen voltaj (V)
V _c	Kondansatör gerilimi (V)
V _d	Azalan-artıran DC-DC dönüştürücü giriş gerilimi (V)
V _o	Volt değerinde mikromodül çıkış gerilimi (V)
V06(1-1)	TEC1-12706 TEC'in basıç, 1 bar motor debi kademesi 1'de gerilimi (V)
V06(1-2)	TEC1-12706 TEC'in basıç, 1 bar motor debi kademesi 2'de gerilimi (V)
V06(1-3)	TEC1-12706 TEC'in basıç, 1 bar motor debi kademesi 3'de gerilimi (V)
V06(2,5-1)	TEC1-12706 TEC'in basıç, 2,5 bar motor debi kademesi 1'de gerilimi (V)
V06(2,5-2)	TEC1-12706 TEC'in basıç, 2,5 bar motor debi kademesi 2'de gerilimi (V)
V06(2,5-3)	TEC1-12706 TEC'in basıç, 2,5 bar motor debi kademesi 3'de gerilimi (V)
V06(3,5-1)	TEC1-12706 TEC'in basıç, 3,5 bar motor debi kademesi 1'de gerilimi (V)
V06(3,5-2)	TEC1-12706 TEC'in basıç, 3,5 bar motor debi kademesi 2'de gerilimi (V)
V06(3,5-3)	TEC1-12706 TEC'in basıç, 3,5 bar motor debi kademesi 3'de gerilimi (V)

Simgeler (Devamı)

V10(1-1)	TEC1-12710 TEC'in basıç, 1 bar motor debi kademesi 1'de gerilimi (V)
V10(1-2)	TEC1-12710 TEC'in basıç, 1 bar motor debi kademesi 2'de gerilimi (V)
V10(1-3)	TEC1-12706 TEC'in basıç, 1 bar motor debi kademesi 3'de gerilimi (V)
V10(2,5-1)	TEC1-12710 TEC'in basıç, 2,5 bar motor debi kademesi 1'de gerilimi (V)
V10(2,5-2)	TEC1-12710 TEC'in basıç, 2,5 bar motor debi kademesi 2'de gerilimi (V)
V10(2,5-3)	TEC1-12710 TEC'in basıç, 2,5 bar motor debi kademesi 3'de gerilimi (V)
V10(3,5-1)	TEC1-12710 TEC'in basıç, 3,5 bar motor debi kademesi 1'de gerilimi (V)
V10(3,5-2)	TEC1-12710 TEC'in basıç, 3,5 bar motor debi kademesi 2'de gerilimi (V)
V10(3,5-3)	TEC1-1270 TEC'in basıç, 3,5 bar motor debi kademesi 3'de gerilimi (V)
Z	Performans katsayısı
Z _T	Sıcaklıkla değişen performans katsayısı
Θ _m	Termal direnç
λ	Malzemenin iletkenlik katsayısı (W/m°C)
π _{ab}	Peltier katsayısı (V)
α	Seebeck katsayısı veya termo emk (V/°C)
α _m	Modülün ortalama seebeck katsayısı
ρ	Malzemenin elektriksel iletkenliği (Ω cm)
τ	Thomson katsayısı veya termo emk (V/°C)
τ _n	N Tipi yarıiletken malzemenin thomson katsayısı
τ _p	P Tipi yarıiletken malzemenin thomson katsayısı
η	Generatörün verimi

Kısaltmalar

AC	Alternatif akım (Alternative Current)
AFJET	Afyon jeotermal (Afyon geothermal)
COP	Soğutucunun verim katsayısı (Coefficient of Performance)
DC	Doğru akım (Direct Current)
Ge	Germanyum (Germanium)
Hp	Beygir gücü (Horsepower)
IC	Entegre devre (Integrated circuit)
IEA	Uluslararası enerji ajansı (International energy agency)
N	Negatif (Negative)
LPG	Bütan ve propan gazı (Butane and propane gas)
MPPT	Maksimum güç noktası izleme kontrolörü (Maximum power point tracker)
P	Pozitif (Positive)
PEM	Proton değişimli membran (Proton exchange membrane)

Kısaltmalar (Devamı)

PCB	Baskılı devre kartı (Printed circuit board)
PIC	Çevresel arabirimleri denetleme elemanı (Peripheral Interface Controller)
PVC	Plastik polimer (Polivinil klorür)
PWM	Darbe genişlik modülasyonu (Pulse width modulation)
SCADA	Denetleme Kontrol ve Veri Toplama (Supervisory Control And Data Acquisition)
rpm	Dakikadaki devir sayısı (Revolution per minute)
SCADA	Denetleme Kontrol ve Veri Toplama (Supervisory Control And Data Acquisition)
Si	Silisyum (Silicium)
TE	Termoelektrik (Thermoelectric)
TEC	Termoelektrik soğutucu (Thermoelectric cooler)
TEG	Termoelektrik jeneratör (Thermoelectric generator)
TEM	Termoelektrik modül (Thermoelectric modul)
TEJ	Termoelektrik jeneratör(Thermoelectric generator)

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1 Entegre jeotermal enerji kaynağı değerlendirme şeması (Kayabaşı 2009).....	18
Şekil 3.2 Jeotermal sahalara ilişkin kuyu sıcaklıkları (Dişlitaş 2002).	20
Şekil 3.3 Afyonkarahisar İli Mevcut ve Alternatif Jeotermal Alanlar(Kervankıran 2012).....	21
Şekil 3.4 Farklı metallere oluşan bir devrede akım oluşumu (Baş 2014).	23
Şekil 3.5 Peltier Etkisi.....	24
Şekil 3.6 Basit Isıl çift devresi.....	27
Şekil 3.7 Sıcaklık farkıyla oluşturulan potansiyel farkı (Fettah 2010; Çevik 2011).....	28
Şekil 3.8 Peltier deneyi ve termoelektrik soğutucu (Temizer ve ark. 2012).....	29
Şekil 3.9 Peltier etkisi devresi	32
Şekil 3.10 Thomson Olayı.....	33
Şekil 3.11 Thomson olayını açıklayan devre	33
Şekil 3.12 Termoelektrik modül kesit görünüşü (Kayabaşı 2009).....	34
Şekil 3.13 P ve N tipi yarı iletkenlerin öngerilimsiz hareketi (Kırmacı 2002)	35
Şekil 3.14 P ve N tipi yarıiletkenlerin ters öngerilim hareketi (Kırmacı 2002).	36
Şekil 3.15 P ve N tipi yarıiletkenlerin ileri öngerilim hareketi (Kırmacı 2002).	36
Şekil 3.16 Bir termoelektrik modülde termoelementlerin bağlantı biçimi (Tugay 2010).	39
Şekil 3.17 N tipi termoelektrik eleman (Kaya 2010).	39
Şekil 3.18 P tipi termoelektrik eleman (Kaya 2010).	40
Şekil 3.19 N-tipi elemanların seri bağlanması (Kaya 2010).	40
Şekil 3.20 P-N çifti ile ısı pompalanması (Kaya 2010).....	41
Şekil 3.21 Termoelektrik soğutucu modülü (Baş 2014).....	41
Şekil 3.22 Soğutucu modunda termoelektrik modül (Dişlitaş 2002).	43
Şekil 3.23 Generatör modunda termoelektrik modül (Dişlitaş 2002).	43
Şekil 3.24 Termoelektrik generatör iç yapısı	44
Şekil 3.25 Termoelektrik generatör donanımı (İnt.Kyn.4).....	46
Şekil 3.26 Tek bir termoelektrik mikromodül (Dişlitaş 2002).....	47
Şekil 3.27 Modüllerin Seri-Paralel Düzenlemesiyle Tipik TEG (Dişlitaş 2002; Baş 2014).....	49
Şekil 3.28 Azaltan-Artıran Dönüştürücü elektrik devre şeması.....	54
Şekil 3.29 TEC1-12706 ve TEC1-12710 peltier modülleri	54
Şekil 3.30 TEC1-12706 ve TEC1-12710 peltier modüllerin performans özellikleri	55

Şekil 3.31	Tasarlanan plakaların görünüşleri(Yalçın, Selek, and Terzioğlu 2016)	56
Şekil 3.32	İş parçası üzerinde açılacak akışkan yol kesitleri (Yalçın ve ark. 2016) 56	56
Şekil 3.33	Farklı plaka tasarım çizimleri(Yalçın ve ark. 2016).	57
Şekil 3.34	Sıcak ve soğuk suyun parçalar içindeki dolaşımı	57
Şekil 3.35	Bakır malzemedan tasarlanan plakanın görüntüsü.....	57
Şekil 3.36	Bakır malzemenin üstüne yerleştirilmiş TEC modüllerin görüntüsü.....	58
Şekil 3.37	İki bakır plakanın birleştirilerek blok oluşturma görüntüsü.....	58
Şekil 3.38	İkisi TEC1-12706 diğer ikisi TEC1-12710 Termoelektrik Modüllerin yerleştirilerek oluşturulmuş bakır blokların görüntüsü	58
Şekil 3.39	TEC'lerin yüzeyinde kullanılan termal macun	59
Şekil 3.40	TEC1-12706 ve TEC1-12710' aynı bloktaki termoelektrik modüllerin birbirine paralel ve iki bloktaki termoelektrik modül grupları birbirine seri bağlantı görüntüsü	59
Şekil 3.41	Bakır plakaların oluşturduğu blokların bağlantı görüntüsü	60
Şekil 3.42	Sıcak ve soğuk suyun sistemdeki dolaşım görüntüsü	61
Şekil 3.43	Sıcak ve soğuk suyun sistemdeki dolaşımını sağlayan motorların görüntüsü ve kademelerine göre güçleri.....	61
Şekil 3.44	Sıcak/Soğuk su sıcaklık, basınç ölçüm sisteminin görüntüsü.....	62
Şekil 3.45	(a) Sıcak su sıcaklık ölçüm sisteminin (b) Soğuk su sıcaklık ölçüm sisteminin görüntüsü	62
Şekil 3.46	(a) Sıcak su basınç ölçüm (b) Soğuk su basınç ölçüm sisteminin görüntüsü	63
Şekil 3.47	Soğutma sisteminin önden arkadan ve yandan görüntüsü	63
Şekil 3.48	Isıtma sisteminin görüntüsü	64
Şekil 3.49	Sistemdeki genleşme tanklarının görüntüsü	64
Şekil 3.50	Ölçü aletlerinin ve yüklerin bağlantı görüntüsü.....	65
Şekil 3.51	Azaltan-Artıran DC-DC dönüştürücü PCB görüntüsü.....	66
Şekil 3.52	Azaltan-Artıran DC-DC dönüştürücü şematik görüntüsü.....	66
Şekil 3.53	Azaltan-Artıran DC-DC dönüştürücü PCB üzerine montajlanmış görüntüsü	66
Şekil 3.54	Azaltan-Artıran DC-DC dönüştürücü ardiona ile bağlantı görüntüsü	67
Şekil 4.1	TEG ile LED'li aydınlatma sisteminin çalıştırılması deneyi	69
Şekil 4.2	TEC1-12710 ve TEC1-12706 termoelektrik modüllerin 2'li bakır bloklarla sisteme.....	69
Şekil 4.3	TEC1-12706 ve TEC1-12710 termoelektrik modüllerin bakır blokların içindeki bağlantı görüntüsü.....	70
Şekil 4.4	TEC1-12710 Bar 1 Motor 1. Kademe Gerilim (V)-Akım (A) Grafiği	72

Şekil 4.5	TEC1-12706 Bar 1 Motor 1. Kademe Gerilim (V)-Akım (A) Grafiği	72
Şekil 4.6	TEC1-12710/06 Bar 1 Motor 1. Kademe Güç(W) Grafiği	73
Şekil 4.7	TEC1-12710 Bar 1 Motor 2. Kademe Gerilim (V)-Akım (A) Grafiği	73
Şekil 4.8	TEC1-12706 Bar 1 Motor 2. Kademe Gerilim (V)-Akım (A) Grafiği	75
Şekil 4.9	TEC1-12710/06 Bar 1 Motor 2. Kademe Güç(W) Grafiği	75
Şekil 4.10	TEC1-12710 Bar 1 Motor 3. Kademe Gerilim (V)-Akım (A) Grafiği	77
Şekil 4.11	TEC1-12706 Bar 1 Motor 3. Kademe Gerilim (V)-Akım (A) Grafiği	77
Şekil 4.12	TEC1-12710/06 Bar 1 Motor 3. Kademe Güç(W) Grafiği	78
Şekil 4.13	(a) TEC1-12710 Bar 1 Motor (1.-2.-3.) Kademe Güç(W) Grafiği (b) TEC1-12706 Bar 1 Motor (1.-2.-3.) Kademe Güç(W) Grafiği	79
Şekil 4.14	TEC1-12710 Bar 2,5 Motor 1. Kademe Gerilim (V)-Akım (A) Grafiği	80
Şekil 4.15	TEC1-12706 Bar 2,5 Motor 1. Kademe Gerilim (V)-Akım (A) Grafiği	80
Şekil 4.16	TEC1-12710/06 Bar 2,5 Motor 1. Kademe Güç(W) Grafiği	82
Şekil 4.17	TEC1-12710 Bar 2,5 Motor 2. Kademe Gerilim (V)-Akım (A)Grafiği	83
Şekil 4.18	TEC1-12706 Bar 2,5 Motor 2. Kademe Gerilim (V)-Akım (A)Grafiği	83
Şekil 4.19	TEC1-12710/06 Bar 2,5 Motor 2. Kademe Güç(W) Grafiği	85
Şekil 4.20	TEC1-12710 Bar 2,5 Motor 3. Kademe Gerilim (V)-Akım (A)Grafiği	85
Şekil 4.21	TEC1-12706 Bar 2,5 Motor 3. Kademe Gerilim (V)-Akım (A) Grafiği	87
Şekil 4.22	TEC1-12710/06 Bar 2,5 Motor 3. Kademe Güç(W) Grafiği	87
Şekil 4.23	(a) TEC1-12710 Bar 2,5 Motor (1.-2.-3.) Kademe Güç(W) Grafiği (b) TEC1-12706 Bar 2,5 Motor (1.-2.-3.) Kademe Güç(W) Grafiği	88
Şekil 4.24	TEC1-12710 Bar 3,5 Motor 1. Kademe Gerilim (V)-Akım (A) Grafiği	89
Şekil 4.25	TEC1-12706 Bar 3,5 Motor 1. Kademe Gerilim (V)-Akım (A) Grafiği	89
Şekil 4.26	TEC1-12710/06 Bar 3,5 Motor 1. Kademe Güç(W) Grafiği	91
Şekil 4.27	TEC1-12710 Bar 3,5 Motor 2. Kademe Gerilim (V)-Akım (A) Grafiği	91
Şekil 4.28	TEC1-12706 Bar 3,5 Motor 2. Kademe Gerilim (V)-Akım (A) Grafiği	93
Şekil 4.29	TEC1-12710 Bar 3,5 Motor 2. Kademe Güç(W) Grafiği	93
Şekil 4.30	TEC1-12710 Bar 3,5 Motor 3. Kademe Gerilim (V)-Akım (A) Grafiği	95
Şekil 4.31	TEC1-12706 Bar 3,5 Motor 3. Kademe Gerilim (V)-Akım (A) Grafiği	95
Şekil 4.32	TEC1-12710/06 Bar 3,5 Motor 3. Kademe Güç(W) Grafiği	96
Şekil 4.33	(a) TEC1-12710 Bar 3,5 Motor (1.-2.-3.) Kademe Güç(W) Grafiği (b) TEC1-12706 Bar 3,5 Motor (1.-2.-3.) Kademe Güç(W) Grafiği	97
Şekil 4.34	Azaltan-Artıran DC-DC dönüştürücü Arduiona İle Bağlantı Görüntüsü	98
Şekil 5.1	(a) TEC1-12710 Bar (1-2,5-3,5) Motor (1.-2.-3.) Kademe Güç(W) Grafiği	100

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1 Dünyada 2011 Yılı Jeotermal Enerji Kurulu Gücü (İnt.Kyn.3).....	19
Çizelge 3.2 Şekil 3.40 daki bağlantı şeklinin veri çizelgesi.....	60
Çizelge 4.1 Deney 1 ölçüm değerleri	71
Çizelge 4.2 Deney 2 ölçüm değerleri	74
Çizelge 4.3 Deney 3 ölçüm değerleri	76
Çizelge 4.4 Deney 4 ölçüm değerleri	81
Çizelge 4.5 Deney 5 ölçüm değerleri	84
Çizelge 4.6 Deney 6 ölçüm değerleri	86
Çizelge 4.7 Deney 7 ölçüm değerleri	90
Çizelge 4.8 Deney 8 ölçüm değerleri	92
Çizelge 4.9 Deney 9 ölçüm değerleri	94
Çizelge 4.10 Deney 6'daki uygulamanın çıkışına Azaltan-Artıran DC-DC dönüştürücü ile alınan değerler.....	97

1. GİRİŞ

Günümüzde gelişmekte olan ülkelerdeki hızlı nüfus artışı ve sanayileşme enerjeye olan talebin hızla artmasına sebep olmaktadır. Enerji üretimde önemli bir yere sahip olan bir ülkenin ekonomik ve sosyal kalkınma potansiyelini yansıtan temel faktörlerden biridir. Ülkelerin ekonomik gelişmesi ile insanlardaki refah artışı ile enerji tüketimininde arttığı gözlenmektedir. Bu yüzden dünyada ülkelerin sahip olduğu enerji ve enerji dönüştürme sistemleri, gelişmişliğin bir ölçütü olarak kabul edilmektedir.

Günlük yaşamın her alanında kullanım alanı olan enerji; kimyasal (Kömür, petrol, doğalgaz, LPG ve odun), nükleer, mekanik (potansiyel ve kinetik), termal (ısı), jeotermal, hidrolik, güneş, rüzgar, gel-git dalga, elektrik enerjisi gibi değişik şekillerde bulunabilmekte ve uygun yöntemlerle birbirine dönüştürülebilmektedir. Çeşitli yöntemlerle enerji elde edilen kaynaklar, sınıflandırılarak enerji kaynakları olarak isimlendirilmektedirler. Kullanılışlarına bakıldığında enerji kaynakları yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynakları olarak ikiye ayrılırlar. Yenilenemez enerji kaynakları, Kömür, petrol, doğalgaz, LPG, odun gibi kısa bir gelecekte tükenebileceği öngörülen enerji kaynakları olup fosil kaynaklardır. Yenilenebilir enerji kaynakları ise; biyogaz, hidrolik, rüzgâr, güneş, gel-git dalga enerjileri, termal (ısı), jeotermal gibi gelecekte uzun süre tükenmeden kalabilecek, kendisini yenileyebilen kaynakları ifade etmektedir.

Gelişen teknoloji ile sürekli artan elektrik enerjisi ihtiyacını karşılamada, dünyadaki genel elektrik üretim sistemlerinin çevresel ve ekonomik etkileri dikkate alındığında alternatif enerji kaynaklarına olan ihtiyaç ortaya çıkmakta; bu sebeple de verimli, ucuz ve temiz enerji elde etmek amacıyla çalışmalar yapılmaktadır.

Alternatif enerji kaynaklarından verimli, ucuz ve temiz enerji elde etmek amacıyla yapılan bu çalışmalarda yenilenebilir kaynaklar, jeotermal enerji, güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, biyokütle enerjisi, hidrojen enerjisi, deniz dalgalarının oluşturduğu gel-git enerjisi olarak ön plana çıkmaktadır. Güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, biyokütle enerjisi, hidrojen enerjisi, deniz dalgalarının oluşturduğu gel-git enerjisi gibi yenilenebilir kaynakların fosil kaynaklara göre çevre üzerindeki olumsuz etkileri azda olsa var olması, yılın her anında değil belirli zamanlarında kullanılabilmesi ve teknolojilerinin

tam olarak gelişmemiş olması, maliyetlerinin pahalı olması gibi nedenlerden dolayı, sürekli enerji açısından bazı kısıtlamalara sahiptirler. Bu yüzden bilim adamları jeotermal enerji gibi alternatif enerji kaynakları arayışı içindedirler. Alternatif enerji kaynaklarından olan jeotermal enerji, tükenebilen enerji kaynakları ile yarışacak düzeyde potansiyele sahip değildir. Uygun teknolojilerin kullanılması halinde kirletici etkisi olmayan, yenilenebilir, sürdürülebilir, yerli ve çevre dostu özellikleri ile öne çıkan bir enerji türüdür (Kayabaşı 2009).

Ülkemizde de, enerji ihtiyacı her geçen gün artış göstermektedir. Ancak çok çeşitli enerji kaynağına sahip olmamıza rağmen mevcut enerji kaynakları tüketimimizi karşılayamamaktadır. Bu yüzden enerji üretiminde tamamen yerli kaynaklardan faydalanamamamız enerjide dışa bağımlı olmamıza neden olmaktadır. Bu bağımlılık oranı günümüzde % 75'e ulaşmış bulunmaktadır (İnt.Kyn.1). Bu nedenlerden ülkemiz, enerji kaynaklarını en ekonomik ve maksimum yararlanmayı sağlayacak biçimde değerlendirmek ve alternatif enerji kaynaklarını kullanmak zorundadır (Atik ve Kayabaşı 2009).

Uluslararası Enerji Ajansı'na (IEA) ait 2016 Türkiye raporuna göre Türkiye, 2016'da elektrik ihtiyacının 3'te 1'ini yenilenebilir enerji kaynaklarından sağladı. Yani Türkiye'nin elektrik enerjisi üretiminin %32,3 yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlandı. Türkiye solar ısıtmada da dünya üçüncüsü. Ayrıca Türkiye, Endonezya ile birlikte, Jeotermal kurulumunda dünya lideri konumunda olduğu rapor edilmiştir (İnt.Kyn.2).

Jeotermal enerjinin günümüzde önem kazanmasıyla jeotermal kaynaklardan enerji üretimi teknolojisinde de araştırmalar yoğunlaşmıştır. Daha önceleri jeotermal enerjiden elektrik enerjisi 180 °C sıcaklık üzerinde üretilmekte iken bugün Amerika Birleşik Devletleri gibi gelişmiş ülkelerde artık 80-180 °C sıcaklık ile elektrik üretimi için paket santraller imal edilebilmektedir. Bu teknoloji ile irili ufaklı bütün jeotermal kaynaklardan yüksek güçlerde elektrik üretebilen santraller kurmak mümkün olmuştur. Günümüz teknolojisindeki bu gelişmeler termoelektrik (TE) yarıiletkenler ve bunlara bağlı teknolojilerin öneminin de artmasını sağlamıştır. Termoelektrik (TE) yarı

iletkenler genellikle soğutma için kullanılan fakat günümüzde düşük sıcaklıktaki jeotermal enerjiden elektrik üretimi için de üzerinde sıklıkla araştırma yapılan termoelektrik modüllerin (TEM) temel yapılarını oluşturmaktadır. TEM'lerin uzun ömürlü, bakım gerektirmeyen, sessiz, güvenilirliğin yanısıra, DC gerilim ile çalışmaları, yapılarının basit olması gibi birçok özelliğe sahip olmasıyla bu modüllere olan ilgi gün geçtikçe artmaktadır (Mamur 2013).

TE sistemlerinde kullanılan TEM'lerin yüzeyleri arasındaki ısı transferlerinin yüksek, güç tüketimlerinin düşük ve ekonomik olmaları istenmektedir. Buna göre her TE sistemlerin tasarımında kullanılacak TEM'ler performans verileri dikkate alınarak yapılmaktadır. TEM'lerin performansı, termoelektrik soğutucu (TEC) modunda çalıştırılan TEM için, uygulanan DC akıma bağlı olarak yüzeyler arasında elde edilebilecek maksimum sıcaklık farkı (ΔT_{max}) olarak tanımlanabilir. Termoelektrik generatör (TEG) modunda çalıştırılan TEM'lerin performansı ise, TEG'in yüzeylerine uygulanan iki yüzey arasındaki sıcaklık farkı (ΔT) ile çıkış uçlarından elde edilebilecek maksimum güç (P_{max}) olarak tanımlanabilir.

Bu tez çalışmasında, TEC'ler kullanılarak, bu TEC'ler yenilenebilir enerji kaynaklarından jeotermal enerjiyi doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren, TEG olarak çalıştırılmış, bunun için gerekli olan sistem tasarımlararak bağlantısı yapılmış, sistemin uygulaması gerçekleştirilmiştir. Şimdiye kadar bazı makale ve tezlerde buna benzer çalışmalar yapılmıştır. Fakat bu çalışmalarda; suyun debisi, basıncı ve termoelektrik modüllerin çıkışına bir azaltan-artıran DC-DC dönüştürücü bağlanarak bunların hepsini tek bir deney düzeneğinde denenmesi ve karşılaştırılması yapılmamıştır. Bu tez çalışmasında ise, laboratuvar ortamında gerekli ölçümler yapılarak verimin en yüksek olduğu TEC elektrik bağlantısı, sıcak-soğuk su debisi, basıncı ve sıcaklık farkının etkisiyle, temiz, kolay ve ucuz bir şekilde elektrik enerjisi üretiminin gerçekleştirildiği sistem tasarımı yapılmıştır. Ayrıca sistemin verimi çıkışına bağlanan azaltan-artıran DC-DC dönüştürücü ile tespit edilerek hangi jeotermal bölgelerde iyi sonuç vereceği hakkında bilgiler verilmiştir.

Laboratuvarda kurulan deney setinde termoelektrik yarıiletkenlerden oluşan TEC'ler kullanılarak enerji dönüşümüyle sıcaklık farkıyla elektrik üretilmiştir. Bu şekilde elektrik enerjisi üretimi termoelektrik modüllerdeki Seebeck olayının gerçekleştirilmesi ile elde edilmektedir. Deney setindeki sistemde, TEC'lerin yüzeyinde sıcaklık farkı oluşturmak için gerekli ısı dışarıdan bir kaynakla ısıtılan sıcak su akışıyla, soğutma ise normal şebeke suyu akışıyla gerçekleştirilmiştir. Jeotermal bölgelerdeki kaynakların kullanılabilir sıcaklıklarına akış debilerine ve basınçlarına göre elde edilen elektrik enerjisinin gücü de değişmektedir.

Elektrik enerjisi ihtiyaca göre AC veya DC formda kullanılabilir. Örneğin evlerimizdeki çamaşır makinesi, fırın, buzdolabı, ütü gibi cihazlar AC gerilim ile çalışırken; cep telefonları, hesap makinesi, led lambalar gibi cihazlar ve özellikle dijital elektronik sistemler DC gerilimle çalışmaktadır. Günümüzde DC gerilim ihtiyacı pil, akü gibi taşınabilir kaynaklardan sağlanabildiği gibi AC gerilimin güç kaynaklarıyla DC gerilime dönüştürülmesiyle de sağlanabilmektedir. Ayrıca AC gerilim ihtiyacı DC/AC dönüştürücüler ile DC gerilimden de elde edilebilmektedir. Bu nedenle TEG ile üretilen DC elektrik enerjisi kullanım alanına göre uygun olacak şekilde dönüştürülebilir. TEC'ler ile sıcaklık farkına bağlı olarak değişen DC gerilim elde edildiğinden, sisteme akü, regüle devresi ve DC/AC çevirici kullanılarak ihtiyaca göre elektrik enerjisi elde edilebilir (Dişlitaş 2002).

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

Jeotermal kaynakların taşınımı esnasındaki kayıp ısıdan faydalanarak termoelektrik modüllerin TEG olarak çalıştırılmasıyla ilgili yapılan çalışmalara bakılacak olursa;

“An Experimental Setup Design to Evaluate Power Generation Performances of TECs under Different Temperatures” isimli makalede, Akarslan ve çalışma arkadaşları, farklı sıcaklıklardaki TEC'lerin güç üretim performanslarını test etmek için deneysel bir düzenek tasarlayarak TEG olarak kullanmışlardır. Sistem, sıcaklık sensörleri, mikrodenetleyici tabanlı veri toplama sistemi, sıvı tanklar ve yüklerden oluşturulmuştur. Sıvı tanklara koyulan sıcak ve soğuk su ile TEC'lerin yüzeylerinde ısı farkı oluşturulmuş ve TEG olarak kullanılarak elektrik enerjisi üretilmiştir. Sıvı tanklarındaki sıcak suyun ısı azaldıkça TEC'lerin yüzeylerindeki ısı farkıda azalmıştır. TEC'lerin ürettiği güç ile sıvı tanklarındaki suların sıcaklıkları ve ortam sıcaklığı arasındaki ilişki incelenmiştir. Farklı sıvıların ısı transferlerinin karşılaştırılmasını önermektedir. Ayrıca sistemin, atık ısıları ve ısı farklılıklarından elektrik üreten özel bir enerji üretim sisteminin ön test ekipmanı olarak kullanılabilir olduğunu belirtmektedirler (Akarslan vd. 2014).

Benzer bir çalışmayı Kinsella ve çalışma arkadaşları, düşük elektrik akımı üreten tek bir termoelektrik generatör (TEG) ile akan sıvının ısını kullanarak elektrige dönüştürmüş ve ayrıca üretilen bu enerjiyi depolamak için, bir prototip elektrik generatörü geliştirmişlerdir. TEG ile üretilen elektrik ile şarj edilebilen 3,3 V lityum – demir fosfat aküyü şarj etmişlerdir (Kinsella *et al.* 214).

“Jeotermal enerji kullanarak termoelektrik generatör ile elektrik üretimi” isimli yüksek lisans tez çalışmasında ise, önceki çalışmalardan farklı olarak daha fazla termoelektrik modül sayısı ile çalışılmıştır. 8 adet termoelektrik modül ile generatör uygulaması yapılmıştır. Termoelektrik modülün bir yüzeyini termal su akışıyla ısıtmış, diğer yüzeylerini ise şebeke su akışıyla soğutulmuştur. Sıcaklık farkından üretilen enerji ile batarya şarj ederek LED'ler ile aydınlatma yapılmıştır. Yapılan deneylerin verileri bilgisayar kontrollü ölçümler yapılmıştır. TEM yüzeylerindeki sıcaklık farkı 10 °C

ulaştığından gerilim değeri 5 V'a çıkararak LED'ler yanmış ve bu volt değeri sıcaklık farkına göre 9 V'a kadar yükseldiğini belirtmektedir (Kayabaşı 2009).

8 adet termoelektrik modül kullanılarak TEG imalatı yapılan bir başka çalışmada ise, termoelektrik modülün bir yüzeyi sıcak su ile ısıtılmış diğer yüzeyi şebeke suyu ile soğutulurken elde edilen sıcaklık farkı ile elektrik enerjisi üretilmiştir. Üretilen elektrik enerjisi bir direnç üzerinde harcanarak gerilim, akım ve sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Sıcak su girişi 70 °C için gerilim 6 V, üretilen elektriksel güç 2,5 W olarak bulunmuştur. Su sıcaklığı ile üretilen gerilim doğrusal olarak; güç ise parabolik olarak artmaktadır. Jeotermal enerjinin sabit sıcaklığı sayesinde istenilen güçte TEG tasarımı yapmanın mümkün olduğu tespit edilmiştir. Modül sayısı artırılarak; çeşitli ebatlarda TEG tasarlanarak farklı ihtiyaçlara cevap vermesinin mümkün olduğu belirtilmektedir. Bu yöntem ile kolay ve ucuz elektrik enerjisi elde edilebileceği vurgulanmıştır (Atik ve Kayabaşı 2009).

Woo ve çalışma arkadaşlarının 32 termoelektrik modülle yaptıkları çalışmada, termoelektrik generatörler (TEG) olarak enerji üretimi ve TEG karakteristiği ile ilgilidir. TEG çalışması, su ısıtıcı, pompa, 32 termoelektrik modül, alüminyumdan oluşturulmuş ve alüminyum kap içinden sıcak ve soğuk su devir daim edilmiştir. TEG ile üretilen elektriğin 20-50 K aralığında sıcaklık farkında sıcaklık arttıkça artış olduğu tespit edilmiştir. Elektrik verimliliği T = 50 K sıcaklık farkında maksimum değere ulaşarak, %1,04 değeri aldığını belirtmektedir (Woo *et al.* 2001).

Eakburanawat yapmış olduğu çalışmasında, ısı enerjisini direkt elektrik enerjisine dönüştüren ve bataryayı şarj eden bir sistem yapmıştır. Kullanılan TE eleman TEP1 - 1264-1.5 modülü bir mikro kontrolörle takip ederek maksimum, 7,99 W güç elde etmiştir. Bu sistemi farklı sıcaklıklarda ve dirençlerde denemiştir (Eakburanawat 2006).

“Mikrodenetleyici kontrollü jeotermal termoelektrik generatör tasarımı ve uygulaması ” isimli yüksek lisans tez çalışmasında ise, 12 adet termoelektrik modül jeotermal enerjisi doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren, mikrodenetleyici kontrollü TEG tasarımı yapılmıştır. Kurulan sistemdeki enerji dönüşümünü termoelektrik modüller kullanarak, bir

yüzeylerini termal su akışıyla ısıtmış, diğer yüzeylerini ise soğuk su akışıyla soğutmuştur. Sıcaklık farkıyla üretilen DC çıkış gerilimini 5 V DC, 12 V DC ve 220 V AC değerlerine alabilecek şekilde sistemde akü, regüle devresi ve DC/AC çevirici kullanılmıştır. Tasarımda PIC16F877 mikrodenetleyicisi kullanılarak sistemin kontrol sinyalleri düzenlenmiştir. TEG'in yapılmasında 12 adet CPI.4-127-06L model termoelektrik modül kullanılmıştır. TEG'e 30 Ω 'luk yük bağlayarak 20 °C'de 1,96 W, 30 °C'de 3,28 W ve 40 °C'de 6,15 W olarak maksimum güç elde etmiştir. TEG'in verimini yaklaşık %2,5 olarak tespit edilmiştir (Dişlitaş 2002).

Petrol türevi yakıt kullanan motorlu araçların egzozlarındaki atık ısıyla ilgili yapılan çalışmalara bakıldığında;

Şafak projesinde otomobil egzoz sistemine uygulanacak bir termoelektrik üreteç ile ortaya çıkan kayıp ısının elektrik enerjisi olarak geri kazanımının deneysel olarak gösterilmesini amaçlamıştır. Deney sonucunda, termoelektrik modüllerle otomobil egzoz gazlarından elektrik üretimi yapılabileceği görülmüştür. Otomobil termoelektrik üreteçleri, araçta akünün yerini alacak kadar elektrik enerjisini egzozdaki kayıp ısıdan geri kazanabilmiştir. Akünün yerini termoelektrik üretecin alması ile motorlu taşıtlarda verimliliğin %10 oranında artacağı, termoelektrik üretecin sağlayacağı elektrik ile otomobilin bazı işlevlerinin tümüyle bu yolla çalışacak hale getirilebileceği veya motora fazladan bir güç vermek için de kullanılabileceği belirtilmiştir (Şafak 2014).

Diğer çalışmalardan farklı olarak 3 çeşit termoelektrik modül kullanarak karşılaştırma yapılan, "Egzoz Gazındaki Isı İle Çalıştırılan Termoelektrik Sistemin Deneysel İncelenmesi" isimli yüksek lisans tez çalışmasında, araçlarda bulunan akülerin şarj işlemi için, belirli zamanlarda bakım gerektiren ve arızalanan alternatörler yerine araç egzoz'unda oluşan atık ısı ile bakım gerektirmeyen daha uzun ömürlü bir termoelektrik sistem incelenerek deneysel sonuçları sunulmuştur. Termoelektrik sistemde egzozda meydana gelen sıcaklık ile ortam sıcaklığının farkından peltier element yardımıyla elektrik enerjisi elde edilmiştir. Çalışmada; TEG1-12611-6.0, TMG-450-08-1.0 ve TEP1-164-1.5 termoelektrik modülleri kullanılmıştır. 1994 model 2000 CC 72 hp Ford Taunus bir motorun egzoz çıkışını kullanarak gerçek ısı değerlerinin ölçümü yapılmış.

Yapılan deneyler sonucunda bir TEP1-1264-1.5 modülünün 200 °C sıcaklık farkında en fazla 3 V gerilim, 0,637 A akım ve 1,91 W güç elde edilebilirken, bir TMG-450-0.8-1.0 modülünün 200 °C sıcaklık farkında en fazla 8,97 V gerilim, 0,417 A akım ve 3,742 W güç ürettiği gözlemlenmiştir. Ayrıca TEG1-12611-6.0 modülünün 180 °C sıcaklık farkında en fazla 1,7 V gerilim, 0,776 A akım ve 1,319 W güç ürettiği, on adet TEP1-1264-1.5 modülün seri bağlı beş modül grubun iki kol paralel bağlantısı ile ortalama 100 °C sıcaklık farkına ulaşarak ve en fazla 5,6 V gerilim, 0,56 A akım ve 3,136 W güç ürettiği gözlemlenmiştir. Araçtaki 12 V, 60 A akünün şarjı için maliyet analizi yaparak, asıl daha az modülle aracın gösterge lambaları, plaka, tepe, park ve iç lambaların enerjisinin sağlanabileceği sonucuna varmıştır (Kaya 2010).

Kushch ve çalışma arkadaşları ise, makalelerinde 550 hp gücündeki dizel kamyon motoru egzozuna 9 adet seri bağladığı TEG'den 8 adet seri grup oluşturmuş ve bunları birbirine paralel monte etmiştir. Böylece 72 adet HZ-14 Termoelektrik modülün çıkış gücünün, motorun dönüş hızına (rpm) değil daha çok motorun yüküne (hp) bağlı olduğunu tespit etmiştir (Kushch *et al.* 2001).

Egzoz atık ısısının termoelektrik modüllerle elektrik enerjisine dönüştürüp geri kazanılan bu enerjiyi kullanma yöntemi olarak farklı bir çalışma yapılan, "Lpg İle Çalışan Buji Ateşlemeli Bir Motorda, Egzoz Ve Soğutma Sisteminde Kaybedilen Isının Tej Modülü İle Kullanılabilir Enerjiye Dönüştürülmesi" isimli yüksek lisans tez çalışmasında, LPG dönüşümlü buji ateşlemeli motorda TEG yardımıyla geri kazanılan egzoz ve soğutma suyu kayıp ısı enerjisinin elektroliz ünitesinde H₂ gazına dönüştürülerek ilave yakıt olarak kullanılmasının motor performansı, yakıt tüketimi ve egzoz emisyonlarına etkisinin deneysel olarak araştırılmıştır. Ters akışlı eşanjör ile, egzoz gazı-MSS eşanjör yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkını kullanan birbirine seri bağlı 40 adet termoelektrik modül ve MSS eşanjör yüzeyleri ile LPG gazı eşanjör yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkını kullanan birbirine seri bağlı 24 adet termoelektrik modülden yüksüz halde motor devri ile değişen (1500-4000 d/d) toplam 58-240 V arasında DC voltaj elde edilmiştir. Yük altında çalışan termoelektrik modüller ile motor devri değişimine göre 5,09-63,18 W aralığında değişen DC elektrik gücü elde edilmiş (Akçay 2015).

Güneş enerjisinin ısısından yararlanılarak yapılan çalışmalara bakacak olursak;

Gür ve Atik güneş enerjisinin ışınımalarını yüksek ısı elde etmek için aynalar yardımıyla ışınım şiddetini bir noktada yoğunlaştırmıştır. Bu yoğunlaştırılmış ısıyla 4 adet TEC1-12706T125 termoelektrik modülün seri olarak bağlayarak bir yüzeyini ısıtmakta, diğer yüzeyini ise normal bir su akışı ile soğutmaktadır. Bu şekilde yaklaşık 1 W güç elde edilmiştir (Gür ve Atik 2009).

Önceki çalışmaya benze bir çalışmada, “Dinamik Yapılı Parabolik Yansıtıcı Kullanılarak Termoelektrik Dönüştürücüler ile Sağlanan Elektrik Enerjisinde Optimum Düzeyin Elde Edilmesi” isimli yüksek lisans tez çalışmasında görülmektedir. Termoelektrik dönüştürücü kullanılarak, güneş pillerine bir alternatif olarak, güneş ışınlarının ısıtma etkisinden faydalanmak suretiyle güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde etmiştir. Gelen güneş ışınlarını, silindirik-parabolik bir yansıtıcı yardımıyla ısı enerjisine dönüştürülürken, soğutma işleminde ise akışkan olarak su ve hava kullanılmış. Deney sonuçlarına göre paralel ve seri bağlanmış 56 adet termoelektrik modül kullanılan su soğutmalı düzeneğe göre hava soğutmalı düzenekte 14 adet termoelektrik modül kullanılmasına rağmen daha verimli olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca seri paralel bağlanan termoelektrik modüllerde bazı modüllerin yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkının daha az bazılarının daha fazla olduğunu belirterek bunun sıcaklık farkının az olan modüllerin sıcaklık farkının fazla olup fazla gerilim üreten modüllerden beslenerek peltier etkisine maruz kalarak soğutma olarak çalıştığını düşünmektedir (Tugay 2010).

Bir diğer çalışmada Maneewan ve çalışma arkadaşları, binanın çatısına yerleştirdikleri termoelektrik modüllerin bir yüzeyini güneş ışınımının oluşturduğu ısıyla sıcaklığı artırmış, diğer yüzeyini ise fan vasıtasıyla sıcaklığı azaltmaya çalışmış ve bir bilgisayar programı ile simule etmişlerdir. Sistemin tasarımı ve maliyetinden analizi yapmışlar, sistemin kendisini yaklaşık 4,36 yılda amorti edeceği sonucuna varmışlardır (Maneewan *et al.* 2005).

Güneş enerjisinden faydalanarak elektrik üretimi yapan TEG ve PV sistem karşılaştırılması ise Ahıska ve çalışma arkadaşları tarafından yapılmıştır. TEG'ler ve PV sistemlerin enerji üretimindeki karakteristik davranışları incelemiştir. Kurulan TEG sisteminde birim alan başına elde edilen elektrik enerjisi miktarı 840 W/m^2 iken, PV sistemde $91,3 \text{ W/m}^2$ olmuştur. TEG sisteminde birim alan başına düşen elektrik enerjisi miktarının, PV sistemden 9,2 kat daha fazla olduğu görülmüştür (Ahıska vd. 2012).

Termoelektrik modüller, yüzeylerindeki sıcaklık farkıyla değişken elektrik enerjisi ürettikleri için sabit enerji isteyen sistemlerde kullanılmaları zordur. Bu yüzden termoelektrik modüllerin kullanımlarında enerji sabitlemek için DC-DC dönüştürücülere ihtiyaç duyulmaktadır. DC-DC dönüştürücüler ile yapılan çalışmalara bakacak olursak;

Ahıska ve çalışma arkadaşları TEG'lerden elde edilen gerilimin, yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkıyla doğru orantılı olarak değiştiği için çıkışına sabit gerilim isteyen yükleri bağlamanın mümkün olmadığını belirtmiştir. Bu tür yükleri bağlayabilmek için DC-DC dönüştürücülere ihtiyaç duyulduğu belirtilmiştir. Yaklaşık $100 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklık farkında 12 W alınabilen TEG için bir Artıran DC-DC dönüştürücü uygulaması gerçekleştirilmiştir. Yeni teknoloji ürünleri olan mosfetlerin kullanılmasıyla dönüştürücü verimini %75'e kadar yükseltebilmiştir. Dönüştürücü TEG'den darbeli akım çekmiş ve TEG performansı buna cevap verebildiğini ifade etmektedir (Mamur ve Ahıska 2015).

Benzer bir çalışmayla yükseltici-düşürücü DC_DC dönüştürücü kullanan Kim ve Lai ise, geniş bir değişkenlik gösteren çıkış gerilimine sahip olan TEG'ler için, gerilim artışı ve gerilim düşüşü fonksiyonlarını sağlayan bir DC-DC dönüştürücü olması gerekliliğini tespit ederek, ABD enerji bakanlığı verilerine göre 0-25 V arası değişen TEG çıkış gerilimlerini karşılamak için, giriş gerilimi 0-25 V arası değişen bir Azaltan-Artıran DC-DC dönüştürücü ile araç akü şarjı için gerekli olan 12,3 ile 16,5 V arası çıkış gerilimi üreterek araç aküsünü şarj etmek istemiştir. Pürüzsüz bir çalışma modu değişimi sağlamak için, modifiye edilmiş bir maksimum güç noktası izleme kontrolörü (MPPT) kullanılmıştır. Akünün aşırı şarj olmasını önlemek amacıyla (PM) modu

oluşturulmuştur. İki kontrolör görev döngüsü arasındaki karmaşık ilişkiyi önlemek için, yeni bir toplanır modelleme yaklaşımı önerilmiştir (Kim and Lai 2008).

Bir başka çalışmada, dijital kontrol ünitesi olmadan TEG'ler için maksimum güç noktası izleme devresi yöntemi önerilmiştir. Sıcaklık ve yük akımının ani hızlı değişimi ile simülasyon sonuçları, önerilen maksimum güç noktası izleme devresi yönteminin, yüksek güç aktarım verimliliğini ve istikrarlı çalışma sağladığını göstermiştir. Önerilen MPPT devresi geleneksel MPPT algoritmalarından daha az maliyetli ve küçük olması ile avantaja sahiptir. Bu yöntemle atık sıcak havayı TEG ve Azaltan-Artıran DC-DC dönüştürücü kullanarak akü şarj etme uygulaması yapılmıştır (Sungkyu *et al.* 2010).

Yaptıkları çalışmada DC-DC Cuk dönüştürücü kullanan Cernaianu ve çalışma arkadaşları ise, seri bağlanmış termoelektrik generatörlerle (TEG) pilleri şarj etmek için geliştirilmiş özel bir DC-DC Cuk dönüştürücü sunmaktadır. Bu çalışma TEG'in verimliliğini artırmak için, önerilen Cuk dönüştürücü bir akım sensörüne olan ihtiyacı ortadan kaldırarak, TEG'lerle sadece çıkış gerilimini ölçmesiyle dolaylı bir akım kontrol döngüsü kullanıldığını söylemektedir (Cernaianu *et al.* 2012).

Termoelektrik modüllerin TEG olarak kullanılmasında bilgisayarla simülasyon benzetimi yapılan çalışmalara bakacak olursak;

Mamur ve çalışma arkadaşları TEM'in TEG olarak kullanılması için matematiksel modelin Matlab/Simulink'le benzetimini yapmış ve bu modelin doğruluğunu iki sıcaklık aralığında yapılan deneylerle ispatlamışlardır. Yüksek güçlü bir TEG (yaklaşık 1 kW) yapımının temelini oluşturan bu benzetim modeli, giriş değerleri sıcaklık farkına bağlı olan bir DC-DC dönüştürücü ve evirici çalışmasında rahatlıkla kullanılabilir. TEJ sıcaklıklarının, soğutucu su sıcaklığı, ortam sıcaklığı, modülün sıcak ve soğuk yüzey sıcaklık farkı, akım, gerilim ve güç değerlerinin sürekli olarak izlenmesi ve kayıt altına alınması için geliştirilen ve daha sonra üretilecek olan generatörün kayıtlarını da alacak olan bir SCADA programı geliştirilmiş ve kullanılmıştır. Deney ve teorik analizin sonuçları, özellikle endüstriyel ve jeotermal alanlarda, düşük sıcaklıklar için

atık ısı geri kazanımında, TEG'in umut verici potansiyele sahip olduğunu göstermiştir (Ahıska vd. 2011).

Mamur, "Termoelektrik Jeneratörün Elektriksel, Termoelektriksel ve Isıl Parametrelerinin İncellenmesi İçin Bilgisayarlı Bir Veri Edinim Ve Test Sisteminin Gerçekleştirilmesi" isimli doktora tez çalışmasında, termoelektrik generatörün (TEG) elektriksel, termoelektriksel ve ısıl parametrelerinin incelenmesi için programlanabilir mantık denetleyiciyle (PLC) haberleşebilen yeni bir bilgisayarlı veri edinim ve test sistemi (TEG-PAS) gerçekleştirilmiştir. Matlab/Simulink benzetim programıyla termoelektrik modülün (TEM) TEG olarak kullanılması için, matematiksel modelinin benzetimi yapılmış sonuçlarının ışığı altında, TEG-PAS'ın üzerinde deneneceği ticari yeni bir portatif TEG sistemi kurmuştur (Mamur 2013).

TEM'ler kullanılarak çeşitli atık ısıdan elektrik enerjisi üretimiyle ilgili yapılan çalışmalardan genel olarak bahsedecek olursak;

Lertsatitthanakorn yaptığı çalışmada, evlerde kullanılan sobanın duvar tarafında meydana gelen yüksek sıcaklığı TE modüllerin sıcak yüzeyine, bir yüzü dışarıya bakan duvarın oluşturacağı düşük sıcaklığıda TE modüllerin diğer yüzeyine temas ettirerek, elde edilen sıcaklık farkıyla TE modülden elektrik enerjisi elde etme üzerinde çalışmışlardır. Küçük gerilimler ile çalışan pil vs. gibi cihazlarda kullanılabilceğini belirterek analizini yapmıştır. TEP1-1264-3.4 kodlu TE modül kullanarak farklı yüklerin oluşturduğu dirençler arasında en fazla 150 °C sıcaklık farkında gücü 2,4 W güç ve %3,2 verim elde ederek sistemin maliyet analizini yapmıştır (Lertsatitthanakorn 2007).

Yine soba borusundan çıkan atık gaz ve ısısından faydalanmayı öneren, "Atık Baca Gazı Kullanımı İle Termoelektrik Jeneratörlerde Elektrik Üretiminin Faydalı Kullanımını Deneysel İncelenmesi" isimli yüksek lisans tez çalışmasında ise, generatörün sıcak tutulması gereken yüzeyi soba borusunda üretilen atık gaz tarafından ısıtılarak ve soğuk tutulması gereken yüzeyi üzerinden su geçirilip soğutularak sıcaklık farkı ile elektrik üretimi sağlanmış. Soğutucu olarak kullanılan suyun akış hızı değiştirilerek üretilen elektriksel değerlerin kontrol altına alınıp alınamayacağı

hazırlanan deney prototipi üzerindeki pratik uygulamalar vasıtası ile test edilerek gerilim değerlerinin 5,11 V ile 8,69 V arasında değiştiğini tespit etmiştir. Debi 0,083 lt/s olduğu anda 8,69 V ve 1,45 A'lık maksimum performans elde edilmiş. Deney sonucunda su debisindeki değişimin, elektriksel değerlere doğru orantılı olarak etki ettiğini belirtmektedir (Baş 2014).

PEM yakıt pilinin oluşturduğu atık ısıyla ilgili yapılan "Termoelektrik Jeneratörlerde Atık Isı Kullanımına Bir Uygulama: Pem Yakıt Pili Atık Isının Değerlendirilmesi" isimli yüksek lisans tez çalışmasında, yakıt pilinin çıkışındaki atık ısı, TEG tarafından elektrik enerjisine dönüştürülmüştür. Sistemde tek bir TEC-1 12706T125 modülü kullanılmış. Gerçek yakıt pili yerine bir simülatör kullanılmış ve oda sıcaklığında baz alınarak deneyler yapılmış. TEC'in çalışma gerilimi 0,92 V ölçülmüş ve çıkış gücü 0,35 W olarak elektrik verimi %1,22 olarak hesaplanmış. Yapılan çalışmalarda %0,64'lük bir verim artışı sağlandığını belirtmektedir (Çalışır 2014).

Bir öncekine benzer bir çalışmayı Fettah katı oksit yakıt pilleriyle yapmıştır. Bu çalışmada, katı oksit yakıt pilinin çalışması esnasında ortaya çıkan atık ısıdan yararlanılarak, sistemin çalışabilirliğinin gösterilmesini ve ileriki çalışmalara örnek oluşturmayı hedeflemiştir. Gerçekleştirilen deneyler ve analizler sonucunda, TE modül tarafından üretilen gerilim farkının, TE modüllerin yüzeyleri arasında oluşan sıcaklık farkıyla doğrudan ilişkili olduğu görülmüştür. Sistemde kullanılan, su soğutmalı ve hava soğutmalı yöntemler birbirine göre kıyaslandığında buzlu su soğutmalı sistemden elde edilen gerilim farkının değeri diğerlerine göre yüksek olmasına rağmen akım ve gerilim farkının çarpımıyla hesaplanan güç değeri en yüksek olan sistemin hava soğutmalı yalıtımlı sistem olduğu görülmüştür. Seebeck etkisiyle debi ilişkisi irdelendiğinde ise, debi arttığında, türbülanslı akış ile birlikte havanın ısı taşınım katsayısı da artmaktadır. Artan ısı taşınım katsayısı nedeniyle, yüzeyin soğutulması daha fazla gerçekleşmekte, yüzeyden ısının çekilmesi kolaylaşmaktadır. Ayrıca, sıcak ve soğuk akışkanın sisteme girişinde ve sistemden çıkışında birbirine paralel yönlü akışı neticesinde oluşan sıcaklık farkı, temasta olan TE modüllerin sıcak yüzey ve soğuk yüzeyleri arasında daha fazla sıcaklık farkına neden olduğundan Seebeck etkisiyle elde edilen gerilim farkının da arttığı görülmüştür (Fettah 2010).

TEM'ler ile yapılan diğerk çeşitli çalışmalarda ise;

Katı, sıvı ve gaz yakıtlarının ısılarından faydalanılarak ve karşılaştırılması yapılan “Termoelektrik Tabanlı Portatif Bir Jeneratörün Geliştirilmesi” isimli yüksek lisans tez çalışmasında, katı, sıvı ve gaz yakıtla çalışabilecek portatif bir TEG geliştirmiş ve bu sistemle elektrik enerjisi elde etmiştir. Bütan gazı ile çalışan TEG tasarlayarak 12 adet termoelektrik modülü seri olarak bağlamıştır. Yaptığı deneylerde termoelektrik modülleri yüklü ve yüksüzken ki aynı sıcaklık farklarında ürettiği akım ve gerilim değerlerini tespit etmiştir. En fazla yüzeyler arasında 84 °C’ farkta termoelektrik modüller yüklüken 9,85 V yüksüzken 11 V ürettiğini yüklü modül 9 V seviyelerine ulaştığında ise 90 tane LED lambadan oluşan armatür enerjilendirilerek aydınlatma sağlanmış ve lüksmetreyle yaptığı ölçümlerde ise 85 lükslük bir aydınlatma şiddeti ölçmüştür (Çevik 2011).

“Termoelektrik Soğutucuların Çalışma Kriterlerine Etki Eden Faktörlerin ve Endüstrideki Kullanım Alanlarının Tespiti” isimli yüksek lisans tez çalışmasında ise, termoelektrik sistemi, termodinamik açıdan incelemiş ve termoelektrik soğutucuların endüstrideki kullanım alanları belirlenmiştir. Ayrıca iki tip termoelektrik soğutucu ile soğutucuların performans değerlerinin tespiti için deney yapılmıştır. Deneyde hava-hava soğutmalı sistemde 24 V, 57 W gücünde modül ve sıvı hava soğutmalı sistemde ise 24 V, 67 W’lık modüller kullanılmıştır. Soğutucuları kullanmak üzere 50 lt’lik yalıtımlı bir dolap yapılmıştır. Soğutulan hacim 20 mm kalınlığında strafor ve 3 mm kalınlığında PVC ile kaplanmıştır. Deneyler sonucunda hava-hava soğutmalı sistemin COP değeri en iyi soğutma olduğu anda hesaplanmış ve COP değeri 0,37 bulunmuştur. Sıvı hava soğutmalı sistemde ise 67 W’lık modül kullanılmış ve COP değeri 0,40 olarak hesaplanmıştır (Dikmen 2002).

Temizer ve çalışma arkadaşları, TEG’lerin teknik özelliklerini inceleyerek ısıtma, soğutma sistemleri ile beraber elektrik üretim yöntemlerini belirtmektedirler. Termoelektrik enerji, pil ve akülerin şarj edilmesinde, aydınlatma elemanlarının çalıştırılmasında, oto buzdolaplarında, bilgisayar işlemcilerinin soğutulması gibi alanlarda kullanılmaktadır. TEG’lerin yüzeyler arası ısı geçişinin azaltılması, sıcak

yüzeyin ısı kaybının düşürülmesi, soğuk yüzeyin daha iyi soğutulması gibi yapılacak bazı iyileştirmelerle daha yüksek oranlarda güç sağlayacağı yapılan çalışmalarla gösterilmiştir. Daha geniş bakış açısıyla, otomobillerin içinin termoelektrik soğutulmasında kullanımı mümkün olabileceği ve sürücü ve yolculara yakın bölgelere uygulanacak olan soğutma ile termoelektrik serinletme sistemleri geliştirilebilirliği önerilmektedir (Temizer *vd.* 2012).

İncelenen çalışmalar, termoelektrik modüller ile katı, sıvı, gaz yakıtların atık veya kayıp ısılarından ve güneş enerjisinden faydalanarak elektrik enerjisi üretilebildiğini göstermektedir. TEM'lerin yüzeylerindeki ısı farkıyla ürettiği enerji değişkenlik göstermektedir. Yine bu çalışmalarda sabit enerji gerekli yükler için dönüştürücü ve üretilen enerjiyi depolamak için akü kullanılmıştır. Bu tezde de daha önceki çalışmalarda yapıldığı gibi sıcak, soğuk akışkan sıvı ile iki farklı TEM'den elektrik üretimi gerçekleştirilmiş ve TEM'lerin çıkışlarına incelenen çalışmalarda olduğu gibi bir dönüştürücü bağlanarak sabit gerilim ve verim ölçülmüştür. Ayrıca bu tezdeki çalışmada TEM'lerin elektriksel bağlantı çeşitleri denenmiş ve en yüksek akım gerilim ürettiği bağlantı türü tespit edilmiştir. Deneylerde ısı iletkenliği yüksek olan bakır malzeme ile sıcak-soğuk suyun debi ve basıncının TEJ olarak çalışan TEM'lerin üzerindeki etkisi de incelenmiş ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Böylece bu tezle tek bir uygulama içinde bu kadar çok değişkenin iki farklı TEM'ün ürettiği elektrik enerjisi üzerindeki etkisi karşılaştırılmıştır.

3. MATERYAL ve METOD

3.1 Materyal

Bu çalışmada; yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan jeotermal enerjinin ısısından yararlanarak doğrudan elektrik enerjisi üretmek için portatif bir generatör tasarlanmıştır.

3.1.1 Jeotermal Enerji

Dünya nüfusunun ve sanayileşmenin artışı, teknolojinin gelişmesi enerjiye olan ihtiyacı sürekli artırmaktadır. Uzun süredir başlıca enerji kaynağı olarak kullanılan fosil yakıtların (petrol, kömür, doğal gaz, LPG) tükenmeye başlaması, dünyanın atmosferine zehirli ve zararlı CO, CO₂, SO₂, NO gibi gazların atılması ve bu kaynakların her ülkenin topraklarından çıkartılamaması yani dışa bağımlılığa neden olması ülkeleri yeni enerji kaynakları arayışına yönlendirmektedir. Bu yüzden güneş, rüzgar, deniz dalgalarındaki gel-git, jeotermal enerji gibi yeni enerji kaynakları önemli alternatif enerji kaynaklarını oluşturmakta ve üzerinde araştırmalar yapılmaktadır.

Günümüzde fosil yakıtlar % 80 oranında, yenilenebilir enerji kaynakları % 14, nükleer enerji ise % 6 oranında kullanılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı az olmasına rağmen hiç şüphesiz gelecekte bu enerji kaynaklarına olan talep artacaktır. Jeotermal enerji ise bu yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde % 4'lük bir paya sahiptir (Kerankıran 2012).

Son zamanlarda en çok tartışılan konuların başında ülkelerdeki enerji sıkıntıları ve doğal çevreye daha çok zarar vermeden nasıl enerji üretebileceğimize gelmektedir. Ülkeler yaşadıkları enerji sıkıntıları giderme konusunda çevreye olan zararının az olmasından dolayı yenilenebilir enerjilere yönelmekte aynı zamanda da enerji üretiminde sürekliliğini sağlamak açısından güneş enerjisi ve rüzgar enerjisi gibi zamana bağlı olarak enerji üretimi değişen kaynaklardan ziyade jeotermal gibi zamandan bağımsız sürekli enerji sağlayabilen, ucuz ve çevre dostu enerji kaynaklarını tercih etmektedirler.

Yerkabuğundan dünyanın merkezine inildikçe dünyanın yaratıldığı andan bu zamana soğumasının tamamlanmamış magma kütlesi veya henüz sönmemiş volkanın lavlarının yer kabuğunun altındaki hareketi, yüzeydeki kırık ve çatlakların vasıtasıyla süzülen yeryüzündeki suları ısıtırlar. Isınan bu su topraktan aldığı minerallerle zenginleşerek tekrar boşluk buldukları kayalıkların çatlaklarından veya yumuşak geçirimli toprakların sayesinde yeryüzüne ulaşır böylece termal kaynakları oluştururlar. Ayrıca bazı kayaların yüzeyi altından geçen volkanizma vs. den dolayı olması gerekenden daha sıcak olduğu için akışkan olmamalarına rağmen jeotermal enerji kaynağı olarak kabul edilirler (Kerankıran 2012).

Kendini yenileyebilmesi, ucuz ve çevreye zararı oldukça az olan jeotermal enerji elektrik üretimi, konutların ısınması, sağlık, tarım (seralarda), sanayi, turizm gibi bir çok alanda kullanılmaktadır. Hatta aynı jeotermal suyu birkaç farklı amaçta kullanarak ısısından daha fazla yararlanmış, verimini artırmış ve maliyeti azaltılabilir. Örnek olarak ısınmada kullanılan termal suyun taşındığı boruların etrafını termoelektrik modüllerle sararak hem ısınmayı hem elektrik üretimini aynı su dan sağlayabiliriz.

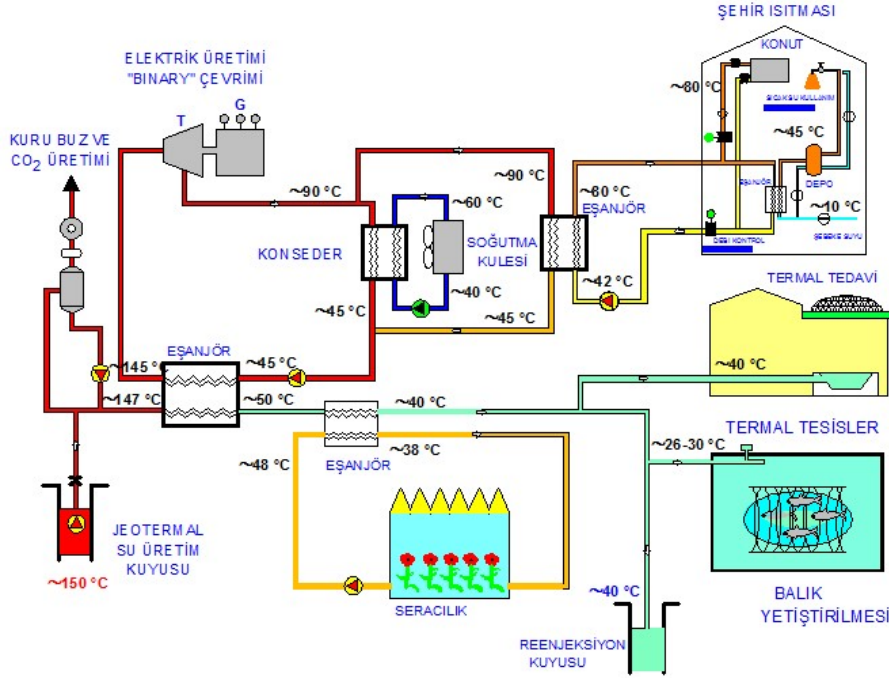
Dünyadaki jeotermal enerji kaynakları, 160 °C'nin altında sıcaklığı olanlara düşük sıcaklıklı, 160 ile 190 °C arasında sıcaklığı olanlara orta sıcaklıklı, 190 °C' den daha yüksek sıcaklığa sahip olanlara yüksek sıcaklıklı jeotermal enerji kaynağı denmektedir (Dişlitaş 2002). Günümüzde daha çok düşük ve orta sıcaklıklı jeotermal enerji kaynakları ısıtma, sera, turizm ve sanayi alanında kullanılırken, yüksek sıcaklıklı jeotermal enerjiler elektrik üretiminde kullanılmaktadırlar. Bu tez'de düşük ve orta sıcaklıklı jeotermal enerji kaynaklarından da elektrik enerjisi üretme konusuna değinilecektir.

3.1.1.1 Jeotermal Enerjiden Elektrik Üretimi

Günümüzde Jeotermal kaynaktan elektrik enerjisi üretimi kaynağın karakteristiğine bağlı olarak üç şekilde yapılmaktadır (Dişlitaş 2002).

- 1- Kuru buhar santraller; üretilen kuru buhar türbini döndürmek için kullanılır.

- 2- Flaş buhar santralleri; yer altından gelen akışkan basıncı düşürülerek su ve buhar olarak ayrılmakta ve buhar ile türbin döndürülmektedir.
- 3- Binary cycle; jeotermal suyun sıcaklığından faydalanarak sudan daha düşük buharlaşma sıcaklığına sahip sıvı eşanjör ile buharlaştırılarak türbinin dönmesi sağlanır.



Şekil 3.1 Entegre jeotermal enerji kaynağı değerlendirme şeması (Kayabaşı 2009).

Yer kabuğunun altındaki hareketlerle, yüzeydeki kırık ve çatlaklardan çıkan sıcak suların oluşturduğu jeotermal kaynaklar iki sıcaklık grubu oluşturarak, (25-180) ve (180-380) °C'lerde bulunurlar. Elektrik üretimi ise ikinci grupta olduğu gibi yüksek sıcaklıklarda üretilmekte olup, kabul edilen ideal sıcaklıklar (250-380) °C'dir. Birinci grubu oluşturan (25-180) °C sıcaklık arasındaki düşük entalpili jeotermal kaynaklar ise, elektrik dışı (konut, sera, kaplıca v.b.) alanlarda istifade edilmektedir. Ancak günümüzde gelişen teknoloji ile düşük entalpili sıcaklıklarda da elektrik üretilmektedir. Artık 80 °C gibi düşük sıcaklıklı jeotermal kaynaklarında bile elektrik üretilmektedir. Örneğin bugün Amerika Birleşik Devletlerin'de 80-180 °C sıcaklık ile 1-10 Bar arasındaki basınç buharı ile 300 KW ile 1200 KW arasında değişen, elektrik üretimi için paket santraller imal edilmiştir. Bahsedilen santraller, birçok santrallere göre daha pratik, ekonomik, daha üstün teknik şartlara sahip ve taşınması da oldukça basittir. Bu

teknoloji ile irili ufaklı bütün jeotermal kaynaklardan yüksek güçlerde elektrik üretebilen santraller kurmak mümkün olmuştur. Öyle ki günümüzde 1,76 MW gücünde çalışabilen jeotermal elektrik santrali üretilebilir hale gelmiştir (Dişlitaş 2002).

Ülkemizdeki kaynaklar genellikle birinci grup olarak adlandırdığımız düşük ve orta sıcaklıktaki (25-180) °C kaynaklardan oluşmaktadır. Bundan dolayı önceleri jeotermal enerjiyi bir yenilenebilir enerji kaynağı olarak elektrik üretiminde kullanamamaktaydık. Ancak yukarıda da bahsettiğimiz gibi günümüzde artık 80 °C'deki kaynaklardan da elektrik elde edilebilmektedir. Ülkemizdeki düşük ve orta sıcaklıktaki kaynaklar, yüksek sıcaklıktaki kaynaklarımızdan yaklaşık 20 kat daha fazladır. O halde bu kadar avantajı ve ülkemizde de çok olan jeotermal enerji kaynaklarından düşük sıcaklıklarda elektrik üretimi için yeterli teknolojik donanımla yararlanılmaya çalışmak, izlenilecek en mantıklı yol gibi görünüyor (Dişlitaş 2002).

3.1.2 Türkiye'de Jeotermal Enerji Kullanımı

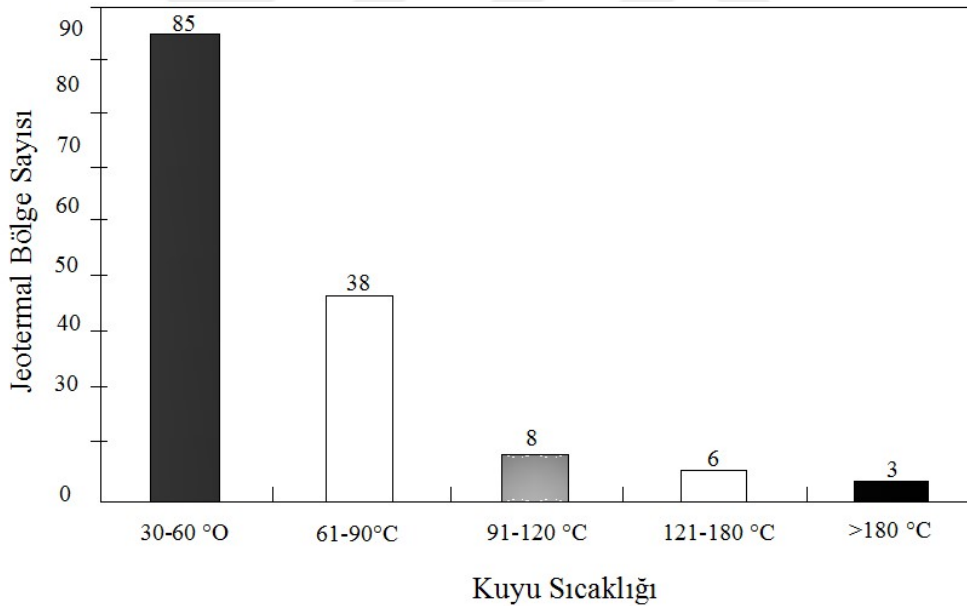
Türkiye bulunduğu konumdan dolayı oldukça yüksek (31.500 MW) jeotermal potansiyele sahiptir ve bu yüksek potansiyeli ile dünyada 12. sırada yer almaktadır.

Çizelge 3.1 Dünyada 2011 Yılı Jeotermal Enerji Kurulu Gücü (İnt.Kyn.3).

Yenilenebilir Enerji Kapasitelerinde Dünya Jeotermal Enerji Kapasiteleri (MW-Megawatt)							
Ülke	Miktar (Megawatt)	Dünya Genelinde Payı (%)	Sıralama	Ülke	Miktar (Megawatt)	Dünya Genelinde Payı (%)	Sıralama
ABD	3112	28,4	1	Nikaragua	88	0,8	12
Filipinler	1967	18	2	Rusya	82	0,8	13
Endonezya	1189	10,9	3	Papua Yeni Gine	56	0,5	15
Meksika	887	8,8	4	Guatemala	52	0,5	16
İtalya	863	7,9	5	Portekiz	29	0,3	17
Yeni Zelanda	769	7,1	6	Çin	24	0,2	18
İzlanda	665	5,3	7	Almanya	8	0,1	21
Japonya	502	4,6	8	Etiyopya	7,3	0,1	20
Kosta Rika	208	1,5	11	Almanya	6,6	0,1	21
El Salvador	204	1,9	9	Avusturya	1,4	0	22
Kenya	170	1,5	10	Avustralya	1,1	0	23
Türkiye	114	0,7	14	Tayland	0,3	0	24
TOPLAM Dünya					11005,7		

Türkiye tektonik yani yer kabuğunun yer değiştirme olayları fazla olan bir ülke olduğu için bu yer kabuğu hareketleriyle oluşan fay hatları jeotermal enerjinin yeryüzüne çıkışına neden olmaktadır. Ülkemizde çıkan bu sıcak sular % 94'ü düşük ve orta sıcaklıklı jeotermallerdir. Anadolu'nun batısında düşük ve orta sıcaklıklı jeotermallerin yanı sıra yüksek sıcaklıklı jeotermaller de vardır ve bunlardan elektrik üretimi yapılmaktadır. Türkiyedeki tüm jeotermal enerjinin % 76'sı buradadır. Fakat bu yüksek sıcaklıklı jeotermaller Türkiyenin tüm potansiyelinin % 6 sının oluşturmaktadırlar (İnt.Kyn.3).

Bugüne kadar bulunan jeotermal bölgelerin % 95'i ısıtmaya uygun sıcaklıkta olmasının yanında 30 °C'nin üzerindeki toplam 140 jeotermal bölge çoğunlukla Batı, Kuzey-Batı ve Orta Anadolu'da toplanmıştır. Bu alanların kuyu sıcaklıklarına göre dağılımı Şekil 3.2'de gösterilmiştir (Dişlitaş 2002).



Şekil 3.2 Jeotermal sahalara ilişkin kuyu sıcaklıkları (Dişlitaş 2002).

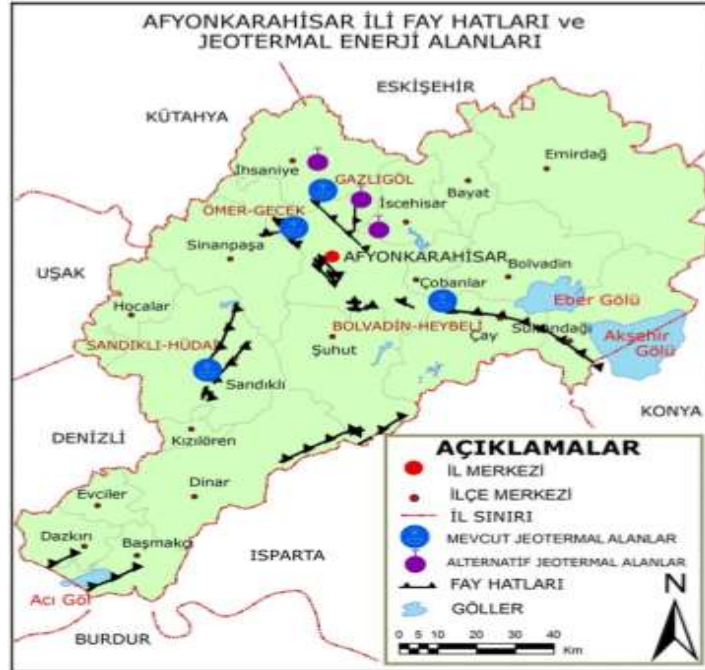
Türkiye yenilenebilir enerji kaynakları konusunda oldukça zengin olduğu bilinen bir gerçektir. Son zamanlarda eğilim olmasına rağmen bu kaynaklardan yeterince faydalanılmamaktadır. Türkiye'de 140 jeotermal alanda açılan kuyu sayısı 200 olup, dünya standartlarına göre çok azdır. Türkiye'nin jeotermal enerji potansiyelinin ortaya konulması için daha çok kuyu açılması gerekmektedir (Dişlitaş 2002). Güneş enerjisi ve rüzgar enerjisinin yanı sıra jeotermal enerjiden de yararlanmak hatta bir kaynağı birkaç

enerji çeşidinde kullanmamız gerekmektedir. Örneğin jeotermal enerjiyi bir taraftan ısınma için kullanırken diğer taraftan elektrik üretimi içinde kullanabiliriz. Böylece kullandığımız kaynaklardan maksimum faydalanarak verimlerini artırmışta oluruz. Ülkemizin enerji ihtiyacının % 75'i ithal edilen fosil kaynaklardan sağlayarak dışa bağımlılığımızı artırmaktayız. Enerji üretimimizi fosil kaynakların yanında yenilenebilir enerji kaynaklarından da verimli bir şekilde kullanarak enerji üretim çeşitliliğini artırabilir ve dışa bağımlılığımızı azaltabiliriz (Kayabaşı 2009).

Türkiye'deki jeotermal enerjilerin üzerine eğilerek sıcak kaynak sularının yerlerinin bulunması, bulunan ve önceden bulunmuş olan bu enerji kaynaklarının geliştirilmesi, işletilmesi ve bu sular şifalı oldukları için yapıları bozulmadan, korunarak sürekli yararlanılması oldukça önemlidir.

3.1.2.1 Afyonkarahisar İlinin Jeotermal Enerji Sahaları ve Kullanım Alanları

Afyonkarahisar ilindeki jeotermal kaynaklar fay hatlarından orta sıcaklıkta çıkmaktadır. Bu jeotermal kaynakların çıktığı yerler Termal Turizm Merkezlerini oluşturarak ilin turizmüne katkı sağlamaktadır (Kervankıran 2012).



Şekil 3.3 Afyonkarahisar İli Mevcut ve Alternatif Jeotermal Alanlar (Kervankıran 2012).

Afyonkarahisar ilinin jeotermal enerji sahaları şunlardır:

Ömeri_Gecek Jeotermal Enerji Sahası

Ömer-Gecek jeotermal sahası Afyonkarahisar-Kütahya yolu üzerinde şehir merkezine 15 km uzaklıktadır. Bu sahada toprağın altında 60 m – 906 m arasında 5-100 (l/s) arası debi ile 50-98 °C arasında sıcak termal su çıkmaktadır. Uzun süre kaplıca olarak kullanılan saha günümüzde termal turistik tesis olarak, konutları ısıtmada (AFJET) ve seracılık alanlarında kullanılmaktadır (Kervankıran 2012).

Sandıklı-Hüdaı Jeotermal Enerji Sahası

Sandıklı-Hüdaı jeotermal enerji sahası Afyonkarahisar-Antalya karayolu yakınındadır. Bu sahada toprağın altında 50 m – 226 m arasında 25-105 (l/s) arası debi ile 40-70 °C arasında sıcak termal su çıkmaktadır. Bu saha günümüzde termal turistik tesis olarak, konutları ısıtmada ve seracılık alanlarında kullanılmaktadır (Kervankıran 2012).

Bolvadin-Heybeli Jeotermal Enerji Sahası

Bolvadin-Heybeli jeotermal sahası Afyonkarahisar-Konya yolu üzerinde şehir merkezine 30 km uzaklıktadır. Bu sahada toprağın altında 146 m – 394 m arasında 7-64 (l/s) arası debi ile 37-56 °C arasında sıcak termal su çıkmaktadır. Bu saha günümüzde kaplıca ve seracılık alanlarında kullanılmaktadır (Kervankıran 2012).

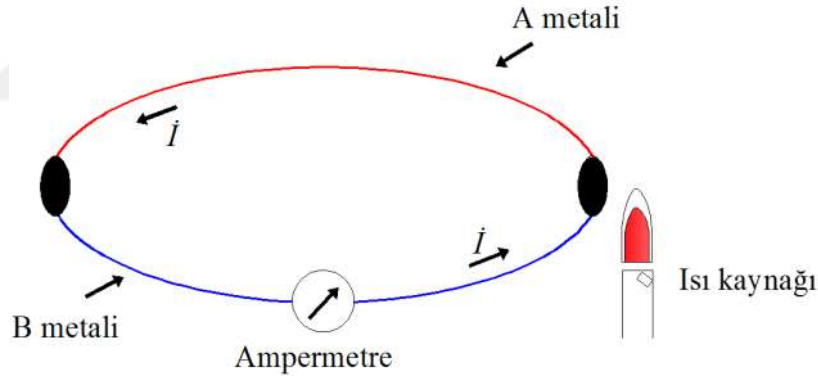
Gazlıgöl Jeotermal Enerji Sahası

Gazlıgöl Jeotermal jeotermal enerji sahası Afyonkarahisar-Eskişehir karayolu üzerinde şehir merkezine 22 km uzaklıktadır. Bu sahada toprağın altında 120 m – 300 m arasında 1,7-28 (l/s) arası debi ile 51-74 °C arasında sıcak termal su çıkmaktadır. Bu saha günümüzde sağlık amaçlı olarak kaplıca, turizm tesislerinde ve seracılık alanlarında kullanılmaktadır (Kervankıran 2012).

3.1.3 Termoelektrik Generatör

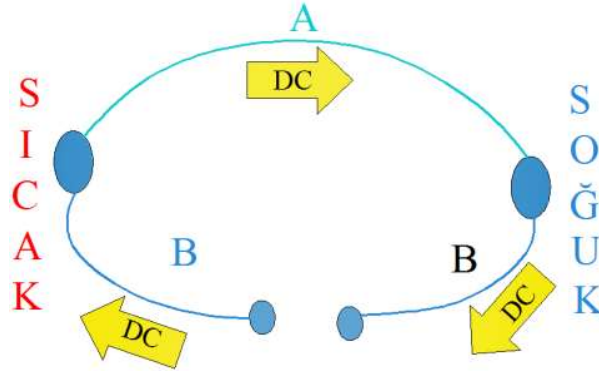
3.1.3.1 Termoelektrik

Termoelektrikle ilgili yapılan ilk çalışma, 1823 yılında, Alman bilim adamı Thomas Seebeck tarafından ortaya konulmuş olmasına rağmen 1960'lara kadar ticari gelişim gösterememiştir. Thomas Seebeck 1823 yılında yaptığı bu çalışmada iki farklı tür metal iletken halka oluşturmuş, bu halkadaki bağlantı uçlarını ısıttığında metal iletkene yakın tutulan pusulanın iğnesinin saptığını görmüştür. Seebeck bu olayı Dünya'nın manyetik alanı ve kutuplarla ekvator arasındaki sıcaklık farkıyla ilişkilendirerek açıklamaya çalıştıysa da bir sonuca varamamıştır. Aynı zamanda Seebeck bu olguyu farklı iletken metal malzemelerle de deneyerek bu malzemelerin elektriksel iletkenlikleri (σ) ve seebeck katsayıları (α) çarpımına göre sıralamıştır. Fakat aslen Seebeck bu keşfin temelini fark edememiş, sıcaklık üretimiyle, dolaşan elektrik akımının aynı etkiyi oluşturduğunu kabul etmiştir (İnt.Kyn.4).



Şekil 3.4 Farklı metallerden oluşan bir devrede akım oluşumu (Baş 2014).

1834 yılında, mesleği Fransız bir saat üreticisi ve fizikçi olan bilim adamı Jean Charles Athanase Peltier, Seebeck Etkisi üzerinde yaptığı çalışmalarda karşıt bir etkiyi keşfetti. Bu keşif, iki farklı tür metal iletkenin uçlarına dışarıdan DC bir gerilim uygulayarak elektrik akımını kapalı bir döngüde dolaştırırsak termal enerjinin halkanın bağlantı noktalarının birinde ısınmaya, diğerinde ise soğumaya neden olduğunu gözlemleyerek, teoriye başka bir bakış açısı getirmiştir (İnt.Kyn.4).



Şekil 3.5 Peltier Etkisi.

Daha sonra Heinrich Lenz Peltier'in bulgularını Seebeck'in bulgularıyla ilişkilendirerek iki farklı iletkenin oluşturduğu halkanın bağlantı noktalarından akım geçerse akımın yönüne göre bir bağlantı noktası ısınırken diğeri soğur şeklinde sonuç çıkarmıştır. Bu çıkarımını ise bizmut-antimon bağlantı noktasında suyu dondurarak göstermiştir (İnt.Kyn.4).

1854 yılın'da İngiliz bilim adamı William Thomson (Lord Kelvin), Seebeck ve Peltier etkilerini termodinamik yasalarını kullanarak açıklamıştır.

1885'de Rayleigh ilk TEG'in verimini hesaplamış. Fakat sonradan yanlış hesapladığı ortaya çıkmıştır.

1909'da Alman bilim adamı E. Altenkrich iyi bir elektrik üretimi ve soğutma için termoelektrik malzemenin, küçük ısı iletkenliğine (λ) ve yüksek elektriksel iletkenliğe (σ) sahip olması gerektiğini söyledi. Teorisini "figure of merit (Z)" formülüyle destekledi (İnt.Kyn.4).

$$Z = \alpha^2 \sigma \lambda \quad (3.1)$$

Z: Belirli bir sıcaklıkta Performan Katsayısı (Figure of merit),

1930'lu yıllarda Rus bilim adamları önceki termoelektrik çalışmaları kullanarak, uzak yerleşim yerlerinde kullanılmak üzere güç jeneratörleri kurmak için çalışmalara başlamaları, diğer ülkelerinde dikkatini çekerek termoelektrikle ilgilenmelerine neden

olmuş. Bu durum daha pratik, daha verimli ve daha ucuz termoelektrik modüllerin geliştirilmesine ve termoelektrik modüllerin kullanımlarını yaygınlaştırmıştır.

1950 yılında transistör uygulamaları için geliştirilen sentetik yarıiletken malzemeler bugün termoelektrik uygulamalarında da kullanılmaktadır. Yeni malzemelerin ortaya çıkmasıyla, temel elektronik malzemelerde kullanılan p ve n tipi yarı iletken malzemelerin iki yalıtkan plaka arasına elektriksel olarak seri ve termal olarak paralel bağlanmasıyla son teknolojiye uygun modern peltier modüller oluşturulmuştur. Bugün Seebeck, Peltier ve Thomson etkileri ise termoelektrik modüllerin temelini, oluşturmaktadırlar (İnt.Kyn.4).

Peltierlerde çok katlı modüllerin oluşturulmasıyla soğutucuların 170 K sıcaklığa kadar inmesi sağlandı. Daha verimli termoelektrik malzeme üretim çalışmaları malzemelerin katı hal teorisi çerçevesinde halen devam etmektedir.

3.1.3.2 Termoelektrik Etkiler

Uygulamada büyük önem arz eden maddenin elektriksel özelliklerini Joule, Fourier ve TE etkiler etki etmektedir (Mamur 2013). İki farklı yarıiletken malzeme birleştirilerek oluşturulan modülden elektrik enerjisi geçirilirse keşfedenerinin isimleriyle anılan Seebeck, Peltier ve Thomson olmak üzere 3 etki oluşur.

Joule Etkisi

Elektrik enerjisini ısı enerjisine dönüşümünü açıklayan kanuna bulucusu olan James Prescott Joule'un ismininde verildiği Joule kanunu denir. Bu kanuna göre; bir iletkenin ısısı, o iletkenin iç direnci ve üstünden geçen akımın karesiyle orantılı olarak artar. Bir elektrik devresinde birim zamanda ortaya çıkan Joule ısı (Q_J) miktarı Watt olarak;

$$Q_J = I^2 \cdot R \quad (3.2)$$

eşitliğiyle ifade edilir. Burada I iletkenden geçen akımdır ve birimi Amper (A), R ise iletkenin direncidir ve birimi ise Ohm (Ω) 'dur (Mamur 2013).

Fourier etkisi

Fourier etkisi, ısının sıcaklığı yüksek olan bölgeden, düşük olan bölgeye doğru transfer edilmesidir. Fourier etkisiyle çıkan ısı enerjisi Eşitlik (3.3)'deki gibi verilebilir:

$$Q = A \cdot K \cdot \Delta T \quad (3.3)$$

Eşitlikteki ifadeler:

Q : Sıcaklığı yüksek olan bölgeden, düşük olan bölgeye doğru giden ısı miktarı (W),

A : Malzemenin toplam alanı (m²),

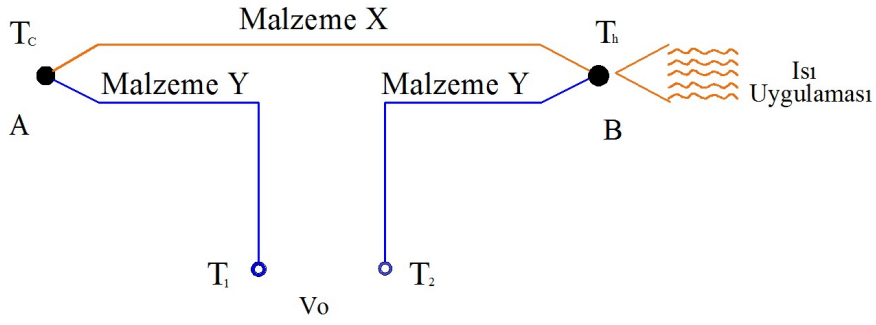
K : Malzemenin ortalama ısı iletim katsayısı (W/(m² .⁰C))

Sistem kararlı haldeyken, soğuk yüzey tarafına sıcak yüzey tarafından bir ısı akışı olmaktadır. Aynı zamanda sistemden geçen akımın oluşturduğu ters yönde istenmeyen ısı kazançları da mevcuttur.

Termoelektrik malzemeye akım verildiğinde soğuk ve sıcak yüzey arasındaki sıcaklık değişimi Joule ve Fourier etkilerinden dolayı aynı oranda olmamaktadır. Ayrıca Fourier etkisinden anladığımızımıza göre, sistemin kararlı ve verimli olması termoelektrik malzemenin her yüzeyin kendi arasında aynı ısıya sahip olması gerekmektedir (Tugay 2010).

Seebeck Etkisi

İki farklı tür iletken metal ile bir halka oluşturulduğunda ve bu halkanın iki bağlantı uçlarına sıcaklık farkı uygulandığında sistemde doğru orantılı voltaj farkı oluşur, bu olaya seebeck etkisi ya da ısılıçifti (thermocouple) etkisi denir. Seebeck etkisinin anlatıldığı TE seri devrede, Şekil 3.6'da görülmektedir. Her iletken maddenin özellikleri farklıdır ve dolayısıyla her maddenin farklı seebeck katsayısı vardır.



Şekil 3.6 Basit Isıl çift devresi.

İki farklı tür iletken metalden oluşan malzemenin iki tarafı arasında sıcaklık farkı oluşturulduğunda diğerinden daha sıcak olan taraf daha çok elektron fermi enerji seviyesine geçerek, yüksek enerjili serbest dolaşan elektronlar malzeme içerisinde sıcak taraftan soğuk tarafa doğru yayılacak ve malzeme içerisinde voltaj farkına neden olacaktır. Uygulanan sıcaklık derecesi farkının oluşturduğu malzemedeki voltaj malzemenin Seebeck katsayısını (α) verir.

İki farklı iletken malzemedan oluşturulan devrede ölçülen voltaj (Kırmacı 2002, Kaya 2010, İnt.Kyn.4);

$$V = \alpha_{ab} \cdot \Delta T \quad (3.4)$$

V: Devrede ölçülen voltaj (V)

$$\Delta T = T_1 - T_2 \quad (3.5)$$

ΔT : İletken malzemelerin yüzeyler arasındaki sıcaklık farkı ($^{\circ}\text{C}$)

$$\alpha_{ab} = \alpha_p - \alpha_n \quad (3.6)$$

$$\alpha_{ab} = dV \cdot dT \quad (3.7)$$

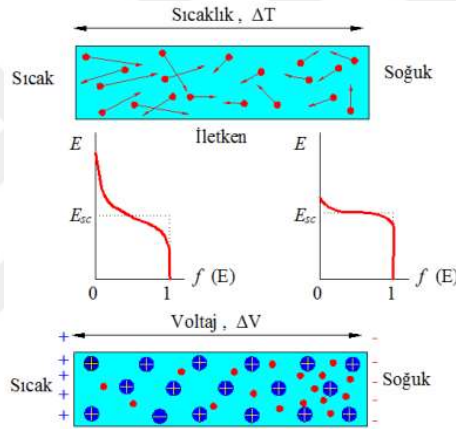
α_{ab} : Seebeck katsayısı veya termo emk ($\text{V}/^{\circ}\text{C}$) dır.

α_p ve α_n ise farklı maddelerden oluşan devreyi ifade etmektedir.

Serbest elektron teorisine göre Seebeck katsayısı ne kadar büyükse termoelektrik o kadar verimlidir. Fakat bazı malzemeler bu teoriye göre davranmamakta ve bu malzemelerde enerjiyle beraber örgü titreşimlerinin de artması elektronların yayılımını ters yönde etkileyerek, bu yayılımın yönünü soğuktan sığağa doğru olmasına ve seebeck katsayısının negatif olmasına neden olur.

Malzemelerin aynı olması halinde seebeck etkisinin malzeme farkından oluştuğunu da göz önünde bulundurursak, malzemede oluşan iç voltaj farkı aynı olacak ve birbirini yok edecektir. Farklı malzemeler kullanıldığında ise malzemelerin içerisinde oluşan voltaj farklarının toplamı kadar bir değer görülecektir.

Seebeck katsayısı (α)'nın değeri, devreyi oluşturan yarıiletken malzemenin N tipi veya P tipi olma özelliklerine bağlıdır. N tipi yarıiletken için α değeri negatif, P tipi yarı iletken için α değeri ise pozitifdir. Meydana gelen seebeck etkisi yarıiletkenlerde generatör gibi, metallerde ise termokupl veya ısı sensörü gibi kullanılır (Fettah 2010).



Şekil 3.7 Sıcaklık farkıyla oluşturulan potansiyel farkı (Fettah 2010, Çevik 2011).

Peltier Etkisi

1835 yılında Fransız bir saat üreticisi ve fizikçi olan bilim adamı olan Jean Charles Athanasa Peltier tarafından iki farklı tür iletken metal üzerinden DC akım geçirilmesi ile akımın hareket yönünde ısı oluştuğunu keşfetmiş ve bu olaya Peltier etkisi denmiştir. Farklı tür iki iletken malzemeden yapılmış halkaya DC gerilim uygulandığında Joule ısısı ile birlikte iletkenlerin bağlı olduğu noktalar akımın hareket ettiği yöndeki birleşme noktasında ısı oluşurken, diğer birleşme noktasından soğuma meydana gelmektedir. Açığa çıkan ısı ve soğuma miktarı doğru akımla orantılıdır ve buna Peltier Katsayısı denir (Kırmacı 2002, Kaya 2010, Çalışır 2014, Mamur ve Ahıska 2015, İnt.Kyn.4).

$$Q_P = \pi_{ab} \cdot I \quad (3.8)$$

π_{ab} : Peltier katsayısı (V),

Q_P : Birim zamanda transfer edilen ısınma yada soğuma miktarı (W),

I : Devre üzerinden geçen doğru akım (A)

Peltier ile seebeck katsayısının ilişkisi;

$$\Pi_{ab} = \alpha_{ab} \cdot T \quad (3.9)$$

α_{ab} : Seebeck katsayısı ($V/^{\circ}C$),

T : Mutlak sıcaklık ($^{\circ}C$)

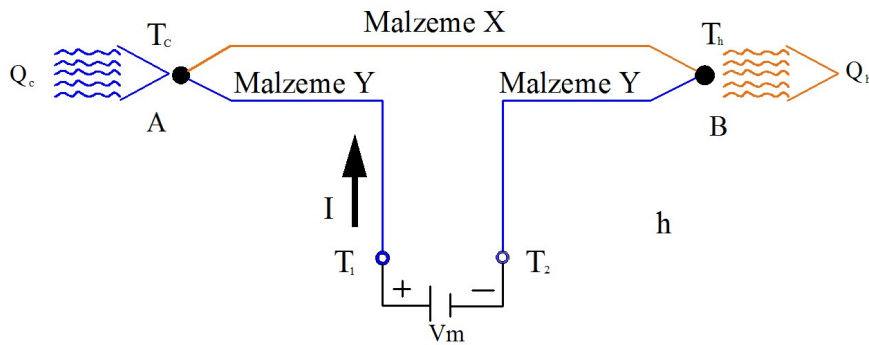
Peltier katsayısı sıcaklığa bağlı iken seebeck katsayısı sabit bir sayıdır.

$$Q_P = \pi_{ab} \cdot I \cdot T \quad (3.10)$$

Peltier soğutma eşitliği;

$$Q_P = (\alpha_p - \alpha_n) \cdot T^2 \cdot I \quad (3.11)$$

Dışarıdan verilen DC gerilim, elektronların değişen enerji düzeyine göre hareket ederek ilerlerken, P-tipi yarıiletkenlerdeki yük taşıyıcılar pozitif yüklü "hole"ler ile (h^+) n-tipi yarıiletkenlerde yük taşıyıcılar negatif yüklü elektronların (e^-) hareketleri zıttır. Hole'ler negatif kutba enerjilerini taşıırken, elektronlar pozitif kutba enerjilerini taşıyacaktır ve bu kutuplar ısınırken karşı taraf soğuyacaktır.



Şekil 3.8 Peltier deneyi ve termoelektrik soğutucu (Temizer *et al.* 2012).

Şayet dışarıdan uyguladığımız DC gerilim artarsa, hareket eden elektron sayısı da artacağından soğuk yüzey ile sıcak yüzey arasındaki ısı farkı da artacaktır. Sistemde peltier soğutucunun soğutma gücünü etkileyene iki faktör vardır. Bunlar ısı kazançları

olarak adlandırılır ve bu ısı kazançları ısı iletimi ve joule ısıtmasıdır (Kırmacı 2002, Kaya 2010, Çalışır 2014, Mamur ve Ahıska 2015, İnt.Kyn.4).

$$\Delta T = T_1 - T_2 \quad (3.12)$$

ΔT : Sıcaklık farkı ($^{\circ}\text{C}$) dır.

$$ISI \text{ iletim} = \frac{(T_1 - T_2)}{(K_p - K_n)} \quad (3.13)$$

T_1 : Sıcak yüzey sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$),

T_2 : Soğuk yüzey sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)

$$K_o = K_p + K_n \quad (3.14)$$

K_o : Isıl iletkenlik ($\text{W}/^{\circ}\text{C}$),

K_p : P Tipi yarı iletkene malzemenin ortalama ısı iletim katsayısı ($\text{W}/^{\circ}\text{C}$),

K_n : N Tipi yarı iletkene malzemenin ortalama ısı iletim katsayısı ($\text{W}/^{\circ}\text{C}$)

$$JOULE \text{ ISITMASI} = \frac{I^2 \cdot (R_p + R_n)}{2} \quad (3.15)$$

$$R = R_p + R_n \quad (3.16)$$

R : Elektriksel direnç, (Ω),

I : Devre üzerinden geçen akım şiddeti (A)

$$Q = (\alpha_p - \alpha_n) \cdot I \cdot T_c - \frac{(T_1 - T_2)}{(K_p - K_n)} - \frac{I^2 \cdot (R_p + R_n)}{2} \quad (3.17)$$

$$\alpha_{ab} = \alpha_p - \alpha_n \quad (3.18)$$

α : Seebeck katsayısı ($\text{V}/^{\circ}\text{C}$)

Peltier soğutucularda dikkate alınması gereken bir diğer özellik ise soğutucunun verim katsayısı (COP)'dır. COP soğutma gücünün elektrik tüketimine oranıdır (Çevik 2011, İnt.Kyn.4).

$$COP = \frac{Q}{W} \quad (3.19)$$

$$W = (\alpha_p - \alpha_n) \cdot I \cdot T_1 + \frac{I^2 \cdot (R_p + R_n)}{2} \quad (3.20)$$

Böylelikle COP şu şekilde yazılır:

$$\text{COP} = \frac{(\alpha p - \alpha n) \cdot I \cdot T_1 - \frac{T_1 - T_2}{K_p + K_n} - I^2 \cdot \frac{R_p + R_n}{2}}{(\alpha p - \alpha n) \cdot I \cdot T_1 + I^2 \cdot \frac{R_p + R_n}{2}} \quad (3.21)$$

Maksimum soğutma elde etmek için COP'un maksimum olduğu değeri alması gerekmektedir. Verim katsayısının maksimum olduğu akım değerini bulmak için yukarıdaki eşitliği akıma göre türevini alarak sıfıra eşitleriz.

$$\frac{d\text{COP}}{dI} = 0 \quad (3.22)$$

$$\text{COP}_{\text{max}} = \frac{T_1 \{ (1 + Z \cdot T_m)^{1/2} - (T_1/T_2) \}}{(T_1/T_2) \{ (1 + Z \cdot T_m)^{1/2} + 1 \}} \quad (3.23)$$

$$T_m = \frac{T_1 - T_2}{2} \quad (3.24)$$

Z : Performan Katsayısı (Figure of Merit)

T_m : Ortalama Sıcaklık (°C)

Burada kullanılan yarı iletken malzemelerin elektriksel direnci;

$$R_p = \frac{\rho_p \cdot L_p}{A_p} \quad (3.25)$$

$$R_n = \frac{\rho_n \cdot L_n}{A_n} \quad (3.26)$$

ρ : Malzemenin elektriksel iletkenliği (Ω cm),

L : Malzemenin uzunluğu (m),

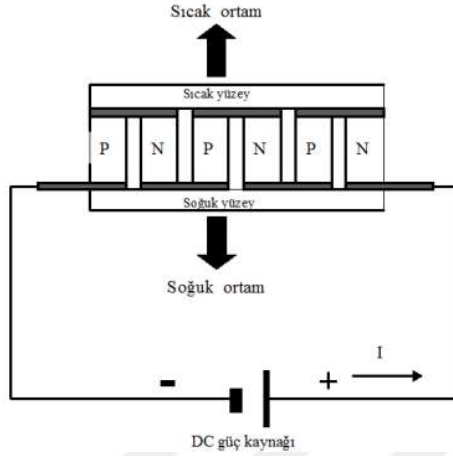
A : Malzemenin alanı (m²) dır.

Kullanılan yarıiletken ısı iletkenliği ise aşağıdaki formül ile hesaplanır:

$$K_p = \frac{A_p}{L_p} \quad (3.27)$$

$$K_n = \frac{A_n}{L_n} \quad (3.28)$$

Akımın yönüne göre birleşme noktalarında akımın hareket yönündeki birleşme noktasında ısınma, diğerinde ise soğuma meydana gelmektedir.



Şekil 3.9 Peltier etkisi devresi.

Thomson Etkisi

1854’de İngiliz bilim adamı William Thomson (Lord Kelvin), Seebeck ve Peltier etkilerini ilişkilendirmiş ve termodinamik yasalarını kullanarak farklı bir sonuç ortaya çıkarmıştır. Bu çıkardığı sonuca Thomson etkisi denmektedir. Thomson etkisi, akım taşıyan bir iletkenin iki ucu arasında sıcaklık farkı varsa akım yönüne göre joule ısıısının yanında Thomson ısıısının da açığa çıktığını söylemektedir. Thomson ısıısı, akımın şiddeti, iki yüzey arasındaki sıcaklık farkı ve zamanla doğru orantılıdır. Ortaya çıkan Thomson ısıısı (Gür ve Atik 2009, Çalışır 2014, Akçay 2015, Mamur ve Ahıska 2015, İnt.Kyn.4);

$$Q_T = \tau \cdot \Delta T \cdot I = \tau \cdot (T_2 - T_1) \cdot I \quad (3.29)$$

Q_T : Thomson ısıısı (W),

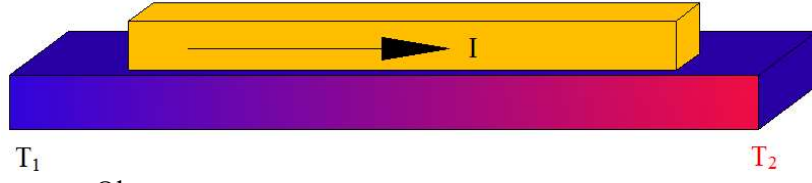
ΔT : İletkenin uçları arasındaki sıcaklık farkı ($^{\circ}\text{C}$),

I : İletken üzerinden geçen akım şiddeti (A)

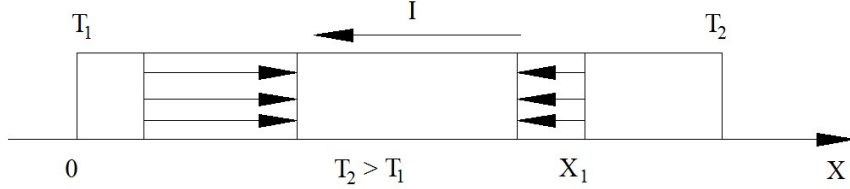
$$\tau = (\tau_p - \tau_n) \cdot \frac{(T_2 - T_1)}{T_2} \quad (3.30)$$

τ : Thomson katsayısı veya termo emk ($\text{V}/^{\circ}\text{C}$) dir.

τ_p ve τ_n ise farklı maddelerden oluşan devreyi ifade etmektedir.



Şekil 3.10 Thomson Olayı.



Şekil 3.11 Thomson olayını açıklayan devre.

3.1.3.3 Termoelektrikte Kullanılan Yarıiletken Malzemeler

Dünyadaki maddelerin % 80'nini yarıiletken malzemeler oluşturmaktadır. Elektronik endüstrisinde en çok uygulama alanı bulunan yarıiletkenler Silisyum (Si) ve Germanyum (Ge) dur.

Yarıiletkenler saf ve saf olmayan yarıiletkenler olarak ikiye ayrılır. İçinde belirli oranda safsızlık maddesi bulunan yarıiletkenlere saf olmayan yarıiletken denir. Saf olmayan yarıiletkenler iletkenliğin elektronlarla taşındığı N (negatif) tipi ve delikler (holeler) ile taşındığı P (pozitif) tip olmak üzere iki tiptir.

N tipi yarıiletkenler de elektronlara çoğunluk taşıyıcı, deliklere (holeler) azınlık taşıyıcıları denir. P tipi yarıiletkenlerde bu tam tersidir.

İyi bir TE yarıiletkende aranan özellikler şu şekilde sıralanabilir (Mamur 2013).

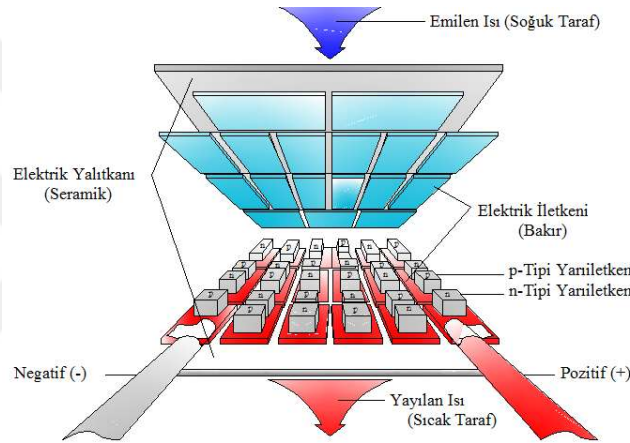
- Gereken gerilimi sağlamak için yüksek Seebeck katsayısına (α) sahip olmalıdır.
- İstenmeyen Joule ısısını (Joule, $I^2.R$) azaltmak için çok iyi elektriksel iletkenliğe (σ) sahip olmalıdır.
- Isı kayıplarının azaltılması için düşük ısıl iletkenliğe (k) sahip olmalıdır.

Termoelektrik yarıiletkenini oluşturan madde, yüksek Seebeck katsayısına, iyi bir elektriksel iletkenliğe ve kötü bir ısıl iletkenliğe sahip olmalıdır. Seebeck katsayısı

yarıiletkenlerde ise 200 ile 300 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ arasındadır. Yani 1 $^\circ\text{C}$ sıcaklık farkı için 200 ile 300 μV 'luk emk üretir. α 'nın değeri 100 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 'den büyük yarıiletkenlere termoelektrik yarıiletkenler denir (Dişlitaş 2002).

TEG'lerde kullanılan yarıiletkenler çoğunlukla N ve P tipi özellik taşıyan Bizmut Tellür elementler kullanılmaktadır. Termoelektrik malzemeler bu elementler macun hale getirilerek maddenin kristalleştirilmesi ile elde edilir.

Şekil 3.12'de termoelektrik modül üzerinde N ve P tipi yarıiletkenlerin yerleşim planı görülmektedir.



Şekil 3.12 Termoelektrik modül kesit görünüşü (Kayabaşı 2009).

TE yarıiletkenlerin üzerinde yapılan araştırmalardaki temel amaç, yüksek Z parametresine sahip alaşımların elde edilmesidir. Bunun için genellikle Bölge Eritme ve Presleme Yöntemi kullanılmaktadır.

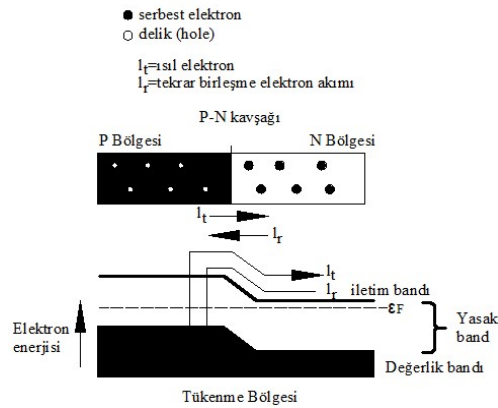
Bölge Eritme Yöntemi ile TE yarıiletken üretiminde; N-tip yarıiletkenler için %80 Bi_2Te_3 + %20 Bi_2Se_3 bileşimi, P- tip yarıiletkenler için ise %74 Bi_2Te_3 + %26 Sb_2Te_3 bileşimi tüpler içine konularak basınç düşürülür ve tüplerin açık kalan uçları kaynak yapılarak kapatılır. Daha sonra tüpler bölge eritme makinesine konularak 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. Tüplerin kesitlerine bağlı olarak üretilen yarıiletkenlerin kesitleri değişmekle beraber genellikle 8 mm kesitli yarıiletkenler üretilmektedir (Mamur 2013).

Presleme Yöntemi ile TE yarıiletken üretiminde ise; etrafı ısıtıcıyla sarılmış düz prizma şeklindeki kalıbın içine toz haline getirilmiş N-tip yarıiletken için %80 Bi_2Te_3 + %20 Bi_2Se_3 'den oluşan, P-tip yarıiletken için %74 Bi_2Te_3 + %26 Sb_2Te_3 'den oluşan bir karışım konulur. Düz prizma şeklindeki kalıp $400\text{ }^\circ\text{C}$ 'ye kadar ısıtılarak preslenir. Kalıbın boyutlarına göre üretilen yarıiletkenlerin çapları değişmekle beraber genellikle $7 \times 7 = 49\text{ mm}^2$ alanlı kare şeklinde olan N-tip ve P-tip kristaller elde edilmektedir (Mamur 2013).

3.1.3.4 Yarıiletkenlerdeki İletim Olayı

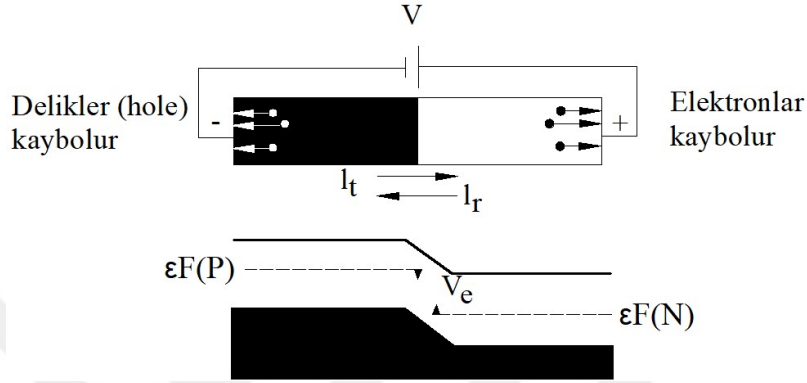
Termoelektrik modülleri oluşturan termoelektrik elemanların ısı akımının yönü hep aynı olacak şekilde sadece N-tipi ve sadece P-tipi malzemelerin kullanılması zordur. Bu yüzden ardışık olarak bir N-tipi bir P-tipi kullanarak bağlantı yapılması ile termoelektrik modüller oluşturulmaktadır.

Termoelektrik malzemenin uçlarına herhangi bir gerilim uygulamadan yüzeylerine sıcaklık farkı uygulandığında Şekil 3.13'de görüldüğü gibi elektron-delik çiftleri P bölgesindeki değerlik bandında ısı ile oluşurlar. Elektronların bazıları iletim bandına ve sonrada N bölgesine geçmek için gerekli enerjileri vardır. Aynı zamanda N bölgesindeki elektronların bazılarının da P bölgesine geçecek enerjileri vardır. P bölgesinde bu elektronlar hole'ler ile birleşirler. Bu elektron hareketleri akım oluşturarak termoelektrik modüllerin uçlarından DC enerji almamıza neden olur (Kırmacı 202).



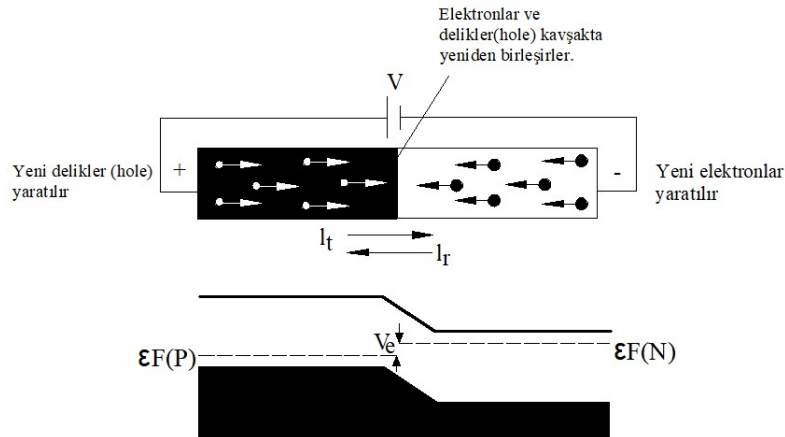
Şekil 3.13 P ve N tipi yarı iletkenlerin öngerilimsiz hareketi (Kırmacı 2002).

Eğer Şekil 3.14’ da görüldüğü gibi termoelektrik malzemenin P ucuna negatif ve N ucuna pozitif dışarıdan ters bir DC gerilim uygularsak P ve N bölgelerindeki voltaj farkı daha fazla olduğu için P bölgesindeki hole’ler sola doğru hareket ederken N bölgesindeki elektronlar ise sağa doğru hareket eder ve pozitif uçtan N bölgesini terk ederler (Kırmacı 2002).



Şekil 3.14 P ve N tipi yarıiletkenlerin ters öngerilim hareketi (Kırmacı 2002).

Şekil 3.15’deki gibi termoelektrik malzemenin P ucuna pozitif ve N ucuna negatif dışarıdan bir DC gerilim uygularsak P ve N bölgelerindeki voltaj farkı dış voltajdan küçüktür. Bu durumda elektronlar pozitif uçtan P bölgesini terkederek yeni hole’ler oluşurken N bölgesinden de negatif uçtan elektronlar giriş yapar. Dışardan uygulanan gerilimin etkisiyle hole’ler P ile N’in eklendiği yere sağa doğru N bölgesindeki elektronlarda sola doğru hareket eder. Hole’ler ve elektronlar bu eklem yerinde karşılaşıp tekrar birleşirler (Kırmacı 2002).



Şekil 3.15 P ve N tipi yarıiletkenlerin ileri öngerilim hareketi (Kırmacı 2002).

3.1.3.5 Yarıiletken Elemanların Isı Kontrolü

İyi bir termoelektrik malzemenin, gerekli gerilimi elde edebilmesi için elektriksel iletkenliğe (ρ), yüksek Seebeck katsayısına (α), düşük joule ısısına, ısı çift bağlantısında ısı kayıplarının az olması için düşük ısı iletkenliğine (K_o) sahip olmalıdır (Baş 2014).

Metal gibi elektriksel iletkenliğe sahip iletkenlerin düşük Seebeck katsayıları olması ve yalıtkanların ise yüksek Seebeck katsayıları nedeniyle verimleri düşüktür. Bundan dolayı, termoelektrik özellikleri sahip verimli elementler veya bileşikler yarıiletkenlerdir (Baş 2014).

Yarıiletken malzemelerin sıcaklıkla yapısı bozulduğu ve özellikleri değiştiğinden kendilerine özgü sıcaklık sınırlarında kullanılmaları gerekmektedir. Termoelektriksel verime “Z” der isek sıcaklıkla değişen termoelektriksel verime “ Z_T ” diyebiliriz. Z_T katsayısının formülü aşağıdaki gibi olur (Baş 2014).

$$Z_T = \frac{\alpha^2 \cdot T_m}{K_o \cdot R} \quad (3.31)$$

T_m : Termoelektrik modülün yüzeylerinin ortalama sıcaklığı

α : Seebeck Katsayısı ($V/^\circ C$),

K_o : Isıl İletkenlik ($W/^\circ C$),

R : Elektrik direnci (Ω)

Termoelektrik modüllerinde “ Z_T ” değeri 0.4 ile 1.3 arasında olan yarıiletken malzemeler kullanılmaktadır (Baş 2014).

Z değişkenini arttırmak için aşağıdaki koşullara uygun termoelementler üretmek gerekir: (Tugay 2010).

- Kullanılan termoelementlerin yarıiletken malzemelerin ve bileşiklerinin çalışma sıcaklığında bozulmaması kimyasal kararlılığı yüksek olmalıdır.
- Bir P-N yarıiletkenin eklem bölgesi difüzyon hızı düşük olmalıdır.

- Kullanılan termoelektrik malzemelerde, Joule ısısı kaybını azaltmak için yüksek elektriksel iletkenliğe sahip olmalıdır.
- Kullanılan yarıiletkenler düşük geçiş direncine sahip olmalıdır.

Bir yarıiletken elemanda temel ısı, malzemenin iç ısısının (T_i) üst limitini ve yarı iletken maddenin macunlanmış bölgesindeki ısı yoğunluğunun büyük bir bölümünü taşır. Eğer bu ısı aşılsa termal bölge potansiyel farkı kaybolur ve bozularak kısa devre olur. Yarıiletkenlerde güç kaybı iç ısıyla yükselir. Her yarıiletken elemanın dayanım çalışma sıcaklık aralığı ve sıcaklık katsayıları değişiklik gösterir. Genellikle her yarıiletken eleman $125\text{ }^{\circ}\text{C}$ olan, sabit iletim voltajı, anahtarlama süresi, tanımlanmış maksimum ısıda anahtarlama kayıpları gibi maksimum değerdeki eleman parametrelerini garantiler. Maksimum izin verilen dv/dt oranı elemana uygulanırken aynı zamanda jonksiyon sıcaklığı $125\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'nin üzerine çıkarsa, tristörler yeniden harekete geçebilir ya da yanabilirler (Baş 2014).

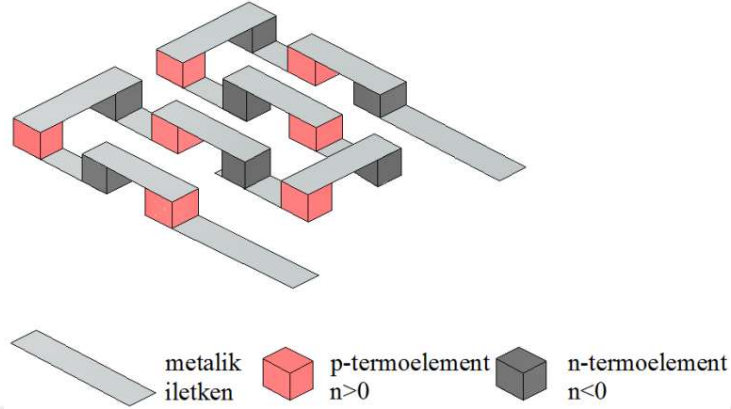
Bazı güç yarıiletken elemanları, sinyal seviye transistörleri ve IC'ler $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'nin üzerinde çalışabilmektedirler. Fakat çalışma ömürleri ve performansları $125\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'deki çalışmalarına göre daha kötüdür. Eğer bir yarıiletken elemanı yüksek ısılarda yapısı bozulup yanmadan kullanmak istiyorsak bunun için soğutucular kullanıp biriken ısıyı ortamdaki uzaklaştırmamız gerekmektedir. Unutulmaması gereken bir husus da yarıiletken eleman çiftlerinin her $10\text{-}15\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklık artışında temel ısısının $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ üzerine çıkacağıdır. En ekonomik veya en ucuz üretim için soğutucu güç elektroniği sistemi dizayn yapılmadan önce tasarlanarak büyük veya küçük soğutucuyla, doğal konveksiyonla, fan yardımıyla veya gaz soğutma ile sistem tasarlanarak yapılabilir (Baş 2014).

3.1.4 Termoelektrik Modüller

3.1.4.1 Termoelektrik Soğutma

Termoelektrik soğutma, iki farklı metalin oluşturduğu devreye doğru akım verilerek, elektrik akımını kapalı bir döngüde dolaştırırsak akımın yönünde uçlar arasında sıcaklık artışı, diğerinde ise azalışına (Peltier Etkisi) denir. Termoelektrik modülde P ve N tipi

yarıiletken malzemelerin iki yalıtkan plaka arasında elektriksel olarak seri ve termal olarak paralel bağlıdır.

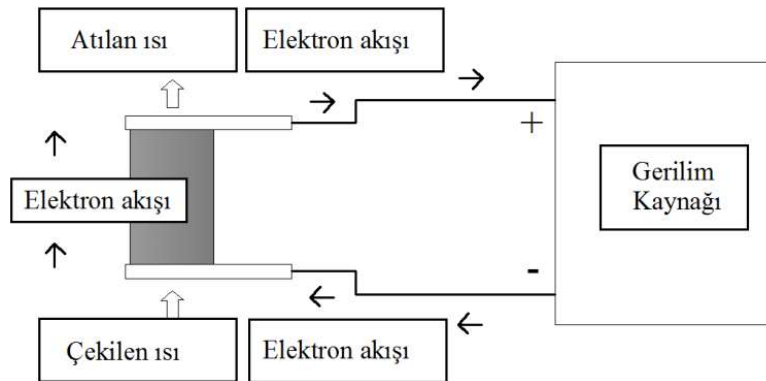


Şekil 3.16 Bir termoelektrik modülde termoelementlerin bağlantı biçimi (Tugay 2010).

Elektriksel yalıtkanlığın yanında ısıl iletkenliğini sağlamak için seramik malzeme ile modülün alt ve üst yüzeyleri kaplanmıştır. N-katkılı malzemede bulunan çok sayıda serbest elektron uygulanan gerilimin etkisiyle bir plakadan diğerine akarken plakanın ısısını da aynı yönde taşırlar. Böylece taşıdığı taraf ısınırken diğer tarafta ısı azalması yani soğuma gerçekleşir. N tipi termoelektrik eleman için ısı akışı ve elektron akışı Şekil 3.17’de verilmiştir.

N tipi elemanda ;

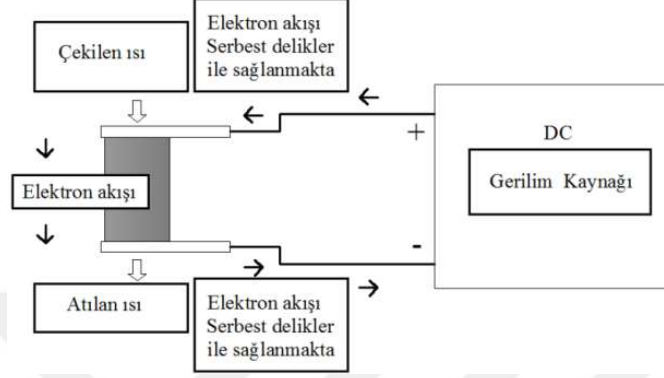
- Bol miktardaki serbest elektronlar hareket ederken, ısıyı da beraber taşırlar.
- Isı akışı yönü, elektrik akımıyla aynı yöndedir.



Şekil 3.17 N tipi termoelektrik eleman (Kaya 2010).

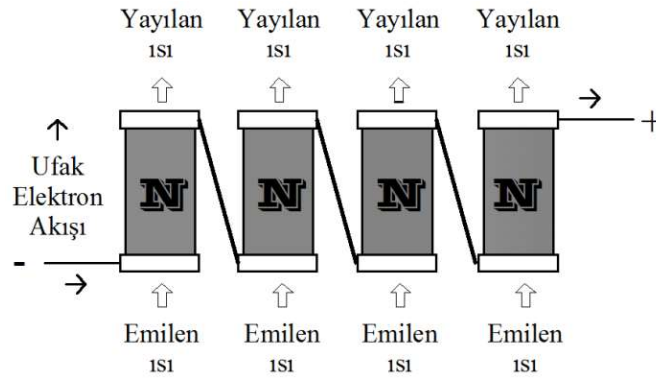
P tipi elemanda (Şekil 3.18);

- Elektrik akımı serbest “delikler” tarafından taşınır.
- Isı akış yönü, delik hareketiyle aynı yöndedir.
- N-tipi elemanla seri bağlanınca ısıyı ters yönde iletir.



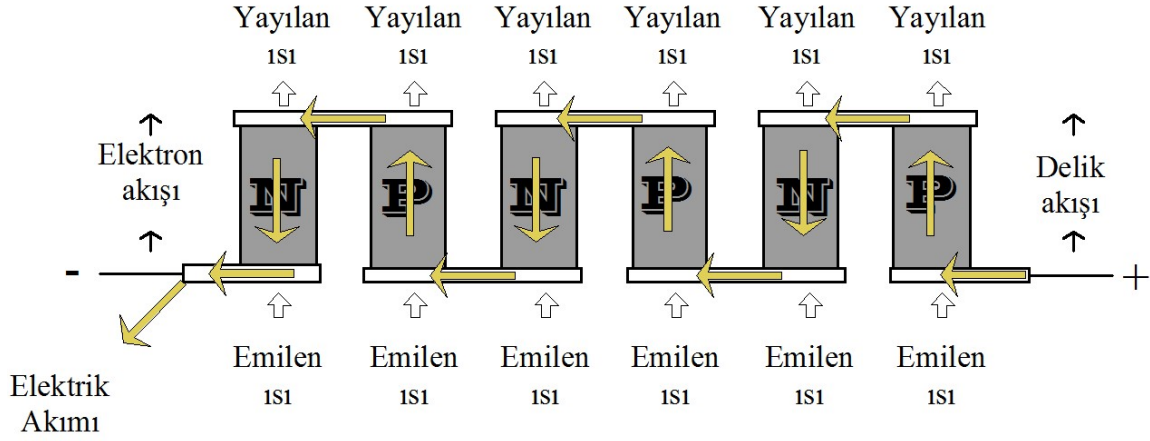
Şekil 3.18 P tipi termoelektrik eleman (Kaya 2010).

Yukarıda bahsettiklerimden de anlaşılacağı gibi N tipi ile P tipindeki termoelektrik elemanlarda elektron akışı ve bununla aynı yönde hareket eden ısı iletimi zıt yönde hareket etmektedir. Termoelektrik modülleri oluşturan termoelektrik elemanların ısı akımının yönü hep aynı olacak şekilde sadece N tipi ve sadece P tipi malzemelerin seri olarak bağlantısı Şekil 3.19’da görülmektedir (Kaya 2010).



Şekil 3.19 N-tipi elemanların seri bağlanması (Kaya 2010).

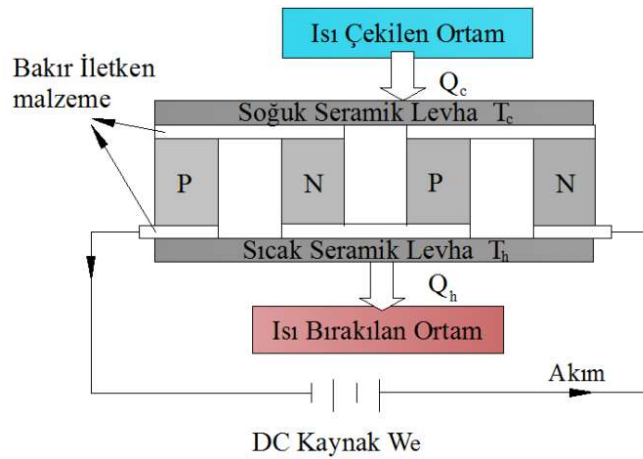
Bu şekilde tek tip bağlantı şekli zor olduğu için ardışık olarak bir P tipi bir N tipi kullanarak bağlantı yapılması ile termoelektrik modüller oluşturulmaktadır. P ve N tipi elemanlar Şekil 3.20’de görüldüğü gibi ardışık olarak bağlanmıştır (Kaya 2010).



Şekil 3.20 P-N çifti ile ısı pompalanması (Kaya 2010).

Şekil 3.20’de gösterildiği gibi elektrik akışı P tipi malzemeden N tipi malzemeye doğru aşağı yukarı hareket ederken, ısı akışının yönü aynı kalmaktadır.

N tipi ve P tipi yarıiletken çiftlerinden oluşan termoelektrik modüllere doğru akım uygulanması ile akımın düşük enerji seviyeli N tipi yarı iletkenen yüksek enerji seviyesine sahip P tipi yarı iletkenene geçmesi soğutmayı gerçekleştirir ve termoelektrik soğutma sağlanmış olur. Doğru akım kaynağından sağlanan voltaj ile ısı soğuk ortandan sıcak ortama elektronlar tarafından taşınırken ısınır böylece modülün bir ucundan diğer ucuna transferinin sağlanması termoelektrik soğutucunun, ısı pompası özelliğini gösterir. Termoelektrik soğutucunun bu özelliği Şekil 3.21’de gösterilmiştir.



Şekil 3.21 Termoelektrik soğutucu modülü (Baş 2014).

Termoelektrik ısı pompası, P tipi ve N tipi olan farklı yarıiletken materyallerin birlikte kullanılmasıyla üretilen termoelektrik modülün ısı transfer metoduna denmektedir.

Geleneksel soğutmada olduğu gibi, bu termoelektrik modüller de termodinamik kanunlarına göre hareket ederler.

Depolanan ısı Q_c , yayılan ısı Q_h ve girişteki elektriksel güç P olmak üzere modülleri tanımlayan denklemler:

$$Q_c = \frac{\Delta T}{\theta_m} + \alpha m \cdot T_1 \cdot I - \frac{I^2 \cdot R_m}{2} \quad (3.32)$$

$$Q_h = \frac{\Delta T}{\theta_m} + \alpha m \cdot T_2 \cdot I - \frac{I^2 \cdot R_m}{2} \quad (3.33)$$

$$P = V \cdot I = I \cdot (\alpha m \cdot \Delta T + R_m \cdot I) \quad (3.34)$$

R_m : Modülün ortalama direnci (Ω),

θ_m : Termal direnç,

T_1 : Depolanan sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$),

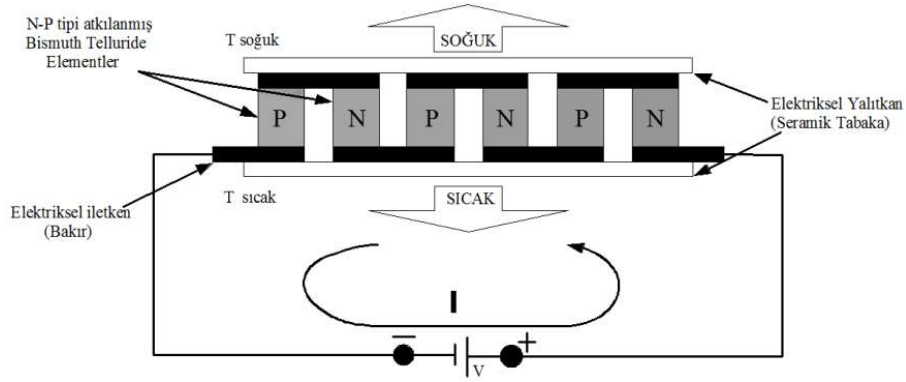
T_2 : Ortama verilen toplam ısının sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$),

$Q_c - Q_h$: Modülden yayılan ve emilen ısı miktarı (W)

Peltier etkisinden dolayı pompalanan ısı terimi ($\alpha m \cdot T \cdot I$), ısı iletim terimi ($\Delta T / \theta_m$) ve joule etki terimi ($I^2 \cdot R_m$). Burada Thomson etkisi küçük değerde olduğu için ihmal edilmiştir.

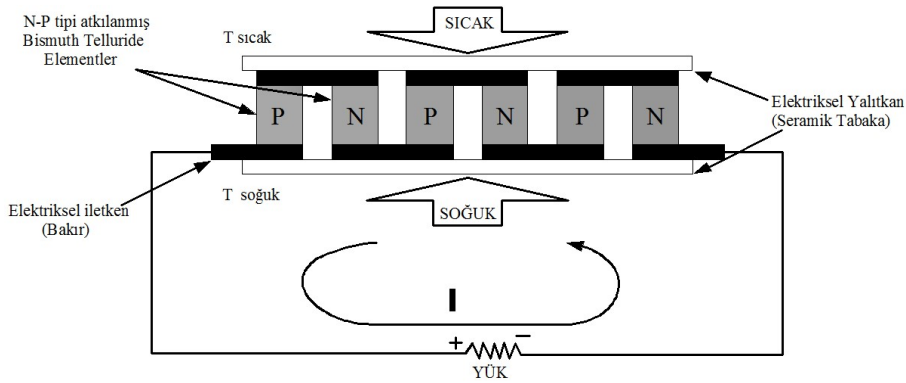
3.1.4.2 Termoelektrik Modülün Generatör Olarak Kullanılması

Şekil 3.22’de görüldüğü üzere, bir termoelektrik soğutucu, ısı iletimini sağlaması ve elektriksel yalıtım için iki seramik plaka arasında elektriksel olarak birbirine seri, termal olarak birbirine paralel bağlı P ve N tipi yarıiletkenlerinden oluşmaktadır. Dışarıdan DC akımın uygulanmasıyla bir plakadan diğer plakaya ısı geçişi olur ve sonuçta bir yüzey soğurken diğer yüzeyin ısısında artma meydana gelir. Hangi yüzeyin ısınıp soğuyacağını DC kutupların yönü belirler.



Şekil 3.22 Soğutucu modunda termoelektrik modül (Dişlitaş 2002).

Aynı modüle dışarıdan DC akım uygulamak yerine yük bağlanarak, termoelektrik modülün seramik yüzeylerinin birine ısı diğerine soğuk uygulanırsa iki yüzey arasındaki ısı farkı oluşturularak Şekil 3.23’de görüldüğü gibi modülün DC akım üretmesi sağlanmış ve böylece termoelektrik güç generatörü yapılmış olunur. Termoelektrik olarak üretilen elektrik enerjisi P ve N tipi yarıiletkenler boyunca ısı akışı sonucu elektronların hareketiyle DC akım oluşur. P tipi yarıiletken parçada hole’ler (delik) parçanın soğuk yüzeyine hareket ederken, N tipi yarıiletken parçalarda ise elektron akışı, parçanın soğuk yüzeyine hareket eder. Bu olay Şekil 3.23’de görülmektedir.



Şekil 3.23 Generatör modunda termoelektrik modül (Dişlitaş 2002).

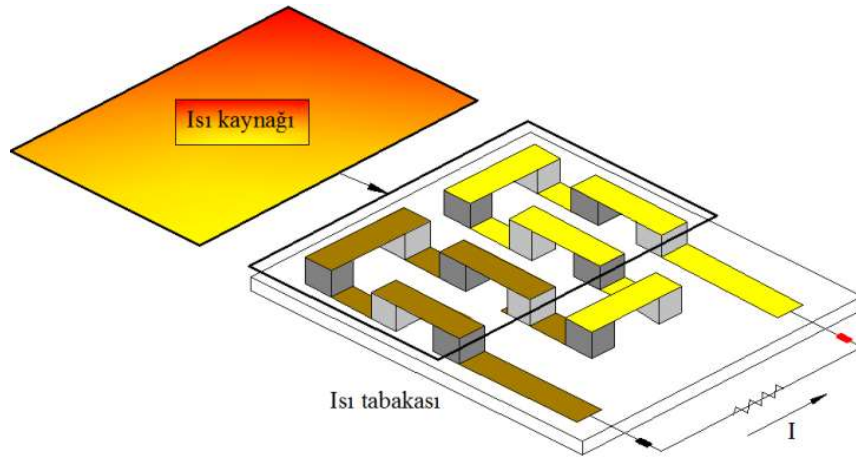
Teknolojik olarak gelişmiş ticari olarak kullanıma uygun TEG’ler veya termoelektrik soğutucular vardır. Termo elektrik soğutucular iki yüzey arasında küçük sıcaklık farklarında (ΔT), maksimum verim katsayısı COP (Coefficient of Performance-Performans verimi) ve soğutma verimine sahiptirler, TEG’ler ise büyük sıcaklık farklarında (ΔT) maksimum verime sahiptirler. Termoelektrik modüller, maksimum 200

$^{\circ}\text{C}$ çalışma sıcaklığıyla enerji kaynaklarına dönüştürmede teorik olarak en etkin TEG'lerdir.

Termoelektrik modülün maksimum sıcaklıkta bozulmadan kalması için maksimum çalışma sıcaklıkları 200°C olarak üretilenleri olsa bile imal edildikleri yaklaşık olarak 138°C ' de eriyen lehimleme sıcaklığını geçmemesi dikkat edilmesi gereken önemli bir konudur. Genelde 125°C den daha fazla sıcaklıklarda kullanılan termoelektrik modüllerin verimlerinde düşme ve işlevsel ömründe azalma görülmektedir. Yüksek sıcaklıklarda lehim birleşimleri, termoelektrik materyalin içine hızla yayılarak verimi düşürür. Termoelektrik modüllerde, düşük enerji kaynaklarının ve yüksek performanslı materyallerin kullanılmasıyla 200°C altındaki sıcaklıklarda yüksek verimli termoelektrikler üretilebilir (Dişlitaş 2002).

3.1.4.3 Termoelektrik Generatör Donanımı

TEG'ler kısaca (TEG) olarak adlandırılırlar. Termoelektrik modüller seramik plakalardan oluşan yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkı ile elektriksel DC akım oluştururlar. Şekil 3.24'te görüleceği üzere P tipi ve N tipi yarıiletkenlerin bir araya getirilerek elektriksel olarak seri ve termal olarak paralel bağlanmışlardır.



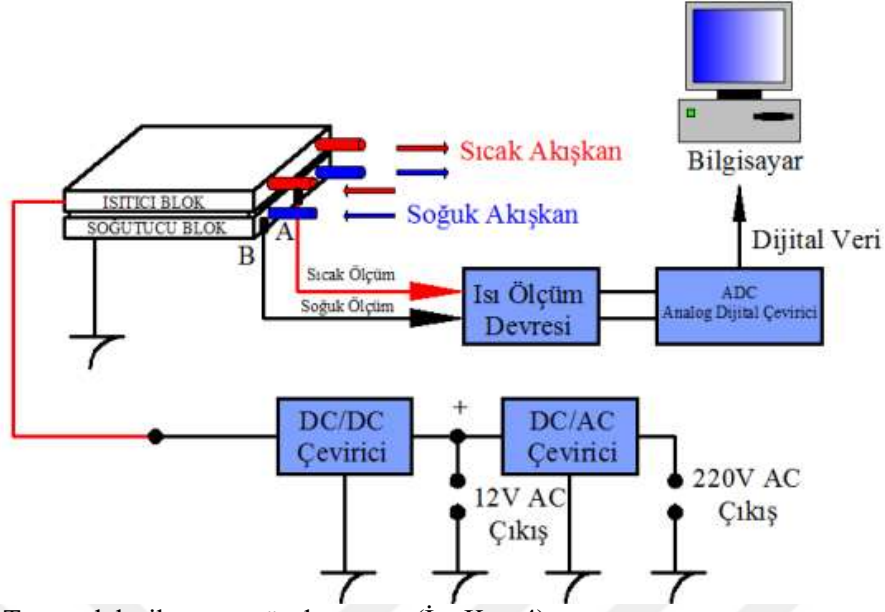
Şekil 3.24 Termoelektrik generatör iç yapısı.

Sonuç olarak termoelektrik modüller bir yüzeyi ısı kaynağıyla ısıtılarak, diğer yüzeyi ortam sıcaklığında veya herhangi bir yöntemle daha soğuk tutulması sayesinde gerilim kaynağı olarak kullanılabilirler.

TEG modüllerinin verimleri %5-%10 arasında olduğundan genel amaçlar için kullanılan elektrik generatörü olarak kullanılamazlar. Ancak kalorimetre uygulamalarında, DC batarya-akü şarj durumlarında, veya sisteme dahil edilen güç elektroniği elemanlarıyla sistemin enerjisine katkı sağlayacak şekilde TEJ modülleri kullanılmaktadır. Bunlara örnek olarak ısı kayıplarının fazla olduğu uzay araçlarının enerji ihtiyaçlarında, motorlu araçların veya petrol ürünleri tüketen motorların ısı kayıpları fazla olan egzoz manifoldu üzerinden geri kazanımla araçlarda ve motorlarda %10 kadar yakıtta tasarruf sağlanabilmekte, sıcak su/yağ telemetri sistemleri, fırın/kazan/kalorifer'lerin zayıf akım gerektiren kontrol elektroniği kartlarında, jeotermal ve güneş enerjisi gibi ısı kayıplarının çok olduğu uygulamalarda kullanılmaktadır. Hatta vücudumuzun yaydığı ısıyı kullanarak kol saatimizin çalışması veya kışın vücudumuzu ısıtan elbiseler üzerinde de çalışılmaktadır.

TEG'ler çevreye herhangi bir zarar verecek kirletici madde üretmemekte ve içermemekte oluşu, düşük sıcaklıklarda kullanılabilmesi ve elektrik üretimi sırasında kayıpların olmaması artı özellikleri arasında sayılabilir.

Yukarıda da bahsedildiği gibi TEG'lerde termal suların bir yerden bir yere taşınması sırasında çevresinde oluşturdukları ısı kayıpları kullanarak da ısı doğrudan elektrik enerjisi elde edilebilmektedir. Bu işlem için ısı iletimi iyi olan içinde sıcak veya soğuk suyun dolaşabileceği ızgara şeklinde iki metal bakır türü kalıpların arasına ısının iyi iletilmesi için termal macunla beraber termoelektrik modüller konularak kalıplardan birinden termal sıcak suyun dolaştırılması diğer kalıptan dolaşıp gelen ısı kaybetmiş ve soğumuş termal su veya yeraltında belli bir sıcaklığın altında borularla taşınan şebeke suyunu dolaştırılması ile termoelektrik modülün seramik yüzeylerinin arasında sıcaklık farkı oluşturulmaktadır. Şekil 3.25'de TEG donanımı görülmektedir.



Şekil 3.25 Termoelektrik generatör donanımı (İnt.Kyn.4).

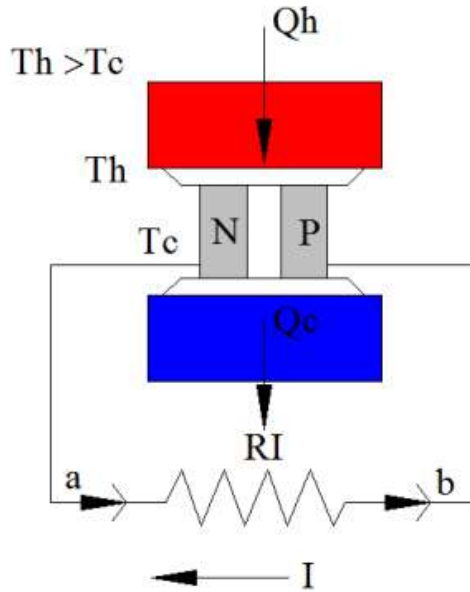
Termoelektrik modüllerin, generatör olarak kullanılmasında dikkat edilmesi gereken konular vardır. Örneğin modülün maksimum sıcaklıkta bozulmadan kalması gerekir. Standart termoelektrik modüllerin çoğu 138 °C’de eriyen Bi/Sb lehimleme ile imal edilirken bazı termoelektrik modüllerde, 200 °C’- 300 °C’ye sıcaklığa dayanabilmesi için tasarlanmış daha yüksek lehimleme teknikleri kullanılmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda lehim birleşimleri termoelektrik modülün içine hızla yayılarak modülün verimini düşürür. Normalde soğutma için tasarlanmış olan termoelektrik modüller nominal sıcaklıklarda en yüksek termoelektrik verimli maddelerden yapılmalarıyla güç üretimi için çok uygundur (Dişlitaş 2002).

Termoelektrik modüllerden maksimum verim elde etmek için termoelektrik modül iç direnci (R_i) ile yükün direnci birbirine eşit olmalıdır. Termoelektrik modüller farklı sıcaklık aralıklarında kullanıldıkları ve iki yüzey arasındaki sıcaklık farkını sürekli sabit tutulamadığı için parametreleri ile ürettikleri gerilimleri sürekli değişim göstermektedir. Ayrıca kalıplardan sıcak soğuk ısı akışı neticesinde, termoelektrik modül uçlarında milivolt seviyesinde oldukça küçük değişken bir potansiyel fark oluşmaktadır. Bu değişken ve düşük voltajı kullanılabilir seviyeye getirmek ancak dışarıdan güç elektroniği devreleri yani dönüştürücüler kullanarak mümkün olmaktadır. Bunun için yükten önce azaltan-artıran DC-DC dönüştürücü kullanarak çıkış gerilimi değişken olan termoelektrik modüllerin çıkış gerilimlerini belirli bir seviyede sabit DC gerilime

yükseltebilir veya alçaltabilir. Termoelektrik modülden maksimum güç çekebilmek için ara devre olarak bağlanan azaltan-artıran DC-DC dönüştürücü maksimum güç çekme özelliğinde olmalıdır. Gerektiğinde bu sabit DC voltaj ile akü, batarya şarj etmekte kullanılabilir. Böylece enerjiyi depolayarak gereksinim duyulan bu depolanan enerji hem DC hem de DC-AC dönüştürücüler ile AC olarak da kullanılabilir. Azaltan-artıran DC-DC dönüştürücü ile sabit DC'ye çevirilen bu enerjiyi akü veya batarya ile depolamadan ve verim kaybını da azaltarak, direk DC-AC dönüştürücüler ile AC'ye çevirerek günlük hayatta kullanılan 220 V AC gerilim de elde edilebilmektedir.

3.1.4.4 Termoelektrik Modülde Güç Üretim Hesaplamaları

Termoelektrik modül iç yapısını mikromodül ve termoçift oluşturmaktadır. Şekil 3.26'da mikromodülün yüzeylerinin birine T_h (T_1) diğerine T_c (T_2) ve $T_h > T_c$ olmak üzere farklı sıcaklıklar uygulanmaktadır (Dişlitaş 2002, Baş 2014).



Şekil 3.26 Tek bir termoelektrik mikromodül (Dişlitaş 2002).

Mikromodülde, yük (R_L) olmadan a ve b noktaları arasındaki ölçülen açık devre gerilimi;

$$V = \alpha \cdot \Delta T \quad (3.35)$$

$$\Delta T = T_h - T_c \quad (3.36)$$

ΔT : °C biriminde mikromodül üzerindeki sıcaklık farkıdır.

Termoelektrik mikromodüle R_L yükü bağlandığında yükten geçen akım;

$$I = \frac{\alpha_m \cdot \Delta T}{R_i + R_L} \quad (3.37)$$

I : Generatör çıkış akımı (A),

R_i : Termoelektrik mikromodülün ortalama iç direnci (Ω),

R_L : Yük direnci (Ω)

Termoelektrik mikromodüle toplam ısı girişi (Q_h) girişi :

$$Q_h = \alpha_m \cdot T_h \cdot I - \frac{1}{2} \cdot I^2 \cdot R_i + K_c \cdot \Delta T \quad (3.38)$$

Q_h : Isı girişi (W),

K_c : Termoelektrik mikromodülün ısı iletkenliği (W/°C),

T_h : Termoelektrik mikromodülün sıcak tarafı(°C)

Generatörün verimi(η);

$$\eta = \frac{V \cdot I}{Q_h} \cdot 100\% \quad (3.39)$$

Termoelektrik bir modül bir sıra mikromodülden oluştuğundan, modülle ilgili formül;

$$V_o = \alpha_m \cdot \Delta T = I \cdot (R_m + R_L) \quad (3.40)$$

V_o : Generatör çıkışı (V),

α_m : Modülün ortalama seebeck katsayısı (V/°C),

R_m : Modülün ortalama direnci (Ω)

Ortalama modül sıcaklığı :

$$T_m = \frac{T_h + T_c}{2} \quad (3.41)$$

Modülün güç çıkışı (P_o) (watt olarak)

$$P_o = R_L \cdot \left[\frac{\alpha_m \cdot \Delta T}{R_m + R_L} \right]^2 \quad (3.42)$$

olarak yazılabilir.

Modülün $V/^\circ C$ olarak ortalama Seebeck katsayısı (α_m)

$$\alpha_m = 2 \cdot \alpha \cdot N \quad (3.43)$$

ile, ohm olarak ortalama direnci (R_m),

$$R_m = \left[\frac{2 \cdot \rho \cdot N}{G} \right] \quad (3.44)$$

ile ve $W/^\circ C$ olarak termal iletimi (K_m) de,

$$K_m = 2 \cdot \lambda \cdot N \cdot G \quad (3.45)$$

ile ifade edilebilir. Burada,

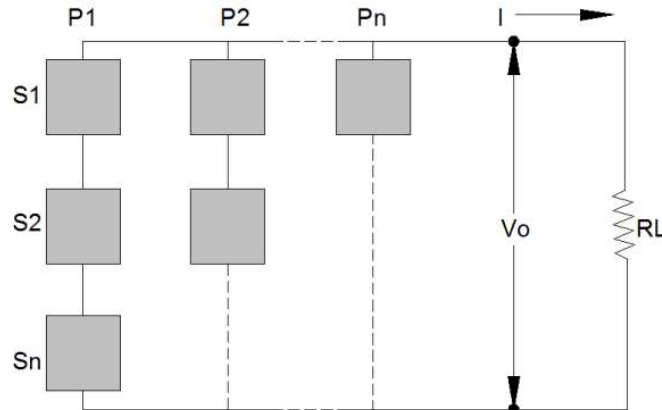
λ : Termal iletkenlik ($W/cm \cdot ^\circ C$),

G : Termoelektrik modülün geometri faktörü (cm),

P : Özdirenç ($\Omega \cdot cm$),

N : Termoelektrik modülde toplam mikromodül çift sayıdır (Dişlitaş 2002, Baş 2014).

Sonuç olarak, termoelektrik modüller tek başlarına istenen akım ve gerilimi yani gücü sağlayamayabilirler. Bu nedenle ihtiyaç durumuna göre TEG'ler elektriksel olarak seri, paralel veya seri/paralel şekilde bağlı mikromodül içermektedir. Bu oluşum Şekil 3.27'de görülmektedir.



Şekil 3.27 Modüllerin Seri-Paralel Düzenlemesiyle Tipik TEG (Dişlitaş 2002, Baş 2014).

Generatörden maksimum verimi elde etmek için yük direnci (R_L) değerinin generatör iç direnci (R_i) değerine eşitlenmesi gerekmektedir.

$$R_i = \frac{N_s + R_m}{N_p} \quad (3.46)$$

ile ifade edilebilir.

N_s : Her paralel kolda seri termoelektrik modül sayısı,

N_p : Seri bağlanmış modüllerle oluşturulan paralel kol sayısı.

3.1.4.5 Termoelektrik Modüllerin Avantajları ve Dezavantajları

Termoelektrik modüller, diğer teknolojilere göre çeşitli avantajlar sunmaktadır:

- Termoelektrik modüllerin hareketli parçaları olmadığı için daha az bakıma ihtiyaç vardır,
- Üretildiği sıcaklıkta kullanılırlarsa 200,000 saat gibi çalışma ömürleri vardır,
- Çevreye zararlı soğutucu malzeme, gaz içermedikleri için çevre dostudurlar,
- Dikey veya yatay her konumda çalışabildikleri gibi hatta yerçekimsiz ortamda bile kullanılabilirler,
- Konvansiyonel soğutmada çok küçük, çok dayanıklı bir rol üstlenirler,
- Termoelektrik modüller, sıcak ve soğuk yüzeyini istenilen zamanda DC güç kaynağı polaritesinin terslenmesiyle değiştirilebilir. Böylece aynı yüzeyi modülü oynatmadan ihtiyaca göre hem soğutma hem ısıtma sağlanabilir,
- Sıcaklık kontrolünü ($\pm 0,1$ °C) hassasiyette yapabilirler,
- Gürültüsüz çalışırlar,
- Az yer kaplamalarından dolayı küçük ortamlarda, parçanın sadece bir bölümünü soğutmada, yüzeylerde ve hassasiyet isteyen yerlerde kullanılabilirler.
- Özel boylarda ve çeşitli standartlarda üretilebilirler.

Dezavantajları;

- Termoelektrik malzemelerde yarıiletken malzeme kısıtlılıkları nedeniyle verimleri düşüktür. (%5-%10 arası),
- Buhar-sıkıştırma sistemleriyle yapılan ısıtma soğutma sistemlere göre performansları oldukça düşüktür,
- İki yüzey arasında ısı farkı oluşmadıkça elektrik üretilemez,

- Maliyetleri fazladır,
- DC akım ile çalışır veya DC akım üretirler, AC akım için dönüştürücü kullanmak gerekir buda kayıp artırır,
- DC gerilim uygulandığında ısınan yüzey fazla ısınarak yapısal bozulma olmaması ve soğuyan yüzeyi etkilememesi için soğutma sistemine ihtiyaç duyar.
- Termoelektrik modüllerin ürettiği DC akım sıcaklık farkını sürekli sabit tutmanın zor olması nedeniyle zamanla değişken DC gerilim üretirler. Bunu sabit ve kullanılabilir gerilim haline getirmek için dönüştürücü kullanmak gerekir.

3.1.4.6 Termoelektrik Modüllerin Uygulama Alanları

Termoelektrik modüller oldukça geniş bir kullanım ve uygulama alanına sahiptir. Bu alanlar; ölçüm, biyo-teknoloji, medikal, endüstriyel, elektronik, endüstri, genel amaçlı kullanım (büyük havalandırma sistemleri, oto, hava araçları, deniz araçları buzdolapları, meşrubat soğutucuları, vs.), büyük ve orta ölçekli soğutma sistemleridir.

3.1.4.7 Termoelektrik Generatörlerin Ekonomik Analizi

Termoelektrik jeneratörlerle ilgili en büyük sorun verimlerinin oldukça düşük olması (%5-%10 arası) dır. Bu, termoelektrik enerji ile elektrik enerjisi üretiminde kısıtlayan bir neden olmaktadır. Ancak günümüzde çevre sorunlarının giderek artması TE elektrik ve güç üretiminde araştırmalarında daha hızlı ilerlemesine neden olmuştur.

Oldukça fazla atık ısı günümüzde boşa gitmektedir. TE enerji düşük ısıda dahi üretilbildiği için ısı kaybının elektriğe arada başka bir sistem olmadan direk dönüştürülmesiyle araştırmacılar umut verici olarak görmektedir.

TE teknolojisinde çevreye verilen atık ısıdan faydalanarak boşa gidecek bir enerjiyi elektrik enerjisine çevirmek düşük veriminin ve maliyetinin bir önemi olmayacaktır. Çünkü sistemin enerji girdisi bedavadır. Böylece önemli olan TE modülün birim güç başına düşen maliyetini modüllerin şekilleri, iki yüzey arasındaki sıcaklık farkının en maksimum seviyede tutmakla azaltılabilir.

3.1.4.8 DC–DC Dönüştürücüler

Sanayinin hızla gelişmesiyle kontrol edilebilen elektrik gücüne olan ihtiyaçta hızla artmıştır. Günümüzde güç elektroniğinde oldukça fazla uygulama alanına sahip olan DC-DC dönüştürücüler, akademik çalışmalarda da yaygın olarak faydalanılmaktadır. Bu projede TEC modüllerinin TEG olarak kullanılmasıyla üretilen akım ve gerilimi Azaltan-Artıran DC-DC dönüştürücü ile kontrol ederek Akü Şarj ünitesinde kullanılması hedeflenmiştir. Bu dönüştürücüden sıcaklığa göre ürettiği gerilim ve akım değeri değışen TEG'lerin çıkışına bağlanarak geniş aralık içinde ayarlanabilen, düzgün ve regüleli bir DC çıkış gerilimi ile yüksek bir verim elde etmek istenmektedir. DC gerilimini belirli bir aralıkta düşürebildikleri ve yükseltebildikleri için bu dönüştürücülere DC transformatörler olarak da kabul edilmektedirler. Bu dönüştürücüler, Anahtarlama ve Rezonanslı DC-DC dönüştürücüler olarak iki ana gruba ayrılır. Fakat DC-DC dönüştürücüler denildiğinde, genellikle anahtarlama dönüştürücüler anlaşılmaktadır.

3.1.4.9 Anahtarlama DC–DC Dönüştürücüler

Bu dönüştürücülerin çoğu PWM yani Darbe Genişlik Modülasyon yöntemiyle kontrol edilmektedirler. Yüksek anahtarlama hızı ve gücü nedeniyle, bu dönüştürücülerin sanayide kullanımları yaygındır. Bu dönüştürücüler DC gerilimini geniş bir bant aralığında düzgün ve regüleli olarak sağlayabilmektedir. Anahtarlama DC-DC dönüştürücüler, kontrollü yarıiletken güç elemanı, yarıiletken güç diyotu ve bir de anahtarlama endüktansı olmak üzere üç temel elemanın farklı şekillerde bağlantısıyla meydana gelir. Anahtarlama DC-DC dönüştürücülerin çalışma prensibi, devrede bulunan anahtarlama güç elemanı ve güç diyotu ile bir anahtarlama periyodu içerisinde genellikle güç anahtarı iletimdeyken, endüktansta biriken enerji güç diyotu iletime geçtiğinde çıkışa aktarılmasıyla anahtarlama endüktansın enerji aktarımı prensibine dayanmaktadır. Anahtarlama DC-DC dönüştürücülerin en sık sınıflandırma İzolasyonlu ve İzolasyonsuz DC-DC dönüştürücülerdir (Ahıska vd. 2012)

3.1.4.10 İzolasyonlu DC–DC Dönüştürücüler

Bu dönüştürücüler,

- a) İleri yönlü (forward) dönüştürücü
- b) Geri dönüşlü (fly-back) dönüştürücü
- c) Push–pull dönüştürücü
- d) Yarım köprü (half-bridge) dönüştürücü
- e) Tam köprü (full-bridge) dönüştürücü (Azaltan (Buck) dönüştürücü, Artıran (Boost) dönüştürücü, Azaltan-Artıran (Buck– Boost) dönüştürücü olarak 5 temel dönüştürücülerden oluşmaktadırlar. Aynı zamanda yarım ve tam köprü dönüştürücüler, izolasyonsuz olarak da yapılmaktadır.

3.1.4.11 İzolasyonsuz Temel DC–DC Dönüştürücüler

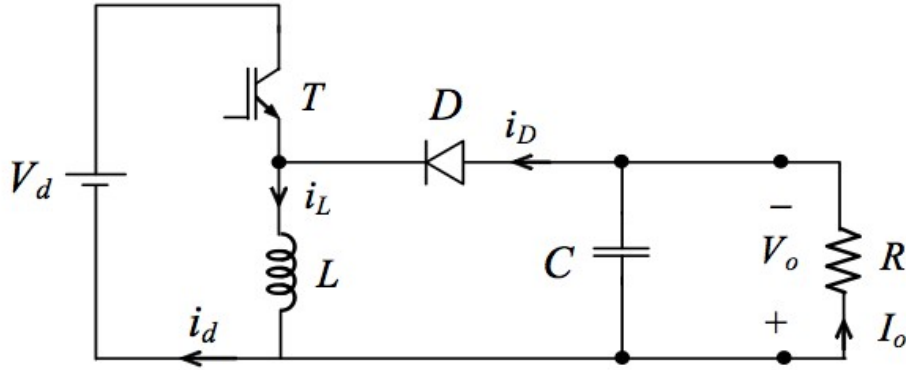
- a) Azaltan (Buck) dönüştürücü
- b) Artıran (Boost) dönüştürücü
- c) Azaltan-Artıran (Buck–Boost) dönüştürücü
- d) Cuk dönüştürücü
- e) Sepic dönüştürücü
- f) Zeta dönüştürücülerdir.

Bu çalışmada Azaltan-Artıran DC-DC dönüştürücü kullanılacağı için onun üzerinde durulacaktır.

3.1.4.12 Azaltan-Artıran DC-DC Dönüştürücü

Azaltan-artıran dönüştürücüler, DC güç kaynaklarının regülasyonunda, giriş voltajının ortak terminaline göre çıkışın negatif kutuplu olması istenildiğinde ve çıkış voltajının, giriş voltajından daha az veya daha fazla olabileceği yerlerde yaygın bir biçimde kullanılır. Bu tip bir dönüştürücü, azaltan (Buck) ve artıran (Boost) tip iki dönüştürücünün ard arda bağlanmasıyla elde edilebilir. Kararlı halde çıkış-giriş voltaj dönüşüm oranı; ard arda bağlanan dönüştürücülerin dönüşüm oranlarının çarpımıdır. Şekil 3.28’de güç anahtarının iletim süresi kısa tutulduğunda bobinin üzerinde tuttuğu enerji düşük olduğundan devre alçaltıcı olarak çalışacaktır anahtarların iletim süresi

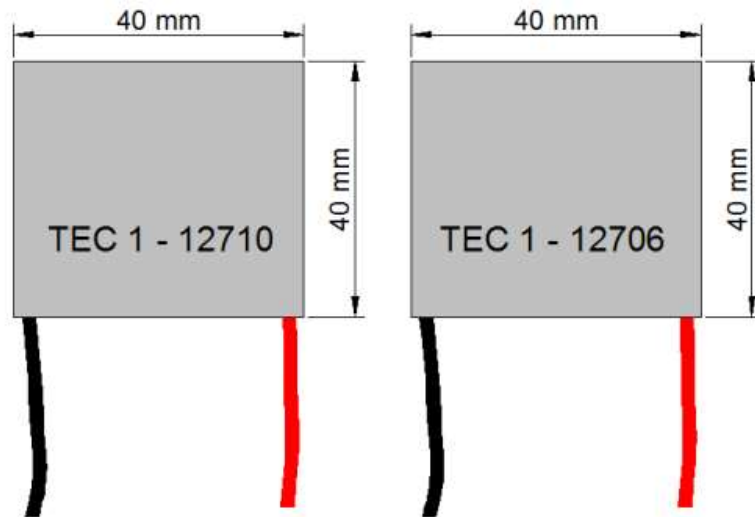
uzun tutulduğunda bobin daha çok yüklenecek ve kondansatör üzerindeki gerilim V_d giriş gerilimine eşitlenerek anahtarlamayla bobin üzerindeki sıçrama gerilimleri kondansatör V_c geriliminden daha yüksek değerlere ulaşacaktır. Böylece giriş gerilimi bir bant aralığında değişken darbeleri olsa dahi azaltan-artıran DC-DC dönüştürücü ile V_o çıkış gerilimi sabit darbesiz bir değerde olacaktır (Can 2010).



Şekil 3.28 Azaltan-Artıran Dönüştürücü elektrik devre şeması.

3.1.5 Termoelektrik Soğutucular

Sistemde ısı farkından enerji üretmek için Şekil 3.29’da görüldüğü gibi TEC1-12706 ve TEC1-12710 kodlu iki farklı termoelektrik soğutucu modülün ısı transferi yapacak bakır malzemeler kullanılarak, karşılaştırılmaları hedeflenmektedir.



Şekil 3.29 TEC1-12706 ve TEC1-12710 peltier modülleri.

TEC1-12710 Performans Özellikleri			TEC1-12706 Performans Özellikleri		
Sıcak Taraf Sıcaklığı (°C)	25°C	50°C	Sıcak Taraf Sıcaklığı (°C)	25°C	50°C
Qmax (Watt)	85	96	Qmax (Watt)	50	57
ΔT_{max} (°C)	66	75	ΔT_{max} (°C)	66	75
I _{max} (Amper)	10,5	10,5	I _{max} (Amper)	6,4	6,4
V _{max} (Volt)	15,2	17,4	V _{max} (Volt)	14,4	16,4
Modul Direnci (Ohm)	1,08	1,24	Modul Direnci (Ohm)	1,98	2,30

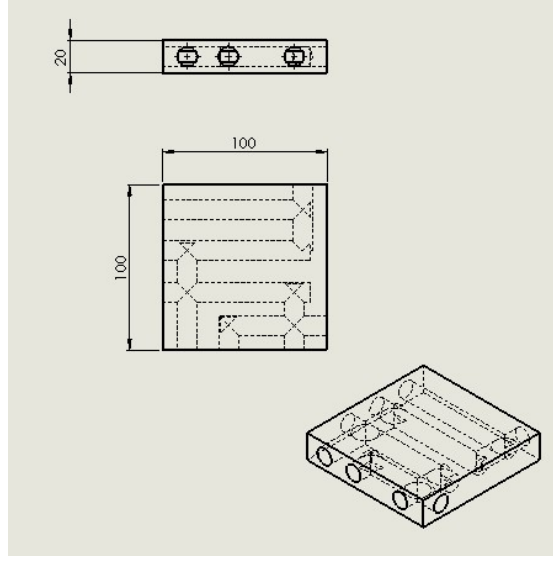
Şekil 3.30 TEC1-12706 ve TEC1-12710 peltier modüllerin performans özellikleri.

3.1.6 Termoelektrik Modüle Isı Transfer Edece Plaka Tasarımı

Yukarıda bahsedilen hedef doğrultusunda deney düzeneği kurulmuştur. İlk olarak sıcak ve soğuk suyun geçişini sağlayacak malzemelerin tasarımları gerçekleştirilmiştir.

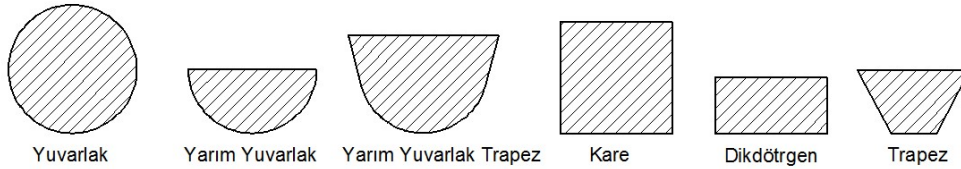
TEG'lerle elektrik enerjisi üretilmesinin deneysel olarak gerçekleştirilebilmesi için sıcak ve soğuk suların dolaştırıldığı plakaların ısıyı en etkili iletme şeklinde tasarlanması gerekmektedir. Tasarlanan iki plaka arasında TEJ'ler yerleştirilerek elektrik enerjisi elde edilmektedir. Bu durumda plakaların ısıyı yayma ve iletme durumları üretilen elektrik enerjisini artıracaktır.

Bu tezde Gökhan Yalçın ve arkadaşları tarafından daha önce yapılan bu çalışma uygulanarak, Şekil 3.31'de görüldüğü 100x100x20mm ebatlarında bir plaka tasarlanmıştır. Plakaların boyutlarının belirlenmesi kesici ucun standartları ($\varnothing 11,5$ mm, boy 90mm ve yarım parmak bağlantı elemanları) dikkate alınarak, parça yekpare olacak şekilde ve parça içerisinde olacak olan akışkanın maksimum şekilde dolanarak (yol olarak) tasarlanmıştır (Yalçın vd. 2016).



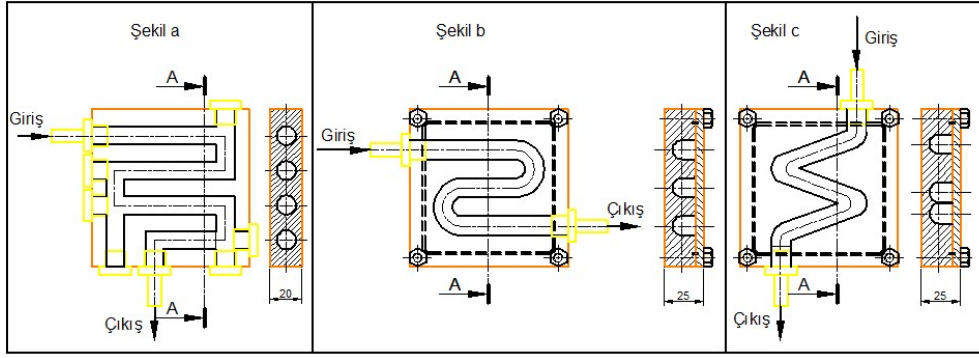
Şekil 3.31 Tasarlanan plakaların görünüşleri (Yalçın vd. 2016).

Şekil 3.32’de parçanın yekpare olabilmesi için işlenebilirliği dikkate alınırsa sadece yuvarlak kesitli olması mümkündür. Diğer kesitli parçaların işlenebilmesi iki ayrı plaka arasında olabilmektedir. İki ayrı parça kullanılmadan ısı dağılımının daha rijit ve eşit olması da dikkate alınmıştır. Ayrıca akışkanın parçalar arasında sızıntısını önlemek ve aralarında kullanılacak olan contanın sızdırmazlığı sorun teşkil edebileceği de dikkate alınmıştır (Yalçın vd. 2016).



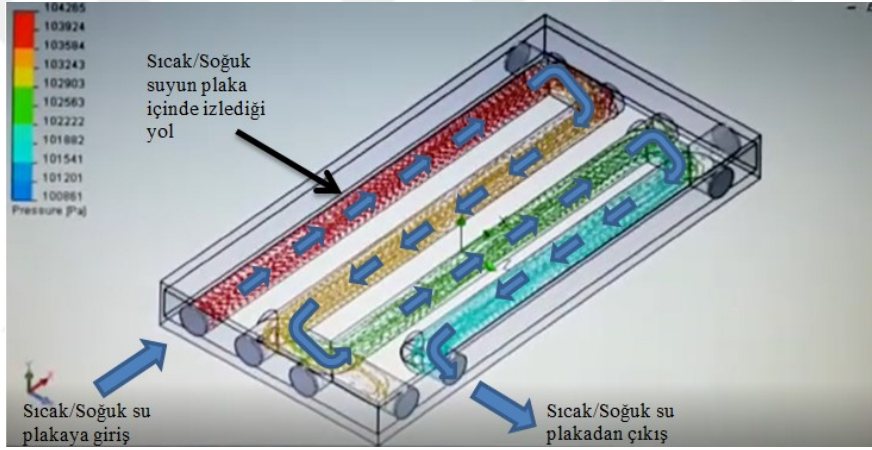
Şekil 3.32 İş parçası üzerinde açılacak akışkan yol kesitleri (Yalçın vd. 2016).

Üretimi yapılabilecek parçaların tasarımları, en az ısı kaybı olacak şekilde ve parça boyutları (100x100 mm) sabit kalmak koşuluyla, parça içerisinde akışkanın dolacağı hacim dikkate alınarak, Şekil 3.33’de “şekil a” tercih edilmiş ve üretimi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.33 Farklı plaka tasarım çizimleri (Yalçın vd. 2016).

Sıcak ve soğuk suyun parçalar içindeki dolaşımı Şekil 3.34’de görüldüğü gibi olmaktadır.



Şekil 3.34 Sıcak ve soğuk suyun parçalar içindeki dolaşımı.

Şekil 3.33-a’deki gerçekleştirilen tasarımın bakır (Şekil 3.35) plakalara uygulanmıştır.

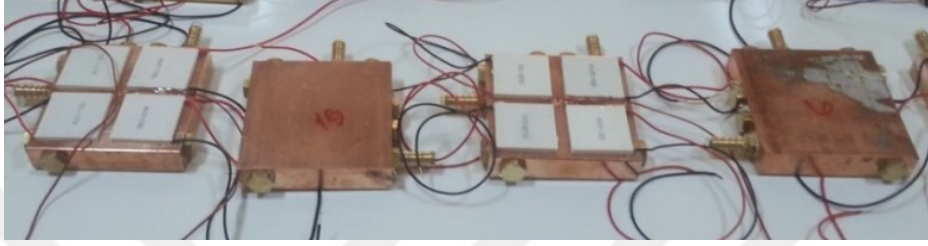


Şekil 3.35 Bakır malzemeden tasarlanan plakanın görüntüsü.

3.2 Metod

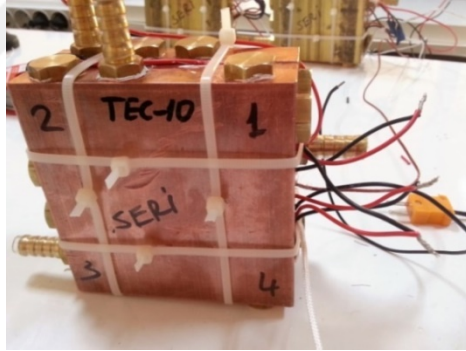
3.2.1 Termoelektrik Modüllerin Yerleştirilmesi

Bu plakalar üzerine yukarıda bahsedilen iki çeşit TEC1-12710 ve TEC1-12706 kodlu TEC ve bu plakaların sıcaklığını ölçmek için her birinin yüzeyinde termokupul sıcaklık sensörü bakır (Şekil 3.36) daki gibi yerleştirilmiştir.

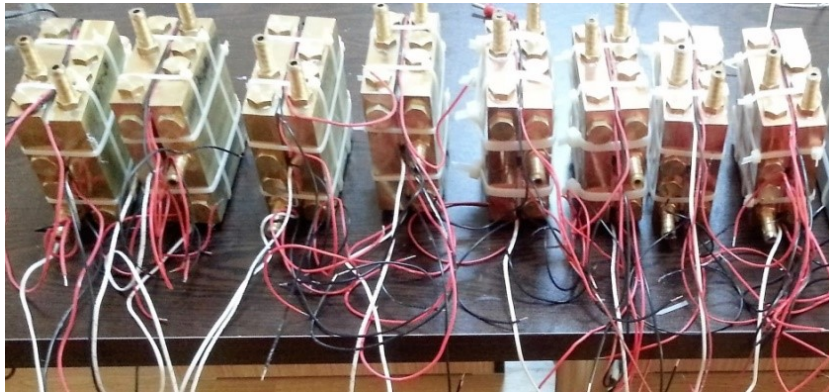


Şekil 3.36 Bakır malzemenin üstüne yerleştirilmiş TEC modüllerin görüntüsü.

Daha sonra aynı tür plakalar ikişer ikişer birleştirilerek bloklar Şekil 3.37-3.38'de görüldüğü gibi oluşturulmuştur.



Şekil 3.37 İki bakır plakanın birleştirilerek blok oluşturma görüntüsü.



Şekil 3.38 İkişer TEC1-12706 diğer ikisi TEC1-12710 Termoelektrik Modüllerin yerleştirilerek oluşturulmuş bakır blokların görüntüsü.

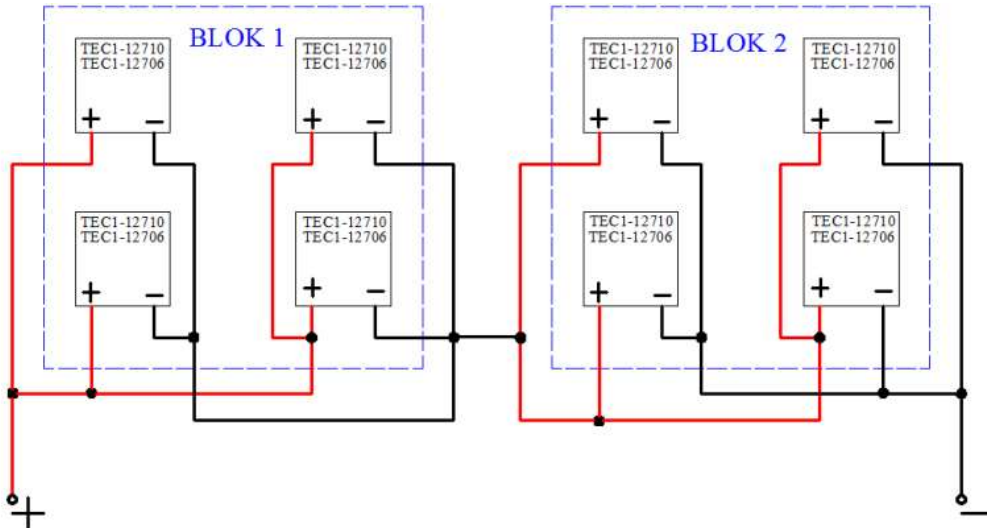
Üç çeşit malzemenin termoelektrik modüllerin yüzeylerine ısı dağılımının iyi olması için TEC'lerin her iki yüzeyine de plakalara yerleştirilmeden önce Şekil 3.39'daki termal macun sürülmüştür.



Şekil 3.39 TEC'lerin yüzeyinde kullanılan termal macun.

3.2.2 Termoelektrik Modüllerin Elektrik Bağlantıları

TEC'lerin TEG olarak tek başına ürettikleri güç çoğunlukla alıcıları yeterli gelmediği için bu blokların arasına yerleştirilen TEC'lerden en iyi verimi ve gücü alabilmek amacıyla hem aynı blok içindeki TEC'lerin kendi aralarındaki bağlantıları hem de aynı tür TEM'lerin oluşturduğu iki blok arasında bağlantı türü aşağıdaki şekilde yapılmıştır. Böylece en verimli bağlantı yöntemiyle TEM'ler TEG olarak kullanılmışlardır. Bu bağlantı türü Şekil 3.40'da verileri ise Çizelge 3.2'de görülmektedir.



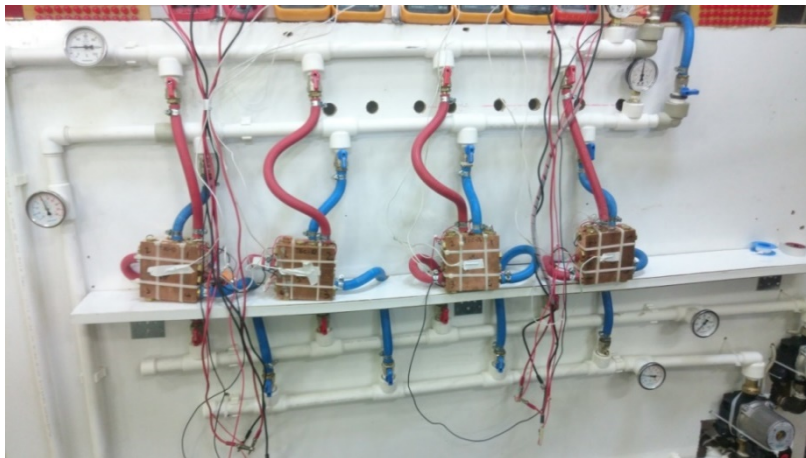
Şekil 3.40 TEC1-12706 ve TEC1-12710' aynı bloktaki termoelektrik modüllerin birbirine paralel ve iki bloktaki termoelektrik modül grupları birbirine seri bağlantı görüntüsü.

Çizelge 3.2 Şekil 3.40 daki bağlantı şeklinin veri çizelgesi.

	SICAKLIK	YÜKSÜZ	YÜKLÜ (25 Ω)	
	FARKI ΔT -($^{\circ}$ C)	Gerilim (V)	Gerilim (V)	Akım (A)
TEC1-12706	62 $^{\circ}$ C	4,29	1,34	0,36
TEC1-12710		3,1	1,83	0,51

3.2.3 Blokların Sisteme Bağlantısı

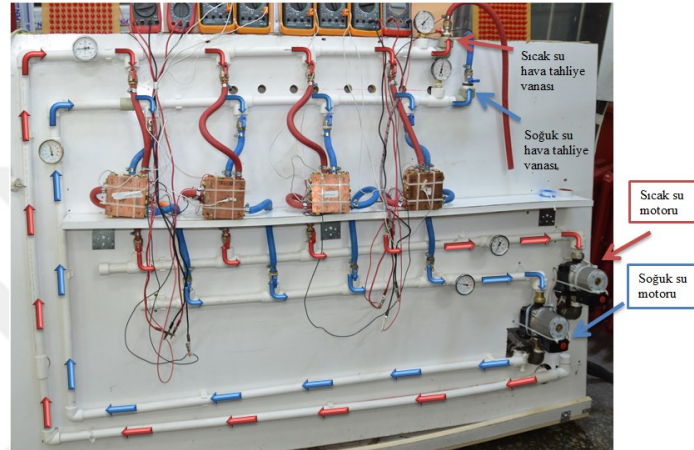
Yapılan deneylerde aynı sıcak ve soğuk su dolaşımında, bakır plakalara termoelektrik modüller 8'er adet bağlanarak ürettikleri gerilim, akım ve güç değerleri karşılaştırılmıştır. Hem akım hemde gerilim olarak en iyi değerleri Şekil 3.40'daki bağlantı şekli vermiştir. Çizelge 3.2'de bu bağlantı şeklinden alınan veriler görülmektedir. Yapılan bu ön çalışma da Şekil 3.40'deki bağlantı şekliyle TEC1-12706 termoelektrik modül $\Delta T= 62^{\circ}$ C sıcaklık farkında yüksüzken 4,29 V DC gerilim, 1 Ω 'luk 4 direnci paralel bağlanarak elde edilen 0,25 Ω luk yükte yüklüken ise 1,34 V DC gerilimle 0,36 A akım üretmiştir. Aynı şartlarda TEC1-12710 termoelektrik modül $\Delta T= 62^{\circ}$ C sıcaklık farkında yüksüzken 3,1 V DC gerilim, yüklüken ise 1,83 V DC gerilimle 0,51 A akım elde edilmiştir. Bu bulgular sonucu iki plaka arasına yerleştirilen TEC1-12706 ve TEC1-12710 termoelektrik modülleri Şekil 3.40'daki gibi elektriksel bağlantıları yaparak aynı tür iki plakanın birleştirilmesiyle bakır bloklar oluşturulmuştur. Oluşturulan bloklardaki plakaların birinden sıcak su geçirilirken diğerinden soğuksu geçirilerek termoelektrik modüllerden enerji elde edildi. Blokların deney düzeneğine bağlantısı Şekil 3.41'de görülmektedir.



Şekil 3.41 Bakır plakaların oluşturduğu blokların bağlantı görüntüsü.

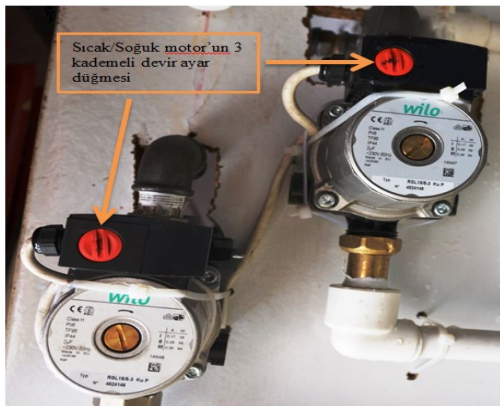
3.2.4 Deney Düzeneginde Sıcak ve Soğuk Suyun Kapalı Sistem Tasarımı

Deney düzeneginde, sıcak ve soğuk suyun dolaşması için iki ayrı birbirinden bağımsız kapalı sistem tasarlanmıştır. Bu sistemlerin görüntüsü Şekil 3.42’de görülmektedir. Burada kırmızı oklarla gösterilen boru sistemi sıcak suyun kapalı sistemini ve suyun akış yönünü, mavi oklarla gösterilen boru sistemi ise soğuk suyun kapalı sistemini ve suyun akış yönünü göstermektedir.



Şekil 3.42 Sıcak ve soğuk suyun sistemdeki dolaşım görüntüsü.

Sıcak ve soğuk suyu Şekil 3.43’te görüldüğü gibi iki ayrı WİLO marka RSL 15/5-3 ku model 84 W’lık kombi motoruyla sistemin içerisinde dolaşmaları sağlanmıştır. Kullanılan motorda 1. , 2. ve 3. kademeler mevcuttur. Her kademedeki motorun gücü ve kapalı sistemdeki suyu dolaştırma hızı artmaktadır.

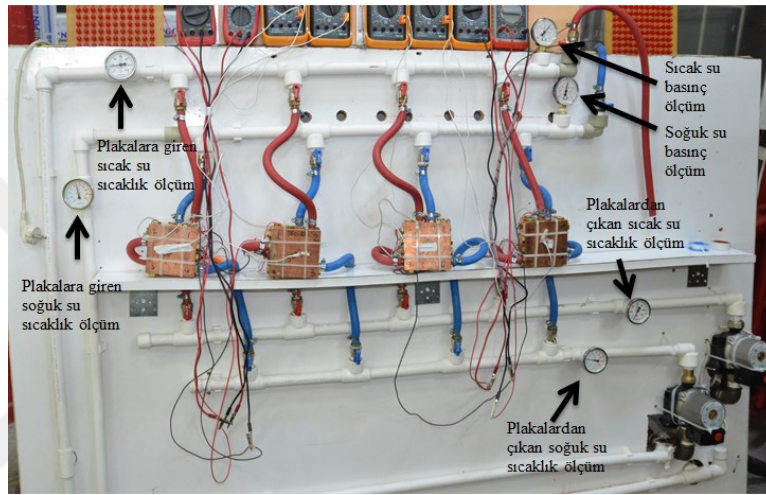


Şekil 3.43 Sıcak ve soğuk suyun sistemdeki dolaşımını sağlayan motorların görüntüsü ve kademelerine göre güçleri.

WİLO RSL	Akım (A)	Güç (W)
15/5-3 Ku P		
1. KADEME	0,17	38
2. KADEME	0,26	58
3. KADEME	0,36	84

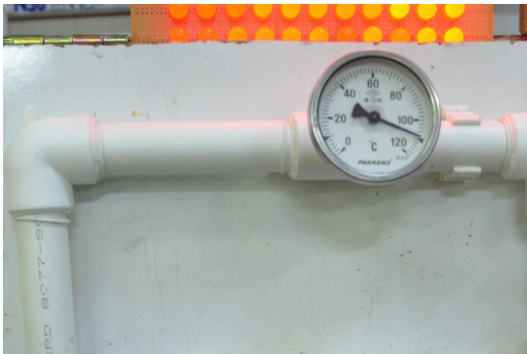
3.2.5 Kapalı Sistemde Kullanılan Sıcaklık-Soğukluk Ve Basınç Ölçü Aletleri

Bu kapalı sistemlerde sıcak ve soğuk taraflara dışarıdan su basılarak sistemin basıncı 1-2,5 ve 3,5 barlarda çeşitli deneyler yapılmıştır. Sistemde plakalara giren sıcak/soğuk suyun ve plakalardan çıkan sıcak/soğuk suyun ısıları ölçülmektedir. Ayrıca sistemin basıncıda sürekli ölçülmektedir. Bu ölçümlerde analog ölçü aletleri kullanılarak Şekil 3.44'de görüldüğü üzere konumlandırılmıştır. Şekil 3.44'de sistemin sıcaklık ve basınç ölçümlerinin yapıldığı ölçü aletleri gösterilmektedir.



Şekil 3.44 Sıcak/Soğuk su sıcaklık, basınç ölçüm sisteminin görüntüsü.

Sıcak ve soğuk suyun dolaştığı kapalı sistemin sıcaklık ölçümü için kullanılan analog sıcaklık sensörü ölçü aleti Şekil 3.45-a ve 3.45-b'de görülmektedir.



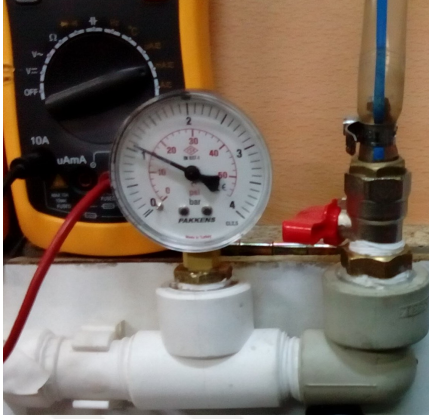
(a)



(b)

Şekil 3.45 (a) Sıcak su sıcaklık ölçüm sisteminin (b) Soğuk su sıcaklık ölçüm sisteminin görüntüsü.

Sıcak ve soğuk suyun dolaştığı kapalı sistemin basınç ölçümü için kullanılan analog basınç sensör ölçü aleti Şekil 3.46'da görülmektedir.



(a)



(b)

Şekil 3.46 (a) Sıcak su basınç ölçüm (b) Soğuk su basınç ölçüm sisteminin görüntüsü.

3.2.6 Deney Düzenegindeki Suyun Isıtma ve Soğutma Sistemleri

Sistemde sıcak su iki eşanjörün birbirine seri bağlanmasıyla iki ısıtıcı kaynaktan yararlanılmıştır. Böylece sistemdeki sıcak suyun ısı hızla yükseltilebilmiştir. Sisteme basılan şebeke suyunun ise hem kullanılan termoelektrik modüllerin 3,8 mm gibi ince olmalarından dolayı sıcak plakadan aldığı ısıyı iletmemesi hemde iki plakanın birbirine yakınlığından dolayı soğuk suyun sıcaklığının sıcak suyun ısından etkilenerek artmaması ve birazda ısıyı düşürebilmek için pervaneli eşanjör kullanılmıştır. Böylece hava yoluyla sıcaklık belirli bir soğuklukta tutulmuştur. Bu sistemde suyu ısıtma ve soğutma için kullanılan yapılar Şekil 3.47 ve Şekil 3.48'de görülmektedir.



Şekil 3.47 Soğutma sisteminin önden arkadan ve yandan görüntüsü.



Şekil 3.48 Isıtma sisteminin görüntüsü.

3.2.7 Genleşme Tankları

Kapalı sıcak ve soğuk su sistemine ayrı ayrı iki adet genleşme tankı bağlanmıştır. Böylece sistem çalışırken küçük su kaçaqları olsa dahi eksilen su tanklardan takviye edilerek, su basıncının aynı değerde tutulması sağlanmıştır. Şekil 3.49'da genleşme tankları görülmektedir.



Şekil 3.49 Sistemdeki genleşme tanklarının görüntüsü.

3.2.8 Ölçüm ve Aydınlatma

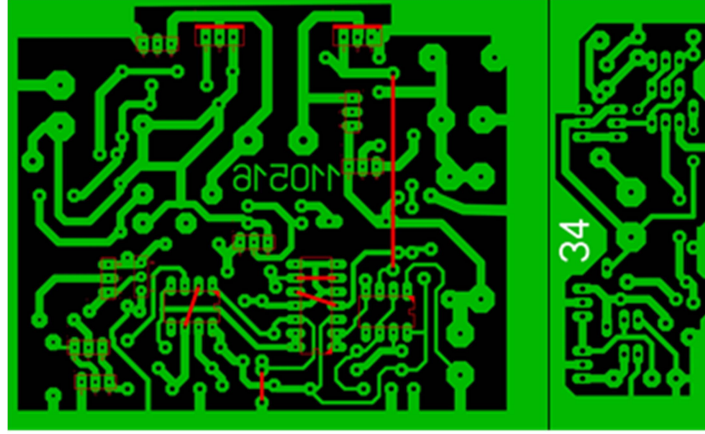
Deneylerde gerek plakalar üzerindeki sıcaklık-soğukluk ölçümlerinde gerekse termoelektrik modüllerin ürettiği gerilim ve akımların ölçümlerinde MY-64 dijital multimetre ölçü aletleri kullanılmıştır. Ayrıca termoelektrik modüllerin çıkışına ise yük olarak 10 mm'lik 121 adet kırmızı led birbirine paralel olarak bağlanmıştır. Şekil 3.50'de bu ölçü aletleri ve yük olarak bağlanan ledler görülmektedir.



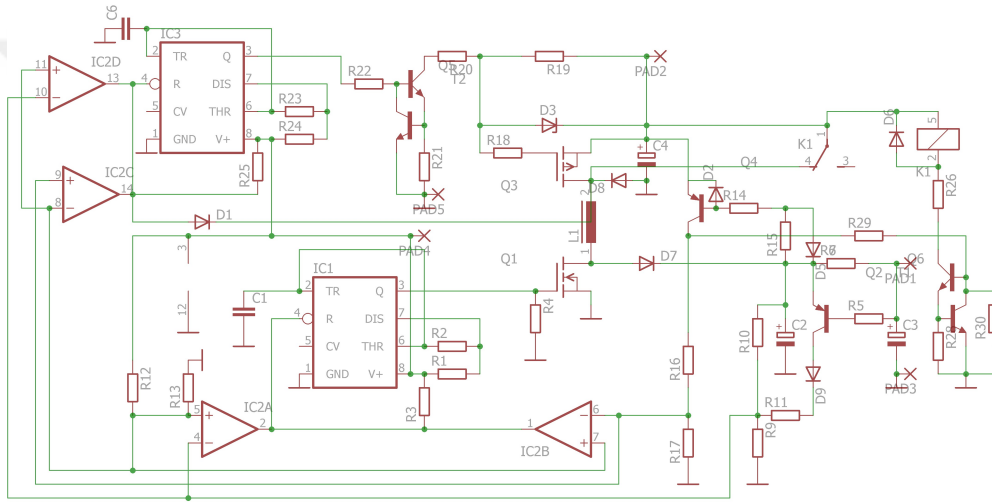
Şekil 3.50 Ölçü aletlerinin ve yüklerin bağlantı görüntüsü.

3.2.9 Azaltan-Artıran DC-DC Dönüştürücü

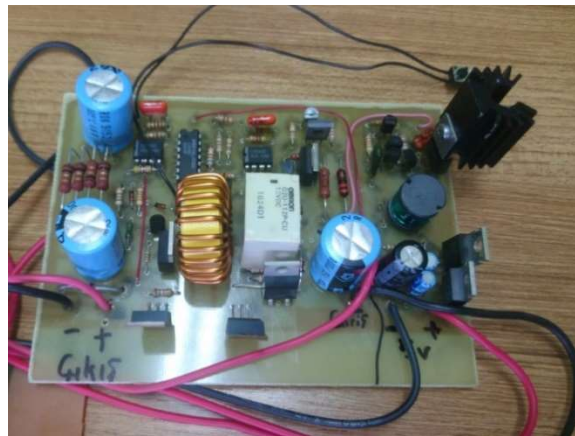
TEG'lerin çıkışlarındaki gerilim, akım ve güç değerleri yüzeylerindeki sıcaklık farkıyla değişkenlik göstermektedir. TEG'lerle üretilen bu enerjiyi depolamak için akü şarj etme sistemleri gibi sistemlerde sürekli sabit DC gerilim ihtiyacı duyulmaktadır. Bu yüzden en iyi verim alınan deneyin çıkışına 20 W gücünde Azaltan-Artıran DC-DC dönüştürücü bağlayarak çıkışından sabit ve yüksek gerilim elde edilmiştir. Kullanılan Azaltan-Artıran DC-DC dönüştürücü tasarım şekilleri Şekil: 3.51-3.52-3.53 ve 3.54'de görülmektedir.



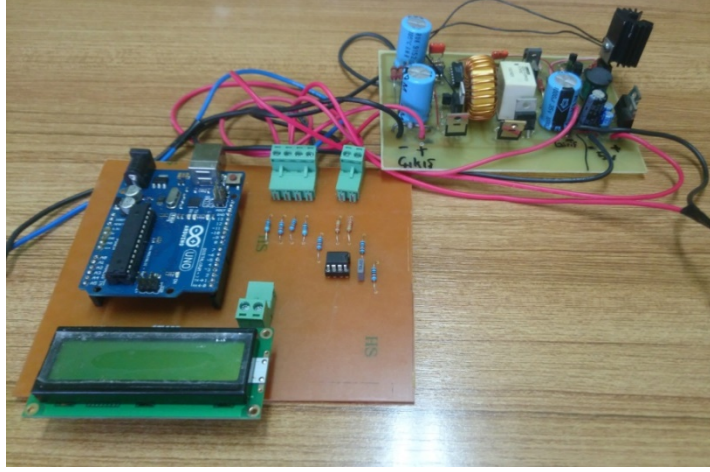
Şekil 3.51 Azaltan-Artıran DC-DC dönüştürücü PCB görüntüsü.



Şekil 3.52 Azaltan-Artıran DC-DC dönüştürücü şematik görüntüsü.



Şekil 3.53 Azaltan-Artıran DC-DC dönüştürücü PCB üzerine montajlanmış görüntüsü.



Şekil 3.54 Azaltan-Artıran DC-DC dönüştürücü ardiona ile bağlantı görüntüsü.

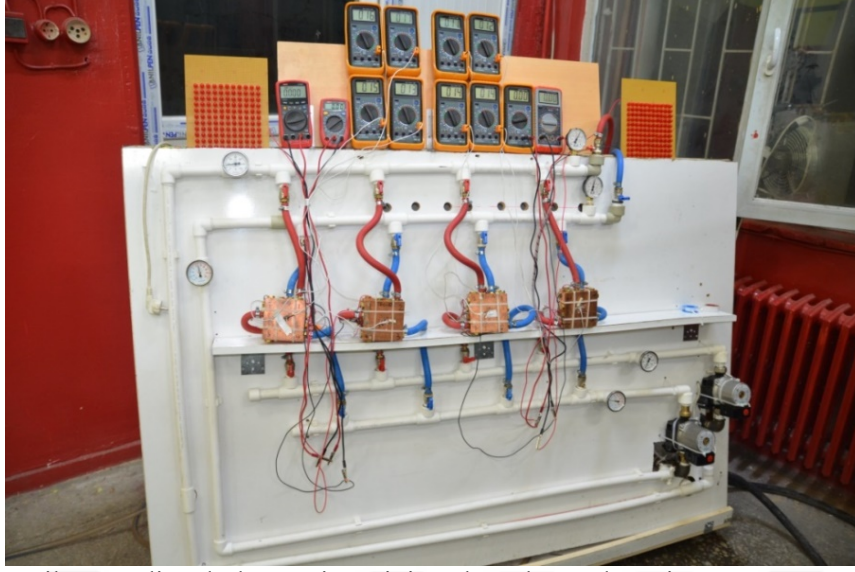


4. BULGULAR

İki çeşit TEC1-12706 ve TEC1-12710 termoelektrik soğutucu'nun her birinde 8'er adet modül, herbirinde 4 adet TEC olacak şekilde bloklar arasına yerleştirilmiştir. Bloklar deney düzeneğine bağlanarak sistem gerçekleştirilmiştir. Sisteme dışarıdan şebeke suyu basılması için bağlantılar yapılmıştır. Kapalı sisteme basılan şebeke suyunun ısıtılması ve soğutulması için gerekli bağlantılar yapılarak kullanıma hazır hale getirilmiştir. Sistem üzerinde dolaşan sıcak ve soğuk suyun sıcaklığı, su plakalara girmeden önce ve plakalardan çıktıktan sonra ayrı ayrı ölçülmüştür. Buradaki ölçümlerde sıcak suyun girişiyle çıkışı arasında 1-2 °C fark olduğu görülmüş sistemin plakalar üzerindeki ısı kaybı oldukça az olmuştur. Termoelektrik modüllerin sıcaklık ölçümleri termokupullarla, çıkış akım ve gerilimleri ölçü aletlerine bağlanarak dakikada bir veriler kayıt edilmiştir. Her deneyden sonra bir sonraki deneye geçmeden sistemdeki sıcak ve soğuk sular şebeke suyunun sıcaklık değerlerine gelene kadar sistem içinde su sirkülasyonu yaptırılarak soğutulmuştur. Sıcak ve soğuk suyun sistemde devir daim etmesi için motorlar, birlikte çalıştırılarak veriler kayda alınmaya başlanmıştır.

Deneyler bakır malzemeden oluşan bloklarla 3 farklı basınç (1-2,5-3,5 bar) değerinde ve su devir daimi için kullanılan motorun 3 farklı debi ayarında olmak üzere 9 adet deney yapılmıştır. Çok değişkenli deneyler yapıldığı için sıcaklık farkları ve plakaların sıcaklığa ulaşma zamanları değişkenlik göstermiştir. Ledlerden oluşturulan aydınlatma yükü tüm deneylerde 1,6 ile 1,7 V arasında akım çekip parlaklık vermeye başlamıştır. Gerilim ve akım değerleri sıcaklık farkı arttıkça orantılı bir şekilde artış göstermektedir. Yapılan deneylerin süresi 30 ile 70 dk arasında değişmektedir. Türkiyedeki jeotermal kaynakların yaklaşık % 85'i 100 °C'nin altında olması ve kapalı devre kalorifer tesisatı sıcaklıkları 30 ile 100 °C arasında değiştiği için yapılan deneylerde de sıcaklık farkı 100 °C'yi geçmemeye özen gösterilmiştir. Deneylerde (T_H) modül sıcak yüzey, (T_C) modül soğuk yüzey, jeotermal enerjiden elde edilen gerilim (V) ve akım (A) değerleri ölçülmüştür.

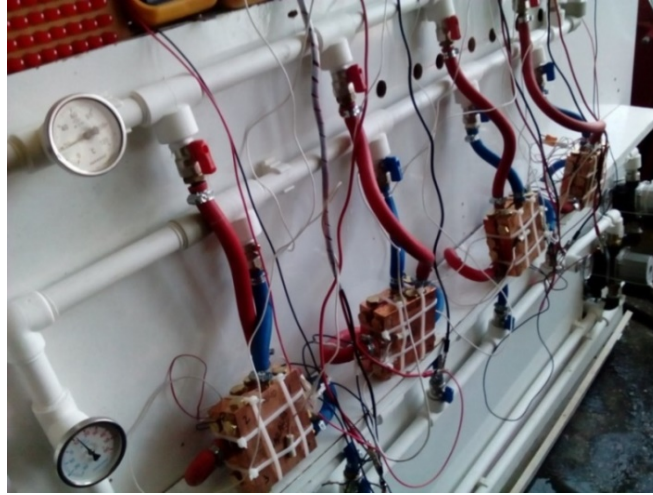
TEJ ile LED'li aydınlatma sisteminin çalıştırılması deneyinin bir örneği Şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1 TEG ile LED'li aydınlatma sisteminin çalıştırılması deneyi.

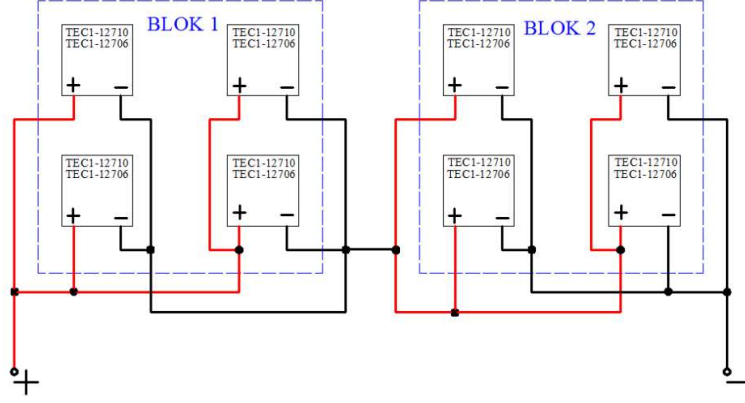
4.1 İkili Plakadan Oluşturulan Bakır Blok Deneyleri

Şekil 4.2'de 2'li bakır plakaların oluşturduğu 4 blok sisteme bağlanmıştır. Blokların iki tanesi TEC1-12710 diğer iki tanesi ise TEC1-12706 termoelektrik modüllerle oluşturulmuştur.



Şekil 4.2 TEC1-12710 ve TEC1-12706 termoelektrik modüllerin 2'li bakır bloklarla sisteme bağlantısı.

Şekil 4.3'te termoelektrik modüllerin daha önceki yapılan çalışmayla tespit edilen elektrik bağlantı şekli görülmektedir.



Şekil 4.3 TEC1-12706 ve TEC1-12710 termoelektrik modüllerin bakır blokların içindeki bağlantı görüntüsü.

4.2 Yapılan Deneylerin Listesi:

- Deney 1 (1 Bar – Motor 1. Kademe)
- Deney 2 (1 Bar – Motor 2. Kademe)
- Deney 3 (1 Bar – Motor 3. Kademe)
- Deney 4 (2,5 Bar – Motor 1. Kademe)
- Deney 5 (2,5 Bar – Motor 2. Kademe)
- Deney 6 (2,5 Bar – Motor 3. Kademe)
- Deney 7 (3,5 Bar – Motor 1. Kademe)
- Deney 8 (3,5 Bar – Motor 2. Kademe)
- Deney 9 (3,5 Bar – Motor 3. Kademe)
- Deney 10 (Azaltan-Artıran DC-DC Dönüştürücü)

4.2.1 Deney 1 (1 Bar – Motor 1. Kademe)

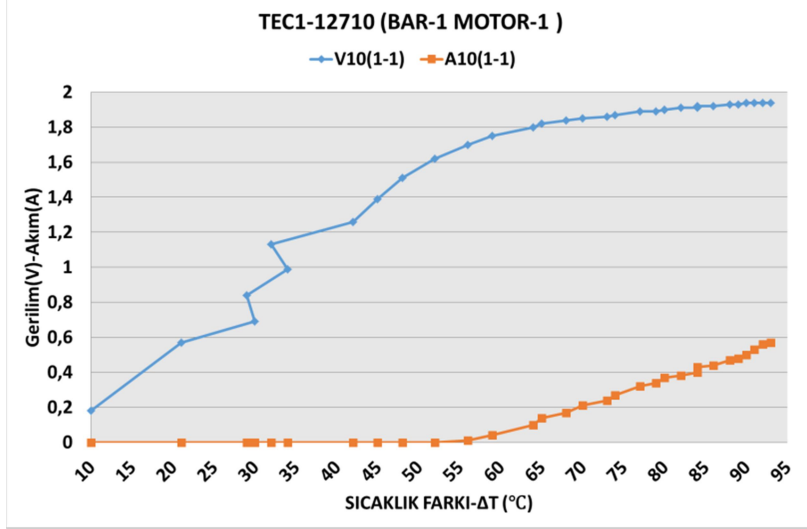
Bu deneyde sistemdeki sıcak ve soğuk su 1 bar basınçta motor 1. kademe çalıştırılmıştır.

Deney 1’de (Çizelge 4.1) TEC1-12710 termoelektrik modüllerin bağlı olduğu sıcak su bloklarındaki sıcaklık ($19^{\circ}\text{C} - 102^{\circ}\text{C}$) arasında değişirken, soğuk su ısısı yaklaşık 9°C dir. Bloklarda maksimum 93°C ’lik sıcaklık farkı oluşmuştur. Şekil 4.4’de görüldüğü gibi yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkıyla orantılı olarak elektrik üreten TEC’ler ($0,18\text{ V} - 1,94\text{ V}$) arası değerlerde gerilim üretirken ($0 - 0,57\text{ A}$) arası akım değerleri

alınmaktadır. Yani TEC1-12710 bağlı bu sistemden maksimum 1,105 W'lık bir güç elde edilebilmiştir.

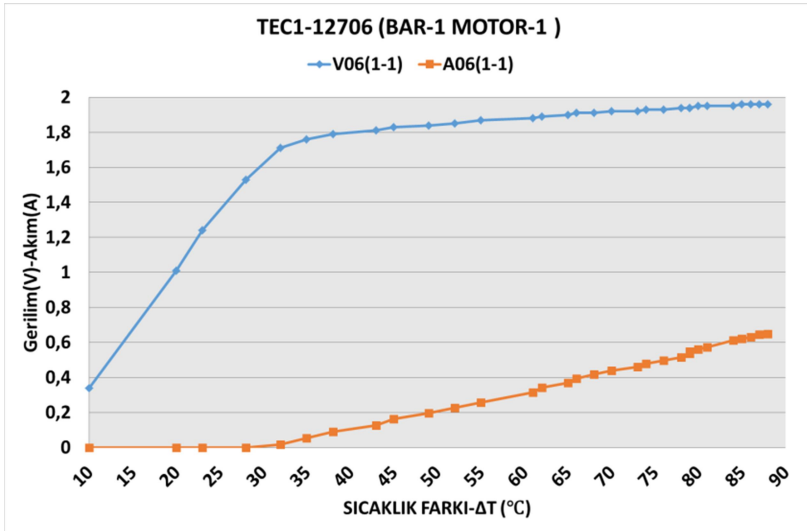
Çizelge 4.1 Deney 1 ölçüm değerleri.

ZAMAN (dk)	BASINÇ SICAK-SOĞUK 1 BAR MOTOR 1. KADEME											
	TEC1-12710						TEC1-12706					
	1.BLOK		2.BLOK		YÜKLÜ		1.BLOK		2.BLOK		YÜKLÜ	
	T _H	T _c	T _H	T _c	V	A	T _H	T _c	T _H	T _c	V	A
0	17	10	19	9	0,180	0	21	11	15	11	0,34	0
1	27	12	30	9	0,570	0	31	11	24	10	1,01	0
2	31	11	39	9	0,690	0	34	11	28	11	1,24	0
3	35	11	38	9	0,840	0	39	11	33	11	1,53	0
4	40	12	43	9	0,990	0	43	11	36	11	1,71	0,017
5	44	12	41	9	1,130	0	46	11	40	11	1,76	0,053
6	48	12	51	9	1,260	0	50	12	43	11	1,79	0,09
7	51	11	54	9	1,390	0	54	11	48	11	1,81	0,126
8	55	12	58	10	1,510	0	57	12	50	12	1,83	0,162
9	58	12	61	9	1,620	0	61	12	53	12	1,84	0,195
10	61	12	65	9	1,700	0,01	64	12	56	12	1,85	0,228
11	64	12	68	9	1,750	0,04	67	12	59	12	1,87	0,257
12	69	12	73	9	1,800	0,1	72	11	64	12	1,88	0,315
13	72	12	75	10	1,820	0,14	74	12	66	12	1,89	0,343
14	74	12	78	10	1,840	0,17	76	11	68	12	1,9	0,369
15	77	12	80	10	1,850	0,21	78	12	70	12	1,91	0,395
16	78	12	82	9	1,860	0,24	80	12	72	12	1,91	0,417
17	80	12	84	10	1,870	0,27	82	12	73	12	1,92	0,439
18	82	12	86	9	1,890	0,32	84	11	75	12	1,92	0,461
19	84	12	88	9	1,890	0,34	86	12	77	13	1,93	0,479
20	85	12	89	9	1,900	0,37	87	11	78	12	1,93	0,497
21	86	12	90	10	1,900	0,36	89	11	79	12	1,94	0,516
22	88	12	92	10	1,910	0,38	91	12	81	13	1,94	0,537
23	89	12	93	9	1,910	0,4	91	12	82	13	1,94	0,548
24	91	12	94	10	1,920	0,43	92	12	83	13	1,95	0,562
25	92	12	96	10	1,920	0,44	93	12	84	13	1,95	0,574
26	94	12	98	10	1,930	0,47	96	11	86	13	1,95	0,599
27	95	12	99	10	1,930	0,48	96	12	86	12	1,95	0,611
28	96	12	100	10	1,940	0,5	97	12	87	12	1,96	0,62
29	97	12	100	10	1,940	0,53	98	12	89	12	1,96	0,629
30	97	12	100	10	1,940	0,53	98	12	89	12	1,96	0,629
31	97	12	101	10	1,940	0,53	99	12	89	13	1,96	0,638
32	98	12	101	9	1,940	0,56	99	12	90	13	1,96	0,646
33	98	12	102	9	1,940	0,57	100	12	90	13	1,96	0,649



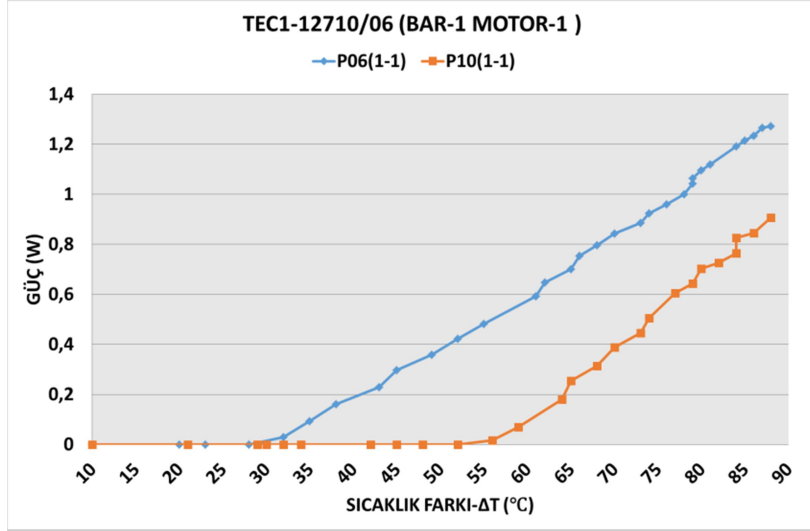
Şekil 4.4 TEC1-12710 Bar 1 Motor 1. Kademe Gerilim (V)-Akım (A) Grafiği.

Çizelge 4.1’de TEC1-12706 termoelektrik modüllerin bağlı olduğu sıcak su bloklarındaki sıcaklık (21°C - 100°C) arasında değişirken, soğuk su ısısı yaklaşık 12°C olmuştur. Bloklarda maksimum 88°C ’lik sıcaklık farkı oluşmuştur. Şekil 4.5’de görüldüğü gibi yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkıyla orantılı olarak elektrik üreten TEC’ler ($0,34\text{ V}$ - $1,96\text{ V}$) arası değerlerde gerilim üretirken (0 - $0,649\text{ A}$) arası akım değerleri alınmıştır.



Şekil 4.5 TEC1-12706 Bar 1 Motor 1. Kademe Gerilim (V)-Akım (A) Grafiği.

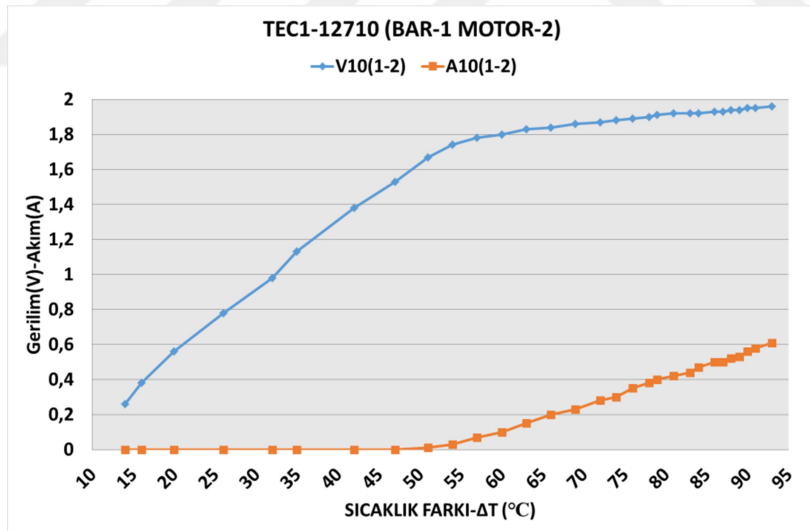
Şekil 4.6’da görüldüğü gibi TEC1-12706 termoelektrik modül bağlı bu sistemde maksimum $1,272\text{ W}$ ’lık bir güç olarak TEC1-12710’a göre daha az sıcaklık farkından daha fazla güç elde edilmiştir.



Şekil 4.6 TEC1-12710/06 Bar 1 Motor 1. Kademe Güç(W) Grafiği.

4.2.2 Deney 2 (1 Bar – Motor 2. Kademe)

Bu deneyde sistemdeki sıcak ve soğuk su 1 bar basınçta, motor 2. kademe çalıştırılmıştır.



Şekil 4.7 TEC1-12710 Bar 1 Motor 2. Kademe Gerilim (V)-Akım (A) Grafiği.

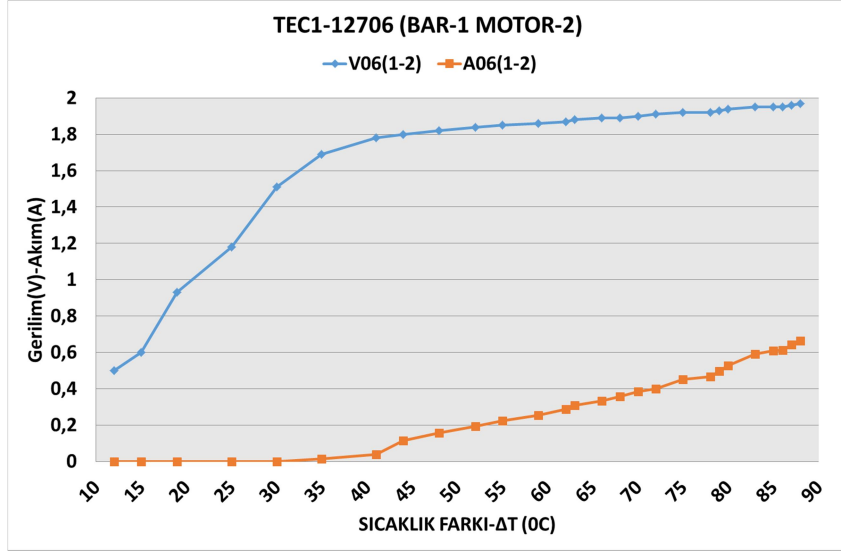
Deney 2’de (Çizelge 4.2) TEC1-12710 termoelektrik modüllerin bağlı olduğu sıcak su bloklarındaki sıcaklık (23 °C - 104 °C) arasında değişirken, soğuk su ısısı yaklaşık 10 °C dir. Bloklarda maksimum 93 °C’lik sıcaklık farkı oluşmuştur. Şekil 4.7’de görüldüğü gibi yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkıyla orantılı olarak elektrik üreten TEC’ler (0,26 V - 1,96 V) arası değerlerde gerilim üretirken (0 - 0,61 A) arası akım değerleri

almaktadır. Yani TEC1-12710 bağı bu sistemden maksimum 1,196 W'lık bir güç elde edilebilmiştir.

Çizelge 4.2 Deney 2 ölçüm değerleri.

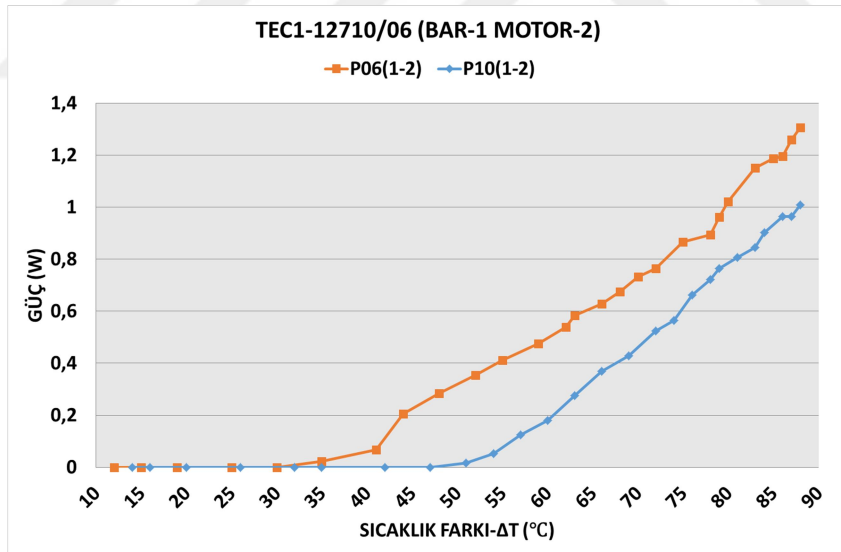
ZAMAN (dk)	BASINÇ SICAK-SOĞUK 1 BAR MOTOR 2. KADEME											
	TEC1-12710						TEC1-12706					
	1.BLOK		2.BLOK		YÜKLÜ		1.BLOK		2.BLOK		YÜKLÜ	
	T _H	T _c	T _H	T _c	V	A	T _H	T _c	T _H	T _c	V	A
0	19	11	23	9	0,260	0	23	11	17	10	0,5	0
1	22	12	25	9	0,380	0	26	11	17	10	0,6	0
2	27	12	29	9	0,560	0	30	11	22	11	0,93	0
3	32	12	35	9	0,780	0	36	11	24	10	1,18	0
4	38	12	41	9	0,980	0	41	11	29	11	1,51	0
5	42	12	45	10	1,130	0	46	11	33	10	1,69	0,013
6	48	12	51	9	1,380	0	52	11	39	11	1,78	0,0375
7	52	12	56	9	1,530	0	56	12	43	11	1,8	0,114
8	56	12	60	9	1,670	0,01	60	12	47	12	1,82	0,156
9	60	11	63	9	1,740	0,03	63	11	50	12	1,84	0,192
10	63	12	67	10	1,780	0,07	66	11	52	12	1,85	0,223
11	66	12	70	10	1,800	0,1	70	11	55	12	1,86	0,255
12	69	12	73	10	1,830	0,15	73	11	58	12	1,87	0,288
13	71	12	76	10	1,840	0,2	75	12	60	12	1,88	0,31
14	74	12	78	9	1,860	0,23	78	12	61	12	1,89	0,332
15	76	12	81	9	1,870	0,28	80	12	63	12	1,89	0,357
16	78	12	83	9	1,880	0,3	82	12	65	12	1,9	0,386
17	80	12	85	9	1,890	0,35	84	12	67	12	1,91	0,4
18	83	12	87	9	1,900	0,38	87	12	72	12	1,92	0,451
19	84	12	88	9	1,910	0,4	90	12	73	12	1,93	0,466
20	86	12	90	9	1,920	0,42	87	12	73	12	1,92	0,466
21	87	12	92	9	1,920	0,44	91	12	76	12	1,93	0,498
22	89	12	93	9	1,920	0,41	92	12	78	13	1,94	0,526
23	91	12	95	9	1,930	0,5	94	11	81	13	1,95	0,567
24	92	12	96	9	1,930	0,5	95	12	86	13	1,95	0,59
25	94	12	97	9	1,940	0,52	97	12	87	13	1,95	0,609
26	94	12	98	9	1,940	0,53	98	12	87	13	1,95	0,613
27	96	12	99	8	1,950	0,56	99	12	89	13	1,96	0,631
28	97	13	100	10	1,950	0,56	99	12	91	14	1,96	0,638
29	98	13	102	11	1,950	0,58	100	13	92	14	1,96	0,643
30	99	14	104	11	1,960	0,61	102	14	94	14	1,97	0,663

Çizelge 4.2'de TEC1-12706 termoelektrik modüllerin bağı olduğu sıcak su bloklarındaki sıcaklık (23 °C - 102 °C) arasında değişirken, soğuk su ısısı yaklaşık 12 °C olmuştur. Bloklarda maksimum 88 °C'lik sıcaklık farkı oluşmuştur. Şekil 4.8'de görüldüğü gibi yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkıyla orantılı olarak elektrik üreten TEC'ler (0,5 V - 1,97 V) arası değerlerde gerilim üretirken (0 - 0,663 A) arası akım değerleri alınmıştır.



Şekil 4.8 TEC1-12706 Bar 1 Motor 2. Kademe Gerilim (V)-Akım (A) Grafiği.

Şekil 4.9’da görüldüğü gibi TEC1-12706 termoelektrik modül bağlı bu sistemde maksimum 1,306 W’lık bir güç alarak TEC1-12710’a göre daha az sıcaklık farkından daha fazla güç elde edilmiştir.



Şekil 4.9 TEC1-12710/06 Bar 1 Motor 2. Kademe Güç(W) Grafiği.

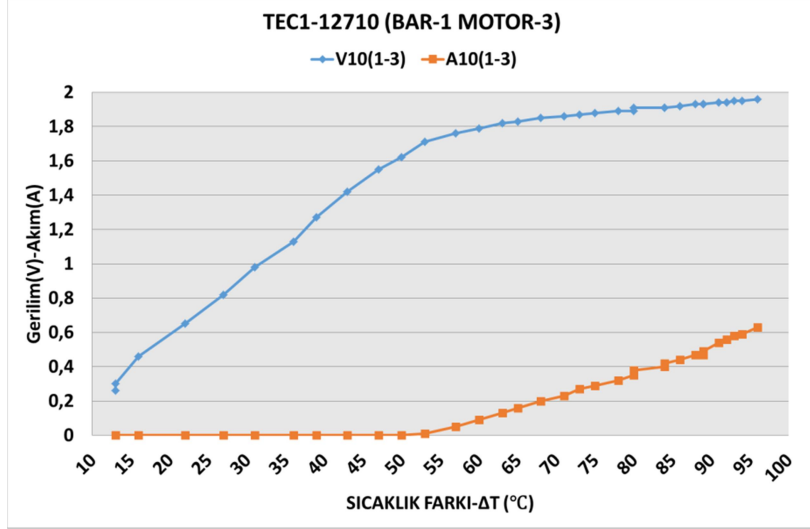
4.2.3 Deney 3 (1 Bar – Motor 3. Kademe)

Bu deneyde sistemdeki sıcak ve soğuk su 1 bar basınçta, motor 3. kademe çalıştırılmıştır.

Çizelge 4.3 Deney 3 ölçüm değerleri.

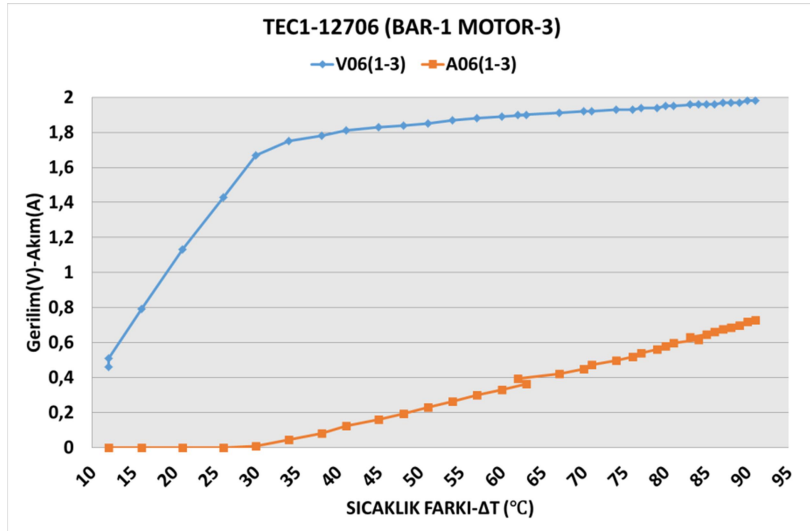
BASINÇ SICAK-SOĞUK 1 BAR MOTOR 3. KADEME												
ZAMAN (dk)	TEC1-12710						TEC1-12706					
	1.BLOK		2.BLOK		YÜKLÜ		1.BLOK		2.BLOK		YÜKLÜ	
	T _H	T _C	T _H	T _C	V	A	T _H	T _C	T _H	T _C	V	A
0	19	10	21	8	0,260	0	22	10	16	9	0,5	0
1	18	10	21	8	0,300	0	23	11	16	10	0,4	0
2	23	10	25	9	0,460	0	27	11	21	10	0,7	0
3	28	11	31	9	0,650	0	32	11	26	10	1,1	0
4	33	11	36	9	0,820	0	37	11	30	11	1,4	0
5	38	11	40	9	0,980	0	41	11	34	10	1,6	0,08
6	42	12	45	9	1,130	0	45	11	39	11	1,7	0,43
7	46	11	48	9	1,270	0	49	11	43	11	1,7	0,82
8	50	12	52	9	1,420	0	52	11	46	11	1,8	0,122
9	53	12	56	9	1,550	0	56	11	50	11	1,8	0,16
10	56	12	59	9	1,620	0	59	11	53	11	1,8	0,194
11	59	11	62	9	1,710	0,0	62	11	56	12	1,8	0,229
12	63	12	66	9	1,760	0,0	65	11	59	12	1,8	0,263
13	66	11	69	9	1,790	0,0	68	11	62	12	1,8	0,298
14	68	12	71	8	1,820	0,1	71	11	64	12	1,8	0,33
15	71	11	74	9	1,830	0,1	74	11	67	12	1,9	0,362
16	74	12	77	9	1,850	0,2	76	14	70	12	1,9	0,395
17	76	11	79	8	1,860	0,2	78	11	72	12	1,9	0,421
18	79	11	82	9	1,870	0,2	81	11	74	13	1,9	0,447
19	81	11	84	9	1,880	0,2	83	12	76	13	1,9	0,473
20	83	11	86	8	1,890	0,3	85	11	78	13	1,9	0,497
21	85	11	88	8	1,890	0,3	87	11	80	13	1,9	0,519
22	87	11	89	9	1,910	0,3	89	12	81	13	1,9	0,54
23	88	11	92	8	1,910	0,4	90	11	83	13	1,9	0,56
24	90	11	93	9	1,910	0,4	92	12	85	13	1,9	0,58
25	91	11	94	8	1,920	0,4	93	12	87	13	1,9	0,596
26	92	11	96	8	1,930	0,4	95	11	88	13	1,9	0,614
27	94	12	97	8	1,930	0,4	95	12	89	13	1,9	0,631
28	96	11	98	9	1,930	0,4	96	11	89	13	1,9	0,645
29	97	11	100	9	1,940	0,5	97	11	90	13	1,9	0,661
30	97	11	100	9	1,940	0,5	99	12	90	13	1,9	0,676
31	98	11	101	9	1,940	0,5	10	12	91	13	1,9	0,686
32	99	11	102	9	1,950	0,5	10	11	92	13	1,9	0,698
33	100	11	103	9	1,950	0,5	10	11	93	14	1,9	0,709
34	101	11	105	9	1,960	0,6	10	12	93	13	1,9	0,718
35	102	11	105	9	1,960	0,6	10	12	94	14	1,9	0,727

Deney 3’de (Çizelge 4.3) TEC1-12710 termoelektrik modüllerin bağlı olduğu sıcak su bloklarındaki sıcaklık ortalama (21 °C - 105 °C) arasında değişirken, soğuk su ısısı yaklaşık 9 °C dir. Bloklarda maksimum 84 °C’lik sıcaklık farkı oluşmuştur. Şekil 4.10’da görüldüğü gibi yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkıyla orantılı olarak elektrik üreten TEC’ler (0,26 V - 1,96 V) arası değerlerde gerilim üretirken (0 - 0,63 A) arası akım değerleri alınarak sistemden maksimum 1,235 W’lık bir güç elde edilmiştir.



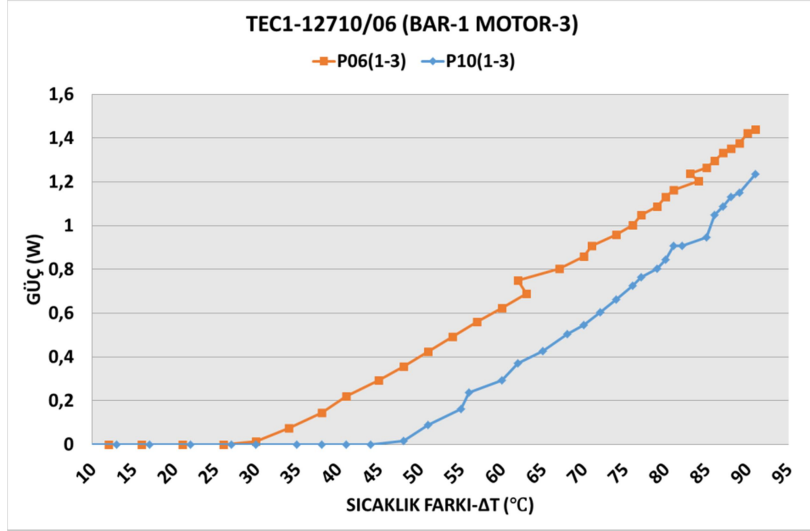
Şekil 4.10 TEC1-12710 Bar 1 Motor 3. Kademe Gerilim (V)-Akım (A) Grafiği.

Çizelge 4.3’de TEC1-12706 termoelektrik modüllerin bağlı olduğu sıcak su bloklarındaki sıcaklık ($22^{\circ}\text{C} - 103^{\circ}\text{C}$) arasında değişirken, soğuk su ısısı yaklaşık 12°C olmuştur. Bloklarda maksimum 91°C ’lik sıcaklık farkı oluşmuştur. Şekil 4.11’de görüldüğü gibi yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkıyla orantılı olarak elektrik üreten TEC’ler ($0,51\text{ V} - 1,98\text{ V}$) arası değerlerde gerilim üretirken ($0 - 0,727\text{ A}$) arası akım değerleri alınmıştır.



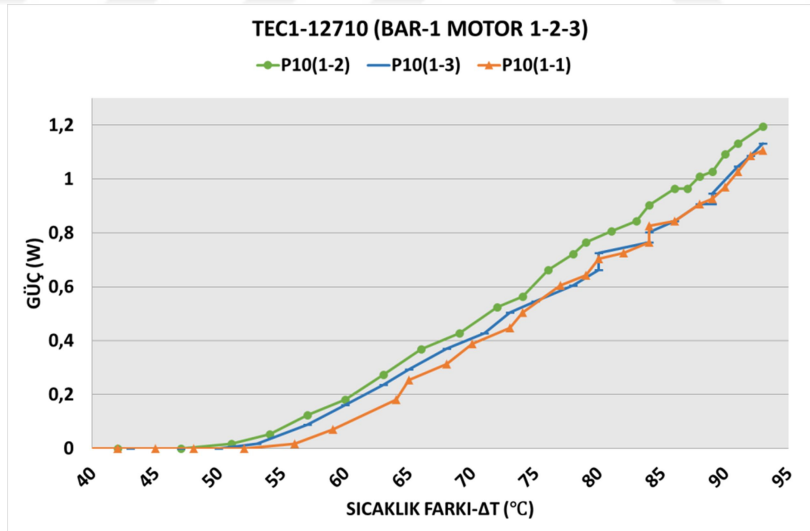
Şekil 4.11 TEC1-12706 Bar 1 Motor 3. Kademe Gerilim (V)-Akım (A) Grafiği.

Şekil 4.12’de görüldüğü gibi TEC1-12706 termoelektrik modül düşük sıcaklıkta güç sağlamış ve bu modül bağlantısından maksimum $1,440\text{ W}$ ’lık bir güç üretmiştir.

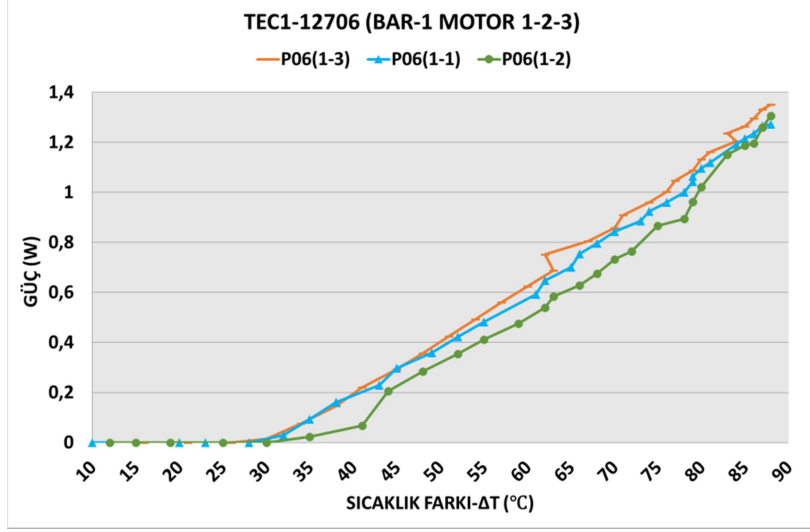


Şekil 4.12 TEC1-12710/06 Bar 1 Motor 3. Kademe Güç(W) Grafiği.

Değerlendirme: Bakırlarla yapılan 1 bar motor (1-2-3) değişken debili deneylerde TEC'lerden elde edilen güç değerleri Şekil 4.13 (a-b)'de görülmektedir. TEC1-12710'da en yüksek güç motor 2. kademedeyken elde edilirken, TEC1-12706 modüllerde en yüksek güç motorun 3. kademesinde elde edilmiştir. TEC1-12710 üç deneyde de TEC1-12706'nın gerisinde kalarak daha az güç üretebilmiştir.



(a)



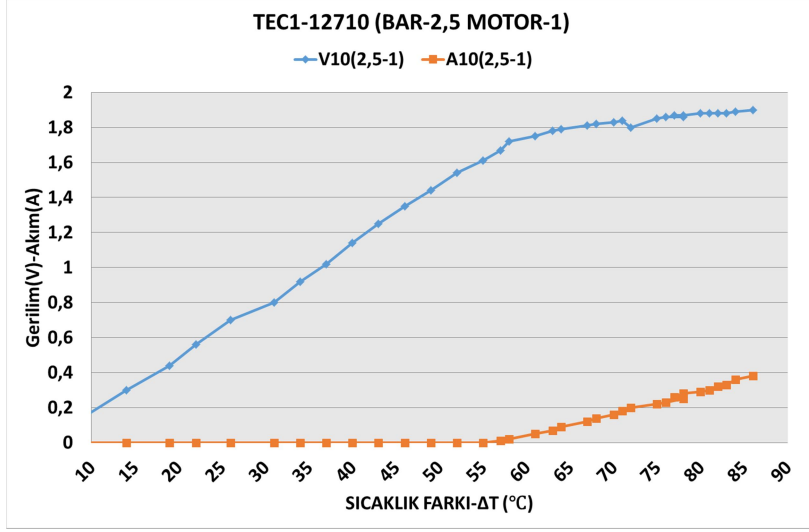
(b)

Şekil 4.13 (a) TEC1-12710 Bar 1 Motor (1.-2.-3.) Kademe Güç(W) Grafiği, (b) TEC1-12706 Bar 1 Motor (1.-2.-3.) Kademe Güç(W) Grafiği.

4.2.4 Deney 4 (2,5 Bar – Motor 1. Kademe)

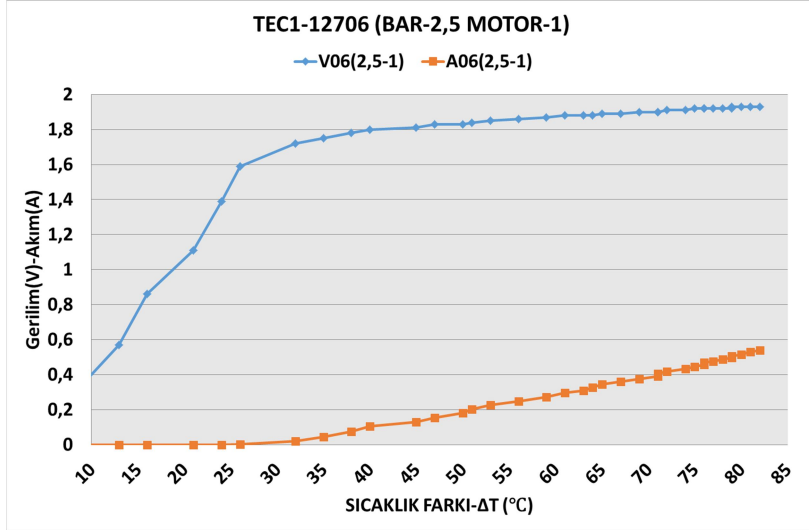
Bu deneyde sistemdeki sıcak ve soğuk su 2,5 bar basınçta, motor 1. kademe çalıştırılmıştır.

Deney 4’de (Çizelge 4.4) TEC1-12710 termoelektrik modüllerin bağlı olduğu sıcak su bloklarındaki sıcaklık ortalama (21°C - 103°C) arasında değişirken, soğuk su ısısı yaklaşık 17°C dir. Bloklarda maksimum 86°C ’lik sıcaklık farkı oluşmuştur. Şekil 4.14’de görüldüğü gibi yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkıyla orantılı olarak elektrik üreten TEC’ler ($0,11\text{ V}$ - $1,90\text{ V}$) arası değerlerde gerilim üretirken (0 - $0,38\text{ A}$) arası akım değerleri alınmış ve sistemden maksimum $0,722\text{ W}$ ’lık bir güç elde edilmiştir.



Şekil 4.14 TEC1-12710 Bar 2,5 Motor 1. Kademe Gerilim (V)-Akım (A) Grafiği.

Çizelge 4.4’de TEC1-12706 termoelektrik modüllerin bağlı olduğu sıcak su bloklarındaki sıcaklık ortalama ($22^{\circ}\text{C} - 102^{\circ}\text{C}$) arasında değişirken, soğuk su ısısı yaklaşık 19°C olmuştur. Bloklarda maksimum 82°C ’lik sıcaklık farkı oluşmuştur. Şekil 4.15’te görüldüğü gibi yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkıyla orantılı olarak elektrik üreten TEC’ler ($0,23\text{ V} - 1,93\text{ V}$) arası değerlerde gerilim üretirken ($0 - 0,538\text{ A}$) arası akım değerleri üretmişlerdir.

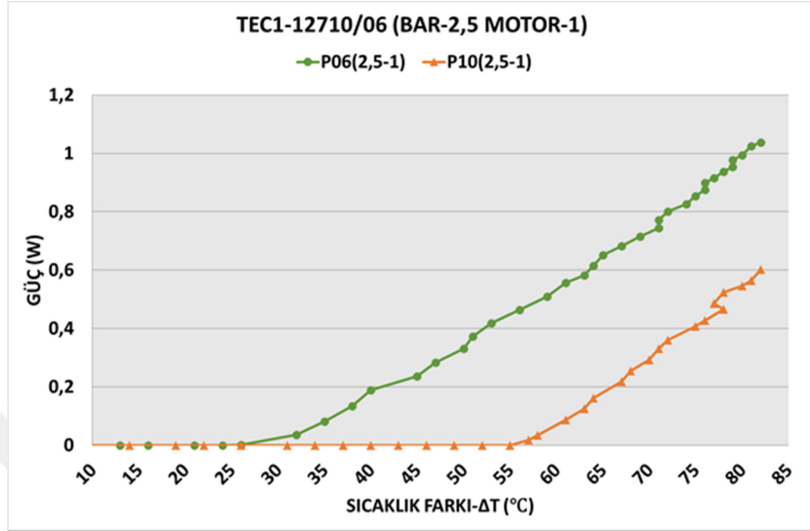


Şekil 4.15 TEC1-12706 Bar 2,5 Motor 1. Kademe Gerilim (V)-Akım (A) Grafiği.

Çizelge 4.4 Deney 4 ölçüm değerleri.

BASINÇ SICAK-SOĞUK 2,5 BAR MOTOR 1. KADEME												
ZAMAN (dk)	TEC1-12710						TEC1-12706					
	1.BLOK		2.BLOK		YÜKLÜ		1.BLOK		2.BLOK		YÜKLÜ	
	T _H	T _c	T _H	T _c	V	A	T _H	T _c	T _H	T _c	V	A
0	19	15	21	13	0,11	0	22	15	16	14	0,23	0
1	24	16	27	13	0,3	0	28	15	22	15	0,57	0
2	29	16	32	13	0,44	0	32	16	27	15	0,86	0
3	33	17	36	14	0,56	0	37	16	30	16	1,11	0
4	37	17	41	15	0,7	0	41	17	35	16	1,39	0
5	41	17	45	14	0,8	0	44	18	39	16	1,59	0,001
6	45	18	49	15	0,92	0	49	17	43	16	1,72	0,021
7	48	18	52	15	1,02	0	52	17	48	17	1,75	0,046
8	51	18	55	15	1,14	0	56	18	49	17	1,78	0,075
9	55	18	59	16	1,25	0	58	18	53	18	1,8	0,105
10	58	19	62	16	1,35	0	63	18	56	18	1,81	0,13
11	60	19	65	16	1,44	0	65	18	58	18	1,83	0,155
12	63	19	68	16	1,54	0	68	18	61	18	1,83	0,181
13	66	19	71	16	1,61	0	70	19	63	18	1,84	0,203
14	68	19	73	16	1,67	0,01	72	19	66	19	1,85	0,226
15	71	19	75	17	1,72	0,02	74	18	68	19	1,86	0,249
16	74	19	78	17	1,75	0,05	77	18	71	18	1,87	0,272
17	76	19	80	17	1,78	0,07	80	19	73	19	1,88	0,296
18	77	19	81	17	1,79	0,09	82	19	74	19	1,88	0,31
19	79	20	83	16	1,81	0,12	83	19	76	19	1,88	0,327
20	81	20	85	17	1,82	0,14	84	19	77	19	1,89	0,345
21	82	20	86	16	1,83	0,16	86	19	79	19	1,89	0,361
22	83	19	88	17	1,84	0,18	88	19	81	19	1,9	0,376
23	85	20	89	17	1,8	0,2	90	19	82	19	1,9	0,392
24	87	20	92	17	1,85	0,22	90	19	84	19	1,9	0,406
25	88	20	93	17	1,86	0,23	92	20	84	19	1,91	0,419
26	89	20	95	17	1,86	0,25	93	19	86	20	1,91	0,433
27	90	20	95	18	1,87	0,26	94	19	87	20	1,92	0,445
28	92	20	96	18	1,87	0,28	95	19	88	19	1,92	0,456
29	93	20	98	17	1,88	0,29	96	20	89	19	1,92	0,468
30	93	20	98	18	1,88	0,3	97	20	90	19	1,92	0,477
31	95	20	100	17	1,88	0,32	98	20	91	20	1,92	0,488
32	96	20	100	18	1,88	0,33	99	20	92	20	1,92	0,497
33	96	20	101	17	1,89	0,34	99	20	93	20	1,93	0,506
34	97	20	101	18	1,89	0,35	100	19	93	19	1,93	0,515
35	97	20	102	17	1,89	0,36	101	20	94	20	1,93	0,523
36	98	21	103	17	1,9	0,37	101	20	95	19	1,93	0,531
37	99	20	103	18	1,9	0,38	102	20	95	20	1,93	0,538

Şekil 4.16’da görüldüğü gibi TEC1-12706 termoelektrik modül düşük sıcaklıkta güç sağlamış ve bu modül bağlantısından maksimum 1,038 W’lık bir güç olarak aynı sıcaklıklarda TEC1-12710’un ürettiği güçten daha yüksek bir güç üretilmiştir.

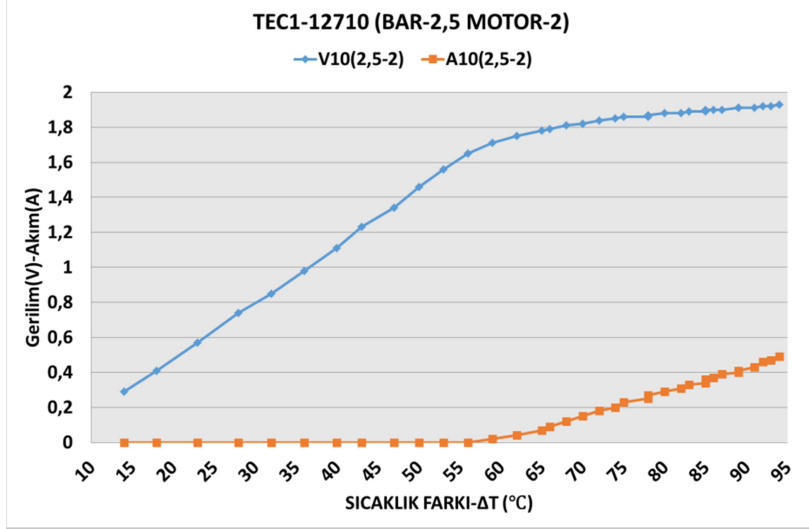


Şekil 4.16 TEC1-12710/06 Bar 2,5 Motor 1. Kademe Güç(W) Grafiği.

4.2.5 Deney 5 (2,5 Bar – Motor 2. Kademe)

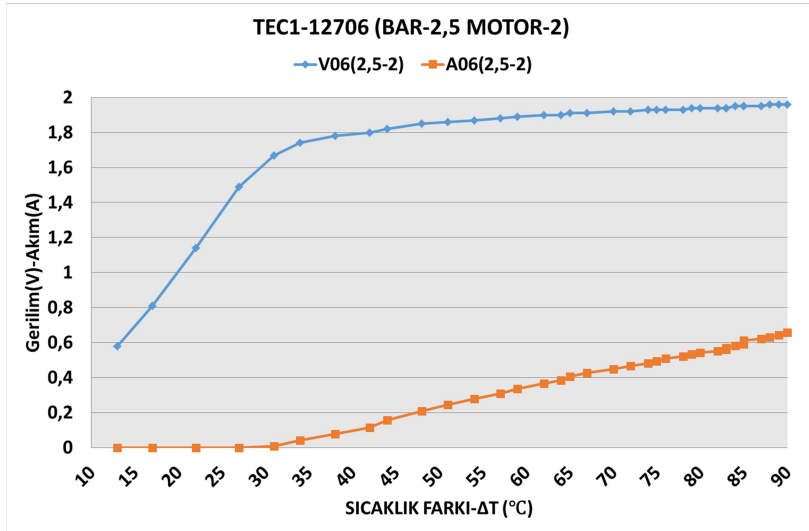
Bu deneyde sistemdeki sıcak ve soğuk su 2,5 bar basınçta, motor 2. kademede çalıştırılmıştır.

Deney 5’de (Çizelge 4.5) TEC1-12710 termoelektrik modüllerin bağlı olduğu sıcak su bloklarındaki sıcaklık ortalama (22°C - 103°C) arasında değişirken, soğuk su ısısı yaklaşık 9°C dir. Bloklarda maksimum 94°C ’lik sıcaklık farkı oluşmuştur. Şekil 5.17’de görüldüğü gibi yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkıyla orantılı olarak elektrik üreten TEC’ler ($0,29\text{ V}$ - $1,93\text{ V}$) arası değerlerde gerilim üretirken (0 - $0,49\text{ A}$) arası akım değerleri alınarak sistemden maksimum $0,946\text{ W}$ ’lık bir güç elde edilmiştir.



Şekil 4.17 TEC1-12710 Bar 2,5 Motor 2. Kademe Gerilim (V)-Akım (A) Grafiği.

Çizelge 4.5’de TEC1-12706 termoelektrik modüllerin bağlı olduğu sıcak su bloklarındaki sıcaklık ortalama ($24^{\circ}\text{C} - 101^{\circ}\text{C}$) arasında değişirken, soğuk su ısısı yaklaşık 11°C olmuştur. Bloklarda maksimum 90°C ’lik sıcaklık farkı oluşmuştur. Şekil 4.18’de görüldüğü gibi yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkıyla orantılı olarak elektrik üreten TEC’ler ($0,58\text{ V} - 1,96\text{ V}$) arası değerlerde gerilim üretirken ($0 - 0,658\text{ A}$) arası akım değerleri alınmıştır.

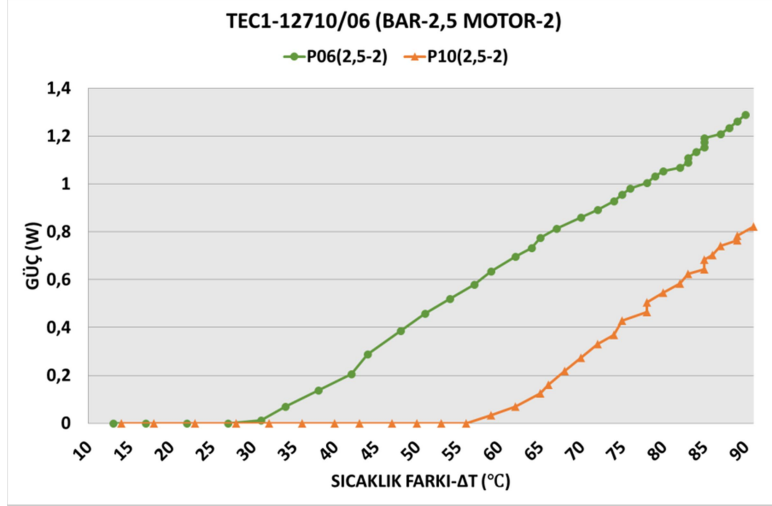


Şekil 4.18 TEC1-12706 Bar 2,5 Motor 2. Kademe Gerilim (V)-Akım (A) Grafiği.

Çizelge 4.5 Deney 5 ölçüm değerleri.

BASINÇ SICAK-SOĞUK 2,5 BAR MOTOR 2. KADEME												
ZAMAN (dk)	TEC1-12710						TEC1-12706					
	1.BLOK		2.BLOK		YÜKLÜ		1.BLOK		2.BLOK		YÜKLÜ	
	T _H	T _C	T _H	T _C	V	A	T _H	T _C	T _H	T _C	V	A
0	20	11	22	8	0,29	0	24	11	17	10	0,58	0
1	23	11	26	8	0,41	0	27	10	21	9	0,81	0
2	28	11	31	8	0,57	0	32	10	25	9	1,14	0
3	33	10	36	8	0,74	0	37	10	30	9	1,49	0
4	36	10	40	8	0,85	0	41	10	34	9	1,67	0,007
5	40	10	44	8	0,98	0	44	10	36	9	1,74	0,04
6	44	10	48	8	1,11	0	48	10	42	10	1,78	0,077
7	47	10	51	8	1,23	0	52	10	45	10	1,8	0,114
8	50	11	55	8	1,34	0	55	11	48	9	1,82	0,158
9	54	10	58	8	1,46	0	58	10	52	10	1,85	0,209
10	57	11	61	8	1,56	0	61	10	54	10	1,86	0,246
11	59	10	64	8	1,65	0	64	10	57	10	1,87	0,278
12	62	11	67	8	1,71	0,02	67	10	60	10	1,88	0,308
13	64	10	70	8	1,75	0,04	69	10	62	10	1,89	0,336
14	67	11	73	8	1,78	0,07	72	10	64	10	1,9	0,367
15	69	11	74	8	1,79	0,09	74	10	67	10	1,9	0,386
16	71	11	76	8	1,81	0,12	76	11	68	10	1,91	0,406
17	74	11	78	8	1,82	0,15	77	10	70	10	1,91	0,426
18	74	11	80	8	1,84	0,18	80	10	72	10	1,92	0,448
19	77	10	82	8	1,85	0,2	82	10	74	10	1,92	0,465
20	78	10	83	8	1,86	0,23	84	10	75	11	1,93	0,481
21	79	10	86	8	1,86	0,25	85	10	77	10	1,93	0,495
22	80	11	87	9	1,87	0,27	86	10	78	10	1,93	0,508
23	82	11	88	8	1,88	0,29	88	10	80	10	1,93	0,52
24	83	10	90	8	1,88	0,31	89	10	81	10	1,94	0,532
25	84	10	91	8	1,89	0,33	90	10	82	10	1,94	0,543
26	85	11	93	8	1,89	0,34	92	10	83	10	1,94	0,551
27	86	10	94	9	1,9	0,36	93	10	85	10	1,94	0,561
28	87	10	95	9	1,9	0,37	93	10	86	10	1,94	0,571
29	88	10	96	9	1,9	0,39	95	11	86	10	1,95	0,581
30	89	10	97	8	1,91	0,4	96	11	88	11	1,95	0,591
31	90	10	98	9	1,91	0,41	96	11	88	10	1,95	0,602
32	91	10	99	8	1,91	0,43	97	12	89	10	1,95	0,611
33	93	10	100	8	1,92	0,44	98	11	90	10	1,95	0,62
34	93	11	100	9	1,92	0,45	99	11	90	10	1,96	0,629
35	93	10	101	9	1,92	0,46	99	10	91	10	1,96	0,637
36	94	10	102	9	1,92	0,47	100	11	92	10	1,96	0,644
37	95	10	103	9	1,92	0,48	101	11	92	10	1,96	0,651
38	95	10	103	9	1,93	0,49	101	11	93	10	1,96	0,658

Şekil 4.19’da görüldüğü gibi TEC1-12706 termoelektrik modül düşük sıcaklıkta güç sağlamış ve bu modül bağlantısından maksimum 1,290 W’lık bir güç olarak aynı sıcaklıklarda TEC1-12710’un ürettiği güçten daha yüksek bir güç üretilmiştir.

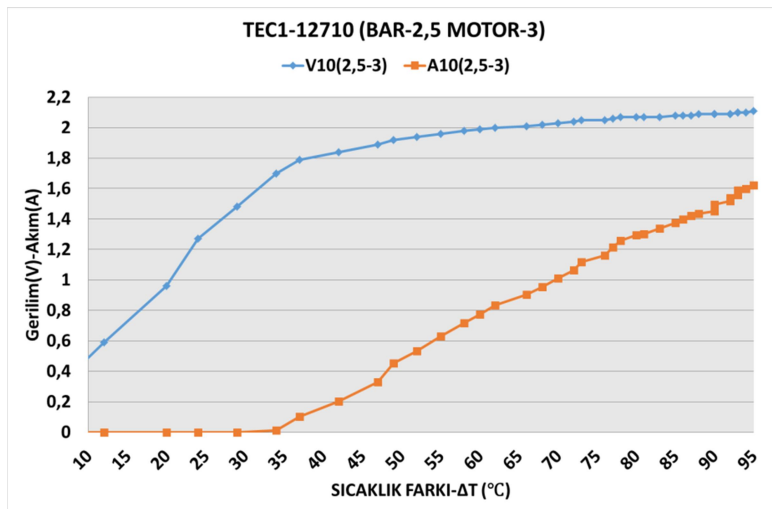


Şekil 4.19 TEC1-12710/06 Bar 2,5 Motor 2. Kademe Güç(W) Grafiği.

4.2.6 Deneysel 6 (2,5 Bar – Motor 3. Kademe)

Bu deneyde sistemdeki sıcak ve soğuk su 2,5 bar basınçta, motor 3. kademe çalıştırılmıştır.

Deneysel 6’de (Çizelge 4.6) TEC1-12710 termoelektrik modüllerin bağlı olduğu sıcak su bloklarındaki sıcaklık ortalama (19°C - 111°C) arasında değişirken, soğuk su ısısı yaklaşık 17°C dir. Bloklarda maksimum 94°C ’lik sıcaklık farkı oluşmuştur. Şekil 4.17’de görüldüğü gibi yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkıyla orantılı olarak elektrik üreten TEC’ler ($0,29\text{ V}$ - $2,11\text{ V}$) arası değerlerde gerilim üretirken (0 - $1,623\text{ A}$) arası akım değerleri alınarak sistemden maksimum $3,425\text{ W}$ ’lık bir güç elde edilmiştir.

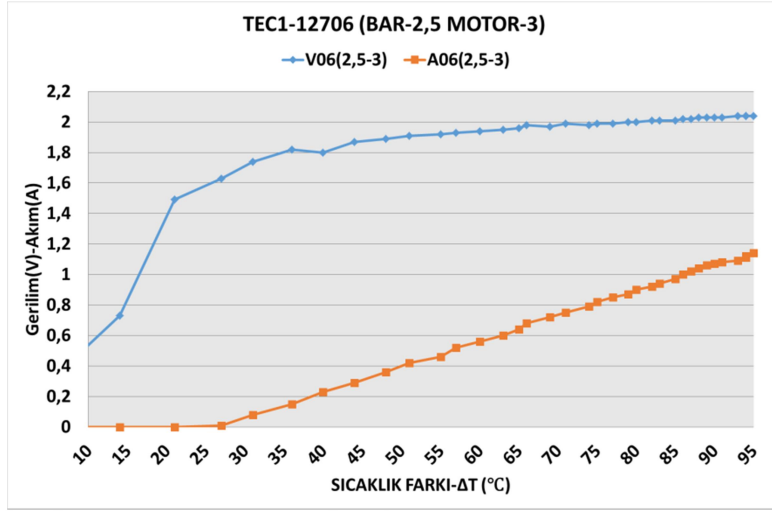


Şekil 4.20 TEC1-12710 Bar 2,5 Motor 3. Kademe Gerilim (V)-Akım (A) Grafiği.

Çizelge 4.6 Deney 6 ölçüm değerleri.

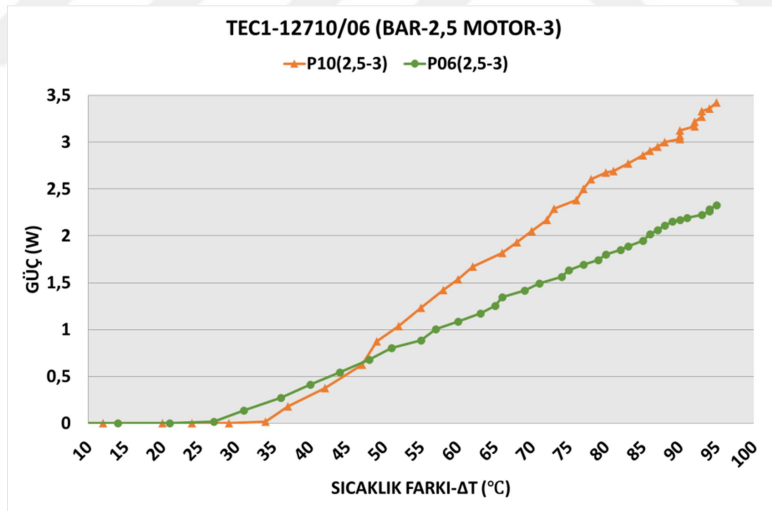
BAKIR SICAK-SOĞUK 2,5 BAR MOTOR 3. KADEME												
ZAMAN (dk)	TEC1-12710						TEC1-12706					
	1.BLOK		2.BLOK		YÜKLÜ		1.BLOK		2.BLOK		YÜKLÜ	
	T _H	T _C	T _H	T _C	V	A	T _H	T _C	T _H	T _C	V	A
0	19	13	17	15	0,29	0	18	8	18	10	0,44	0
1	25	13	23	15	0,59	0	21	8	24	10	0,73	0
2	33	13	31	15	0,96	0	33	8	31	10	1,49	0
3	38	14	34	15	1,27	0	37	10	38	11	1,63	0,01
4	43	14	38	16	1,48	0	42	10	42	11	1,74	0,08
5	48	14	43	16	1,7	0,0	47	10	47	11	1,82	0,15
6	51	14	47	16	1,79	0,1	51	10	51	11	1,8	0,23
7	56	14	50	16	1,84	0,2	55	10	55	11	1,87	0,29
8	60	13	55	16	1,89	0,3	59	10	59	11	1,89	0,36
9	63	14	58	16	1,92	0,4	63	10	63	12	1,91	0,42
10	66	14	61	16	1,94	0,5	65	10	66	11	1,92	0,46
11	69	14	64	16	1,96	0,6	68	10	69	12	1,93	0,52
12	72	14	67	17	1,98	0,7	71	10	72	12	1,94	0,56
13	75	15	69	17	1,99	0,7	74	11	75	12	1,95	0,6
14	77	15	73	17	2	0,8	76	11	77	12	1,96	0,64
15	81	15	75	17	2,01	0,9	78	12	79	13	1,98	0,68
16	83	15	77	17	2,02	0,9	81	12	82	13	1,97	0,72
17	85	15	78	18	2,03	1,0	83	11	84	13	1,99	0,75
18	87	15	81	18	2,04	1,0	85	11	86	12	1,98	0,79
19	89	16	83	18	2,05	1,1	87	12	88	13	1,99	0,82
20	91	15	85	18	2,05	1,1	89	12	90	13	1,99	0,85
21	93	16	86	18	2,06	1,2	91	11	92	13	2	0,87
22	94	16	89	18	2,07	1,2	92	11	93	13	2	0,9
23	96	16	89	18	2,07	1,2	93	12	95	13	2,01	0,92
24	97	16	91	18	2,07	1,3	94	12	96	13	2,01	0,94
25	99	16	93	18	2,07	1,3	97	12	98	13	2,01	0,97
26	10	15	94	17	2,08	1,3	98	11	99	13	2,02	1
27	101	15	95	17	2,08	1,3	99	11	10	13	2,02	1,02
28	102	15	96	17	2,08	1,4	100	11	11	13	2,03	1,04
29	103	15	97	17	2,09	1,4	101	11	102	13	2,03	1,06
30	105	15	98	18	2,09	1,4	102	12	103	13	2,03	1,07
31	106	16	98	18	2,09	1,4	103	12	104	13	2,03	1,08
32	106	16	101	18	2,09	1,4	104	12	106	13	2,04	1,09
33	107	17	102	18	2,09	1,4	105	12	107	13	2,04	1,11
34	108	16	103	18	2,09	1,5	106	12	107	13	2,04	1,12
35	108	16	103	18	2,09	1,5	106	11	108	13	2,04	1,14
36	109	16	104	18	2,1	1,5	107	11	109	13	2,04	1,15
37	109	17	105	17	2,1	1,5	108	11	110	12	2,05	1,17
38	110	16	105	18	2,1	1,5	109	11	110	13	2,05	1,17
39	111	16	106	18	2,11	1,6	109	11	111	13	2,05	1,18
40	111	16	107	18	2,11	1,6	109	12	111	13	2,05	1,19

Çizelge 4.6'da TEC1-12706 termoelektrik modüllerin bağlı olduğu sıcak su bloklarındaki sıcaklık ortalama (18 °C - 111 °C) arasında değişirken, soğuk su ısısı yaklaşık 13 °C olmuştur. Bloklarda maksimum 98 °C'lik sıcaklık farkı oluşmuştur. Şekil 4.21'de görüldüğü gibi yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkıyla orantılı olarak elektrik üreten TEC'ler (0,44 V - 2,05 V) arası değerlerde gerilim üretirken (0 - 1,19 A) arası akım değerleri alınmıştır.



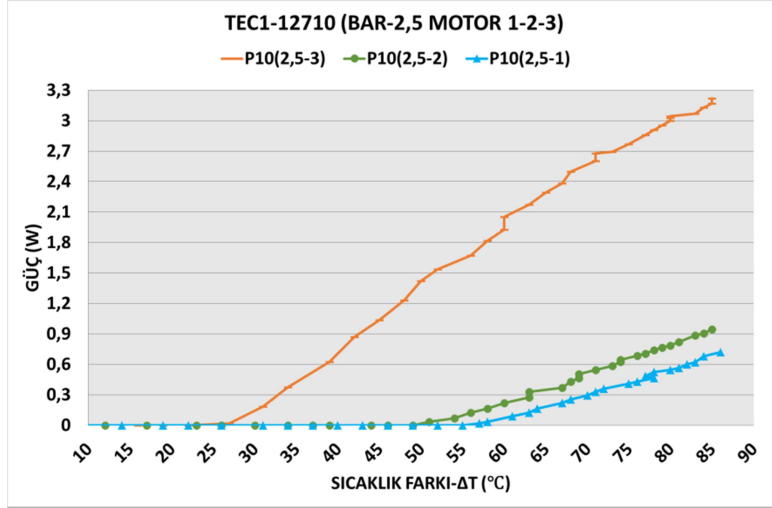
Şekil 4.21 TEC1-12706 Bar 2,5 Motor 3. Kademe Gerilim (V)-Akım (A) Grafiği.

Şekil 4.22’de görüldüğü gibi TEC1-12706 termoelektrik modül düşük sıcaklıkta güç sağlamış ve bu modül bağlantısından maksimum 2,440 W’lık bir güç olarak aynı sıcaklıklarda TEC1-12710’un ürettiği güçten daha düşük bir güç üretilmiştir.

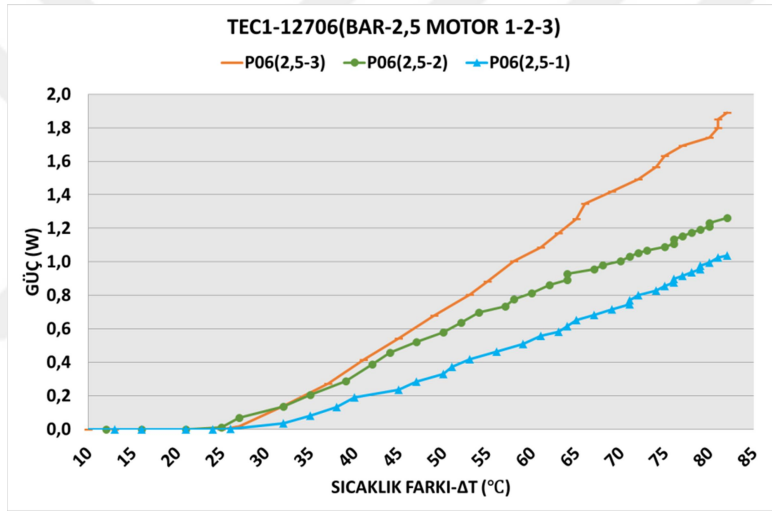


Şekil 4.22 TEC1-12710/06 Bar 2,5 Motor 3. Kademe Güç(W) Grafiği.

Değerlendirme: Bakırlarla yapılan 4-5-6 nolu deneylerde sistemde suyun basıncı sabit tutulurken motor hızı (1-2-3) değiştirilerek sistem üzerindeki etkisi incelenmiştir. Şekil 4.23 (a-b)’de görüldüğü gibi hem TEC1-12710 hem de TEC1-12706 kodlu TEC’lerde en yüksek güç motor 3 hızında elde edilmiştir.



(a)



(b)

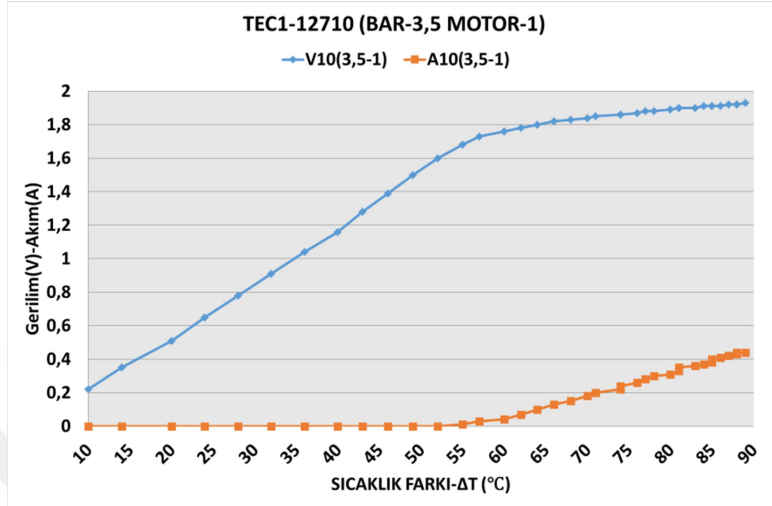
Şekil 4.23 (a) TEC1-12710 Bar 2,5 Motor (1.-2.-3.) Kademe Güç(W) Grafiği, (b) TEC1-12706 Bar 2,5 Motor (1.-2.-3.) Kademe Güç(W) Grafiği.

4.2.7 Deney 7 (3,5 Bar – Motor 1. Kademe)

Bu deneyde sistemdeki sıcak ve soğuk su 3,5 bar basınçta, motor 1. kademede çalıştırılmıştır.

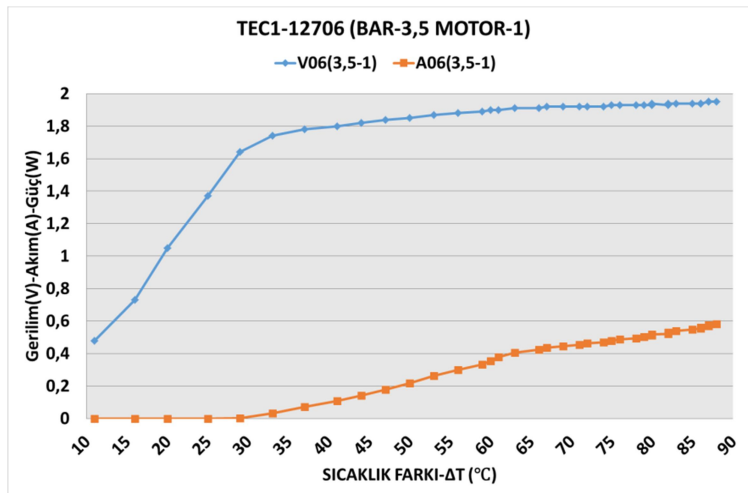
Deney 7’de (Çizelge 4.7) TEC1-12710 termoelektrik modüllerin bağlı olduğu sıcak su bloklarındaki sıcaklık ortalama ($20^{\circ}\text{C} - 100^{\circ}\text{C}$) arasında değişirken, soğuk su ısısı yaklaşık 11°C dir. Bloklarda maksimum 89°C ’lik sıcaklık farkı oluşmuştur. Şekil 4.24’de görüldüğü gibi TEC’in yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkıyla orantılı olarak

elektrik üreten modüller (0,22 V - 1,93 V) arası değerlerde gerilim üretirken (0 - 0,44 A) arası akım değerleri alınarak sistemden maksimum 0,849 W'lık bir güç elde edilmiştir.



Şekil 4.24 TEC1-12710 Bar 3,5 Motor 1. Kademe Gerilim (V)-Akım (A) Grafiği.

Çizelge 4.7’de TEC1-12706 termoelektrik modüllerin bağlı olduğu sıcak su bloklarındaki sıcaklık ortalama (22 °C - 99 °C) arasında değişirken, soğuk su ısısı yaklaşık 12 °C olmuştur. Bloklarda maksimum 87 °C’lik sıcaklık farkı oluşmuştur. Şekil 4.25’de görüldüğü gibi yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkıyla orantılı olarak elektrik üreten TEC’ler (0,48 V - 1,95 V) arası değerlerde gerilim üretirken (0 - 0,583 A) arası akım değerleri alınmıştır.

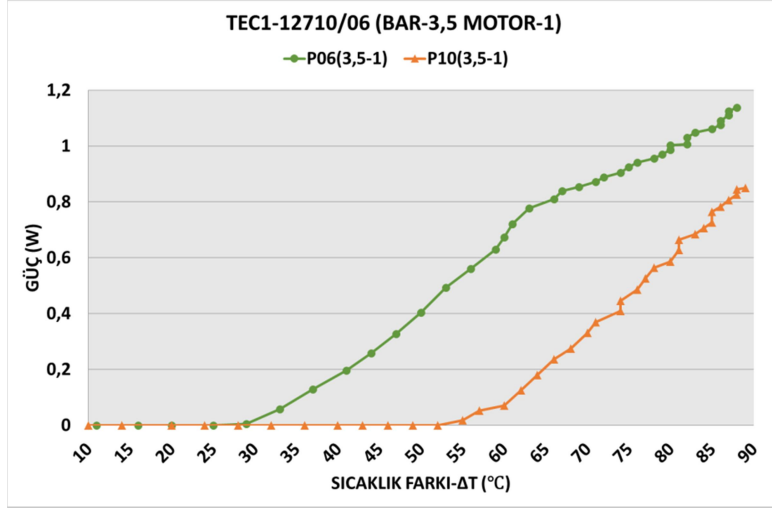


Şekil 4.25 TEC1-12706 Bar 3,5 Motor 1. Kademe Gerilim (V)-Akım (A) Grafiği.

Çizelge 4.7 Deney 7 ölçüm değerleri.

BASINÇ SICAK-SOĞUK 3.5 BAR MOTOR 1. KADEME												
ZAMAN (dk)	TEC1-12710						TEC1-12706					
	1.BLOK		2.BLOK		YÜKLÜ		1.BLOK		2.BLOK		YÜKLÜ	
	T _H	T _c	T _H	T _c	V	A	T _H	T _c	T _H	T _c	V	A
0	20	11	20	10	0,2	0	22	11	16	10	0,48	0
1	23	11	24	10	0,3	0	27	11	23	11	0,73	0
2	28	12	29	9	0,5	0	31	11	25	11	1,05	0
3	32	11	34	10	0,6	0	36	11	27	10	1,37	0
4	36	11	38	10	0,7	0	40	11	30	1	1,64	0,003
5	40	11	42	10	0,9	0	44	11	37	10	1,74	0,033
6	44	12	46	10	1,0	0	48	11	41	11	1,78	0,072
7	47	11	50	10	1,1	0	52	11	43	11	1,8	0,109
8	50	12	53	10	1,2	0	55	11	47	11	1,82	0,142
9	53	12	56	10	1,3	0	58	11	51	11	1,84	0,178
10	55	12	59	10	1,5	0	61	11	53	11	1,85	0,218
11	57	12	62	10	1,6	0	64	11	55	11	1,87	0,264
12	59	12	65	10	1,6	0,01	67	11	58	11	1,88	0,298
13	62	12	68	10	1,7	0,03	70	11	61	11	1,89	0,333
14	63	12	70	10	1,7	0,04	68	11	62	11	1,9	0,354
15	66	12	72	10	1,7	0,07	72	11	65	11	1,9	0,379
16	68	12	74	10	1,8	0,1	74	11	67	11	1,91	0,407
17	69	12	76	10	1,8	0,13	77	11	69	11	1,91	0,424
18	71	12	78	10	1,8	0,15	78	11	70	11	1,92	0,437
19	72	12	80	10	1,8	0,18	80	11	73	11	1,92	0,445
20	74	12	81	10	1,8	0,2	82	11	74	11	1,92	0,454
21	75	11	84	10	1,8	0,22	83	11	75	11	1,92	0,463
22	77	12	85	11	1,8	0,24	85	11	77	10	1,92	0,471
23	78	12	87	11	1,8	0,26	86	11	78	10	1,93	0,479
24	80	11	88	11	1,8	0,28	87	11	79	10	1,93	0,488
25	81	12	89	11	1,8	0,3	89	11	80	10	1,93	0,495
26	83	12	91	11	1,8	0,31	90	11	82	9	1,93	0,503
27	83	11	92	11	1,9	0,33	91	11	83	10	1,93	0,511
28	84	11	92	11	1,9	0,35	92	12	84	10	1,94	0,517
29	85	11	94	11	1,9	0,36	93	11	85	10	1,93	0,522
30	86	11	95	11	1,9	0,37	94	12	86	10	1,94	0,531
31	87	12	96	11	1,9	0,38	95	12	87	10	1,94	0,54
32	88	12	96	11	1,9	0,4	96	11	88	10	1,94	0,547
33	89	11	97	11	1,9	0,41	97	11	88	10	1,94	0,555
34	89	12	98	11	1,9	0,42	97	11	89	10	1,94	0,562
35	89	11	99	11	1,9	0,43	98	11	90	10	1,95	0,569
36	90	11	99	11	1,9	0,44	98	11	90	10	1,95	0,577
37	91	12	100	11	1,9	0,44	99	11	91	10	1,95	0,583

Şekil 4.26’da görüldüğü gibi TEC1-12706 termoelektrik modül düşük sıcaklıkta güç sağlamış ve bu modül bağlantısından maksimum 1,137 W’lık bir güç olarak aynı sıcaklıklarda TEC1-12710’un ürettiği güçten daha yüksek bir güç üretilmiştir.

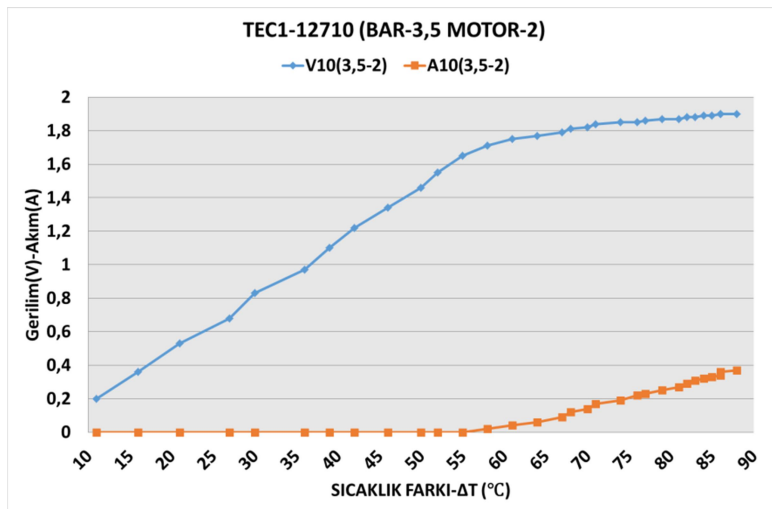


Şekil 4.26 TEC1-12710/06 Bar 3,5 Motor 1. Kademe Güç(W) Grafiği.

4.2.8 Deney 8 (3,5 Bar – Motor 2. Kademe)

Bu deneyde sistemdeki sıcak ve soğuk su 3,5 bar basınçta, motor 2. kademe çalıştırılmıştır.

Deney 8’de (Çizelge 4.8) TEC1-12710 termoelektrik modüllerin bağlı olduğu sıcak su bloklarındaki sıcaklık ortalama (19°C - 95°C) arasında değişirken, soğuk su ısısı yaklaşık 8°C dir. Bloklarda maksimum 87°C ’lik sıcaklık farkı oluşmuştur. Şekil 5.27’de görüldüğü gibi yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkıyla orantılı olarak elektrik üreten TEC’ler ($0,2\text{ V}$ - $1,9\text{ V}$) arası değerlerde gerilim üretirken (0 - $0,37\text{ A}$) arası akım değerleri alınarak sistemden maksimum $0,703\text{ W}$ ’lık bir güç elde edilmiştir.

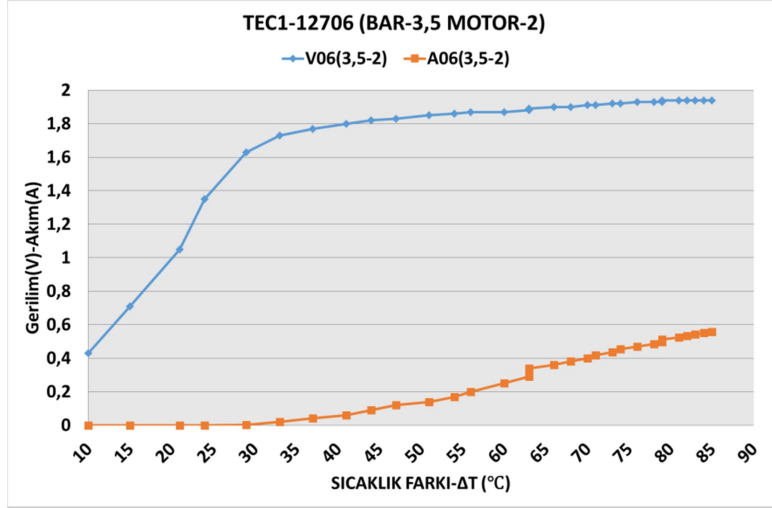


Şekil 4.27 TEC1-12710 Bar 3,5 Motor 2. Kademe Gerilim (V)-Akım (A) Grafiği.

Çizelge 4.8 Deney 8 ölçüm değerleri.

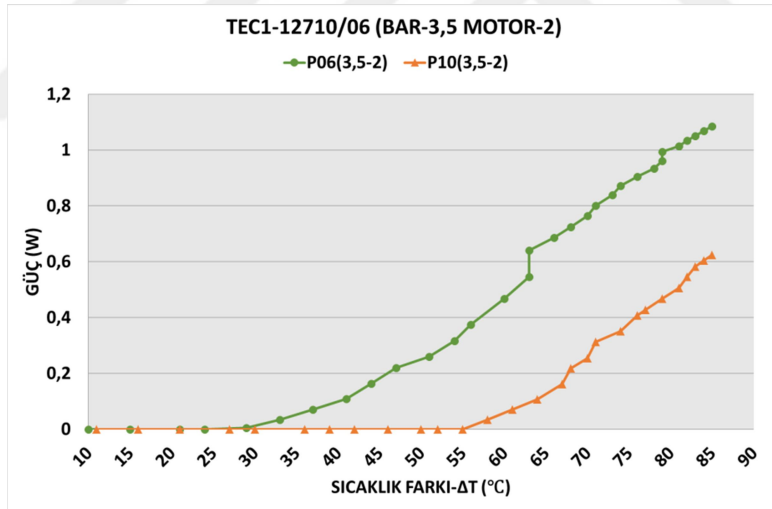
ZAMAN (dk)	BASINÇ SICAK-SOĞUK 3,5 BAR MOTOR 2. KADEME											
	TEC1-12710						TEC1-12706					
	1.BLOK		2.BLOK		YÜKLÜ		1.BLOK		2.BLOK		YÜKLÜ	
	T _H	T _c	T _H	T _c	V	A	T _H	T _c	T _H	T _c	V	A
0	17	11	19	8	0,2	0	20	10	14	10	0,4	0
1	20	9	23	7	0,3	0	24	9	19	9	0,7	0
2	25	8	28	7	0,5	0	30	9	23	9	1,0	0
3	29	10	33	6	0,6	0	33	9	30	9	1,3	0
4	33	9	37	7	0,8	0	38	9	33	9	1,6	0,003
5	36	9	43	7	0,9	0	42	9	38	8	1,7	0,02
6	40	9	46	7	1,1	0	46	9	41	9	1,7	0,04
7	43	9	49	7	1,2	0	49	8	44	9	1,8	0,06
8	47	9	52	6	1,3	0	53	9	47	9	1,8	0,09
9	50	10	56	6	1,4	0	56	9	51	8	1,8	0,12
10	52	9	59	7	1,5	0	60	9	54	9	1,8	0,14
11	55	9	62	7	1,6	0	63	9	57	9	1,8	0,17
12	58	9	65	7	1,7	0,02	65	9	59	9	1,8	0,2
13	60	9	68	7	1,7	0,04	68	8	62	9	1,8	0,25
14	63	9	71	7	1,7	0,06	71	8	65	9	1,8	0,29
15	65	9	73	6	1,7	0,09	72	9	67	9	1,8	0,339
16	66	9	75	7	1,8	0,12	75	9	68	9	1,9	0,361
17	68	9	77	7	1,8	0,14	77	9	71	9	1,9	0,381
18	70	9	75	7	1,8	0,17	79	9	72	10	1,9	0,4
19	72	9	81	7	1,8	0,19	80	9	74	10	1,9	0,419
20	73	8	83	7	1,8	0,22	82	9	76	9	1,9	0,437
21	74	9	84	7	1,8	0,23	83	9	77	9	1,9	0,454
22	76	9	86	7	1,8	0,25	85	9	78	9	1,9	0,469
23	77	9	88	7	1,8	0,27	87	9	80	10	1,9	0,484
24	78	9	89	7	1,8	0,29	88	9	81	9	1,9	0,498
25	80	8	90	7	1,8	0,31	88	9	82	10	1,9	0,512
26	80	9	91	7	1,8	0,32	90	9	83	10	1,9	0,523
27	82	9	92	7	1,8	0,33	91	9	84	10	1,9	0,533
28	82	9	93	7	1,9	0,34	92	9	85	9	1,9	0,541
29	83	9	94	8	1,9	0,36	93	9	86	9	1,9	0,551
30	84	9	95	7	1,9	0,37	94	9	87	10	1,9	0,559

Çizelge 4.8’de TEC1-12706 termoelektrik modüllerin bağlı olduğu sıcak su bloklarındaki sıcaklık ortalama (20 °C - 94 °C) arasında değişirken, soğuk su ısıyı yaklaşık 12 °C olmuştur. Bloklarda maksimum 82 °C’lik sıcaklık farkı oluşmuştur. Şekil 4.28’de görüldüğü gibi yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkıyla orantılı olarak elektrik üreten TEC’ler (0,43 V - 1,94 V) arası değerlerde gerilim üretirken (0 - 0,559 A) arası akım değerleri alınmıştır.



Şekil 4.28 TEC1-12706 Bar 3,5 Motor 2. Kademe Gerilim (V)-Akım (A) Grafiği.

Şekil 4.29’da görüldüğü gibi TEC1-12706 termoelektrik modül düşük sıcaklıkta güç sağlamış ve bu modül bağlantısından maksimum 1,085 W’lık bir güç olarak aynı sıcaklıklarda TEC1-12710’un ürettiği güçten daha yüksek bir güç üretilmiştir.



Şekil 4.29 TEC1-12710 Bar 3,5 Motor 2. Kademe Güç(W) Grafiği.

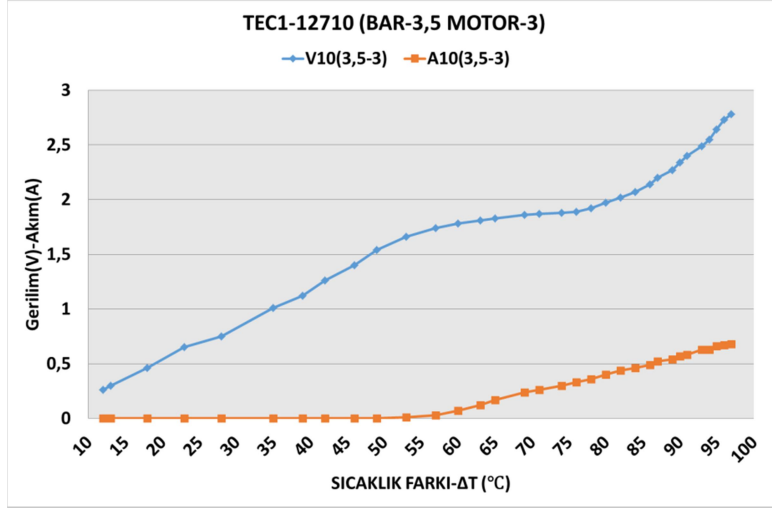
4.2.9 Deney 9 (3,5 Bar – Motor 3. Kademe)

Bu deneyde sistemdeki sıcak ve soğuk su 3,5 bar basınçta, motor 3. kademe çalıştırılmıştır.

Çizelge 4.9 Deney 9 ölçüm değerleri.

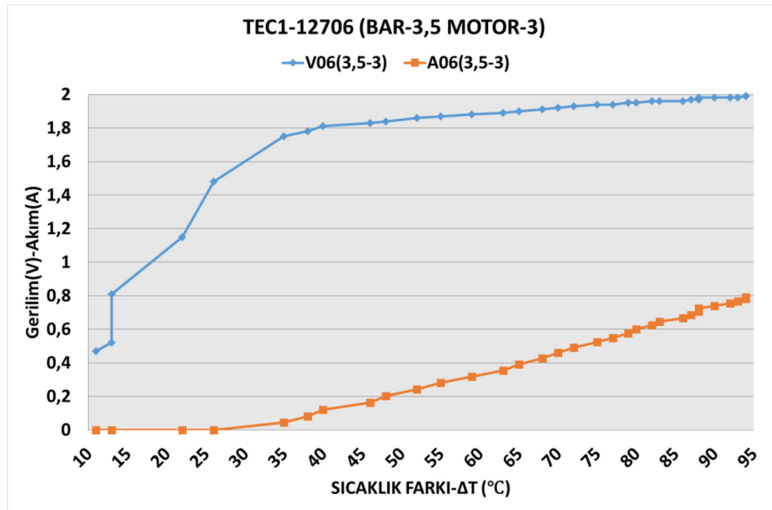
BASINÇ SICAK-SOĞUK 3,5 BAR MOTOR 3. KADEME												
ZAMAN (dk)	TEC1-12710						TEC1-12706					
	1.BLOK		2.BLOK		YÜKLÜ		1.BLOK		2.BLOK		YÜKLÜ	
	T _H	T _C	T _H	T _C	V	A	T _H	T _C	T _H	T _C	V	A
0	18	11	20	8	0,260	0	21	10	15	10	0,47	0
1	19	11	21	8	0,300	0	23	10	16	10	0,52	0
2	23	10	26	8	0,460	0	21	10	20	10	0,81	0
3	29	11	31	8	0,650	0	32	10	25	10	1,15	0
4	34	11	36	8	0,750	0	37	11	30	10	1,48	0
5	41	11	43	8	1,010	0	45	10	34	10	1,75	0,046
6	45	11	47	8	1,120	0	48	10	41	10	1,78	0,08
7	49	11	50	8	1,260	0	52	12	45	10	1,81	0,121
8	53	11	54	8	1,400	0	56	10	48	10	1,83	0,162
9	57	10	58	9	1,540	0	59	11	52	11	1,84	0,203
10	60	11	62	9	1,660	0,01	63	11	56	11	1,86	0,242
11	64	11	65	8	1,740	0,03	66	11	59	11	1,87	0,28
12	67	11	68	8	1,780	0,07	70	11	62	11	1,88	0,318
13	70	11	71	8	1,810	0,12	73	10	64	11	1,89	0,355
14	73	11	74	9	1,830	0,17	75	10	67	11	1,9	0,392
15	76	10	77	8	1,860	0,24	78	10	70	11	1,91	0,426
16	78	10	79	8	1,870	0,26	80	10	73	11	1,92	0,46
17	80	10	82	8	1,880	0,3	82	10	75	11	1,93	0,492
18	82	10	84	8	1,890	0,33	85	10	76	11	1,94	0,523
19	85	11	86	8	1,920	0,36	87	10	78	11	1,94	0,549
20	87	10	88	8	1,970	0,4	89	10	81	11	1,95	0,577
21	88	10	90	8	2,020	0,44	90	10	83	10	1,95	0,601
22	90	10	92	8	2,070	0,46	92	10	85	11	1,96	0,625
23	92	10	94	8	2,140	0,49	94	11	87	11	1,96	0,647
24	94	10	95	8	2,200	0,52	96	10	88	11	1,96	0,667
25	95	10	97	8	2,270	0,54	97	10	89	11	1,97	0,686
26	97	10	98	8	2,340	0,57	98	10	91	11	1,97	0,706
27	98	10	99	8	2,400	0,58	99	11	92	11	1,98	0,724
28	99	10	101	8	2,490	0,63	100	10	93	11	1,98	0,739
29	101	10	102	8	2,550	0,63	102	10	94	11	1,98	0,755
30	102	10	109	9	2,640	0,66	103	10	95	11	1,98	0,768
31	103	10	104	8	2,730	0,67	104	10	96	11	1,99	0,783
32	103	11	105	8	2,780	0,68	104	11	97	11	1,99	0,792

Deney 9’de (Çizelge 4.9) TEC1-12710 termoelektrik modüllerin bağlı olduğu sıcak su bloklarındaki sıcaklık ortalama (20 °C – 105 °C) arasında değişirken, soğuk su ısısı yaklaşık 9 °C dir. Bloklarda maksimum 96 °C’lik sıcaklık farkı oluşmuştur. Şekil 4.30’de görüldüğü gibi yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkıyla orantılı olarak elektrik üreten TEC’ler (0,75 V - 2,78 V) arası değerlerde gerilim üretirken (0 - 0,68 A) arası akım değerleri alınarak sistemden maksimum 1,890 W’lık bir güç elde edilmiştir.



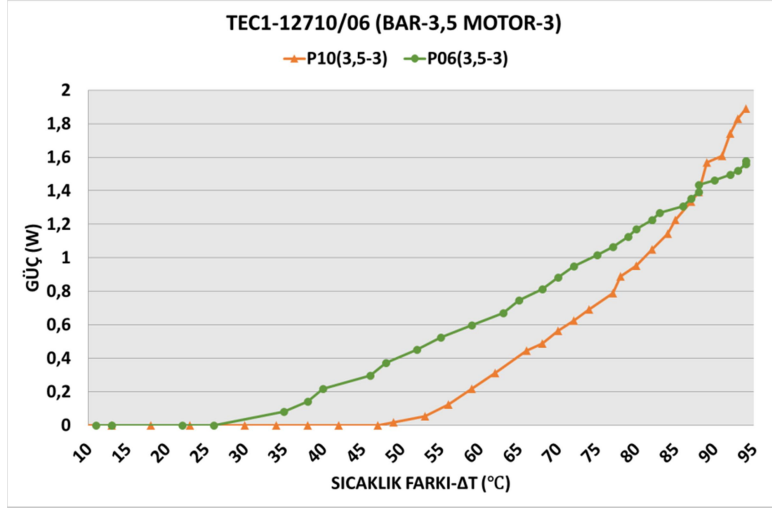
Şekil 4.30 TEC1-12710 Bar 3,5 Motor 3. Kademe Gerilim (V)-Akım (A) Grafiği.

Çizelge 4.9’da TEC1-12706 termoelektrik modüllerin bağlı olduğu sıcak su bloklarındaki sıcaklık ortalama (21°C - 104°C) arasında değişirken, soğuk su ısısı yaklaşık 11°C olmuştur. Bloklarda maksimum 93°C ’lik sıcaklık farkı oluşmuştur. Şekil 4.31’de görüldüğü gibi yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkıyla orantılı olarak elektrik üreten TEC’ler ($0,47\text{ V}$ - $1,99\text{ V}$) arası değerlerde gerilim üretirken (0 - $0,792\text{ A}$) arası akım değerleri alınmıştır.



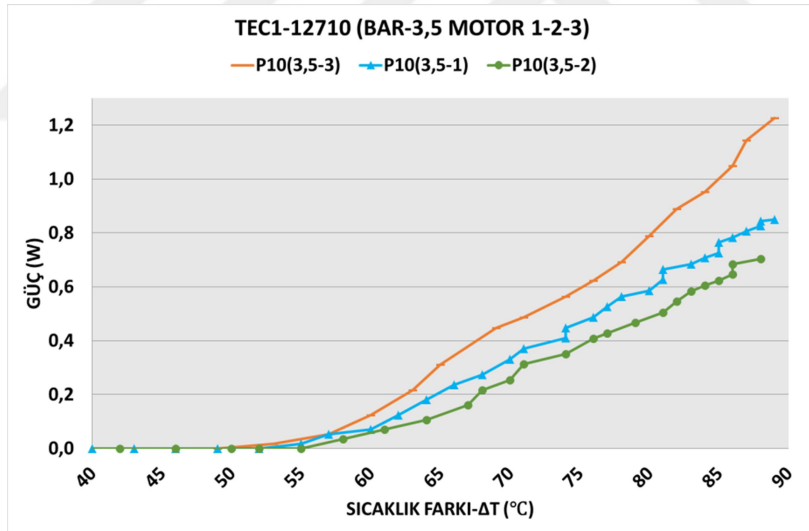
Şekil 4.31 TEC1-12706 Bar 3,5 Motor 3. Kademe Gerilim (V)-Akım (A) Grafiği.

Şekil 4.32’de görüldüğü gibi TEC1-12706 termoelektrik modül düşük sıcaklıkta güç sağlamış ve bu modül bağlantısından maksimum $1,576\text{ W}$ ’lık bir güç olarak aynı sıcaklıklarda TEC1-12710’un ürettiği güçten daha düşük bir güç üretilmiştir.

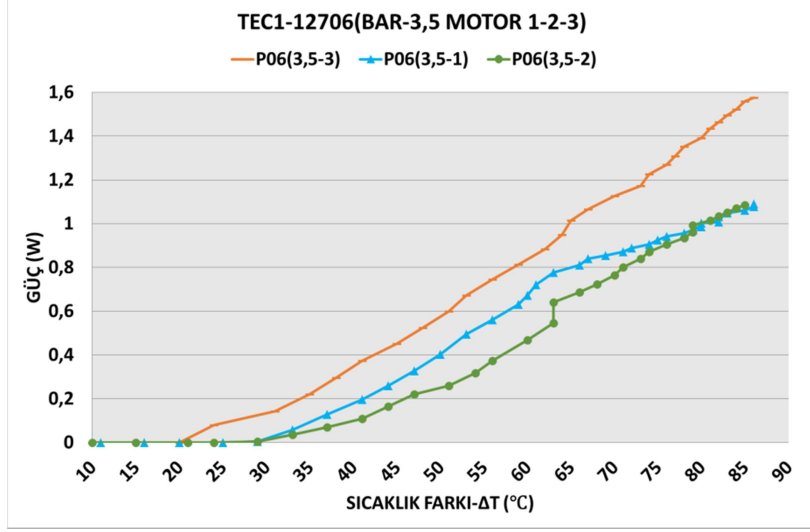


Şekil 4.32 TEC1-12710/06 Bar 3,5 Motor 3. Kademe Güç(W) Grafiği.

Değerlendirme: Bakırlarla yapılan 7-8-9 nolu deneylerde sistemdeki suyun basıncı sabit tutulurken motor hızı (1-2-3) değiştirilerek sistem üzerindeki etkisi incelenmiştir. Şekil 4.33 (a-b)'de görüldüğü gibi en yüksek güç motor 3 hızında elde edilmiştir.



(a)



(b)

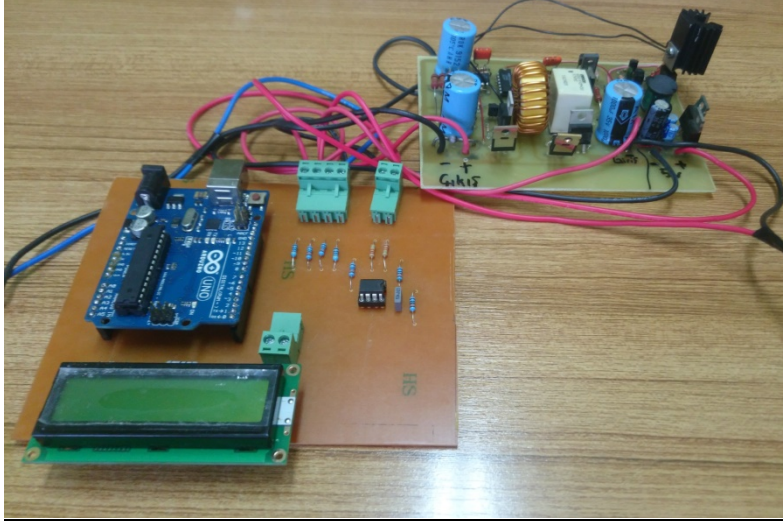
Şekil 4.33 (a) TEC1-12710 Bar 3,5 Motor (1.-2.-3.) Kademe Güç(W) Grafiği, (b) TEC1-12706 Bar 3,5 Motor (1.-2.-3.) Kademe Güç(W) Grafiği.

4.2.10 Deney 10 (Azaltan-Artıran DC-DC Dönüştürücü)

Deney 6 (2,5 Bar – Motor 3. Kademe)’de 9 deney içindeki en fazla güç elde edilmiştir. Bu yüzden TEM’lerin çıkışlarına 20 W’lık bir Azaltan-Artıran DC-DC dönüştürücü bağlayarak termoelektrik modüllerin ürettiği gerilimi, akımı ve gücü, azaltan-artıran DC-DC dönüştürücü çıkış verileriyle karşılaştırarak verim tespit edilmiştir.

Çizelge 4.10 Deney 6’daki uygulamanın çıkışına azaltan-artıran DC-DC dönüştürücü ile alınan değerler.

	Vgiriş (V)	Vçıkış (V)	Igiriş (A)	Içıkış (A)	Pgiriş (W)	Pçıkış (W)	Verim
TEC1-12706	2,05	12,4	1,19	0,148	2,440	1,83	0,75
TEC1-12710	2,11	13,1	1,623	0,217	3,425	2,843	0,83



Şekil 4.34 Azaltan-Artıran DC-DC dönüştürücü Arduiona İle Bağlantı Görüntüsü.

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

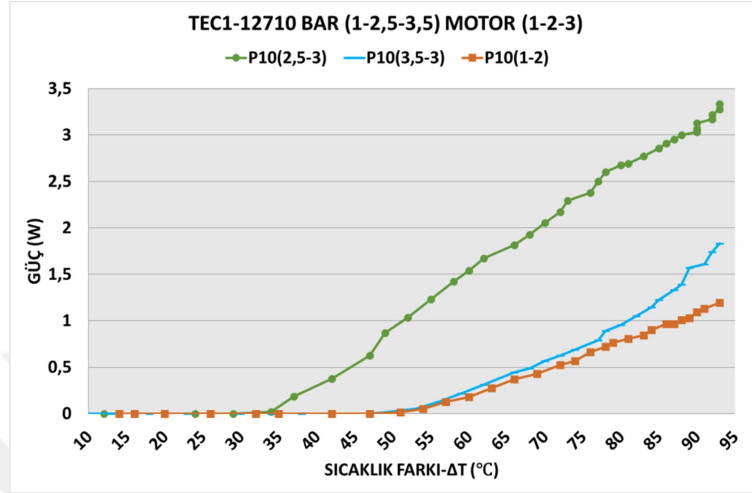
Bu tez çalışmasında, yenilenebilir enerji kaynaklarından jeotermal enerjiyi doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren, TEG tasarımı yapılarak sistemin uygulaması gerçekleştirilmiştir. Şimdiye kadar yapılan çalışmalardan farklı olarak bu çalışmada; suyun debisi, basıncı ve termoelektrik modüllerin çıkışına bir azaltan-artıran dönüştürücü bağlanarak bunların hepsini tek bir deney düzeneğinde denemesi ve karşılaştırılması yapılmıştır. Laboratuvar ortamında gerekli ölçümler yapılarak verimin en yüksek olduğu termoelektrik modül elektrik bağlantısı, sıcak-soğuk su debisi, basıncı ve sıcaklık farkının etkisiyle, temiz, kolay ve ucuz bir şekilde elektrik enerjisi üretiminin gerçekleştirildiği sistem tasarımı yapılmıştır. Ayrıca sistemin verimi çıkışına bağlanan azaltan-artıran dönüştürücü ile tespit edilmiştir. Genel olarak Afyon ilimizdeki jeotermal bölgeler hakkında bilgileri verilerek TEM'lerin buralarda kullanılabilceği vurgulanmıştır.

Laboratuvarda kurulan deney setinde sıcaklık farkıyla elektrik üretiminde enerji dönüşümü termoelektrik yarıiletkenlerden oluşan termoelektrik modüller kullanılmıştır. Bu şekilde elektrik enerjisi üretimi termoelektrik modüllerdeki Seebeck olayının gerçekleştirilmesi ile elde edilmektedir. Deney setindeki sistemde, termoelektrik modüllerin yüzeyinde sıcaklık farkı oluşturmak için gerekli ısı dışarıdan bir kaynakla ısıtılan su akışıyla, soğutma ise normal şebeke suyu akışıyla gerçekleştirilmiştir.

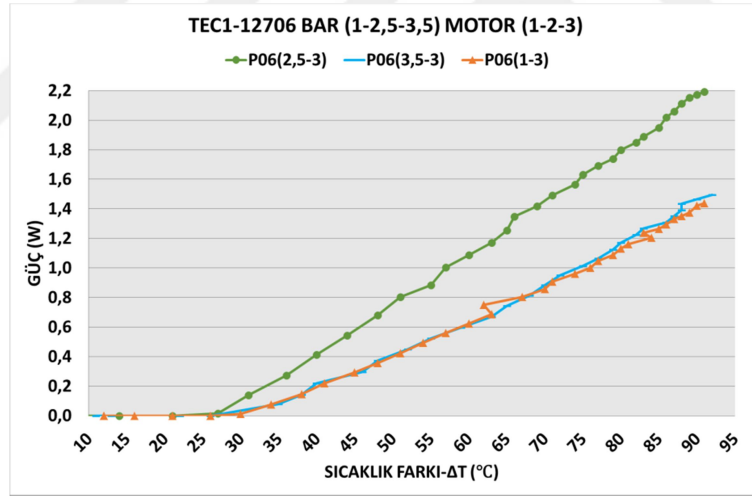
Deney grubu 2 plaka arasına TEC1-12710 ve TEC1-12706 termoelektrik modüller yerleştirilerek oluşturulan bakır bloklar ile (1-2,5-3,5) barlarda motor 1-2-3 hızlarında toplam 9 deneyden oluşmaktadır. Bakır malzemedeki oluşan bloklar üzerinde yapılan 9 deney sonucunda TEC1-12710 ve TEC1-12706 termoelektrik modüllerden en iyi verim 2,5 bar motor 3. kademesinde alınmıştır. Bu da bakır bloklarda suyun basıncı ve debisi arttıkça termoelektrik modüllerin ürettiği enerji daha fazla olduğunu ve verimlerinin arttığını göstermektedir.

Genel olarak yapılan bu 9 deney değerlendirilecek olursak TEC'ler yüksek basınç ve debide en yüksek verimi vermektedir. Düşük basınç ve debide ise verimleri oldukça düşmüştür. Özellikle debinin su basıncından daha çok etkisi olduğu gözlenmiştir.

Şekil5.1 (a-b)'de TEC1-12710 ve TEC1-12706 termoelektrik modüllerin 9 deneyde 1-2,5 ve 3,5 barlarda sabit su debisine karşı ürettikleri en fazla güçler kendi aralarında karşılaştırılmıştır.



(a)



(b)

Şekil 5.1 (a) TEC1-12710 Bar (1-2,5-3,5) Motor (1.-2.-3.) Kademe Güç(W) Grafiği, (b) TEC1-12706 Bar (1-2,5-3,5) Motor (1.-2.-3.) Kademe Güç(W) Grafiği.

Termoelektrik modüllerde ise TEC1-12706 termoelektrik modül düşük sıcaklıklarda daha hızlı akım ve gerilim üretmektedir. Bir çok deneyde TEC1-12706 termoelektrik modüllerden üretilen güç TEC1-12710 termoelektrik modüllerden daha fazla olmuştur. Fakat yüksek basınç ve debide TEC1-12710 termoelektrik modüller TEC1-12706 termoelektrik modüllere göre daha çok güç üretmiştir. Bu da termoelektrik modüllerin

cinsini seçerken kullanılacak termal su kaynağından oluşturulan sıcaklık farkı, suyun basıncı ve debisi göz önünde bulundurulması gerektiğini göstermektedir.

En yüksek güç üretilen Deney 6'da TEC'lerin çıkışına 20 W'lık bir Azaltan-Artıran DC-DC dönüştürücü bağlayarak yüzeylerindeki ısı farkıyla doğru orantılı değişken akım ve gerilim üreten TEG'lerin çıkış değerleri sabitlenmeye çalışılmıştır. Dönüştürücü TEC'lerden darbeli akım çekmiştir. Bu darbeli akıma TEC1-12710 termoelektrik modüller TEC1-12706 termoelektrik modüllere göre daha iyi karşılık vermişlerdir. Azaltan-Artıran DC-DC dönüştürücü çıkışından sabit bir gerilim alınmıştır. Dönüştürücünün giriş gerilimi yaklaşık 1,7 V olduğunda çıkış gerilimi vermeye başladığı gözlenmiştir. Bu uygulamada dönüştürücünün verimi TEC1-12706 termoelektrik modüllerde maksimum %75 olarak ölçülmüş, TEC1-12710 termoelektrik modüllerde ise %83 olarak ölçülmüştür. Ayrıca bu çalışmada diğer çalışmalardan farklı olarak debi ve su basıncını 8 termoelektrik modülün deneyler sonucu en verimli olduğu elektrik bağlantı şekli tespit edilerek sonuçları incelenmiştir. TEC1-12710 TEM'lerin aynı sıcaklık farkında TEC1-12706 TEM'lere göre daha fazla akım ürettikleri ve güce sahip oldukları için daha büyük sistemlerde Azaltan-Artıran DC-DC dönüştürücü sistemden çektiği darbeli akıma karşı daha yüksek verim alınacağı ve kullanılabilir olduğu sonucuna varılmıştır.

Bundan sonraki yapılacak çalışmalarda;

- 1) Bu çalışmada kullanılan 8 adet TEM artırılarak daha çok TEM bağlantısıyla gerçeğe daha yakın veriler elde edilebilir.
- 2) Bu çalışmada 100 °C sıcaklığın üstüne pek çıkılmamıştır. Dünyada 380 °C sıcaklığa kadar termal sular bulunduğu için yüksek sıcaklıklara dayanan TEM'ler ile yüksek sıcaklıklardaki sonuçlar değerlendirilebilir.
- 3) Türkiyede ki termal su kaynaklarının birinde deneysel düzeneği kurarak üretilen enerjinin kullanılabilirliği gerçek uygulamalar ile desteklenebilir.
- 4) Değişken su debisi ve basıncıyla üretilen gücün değişimi konusunda bir matematiksel modelleme ve formülize edilebileceği düşünülmektedir. Böylece farklı termal su kaynaklarındaki su basıncı debisine göre o kaynaktan alınacak maksimum güç tespit edilebilir.

6. KAYNAKLAR

- Ahıska, R., Mamur, H., Korkmaz, F., Topaloğlu, İ., Dönertaş, M.A., İçyer, A., ve Şahin, U. (2012). Termoelektrik Jeneratör Sistemleri Ve Fotovoltaik Sistemlerin Enerji Üretiminde Karşılaştırılması. Tabanlı Mekatronik Eğitim Çalıştayı, 6.
- Ahıska, R., Mamur, H., ve ULİŞ M. (2011). Termoelektrik Modülün Jeneratör Olarak Modellenmesi ve Deneysel Çalışması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, **26**.
- Ahıska, R., Mamur, H., ve Uliş, M. (2015). Application of a DC–DC boost converter with maximum power point tracking for low power thermoelectric generators. *Energy Conversion and Management*, **97**: 265-297.
- Akarşlan, E., Mahmut S., Çınar, F., Hocaoğlu, O., ve Serttaş, F. (2014). An Experimental Setup Design to Evaluate Power Generation Performances of TECs under Different Temperatures. *Applied Mechanics and Materials*, **492**: 473-477. Switzerland.
- Akçay, H., (2015). LPG ile Çalışan Buji Ateşlemeli Bir Motorda, Egzoz ve Soğutma Sisteminde Kaybedilen Isının TEJ Modülü İle Kullanılabilir Enerjiye Dönüştürülmesi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Isparta.
- Atık, K., ve Kayabaşı, R. (2009). Jeotermal Enerji Kullanılarak Termoelektrik Jeneratör ile Elektrik Enerjisi Üretimi, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, **6**: 59-64.
- Baş, Ş. (2014). Atık Baca Gazı Kullanımı İle Termoelektrik Jeneratörlerde Elektrik Üretiminin Faydalı Kullanımının Deneysel İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Karabük.
- Can, E. (2010). Bir Azaltan-Artıran DA-DA (Buck-Boost) Dönüştürücü Tasarımı Ve Gerçeklenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Trabzon.
- Cernaianu, M.O., Cirstea, C, and Gontean, A. (2012). Ćuk converter employing indirect current control loop for TEG energy harvesting devices. In Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME), 2012 IEEE 18th International Symposium for, 193-196. IEEE.

- Çalışır, O. (2014). Termoelektrik Jeneratörlerde Atık Isı Kullanımına Bir Uygulama: Pem Yakıt Pili Atık Isısının değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ericyes Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Kayseri.
- Çevik, Ö. (2011). Termoelektrik Tabanlı Portatif Bir Jeneratörün Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Kırıkkale.
- Dikilitaş, S. (2002). Mikrodenetleyici Kontrollü Jeotermal Termoelektrik Jeneratör Tasarımı ve Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Dikmen, E. (2002). Termoelektrik soğutucuların çalışma kriterlerine etki eden faktörlerin ve endüstrideki kullanım alanlarının tespiti, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Isparta.
- Eakburanawat, J. (2006). Development of a thermoelectric battery-charger with microcontroller-based maximum power point tracking technique. *Elsevier*, **83**: 687-704.
- Fettah, S. (2010). Katı Oksit Yakıt Pili Atık Isısından Elektrik Enerjisi Üretim Sisteminin Deneysel Analiz, Yüksek Lisans Tezi, Başkent Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Gür, S. ve Atik, K. (2009). Yoğunlaştırıcı Güneş Kolektörler Ve Termoelektrik Jeneratörler Kullanarak Elektrik Üretim. 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09): 4.
- Kaya, A.Y. (2010). Egzoz Gazındaki Isı İle Çalıştırılan Termoelektrik Sistemin Deneysel İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Isparta.
- Kayabaşı, R. (2009). Jeotermal Enerji Kullanılarak Termoelektrik Jeneratör İle Elektrik Üretimi. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Karabük.
- Kervankıran, İ. (2012). "Afyonkarahisar İlinde Jeotermal Enerji Kullanımı Ve Soruları. *Marmara Coğrafya Dergisi*, 108-126. İstanbul.
- Kırmacı, V. (2002). Termoelektrik Soğutma Etkisinin Soğutmada Kullanılması. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

- Kim, R.Y. and Lai jJ.S. (2008). Aggregated modeling and control of a boost-buck cascade converter for maximum power point tracking of a thermoelectric generator. Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2008. APEC 2008. Twenty-Third Annual IEEE, 1754-1760. IEEE.
- Kinsella, C.E., O'Shaughnessy S.M., Deasy M.J., Duffy M., and Robinson A.J. (2014). Battery charging considerations in small scale electricity generation from a thermoelectric module. *Applied Energy*, **114**: 80-90.
- Kusch, A.S., Bass, J.C., Ghamaty, S., and Elsner, N.B. (2001). Thermoelectric Development at Hi-Z Technology. 20th International Conference on Thermoelectrics, 422-430.
- Lertsatitthanakorn, C. (2007). Electrical performance analysis and economic evaluation of combined biomass cook stove thermoelectric (BITE) generator. *Bioresource Technology*, **98**(8): 1670-1674.
- Mamur, H. (2013). Termoelektrik Jeneratörün Elektriksel, Termoelektriksel ve Isıl Parametrelerinin İncellenmesi İçin Bilgisayarlı Bir Veri Edinim Ve Test Sisteminin Gerçekleştirilmesi. Doktora Tez, Gazi Üniveristesi, Bilişim Enstitüsü, Ankara.
- Mamur, H. ve Ahıska, R. (2015). Application of a DC–DC boost converter with maximum power point tracking for low power thermoelectric generators. *Energy Conversion and Management*, **97**: 265-272.
- Maneewan S., Hirunlabh J., Khedari J., Zeghamati B. and Teekasap S. (2005). Heat gain reduction by means of thermoelectric roof solar collector, *Solar Energy. Elze*, **78**: 495-503.
- Sungkyu, C., Kim, N., Park, S. and Kim, S. (2010). A coreless maximum power point tracking circuit of thermoelectric generators for battery charging systems. In Solid State Circuits Conference (A-SSCC), 2010 IEEE Asian, 1-4. IEEE.
- Şafak, A. (2014). Termoelektrik Etki İle Otomobil Egzoz Sistemindeki Kayıp Isının Elektrik Üretiminde Kullanılması. Tübitak Projesi, Ted Ankara Koleji, Ankara.
- Temizer, İ., İlkılıç, C., Tanyeri, B. ve Cihan M. (2012). Termoelektrik Teknolojisinin Taşıt Sistemleri Üzerinde Etkileri. *In Journal of Life Sciences*, **1**: 2.

Tugay, M. (2010). Dinamik Yapılı Parabolik Yansıtıcı Kullanılarak Termoelektrik Dönüştürücüler ile Sağlanan Elektrik Enerjisinde Optimum Düzeyin Elde Edilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Kırıkkale.

Woo, B.C., Lee, D.Y., Lee, H.W. and Kim, I.J. (2001). Characteristic of maximum power with temperature difference for thermoelectric generator. Thermoelectrics, 2001. Proceedings ICT 2001. XX International Conference on, 431-434. IEEE.

Yalçın, G., Selek, M. ve Terzioğlu, H. (2016). Termoelektrik Jeneratör ile Maksimum Enerji Elde Edilmesi için Levha Tasarımı. Paper presented at the UMYOS 5th International Vocational School Symposium, 909-916. Prizen.

İnternet Kaynakları

- 1) <http://www.emo.org.tr>, 01.06.2017
- 2) <http://www.iea.org>, 17.05.2017
- 3) <http://www1.mmo.org.tr>, 08.04.2017
- 4) <http://teknikadam.org>, 20.03.2017

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Abdullah Cem AĞAÇAYAK
Doğum Yeri ve Tarihi : KONYA 11/02/1980
Yabancı Dili : İngilizce
İletişim (Telefon/e-posta) : 530-4353545 / cemagacayak@selcuk.edu.tr

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Konya Meram Teknik Lisesi, (1995-1999)
Lisans : Gazi Üniversitesi, Elektrik Eğitimi Bölümü, (2000-2006)
Selçuk Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği, (2014-2015)
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Anabilim Dalı, (2009-2017)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : Ediz Elektronik GmbH, Ankara, (2005-2006)
Ayper Elek.-Elektr. Otomasyon, Bursa (2007-2008)
Atara Elek.-Elektr. Otomasyon, Konya (2008-2009)
Medaş Elektrik Dağıtım Şirketi, Konya (2009-2011)
Selçuk Üniversitesi Teknik Bil. M.Y.O., Konya, (2011-Devam ediyor.)

Yayınları (SCI ve diğer) :

Ağaçayak, A.C., Çimen, H., Neşeli, S. & Yalçın, G. (2017, 18-20 Mayıs). Termoelektrik Jeneratör İle Elektrik Üretimi, (Yazılan Yüksek Lisans Destekli Makale), Paper presented at the UMYOS 6th International Vocational School Symposium, Saraybosna/BOSNA HERSEK.

Dursun, A.E., Terzioğlu, H., Yalçın, G.& Ağaçayak, A.C. . (2017, 18-20 Mayıs). Yer altı Kömür Ocaklarında Zararlı Gazların Tespiti İçin Yeni Bir Erken Uyarı

Sisteminin Geliştirilmesinin Önemi, Paper presented at the UMYOS 6th International Vocational School Symposium, Saraybosna/BOSNA HERSEK.

Arslan, C., Gökgündüz, H. B., Ağaçayak, A.C. & Dursun, A. E. (2017, 18-20 Mayıs).Uygulamalı Elektronik Dersleri İçin Modüler Deney Seti, Paper presented at the UMYOS 6th International Vocational School Symposium, Saraybosna/BOSNA HERSEK.

Kazan, F.A., Terzioğlu, H. &Ağaçayak, A.C., (2015). The Design of a Test & Development Board for the Training of PIC18F4550 Microcontroller. 2nd International Conference on Information Science and Control Engineering. 2015 IEEE Shanghai/CHINA.

Kitaplar

:

Terzioğlu, H., & Gökgündüz, H. B. (2014). Uygulamalı Dijital Elektronik Devreleri (M. Selek & A. C. Ağaçayak Eds.). Selçuk Üniversitesi Basımevi: Mesleki Akademi.

Terzioğlu, H., Ağaçayak, A. C., Arslan, M., & Kazan, F. A. (2014). Elektrik-Elektronik Ölçme Tekniği ve Uygulamaları (M. A. Anadolu & M. Selek Eds.). Selçuk Üniversitesi Basımevi: Mesleki Akademi.

Kazan, F. A., Ağaçayak, A. C., Arslan, C., & Selek, M. (2014). MikroC ile PIC18F4550 Uygulamaları (H. Terzioğlu & S. Satuk Eds.). Selçuk Üniversitesi Basımevi: Mesleki Akademi.

Sungur, C., Karyeyen, A., & Ağaçayak, A. C. (2016). Sayısal Elektronik ve Uygulamaları. Selçuk Üniversitesi Basımevi.