

**T.C.  
ISPARTA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**TERMOELEKTRİK ÜRETEÇ İLE KALORİFER  
RADYATÖRLERİNDEN ELEKTRİK ÜRETİMİNİN DENEYSEL  
İNCELENMESİ**

**Yakup YAĞMUR**

**Danışman  
Dr. Öğr. Üyesi. Kubilay TAŞDELEN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
ISPARTA- 2018**



© 2018 [Yakup YAĞMUR]

## TEZ ONAYI

**Yakup YAĞMUR** tarafından hazırlanan "**Termoelektrik Üreteç ile Kalorifer Radyatörlerinden Elektrik Üretiminin Deneysel İncelenmesi**" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü **Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

**Danışman**

**Dr. Öğr. Üyesi. Kubilay TAŞDELEN**

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

**Jüri Üyesi**

**Doç. Dr. Ramzan ŞENOL**

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

**Jüri Üyesi**

**Doç. Dr. Ecir Uğur KÜÇÜKSİLLE**

Süleyman Demirel Üniversitesi

**Enstitü Müdürü**

**Prof. Dr. Yusuf UÇAR**

## **TAAHHÜTNAME**

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

**Yakup YAĞMUR**

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET .....	ii
ABSTRACT .....	iv
TEŞEKKÜR.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	4
3. MATERYAL VE YÖNTEM .....	9
3.1. Termoelektrik Yapısı .....	9
3.1.1. Termoelektrik modüller .....	11
3.2. Termoelektrik Etkiler.....	14
3.2.1. Seeback etkisi.....	15
3.2.2. Peltier etkisi.....	17
3.2.3. Thomson etkisi.....	18
3.3. Termoelektrik Jeneratör .....	18
3.4. Donanım .....	19
3.4.1. TEC1-12708 modül.....	20
3.4.2. Arduino kart ve SD kart .....	22
3.4.3. Sıcaklık sensörleri .....	23
3.4.3.1. MAX31855 sıcaklık sensörü.....	23
3.4.3.2. MCP9808 sıcaklık sensörü.....	23
3.4.4. INA219 akım / gerilim sensörü .....	24
3.4.5. Sürücülü fan modül .....	25
3.5 Yazılım.....	25
3.5.1. Akış diyagramı.....	26
3.5.2. Arduino IDE kod editörü .....	27
3.6. Termoelektrik Jeneratör ile Kalorifer Radyatöründen Elektrik Üretimi .....	29
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	31
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	42
KAYNAKLAR .....	44
EKLER.....	48
EK A. Kodlar.....	49
EK B. TEC12708 katalog bilgileri .....	52
EK C. MPC9808 katalog bilgileri .....	54
EK D. MAX31855 katalog bilgileri.....	55
ÖZGEÇMİŞ.....	56

## ÖZET

### Yüksek Lisans Tezi

## TERMoeLEKTRİK ÜRETEÇ İLE KALORİFER RADYATÖRLERİNDEN ELEKTRİK ÜRETİMİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ

Yakup YAĞMUR

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Elektrik Elektronik Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi. Kubilay TAŞDELEN

Termoelektrik teknolojisi 19. yüzyıl ortalarından beri biliniyor olmasına karşılık yeterince işlevsel bir kullanım alanına ulaşamamıştır. En yoğun kullanım alanı elektrik üretim alanı değil soğutma alanı olmuştur. Otomobillerde kullanılan küçük buzdolaplarının yapımında, bilgisayar işlemcilerinin soğutulmasında, otomobil egzozlarında oluşan ısıyı elektrik enerjisine dönüştürme amacıyla kullanılmaktadır.

Termoelektrik üreteç veya termoelektrik jeneratör ısı enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren cihazdır. Alman Thomas Seebeck tarafından farklı iki metalden oluşan ve metallerin birleşim yerlerinin farklı sıcaklıklarda tutulduğu kapalı bir devrede devamlı elektrik akımının oluştuğunu bulmuştur. Bu oluşuma Seebeck etki veya daha genel bir ifade ile termoelektrik etki denir.

Bu tez çalışmasında, kış aylarında evlerde kullanılan kalorifer radyatörlerinin yüzey sıcaklığı ve duvarın yüzey sıcaklığı gözlemlenmiştir. Bu iki yüzey arası sıcaklık farkı radyatör sıcaklığının yaklaşık yarısı kadar olduğu görülmüştür. Gözlemlenen sıcaklık farkını kullanarak âtil sıcaklığı ortam sıcaklığında hissedilebilir hale getirmek için sıcaklık farkı ile doğru orantılı olarak elektrik enerjisi üretebilen termoelektrik üreteçler kullanılmıştır. Sıcaklık farkından elektrik üretebilen termoelektrik üreteçlerin, bir yüzü radyatöre (sıcak yüzey) diğer yüzü duvara (soğuk yüzey) temas edecek şekilde bir sistem tasarlanarak sıcaklık farkı oluşturulup elektrik enerjisi elde edilmiştir. Radyatör kanallarında biriken sıcaklığı hızlı bir şekilde odada hissedilebilir hale getirmek için kanal boşluklarının altına sıcak havayı üfleyebilecek şekilde fanlar monte edilmiştir. Termoelektrik üreteçler kullanılarak üretilen elektrik enerjisi ile kalorifer radyatörünün kanal boşluklarına monte edilen fanlar beslenerek ısı konfor sağlanmıştır. Yapılan bu çalışmada, termoelektrik jeneratör modülleri kullanılarak elektrik enerjisi elde edilmesi ve bu enerji ile ısı konfor sağlamak hedeflenmiştir.

Deneysel analiz için sıcaklık sensörleri ve akım/gerilim sensörü bağlanarak sıcaklık verileri ve elektriksel parametreler arduino kart ile okunmuş ve SD kart hafızasına kaydedilmiştir. Kaydedilen veriler karşılaştırılarak deneysel analiz gerçekleştirilmiştir.

Kalorifer radyatörünün ve duvarın yüzey sıcaklığını kullanarak sıcaklık farkı elde edilmiştir. Sıcaklık farkından, termoelektrik jeneratörler ile oda sıcaklığında maksimum 3,24 W güce sahip elektrik enerjisi elde edilmiştir. Üretilen enerjiyi faydalı kullanmak adına radyatör kanallarındaki fanlar beslenerek normal oda sıcaklığı 8°C artırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Peltier, termoelektrik jeneratör, enerji verimliliği.

**2018, 56 sayfa**



## **ABSTRACT**

**M.Sc. Thesis**

### **EXPERIMENTAL ANALYSIS of PRODUCING ELECTRICAL ENERGY FROM the HEATER RADIATOR USING THERMOELECTRIC GENERATOR**

**Yakup YAĞMUR**

**Isparta University of Applied Sciences  
The Institute for Graduate Education  
Department of Electric Electronic**

**Supervisor: Asst. Prof. Dr. Kubilay TAŞDELEN**

Although thermoelectric technology has been known since the middle of 19th century, it has not reached its a functional area. The most intensive use area is not the electricity production area but the cooling area. It is used in the invention of small refrigerators used in automobiles, cooling of computer processors, heat generated in automobile exhausts, and converting it into electrical energy.

Thermoelectric generator is the device that converts heat energy directly to electrical energy. It was found by German Thomas Seebeck that there was a constant electric current in two different metals and in a closed circuit where metals were held at different temperatures. This formation is called Seebeck effect or, more generally, thermoelectric effect.

In the winter, the surface temperature of the radiators used in homes and the surface temperature of the wall were observed. The temperature difference between these two surfaces was found to be about half the temperature of the radiator. Using the observed temperature difference, thermoelectric generators are used to produce electrical energy in direct proportion to the temperature difference in order to make the inert temperature sensible at ambient temperature. By designing a system in which the thermoelectric generators which can generate electricity from the temperature difference, contact one side of the radiator (hot surface) and the other face to the wall (cold surface), the temperature difference is created and the electrical energy is obtained. Fans are mounted in the radiator ducts so that warm air can blow under the duct cavities to make the accumulated temperature quickly felt in the room. Thermal comfort is provided by feeding the fans we have installed in the channel cavities of the radiator with the electrical energy we produce by using thermoelectric generators. In this study, it is aimed to obtain electrical energy by using thermoelectric generator modules and thermal comfort with this energy.



For the experimental analysis, the temperature sensors and the current / voltage sensor were connected and the temperature data and electrical parameters were read with the arduino card and stored in the SD card memory. Experimental analysis was performed by comparing recorded data.

The temperature difference was obtained by using the surface temperature of the radiator and wall. From the temperature difference, electrical energy with a power of 3,24 W at room temperature with thermoelectric generators was obtained and stored in the battery. In order to use the produced energy beneficially, the fans in the radiator channels are fed and the room temperature is increased by 8 ° C.

**Keywords:** Peltier, thermoelectric generator, energy efficiency.

**2018, 56 pages**



## TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni ynlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrbesi ile aşmamda yardımcı olan değerli Danışman Hocam Dr. đr. yesi. Kubilay TAŞDELEN'e teŐekkrlerimi sunarım.

1130-YL-05 No`lu Proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı'na teşekkür ederim.

Tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Yakup YAğMUR  
ISPARTA, 2018



## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 3.1. Termoelektrik modüllerin yapısı .....	10
Şekil 3.2. Termoelektrik modül .....	11
Şekil 3.3. P-tipi eleman çalışma şeması .....	12
Şekil 3.4. N-tipi elemanın çalışma şeması .....	12
Şekil 3.5. N-tipi elemanların seri bağlanması .....	13
Şekil 3.6. P-N çifti ile ısı pompalanması .....	13
Şekil 3.7. Seeback voltajının ölçümü .....	15
Şekil 3.8. Peltier etkisi devresi .....	17
Şekil 3.9. Termoelektrik jeneratör çalışması .....	19
Şekil 3.10. Deneyde kullanılan elemanlar .....	19
Şekil 3.11. TEC1- 12708 özellikleri .....	20
Şekil 3.12. TEC1- 12708 bağlantısı .....	21
Şekil 3.13. Arduinio ile SD kart bağlantı şeması .....	23
Şekil 3.14. MAX31855 bağlantı şeması .....	24
Şekil 3.15. MCP9808 bağlantı şeması .....	24
Şekil 3.16. INA 219 bağlantı şeması .....	24
Şekil 3.17. L9110 bağlantı şeması .....	25
Şekil 3.18. Sistemin akış diyagramı .....	26
Şekil 3.19. Arduino IDE kod editörü .....	28
Şekil 3.20. Sistemin çalışma şeması .....	29
Şekil 4.1. Deney düzeneğinin genel görünüşü .....	31
Şekil 4.2. Radyatör ile duvar sıcaklık seyri .....	33
Şekil 4.3. Ortam sıcaklığı ile radyatör sıcaklık seyri .....	34
Şekil 4.4. Ortam sıcaklığı ile duvar sıcaklık seyri .....	34
Şekil 4.5. Sıcaklık farkına ve ortam sıcaklığına göre değişen güç eğrisi .....	36
Şekil 4.6. Sıcaklık farkına ve ortam sıcaklığına göre değişen akım eğrisi .....	37
Şekil 4.7. Sıcaklık farkına ve ortam sıcaklığına göre değişen gerilim eğrisi .....	37
Şekil 4.8. Sıcaklık farkına göre değişen fanlı ortam sıcaklığı ve fansız ortam sıcaklığı .....	41
Şekil 4.9. Isıl konfor .....	41

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Çizelge 1.1 Bazı maddelerin seebeck katsayıları.....	15
Çizelge 4.1 Değişen oda sıcaklığında duvar ve radyatör yüzey sıcaklık değerleri.....	32
Çizelge 4.2 Değişen oda sıcaklığında duvar ve radyatör yüzey sıcaklık farkına göre üretilen elektriksel değerler.....	35
Çizelge 4.3 Radyatörü fanlı ve fansız odalardaki ortam sıcaklık değerleri ...	39



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

$c$	Soğuyan yüzeye aktarılan ısı yük miktarı
$h$	Isınan yüzeye aktarılan ısı yük miktarı
$L$	Termoelement uzunluğu
$L_c$	Katman kalınlığı
$N$	Modüldeki termoelement sayısı
$t$	Zaman
$T$	Sıcaklık
TEJ	Termoelektrik jeneratör
$T_c$	Soğuk yüzey sıcaklığı
$T_f$	Fanlı ortam sıcaklığı
$T_h$	Sıcak yüzey sıcaklığı
$T_k$	Isıl konfor
$T_o$	Fansız ortam sıcaklığı
$T_{ort}$	Ortam sıcaklığı
$R_L$	Yük direnci
$Q_P$	Birim zamanda transfer edilen ısı miktarı
$W$	Güç birimi, watt
$\pi$	Peltier sabiti
$\lambda$	Termoelement ısı iletkenliği
$\lambda_c$	Temas yüzey ısı iletkenliği
$\alpha$	Seebeck katsayısı
$\eta$	Verim
$\iota$	Thomson katsayısı
$\rho$	Yarıiletkenin öz direnci
$\rho$	Elektriksel direnç
$\rho_c$	Elektriksel temas direnci
$\varepsilon$	Ekserji verimi
$\Delta T$	Sıcaklık farkı

## 1. GİRİŞ

Enerji kaynaklarının fosil yakıt kökenli olması ve çevreye verdiği olumsuz etkilerinden dolayı insanlık yeni nesil enerji teknolojilerini geliştirmeyi hedef edinmiştir. Günümüz teknolojisinde kullanılan ve oldukça yaygın olan fosil enerji kaynakları genel olarak kömür, petrol, doğal gaz ve orman ürünleridir. Bu gibi kaynaklardan elde edilen enerji kimyasal reaksiyon ve oksidasyon gibi birtakım olaylara dayanmaktadır. Kimyasal reaksiyon sonucu ortaya çıkan enerji, bazı zamanlar doğrudan doğruya, bazı zamanlarda da başka bir enerjiye dönüştürülerek dolaylı olarak kullanılır. Buna en güzel örnek olarak kimyasal reaksiyonlar sonucunda elde edilen elektrik enerjisini verebiliriz. Kimyasal yol ile elektrik enerjisi elde etmede bataryalar ve kuru tip piller yaygın olarak kullanılmaktadır. Son yıllarda önemle üzerinde durulan yakıt bataryaları ile ilgili olarak ise çalışmalar da yoğun bir şekilde sürdürülmektedir. Ülkelerin enerji ihtiyacının karşılanmasının yanında çevre bilincinin korunması, verimliliğin artırılması, kaynak çeşitliliğinin ve sürekliliğinin sağlanması da son derece önemlidir. Enerji politikalarında düşünülmesi gereken temel unsur, teknolojik ve sosyal gelişmeyi destekleyecek şekilde enerji ihtiyacını karşılayan, güvenilir, kaliteli, temiz ve ekonomik enerji türlerine yönelmektir (Temizer, 2010).

Günümüzde, küresel ısınma ve kirlilik, enerji elde etmek için fosil madde esaslı yakıtların ağırlıklı olarak kullanılmasının da etkisiyle, dünyadaki yaşamsal faaliyetleri tehdit edecek bir boyuta ulaşmıştır. Bu nedenle, bugün, günlük hayatta ve sanayide kullanılması zorunlu elektrik enerjisinin, çevreye en az zarar verecek biçimde üretimi, iletimi ve tüketiminin gerçekleştirilmesi konusu çözülmesi gereken en önemli sorunlardan biri haline gelmiştir (Şerafettin, 2010). Yenilenebilir ve temiz enerji teknolojileri arasında belki de en fazla dikkat çekenlerden bir tanesi, termal enerjiyi kullanarak elektrik enerjisi üretilmesini sağlayan termoelektrik teknolojisidir.

Enerji kaynakları içinde elektrik enerjisi üretimi, büyük ölçüde elektromanyetik indüksiyona dayalı jeneratörlerin etkisinde olduğunu söyleyebiliriz. Söz konusu

etki dışında günümüzde termoelektrik olarak adlandırılan teknoloji 19. yüzyıl ortalarından beri biliniyor olmasına karşılık yeterince işlevsel bir kullanım alanına ulaşamamıştır. Isı enerjisi ile elektrik enerjisinin birbirlerine doğrudan dönüşümünü tanımlayan termoelektrik yapıların temelleri 1821 yılında Alman fizikçi Thomas Johann Seebeck tarafından atılmıştır (Dikmen, 2002).

Termoelektrik Seebeck iki farklı metalin uçları arasında sıcaklık farkı oluşturulduğunda pusula iğnesinin saptığını keşfetmiştir. Seebeck etkisi olarak bilinen ve Seebeck'in ölümünden sonra gerçek anlamıyla tanımlanan bu etki sıcaklık farkı ile yaratılan elektriksel potansiyel sonucunda oluşan devreye bağlanan bir yük direncinden akım akmasıyla sonuçlanmaktadır (Dikmen, 2002).

Bu buluştan on üç yıl sonra Fransız fizikçi Jean Charles Athanase Peltier tarafından Peltier etkisi bulunmuştur. Peltier iki farklı iletkenin ara yüzeyinden akım geçirilmesi sırasında ısının ya absorplandığı veya dışarı verildiğini bulmuştur. Son olarak William Thomson (Lord Kelvin) tarafından bu iki etki termodinamik yasaları çerçevesinde incelenip bütünleştirilmiştir. Thomson kendi adıyla yayınladığı bu etkiyi şu şekilde tanımlamıştır; iki farklı iletken hem ısıtılıp hem de üzerlerinden akım akması sağlandığında, bütün yapı boyunca ısı ya absorplanır veya dışarı verilir (Özgün, 2009).

Termoelektrik malzemelerin önemli teorik ifadeleri Edmund Altenkirch tarafından ortaya konmuştur. Altenkirch iyi bir termoelektrik malzemenin karakteristiğini belirlerken Seebeck katsayısı ve elektriksel iletkenliği yüksek, fakat termal iletkenliğin kötü olması gerektiğini ortaya koymuştur. Yarı iletken malzemelerin gelişimleri ile verimleri %5-6 seviyesine çıkan termoelektrik yapıların gelişimi hızla devam etmektedir. Kuantum kuyu biçiminde yapılandırılmış malzemelerle verimler bugün laboratuvar ölçeğinde %20 değerlerine ulaşmıştır (Chavez vd., 2011).

Termal konfor kişinin termal çevre ile olan memnuniyetini ifade edip değerlendirmesini sağlayan nesnel bir değerlendirmedir. Isıl konforu etkileyen

parametreler kişisel ve çevresel olarak sınıflandırılabilir. Çevresel parametreler olarak ortam sıcaklığı, ortam bağıl nemi, ortam hava hızı ve ortalama ışınım sıcaklığıdır. Kişisel parametreler ise kişinin metabolik aktivite düzeyi ve giyinme durumudur (Atmaca ve Yiğit, 2009). Canlılar ve özellikle de insanların yaşadığı ortamlarda ısı konfor şartlarının sağlanması iş verimi açısından önemlidir. İnsan vücudu enerji üreten ve tüketen bir sistemdir. İnsan ancak ürettiği ve tükettiği enerji arasında enerji dengesi kurabilir ve vücut sıcaklığını 37°C de sabitleyebilirse kendisini rahat hisseder ve ısı konforuna ulaşır.

Yapılan bu çalışmada, termoelektrik dönüştürme elemanlarından oluşan termoelektrik jeneratör (TEJ) modül kullanımıyla elektrik enerjisinin elde edilmesi ve bu üretilen elektrik enerjisi ile ısı konfor sağlamak hedeflenmiştir. Kalorifer radyatörlerinin yüzey sıcaklığı ve duvarın yüzey sıcaklığı gözlemlenmiştir. Gözlemlenen sıcaklık farkını kullanarak, sıcaklık farkı ile orantılı olarak elektrik enerjisi üretebilen termoelektrik üreteçler kullanılmıştır. Termoelektrik üreteçlerin bir yüzü radyatöre (sıcak yüzey) diğer yüzü duvara (soğuk yüzey) temas edecek şekilde bir sistem tasarlayarak sıcaklık farkı oluşturulup elektrik enerjisi elde edilmiştir. Kalorifer radyatörü üzerine monte edilen 70 adet TEJ; radyatör fanlarını besleyecek gerilim ve akım için birinci blokta 35 TEJ seri, ikinci blokta 35 TEJ seri olacak şekilde bağlanarak iki blok oluşturulmuştur. Seri bağlı bu iki blok kendi arasında paralel bağlanarak maksimum 3,24 W güç elde edilmiştir.

Radyatör kanallarında biriken sıcaklığı odada hissedilebilir hale getirmek için kanal boşluklarının altına sıcak havayı üfleyebilecek şekilde 3 adet fan monte edilmiştir. Termoelektrik üreteçler kullanılarak ürettiğimiz elektrik enerjisi ile kalorifer radyatörünün kanal boşluklarına monte ettiğimiz fanlar beslenerek oda sıcaklığında 1°C ile 8°C arasında değişen sıcaklık artışı sağlanmıştır. Isıl konforu etkileyen çevresel parametrelerden en önemlisi olan ortam sıcaklığı radyatör üzerine monte ettiğimiz fanlarla daha etkin hale gelmiştir. Bu çalışma termoelektrik jeneratörler kullanarak elektrik enerjisi elde etmede ve bu enerji ile oda sıcaklığını daha etkin seviyelere getirmede yani ısı konforuna bir örnek teşkil edecektir. Çalışma bu anlamda bir kaynak niteliği taşıyacaktır.



## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

Kalorifer radyatörlerindeki ısıyı kullanarak termoelektrik enerji elde etme ve ısı konfor sağlanması üzerine yapılan bu çalışma haricinde termoelektrik enerjiden yararlanılarak farklı çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bununla ilgili örneklere aşağıda yer verilmiştir.

Tsuyoshi and Matsuura (2002), makalelerinde termoelektrik modüllerin cebri soğutulmuş su (fan vasıtası ile) ve cebri ısıtılmış yağ (elektrikli ısıtıcı vasıtası) arasına yerleştirilerek oluşan sıcaklık farklarında ne tür sonuç ve tepkiler verdiği analiz edilmiştir. Çıkışa bağlanan bir direnç vasıtası ile sistemde ölçülen değerler tablo ve grafiklerle verilmiştir.

Lertsatitthanakorn (2004), yaptığı çalışmada soba kullanılan evlerde sobanın ölü kısmında (duvar dönük yüzünde) meydana gelen yüksek sıcaklığın termoelektrik modüllerin sıcak yüzeyine, termoelektrik modüllerin diğer yüzeyini ise duvara (dış duvar - dış yüzey) yerleştirilerek, elde edilen sıcaklık farkı ve bu farktan faydalanan termoelektrik modülden elde edilen elektrik enerjisi üzerinde çalışmışlardır. Özellikle küçük gerilimler ile çalışan cihazları (örneğin pil ile çalışan cihazları) çalıştırmada kullanabileceği belirtilmiş ve bunun analizi yapılmıştır. TEP1-1264-3.4 kodlu termoelektrik eleman kullandığı bu çalışmada farklı elektrikli dirençler için en fazla gücü elde etmeye çalışmıştır. 150 °C sıcaklık farkında da 2.4 W güç ve %3,2 verim elde etmiş, sistemin geri ödeme süresini hesaplamıştır.

Manewan vd. (2004), yapmış oldukları çalışmada, güneş enerjisinden faydalanarak termoelektrik modüllerle elektrik üretimini amaçlamışlardır. Termoelektrik modüllerle binanın çatısına yerleştirdikleri termoelektrik modüllerin sıcak yüzeyini güneş ışınımına, diğer yüzeyini ise fan vasıtasıyla ortam sıcaklığında bırakarak bir bilgisayar programı ile simule etmişlerdir. Sistemin tasarımı ve maliyetinden bahsetmişlerdir, sistemin verim oranı %22,05 olduğu ve kendisini yaklaşık 4,36 yılda amorti edeceği sonucuna varmışlardır.

Eakburanawat ve Boonyaroonate (2006), bu çalışmada termoelektrik modüller ile gerçekleştirilmiş bir pil şarjı anlatılmıştır. Bu sistemde termoelektrik modüller ısı enerjisini elektrik enerjisine dönüştürerek bir pilin şarjı için kullanılmışlardır. Farklı sıcaklıklarda termoelektrik modüllerin karakteristikleri test edilmiştir. Bir sepic DA-DA konverter devresi bir mikrodenetleyici tarafından kontrol edilerek maksimum güç nokta izleyici meydana getirilmiştir. Gerçekleştirilen sistem maksimum 7.99 Wattlık enerjide şarj edilmiştir. Bu çalışmada prensip olarak termoelektrik güç üretimi ile âtil ısı elektriksel bir güce dönüştürülmüştür.

Gür (2009), yapmış olduğu bu çalışmada, yoğunlaştırılmalı güneş enerjisi sistemi ve Termoelektrik jeneratör kullanarak elektrik üretimi yapmıştır. Güneş enerjisinden yüksek sıcaklık elde etmek amacıyla aynalarla odaklama yapılarak ışınım şiddeti yoğunlaştırılmıştır. Termoelektrik modüllerin bir yüzeyi yoğunlaştırılan ışınım ile ısıtılmakta, diğer yüzeyi ise doğal sirkülasyonla dolaşan su tarafından soğutulmaktadır. Dört adet termoelektrik modülün seri olarak bağlandığı sistemde üretilen elektriğin devreye bağlanan bir dış direnç üzerindeki gerilimi ölçülerek, güç değeri hesaplanmıştır. Yapılan sistemle, havanın çok açık olmadığı; yani ışınım şiddetinin düşük olduğu günde yapılan ölçümlerde elde edilen verim değerleri %1,043 olarak hesaplanmıştır.

Kayabaşı (2009), tarafından sıcaklık farklarından yararlanılarak elektrik üretebilen termoelektrik jeneratörlerin yapısı ve performansı incelenmiş, soğutma olarak kullanılan suyun debisi değiştirilerek üretilen elektriksel değerlerin kontrol edilip edilemeyeceği hazırlanan deney seti üzerindeki pratik uygulamalar vasıtası ile test edilmiştir. Deney sonucunda elde edilen veriler vasıtasıyla yapılan hesaplamalarda yeterli verimliliğe ulaşılmış ve su debisindeki değişimin elektriksel değerlere doğru orantılı olarak etki ettiği görülmüştür.

Tugay (2010), termoelektrik dönüştürücü kullanarak, güneş pillerine bir alternatif olarak, güneş ışınlarının ısıtma etkisinden faydalanmak suretiyle güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde etmiştir. Gelen güneş ışınları, silindirik-

parabolik bir yansıtıcı yardımıyla soğurulmuş ve ısı enerjisine dönüştürmüştür. Isıtma işlemi bu yöntemle sağlanırken, soğutma işleminde ise akışkan olarak su ve hava kullanılmış ve böylece termoelektrik dönüştürücülerden elektrik akımı elde edilmiştir. Deney sonuçlarına bakıldığında hava soğutmalı düzeneğin su soğutmalı düzeneğe göre daha verimli olduğu görülmektedir. Bu durumun sebebinin su soğutmalı düzenekte ısının termoelektrik modüller üzerine homojen olarak dağıtılamaması olduğu öngörülmüştür.

Kılıç (2010), termoelektrik jeneratörler kullanılarak yapılardaki atık enerjinin geri kazanılması üzerine bir çalışma hazırlamıştır. Çalışmada yapılan bir deney düzeneğiyle, bacadan atık olarak çıkan baca gazının oluşturduğu hava kirliliğinin olumsuz etkisini, oluşan baca ısısından hibrit enerji elde ederek olumlu yöne çevirmek amaçlanmıştır. Termoelektrik jeneratörün bir yüzeyinde bacadan gelen atık ısı, diğer tarafında ise çevre havası ve soğutma suyu döngüsü kullanılarak herhangi bir ısı kaybı olmaksızın yapının sıcak su ve elektrik enerjisi ihtiyacı verimli bir şekilde karşılanmıştır. Sonuçta yapılan hesaplamalar neticesinde %12,2'lik bir fayda sağlanmıştır. Deneylerin basınçlı brülör veya baca aspiratörü kullanmakla daha iyi neticeler vereceği tavsiye edilmiştir.

Fettah (2010), bu tez çalışmasıyla, katı oksit yakıt pilinin çalışması esnasında ortaya çıkan atık ısıdan yararlanılarak; hafif, gürültüsüz çalışabilen, yedek parça sorunu olmayan; savunma sanayi, medikal vb. çeşitli uygulama alanları bulunan ve Seebeck etkisiyle ısıyı elektrığe dönüştüren termoelektrik modüller kullanılarak elektrik enerjisi üreten bir sistemin çalışabilirliği gösterilmiştir. Bu çalışma kapsamında atık ısıdan elektrik üretimi amacıyla tasarlanan sistem için prototip geliştirilmiş; soğutucu akışkan türlerine ve akışkanların akış hızlarına göre sistemin deneysel performans analizleri gerçekleştirilmiştir. Soğutucu akışkan olarak kullanılan havanın yüksek hava akış hızında verildiğinde üretilen elektrik enerjisinin su soğutmalı sisteme göre daha fazla olduğu görülmüştür.

Oplustil ve Zalesak (2013), termal enerji jeneratörü kullanarak iletim sistemleri için güç seçeneği oluşturulmasını araştırmışlardır. Çalışmada kablosuz iletim sistemleri için elektrik jeneratörünün olması gereken yapısı tanımlanmıştır. Bu

elektrik jeneratörlerini kullanmaktaki ana hedef, insanın avuç içindeki sıcaklık ve duvar yüzü sıcaklığı arasındaki farka bağlı olarak küçük bir ısı fark,  $\Delta T$ , sağlanarak bu sıcaklık farkını kullanabilmektedir. Ölçülen bir bilgi göstermiştir ki, çok küçük sıcaklık farkları bile binalardaki kablosuz iletim sistemleri için yeterli enerji elde etmeyi mümkün kılmaktadır. Çalışmada kullanılan termal jeneratör 1ms'lik sürede 40mA'lık akım sağlayabilmektedir. Bu zamanlama basit bir telegramı iletmek için yeterli verimliliktedir. Böylelikle çalışma gelecekteki kablosuz iletim sistemlerinin termoelektrik jeneratör kullanarak tasarlanabileceğine ve telegramların iletilebileceğine kapı açmaktadır.

Imayat ve Hussain (2013), yeşil bina teknolojisi için plastik cama yerleştirilmiş termoelektrik sistemlerden güç üretimini araştırmışlardır. Araştırmada oda içi ve oda dışı sıcaklık farkı oluşturularak sıcaklığın elektrik enerjisi olarak kazanımı amaçlanmıştır. Pleksiglas malzemenin pencere olarak kullanılabileceği düşünülerek termoelektrik malzemenin 5mm'lik alanda 10nW'lık güç üretebileceği görülmüştür. Sistem sadece, yeterli sıcaklık farkı oluşturulduğunda çalışmaktadır ve küçük uygulamalı elektrikli cihazları da şarj edebilmek için uygun bir kaynak olduğu vurgulanmıştır.

Baş (2014), Bu çalışmada ise termoelektrik modüllerin uygulama alanlarına göre çalışma prensibi ve karakteristik özelliklerine yönelik araştırmalar yapılmış, termoelektrik jeneratör sistemi ile elektrik üretimi için prototip deney sistemi oluşturulmuş, oluşturulan bu deney sisteminde termoelektrik jeneratörün sıcak olması gereken kısmının atık gaz tarafından ısıtılması ve soğutulan kısım ise farklı su debilerinde soğutulması sağlanmıştır. Çalışma esnasında gerilim değerlerinin 5,11V ile 8,69 V arasında değiştiği görülmüştür. Debi 0,083 lt/s olduğu anda 8,69 Volt ve 1,45 Amper'lik maksimum performans elde edilmiştir. Soğutma suyu debisi değiştirilerek yapılan deneylerde artan soğuk su debisi ile elektrik üretiminin doğru orantılı olarak arttığı gözlemlenmiştir.

Atmaca ve Yiğit (2009), bu çalışmada ısı konfor parametreleri ayrıntılı olarak incelenmiş, örnek olarak seçilen bir ortama göre konfor seviyesi hesaplanmış ve

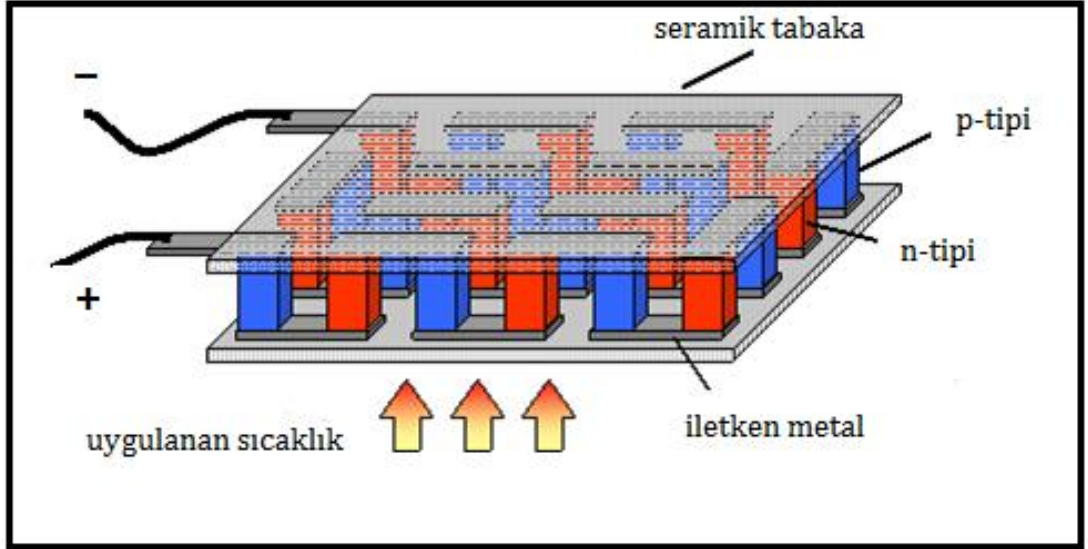
ıkan sonuçlar tablolar ve diyagramlar halinde verilmiştir. İnsanların içinde buldukları çevrenin çevresel parametreleri ve kişisel parametreleri dikkate alınarak Fanger Isıl Konfor Denklemi 'ne göre örnek bir çalışma yapılmıştır.



### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Termoelektrik Yapısı

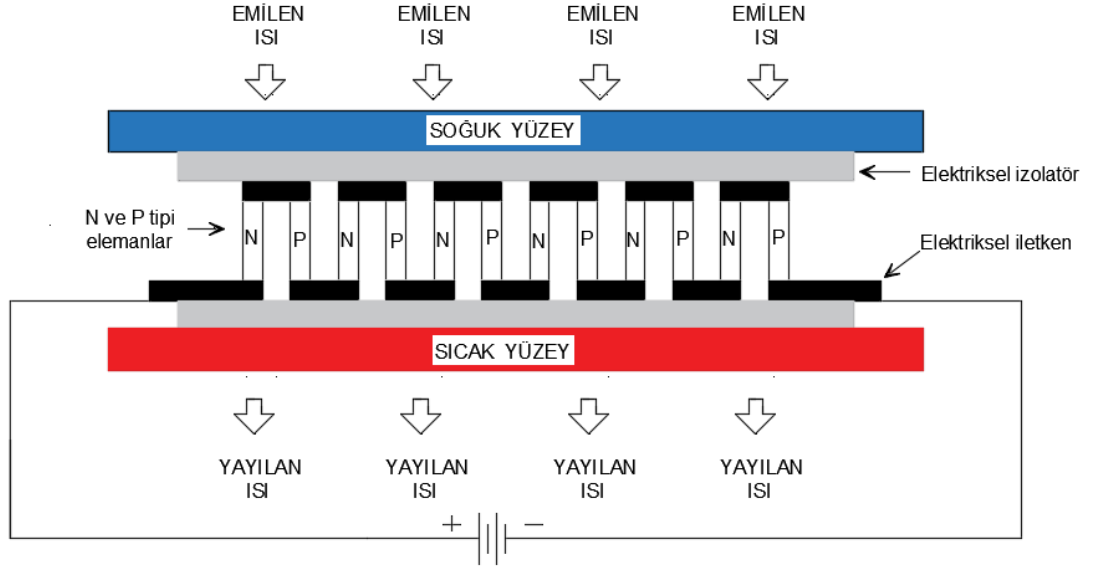
Termoelektrik yapılar, termoelektrik jeneratörler ve soğutucular olmak üzere iki başlık altında incelenebilir. Termoelektrik jeneratörler ve soğutucular termodinamik kanunlarına bağlı olarak doğrudan enerji dönüşümlerini gerçekleştiren yapılardır. Termoelektrik jeneratörler ısı enerjisini doğrudan elektrik enerjisine çeviren yapılardır. Termoelektrik soğutucular ise ısının soğuk bölgeden sıcak bölgeye elektrik enerjisini kullanarak taşınmasını sağlayan ısı pompalarıdır. Termoelektrik jeneratörlerde ve soğutucularda yarı iletken malzemeler kullanılmakta ve kullanılan N ve P tipi yarı iletkenlerin ısı transferinde gösterdikleri tepkiler değişiklik göstermektedir. N tipi yarı iletkenlerde ısı serbest olan elektronlar ile taşınırken P tipi yarı iletkenlerde boşluklar ile taşınır. N ve P tipi bu iki yarı iletkenin birbirlerine iletken bir malzeme ile bağlanması ile tek bir hücre oluşturulmuş olur. Bu hücrelerin iki seramik tabaka arasında birleştirilmesiyle termoelektrik modül oluşturulur. Şekil 3.1'de termoelektrik modül yapısına ait şekil verilmiştir (Doğdu, 2013).



Şekil 3.1. Termoelektrik modüllerin yapısı (Doğdu, 2013)

### 3.1.1. Termoelektrik modül

Yarı iletken malzemeler, elektriksel olarak seri, termal olarak paralel bağlanarak çeşitli amaçlar için farklı güçlerde termoelektrik modüller elde edilmektedir. Termoelektrik modüller, hareketli parçası olmayan küçük birer ısı pompasıdır.

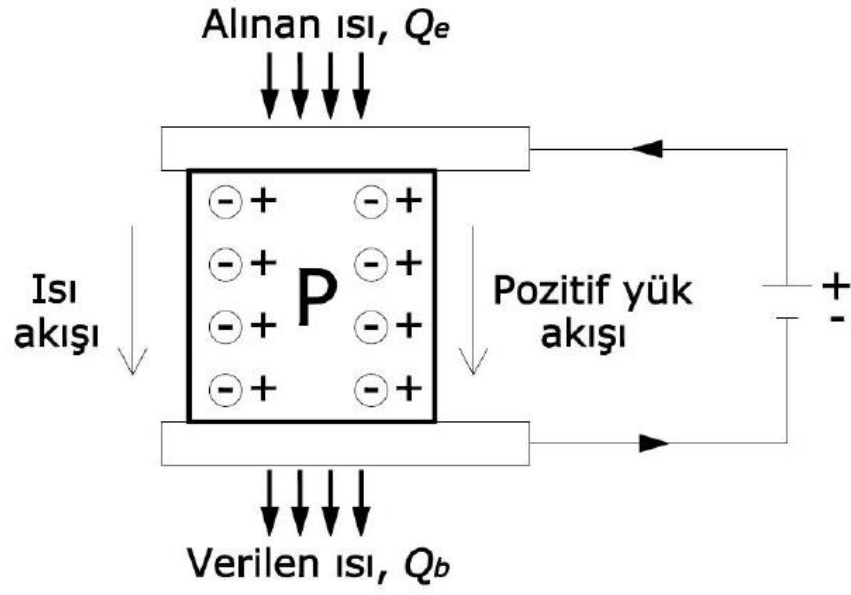


Şekil 3.2. Termoelektrik modül

Şekil 3.2.'de görüldüğü gibi termoelektrik modülün yapısında elektriksel izolatör yüzeyler arasında P ve N yarı iletkenlerinin seri bağlantısı ile oluşturulmuştur. Elektronlar - kutuptan + kutba doğru hareket ederler. Elektrik akımının yönü hareket eden yüklerin yönüne göre belirlenmiştir. Buna göre bir maddede elektronların hareket yönünün tersi elektrik akımının yönü olarak saptanmıştır. Bir diğer ifade şekliyle elektron boşluklarının (delikler) hareket yönü elektrik akımının da yönü olarak kabul edilmiştir (Kaya, 2010).

P tipi elemanda (Şekil 3.3);

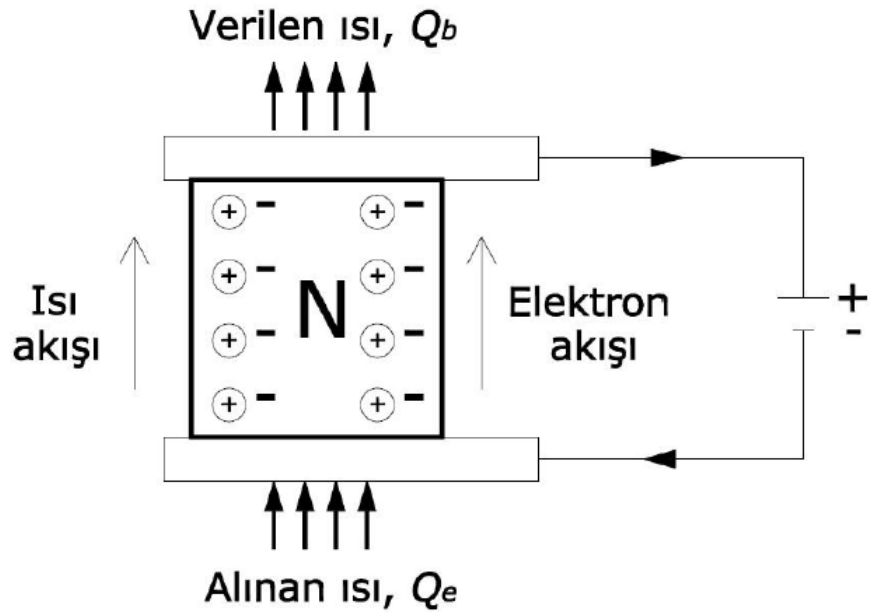
- Elektrik akımı serbest "delikler" tarafından taşınır.
- Isı akış yönü, delik hareketiyle aynı yöndedir.
- N-tipi elemanla seri bağlanınca ısıyı ters yönde iletir.



Şekil 3.3. P-tipi eleman çalışma şeması (Çalışır, 2014)

N tipi elemanda (Şekil 3.4.);

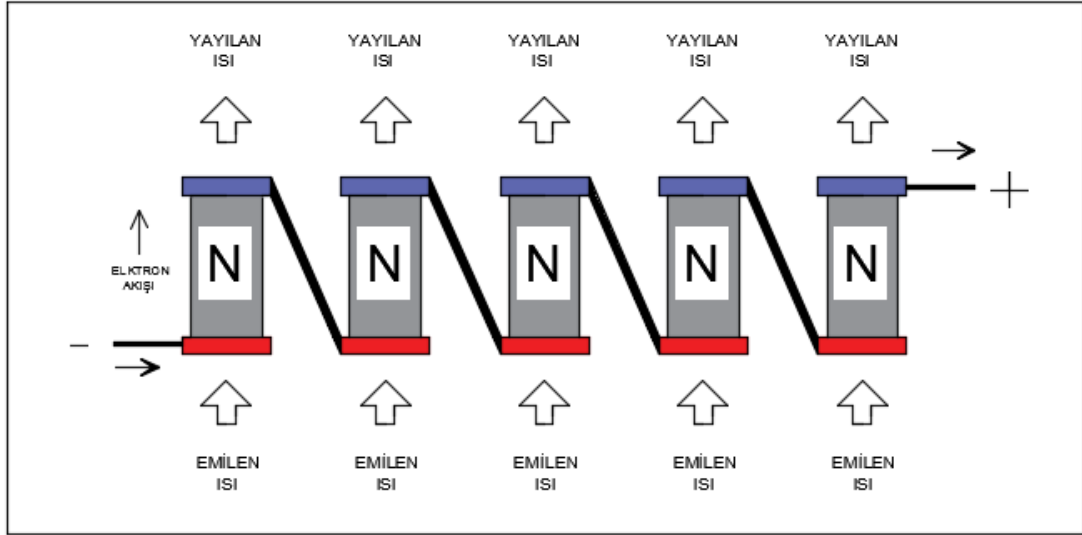
- Bol miktardaki serbest elektronlar hareket ederken, ısıyı da beraber taşırlar.
- Isı akış yönü, elektrik akımıyla aynı yöndedir.



Şekil 3.4. N-tipi elemanın çalışma şeması (Çalışır, 2014)

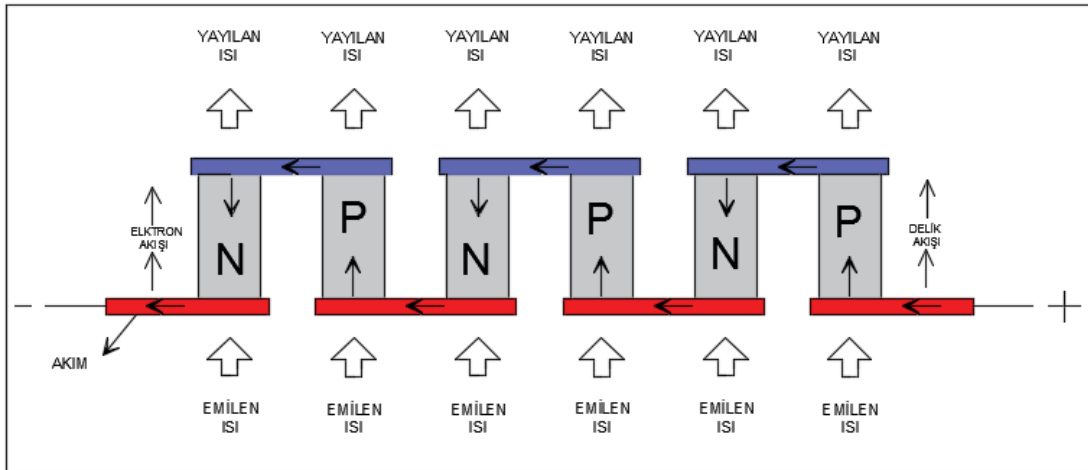


Şekil 3.3 ve Şekil 3.4’de görüldüğü gibi ısı akış yönü elektrik akımı ve delik hareketi ile aynı yöndedir. Şekil 3.5’de hem ısı akışını hem de gerilimi artırmak için birden fazla eleman, birbirine seri bağlanır. Isı akışı aynı yönde kalmalıdır.



Şekil 3.5. N-tipi elemanların seri bağlanması

Bağlantı kolaylığı için P ve N tipi elemanlar Şekil 3.6.’de görüldüğü gibi ardışık olarak bağlanmıştır. Elektrik akımı yukarı aşağı bağlantı yolunu izlerken, ısı akım yönü sürekli yukarı yöndedir.



Şekil 3.6. P-N çifti ile ısı pompalanması

Termoelektrik Modüllerin seri/paralel bağlantılarının uygun yükte çalıştırıldığında,  $V_0$  çıkış voltajı,  $I_0$  çıkış akımı ve  $P_0$  çıkış gücü olarak kabul edildiğinde;  $V_0$  çıkış gerilimi, denklem 3.1'de,  $I_0$  çıkış akımı, denklem 3.2'de,  $P_0$  çıkış gücü denklemi de 3.3'deki denklemlerle hesaplanır.

$$V_0 = \frac{\alpha N(T_h - T_c)}{1 + 2rL_c / L} \quad (3.1)$$

$$I_0 = \frac{\alpha A(T_h T_c)}{2\rho(L+n)(1 + 2rL_c / L)} \quad (3.2)$$

$$P_0 = \frac{\alpha^2}{2\rho} \cdot \frac{NA}{2\rho(L+n)(1 + 2rL_c / L)} \cdot (T_h - T_c)^2 \quad (3.3)$$

Burada  $n = 2\rho_c / \rho$ ,  $r = \lambda / \lambda_c$  ve  $\alpha$  termoelektrik malzeme seebeck katsayısı ( $V/K$ ),  $\rho$  elektriksel direnç ( $\Omega/cm$ ),  $\rho_c$  elektriksel temas direnci,  $N$  modüldeki termoelement sayısı,  $A$  termoelement kesit alanı ( $mm^2$ ),  $L$  termoelement uzunluğu,  $L_c$  katman kalınlığı ( $mm$ ),  $T_h$  sıcak yüzey sıcaklığı,  $T_c$  soğuk yüzey sıcaklığı,  $\lambda$  termoelement ısı iletkenliği,  $\lambda_c$  temas yüzey ısı iletkenliğidir (Eakburanawat ve Boonyaroonate, 2006).

### 3.2. Termoelektrik Etkiler

İki farklı yarı iletken malzemelerin kimyasal yöntemlerle birbirine birleştirilerek, oluşturulan devre üzerinden elektrik akımı geçirilmesiyle meydana gelen farklı sıcaklıklarda devrede aynı anda üç çeşit termoelektrik etki oluşur. Bu üç etki, bu etkileri bulan araştırmacıların isimlerini taşır (Rowe ve Bhandari, 1983).

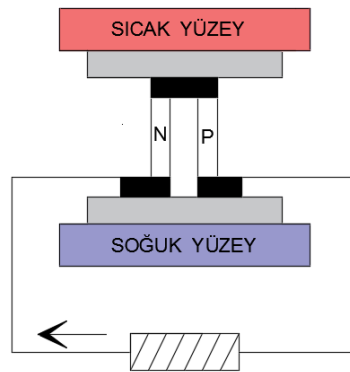
- Seebeck
- Peltier
- Thomson etkileridir.

Termoelektrik, ısı enerjisinin elektrik enerjisine veya elektrik enerjisinin ısı enerjisine dönüşümüdür. Termoelektriğin temelini oluşturan fiziksel prensipler

1800'lü yıllara dayanmaktadır. Termoelektrikle ilgili ilk önemli buluş; 1821'de Alman Thomas Seebeck tarafından farklı iki metalden oluşan ve metallerin birleşim yerlerinin farklı sıcaklıklarda tutulduğu kapalı bir devrede devamlı elektrik akımının oluştuğunu bulmasıdır. 1834'te Jean Peltier'in "Seebeck Etkisi" üzerine yaptığı araştırmalar sonucu kapalı bir devreye elektrik akımı verilmesi halinde farklı metallerin birleşim yerlerinden ısı enerjisinin birinden atılırken diğerinde absorplandığı ortaya çıkmıştır. Yirmi yıl sonrasında ise William Thompson; Seebeck ve Peltier Etkileri arasında ilişki kurmuştur. Birkaç yıl süren bu aktivite sırasında değerlendirilen hemen hemen tüm bilinen yarı iletkenler, yarı metaller ve alaşımlar arasında oda sıcaklığında en iyi sonucu veren malzemelerin  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  ve  $\text{Sb}_2\text{Te}_3$  alaşımları olduğu ortaya çıkmıştır (Li vd., 2011).

### 3.2.1. Seebeck etkisi

İletken bir çubuğun iki ucuna sıcaklık farkı uygulandığı zaman soğuk ve sıcak tarafları arasında elektrik akımı meydana gelmesi olayıdır. Şekil 3.7'de görüldüğü gibi iki farklı yarı iletken malzemenin (P-N çifti) birbirine seri olarak birleştirilmesiyle oluşturulan devrede (peltier modül), yüzeylere farklı sıcaklıklar uygulanmak suretiyle bir elektrik gerilimi elde edilir. Bu gerilim "Seebeck voltajı" olarak da isimlendirilir. Devreden ölçülen gerilim, malzemelerin yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkı ile doğru orantılıdır (Li vd., 2011).



Şekil 3.7. Seebeck voltajının ölçümü

İki farkı yarı iletken malzemeden oluşturulan devrede ölçülen voltaj denklem (3.4), denklem (3.5) ve denklem (3.6) deki;

$$V = \alpha \cdot \Delta T \quad (3.4)$$

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

$$\alpha = \alpha_2 - \alpha_1 \quad (3.6)$$

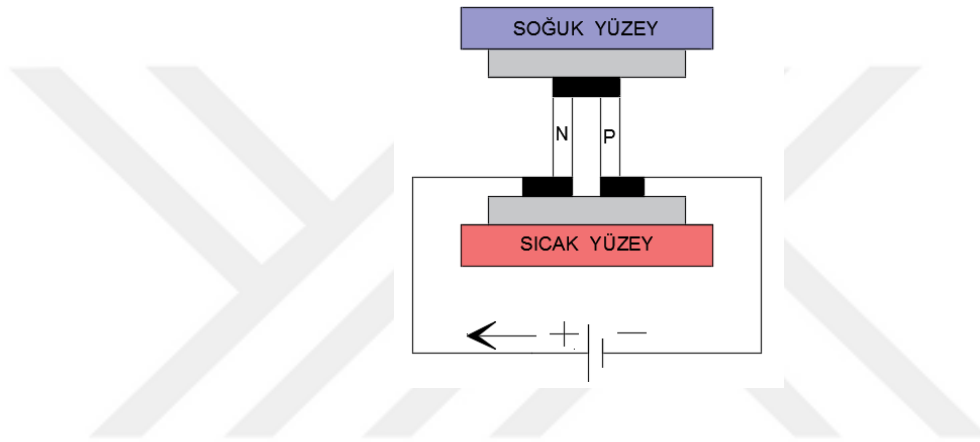
eşitlikler yardımıyla bulunur. Bu eşitliklerde;  $V$  devreden ölçülen voltaj ( $V$ ),  $\Delta T$  yarı iletken malzemelerin yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkı ( $^{\circ}C$ ),  $\alpha$  seebeck katsayısı veya termo emk ( $V/^{\circ}C$ )'dir. Eşitliklerdeki  $\alpha$  değeri, termoelektrik gerilime maruza kalan malzemenin, oluşan sıcaklık farkına verdiği tepkinin büyüklüğüdür. Seebeck katsayısı, her malzeme için özel bir değere sahiptir. Malzeme özelliğidir ve her malzemenin farklı bir seebeck katsayısı vardır. Çizelge 3.1'de bu katsayılar tablo halinde verilmiştir. Verimli bir termoelektrik etki yaratmak için seebeck katsayısı mümkün olduğunca büyük olmalıdır. N tipi yarı iletken için  $\alpha$  değeri negatif, P tipi yarı iletken için  $\alpha$  değeri ise pozitifdir. Meydana gelen seebeck etkisi yarı iletkenlerde jeneratör gibi, metallerde ise termokupl veya ısı sensörü gibi kullanılır.

Çizelge 3.1. Bazı maddelerin seebeck katsayıları (Kaya, 2010)

Madde	Seebeck Katsayısı	Madde	Seebeck Katsayısı	Madde	Seebeck Katsayısı
Alüminyum	3,5	Altın	6,5	Germanyum	300
Antimon	47	Demir	19	Potasyum	-9
Bizmut	-72	Kurşun	4	Selenyum	900
Kadmiyum	7,5	Civa	0,6	Silikon	440
Karbon	3	Nikrom	25	Sodyum	-2
Konstantan	-35	Pilatin	0	Tellür	500

### 3.2.2. Peltier etkisi

Bir iletkenen elektrik enerjisi geçirildiğinde iki uç arasında sıcaklık farkı meydana gelmesi prensibine dayanır. Peltier etkisinden meydana gelen ısınma ya da soğuma olayını gözlemleyebilmek için iki farklı metalden meydana gelen bir modül kullanılması gerekmektedir. Bu devre üzerinden doğru akım geçtiğinde, joule ısı ile birlikte birleşme noktasından ısı emilirken, diğer birleşme noktasından Şekil 3.8'de görüldüğü gibi ısı açığa çıkmaktadır. Açığa çıkan ısı miktarı, devreden geçirilen akımla doğru orantılıdır (Li vd., 2011).



Şekil 3.8. Peltier etkisi devresi

Peltier etkisi denklem (3.7), denklem (3.8) ve denklem (3.9) deki gibi;

$$Q_p = \pi \cdot I \quad (3.7)$$

$$\pi = \alpha \cdot T \quad (3.8)$$

$$Q_p = \alpha \cdot T \cdot I \quad (3.9)$$

hesaplanmaktadır. Bu eşitlikte;  $Q_p$  birim zamanda transfer edilen ısı miktarı ( $W$ ),  $I$  devre üzerinden geçen doğru akım ( $A$ ),  $\pi$  peltier sabiti ( $V$ ) ve  $\alpha$  seebeck katsayısı veya termo emk ( $V/^\circ C$ )'dir. Dışarıdan verilen elektriksel güç arttırılırsa, elektronların sistem içerisinde hareket etmeleri de artacak, bu sayede soğuk yüzey ile sıcak yüzey arasındaki ısı transferi miktarı da artacaktır.

Yani harici elektriksel güç ile ısı transfer miktarı arasında doğrusal bir bağ vardır (Li vd., 2011).

### 3.2.3 Thomson etkisi

Bir iletkenin iki ucunun farklı sıcaklıklarda tutuluyor olduğu durumda uygulanan akımın yönüne bağlı olarak enerjinin iletken üzerinde soğurulması ya da birikmesi olayıdır. Diğer bir ifadeyle, Thomson etkisi, ısıtmada ya da soğutmada homojen bir iletken üzerinden akım geçtiği sürece sıcaklık gradyeninin meydana geldiğini ifade eder. Thomson ısı akım şiddeti, sıcaklık farkı ve zamanla doğru orantılıdır ve kullanılan metallerin cinsine bağlıdır (Li vd., 2011). Ortaya çıkan Thomson ısı denkleminin 3.10' daki gibi;

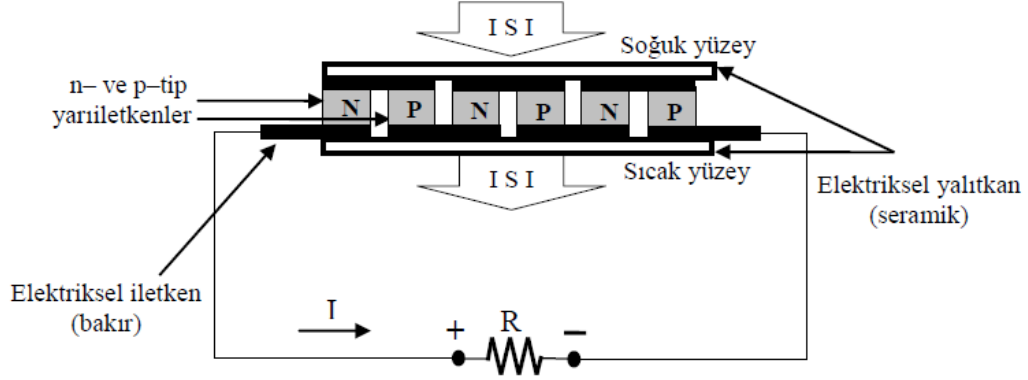
$$Q_T = \alpha \cdot \Delta T \cdot I \quad (3.10)$$

hesaplanmaktadır. Bu eşitlikte;  $Q_T$  Thomson ısı (W),  $I$  iletken üzerinden geçen akım şiddeti (A),  $\Delta T$  iletkenin uçları arasındaki sıcaklık farkı ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $\alpha$  Thomson katsayısı ( $\text{V}/^{\circ}\text{C}$ )'dir (Li vd., 2011).

### 3.3. Termoelektrik Jeneratör

Çok sayıda termoelektriğin birleşmesinden termoelektrik modül oluşturulur. Termoelektrik modüller, Seebeck etkisinin kullanılmasıyla jeneratör olarak çalışabilmektedirler. Şekil 3.9'da termoelektrik modülün termoelektrik jeneratör modunda kullanıldığı termoelektrik devre görülmektedir. Bir termoelektrik jeneratör sistemi temelde üç parçadan meydana gelir; (1) ısıtıcı blok, (2) soğutucu blok ve (3) termoelektrik modül. Termoelektrik modülün yüzeyleri arasında bir sıcaklık farkı oluşturulduğunda ısı sıcak yüzeyden soğuk yüzeye doğru transfer edilecek ve bu durumda termoelektrik jeneratör uçlarında bir DC gerilim düşümü olacaktır. Termoelektrik jeneratör uçlarına harici bir yük bağlanırsa, yük üzerinden bir  $I$  akımı geçişi olur. Termoelektrik jeneratörden elde edilen  $P$  gücü veya  $I$  akımı;  $\Delta T$  sıcaklık farkına, yarıiletken materyallerin özelliklerine ve harici  $R_L$  yük direncinin değerlerine bağlıdır.

Elektrik enerjisi, ısı transferine bağı olarak Termoelektrik yarıiletkenler boyunca elektriksel yük taşıyıcıların hareketinden üretilmektedir (Mamur,2013).

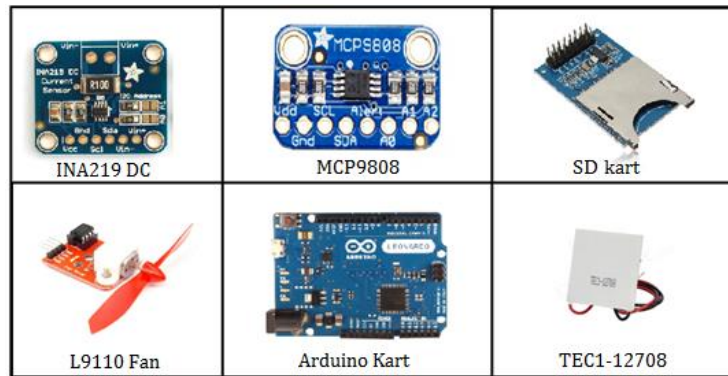


Şekil 3.9. Termoelektrik jeneratör çalışması (Mamur,2013)

### 3.4. Donanım

Donanım bölümünde kullanılan araçlar aşağıda listelenmiş ve Şekil 3.10'de gösterilmiştir.

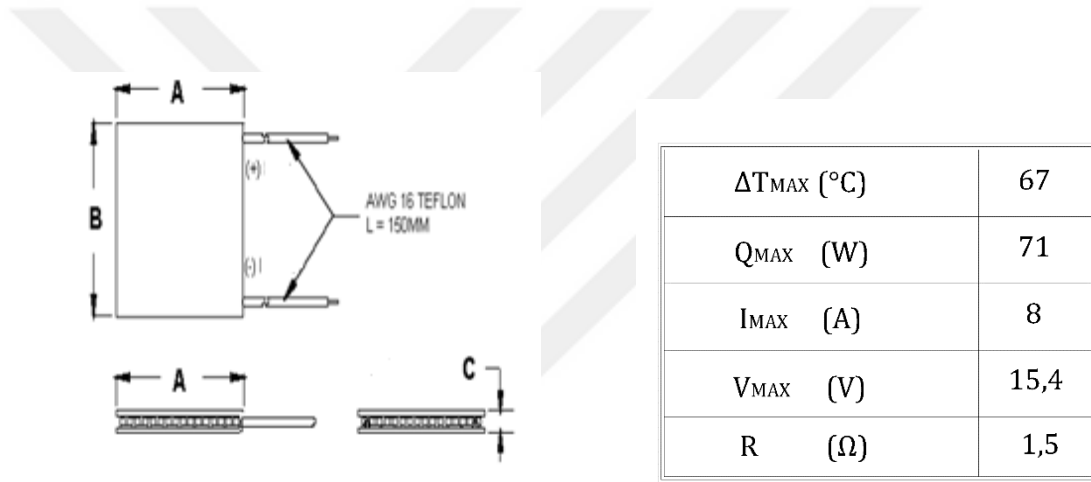
- TEC1-12708 modül
- Arduino Kart
- Arduino SD kart
- Sensörler
- Fanlar



Şekil 3.10. Deneyde kullanılan elemanlar

### 3.4.1. TEC1-12708 modül

Deneyleerde Şekil 3.11'deki özelliklere sahip, maksimum 138°C sıcaklıkta çalışabilen 80 wattlık TEC1- 12708 modülü kullanılmıştır. Termoelektrik modül, elektriksel olarak seri bağlı, ısıl olarak paralel bağlı P ve N tipi yarı iletken malzemelerden oluşur. Bu deneyleerde termoelektrik malzemenin sıcaklık farkından enerji üretme özelliğinden faydalanılmıştır. Kaya (2010), yaptığı çalışmada TEJ'lerin verim ve maliyetlerini gözlemlemiştir. Karşılaştırdığımızda TEJ'lerin TEC'lere göre elektrik üretiminde verimliliği daha fazladır fakat maliyet açısından incelendiğinde TEC modüller TEJ'lere göre daha avantajlıdır. Deneyleerde TEC modüller TEJ olarak kullanılmıştır.



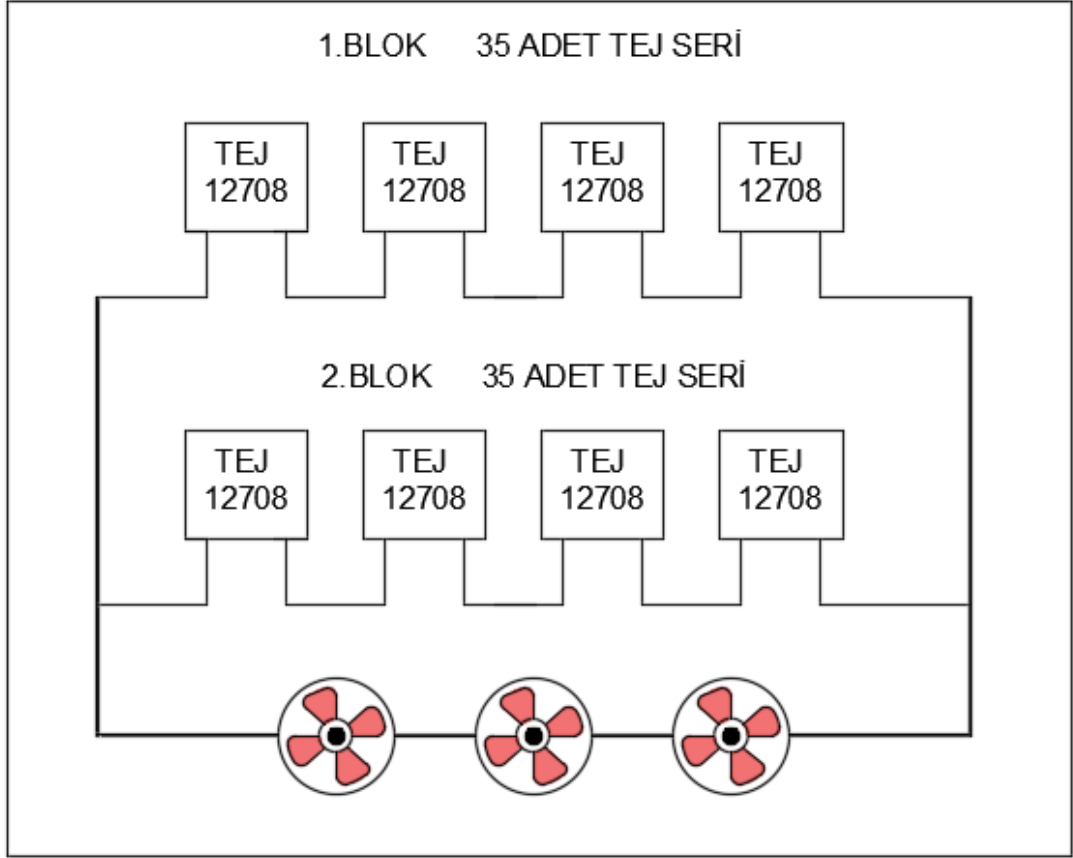
#### Boyut tablosu:

A	B	C
40	40	3.5

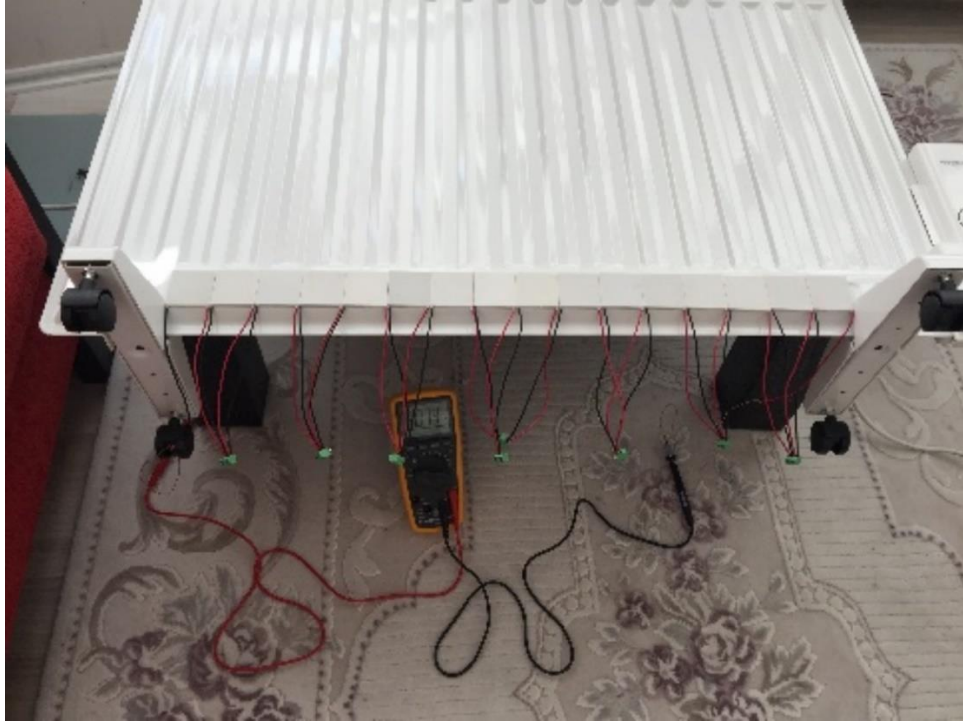
Şekil 3.11. TEC1- 12708 özellikleri

Şekil 3.12'de görüldüğü gibi kalorifer radyatörü üzerine monte edilen 70 adet TEJ; gerekli gerilim ve akım değerleri için birinci blokta 35 TEJ seri, ikinci blokta 35 TEJ seri olacak şekilde bağlanarak iki blok oluşturulmuştur. Seri bağlı bu iki blok kendi arasında paralel bağlanmıştır.

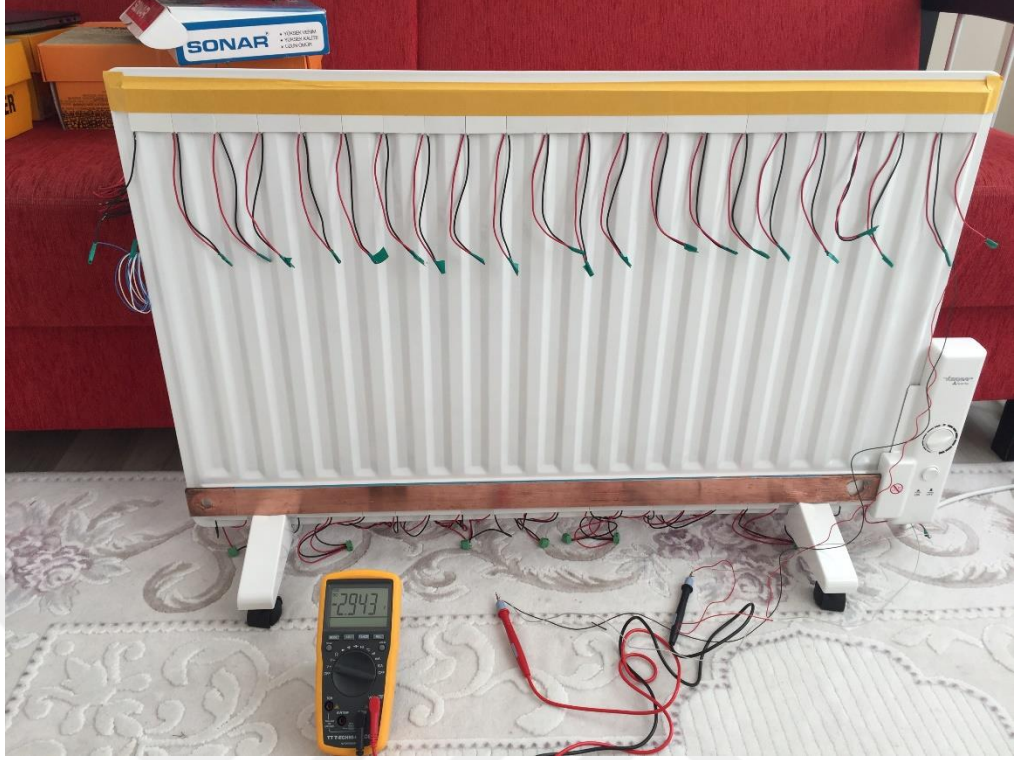




Şekil 3.12. TEC1- 12708 bağlantısı



Fotoğraf 3.1. TEC1- 12708 bağlantısı



Fotoğraf 3.2. TEC1- 12708 bağlantısı

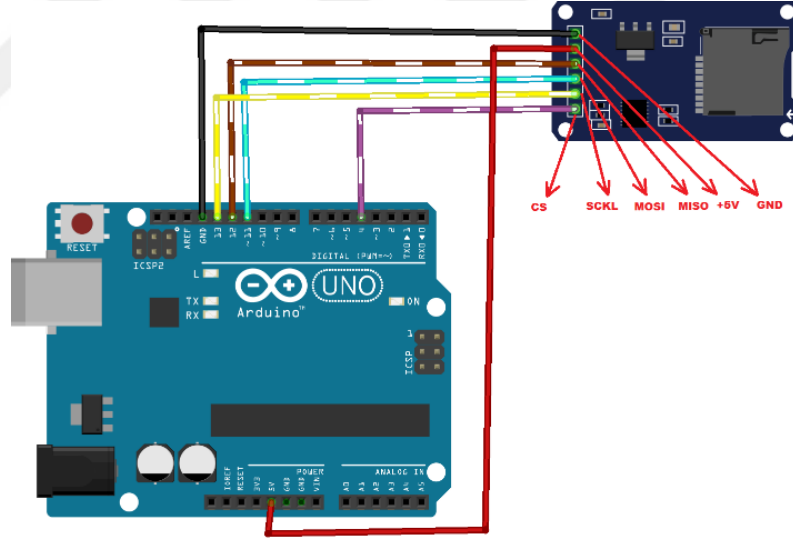


Fotoğraf 3.3. Radyatörün duvara montajı

### 3.4.2. Arduino kart ve SD kart

Arduino bir G/Ç kartı ve Processing/Wiring dilinin bir uygulamasını içeren geliştirme ortamından oluşan bir açık kaynaklı fiziksel programlama platformudur (Arduino, 2018). Analog ve dijital girişleri sayesinde analog ve dijital verileri işleyebilen sensörlerden gelen verileri kullanarak çıktılar (ses, ışık, hareket, vb.) üretebilen bir elektronik karttır.

Projede arduino ailesinden arduino uno R3 aşağıdaki özelliklerinden dolayı tercih edildi. Arduino Uno R3 kartı üzerinde 8 bitlik Atmega328 işlemcisi, 14 digital giriş- çıkış (Input- Output) pini, bunlardan 6 tanesi PWM çıkışı olarak kullanılabilir, ayrıca 6 analog giriş pini bulunmaktadır. Ayrıca 16 Mhz kristal osilatör, USB bağlantısı, regüle edilmiş 5V ve reset butonu bulunmaktadır. Şekil 3.13'de arduino ile SD kart bağlantı şeması verilmiştir.



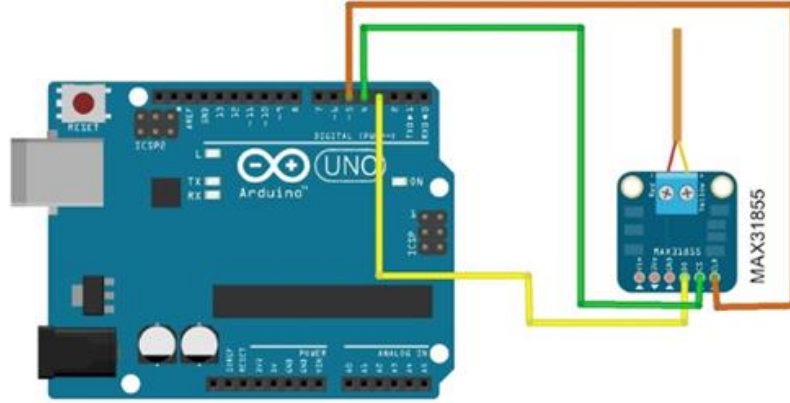
Şekil 3.13. Arduino ile SD kart bağlantı şeması

Projede kullanılan arduino kartlar modüler bir yapıya sahiptir. Arduino kart ve arduino SD kart beraber kullanılarak arduino karta gelen ısı sensöründeki ve akım /gerilim sensöründeki bilgileri arduino SD kart hafızasına kaydetme işlemi yapar. Ayrıca SD kartın hafızası için 16 Gb'lık micro kart kullanılmıştır.

### 3.4.3. Sıcaklık sensörleri

#### 3.4.3.1 MAX31855 sıcaklık sensörü

Yüzey Sıcaklık ölçümü için, adafruit firması tarafından üretilen, MAX31855 termokupl modülü seçilmiştir. Termokupl veya ısıl çift, bir tür sıcaklık sensörüdür. Farklı iki iletken malzemedan oluşur. Bu malzemelerin iki ucu birleştirilir (sıcak nokta) ve ısıtılırsa, diğer uçlarda (soğuk nokta) gerilim elde edilir. Bu gerilimin değeri kullanılan malzemenin cinsine ve birleşim noktasının ısınma miktarına bağlıdır. Sıcak nokta ile soğuk nokta sıcaklık dağılımı nasıl olursa olsun üretilen gerilim sıcak ile soğuk nokta arasındaki sıcaklık farkıyla orantılıdır. MAX31855'lar -200°C ile +1350°C arasında 0,25 derece hassasiyet ile çıkış verir (Adofrit, 2017). Şekil 3.14'de MAX31855 bağlantı şeması verilmiştir.

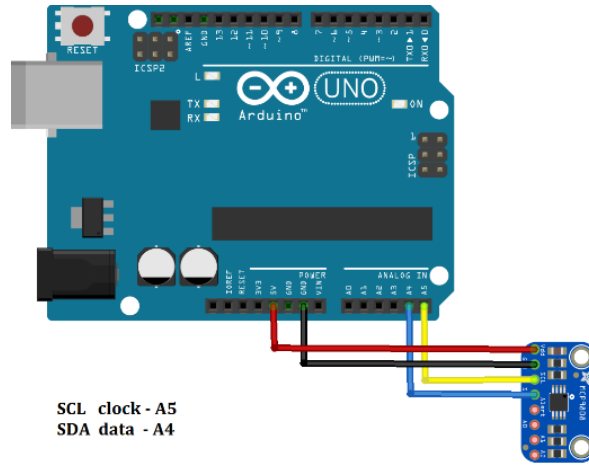


Şekil 3.14. MAX31855 bağlantı şeması

#### 3.4.3.2 MCP9808 sıcaklık sensörü

Ortam Sıcaklık ölçümü için, Adafruit firması tarafından üretilen, MCP9808 breakout board seçilmiştir. MCP9808, gerçekte PCB üzerindeki, Microchip tarafından üretilmiş, I2C sıcaklık sensörünün adıdır. -40°C ile 125°C sıcaklık aralığında 0.25°C doğruluk ile hassas sıcaklık ölçümü yapabilmektedir. MCP9808, kullanıcı tarafından programlanabilen ve okunabilen yazmaçlara sahiptir (Adofrit, 2017). Şekil 3.15'de sıcaklık sensörünün arduino karta bağlantı şeması verilmiştir. Bağlantı pinlerimiz Vcc,

GND, SCL ve SDA pinleridir. Vcc bağlantısı 5V olup kartın besleme voltajıdır. GND ise toprak bağlantısıdır. SCL clock ve SDA data pinleridir.

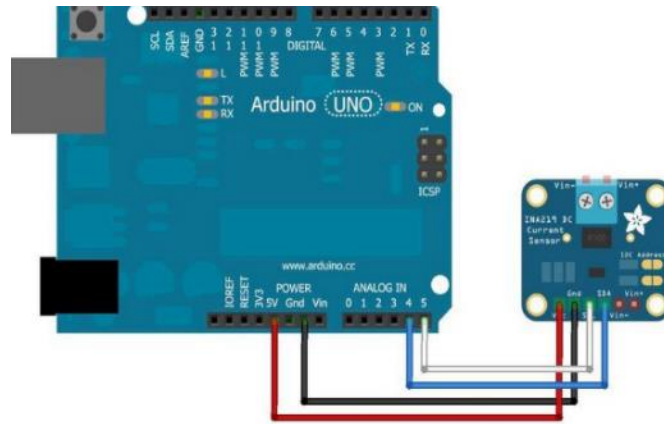


SCL clock - A5  
SDA data - A4

Şekil 3.15. MCP9808 bağlantı şeması

#### 3.4.4. INA219 akım / gerilim sensörü

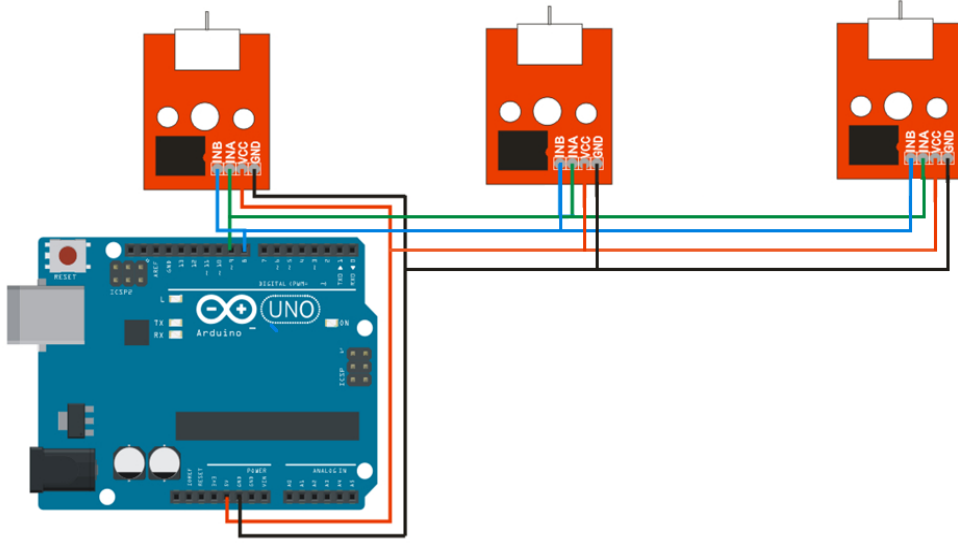
Termoelektrik jeneratörlerden üretilen akımın ölçümü ve kontrolü için, Adafruit firması tarafından üretilen, INA219DC board seçilmiştir. INA219 I2C haberleşme protokolüne sahip akım sensörünün adıdır.  $\pm 0.8\text{mA}$  çözünürlük ile  $\pm 3.2\text{A}$ 'ya kadar hassas akım ölçümü yapabilmektedir (Adofrit, 2017). Şekil 3.16'da akım sensörünün bağlantı şeması verilmiştir. Bağlantı pinlerimiz Vcc, GND, SCL ve SDA pinleridir. Vcc bağlantısı 5V olup kartın besleme voltajıdır. GND ise toprak bağlantısıdır. SCL clock ve SDA data pinleridir.



Şekil 3.16. INA 219 bağlantı şeması

### 3.4.5. L9110 sürücülü fan modül

Termoelektrik jeneratörden üretilen elektrik enerjisiyle beslenen radyatör üzerindeki ısıyı odaya yayan fan modülü için arduino kartla uyumlu çalışabilen L9110 sürücülü fan modül kullanılmıştır. Kart üzerinde 4 pin yer almakta olup bunlar Vcc, GND, INA ve INB pinleridir. Vcc bağlantısı 5V olup kartın ve motorun besleme voltajıdır. GND ise toprak bağlantısıdır. INA ve INB pinleri motor yön pinleridir. Bunlar arasında seçim yapılarak motor yönü değiştirilebilmektedir. Şekil 3.17’de 3 adet fan motorlarının arduino karta bağlantı şeması verilmiştir.



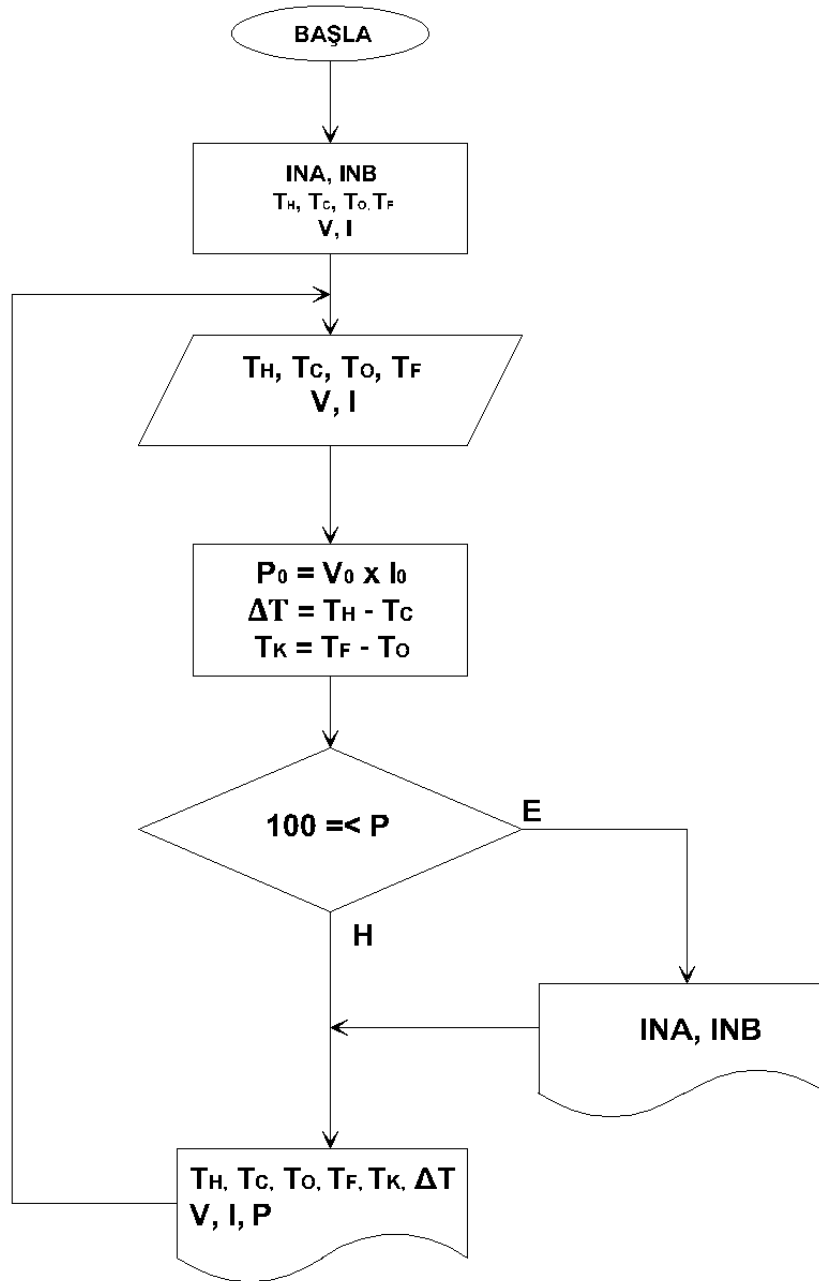
Şekil 3.17. L9110 bağlantı şeması

### 3.5. Yazılım

Arduino sistemlerin çalışması için yazılımlar gerekmektedir. Bu yazılım ile arduino kart, sensörlerden aldığı verileri okuma, gerekli hesaplamaları yapma, fanların kontrolü ve verileri SD kart hafızasına kaydetme işlemini gerçekleştirmektedir. Deneyde I2C, AdofritMAX31855, AdofritMCP9808, AdofritINA219 ve SD Kütüphaneleri kullanılarak programlama gerçekleştirilmiştir.

### 3.5.1. Akış diyagramı

Şekil 3.18'deki akış diyagramını incelediğimizde; sensörlerden aldığımız verileri okuma, hesaplama, izleme ve kaydetme işlemleri ile beraber uygun enerjide ısı fanlarının kontrolü gerçekleşmiştir.



Şekil 3.18. Sistemin akış diyagramı

Termoelektrik jeneratörün yüzey sıcaklık farkı, üretilen güç ile doğrusal olarak ilişkilidir. Radyatör yüzey sıcaklığı  $T_H$ , duvar yüzeyi sıcaklığı  $T_C$  ve bu iki yüzeyin sıcaklık farkı  $\Delta T$  olarak kabul edildiğinde;  $\Delta T$  yüzeyler arası sıcaklık farkı denklemi 3.4.'deki denklemle hesaplanır.

$$\Delta T = T_H - T_C \quad (3.4)$$

Akım /gerilim sensörleriyle ölçülen akım ve gerilim değerleri ile TEJ'lerin ürettiği çıkış gücü hesaplanır. Termoelektrik modüllerin seri/paralel bağlantılarının uygun yükte çalıştırıldığında,  $V_0$  çıkış voltajı,  $I_0$  çıkış akımı ve  $P_0$  çıkış gücü olarak kabul edildiğinde;  $P_0$  çıkış gücü denklemi 3.5.'deki denklemle hesaplanır.

$$P_0 = V_0 \times I_0 \quad (3.5)$$

Aynı şartlara sahip iki oda da ölçülen fanlı ve fansız ortam sıcaklığını ölçen sıcaklık sensörlerinden alınan verilerle kanallardaki fanların ortam sıcaklığına etkisi hesaplanmıştır. Radyatör kanallarındaki fanların oda sıcaklığına etkisinde,  $T_0$  fansız ortam sıcaklığı,  $T_F$  fanlı ortam sıcaklığı ve  $T_K$  ortam sıcaklık etkisi olarak kabul edildiğinde;  $T_K$  ortam sıcaklığı etkisi veya ısıl konfor denklemi 3.6.'deki denklemle hesaplanır.

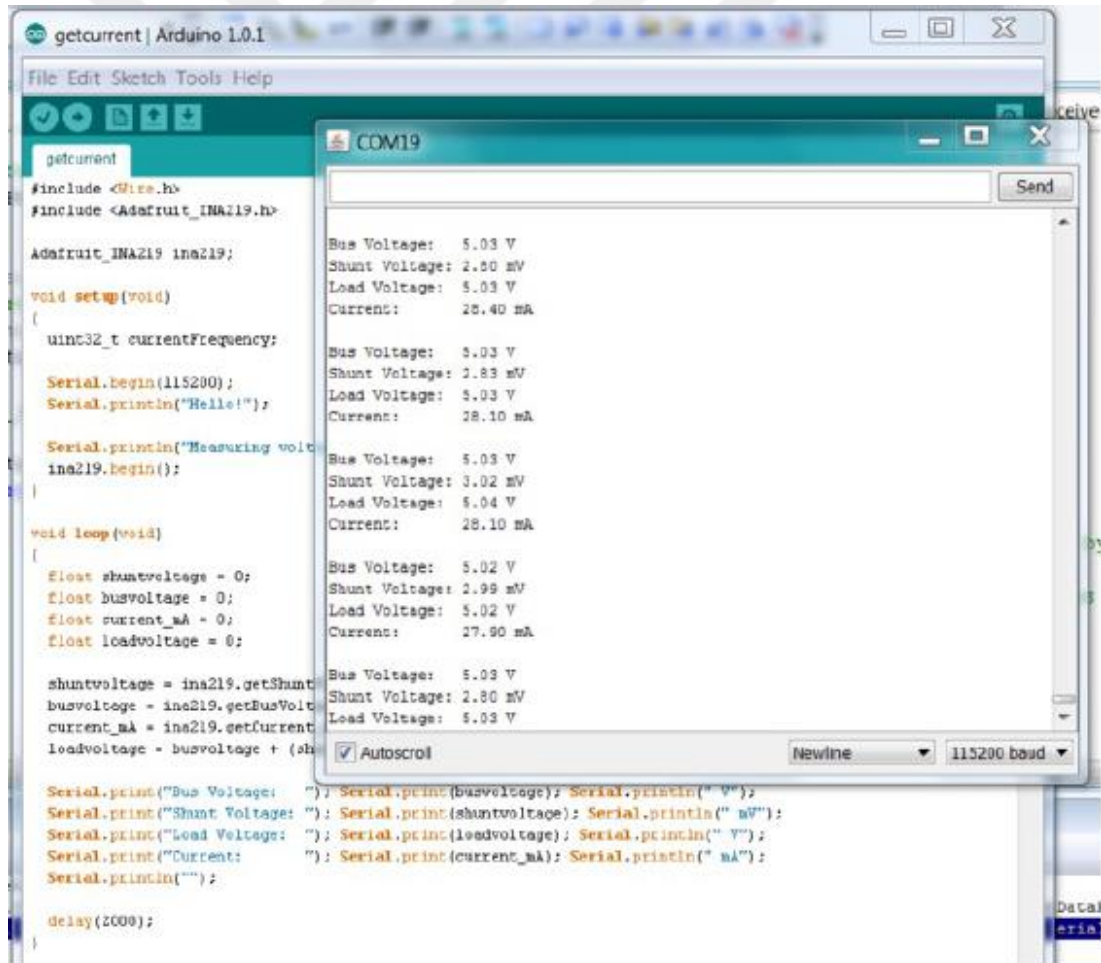
$$T_K = T_F - T_0 \quad (3.6)$$

Şekil 3.17'deki akış diyagramını incelediğimizde sensörlerden alınan  $T_H$ ,  $T_C$ ,  $T_0$  ve  $T_F$  verileri okunur. Okunan bu parametreler ile denklem (3.4) denklem (3.5) ve denklem (3.6) deki hesaplamalar yapılarak  $\Delta T$  yüzeyler arası sıcaklık,  $P_0$  çıkış gücü ve  $T_K$  ortam sıcaklık etkisi verileri hesaplanır. Hesaplanan çıkış gücü gözlemlenerek 100 mW eşğine geldiğinde fanlar çalışarak radyatör kanallarındaki ısıyı odaya yaymaya başlar. Hesaplanan güç değeri 100 mW'dan daha düşükse işlem tekrarlanır. Okunan ve hesaplanan veriler kaydedilerek veri toplama ve kontrol işlemi gerçekleştirilir.



### 3.5.2. Arduino IDE kod editörü

Arduino IDE kod editörü ve derleyici olarak görev yapan, aynı zamanda derlenen programı karta yükleme işlemini de yapabilen, her platformda çalışabilen Java programlama dilinde yazılmış bir uygulamadır. Arduino'yu programlamak için gereken arayüzü yine aynı firma tarafından geliştirilmiş, açık kaynak kodlu, ücretsiz JAVA destekli bir uygulama ortamıdır (Arduino, 2018). Şekil 3.19'da arduino mikroişlemcisini programlamak için yapılmış programdan bir ekran görüntüsü gösterilmiştir. Bu ortam arayüz yazılımının kullanımı basit ve sadedir. Programlamada oluşan hataların belirlenmesinde kullanılan gelişmiş bir hata ayıklama sistemine sahiptir. Ayrıca da tüm Arduino kart çeşitlerini programlama imkanına sahiptir.



```
getcurrent | Arduino 1.0.1
File Edit Sketch Tools Help

getcurrent
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_INA219.h>

Adafruit_INA219 ina219;

void setup(void)
{
  uint32_t currentFrequency;
  Serial.begin(115200);
  Serial.println("Hello!");

  Serial.println("Measuring voltage");
  ina219.begin();
}

void loop(void)
{
  float shuntvoltage = 0;
  float busvoltage = 0;
  float current_mA = 0;
  float loadvoltage = 0;

  shuntvoltage = ina219.getShuntVoltage();
  busvoltage = ina219.getBusVoltage();
  current_mA = ina219.getCurrent();
  loadvoltage = busvoltage + (shuntvoltage * ina219.getShuntResistance());

  Serial.print("Bus Voltage: "); Serial.print(busvoltage); Serial.println(" V");
  Serial.print("Shunt Voltage: "); Serial.print(shuntvoltage); Serial.println(" mV");
  Serial.print("Load Voltage: "); Serial.print(loadvoltage); Serial.println(" V");
  Serial.print("Current: "); Serial.print(current_mA); Serial.println(" mA");
  Serial.println("");

  delay(2000);
}

COM19
Send

Bus Voltage: 5.03 V
Shunt Voltage: 2.90 mV
Load Voltage: 5.03 V
Current: 28.40 mA

Bus Voltage: 5.03 V
Shunt Voltage: 2.83 mV
Load Voltage: 5.03 V
Current: 28.10 mA

Bus Voltage: 5.03 V
Shunt Voltage: 3.02 mV
Load Voltage: 5.04 V
Current: 28.10 mA

Bus Voltage: 5.02 V
Shunt Voltage: 2.99 mV
Load Voltage: 5.02 V
Current: 27.90 mA

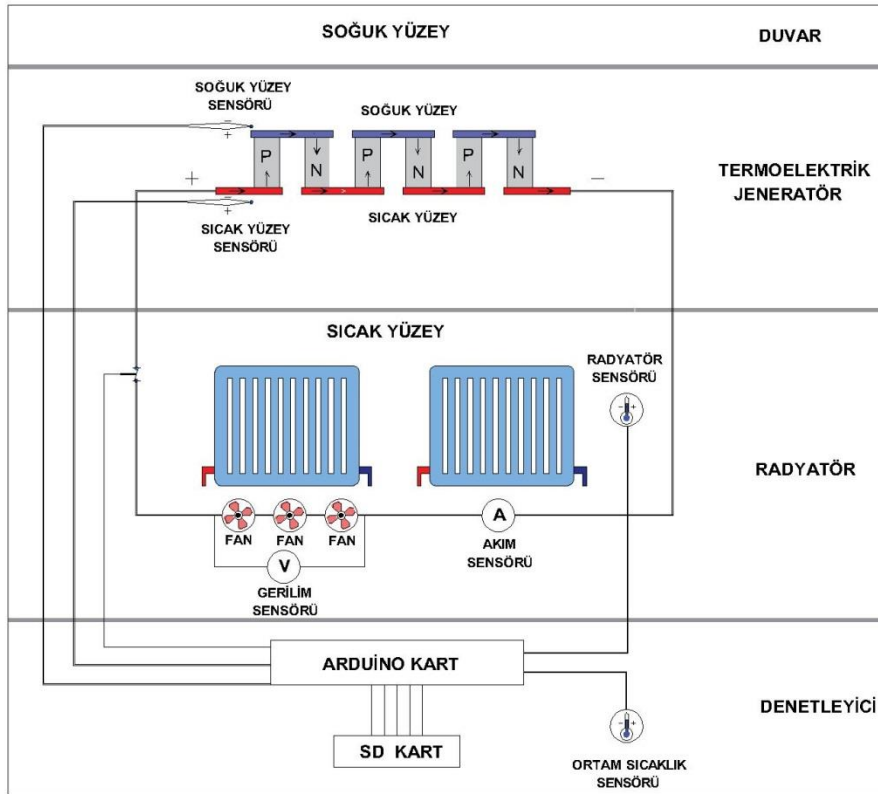
Bus Voltage: 5.03 V
Shunt Voltage: 2.80 mV
Load Voltage: 5.03 V
Current: 28.10 mA

Autoscroll Newline 115200 baud
```

Şekil 3.19. Arduino IDE kod editörü

### 3.6. Termoelektrik Jeneratör ile Kalorifer Radyatöründen Elektrik Üretimi

Termoelektrik jeneratör kullanarak, kalorifer radyatörü (sıcak yüzey) ve duvar (soğuk yüzey) arasındaki sıcaklık farkından elektrik enerjisi üretilmiştir. Üretilen bu elektrik enerjisi ile ısıyı odaya daha iyi yayması için kalorifer radyatörlerine bağlanan fanları besleyecek bir sistem tasarlanmıştır. Geliştirilen bu sistem donanım bölümü ve yazılım bölümü olmak üzere temelde iki ana bölümden oluşmaktadır.



Şekil 3.20. Sistemin çalışma şeması

Şekil 3.20'den anlaşıldığı gibi duvardaki soğuk TEJ'in bir yüzünü soğuturken kalorifer radyatörünün sıcak yüzü de TEJ'in diğer yüzünü ısıtır ve oluşan sıcaklık farkı  $\Delta T$ 'ye oranla elektrik enerjisi üretilmiştir. Üretilen elektrik enerjisi ile fanlar beslenerek fanların gönderdiği havayla radyatör kanallarındaki ısının odaya daha etkin yayılması sağlanmıştır. 15m<sup>2</sup> lik iki odada yaptığımız bu deneyde üretilen enerji ile ısı konforu sağlanmıştır.

Deney süresince TEJ'in sıcak ve soğuk yüzeyinde sıcaklık verileri ve fanlı ve fansız ortam sıcaklık verileri sıcaklık sensörleri yardımıyla ölçülerek denetleyici vasıtasıyla SD kart hafızasına aktarılmaktadır. Bunun yanında termoelektrik jeneratörler tarafından üretilen anlık akım değeri ile anlık voltaj değeri de hassas akım/gerilim sensörü yardımıyla ölçülerek denetleyici vasıtasıyla SD kart hafızasına aktarılmaktadır. Termoelektrik jeneratörlerden üretilen enerjinin fanları döndürmeye yetecek güce eriştiğinde fanları çalıştırarak radyatör fanlarını kontrol işlemini gerçekleştirir.

Ölçüm ve deney için TEJ'li kalorifer radyatöründe TEJ'in soğuk ve sıcak yüzey sıcaklığı MAX6675 termokupl modülü ve radyatörlerin bulunduğu ortam sıcaklığı MCP9808 sıcaklık sensörleri tarafından ölçülmüştür. Üretilen enerjinin akım ve gerilim değerleri INA219 akım/gerilim sensörüyle ölçülmüştür. Sensörler tarafından ölçülen sıcaklık ve akım/gerilim değerleri arduino kart tarafından okunarak veriler SD karta kaydedilmiştir.



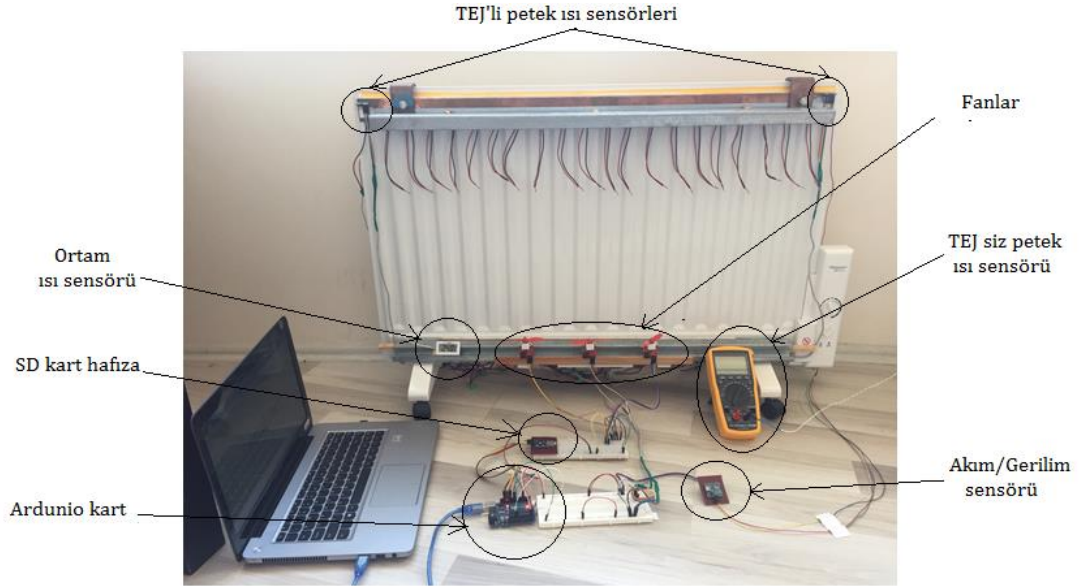
Fotoğraf 3.4. Radyatörün yandan, üstten ve önden görünüşü

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Kalorifer radyatöründen termoelektrik jeneratörler ile elektrik üretiminin yapıldığı deney düzeneğinin çalıştırılması neticesinde, radyatör kanallarına bağladığımız 100 mA 1,5V değerlerine sahip 3 adet motor beslenerek radyatör kanallarındaki ısı, fan sistemi ile odaya yayılmıştır. Kış aylarında farklı hava sıcaklıklarında sistem incelenmiştir.

Deney düzeneği Ocak, şubat ve mart aylarında 15 m<sup>2</sup>'lik iki oda da bulunan tek kalorifer radyatörleri üzerlerinde gerçekleştirilmiştir. Odanın birinde fanlı oda sıcaklığı diğerinde fansız oda sıcaklığı gözlemlenmiştir.

Isıyı daha hızlı bir şekilde duvara aktarmak için termoelektrik jeneratörlerin dış kısımları bakır ile kaplanarak duvar teması sağlanmıştır. Isı transferini daha etkin yapabilmesi ve yüzey temasını artırmak için termoelektrik jeneratörlerin yüzeylerinde termal macun kullanılmıştır. Deney düzeneğinin genel görünüşü Şekil 4.1'de verilmiştir.



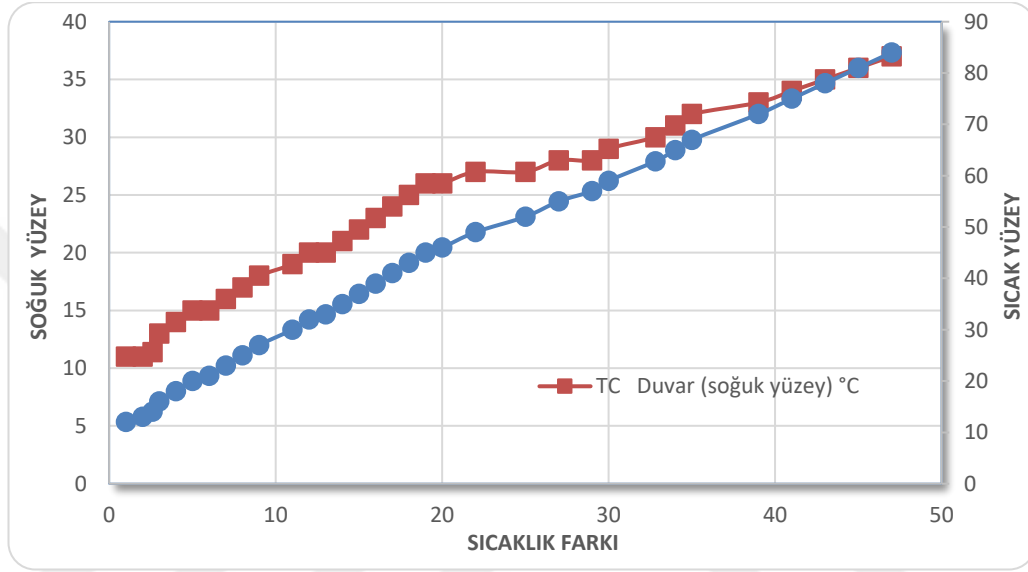
Şekil 4.1. Deney düzeneğinin genel görünüşü

15m<sup>2</sup>'lik tek odada gerçekleştirilen bu deney çalışmasında odanın değişik ortam sıcaklığında soğuk yüzey (duvar) ve sıcak yüzeyin (radyatör) sıcaklık değerleri izlenmiştir. Ocak, şubat ve mart aylarında hergün toplanan verilerin ortalama değerleri hesaplanarak çizelge 4.1 oluşturulmuştur.

Çizelge 4.1. Değişen oda sıcaklığında duvar ve radyatör yüzey sıcaklık değerleri.

<b>T<sub>H</sub></b> <b>Kalorifer</b> <b>(sıcak yüzey)</b> <b>°C</b>	<b>T<sub>c</sub></b> <b>Duvar</b> <b>(soğuk yüzey)</b> <b>°C</b>	<b>ΔT</b> <b>Sıcaklık Farkı</b> <b>°C</b>	<b>T<sub>ort</sub></b> <b>Ortam</b> <b>sıcaklığı</b> <b>°C</b>
12	11	1	11,5
13	11	2	12,5
14	11,4	2,6	13,5
16	13	3	14,8
18	14	4	15
20	15	5	16
21	15	6	17
23	16	7	18
25	17	8	19
27	18	9	20
30	20	10	21
32	20	12	21
33	22	13	22
35	23	14	23
37	25	15	24
39	26	16	25
41	23	17	25
43	24	18	26
45	26	19	26,5
46	26	20	27
49	27	22	28
52	27	25	29
55	28	27	30
57	28	29	32
59	29	30	33
62,8	30	32,8	34
65	31	34	35
67	32	36	36
72	33	39	37
75	34	41	39
78	35	43	40
81	36	45	41
84	37	47	42

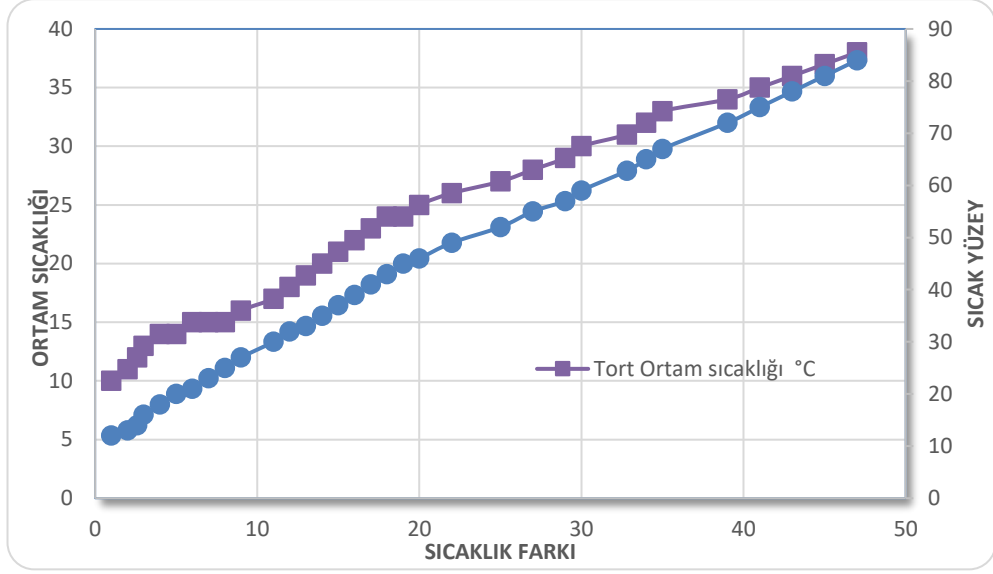
Çizelge 4.1’de aynı süre içerisinde kalorifer radyatörü ile duvarın yüzey sıcaklık değerleri, ortam sıcaklığı ve sıcaklık farkı verileri toplanmıştır. Belirtilen değerlere göre duvar sıcaklığı ile radyatör yüzey sıcaklığı arasında yaklaşık iki katlık bir sıcaklık farkı olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum kullanılan bakır barada bulunan termal boşluklarla, baranın kalınlığıyla ve iletkenlik katsayısıyla alakalıdır.



Şekil 4.2. Radyatör ile duvar sıcaklık seyri

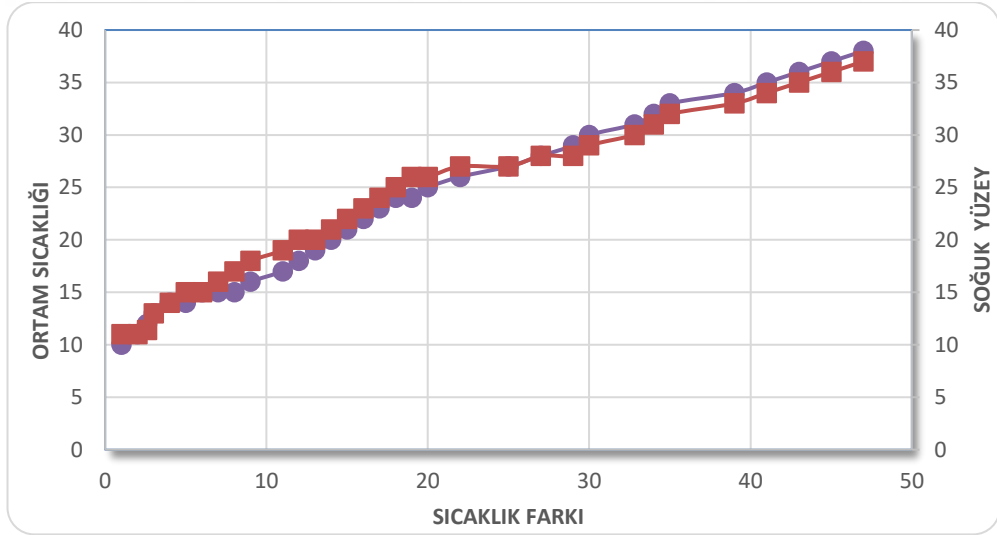
Şekil 4.2.’de, TEJ’siz radyatördeki radyatör yüzey sıcaklığı ve duvarın yüzey sıcaklıkları izlenmiştir. Bu iki yüzeyin sıcaklık farklarını incelediğimizde 1°C ile 47°C arasında değiştiği görülmüş ve maksimum sıcaklık farkı ise 47°C olduğu gözlemlenmiştir.

Radyatördeki yüzey sıcaklığının artmasıyla soğuk yüzeyde de orantılı olarak istenmeyen sıcaklık artışının olduğu gözlemlenmiştir. Bu sıcaklık artışı ortam sıcaklığı ve radyatör sıcaklığı ile ilişkilidir. Bu artışı azaltmak için deneylerde bakır baralar ve çelik levhalar kullanılarak duvar ile temas yüzeyi artırılmıştır.



Şekil 4.3. Ortam sıcaklığı ile radyatör sıcaklık seyri

Şekil 4.3.'de, sıcak yüzeyin 84°C'ye kadar çıktığını ve sıcaklık farkına göre radyatör yüzey sıcaklığı ve ortam sıcaklığı incelendiğinde ortam sıcaklığı, radyatör yüzey sıcaklığının yarısına yakın değerlerde olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.4. Ortam sıcaklığı ile duvar sıcaklık seyri

Şekil 4.4.'de, sıcaklık farkına göre duvar yüzey sıcaklığı ve ortam sıcaklığı incelendiğinde ortam sıcaklığı ile duvar yüzey sıcaklığı yaklaşık olarak aynı değerlerde olduğu gözlemlenmiştir.

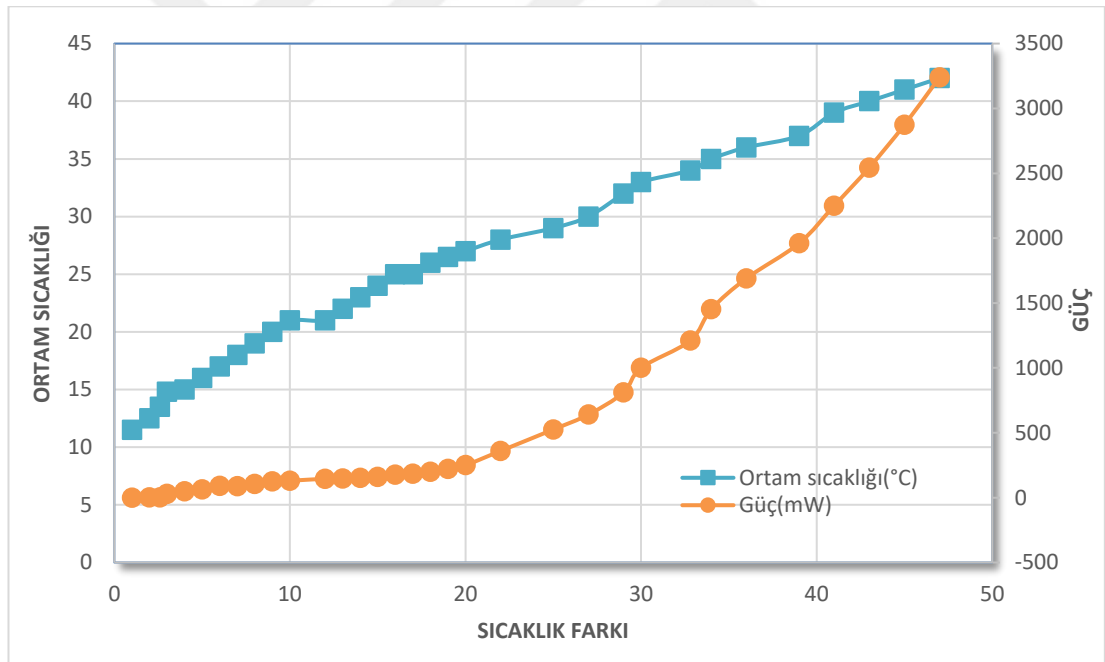
Çizelge 4.2. Değişen oda sıcaklığında duvar ve radyatör yüzey sıcaklık farkına göre üretilen elektriksel değerler.

Th Sıcak yüzey °C	Tc Soğuk yüzey °C	I Akım mA	V Gerilim V	P Güç mW	ΔT Sıcaklık Farkı °C	Tort Ortam sıcaklığı °C
12	11	0,2	0,05	0,01	1	11,5
13	11	3,6	0,32	1,152	2	12,5
14	11,4	4,2	0,43	1,806	2,6	13,5
16	13	19	1,5	28,5	3	14,8
18	14	24	2	48	4	15
20	15	25	2,5	62,5	5	16
21	15	30	3	90	6	17
23	16	32	2,74	87,68	7	18
25	17	32,4	3,25	105,3	8	19
27	18	35,4	3,5	123,9	9	20
30	20	36,2	3,59	129,958	10	21
32	20	38,5	3,78	145,53	12	21
33	22	38,5	3,8	146,3	13	22
35	23	39	3,9	152,1	14	23
37	25	40	4	160	15	24
39	26	42	4,2	176,4	16	25
41	23	43	4,26	183,18	17	25
43	24	45	4,45	200,25	18	26
45	26	48	4,6	220,8	19	26,5
46	26	50	5	250	20	27
49	27	60	6	360	22	28
52	27	75	7	525	25	29
55	28	80	8	640	27	30
57	28	90	9	810	29	32
59	29	100	10	1000	30	33
62,8	30	110	11	1210	32,8	34
65	31	121	12	1452	34	35
67	32	130	13	1690	36	36
72	33	140	14	1960	39	37
75	34	150	15	2250	41	39
78	35	159	16	2544	43	40
81	36	169	17	2873	45	41
84	37	180	18	3240	47	42



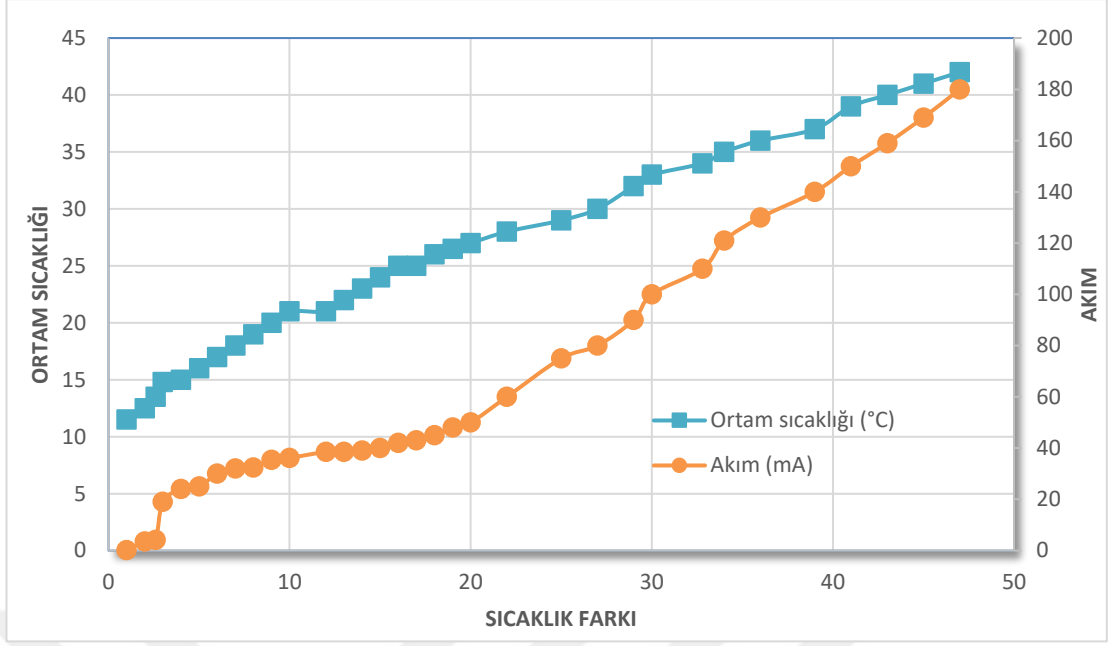
Çizelge 4.2’de evlerde ısınmak amacıyla kullandığımız kalorifer radyatörlerinin sıcak yüzeyi ve duvarın soğukluğundan faydalanarak termoelektrik jeneratör modüllerimizin ürettiği güç, gerilim ve akım parametrelerinin sıcaklık farkına göre değişimi izlenmiştir. Bu aşamada kalorifer radyatörü sıcaklığına, duvar sıcaklığına ve ortam sıcaklığına bağlı olarak değişen sıcaklık farkının, akım ve gerilim parametrelerine bağlı olarak değişen güç değerleri sıcaklık sensörleri ve akım/gerilim sensörleri ile ölçülerek kaydedilmiştir. Ocak, şubat ve mart aylarında hergün toplanan verilerin ortalama değerleri hesaplanarak çizelge 4.2 oluşturulmuştur.

Şekil 4.5’de görüldüğü gibi, Ortam sıcaklığı 42°C’de iken TEJ’lerin sıcak yüzeyi ve soğuk yüzeyi arasında maksimum 47°C’lik bir fark oluşmaktadır. TEJ’ler tarafından üretilen elektriksel güç ise maksimum 3,24W tır.



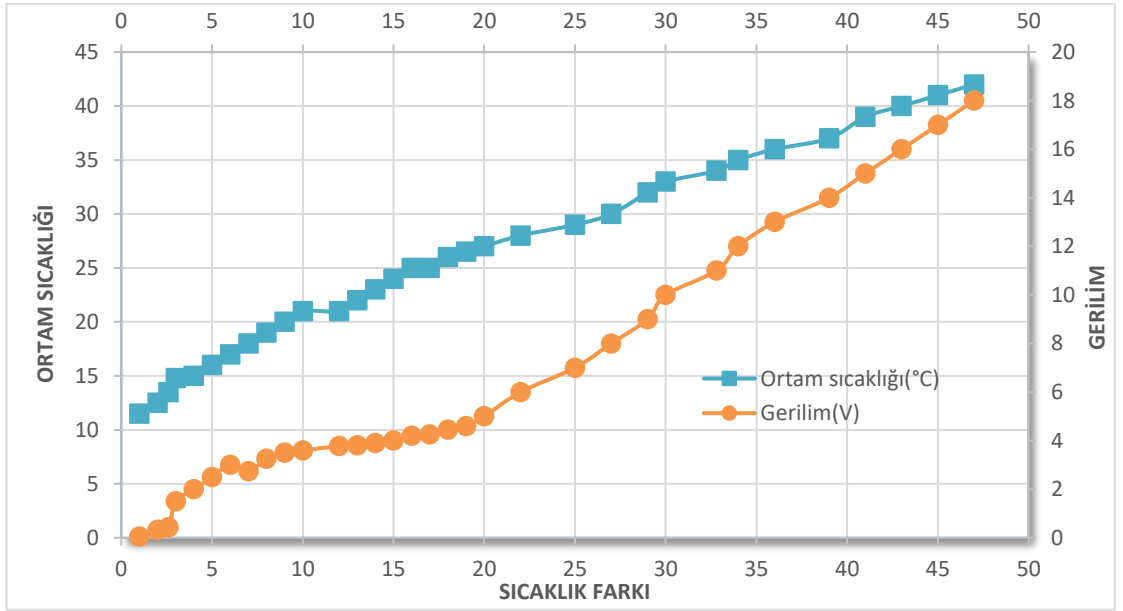
Şekil 4.5. Sıcaklık farkına ve ortam sıcaklığına göre değişen güç eğrisi

Şekil 4.6.’da sıcaklık farkına göre ve ortam sıcaklığına göre değişen akım değerleri gösterilmiştir. Ortam sıcaklığı 42°C’de ve sıcaklık farkı 47°C’de iken en yüksek akım değeri 180mA olmuştur.



Şekil 4.6. Sıcaklık farkına ve ortam sıcaklığına göre değişen akım eğrisi

Şekil 4.7.'de sıcaklık farkına göre ve ortam sıcaklığına göre değişen gerilim değerleri gösterilmiştir. Ortam sıcaklığı 42°C'de ve sıcaklık farkı 47°C'de iken en yüksek gerilim değeri 18V olmuştur.



Şekil 4.7. Sıcaklık farkına ve ortam sıcaklığına göre değişen gerilim eğrisi

Şekil 4.5, şekil 4.6 ve şekil 4.7'deki eğriler incelendiğinde, ortam sıcaklığı  $T_{ort}=21^{\circ}\text{C}$ 'ye ve TEJ yüzeyler arası sıcaklık farkı  $\Delta T = 10^{\circ}\text{C}$ 'ye getirildiğinde, TEJ'den elde edilen gerilim  $V = 3,59\text{ V}$ , TEJ akımı  $I = 36,2\text{ mA}$  ve TEJ gücü  $P = 129,958\text{ mW}$  olmuştur.

Ortam sıcaklığı  $T_{ort}=27^{\circ}\text{C}$ 'ye ve TEJ yüzeyler arası sıcaklık farkı  $\Delta T = 20^{\circ}\text{C}$ 'ye getirildiğinde, TEJ'den elde edilen gerilim  $V = 5\text{ V}$ , TEJ akımı  $I = 50\text{ mA}$  ve TEJ gücü  $P = 250\text{ mW}$  olmuştur.

Ortam sıcaklığı  $T_{ort}=33^{\circ}\text{C}$ 'ye ve TEJ yüzeyler arası sıcaklık farkı  $\Delta T = 30^{\circ}\text{C}$ 'ye getirildiğinde, TEJ'den elde edilen gerilim  $V = 10\text{ V}$ , TEJ akımı  $I = 100\text{ mA}$  ve TEJ gücü  $P = 1\text{ W}$  olmuştur.

Ortam sıcaklığı  $T_{ort}=42^{\circ}\text{C}$ 'de iken deneyde maksimum sıcaklık farkına çıkılabildiği  $\Delta T = 47^{\circ}\text{C}$  değerinde, TEJ sıcak tarafının sıcaklığı  $T_h = 80^{\circ}\text{C}$  ve TEJ soğuk tarafının sıcaklığı  $T_c = 37^{\circ}\text{C}$  değerindedir. Bu durumda, TEJ'den elde edilen gerilim  $V = 18\text{ V}$ , TEJ akımı  $I = 180\text{ mA}$  ve TEJ gücü  $P_{max} = 3,24\text{ W}$  olmuştur. Ölçüm sonuçlarına göre ortam sıcaklığı, sıcaklık farkına göre değişen güç grafiğinde sıcaklık farkı ve ortam sıcaklığı arttıkça gerilim, akım ve güç değerleri de orantılı olarak artmaktadır.

Çizelge 4.3'de Aynı şartlara ve ortam sıcaklığına sahip iki oda da gerçekleştirilen bu deneyde, fanlı radyatörün bulunduğu oda sıcaklığını ölçen  $T_f$ , fansız oda sıcaklığını ölçen  $T_o$  sensörleri kullanılarak farklı günlerde aynı zaman diliminde iki odadan sıcaklık verileri alınarak kaydedilmiştir. Üretilen enerjiyi faydalı kullanmak adına TEJ'lerden üretilen elektrik enerjisinin fanları beslemesi ile fanların radyatör kanallarındaki ısıyı odaya yayması sonucu ortam sıcaklığındaki değişimler gözlemlenmiş ve fansız ortam sıcaklığıyla karşılaştırılmıştır. Ocak, şubat ve mart aylarında hergün toplanan verilerin ortalama değerleri hesaplanarak çizelge 4.3 oluşturulmuştur.

Çizelge 4.3 Radyatörü fanlı ve fansız odalardaki ortam sıcaklık değerleri

I Akım mA	V Gerilim V	P Güç mW	$\Delta T$ Sıcaklık Farkı °C	Tf Fanlı ortam sıcaklığı °C	To Fansız ortam sıcaklığı °C	Tk Isıl konfor sıcaklığı °C
0,2	0,05	0,01	1	10	10	0
3,6	0,32	1,152	2	11	11	0
4,2	0,43	1,806	2,6	12	12	0
19	1,5	28,5	3	13	13	0
24	2	48	4	14	14	0
25	2,5	62,5	5	14	14	0
30	3	90	6	15	14	1
32	2,74	87,68	7	15	14	1
32,4	3,25	105,3	8	15	14	1
35,4	3,5	123,9	9	16	14	2
36,2	3,59	129,958	10	17	15	2
38,5	3,78	145,53	12	18	16	2
38,5	3,8	146,3	13	19	17	2
39	3,9	152,1	14	20	18	2
40	4	160	15	21	18	3
42	4,2	176,4	16	22	19	3
43	4,26	183,18	17	23	20	3
45	4,45	200,25	18	24	21	3
48	4,6	220,8	19	24	21	3
50	5	250	20	25	22	3
60	6	360	22	26	22	4
75	7	525	25	27	23	4
80	8	640	27	28	24	4
90	9	810	29	29	24	5
100	10	1000	30	30	25	5
110	11	1210	32,8	31	26	5
121	12	1452	34	32	26	6
130	13	1690	36	33	27	6
140	14	1960	39	34	28	6
150	15	2250	41	35	28	7
159	16	2544	43	36	29	7
169	17	2873	45	37	30	7
180	18	3240	47	38	30	8

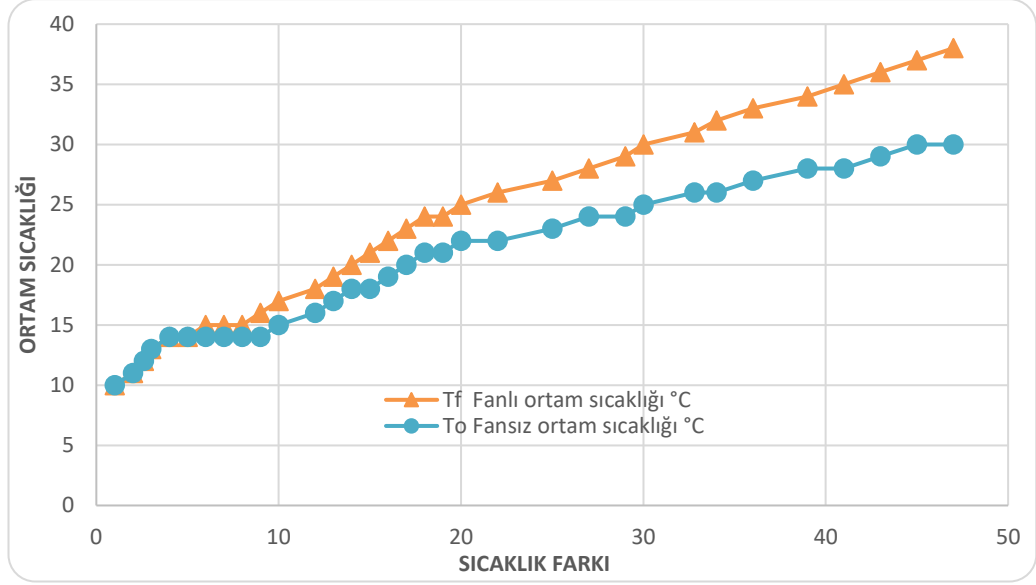
Çizelge 4.3 incelendiğinde TEJ yüzeyler arası sıcaklık farkı  $\Delta T = 6 \text{ }^\circ\text{C}$  olduğunda, TEJ'den elde edilen gerilim  $V = 3 \text{ V}$ , TEJ akımı  $I = 30 \text{ mA}$ , TEJ gücü  $P = 90 \text{ mW}$  ve fanlı ortam sıcaklığı  $T_f=15 \text{ }^\circ\text{C}$  olmuştur. Fansız ortam sıcaklığı  $T_o=14 \text{ }^\circ\text{C}$  ve ısı konfor katkısı  $T_k=1 \text{ }^\circ\text{C}$  olmuştur.

TEJ yüzeyler arası sıcaklık farkı  $\Delta T = 15 \text{ }^\circ\text{C}$  olduğunda, TEJ'den elde edilen gerilim  $V = 4 \text{ V}$ , TEJ akımı  $I = 40 \text{ mA}$ , TEJ gücü  $P = 160 \text{ mW}$  ve fanlı ortam sıcaklığı  $T_f=21 \text{ }^\circ\text{C}$  olmuştur. Fansız ortam sıcaklığı  $T_o=18 \text{ }^\circ\text{C}$  Isıl konfor katkısı  $T_k=3 \text{ }^\circ\text{C}$  olmuştur.

TEJ yüzeyler arası sıcaklık farkı  $\Delta T = 30 \text{ }^\circ\text{C}$  olduğunda, TEJ'den elde edilen gerilim  $V = 10 \text{ V}$ , TEJ akımı  $I = 100 \text{ mA}$ , TEJ gücü  $P = 1 \text{ W}$  ve fanlı ortam sıcaklığı  $T_f=30 \text{ }^\circ\text{C}$  olmuştur. Fansız ortam sıcaklığı  $T_o=25 \text{ }^\circ\text{C}$  Isıl konfor katkısı  $T_k=5 \text{ }^\circ\text{C}$  olmuştur.

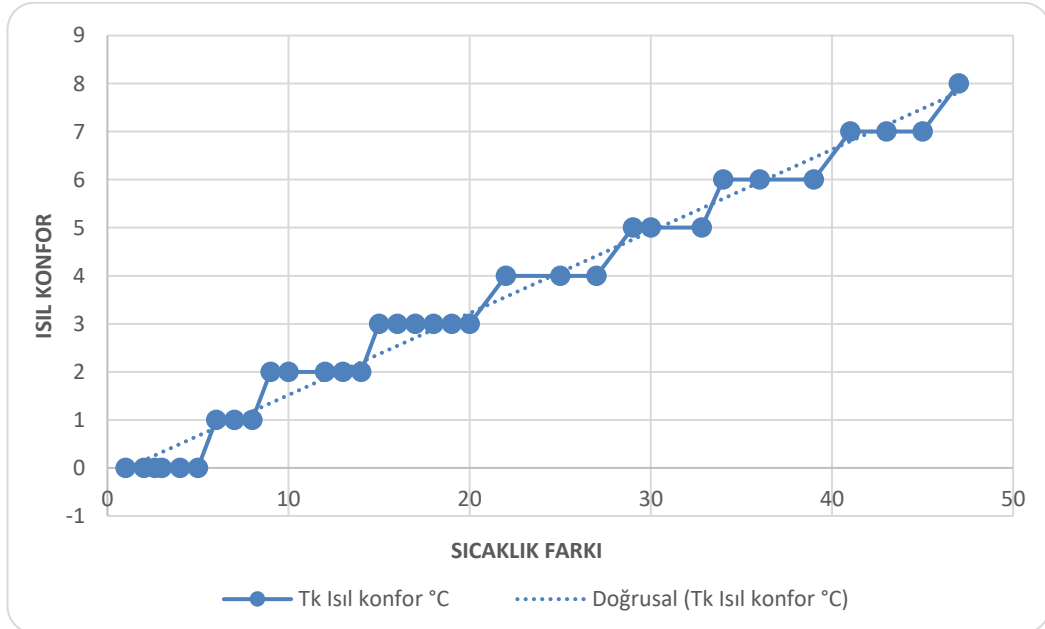
TEJ yüzeyler arası sıcaklık farkı  $\Delta T = 47 \text{ }^\circ\text{C}$  olduğunda, TEJ'den elde edilen gerilim  $V = 18 \text{ V}$ , TEJ akımı  $I = 180 \text{ mA}$ , TEJ gücü  $P = 3,24 \text{ W}$  ve fanlı ortam sıcaklığı  $T_f=38 \text{ }^\circ\text{C}$  olmuştur. Fansız ortam sıcaklığı  $T_o=30 \text{ }^\circ\text{C}$  Isıl konfor katkısı  $T_k=8 \text{ }^\circ\text{C}$  olmuştur.

Şekil 4.4'de Yapılan deney sonucunda  $\Delta T = 6 \text{ }^\circ\text{C}$  olduğunda yani TEJ'den elde edilen gerilim  $V = 3 \text{ V}$ , TEJ akımı  $I = 30 \text{ mA}$  ve TEJ gücü  $P = 100 \text{ mW}$  olduğunda fanların çalışmaya başladığı ve oda sıcaklığının değiştiği gözlemlenmiştir. Gözlemlediğimiz maksimum sıcaklık farkı  $\Delta T = 47 \text{ }^\circ\text{C}$  olduğunda yani TEJ'den elde edilen gerilim  $V = 18 \text{ V}$ , TEJ akımı  $I = 180 \text{ mA}$  ve TEJ gücü  $P = 3,24 \text{ W}$  lık enerji ile çalışan fanlar tam üfleme yaparak ısı konforu  $T_k=8 \text{ }^\circ\text{C}$ 'ye taşımıştır.



Şekil 4.8. Sıcaklık farkına göre değişen fanlı ortam sıcaklığı ve fansız ortam sıcaklığı

Şekil 4.5’de ısı konfor eğrisi verilmiştir. Eğride 1°C ile 47 °C’e arasında değişen sıcaklık farkı ve üretilen elektriksel parametrelerle doğru orantılı olarak  $T_k=1$  °C ile  $T_k=8$  °C arasında değişen ısı konfor gözlemlenmiştir.



Şekil 4.9. Isıl Konfor

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, TEJ'lerin elektriksel, termoelektriksel ve ısıl parametrelerinin alınabilmesi, testlerinin yapılabilmesi ve sürekli çalışma değerlerinin alınıp saklanabilmesi için yeni bir sistem kurulmuştur. TEM'ler TEJ olarak kullanılmıştır. Farklı sıcaklık aralıkları için sonuçları deneylerle karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar ışığında, sistem üzerinde denenmesi ve kalorifer radyatörlerindeki jeotermal alanlardaki ısının kullanılması amacıyla yeni bir TEJ'li sistem gerçekleştirilmiştir ve bu TEJ'in parametreleri ölçüm sistemi yardımıyla alınarak tüm analizleri yapılmıştır.

Kalorifer radyatörü ve ortam sıcaklığıyla birlikte duvar yüzey sıcaklık seyri izlenmiştir. Yapılan deneyde radyatör sıcaklığı 12°C ile 84°C arasında değiştirilerek duvar yüzey sıcaklığı ve ortam sıcaklık seyri incelenip karşılaştırılmıştır. Deney sonucunda ortam sıcaklığı, radyatör yüzey sıcaklığının yarısına yakın değerlerde ve duvar yüzey sıcaklığına yakın değerlerde olduğu gözlemlenmiştir. Radyatördeki yüzey sıcaklığının artmasıyla soğuk yüzeyde de orantılı olarak istenmeyen sıcaklık artışının olduğu gözlemlenmiştir. Bu sıcaklık artışı ortam sıcaklığı ve radyatör sıcaklığı ile ilişkilidir. Bu artışı azaltmak için deneylerde bakır baralar kullanılarak duvar ile temas yüzeyi artırılmıştır.

Değişen oda sıcaklığında duvar ve radyatörden oluşturduğumuz sıcaklık farkını kullanarak TEJ'lerden ürettiğimiz elektriksel parametrelerin izlenmesi ve analizi yapılmıştır. 1°C ile 47°C arasında elde edilen sıcaklık farkına göre akım gerilim ve güç değerlerini incelediğimizde sıcaklık farkı ile elektriksel parametrelerin doğru orantılı olduğu görülmüştür. Harici bir kaynak kullanmadan duvar ve radyatör yüzey sıcaklık farkından faydalanarak ürettiğimiz elektrik enerjisi ısıl konfora çevrilmiştir. Üretilen elektrik enerjisi ile beslediğimiz fanların radyatör kanallarındaki sıcaklığı odaya yayması sonucu ısıl konfor  $T_k=8$  °C' ye kadar ulaşmıştır. Gözlemllediğimiz maksimum sıcaklık farkı  $\Delta T = 47$  °C olduğunda yani TEJ'den elde edilen gerilim  $V = 18$  V, TEJ akımı  $I = 180$  mA ve TEJ gücü  $P = 3,24W$  lık değerlere sahip elektrik enerji üretilmiş ve bu enerji ile çalışan fanlar tam üfleme yaparak ısıl konforu  $T_k=8$  °C'ye taşımıştır.

TEJ'lerden üretilen enerji fanları döndürme gücüne erişinceye kadar üretilen enerji harici bir aküye depolanarak faydalı kullanılabilir veya fanlar akü tarafından beslenerek sistemin verimliliği artırılabilir. TEJ'lerin sıcak yüzeyinin ısı kaybının düşürülmesi ve soğuk yüzeyin daha iyi soğutulması gibi iyileştirmelerle verimleri daha da artırılabilir. Çalışmalarda sıcaklık farkının artırılmasına yönelik çalışmalar. Baş (2014), çalışmasında termoelektrik jeneratörün soğuk yüzeyine farklı su debileri uygulayarak daha iyi soğutma sağlamış ve sıcaklık farkını artırmıştır. Fettah (2010), Soğutucu akışkan olarak kullanılan havanın yüksek hava akış hızında verildiğinde üretilen elektrik enerjisinin su soğutmalı sisteme göre daha fazla olduğu görülmüştür.

TEJ'lerin verimlerinin düşük olması ve kurulum maliyetlerinin yüksek oluşu ilk bakışta bir çekince oluşturmaktadır. Fakat kullandıkları enerji kaynağının yenilenebilir olması ve yaklaşık kırk yıl gibi bir kullanım ömürlerinin olması bu çekinceyi gidermektedir. TEJ'ler termal enerjiyi doğrudan elektrik enerjisine çevirirler. Sessiz çalışmaları, ölçeklenebilir olmaları, hareketli parçalarının ve sera gazı salınımlarının olmaması gibi çeşitli avantajlara sahiptirler. Dünya'da enerji ihtiyacının devamlı artış gösterdiği, hali hazırda kullanılan enerji kaynakları nedeniyle çevre kaygıları devam ettiği müddetçe yenilenebilir enerji kaynaklarından olan TEJ'lere ihtiyaç sürekli olacak ve sıcak araştırma konuları arasında yer almayı sürdürecektir.

Türkiye jeotermal potansiyel de Dünya'da beşinci, Avrupa ülkeleri arasında da birinci sırada yer almaktadır. Bu enerjinin konut ısıtması, sera ısıtması, termal tesisler ve elektrik üretiminde kullanılmasıyla büyük bir tasarruf elde edilecektir. TEJ'lerin düşük jeotermal sıcaklıklar da dahi elektrik enerjisi üretimine katkıda bulunmasıyla, Türkiye'de jeotermal alanlarda TEJ santrallerinin kurulmasıyla bu tasarrufa ve verimliliğe katkıda bulunulacağı düşünülmektedir.



## KAYNAKLAR

- Adofrit, 2017. Erişim Tarihi: 09.02.2018. <https://learn.adafruit.com/adafruit-mcp9808-precision-i2c-temperature-sensor-guide/overview>.
- Adofrit, 2017.Erişim Tarihi: 09.02.2018. <https://www.adafruit.com/product/904>
- Arduino, 2018.Erişim Tarihi: 09.02.2018. <https://www.arduino.cc/>
- Altan, M.S., 2010. Genetik Algoritma Yöntemiyle Termoelektrik Modüllerin Optimizasyonu. Gazi Üniversitesi, Bilişim Enstitüsü, Doktora Tezi, 112s, Ankara.
- Atmaca, Y., Yiğit, A., 2009. Isıl Konfor İle İlgili Mevcut Standartlar Ve Konfor Parametrelerinin Çeşitli Modeller İle İncelenmesi. IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 6-9 Mayıs, İzmir, 543-555
- Baş, Ş., 2014. Atık Baca Gazı Kullanımı İle Termoelektrik Jeneratörlerde Elektrik Üretiminin Faydalı kullanımının Deneysel İncelenmesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 83s, Karabük.
- Bansal P. K., Martin A., 2000. Comparative study of vapour compression, thermoelectric and absorption refrigerator. International Journal of Energy Research, 24,93-107.
- Crane, D. 2003. Potential thermoelectric applications in diesel vehicles (No. CONF-2003--108). BSST, LLC (US).
- Chavez, R., Angst, S., Hall, J., Stoetzel, J., Kessler, V., Bitzer, L., Schierning, G., 2014. High temperature thermoelectric device concept using large area pn junctions. Journal of Electronic Materials, 43(6), 2376-2383.
- Çalışır, O., 2014. Termoelektrik Jeneratörlerde Atık Isı Kullanımına Bir Uygulama: Pem Yakıt Pili Atık Isısının Değerlendirilmesi. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 69s, Kayseri.
- Dikmen, E., 2002. Fixing of Factors What Affects Thermoelectric Coolers' working criteria and fields of use in industry. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 158s, Isparta.
- Dişlitaş, S., 2009. Bilgisayar Kontrollü Termoelektrik Performans Analiz Sistemi. Gazi Üniversitesi, Bilişim Enstitüsü, Doktora Tezi, 140s, Ankara.
- Doğdu, M.F., 2013. Termoelektrik Soğutucuların Performansına Doğrudan Temaslı Isı Değiştiricilerin Etkilerinin İncelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 87s, İstanbul.

- Eakburanawat, J., Boonyaroonate I., 2006. Development of a Thermoelectric Battery-Charger with Microcontroller-based Maximum Power Point Tracking Technique. *Applied Energy*, 83(7), 687-704.
- Fettah, S., 2010. Katı Oksit Yakıt Pilinin Isısından Elektrik Enerjisi Üretim Sisteminin Deneysel Analizi. Başkent Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 105s, Ankara.
- Gao, X., 2012. Numerical model of a thermoelectric generator with compact plate-fin heat exchanger for high temperature PEM fuel cell exhaust heat recovery. *International Journal of Hydrogen Energy*, 8490-8498.
- Gür. S., 2009. Yoğunlaştırıcı Güneş Kollektörleri Ve Termoelektrik Jeneratörler Kullanarak Elektrik Enerjisi Elde Etmek. Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 56s, Karabük.
- Huong, N.T., Setou, Y., Nakamoto, G., Kurisu, M. Kajihara, T., Mizukami, H. and Sano, S., 2004. High thermoelectric performance at low temperature of p-BiSbTe grown by the gradient freeze method from Te-rich melt. *Journal of Alloys and Compounds*, 368, 44-50.
- Inayat, S. B., Hussain, M. M., 2013. Power generation from thermoelectric system-embedded Plexiglas for green building technology. *Applied Nanoscience*, 3(4), 335-342.
- Jang j., Tsai Y., Wu C., 2013, “A study of 3-D numerical simulation and comparison with experimental results on turbulentflow of ventingflue gas using thermoelectric generator modules and platefin heat sink” , *Energy* 53, 270-281.
- Kayabaşı, R., 2009. Jeotermal Enerji Kullanılarak Termoelektrik Jeneratör İle Elektrik Üretimi. Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 51 sayfa, Karabük.
- Kaya, A. Y., 2010. Egzoz Gazındaki Isı İle Çalıştırılan Termoelektrik sistemin Deneysel İncelenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 48s, Isparta.
- Kaya, M., 2016. Termoelektrik Üreteç Sistemi İle Atık Egzoz Gazından Elektrik Üretiminin Deneysel İncelenmesi. Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 53s, Kocaeli.
- Kayabaşı, R., 2009. Jeotermal Enerji Kullanarak Termoelektrik Jeneratör İle Elektrik Üretimi. Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 63s, Karabük.
- Kılıç, T., 2010. A study about recycling waste energy in buildings by using thermoelectric generators. Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 80s, İstanbul.

- Kober, M., 2012. Methodical concept development of automotive Thermoelectric generators (TEG). 3. International Conference Thermoelectrics goes Automotive, Methodical Concept Development of Automotive TEG.
- Karabetođlu, S., 2017. Kuantum Ölçek Etkileri Altında Termoelektrik ve Termoölçek Potansiyeller. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 114s, İstanbul.
- Li, M., Xu, S., Chen, Q., Zheng, L. R. 2011. Thermoelectric-Generator-Based DC-DC Conversion Networks for Automotive Applications. Journal of electronic materials, 40(5), 1136-1143.
- Lineykin, S. & Ben-Yaakov, S. 2007. Modeling and analysis of thermoelectric modules. Ieee Transactions on Industry Applications, 43, 505-512.
- Lertsatitthanakorn, C., 2007. Electrical performance analysis and economic evaluation of combined biomass cook stove thermoelectric (BITE) generator. Bioresource technology, 98(8), 1670-1674.
- Maneewan, S., Hirunlabh, J., Khedari, J., Zeghamati, B., Teekasap, S., 2005. Heat gain reduction by means of thermoelectric roof solar collector. Solar Energy, 78(4), 495-503.
- Mamur, H., 2013. Termoelektrik Jeneratörün Elektriksel, Termoelektriksel ve Isıl Parametrelerinin İncelenmesi İçin Bilgisayarlı Bir Veri Edinim Ve Test Sisteminin Gerçekleştirilmesi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 145s, Ankara.
- Moser W., Friedl G., 2006, Haslinger W., Hofbauer H., Small-Scale Pellet Boiler with Thermoelectric Generator. Thermoelectrics, ICT '06. 25th International Conference on, 349 – 353.
- Möröyodor, E., 2005. Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> ve Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> içerikli bileşenlerin termoelektrik, yapısal ve mikroyapısal özelliklerinin incelenmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 150s, İstanbul.
- Nolas, G. S., Sharp, J. & Goldsmid, J. 2001. Thermoelectrics: Basic Principles and New Materials Developments, Springer Berlin Heidelberg.
- Oplustil, M. and Zalesak, M., 2013. The power options for transmitting systems using thermal energy generator, International Conference on Environment, Energy, Ecosystems and Development, Czech Republic, 212-215.
- Özgün, H., 2009. Termoelektrik Jeneratörlerin Çok Düşük Sıcaklıklarda Teorik ve Deneysel Karakterizasyonu. İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 158s, İstanbul.

- Reddy, B. V. K., Barry, M., Li, J. & Chyu, M. K. 2013. Mathematical modeling and numerical characterization of composite thermoelectric devices. *International Journal of Thermal Sciences*, 67, 53-63.
- Rowe D.M., Bhandari C. M., 1983. *Modern Thermoelectrics*. Holt-Technology, 168s, London.
- R. Ahıska, G. Ahıska, K. Ahıska, 2009. Analysis of a new method for measurement of parameters of real thermoelectric module employed in medical cooler for renal hypothermia. *Instrumentation Science & Technology*, 37 (1): 102-123.
- Riffat, S. B., Xiaoli, M., Wilson, R., 2006. Performance simulation and experimental testing of a novel thermoelectric heat pump system. *Applied Thermal Engineering*, 26: 494-501.
- Sulak, M., 2018. Muğla Koşullarında Güneş Enerjisi Kullanılarak Termoelektrik Modül İle Hava Neminden Su Elde Edilmesi. Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 60s, Muğla.
- Şerafettin, E. R. E. L., Akdaş, M., Tugay, M. 2010. Güneş Enerjisiyle Çalışan Bir Termoelektrik Jeneratörde Sıcaklık Faktörünün Etkisi. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 2(1), 7-10.
- Tugay, M., 2010. Dinamik Yapılı Parabolik Yansıtıcı Kullanılarak Termoelektrik Dönüştürücüler ile Sağlanan Elektrik Enerjisinde Optimum Düzeyin Elde Edilmesi. Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 90s, Kırıkkale.
- Thomas, J. P., Quidwai, M. A. and Kellogg, J. C., 2006. Energy scavenging for smallscale unmaned systems. *Journal of power*, 159 1494-1509, 7.
- Tsuyoshi, A. and Matsuura, K., 2002. Trial manufacture of a thermoelectric Generator powered by higtemperature heat transfer medium oil. *Electrical engineering in Japan*, vol.141 No.1, 43.
- Yavuz, A.H., 2009. Bulanık Mantık Denetimli Termoelektrik Beyin Soğutucusu. Gazi Üniversitesi, Bilişim Enstitüsü, Doktora Tezi, 180s, Ankara.

## **EKLER**

**EK A.** Kodlar

**EK B.** TEC12708 katalog bilgileri

**EK C.** MPC9808 katalog bilgileri

**EK D.** MAX31855 katalog bilgileri



## **EK A. Kodlar**

```
#include <Wire.h>

#include "Adafruit_MCP9808.h"

#include <Adafruit_INA219.h>

#include "Adafruit_MAX31855.h"

#include <SD.h>

#include <SPI.h>

int INA = 9;

int INB = 8;

const int chipSelect = 4;

Adafruit_MCP9808 tempsensor1 = Adafruit_MCP9808();

Adafruit_MCP9808 tempsensor2 = Adafruit_MCP9808();

Adafruit_INA219 tempsensor3 = Adafruit_INA219();

Adafruit_MAX31855 tempsensor4 = Adafruit_MAX31855();

Adafruit_MAX31855 tempsensor5 = Adafruit_MAX31855();

void setup ()

{

pinMode (INA, OUTPUT);

pinMode (INB, OUTPUT);

Serial.begin(9600);

while (! Serial)

delay (1);

Serial.println("      DATA LOGGER ");

tempsensor1.begin(0x18);

tempsensor2.begin(0x19);

tempsensor3.begin(0x40);

tempsensor4.begin(0x19);
```

```

tempSensor5.begin(0x40);

SD.begin(chipSelect);
}

void loop ()
{
    float shuntVoltage = 0;
    float busVoltage = 0;
    float current_mA = 0;
    float loadVoltage = 0;
    shuntVoltage = tempSensor3.getShuntVoltage_mV ();
    busVoltage = tempSensor3.getBusVoltage_V ();
    current_mA = tempSensor3.getCurrent_mA ();
    loadVoltage = busVoltage + (shuntVoltage / 1000);
    float c = tempSensor1.readTempC();
    float a = tempSensor2.readTempC();
    float k = tempSensor4.readTempC();
    float l = tempSensor5.readTempC();

    //float f = c * 9.0 / 5.0 + 32;
    if (current_mA > 100)
    {
        digitalWrite (INA, LOW);
        digitalWrite (INB, HIGH);
    }
    else
    {

```

```

digitalWrite (INA, LOW);
digitalWrite (INB, LOW);
}
String dataString = "";
File dataFile = SD. open ("data.txt", FILE_WRITE);
if(dataFile)
{
dataFile.print("Temp1: "); dataFile.print(c); dataFile.println("*C\t");
dataFile.print("Temp2: "); dataFile.print(a); dataFile.println("*C\t");
dataFile.print("Temp4: "); dataFile.print(k); dataFile.println("*C\t");
dataFile.print("Temp5: "); dataFile.print(l); dataFile.println("*C\t");
dataFile.print("Voltage: "); dataFile.print(shuntvoltage); dataFile.println("mV");
dataFile.print("Current: "); dataFile.print(current_mA); dataFile.println(" mA");
dataFile.println("");
Serial.print("  Temp1: "); Serial.print(c); Serial.println("*C\t");
Serial.print("  Temp2: "); Serial.print(a); Serial.println("*C\t");
Serial.print("  Temp4: "); Serial.print(k); Serial.println("*C\t");
Serial.print("  Temp5: "); Serial.print(l); Serial.println("*C\t");

Serial.print("Voltage: "); Serial.print(shuntvoltage); Serial.println(" mV");
Serial.print("Current: "); Serial.print(current_mA); Serial.println(" mA");
Serial.println("");
dataFile.close();
}
delay (4000);
}

```



## EK B. TEC12708 katalog bilgileri

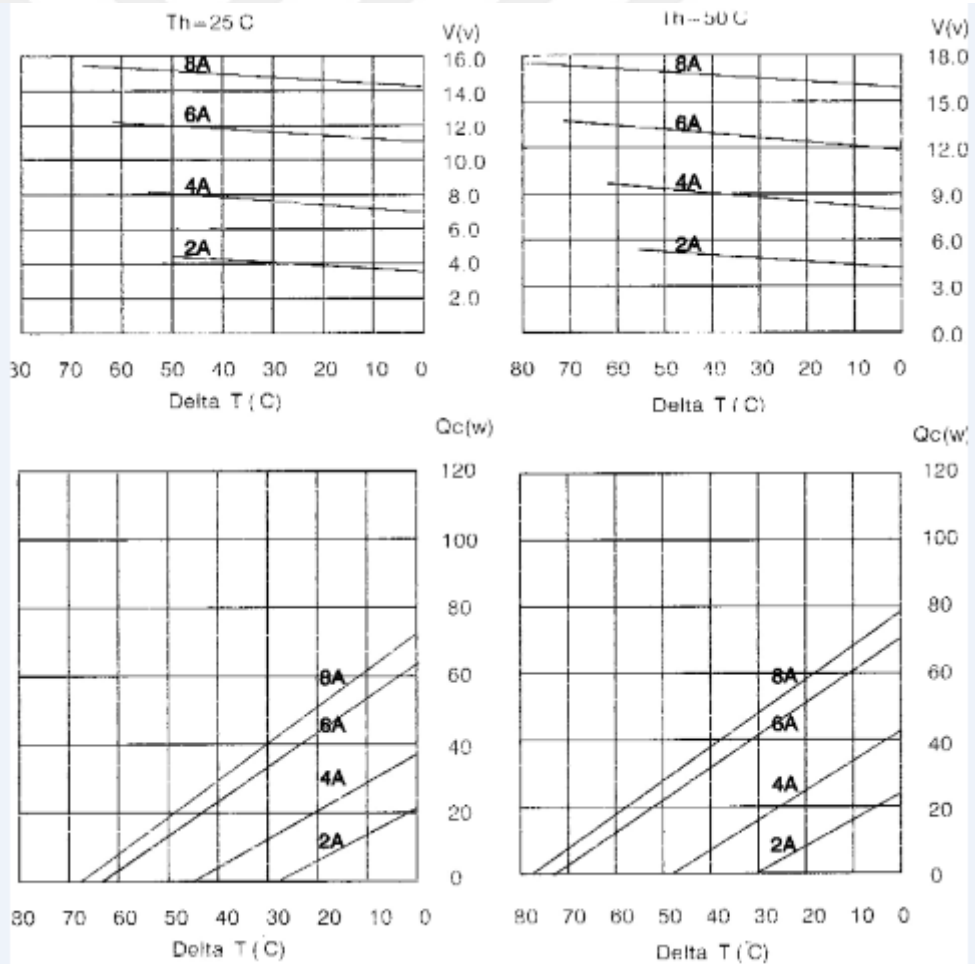


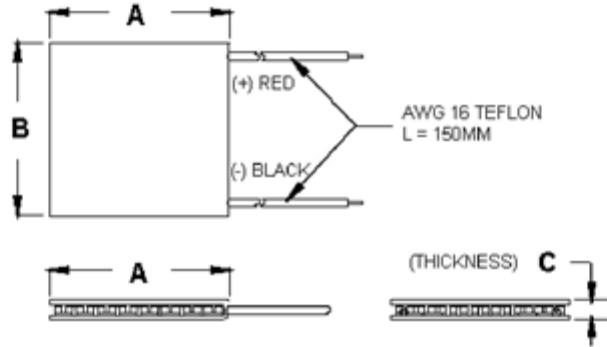
Thermoelectric  
Cooler

TEC1-12708

### Performance Specifications

Hot Side Temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )	25 $^{\circ}\text{C}$	50 $^{\circ}\text{C}$
Qmax (Watts)	71	79
Delta Tmax ( $^{\circ}\text{C}$ )	66	75
I <sub>max</sub> (Amps)	8.5	8.4
V <sub>max</sub> (Volts)	15.4	17.5
Module Resistance (Ohms)	1.50	1.80





Ceramic Material: Alumina ( $Al_2O_3$ )  
 Solder Construction: 138°C, Bismuth Tin (BiSn)

**Size table:**

A	B	C			
40	40	3.5			

**Operating Tips**

- Max. Operating Temperature: 138°C
- Do not exceed  $I_{max}$  or  $V_{max}$  when operating module.
- Life expectancy: 200,000 hours
- Please consult HB for moisture protection options (sealing).
- Failure rate based on long time testings: 0.2%.

**3.0 PIN DESCRIPTION**

The descriptions of the pins are listed in Table 3-1.

**TABLE 3-1: PIN FUNCTION TABLE**

DFN	MSOP	Symbol	Pin Function
1	1	SDA	Serial Data Line
2	2	SCL	Serial Clock Line
3	3	Alert	Temperature Alert Output
4	4	GND	Ground
5	5	A2	Slave Address
6	6	A1	Slave Address
7	7	A0	Slave Address
8	8	V <sub>DD</sub>	Power Pin
9	—	EP	Exposed Thermal Pad (EP); must be connected to GND

**3.1 Serial Data Line (SDA)**

SDA is a bidirectional input/output pin, used to serially transmit data to/from the host controller. This pin requires a pull-up resistor. (See Section 4.0 “Serial Communication”.)

**3.2 Serial Clock Line (SCL)**

The SCL is a clock input pin. All communication and timing is relative to the signal on this pin. The clock is generated by the host or master controller on the bus. (See Section 4.0 “Serial Communication”.)

**3.3 Temperature Alert, Open-Drain Output (Alert)**

The MCP9808 temperature Alert output pin is an open-drain output. The device outputs a signal when the ambient temperature goes beyond the user-programmed temperature limit. (See Section 5.2.3 “Alert Output Configuration”.)

**3.4 Ground Pin (GND)**

The GND pin is the system ground pin.

**3.5 Address Pins (A0, A1, A2)**

These pins are device address input pins.

The address pins correspond to the Least Significant bits (LSBs) of the address bits and the Most Significant bits (MSBs): A6, A5, A4, A3. This is illustrated in Table 3-2.

**TABLE 3-2: MCP9808 ADDRESS BYTE**

Device	Address Code				Slave Address		
	A6	A5	A4	A3	A2	A1	A0
MCP9808	0	0	1	1	x <sup>(1)</sup>	x	x
MCP9808 <sup>(2)</sup>	1	0	0	1	x	x	x

**Note 1:** User-selectable address is shown by ‘x’. A2, A1 and A0 must match the corresponding device pin configuration.

**2:** Contact factory for this address code.

**3.6 Power Pin (V<sub>DD</sub>)**

V<sub>DD</sub> is the power pin. The operating voltage range, as specified in the DC electrical specification table, is applied on this pin.

**3.7 Exposed Thermal Pad (EP)**

There is an internal electrical connection between the Exposed Thermal Pad (EP) and the GND pin. The EP may be connected to the system ground on the Printed Circuit Board (PCB).

# EK D. MAX31855 katalog bilgileri

MAX31855

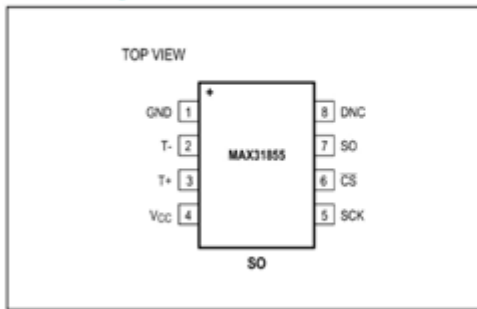
Cold-Junction Compensated  
Thermocouple-to-Digital Converter

## Thermal Characteristics (continued)

( $3.0V \leq V_{CC} \leq 3.6V$ ,  $T_A = -40^\circ C$  to  $+125^\circ C$ , unless otherwise noted.) (Note 4)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Thermocouple Temperature Data Resolution				0.25		$^\circ C$
Internal Cold-Junction Temperature Error		$T_A = -20^\circ C$ to $+85^\circ C$ (Note 3)	-2		+2	$^\circ C$
		$T_A = -40^\circ C$ to $+125^\circ C$ (Note 3)	-3		+3	
Cold-Junction Temperature Data Resolution		$T_A = -40^\circ C$ to $+125^\circ C$		0.0625		$^\circ C$
Temperature Conversion Time (Thermocouple, Cold Junction, Fault Detection)	$t_{CONV}$	(Note 5)		70	100	ms
Thermocouple Conversion Power-Up Time	$t_{CONV\_PU}$	(Note 6)	200			ms

## Pin Configuration

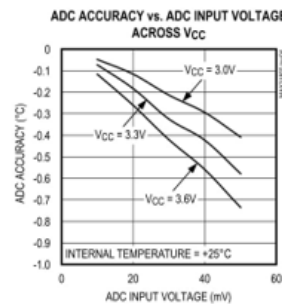
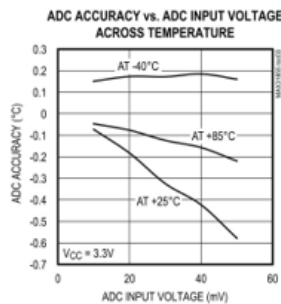
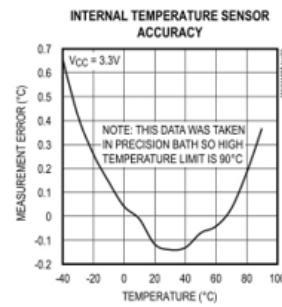
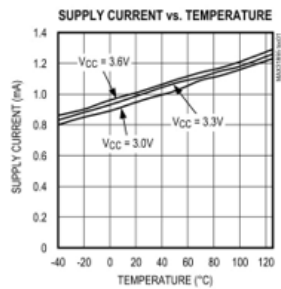


## Pin Description

PIN	NAME	FUNCTION
1	GND	Ground
2	T-	Thermocouple Input. See Table 1. Do not connect to GND.
3	T+	Thermocouple Input. See Table 1.
4	$V_{CC}$	Power-Supply Voltage
5	SCK	Serial-Clock Input
6	$\overline{CS}$	Active-Low Chip Select. Set $\overline{CS}$ low to enable the serial interface.
7	SO	Serial-Data Output
8	DNC	Do Not Connect

## Typical Operating Characteristics

( $V_{CC} = +3.3V$ ,  $T_A = +25^\circ C$ , unless otherwise noted.)



## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Yakup YAĞMUR

Doğum Yeri ve Yılı : Kırşehir, 1990

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : yl1530142029@sdu.edu.tr

Taranmış  
Fotoğraf  
(3.5cm x 3cm)

## Eğitim Durumu

Lise : Selçuklu Endüstri Meslek Lisesi, 2007

Ön Lisans : Selçuk Üniversitesi, TBMYO, Elektrik Elektronik Bölümü

Lisans : SDÜ, Teknoloji Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği

## Mesleki Deneyim

İNTERKOM elektrik inşaat mühendislik taah. Tic. Ve san. Ltd. Şti. 2009-2011

TABİB FARMA İlaç tıbbi cihazlar medikal Tic. Ve san. Ltd. Şti. 2015-(halen)