

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

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**KOMBİ CİHAZLARINDAN TERMOELEKTRİK YÖNTEMLE  
ELEKTRİK ÜRETİMİNİN İNCELENMESİ**

**Mustafa UÇAR**

**Danışman  
Prof. Dr. Reşat SELBAŞ**

**ISPARTA- 2019**



© 2019 [Mustafa UÇAR]

## TEZ ONAYI

### KOMBİ CİHAZLARINDA TERMOELEKTRİK YÖNTEMLE ELEKTRİK ÜRETİMİNİN İNCELENMESİ

Mustafa UÇAR tarafından hazırlanan bu tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** Prof. Dr. Reşat SELBAŞ  
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

İmza

**Üye** Prof. Dr. İbrahim ÜÇGÜL  
Süleyman Demirel Üniversitesi

**Üye** Prof. Dr. Ahmet KABUL  
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

Yukarıdaki Jüri kararı Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun .... / .... / ....  
tarih ve ..... / ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

**Prof. Dr. Yusuf UÇAR**  
Enstitü Müdürü

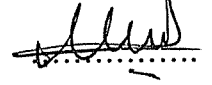
## ETİK BEYANI

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak ve bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın hazırladığım bu tez çalışmada;

Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde ve ortaya çıkan sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

09/08/2019

**Mustafa UÇAR**



# İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
İÇİNDEKİLER .....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	vii
1. GİRİŞ .....	1
1.1. Kombi Çeşitleri .....	4
1.1.1. Bacalı kombi .....	5
1.1.2. Hermetik kombi .....	5
1.1.3. Yoğuşmalı kombi .....	6
1.1.4. Kombi çalışma prensibi.....	8
2. KAYNAK ÖZETLERİ .....	10
3.MATERYAL VE YÖNTEM .....	23
3.1. Termoelektrik.....	23
3.2. Termoelektrik Etkiler.....	23
3.2.1. Joule etkisi.....	24
3.2.2. Fourier etkisi .....	24
3.2.3. Seebeck etkisi.....	25
3.2.4. Peltier etkisi.....	25
3.2.5. Isı transferi .....	26
3.2.5.1. İletim .....	27
3.2.5.2. Taşınım.....	28
3.2.5.2.1. Zorlanmış taşınım .....	28
3.2.5.2.2. Doğal (serbest) taşınım .....	28
3.2.5.3. Işınım .....	29
3.3. Deney Seti .....	29
3.3.1. Deney seti için gerekli malzemeler .....	30
3.3.2. Kullanılacak termoelektrik jeneratörün genel özellikleri.....	32
3.3.3. Termoelektrik jeneratörün kullanımı ve basit uygulama örnekleri.....	32
4. BULGULAR VE TARTIŞMA .....	35
4.1. Hazırlık Aşaması.....	35
4.1.1. Deney setinin oluşturulması.....	35
4.2. Ölçüm İşlemleri.....	39
4.3. Deney Sonuç Analizleri .....	40
4.4. Termoelektrik Jeneratörün Performansı ve Verimliliği .....	40
5. SONUÇ VE ÖNERİLER .....	44
KAYNAKLAR .....	46
ÖZGEÇMİŞ .....	48

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### KOMBİ CİHAZLARINDAN TERMOELEKTRİK YÖNTEMLE ELEKTRİK ÜRETİMİNİN İNCELENMESİ

Mustafa UÇAR

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Reşat SELBAŞ

Bu tez çalışmasında yükselen yaşam standartları, dünya genelinde hızla artmakta olan nüfus ve sanayi sektörünün enerjiye olan ihtiyacı enerjiye bağımlılığı günden güne arttırmaktadır. Hali hazırda, enerji ihtiyacımızın çoğunluğunu fosil (kömür, petrol, doğalgaz) enerji kaynaklarından sağlanmaktadır. Kullandığımız bu fosil yakıtlarında kaynağı sınırlı olduğunu düşünürsek, enerjinin sürekliliğini karşılayabilmek için yenilenebilir enerji kaynaklarından yüksek ölçüde yararlanmak gerekmektedir. Yenilenebilir (tükenmez) enerji kaynakları çoğunlukla doğal kaynakları kullandığından temiz enerji kaynaklarıdır. Bu çalışmamızda kombiden gelen sıcak su ve şebekeden gelen soğuk su sıcaklık farkından yararlanılarak, termoelektrik soğutucular yardımıyla elektrik elde edilmesidir. Termoelektrik soğutucuların bir yüzeyi kombiden gelen ve sistemde dolaşan sıcak su ile ısıtılırken, diğer yüzeyi şebekeden gelen soğuk su ile soğutulurken elde edilen sıcaklık farkından dolayı elektrik enerjisi üretilmiştir. Üretilen elektrik enerjisi elde ettiğimiz gerilime göre LED ışık sistemi çalıştırılmıştır. Bu uygulama sayesinde elektrik enerjisini kolay ve temiz elde edileceği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Termoelektrik, Elektrik üretimi, Kombi cihazı

**2019, 48 sayfa**

## **ABSTRACT**

**M.Sc. Thesis**

### **INVESTIGATION OF ELECTRICITY PRODUCTION BY THERMOELECTRIC METHOD FROM COMBI MACHINES**

**Mustafa UÇAR**

**Isparta University of Applied Sciences  
The Institute of Graduate Education  
Department of Energy Systems Engineering**

**Supervisor: Prof. Dr. Reşat SELBAŞ**

In this thesis, the rising living standards, the rapidly increasing population and the need for energy in the industrial sector throughout the world increase the dependence on energy from day to day. Currently, most of our energy needs are provided from fossil (coal, oil, natural gas) energy sources. If we consider that the source of these fossil fuels we use is limited, it is necessary to make use of renewable energy sources to a high degree in order to meet the continuity of energy. Renewable (inexhaustible) energy sources are mostly clean energy sources as they use natural resources. In this study, hot water from the boiler and cold water from the network temperature difference by using thermoelectric coolers to obtain electricity. One surface of thermoelectric coolers is heated by hot water coming from the combi boiler and circulating in the system, while the other surface is cooled by cold water coming from the grid and electrical energy is generated due to the temperature difference obtained. The LED light system was operated according to the voltage we obtained from the generated electrical energy. Thanks to this application, it was observed that electrical energy will be obtained easily and cleanly.

**Key Words:** Thermoelectric, Power generation, Combi machine

**2019, 48 pages**

## **TEŞEKKÜR**

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli Danışman Hocam Prof. Dr. Reşat SELBAŞ'a teőekkürlerimi sunarım. Literatür araştırmalarımnda yardımcı olan değerli hocam Teknik ğretmen arkadaşım mer ŐENGÜL ve eşim Elveda UÇAR'a teşekkür ederim.

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

**Mustafa UÇAR**  
ISPARTA, 2019



## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 1.1. Bacalı kombi şeması .....	5
Şekil 1.2. Hermetik kombi şeması .....	6
Şekil 1.3. Yoğuşmalı kombi şeması.....	7
Şekil 1.4. Kombin çalışma prensibi .....	8
Şekil 3.1. Bir katı veya durgun akışkan içerisinde, bir sıcaklık farkı olması durumunda, ısı transferi iletimi.....	27
Şekil 3.2. Peltier modüllerin görünümü .....	30
Şekil 3.3. Deneyde kullanılan diğer malzemeler .....	31
Şekil 3.4. Deneyde kullanılan elektriksel malzemeler .....	32
Şekil 3.5. Su -buzlu su deneyi örneği.....	33
Şekil 3.6. Mum ve şebeke suyu örneği .....	34
Şekil 4.1. Hazırlanan deney seti .....	36
Şekil 4.2. Deney seti için kullanılacak olan sacdan yapılmış kutuların yapımı .....	36
Şekil 4.3. Deneyde kullanılacak sacdan yapılmış kutular .....	37
Şekil 4.4. Deney setine termoelektrik modüllerinin yerleşmesi .....	38
Şekil 4.5. Deney setinin sacdan yapılan kutuların bağlanması .....	38
Şekil 4.6. Sıcaklık farkından oluşan led ışığının yanması .....	40
Şekil 4.7. Gerilim-sıcaklık farkı grafiği .....	41
Şekil 4.8. Akım-sıcaklık farkı grafiği .....	42
Şekil 4.9. Güç-sıcaklık farkı grafiği .....	42
Şekil 4.10. Güç-Akım-Gerilim-Sıcaklık farkı grafiği .....	43

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Çizelge 4.1. Elde edilen gerilim, akım, güç değerleri .....	39



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	Yarı iletkenin kesit alanı (mm <sup>2</sup> )
AC	Alternatif akım
Ave	Ortalama
C	Soğuyan yüzeye aktarılan ısı yük miktarı (W)
CCD	Charge coupled device, bağlı şarj aygıtı
Conv	Konveksiyon
COP	Coefficient of performance (performans katsayısı)
CRF	Sermaye geri ödeme faktörü
Eg	Jeneratör verimliliği (%) C: sistem kurulum maliyeti
EMK	Elektro motor kuvvet
G	Şekil faktörü
H	Isınan yüzeye aktarılan ısı yük miktarı (W)
I	Akım (amper)
K	Modülün termal iletkenliği (W/K)
LED	Işık yayan diyot
LPG	Likid petrol gazı
Max	En yüksek
Min	En düşük
N	Modüldeki termo element sayısı P: güç (watt)
NP	N adet paralel bağlı termoelektrik modül DC: doğru akım
NS	N adet seri bağlı termoelektrik modül
Opt	Uygun
PCL	Peltier akım taşıyıcıları CFC: kloroflorokarbon
Q	Isı miktarı
R	Direnç (ohm)
Rad	Radyasyon
Tc	Soğuk yüzey sıcaklığı (°C)
TE	Termoelektrik
TEG	Termoelektrik jeneratör 2DEG: 2 boyutlu elektron gazı IC: entegre devre
TEM	Termoelektrik modül
Ti	Temel ısı (°C)
V	Potansiyel fark (volt)
W	Güç Birimi (watt)
Z	Termoelektrik yarıiletkenin kalite katsayısı Th: ısınan yüzey sıcaklığı (°C)
P	Yarı iletkenin öz direnci (ohm.cm)
Π	Peltier katsayısı (V)
ΔT	Sıcaklık farkı (°C)
α	Seebeck Katsayısı
°C	Santigrat derece
μ	Kesit ölçüsü (mikro)
η	Verimlilik (%)

## 1. GİRİŞ

Dünya genelindeki teknoloji ilerlemeler enerji tüketimini günden güne arttırmaktadır. İlerleyen dönemlerde kömür, doğalgaz, petrol gibi fosil yakıtlı enerji kaynaklarının dünya nüfusundaki hızlı artışta göz önünde bulundurulursa, alternatif enerji kaynaklarına (rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi, hidrojen vb.) ihtiyaç vardır. Bununla birlikte enerji verimliliğini arttırmak için çeşitli araştırmalar yapılması kaçınılmazdır. Diğer önemli bir durum ise, nükleer enerji ve fosil yakıtların dünyamızın ekolojik dengesini bozucu etkiler yaratmasıdır. Bu yüzden yeni enerji kaynakları hem temiz olmalı hem de sürdürülebilir olmalıdır (Ültanır, 1998).

Termoelektrik modüller 1960 yılının başına kadar ekonomik olarak gelişim göstermemesine rağmen gelişmiş termoelektrik soğutucular alanındaki fiziksel kanunların başlangıcı 1800'lü yılların ilk yarısına dayanmaktadır (Şahin ve Yılbaş, 2012). Thomas seebeck isimli alman bilim adamı 1821 yılında termoelektriğe ait ortaya koyduğu iki farklı iletken malzemeden oluşan bir devrede elektrik akımı dolaştırıldığında, iletken malzemelerin bağlantı noktalarının farklı sıcaklıkta olmaları halinde devrede bir elektromotor kuvvet (EMK) yani gerilim meydana gelir. Sıcak bağlantı noktası soğutulup, soğuk bağlantı noktası ısıtıldığında termoelektrik akım yön değiştirecek veya elektromotor kuvveti (EMK) gerilimin işareti değişkenlik gösterecektir. Seebeck yaptığı buluşun temelinin farkında olmamıştır. Maalesef sıcaklık üretiminin, sistemde dolaşan akımla aynı etkiyi yarattığını söylemiştir.

Termoelektrik modüller, ısı enerjisini elektrik enerjisine, elektrik enerjisini ısı enerjisine dönüşmesini sağlayan sistemdir. Termoelektrik soğutucular, 3-6watt/cm<sup>2</sup> lik güçte pompalayabilir. Bu soğutucular peltier soğutucusu veya termoelektrik modül diye de isimlendirilebilir. Termoelektrik modüller yarı iletken malzemeler olup çalışma prensibi bir ısı pompası mantığındadır. Isı doğru akım (DC) kaynağından gelen düşük voltaj sebebiyle, termoelektrik modülün bir ucundan diğer ucuna doğru yol alır. Bu durum sayesinde termoelektrik modülün bir ucu ısınırken, diğer yüzü aynı anda soğur. Bu olay doğru akım kaynağındaki artı ve eksi kutuplarının aktarımıyla zıt duruma getirilebilir. Kullanım yerlerine göre düşünülecek olursa termoelektrik modüller, ısıtıcı veya soğutucu olarak kullanılabilir. Termoelektrik modüller miliwatt'tan kilowatt'a kadar ısı transferi

için aktif bir soğutma sistemi olup geniş bir alanda kullanılır (Yıldırım ve Kalecik, 2007).

Çeşitli alanların soğutulmasında kullanılan termoelektrik soğutucular, bir tarafı soğuk, diğer tarafı ise sıcak yüzeyli olup hızlı ve sessiz bir düzende çalışırlar. Termoelektrik soğutucular, CCD kameralar (askeri ve uzay), lazer ve medikal uygulamalar için sıvı soğutucu, piknik amaçlı piknik soğutucu vb. Uygulamalarda sıklıkla kullanılır. Termoelektrik soğutucular fiyatlarının yüksek olması nedeniyle az satılırlar. Fiyatları gösterdikleri performans durumuna göre artmaktadır (Gao ve Rowe, 2005).

Fransız saat üretimi yapan Jean Peltier 1834 yılına geldiğinde, seebeck etkisini araştırırken, elektrik akımının kapalı bir sistem üzerinde dolaşan ısı enerjisinin çeşitli kesit yerlerinden emilirken, diğerinde boşaldığını gözlemleyerek, bu teoriye başka bir bakış açısı getirmiştir. 20 yıl sonra William Thomson (Lord Kelvin olarak da tanınır) Seebeck ve Peltier ilişkilerini anlatan bir yayın yapmıştır. O dönemlerde yapılan çalışmaların ve uygulama alanlarında eksik olduğu görülmüştür (Şahin ve Yılbaş, 2013).

Bu çalışmada; kombiden gelen sıcak suyun enerjisinden yararlanılarak termoelektrik modüller yardımıyla elektrik enerjisi üretmek amaçlanmıştır.

Kombi Çeşitleri ve Kombi Çalışma Prensipleri” günümüzde neredeyse her evde bulunan doğalgaz, dünya genelinde yaygın olarak kullanılır. Özellik bakımından kokusuz, renksiz ve havadan daha hafif olan doğalgaz fosil kaynaklı petrol türevindedir. Ülkemizde enerji piyasasında geniş bir kullanım alanına sahip olmasından öte binalarda ısınma amaçlı kullanılmaktadır. Doğalgaza olan ihtiyaç 20.yüzyıl sonlarına doğru gitgide artmıştır. Doğalgaz ülkemizde 1970 tarihinde Kırklareli ilinde bulunmuştur. Evlerde ve sanayilerde tüketilmeye başlaması 1984 tarihinde SSCB ile imzalanan protokol ile başlanmıştır. Doğalgazın taşınabilmesi için gerekli tesisat düzeni sağlanmalıdır. Tesisat döşenirken boru çapları ve tesisatta kullanılan tesisat elemanları, basınç ve hız durumları iyi incelenmelidir. Doğalgaz sanayi sektöründe yalnız enerji amaçlı kullanılmaz. Doğalgazın kimyasal yapısında bulunan hidrokarbonlar doğalgaz ile amonyak, petrokimya ve hidrojen sentezlemesi

yapabilirken plastik ve gübre gibi malzemelerin üretimine de yardımcı olur. Doğalgaz kullanımı kolay bir enerji aracı olması sebebiyle ve sanayi sektörünün önemli bir alanın ihtiyacını karşılar. Maliyetinin düşük olması ve temiz enerji olması nedeniyle evsel kullanımlarda yaygın olarak kullanılır. Çevreye kömürün verdiği CO<sub>2</sub> daha az salınım olduğundan çevre kirliliğine yol açmaz. Bu sebepten sıcak su ihtiyacı ve ısınma sorununu ortadan kaldırır. Doğalgaz kullanan kişiler kombi vasıtasıyla istediği kadar doğalgaz yakabilir.

Kombi sistemi hem ısınma hem de sıcak suya olan ihtiyacımızı karşılamak için yapılmış sisteme verilen isimdir. Kombinın çalışma prensibini kat kaloriferi veya şofbenin tek bir üniteye birleştirilerek kullanılması olarak söyleyebiliriz. Kombi sistemi üzerinde iki farklı tip kullanım özelliği vardır. Bunlar kalorifer ısısı ve sıcak su kullanımındır.

Kombi cihazımızda bulunan ayar düğmesinden kalorifer konumunu açtığımızda kombi cihazının içinde bulunan üç yollu vana (tek eşanjörlü kombide bulunmaz, çift eşanjörlü kombide vardır) hemen kalorifer moduna geçer ve ardından sirkülasyon pompası sistemde devreye girerek kalorifer tesisatında suyu sirkülasyon etmeye başlar. Kombi cihazının içinde yer alan elektronik kart tesisat içinde dolaşan suyun sıcaklık derecesini kalorifer gidiş ve dönüş borularına takılan ntc sensörler yardımıyla uyarılarak, tesisat içerisinde dolaşan suyun istenilen sıcakta olmasına olanak sağlar. Eğer tesisat içerisindeki sıcaklık istenilen değerde değil ise elektronik kart sırasıyla fan(hermetik kombi) gaz valfi, ateşleme elektrotlarına akım göndererek yanma olayının meydana gelmesini sağlar. Yanma esnasında elektronik kart devamlı gidiş ve geliş sensörlerini denetler ve sistemin ne zaman aralıklarında çalışıp veya durmasına karar verir.

Kombi cihazının ayar düğmesinden açma kapama düğmesi aktif olduğu anda sıcak su modu devreye girer. Tesisatlarda kullanılan sıcak su musluğu açıldığı zaman kombi içerisinde yer alan sıcak su şalteri (değişik markalarda farklı bir sistem vardır tribün, membran, conta, swich gibi) elektronik karta bilgi gönderir ve sıcak su ihtiyacını iletir. Elektronik kartın bu durumda ilk yapacağı iş çift eşanjörlü bir kombi ise üç yollu vanayı sıcak su moduna getirir. Kalorifer tesisatının ısısında olduğu gibi kombi içerisindeki suyun sirkülasyon pompası yardımıyla çevrimini sağlar ve ntc

sensörleri fan (hermetik kombi), gaz valfi ve ateşleme elektrotlarına akım yollayarak yanmanın meydana gelmesini sağlarlar. Elektronik kart yanma sırasında meydana gelen sıcaklığı devamlı kontrol eder.

Kombi sistemi diğer ısıtıcılara bakıldığında kullanımı kolay ve daha konforlu sistemlerdir. Kombinin kullanıcıya sunduğu avantaj ve dezavantajları vardır.

Kombilerin sağladığı kolaylıklar ve dezavantajları:

- Merkezi ısıtma sistemlerin aksine her dairenin kendi ısı kontrolünü kendisinin yapmasını sağlar.
- Arzu edilen hangi oda varsa o odalar istenilen sıcaklıkta ısıtılır.
- Otomatik kontrol bakımından cihazın kontrol edilmesi kolaydır.
- Çok katlı oturlan binalarda yakıt faturasını dairelere dağıtmak ve parayı toplama derdi olmadan herkesin ödemesini bireysel yapar.
- Isıtma suyu ve kullanma sıcak suyu temini aynı zamanda diliminde kullanılmasına olanak sağlar.
- Kombi cihazı duvara monte edildiği için daha az yer kaplar.
- Her daire kullandığı yakıt kadar fatura öder.
- Montaj esnasında sirkülasyon pompası ve kapalı genleşme tankı cihazın üzerinde olduğundan dolayı onlar için ayrıca işçilik gerekmez yakıt depolama derdi yoktur.
- Doğalgaz temiz yakıt olduğundan atığı yoktur.
- Cihazın bakımı kolaydır.
- Merkezi sistemlere oranla kombi cihazının ilk yatırım maliyeti daha pahalıdır.
- Kombi cihazını da istenilen alanlar ısıtıldığı için diğer yan ve üst binalarda ısı transferinden ötürü istenilen sıcaklık sağlanmaz.
- Ortak kullanım alanları olan yerler (merdiven boşluğu, ana giriş holü gibi) ısıtılması yapılamaz.

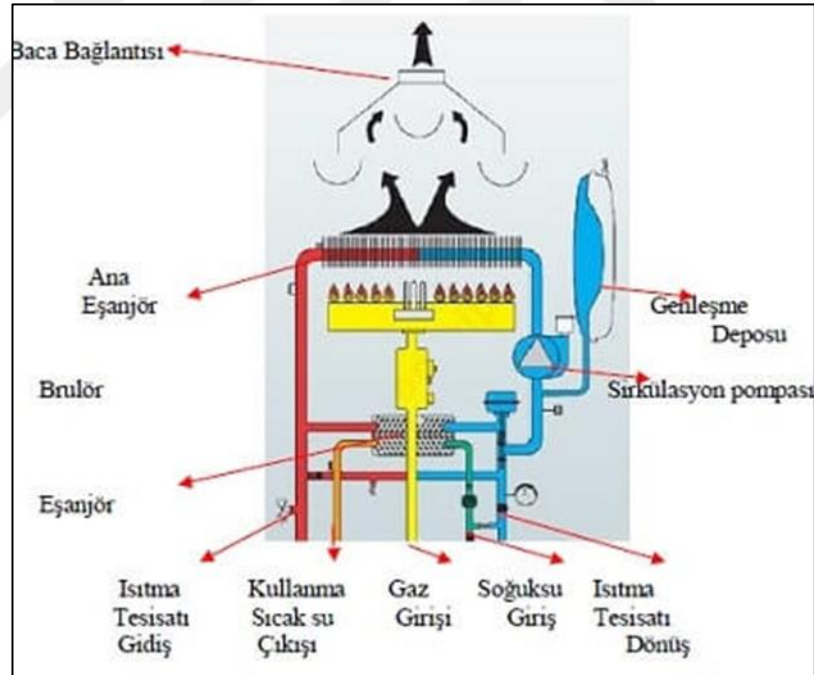
### **1.1. Kombi Çeşitleri**

Teknolojinin gelişmesiyle ve kullanıcı ihtiyaçlarına cevap verebilmek için kombiler farklı özellikte ve değişik donanımlara sahip olacak biçimde üretilmektedirler. Piyasa

şartlarında kullanılmak üzere değişik özellikte farklı sınıflara ayrılmıştır. Bu kombi çeşitlerinden en fazla bilineni bacalı, hermetik ve yoğuşmalı kombilerdir. Bunların dışında ateşleme biçimine göre (pilot alevli, elektronik ateşlemeli) ve kapasitelerine göre satışı yapılmaktadır.

### 1.1.1. Bacalı kombi

Yanma durumu için yeterli miktardaki havayı bulunduğu çevreden alan ve atıl durumda olan gazı ise baca vasıtası ile dış ortama atan cihazdır. Kullanılan bacaların mümkün olduğu sürece sızdırmaz olması ve çelikten yapılması ve bacanın mutlaka müstakil biçimde olacak şekilde olması gerekmektedir. Bu tip kombilerde, dış ortama atılmak istenilen gazın sıcaklığı sayesinde yükselir ve kullanılan baca ile bulunduğu mahale atılır. Piyasada bulunan bazı çeşitlerinde ise bu işlemi, içerisinde bulunan fan yardımıyla yapmaktadır.

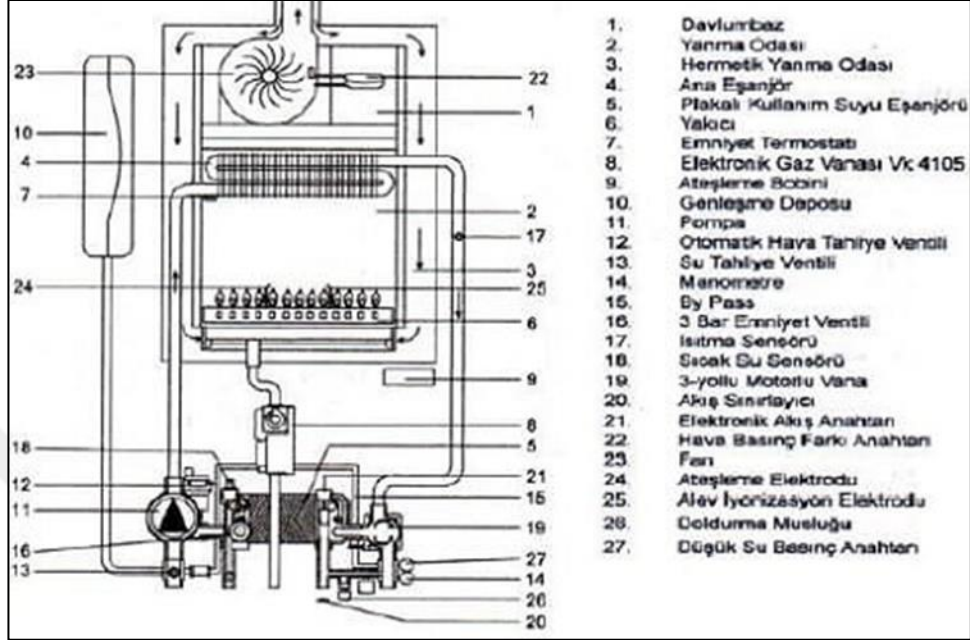


Şekil 1.1. Bacalı kombi şeması

### 1.1.2. Hermetik kombi

Hermetik kombiler ise içerisinde bulunan fanın sayesinde yanma için gerekli oksijeni bulunduğu mahalden çeker ve aynı şekilde fan yardımıyla atık gazın dışarı

verilmesini sağlar. Bu kombilerin kendi bacaları aracılığıyla dış mahalden hava alışverişini yaptıkları için baca çıkışları da dış ortamda yapılmalıdır. Bu kombilerin diğer ismi de denge bacalı kombi olarak da adlandırılır.



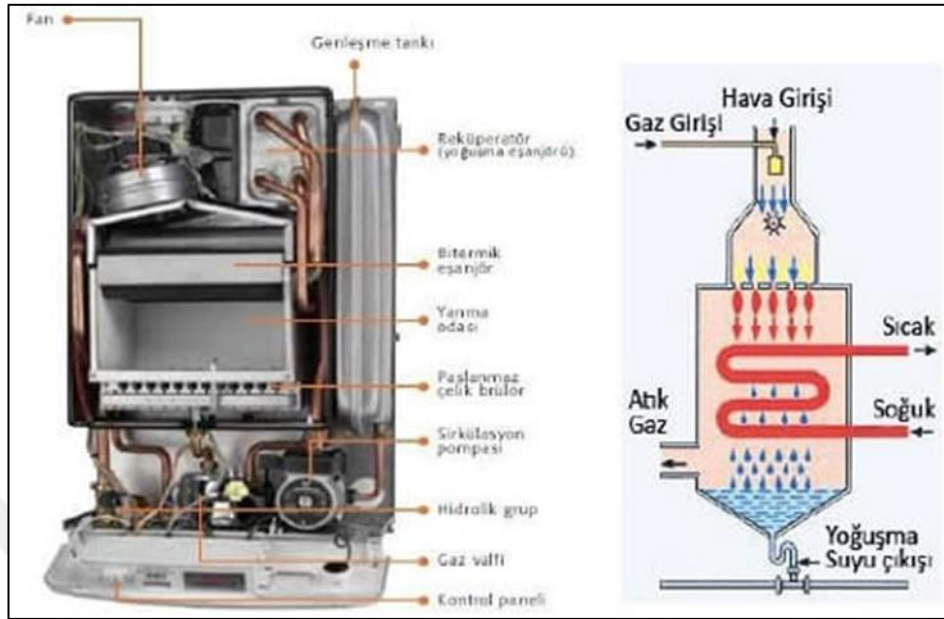
Şekil 1.2. Hermetik kombi şeması

Genellikle balkona (dolap içerisine ya da kapalı balkona) mutfağın veya kilerin uygun olan yerlerine monte edilirler. Bu kombilerin bacalı kombilere göre baca problemi yaşanmadığı için daha çok tercih edilirler. En fazla kullanılan kombilerdir. Hermetik model kombi cihazlarımızda kullandığımız kombi yoğuşmalı olduğunda baca eğimi %2 yukarı yönlü, yoğuşmalı değilse %2 aşağıya yönlü olmalıdır. Hermetik kombi bacası iç ve dış baca olarak iki borudan meydana gelir. İç baca, atık gazın tahliyesi için kullanılırken kombi içinde yanan atık gazın tahliyesine, dış baca ise yanma için gerekli olan temiz havanın yanma odasına gelmesi için kullanılır.

### 1.1.3. Yoğuşmalı kombi

Bu tip kombiler, hermetik kombi ailesinin bir üyesidir. Bu kombilerin konvansiyonel kombiden farkı, yanma odasında yanma ile meydana gelen atık gazı direk dış mahale atmazarak atık gazın sıcaklığından yararlanmak için farklı bir üniteye dolaştırmaktadır. Buradan elde ettiği ısı ile yakıt tasarrufu elde edilir. “Yoğuşma”

terimi kombide buharın yoğuşması anlamına gelir. Gaz durumunda olan bir maddenin çevresine ısı vererek sıvı hale dönmesi durumuna yoğuşma adı verilir.



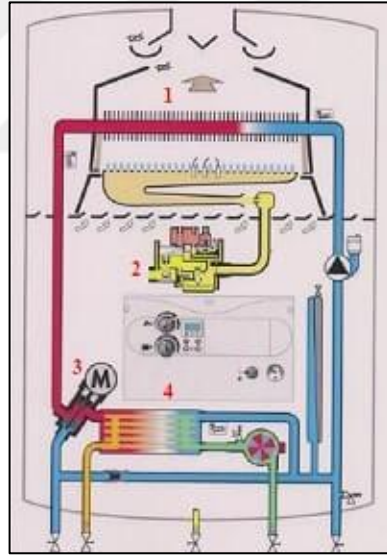
Şekil 1.3. Yoğuşmalı kombi şeması

Bu kombilerle ilgili yanlış bilenen durum yoğuşmalı kombinin gazı iki defa yaktığının düşünülmesidir. Halbuki bu olay kombiden çıkan su buharının eşanjörün çevresinde dolaşmasıyla içindeki biriken enerji alınır ve su hâline gelen buhar dışarı atılmasıyla meydana gelir. Klasik tip kombilerde bacadan çıkan gazın sıcaklığı 200–250°C olurken yoğuşmalı kombilerde bu değer 50-60°C civarındadır ve kazanılan ısıl değer buradan elde edilir. Su buharı baca gazları içinde 54°C’de yoğuşmaya başlar. Bu durum da dönüş suyu sıcaklığının düşük olacağı anlamına gelir. Bu olay sonucunda yoğuşmalı kombi daha yüksek verimle işlevini sürdürecektir ve diğer klasik kombilere göre %15-20 daha fazladan yakıt tasarrufu gerçekleştirecektir. Yoğuşmalı kombilerde dikkat edilmesi gereken en önemli hususlardan birisi de daire yalıtımının çok iyi yapılması ve kullanılacak olan radyatör kapasitesinin de uygun seçilmesi gerekmektedir. Eğer bu şartlar tam olmaz ise istenilen seviyede yoğuşma sağlanamayacak ve kombi klasik kombi gibi çalışma gösterecektir. Klasik kullanılan kombiler genellikle verimleri %80 ile %92 arasında değişkenlik gösterirken yoğuşmalı kombiler de bu oran %105 ile %109 arasında değişen verimle çalışma sağlarlar. Bu durum yoğuşmalı kombilere ilgiyi daha da arttırmıştır.

Yoğuşmalı kombilerde yoğuşma suyunun uygun bir drenaj hattı bağlanarak sistemden uzaklaştırılması sağlanmalıdır. Yoğuşan su asidik özelliğe sahiptir. Bu sebeple tahliye bağlantısı, çamaşır makinesi, bulaşık makinesi veya lavabonun atık su hattına uygun bir şekilde gönderilmelidir.

#### 1.1.4. Kombi çalışma prensibi

İki eşanjöre sahip bir kombinin normal bir durumda ilk çalışmaya başladığında ısıtma tesisatı için çalışmaya başlar. Bu durumda sirkülasyon pompası ve fan (hermetik modellerde) devreye girer. Gazın vanası (2 numaralı parça) açılarak ana yakıcıya gaz yollar ve ateşleme başlamış olur. 3 yollu vana motorlu vana- (3 numaralı parça) ısıtma eşanjöründen (1 numaralı parça) çıkan suyu ısıtma devresine gönderilir. Isıtma devresine gönderilen su radyatörlerde dolaşır tekrar sıcaklık derecesi düşmüş olarak kombiye geri gönderilir.



Şekil 1.4. Kombinin çalışma prensibi

Eğer kombi kullanım sıcak suyu için çalışmaya ayarlanmış ise (yaz konumu) veya ısıtma durumunda iken sıcak su vanalarından biri açılırsa, akış anahtarı sıcak su devresinde dolaşan su akışını algılar ve 3 yollu vana yer değiştirerek sıcak su moduna geçer. Sistemdeki 3 yollu vana ısıtma eşanjöründen (1 numaralı parça) çıkan suyu plaka tipi eşanjöre (4 numaralı parça) iletir, eşanjöre gelen soğuk kullanım suyu ısıtılmış olur. Eğer sıcaklık sınır değerlerin üzerinde olursa gaz girişi kesilir.

Piyasada bulunan değişik kombilerde ise tek eşanjör yer alır. Isıtma sistemi ile kullanma suyu aynı eşanjör içerisinden geçerek ısıtma ya da kullanım suyu sıcaklığı elde edilir. Tek eşanjörlü kombiler diğer kombilere göre fiyatları daha uygundur. Yalnız bu kombiler sürekli eşanjör içerisinden su geçtiği için kireçlenme durumu diğer kombilere oranla daha fazladır.



## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

Güneş enerjisinin ısısından yararlanılarak yapılan çalışmalara bakacak olursak; “Dinamik Yapılı Parabolik Yansıtıcıdan Faydalanarak Termoelektrik Dönüştürücüler ile Sağlanan En Elverişli Elektrik Enerjisinin Elde Edilmesi” tez çalışmasında güneş ışınlarının ısıtıcı faktöründen yararlanılarak güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde edilmiştir. Güneşten gelen ışınlar, silindirik-parabolik şeklinde olan bir yansıtıcıyla ısı enerjisine dönüşümü sağlanırken, su ve hava soğutma işleminde kullanılmıştır. Uygulanan deney sonucunda paralel ve seri halde bağlanmış 56 adet termoelektrik modül, su soğutmalı düzeneğe göre hava soğutmalı düzenekte 14 adet termoelektrik modül uygulanmasına rağmen daha iyi verim elde edildiği görülmüştür. Bununla beraber termoelektrik modüllerde seri paralel bağlanmış bazı termoelektrik soğutucuların yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkının daha fazla, diğerlerinde daha az olup, bunun sıcaklık farkını az olan soğutucu modüllerin sıcaklık farkı fazla olan ve fazla gerilim üretmiş modüllerden faydalandığı peltier etkisine maruz kalarak soğutma olarak çalıştığını düşünmektedir.

Woo ve çalışma arkadaşlarının 32 adet termoelektrik modülle yaptıkları çalışmada, termoelektrik generatörler (TEG) olarak enerji üretimi ve TEG özgül özelliği ile alakalıdır. TEG uygulamasında pompa, su ısıtıcısı, 32 adet termoelektrik modül, alüminyumdan oluşturulmuş ve alüminyum tencere içinden sıcak ve soğuk su dolaştırılmıştır. TEG ile elde edilen elektriğin 20-50 K açıklığında, sıcaklık farkının da sıcaklık değeri yükseldikçe artış olduğu görülmüştür. Elektrik verimliliği  $T = 50$  K sıcaklık farkında azami değere ulaşarak, %1.04 değerinde olduğunu belirtmektedir (Woo vd., 2001).

Kushch ve çalışma arkadaşları ise, makalelerinde 550 hp gücündeki dizel kamyon motoru egzozuna 9 adet seri bağladığı TEG’den 8 adet seri grup meydana getirmiş ve bunları birbirine paralel monte etmiştir. Bu deneyi yaparak motorun dönüş hızının (rpm) Termoelektrik modülün 72 adet HZ-14 çıkış gücüne bağlı değil, daha çok motorun yüküne (hp) bağlı olduğunu görülmüştür (Kushch vd., 2001).

“Mikrodenetleyici kontrollü jeotermal termoelektrik generatör tasarımı ve uygulaması” isimli başka bir tez çalışmasında ise, 12 adet termoelektrik modül

jeotermal enerjiyi direkt olarak elektrik enerjisine dönüşümünü sağlayan, mikro denetleyici kontrollü TEG tasarımı modellenmiştir. Kurulan sistemdeki enerji dönüşümünü termoelektrik modüller kullanarak, bir alanı termal su akışıyla ısıtmış, diğer alanı ise soğuk su akışıyla soğutmuştur. Sıcaklık farkıyla üretilen DC çıkış gerilimini 5 V DC, 12 V DC ve 220 V AC değerlerine alabilecek şekilde ve deneyde akü, DC/AC çevirici sistem ve regüle devresi uygulanmıştır. Tasarımda PIC16F877 mikro denetleyicisi kullanılarak deneyi kontrol eden sinyalleri düzenlenmiştir. TEG'in yapılmasında 12 adet CPI.4-127-06L model termoelektrik modül kullanılmıştır. TEG'e 30  $\Omega$ 'luk yük bağlayarak değişik sıcaklıklarda örneğin; 20 °C'de 1,96 W elde edilirken sıcaklık arttıkça örneğin 40 °C'de 6,15 W olarak azami güç elde etmiştir. TEG'in verimini yaklaşık olarak %2,5 olarak tespit edilmiştir (Dişlitaş, 2002).

“Termoelektrik Soğutucuların Çalışma Durumlarına Etki Eden Faktörlerin ve Endüstrideki Kullanım Yerlerinin Tespiti” tez çalışmasında ise, termoelektrik kullanılarak sistemi, termodinamik yönden incelemesini gözlemlemiş ve termoelektrik soğutucuların sanayi sektöründeki kullanım yerlerini göstermiştir. Bununla beraber farklı iki tip termoelektrik soğutucu kullanarak deney düzeneği hazırlamış ve kullanılan soğutucuların performansını bu deneyde ölçmüştür. Deney düzeneğinde hava-hava soğutmalı uygulama üzerinde 24 V'luk ve 57 W'lık gücünde modül kullanmış diğeri olan sıvı hava soğutmalı uygulamada ise 24 V'luk, 67 W'lık modüller uygulanmıştır. Soğutucular için ısı transferine uygun yalıtımlı olmak üzere 50 lt'lik bir dolap tasarlanmıştır. Soğutulmak istenilen hacim 20 mm kalınlığa sahip strafor ve 3 mm kalınlığında olan PVC kullanılarak yapılmıştır. Uygulamalar neticesinde hava-hava soğutmalı olan sistemin COP değeri soğutmanın en iyi durumda olduğu zaman hesaplanmış ve COP değeri 0,37 ölçülmüştür. Diğeri olan sıvı hava soğutmalı sistemde ise 67 W'lık modül kullanılmış ve COP değeri 0,40 olarak bulunmuştur. (Dikmen, 2002).

Bir diğer çalışmada Maneewan ve çalışma arkadaşları, binanın çatısına yerleştirdikleri termoelektrik modüllerin bir yüzeyini güneş ışınımının oluşturduğu ısıyla sıcaklığı arttırmış, diğer yüzeyini ise fan vasıtasıyla sıcaklığı azaltmaya çalışmış ve bir bilgisayar programı kullanarak ifade etmişlerdir. Yapılan sistemin tasarımını ve maliyetini hesaplayarak analizini yapmışlardır. Yapılan bu sistemin

yaklaşık olarak kendisini 4.5 yılda harcanan maliyetini kurtaracağı sonucuna varmışlardır (Maneewan vd., 2005).

Eakburanawat yapmış olduğu çalışmasında, ısı enerjisi kullanarak doğrudan elektrik enerjisine dönüşümünü sağlayan ve bataryasını da şarj etme yeteneğine sahip bir sistem geliştirmiştir. Uygulama yaptığı TE modül TEP1 -1264-1.5 ile bir mikro kontrolörle takibini sağlayarak azami 7.99 W güç elde etmiştir. Bu sistemi farklı sıcaklıklarda ve dirençlerde denemiştir (Eakburanawat, 2006).

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 sıcaklığında 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 kullanılabileceğini belirterek analizini yapmıştır. TEP1-1264-3.4 kodlu TE modül kullanarak farklı yüklerin oluşturduğu dirençler arasında azami 150 °C sıcaklık farkı değerinde 2.4 W güçte %3.2 verim elde edilmiş ve yapılan sistemin maliyet analizi hesaplanmıştır (Lertsatitthanakorn, 2007).

Benzer bir çalışmayla yükseltici-düşürücü DC\_DC dönüştürücü kullanan Kim ve Lai ise, geniş bir değişkenlik gösteren çıkış gerilimi olan TEG'ler için, gerilimde artış ve gerilimde düşüş durumlarını gösteren bir DC-DC dönüştürücü olma zorunluluğunu tespit etmiş, ABD enerji bakanlığının yayınladığı datalara göre 0-25 V arası değişen TEG çıkış gerilimlerini karşılamak için, giriş gerilimi 0-25V arası değişen bir Azaltan-Artıran DC-DC dönüştürücü kullanılarak 12.3 ile 16.5V araba aküsünün şarjı için gerekli olan çıkış gerilimi üretmiş ve araba aküsünün şarj yapmaya yetmiştir. Hatasız bir çalışma modu değişimi oluşturmak için, modifiye edilmiş azami güç noktası izleme kontrolörü (MPPT) kullanılmıştır. Aşırı şarj etmesini önlemek için akünün (PM) modu oluşturulmuştur. Sıfırdan bir toplanır modelleme yaklaşımı önerilerek kontrolör görev döngüsü arasında oluşan karmaşık bağlantıyı önlenmek istenmiştir (Kim ve Lai, 2008).

Bir başka çalışmada güneş enerjisinin ışınlamalarını yüksek ısı elde etmek için aynalar yardımıyla ışınlım şiddetini bir noktada yoğunlaştırılmıştır. Bu yoğunlaştırılmış ışınlımla, 4 adet TEC1-12706T125 termoelektrik modülün seri olacak şekilde 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).

"Termoelektrik generatör ile jeotermal enerji kaynağından yararlanılarak 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 bataryanın dolumu yapılarak LED'ler yardımıyla aydınlatma oluşturulmuştur. Uygulama yapılan deneylerin verileri bilgisayar yardımıyla kontrollü bir şekilde ölçümler hesaplanmıştır. Sıcaklık farkı TEM yüzeylerinde 10<sup>0</sup>C ulaştığından ölçülen gerilim değeri 5 V'a yükselerek LED'ler yanmış ve bu volt değeri sıcaklık farkı değerine göre 9 V'a kadar yükseldiğini belirtmektedir (Kayabaşı, 2009).

8 adet termoelektrik modül kullanılarak TEG imalatı yapılan bir başka çalışmada ise termoelektrik modülün bir alanı sıcak su kullanılarak ısıtılmış, diğer alanı ise şebeke suyundan yararlanılarak soğutulmuş ve sıcaklık farkı değeri oluşturularak bu değerler yardımıyla elektrik enerjisi üretilmiştir. Elde edilen elektrik enerjisi bir direnç üzerinden geçerek akım, sıcaklık ve gerilim değerleri hesaplanmıştır. Sıcak su girişinin yaklaşık 70<sup>0</sup>C olduğunda, gerilim değeri 6 V olarak ölçülmüştür. Elde edilen elektriksel güç değeri ise 2.5 W olarak hesaplanmıştır. Yapılan uygulamada su sıcaklığına bağlı olarak elde edilen gerilim değeri doğrusal olarak, güç değeri ise parabolik olarak yükselmektedir. Yapılan deney çalışmasında Jeotermal enerjinin sıcaklığının sabit olduğu için istenilen güçte TEG tasarımı yapmanın mümkün olduğu tespit edilmiştir. Modül sayısı çoğaltılarak, çeşitli ölçülerde TEG prototipi geliştirilerek değişik uygulamalara cevap vermesinin mümkün olduğu belirtilmektedir. Uygulanan bu yöntem sayesinde elektrik enerjisinin kolay ve ucuz elde edilerek temiz enerji kaynağı olduğu vurgulanmıştır (Atik ve Kayabaşı, 2009).

Bir başka çalışmada, dijital denetleme birimi olmadan TEG'ler için azami güç noktası izleme devresi metodu önerilmiştir. Bir anda sıcaklık ve yük akımının değişim göstermesiyle simülasyon sonuçları, tavsiye edilen azami güç noktası izleme devresi metodunun, yüksek oranda güç aktarım gösterdiği, verimliliğini de düzenli bir şekilde çalışma sağladığı saptanmıştır. Tavsiye edilen MPPT devresi daha az maliyetli ve küçük olması nedeniyle geleneksel MPPT algoritmalarından daha iyi avantaja sahiptir. Bu metod ile sistemden atılmış sıcak havayı TEG ve Azaltan-Artıran DC-DC dönüştürücü kullanarak akü şarj etme uygulaması yapılmıştır (Sungkyu vd., 2010).

Diğer çalışmalardan farklı olarak 3 çeşit termoelektrik modül kullanarak karşılaştırma yapılan, "Egzoz Gazındaki Isı İle Çalıştırılan Termoelektrik Sistemin Deneysel İncelenmesi" isimli tez çalışmasında, araçlarda bulunan akülerin şarj işlemi için, belirli zamanlarda aralıklarında bakım gerekli olduğunda ve arıza gösteren alternatörler alternatif otomobil egzoz'unda meydana gelen atıl ısı ile bakım ihtiyacı olmayan ömrü daha uzun bir termoelektrik modül uygulanarak deneysel sonuçları gösterilmiştir. Termoelektrik modül yardımıyla aracın egzoz kısmında oluşan sıcaklık durumu ile ortamda oluşan sıcaklık farkından peltier modül yardımıyla elektrik enerjisi üretilmiştir. Uygulamada termoelektrik modül olarak; TEG1-12611-6.0, TMG-450-08-1.0 ve TEP1-164-1. kullanmıştır. 1994 model 2000 CC 72 hp Ford Taunus bir motorun egzoz çıkışını kullanarak gerçek ısı değerlerinin ölçümü yapılmıştır. TEP1-1264-1.5 modülünün uygulanan deneyler neticesinde bir 200 °C sıcaklık farkı oluşumunda azami değerin 3 V'luk gerilim elde edilirken, 0.637 A'lık akım ve 1.91 W'lık güç meydana gelmiştir. Diğer modül olan TMG-450-0.8-1.0 modülünün 200 °C sıcaklık farkı oluşumundan azami 8,97 V gerilim, 0.417 A akım ve 3.742 W güç elde edildiği saptanmıştır. Diğer modül olan TEG1-12611-6.0 termoelektrik modülünün 180°C sıcaklık farkı oluşumundan azami 1.7 V'luk gerilim, 0.776 A'lık akım ve 1.319 W'lık güç meydana geldiği, on adet TEP1- 1264-1.5 termoelektrik modülün, seri bağlanmış beş modül grubun iki kol paralel bağlantısı ile yaklaşık 100 °C sıcaklık farkına erişilmiş ve azami 5.6 V'luk gerilim, 0.56 A'lık akım ve 3.136 W'lık güç elde edildiği saptanmıştır. Araçtaki 12 V'luk, 60 A'lık akünün şarjı için maliyet analizi yapılarak, daha az modül kullanılarak aracın gösterge ışıkları, plaka, park, tepe ve iç ışıklarının elektrik enerjisini karşılayabileceği neticesine varılmıştır (Kaya, 2010).

Bir öncekine benzer bir çalışma katı oksit yakıt pilleriyle yapılmıştır. Bu çalışmada, katı oksit yakıt pilinin çalışması sırasında meydana gelen atık ısıdan faydalanılarak, yapılan sistemin uygulanabilirliğinin gösterilmesini ve ileriki çalışmalara örnek bir çalışma olarak sunulmasını hedeflemiştir. Yapılan çalışmada uygulama ve analizler neticesinde, TE modül tarafından meydana gelen gerilim farkının, TE modüllerin sistemin yüzeyleri arasında meydana gelen sıcaklık farkından dolayı doğrudan bağlantı olduğu saptanmıştır. Sistemde uygulanan, su soğutmalı ve hava soğutmalı metotlar birbirlerine göre mukayese edildiğinde buzlu su soğutmalı sistemde oluşan gerilim farkının miktarı diğerlerine oranla daha yüksek miktarda olmasına rağmen, akım ve gerilimin çarpımıyla oluşan güç değeri en yüksek olan sistemin hava soğutmalı yalıtımlı uygulama olduğu tespit edilmiştir. Debi ile Seebeck etkisi arasındaki ilişkisi araştırıldığında, debi arttığı zaman, türbülanslı olan akışında etkisiyle havanın ısı taşınım katsayısında artış görülmektedir. Artış gösteren ısı taşınım katsayısı sebebiyle, yüzeyin soğutulması işlemi daha fazla olmakta ve yüzeyden ısının atılması daha da basit hale gelmiştir. Sıcak ve soğuk akışkanın sisteme giriş ve çıkışında paralel yönlü birbirine akışı sonucunda meydana gelen sıcaklık farkı, temas eden TE modüllerinin sıcak alan ve soğuk alanları arasında daha yüksek sıcaklık farkı oluşturacağından seebeck'in etki etmesiyle meydana gelen gerilim farkında artış göstereceği saptanmıştır (Fettah, 2010).

Termoelektrik jeneratörler kullanılarak yapılardaki atık enerjinin geri kazanılması üzerine yapılan bir çalışmada, bir deney düzeneği kurularak, bacadan çıkan atık gazın, baca ısısından hibrit enerji oluşturarak elde edilen enerjiyi olumlu yönde kullanmayı düşünülmüştür. Uygulama yapılan çalışmada termoelektrik jeneratörün bir tarafı baca atık ısıyla ısıtılırken, diğer yüzeyinde ise soğutma işlemi olara çevre havası ve soğutma suyu uygulanılarak ısı transferinin minimum seviyede olduğu yapının sıcak su ve elektrik enerjisi gereksiniminin verimli olacak şekilde oluşturulmuştur. Ölçümü yapılan hesaplar durumunda verim olarak %12.2'lik bir yarar sağladığı görülmüştür. Tavsiye olarak yapılan uygulamanın brülör ve baca aspiratörü kullanılırsa daha iyi verim elde edileceği önerilmiştir. Deneyle ilgili basınçlı brülör veya baca aspiratörü kullanmakla daha iyi neticeler vereceği tavsiye edilmiştir (Kılıç, 2010).

Termoelektrik modüllerin TEG olarak kullanılmasında bilgisayarla simülasyon benzetimi yapılan çalışmalara bakacak olursak; Termoelektrik modülün Termoelektrik jeneratör olarak kullanmak amacıyla matematiksel modelin Matlab/Simulink’le benzetimini yapmış ve bu modelin doğruluğunu iki sıcaklık değerinde yapılan uygulamalarla göstermiştir. Gücü yüksek olan bir TEG (yaklaşık olarak 1 kW) yapımının temelini meydana getiren bu simülasyon modeli, sisteme giriş doneleri sıcaklık farkına değerine bağlı olan bir DC-DC dönüştürücü ve çevirici uygulamasında kolaylıkla kullanılabilir. Termoelektrik jeneratör (TEJ) sıcaklıklarının, ortamın sıcaklık değerine, soğutucu su sıcaklığı değerine, termoelektrik modülün sıcak ve soğuk alanlarının sıcaklık farkı değerine, akım, gerilim ve güç değerlerinin devamlı olacak şekilde takip ve bu değerlerin not edilmesi amacıyla gelişimi sağlanan ve daha sonra üretimi yapılacak olan jeneratörün notlarını da kayıt altına alacak olan bir SCADA isimli bir programı geliştirilmiş ve uygulanmıştır. Uygulama ve teorik analizden elde edilen sonuçları, özellikle endüstriyel ve jeotermal enerji olan yerlerde, sıcaklığı düşük değerler için atık ısı geri dönüşümünde, TEG’in ümit erici duruma sahip olduğu görülmüştür (Ahıska vd., 2011).

TEM’ler ile yapılan diğer çeşitli çalışmalarda ise; Katı, sıvı ve gaz yakıtlarının ısılarından yararlanılarak ve karşılaştırılması yapılan “Termoelektrik Modül Tabanlı Portatif Bir Jeneratörün Geliştirilmesi” 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 lüks’lük bir aydınlatma şiddeti ölçmüştür (Çevik, 2011).

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 belirli özellikleri incelemiştir. Uygulama yapılan TEG sisteminde elde edilmiş olan birim alan başına düşen elektrik enerjisi miktarı

840 W/m<sup>2</sup> olurken, PV elde edilen 91.3 W/m<sup>2</sup> olmuştur. TEG elde edilen birim alan başına düşen elektrik miktarı, PV uygulanan sistemden yaklaşık 9.2 kat daha büyük olduğu ölçülmüştür (Ahıska vd., 2012).

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 vd., 2012).

Temizer ve grup arkadaşları, TEG'lerin teknik özelliklerinin araştırmasını yaparak ısıtma, soğutma sistemleri ile birlikte elektriğin nasıl meydana geldiğini belirtmektedirler. Termoelektrik modüller değişik birçok alanlarda örneğin; pil ve akülerin şarj edilmesi durumunda, enerji sağlamak amacıyla, aydınlatmak için kullanılan elemanlarının çalıştırılmasında, araç buzdolaplarında, bilgisayarda kullanılan işlemcilerinin soğutulması yardımcı olmak için ve vb. gibi alanlarda uygulanmaktadır. Yapılan çalışmalarda TEG'lerin yüzeyler arasında ısı transferinin azaltılması, sıcak olan yüzeyin ısı kaybının daha düşük seviyelere çekilmesi, soğuk yüzeyinin de daha iyi soğutulması yapılacak bazı iyileştirmelerle daha yüksek miktarlarda güç meydana getireceği uygulanan deneylerle belirtilmiştir. Daha geniş açıdan bakılacak olursak, araçların iç dizaynının termoelektrik cihazla soğutulmasında kullanımı mümkün olabileceği ve sürücü ve yolculara yakın alanlara yapılacak olan soğutma ile termoelektrik cihaz ile ortam havasını değiştiren sistemlerin geliştirilebilirliği düşünülebilir (Temizer vd., 2012).

Imayat, Hussain, yeşil bina uygulaması amacıyla plastikten meydana gelen cama termoelektrik cihazını yerleştirerek termoelektrik modülden güç üretiminin nasıl meydana geldiğini araştırmışlardır. Yapılan uygulamada oda içi ve dışı sıcaklık farkı meydana getirilerek sıcaklığın enerji olarak geri dönüşümü amaçlanmıştır. Pleksiglass kullanılan malzemenin cam olabilirliğini tasarlayarak termoelektrik modülün 5 mm'lik alanda 10nW'lık güç meydana getirebileceğini belirtmiştir. Bu güç üretecek olan pleksiglas panel, tedavi, cam, enerji tasarrufu sağlayan yeşil binalar için mükemmel bir başlangıç olacağını görmüştür. Termoelektrik modül

temelde güç kaynağı olacak şekilde ön görülme bile yardımcı doğal bir güç ünitesi olara klima sisteminin devamlı ve yüksek miktarda enerji kullanımını önlemek için uygulanabilir. Termoelektrik sistemler yeteri kadar sıcaklık farkı meydana geldiğinde çalışırlar ve küçük elektrikli sistemleri şarj etmek için kullanılabilirler. Gelecek zaman diliminde uygulanan bu çalışmanın termoelektrik malzemeden meydana gelen cam pencereler için daha kolay bir seçenek olarak kullanılmasına yardımcı olacağı beklenmektedir (Inayat ve Hussain, 2012).

Başka bir doktora tez çalışmasında, termoelektrik generatörün (TEG) elektriksel, termoelektriksel ve ısı parametrelerinin incelenmesi için programlanabilir mantık denetleyiciyle (PLC) haberleşebilen yeni bir bilgisayarlı veri edinim ve test sistemi (TEG-PAS) gerçekleştirilmiştir. Matlab/Simulink benzetim programı kullanılarak termoelektrik modülün (TEM) TEG olarak değerlendirilmesi için, matematiksel modelinin simülasyonu meydana getirilmiş ve sonuçlarının ışığına bakılarak, TEG-PAS'ın üzerinde deneneceği ticari yeni bir portatif TEG sistemi kurmuştur (Mamur, 2013).

Yapılardaki kullanılan kablosuz sensor networkleri için termoelektrik enerji elde edilmesi isimli çalışmada, kablosuz sensörlü network kullanılarak düşük sıcaklıkta termoelektriğin enerji avantajı yönünden incelemiştir. Yapılan uygulamada sıcak olan yüzey için 50°C ve 100°C arasında olan Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> termoelektrik jeneratör kullanılmıştır. Kullanılan Jeneratörün düşük sıcaklıklardaki ısı enerji performansı için çıkış gücü simultane yapılmış ve simülasyon örneği uygulama neticesinde azami hatanın %5'ten daha az görüldüğü ve iyi bir tutarlılık örneğini göstermiştir. İstikrarlı bir çıkış voltajı oluşturmak için giriş voltajı 0,5 Volt'tan daha az kullanılarak voltaj düzenlemesi sağlanmıştır. Termoelektrik jeneratörün voltajının 250 mV'den daha fazla olduğu zamanlarda şarj pompası yedek dönüştürücüsü 0.95 volt'da çalışmaktadır. Termoelektrik jeneratörün konfigürasyonu ayarlaması yapılarak, sistemin giriş empedansı gücünü kıyaslamak için çıkış voltajı ve kaynak direncinin ayarı yapılabileceği görülmüştür. Bu yöntem dikkate direnci %10'dan daha az hata payı ile (0.25V-0.38V giriş voltajı) kaynak direnci ile kıyaslanarak, termoelektrik jeneratör 9.9Ω kaynak dirençli analitik benzetim modeline bağlı olacak şekilde yeniden yapılandırılmıştır. Cihazın uygulamasında birbirine paralel bağlı olacak şekilde 160 termokupl çifti içermiştir. Termoelektrik jeneratörün 60°C'de çıkış

gerilimi 0.25 V'den 0.235 V'ye kadar yaklaşım göstermiştir (açık olan devre voltajı 0.47V'un yarısı). Termoelektrik jeneratörün farklı sıcaklık durumlarında davranışını ölçmek için birkaç uygulama daha yapılmıştır. Yapılan uygulamalara göre 60°C'den yüksek sıcaklarda ve ısı oda şartlarında güç üretimi gerçekleştirilmiş. Yapılan bu çalışmalara göre termoelektrik enerji kazanımı sağlanarak güç otomasyonunun harekete geçirilmesi etkin hale getirilmiştir (Wang vd., 2013).

Jeotermal kaynakların taşınımı esnasındaki kayıp ısıdan faydalanarak termoelektrik modüllerin TEG olarak çalıştırılmasıyla ilgili yapılan çalışmalara bakılacak olursa; Akarslan ve çalışma arkadaşları, farklı sıcaklıklardaki TEC'lerin güç üretim performanslarını test etmek için deneysel bir düzenek tasarlayarak TEG olarak kullanmışlardır. Sistem, sıcaklık sensörleri, mikro denetleyici 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 farkı da 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 elektriğe dönüştürmüş ve 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 vd., 2014).

Petrol türevi yakıt kullanan motorlu araçların egzozlarındaki atık ısıyla ilgili yapılan çalışmalara bakıldığında; otomobillerde kullanılan egzoz sistemine denenecek bir termoelektrik modül kullanılarak egzoz sisteminde oluşan kayıp ısının elektrik enerjisi olarak geri dönüşümünü deney yapılarak gösterilmesini amaçlamıştır. Deney sonucunda, termoelektrik modüllerle otomobil egzoz gazlarından elektrik üretimi yapılabileceği görülmüştür. Otomobilde kullanılan termoelektrik modülleri, otomobildeki egzozdan kaybedilen kayıp ısıdan akünün yerini alacak kadar elektrik

enerjisini geri kazanabilmiştir. Termoelektrik modülleri akünün yerini almasıyla motorlu araçlarda verimliliğin yaklaşık olarak %10 değerinde artacağı, termoelektrik modülden elde edilen elektrik ile aracın değişik işlevlerinin hemen hemen bu yolla çalışacak duruma getirilebileceği veya motora fazladan güç sağlamak amacıyla da kullanılabilceği belirtilmiştir (Şafak, 2014).

Yine soba borusundan çıkan atık gaz ve ısısından yararlanmayı tavsiye eden, "Atık Baca Gazından faydalanılarak ile Termoelektrik Jeneratörlerde Elektrik Üretiminin Yararlı Kullanımını Deneysel araştırılması" isimli tez çalışmasında ise, generatörün sıcak tutulması gerektiren alanı soba borusunda oluşan atık gaz tarafından ısıtılmak suretiyle soğuk olması istenilen alanın üzerinden su dolaştırılıp soğutularak sistemde sıcaklık farkı değeri oluşturulmuş ve elektrik üretimi sağlanmış. Sistemde soğutma amaçlı kullanılan suyun akış hızının değişimi sağlanarak elde edilen elektriksel donelerin kontrol altına alınıp alınamayacağı hazırlanan uygulama prototipi üzerindeki pratik olarak yapılan uygulamalar aracıyla ölçülerek gerilim değerlerinin yaklaşık olarak 5.11 V ile 8.69 V değerleri arasında değiştiği görülmüştür. Debi 0,083 lt/s ulaştığı durumda 8.69 V ve 1.45 A'lik azami performansa sahip olunmuştur. Uygulama sonucunda su debisindeki değişimin, elektriksel değerlere doğru orantılı olarak etki ettiğini belirtmektedir (Baş, 2014).

Yakıt pilinin oluşturduğu atık ısıyla ilgili yapılan Pem "Yakıt Pili Atık Isının Değerlendirilmesi" isimli tez çalışmasında, yakıt pilinin çıkışındaki atık ısı, TEG tarafından elektrik enerjisine dönüştürülmüştür. Sistemde tek bir TEC-1 12706T125 modülü kullanılmıştır. Gerçek yakıt pili yerine bir simülasyon kullanılmış ve oda sıcaklığında baz alınarak deneyler yapılmıştır. TEC'in çalışma gerilimi 0.92 V ve çıkış gücü 0.35 W olarak ölçülmüş elektrik verimi %1.22 olarak hesaplanmış. Yapılan çalışmalarda %0.64'lük bir verim artışı sağlandığını belirtmektedir (Çalışır, 2014).

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 edilmiş

olan gerilimin, yüzeyleri arasında oluşan sıcaklık farkıyla doğru orantılı olduğu için çıkışına sabit gerilimli olan yükleri bağlamanın mümkün olmadığını ifade etmiştir. Bu özellikte ki yükleri bağlayabilmek için DC-DC dönüştürücülere sahip olunması gerektiğini belirtmiştir. Yaklaşık olarak 100°C sıcaklık farkı için 12W enerji alınabilen TEG için bir Artıran DC-DC dönüştürücü deneyi gerçekleştirilmiştir. Teknolojinin artmasıyla mosfetlerin kullanılmaya başlanması, dönüştürücü verimi üzerinde %75'e kadar çıkarabilmiştir. Dönüştürücü TEG'den akım olarak darbeli akım çekmiş ve TEG performansı bu çektiği akıma cevap verebildiğini ifade etmektedir (Mamur ve Ahıska, 2015).

Egzoz atık ısısının termoelektrik modüllerle elektrik enerjisine dönüştürüp geri kazanılan bu enerjiyi kullanma yöntemi olarak farklı bir çalışma yapılan, "Likid Petrol Gazı (LPG) ile Çalışan Buji Ateşlemeli Bir Motorda, Soğutma ve Egzoz Düzenğinde Kaybolan Isının Termoelektrik Jenaratör Yardımıyla Kullanılabilir Enerjiye Dönüştürülmesi" tez çalışmasında, LPG dönüşümlü buji ateşlemeli motorda TEG yardımıyla geri kazanılan egzoz ve soğutma suyu kayıp ısı enerjisinin elektroliz ünitesinde H<sub>2</sub> gazına dönüşümü sağlanarak ilave yakıt olarak kullanılmasının motor performansı, yakıt tüketimi ve egzoz emisyonlarına verdiği katkıyı uygulamalı olarak araştırmıştır. 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).

Yapılan çalışmalara bakılacak olursak, termoelektrik modüller kullanılarak katı sıvı ve gaz yakıtlarının atıl veya kayıp olan ısılarından bunun yanında güneş enerjisinden yararlanılarak da elektrik enerjisi üretilebileceği görülmüştür. Termoelektrik modüller, yüzeylerindeki ısı farkından dolayı meydana gelen enerji farklılık gösterdiği saptanmıştır. Deneyi yapılan bu çalışmada sıcaklık oluşturmak için kombiden gelen ısyı kullanılırken soğutma için şebekeden gelen sudan yararlanılmıştır. Sıcaklık farkı uygulaması ile yapılan bu çalışmada elde ettiğimiz gerilim ile bir led ışık yakılmaya çalışılmıştır. Sıcaklık farklarına göre değişik

ölçümler yapılarak grafik halinde sıcaklık farkına bağlı olarak tez çalışmasında yer verilmiştir.



### 3.MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Termoelektrik

Alman bilim adamı Thomas Seebeck termoelektrik alanında ilk çalışmalarını 1823 tarihinde yapmış olmasına rağmen, termoelektrik modüller maalesef 1960'lara kadar gelişimini gösterememiştir. 1823 tarihinde uygulamış olduğu çalışmasında Thomas seebeck, farklı iki cins metal olan iletken halka oluşturmuş ve bu oluşturduğu halkanın bağlantı yerlerini ısıtıldığında metal iletkene yakın olan pusulanın iğnesinin yer değiştiğini fark etmiştir. Seebeck bu olayı, Dünya'daki manyetik alanın oluşturduğu ve ekvator ile kutup arasındaki sıcaklık farkıyla ilişkilendirse de önemli bir netice elde edilememiştir. Seebeck bu olayı farklı türdeki iletken metal malzemelerle de uygulayarak, malzemelerin elektriği iletkenlik durumunu ( $\sigma$ ) ve seebeck katsayısı ( $\alpha$ ) çarpım durumuna göre uygulamıştır. Seebeck bu buluşunu tam olarak farkında olmamış, sistemde dolaşan elektrik akımının sıcaklık üretimiyle, aynı etkiyi gösterdiğini söylemiştir.

Meslek olarak saat üreticisi ve fizikçi olan Fransız bilim insanı Charles athanase peltier, 1834 tarihinde seebeck etkisi üzerinde yaptığı uygulamalarda farklı bir durumu keşfetmiştir. Bu keşfi, iki farklı malzemedan yapılmış metal iletkenin uçlarına DC bir gerilim vererek elektrik akımını kapalı bir düzende dolaştırarak termal enerjinin bağlı oldu halkanın birinde ısınmaya, diğer halkanın bağlantı noktasında ise soğumaya sebep olduğunu fark etmiş ve teoriye değişik açıdan bakmıştır.

#### 3.2. Termoelektrik Etkiler

Maddenin elektriksel durumlarını joule, fourier ve termoelektrik modüller etkiler (Mamur, 2013). Farklı iki yarıiletken metal malzeme bir araya gelerek uygulanan modülden elektrik enerjisi geçirilirse, seebeck, peltier ve thomson olmak üzere 3 durum meydana gelir.

### 3.2.1. Joule etkisi

Elektrik enerjisini ısı enerjisine dönüştüren olaya joule kanunu denir. James prescott joule'un kendi adını verdiği bu kanunda iletken olan bir malzemenin ısı, o iletken malzemenin iç direnci ve sistemin üzerinde dolaşan akımın karesiyle doğru orantılı olacak şekilde artış olur. Herhangi bir elektrik devresi üzerinden birim zamanda meydana gelen ısı joule (QJ) miktarıda güç (watt) ifade edilir.

$$QJ = I.R \quad (3.1)$$

Bu ifade de I iletkende dolaşan akım miktarıdır. Birimi (A) olarak gösterilir. Devrede dolaşan R ise iletkenin direncidir ve birimi Ohm ( $\Omega$ ) dur. (Mamur, 2013).

### 3.2.2. Fourier etkisi

Bu etkiye göre ısı, sıcaklığı fazla olan mahalden, sıcaklığın daha düşük olan mahale doğru hareket gösterir.

$$Q = A .K .\Delta T \quad (3.2)$$

Eşitlikteki ifadeler:

Q: Isı miktarı (W)

A: Kullanılan malzemenin toplam alanı ( $m^2$ )

K: Ortalama ısı iletim katsayısı ( $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ )

Sistem kararlı durumda iken, soğuk olan yüzey tarafından sıcak olan tarafına doğru bir ısı iletimi gerçekleşir. Bunun yanında sistem üzerinden giden akımın meydana getirdiği ters yönde istenilmeyen ısı kazançları da vardır.

Akım verilen termoelektrik malzemeye joule ve fourier etkisinden dolayı soğuk ve sıcak yüzey arasındaki değişimi aynı miktarda olmamaktadır. Bununla beraber fourier yasasına göre sistemin verimli ve kararlılık göstermesi, termoelektrik

malzemenin bütün yüzeyinde kendi arasında aynı ısıyı taşıması gerekmektedir (Tugay, 2010).

### 3.2.3. Seebeck etkisi

Farklı türden yapılmış iki metal iletkene bir halka şeklinde iki bağlantı noktalarına aynı anda sıcaklık farkı uygulandığında, yapılan uygulamada doğru orantı olacak şekilde bir voltaj farkı meydana gelir. Bu meydana gelen duruma seebeck etkisi ısı çift (thermocouple) adı verilir.

Malzemelerin aynı olması halinde seebeck etkisinin malzeme farkından oluştuğunu da göz önünde bulundurursak, malzemede oluşan iç voltaj farkı aynı olacak ve birbirini yok edecektir. Eğer kullandığımız malzemeler farklı malzemeler olduğunda, malzemelerin içerisinde oluşan voltaj farklarının toplamı olacak şekilde bir değer oluşacaktır.

Seebeck katsayısı ( $\alpha$ )'nın değeri, devreyi oluşturan yarıiletken malzemenin N tipi veya P tipi olma özelliklerine bağlıdır. N tipindeki yarı iletken malzeme için  $\alpha$  değeri negatif olurken, P tipindeki yarı iletken malzemenin  $\alpha$  değeri ise pozitif olur. Oluşan seebeck etkisi yarı iletken malzemelerde generatör gibi, metallerde ise termokupl veya ısı sensörü gibi uygulanır (Fettah, 2010).

### 3.2.4. Peltier etkisi

1835 yılında Fransız bir saat üreticisi ve fizikçi olan bilim adamı Jean Charles Athanasa Peltier iki değişik tür iletken metal yüzeyinden doğru akım geçmesiyle ile akımın hareket ettiği yönde ısı oluştuğunu keşfetmiştir. Jean Charles Athanasa Peltier keşfettiği bu olaya Peltier etkisi adını vermiştir.

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 (Mamur ve Ahıska, 2015).

Peltier katsayısı sıcaklığa bağlı olarak değişirken, seebeck katsayısı sabit bir sayıdır.

$$QP = \pi ab .I.T \text{ Peltier soğutma eşitliği; } QP = (\alpha p - \alpha n ) .T. I \quad (3.3)$$

QP: Birim zamanda taşınan ısınma ya da soğuma miktarı (W),

I: Sistem üzerinden geçen doğru akım (A)

Peltier ile seebeck katsayısının bağlantısı;  $\pi ab = \alpha ab . T$   $\alpha ab$ : Seebeck katsayısı (V/0C),

T: Mutlak sıcaklık (°C)

Sisteme dışarıdan uygulanan doğru akım gerilimi, elektronların değişkenlik gösteren enerji seviyesine göre hareketini sürdürürken, P-tipindeki yarı iletken üzerinde bulunan yük taşıyıcılar pozitif yüklü "hole"ler ile (h+) n-tipi yarı iletken üzerinde bulunan yük taşıyıcılar negatif yüklü elektronların (e-) hareketleri ters olur. Hole'ler negatif yöne doğru enerjilerini transfer ederken, elektronlar pozitif yöne doğru enerjilerini transfer edecektir ve bu kutupların bir tarafı ısınırken diğer taraf soğuyacaktır.

### 3.2.5. Isı transferi

Sıcaklık farkı sonucunda meydana gelen ısı, bir ortamdan diğer ortama transfer edilebilen bir enerji türü olarak tanımlanır.

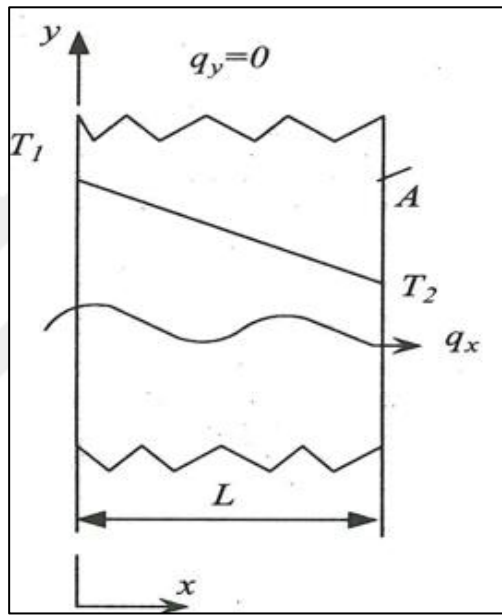
Termodinamik çözümlenmeye göre, kurulmuş bir sistem denge halinde diğerine geçiş yaparken bu durum ısı transferi miktarıyla ilgilidir. Enerji transferinin hızlarını araştırmakla ilgilenen bilim dalı ısı transferidir. Bir enerjinin ısı olarak transferinin gerçekleşmesi için, daima yüksek sıcaklıktaki bir mahalden düşük sıcaklıktaki bir mahale doğru geçmesiyle oluşur ve bu iki mahalın aynı sıcaklığa derecesine ulaştığında ısı transferi gerçekleşmez.

Isı transferi prosesleri üç değişik şekilde meydana gelir:

- İletim (Kondüksiyon)
- Taşınım (Konveksiyon)
- Işınım (Radyasyon)

### 3.2.5.1. İletim

Parçacıkların etkileşmelerin neticesinde bir maddenin daha yüksek enerjili parçacıklarından hemen yanında ki daha yüksek enerjili olanlara enerji gönderilmesidir. Sıvılarda ve gazlarda iletim, moleküllerin dağınık hareketleri sırasında çarpışma ve yayılmaları durumunda meydana gelir. Katı cisimlerde ise iletim, moleküllerin titreşimi ve serbest elektronlarının hareketi neticesinde enerji aktarımı meydana gelir. Herhangi bir levhada ısı transfer hızı, transfer alanı ve sıcaklık farkı ile doğru orantılı, levhanın kalınlığı ile ters orantılı olur.



Şekil 3.1. Bir katı veya durgun akışkan içerisinde, bir sıcaklık farkı olması durumunda, ısı transferi iletimi

Yukarıda ki şekil 3.1’de verilen ve iki boyutlu olan L kalınlığında düz bir levhayı örnek gösterecek olursak; A şekilde verilen levhanın yüzey alanı, T1 ve T2 levhanın yüzey sıcaklık durumları ( $T_1 > T_2$ ) olarak düşünelim. Bu durumda levhadaki sıcaklık geçişi T1 ( sıcak )yüzeyden T2 (soğuk) yüzeye doğru gerçekleşecektir. Sıcaklık, zamana bağlı olarak değişmemektedir. Yapılan bu uygulamada ısı geçişinin,

$$q = A \frac{T_1 - T_2}{L} \quad (3.4)$$

şeklinde ifade edildiği görülmüştür. Yukarıdaki verilen ifadede görülmek üzere, katı bir levhadan oluşan cismin ısı geçiş hızı ( $T_1-T_2$ ) sıcaklık farkı ve A yüzeyi ile doğru orantılı, levha kalınlığı L ile ters orantılı olduğu saptanmıştır. Orantı kat sayısı k, yukarıda verilen ifadenin içerisinde hesaba katılırsa,

$$q = -kA \frac{(T_2-T_1)}{L} \quad (3.5)$$

şeklinde ifade edilir. Bu durumda k malzemenin bir özelliği sayılır ve ısı iletim katsayısı olarak hesaba katılır. Termodinamiğin 2. kanununda ısı iletimi olayı sıcaklığın azaldığı tarafa doğru gerçekleşecektir. Bu sebeple sıcaklık farkı ile ısı akısının işareti ters yönlü olacaktır. Yukarıda verilen bağıntıda ısının pozitif yönde ısı geçişi olması için ifadenin önüne ( - ) işareti verilmiştir.

### **3.2.5.2. Taşınım**

Yüzeyi katı olan ve ona bitişik hareket durumundaki sıvı veya gaz arasında enerji aktarımıdır; iletim ve akışkan durumlarının birleşik halde ki etkilerini kapsar. Bu durumda akışkanın hareketi ne kadar hızlı gerçekleşirse, taşınım ısı geçişi de o derece fazla olur. Yığın akışkan hareketinin ortadan kaybolması durumunda, katı yüzeyle hemen yanında ki akışkan arasında ısı transferi saf iletimle meydana gelir.

#### **3.2.5.2.1. Zorlanmış taşınım**

Akışkan durumu, akışkanın yüzeyinin üzerinden pompa, fan veya rüzgâr aracılığıyla akmaya zorlanıyorsa bu taşınımı zorlanmış taşınım adı verilir.

#### **3.2.5.2.2. Doğal (serbest) taşınım**

Akışkanın durumu, sıcaklık değişmesiyle ortaya çıkan yoğunluk farklarının meydana getirdiği kaldırma kuvveti sebebiyle olan taşınımdır. Faz değişimi içeren herhangi bir akışkanın ısı transfer durumları, kaynama esnasında meydana gelen kabarcıkların yükselmesi veya yoğunlaşma esnasında sıvı damlacıklarının düşmesi gibi oluşan akışkan hareketleri sebebiyle, aynı zamanda taşınım olarak düşünebiliriz.

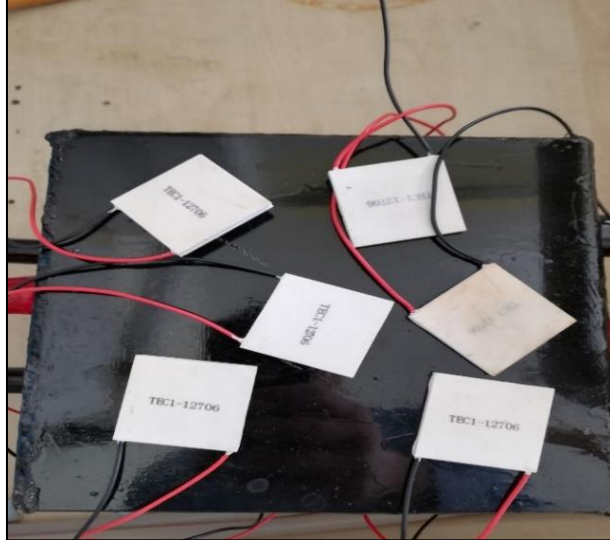
### 3.2.5.3. Işınım

Elektronik düzeni olan atom ve moleküllerin değişimi sonucunda cisimden yayılan elektromanyetik dalgalar (veya fotonlar) şeklinde yayılan enerji ışınımıdır. Diğer ısı transfer yöntemlerinden farklı olarak ışınım ile ısı transferi bir aracı ortama ihtiyaç duyulmaz. Işınım yoluyla ısı transferi gerçekte en hızlı (ışık hızında) olanıdır ve boşlukta yavaşlamaz. Yeryüzüne güneş enerjisinin ulaşma biçimi böyle gerçekleşir. Yapılan ısı transfer uygulamalarında, maddelerin sıcaklıkları nedeniyle yaydıkları ışınım türü, ısı ışınım ile alakalıdır. Mutlak sıfırın üzerindeki sıcaklıklarda bütün maddelerde ısı ışınım meydana gelir. Hacimsel bir durum olan ışınım, bütün katılar, sıvılar ve gazlar, ışınımı değişen seviye durumlarında yayar, soğurur ve geçirirler. Bu durum katılar için ışınım genellikle bir yüzey durumu olarak düşünülür (Çengel, 2006).

### 3.3. Deney Seti

Termoelektrik (TE) ısı enerjisini elektrik enerjisine, elektrik enerjisini de ısı enerjisine dönüşümünü sağlayan cihazlara verilen isimdir.

Yapılan bu deney seti için 6 adet TEC1-12706 kodlu peltier cihazı kullanılmıştır. Termoelektrik cihazlarının üzerinde yazan ifadelerden cihazlardaki (TE) yazan kısım termoelektriğin kısaltılmış halini gösterir. Cihazdaki C yazan kısım standart boy peltier anlamına gelir. Küçük boylu cihazlarda bu S harfi ile gösterilir. Peltier üzerindeki 1 harfi ise üst üste kaç tane peltier cihazının kullanılacağını bize gösterir. Cihaz üzerindeki 127 rakamı ise bize kaç tane ısı çift (P,N) olduğunu gösterir.



Şekil 3.2. Peltier modüllerin görünümü

Şekil 3.2'de verilen ekipman, sistemde kullanılan termoelektrik modülün görüntüsüdür. Bu termoelektrik modüller, ön ve arka yüzeyinde oluşan sıcaklık farkına bağlı olarak elektrik enerjisini oluşturan cihazdır. Piyasa şartlarında farklı özellikte olan ve fiyatı da özelliğine göre değişen çeşitleri mevcuttur.

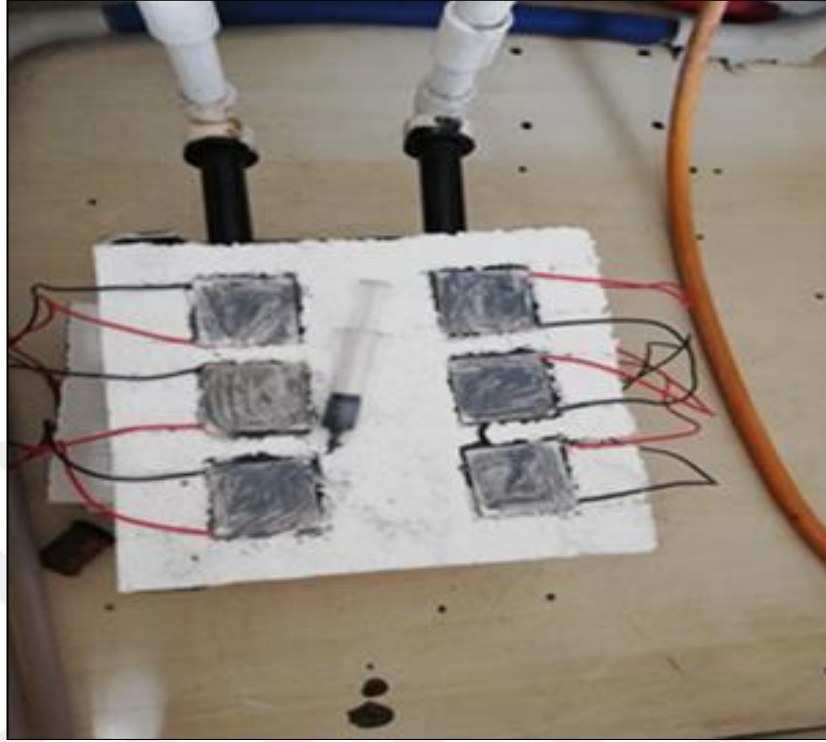
Termoelektrik jeneratör çeşitleri günümüzde; lazer diyot, CCD kameralar, CPU soğutucu ve elektronik sistemlerinde, fizik ve kimyada sıklıkla kullanılan uygulamaları mevcuttur.

Termoelektrik cihazlarından elektrik enerjisi oluşmasını sağlamak için öncelikle yapılması gereken modülün çalışma prensibi ve teknik özelliklerinin öğrenilmesi gereklidir. Eğer yüksek verim elde etmek istiyorsak sıcaklık farkının en yüksek değerinde uygulanması gerekir. Bununla birlikte modülün verimleri bazı çevresel etkilere ve sistemde kullanılan yardımcı malzemelere de bağlı olmaktadır.

### 3.3.1. Deney seti için gerekli malzemeler

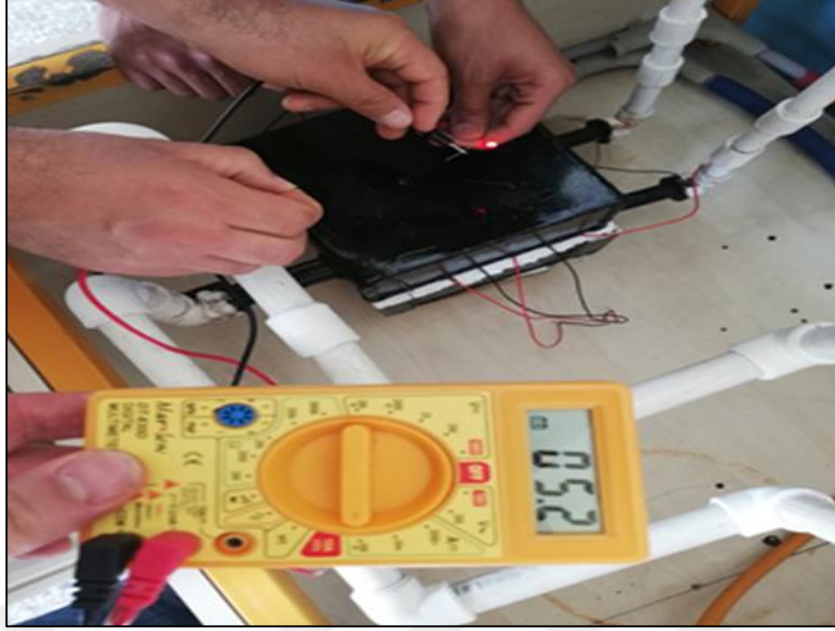
Yapılacak olan bu deneyde (kombi cihazlarından termoelektrik yöntemle elektrik üretiminin incelenmesi) öncelikle kullanılacak malzemeler; 1 adet hermetik kombi, 10\*15\*10 iki adet sacdan yapılmış kutu, 6 adet TEC1- 12706 peltier, ısı geçirgenliğini arttırmak için termal macun, elektriksel üretimi ve sıcaklığını ölçmek

için test cihazı ve elektrik çıkışını görsel olarak sağlamak için led lambalar kullanılmıştır.



Şekil 3.3. Deneyde kullanılan diğer malzemeler

Uygulamada kullanılan diğer malzemeler Şekil 3.3’de gösterilmiştir. Öncelikle 10\*15\*10 cm sacdan yapılmış olan, birinden şebeke suyu diğerinden kombiden gelen sıcak su bağlanarak bu kutuların arasına strafor yerleştirilmiştir. Sacların arasına yerleştirilen strafor iki kutu arasındaki ısı transferini engelleyerek sıcaklık farkını korumuştur. Daha sonra termoelektrik modüller kutuların arasına konularak seri bağlanmıştır. Deney için önceden kurulan sistem çalıştırılarak led yardımıyla ve elektriksel ölçme aleti kullanılarak sistemde sıcaklığa bağlı olarak gerilim değerleri ölçülmüştür.



Şekil 3.4. Deneyde kullanılan elektriksel malzemeler

### 3.3.2. Kullanılacak termoelektrik jeneratörün genel özellikleri

- Modeli: TEC1-12706,
- Boyutları: 40mm x 40mm x 4mm,
- Çalışma Gerilim değeri: 0V ~ 15.2V DC,
- Çalışma Akım değeri: 0A ~ 6A,
- Azami Güç Tüketimi değeri: 60 Watts.
- Çalışma Sıcaklık değeri: -30°C ~ 70°C,

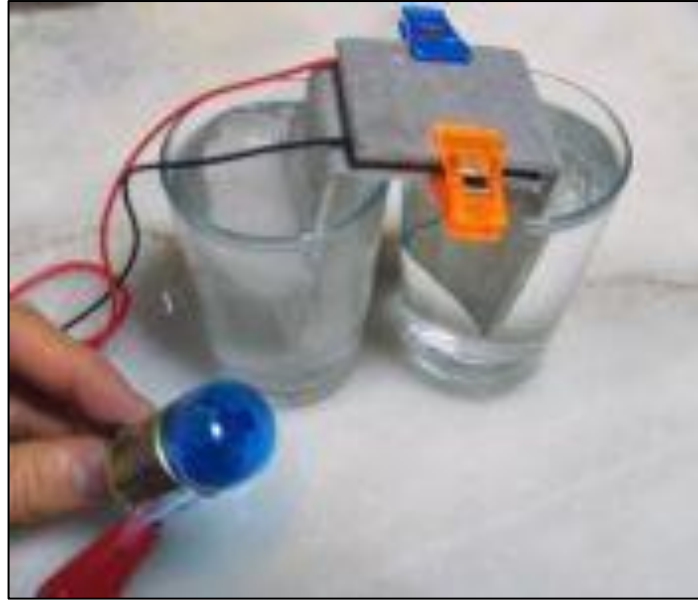
### 3.3.3. Termoelektrik jeneratörün kullanımı ve basit uygulama örnekleri

Termoelektrik modüller elektriksel bağlantı olarak seri, ısıl olarak da paralel bağlı P ve N tipi yarı iletken sistemlerden meydana gelir. Bu modüllerin alt ve üst kısmı seramik malzeme ile kaplıdır. Bu seramik malzeme alüminyum oksit ( $Al_2O_3$ ) olan Alumina kullanılarak üretilmiş bir seramik tabakadır. Genleşme katsayısı düşük, termal iletkenliği uygun seviyede ve elektrik akımını iletmeyecek şekilde peltierin geniş sıcaklık seviyelerinde çalışmasına olanak verir. Bazı modellerde iki alümina tabakası arasında beyaz renkte silikon yalıtımı vardır. Bu silikon yalıtımı peltier modülünün yüzeyleri arasında mekanik bağlantı oluşturmak için değil, modülün içerisinde oluşan su buharı veya diğer gazların yoğunlaşmasını önlemek içindir.

## Alümina özellikleri

- Formülü:  $Al_2O_3$
- Erime noktası Sıcaklığı:  $2.072\text{ }^{\circ}C$
- Kaynama noktası Sıcaklığı:  $2.977\text{ }^{\circ}C$
- Yoğunluk:  $3.95\text{ g/cm}^3$
- Molar kütlesi:  $101.96\text{ g/mol}$

Şekil 3.4'deki gösterilen deneyde termoelektrik modül kullanılarak elektrik enerjisi oluşturulmuştur. Bu deneyde bir bardağın içine  $80^{\circ}C$ 'nin üzerinde sıcaklığı olan su konulmuştur. Öteki bardakta ise yaklaşık  $20^{\circ}C$ 'da buzlu su konulmuştur. L şeklinde alüminyum levhaların orta noktasına termoelektrik jeneratör yerleştirilmiştir. Böylece termoelektrik modülün bir tarafı ısıtılıp diğer tarafı soğutulurak 1.5 volt civarında gerilim meydana gelmiştir. Oluşturulan bu gerilimle de bir LED lambayı aydınlatmak mümkün olmuştur. Farklı üretilen termoelektrik modül çeşidi elde edilen elektrik enerjisi miktarını etkiler. Yapılmış olan bu deneyde TEC1-12706T125 uygulanmıştır.



Şekil 3.5. Su -buzlu su deneyi örneği

Yapılan başka bir deneyde termoelektrik modülün sıcak olan tarafı mum ile ısıtılırken, soğuk olan tarafı ise banyo musluğu kullanılarak şebeke suyu geçirilerek soğutulmuştur. Bir süre bekletildikten sonra şekilde de görüldüğü üzere 1.16 volt

gerilim meydana gelmiştir. Zamana bağlı olarak sıcak olan taraf  $64^{\circ}\text{C}$ , soğuk olan taraf ise  $19^{\circ}\text{C}$  'de olduğunda gerilim sıcaklık farkına bağlı olarak 3.4 volt'a kadar yükselmiştir. Yapılan bu deneyde TEG12710 kullanılmıştır.



Şekil 3.6. Mum ve şebeke suyu örneği

Yapılmış olan bu deneyler benzer şekilde çoğaltılabilir. Deneylerin bu kadar fazla olması bize termoelektrik modüllerinin kullanım alanlarının ne denli fazla olduğunu gösterir.

## **4. BULGULAR VE TARTIŞMA**

### **4.1. Hazırlık Aşaması**

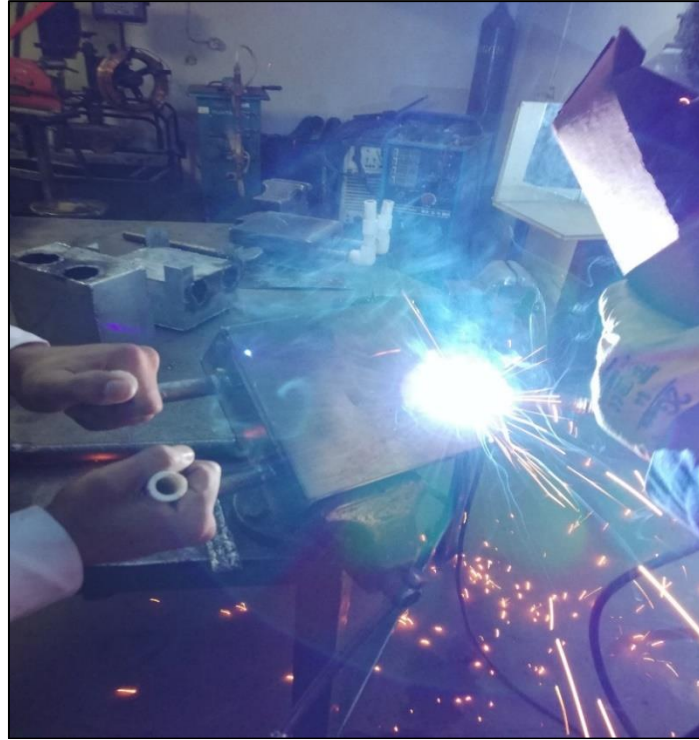
#### **4.1.1. Deney setinin oluşturulması**

Uygulaması yapılacak deney için önceden hazırlanmış olan çeşitli malzemelerle deney seti oluşturulmuştur. Öncelikle 1 adet hermetik kombi kullanılarak ve bu kombinin montajı için gerekli olan malzeme temin edilerek sistem kurulmuştur. Bu sistem üzerine önceden tasarlanan 5mm kalınlığında sacdan yapılmış olan iki adet 10\*15\*10cm kutu yerleştirilmiştir. Daha öncesinde 1mm sacdan yapılmış olan kutular sistemdeki basınca fazla dayanamayıp yamulma meydana gelmiştir. Bu da kullanacağımız termoelektrik modülün temas edecek alanını azalttığından istenilen verimi alınmasına engel oluşturmuştur. Bu sebepten dolayı 5mm sac kullanarak ve etrafını kaçak olmayacak şekilde düzgün kaynak çekilerek iki adet kutular yapılmıştır. Hazırlanmış olan bu kutuların biri şebekeden gelen suya bağlantısı kurulurken, diğer kutu ise kombiden gelen sıcak su tarafına bağlantısı yapılmıştır. Bağlama işleminden önce deneyde kullanılacak olan termoelektrik modülleri TEC1-12706 çalışıp çalışmadığı test edilmiştir. Deneyi yapılan modüllerin arasına ısı transferini azaltmak için 16 dansite ve 1mm kalınlığında strafor, termoelektrik modüllerimizin kutularla temasını engellemeyecek şekilde yerleştirilmiştir. Piyasadan satın alınan TEC1-12706 termoelektrik cihazların, kutuların arasındaki strafora uygun şekil verilerek kutularla temasını sağlanmıştır. Daha sonra sıcak olan yüzey tarafına termal macun sürülerek ısı alış verişini arttırmıştır.



Şekil 4.1. Hazırlanan deney seti

Şekil 4.1’de verilen deney setinin genel görüntüsü verilmiştir. Bu deney setini oluşturmak için öncelikle 1 adet hermetik kombi temin edilmiştir. Daha sonra bu kombi ahşaptan yapılmış olan panoya monte işlemi yapılarak ve radyatör montajı için gerekli bağlantılar sağlanarak sistem kurulmuştur.



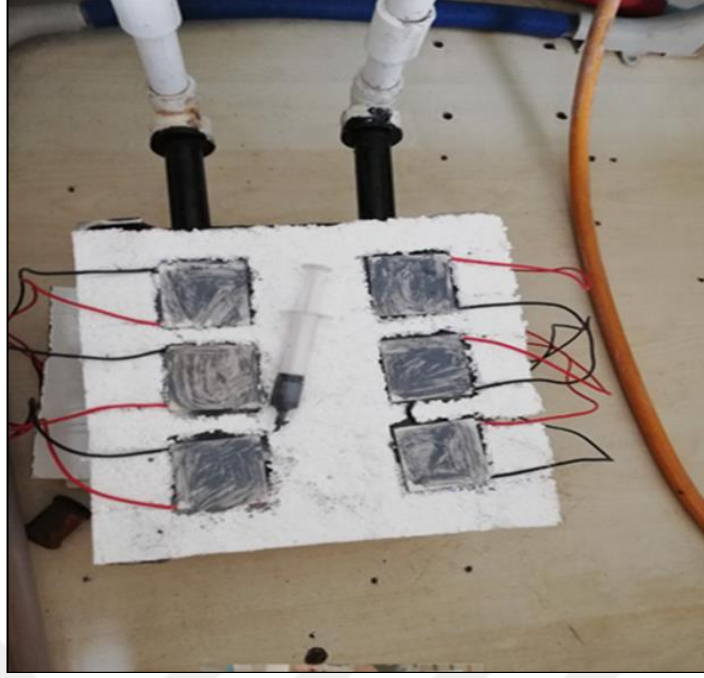
Şekil 4.2. Deney seti için kullanılacak olan sacdan yapılmış kutuların yapımı

Yapılacak olan deney için temin ettiğim saclardan 10\*15\*10 cm olacak şekilde sacların kesimini yapılarak kaynak için hazır hale getirilmiştir. Kaynağa başlamadan önce kesilmiş saca, matkapla uygun delikler açarak kutulara girecek olan suyun geçişine zemin hazırlanmıştır. Daha sonra kestiğimiz kutuları sistemden kaçak olmayacak şekilde kaynak yapılmıştır. Kaynak sonrası sacdan oluşturulan kutuları kontrol ederek kaçak olup olmadığına bakılmıştır. Şekil 4.2’de yapılan kaynağın görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4.3. Deneyde kullanılacak sacdan yapılmış kutular

Şekil 4.3’de gösterilen kutular kaynak yapıldıktan sonra kutulara açılan uygun deliklere rakorlu birleştirme işlemi gerçekleştirilmiş ve sisteme bağlantısı hazır olacak şekilde ayarlanmıştır. Termoelektrik modüllerin temas yüzeyi pürüzsüz olması için, sacdan yapılmış olan kutuların termoelektrik modüllerin konulacağı yeri zımpara yapılarak, pürüzsüz duruma getirilmeye çalışılmıştır.



Şekil 4.4. Deney setine termoelektrik modüllerinin yerleşmesi

Şekil 4.4’de hazırlanmış olan kutulara deney için kullanılacak termoelektrik modüllerinin yerleştirilmesi işlemi yapılmıştır. Öncelikle yapılmış olan iki kutu arasında ısı transferinin minimum seviyede olması için 16 dansite de strafor yerleştirilmiştir. Daha sonra bu straforun uygun yerlerine delik açılarak, termoelektrik modüllerinin yerleşimini sağlanmıştır. Termoelektrik modüllerinin üstüne ısı transferini arttırmak için termal macun kullanılmıştır.



Şekil 4.5. Deney setinin sacdan yapılan kutuların bağlanması

Şekil 4.5’de verilen resimde yapılmış olan kutuların üst üste düzgün bir şekilde getirilerek füzyon kaynağı için hazırlanmıştır. Füzyon kaynağıyla ısıl işlem gerçekleştirildikten sonra tesisatta kullanılan plastik boruların bağlantılarını kaçak kontrolü yapılarak sistem hazır hale getirilmiştir.

## 4.2. Ölçüm İşlemleri

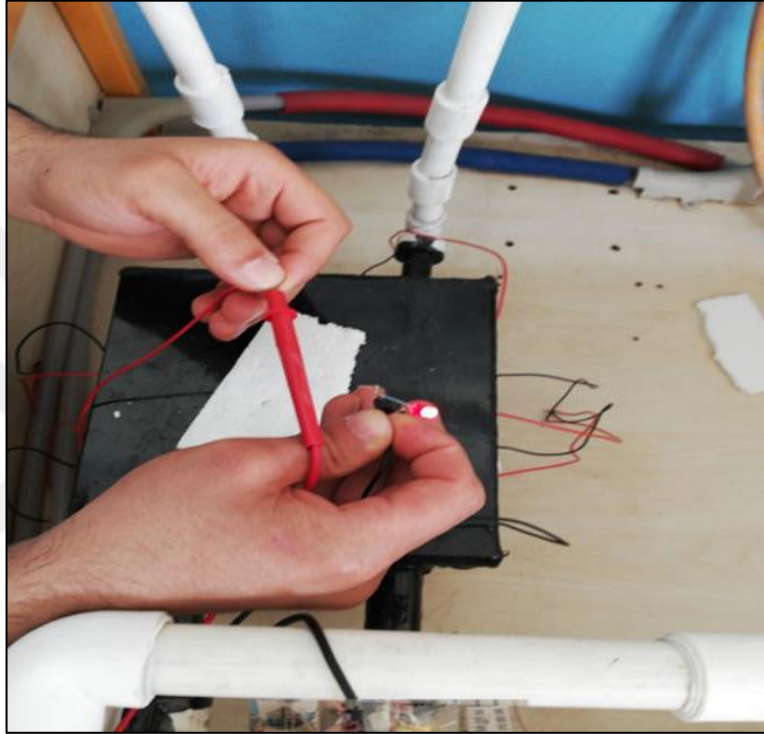
Hazırlanmış olan deney düzeneğinin kontrolleri yapıldıktan sonra sisteme gaz verilerek çalıştırılmıştır. 6 adet seri bağlanmış TEC1-12706 termoelektrik modülün gerilim, akım ve güç değerleri kombiden gelen sıcak suya bağlı olarak kademeli şekilde ölçülmüştür. Sıcaklığın kademeli olarak artırarak gerilim, akım ve güç değerleri Çizelge 4.1’de verilmiştir. Kullanılan şebeke suyu sabit tutularak, kombiden gelen suyun sıcaklığına bağlı olarak sıcaklık farkı arttıkça gerilim, akım ve güç değerlerinin yükseldiği saptanmıştır. Örneğin 40<sup>0</sup>C’de gerilim değeri 1.12 Volt, akım değeri 37.0mA ve güç değeri (I\*U) 41.44mW olacak şekilde bulunmuştur. Ama bu değerlerde led tam olarak parlaklık vermemiştir. Sıcaklık değerinin arttırdığımız zaman örneğin, 50<sup>0</sup>C’de gerilim değeri 1.7 Volt, akım değeri 65.3mA ve güç değerimiz (I\*U) 111.01mW olacak şekilde ölçülmüştür. Bu değerlerde led’in parlaklığı tamamen artmıştır. Yapılan bu ölçümler aşağıdaki tabloda sıcaklığa bağlı olarak verilmiştir.

Çizelge 4.1. Elde edilen gerilim, akım, güç değerleri

	1.ÖLÇÜM	2.ÖLÇÜM	3.ÖLÇÜM	4.ÖLÇÜM	5.ÖLÇÜM	6.ÖLÇÜM	7.ÖLÇÜM	8.ÖLÇÜM	9.ÖLÇÜM
<b>U GERİLİM</b> (volt)	1.12	1.5	1.7	2.25	2.51	3.08	3.58	4.12	4.5
<b>I AKIM</b> (mA)	37	53.5	65.3	75.5	90	115	130	142	155
<b>P GÜÇ I*U</b> (mW)	41.44	80.25	111.01	169.08	225.9	354.2	465.4	585.04	697.5
<b>KOMBİ</b> <b>SICAKLIĞI</b>	40	45	50	55	60	65	70	75	80
<b>ŞEBEKE SUYU</b> <b>SICAKLIĞI</b>	12	12	12	12	12	12	12	12	12
<b>SICAKLIK</b> <b>FARKI</b>	28	33	38	43	48	53	58	63	68

### 4.3. Deney Sonuç Analizleri

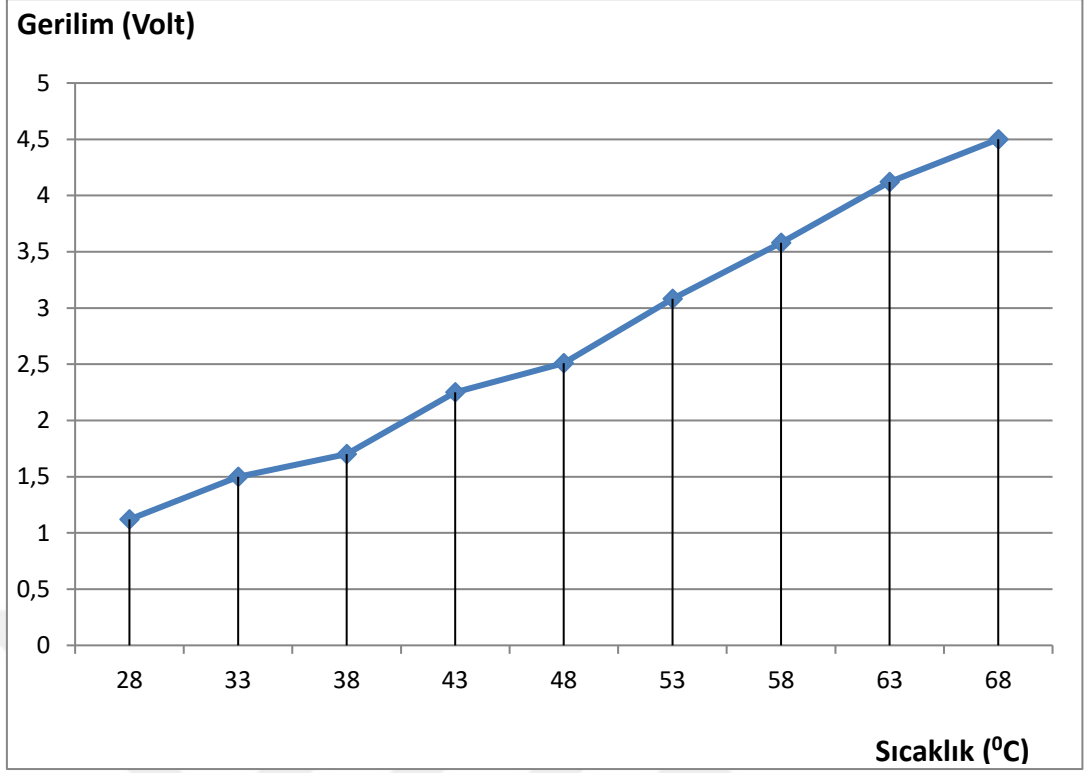
Termoelektrik modül kullanılarak yapılan deney sonucuna göre, değişen sıcaklık farkına göre üretilen elektriğin arttığı ve bu elektriğin çeşitli amaçlar için kullanılabilceği saptanmıştır. Üretilen elektriğin 1.7 volt değeri üzerini geçmesiyle led lambasının yanması Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Sıcaklık farkından oluşan led ışığının yanması

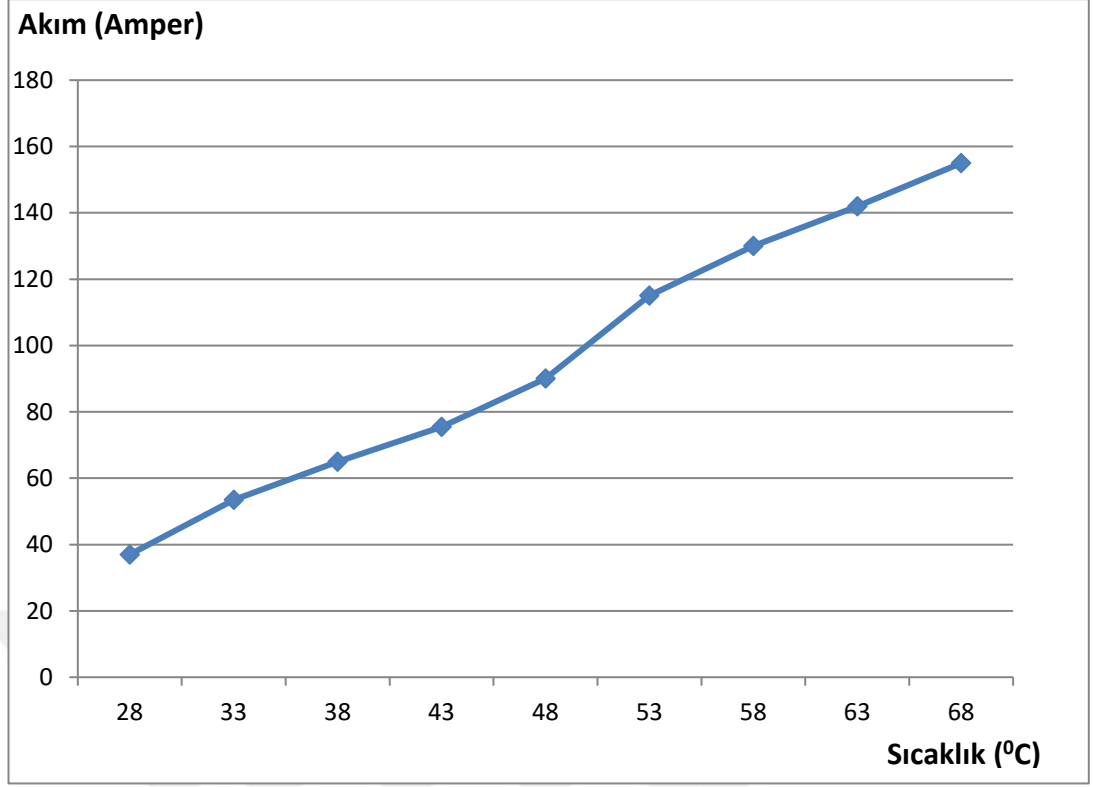
### 4.4. Termoelektrik Jeneratörün Performansı ve Verimliliği

Yapılan deney çalışmalarımızda kurulan deney sisteminden oluşan grafikler aşığıdaki şekillerde gösterilmiştir. Bu grafiklere göre sıcaklık –gerilim, sıcaklık-akım ve sıcaklık güç değerleri yapılan ölçümler sonucunda grafik halinde verilmiştir.



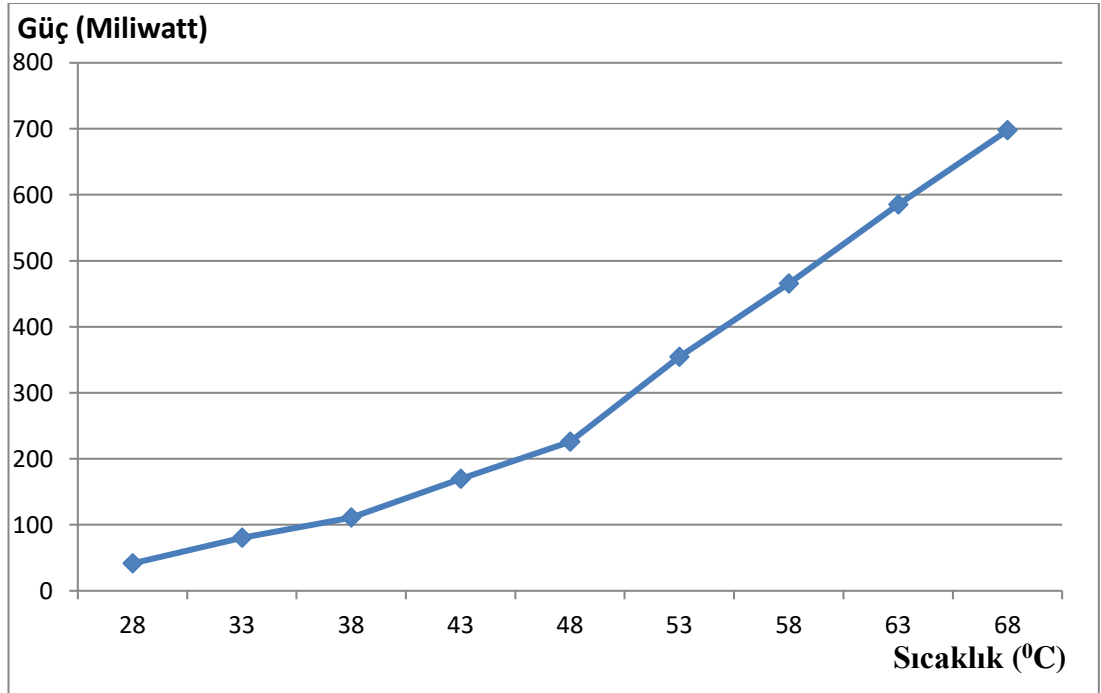
Şekil 4.7. Gerilim-sıcaklık farkı grafiği

Şekil 4.7'ye bakıldığında sıcaklık farkının artmasıyla gerilimin doğrusal olarak arttığı saptanmıştır. Bu da bize sıcaklık farkı ne kadar fazla olursa gerilimin değerinin de artacağını gösterir.



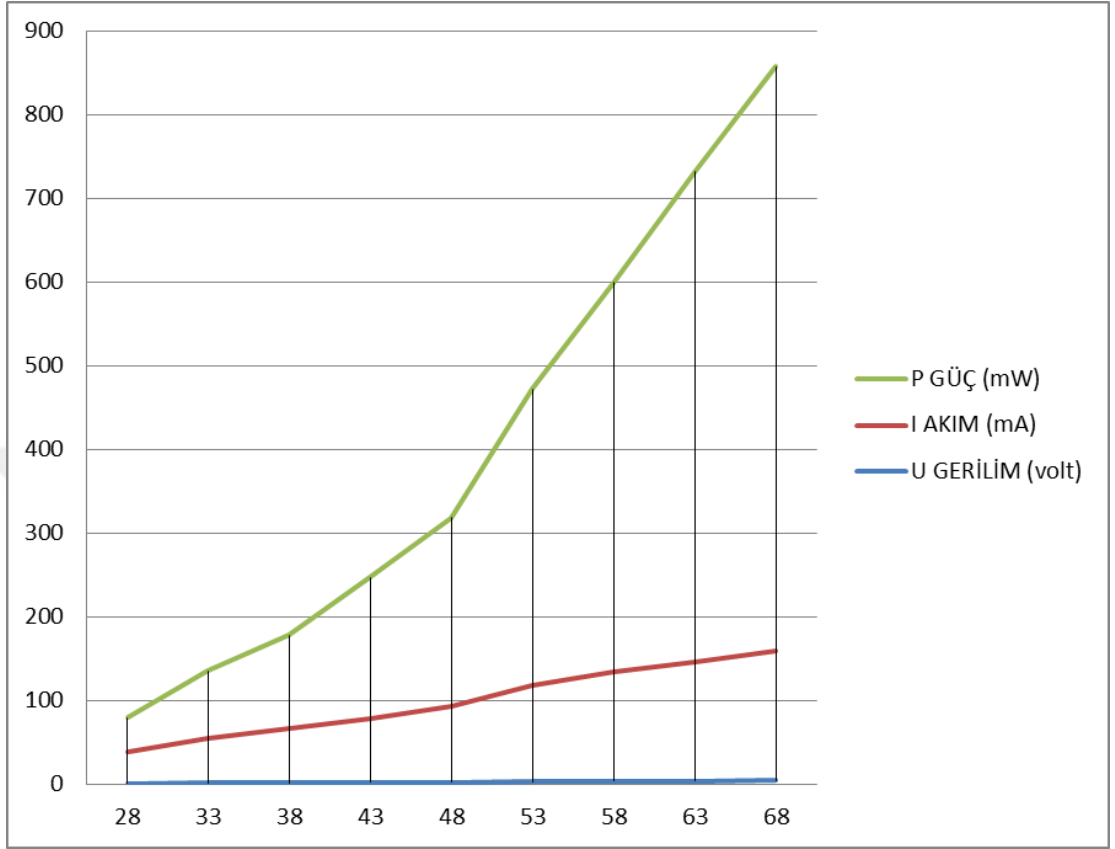
Şekil 4.8. Akım-sıcaklık farkı grafiği

Şekil 4.8'e baktığımızda akım değerinin gerilim değerinde olduğu gibi sıcaklık farkına bağlı olarak arttığı görülmüştür.



Şekil 4.9. Güç-sıcaklık farkı grafiği

Şekil 4.9’da ise sıcaklık farkına bağlı olarak güç değerinin orantılı bir şekilde arttığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4.10. Güç-Akım-Gerilim-Sıcaklık farkı grafiği

Şekil 4.10’da verilen grafikte gerilim, akım ve güç değerleri aynı durumda verilmiştir.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışmada, kombiden gelen sıcak su ile şebeke suyu sıcaklığı kullanılarak sıcaklık farkı oluşturulmuştur. Termoelektrik jeneratörlerin yapısı incelenerek hazırlanmış olduğumuz deney protopi üzerinde değerlerin incelenmesi sağlanmıştır. Yaptığımız deney sonucuna göre elde ettiğimiz veriler sayesinde gözlemlediğimiz hesaplamalarda yeterli düzeyde verim elde edilmiştir ve 1.5-2.5 volt gerilimindeki led diyot çalıştırılmıştır. Çalışma esnasında sıcaklık farkı arttığında led'in verdiği ışık parlaklığı da arttığı gözlemlenmiştir. Yapılan deney sonucunda elde edilen değerlerin doğru orantılı olarak etki edildiği görülmüştür.

Termoelektrik jeneratörlerden elektrik üretmeden önce deney seti hazırlanmıştır. Hermetik kombi kullanılarak sistem için gerekli ısı kaynağı sağlanmıştır. Soğuk kaynak içinde şebeke suyundan yararlanılmıştır. 5mm sac kullanılarak 10\*15\*10 cm iki kutu yapılmıştır. Bu kutuların birinden şebekeden gelen sıcak soğuk su, diğerinden ise kombiden gelen sıcak su dolaştırılmıştır. Bu kutuların aralarına TEC1-12706 termoelektrik modüllerden 6 adet yerleştirilmiştir. Yerleştirme öncesi iki kutu arasına ısı transferini engellemesi amacıyla 16 dansite strafor konulmuştur. Daha sonra bu straforun yüzeyine termoelektrik modüller yerleştirilerek, iki kutu arasında temas yüzeyi pürüzsüz bir şekilde termoelektrik modüle teması sağlanmıştır.

Isı transferini arttırmak içinde termoelektrik cihazının üzerine termal macun sürülmüştür. Kombi çalıştırılarak şebekeden gelen 12 °C soğuk su sabit tutularak kombinin ısısı yükseltilmiştir. Kombin sıcaklığı kademeli olarak arttırılarak sıcaklık farkı oluşturulmuş ve bu farka göre gerilim, akım ve güç değerleri ölçülmüştür.

Uygulanmış olan bu deneyi fazla enerji elde edilebilecek yüksek kapasitesi olan termoelektrik jeneratörler kullanılarak, endüstriyel uygulamalarda enerji sağlanması için kullanılabilir. Termoelektrik jeneratörlerin maruz kalabileceği maksimum değerler piyasada mevcut olan birçok çeşide göre değişir. Termoelektrik jeneratörlerin sıcak yüzeyinin 300°C soğuk tarafının da sıfır derecenin altında olan uygulama alanları da vardır.

Termoelektrik modüllerin soğuk olan alanından ısının emilebilmesi, sıcak olan alanından ısının atılması için gerekli olan ısı transfer katsayısı (U) mümkün olduğu müddetçe iyi olmalıdır. Tersisi durumunda ısıl yük termoelektrik cihazın üzerinde yoğunluk gösterir ve fourier ters ısı kaçakları ve joule ısınması sebebiyle soğuk olan tarafın sıcaklığında yükselmesine yol açar. Bu durumun olmaması için sıcak ve soğuk olan yüzeylere ısı transfer katsayısı yüksek olan malzemeler seçilmeli ve ısı transfer alanlarını arttırmalıyız.

Termoelektrik enerji üretimi sesiz, güvenilir, parçalarının hareketsiz olması, temiz enerji olması sebebiyle kullanım alanları gün geçtikçe artmaktadır. Termoelektrik enerji, farklı iş olanakları sunması, ithal yakıt bağımlılığını azaltması, elektriğin zor taşınan yerlerde pratik çözüm olması gibi sosyo ekonomik sorunlara cevap verebilir. Araç radyatörü, sobalar, termal su kaynakları, gazla çalışan su ısıtıcıları, güneş ışınlarının odaklanması gibi atıl olan ısıl kaynaklardan termoelektrik modül sistemleri kullanılarak daha aktif biçimde yararlanılabilir.

Termoelektrik modüllerin günümüzde hala geliştirilmekte olup yakın bir gelecekte daha yüksek verimli uygulamalarını da görebileceğiz. Northwestern Üniversitesinden Mercouri KANATZIDIS önderliğindeki ekip kalay selenür kullanarak dünyanın en verimli termoelektrik malzemelerini geliştirmiştir. Gelecekteki uygulamalarda yapılan bu ısıl çiftler yardımıyla baca ve egzoz gazlarından kaybedilen enerjinin önemli bir kısmı geri kazanılabilecektir.

## KAYNAKLAR

- Anonim (2019a). <https://www.thesisat.org/kombi-cesitleri-kombi-calisma-prensibi.html/> (Son erişim tarihi: 15.05.2019)
- Anonim (2019b). <https://www.youtube.com/watch?v=HIOA8WgLkX8> (Son erişim tarihi: 21.06.2019)
- Ciylan, B. & Yılmaz, S. (2002). Design of a thermoelectric module test system using a novel test method, *International Journal of Thermal Sciences*, 46, 717-725. doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2006.10.008
- Çengel, Y.A. (2011). *Isı ve Kütle Transferi Pratik Bir Yaklaşım*. İzmir Güven Kitapevi
- Dikmen, E. (2002). *Fixing of factors what affects thermoelectric coolers working criteria and fields of use in industry*. (Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Dişlitaş, S. (2002). *Mikrodenetleyici Kontrollü Jeotermal Termoelektrik Jeneratör Tasarımı ve Uygulaması*. (Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Erol, Y., (2015). Termoelektrik jeneratör online. <http://www.elektrik.gen.tr/2015/08/termoelektrik-jenerator/645/6> (Son erişim tarihi: 20.06.2019)
- Inayat, S. B. & Hussain, M. M. (2012). Power generation from thermoelectric system-embedded plexiglas for green building technology, *Appl Nanosci*, 10, 32-39. doi:10.1007/s13204-012-0139-z
- Kılıç, T. (2010). *A Study About Recycling Waste Energy in Buildings By Using Thermoelectric Generators*. (Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Li, M. (2011). *Thermoelectric generator based DC-DC conversion network for automotive applications*, (Master of Science Thesis, KTH Information and Communication Technology, Stocholm-Sweden)
- Luo, Q. H., Tang, G. F., Liu, Z. & Wang, J. (2005). A novel water heater integrating thermoelectric heat pump with separating thermosiphon, *Applied Thermal Engineering*, 12, 408-419. doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2005.01.013
- Wang, W., Cionca, V., Wang, N., Hayes, M., O'Flynn, B. & O'Mathuana, C. (2013). Thermoelectric energy harvesting for building energy management wireless sensor networks, *International Journal of Distributed Sensor Networks-Hindawi*, 23, 1-14 doi.org/10.1155%2F2013%2F232438

Weinberg, F. J., Rowe, D. M. & Min, G. (2002). Novel high performance small-scale thermoelectric power generation employing regenerative combustion systems, *Rapid Communication*, 35, 61-63. [iopscience.iop.org/0022-3727/35/13/102](http://iopscience.iop.org/0022-3727/35/13/102)

Sen, M., (2018). Peltierli sis odası online.  
<https://www.youtube.com/watch?v=m2aHpJJn0ak> (Son erişim tarihi:20.04.2019)

Şahin, A. Z. & Yılbaş, B. S. (2013). Thermodynamic irreversibility and performance characteristics of thermoelectric power generator, *Energy*, 55, 899-904. [doi.org/10.1016/j.energy.2013.03.064](https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.03.064)

Völklein, F., Gao, M. & Rowe, D. M., (1999). Modelling of a micro electro mechanical thermo electric cooler, *Sensor and Actuators*, 75, 95-101. [doi.org/10.1016/S0924-4247\(99\)00002-3](https://doi.org/10.1016/S0924-4247(99)00002-3)



## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mustafa UCAR  
Doğum Yeri ve Yılı : İstanbul, 1982  
Medeni Hali : Evli  
Yabancı Dili : İngilizce  
E-posta : mustafaucarbjk@hotmail.com

### Eğitim Durumu

Lise : İstanbul Pendik Lisesi, 2000  
Ön Lisans : İstanbul Üniversitesi, 2007  
Lisans : Anadolu Üniversitesi, Sosyoloji Bölümü, 2017  
Lisans : SDÜ, Teknik Eğitim Fakültesi, Tesisat Öğretmenliği, 2011

### Mesleki Deneyim

Uçar Mimarlık 2011-2013  
MEB Öğretmen 2013-.....(halen)