

**JEOTERMAL ENERJİ KULLANILARAK TERMOELEKTRİK  
JENERATÖRLE ELEKTRİK ÜRETİMİ**

**Ramazan KAYABAĞI**

**Karabük Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Eğitimi Anabilim Dalında  
Yüksek Lisans Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK**

**Haziran 2009**



*“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildi ini ve sunuldu unu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdi i ekilde, bu çalı madan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptı ımı beyan ederim.”*

Ramazan KAYABA I

## ÖZET

**Yüksek Lisans Tezi**

### **JEOTERMAL ENERJİ KULLANILARAK TERMoeLEKTRİK JENERATÖR İLE ELEKTRİK ÜRETİMİ**

**Ramazan KAYABA İ**

**Karabük Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Eğitimi Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Yrd. Doç. Dr. Kemal ATIK**

**Haziran 2009, 51 sayfa**

Bu çalışmada termoelektrik modüller ile jeneratör uygulaması yapılmıştır. Termoelektrik jeneratör içerisinde sekiz adet modül kullanılmıştır. Termoelektrik modülün bir yüzeyi jeotermal enerji ile ısıtılmış, diğer yüzeyi soğuk suyu ile soğutulmuştur. Elde edilen sıcaklık farkı ile elektrik enerjisi üretilmiştir. Üretilen elektrik enerjisi ile batarya şarj edilmiş ve LED'ler ile aydınlatma yapılmıştır. Termal tesiste yapılan deneylerde bilgisayar kontrollü gerilim, akım ve sıcaklık ölçümü yapılmıştır. Yapılan deney verileri izlenmiş bataryanın şarjı ve LED'lerle aydınlatma gerçekleştirildiği görülmüştür.

**Anahtar Sözcükler :** Termoelektrik Modül, Termoelektrik jeneratör, Termal Verim.

**Bilim Kodu :** 626.11.01

## **ABSTRACT**

**M.Sc Thesis**

### **PRODUCING ELECTRICITY WITH THERMOELECTRIC GENERATOR BY USING GEOTHERMAL ENERGY**

**Ramazan KAYABA I**

**Karabuk University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Mechanical Education**

**Thesis Advisor:**

**Yrd. Doç. Dr. Kemal AT K**

**June 2009, 51 pages**

A thermoelectric generator running on geothermal energy is produced in this study. eight TEC1-12706T125 thermoelectric modules were used in the system to conduct the tests in laboratory conditions by heating one side with hot water, and the other side with the tap water. Electricity was generated by the temperature difference obtained. The electricity produced was wasted on a resistor and the voltage, current, and the temperature of the system were measured. Besides, a battery was charged with the generated electricity and a LED was fed for illumination. It was seen that electric energy can be produced easily and cheaply by this energy type.

**Key Words** : TE modules, TE generator, Thermal efficiency.

**Science Code** : 626.11.01

## TE EKKÜR

Bu ara tırma için beni yönlendiren, karsıla tı ım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile asmamda yardımcı olan de erli Danı man Hocam Yrd. Doç. Dr. Kemal AT K' e, bilimsel ara tırmalarım sırasında her türlü destek ve yardımlarını benden esirgemeyen, Karabük Üniversitesi ara tırma görevlileri Emrah DEN Z ve Engin ÖZBA 'a çalı malarım boyunca bana desteklerini esirgemeyen e im, ailem ve i arkada larıma sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

## Ç NDEK LER

### Sayfa

ÖZET .....	
ABSTRACT .....	
TE EKKÜR .....	V
Ç NDEK LER .....	V
EK LLER D Z N .....	X
TABLolar D Z N .....	X
BÖLÜM 1 .....	1
1.1. G R .....	1
1.2. ÇALI MANIN ÖNEM .....	2
1.3. ÇALI MANIN AMACI .....	3
BÖLÜM 2 .....	4
2.1. L TERATÜR ARA TIRMASI .....	4
BÖLÜM 3 .....	7
3.1 GENEL B LG LER .....	7
3.1.1. SICAK SU KAYNAKLARI .....	7
3.1.1.1. Dünya Rezervleri .....	8
3.1.1.2. Türkiye Rezervleri .....	9
3.1.1.3. Jeotermal Enerjinin Kullanımı .....	12
3.1.1.4. Jeotermal Enerjinin Kullanım Alanları .....	12
3.1.1.5. Jeotermal Enerjinin Üstünlükleri .....	15
3.1.2. YARI LETKENLER .....	16
3.2.1 N ve P tipi yarı iletken kri stallerinde elektron ve elektrik yükü .....	17
3.1.3. TERMOELEKTR K MODÜLLER .....	19

	<b><u>Sayfa</u></b>
3.1.3.1 Termoelektrik Modüllerin Jeneratör Olarak Kullanılması .....	20
3.1.3.2. Sayısal Örnek .....	24
3.1.3.3. Termoelektrik Jeneratörlerin Özellikleri .....	25
<b>BÖLÜM 4 .....</b>	<b>26</b>
4.1.MATERYAL VE METOD .....	26
4.1.1 Isı Değeri .....	26
4.1.2 Termoelektrik modül .....	27
4.1.2.1 Termoelektrik Modüllerin Yerleştirilmesi ve Bağlantıları .....	27
4.1.3 Arz ve Aydınlatma .....	29
4.1.4 Termokupulların bağlantısı .....	30
4.1.5 Kabin .....	31
4.1.6 Maliyet Hesapları .....	33
<b>BÖLÜM 5 .....</b>	<b>34</b>
5.1. ARA TIRMA BULGULARI .....	34
5.1.1. Deney 1.....	37
5.1.2. Deney 2.....	38
5.1.3 Deney 3.....	39
5.1.4 Deney 4.....	39
5.1.5. Deney sonuçlarının Değerlendirilmesi .....	40
<b>BÖLÜM 6 .....</b>	<b>43</b>
6.1. SONUÇ VE ÖNERİLER .....	43
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>44</b>
<b>EK AÇIKLAMALAR A .....</b>	<b>46</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>51</b>



## EK LLER D Z N

### Sayfa

3.1 Jeotermal enerji rezervleri olu umu .....	8
3.2 Türkiye Jeotermal Enerji Haritası .....	11
3.3 Entegre Jeotermal De erlendirme .....	12
3.4 N tipi yarı iletken .....	17
3.5 Termoelektrik modül ekilleri .....	19
3.6 Termoelektrik modül kesit görünü ü .....	20
3.7 Bir termoelektrik modülün jeneratör olara k kullanılması .....	21
4.1 Jeotermal ısı de i tirici .....	27
4.2 TE modüllerin yerle tirilmesi .....	28
4.3 Isı de i tirici yüzeylerin yalıtılması .....	28
4.4 Aydınlatma ve arj devresi .....	29
4.5 Bilgisayar ölçümleri için kullanılan modüller .....	30
4.6 TE jeneratörde malzemelerin kabin içerisine sabitlenmesi .....	31
4.7 TE jeneratörün eması .....	32
5.1 TE jeneratör deneyi .....	36
5.2 Ölçme sisteminde kullanılan programın ara yüzü .....	37
5.2 TE jeneratör için ölçülen sıcaklık de erleri deney 1 grafi i .....	40
5.3 TE jeneratör de ölçülen akım ve gerilim de erleri deney 1 grafi i .....	41
5.4 TE jeneratörden ölçülen sıcaklık farkı ve gerilim de erleri deney 1 grafi i.....	42

## TABLÖLAR D Z N

### Sayfa

3.1. Dünyadaki TE jeneratör kurulu güç .....	13
3.2. Bazı maddelerin Seebeck katsayıları .....	21
4.1. Maliyet raporu .....	33
5.1. Deney 1 ölçüm de erleri .....	37
5.2. Deney 2 ölçüm de erleri .....	38
5.3. Deney 3 ölçüm de erleri .....	39
5.4. Deney 4 ölçüm de erleri .....	39
A.1. Standart termoelektrik modüller .....	47

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

$A$	: Kesit alanı [ $m^2$ ]
$I$	: Devreden geçen akım[A]
$P$	: Güç [W]
$t$	: Thomson katsayısı [ V/K ]
$T_c$	: Modül soğuk yüzey sıcaklığı [ $^{\circ}C$ ]
$T_H$	: Modül sıcak yüzey sıcaklığı [ $^{\circ}C$ ]
$T_{ssg}$	: Sıcak su girişi sıcaklığı [ $^{\circ}C$ ]
$T_{ssç}$	: Sıcak su çıkışı sıcaklığı [ $^{\circ}C$ ]
$T_{sog}$	: Soğuk su girişi sıcaklığı [ $^{\circ}C$ ]
$T_{soç}$	: Soğuk su çıkışı sıcaklığı [ $^{\circ}C$ ]
$T_{do}$	: Dış ortam sıcaklığı [ $^{\circ}C$ ]
$\alpha$	: Seebeck katsayısı [V/K]
$\eta$	:Verim [%]
$\pi$	: Peltier sabiti [V]
$E$	: Açık devre gerilimi (V)
$d$	: Malzeme kalınlığı (m)
$L$	: Malzemenin uzunluğu (m)
$T$	: Mutlak sıcaklık ( $^{\circ}C$ )
$\Delta T$	: Modül soğuk yüzey ile sıcak yüzey arasındaki sıcaklık farkı ( $^{\circ}C$ )
$Q$	: Birim zamanda transfer edilen ısı etkisi (W)
$W$	: Gerekli giriş gücü (W)
$N$	: Termoelement çift sayısı
$\rho$	: Elektriksel direnç ( $\Omega$ )
$U$	: Toplam ısı transfer katsayısı ( $W/m^2 K$ )
$Z$	: Kalite faktörü

- $V$  : Devreden ölçülen voltaj (V)  
 $I_{\max}$  : Maksimum akım (A)  
 $Q_h$  : Alınan ısı (W)  
 $Q_c$  : Atılan ısı (W)  
 $\alpha_{AB}$  : A ve B materyalleri için Peltier sabiti (V)

## **KISALTMALAR**

<i>TE</i>	: Termoelektrik Modül
<i>TEJ</i>	: Termoelektrik Jeneratör
<i>COP</i>	: Performans Katsayısı
<i>DC</i>	: Do ru Akım
<i>AC</i>	: Alternatif Akım

## BÖLÜM 1

### 1.1. G R

Günümüzde her ülkede enerji, geli mi li in ölçütü olarak kabul edilmektedir. Geli mi lik sınırında yer alan ülkemizde, enerji ihtiyacı her geçen gün artı göstermektedir. Ancak çok çe itli enerji kayna ına sahip olmakla birlikte mevcut enerji kaynakları tüketimi kar ılayamamaktadır. Enerji üretiminde tamamen yerli kaynakların kullanılmaması enerjide dı a ba ımlılı ı ortaya çıkarmaktadır. Enerjide dı a ba ımlılık oranı % 75 ula mı bulunmaktadır. Bu ba lamda ülkemiz, enerji kaynaklarını en ekonomik ve maksimum yararlanmayı sa layacak biçimde de erlendirmek ve alternatif enerji kaynaklarını kullanmak zorundadır.

Alternatif enerji kaynaklarından olan jeotermal enerji, tükenebilen enerji kaynakları ile yarı acak düzeyde potansiyele sahip de ildir. Uygun teknolojilerin kullanılması halinde kirlitici etkisi olmayan, yenilenebilir, sürdürülebilir, yerli ve çevre dostu özellikleri ile öne çıkan bir enerji türüdür. Dünyanın olu umu sırasında ortaya çıkan yüksek enerji kendini yer kürede göstermeye devam etmektedir. Yer kürenin merkezinde yer alan magmanın 200.000 °C'ye varan sıcaklı ı jeotermal enerjinin kayna ıdır. Uzun ömürlü ve temiz bir enerji kayna ı olan jeotermal enerji çe itli sahalarda kullanılabilir.

Jeotermal enerjinin elektrik enerjisine dönü türülmesi ( dolaylı kullanım ), ısı enerjisi ekinde kullanılması (do rudan kullanımı) veya endüstri, sa lık ve turizm alanlarında yararlanılması amaçlı çok de i ik teknolojiler söz konusudur. Üstelik bu yöntem ve teknolojilere her gün yenileri eklenmektedir

Jeotermal enerji kullanılarak elektrik enerjisi üretilebilmektedir. Elektrik enerjisi üretmek için, jeotermal alanlarda jeotermal enerji ile elektrik üreten santraller kurulmu tur. Bu santrallerde jeotermal enerji ile elektrik enerjisi üretilmektedir. Santrallerin yanı sıra jeotermal enerjiden sıcaklık farkı olu turularak , termoelektrik

jeneratörler ile elektrik enerjisi üretilebilmektedir. Termoelektrik jeneratörün yüzeylerine uygulanan sıcaklık farkı ile do ru orantılı olarak , TE modüllerin uçlarından gerilim elde edilir. TE jeneratörler jeotermal enerjinin bulundu u her yerde elektrik enerjisi üretebilirler. stenilen gerilim ve akım de erlerinde üretilebilmeleri büyük avantajlarındandır.

## **1.2. ÇALI MANIN ÖNEM**

Dünyadaki genel elektrik üretim sistemlerinin çevresel ve ekonomik etkileri dikkate alındı nda, alternatif enerji kaynaklarına olan ihtiyaç ortaya çıkmaktadır. Kömür, petrol, do algaz, LPG, odun, biyogaz gibi tüm fosil yakıtlar ile hidrolik, rüzgâr, dalga enerjileri gibi enerji temini için kullanılan tüm enerji kaynakları (odun hariç) sınırlıdır. Bu yakıtların 35 yıl (do algaz) ile 200 yıl (kömür) arasında bitirilecekleri tahmin edilmektedir [1].

Nükleer enerji, enerji üretme ve geri dönü üm sırasında çok büyük dikkat istemektedir. Yakıt olarak kullanılan maddeler, nükleer reaktörden çıkarıldıktan sonra, depolandıkları yerlerde yüz yıllarca çevreye radyasyon yaymaya devam etmektedir. Depolama bölgelerinden çevreye yayılan radyasyonun, kimleri ne zaman nasıl ve ne kadar etkileyece i bilinmemektedir.

Jeotermal enerji varlı nı dünyanın kurulu undan bu yana sürdürmü temiz bir enerji türüdür. Her geçen yıl yeni jeotermal alanlar bulunmakta ve kullanım alanları hızla artmaktadır. Enerji maliyetlerinin yükselme e iliminde oldu u günümüzde, jeotermal enerji alternatif kaynak olarak önemi artmaktadır.

## **1.3. ÇALI MANIN AMACI**

TE modüller; peltier etkisi, thomson etkisi veya seebeck etkisi ortaya çıkarabilecek ekilde çalı tırılabilir.

Peltier etkisini gözlemek için termoelektrik modülün ba lantı uçlarına bir do ru gerilim uygulanır. Böylece yüzeylerden biri ısınırken di eri so ur.

Seebeck etkisini gözlemek için harici bir ısı kaynağı yardımıyla modülün bir yüzeyi ısıtılır, diğer yüzeyi ise soğutulur. Yüzeyler arasındaki sıcaklık farkından dolayı modül elektrik üretmeye başlar.

Bu çalışmada; termoelektrik modül yardımıyla, ısı enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren termoelektrik jeneratör uygulaması yapılmıştır. Verimleri çok düşük olarak bilinen modüller, seri olarak bağlanarak ısı denetimi arısına yerleştirilmesi ile kullanım için gerekli olan voltajlara ulaşılmıştır. Kullanılan modül sayısı artırılmak suretiyle, temiz ve kolay elde edilebilen jeotermal enerjinin bulunduğu her yerde elektrik enerjisine dönüştürülmesi mümkündür.

Elektrik enerjisi üretimi, iletimi ve dağıtımı esnasında çok büyük maliyetler olmaktadır. Kurulum, bakım ve onarım masraflarının da eklenmesi ile, elektrik enerjinin kullanım maliyeti artmaktadır. Bakım ve onarım sırasında enerji kesintileri oluşabilmektedir. Gerilim dalgalanmaları ve dış etkenlere bağlı olarak, kullanıcılar sürekli etkilenmekte ve tehdit altında bulunmaktadır. Bu çalışmanın amacı, elektrik enerjisini insanlara uzaklardan ileterek ulaştırmak değildir. Isıtma sistemlerinde herkesin kendi kombisiyle bireysel olarak istediği kadar ısınabildiği gibi; TE jeneratör ile, bireysel olarak kullanılacak elektrik jeotermal enerji ile elde edilebilir. Bu sayede gerilim dalgalanmaları ve enerji kesintileri ortadan kalkacaktır. TE jeneratör sayesinde, bütçemizden her ay enerji masrafları için ayrılan tutar kadar tasarrufla sağlanacaktır.



## BÖLÜM 2

### 2.1. L TERATÜR ARA TIRMASI

Lertsatitthanakorn (2004), yaptı ı çalı mada, soba kullanılan evlerde sobanın ölü kısmında (duvar dönük yüzünde) meydana gelen yüksek sıcaklı ın TE modüllerin sıcak yüzeyine, TE modüllerin di er yüzeyini ise duvara (dı duvar – dı yüzey) yerle tirerek, elde edilen sıcaklık farkı ve bu farktan faydalanan TE modülden elde edilen elektrik enerjisi üzerinde çalı mı lardır. Özellikle küçük gerilimler ile çalı an cihazları (örne in pil ile çalı an cihazları) çalı tırmada kullanabilece i belirtilmi ve bunun analizi yapılmı tır. TEP1-1264-3.4 kodlu TE eleman kullandı ı bu çalı mada farklı elektriki dirençler için en fazla gücü elde etmeye çalı mı tır. 150 °C sıcaklık farkında 2.4 W güç ve % 3.2 verim elde etmi , sistemin geri ödeme sür esini hesaplamı tır [2].

Thomasa [2006], yaptı ı çalı mada, enerji krizi durumlarında kullanılabilecek alternatif yöntemler ve bunların teorilerinden bahsetmi tir. Bu ba lamda üç farklı TE jeneratör için, üretici karakteristiklerini vermi tir [3].

Pramanick [2006], yapmı oldu u çalı mada, TE jeneratörün fiziksel (matematiksel) modellemesini yapmı tır [4].

Eakburanawat [2006], yapmı oldukları çalı mada, ısı enerjisini direkt elektrik enerjisine dönü türen ve bataryayı arj eden bir sistem yapmı tır. Bir mikro kontrolörle maksimum güç noktasını takip ederek, 7.99 W güç elde etmi tir. Kullanılan TE eleman TEP1-1264-1.5' dir. Bu modülü farklı sıcaklıklarda ve dirençlerde denemi tir [5].

Khatab vd. [2006], yapımı oldukları çalı mada, güne enerjisinden yararlanarak TE jeneratörden elektrik elde edilmesi ve bu elektrikle , TE so utma yapılmasını teorik olarak hesaplamı tır. 30° kuzey enlemindeki bir bölge için, bütün yıl ve farklı TE eleman sayıları için so utma gücü hesaplanmı lardır [6].

Nuwayhid vd. [2005], yapımı oldukları çalı mada, bir sobanın yüzeyine yerle tirdikleri TE jeneratörden elektrik enerjisi elde etmi tir. Sıcak kaynak olarak soba, so uk kaynak olarak ise oda havası sıcaklı mın kullanıldı ı çalı mada , elde ettikleri güç yakla ık 4 W'dır [7].

Sun vd. [2005], yapımı oldukları çalı mada, sıvı do al gazın buharlaşmasındaki aldığı ısıdan faydalanarak, TE jeneratörle elektrik enerjisi üretimini analitik ve sayısal yolla hesaplamı tır. Jeneratörün optimum parametrelere göstermektedir [8].

Esarte [2001], yapımı oldu u çalı mada, TE jeneratörler için ısı de i tircisinin modellenmesini yapmı tır [9].

Di lita ve Ahiska (2003), yapımı oldukları çalı mada, yenilenebilir enerji kaynaklarından, jeotermal enerjisini do rudan elektrik enerjisine dönü türen mikro denetleyici kontrollü termoelektrik jeneratör yapılmı ve sistemi test etmi lerdir. Sistemde enerji dönü üümü, termoelektrik modüllerde Seebeck olayının gerçekleşmesiyle sa lanmı tır. Termoelektrik modüllerin sıcaklık farkına ba lı olarak de i en DC gerilim elde edildi inden , elektrik enerjisinin istenen 5V DC, 12 V DC ve 220V AC de erlerinde alınabilmesi amacıyla sistemde akü, regüle devresi ve DC/AC çevirimi kullanılmı tır. Tasarımda PIC16F877 mikro denetleyici kullanılarak, sistemin kontrol sinyalleri düzenlenmi tir. Bu sistem elektrik enerjisinin temiz, kolay ve ucuz bir ekilde kar ılanması yönünden oldukça kullanı lıdır [10].

Van (2005), yapımı oldu u çalı mada, silikon PV modüllerin enerji çıkı larında akım ve voltaj karakteristiklerinin kontrol verilerini elde etmi tir. PV modülün dü ük orandaki (I-V) karakteristikleri kullanılarak, akım ve voltajları ölçülmü tür. Ekim 2001-Kasım 2002 arasında elde edilen sonuçlardan PV modülünün karakteristik (I -V) aktifli inin devam etti i elde edilmi tir [11].



## BÖLÜM 3

### 3.1. GENEL B LG LER

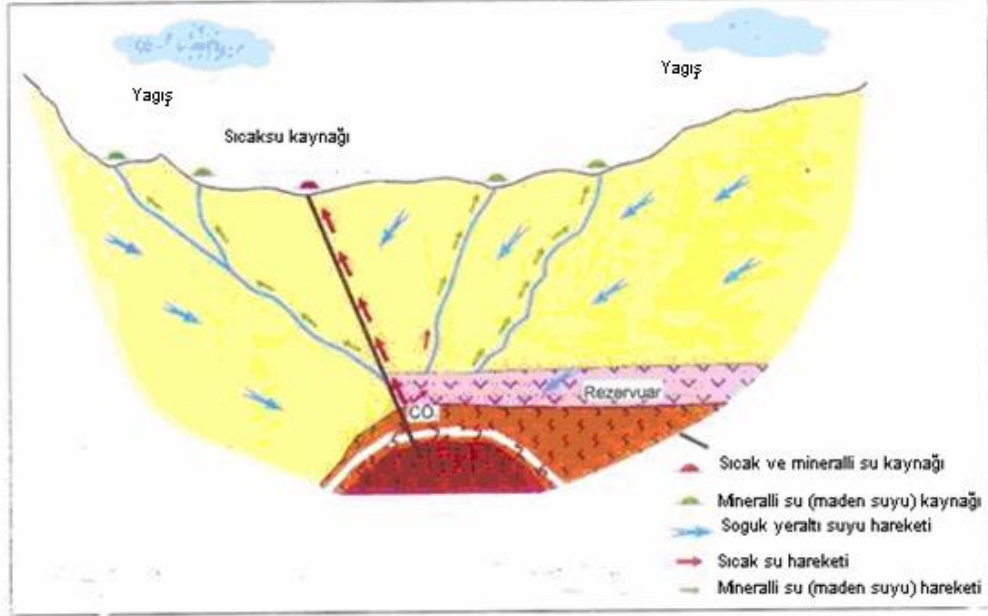
#### 3.1.1. SICAK SU KAYNAKLARI

Jeotermal sular gerek yeryüzünden yeraltına do ru sızarak inen gerekse de magma kaynaklı çıkan sulardır. Jeotermal enerji, yerkabu unun i letilebilir derinliklerinde ola an dı ı olarak birikmi ısının olu turdu u bir enerji türüdür. Bu ısı yeryüzüne do al olarak sıcak su kaynakları ve buhar ekinde veya sondajlarla çıkartıl an sıcak su, sıcak su + buhar ve buhar ekinde ula maktadır. Do ru dan veya ba ka enerji türlerine dönü türülerek de ekonomik olarak kullanılabilir [17].

Yerin derinliklerinde var olan bu ısı kayna ı henüz so umamı bir magma kütlesi veya genç volkanizmayla ilgilidir. Yeraltına sızan meteorik sular, burada gözenekli ve geçirimli özellikleri bulunan hazne kayalarda toplanır. Hazne kayalar üzerinde geçirimsiz örtü kaya vardır. Isı bu ekinde yerkabu unun kırık ve çatlakları boyunca dola an sularla yeryüzüne aktarılabildi inden, hidrotermal sistemler söz konusu olur. Yerkabu u içinde do al su dola ımına izin verecek nitelikte kırık yoksa ve yine de ısı birikimi varsa olu turulacak yapay kırıklar içinde dola tırılacak akı kanlarla yine enerji elde edilmesi mümkündür. Bu sistemlere , kızgın kuru kaya denmektedir [17].

Jeotermal kaynaklar akı kanların sıcaklıklarına ve ta ıdıkları ısı enerjisine ba lı olarak dü ük ısı (akı kan sıcaklıkları 160 °C'den küçük), orta ısı (akı kan sıcaklıkları 160 °C - 190 °C arasında), yüksek ısı (akı kan sıcaklıkları 190 °C'den büyük) olarak ayrılmaktadırlar. Dü ük ve orta ısı kaynaklar özellikle ısıtma amaçlı kullanılırlar. Yüksek ısı jeotermal akı kanının elektrik enerjisi üretiminde kullanımı için yeni teknolojilerin kullanımı arttır. Dü ük ısı akı kanlarının kaplıca-termal uygulamaları için önemlidir. Yüksek ısı akı kanlar ise; elektrik üretimi ve buna ba lı entegre di er i lerde kullanılırlar [18].

Tarihsel ça larda sadece sa lık amacıyla kullanılan jeotermal enerjiden ilk olarak 1904 yılında İtalya'da elektrik üretimi gerçekleştirilmiştir. Dünyada son yıllarda jeotermal enerji kullanımı çok gelişmiştir, 1981 verilerine göre; elektrik üretimi 2462 MW'a ve endüstriyel uygulamalar ve ısıtıcılıkta 6298 termal MW'a ulaşmıştır.



ekil 3.1. Jeotermal enerji rezervlerinin oluşumu [18]

Ülkemizde 1962 yılında MTA Enstitüsü tarafından başlatılan jeotermal enerji araştırmaları ile, Türkiye'nin önemli bir Jeotermal enerji kaynağı içinde bulunduğu ve birçok jeotermal alanın bulunduğu belirlenmiştir. Bu çalışmalarda; jeoloji, jeofizik, jeokimya, jeomorfoloji, sondaj ve çeşitli test yöntemleri uygulanmıştır. Denizli Kızıldağ Jeotermal alanı UNDP (Birleşmiş Milletler Geliştirme Programı) ile ortak proje sonunda ilk geliştirilen alanımız olmuştur [17].

### 3.1.1.1. Dünya Rezervleri

Yerin merkezindeki ısı enerjisi, kötü bir iletken olan yerkabuğundan gayet yavaş bir iletkenlikle yeryüzüne doğru akmaktadır. Bu yavaşlığına rağmen dünyanın her yıl ısısından  $250 \times 10^5$  kcal kadarını bu yolla kaybettiği tahmin edilmektedir. Kaybedilen

bu ısı enerjisinin 35.7 milyar ton ta kömürü e de er oldu u , bu miktarın ise dünyanın yıllık enerji üretiminin 5-7 katı düzeyinde oldu u hesaplanmı tır [17].

Di er yandan dünyadaki toplam jeotermal enerji potansiyelinin  $5 \times 10^{29}$  ton ta kömürü e de er oldu u tahmin edilmektedir. Ancak bugün için ekonomik bakımdan i letilebilir maksimum derinlik olan üç kilometre içerisinde, yerkabu u bu potansiyelin küçük bir bölümünü içerir. Dünya jeotermal akı kanından elde edilebilecek toplam enerji miktarının 1980–2050 yılları arasındaki dönem için en az 100 milyar ton kömüre e de er olaca ı tahmin edilmektedir [17].

### **3.1.1.2. Türkiye Rezervleri**

Türkiye Jeotermal Enerji yönünden ansılı ülkeler arasında yer almaktadır. Aktif faylarla sınırlı grabenler ve yaygın genç volkanizmaya ba lı olarak do al buharın, hidrotermal alterasyonların ve sıcaklı ı yer yer 100 °C'ye ula an 600'den fazla sıcak su kayna mının bulun u Türkiye'nin önemli jeotermal potansiyele sahip oldu unun bir kanıtıdır [18].

1962 yılında MTA Enstitüsü tarafından, bir sıcak su envanter çalı ması olarak ba latılan Türkiye'nin jeotermal enerji ara tırılmasında; jeoloji, jeofizik, jeokimya, jeomorfoloji, sondaj test ve pilot jeotermal santral yapımı çalı maları konusunda oldukça önemli deneyimler kazanılmı tır.

Jeofizik olarak; gravite, özdirenç, ma netik ve sismik çalı malarıyla makro ve mikro tektonik hatlar, üretime elverişli rezervuarların bulun abilece i saha sınırları ve yakla ık derinlikler belirlenmektedir. 1981'e kadar 35050 km<sup>2</sup> gravite, 2301 nokta ve 1598 km<sup>2</sup> özdirenç ölçüm çalı ması tamamlanmı tır. Uygulanan tüm jeofizik anomaliler üzerinde gradyan sondaj yerleri seçilmektedir. Gradyan sondajları, derinlikleri 60–120 m arasında de i en ve belirlenen saha sınırları içinde yer sıcaklı mının de iiminin bulunması nedeniyle yapılan sı sondajlardır. Bu arada elde edilen verilerle Türkiye'nin bir ısı akısı haritası hazırlanmı tır. ( ekil 3.2)

Bu çalımlarla Türkiye'nin a a ındaki önemli jeotermal alanları belirlenmiştir:

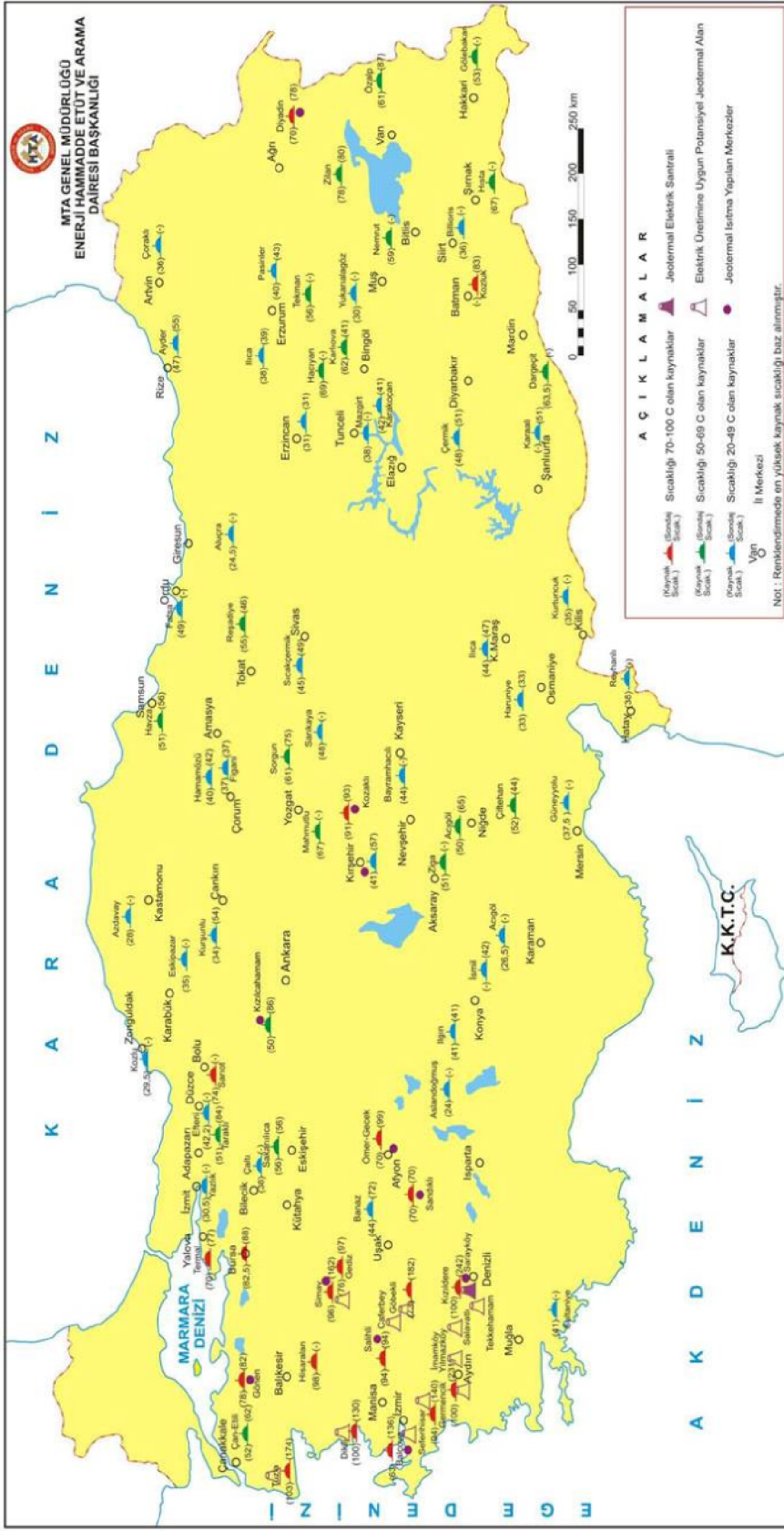
- 1) Denizli Kızıldere jeotermal alanı
  - 2) Aydın Germencik Söke jeotermal alanı
  - 3) Çanakkale Tuzla jeotermal alanı
  - 4) İzmir Seferihisar jeotermal alanı
  - 5) İzmir A a Memnun jeotermal alanı
  - 6) Afyon Geçek jeotermal alanı
  - 7) Nevşehir Acıgöl jeotermal alanı
- ve diğer jeotermal alanlardır

Bugüne kadar bulunan jeotermal alanların % 95'i ısıtma amaçlı uygulamalar için uygun sıcaklıkta olup 30 derecenin üzerinde toplam 140 jeotermal alan Türkiye sathına da ılmı olmakla birlikte ço u Batı, Kuzeybatı ve Orta Anadolu'da toplanmıştır [18].

Aydın Germencik Söke Jeotermal Alanı, Denizli Kızıldere Jeotermal Alanı ve Nevşehir Acıgöl Jeotermal Alanı kuyu sıcaklıklarına göre yüksek ısı alanları olup özellikle elektrik üretimi ve entegre ısıtma için uygundur.

Türkiye'de yeteri kadar jeotermal kuyu açılmamıştır. 140 jeotermal alana karşılık açılan kuyu sayısı 200 olup dünya standartlarına göre oldukça azdır. Bu potansiyelin ortaya konulması için daha çok kuyu açılması gerekmektedir. Aramaların geliştirilmesi ile jeotermal potansiyelde önemli artışlar beklenmektedir [18].

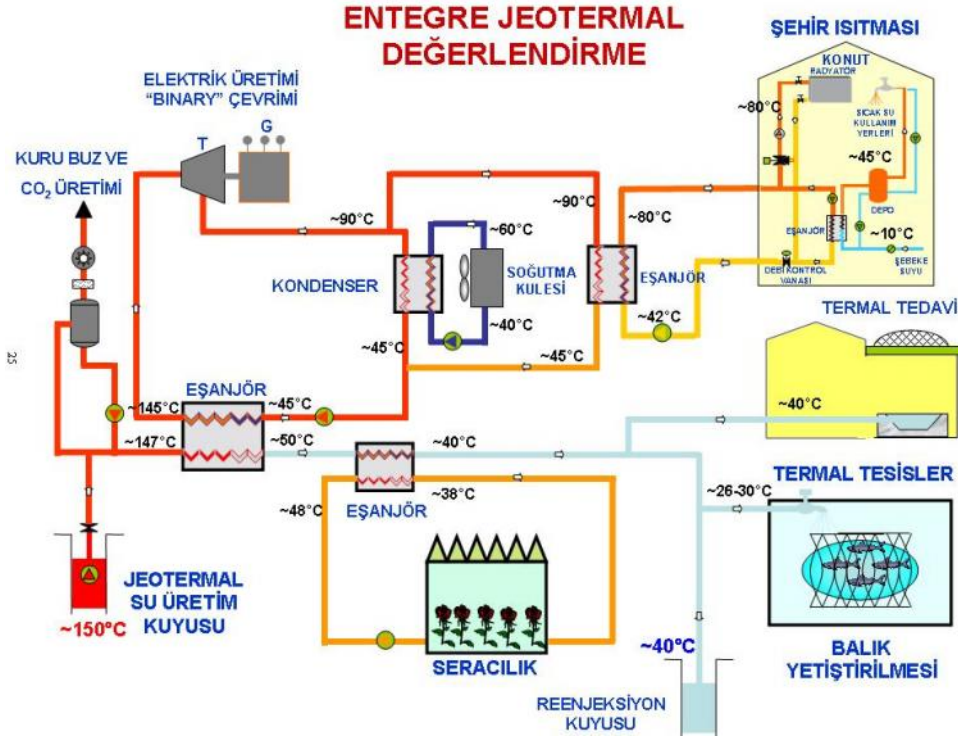
# TÜRKİYE JEOTERMAL ENERJİ KAYNAKLARI





### 3.1.1.3. Jeotermal Enerjinin Kullanımı

Yeryüzüne ula an (sondajlarla veya do al olarak) buhar ve sıcak suyun içerd i enerjiden, do rudan ısıtma ya da ba ka enerji türlerine dönü türülerek yararlanılmaktadır.



ekil 3.3. Entegre jeotermal enerji kayna ı de erlendirme eması

### 3.1.1.4. Jeotermal enerjinin kullanım alanları

- 1) Elektrik enerjisi üretimi
- 2) Isıtma
  - a) Seraların ısıtılması
  - b) Tropikal bitki yeti tirme
  - c) Binaların ve kentlerin merkezi ısıtılması ve sıcak su kullanımı
  - d) Toprak, cadde vb. ısıtma
  - e) Hava alanı pistlerini ısıtma

f) Yüzme havuzu, fizik tedavi vb. ısıtma

3) Çe itli endüstriyel uygulamalar

olarak sınıflandırılabilir.

Tablo 3.1. Dünyadaki TE jeneratör kurulu güç

<b>ÜLKE</b>	<b>1999 (MW)</b>
ABD	2850
F L P NLER	1901
MEKS KA	743
TALYA	742
YEN ZELANDA	364
JAPONYA	530
ENDONEZYA	589
EL SALVADOR	110
N KARAGUA	70.0
ZLANDA	110
KENYA	45
Ç N	32.5
TÜRK YE	20
RUSYA	11
FRANSA	5
PORTEK Z	16
TAYLAND	0.3
GUATEMALA	5
KOSTAR KA	120
ETYOPYA	8.5
ARJANT N	0.7
AVUSTRALYA	0.4
TOPLAM	8274

Jeotermal enerji, yer kabuğunun çeşitli derinliklerinde olduğu birikmiş ısının olduğu bir enerji türüdür. Bu ısı yeryüzüne doğal olarak sıcak su kaynağı ve buhar veya sondajlarla sıcak su, sıcak su-buhar ve buhar şeklinde ulaştırılmaktadır. 1962 yılından bu yana MTA Enstitüsünde yapılan Jeoloji, Jeofizik, Jeokimya, Jeomorfoloji, sondaj ve test çalışmaları sonunda Türkiye'nin jeotermal enerji olanakları açısından çok zengin ülkeler arasında olduğu belirlenmiştir.

İlk uygulama olarak Denizli - Kızıldere'de 500 kW'lık pilot türbin ve 3000 m'lik pilot sera ısıtmacılığı baranlı sonuçlar vermiş, 20 MW'lık elektrik üretim santrali TEK tarafından kurulmaya başlanmıştır. Bunun yanı sıra her birinin kapasitesi en az Kızıldere'nin kapasitesi kadar olduğu saptanan yaklaşık 15 jeotermal alanın sondaj amaçlarına gelinceye kadar tüm etütleri yapılmış durumdadır.

Eldeki verilerle yapılan bir envanter çalışmasına göre; en az toplam 4500 MW kapasiteli elektrik üretim santralının kurulup işletilebileceği saptanmıştır. Bu kapasite halleri ülkemizde elektrik üretimi yapan tüm santrallerin toplam kapasitesine eşdeğerdir. Elektrik üretiminin yanı sıra doğrudan ısı enerjisi şeklinde kullanımda (kent ısıtması, tarımsal yada endüstriyel uygulamada) ise yine en az 31100 termal MW'lık bir enerji sağlanabileceği hesaplanmıştır. Bu enerji ile 150.000 dönüm yerin ısıtılabilmesi, 6.000.000 ton ürün elde edilebilmesi ve ülke ekonomisine önemli bir katkıda bulunabileceği anlaşılmıştır [17].

Jeotermal enerjinin maliyetinde %50-80 oranındaki düşük maliyet, tükenmezlik, yenilenebilirlik, devreye girme çabukluğunun ve yurdumuz düzeyindeki olumlu iklimin yanı sıra ulusal enerji kaynağı olması ve özellikle elektrik dağıtım uygulamalarında; ulusal teknolojinin yeterli olabilmesi, Türkiye'nin bu yeni enerji kaynağının araştırılması ve işletilmesine gereken önem vermesi gerektiğini göstermektedir. Jeotermal enerji artan enerji gereksinimimiz ve geleceğimiz için çok önemli bir enerji potansiyelidir [17].

### 3.1.1.5. Jeotermal Enerjinin Üstünlükleri

Yerli enerji kaynaklarımızdan olan jeotermal enerjinin , yurdumuzun içinde bulundu u enerji darbo azı da göz önüne alındı ında, enerji aç ının kar ılanmasında petrole olan ba ımlılı ın azaltılmasında ve döviz kaybının önlenmesi için öncelikle de erlendirilmesi gerekmektedir. Jeotermal enerji hidrolik, güne , rüzgar vb gibi tükenmez enerji gurubundandır . Bu nedenle er ya da geç tükenirli i olan kömür, petrol do al gaz, bitümlü ist, nükleer enerji kaynaklarına oranla çok uzun ömürlüdür [19].

Jeotermal enerjinin maliyeti gerek elektrik üretiminde, gerekse ısıtma yönünden di er kaynaklardan üretilen enerji maliyetine oranla %50-80 daha ucuzdur. Bu oran gün geçtikçe artmaktadır.

Fosil ve nükleer kaynaklı enerji üretimlerine kıyasla , çok daha az ve genellikle kabul edilebilir sınırlar içerisinde kalan bir ölçüde çevre sorunlarına neden olur. Jeotermal enerjide özellikle elektrik d ı ı uygulamalarda ulusal teknoloji kolaylıkla geli tirilebilir. Genellikle elektrik aç ının fazla oldu u Batı ve Kuzeybatı Anadolu'da yüksek ısılı elektrik üretimine elveri li kaynaklar, Orta ve Do u Anadolu'da ise ısıtma amacıyla dü ük ısılı kaynaklar bulunmaktadır. Arama sondajları aynı zamanda üretim sondajı olabildi inden uygulamaya geçi süresi kısadır.

Jeotermal enerjinin yenilenebilirli i, tükenmezli i ve bunlara ba lı olarak maliyetinin di er enerji türlerine göre %50–70 oranında ucuz olması, devreye girme çabuklu u, ülkemiz düzeyinde olumlu da ılımı, ulusal enerji kayna ımız olması, özellikle elektrik d ı ı uygulamalarda ulusal teknolojinin yeterlili i di er enerji kaynaklarına göre önemini göstermektedir [20]

### 3.1.2. YARI LETKENLER

Elektrik akımının bir de ere kadar akmasına izin vermeyen , bu de erden sonra sonsuz küçük direnç gösteren maddelere yarı iletken denir . Yarı iletkenler periyodik cetvelde 3. ve 5. gruba girerler. Bu demektir ki son yörüngelerinde elektron alı cılı ı veya vericili i iletkenden az, yarı iletkenden fazla olmalıdır. Iletkenler; Pt, Ni, Au, Cu, Al, Fe gibi elementlerdir. Yalıtkanlar; Ebonit, Cam, Tahta, Su , Yarı iletkenler; S, Ge, Br, In ve benzerleridir.

Yeryüzündeki bütün maddeler, atomlardan ol u mu tur. Atom ise ortada bir çekirdek ve bunun etrafındaki de i ik yörüngelerde hareket eden elektronlardan olu maktadır. Elektronlar, negatif elektrik yüküne sahiptirler. Bir etkime yolu ile atomdan ayrılan elektronların bir devre içerisindeki hareketi, elektrik akımını olu turur. Elektronların her madde içerisindeki hareketi aynı de ildir. Elektron hareketine göre maddeler; iletkenler, yalıtkanlar ve yarı iletkenler olarak üçe ayrılır.

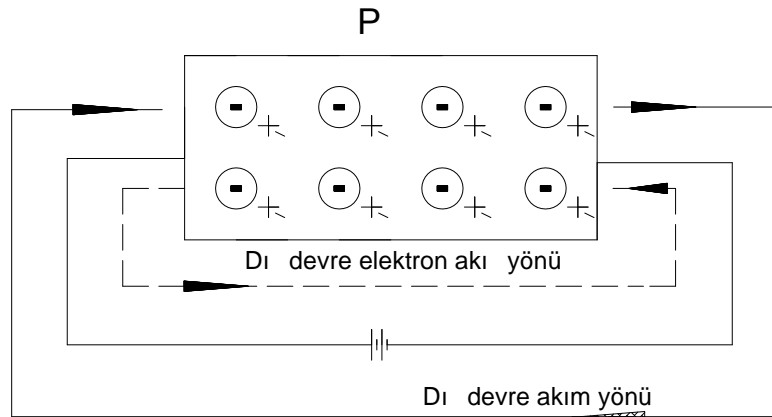
Iletkenler; elektrik akımını iyi iletirler, atomların dı yörüngesindeki elektronlar çekirde e zayıf olarak ba lıdır. Isı, ı ık ve elektriksel etki altında kolaylıkla çekirdekten ayrılırlar. Metaller, bazı sıvı ve gazlar iletken olarak kullanılır. Metaller, sıvılara ve gazlara göre daha iyi iletkenlerdir. Metaller de, iyi iletken ve kötü iletken olarak kendi aralarında gruplara ayrılırlar. Atomları 1 valans elektronlu olan metaller, iyi iletkenlerdir. Buna örnek olarak, alt ın, gümü , bakır gösterilebilir. Bakır tam saf olarak elde edilmedi inden, altın ve gümü e göre biraz daha kötü iletken olmasına ra men, ucuz ve bol oldu undan, en çok kullanılan metaldir. Atomlarında 2 ve 3 valans elektronu olan demir (2 dı elektronlu) ve alüminyum (3 dı elektronlu) iyi birer iletken olmamasına ra men, ucuz ve bol oldu u için geçmi yıllar da kablo olarak kullanılmı tır.

Yalıtkanlar; elektrik akımını iletmeyen maddelerdir. Bunlara örnek olarak cam, mika, ka ıt, kauçuk, lastik ve plastik maddeler gösterilebilir. Elektronları atomlarına sıkı olarak ba lıdır. Bu maddelerin dı yörüngedeki elektron sayıları 8 ve 8 'e yakın sayıda oldu undan çekirdekten uzakla tılmaları zor olmaktadır.

Yarı iletkenler; iletkenlik bakımından iletkenler ile yalıtkanlar arasında yer alırlar, normal halde yalıtkandırlar, ancak ısı, ışık ve magnetik etki altında bir miktar valans elektronu serbest hale geçer, yani iletkenlik özelliğini kazanırlar. Bu şekilde iletkenlik özelliğini kazanması geçici olup, dış etki kalkınca elektronlar tekrar atomlarına dönerler. Tabiiatta basit eleman halinde bulunduğu gibi laboratuarda bile iki eleman halinde de elde edilir. Yarı iletkenler kristal yapıya sahiptirler, yani atomları kübik kafes sistemi denilen belirli bir düzende sıralanmıştır. Bu tür yarı iletkenler, yukarıda belirtildiği üzere; ısı, ışık etkisi ve gerilim uygulanması ile belirli oranda iletken hale geçirilerek ve içlerine bazı özel maddeler katılarak iletkenlikleri artırılmaktadır. Katkı maddeleriyle iletkenlikleri artırılan yarı iletkenlerin elektronikte ayrı bir yeri vardır. Bunun nedeni elektronik devre elemanlarının üretiminde kullanılmalarıdır.

### 3.1.2.1. N ve P tipi yarı iletken kristallerinde elektron ve elektrik yükü

N tipi yarı iletken kristaline gerilim uygulandığında, kristal içerisindeki serbest elektronlar, şekil 3.4'de gösterilmiştir. Gerilim kaynağının pozitif kutbunun çekme kuvveti ve negatif kutbunun itme kuvveti etkisiyle, kaynağın pozitif (+) kutbuna doğru akar. Bu arada, kaynağın negatif (-) kutbundan çıkan elektronlar da kristale doğru hareket eder. Akımın bir devredeki yönü bakımından, yönün önemi yoktur. Ancak bazı devre hesaplarında yönü belirtmek gerekebilir. Böyle bir durumda "+" --> "-" yönü pozitif yön ve "-" --> "+" yönü negatif yön alınır.



Şekil 3.4. N tipi yarı iletken [21]

P Tipi kristalde pozitif elektrik yükünün (oyuk) hareketi "Pozitif elektrik yükü" (oyuk) bir elektron gibi hareket etmemektedir. Ancak anlatım kolaylığı bakımından, hareket ettiği kabul edilmiştir. Katkı maddesi olmayan, Ge ve Si atomlarının kovalent bağlarını kırarak bir elektronunu almak çok zor olduğu halde, katkı maddesi bu işlemi kolaylaştırmaktadır. Bir gerilim uygulandığında akım iletimi sağlanmaktadır. P tipi bir kristale ekil 3.4 'deki gibi bir gerilim kaynağı bağlanırsa şu gelişmeler olmaktadır.

1. Durum: Kaynağın pozitif kutbuna yakın bulunan ve bir elektronunu katkı maddesine vererek "+" elektrik yüklü hale gelmiş olan Ge ve Si atomu, kaynağında çekme kuvveti yardımıyla, bir sonraki atomun kovalent bağını kırarak, 1 elektronunu alır. Ancak, dengesi bozulmuş olan atom bu elektronu sıkı tutamayacağından, kaynağın pozitif kutbunun çekme kuvveti etkisine kapılan elektron atomdan ayrılarak kaynağa doğru hareket eder.

2. Durum: Bir elektronunu kaybeden ikinci atom da ondan sonraki atomun elektronunu alır.

3. Durum: Böylece, elektron bir atomdan diğerine geçecek ve son atom da kaybettiği elektronu kaynağın negatif kutbundan alacaktır.

4. Durum: Tekrar birinci duruma dönüşmekte ve olay devam etmektedir. Sıra ile bir elektronu kaybeden her bir atom, pozitif elektrik yüklü hale geldiğinden pozitif elektrik yükü (oyuk) hareket ediyormuş gibi olmaktadır. Her ne kadar pozitif elektrik yükü, yani bu yükü taşıyan atom, elektron gibi bir noktadan kalkıp, diğerine doğru hareket edemese de, art arda oluşan "+" elektrik yüklü atomlar, "+" elektrik yükünün (oyunun) hareket ettiği görüntüsünü vermektedir. Böyle bir açıklama ekli, diyotların ve transistörlerin çalışma prensibini daha kısa yoldan anlatımını sağlamaktadır. Elektronların atomdan atoma geçişi, hareket hızını düşürdüğünden P tipi kristaldeki akım hızı N tipine göre daha yavaştır.

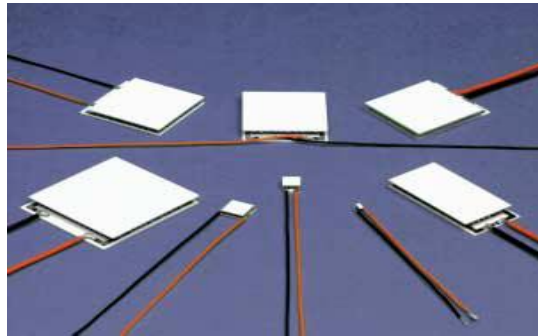
P tipi kristale bir gerilim kaynağı bağlansın. P tipi kristaldeki akım iletimi de N tipi kristale benzer şekilde açıklanır. Gerilim kaynağı, N tipi kristaldeki elektronları nasıl

etkiliyorsa, P tipi kristalde de pozitif elektrik yüklerini benzer şekilde etkiledi idi ünlür. öyle ki: Gerilim kaynaının "+" kutbu, kristaldeki "+" elektrik yüklerini iter ve "-" kutbu da çeker. Böylece, "+" elektrik yükleri, şekilde oklar ile gösterilmiştir oldu u gibi, kaynaının negatif kutbuna doğru hareket eder. Bu hareket devreden bir akımın akmasını sağlar. Devredeki akımın oluşumu, bu şekilde kısa yoldan açıklanmıştır olmaktadır. Ancak pozitif elektrik yüklerinin hareketi yalnızca kristal içerisinde kalmaktadır. D1 devrede hareket eden yine elektronlardır.

D1 devrede elektronların hareket yönü, yine kurallara uygun olarak kristalden kaynaının "+" kutbuna ve kaynaının "-" kutbundan kristale doğrudur. D1 devre akım yönü de yine kurallar gereğince, kaynaının "+" kutbundan çıkıp, "-" kutbuna doğru olan yöndür [20].

### 3.1.3. TERMOELEKTRİK MODÜLLER

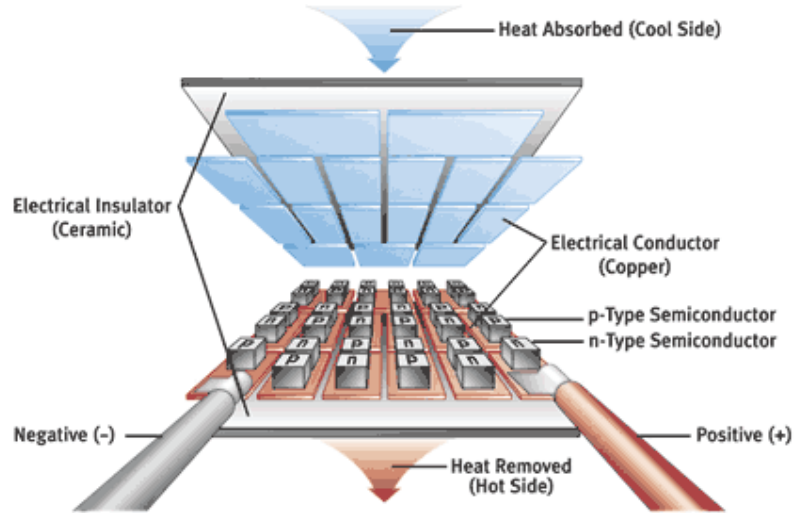
Termoelektrik modüller; TE soğutucu, TE jeneratör veya Peltier diye adlandırılabilir. TE soğutucular, küçük bir ısı pompası gibi çalışan yarıiletkenlerdir. Bir doğru akım kaynaından sağlanan küçük bir voltaj sayesinde, ısı modülün bir ucundan diğerine doğru hareket eder. Böylece modülün bir yüzü ısınırken, diğeri de eş zamanlı olarak soğumaya başlar. Bu olay, doğru akım kaynaının artı ve eksi kutuplarının yer değiştirmesiyle tersine çevrilebilir (şekil 3.6). Bir termoelektrik modülü, kullanım amacına göre ısıtıcı veya soğutucu olarak kullanılabilir, peltier modüller çeşitli şekillerde ve ölçülerde şekil 3.5'deki gibi imal edilmektedirler.



şekil 3.5. Termoelektrik modül şekilleri [22]



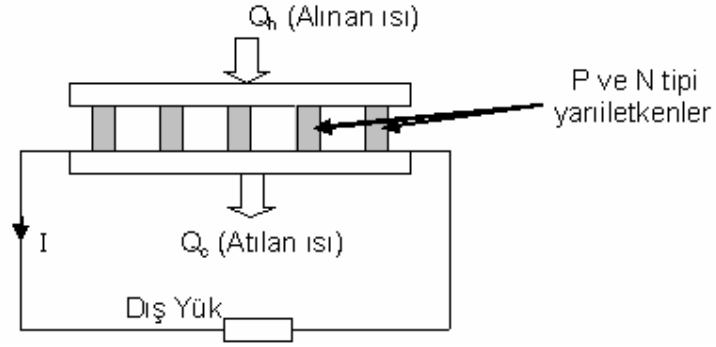
Modülün so uk kısmı maksimum sıcaklık farkına ula tı nda, ısı pompalanması kesilir ve ısı pompası özelli ini kaybeder (verim sıfıra dü er). Bu yüzden  $-5^{\circ}\text{C}$  ile  $-15^{\circ}\text{C}$  arasında kullanımı en verimli olur. Sıcaklık bu noktada en yüksek de eri  $\Delta T$ 'ye ula ır. Bu noktada termoelektrik so utucular, en yüksek ısı pompalama kapasitelerine ula ırlar. Termoelektrik so utucular, evde kullandı ımı z buzdolaplarıyla aynı termodinamik yasalara göre çalı ır, ama bazı farklılıklar ta ır. Buzdolabında kullanılan dondurucu gazın yerini, bir yarıiletken alır. Yo u turucu da bir ısı transfer elemanıya yer de i tirir. Ayrıca kompresörün yerini de do ru akım kayna ı alır ve elektronların yarıiletken nesneden geçmesini sa lar. Maddenin so uk tarafında, elektron hareketi sayesinde ısı so urulur ve sıcak uca gönderilir. Sıcak olan uca ısı transfer elemanı ba landı ı için, ısı, ısı transfer elemanından çevreye verilir [23].



ekil 3.6. Termoelektrik modül kesit görünü ü [23]

### 3.1.3.1. Termoelektrik Modüllerin Jeneratör Olarak Kullanılması

Jeneratör olarak kullanılan bir termoelektrik modülün yapısı ve karakteristik de erleri ekil 3.7' de gösterilmi tir.



ekil 3.7 Bir termoelektrik modülün jeneratör olarak kullanılması

Termoelektrik modülde geçerli olan etkiler ve ba ıntıları u ekildedir:

ki farklı metalden olu an kapalı bir devrede birle me noktaları farklı sıcaklıklarda bulunursa, bu yüzeyler arasına Jeul etkisi, Feuer etkisi, Peltier etkisi ve Seebeck etkisi geçerli olur. Bazı maddelerin Seebeck katsayıları (Tablo 3.2)

Tablo 3.2. Bazı maddelerin Seebeck katsayıları

Madde	Seebeck Katsayısı	Madde	Seebeck Katsayısı	Madde	Seebeck Katsayısı
Alüminyum	3.5	Altın	6.5	Germanyum	300
Antimon	47	Demir	19	Potasyum	-9.0
Bizmut	-72	Kursun	4.0	Selenyum	900
Kadmiyum	7.5	Cıva	0.60	Silikon	440
Karbon	3.0	Nikrom	25	Sodyum	-2.0
Konstantan	-35	Platin	0	Tellür	500

Seebeck etkisi; farklı iki malzemeden oluşan bir devrede, iki jonksiyon (birleşme) farklı sıcaklıklarda olduğunda, malzeme uçlarında ölçülen gerilimin sıcaklık farkıyla orantılı olduğunu ifade eder (Seebeck etkisi denklem 6.1).

$$V = \alpha \Delta T \quad (6.1)$$

Denklemden; V: Devrede oluşan gerilim (V),  $\alpha$ : Seebeck katsayısı (V/K),  $\Delta T$ : Sıcaklık farkı(K).

Peltier etkisi; TE modülde soğuk ve sıcak yüzeyde ortaya çıkan ısının devreden geçen akımla orantılı olduğunu gösterir (Peltier etkisi denklem 6.2).

$$Q_p = \pi I \quad (6.2)$$

Denklemden;  $Q_p$ : Peltier ısısı (W),  $\pi$ : Peltier sabiti (V), I: Devreden geçen akım(A). (Denklemden peltier sabiti 6.3).

$$\pi = T \quad (6.3)$$

Denklemlerinde hesaplanır.

Thomson Etkisi: Seebeck ve Peltier etkileri arasındaki ilişkiyi verir. Böyle bir devrede oluşan ısı hem elektrik akımına hem de sıcaklık gradyanına bağlıdır (Thomson etkisi denklem 6.4).

$$Q_t = t I \Delta T \quad (6.4)$$

Denklemden; t: Thomson katsayısı ( V/K ),  $\Delta T$  : letkenin uçları arasındaki sıcaklık farkı (K), I: letken üzerinden geçen akım şiddeti (A)

Jeul etkisi: devreden geçen akım sonucu ortaya çıkan ısı enerjisidir (Jeul etkisi denklem 6.5).

$$Q_t = I^2 R \quad (6.5)$$

Denklemdede; R: TE modül'ün direnci ( $\Omega$ ), I : Devreden geçen akım (A)

Feuer etkisi; ise iki yüzey arasındaki sıcaklık farkından dolayı iletim le olan ısı geçi ini ifade eder (Feuer etkisi denklem 6.6).

$$Q = UA \Delta T \quad (6.6)$$

Denklemdede; U: Toplam ısı transfer katsayısı ( $W/m^2K$ ), A: Kesit alanı ( $m^2$ ),  $\Delta T$  : Sıcaklık farkı (K)

Bütün bu etkiler bir arada yazılırsa; N adet çiftten olu an bir termoelektrik jeneratörde sıcak yüzeyden emilen ısı miktarı (Denklem 6.7)..

$$Q_{sıcak} = 2N(\alpha_{sıcak} - \rho/2G + k) T_G \quad (6.7)$$

So uk yüzeyden atılan ısı miktarı (denklem 6.8);

$$Q_{so uk} = 2N(\alpha_{so uk} - \rho/2G + k) T_G \quad (6.8)$$

Denklemdede; N: Termoelektrik çift sayısı,  $\alpha$ : Seebeck katsayısı (Volt/K),  $T_{so uk}$ : so uk yüzey sıcaklı ı (K),  $T_{sıcak}$ : sıcak yüzey sıcaklı ı (K), G: ekil faktörü (Alan/Uzunluk, cm),  $\rho$ : Elektriksel Direnç ( $\Omega$ )

Devredeki gerilim(denklem 6.9);

$$V = 2N \alpha T \quad (6.9)$$

Optimum verim için dı direncin iç dirence e it alınması gerekir. Bu durumda gerilim yarıya dü ecektir

Elde edilen akım: (denklem 6.10);

$$=VG / 2pN \quad (6.10)$$

Termoelektrik modülün ürettiği elektrik enerjisi (denklem 6.11);

$$P = Q_{\text{sıcak}} - Q_{\text{soğuk}} \quad (6.11)$$

Veya (denklem 6.11)

$$P = V \quad (6.12)$$

e itli iyle bulunur.

TE jeneratörün verimi ise alınan elektriksel gücün; harcanan ısı güce oranıdır (denklem 6.13).

$$= P / Q_{\text{sıcak}} \quad (6.13)$$

### 3.1.3.2. Sayısal Örnek

TE jeneratörde üretilen gücün sıcaklık farkı ( $\Delta T$ ) ile nasıl değiştiğine bakalım.

(11) nolu e itlikte (7) ve (8) nolu ısı de erleri yerlerine yazılırsa (denklem 14);

$$P = 2N \left( T - I^2 p / G \right) \quad (14)$$

Burada; I nın kar ılı (10) nolu e itlikten yazılırsa (denklem);

$$P = N^2 T^2 - N^2 I^2 / 2G \quad (15)$$

Denklemden (16);

$$C = N^2 - N^2 I^2 / 2G \quad (16)$$

Sabit bir de er olmak üzere;

$$P=C T^2 \quad (17)$$

Yani TE jeneratörden elde edilecek güç; yüzeyler arasındaki sıcaklık farkının karesiyle orantılıdır. Yüzey sıcaklığı  $T_1$  ve  $T_2$  sıcaklıklarının güce olan etkisini bulmak için; güç  $P$  ile  $T_1$  sıcak yüzey sıcaklığına göre türevi alınır (denklem);

$$\frac{\partial P}{\partial T_{\text{sıcak}}} = 2C T \quad (18)$$

Güç  $P$  ile  $T_2$  soğuk yüzey sıcaklığına göre türevi alınır (denklem);

$$\frac{\partial P}{\partial T_{\text{soğuk}}} = -2C T \quad (19)$$

elde edilecektir. Yani her iki yüzey sıcaklığının etkisi, aynı seviyede fakat ters işaretli olmaktadır.

### **3.1.3.3. Termoelektrik Jeneratörlerin Özellikleri**

TE jeneratörler hareketli parçalar içermezler, ağırlımlı ve sessiz çalışırlar. Küçük, hafif ve portatiflerdir. Kolay ve ekonomik ısıtma, soğutma, elektrik üretme özelliklerine sahiptirler. Uzun ömürlüdürler ve bakım gerektirmezler. Her pozisyonda ve yerçekimsiz ortamda çalışabilirler. Her formda, tekilde imalatları mümkündür. Yerinde elektrik üretir ve doğaya zarar vermez

## BÖLÜM 4

### 4.1. METARYAL VE METOD

Termoelektrik jeneratör içinde, jeotermal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren TEC1-12706T125 kodlu 8 adet TE modül kullanılmıştır. Isı de i tircinin birinden jeotermal su di erinden musluk suyu geçirilerek TE modülün elektrik üretmesi için gerekli olan sıcaklık farkı oluşturulmuştur. Sistemin sıcaklık ölçümleri için 7 adet termokupl, gerilim ölçümleri için 125  $\Omega$  luk direnç kullanılmıştır. Bütün ölçümler bilgisayar ile kayda alınmıştır.

Deneyde üretilen elektriğin depolandığı iki adet birbirine seri bağlı batarya ve 20 LED'li aydınlatma kullanılmış olup, anahtar kontrollü arj veya aydınlatma yapılabilmektedir.

Deneyde ısı de i tirciler, termoelektrik modül, termokupl, batarya, LED'ler, kabin ve di er malzemeler kullanılmıştır.

#### 4.1.1. Isı De i tirci

Isı de i tirci 4x4x35 cm ölçülerinde dikdörtgen olarak imal edilmiştir ( ekil 4.1). Isı de i tirciler; profil demirden imal edilmiş, kenarları metal malzeme ile kapatılmış ve kaynakla metal malzemeye boru delikleri açılmıştır. Açılan boru deliklerinin her iki tarafına; 1'er adet 30 cm uzunluğunda, 1/2" (parmak) çapında boru ilave edilmiştir. Boruların uçlarına sıcak ve soğuk su bantları için di ler açılarak, kullanıma hazır hale getirilmiştir. Isı de i tircilerinin birer yüzeyi, frezeden geçirilerek yüzeyler pürüzsüz hale getirilmiştir. Aynı yüzeyler 100'lük zımpara ile zımparalanarak tala tan temizlenmiş ve pürüzsüz hale getirilmiştir. Bu sayede yüzeyler ısı geçiğine elverişli hale getirilmiştir.



ekil 4.1. Jeotermal ısı de i tirici

#### **4.1.2. Termoelektrik Modül**

TE jeneratör içinde TE1-12706T125 kodlu 8 adet TE modül kullanılmı tır. Seri olarak ba lantıları yapılan modüller ısı de i tiriciye yerle tirilmi tir. Isı de i tirici içerisindeki TE modüllerin bir yüzeyini jeotermal enerji(sıcak su) ile ısıtılacak, bir yüzeyini ebeke suyu ile so utulacak ve sıcaklık farkı elde edile cektir. Sıcaklık farkı TE modül yüzeylerinde olu turuldu unda, TE modül bir jeneratör gibi elektrik üretmeye ba layacaktır.

##### **4.1.2.1. Termoelektrik Modüllerin Yerle tirilmesi ve Ba lantıları**

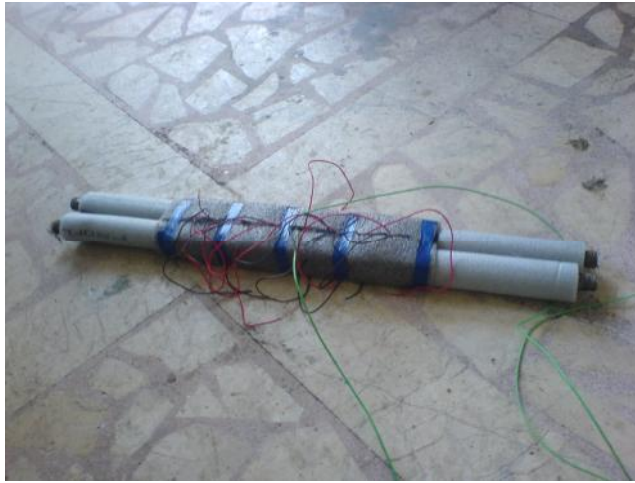
TE modüller ısı de i tirici yüzeyine yerle tirilmeden önce, zımp aralanmı olan ısı de i tirici yüzeyi temizlenmelidir. Isı de i tiricilerin yüzeyine, bo luk kalmaması ve ısı geçi inin sa lıklı olması için termal macun sürülmelidir. TE modüllerin aynı yüzeyi üstte kalacak ekilde ısı de i tiricinin yüzeyine yerle tirilm elidir. Isı de i tiricinin üst kısmı TE modüllerin üzerine yerle tirilerek sabitlenmelidirler ( ekil 4.2).





ekil 4.2. TE modüllerin yerle tirilmesi

TE modüller kaymaması için izole bantla ısı de i tiricilere geçici olarak sabitlenmiştir. Isı de i tiricinin yüzeyleri, yüzey ısı yalıtım malzemesiyle kaplanmalıdır. Isı de i tiriciye bağlı boruların yüzeyleri, boru ısı yalıtım malzemeleriyle kaplanmalıdır ( ekil 4.3). Isı yalıtım malzemesi ısı kayıplarını azalttı ı gibi e anjörden ısının geçip elektronik devreye ulaşmasını ve kabini ısıtmasını da engelleyecektir.

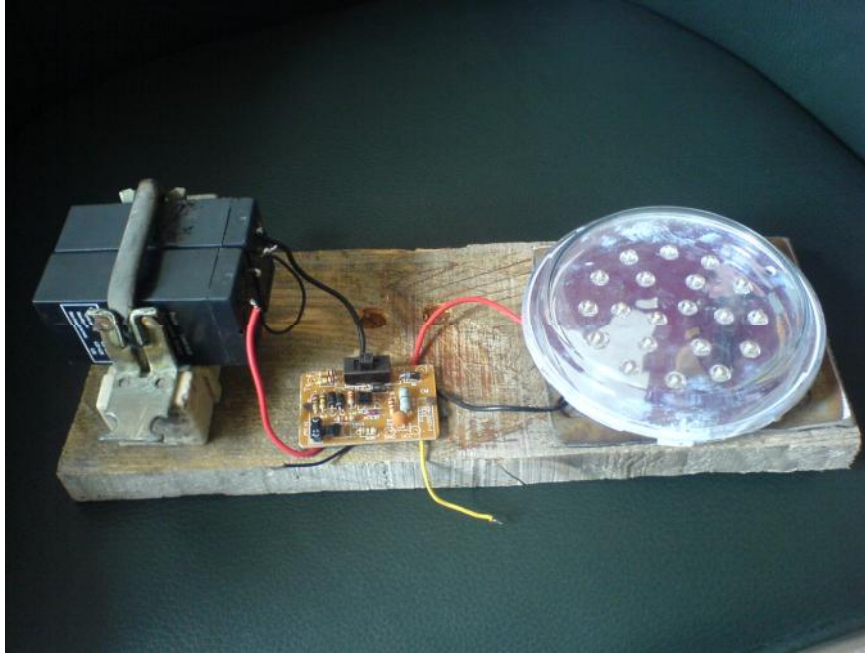


ekil 4.3. Isı de i tirici yüzeylerin yalıtılması

TE modüllerin, kırmızı ve siyah kabloları birbirini takip edecek şekilde seri olarak bağlantıları yapılmıştır. Bağlantıları yapılan uçlar lehimlenerek bağlantı sabitletilmiş ve izole bantla elektriksel yalıtımı yapılmıştır. Bağlantıları gerçekleştirilen kablolar bir araya getirilerek kabine sabitletilmiştir. TE Modüllerden verilerin alınacağı uçlar belirlenerek sabitletilmiş ve kabine dışına bırakılmıştır.

#### 4.1.3. Şarj ve Aydınlatma

Tasarımı tamamlanmış olan TE jeneratör'de üretilen elektrik enerjisi; kullanıma hazır mı, 4 V 2 adet bataryayı şarj eder mi, 20 adet LED ile aydınlatma yapabilir mi gibi sorulara yanıt aranmıştır. Şekil 4.4 te görüldüğü gibi bir elektronik kullanım devresi hazırlanıp anahtarla kontrol edilmiştir. Aydınlatma devresinde 20 adet LED bulunmaktadır ve 7 V giriş ile çalışmaktadır. Bataryalar, sistemdeki üretilen elektrik (8-9) V'a çıktığında şarj olabilmektedir. Sistemde elektrik kesildiği an devreye bataryalar girmekte ve bataryadan 8 V çıkışı ile aydınlatma devresini beslemektedir. Sistemde bataryaların kullanılması enerjinin devamlılığını sağlar.



Şekil 4.4. Aydınlatma ve şarj devresi

#### 4.1.4. Termokuplların Ba lanı 1



ekil 4.5. Bilgisayar ölçümleri için kullanılan modüller

Termokupllar deney a amasında sıcaklıkların ölçülmesi ve kaydedilmesi için kullanılmı tır. Bir adet ortam sıcaklı 1, bir adet sıcak su giri sıcaklı 1, bir adet sıcak su çıkı sıcaklı 1, bir adet so uk su giri sıcaklı 1, bir adet so uk su çıkı sıcaklı 1, bir adet ısı de i tirici sıcak yüzey sıcaklı 1 ve bir adet ısı de i tirici so uk yüzey sıcaklıkları kaydedilmi tir. Sıcaklıkların de i mesiyle beraber de i en, gerilim ve akım de erlerinin de i imi gözlemlenmi tir. Ölçüm programı Vıcuai BASIC 6.0'da hazırlanmı tır. Ölçme sisteminde ADAM-4019+ modüller kullanılmı tır. Ölçme sisteminden ölçülen bütün de erler, Microsoft Office Excel ile kayda alınmı tır.

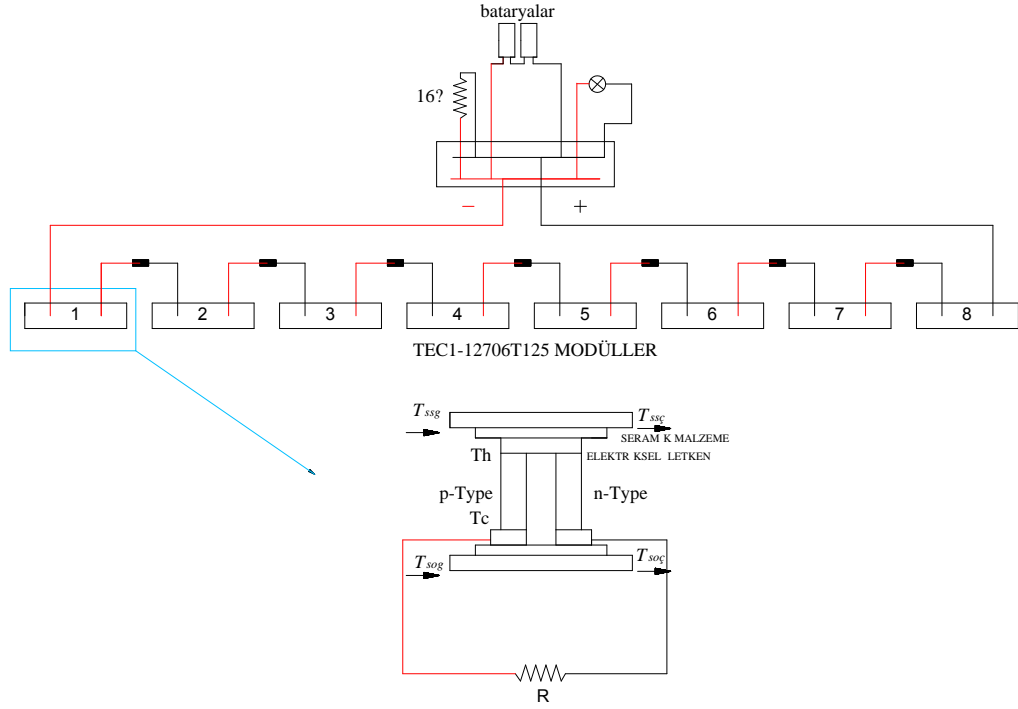
#### 4.1.5. Kabin

Isı de i tirici bölümü, direnç devresi, aydınlatma ve arj devresi bir kabin içerisine yerleştirilmiştir olup dışarıdan sıvılara ve darbelere karşı korunmuştur. Isı de i tiriciler iki adet çekme yayı ile sabitlenerek iki yüzey arasındaki boşluklar ortadan kaldırılmıştır. Kabin içerisinde aydınlatma ve arj devresi yalıtkan malzeme üzerine sabitlenmiştir ( Şekil 4.6).



Şekil 4.6. TE jeneratörde malzemelerin kabin içerisine sabitlenmesi

Kabin içerisine yerleştirilen elektronik kısım ölçme ve gözlemlemeye uygun yerleştirilmiştir. Isı de i tiriciler de direkt olarak sıcak su ve soğuk su debekesine bağlanmıştır yapılabılır hale getirilmiştir.



ekil 4.7. TE jeneratörün eması

Sekiz adet modülün birbirine seri ba landı ı devrede iki adet çıkı ucu alınmı tır ( ekil 4.7). Çıkı uçları direnç, arj ve aydınlatma devresine ba lanmı tır. Direnç devresinde modüllerin iç direncine e it 16 dı direnç ba lanmı tır. TE jeneratöre ba lanan bu dı direnç sistemde maksimum akımın ölçülmesi için kullan ılmı tır. arj devresinde 4 V ile çalı an iki adet batarya birbirine seri olarak ba lanarak yerle tirilmi tir. arj gerilimi dü ük olması durumunda bir adedi devre dı ı bırakılabilir. Aydınlatma devresine 20 adet LED yerle tirilmi tir. LED'le rin çalı ma gerilimi (5–10) V arasında de i im göstermektedir. ekil 4.7'nin açılım emasında; profilin bir ucundan sıcak su girer ve di er ucundan dı arıya bırakılır. Deney düzene i sisteme ba lı ise ebekeye devam eder. Sıcak suyun ısısı modülün bir yüzeyine bırakılmı olur. Di er profile giren so uk su, profilin çıkı ndan dı arıya bırakılır. Profilden dola an so uk su ısısını modülün so uk yüzeyine bırak ır. Olu an yüzeyler arası sıcaklık farkı, do ru orantılı olarak TE jeneratörde elektri e dönü mektedir. Üretilen elektrik enerjisi direnç, arj ve aydınlatma devresinde harcanmaktadır.

#### 4.1.6. Maliyet Hesapları

Tablo 4.1 Maliyet raporu

<b>Maliyet Raporu</b>			
Malzemenin Adı	Birim Fiyat (TL)	Adedi	Toplam Fiyat (TL)
TE Modül (TEC1-12706T125)	35	8	280
Profiller ve Borular	10	-	15
Termokupl	6	15m	90
Termal Macun	6	1	6
Sabitleme Vidaları	0.1	30	3
USB (data kablosu)	30	1	30
Çekme Yay	1	2	2
Rekor	0.5	4	2
Yalıtım Malzemesi (düz-boru)	1-5	-	5
Esnek Ba lantı Borusu	4	3	12
Batarya	5	2	10
Ledli sistem	10	1	10
Elektronik Kısım ( malzeme)	15	-	15
Kabin	10	1	10
Ölçme sistemi üniversiteden alınmıştır	-	-	-
Diğer	-	-	19
Toplam	-	-	510

TE jeneratör imalatı tamamlanmış ve üretilen elektrik aydınlatma, arj ve direnç devresinde harcanmıştır. TE jeneratörde sekiz adet modül kullanılmıştır. E anjör profil demirden yapılmış olup eklenen borular galvanizli su borusudur. Isı iletkenliği

için termal macun kullanılmı tır. Yalıtım malzemesiyle ısı yalıtımı yapılan sistem çekme yayı ile gerdirilmi ve vidalarla sabitlenmi tir. Esnek ba lantı boruları eklenerek sistem her yerde kullanılabilir hale gelmi tir. Elektronik kısım LED’li aydınlatma, arj devresi, anahtar devresi ve direnç devresinden olu maktadır. Sistem kabin içersine yerle tirilmi tir.

## BÖLÜM 5

### 5.1. ARA TIRMA BULGULARI

Jeotermal enerji ile elektrik enerjisi üretecek olan TE jeneratörün imalatı tamamlanmıştır. Tamamlanan çalışmanın deneyleri, gerçek gücünü bulabilmek için jeotermal alanlarda yapılmalıydı. Gerekli izinlerin verilmemesi üzerine, jeotermal alanlarda düşünülen deneyler laboratuvar şartlarında yapılmıştır.

TE jeneratörden maksimum gücü alabilmek için iç direnç ve dış direnç belirlenmiştir. Sisteme sıcak su bağlantısı ve soğuk su bağlantısı yapılarak kullanıma hazır hale gelmiştir. Sistemin sıcaklık ölçümleri için termokupllar ADAM 4019+ modülüne bağlanarak bilgisayar ile sıcaklık kaydı yapılmıştır. Aynı zamanda bilgisayardan gerilim ve akım değerleri de okunmuştur.

Programlama kısmı görsel programlama dili olan Visual BASIC 6.0'da hazırlanmıştır. Aynı zamanda programın çalışması esnasında 1 saniyede bir veri kaydı yapılmıştır.

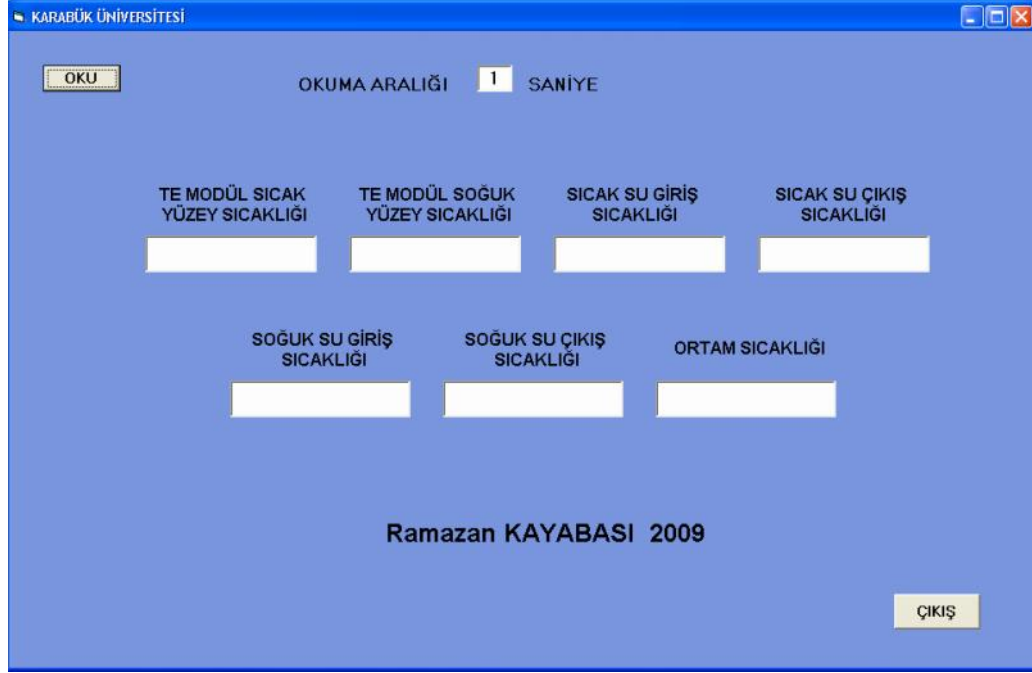
Sıcak ve soğuk suyun birlikte açılması ile beraber, deney programı çalıştırılmaya başlanmıştır. Ekranda gözüken verilere göre sıcaklık farkı 10 °C ulaştığında gerilim değeri 5 V'a yaklaşmakta ve LED'ler aydınlatmaya başlamaktadır. Gerilim değeri sıcaklık farkı arttıkça orantılı bir şekilde artı göstermektedir. Bataryanın çalışması için gerekli olan 8 V gerilimi sıcaklık farkı 15 °C'ye ulaştığında sağlanmaktadır. TE jeneratör ile LED'li aydınlatma sisteminin çalıştırılması deneyi ekil 5.1'de verilmiştir.





ekil 5.1. TE jeneratör ile LED’li aydınlatma sisteminin çalıştırılması deneyi

Deney süresince her saniye yedi ayrı yerden ölçüm alınmıştır. Deneyde ölçme sisteminde kullanılan programın ara yüzü ekil (5.2) de verilmiştir. ( $T_H$ ) modül sıcak yüzey, ( $T_C$ ) modül soğuk yüzey, ( $T_{ssg}$ ) Sıcak su giri sıcaklığı, ( $T_{ssç}$ ) Sıcak su çıkı sıcaklığı, ( $T_{sog}$ ) Soğuk su giri sıcaklığı, ( $T_{soç}$ ) Soğuk su çıkı sıcaklığı, ( $T_{do}$ ) dış ortam sıcaklığı, ve jeotermal enerjiden elde edilen gerilim (V), değerleri ölçülmüştür. Deneyde gerilim değerleri, iç dirençle birlikte 16 ohm dış direnç devreye bağlanırken elde edilen verilerdir. TE jeneratör’ün çalışma gerilimi 8 V ile 15 V arasında değerler alabilmektedir. Ölçme sisteminde kullanılan programın ara yüzü ( ekil 5.2) de verilmiştir.



ekil 5.2. Ölçme sisteminde kullanılan programın ara yüzü

### 5.1.1. Deney 1

Tablo 5.1. Deney 1 ölçüm de erleri

Ba lama Saati	$(T_H)$ (°C)	$(T_C)$ (°C)	$(T_{ssg})$ (°C)	$(T_{ssç})$ (°C)	$(T_{sog})$ (°C)	$(T_{soç})$ (°C)	$(T_{do})$ (°C)	Akım (A)	Gerilim (V)
16:11:00	23.7	21.1	44.7	38.3	17.2	17.9	24.6	0.135	2.2
16:11:30	25.9	21.1	59.5	54.8	17.3	17.6	24.4	0.181	2.9
16:12:00	32.0	23.4	67.8	65.3	17.5	17.8	24.5	0.243	3.9
16:12:30	34.2	24.6	69.0	67.0	17.6	18.2	24.3	0.275	4.4
16:13:00	36.1	24.7	69.5	67.7	17.7	18.3	24.3	0.300	4.8
16:13:30	37.2	24.8	69.3	67.6	17.8	18.5	24.3	0.325	5.2
16:14:00	37.8	24.9	69.8	67.7	17.9	18.6	24.5	0.350	5.6
16:14:30	38.4	25.3	69.8	67.9	18.0	18.8	24.8	0.362	5.8
16:15:00	38.3	25.5	70.2	67.8	17.8	18.6	25.0	0.375	6.0
16:15:30	38.2	24.9	70.1	68.1	17.7	18.6	24.7	0.381	6.1
16:16:00	38.4	24.8	70.6	68.3	17.7	18.4	24.7	0.400	6.4

İlk yapılan deneyde (Tablo 5.1) sıcak su giri sıcaklığı (44.7–70.6) °C arasında değişirken, soğuk su giri sıcaklığı (17.2–17.7) °C arasında değişim göstermektedir. Buna bağlı olarak TE modül sıcak yüzey sıcaklığı (23.7–38.4) °C arasında değişirken, TE modül soğuk yüzey sıcaklığı (21.1–24.8) °C arasında değişim göstermektedir. TE modül yüzeyleri sıcaklıklarına orantılı olarak elektrik üreten modüller (2.2–6.4) V arası değerlerde gerilim üretmektedirler. Gerilim değerlerine bağlı olarak 0.135–0.400 A arası akım değerleri alınmaktadır.

### 5.1.2. Deney 2

Tablo 5.2. Deney 2 ölçüm değerleri

Ölçüm Saatleri	$(T_H)$ (°C)	$(T_C)$ (°C)	$(T_{ssg})$ (°C)	$(T_{ssç})$ (°C)	$(T_{so})$ (°C)	$(T_{soç})$ (°C)	$(T_{do})$ (°C)	Akım (A)	Gerilim (V)
16:53:40	35.0	25.2	42.4	41.5	20.0	20.7	23.4	0.193	3.1
16:53:55	36.6	24.8	55.3	48.2	19.0	21.8	23.4	0.243	3.9
16:54:10	37.1	24.3	62.1	56.7	19.0	21.2	23.3	0.306	4.9
16:54:25	38.3	23.8	65.5	61.7	19.9	20.1	23.5	0.275	4.4
16:54:40	39.9	23.7	70.3	67.7	19.3	20.7	23.3	0.293	4.7
16:55:55	44.2	23.5	71.1	56.8	18.0	19.2	23.4	0.287	4.6
16:56:10	40.1	23.9	68.2	55.0	17.7	19.0	23.5	0.281	4.5
16:56:25	38.0	23.8	62.8	60.9	18.0	19.0	23.4	0.256	4.1
16:56:40	40.2	24.3	71.9	69.5	17.7	18.8	23.1	0.412	6.6
16:57:55	45.0	24.3	75.0	72.7	17.5	18.4	23.5	0.593	9.5
16:58:10	44.3	24.3	76.3	74.7	17.2	18.1	23.4	0.431	6.9

Deney 2 de ölçüm zaman aralığı 1 saniyedir. Kayda aldığımız zaman aralığı deney başlangıcında 15 s'dir. İkinci deneyde (5–6) V aralığında LED'ler aydınlatmaya başlamaktadırlar. Deneylerde, giriş suları sıcaklıkları ebekeye, ebeke ile TE jeneratör arasındaki bağlı borudan dolayı değişebilmektedir. Jeotermal tesisteki su debisini yakalayamadığımızdan dolayı, verim jeotermal tesiste artacaktır. Debi 3.5 l/dk olarak ölçülmüştür.

### 5.1.3. Deney 3

Tablo 5.3. Deney 3 ölçüm de erleri

Ölçüm Saatleri	$(T_H)$ (°C)	$(T_C)$ (°C)	$(T_{ssg})$ (°C)	$(T_{ssç})$ (°C)	$(T_{sog})$ (°C)	$(T_{soç})$ (°C)	$(T_{do})$ (°C)	Akım (A)	Gerilim (V)
17:12:20	39.7	24.0	64.0	62.3	18.1	19.5	22.8	0.193	6.2
17:12:30	40.2	23.5	63.8	62.2	18.1	19.5	22.8	0.243	6.9
17:13:00	37.7	24.9	62.6	60.6	18.8	20.4	22.8	0.306	5.9
17:13:30	36.1	25.6	62.4	59.7	18.6	20.1	23.0	0.275	5.4
17:14:00	35.2	25.8	63,0	60.1	18.5	19.9	22.9	0.293	5.5

Deney 3'te ölçüm zaman aralığı 1 saniyedir. Kayda aldığımız zaman aralığı başlangıçta 10 s. sonrası 30 s'dir. Deney 3'te sıcak su debisi 3.5 l/dk olarak ölçülmü tür. Soğuk su debisi 2.5 l/dk olarak ölçülmü tür. Sıcak su debisi soğuk su debisinden yüksek olduğunda  $T_H$  ve  $T_C$  de erleri artmaktadır.  $T_H$  ve  $T_C$  de erlerine bağlı olarak, ölçülen gerilim ve akım de erleri doğru orantılı olarak artı göstermektedir.

### 5.1.4. Deney 4

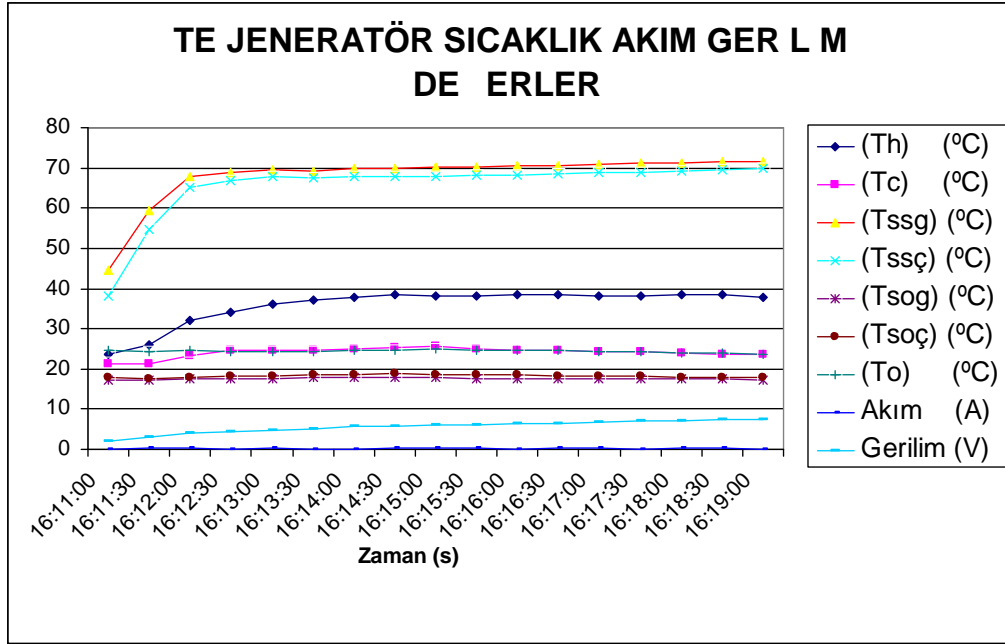
Tablo 5.4. Deney 4 ölçüm de erleri

Ölçüm Saatleri	$(T_H)$ (°C)	$(T_C)$ (°C)	$(T_{ssg})$ (°C)	$(T_{ssç})$ (°C)	$(T_{sog})$ (°C)	$(T_{soç})$ (°C)	$(T_{do})$ (°C)	Akım (A)	Gerilim (V)
16:57:50	60.5	32.3	76.4	74.4	17.1	17.9	23.4	0.468	7.5
16:58:00	50.2	32.0	76.3	74.6	17.0	17.8	23.4	0.450	7.2
16:58:10	49.7	31.9	76.2	74.8	17.0	17.8	23.4	0.387	6.2
16:58:30	50.9	31.6	76.3	74.7	16.9	17.7	23.4	0.356	5.7
16:58:50	44.8	30.5	76.2	75.1	16.8	17.6	23.8	0.468	7.5
16:59:10	45.2	30.0	76.2	75.1	17.0	17.6	24.0	0.568	9.1

Deney 4'te ölçüm zaman aralığı 1 s'dir. Kayda aldığımız zaman aralığı (10–30) s'dir. Deney 4'te maksimum sıcak su girişi sıcaklığına ulaşılmı bulunmaktadır.  $T_{sg}$  76,2 °C sıcaklığına ulaştığında  $T_{soğ}$  17 °C sıcaklıkta bulunmaktadır. Oluşan sıcaklık farkı arttıkça akım ve gerilim değerleri artı göstermektedir.

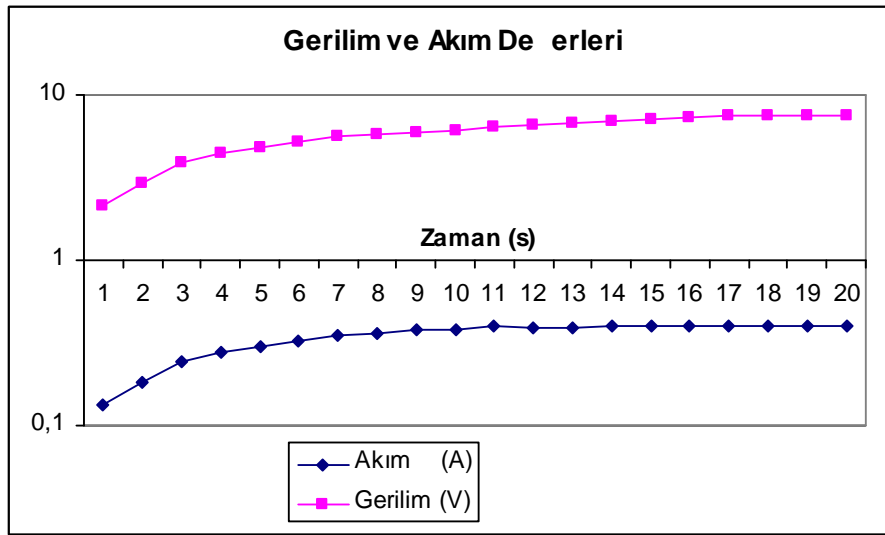
### 5.1.6. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Deneyde ölçülen sıcaklıklar; ( $T_H$ ) modül sıcak yüzey sıcaklığı, ( $T_C$ ) modül soğuk yüzey sıcaklığı, ( $T_{sg}$ ) Sıcak su girişi sıcaklığı, ( $T_{sç}$ ) Sıcak su çıkışı sıcaklığı. ( $T_{soğ}$ ) Soğuk su girişi sıcaklığı, ( $T_{soç}$ ) Soğuk su çıkışı sıcaklığı ve ( $T_{do}$ ) dı ortam sıcaklığıdır. Jeotermal enerjiden elde edilen gerilim (V) değerleri ve akım (A) değerleri ölçülmüştür. Ölçülen bütün değerlerin (ekil 5.3) orantılı olarak arttığı gözlemlenmektedir.



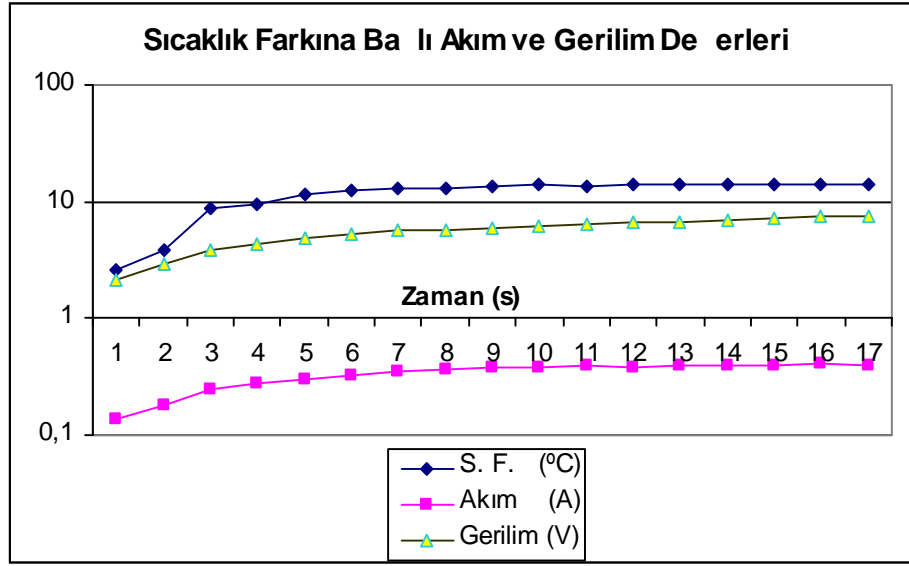
ekil 5.3. TE jeneratör için ölçülen sıcaklık değerleri deney 1 grafiği

Deney 1'den elde edilen verilere göre yukarıdaki grafik oluşturulmuştur. Grafik incelendiğinde, ısı denetiricinin yüzey sıcaklıkları jeotermal su ve kullanım suyuna bağlı olarak görülmüştür. Gerilim ve akım değerleri sıcak su ve soğuk su giriş sıcaklıklarına orantılı olarak değişim göstermektedir. Jeotermal su ile kullanım suyu arasındaki sıcaklık farkı oranında, yüzeyler arası sıcaklık farkı olmaktadır. Yüzeyler arası sıcaklık farkı ile, gerilim ve akım değerleri orantılı olarak artmaktadır. Havanın sıcaklığı mevsimlere göre değişim gösterebilmektedir. Havanın sıcaklığının değişimi, kullanım suyu sıcaklığını deşirebilmektedir. Bunun kayda alınabilmesi için, farklı zamanlar ve mevsimlerde deneyler yapılmalıdır. Kullanım suyu hangi kaynaktan alınıyorsa, kaynağın çıkışı sıcaklıkları deney verileri etkileyecektir.



Şekil 5.4. TE jeneratör de ölçülen akım ve gerilim değerleri deney 1 grafiğidir.

Gerilimi ölçmek için TE jeneratör ucuna seri olarak 16 Ω'lık direnç bağlanmıştır. Akım değerleri  $U=I.R$  formülünden yararlanılarak hesaplanmıştır. Deney 1'den elde edilen gerilim ve akım değerleri grafiğine göre, gerilim ile akım değerleri doğru orantılı olarak artışı göstermektedir. Gerilim değeri sabitlenmeye başladığında, akım değeri de sabitlenmektedir. Grafikteki değerler sisteme direnç bağlı olarak ölçülen verilerdir. Sistemden dirençler kaldırılırsa gerilim değeri yükselmekte, buna bağlı olarak akım değeri düşmektedir.



ekil 5.5. TE jeneratörden ölçülen sıcaklık farkı ve gerilim de erleri deney 1 grafi i

Isı de i tirici yüzeyleri arasındaki sıcaklıklar termokupllar ile ölçülmü tür. TE modül sıcak yüzey ve so uk yüzey sıcaklıkları, birbirinden çıkarılarak sıcaklık farkı bulunmu tur. Sıcaklık farkına ba lı akım ve gerilim de erleri grafi in de görülmektedir ki; sıcaklık farkı arttıkça üretilen gerilim ve akım de erleri artmaktadır ( ekil 5.5). Jeotermal enerjinin çıkartıldı ı jeotermal alanlarda, çıkı sıcaklı ı farklılık gösterebilmektedir. Sıcaklık farkının yüksek olması, üretilen elektri i direk etkileyece inden dolayı; yüksek ısılı çıkan jeotermal sular, elektrik üretmeye elveri li sulardır. Bu yüksek ısıya sahip suların, çıkı de erlerine ba lı tasarımlar gerçekleştirilmeli ve imalatlar yapılmalıdır. Temiz ve ucuz olan jeotermal enerjinin elektrik enerjisine verimli dönü türülmesi, bu enerji türünü cazip hale getirecektir.

## BÖLÜM 6

### 6.1. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışmamızın yapıldığı yerdeki jeotermal su sıcaklık değerleri, TE jeneratörün çalışmasına elverişli olduğu gözlemlenmiştir. Sistemde kullanılan jeotermal su ve kullanım suyu giriş ve çıkış sıcaklıkları ölçülmüştür. Ortam sıcaklığı, modül yüzey sıcaklıkları ve mevcut sistem debisi ölçülmüştür.

Bu çalışmamızda, yaptığımız portatif TE jeneratörle elektrik üretimi gerçekleştirilmiştir. TE jeneratörle üretilen elektrik LED'li aydınlatma sistemini çalıştırmıştır. Gerilim ve akım değerlerini ölçmek için, dirençler üzerinden ürettiği elektrik harcanmıştır. TE jeneratör çalıştırıldığında, modül yüzeyleri sıcaklık farkı yükselmeye başlamaktadır. Modül yüzeylerinde oluşan sıcaklık farkı 10 °C ulaştığında, gerilim değeri 5 V'a çıkmakta ve aydınlatma gerçekleşmektedir. Modül yüzeyleri sıcaklık farkı arttıkça gerilim ve buna bağlı akım değerleri yükselmektedir. Gerilim değerleri sıcaklık farkına bağlı olarak 9 V'a kadar çıkmaktadır. Sıcaklık farkı değerlerine orantılı olarak gerilim ve akım değerleri yukarı ve aşağı yönlü değişim gösterebilmektedir.

TE jeneratörler jeotermal enerji ile çalışabildikleri gibi motor bloklarındaki atık ısı, egzoz gazı atık ısı, soba ve kazan yüzeyleri ısı, merkezi ve bireysel ısıtma sistemleri suyu ısıtılabilmektedir. Güneş enerjisinin odaklanması ile elde edilen enerji modüllerin sıcak yüzeyi için kullanılabilir. Sıcak yüzeyler için suda çözünür suyu ile soğutma, hava ile soğutma ve cebri soğutmalar kullanılabilir.

Modül sayısı artırılarak elde edilecek enerji, bireysel kullanımda isteklere cevap verebilecek verimdedir. Fotovoltaik piller gibi fabrikasyon amaçlarına gelinirse, piyasada yer alması mümkündür. Farklı ebat ve boylarda tasarlanarak farklı ihtiyaçlara cevap vermesi mümkündür.



## KAYNAKLAR

1. Uyarel, Y., Öz, E. S., “Güne enerjili su ısıtma sistemlerinin tekno-ekonomik analizi” Harran Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Van, 4: 667-671 (1987).
2. Lertsatitthanakorn. C., “Electrical performance analysis and economic evaluation of combined biomass cook stove thermoelectric (BITE) generator”. Bioresource Technology (2006).
3. Thomasa. J.P., Qidwai. M.A., Kellogg. J.C. “Energy scavenging for small-scale unmanned systems”. Journal of Power Sources, 159: 1494–1509 (2006).
4. Pramanick. A.K., Das. P.K. “Constructal design of a thermoelectric device”, International Journal of Heat and Mass Transfer, 49:1420–1429 (2006).
5. Eakburanawat. J., Boonyaroonate. I. “Development of a thermoelectric battery charger with microcontroller-based maximum power point tracking technique”. Applied Energy, 83: 687–704 (2006)
6. Khattab. N.M., El Shenawy. E.T. “Optimal operation of thermoelectric cooler driven by solar thermoelectric generator”, Energy Conversion and Management, 47: 407-426 (2006).
7. Nuwayhid. R.Y., Hamade. R., “Design and Testing of a Locally Made Loop-Type Thermosyphonic Heat Sink for Stove-top Thermoelectric Generators”, Renewable Energy, 30: 1101-1116 (2005).
8. Sun. W., Hu. P., Chen. Z., Jia. L., “Performance of cryogenic thermoelectric generators in LNG cold energy utilization”, Energy Conversion and Management, 46: 789–796 (2005).
9. Esarte. J., Min. G., Rowe. D.M., “Modelling Heat Exchangers For Thermoelectric Generators”, J. of Power Sources, 93: 72-76 (2001).
10. Dilita. S., Ahiska. R., “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Jeotermal Enerjisini Doğrudan Elektrik Enerjisine Dönüştüren Mikro Denetleyici Kontrollü Termoelektrik Jeneratör”, International Advanced Technologies Sempozyum, Ankara, August, 18-20 (2003)
11. Van Dyk, E.E., “Monitoring Current-Voltage Characteristic and Energy output of Silicon Photovoltaic Modül”, Applied Energy, pp.399-411 (2005).

12. Eakburanawat, E., Boonyaroonate, I., “Development of a thermoelectric battery-charger with microcontroller-based maximum power point tracking technique”, *Applied energy*, 83: 687-704 (2006).
13. Gür. S., Atik. K., “Yo unla tırcılı Güne Kollektörleri Ve Termoelektrik Jeneratörler Kullanarak Elektrik Enerjis i Elde Etmek”., Karabük Üniversitesi Makine E itimi, Karabük (2009).
14. Oda. Y., Yoshida. H., “Theoretical analysis on thermoelectric power generation with rectangular-fin elements and its applicability in micro systems”, *Heat transfer—Asian research*, 35(3): 226-243 (2006).
15. Maneewan, S., “Heat gain reduction by means of thermoelectric roof solar collector”, *Solar energy*, 78: 495-503 (2005).
16. Chein. R., Chen. Y., “Performances of Termoelectric Cooler ntegrated with Mikrocanal Heat Sinks”, *International Journal of Refrigeration*, Taiwan, 28: pp.829-830 (2005).
17. im ek. ., amilgil. E., Akku . M., “Türkiye’nin Jeotermal Enerji Potansiyeli ve Yararlanma Olanakları”, TÜS AD yay., stanbul, (1981).
18. Ültanır, “M.Ö. 21. Yüzyıla girerken Türkiye’nin Enerji Stratejisi nin De erlendirilmesi”, TÜS AD yay., stanbul (1998).
19. amilgil. E., “Jeotermal Enerji”., Yıldız Teknik Üniversitesi Yayını, stanbul (1992).
20. Ba ol. K., “Do al Kaynaklar Ekonomisi”., DEU., zmir (1985).
21. Yücel. D., “Termoelektrik devre elemanları”., WebTrHost s.3-16 (2004).
22. Melcor.comparison., “Thermoelectric Engineering Handbook”., s.1-2.44-47 (2000).
23. Team Palio, “TE So utma modülü”., [www.Team Palio.com](http://www.TeamPalio.com), s.4-7 (2005).
24. Med Sel., “Termoelektrik Modül Seçimi”., <http://medsel.com.tr> (2003).

**EK AÇIKLAMALAR A**

**KULLANILAN Ç ZELGELER**

Tablo A.1 Standart termoelektrik modüller [23]

Model	N	V max	I max	T max	Q max	LxWxH (mm)	R ( )	Remark
TEC1-00703T125	7	0.85	3	67	1.6	10x10x5.4	0.235	3.0x1.37 <sup>2</sup>
TEC1-00704T125			4	67	2.2	10x10x4.6	0.170	2.2x1.37 <sup>2</sup>
TEC1-00705T125			5	67	2.8	10x10x4.0	0.130	1.6x1.35 <sup>2</sup>
TEC1-00705T125			6	67	3.3	10x10x3.9	0.110	1.5x1.40 <sup>2</sup>
TEC1-00707T125			7	65	3.9	10x10x3.6	0.090	1.20x1.37 <sup>2</sup>
TEC1-00708T125			8	65	4.4	10x10x3.5	0.085	1.10x1.37 <sup>2</sup>
TEC1-00709T125			9	62	4.9	10x10x3.4	0.080	1.0x1.37 <sup>2</sup>
TEC1-00710T125			10	62	5.8	10x10x3.2	0.060	0.8x1.37 <sup>2</sup>
TEC1-00712T125			12	60	6.8	10x10x3.1	0.055	0.7x1.37 <sup>2</sup>
TEC1-00715T125			15	60	8.1	10x10x3.0	0.045	
TEC1-01503T125	15	1.8	3	67	3.5	10x20x5.4	0.500	3.0x1.37 <sup>2</sup>
TEC1-01504T125			4	67	4.7	10x20x4.6	0.370	2.2x1.37 <sup>2</sup>
TEC1-01505T125			5	67	6.1	10x20x4.0	0.280	1.60x1.35 <sup>2</sup>
TEC1-01506T125			6	67	7.2	10x20x3.9	0.240	1.30x1.40 <sup>2</sup>
TEC1-01507T125			7	65	8.5	10x20x3.6	0.200	1.20x1.37 <sup>2</sup>
TEC1-01508T125			8	65	9.5	10x20x3.5	0.185	1.10x1.37 <sup>2</sup>
TEC1-01509T125			9	62	10.5	10x20x3.4	0.170	1.0x1.37 <sup>2</sup>
TEC1-01510T125			10	62	12.5	10x20x3.2	0.130	0.8x1.37 <sup>2</sup>
TEC1-01512T125				60	14.6	10x20x3.1	0.120	0.7x1.37 <sup>2</sup>
TEC1-01515T125			15	60	17.5	10x20x3.0	0.100	0.6x1.37 <sup>2</sup>
TEC1-01703T125	17	2	3	67	3.9	15x15x5.4	0.570	
TEC1-01704T125			4	67	5.3	15x15x4.6	0.420	

TEC1-01705T125			5	67	6.9	15x15x4.0	0.310	
TEC1-01706T125			6	67	8.1	15x15x3.9	0.270	
TEC1-01707T125			7	65	9.6	15x15x3.6	0.230	
TEC1-01708T125			8	65	10.7	15x15x3.5	0.210	
TEC1-01709T125			9	62	11.9	15x15x3.4	0.190	
TEC1-01710T125			10	62	14.1	15x15x3.2	0.150	
TEC1-01712T125			12	60	16.5	15x15x3.1	0.130	
TEC1-01715T125			15	60	19.9	15x15x3.0	0.110	
TEC1-02303T125			3	67	5.3	15x20x5.4	0.770	
TEC1-02304T125			4	67	7.2	15x20x4.6	0.570	
TEC1-02305T125			5	67	9.4	15x20x4.0	0.420	
TEC1-02307T125			7	65	13.0	15x20x3.6	0.310	
TEC1-02308T125	23	2.8	8	65	14.5	15x20x3.5	0.280	
TEC1-02309T125			9	62	16.1	15x20x3.4	0.250	
TEC1-02310T125			10	62	19.1	15x20x3.2	0.200	
TEC1-02312T125			12	60	22.4	15x20x3.1	0.180	
TEC1-02315T125			15	60	26.9	15x20x3.0	0.150	
TEC1-03103T125			3	67	7.2	20x20x5.4	1.040	
TEC1-03104T125			4	67	9.8	20x20x4.6	0.760	
TEC1-03105T125			5	67	12.7	20x20x4.0	0.570	
TEC1-03106T125			6	67	14.8	20x20x3.9	0.500	
TEC1-03107T125			7	65	17.6	20x20x3.6	0.410	
TEC1-03108T125	31	3.7	8	65	19.6	20x20x3.5	0.380	
TEC1-03109T125			9	62	21.7	20x20x3.4	0.340	
TEC1-03110T125			10	62	25.8	20x20x3.2	0.280	
TEC1-03112T125			12	60	30.2	20x20x3.1	0.240	
TEC1-03115T125			15	60	36.2	20x20x3.0	0.210	
TEC1-03503T125	35	4.2	3	67	8.1	15x30x5.4	1.170	
TEC1-03504T125			4	67	11.0	15x30x4.6	0.860	
TEC1-03505T125			5	67	14.3	15x30x4.0	0.660	
TEC1-03506T125			6	67	16.8	15x30x3.9	0.560	
TEC1-03507T125			7	65	19.9	15x30x3.6	0.470	
TEC1-03508T125			8	65	22.1	15x30x3.5	0.430	

TEC1-03509T125			9	62	24.5	15x30x3.4	0.390	
TEC1-03510T125			10	62	29.1	15x30x3.2	0.310	
TEC1-03512T125			12	60	34.1	15x30x3.1	0.270	
TEC1-03515T125			15	60	40.9	15x30x3.0	0.230	
TEC1-04703T125	47	5.6	3	67	11.0	20x30x5.4	1.580	
TEC1-04704T125			4	67	14.8	20x30x4.6	1.160	
TEC1-04705T125			5	67	19.2	20x30x4.0	0.870	
TEC1-04706T125			6	67	22.5	20x30x3.9	0.760	
TEC1-04707T125			7	65	26.7	20x30x3.6	0.630	
TEC1-04708T125			8	65	29.7	20x30x3.5	0.580	
TEC1-04709T125			9	62	33.0	20x30x3.4	0.530	
TEC1-04710T125			10	62	39.1	20x30x3.2	0.420	
TEC1-04712T125			12	60	45.8	20x30x3.1	0.370	
TEC1-04715T125			15	60	55.0	20x30x3.0	0.320	
TEC1-07103T125	71	8.5	3	67	16.6	30x30x5.4	2.380	
TEC1-07104T125			4	67	22.4	30x30x4.6	1.750	
TEC1-07105T125			5	67	29.1	30x30x4.0	1.310	
TEC1-07106T125			6	67	34.1	30x30x3.9	1.140	
TEC1-07107T125			7	65	40.3	30x30x3.6	0.950	
TEC1-07108T125			8	65	44.9	30x30x3.5	0.870	
TEC1-07109T125			9	62	49.8	30x30x3.4	0.790	
TEC1-07110T125			10	62	59.1	30x30x3.2	0.640	
TEC1-07112T125			12	60	69.2	30x30x3.1	0.560	
TEC1-07115T125			15	60	83.1	30x30x3.0	0.480	
TEC1-09503T125	95	11.4	3	67	22.2	30x40x5.4	3.190	
TEC1-09504T125			4	67	30.0	30x40x4.6	2.340	
TEC1-09505T125			5	67	39.0	30x40x4.0	1.750	
TEC1-09506T125			6	67	45.6	30x40x3.9	1.530	
TEC1-09507T125			7	65	54.0	30x40x3.6	1.270	
TEC1-09508T125			8	65	62.0	30x40x3.5	1.150	
TEC1-09509T125			9	62	66.7	30x40x3.4	1.060	
TEC1-09510T125			10	62	79.2	30x40x3.2	0.850	
TEC1-09512T125			12	60	92.6	30x40x3.1	0.740	

TEC1-09515T125			15	60	111.2	30x40x3.0	0.640			
TEC1-12703T125	127	15.2	3	67	29.7	40x40x5.4	4.260			
TEC1-12704T125			4	67	40.1	40x40x4.6	3.120			
TEC1-12705T125			5	67	52.1	40x40x4.0	2.340			
TEC1-12706T125			6	67	61.0	40x40x3.9	2.040			
TEC1-12707T125			7	65	72.2	40x40x3.6	1.700			
TEC1-12708T125			8	65	80.3	40x40x3.5	1.560			
TEC1-12709T125			9	62	89.2	40x40x3.4	1.420			
TEC1-12710T125			10	62	105.8	40x40x3.2	1.130			
TEC1-12712T125			12	60	123.8	40x40x3.1	0.990			
TEC1-12715T125			15	60	148.6	40x40x3.0	0.850			
TEC1-16103T125			161	19.3	3	67	37.7	45x45x5.4	5.400	
TEC1-16104T125					4	67	50.9	45x45x4.6	3.960	
TEC1-16105T125	5	67			66.0	45x45x4.0	2.960			
TEC1-16106T125	6	67			77.3	45x45x3.9	2.580			
TEC1-16107T125	7	65			91.5	45x45x3.6	2.160			
TEC1-16108T125	8	65			101.8	45x45x3.5	1.980			
TEC1-16109T125	9	62			113.0	45x45x3.4	1.800			