

**T.C.
UŞAK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**BİR JEOTERMAL SANTRALDE ATIK ISININ TERMoeLEKTRİK
JENERATÖRLERLE GERİ KAZANILMASI, SİSTEM KURULMASI VE
PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ahmet YILMAZ

KASIM 2019

UŞAK

T.C.

Ahmet YILMAZ tarafından hazırlanan “Bir Jeotermal Santralde Atık Isının Termoelektrik Jeneratörlerle Geri Kazanılması, Sistem Kurulması Ve Performansının Değerlendirilmesi”adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç.Dr.Canan KANDİLLİ

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç.Dr.Canan KANDİLLİ

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Doç.Dr.Abdullah YILDIZ

Uşak Üniversitesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Doç.Dr.Yıldız KALINCI

İzmir Meslek Yüksek Okulu, İnşaat bölümü yapı tesisat teknolojisi programı

Tarih:29/11/2019

Bu tez ile U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Doç. Dr. M. Kemal KARACAN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Ahmet YILMAZ

**BİR JEOTERMAL SANTRALDE ATIK ISININ TERMOELEKTRİK
JENERATÖRLERLE GERİ KAZANILMASI, SİSTEM KURULMASI VE
PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

(Yüksek Lisans Tezi)

Ahmet YILMAZ

**UŞAK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Kasım 2019

ÖZET

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ve değerlendirmesi zaman geçtikçe önem kazanmaktadır. Jeotermal enerji dünyamızdaki en önemli yenilenebilir ve en kullanışlı enerji kaynaklarımızdandır. Jeotermal enerjiden elektrik üretimi, sera, konut ısıtma ve kurutma fabrikaları gibi birçok alanda faydalanılmaktadır. Jeotermal santraller ülkemizde yerli sermaye olduğu için hızla sayıları artmakta ülke ekonomisine büyük katkıları olmaktadır.

Bütün dünyanın en önemli ihtiyacı olan enerjinin en ucuz ve en verimli şekilde üretilmesi çok önemlidir. Bütün santrallerde verimlilik ne kadar geliştirilirse geliştirilsin, iyileştirmeler yapılsın yine de halen üretim yapılabilecek enerji kaynakları bulunmaktadır. Jeotermal santrallerde de verim oranı %12 ler civarındadır. Bizim santralimizde enjeksiyon kuyularına giden veya seperatör sistemlerinde blöf amaçlı olan 99-100 C civarında sıcak su, sistemin soğutulması için 20-25 C civarında soğuk su mevcuttur. Bu atıl olan iki enerji kaynağını kullanarak peltier sistemi ile enerji üreterek aküde depolama sonrası gece aydınlatılabilmesi konusu incelenmiştir. Bu sayede geceleri santralin iç ihtiyacını elektrik tüketiminin

azaltılması planlanmıştır. Ayrıca sistem termodinamiğin 1. Ve 2. Yasası ile de incelenmiştir.

Yapılan incelemede sistemlere ait enerji ekserji verimleri aşağıdaki gibidir;

Birinci peltier sisteminin enerji verimi %0,0019 bulunmuştur. Sistemin ekserji verimi ise %98,91 olarak bulunmuştur. İkinci peltier sisteminin enerji verimi %0,00194 bulunmuştur. Sistemin ekserji verimi ise %98,776 olarak bulunmuştur.

Yapılan bir diğer incelemede ise sistemlere ait yüzey sıcaklıkları ısı transferi ile analiz edilmiştir sonuçlar aşağıdaki gibidir;

Birinci sistemin incelemelerinde sıcak akışkanın temas ettiği taşınım ile ısı transferinin olduğu yüzeydeki sıcaklık $94,121^{\circ}\text{C}$ 'dir. Bu sıcak akışkanın iletimle dış yüzeye yaptığı ısı transferi sonrası dış yüzey sıcaklığı $92,310^{\circ}\text{C}$ 'dir. Birinci sistemin incelemelerinde soğuk akışkanın temas ettiği taşınım ile ısı transferinin olduğu yüzeydeki sıcaklık $28,448^{\circ}\text{C}$ 'dir. Bu soğuk akışkanın peltiere temas ettiği noktadaki iletimle dış yüzeye yaptığı ısı transferi sonrası dış yüzey sıcaklığı $28,054^{\circ}\text{C}$ 'dir.

İkinci sistemin incelemelerinde sıcak akışkanın temas ettiği taşınım ile ısı transferinin olduğu yüzeydeki sıcaklık $93,744^{\circ}\text{C}$ 'dir. Bu sıcak akışkanın iletimle dış yüzeye yaptığı ısı transferi sonrası dış yüzey sıcaklığı $91,703^{\circ}\text{C}$ 'dir. İkinci sistemin incelemelerinde soğuk akışkanın temas ettiği taşınım ile ısı transferinin olduğu yüzeydeki sıcaklık $28,605^{\circ}\text{C}$ 'dir. Bu soğuk akışkanın peltiere temas ettiği noktadaki iletimle dış yüzeye yaptığı ısı transferi sonrası dış yüzey sıcaklığı $28,075^{\circ}\text{C}$ 'dir.

Çıkan sonuçlar sistemin ölçü aletleri ile doğrulama yapmak için kontrol edildiğinde birbirleri ile uyumlu olduğu gözlemlenmiştir.

Yapılan çalışma sonucunda birinci üniteden $0,04699$ kWh ikinci üniteden $0,0462$ kWh elektrik üretimi sağlanmıştır. Bu üretimlerle ilk kurulum maliyetleri yedi yıl gibi bir sürede geri dönüş sağlamaktadır. Akü ve inverter sistemi daha fazla peltier sistemi kurulup elektrik üretilmesi için uygundur. Bu da ilk kurulum maliyetinin

daha fazla elektrik üretilmesi nedeniyle daha kısa sürede geri dönmesini sağlayacaktır.



Bilim Kodu :
Anahtar Kelimeler :
Sayfa Adedi : 92
Tez Yöneticisi:Doç.Dr.Canan KANDİLLİ

**RECOVERY OF WASTE HEAT IN A GEOTHERMAL POWER PLANT
WITH THERMOELECTRIC GENERATORS SYSTEM INSTALLATION
AND PERFORMANCE EVALUATION**

(M.Sc. Thesis)

Ahmet YILMAZ

**USAK UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

November 2019

ABSTRACT

The use and evaluation of renewable energy sources is gaining importance over time. Geothermal energy is one of the most important renewable and useful energy sources in our world. Geothermal energy is utilized in many fields such as electricity generation, greenhouse, residential heating and drying factories. Since geothermal power plants are domestic capital in our country, their number is increasing rapidly and they make a major contribution to the national economy.

It is very important that the energy, which is the most important need of the whole world, is produced in the cheapest and most efficient way. Regardless of how much efficiency is improved in all power plants, improvements are still made, yet there are still energy sources for production. The yield rate in geothermal power plants is around 12%. In our power plant, there is hot water around 99-100 °C going to injection wells or blowdown in separator systems and cold water around 20-25 °C for cooling the system. By using these two inert energy sources, peltier system can be used to generate energy and to illuminate the battery after storage. In this way, it is planned to reduce the internal consumption of the power plant at night. In addition, the system is examined by the Laws 1 and 2 of thermodynamics.

Energy exergy efficiencies of the systems are as follows;

The energy efficiency of the first peltier system was found to be %0,0019. The exergy efficiency of the system was %98,91. The energy efficiency of the second peltier system was found to be %0,00194. The exergy efficiency of the system was found to be %98,776.

In another study, surface temperatures of the systems were analyzed by heat transfer and the results are as follows;

In the examination of the first system, the temperature at the surface where the transfer of heat and heat transfer is in contact with the hot fluid is 94,121 °C. After the heat transfer of this hot fluid to the outer surface by conduction, the outer surface temperature is 92,310 °C. In the examination of the first system, the temperature at the surface where the transfer and heat transfer with the cold fluid comes into contact is 28,448 °C. The temperature of the outer surface is 28,054 °C after the heat transfer of this cold fluid to the outer surface by conduction at the point where it contacts the peltier.

In the examinations of the second system, the temperature at the surface where the transfer of heat and heat transfer is in contact with the hot fluid is 93,744 °C. After the heat transfer of this hot fluid to the outer surface by conduction, the outer surface temperature is 91,703 °C. In the examinations of the second system, the temperature at the surface where the heat transfer and heat transfer is in contact with the cold fluid is 28,605 °C. The temperature of the outer surface is 28,075 °C after the heat transfer of this cold fluid to the outer surface by conduction at the point where it contacts the peltier.

When the results were checked for verification with measuring instruments, it was observed that the system was compatible with each other.

As a result of this study, 0.04699 kWh from the first unit and 0.0462 kWh of electricity from the second unit were provided. With these productions, the initial installation costs provide a return in seven years. The battery and inverter system is suitable for the installation of more peltier systems and the generation of electricity. This will allow the initial installation cost to be returned in a shorter period of time because more electricity is produced.



Science Code :
Key Words :
Page Number : 92
Adviser : Doç.Dr.Canan KANDİLLİ

TEŞEKKÜR

Değerli Danıőmanım Doç.Dr. Canan KANDİLLİ'ye katkılarından, yol göstericiliğinden ve sabrından dolayı teőekkürlerimi sunarım. Tez çalışmam sırasında bana destek olaneőime ve ailemeteőekkür ederim. Ayrıca desteğini yüksek lisans çalıőmalarım boyunca esirgemeyen değerli yöneticim Hüseyin ATABAY'a teőekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	III
ABSTRACT	VI
TEŞEKKÜR	IX
İÇİNDEKİLER	X
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	XII
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	XIII
SİMGELER VE KISALTMALAR	XV
1. GİRİŞ	1
2. TERMOELEKTRİK JENERATÖRLER	3
2.1. Seebeck Etkisi.....	5
2.2. Peltier Etkisi.....	7
2.3. Thompson Etkisi	8
2.4. Joule Etkisi.....	9
2.5. Termal İletim Etkisi	9
3. JEOTERMAL ENERJİ.....	10
3.1 Jeotermal Enerji Santrallerindeki Atık Isı Potansiyeli	19

4. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	20
5. TEZİN AMACI, ÖNEMİ, KAPSAMI	26
6. SİSTEM TANITIMI VE DENEYSEL TASARIMI.....	27
6.1 Tam Sinüs Inverter	36
6.2 Akü	37
6.3 Peltier.....	38
7. KURUMSAL ANALİZ VE EKONOMİK ANALİZ.....	39
7.1 Termodinamik analiz	39
7.2 Isı transfer analizi	48
7.3 Ekonomik analiz	62
8. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	63
9. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	68
9.1 Sonuç	69
9.2 Öneriler	69
KAYNAKLAR	71
ÖZGEÇMİŞ	74

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge 3.1. Jeotermal enerjiden faydalanma biçimleri.....	13
Çizelge 3.2 Yek destekleme mekanizması uygulanan fiyatlar.....	16
Çizelge 3.3 Yek yerli aksam imalatı teşvik mekanizması.....	17-18
Çizelge 7.1 Peltierlerde üretilen elektriğin yıllık satış fiyatı.....	62
Çizelge 7.2 Sisteme harcanan yatırım maliyetinin yıllara göre geri kazanılması.....	62
Çizelge 8.1 Peltier elektrik üretim sistemi 1 akım ve voltaj değerleri.....	64
Çizelge 8.2 Peltier elektrik üretim sistemi 2 akım ve voltaj değerleri.....	66

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil Sayfa

Şekil 2.1. Termoelektrik modülün yapısı.....	3
Şekil 2.2. Seebeck etkisi.....	5
Şekil 2.3. Peltier etkisi.....	7
Şekil 2.4. Thompson olayı.....	8
Şekil 2.5. Thompson devresi.....	8
Şekil 3.1. Jeotermal enerjinin oluşumu	11
Şekil 3.2. Jeotermal enerjiden faydalanma biçimleri.....	13
Şekil 3.3. Kuru tip buhar ile elektrik üretimi sağlayan jeotermal santrali.....	13
Şekil 3.4. Flaş tip buhar ile elektrik üretimi sağlayan jeotermal santrali.....	14
Şekil 3.5. İkili (binary) tip buhar ile elektrik üretimi sağlayan jeotermal santrali	15
Şekil 3.6. Zorlu Jeotermal Alaşehir Elektrik Santrali Akış Diyagramı.....	19
Şekil 6.1. Sistem şeması.....	27
Şekil 6.2. Deney sisteminin genel görünüşü.....	28
Şekil 6.3. Flash tip jeotermal santrali buhar ayırıştırma seperatörü.....	29
Şekil 6.4. Flash tip jeotermal santrali su soğutma kulesi	30
Şekil 6.5. Deney sistemi enerji üretim kısmı.....	31
Şekil 6.6. Üretilen elektrik ile yakılan lambalar.....	32

Şekil 6.7.Peltierlerin alüminyum ısı transfer elamanına montajı.....	33
Şekil 6.8. Peltierlerden üretilen enerji değerlerinin ölçülmesi	34
Şekil 6.9. Sıcak ve soğuk akışkanların sıcaklık ölçümleri	35
Şekil 6.10.Tam sinüs inverter	36
Şekil 6.11. Akü	37
Şekil 6.12. Peltier	38
Şekil 7.1. Birinci Sistemin Enerji Analizi.....	40
Şekil 7.2. Birinci Sistemin Ekserji Analizi.....	41
Şekil 7.3. İkinci Sistemin Enerji Analizi.....	44
Şekil 7.4. İkinci Sistemin Ekserji Analizi.....	45
Şekil 7.5. Birinci Sistemin Taşınım ve İletim İle Isı Transfer Analizi.....	48
Şekil 7.6. İkinci Sistemin Taşınım ve İletim İle Isı Transfer Analizi.....	55
Şekil 8.1. Sıcak ve soğuk akışkanların geçtiği peltierlerle elektrik üretim sistemi...63	
Şekil 8.2. Peltier elektrik üretim sistemi 1	64
Şekil 8.3. Peltier 1 sistemindeki sıcaklık farkına göre elektrik üretim eğrisi.....	65
Şekil 8.4. Peltier elektrik üretim sistemi 2.....	66
Şekil 8.5. Peltier 2 sistemindeki sıcaklık farkına göre elektrik üretim eğrisi.....	67

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler	Açıklama
ATM	Atmosfer basıncı
°C	Celcius sıcaklık birimi
N	N tipi yarı iletken
P	P tipi yarı iletken
KW	Kilowatt enerji birimi
KWh	Kilowatt saat enerji kullanım birimi
MW	Megawatt enerji birimi
MWh	Megawatt saat enerji kullanım birimi
W	Watt enerji birimi
Wh	Watt saat enerji kullanım birimi
ΔT	Sıcaklık farkı
v	Volt
I	Amper
π	Peltier Katsayısı
R	Direnc
T	Sıcaklık
Q	Isı
τ	Thomson Katsayısı

α	Seebeck Katsayısı
Re	Reynolds sayısı
Nu	Nusselt sayısı
Pr	Prandtl sayısı
V	Hız
μ	Viskozite
h	Saat
A	Alan
h	Entalpi
s	Entropi
φ	Özgül ekserji
η	Enerji verimi
η_{ex}	Ekserji verimi
Cp	Özgül ısı
ρ	Özgül kütle
k	Isı iletim katsayısı
Ex_{in}	Sisteme giren ekserji
Ex_{out}	Sistemden çıkan ekserji
QT	Thompson ısısı
W_E	Sistemde üretilen elektrik
\dot{m}	Kütlesel debi

Kısaltmalar	Açıklama
AC	Alternatif akım
Bi₂Te₃	Bizmut tellürit
DC	Doğru akım
DSC	Kalorimetre
HP	Yüksek basınç
LP	Alçak basınç
PCM	Termal enerji depolama hücresi
PEM	Yakıt hücresi
TE	Termoelektrik
TEG	Termoelektrik jeneratör
TGA	Termo gravimetrik analiz
V	Volt elektrik birimi
YEK	Yenilenebilir enerji kaynakları
ZT	Malzemelerin iletkenlik faktörü

1. GİRİŞ

Petrol fiyatlarının yükseldiği, fosil yakıtların azaldığı ve sera gazlarının etkisiyle küresel ısınmanın etkilerinin gittikçe daha hissedilir hale gelmesi ile birlikte günümüzde, çevreci, kendini yenileyen enerji potansiyellerine ihtiyaç giderek arttırmaktadır.

Kendini yenileyen enerji evrenin kendi döngüsünü bozmadan doğaya, insana kısaca tüm canlılara zarar vermeden zaman içerisinde kendini yenileyen enerji potansiyeli olarak tanımlayabiliriz. Kendini yenileyen enerji kaynaklarının hem çevremiz hemde ülkemiz için bir çok avantajı bulunmaktadır. Bunlar; sera gazı etkisi yaratan emisyonların azalması ve dolayısıyla çevrenin döngüsünün bozulmaması, doğal kaynaklar olduğu için ithalat oranının azalması ayrıca iş imkanlarının artması ve tabii ki halkın da desteğini alması gibi önemli katkıları mevcuttur. Kısaca kendini yenileyen enerji temiz, avantajlı, kolay ulaşılır ve kabul edilebilirlik özelliklerinin hepsini taşımaktadır.

Kendini yenileyen enerji yani kısaca yenilenebilir enerji kaynakları, hidrolik (su), güneş, rüzgar, jeotermal, odun, bitki artıkları, biyokütle, gel-git ve dalga olarak kabul edilmektedir [1].

Ülkelerin uluslararası platformlarda imzalamış oldukları protokoller ve sözleşmeler ile birlikte çevre dostu olan, toplum sağlığını, gelecek nesillerin yaşamını, doğayı korumayı amaçlayan pek çok düzenlemeler yapılmaktadır. Bu düzenlemeler ile birlikte yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı desteklenmekte ve devlet eliyle de bazı teşvikler sağlanmaktadır.

Jeotermal enerji; Yunanca kökenli bir kelime olup “Geo” ve “Thermal” kelimelerinin bir araya gelmesiyle oluşan yer ısısı olarak tanımlanabilir. Başka bir deyişle jeotermal enerji; yer kürenin farklı katmanlarında birikmiş ısının oluşturduğu, sıcaklıkları her zaman bölgesel atmosferik ortalama sıcaklığın üzerinde olan ve çevresindeki normal yer altı ve yer üstü sularına göre daha çok erimiş mineral, çeşitli tuzlar ve gazlar içeren sıcak su ve buharın yeryüzüne taşıdığı ısı enerjisi olarak tanımlanabilir[2].

Enerji türlerinin birbirine dönüşümü mümkündür. Gerçekte moleküler yapıdaki birçok bilimsel yaklaşım tersinir özelliktedir. Örneğin; Bir bobinde hareket eden elektrik akımı manyetik alanla buluşunca dönme hareketi gerçekleştirmektedir ve bu olayın tam tersi de mümkündür. Bobin tellerinde sürekli değişen bir manyetik alan oluşturulursa elektrik akımı oluşmaktadır.

Başka bir benzer durumda elektrik enerjisinden ısı enerjisi üretmek için de kullanılabilir. Nasıl ki elektrik akımı ile ısı üretilebiliyorsa bunun tam tersi olarak ısı enerjisi ile de elektrik akımı oluşturulabilir. Bu durumun doğruluğu uygun yöntemler kullanılarak ıspatlanabilmektedir.

Isılar arasındaki değişkenlikten faydalanarak üretilen elektrik enerjisi sistemlerine termoelektrik jeneratör denilmektedir.

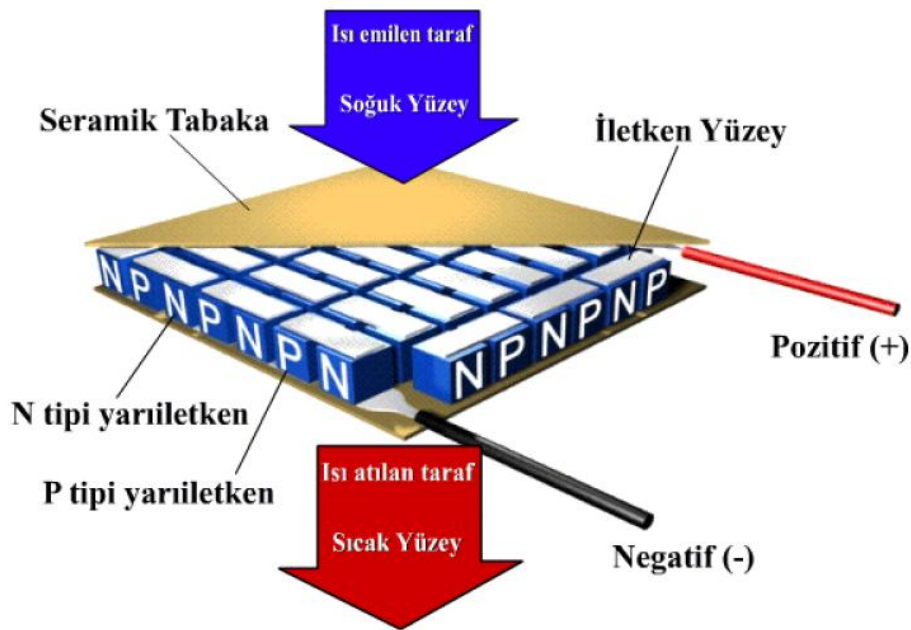
Jeotermal enerji santrallerinde kullanılmayan veya atıl durumda olan sıcak su kaynakları ve santrallerin soğutma sisteminde kullanılan soğutma suları mevcuttur. Bu sularla termoelektrik jeneratörler kullanarak, sıcaklık farkından yararlanarak elektrik üretilebilecektir.

Bu çalışmanın konusu termoelektrik (TE) modul yardımıyla, jeotermal santralde atık durumunda olan sıcak ve soğuk su kaynakları kullanılarak elektrik üretilmesidir. Bu sayede santralin aydınlatma sisteminde tüketilen elektriğin bir bölümü karşılanması planlanmıştır. Elektrik üretilmiştir ve iç ihtiyaç elektrik tüketiminde azalma meydana gelmiştir.

Tezin ikinci bölümünde termoelektrik jeneratörle ilgili elde edilen etkiler incelenmiştir. Üçüncü bölümünde ise jeotermal santraller anlatılmıştır. Sistem tanıtımı altıncı bölümde tanımlanmıştır. Yedinci bölümde termodinamik analizler incelenmiştir. Dokuzuncu bölümde ise tezin sonuçları tartışılmıştır.

2. TERMOELEKTRİK JENERATÖRLER

Şekil 2.1. deki termoelektrik jeneratörler; karşılıklı iki yüzeyi arasında sıcaklık farkından dolayı doğru akım üreten ekipmanlardır. İstenilen her yerde içerisindeki modül sayısını artırarak çevreci ve pratik elektrik enerjisi üretilmesi mümkündür. Yüzeylerini birbirinden farklı metal ile kapatıp, oluşan sistemde birleşme noktaları farklı sıcaklıklarda bulunursa, bu yüzeyler arasında Joule etkisi, Fourier etkisi, Peltier etkisi ve Seebeck etkisi görülür. Seebeck etkisi; farklı iki malzemedan oluşan bir devrede, iki jonksiyon (birleşme) farklı sıcaklıklarda olduğunda malzeme uçlarında ölçülen gerilimin sıcaklık farkıyla orantılı olduğunu ifade eder. Seebeck etkisine göre devreden ölçülen voltaj $V = a \Delta T$ olup, a 'nın değeri; devreyi oluşturan malzemelerin özelliklerine bağlıdır. $a = a_2 - a_1$ 'dir. Burada a_2 ve a_1 kullanılan malzemelerin özellikleridir [3].



Şekil 2.1. Termoelektrik modülün yapısı[24]

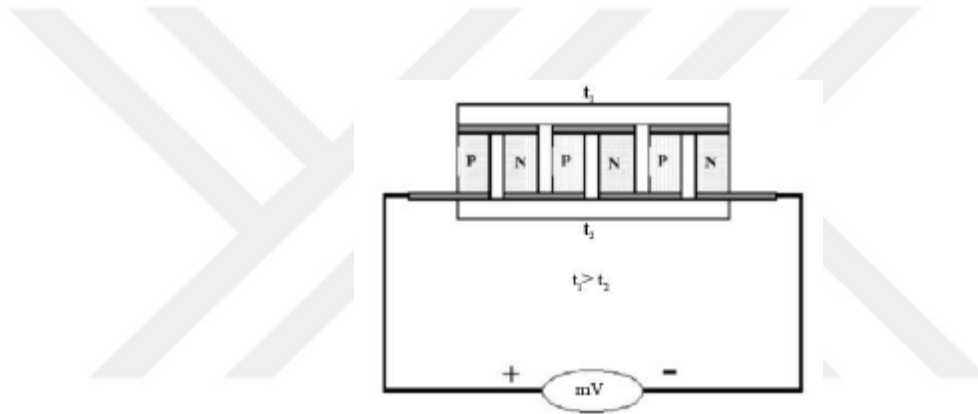
Termoelektrik, sıvı ya da katı maddelerin sıcaklıklarına bağlı olarak malzemeler üzerinde oluşan elektriksel potansiyeli inceleyen bilim dalıdır. Isı enerjisi ile elektrik enerjisinin birbirlerine doğrudan dönüşümünü inceleyen termoelektrik, 1821 yılında

Thomas Johann Seebeck tarafından bulunmuş fakat o zamanki teknoloji ile tam anlaşılammıştır. Seebeck'in keşfinden 12 yıl sonra 1834'de, Peltier Fransız Bilim Akademisinde, iki farklı iletken arasındaki birleşme yerinde sıcaklık anormallikleriyle ilgili bir makale yayınladı. Bu olgu Peltier etkisi olarak bilinmektedir. Peltier etkisi elektrik (akım) verildiğinde bir üretimi veya iki farklı iletkenin arasındaki sınır tabakasının çevresinde oluşan ısı absorpsiyonunu içerir. Absorbe edilen ya da üretilen sıcaklık miktarı akımla orantılıdır ve orantı katsayısı Peltier katsayısı olarak bilinir. Sıcaklık absorpsiyonu ya da üretimi akımın yönüne bağlıdır. Başka bir deyişle bu olgu tersinirdir. Bundan bir anlam çıkarmaya çalışırsak Peltier'in düşüncesine göre, bunun nedeni sertlik, yumuşaklık ya da elektriksel iletkenlik gibi iletkenlerin özellikleridir. Deney sonuçlarının ortaya koyduğu teorik açıklamaya uyulmadığı zaman, ölçümlere inanmayı reddetmiştir. Sonraki birkaç yıl boyunca Becquerel ve diğer araştırmacılar Peltier etkisinin gerçek doğasını açıklamaya çalıştılar ve sonuç olarak 1898'de Lenz, bizmut ve antimon yolunun birleşim yerindeki bir çukura bir su damlası yerleştirmiştir. Akım ters çevrildiğinde bu damla buza dönüşür, sonra tekrar ters çevrildiğinde buz erir. Lenz bunun akım yönüne bağlı olduğunu açıkça izah etmiştir [4].

Termoelektrik, dönüştürülebilir enerji halidir termoelektrik ile ısı enerjisinin kolayca elektrik enerjisine, elektrik enerjisinde kolayca ısı enerjisine dönüştürebilir. Uygun malzeme seçildiğinde termoelektrik etkilerin farklı etkileri gözlemlenebilmektedir. Farklı yapıdaki yarı iletken iki malzeme kimyasal yöntemlerle birbirlerine bağlanması sonucu oluşan devreden elektrik akımı geçirilir, bu elektrik akımı yarı iletkenlerin farklı sıcaklıklara sahip olmasına neden olur. Yarı iletkenler farklı sıcaklığa sahip olduğunda farklı etkiler oluşur bu etkiler Jolue, Thompson, Seebeck, Peltier, ve Fourier etkileridir. 1800lü yıllarda termoelektriğin fiziksel temel prensipleri oluşmuştur. Halen devam eden bu alandaki çalışmalarda genellikle bilim adamları maksimum materyal faktörü değeri (ZT) üzerinde yoğunlaşmışlardır. ZT faktörü elektrik üretimi sağlayan ısının, malzeme özelliği olan ısı ve elektrik iletkenliğinin hesaba katılmasındaki önemi vurgulanmıştır[5].

2.1. Seebeck Etkisi

Sıcaklık farkından yararlanarak üretilen elektrik Seebeck etkisi olarak tanımlanır. Şekil 2.2. de seebeck etkisi gösterilmiştir. Bilim adamı Seebeck iki metalden oluşturduğu bir halka ile çalışmalarını yapmıştır. Metallerin bağlantı noktalarını farklı sıcaklıklarda tutmuş ve yakınındaki pusula iğnesinin yer değiştirdiğini gözlemlemiştir. Bunun nedeni oluşan sıcaklık farkına farklı tepkiler veren metaller halkada akıma neden olmuştur. Akım nedeniyle oluşan manyetik alan pusula iğnesini yer değiştirmesine neden olmuştur. Fakat Seebeck bu akımın oluştuğunu düşünmemiş bunun nedeninin termomanyetik etkileşim olarak düşünmüştür.



Şekil 2.2. Seebeck etkisi[25]

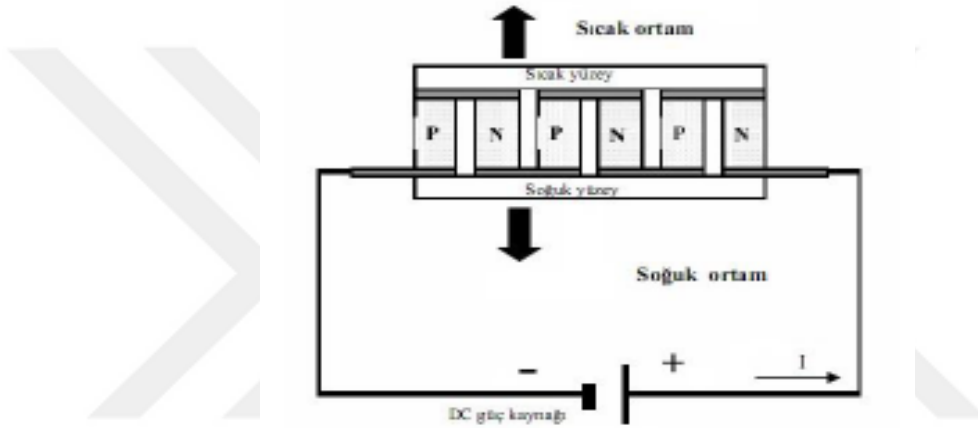
Bu alanda farklı çalışmalar yürüten Hans Christian Ersted 'de termoelektrik kavramını kullanmıştır. Farklı yüzey sıcaklıklarındaki iki metal ya da yarı iletken arasında termoelektrik voltaj fark oluşmaktadır. Termoelektrik dönüştürücüler n ve p tipi yarıiletkenlerden oluşmaktadır. Termoelektrik malzemeler serbest taşıyıcıları sayesinde hem elektrik yükünü hem de ısıyı yükünü taşıyabilir. Gaz halindeki yüklü parçacıklar bu duruma örnektir. Farklı yüzey sıcaklıklarına sahip kapalı ortamda gaz halindeki yüklü parçacıklar sıcak taraftan soğuk tarafa doğru hareket ederler. Soğuk bölgeye daha fazla sıcak molekül yayılır bu sayede soğuk bölgede molekül yoğunluğu daha fazla artar. Daha sonra bu farktan ötürü moleküller sıcak bölgeye tekrar yönelecektir. Sistem kararlı hale gelene kadar bu hareket devam edecektir. Bu durumda sıcaklık gradyeni oluşacaktır. Aynı elektriksel yüklere sahip olan moleküller

birbirlerini iterek soğuk bölgedeki yoğunluktan sıcak bölgeye geçeceklerdir. Sıcak soğuk bölmeler ve gazın elektriksel yükleri nedeniyle moleküler dağılım farkı ve elektriksel potansiyel değişimi gerçekleşir. Seebeck etkisi bu sıcaklık farkından kaynaklanan elektrik potansiyeli olarak bilinir. Seebeck katsayısı bu etkinin bir sabitle tanımlanmasıdır. Serbest yük taşıyıcıları olan moleküller pozitif ve negatif yüklü olabilir. Bu yükler p-tipli ve n-tipli olarak bilinir [5,6].

Her malzemenin farklı bir Seebeck katsayısı vardır. Malzemelerin özelliklerine göre değişkenlik gösterir. Malzemenin farklı yüzeylerinde oluşacak sıcaklık farkı elektronları sıcak tarafa yönlendirir bu sayede fermi enerji seviyesine sahip enerji oluşur. Fermi enerji seviyesini aşılmasıyla birlikte elektronlar yayınımlarını sıcak tarafattan soğuk tarafa doğru gerçekleştirecektir. Bu sayede malzeme uçlarında voltaj farkı oluşacaktır. Bu voltaj farkı malzemenin voltaj fark özelliğini belirlemektedir. Seebeck katsayısı ne kadar büyük olursa daha verimli bir termoelektrik etki oluşur. Malzemelerin özelliklerine göre enerji ile birlikte örgü titreşimleri de artabilir. Elektronların hareket yolunu örgü titreşimleri belirler, bu örgü titreşimi yayınımlarını ters yönde etkiler bunun sonucunda soğuktan sığa elektron yayınımları olabilir. Seebeck katsayısı bu özel durumlarda negatif olur. Yarı iletken olan p ve n tiplerinde iletkenliklerini artırarak bazı değişiklikler yapılabilir bu durumda yük taşıyıcı yoğunluğunun artması seebeck katsayısının azalmasına sebep olur. Bunların dışında değişen sıcaklık değerleri de malzemenin Seebeck katsayısı üzerinde değişime sebep olur [7].

2.2.Peltier Etkisi

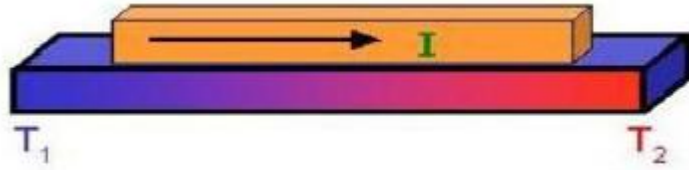
1834'lü yıllarda Charles Athanese Peltier adındaki Fransız bilim adamı Seebeck etkisi üzerine çalışmalar yapmıştır. Şekil 2.3. de gösterilen peltier etkisidir. Yaptığı çalışmalarda Seebeck etkisinin tam tersi bir etki olarak düşünülen peltier etkisi olayını keşfetmiştir. Peltier etkisi; kapalı bir devredeki iki farklı metallere oluşan devreye doğru akım verildiğinde, metallere ısınma ve soğuması gözlemlenmiştir. Elektrik akımının yönü eski halinden tam tersi hale getirildiğinde sıcak uç soğuk hale, soğuk uç ise sıcak hale gelmiştir[8].



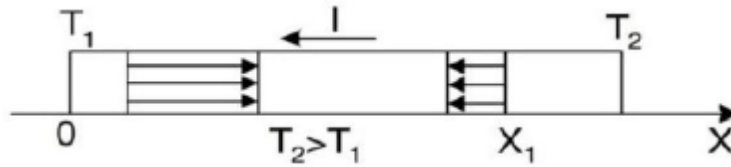
Şekil 2.3. Peltier etkisi[26]

2.3.Thompson Etkisi

1856 yılında İskoç bilim adamı William Thompson (Lord Kelvin) tarafından Seebeck ve Peltier etkilerinin birbiri ile bir bağlantı olduğunun kapsamlı bir şekilde araştırarak birbirleri arasındaki ilişki ortaya çıkarmıştır. Bu bağlantıya göre Seebeck ve Peltier katsayıları termodinamik yasaları ile açıklanmıştır. Peltier sabitinin en kolay açıklaması, Seebeck sabitinin sıcaklıkla çarpımına eşittir. Thompson'un bu yaptığı ispat termoelektriğin üçüncü etkisi veya Thompson etkisi olarak bilinir. Şekil 2.4. de thompson olayı şekil 2.5. de thompson devresi gösterilmiştir. Bu açıklama şu şekilde de yapılabilir: Malzemelerin uç kısımlarında elektrik akımı geçtiğinde, malzemenin bir tarafından ısı enerjisi soğuruluyor veya ısı enerjisi açığa çıkartılıyor demektir. Elektrik akımı ve sıcaklık ısı değişiminin temel nedenidir. Bubağlılık Thompson katsayısı ile tanımlanır. Thompson ısı, üç bağlantı ile doğru orantılıdır. Bunlar zaman, sıcaklık farkı ve akım şiddetidir[5,6,9].



Şekil 2.4. Thompson olayı[27]



Şekil 2.5. Thompson devresi[27]

2.4.Joule Etkisi

James Prescott Joule tarafından bulunan iki farklı yarı iletken içinden geçen akımdan dolayı yarı iletkenler üzerinde ısı açığa çıkacağını açıklar. Açığa çıkan ısı enerjisi aşağıdaki bağıntı ile bulunur [5,6,9].

2.5. Termal İletim Etkisi

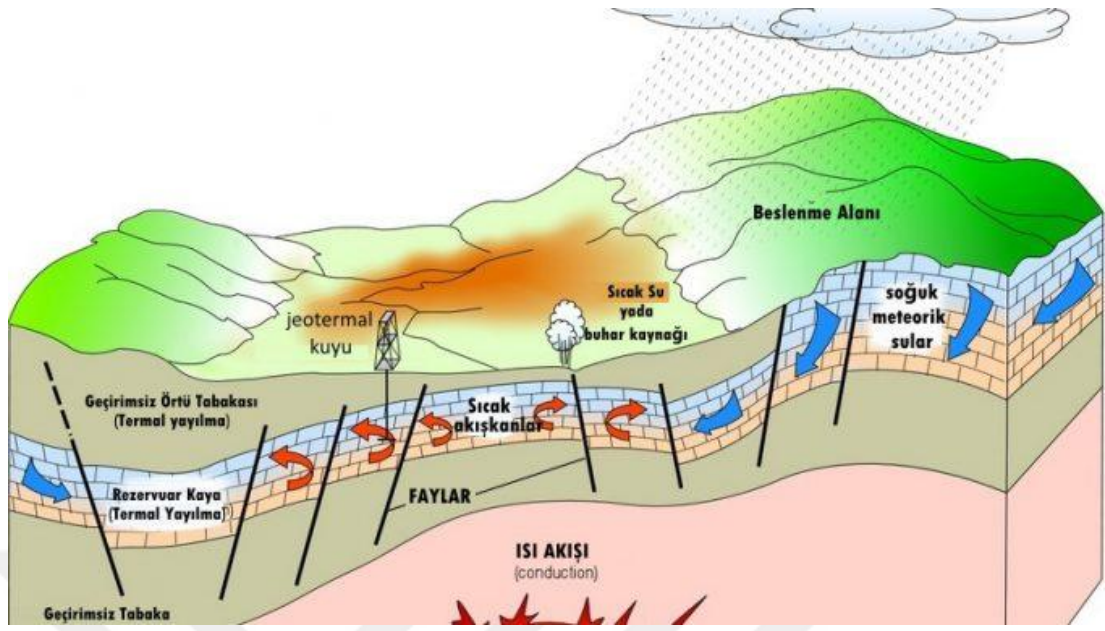
Isının yüksek sıcaklığa sahip olduğu bölgeden, daha düşük olan sıcak bölgeye doğru yer değiştirme olayıdır.



3. JEOTERMAL ENERJİ

Yunanca kökenli olan jeotermal kelimesi yeryüzü ve ısı kelimelerinin bir araya gelmesiyle geotherme olarak oluşmuştur. Yer ısısına bağlı olarak yeryüzü ısısı anlamına da gelmektedir. Dünya oluşumu sonrası yüksek enerjili sıcak bir şekilde toplanan toz ve gazlaryeryüzünün iç ısısı oluşturmuştur. Bu enerjide jeotermal enerjiyi sağlamaktadır. Ayrıca yer altındaki kayalarda var olan radyoaktif elementler kimyasal tepkimelerle bozulmalara uğrayarak bu enerjinin yenilenmesini sağlamaktadır. Jeotermal kaynak; bulunduğu bölgenin jeolojik yapısı sayesinde yer kabuğunun etkisiyle sıcaklığı her zaman bölgenin atmosferik yıllık sıcaklık ortalamasının üstünde olan ve etrafındaki sulara göre yüksek miktarda erimiş madde ve gaz bulduran doğal yollarla veya belli çalışmalarla elde edilen buhar, sıcak su ve yer altı gazları ile yer altına insan yapımı teknolojiler aracılığıyla gönderilerek magma ince yer kabuğu tabakaları olan ya da magmanın enerjisiyle sıcak halde bulunan kayaların ısısı ile ısıtılarak buhar, sıcak su ve yer altı gazlarının elde edildiği yerleridir. Basit olarak jeotermal enerji, dünyanın derinliklerindeki iç yapısındaki sıcak kaya ve akışkanların ısısının üst güçsüz katmanları geçerek doğal veya doğal olmayan yollarla yeryüzüne getirilmesiyle elde edilebilen enerji türüdür.

Meteorik yapıda olması sebebiyle yer altındaki jeotermal akışkan sürekli beslenmekte ve jeotermal akışkan yenilenmektedir. Bundan dolayı jeotermal kaynak tüketimi eğer beslenmeyi geçmezse jeotermal kaynak sürekli var olacaktır. Fakat enerji açığının yüksek olması ve de jeotermal enerjinin ucuz enerji olması nedeniyle bazı bölgelerde hızlı tüketimler olmaktadır. Jeotermal akışkan beslenmesi dışında, bu akışkanı kullanan yapıların reenjeksiyon yapması ve en önemlisi akışkanın oluşumu- üretim eşitliğine uyulması sayesinde tükenmez ve sürekli enerji verme özelliklerini korurlar. Özet olarak yer altına sızan bütün kaynaklar yer kabuğunun ince olduğu magmaya yakın bölgelerden geçerken ısınarak tekrar yeryüzüne çıkar bu süreklilik jeotermal enerjinin yenilenebilir olmasını sağlar [10].



Şekil 3.1 Jeotermal enerjinin oluşumu

Şekil 3.1 de Jeotermal enerjinin oluşumu anlatılmıştır. Akışkanların hareketi bu şekilde gözlemlenebilmektedir.

Yer sıcaklığının yerin derinliklerine indikçe artması sonucu Jeotermal gradyan oluşur. Genelde yerin altına doğru inildiğinde her 33 metre'de ısı sıcaklık değişimi 1°C artar. Bunun dışında özel sahalar olarak var olan jeotermal sahalarda, jeolojik yapı, çatlak yapısı yer kabuğu kalınlıkları ve kayaç tiplerinin farklı olmasından ötürü sıcaklık artışı yüksek olabilir. 1°C yerine 4°C veya 5°C sıcaklık artışı gözlemlenebilir [2].

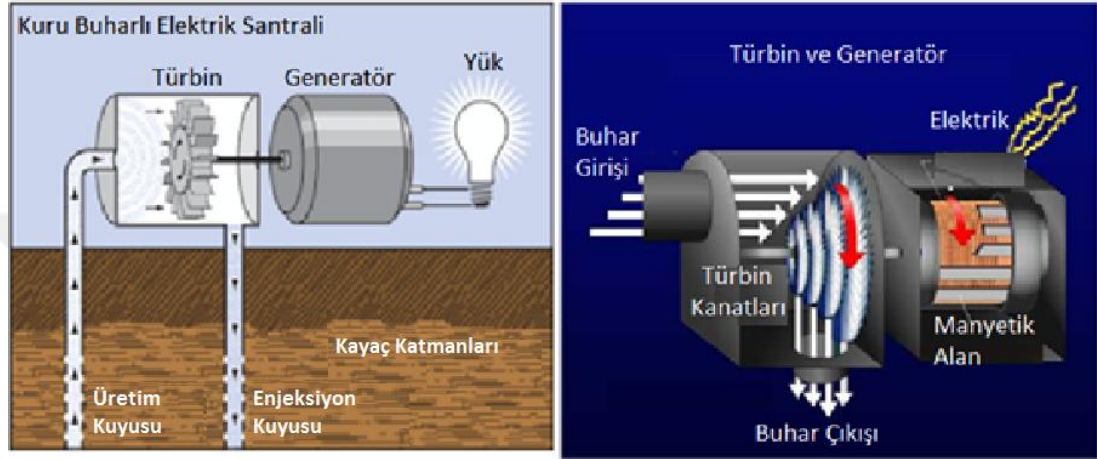
Yer kabuğunda dünyanın bütün enerji ihtiyacını karşılayabilecek enerji mevcuttur. Fakat mevcut teknolojiler ile ihtiyacımızın çok küçük bir kısmı karşılanabilmektedir. Jeotermal enerji günden güne daha fazla gelişmektedir. Yerli ve milli enerji olması nedeniyle ülkeler dışa bağımlılığı azaltmak için büyük yatırımlar yapmaktadır. Jeotermal enerjinin çok farklı kullanım alanları mevcuttur.

Akışkan Fazı	Sıcaklık (°C)	Kullanım Alanı	Yararlanma Biçimi
Doymuş Buhar	180	Yükse konstrasyon solüsyon buharlaşması, Amonyum absorpsiyonu ile soğutma	Elektrik Enerjisi Üretimi
	170	Hidrojen sülfid yolu ile ağır su eldesi, Diyatomitlerin kurutulması	
	160	Kereste kurutulması, balık vb. Yiyeceklerin kurutulması	
	150	Bayer's yoluyla alüminyum eldesi	
	140	Çiftlik ürünlerinin çabuk kurutulması (konservecilikte)	
	130	Şeker endüstrisi, tuz eldesi	
	120	Temiz su eldesi, Tuzluluk oranının artırılması	
	110	Çimento kurutulması	
Sıcak Su	100	Organik maddeleri kurutma (Yosun, et, sebze vb.), Yün yıkama ve kurutma	Isıtma
	90	Balık kurutma	
	80	Ev ve sera ısıtma	
	70	Soğutma (alt sıcaklık sınırı)	
	60	Kümes ve ahır ısıtma	
	50	Mantar yetiştirme, balneolojik banyolar	
	40	Toprak ısıtma, Kent ısıtması (alt sınır), sağlık tesisleri	
	30	Yüzme havuzları, fermantasyon, damıtma, sağlık tesisleri	
20	Balık çiftlikleri		

Çizelge 3.1. Jeotermal enerjiden faydalanma biçimleri

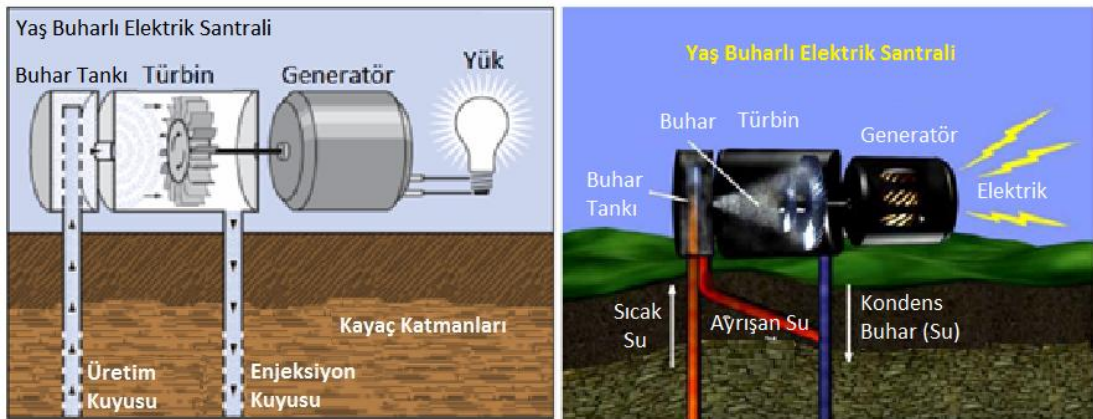
Üç çeşit jeotermal enerji santrali tipi vardır.

Şekil 3.2. gösterilen birinci tip olarak bilinen kuru buhar ile çalışan jeotermal enerji santralleri, ilk kurulan jeotermal santralleridir. Eski teknoloji olmalarına rağmen en basit elektrik üretim sistemleridir. Yeryüzündekiçatlık ve kırıklardan buharı alarak doğrudan bir buhartürbinini döndürmek ve elektrik üretmek için kullanır.



Şekil 3.2. Kuru tip buhar ile elektrik üretimi sağlayan jeotermal santrali

Şekil 3.3. de gösterilen ikinci tip olarak bilinen sıcak jeotermal akışkandan buharı ayrıştıran flaş tip elektrik üretim santralleri, bu jeotermal santraller yüksek basınç ve sıcaklıklı sıcak suyu seperatörler ile daha soğuk, düşük basınçlı suya ayrıştırarak buhar elde eder. Bu işlemde elde edilen buharı buhar türbininde rotoru döndürmek ve elektrik üretmek için kullanır.



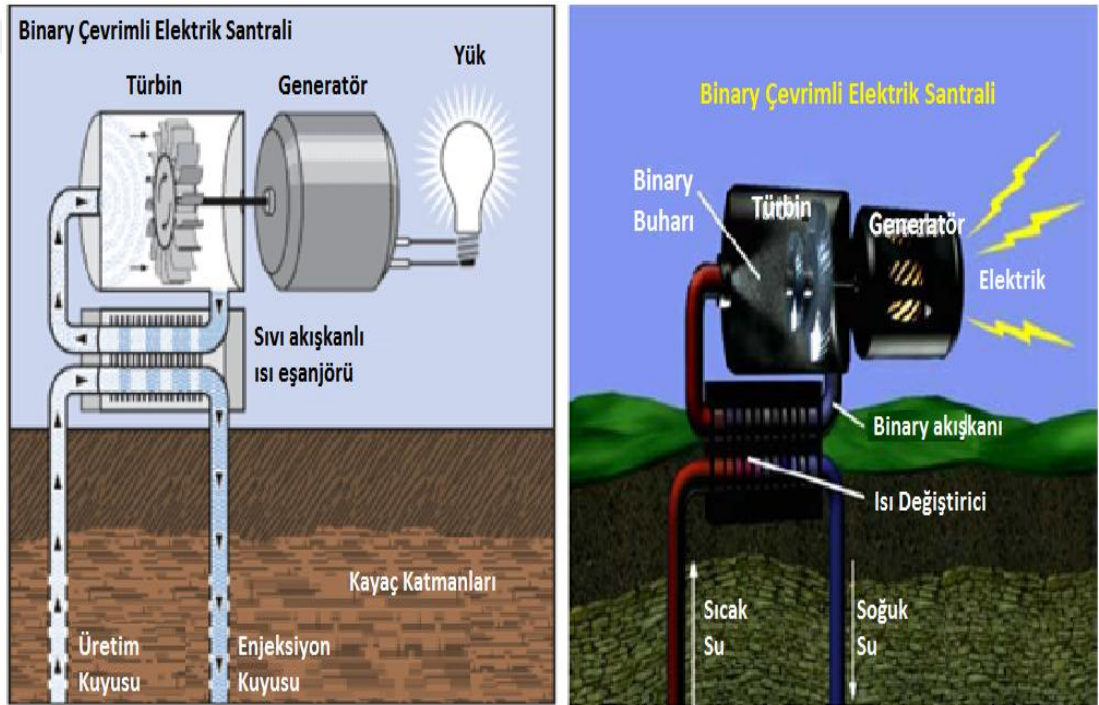
Şekil 3.3. Flaş tip buhar ile elektrik üretimi sağlayan jeotermal santrali



Şekil 3.4. Flaş tip buhar ile elektrik üretimi Alaşehir jeotermal santrali

Şekil 3.4. de Zorlu enerji Alaşehir jeotermal santrali gösterilmiştir. Bu santral ikinci tip santrale örnek olan projenin de yapıldığı 45 MW güce sahiptir. Santralde 170-190°C arasında kuyulardan gelen jeotermal akışkan seperatörlerle Hp ve Lp buhara ayrıştırılmaktadır. Bu ayrıştırılan buhar ile aynı shafta sahip Hp ve Lp buhar türbini dönerek elektrik üretimi sağlanmaktadır.

Son olarak şekil 3.5. da gösterilenbinary sistemli jeotermal enerji santralleridir. Bu santrallerde sıcak jeotermal akışkanı kendisinden daha düşük sıcaklıklarda gaz fazına geçen farklı akışkanları ısıtmak ve bu sayede buhar haline gelen bu akışkanlarlabinary sistemini tahrik etmektedir. Yüksek sıcaklıklı sahaların kullanması ile birlikte bundan sonra yapılacak jeotermal enerji santrallerinin genelibu tip santraller olacaktır. Bunun nedeni re-enjeksiyon miktarı en fazla olan yani sürdürülebilirlik açısından en verimli santrallerdir. Ülkemizde bulunan santrallerin %95 i bu tip santrallerdir. Kurulumu ve işletmesi kolay santrallerdir. Bu tip santrallerin en büyük sorunları daha düşük verimli bir elektrik üretimi sağlamalarıdır.



Şekil 3.5. İkili (binary) tip buhar ile elektrik üretimi sağlayan jeotermal santrali

Ülkemizde jeotermal enerji alanında hızla büyümektedir. Şuan elektrik üretimi sağlayan santrallerin kurulu gücü 1380 MW dır. Devlet teşvik mekanizmasıyla kurulan bu santraller ülke ekonomisine büyük katkılar sağlamaktadır. Jeotermalinde içinde yer aldığı devlet teşvik mekanizması elektrik alım bedelleri aşağıdaki çizelge de mevcuttur. Çizelge 3.2. de yenilenebilir kaynakların destekleme fiyatları yer almaktadır.

I SAYILI CETVEL (29/12/2010 tarihli ve 6094 sayılı Kanun hükmüdür)	
Yenilenebilir Enerji Kaynağına Dayalı Üretim Tesis Tipi	Uygulanacak Fiyatlar (ABD Doları Cent/ kWh)
a. Hidrolik üretim tesisi	7,3
b. Rüzgar enerjisine dayalı üretim tesisi	7,3
c. Jeotermal enerjisine dayalı üretim tesisi	10,5
d. Biyokütleyle dayalı üretim tesisi (çöp gazı dahil)	13,3
e. Güneş enerjisine dayalı üretim tesisi	13,3

Çizelge 3.2. Yek Destekleme Mekanizması Uygulanan Fiyatlar

Bu teşvik dışında devler yerli aksam içinde ayrı bir teşvik mekanizması geliştirmiştir.

II Sayılı Cetvel (29/12/2010 tarihli ve 6094 sayılı Kanunun hükmüdür.)		
Tesis Tipi	Yurt içinde gerçekleşen imalat	Yerli Katkı İlavesi (ABD Doları cent/kWh)
A-Hidroelektrik üretim Tesisi	1-Türbin	1,3
	2-Jeneratör ve güç elektroniği	1
B-Rüzgar enerjisine dayalı üretim tesisi	1-Kanat	0,8
	2-Jeneratör ve güç elektroniği	1
	3-Türbin kulesi	0,6
	4-Rotor ve nasel gruplarındaki mekanik aksamın tamamı(Kanat grubu ile jeneratör ve güç elektroniği için yapılan ödemeler hariç.)	1,3
C-Fotovoltaik güneş enerjisine dayalı üretim tesisi	1- PV panel entegrasyonu ve güneş yapısal mekaniği imalatı	0,8
	2-PV modülleri	1,3
	3-PV modülünü oluşturan hücreler	3,5
	4-İnvertör	0,6
	5-PV modülü üzerine güneş ışınımı odaklayan malzeme	0,5

Çizelge 3.3 Yek yerli aksam imalatı teşvik mekanizması

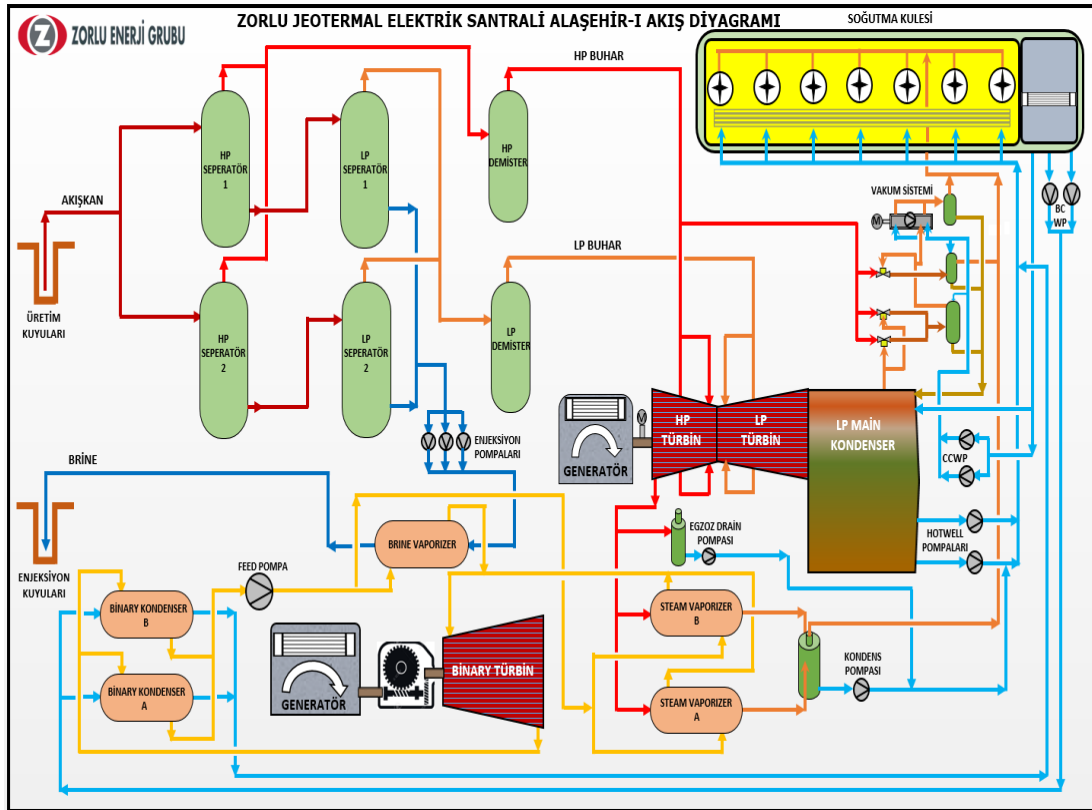
D-Yoğunlaştırılmış güneş enerjisine dayalı üretim tesisi	1- Radyasyon toplama tüpü	2,4
	2-Yansıtıcı yüzey levhası	0,6
	3-Güneş takip sistemi	0,6
	4-Isı enerjisi depolama sisteminin mekanik aksamı	1,3
	5-Kulede güneş ışınını toplayarak buhar üretim sisteminin mekanik aksamı	2,4
	6-Stirling motoru	1,3
	7-Panel entegrasyonu ve güneş paneli yapısal mekaniği	0,6
E- Biyokütle enerjisine dayalı üretim tesisi	1-Akışkan yataklı buhar kazanı	0,8
	2-Sıvı veya gaz yakıtlı buhar kazanı	0,4
	3-Gazlaştırma ve gaz temizleme grubu	0,6
	4-Buhar veya gaz türbini	2
	5-İçten yanmalı motor veya stirling motoru	0,9
	6-Jeneratör ve güç elektroniği	0,5
	7-Kojenerasyon sistemi	0,4
F-Jeotermal enerjisine dayalı üretim tesisi	1-Buhar veya gaz türbini	1,3
	2-Jeneratör ve güç elektroniği	0,7
	3-buhar enjektörü veya vakum kompresörü	0,7

Çizelge 3.3 Yek yerli aksam imalatı teşvik mekanizması

Çizelge 3.3. de yer alan yerli aksam teşvikiyle bir jeotermal santral toplam ürettiği elektriği 13,2 cent/kwh olarak satabilir.

3.1 Jeotermal Enerji Santrallerindeki Atık Isı Potansiyeli

Jeotermal enerji santrallerinde her santralde olduğu gibi enerjinin tekrar kazanabileceği kullanılmayan atık ısı kısımları mevcuttur. Örneğin benim de tezde çalışmasını yaptığımız seperatör sistemlerinde emniyet vanalarındaki sürekli kaçaklar. Bu kaçakların süreklilik göstermesinin iki sebebi mevcuttur, ilk olarak sürekli vanaların canlı tutulması için aç kapa işlemleri yapılması sonrası kabuklaşmanın oluşması, diğer bir sebebi ise açma kapama işlemlerinde takılma yaşanmaması için vana dizaynlarının bu sisteme uygun tasarlanması. Benim tez çalışmam Lp seperatörlerdeki sıcak su ile enjeksiyon pompalarındaki soğutma suyunun kullanılması sonucu oluşturulmuştur. Şekil 3.6 da santralimize ait basit akış şeması yer almaktadır.



Şekil 3.6. Zorlu Jeotermal Alaşehir Elektrik Santrali Akış Diyagramı

4. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bu bölümde tezin konusuna temel oluşturan Termoelektrik Elemanlarla enerji geri kazanımının açık literatürde ulaşılabilen çalışmaları incelenmektedir.

Ebrahimi ve Derakhshan (2018) çalışmalarında Termoelektrik sistemi de kullanarak soğutma, ısıtma ve elektrik üretimi gerçekleştirmiştir. Bu çalışmalarda PEM yakıt hücresi, termoelektrik jeneratör, adsorpsiyonlu chiller, plakalı ısı eşanjörü ve termal sönümlenme tankları kullanılmıştır. Bu çalışma ile 2,6 kg/h CO₂ üretimi azalmış ayrıca 30 adet Termoelektrik jeneratör ile 16,5 Wh elektrik üretimi sağlanmıştır [11].

Karthick, Suresh, Joy, Dhanuskodi (2018) çalışmalarında Termoelektrik Jeneratör (TEG) modüllerisıraısıyla açık devre ve kapalı devre koşulları ile ısıtılmış ve soğutulmuştur. TEG tarafından reddedilen ısı PCM'de termal enerji olarak depolanır ve depolanan bu termal enerji, enerji üretimi için bir ısı kaynağı olarak kullanılmıştır. Soğutma sırasında soğutma için deney düzeneği, prensipte çalışan bir ısı eşanjöründen oluşmuştur. Açık devre gerilimi, kapalı devre gerilimi ve elektrik gücü çıkışı, ısıtma ve soğutma sırasında farklı ısı akışları için analiz edilmiştir. Diferansiyel Tarama PCM için kalorimetre (DSC) ve Thermo Gravimetrik Analiz (TGA) testleri yapılmıştır. Ancak, PCM'ler gösterdi ki deneysel çalışmada 156 ° C sıcaklıkta bir süper-soğutma özelliği sağlanmış TEG tarafından. Deney bölümünde güç üretimi, 5.5 kW / m²'lik bir ısı akısındaki ısıtma ve soğutma döngüleri için neredeyse aynıdır. Isıtma devri 0.39W'lık bir net güç üretirken, soğutma döngüsü 0.31W. Bu nedenle, deneysel araştırma TEG modüllerinin geri dönüşümlü çalışmasının uygun olduğunu göstermiştir[12].

He, Liu, Wu, Rong, Zhao, Tang (2018) çalışmalarında COMSOL Multiphysics yazılımı ile üç boyutlu sayısal bir TEG modülü modeli kurulmuştur. Bu model ile tüm TE etkileri Seebeck, Peltier, Thomson ve Joule etkileri incelenmiştir. Bu sayede deneysel verilerle simüle edilen sistem verileri karşılaştırılmıştır. Farklı ısı akışlarında oluşan farklı sıcaklıklardaki voltaj ve akım değerli ölçülerek karşılaştırma yapılmıştır. Deneysel verilerle sistem verileri arasında en fazla %2 fark olduğu gözlemlenmiştir. Sonuç olarak deneysel verilerle sistem verilerinin uyum içinde çalıştığı gözlemlenmiştir [13].

Jabera, Khaleda, Lemenand, Ramadan (2018) çalışmalarında hibrit bir sistem kurarak evsel suların ısıtılması ve elektrik üretimini planlamışlardır. Bunun için jeneratör egzoz gazını kullanarak hem su ısıtma hemde elektrik üretmişlerdir. Yapılan çalışmada 100 adet TEG kullanılmıştır. 10 Kw bir jeneratörün egoz gazı ile 47 °C sıcak su ve 141 Wh enerji üretilmiştir. 38 Kwh bir jeneratörün egoz gazı ile 97 °C sıcak su ve 1412 Wh enerji üretilmiştir [14].

Mirhosseini, Rezania, Rosendahl (2018) çalışmalarında çimento fabrikalarındaki atık ısının geri kazanılması için bir test yapmışlardır. Fırınlara halka şeklindeki egzozlarında en yüksek sıcaklığa ulaşılan noktada termal emicilerle elektrik üretimi hedeflenmiştir. Simülasyon ile şartlar belirlenir ve test yapılmaya başlanır. Termoelektrik ünitenin dış yüzeyinde en verimli emici tasarım belirlenmek istenmiştir. Bu nedenle iki farklı malzeme ile bu deney yapıldı. İki farklı termoelektrik malzeme, bizmut tellürid (Bi_2Te_3) ve b-faz çinko antimonid (Zn_4Sb_3), elektriksel güç çıkışını değerlendirmek için farklı sıcaklık aralıklarında bu malzemeler verimli olarak kabul edilir. Bu malzemelerle güç çıkışı ve sistemin dönüşüm verimliliği araştırılmıştır. Sonuçlara göre Zn_4Sb_3 tabanlı termoelektrik ünite elektrik üretimi yaklaşık 3,17kW (= 0,25 kW / m²) olurken, Bi_2Te_3 dolgulu termoelektrik ünite 1,51 kW (0,119 kW / m²) üretebilir. Sonuçlara göre yatırım maliyeti Bi_2Te_3 TEG sisteminin geri ödeme süresi 8,30 yıl , Zn_4Sb_3 için 3,58 yıldır. Bu nedenle, Zn_4Sb_3 tabanlı TEG sistemi, atık ısı geri kazanımı için daha iyi bir adaydır[15].

Sornek, Filipowicz, Zoładek, Kot ve Mikrut (2018) çalışmalarında odun sobasındaki ısı enerjisi ile farklı TEG ler ve farklı soğutma sistemleri kullanarak elektrik üretimleri sağlamıştır. Bu çalışmada odun sobası farklı özelliklere sahip TEG'ler kullanılmıştır. Odun sobasının yüzeyinde oluşan farklı sıcaklıklar ve bacadaki oluşan sıcaklık ile testler yapılmıştır. Termoelektrik jeneratörlerin evlerde ısı üreten bütün sistemlerle kullanılabilirliği değerlendirilmiştir. Kırsal bölgelerdeki elektrik şebekelerinin olmaması veya elektrik şebekelerindeki sık arızaların yaşanması nedeniyle bu sistemle elektrik üretilmesi önem arz etmektedir temel ihtiyaçların özellikle aydınlatmanın karşılanabileceği bu test ile gözlemlenmiştir. Bazı soba üreticileri bu sistemlerin direk üretimi için çaba göstermektedir. Bu sistemde uygun

montaj iyi temas ve yeterince yüksek ısı akısının sağlanması da verimliliği artırmaktadır. Deneysel PLC'li özel ölçüm, kontrol ve görselleştirme sistemleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu kontrollerde kızılötesi kamera, termografik analiz ile sıcaklığı tespitine, ocağın arka duvarına ısı dağılımına ve TEG'lerin montajı için en uygun alanların belirlenmesi imkan sağlamıştır. Homojen olmayan sıcaklık dağılımı TEG'lerin verimliliğini düşürmüştür. Bu problem cihazın çalışma özelliklerinden önemli ölçüde etkilenmiştir. Termoelektrik jeneratörleri, nominal değerlerinin % 41,7, %31,2 ve % 7,2'sinden fazla elektrik üretmedikleri belirlenmiştir. Bu nedenle termoelektrik jeneratörlerle mikro ölçekli kojenerasyon sistemlerinin geliştirilmesi maliyetlerin azaltılması gerektiği anlaşılmıştır [16].

Teo, Chiong, Yang, Romagnoli, Martinez-Botas ve Rajoo (2018) çalışmalarında içten yanmalı bir sistemde atık ısı geri kazanım yönteminin farklı ısı üreten kaynaklarda karşılaştırmasını gerçekleştirmiştir. Bu ısı üreten sistemler düşük basınçlı türbin (LPT), turbo bileşik (TC) ve hava Brayton çevrimi (ABC) kullanan motordur. Tüm sistemler simüle edilmiştir. Tüm sistemler için simülasyon yapılandırma aynı tutulur. Bu sistemlerde egzoz da en yüksek verim LPT de sağlanmıştır 2,17 A 5,45 kW enerji üretimi sağlanmıştır. TC motorda 0,75A 1,75 kW enerji üretimi sağlamıştır. Brayton çevrimli motorda 0,33A 0,64 kW enerji üretimi sağlanmıştır. Her sistemin kendine göre avantajları ve dezavantajları vardır. Fakat sistem olarak en verimli egzoz enerjisi LPT'de mevcuttur [17].

İslam, Dinçer ve Yilbas (2017) çalışmalarında güneş enerjisine dayalı organik rankin çevrimi ile elektrik ürettikleri sistemde TEG'ler ile verim artışı, sistemin enerji ve ekserji analizini incelemiştir. İki sistemin birbirinden farkı birinci sistemde sadece güneş enerjisi ile TEG'lerde elektrik üretimi sağlanırken ikinci sistemde hem güneş enerjisi hem de ORC sistemin atık enerjisinden yararlanılmıştır. Sistemde ısı değiştiriciler, pompalar, güneş enerji üretim sistemi, kondenser gibi bir çok sistem kullanılmıştır. Sistem çeviriminde R113 gazından yararlanılmıştır. Termoelektrik jeneratörler tarafından üretilen elektrik hidrojen üretmek üzere bir elektrolizörü çalıştırmak için kullanılmaktadır. İkinci sistemde hem güneş hem de ORC sistem atık

ıısından yararlanılması enerji ve ekserji verimini artırmıştır. Atık ısının olduğu her yerde TEG'lerin kullanılması sistemlerin verimliliklerini artırmaktadır [18].

İslam, Dinçer ve Yilbaş (2015) çalışmalarında Termoelektrik jeneratörü içeren yeni bir güneş tabanlı multigeneration sistemi geliştirilmiş, enerji ve ekserji yönünden analiz etmişlerdir. Soğutma sistemine sahip PV (fotovoltaik) panel ile birleşik termoelektrik jeneratör verimliliği artırmak için geliştirilmiştir. Multigeneration sistem ile özel birleşimli termoelektrik cihazlar, enerjiyi, genel sistemin ekserji verimliliğini ve hidrojen üretimini artırmak için dizayn edilmiştir. Termoelektrik cihazların işlemi sırasında atılan ısı, yenilikçi tasarımla korunmuştur. Çalışma koşulları ve bunların enerji, ekserji verimliliği üzerine etkileri genel sistem ve PV panelleri ile termoelektrik cihazlarla yapılan çalışmalar incelenmiştir. Enerji, PV panellerinin ve tüm sistemin ekserji verimleri, termoelektrik jeneratör ile birleştirildikten sonra önemli ölçüde iyileştirilmiştir. Termoelektrik jeneratör ve soğutucu tarafından yapılan maksimum iş Güneş enerjisi ısı transfer akışkanının sıcaklığını artırarak, önemli ölçüde artmıştır. Bu önerilen sistem konvansiyonel termoelektrik üretim tabanlı sistemlerden daha üstün bir verimlilik sağlamıştır [19].

Manikandan ve Kaushik (2016) çalışmalarında güneş enerjili halka şeklindeki boru sisteminin parabolik ve düz levha şeklindeki TEG'ler ile üretim sağlandığında enerji ve ekserji analizini incelemiştir. Çalışmada sistemin Peltier, Joule ve Fourier ısı iletimi ile birlikte Thomson etkisi de incelenmiştir. Değişen güneş parametreleri için performans parametreleri analiz edildi. Radyasyon (ışınım) koşulları, değişken sayıda sıcaklık ölçümleri değişken su sıcaklığı koşulları farklı sonuçların elde edilmesine imkan sağladı. Çalışmanın sonucu olarak güç çıkışı, elektrik enerjisi verimliliği, elektriksel ekserji verimliliği ve birleşik sistem güneş enerjisi verimliliği halka şeklindeki termoelektrik jeneratörde düz levha şeklindeki termoelektrik jeneratöre göre biraz daha yüksek verim elde edilmiştir. Elektrik üretimindeki artış %1,92 olarak hesaplanmıştır. Bu çalışma sayesinde daha iyi ısı transferi sağlayan parabolik yüzeyin verimliliği ispatlanmıştır [20].

Demir ve Dinçer (2017) çalışmalarında otomobilin atık ısısının geri kazanılması için termoelektrik jeneratör tabanlı yenilikçi bir sistem tasarlamıştır. Atık ısı geri kazanımı

(WHR) sistemi otomobilin egzoz manifoldu sonrası yerleştirilmiştir. Egzoz gazı TEG için ısıyı sağlar ve otomobilin ön ızgarasından giren hava ile soğuk hava akımı sağlar. Bu sayede sıcaklık farkı oluşturulur. Üç farklı termoelektrik malzeme kullanılarak karşılaştırma yapılmıştır. Malzeme özelliklerine göre verimlilik, üretilen güç değerlendirilmiştir. Atık ısıdan maksimum 158 Wh elektrik üretimi sağlanmıştır. GdCo_{0.95}Ni_{0.05}O₃ malzeme türü en verimli üretimi sağlamıştır. Sistemdeki en yüksek güç yoğunluğu 108,8 W/m² olarak hesaplanmıştır. Yaygın olarak kullanılan Bi₂Te₃ gibi termoelektrik malzemelere göre zayıf bir performans elde edilmiştir [21].

Manikandan ve Kaushik (2016) çalışmalarında TEG sistemlerindeki Thomson etkisi dahil edilerek Peltier, Joule ve Fourier ısı iletimli bir tersinmez termodinamik modelleri (iki aşamalı termoelektrik Jeneratör) ekserji analizi kullanılarak incelenmiştir. Maksimum güç çıkışı için optimum enerji ve ekserji verimi kesişme sıcaklığı belirlenmiştir. Thomson etkisinin güç çıkışına etkisi, enerji ve ekserji verimi üzerindeki etkisi üzerine çalışılmış ve Thomson etkisinin maksimum güç çıkışını ve iki aşamalı termoelektrik dönüştürücünün verimliliği azalttığı görülmüştür. Sonuçlar iki aşamalı termoelektrik dönüştürücünün ekserji verimliliğinin enerji verimliliğinden daha yüksek olduğunu ortaya koymaktadır. Örneğin, tersinmez TEG’te, aynı operasyon sıcaklığında (150 K) maksimum enerji ve ekserji verimi sırasıyla % 4,35 ve % 13,05’tir. Sıcak ve soğuk taraftaki toplam dış ısı transfer yüzeyinde azalma ekserji verimliliği ve enerji eldesini azaltmaktadır. Termoelektrik dönüştürücünün performansı üzerinde iç tersinmezliklerin etkisi dış tersinmezliklerle karşılaştırıldığında daha belirgindir [22].

Lertsatitthanakorn (2006) çalışmasında Kombine Biyokütle Fırını Termoelektrik Jeneratörünün Elektriksel Performans Analizi ve Ekonomik Değerlendirilmesini incelemiştir. Çalışmasındaki biyokütle pişirme fırının gelişmiş ülkeler ve gelişmekte olan ülkelerde kullanımı oldukça yaygındır. Fakat fırınlar istenildiği kadar verimli değildir. Pişirme fırınların daha verimli olması için fırın çevresinden atılan atık ısının termoelektrik jeneratörlerle değerlendirilmesi için bizmut-tellür tabanlı maddelerden

yapılmış termoelektrik jeneratörle kurulacak sistem araştırılmıştır. Sistem biyokütle fırını, ticari bir termoelektrik modül, (TEP1-1264-3.4), bir metal saç duvar ve termoelektrik modülün soğuk tarafını oluşturmak üzere dörtgen kanatlı bir soğutucudan meydana gelmektedir. Deneyin yapılması için bir düzenek hazırlanarak çeşitli sıcaklık aralıklarında sistemin verimliliği ve elde edilen değerler değerlendirilmiştir. Deney sayesinde elektriksel güç çıkışının ve dönüşüm verimliliğinin, termoelektrik modülün sıcak ve soğuk yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkına bağlı olduğunu anlaşılmıştır. Yaklaşık 150 °C'lik bir sıcaklık farkında modülün elektriksel çıkışı 2,4 Watt'a ulaşmıştır. %3,2'lik bir dönüşüm verimliliği küçük bir ampulü yakmak veya bir radyoyu çalıştırmak için yeterli olmuştur. Ekonomik analizde aynı gücün piller tarafından karşılanması durumunda geri dönüş periyodunun daha kısa olacağı belirlenmiştir. Bu nedenle sistem, birincil güç kaynaklarıyla rekabet edemeyeceği anlaşılmıştır. Fakat acil durumlarda veya yedek güç kaynağı olarak kullanılabilir[23].

5. TEZİN AMACI, ÖNEMİ, KAPSAMI

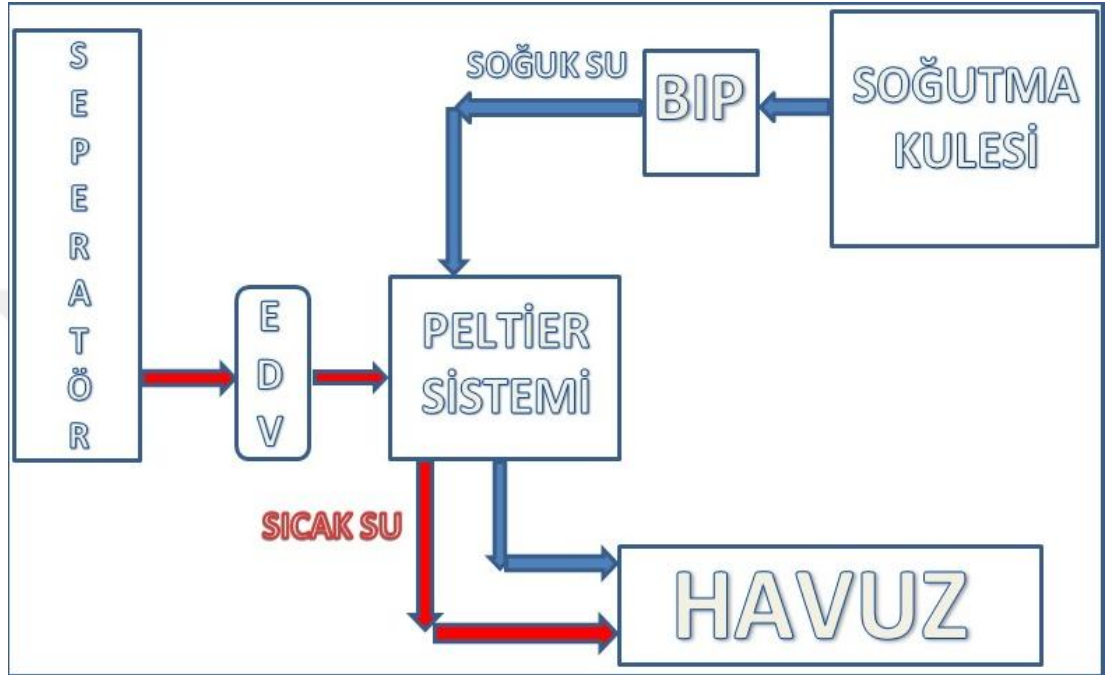
Bu çalışmanın amacı; dünyanın en önemli ihtiyacı olan enerjinin en ucuz ve en verimli şekilde üretilmesinin sağlanmasıdır. Bütün santrallerde verimlilik ne kadar geliştirilirse geliştirilsin, iyileştirmeler yapılsın yine de halen üretim yapılabilecek enerji kaynakları bulunmaktadır. Jeotermal santrallerde de verim oranı %12 ler civarındadır. Bizim santralimizde enjeksiyon kuyularına giden veya seperatör sistemlerinde blöf amaçlı olan 99-100 °C civarında sıcak su, sistemin soğutulması için 20-25 °C civarında soğuk su mevcuttur. Bu atıl olan iki enerji kaynağını kullanarak termoelektrik eleman peltierler ile enerji üretilerek aküde depolama, sonrasında gece santralin aydınlatılması konusu incelenecektir. Bu sayede geceleri santralin iç ihtiyaç elektrik tüketiminin azaltılması planlanmaktadır.

Çalışmanın özgün olduğu nokta, yeni gelişmekte olan jeotermal santrallerin enerji potansiyellerinin geliştirilmesi ve hibrit tarzı kombine santral haline getirilmesi pek yapılan çalışmalar arasında değildir. Bu çalışmayı yaparak bütün santraller atıl durumda olan sıcak ve soğuk sularla elektrik üretiminin yapılabilirliği bu sayede iç ihtiyaç tüketimlerinin düşürülmesi planlanmaktadır.

Tezin kapsamı ise termoelektrik elemanlarla elektrik üretimi olup bu çalışmanın termodinamik analizi, maliyet ve geri kazanım hesaplarının yapılması, ısı transfer analizinin incelenmesi ve peltier verileri ile test verilerinin karşılaştırılmasıdır.

6. SİSTEM TANITIMI VE DENEYSEL TASARIMI

Sistem jeotermal santraldeki farklı ekipmanlar ve kullanılan farklı ekipmanların bir araya gelmesi ile elektrik üretimini sağlamıştır. Atık enerji olan sıcak su ve soğuk su kullanımı önemlidir.



Şekil 6.1. Sistem şeması

Şekil6.2de deney sisteminin genel görünüşüne ait fotoğraf yer almaktadır.Jeotermal santral sisteminde şekil 6.3 de gösterilen seperetörden gelen sıcak su ve şekil 6.4 de gösterilen soğutma kulesinden gelen atıl soğuk su peltierler ile elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. İki ayrı elektrik üretimi için peltier sistemi kurulmuştur. Bu birbirine paralel sistemlerin her birinde 24 adet 12715 kodlu peltierler kullanıldı. Alüminyum dikdörtgen ısı transfer elemanı sayesinde peltierlerin bir tarafından sürekli akışlı sıcak su, bir tarafından sürekli akışlı soğuk su geçirildi. Oluşan yüzey sıcak farklılıkları ile peltierin seeback etkisinden yararlanılarak elektrik üretimi sağlandı. Üretilen elektrik santral gece aydınlatmasında kullanılmaktadır. Sürekli enerji üretimi sağlanmasına rağmen sadece geceleri elektrik tüketimi yapıldığı için ayrıca güvenli çalışma için tam sinüs inverter ve aküler kullanıldı.



Şekil 6.2. Deney sisteminin genel görünüşü

Sistemin tamamı alınan malzemeler dışında atıl kullanımı olmayan malzemelerle yapılmıştır. Yatırım maliyetinde bu nedenle fazla bir artış olmamıştır. Sıcak akışkanın olması nedeniyle herhangi bir kaza olmaması adına uyarı yapıp sistem iş güvenliği kapsamında emniyete alınmıştır.



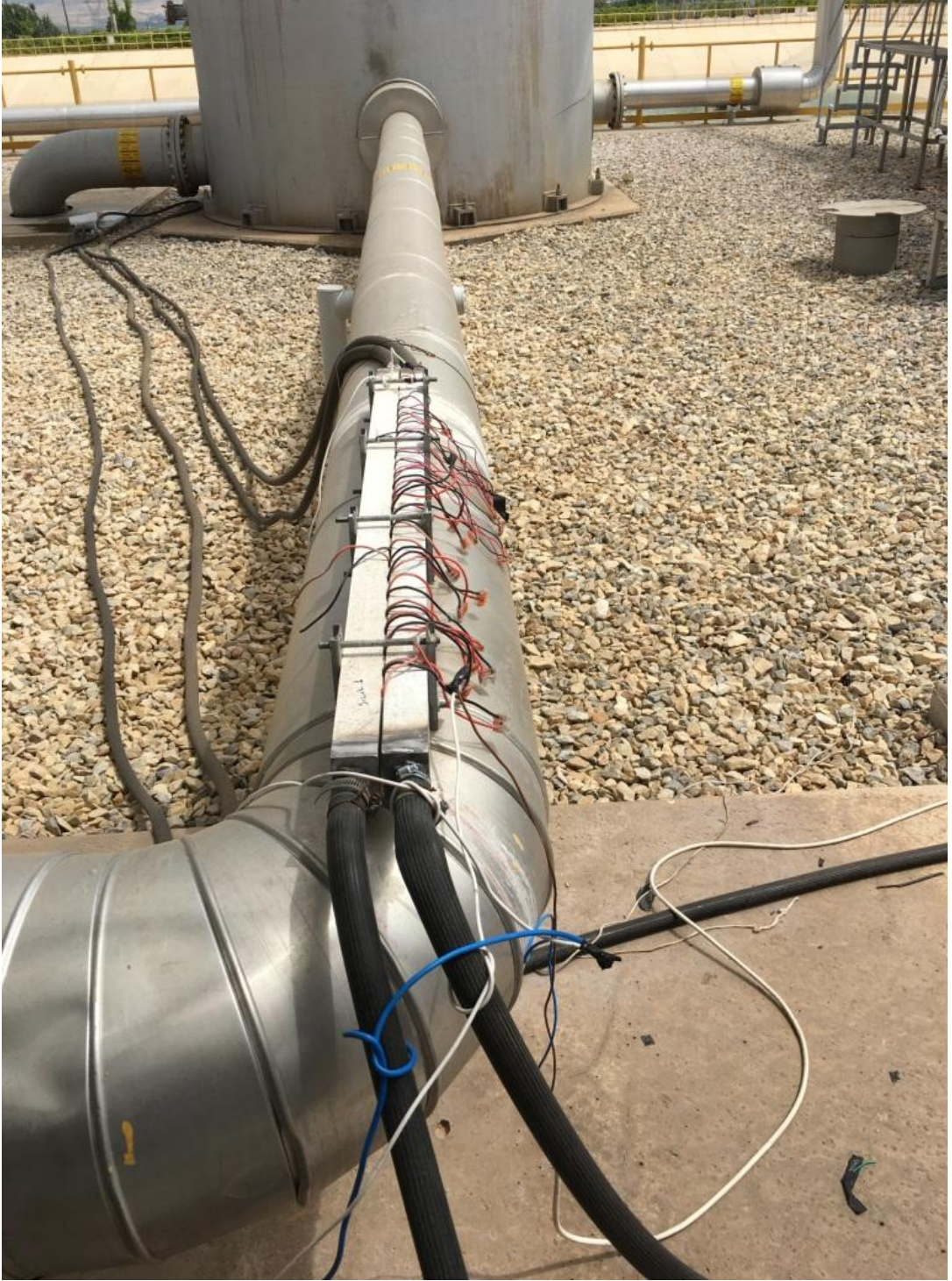
Şekil 6.3. Flash tip jeotermal santrali buhar ayırıştırma seperatörü

Resimdeki seperatörler tez çalışmasının yapıldığı atıl durumda olan sıcak suyun yer aldığı kısımdır. Seperatörler yüksek sıcaklık ve basınçtaki jeotermal akışkanı buhar+sıvı faz olarak ayırmaktadır. Sağ tarafta iki adet Hp seperatör sol tarafta iki adet Lp seperatör mevcuttur. Hp seperatörden çıkan akışkanın basıncı düşürülerek Lp buhar elde edilmektedir. Lp seperatörden buhar ve sıvı ayrıldığında sıvı tekrar enjeksiyon sistemi ile yer altına basılmaktadır. Her seperatörde iki adet emniyet vanası bulunmaktadır. Bu vanalar sürekli açılıp kapatılarak sistem koruma altına alınmaktadır. Bu vanalarda 96-98°C civarında sıvı deşarj olmaktadır. Bu sıcak su ve soğutma kulesinden gelen pompa soğutma suyu ile peltierlerde elektrik üretimi sağladık. Atık olan havuza akan akışkanlardan yararlanılmıştır.



Şekil 6.4. Flash tip jeotermal santrali su soğutma kulesi

Soğutma kulesi flaş tip jeotermal santralin aslında kalbidir. Bütün sistemlerde yağ soğutma, buharın vakumlanması, gazın soğutulması, pompa salmastralarının soğutulması gibi bir çok kısımda görev almaktadır. Bu sayede sistem sürekli yüksek verim ve sağlıklı olarak çalışmaktadır. Bizim peltier sisteminde kullandığımız soğuk akışkanda öncelikle bir pompada soğutma görevi görüp havuza dökülen soğuk sudur. Atıl durumda olan bu soğutma suyundan peltier sisteminde yararlanılmıştır.



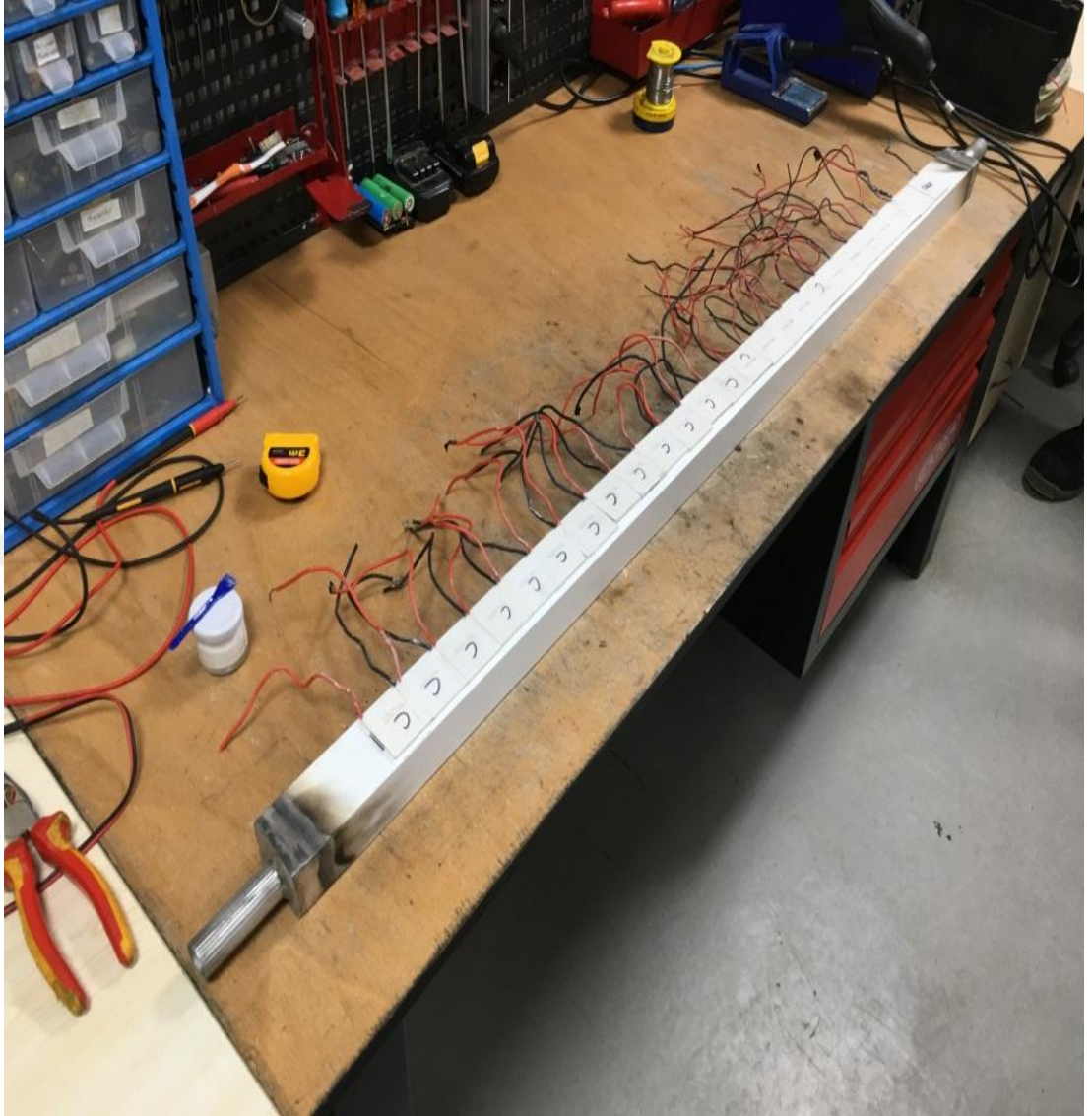
Şekil 6.5. Deneş sistemi enerji üretim kısmı

Şekil 6.5 de görünen peltierin olduğu sürekli sıcak ve soğuk akışkanın geçtiği elektrik üretimi sağlanan kısımdır. Sağ taraftan sıcak su, sol taraftan soğuk su geçmektedir bu sayede peltierlere sürekli ısı transferi sağlanmaktadır.



Şekil 6.6. Üretilen elektrik ile yakılan lambalar

Şekil 6.6 de lambalar yer almaktadır bu lambalar peltierler ile üretilen elektrik ile yakılarak saha aydınlatması sağlanmıştır.



Şekil 6.7. Peltierlerin alüminyum ısı transfer elamanına montajı

Şekil 6.7'da $4\text{ cm} * 4\text{ cm} * 120\text{ cm}$ boyutlarındaki alüminyum ısı transfer elemanına $4\text{ cm} * 4\text{ cm}$ boyutlarında 24 adet 12715 TEC peltierlerin montaj aşaması gösterilmiştir.



Şekil 6.8. Peltierlerden üretilen enerji değerlerinin ölçülmesi

Şekil 6.8. de 24 adet peltiere ait bütün voltaj ve akım değerleri tek tek ölçülmüştür. Bu sayede üretimi sağlanan enerji miktarı belirlendi.



Şekil 6.9. Sıcak ve soğuk akışkanların sıcaklık ölçümleri

Şekil 6.9. de iki farklı peltier elektrik üretim sistemine ait sıcak su ve soğuk su giriş, çıkış sıcaklıkları belirlenerek sistemin enerji, ekserji verimi, ısı transfer hesaplamaları ve maliyet geri kazanım hesaplamaları sağlandı.

6.1 Tam Sinüs Inverter

Inverterler istenilen gerilim, güç veya frekans değerlerinde AC akım elde edilmesini sağlarlar.AC to DC veya DC to AC olarak ters yönde de işleme kapasitelerine sahiptirler.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretmek için güneş panellerinde, rüzgâr türbinlerinde, termoelektrik sistemlerde çokça karşımıza çıkmaktadır.

Şekil 6.10. da gösterilen inverter ile projede Termoelektrik sistemden elde ettiğimiz (DC) doğru gerilimi şebeke standartlarına 220V/50 Hz' e yükseltme senaryosunu üstlenmiştir.İnverterler reaktif güç üretmeme açısından çokça verimli oldukları için tercih sebebidirler.



Şekil 6.10. Tam sinüs inverter

6.2 Akü

Şekil 6.11. gösterilen akü elektrik enerjisini bir başka enerji şekli olan kimyasal enerji olarak depolayan ve ihtiyaç duyulması halinde bu enerjiyi elektrik enerjisi olarak veren enerji depolama aracıdır.



Şekil 6.11. Akü

6.3 Peltier

Peltierler iki yarı iletken malzemenin (N&P) bir araya getirilmesi ile oluşur ve günümüzde elektronik çiplerin soğutulması işleminde sıkça kullanılmaktadır. Hareketsiz parçaları olmaması, güvenilir, kompakt yapıda olmaları ve düşük enerji sarfiyatları olması nedeniyle avantaj sağlarlar. Peltier genel olarak sıcaklık veya soğukluk üreten ancak istenirse elektrik üretebileceğiniz bir elemandır. Şekil 6.12. de projede kullanılan peltier yer almaktadır.

Bu projede ters polarite ile elektrik üretmek için tasarlanmıştır.

Termoelektrik etki ile tahrik edildiklerinde (+) ve (-) polarite uçlarında gerilim ölçülecektir. Verimliliği yüksek seviyeye ulaştırmak için soğutulan ve ısıtılan yüzeylerin arasında ki ısı farkınının 60 civarında olması önerilir.



Şekil 6.12. Deneylerde kullanılan peltier modülü

7. KURUMSALANALİZ VE EKONOMİK ANALİZ

Yapılan çalışmada sisteminin performansının ortaya konulması için enerji ve ekserji analizinin gerçekleştirilmesi, ısı transferi ile hesaplamaların yapılması ve yapılan harcamaların geri kazanılması için geçen sürenin hesaplanması gibi hesaplamalar ele alınmıştır. Termodinamiğin birinci yasası, enerjinin korunumunu temel almakta ve enerjinin niceliği ile ilgilenmektedir. Enerjinin kullanılabilirliği, sistemdeki tersinmezlikleri ve enerjinin niteliği ise ikinci yasa analizi (ekserji analizi) ile gözler önüne serilmektedir. Isı transferi için zorlanmış iç taşınım ve yüzeyler arasında iletimle ısı transferi çalışmaları incelendi.

7.1 Termodinamik analiz

Bu bölümde, jeotermal enerji santralinde atık enerji ile elde edilecek proje kapsamında tasarlanan ve kurulan Termoelektrik elemanlarla üretilen elektriğin enerji ve ekserji analizi gerçekleştirilerek performansının belirlenmesi sağlanmıştır.

Isı transferinin sağlanacağı alüminyum profillerin tasarımı, akışkan parametrelerinin belirlenmesi enerji aktarımına etkisinin incelenmesi sistem veriminin analiz edilmesinde büyük önem taşımaktadır. Profil boyutları, ısı transfer yüzeyleri, akışkan sıcaklıkları, akışkan miktarları en önemli tasarım parametreleridir.

Sistemde hesaplamalar yapılırken aşağıdaki ölü hal koşullarından yararlanılarak hesaplamalar yapıldı.

$$P_o = 1 \text{ atm}$$

$$T_o = 20^\circ\text{C}$$

Enerji verimi hesaplanırken,

Alınan enerji, Üretilen enerji ve Verilen enerji bağlantılarından yararlanılarak sistem verimleri elde edilmiştir.

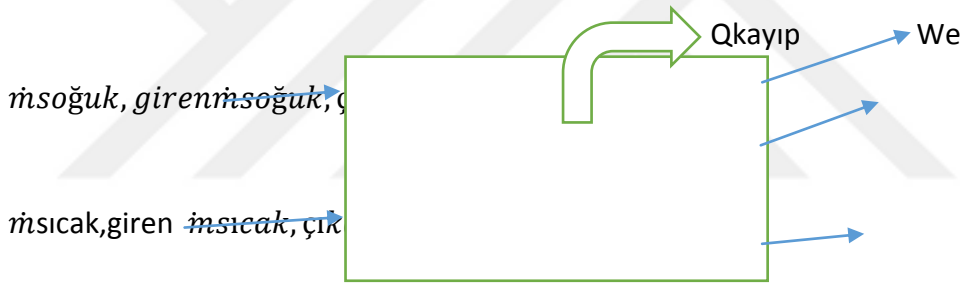
Ekserji veriminde çıkan akış ekserji, üretilen enerji ve giren akış ekserjisi bağıntısından yararlanılarak sistem verimleri elde edilmiştir.

Dikdörtgen boruların içinde akışkan olduğundan ısı transferinde zorlanmış iç taşınım formüllerinden yararlanılmıştır.

Peltier ile alüminyum borunun birbirine temas ettiği noktada iletimle ısı transferi hesaplamalarından yararlanılmıştır.

Bütün hesaplamalar yapılarak verimler ve ısı transferleri bulunmuştur.

1.SİSTEM ENERJİ ANALİZİ :



Şekil 7.1. Birinci Sistemin Enerji Analizi

Sistem sürekli akışlı açık sistem olarak kabul edilmiştir.

$\dot{m}_{c,in}$ = soğuk su giriş kütleli debi

$\dot{m}_{h,in}$ = sıcak su giriş kütleli debi

$\dot{m}_{c,out}$ =soğuk su çıkış kütleli debi

$\dot{m}_{h,out}$ =sıcak su çıkış kütleli debi olmak kaydı ile ;

Termodinamik kütle korunumu kanunundan yararlanılarak sistemin enerji analizi eşitlik 1 ile hesaplanır;

$$-\dot{Q} - \dot{W}_E = (\dot{m}_{h,out} * h_{h,out} + \dot{m}_{c,out} * h_{c,out}) - (\dot{m}_{h,in} * h_{h,in} + \dot{m}_{c,in} * h_{c,in}) \quad (1)$$

Toplam verim;

Verim formülü eşitlik 2 deki gibidir;

$$\frac{\text{Alınan}}{\text{Verilen}} = \frac{\dot{m}_{h,out} * h_{h,out} + \dot{m}_{c,out} * h_{c,out} + W_E}{(\dot{m}_{h,in} * h_{h,in} + \dot{m}_{c,in} * h_{c,in})} \quad (2)$$

Buna göre 1.sistem için toplam verimi eşitlik 2 ile hesaplandığında aşağıdaki değer bulunur.

$$\eta = \frac{(0,411765)*(398,763) + (0,6730769)*(118,209) + 0,04699}{(0,411765)*(406,3955) + (0,6730769)*(116,41)} = 0,992 \text{ yani ;}$$

%99,23 verim elde edilmiş olur.

TEG'in verimi ise;

Teg'in verim formülü eşitlik 3 deki gibidir;

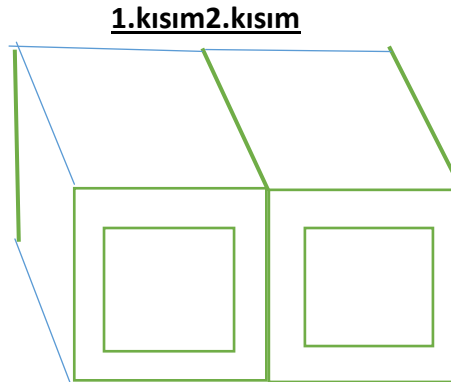
$$\frac{\text{Alınan}}{\text{Verilen}} = \frac{W_E}{(\dot{m}_{h,in} * h_{h,in} + \dot{m}_{c,in} * h_{c,in})} \quad (3)$$

Buna göre 1.sistem için teg'in verimi eşitlik 3 ile hesaplandığında aşağıdaki değer bulunur.

$$\eta = \frac{0,04699}{(0,411765)*(406,3955) + (0,6730769)*(116,41)} = 0,000019 \text{ yani ;}$$

%0,0019 verim elde edilmiş olur.

1.SİSTEM İÇİN EKSERJİ ANALİZİ :



Şekil 7.2. Birinci Sistemin Ekserji Analizi

Şekildeki sistemin verimini termodinamik 2. Yasa kullanarak hesaplanması aşağıdaki gibidir

- 1. Kısım sıcak su akışı mevcut boru
- 2. Kısım soğuk su akışı mevcut boru

1.ADIM :

İlk olarak 1.kısım borudaki entalpi ve entropi değerlerini termodinamik tablolardan (A-4) gerek duyulduğu takdirde enterpolasyon hesabı yapılarak bulunur.

1.kısım boru için ;(giriş sıcaklığı ; 96,98°C) ve (çıkış sıcaklığı ; (95,16°C) ;

*tablo A-4 den ; $S_f = 1,272$ *tablo A-4 den 95,16°C ; $S_f = 1,252$

$$h_f = 406,395 \quad h_f = 398,764$$

1.kısım boru için ;(çıkış sıcaklığı ; 20°C) ;

*tablo A-4 den ; $S_f = 0,2965$

$$h_f = 83,915$$

2.kısım boru için ;(giriş sıcaklığı ; 27,77°C) ve (çıkış sıcaklığı ; (28,20°C) ; ;

*tablo A-4 den ; $S_f = 0,405$ *tablo A-4 den 28.20°C ; $S_f = 0,413$

$$h_f = 116,41 \quad h_f = 118,630$$

2.kısım boru için ;(çıkış sıcaklığı ; 20°C) ;

*tablo A-4 den ; $S_f = 0,296$

$$h_f = 83,915$$

2.ADIM :

Tablolardan aldığımız değerler ile akış ekserjileri hesaplanır

$$\varphi_{h_{h,in}} = (h_{h,in} - h_0) - T_0 (s_{h,in} - s_0) \quad (4)$$

$$\varphi_{h_{h,out}} = (h_{h,out} - h_0) - T_0 (s_{h,out} - s_0) \quad (5)$$

$$\varphi_{h_{c,in}} = (h_{c,in} - h_0) - T_0 (s_{c,in} - s_0) \quad (6)$$

$$\varphi_{h_{c,out}} = (h_{c,out} - h_0) - T_0 (s_{c,out} - s_0) \quad (7)$$

Eşitlik 4 ile sisteme sıcak giren akışkanın ekserjisi hesaplanır;

$$\begin{aligned}\varphi_{h_{h,in}} &= (406,395 - 83,915) - 20*(1,272 - 0,296) \\ &= 302,955\end{aligned}$$

Eşitlik 5 ile sistemden sıcak çıkan akışkanın ekserjisi hesaplanır;

$$\begin{aligned}\varphi_{h_{h,out}} &= (398,764 - 83,915) - 20*(1,252 - 0,296) \\ &= 295,73\end{aligned}$$

Eşitlik 6 ile sisteme soğuk giren akışkanın ekserjisi hesaplanır;

$$\begin{aligned}\varphi_{h_{c,in}} &= (116,41 - 83,915) - 20*(0,405 - 0,296) \\ &= 30,31\end{aligned}$$

Eşitlik 7 ile sistemden soğuk çıkan akışkanın ekserjisi hesaplanır;

$$\begin{aligned}\varphi_{h_{c,out}} &= (118,630 - 83,915) - 20*(0,413 - 0,296) \\ &= 32,38\end{aligned}$$

3.ADIM :

Ekserjinin verim formülü eşitlik 8 deki gibi hesaplanır;

$$\text{VERİM} = \frac{Ex_{out}}{Ex_{in}} \quad (8)$$

Giren ekserji ve çıkan ekserji eşitlik 9 ve eşitlik 10 da tanımlanmıştır ;

$$Ex_{in} = \dot{m}_{h,in} * h_{h,in} + \dot{m}_{h,out} * h_{h,out} \quad (9)$$

$$Ex_{out} = \dot{m}_{c,in} * h_{c,in} + \dot{m}_{c,out} * h_{c,out} \quad (10)$$

Eşitlik 9 ile sisteme giren akışkanların ekserjisi hesaplanır;

$$\begin{aligned}Ex_{in} &= (0,411)*(302,955) + (0,673) * (30,31) \\ &= 145,165\end{aligned}$$

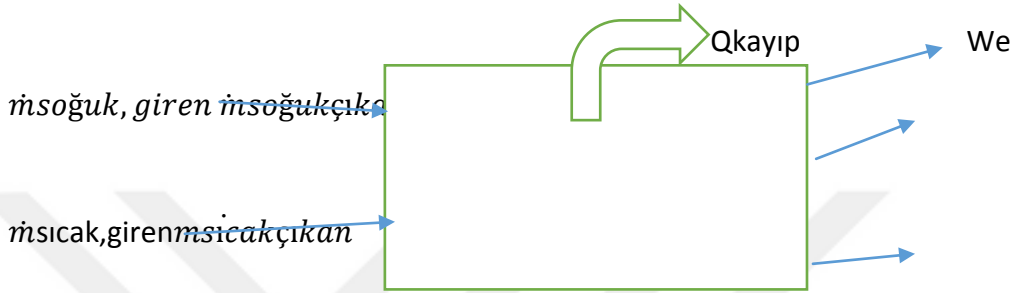
Eşitlik 10 ile sisteme çıkan akışkanların ekserjisi hesaplanır;

$$\begin{aligned}Ex_{out} &= (0,673)*(32,38) + (0,411)*(295,73) \\ &= 143,585\end{aligned}$$

Eşitlik 8'e göre birinci sistemin ekserji verimi bulunur;

$$\eta_{ex} = \frac{143,585}{145,165} = 0,989 \quad \text{yani ; } \underline{\%98,91} \text{ verim elde edilmiş olur.}$$

2.SİSTEM ANALİZİ :



Şekil 7.3. İkinci Sistemin Enerji Analizi

Sistem sürekli akışlı açık sistem olarak kabul edilmiştir.

$\dot{m}_{c,in}$ = soğuk su giriş kütleli debi

$\dot{m}_{h,in}$ = sıcak su giriş kütleli debi

$\dot{m}_{c,out}$ =soğuk su çıkış kütleli debi

$\dot{m}_{h,out}$ =sıcak su çıkış kütleli debi olmak kaydı ile ;

Termodinamik kütle korunumu kanunundan yararlanarak sistemin enerji analizi eşitlik 11 ile hesaplanır;

$$-\dot{Q} - \dot{W}_E = (\dot{m}_{h,out} * h_{h,out} + \dot{m}_{c,out} * h_{c,out}) - (\dot{m}_{h,in} * h_{h,in} + \dot{m}_{c,in} * h_{c,in}) \quad (11)$$

Toplam verim;

Verim formülü eşitlik 12 deki gibidir;

$$\frac{\text{Alınan}}{\text{Verilen}} = \frac{(\dot{m}_{h,out} * h_{h,out} + \dot{m}_{c,out} * h_{c,out}) + \dot{W}_E}{(\dot{m}_{h,in} * h_{h,in} + \dot{m}_{c,in} * h_{c,in})} \quad (12)$$

Buna göre 2.sistem için toplam verimi eşitlik 12 ile hesaplandığında aşağıdaki değer bulunur.

$$\eta = \frac{(0,388)*(397,794) + (0,686)*(118,627) + 0,0462}{(0,388)*(406,395) + (0,686)*(116,41)} = 0,992 \text{ yani ;}$$

%99,253 verim elde edilmiş olur.

TEG'in verimi ise;

Teg'in verim formülü eşitlik 13 deki gibidir;

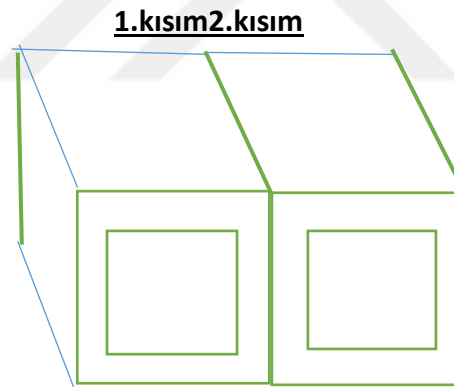
$$\frac{\text{Alınan}}{\text{Verilen}} = \frac{\dot{W}_E}{(\dot{m}_{h,in} * h_{h,in} + \dot{m}_{c,in} * h_{c,in})} \quad (13)$$

Buna göre 2.sistem için teg'in verimi eşitlik 13 ile hesaplandığında aşağıdaki değer bulunur.

$$\eta = \frac{0,0462}{(0,388)*(406,395) + (0,686)*(116,41)} = 0,0000194 \text{ yani ;}$$

%0,00194 verim elde edilmiş olur.

2.SİSTEM İÇİN EKSERJİ ANALİZİ :



Şekil 7.4. İkinci Sistemin Ekserji Analizi

Şekildeki sistemin verimini termodinamik 2. Yasa kullanarak hesaplanması aşağıdaki gibidir

- 1. Kısım sıcak su akışı mevcut boru
- 2. Kısım soğuk su akışı mevcut boru

1.ADIM :

İlk olarak 1.kısım borudaki entalpi ve entropi değerlerini termodinamik tablolardan (A-4) gerek duyulduğu takdirde enterpolasyon hesabı yapılarak bulunur.

1.kısım boru için ;(giriş sıcaklığı ; 96,98°C) ve (çıkış sıcaklığı ; (94,93°C) ;

*tablo A-4 den ; $S_f = 1,272$ *tablo A-4 den 94,93°C ; $S_f = 1,249$

$$h_f = 406,395 \quad h_f = 397,795$$

1.kısım boru için ;(çıkış sıcaklığı ; 20°C) ;

*tablo A-4 den ; $S_f = 0,2965$

$$h_f = 83,915$$

2.kısım boru için ;(giriş sıcaklığı ; 27,77°C) ve (çıkış sıcaklığı ; (28,20°C) ; ;

*tablo A-4 den ; $S_f = 0,405$

*tablo A-4 den 28,20°C ; $S_f = 0,413$

$$h_f = 116,41$$

$$h_f = 118,35$$

2.kısım boru için ;(çıkış sıcaklığı ; 20°C) ;

*tablo A-4 den ; $S_f = 0,296$

$$h_f = 83,915$$

2.ADIM :

Tablolardan aldığımız değerler ile akış ekserjileri hesaplanır

$$\varphi_{h_{h,in}} = (h_{h,in} - h_0) - T_0 (s_{h,in} - s_0) \quad (14)$$

$$\varphi_{h_{h,out}} = (h_{h,out} - h_0) - T_0 (s_{h,out} - s_0) \quad (15)$$

$$\varphi_{h_{c,in}} = (h_{c,in} - h_0) - T_0 (s_{c,in} - s_0) \quad (16)$$

$$\varphi_{h_{c,out}} = (h_{c,out} - h_0) - T_0 (s_{c,out} - s_0) \quad (17)$$

Eşitlik 14 ile sisteme sıcak giren akışkanın ekserjisi hesaplanır;

$$\begin{aligned} \varphi_{h_{h,in}} &= (406,395 - 83,915) - 20*(1,272 - 0,296) \\ &= 302,955 \end{aligned}$$

Eşitlik 15 ile sistemden sıcak çıkan akışkanın ekserjisi hesaplanır;

$$\begin{aligned} \varphi_{h_{h,out}} &= (397,795 - 83,915) - 20*(1,249 - 0,296) \\ &= 294,818 \end{aligned}$$

Eşitlik 15 ile sisteme soğuk giren akışkanın ekserjisi hesaplanır;

$$\begin{aligned}\varphi_{h_{c,in}} &= (116,41 - 83,915) - 20*(0,405 - 0,296) \\ &= 30,31\end{aligned}$$

Eşitlik 16 ile sistemden soğuk çıkan akışkanın ekserjisi hesaplanır;

$$\begin{aligned}\varphi_{h_{c,out}} &= (118,35 - 83,915) - 20*(0,413 - 0,296) \\ &= 32,10\end{aligned}$$

3.ADIM :

Ekserjinin verim formülü eşitlik 8 deki gibi hesaplanır;

$$\text{VERİM} = \frac{Ex_{out}}{Ex_{in}} \quad (18)$$

Giren ekserji ve çıkan ekserji eşitlik 9 ve eşitlik 10 da tanımlanmıştır ;

$$Ex_{in} = \dot{m}_{h,in} * h_{h,in} + \dot{m}_{h,out} * h_{h,out} \quad (19)$$

$$Ex_{out} = \dot{m}_{c,in} * h_{c,in} + \dot{m}_{c,out} * h_{c,out} \quad (20)$$

Eşitlik 19 ile sisteme giren akışkanların ekserjisi hesaplanır;

$$\begin{aligned}Ex_{in} &= (0,388)*(302,955) + (0,686)*(30,31) \\ &= 138,347\end{aligned}$$

Eşitlik 20 ile sistemden çıkan akışkanların ekserjisi hesaplanır;

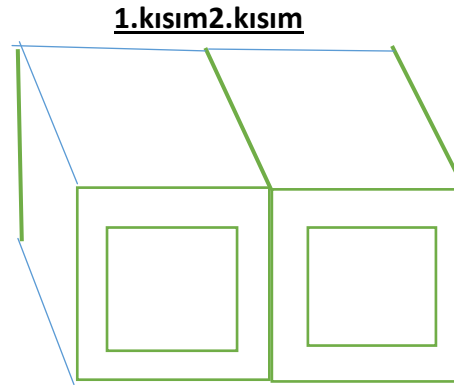
$$\begin{aligned}Ex_{out} &= (0,388)*(294,818) + (0,686)*(32,10) \\ &= 136,654\end{aligned}$$

Eşitlik 18'e göre ikinci sistemin ekserji verimi bulunur;

$$\eta_{ex} = \frac{136,654}{138,347} = 0,987 \quad \text{yani ; } \underline{\underline{\%98,77}} \text{ verim elde edilmiş olur.}$$

7.2 Isı transfer analizi

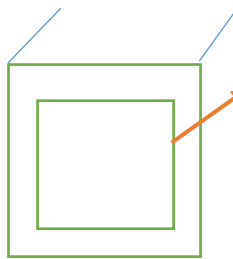
1. SİSTEMİN TAŞINIM VE İLETİM İLE ISI TRANSFER ANALİZİ :



Şekil 7.5. Birinci Sistemin Taşınım ve İletim İle Isı Transfer Analizi

Yukarıdaki şekilde arasında peltierin bulunduğu içerisinde sıcak ve soğuk akışkan geçen iki kısım bulunmaktadır. 1. Kısımdan sıcak, 2. kısımdan ise soğuk akışkan geçmektedir. Bu bilgiler göz önünde bulundurularak ;

1.kısım için taşınım ile gerçekleşen ısı transferi ;



$$Pr = 1,828$$

Tıcak1: taşınım ile gerçekleşen ısı transferi $\rho = 960,733$

Giren ısı : $96,97^{\circ}C_k = 0,677$

Çıkan ısı: $95,16^{\circ}C_V = 0,257 \text{ m/s}$

$$C_p = 4213,065$$

$$\mu = 0,2938 \cdot 10^{-3}$$

$$\dot{m} = 0,411$$

1.ADIM :

Akışın türblanslı olup olmadığını (türblans – laminer) kontrol etmek için "Re" reynold sayısı hesaplanır.

Reynold sayısı formülü eşitlik 21'de tanımlanmıştır;

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot Dh}{\mu} (21)$$

Eşitlik 21'deki Dh eşitlik 22'deki gibi hesaplanır;

$$Dh = \left(\frac{4 \cdot A}{P} \right) \quad (22)$$

Eşitlik 21'e göre reynolds sayısı hesaplanır;

$$Re = \frac{960,733 \cdot 0,257 \cdot 0,04}{0,293 \cdot 10^{-3}} = 33662,017 \text{ olarak bulunur.}$$

2.ADIM:

Reynold sayısı bulunduktan sonra nusselt sayısının formülünün belirlenmesi için "Re" sayısı ve boru uzunluğu kriterine bakılır. (hidrodinamik bakımdan tam gelişmiş ısıl bakımdan tam gelişmemiş akım hali için L boru boyu olmak üzere Haussen ;

$2300 < Re < 15 \cdot 10^4$ ise akış türblanslıdır ayrıca boru boyu çapı için $\frac{L}{D} < 60$ ise eşitlik 23'deki NU formülü tanımlanmıştır

$$Nu = 0,0273 \cdot Re^{\frac{7}{12}} \cdot Pr^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{D}{L} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (23)$$

Eşitlik kullanılarak Nu sayısını bulalım;

$$Nu = (0,0273) \cdot (33662,017)^{\frac{7}{12}} \cdot (1,828)^{\frac{1}{3}} \cdot (0,033)^{\frac{1}{3}}$$

Eşitlik 23'ye göre Nu sayısı bulunur,

Nu = 4,698 olarak bulunur.

Nusselt formülü boru ve diğer geometrik şekiller için eşitlik 24'deki gibi tanımlanmıştır.

$$Nu = \left(\frac{h \cdot Dh}{k} \right) \quad (24)$$

3.ADIM :

$$4,698 = \left(\frac{h \cdot Dh}{k} \right) \text{ eşitlik 23'ten } h' \text{ i çekersek ;}$$

(k = 0,677 , Dh = 0,04' tür.)

Eşitlik 24'e göre h = 79,576 olarak bulunur.

4.ADIM :

İstenilen sıcaklık değerini bulmamız için gerekli formül eşitlik 25'te tanımlanmıştır;

$$e^{-n*L} = \frac{T_{sıcak\ 1} - T_{çıkan}}{T_{sıcak\ 1} - T_{giren}} \quad (25)$$

5.ADIM :

"n" Sayının bulunması eşitlik 26'te tanımlanmıştır;

$$n = \frac{h * p}{\dot{m} * C_p} \quad (26)$$

Eşitlik 26'i kullanarak "n"yi bulalım;

$$n = \frac{(79,576) * 2(0,08)}{(0,411) * (4213,065)}$$

Eşitlik 26' göre "n" $n = 7,339 * 10^{-3}$ olarak bulunur.

6.ADIM :

Bulduğumuz değerler eşitlik 25'te yerine yazılır.

$$e^{-7,339 * 10^{-3} * 1,2} = \frac{T_{sıcak\ 1} - 95,16^{\circ}C}{T_{sıcak\ 1} - 96,97^{\circ}C}$$

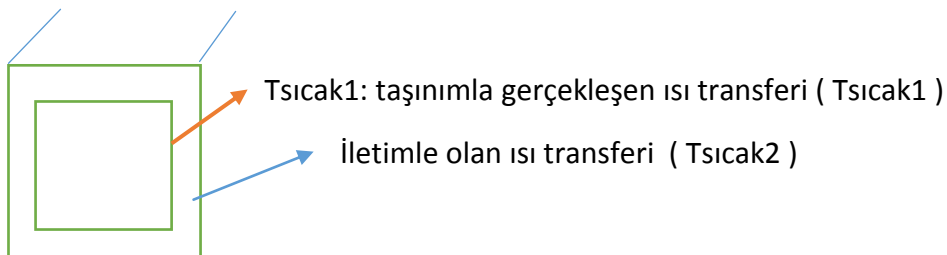
Eşitlik 25'e göre T_{sıcak1};

$$0,3646 = \frac{T_{sıcak\ 1} - 95,16^{\circ}C}{T_{sıcak\ 1} - 96,97^{\circ}C}$$

T_{sıcak1} = 94,121°C olarak bulunur.

Bu bulduğumuz değer borunun iç kısmındaki taşınım ile ısı transferi sonucu oluşan sıcaklık değeridir.

1.kısım için iletimle olan ısı transferi ;



1.ADIM :

Transfer edilen ısı miktarı "Q" bulunur.

Isı transfer miktarı formülü eşitlik 27'da tanımlanmıştır;

$$Q = h * A * \Delta T \quad (27)$$

Eşitlik 27'ye göre Q bulunur

$$Q = (79,576) * (1,6 * 10^{-3}) * (1,81)$$

Q = 0,2304 olarak bulunur.

2.ADIM :

Borunun iç kısmında taşınım dış kısmında iletim olduğundan dolayı ısı miktarı formülü eşitlik 28'de tanımlanmıştır;

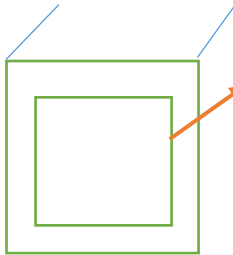
$$Q = \frac{T_{sıcak\ 1} - T_{sıcak\ 2}}{\frac{1}{h * A} + \frac{L}{k * A}} \quad (28)$$

Eşitlik 28'ye göre T_{sıcak2} bulunur;

$$0,2304 = \frac{94,121 - T_{sıcak\ 2}}{\frac{1}{(79,576) * (1,6 * 10^{-3})} + \frac{0,001}{(237) * (1,6 * 10^{-3})}} \quad \text{buradan}$$

T_{sıcak2} = **92,310°C**

2.kısım için taşınım ile olan ısı transferi :



Tsoğuk1: taşınım ile gerçekleşen ısı transferi

Giren ısı : 27,77°C

Çıkan ısı: 28,20°C

$\rho = 996,446$

$k = 0,602$

$V = 0,420 \text{ m/s}$

$Pr = 5,741$

$C_p = 4178,892$

$\mu = 0,839 * 10^{-3}$

$\dot{m} = 0.6862745$

1.ADIM :

Akışın türblanslı olup olmadığını (türblans – laminer) kontrol etmek için “Re” reynold sayısı hesaplanır.

Reynold sayısı formülü eşitlik 29’de tanımlanmıştır;

$$Re = \frac{\rho * V * Dh}{\mu} (29)$$

Eşitlik 21’deki Dh eşitlik 30’deki gibi hesaplanır;

$$Dh = \left(\frac{4 * A}{P} \right) (30)$$

Eşitlik 29’e göre reynolds sayısı hesaplanır;

$$Re = \frac{996,446 * 0,420 * 0,04}{0,839 * 10^{-3}} \quad Re = 19973,265 \text{ olarak bulunur.}$$

2.ADIM :

Reynold sayısı bulunduktan sonra nusselt sayısının formülünün belirlenmesi için “Re” sayısı ve boru uzunluğu kriterine bakılır. (hidrodinamik bakımdan tam gelişmiş ısıl bakımdan tam gelişmemiş akım hali için L boru boyu olmak üzere Haussen ;

$2300 < Re < 15 * 10^4$ ise akış türblanslıdır ayrıca boru boyu çapı için $\frac{L}{D} < 60$ ise eşitlik 31’deki NU formülü tanımlanmıştır

$$Nu = 0,0273 * Re^{\frac{7}{12}} * Pr^{\frac{1}{3}} * \left(\frac{D}{L} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (31)$$

Eşitlik kullanılarak Nu sayısını bulalım;

$$Nu = (0,0273) * (19973,265)^{\frac{7}{12}} * (5,74)^{\frac{1}{3}} * (0,033)^{\frac{1}{3}}$$

Eşitlik 31’ye göre Nu sayısı bulunur,

Nu = 5,073 olarak bulunur.

Nusselt formülü boru ve diğer geometrik şekiller için eşitlik 24’deki gibi tanımlanmıştır.

$$Nu = \left(\frac{h * Dh}{k} \right) (32)$$

3.ADIM :

$$4,698 = \left(\frac{h * Dh}{k} \right) \text{eşitlik 32'ten } h' \text{ i çekersek ;}$$

(k = 0,602 , Dh = 0,04' tür.)

Eşitlik 32'e göre h = 76,424 olarak bulunur.

4.ADIM :

İstenilen sıcaklık değerini bulmamız için gerekli formül eşitlik 33'te tanımlanmıştır;

$$e^{-n*L} = \frac{T_{soğuk1} - T_{çıkan}}{T_{soğuk1} - T_{giren}} \quad (33)$$

5.ADIM :

"n" Sayının bulunması eşitlik 26'te tanımlanmıştır;

$$n = \frac{h * p}{\dot{m} * Cp} \quad (34)$$

Eşitlik 34'i kullanarak "n"yi bulalım;

$$n = \frac{(76,424) * 2(0,08)}{(0,673) * (4178,892)} \text{ buradan}$$

Eşitlik 34' göre "n" n = 4,432*10⁻³ olarak bulunur.

6.ADIM :

Bulduğumuz değerler eşitlik 33'te yerine yazılır.

$$e^{4,432 * 10^{-3} * 1,2} = \frac{T_{soğuk1} - 28,20^{\circ}C}{T_{soğuk1} - 27,77^{\circ}C}$$

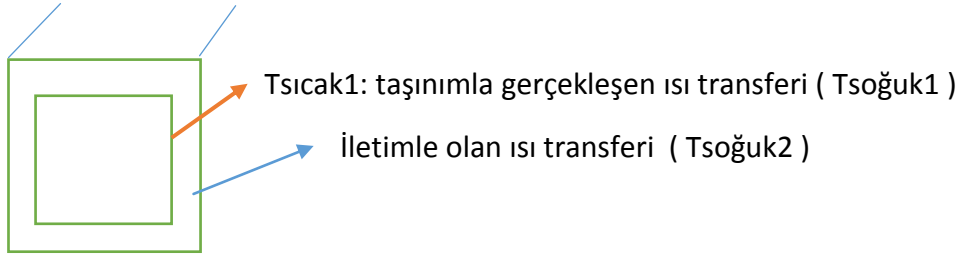
Eşitlik 33'e göre Tsoğuk1;

$$0,369 = \frac{T_{soğuk1} - 28,20^{\circ}C}{T_{soğuk1} - 27,77^{\circ}C}$$

Tsoğuk1 = 28,448°C olarak bulunur.

Bu bulduğumuz değer borunun iç kısmındaki taşınım ile ısı transferi sonucu oluşan sıcaklık değeridir.

2.kısım için iletimle ısı transferi :



1.ADIM :

Transfer edilen ısı miktarı "Q" bulunur.

Isı transfer miktarı formülü eşitlik 27'da tanımlanmıştır;

$$Q = h * A * \Delta T \quad (35)$$

Eşitlik 35'ye göre Q bulunur

$$Q = (76,424) * (1,6 * 10^{-3}) * (0,43)$$

Q = 0,042 olarak bulunur.

2.ADIM :

Borunun iç kısmında taşınım dış kısmında iletim olduğundan dolayı ısı miktarı formülü eşitlik 28'de tanımlanmıştır;

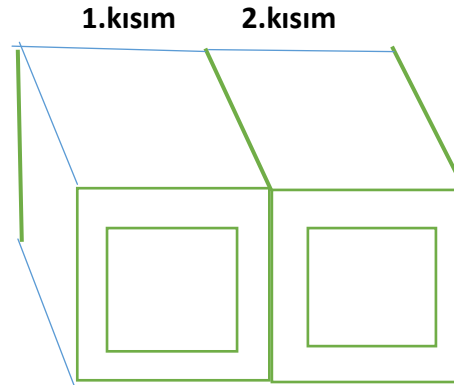
$$Q = \frac{Tsoğuk1 - Tsoğuk2}{\frac{1}{h * A} + \frac{L}{k * A}} \quad (36)$$

Eşitlik 36'ya göre Tsoğuk2 bulunur;

$$0,042 = \frac{28,448 - Tsoğuk2}{\frac{1}{(76,424) * (1,6 * 10^{-3})} + \frac{0,001}{(237) * (1,6 * 10^{-3})}} \quad \text{buradan}$$

$$Tsoğuk2 = \underline{28,054^{\circ}C}$$

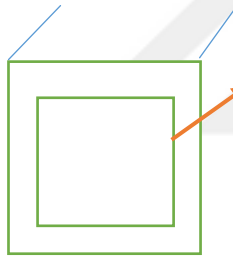
2. SİSTEMİN TAŞINIM VE İLETİM İLE ISI TRANSFER ANALİZİ :



Şekil 7.6. İkinci Sistemin Taşınım ve İletim İle Isı Transfer Analizi

Yukarıdaki şekilde arasında peltierin bulunduğu içerisinden sıcak ve soğuk akışkan geçen iki kısım bulunmaktadır. 1. Kısımdan sıcak, 2. kısımdan ise soğuk akışkan geçmektedir. Bu bilgiler gözönünde bulundurularak ;

1.kısım için taşınım ile gerçekleşen ısı transferi ;



Tısıcak1: taşınım ile gerçekleşen ısı transferi

Giren ısı : 96,97°C

Çıkan ısı: 94,16°C

$$\rho = 960,733$$

$$k = 0,677$$

$$V = 0,243 \text{ m/s}$$

$$\text{Pr} = 1,828$$

$$\text{Cp} = 4213,065$$

$$\mu = 0,293 \cdot 10^{-3}$$

$$\dot{m} = 0,388$$

1.ADIM :

Akışın türbanslı olup olmadığını (türbans – laminar) kontrol etmek için "Re" reynold sayısı hesaplanır.

Reynold sayısı formülü eşitlik 37'de tanımlanmıştır;

$$\text{Re} = \frac{\rho \cdot V \cdot Dh}{\mu} \quad (37)$$

Eşitlik 37'deki Dh eşitlik 38'deki gibi hesaplanır;

$$Dh = \left(\frac{4 * A}{P} \right) \quad (38)$$

Eşitlik 21'e göre reynolds sayısı hesaplanır;

$$Re = \frac{960,733 * 0,243 * 0,04}{0,293 * 10^{-3}} = 31791,95$$

2.ADIM:

Reynold sayısı bulunduktan sonra nusselt sayısının formülünün belirlenmesi için "Re" sayısı ve boru uzunluğu kriterine bakılır. (hidrodinamik bakımdan tam gelişmiş ısıl bakımdan tam gelişmemiş akım hali için L boru boyu olmak üzere Haussen ;

$2300 < Re < 15 * 10^4$ ise akış türblanslıdır ayrıca boru boyu çapı için $\frac{L}{D} < 60$ ise eşitlik 39'deki NU formülü tanımlanmıştır

$$Nu = 0,0273 * Re^{\frac{7}{12}} * Pr^{\frac{1}{3}} * \left(\frac{D}{L} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (39)$$

Eşitlik kullanılarak Nu sayısını bulalım;

$$Nu = (0,0273) * (31791,956)^{\frac{7}{12}} * (1,828)^{\frac{1}{3}} * (0,033)^{\frac{1}{3}}$$

Eşitlik 39'ye göre Nu sayısı bulunur,

Nu = 4,543 olarak bulunur.

Nusselt formülü boru ve diğer geometrik şekiller için eşitlik 40'deki gibi tanımlanmıştır.

$$Nu = \left(\frac{h * Dh}{k} \right) \quad (40)$$

3.ADIM :

$$4,543 = \left(\frac{h * Dh}{k} \right) \text{ eşitlik 40'dan } h' \text{ ı çekersek ;}$$

(k = 0,677 , Dh = 0,04' tür.)

Eşitlik 40'e göre h = 76,941 olarak bulunur.

4.ADIM :

İstenilen sıcaklık değerini bulmamız için gerekli formül eşitlik 41'te tanımlanmıştır;

$$e^{-n * L} = \frac{T_{sıcak} 1 - T_{çıkan}}{T_{sıcak} 1 - T_{giren}} \quad (41)$$

5.ADIM :

"n" Sayının bulunması eşitlik 42'te tanımlanmıştır;

$$n = \frac{h * p}{\dot{m} * Cp} \quad (42)$$

Eşitlik 42'yi kullanarak "n"yi bulalım;

$$n = \frac{(76,941) * 2(0,08)}{(0,388)*(4213,065)}$$

Eşitlik 42'ye göre "n" n = 7,515*10⁻³olarak bulunur.

6.ADIM :

Bulduğumuz değerler eşitlik 41'te yerine yazılır.

$$e^{-7,515*10^{-3}*1,2} = \frac{T_{sıcak 1} - 94,93^{\circ}C}{T_{sıcak 1} - 96,97^{\circ}C}$$

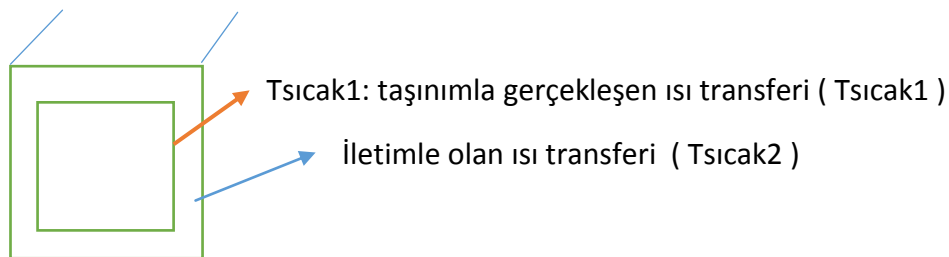
Eşitlik 41'e göre T_{sıcak1};

$$0,364 = \frac{T_{sıcak 1} - 94,93^{\circ}C}{T_{sıcak 1} - 96,97^{\circ}C}$$

T_{sıcak1} = 93,744°Colarak bulunur.

Bu bulduğumuz değer borunun iç kısmındaki taşınım ile ısı transferi sonucu oluşan sıcaklık değeridir.

1.kısım için iletimle olan ısı transferi ;



1.ADIM :

Transfer edilen ısı miktarı "Q" bulunur.

Isı transfer miktarı formülü eşitlik 43'de tanımlanmıştır;

$$Q = h * A * \Delta T \quad (43)$$

Eşitlik 43'ya göre Q bulunur

$$Q = (76,941) * (1,6 * 10^{-3}) * (2,04)$$

Q = 0,251 olarak bulunur.

2.ADIM :

Borunun iç kısmında taşınım dış kısmında iletim olduğundan dolayı ısı miktarı formülü eşitlik 28'de tanımlanmıştır;

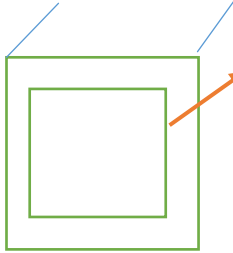
$$Q = \frac{T_{sıcak\ 1} - T_{sıcak\ 2}}{\frac{1}{h * A} + \frac{L}{k * A}} \quad (44)$$

Eşitlik 44'ye göre T_{sıcak2} bulunur;

$$0,251 = \frac{93,744 - T_{sıcak\ 2}}{\frac{1}{(76,941) * (1,6 * 10^{-3})} + \frac{0,001}{(237) * (1,6 * 10^{-3})}} \text{ buradan}$$

$$T_{sıcak\ 2} = \underline{91,703^{\circ}C}$$

2.kısım için taşınım ile olan ısı transferi :



Tsoğuk1: taşınım ile gerçekleşen ısı transferi

Giren ısı : 27,77°C

Çıkan ısı: 28,30°C

$$\rho = 996,446$$

$$k = 0,602$$

$$V = 0,428 \text{ m/s}$$

$$Pr = 5,741$$

$$C_p = 4178,892$$

$$\mu = 0,8394 * 10^{-3}$$

$$\dot{m} = 0,6862$$

1.ADIM :

Akışın türblanslı olup olmadığını (türblans – laminer) kontrol etmek için “Re” reynold sayısı hesaplanır.

Reynold sayısı formülü eşitlik 45’de tanımlanmıştır;

$$Re = \frac{\rho * V * Dh}{\mu} \quad (45)$$

Eşitlik 21’deki Dh eşitlik 46’deki gibi hesaplanır;

$$Dh = \left(\frac{4 * A}{P} \right) \quad (46)$$

Eşitlik 45’e göre reynolds sayısı hesaplanır;

$$Re = \frac{996,446 * 0,42892 * 0,04}{0,839 * 10^{-3}} \quad Re = 20364,827 \text{ olarak bulunur.}$$

2.ADIM :

Reynold sayısı bulunduktan sonra nusselt sayısının formülünün belirlenmesi için ‘Re’ sayısı ve boru uzunluğu kriterine bakılır. (hidrodinamik bakımdan tam gelişmiş ısıl bakımdan tam gelişmemiş akım hali için L boru boyu olmak üzere Haussen ;

$2300 < Re < 15 * 10^4$ ise akış türblanslıdır ayrıca boru boyu çapı için $\frac{L}{D} < 60$ ise eşitlik 47’deki NU formülü tanımlanmıştır

$$Nu = 0,0273 * Re^{\frac{7}{12}} * Pr^{\frac{1}{3}} * \left(\frac{D}{L} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (47)$$

Eşitlik kullanılarak Nu sayısını bulalım;

$$Nu = (0,0273) * (20364,827)^{\frac{7}{12}} * (5,74)^{\frac{1}{3}} * (0,033)^{\frac{1}{3}}$$

Eşitlik 47’ye göre Nu sayısı bulunur,

Nu = 5,130 olarak bulunur.

Nusselt formülü boru ve diğer geometrik şekiller için eşitlik 48’deki gibi tanımlanmıştır.

$$Nu = \left(\frac{h * Dh}{k} \right) \quad (48)$$

3.ADIM :

$$5,130 = \left(\frac{h * Dh}{k}\right) \text{eşitlik 48'ten } h' \text{ ı çekersek ;}$$

$$(k = 0,602 , Dh = 0,04)$$

$h = 77,286$ olarak bulunur.

4.ADIM :

İstenilen sıcaklık değerini bulmamız için gerekli formül eşitlik 49'te tanımlanmıştır;

$$e^{-n*L} = \frac{T_{soğuk1} - T_{çıkan}}{T_{soğuk1} - T_{giren}} \quad (49)$$

5.ADIM :

"n" Sayının bulunması eşitlik 26'te tanımlanmıştır;

$$n = \frac{h * p}{\dot{m} * C_p} \quad (50)$$

Eşitlik 50'i kullanarak "n"yi bulalım;

$$n = \frac{(77,286) * 2(0,08)}{(0,673) * (4178,892)} \text{buradan}$$

Eşitlik 50' göre "n" $n = 4,311 * 10^{-3}$ olarak bulunur.

6.ADIM :

Bulduğumuz değerler eşitlik 49'te yerine yazılır.

$$e^{4,432 * 10^{-3} * 1,2} = \frac{T_{soğuk1} - 28,20^{\circ}C}{T_{soğuk1} - 27,77^{\circ}C}$$

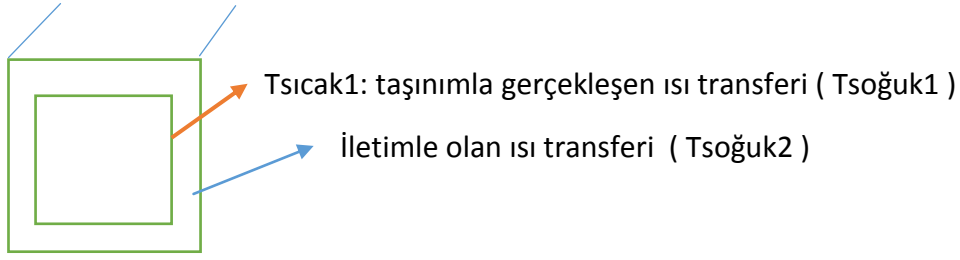
Eşitlik 33'e göre Tsoğuk1;

$$0,369 = \frac{T_{soğuk2} - 28,20^{\circ}C}{T_{soğuk2} - 27,77^{\circ}C}$$

Tsoğuk1 = 28,605°C olarak bulunur.

Bu bulduğumuz değer borunun iç kısmındaki taşınım ile ısı transferi sonucu oluşan sıcaklık değeridir.

2.kısım için iletimle ısı transferi :



1.ADIM :

Transfer edilen ısı miktarı "Q" bulunur.

Isı transfer miktarı formülü eşitlik 27'da tanımlanmıştır;

$$Q = h * A * \Delta T \quad (51)$$

Eşitlik 35'ya göre Q bulunur

$$Q = (77,286) * (1,6 * 10^{-3}) * (0,43)$$

Q = 0,065 olarak bulunur.

2.ADIM :

Borunun iç kısmında taşınım dış kısmında iletim olduğundan dolayı ısı miktarı formülü eşitlik 28'de tanımlanmıştır;

$$Q = \frac{Tsoğuk1 - Tsoğuk2}{\frac{1}{h * A} + \frac{L}{k * A}} \quad (52)$$

Eşitlik 44'e göre Tsoğuk2 bulunur;

$$0,042 = \frac{28,605 - Tsoğuk2}{\frac{1}{77,286 * (1,6 * 10^{-3})} + \frac{0,001}{(237) * (1,6 * 10^{-3})}} \text{buradan}$$

Tsoğuk2=28,07°C olarak bulunur

7.3Ekonomik analiz

Ekonomik analiz NPV yöntemine göre yapılmıştır. Bu yöntemde ilk olarak yatırım maliyeti hesaplanmıştır.

1 adet sinüs inverter = 800 TL

2 adet akü = 900 TL

48 adet peltier = 1680 TL

Sarf malzemeler = 120 TL

Toplamda 3500 TL harcama yapılmıştır.

Üretilen elektriğin satış fiyatı santral elektrik satış fiyatıdır. Buna göre;

1 MWh elektrik satışı 112 \$ ayrıca 1\$ 5,8 TL olarak kabul edilirse;

Üretilen Elektrik (W)	Çalışma Saati (h)	Üretilen Elektrik (Wh)	Üretilen elektriğin satış fiyatı TL
46,99	8760	411632,4	267,40
46,2	8760	404712	262,90
			530,30

Çizelge 7.1 Peltierlerde üretilen elektriğin yıllık satış fiyatı

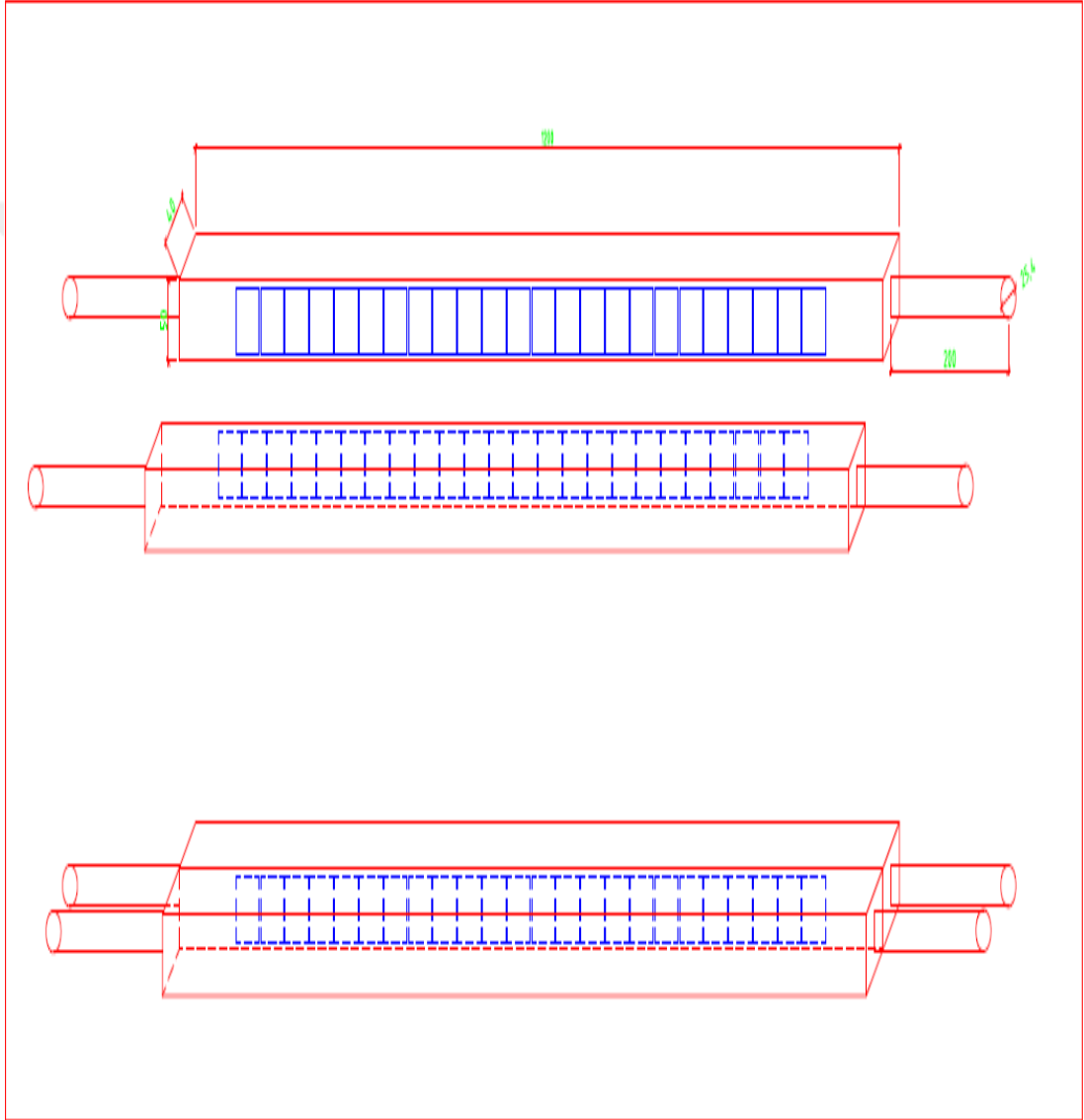
Periot (Yıl)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Yatırım maliyeti	-3500,00										
Yıllık Getiri		530,30	530,30	530,30	530,30	530,30	530,30	530,30	530,30	530,30	530,30
gider		-5,00	-5,00	-5,00	-5,00	-5,00	-5,00	-5,00	-5,00	-5,00	-5,00
faiz oranı	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
bakım onarım											
net nakit akış		525,30	525,30	525,30	525,30	525,30	525,30	525,30	525,30	525,30	525,30
isk. Net nakit akış											
a	0,99	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91	0,91
NPV		520,10	514,95	509,85	504,80	499,80	494,86	489,96	485,11	480,30	475,55
		-2979,90	-2464,95	-1955,10	-1450,30	-950,49	-455,64	34,32	519,43	1000	1475,28

Çizelge 7.2. Sisteme harcanan yatırım maliyetinin yıllara göre geri kazanılması

8. BULGULAR VE TARTIŞMA

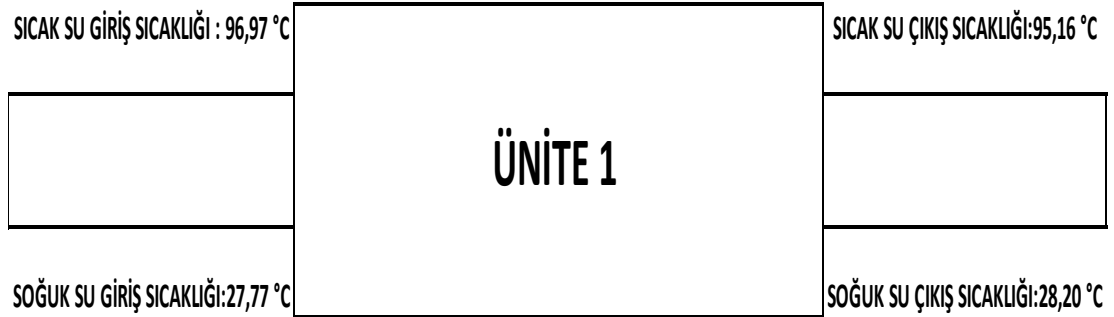
Sistem kurulup yapılan deneyler bu bölümde incelenmiş ve elde edilen üretim değerleri karşılaştırılmıştır.

Şekil 8.1. de sistemin yapısı ve performans bilgileri incelendiğinde,



Şekil 8.1. Sıcak ve soğuk akışkanların geçtiği peltierlerle elektrik üretim sistemi

SICAK SU 35 LT LİK KABI 1 DK 25 SN DE DOLDURMUŞTUR



SOĞUK SU 35 LT LİK KABI 52 SN DE DOLDURMUŞTUR

Şekil 8.2. Peltier elektrik üretim sistemi 1

Şekil 8.2. de deney sisteminin akışkan miktarları ve akışkan sıcaklıkları belirlenmiştir.

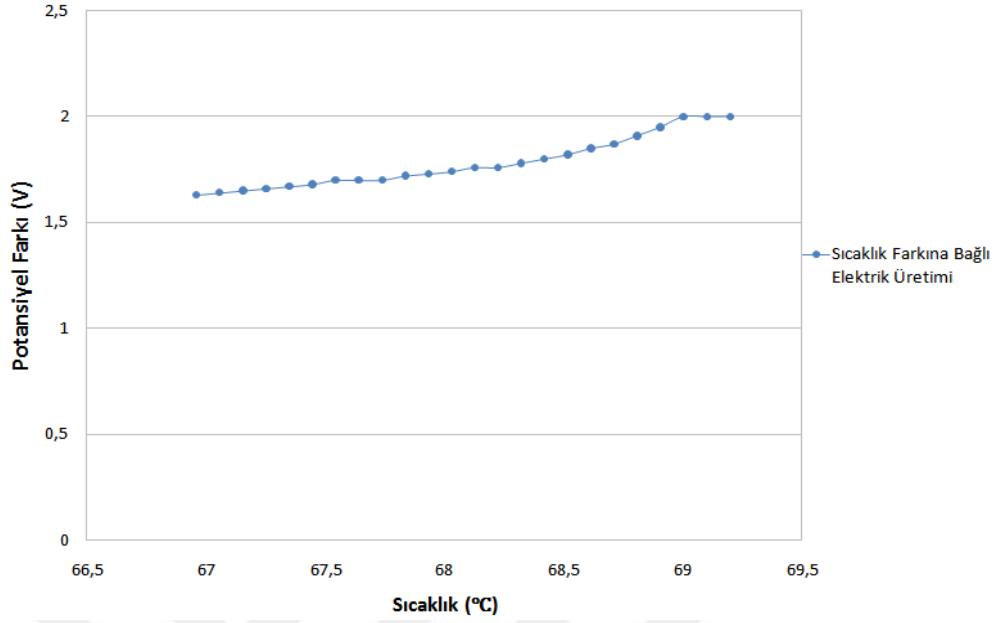
Ünite 1deki peltierlerde üretilen elektrik miktarı, 0,04699 Kwh

ÜNİTE 1	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
GERİLİM (V)	2	2	2	1,95	1,91	1,87	1,85
AKIM (A)	0,051	0,051	0,051	0,050	0,049	0,048	0,048

P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16
1,82	1,8	1,78	1,76	1,76	1,74	1,73	1,72	1,7
0,047	0,046	0,046	0,045	0,045	0,045	0,045	0,044	0,044

P17	P18	P19	P20	P21	P22	P23	P24	PT
1,7	1,7	1,68	1,67	1,66	1,65	1,64	1,63	42,72
0,044	0,044	0,043	0,043	0,043	0,042	0,042	0,042	1,1

Çizelge 8.1 Peltier elektrik üretim sistemi 1 akım ve voltaj değerleri



Şekil 8.3. Peltier 1 sistemindeki sıcaklık farkına göre elektrik üretim eğrisi

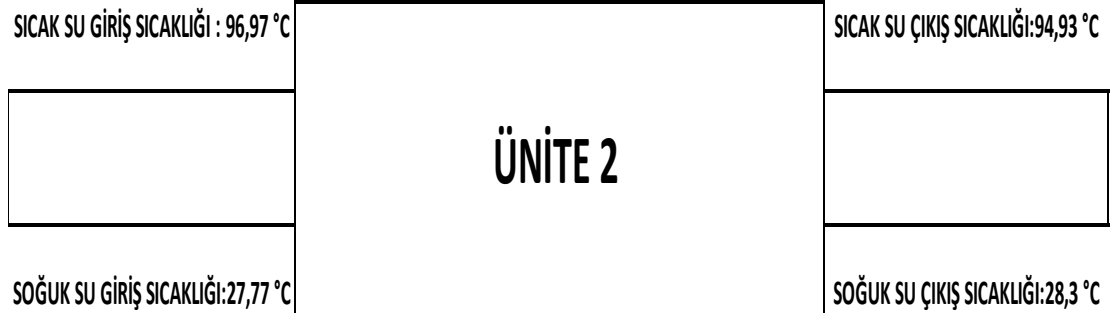
Şekil 8.3'te Peltier 1 sisteminde sıcaklık farkına bağlı olarak elde edilen potansiyel farkı değerleri görülmektedir. Buna göre sıcaklık farkı arttıkça potansiyel farkı artmaktadır.

Sistem 1 de aşağıdaki debiler ve sıcaklıklar mevcuttur.

m1 soğuk (kg/sn)	m1 sıcak (kg/sn)	T1 soğuk gir °C	T1 soğuk çık °C	T1 sıcak gir °C	T1 sıcak çık °C
0,673	0,411	27,77	28,2	96,97	95,16

Grafikte görüldüğü üzere peltier sisteminde sıcaklık farkı çok ufak bir şekilde azaldığından elektrik üretiminde kayıplar artmaktadır. Peltierin en verimli hali sıcaklık farkının yüksek olduğu noktada yakalanmıştır. Bu durum sonucunda sistem tasarımlarının en optimum noktasının bulunması sağlanmaktadır.

SICAK SU 35 LT LİK KABI 1 DK 30 SN DE DOLDURMUŞTUR



SOĞUK SU 35 LT LİK KABI 51 SN DE DOLDURMUŞTUR

Şekil 8.4. Peltier elektrik üretim sistemi 2

Şekil 8.4. de deney sisteminin akışkan miktarları ve akışkan sıcaklıkları belirlenmiştir.

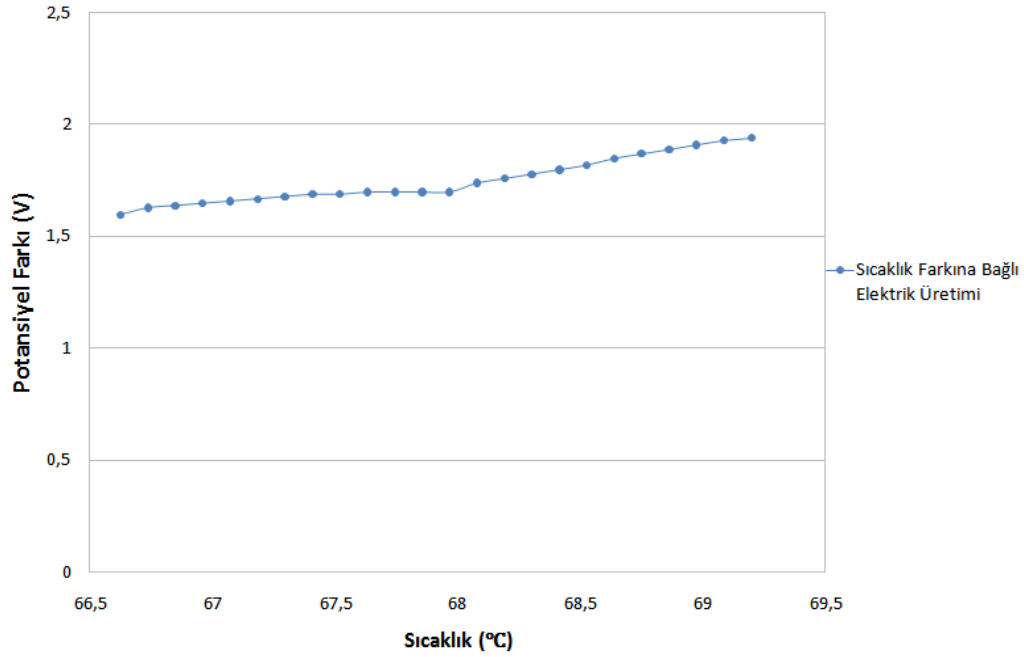
Ünite 2 deki peltierlerde üretilen elektrik miktarı 0,0462 Kwh

ÜNİTE 2	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
GERİLİM (V)	1,94	1,93	1,91	1,89	1,87	1,85	1,82
AKIM (A)	0,0508	0,0505	0,0500	0,0495	0,0489	0,0484	0,0476

P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16
1,8	1,78	1,76	1,74	1,7	1,7	1,7	1,7	1,69
0,0471	0,0466	0,0460	0,0455	0,0445	0,0445	0,0445	0,0445	0,0442

P17	P18	P19	P20	P21	P22	P23	P24	PT
1,69	1,68	1,67	1,66	1,65	1,64	1,63	1,6	42
0,0442	0,044	0,043	0,0434	0,0432	0,0429	0,0426	0,0419	1,1

Çizelge 8.2 Peltier elektrik üretim sistemi 2 akım ve voltaj değerleri



Şekil 8.5. Peltier 2 sistemindeki sıcaklık farkına göre elektrik üretim eğrisi

Şekil 8.5'te Peltier 2 sisteminde sıcaklık farkına bağlı olarak elde edilen potansiyel farkı değerleri görülmektedir. Buna göre sıcaklık farkı arttıkça potansiyel farkı artmaktadır.

Sistem 2 de aşağıdaki debiler ve sıcaklıklar mevcuttur.

m2 soğuk (kg/sn)	m2 sıcak (kg/sn)	T2 soğuk gir °C	T2 soğuk çık °C	T2 sıcak gir °C	T2 sıcak çık °C
0,686	0,388	27,77	28,3	96,97	94,93

Görüldüğü üzere sistem 1 e göre daha az elektrik üretimi sağlanmaktadır bunun temel nedeni sıcak akışkanın 1. Sisteme göre %5,8 daha az olmasıdır. Akışkanın miktarı seebeck etkisi ile oluşan elektrik enerjisini etkilemektedir.

İki ünite de farklı elektrik üretimi sağlanmıştır bunun temel nedeni sıcak ve soğuk akışkan miktarlarının farklı olmasıdır. Aynı teknik özelliklere sahip peltierler girişteki sıcaklık farkı 69,2 °C iken ilk sistemde 2V elektrik üretimi sağlamıştır.

Çıkışa doğru sıcaklık farkının düşmesi ile 66,96 °C sıcaklık farkında aynı peltierlerle 1,63V elektrik üretimi sağlanmıştır.

Peltierlere giden akışkan miktarları artırılarak daha çok verim alınabilir. Ayrıca yeteri akışkan olması durumunda sistem sayısı artırılarak elektrik üretimi artırılabilir. Sistem sayesinde yapılan ayrı bir gözlemde peltierlerin çok küçük sıcaklık değişimleri ve akışkan miktarı değişimine büyük tepkiler verdiği görülmüştür.

Seri peltier sayısının artırılması düşük verim sağlamaktadır. Paralel peltier sistemlerinin kurulması kurulum maliyetlerini artırmaktadır.



9. SONUÇ VE ÖNERİLER

9.1 Sonuç

Peltier (TEG) malzemelerinin birçok kullanım alanları vardır. Peltierlere enerji vererek soğutma sistemlerinin kurulması veya peltier yüzeylerinden farklı sıcaklıklarda akışkan geçirerek elektrik üretimi sağlanmaktadır. Yani ısı enerjisi elektrik enerjisini dönüşmektedir. Yapılan çalışma bu tanıma göre tasarlanmıştır. Bu çalışmada jeotermal enerji ile elektrik üretimi sağlayan bir santralin atık enerjilerinden yararlanılmıştır. Farklı debi ve sıcaklıklarda akışkanlardan yararlanılarak peltierlerle elektrik üretimi sağlanmıştır. Sıcak su debisinin fazla olması sonucu elektrik üretiminde artış gözlemlenmiştir. İki farklı sistemdeki elektrik üretimleri 0,04699 kWh ve 0,0462 kWh. Sıcak su debisi %5,8 fazla olan sistemde %1,7 oranında fazla elektrik üretimi sağlanmıştır. Peltierlerle elektrik üretimi temiz ve güvenilir bir üretim şeklidir. Peltierler sessiz çalışan ayrıca bakım gerektirmeyen malzemelerdir. Bu tür sistemler atık enerji olan bütün alanlarda kullanılabilir. Egzozdan çıkan sıcak hava, sobalar, güneş ışınları, sıcak su kaynakları gibi. Hibrit araç sistemlerinde motor ısı ve dış ortam soğuk havasından yararlanarak şarj sistemine ilave güç yaratılabilir. Santralimizde bu tür atık enerji olan sıcak su enjeksiyon boruları, atıl sıcak sular mevcuttur. Yeni peltierler eklenerek daha fazla elektrik üretilebilir. Bütün insanlar bu basit peltier sistemlerini etraflarındaki birçok alanda kullanarak enerji geri dönüşümü sağlayabilirler.

9.2 Öneriler

- Sistemin daha verimli hale gelmesi için ısı iletim katsayısı daha yüksek malzemeler kullanılabilir.
- Sistemin hem ucuz hem de kolay bulunup ısı transferi iyi olması için alüminyum malzeme tercih edilmiştir.
- Peltier sistemleri en iyi üretimleri yüksek sıcaklık farklarında vermektedirler.

- Isı transferi sağlayan parça sayıları artırılıp peltierler bölünürse 24+24 yerine örneğin 12+12+12+12 şeklinde daha iyi bir elektrik üretimi sağlanabilir.
- Bu da yapılan çalışmada ilk girişteki sıcak ve soğuk su farkının yüksek olduğu kısımda 2V bir enerji alınırken sonra doğru 1,6V gibi bir değer elde edilmektedir. 12+12+12+12 lik bir sistem ile %10 daha fazla enerji üretilebilir. Tabi buda ısı transfer malzemesi maliyeti sıcak ve soğuk akışkanların bölünmesi için boru sistem maliyetleri getirecektir. Maliyetlerin en düşük olduğu en iyi elektrik üretimin sağlandığı sistemler çok yararlı olacaktır. Unutulmamalı ki üretilen enerji atık enerjidir. Boşa giden enerjidir.
- Bunların dışında kendi çalışmam için akü ve inverter boyutları büyük olduğu için aynı peltier sisteminden fazlaca kurulup elektrik üretimi artırılabilir.

KAYNAKLAR

1. Uyar, T. S. (2007). Nükleer Enerji, Yenilenebilir Enerji Kaynakları. Enerji Politikaları. (sf 24-33, 51-57, 71-83). Bursa
2. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, Jeotermal Enerji Doğası ve Dağılımı (http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/jeo_dogasi_ve_kullanimi.aspx) 11 Ağustos 2015.
3. Ahiska R., Mamur H. Ve Uliş M., “Modelling Thermoelectric Modüle as Generator and Experimental Study”, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Derneği, 4(26): 889-896 (2011).
4. Temizer, İ., 2012. Effects on vehicle systems of technology thermoelectric, Batman University International Participated Science And Culture Symposium, Batman University , Journal of Life Sciences.
5. Derun, E.M., 2005. Sb₂Te₃ ve Bi₂Te₃ içerikli bileşiklerin termoelektrik, yapısal ve mikroyapısal özelliklerinin incelenmesi, Doktora tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
6. Özgün, H., 2009. Termoelektrik jeneratörlerin çok düşük sıcaklıklarda teorik ve deneysel karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
7. Jaegle, M., 2007. Multiphysics simulation of thermoelectric systems, Fraunhofer Institute for Physical Measurement Techniques Heidenhofstr, Freiburg.
8. Rowe, D. M., Bhandari C. M., (1983), Modern Thermoelectrics, Holt Technology, London, 168.

9. Döşkaya H.E., 2010. Güneş enerjisi ve atık ısı kullanılarak termoelektrik modül ile deneysel elektrik üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay.
10. Internet ([http://www.solar-academy.com/menuis/Yenilenebilir-Enerji-Teknolojileri Kaynaklari-Onemi.164622.pdf](http://www.solar-academy.com/menuis/Yenilenebilir-Enerji-Teknolojileri-Kaynaklari-Onemi.164622.pdf))
11. Masood Ebrahimi, Ehsan Derakhshan 2018 Thermo-environ-economic evaluation of a trigeneration system based onthermoelectric generator, two-bed adsorption chiller, and polymer exchangemembrane fuel cell.
12. Krishnadass Karthick , S. Suresh , Grashin C Joy, R. Dhanuskodi 2018 Experimental investigation of solar reversible power generation in Thermoelectric Generator (TEG) using thermal energy storage
13. Hailong He, Weiwei Liu, Yi Wu, Mingzhe Rong, Peng Zhao, Xiaojun Tang, 2018 An approximate and efficient characterization method for temperaturedependent parameters of thermoelectric modules
14. Hassan Jabera, Mahmoud Khaleda, Thierry Lemenand, Mohamad Ramadana, 2018 Effect of generator load on hybrid heat recovery system
15. Mojtaba Mirhosseini, Alireza Rezania, Lasse Rosendahl 2018 Harvesting waste heat from cement kiln shell by thermoelectric system
16. Krzysztof Sornek, Mariusz Filipowicz, Maciej Z_ oła dek, Radosław Kot, Małgorzata Mikrut 2018 Comparative analysis of selected thermoelectric generators operatingwith wood-fired stove
17. A.E. Teo, M.S. Chiong, M. Yang, A. Romagnoli, R.F. Martinez-Botas, S. Rajoo2018 Performance evaluation of low-pressure turbine, turbo-compounding and air-Brayton cycle as engine waste heat recovery method

18. Shahid Islam, Ibrahim Dincer, Bekir Sami Yilbas 2017 Development, analysis and assessment of solar energy-based multigeneration system with thermoelectric generator
19. Shahid Islam , Ibrahim Dincer , Bekir Sami Yilbas 2015 Energetic and exergetic performance analyses of a solar energy-based integrated system for multigeneration including thermoelectric generators
20. S. Manikandan, S.C. Kaushik 2016 Energy and exergy analysis of solar heat pipe based annular thermoelectric generator system
21. Murat Emre Demir , Ibrahim Dincer 2017 Performance assessment of a thermoelectric generator applied to exhaust waste heat recovery
22. S. Manikandan, S.C. Kaushik 2016 The influence of Thomson effect in the performance optimization of a two stage thermoelectric generator
23. Lertsatitthanakorn C 2006 Electrical performance analysis and economic evaluation of combined biomass cook stove thermoelectric (BITE) generator, Bioresource Technology,
24. Taşpınar 2012 Organ Taşıma Amaçlı Termoelektrik Soğutma Sistem Tasarım ve Uygulaması
25. Rowe, D. M., Bhandari C. M., 1983, Modern Thermoelectrics, Holt-Technology,
26. Usta H., Kırmacı, V., 2002 Termoelektrik Etkiler Ve Soğutma Etkinliğinin Uygunlanması
27. Cicek, O., Demirel, H. ve Tan, S. O., 2011, Termoelektrik modüllü kan nakil kabı tasarımı

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : YILMAZ, Ahmet

Uyruğu : T.C.

Doğum tarihi ve yeri : 01.01.1989 Kırıkkale

Medeni hali : Evli

Telefon : 0 (536) 5452556

e-mail : ahmet.yilmaz@zorlu.com

Eğitim

Derece Eğitim Birimi Mezuniyet tarihi

Lisans Yıldız Teknik Üniversitesi/Makine Mühendisliği Bölümü 2013

Lise Bandırma Anadolu 2006

İş Deneyimi

Yıl YerGörev

2013-Halen Zorlu Enerji Bakım Yöneticisi

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Yürüyüş, Futbol, Yüzme