



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

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI**

**YENİLENEBİLİR ENERJİ TABANLI TERMOELEKTRİK GÜÇ  
ÜRETİMİ VE SİSTEMİN PERFORMANSININ  
DEĞERLENDİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İbrahim CERAN**

**DANIŞMAN**

**Doç. Dr. Mustafa Tolga BALTA**

**AKSARAY, 2016**



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

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI**

**YENİLENEBİLİR ENERJİ TABANLI TERMOELEKTRİK GÜÇ  
ÜRETİMİ VE SİSTEMİN PERFORMANSININ  
DEĞERLENDİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İbrahim CERAN**

**DANIŞMAN**

**Doç. Dr. Mustafa Tolga BALTA**

**AKSARAY, 2016**



## **DOĞRULUK BEYANI**

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışmayı, bilimsel etik, ahlak ve geleneklere aykırı dűşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın yazdığımı, yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden olduğunu ve bu eserleri her kullanımında alıntı yaparak yararlandığımı belirtir; bunu şerefimle doğrularım.

Enstitü tarafından belli bir zamana bağlı olmaksızın, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildiririm.

**İbrahim CERAN**  
**İmza**

## **TEŞEKKÜR**

Üniversite hayatımın ve tez çalışmamın tamamında bana yön veren desteğini esirgemeyen kişiliğıyle ve çalışmalarıyla kendime örnek aldığım çok değerli hocam Sayın Doç. Dr. Mustafa Tolga BALTA'yateşekkür ederim.

Deney düzeneğinin kurulumda desteğini esirgemeyen Sayın Evliya DARILMAZ'a teşekkür ederim.

Tüm hayatım boyunca bana destek veren doğruluğun ve çalışmanın önemini bana yaşayarak öğreten aileme, büyüklerime teşekkür ederim.

Ayrıca bu çalışmayı maddi olarak destekleyen (2015-055) Aksaray Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İbrahim CERAN

Aksaray, Mayıs 2016

## **ÖZET**

### **YENİLENEBİLİR ENERJİ TABANLI TERMOELEKTRİK GÜÇ ÜRETİMİ VE SİSTEMİN PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

Günümüzde enerji krizini önlemek için yenilenebilir enerji kaynakları üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Teknoloji, sanayi, ulaşım, iletişim gibi hayatın vazgeçilmez parçaları haline gelmiş her faaliyet için ihtiyaç duyduğumuz enerji, bugün artık en kıymetli değer ve önemli bir kaynak haline gelmiştir. Enerji ihtiyacının sürekli artması buna karşın mevcut kaynakların kısıtlı ve tükenbilir olması insanoğlunu alternatif enerji kaynaklarını bulma ve geliştirme yoluna sevk etmektedir. Soğutma ve ısıtma sistemleri birçok alanda kullanılmaktadır. Ancak günümüzde bu sistemlerin çok yer kaplamaları, gürültülü çalışmaları, hareketli parçalarının var olması, arıza risklerinin yüksek olması gibi sebepler araştırmaları yenilenebilir, temiz enerji kaynağı kullanılabilen sistemlere yöneltmiştir. Bu alanda Seebeck ve Peltier etkisi üzerine çalışmalar yapılmıştır. Sistemlerin termoelektrik etkiyle çalışması, sıcaklığın denetlenebilmesi ve sadece enerji olarak elektrik enerjisinin kullanılması, boyutunun da küçük olması; tıptan, askeri alanlara kadar birçok sektörde tercih sebebi olmuştur. Termoelektrik modül elektrik enerjisini ısıya çevirmede basit bir cihazdır. Modüllerde p-tipi ve n-tipi termoelektrik malzemeler metal elektrotlar arasında seriler halinde bağlanmaktadır.

Bu çalışmanın amacı; yenilenebilir enerji tabanlı termoelektrik güç üretimi ve sistemin performansının değerlendirilmesidir. Sistemin performansı enerji ve ekserji analizine göre değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Termoelektrik, Enerji, Ekserji, Peltier.

## **ABSTRACT**

### **EVALUATION OF RENEWABLE ENERGY AND POWER GENERATION SYSTEM PERFORMANCE BASED THERMOELECTRIC**

There are studies on today's renewable energy sources to prevent energy crisis. Technology, industry, transportation, and communication have become indispensable parts of life. The energy we need for each activity, has become today's the most precious and important source of value. In contrast to the continuous increase of energy demand, because existing alternative energy resources are exhaustible and limited, mankind are referred to the path of discovery and development. Cooling and heating systems are used in many fields. However, today, many of these systems coverings, noise, moving parts, high risk of failure, made researches to focus on renewable, clean energy systems that can be used as a source. Studies have been conducted on the effect Seebeck and Peltier in this area. Because the thermoelectric effect to work with the system, the temperature can be controlled, only electrical energy usage as energy, the size is too small have made it the preferred choice in many industries from medicine to military areas. Thermoelectric module is a simple device to convert electrical energy to heat. Modules in P-type and N-type thermoelectric materials are connected in series between metal electrodes.

The aim of this study is to evaluate renewable energy-based thermoelectric power production and the performance of the system. Performance of the system were evaluated according to energy and exergy analysis.

**Keywords:** Thermoelectric, Energy, Exsergy, Peltier.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>DOĞRULUK BEYANI</b> .....	<b>i</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>ii</b>
<b>ÖZET</b> .....	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>iv</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>v</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	<b>vi</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	<b>vii</b>
<b>SİMGELER DİZİNİ</b> .....	<b>ix</b>
<b>KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	<b>x</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1 Termoelektrik Güç Üretimi, Seebeck ve Peltier etkisi.....	8
<b>2. TERMOELEKTRİK GÜÇ ÜRETİM SİSTEMLERİ</b> .....	<b>9</b>
2.1 Bu Alanda Daha Önce Yapılan Çalışmalar.....	9
2.2 Seebeck ve Peltier .....	12
2.3 Termoelektrik Güç Üretiminde Kullanılan Ekipmanlar .....	15
2.3.1 Termoelektrik jeneratörler .....	15
<b>3. DENEYSEL ÇALIŞMA</b> .....	<b>18</b>
3.1 Deneyde Kullanılan Ekipmanlar .....	21
3.1.1 Deneyde kullanılan Peltier A .....	21
3.1.2 Deneyde kullanılan Peltier B .....	22
3.1.3 Deneyde kullanılan Peltier C .....	23
3.2 Sıcaklık veri kaydedici .....	24
3.3 Termokupllar .....	25
3.4 Multimetreler.....	26
3.5 Isı değıştiricileri .....	26
3.6 Sıcak ve soğuk su depoları .....	28
3.7 Sirkülasyon Pompası .....	28
<b>4. ANALİZLER</b> .....	<b>29</b>
4.1 Ölü (Referans) Hal .....	29
4.2 Enerji Terimleri .....	30
4.3 Ekserji Terimleri .....	30
4.4 Genel Kütle, Enerji ve Ekserji Denklik Bağlıntıları .....	32
4.4.1 Kütle denklik bağıntısı .....	32
4.4.2 Enerji denklik bağıntısı .....	33
4.4.3 Ekserji denklik bağıntısı.....	33
4.4.4 I. ve II. yasa analizleri .....	35
4.5 İkinci Kanun Verimi .....	36
<b>5. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRMESİ VE ÖNERİLER</b> .....	<b>38</b>
5.1 Peltier A'nın Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve Öneriler .....	38
5.2 Peltier B'nin Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve Öneriler .....	41
5.3 Peltier C'nin Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve Öneriler .....	43
<b>KAYNAKLAR DİZİNİ</b> .....	<b>51</b>
<b>EKLER</b> .....	<b>56</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	<b>66</b>

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Şekil 1.1: Enerji kaynaklarının sınıflandırılması.....	8
Şekil 2.2: Seebeck deney düzeneği.....	13
Şekil 2.3: Peltier deney düzeneği.....	14
Şekil 2.4: Termoelektrik Jeneratör. ....	16
Şekil 2.5: Termoelektrik modül.....	16
Şekil 3.1a: Deney düzeneğinin solidworks tasarımı izometrik görünüşü. ....	18
Şekil 3.1b: Deney düzeneğinin solidworks tasarımı ön görünüşü. ....	18
Şekil 3.2: Deney düzeneği akış şeması.....	19
Şekil 3.3: Deney düzeneği. ....	20
Şekil 3.4a: Sıcaklık ölçüm cihazı ile PC bağlantısı.....	21
Şekil 3.4b: Sıcaklık ölçüm cihazı ile PC bağlantı görünüşleri.....	21
Şekil 3.5: Deney düzeneğinde kullanılan termoelektrik modül Peltier A. ....	22
Şekil 3.6: Deney düzeneğinde kullanılan termoelektrik modül Peltier B. ....	23
Şekil 3.7: Deney düzeneğinde kullanılan termoelektrik modül Peltier C. ....	24
Şekil 3.8: Sıcaklık veri kaydedici. ....	25
Şekil 3.9: K tipi termokupl. ....	26
Şekil 3.10: Multimetre.....	26
Şekil 3.11a: Isı Değiştiricileri.....	27
Şekil 3.11b: Isı değiştiricileri bağlantı detayı.....	27
Şekil 3.11c: Deney tesisatından görünüşler. ....	28
Şekil 3.12: Sirkülasyon pompası. ....	28

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

<b>Çizelge 1.1:</b> Türkiye'de Yerli Kaynaklardan Enerji Üretimi ve Toplam Enerji Tüketimi. ....	4
<b>Çizelge 1.2:</b> Türkiye Birincil Enerji Kaynak Talebi.....	5
<b>Çizelge 2.1:</b> Termoelektrik soğutma deneyi (zaman-kabin sıcaklığı). ....	10
<b>Çizelge 2.2:</b> Bazı metal ve yarı iletkenlere ait Seebeck katsayıları.....	14
<b>Çizelge 2.3:</b> Termoelektrik Güç Üretimi Deney Ekipmanları.....	15
<b>Çizelge 3.1:</b> Sıcaklık Değerlerinin rakam ve harf karşılaştırma Tablosu.....	20
<b>Çizelge 5.1:</b> Peltier A'nın $\Delta T=25^{\circ}\text{C}$ sabit sıcaklıkta enerji ve ekserji veriminin zamana göre değişimi.....	38
<b>Çizelge 5.2:</b> Peltier A'nın $\Delta T=30^{\circ}\text{C}$ sabit sıcaklıkta enerji ve ekserji veriminin zamana göre değişimi.....	39
<b>Çizelge 5.3:</b> Peltier A'nın $\Delta T=40^{\circ}\text{C}$ sabit sıcaklıkta enerji ve ekserji veriminin zamana göre değişimi.....	40
<b>Çizelge 5.4:</b> Peltier A'nın $\Delta T=50^{\circ}\text{C}$ sabit sıcaklıkta enerji ve ekserji veriminin zamana göre değişimi.....	40
<b>Çizelge 5.5:</b> Peltier A'nın $\Delta T=60^{\circ}\text{C}$ sabit sıcaklıkta enerji ve ekserji veriminin zamana göre değişimi.....	41
<b>Çizelge 5.6:</b> Peltier B'nin $\Delta T=25^{\circ}\text{C}$ sabit sıcaklıkta enerji ve ekserji veriminin zamana göre değişimi.....	41
<b>Çizelge 5.7:</b> Peltier B'nin $\Delta T=30^{\circ}\text{C}$ sabit sıcaklıkta enerji ve ekserji veriminin zamana göre değişimi.....	42
<b>Çizelge 5.8:</b> Peltier B'nin $\Delta T=40^{\circ}\text{C}$ sabit sıcaklıkta enerji ve ekserji veriminin zamana göre değişimi.....	42
<b>Çizelge 5.11:</b> Peltier C'nin $\Delta T=25^{\circ}\text{C}$ sabit sıcaklıkta enerji ve ekserji veriminin zamana göre değişimi.....	44
<b>Çizelge 5.12:</b> Peltier C'nin $\Delta T=30^{\circ}\text{C}$ sabit sıcaklıkta enerji ve ekserji veriminin zamana göre değişimi.....	44
<b>Çizelge 5.13:</b> Peltier C'nin $\Delta T=40^{\circ}\text{C}$ sabit sıcaklıkta enerji ve ekserji veriminin zamana göre değişimi.....	45
<b>Çizelge 5.14:</b> Peltier C'nin $\Delta T=50^{\circ}\text{C}$ sabit sıcaklıkta enerji ve ekserji veriminin zamana göre değişimi.....	45

<b>Çizelge 5.15:</b> Peltier C'nin $\Delta T=60^{\circ}\text{C}$ sabit sıcaklıkta enerji ve ekserji veriminin zamana göre değişimi. ....	46
<b>Çizelge 5.16:</b> Peltier A'nın $\Delta T$ sabit sıcaklıklara göre $W_{\text{net}}$ değerinin zamana göre değişimi. ....	47
<b>Çizelge 5.17:</b> Peltier B'nin $\Delta T$ sabit sıcaklıklara göre $W_{\text{net}}$ değerinin zamana göre değişimi. ....	47
<b>Çizelge 5.18:</b> Peltier C'nin $\Delta T$ sabit sıcaklıklara göre $W_{\text{net}}$ değerinin zamana göre değişimi. ....	48
<b>Çizelge 5.19:</b> Peltier A'nın ilk 10 dakikalarındaki verim (%) değerinin $\Delta T$ sabit sıcaklık farklarına göre değişimi. ....	49
<b>Çizelge 5.20:</b> Peltier B'nin ilk 10 dakikalarındaki verim (%) değerinin $\Delta T$ sabit sıcaklık farklarına göre değişimi. ....	49
<b>Çizelge 5.21:</b> Peltier C'nin ilk 10 dakikalarındaki verim (%) değerinin $\Delta T$ sabit sıcaklık farklarına göre değişimi. ....	50

## SİMGELER DİZİNİ

<b>E</b>	Enerji, (kJ)
<b><math>E_e</math></b>	Enerji akımı, (kW)
<b><math>E_{ke}</math></b>	Kinetik enerji, (kJ)
<b><math>E_{pe}</math></b>	Potansiyel enerji, (kJ)
<b><math>E_{fiz}</math></b>	Fiziksel enerji, (kJ)
<b><math>E_{kim}</math></b>	Kimyasal enerji, (kJ)
<b>e</b>	Özgül enerji, (kJ/kg)
<b><math>e_{ke}</math></b>	Özgül kinetik enerji, (kJ/kg)
<b><math>e_{pe}</math></b>	Özgül potansiyel enerji, (kJ/kg)
<b><math>e_{fiz}</math></b>	Özgül fiziksel enerji, (kJ/kg)
<b><math>e_{kim}</math></b>	Özgül kimyasal enerji, (kJ/kg)
<b><math>E_{ex}</math></b>	Ekserji akımı, (kW)
<b><math>ex</math></b>	Özgül ekserji, (kJ/kg)
<b><math>ex_{fiz}</math></b>	Özgül fiziksel ekserji, (kJ/kg)
<b><math>ex_{kim}</math></b>	Özgül kimyasal ekserji, (kJ/kg)
<b>COP</b>	Verim Katsayısı
<b><math>COP_{max}</math></b>	Maksimum Verim Katsayısı
<b><math>COP_{min}</math></b>	Minimum Verim Katsayısı
<b><math>\Delta T</math></b>	Sıcaklık Farkı, (K)
<b><math>\Delta V</math></b>	Voltaj Farkı, (V)
<b><math>V_{max}</math></b>	Maksimum Voltaj, (V)
<b><math>I_{max}</math></b>	Maksimum Akım, (A)
<b><math>T_{max}</math></b>	Maksimum Sıcaklık, (°C)
<b><math>Q_{max}</math></b>	Maksimum Güç, (W)
<b>V</b>	Voltaj, (V)
<b>g</b>	Yerçekimi İvmesi, (m/s <sup>2</sup> )
<b>z</b>	Yükseklik Farkı, (m)
<b>o</b>	Referans Hal
<b>R</b>	Direnç, (Ohm)
<b>h</b>	Entalpi, (kJ/kg)
<b>s</b>	Entropi, (kJ/kg)

## **KISALTMALAR DİZİNİ**

<b>OPEC</b>	Petrol İhraç Eden Ülkeler Örgütü
<b>TEP</b>	Ton Eş Değer Petrol
<b>COP</b>	Etkinlik Katsayısı
<b>TEC</b>	Termoelektrik Soğutucu
<b>PVC</b>	Polivinil Klorür
<b>TE</b>	Termoelektrik
<b>S</b>	Seebeck Katsayısı
<b>SAB</b>	Bağıl Seebeck Katsayısı
<b>EMF</b>	Elektromanyetik Alan
<b>SASA</b>	Sürekli Akışlı-Sürekli Açık Sistem
<b>TEG</b>	Termoelektrik Jeneratör

## 1. GİRİŞ

Evrendeki tüm canlılar yaşamlarını sürdürebilmeleri için enerjiye ihtiyaç duymuştur. Zamanla enerjiyi farklı amaçlara kullanma gereksinimleri ortaya çıkmıştır. Sanayinin gelişim süreci ile bu enerji ihtiyacı vazgeçilmez hale gelmiştir. Enerjinin önemi gün geçtikçe artmış ve ülkelerin ekonomik, sosyal ve siyasi güçlerine etki etmeye başlamıştır. Dünyada gücün simgesi haline gelen enerji daha fazla tüketilmiş ve ihtiyaç duyulan enerjiyi karşılama gücü de gündün güne azalmıştır. Dünyada olduğu gibi ülkemizde de enerji, gündemin en çok tartışılan konularından birisidir. Ülkelerin teknolojik, ekonomik, sosyal alanlarda ve en önemlisi sanayileşmede daha ileri gitmesinde önemli bir unsur olan enerji, hayatın her alanında vazgeçilmez hale gelmiştir. Endüstriyel gelişmelere bakıldığında enerji, ülkeler için de stratejik bir unsur olmuştur. Günümüzde en çok tüketilen kavramlardan olan enerji, ülkelerin gelişme düzeylerinin sıralamasında da gerekçeler arasında yer almaktadır. Herhangi bir ülkenin tükettiği enerji miktarı, o ülkenin tüketim bağımlılıkları ile ilgili olarak fikir vermesinin yanı sıra; enerjiye bağlı üretim yapısı, büyüme hızı, ekonomik, sosyal ve kültürel özelliklerine de etki etmektedir [1].

Geçmişten günümüze gelen süreçlere bakıldığında özellikle endüstri devriminden sonra fosil kökenli enerji kaynaklarının hem üretim alanlarında meydana gelen gelişmeler hem de daha ekonomik olmaları nedeniyle geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Bunun sonucunda da yenilenebilir enerji kaynaklarına olan talep her geçen gün artmakla beraber diğer kaynaklar karşısında daha değerli bir konuma gelmişlerdir [1].

Dünyada nüfusun artması, endüstriyellemenin ivmeli yükselişi ve teknolojinin aşırı hızlı gelişmesine bağlı olarak enerji ihtiyacı gün geçtikçe artmaktadır. Artan bu talebe karşılık ise fosil kökenli enerji kaynaklarının rezervleri çok büyük bir hızla azalmaktadır. Bu nedenle; dünya da artık mevcut enerji kaynaklarının etkin ve verimli kullanımı esastır. Dünyaya baktığımızda enerji tüketim hızının, fosil yakıtların oluşum hızınının 300 bin katı kadar olduğu tespit edilmiştir. Yani bin yıllık bir fosil yakıt oluşumu, bir günde tüketilmektedir [1,2]. Dünyada fosil yakıt rezervlerinin azalmasına karşılık, enerji talebinin de sürekli olarak artıyor olması, fosil yakıt rezervlerinin artan talebin ihtiyacı karşılayamaz hale getirecektir. Gün

geçtikçe azalacak olan rezerv miktarları nedeniyle özellikle doğalgaz ve petrol gibi fosil kökenli yakıtların yüksek fiyatlarda olması beklenmektedir. Çünkü az olan kaynakların daha değerli olduğu dünya da rezervlerin daha çok azalması beraberinde bu fiyat artış eğiliminin gelecekte de devam etmesini kaçınılmaz kılmaktadır [1].

Enerji talebine karşılık birçok fosil kökenli enerji kaynağı; petrol, doğalgaz vb. artık geçerliliğini yitirmek üzeredir. Bunun yanında dünyanın enerji kaynağına bakış açısı da değişmiş olup, enerji kaynağının tipinden çok sürekliliği ve çevreye duyarlılığı önem kazanmaya başlamıştır. Günümüzde aktif kullanılan enerji kaynaklarının tükenebilecek fosil yakıt kökenli olması ve doğayı kirletmesi nedeniyle artık enerji kökenlerinde hedefler değişmiştir.

Tüm bu gelişmelere bakıldığında enerji kullanımı, 1970’li yıllarından sonra önem verilen bir konu olmuştur. 1973 ve 1979 yıllarındaki petrol krizlerinde sonra, dünya genelinde ülkeler, enerji korunumuna çok ciddi ilgi göstermeye başlamışlardır. Bunun için enerji tasarrufu politikaları uygulanmış, en çok kullanılan petrole olan bağımlılık engellemeye çalışılmıştır. Dünya diğer kaynaklar olan kömür, doğalgaz vs. yönelmiş ve yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarına karşı yoğun bir talep ortaya çıkmıştır. Ayrıca yenilenebilir enerji kaynaklarından daha fazla yararlanılabilmek için çalışmalar başlatılmıştır. Böylece petrol krizi sonrasında yeni belirleyici unsurlar olarak “enerji güvenliği” ve “enerji çeşitlendirilmesi” gibi enerji politikalarının kavramları doğmuştur [1,3].

Dünya enerji politikaları bu durumdayken, Türkiye bu sorunların arasında 1970 yılında, enflasyonun tehdidinde düşmüştür. 1970-1980 yıllar arasında petrolün varil fiyatının 2,74 dolardan 11,65 dolara yükselmesi ülkeleri dara düşürmüş ve ekonomilerin ihracata dayandığı bu dönemde yaşanan sıkıntı tüm dünya ülkelerinde ciddi sorunlara neden olmuştur. Ülkemiz, dış gelişmelerin bu yönlü olması giderek artan bir enflasyon darboğazıyla karşı karşıya kalmıştır. Dövizin etkileri de bu duruma eklenerek enerji tüketiminde ciddi sıkıntılar ortaya çıkarmıştır. Ülkemizde 1978 yılında, enflasyon oranı %52,6 seviyesine gelmiştir [4].

Dünyada ilk petrol krizi, 1973-74’te meydana gelmiştir. Oluşan bu kriz 1973 Arap-İsrail Savaşı, petrol üreten birkaç Arap ülkesinin ABD ve İsrail ile ittifak yapan ülkelere yapılan petrol sevkiyatını durdurmasına neden olmuştur [5].

İlerleyen süreçte İkinci petrol krizi meydana gelmiştir. 1979-80’de meydana gelen bu krizi başlatan sebep: İran Devrimi ve Şah’ın devrilmesidir. Bunun sonucunda İran’dan ABD’ye petrol sevkiyatı durmuştur. Ancak asıl kriz, OPEC fiyatlarını iki

katına çıkarınca meydana gelmiştir. Üçüncü petrol krizi de 1990-91'de meydana gelmiştir. Irak, Kuveyt'i işgal etmiştir ve Suudi Arabistan'ı tehdit etmiştir. Irak'ın Orta Doğu'daki egemen güç olmasını önlemek ve bölge petrolünün üretimi ve fiyatlandırması üzerinde önemli bir etkide bulunmak için ABD'nin liderliğindeki koalisyon güçleri Irak'ı Kuveyt'ten zorla çıkardılar. Petrol fiyatı, Irak'ın Kuveyt'i işgalinden hemen sonra ciddi anlamda artış gösterdi fakat savaş sonunda fiyat, savaş öncesindeki seviyeye geri düşmüştür [5].

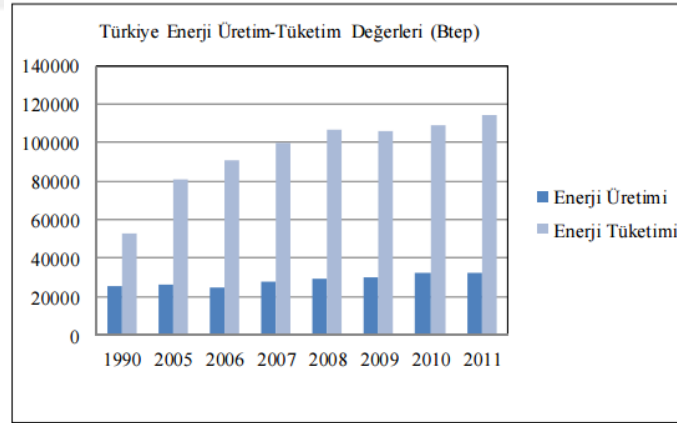
Dünya üçüncü petrol krizi dönemine sürüklenirken 1980'li yıllarda ön plana çıkan, çevresel problemlerin arttığı gözlemlenmiş, bunun sonucunda enerji dönüşümü ve kullanımının doğal çevre üzerindeki etkileri konusu da gündeme çıkmıştır. İlerleyen yıllarda ise; enerji kullanımı, sera gazı emisyonları ve bunların küresel iklim değişikliklerine olan potansiyel etkileri en çok konuşulan ciddi bir konu olmuştur [1]. 1980-90 döneminde katı yakıt tüketimi artış göstermiştir. Diğer yandan sıvı yakıt tüketimindeki artış ise 1965-80 dönemine göre düşüş göstermiştir. Gaz yakıt tüketimi ise gelişmekte olan ülkelerde dünya ortalamasına göre daha hızlı artmıştır. Ancak tüm bunların yanında her türlü enerji, üretimden tüketime olan serüveninde çevreye zarar vermektedir. Hatta çevre kirlenmesinden yaygın olarak bilinen tür, fosil yakıtların kullanımında ortaya çıkmaktadır. Fosil yakıtlardan kaynaklanan CO<sub>2</sub> emisyonları 1965 yılında 3012 Milyon ton karbon iken 1989'da 5822 tona yükselerek çevreye daha çok zarar vermiştir [6,7].

1987 yılında hazırlanmış "Ortak Geleceğimiz" ya da Brundtland Raporu adıyla yayınlamış raporda Birleşmiş Milletler Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu'nca enerji, çevre ve gelişme ile ilgili seçeneklerden bahsedilirken, nükleer enerji için "çözülememiş sorun" olarak söz edilmiş; yenilenebilir enerji kaynakları için ise "kullanılmamış potansiyel" şekilden ifade edilmiştir. Bu değerlendirmeye göre dünyada yenilebilir enerji kaynaklarına bağımlılığın arttığı açıkça gözlemlenebilmektedir [6].

Enerji kaynaklarının dünyada her bölgeye eşit dağılmamış olması sonucunda belirli bölgelerde de çok az olması nedeniyle enerji ticareti ortaya çıkmıştır. Bu enerji ticareti içerisindeki en çok önem taşıyan ve tüketimi yapılan enerji kaynağı olarak Petrol yerini korumaktadır. Nükleer %6, petrol %33, kömür %28, doğalgaz %22, diğer kaynaklar ise % 11 olarak dağılımı 2011 yılı verilerine göre tespit edilmiştir [8-9].

Dünyada eşit dağılımı bulunmayan fosil kökenli enerji kaynaklarından en önemlileri; petrol, kömür, doğal gaz ve nükleer enerji kaynaklarıdır. Dünya enerji üretiminin büyük bir kısmı bu kaynaklardan oluşturmaktadır. 2011 yılı sonunda bu kaynaklardan üretilen ve tüketilen toplam enerji miktarları ile fosil kaynaklı yakıtların rezerv miktarları, kullanılabilme süreleri çizelge 1,1'de verilmektedir. Katı yakıtların Petrol, taşkömürü, linyit gibi rezerv miktarları ağırlık cinsinden (milyar ton) olarak ifade edilirken, gaz halindeki doğal gazın rezervleri ise hacim (trilyon m<sup>3</sup>) cinsinden belirtilmiştir. Enerji kaynaklarının üretim ve tüketim durumu değerlendirilirken birim olarak Mtep (milyon ton eşdeğer petrol) kullanılmıştır. 2011 yılında Dünya rezervleri şu şekilde sıralanmıştır. Petrol rezervi 225.4 milyar ton, doğal gaz rezervi 208.4 trilyon m<sup>3</sup>, kömür rezervi ise 860.94 milyar ton olduğu ifade edilmiştir. Bunlara göre de bu kaynakların kullanılabilme süreleri sırasıyla petrol, doğal gaz ve kömürün; 54 yıl, 64 yıl ve 112 yıl olarak öngörülmektedir. Dünyada fosil yakıtlardan üretilen toplam enerji miktarları 10905.9 Mtep iken; buna karşılık tüketim miktarları 10689 Mtep olarak gerçekleşmiştir [10,11].

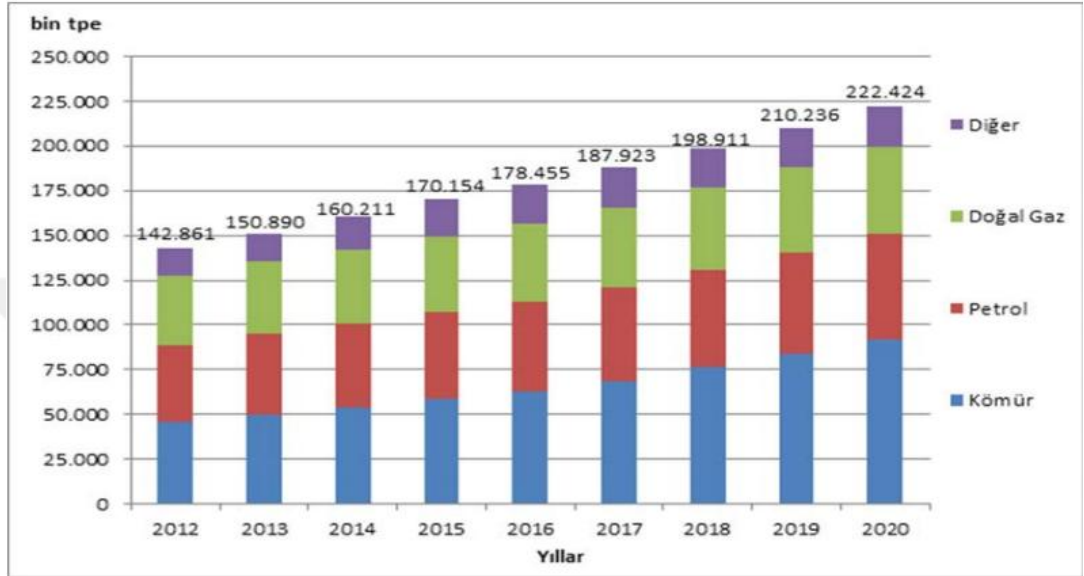
**Çizelge 1.1:** Türkiye'de Yerli Kaynaklardan Enerji Üretimi ve Toplam Enerji Tüketimi [10,12].



Türkiye'nin dünya enerji piyasasındaki durumu hem bölgesel bir enerji ticaret merkezi hem de büyüyen bir tüketici olarak gün geçtikçe önemi artmaktadır. Ülkemizin enerji talebi geçtiğimiz yıllarda arttığı gibi, önümüzdeki yıllarda da bu artışın devam etmesi beklenmektedir. Ülkemizde enerji kullanımı 2015 ile 2030 yılları arasında yıllık %4,5 civarında büyüme oranıyla arttığı Uluslararası Enerji Ajansı verilerine göre tespit edilmiş olup. Bu oran artmaya devam ederek, gelecek on yılda bu oran yaklaşık iki katına çıkacaktır. Bu enerji ihtiyacının, enerji tüketiminin

yaklaşık %90'nın petrol, doğal gaz ve kömürden karşılandığı ülkemizde var olan fosil kaynaklarla karşılanmasının mümkün olmadığı görülmektedir. Ülkemizde gerekli olan söz konusu tüketim büyük oranlarda ithalata dayanmaktadır. Çizelge 1.2'de 2012-2020 yılları arasındaki ülkemizin birincil enerji kaynaklarına olan petrol, doğal gaz ve kömürün payını toplam talebi yer almaktadır [13].

**Çizelge 1.2:** Türkiye Birincil Enerji Kaynak Talebi [4,5].



Dünyadaki fosil kökenli enerji kaynaklarının çevreye verdiği zarara ilişkin modelleme yoluyla yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlarda, atmosferdeki CO<sub>2</sub> gazının iki katına çıkması durumunda önümüzdeki 50 yılda ortalama dünya ısısının 1,5-4,5 °C artmasına neden olacağı belirtilmiştir. Yapılan bu araştırmaların yanı sıra dünyanın ısınmasına yol açtığı bilinen CO<sub>2</sub> ve diğer gazların dünya çapında bir iklim değişikliğini meydana getirmekte olduğunu birçok bilim adamı savunmuştur. Bu sebepten 1980-1985 yılları arasında başka bir araştırmada ise, dünya sıcaklığının ortalama yarım derece arttığı ortaya çıkmıştır. Bu araştırmalarla sorunun ne kadar ciddi olduğu gözlemlenebilmektedir [6,17].

Yakılan fosil yakıtlar ile havadaki oranı artan SO<sub>2</sub> ve diğer gazlar atmosfer hareketleriyle her yere yayılabilmektedir. Yayılan bu zararlı gazlar ile kirlenen, hava asit yağmuru olarak yeryüzüne geri dönerek toprak ve su kirliliğine yol açmaktadır. Ekosistemi tamamen olumsuz etkilemektedir. Bu gazların yerleşim yerlerine etkisini azaltmak amacıyla yapılan yüksek bacalar ise o bölgeyi koruma altına almış gibi görünse bile atmosferde geniş bir alana yayılmaktan kurtaramamıştır. Bu nedenle ortaya çıkan sorunlar uluslararası sorun olarak ortaya çıkmıştır [6,16].

Dünyada fosil kökenli enerji kaynakların kullanılırken ciddi ekolojik ve çevresel olumsuzluklar ortaya çıkardığı bilinmektedir[1,17]. Bu olumsuzlukların sebebi fosil yakıtların yakılması sonucu oluşan emisyonlardır. Fosil yakıtların bileşenleri karbon ve hidrojen den oluşmaktadır. Dünya yaşamına olumsuz etkiler bırakan bu yanmalar sonucunda; küresel ısınma, iklim değişikliği, sera etkisi gibi çevre sorunlarına neden olan karbon dioksit, karbon monoksit, azot oksit, metan, kükürt dioksit gibi gazların sürekli salgılanmaktadır. Avrupa Birliği ülkeleri başta olmak üzere bu çevreye verilen emisyon zararlarını azaltmak için 28 maddelik bir protokol gerçekleştirilmiştir [1,18].Bu protokol Kyoto Protokolü'dür ve bu protokolün amacı çevreyi kirleten bu sebepleri ortaya çıkartan ürünlerin kullanımını kontrol etmek amaçlanmıştır [1].

Yukarıda bahsedilen tüm konular özellikle de küresel ısınma, iklim değişikliği gibi sorunlar tüm dünya yaşamını ilgilendirmektedir. Ülkemizde bu sorunlarla mücadele etmek için uluslararası konferanslar yapılmıştır. Çözüm amaçlı ve küresel anlamda düzenlenen konferanslarda amaç kalıcı çözümler üretmek olmuştur. Bu sorunların çözümünde Prof. Dr. İbrahim Dinçer başkanlığında “Global Conference on Global Warming” uluslararası konferansları düzenlenmiştir [1,19].Bu konferanslarla tüm dünyanın dikkati bu sorunlara çekilmiş ve çözümleri aranmıştır [1].

Tüm bu sebepler değerlendirildiğinde çevresel sorunlar ve sınırlı miktarlarda fosil kökenli yakıt rezervlerinin olması ülkelerin enerji politikalarına yön vermiştir. Bunun sonucu olarak da yerli, tükenmez, sürdürülebilir ve yenilenebilir teknolojilere yönelme başlamıştır. Hatta fosil kökenli enerji kaynaklarının yerine alternatif olan ve doğayı, canlıların yaşayışına tehdit oluşturmayacak yenilenebilir enerji kaynaklardan en üst düzeyde faydalanmak zorunluluğundan kaçılmaz hale gelmiştir [1].

Yenilenebilir enerji kaynaklarının en önemli özelliklerinin başında sürdürülebilir olması, depo edilebilir olması ve diğer enerji kaynaklarına kolayca dönüşebilir olması gelmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları olarak adlandırılan güneş, rüzgâr, jeotermal ve hidro gibi enerji kaynakları devamlılık anlamında ve fosil kökenli enerji kaynaklarına göre uzun yıllar kullanılabilir olacaktır [1,20]. Bu gibi sebeplerle, yenilenebilir enerji kaynakları, günümüzde söz konusu olan avantajları ve bahsedilen çevre sorunlarının çözümünde potansiyel çözüm yollarından bir tanesini oluşturmaktadır [1,20,21].

Özetle, enerji kullanımının büyük çoğunluğu fosil kökenli enerji kaynaklarından karşılandığı düşünüldüğünde, enerjinin kullanımı için gerekli adımlarda çevreye,

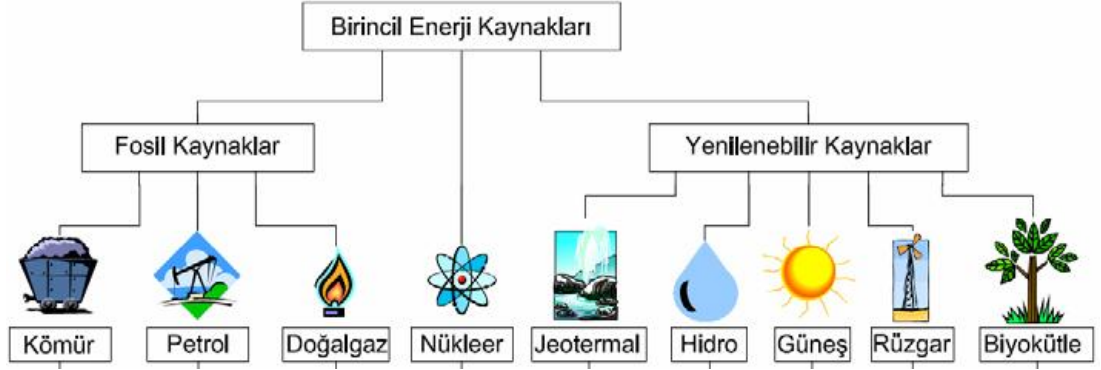
küresel ısınma ve iklim değişikliğini tetikleyen başta CO<sub>2</sub> ve diğer sera gazları açığa çıkmaktadır. Çevreye daha az zarar vermek amaçlı ve bunun devamlılığı için daha az salınım yapılması gereklidir. Fosil kökenli enerji kaynaklarının çevreye verdiği etkilerden alternatif olabilecek, çevreye ve doğal yaşama daha az zarar veren sürdürülebilir enerji kaynaklarına ihtiyaç vardır. Bu nedenle mevcut enerji kaynaklarından yenilenebilir enerji kaynağına geçiş yapmak gerekmektedir [1].

Dünyada bu şekilde arayışlar sürerken Almanya'nın genel elektrik üretim portföyünde kömür ve nükleer kaynakların yer aldığı görülmektedir. 2000 yılından önce yenilenebilir enerji üretiminde kaynak olarak hidrolik ve biyokütleden oluşmaktaydı. Enerji talebine bağlı olarak 2000 yılında çıkan yenilenebilir enerji kanunu ile rüzgar enerjisinden, 2004 yılındaki kanun değişikliği ile de güneş enerjisinden aktif yararlanma ile enerji sistemine yenilenebilir enerji entegre olmuştur. 2013 yılı sonunda, Almanya yenilenebilir enerjinin üretimdeki payını artırarak %25,6'ya ulaşmıştır. Bu sayede yenilebilir enerji üretim portföyünde ilk sıraya yerleşmiştir. Üretilen yenilenebilir enerji miktarı 157,3 TWh'e ulaşmıştır. Kaynak olarak rüzgâr, yenilebilir elektrik üretiminden 52 TWh ile ilk sırada, biyokütle 43 TWh ile ikinci sırada ve güneş enerjisi 35 TWh ile üçüncü sırada yer almaktadır. Bu kaynakların sonrasında hidrolik 21 TWh ile ve atık santralleri 6 TWh ile sıralamada yerlerini almışlardır. Yenilenebilir Enerji Kanununda Ağustos 2014'de bazı değişiklikler olmuştur. Tüm bu gelişmeler ışığında ülke elektrik tüketiminin 2025 yılında %40-45'inin, 2035 yılında %55- 60'ının, 2050 yılında %80'inin yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilmesi hedeflenmiştir. Bu hedefler ciddi olup, resmi bir biçimde ülkedeki Ekonomi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından belirlenmektedir [22].

Yenilenebilir enerji kaynaklarının dünyada daha yaygın kullanılması için Almanya'nın öncülük ettiği gözlenmektedir. Önce toplumun bilincinin artırılıp, buna bağlı olarak da yenilenebilir enerji kullanım seviyesinin artması beklenilmelidir. Yenilebilir enerji kaynaklarının yaygın kullanımı doğaya saygı ve doğal kaynakları daha verimli kullanma yönelimlerini de artırmış olacaktır. Bilinçli ve çevreyi koruyan bir yaşayış biçimi de dünya genelinde insanoğlunun genel refahının da artırmasına sebep olacaktır.

Enerji kaynaklarının sınıflandırılmasını incelediğimizde kaynakların az kısmında yenilebilir enerji kaynağı görülmektedir (Şekil1.1). Ancak hedefler bu kaynakları

aktif yaşamda kullanmak olursa tüketilen enerjinin büyük bir kısmı karşılanacağı görülmektedir. Bunun en gerçekçi örneği Almanya'nın istikrarlı politikasıdır.



Şekil 1.1: Enerji kaynaklarının sınıflandırılması [1].

Yukarıda değinilen fosil kökenli ve çevreye zarar vererek enerji üretiminde kullanılan tükenen kaynaklara alternatif olabilecek, zararsız çözümler arasında yenilenebilir enerji tabanlı termoelektrik güç üretimi de yer alabilir.

### 1.1 Termoelektrik Güç Üretimi, Seebeck ve Peltier etkisi

Termoelektrik terimi, ısı enerjisinin elektrik enerjisine veya elektrik enerjisinin ısı enerjisine dönüşmesi şeklinde ifade edilir. Termoelektrik kavramının temelini oluşturan fiziksel prensipler 1800'lü yıllarda ortaya çıkmıştır. Termoelektrikle ilgili ilk buluş 1821'de Alman Thomas Seebeck tarafından farklı iki metalden oluşan ve kapalı bir devrede metallerin birleşim yerlerinin farklı sıcaklıklarda tutulduğunda devamlı elektrik akımının oluşturduğunu keşfetmesiyle ortaya çıkmıştır. 1834'te Jean Peltier'in araştırmalarında kapalı bir devreye elektrik akımı verilmesi sonucunda farklı metallerin birleşim yerlerinden ısı enerjisinin birinden atılırken diğerinden absorblandığı ortaya çıkmıştır. Buna "Seebeck Etkisi" adı verilmiştir [23,24].

Yapılan bu tez çalışmasında yenilenebilir kaynakları (Jeotermal-Güneş) açısından potansiyeli yüksek olan ülkemizde, bu kaynakların etkin bir şekilde termoelektrik güç üretiminde kullanımı incelenmiştir.

## 2.TERMOELEKTRİK GÜÇ ÜRETİM SİSTEMLERİ

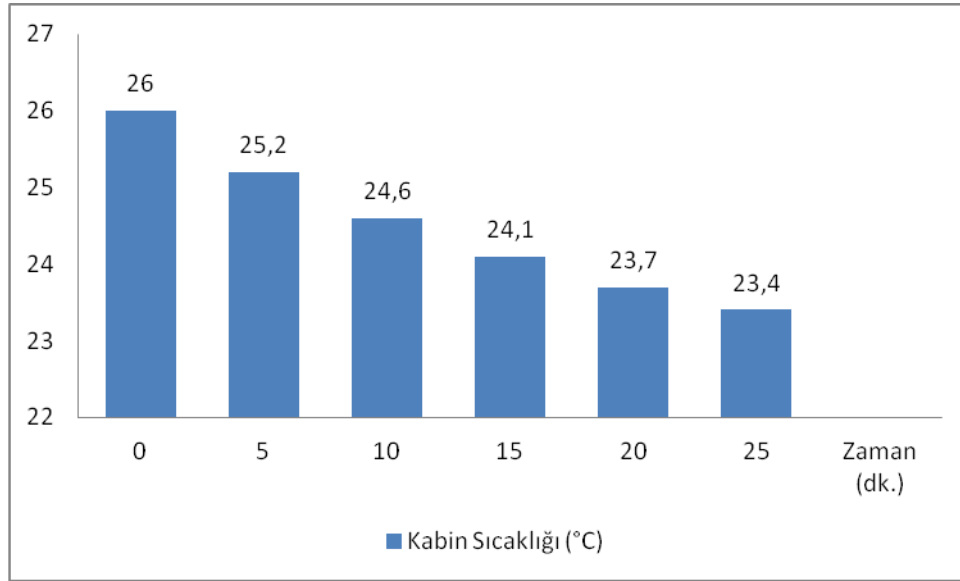
Dünyada güç kavramı artık, enerji gücü olduğu bir politika izlemektedir. Stratejik olarak güçlü olan ülkeler yüksek kapasitelerde enerji üreten ve kullanan ülkelerdir. Bunun sonucu olarak ülke stratejileri günümüzde, enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla kullandıkları kaynakları yenilenebilir tabanlı yüksek performanslı termoelektrik güç üretebilecek hale getirmeye çalışmaktadırlar. Geçmişten günümüze birçok bilim adamı yenilenebilir enerji tabanlı termoelektrik güç üretimini üzerine çalışmalar yapmıştır.

### 2.1 Bu Alanda Daha Önce Yapılan Çalışmalar

Çakır çalışmasında termoelektrik soğutmada, güneş pilinden elde ettiği elektrik enerjisinin kullanmıştır. Bu çalışmada amaç elektrik enerjisinin olmadığı bir sistemde soğutma yapabilmek için enerji ihtiyacını güneş pilinden karşılayan termoelektrik soğutucu yapılmasıdır. Uygulamasında termoelektrik soğutma sisteminin gereksinimi olan enerjiyi doğrudan güneş pilinden almıştır. Güneş pilinin ayaklarını hareketli yaparak deney esnasında gerilim sabit tutulmuştur. Güneş pilinden gelen akım ve kabin dış sıcaklığına göre termoelektrik soğutucunun COP değerinin değişim gösterdiği gözlemlenmiştir. Ortam sıcaklığı yükseldikçe iç sıcaklığında arttığı deneyde gözlemlenmiştir. Deney sonuçlarına bakıldığında en yüksek COP değeri 0,9 olduğu ve modül içi sıcaklık değeriyle modül dış sıcaklık değeri farkının 23 °C olduğu, gerilimin 2,23 A olduğu zamanda elde edildiği gözlemlenmiştir [25,26].

Uçar ve Bardakçı tarafından yapılan çalışmada termoelektrik soğutma sistemi kurulmuş ve çalıştırılmıştır. Deneyde termoelektrik soğutma sistemi hava-hava soğutmalı olarak uygulanmıştır. UygulamaTEC1-12708 modeli modülü ile 6V sabit gerilim altında yapılmıştır. Deney sonucunda 0.125 m<sup>3</sup> 'lük hacim sıcaklıkları çizelge 2.1'de verildiği gibi değişiklik göstermiştir [25,27].

**Çizelge 2.1:** Termoelektrik soğutma deneyi (zaman-kabin sıcaklığı) [25,27].



Yapılan başka bir çalışmada termoelektrik soğutucuların çalışma kriterlerine etki eden faktörlerin ve endüstrideki kullanım alanları incelenmiştir. Bu çalışmada, termoelektrik devrede ortaya çıkan olaylara ve termoelektrik sisteme etki eden kriterlere yer verilmiştir. Termoelektrik sistemi, termodinamiğin kanunları açısından incelenmiş ve ortaya çıkan verilere göre termoelektrik soğutucuların endüstri sektörlerindeki kullanım alanları belirlenmiştir. Bunların dışında iki tip termoelektrik soğutucu kullanılarak soğutucuların performans değerlerini tespiti yapılmıştır. Yalıtımlı 50 litrelik bir dolap soğutulmuştur. Yalıtım malzemesi olarak soğutulan hacme 20 mm kalınlığında strafor ve 3 mm kalınlığında PVC kaplanmıştır. Yapılan hava- hava soğutmalı ve Sıvı-hava soğutmalı sistemler arasındaki farklılıkları tespit edilmiştir. Tespit edilen sonuçlara göre hava- hava soğutmalı sistemde 57 Watt gücünde modüller kullanılarak COP değeri soğutmanın en iyi olduğu zamanda hesaplanmış ve COP değeri 0.37 bulunmuştur. Buna karşılık sıvı-hava soğutmalı sistemde ise 67 Watt'lık modül kullanılmış ve COP değeri 0.40 olarak hesaplanmıştır [25,28].

Farklı bir çalışmada ise termoelektrik soğutma etkisinin, soğutmada kullanılması incelenmiştir. 40x40x4mm ölçülerinde bir termoelektrik modül kullanılmıştır. Ebatları 50x60x50mm olan yalıtılmış bir dikdörtgen prizma kutuya monte edilen modül ile kutuya konulmuş suyun sıcaklığı düşürülerek, akım ve gerilim arasındaki ilişki incelenmiştir. Deneyde kullanılan kabin iç yüzeyi 1 mm kalınlığında galvanizli saca kaplanmış, hacmi 150 cm<sup>3</sup> ve iç kısmı 5 mm kalınlığında straforla kaplanmıştır. Oluşturulan hacim içerisine 125 g su konulmuş ve sistem fanlı ve fansız olarak

çalıştırılarak deney yapılmıştır. Deneyler sonucunda fansız deneylerde elde edilen COP'nin en düşük ve en yüksek değerleri  $COP_{min} : 0.088$ ,  $COP_{max} : 0.22$  olarak tespit edilmiştir. Fanlı sistemde ise  $COP_{min} : 0.094$ ,  $COP_{max} : 0.358$  olarak hesaplanmıştır [25,29].

Yapılan başka bir çalışmada ise termoelektrik çatı tipi güneş kolektörünün üretim gücü üzerinde durulmuştur. Bu çalışmada laboratuvar düzeyinde yeni bir çatı tasarımı sayesinde, termoelektrik çatı tipi güneş kolektörü (Te-RSC)'nin güneş enerjisinin termoelektrik güç üretimi sisteminde kullanılması araştırılmıştır. Deney düzeneği Te-RSC, şeffaf akrilik bir plakadan, hava boşluğundan, bakır bir plakadan, termoelektrik modüllerden ve bir dörtgen kanatlı soğutuculardan oluşmaktadır. Güneşten gelen ışık bakır plakayı ısıtıp ve TE modül üzerinde bir sıcaklık farkı oluşturmuştur. Bunun sonucunda bir doğru akım elde edilmektedir. Araştırma neticesinde, yapılmak istenen yeni çatı tasarımının, ortam sıcaklığının  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  ile  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$  arasında değişimi ve  $800\text{ W/m}^2$  gücündeki güneş ışınması altında  $1,2$  watt civarında bir güç ürettiği görülmüştür. Bu deneyde yenilenebilir enerji kaynaklarının etkinliğinin kırsal alanlarda TE-RSC kavramı yardımıyla güç üretimi, çatı ısını azaltma ve bunların yanında mahal havalandırılması gibi çeşitli amaçlar için ilginç ve yeni bir alternatif oluşturduğu üzerinde durulmuştur [25,30].

Basel ve Ahmed'in yaptığı çalışmada ise son yıllarda, özellikle küresel ısınma, emisyonların çevresel konularda endişeleri artırması ve enerji kaynaklarının sınırlı miktarda oluşu elektrik üreten yeni güç teknolojilerinin araştırılması gerektiğine işaret etmiştir. Termoelektrik güç jeneratörleri avantajları sayesinde farklı bir gelecek vaat ettiği düşünülerek, alternatif ve yeşil teknoloji olarak ortaya çıkmıştır. Termoelektrik enerji üretimi, atık ısı enerjisinin doğrudan kullanılabilir olması, ısının enerjiye dönüşümünün kolay ve maliyeti dikkate alınmayacak kadar az olması nedeniyle, ısı potansiyelini elektrik gücüne dönüştüren alternatif bir kavram olarak değerlendirilmiştir. Çalışmada artırılabilir elektrik enerjisine, doğrudan atık ısı enerjisini dönüştürmek için alternatif yeşil enerji teknoloji dönüşüm sistemlerinin etkinlikleri üzerinde durulmuştur. Bu çalışmada, termoelektrik güç temel kavramları üzerinde, bunların kullanıldığı önemli alanlara değinilmiş ve son zamanlarda alınmış patentli uygulamalar gözden geçirilmiş ve tartışılmıştır [37].

Samuel S. Phillips yaptığı çalışmada, bir deney sistemi tasarlanmış ve ticari olarak temin edilebilen, bizmut tellür termoelektrik modülün belirli sıcaklıklarda termoelektrik özelliklerini ölçmüştür. Termoelektrik modüller bir ısı pompası ve bir

jeneratör olarak hem tersinir çalıştırmıştır. Deney düzeneği bir yalıtımlı kaptaki ve değişken ısıtıcı kullanılarak ve termoelektrik güç modülü boyunca oluşan sıcaklık farkını ölçmek için K tipi termokupl kullanılmıştır. Ölçülen parametreler modülün benzer tipte yayınlanan verileriyle karşılaştırılmıştır. Isıl verim çalışmaları yapılmıştır [46].

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde sistemlerin performansının termodinamik kanunlara göre değerlendirilmesi için sadece enerji analizleri göz önüne alınmıştır.

Yapılan bu tez çalışmasında ise diğer çalışmalardan farklı olarak, modellenen sistemin performans değerlendirmesi için enerji analizleriyle birlikte ekserji analizleri de göz önüne alınmıştır.

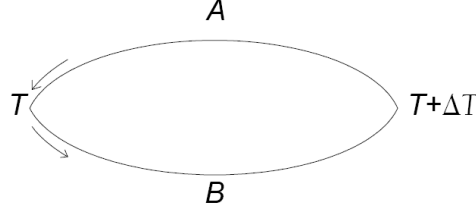
## 2.2 Seebeck ve Peltier

Yalıtılmış bir iletken ya da yarıiletkendeki iki nokta arasındaki sıcaklık farkı, bu iki nokta arasında bir potansiyel fark oluşturur. Oluşan bu etkiye Seebeck etkisi ya da, termoelektrik etki adı verilir. İletken içindeki birim sıcaklık farkı başına termoelektrik voltaja Seebeck katsayısı adı verilir. Şekil 2.1’de gösterilen bir tarafı sıcak diğer tarafı soğuk alüminyum çubuğu dikkate alalım. Sıcak bölgedeki elektronlar soğuk bölgedeki elektronlardan daha enerjik olduklarından, sıcak taraftan soğuk tarafa doğru elektron akışı olur ve sonuçta sıcak tarafta pozitif metal iyonları kalırken soğuk tarafta elektron toplanması gerçekleşir. Bu durum, sıcak taraftaki pozitif iyonlar ve soğuk taraftaki fazladan elektronlar arasında bir elektrik alan oluşmasına yol açar. Dolayısıyla sıcak ve soğuk uçlar arasında bir gerilim farkı meydana gelir. Seebeck etkisi ve Peltier etkisi en önemli termoelektrik etkilerdir. Yukarıdaki tanıma göre bazen termoelektrik güç ya da termogüç olarak ta adlandırılan Seebeck katsayısı, “S” ile verilir. S ‘nin işareti soğuk tarafın sıcak tarafa göre olan potansiyelini ifade eder. Eğer elektronlar sıcak taraftan soğuk tarafa geçerse, soğuk taraf sıcak tarafa göre negatif olacağından Seebeck katsayısı negatif olacaktır. Diğer taraftan, p-tipi bir yarıiletkende deşikler sıcak taraftan soğuk tarafa geçeceğinden soğuk taraf sıcak tarafa göre pozitif olacak ve neticede Seebeck katsayısı pozitif değer alacaktır.

Sıcaklık farkından dolayı gerilim üretilmesi Seebeck etkisi denir.  $\Delta T$  sıcaklık farkı ve gerilim  $\Delta V$  ile bir malzemenin Seebeck katsayısı tanımlanır [46].

$$S = - \frac{\Delta V}{\Delta T} \quad (2.1)$$

Basit bir Seebeck deney düzeneği şekil 2.2’de verilmiştir. Birleşim noktaları farklı sıcaklıkta tutulan A ve B iletkenlerinden oluşan devrede bu birleşim noktalarından alınan kontaklar arasında bir potansiyel farkı ortaya çıkacaktır. Benzer durum tek bir termoelement kullanılması durumunda da ortaya çıkar [31].



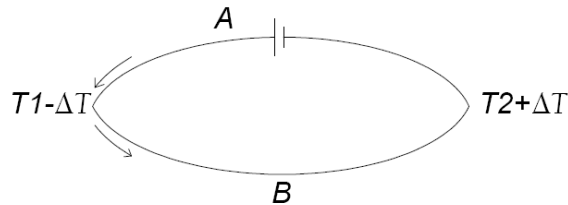
**Şekil 2.2:** Seebeck deney düzeneği [31].

Şekildeki her bir iletkenin mutlak Seebeck katsayıları  $S_A$ ,  $S_B$  olmak üzere kontaklar arasındaki potansiyel fark ile tespit edilir. Burada  $S_{AB}$  bağıl Seebeck katsayısıdır. Platin metali referans alınarak oluşturulmuş şekildeki tabloda bazı metallere ve yarıiletkenlere ait Seebeck katsayıları verilmiştir (Çizelge 2.2) [31,33].

**Çizelge 2.2:** Bazı metal ve yarı iletkenlere ait Seebeck katsayıları [32].

Metaller	Seebeck Katsayısı ( $\mu\text{V/K}$ )	Yarıiletkenler	Seebeck Katsayısı ( $\mu\text{V/K}$ )
Antimon	47	Selenyum	900
Nikrom	25	Tellür	500
Molibden	10	Silisyum	440
Kadmiyum	7,5	Germanyum	300
Tungsten	7,5	N tipi $\text{Bi}_2\text{Te}_3$	-230
Altın	6,5	P tipi $\text{Bi}_{2-x}\text{Sb}_x\text{Te}_3$	300
Gümüş	6,5	P tipi $\text{Sb}_2\text{Te}_3$	185
Bakır	6,5	PbTe	-180
Rodyum	6,0	$\text{Pb}_3\text{Ge}_{39}\text{Se}_{58}$	1670
Tantal	4,5	$\text{Pb}_6\text{Ge}_{36}\text{Se}_{58}$	1410
Kurşun	4,0	$\text{Pb}_9\text{Ge}_{33}\text{Se}_{58}$	-1360
Alüminyum	3,5	$\text{Pb}_{13}\text{Ge}_{29}\text{Se}_{58}$	-1710
Karbon	3,0	$\text{Pb}_{15}\text{Ge}_{37}\text{Se}_{58}$	-1990
Cıva	0,6	$\text{SnSb}_4\text{Te}_7$	25
Platin	0,0	$\text{SnBi}_4\text{Te}_7$	120
Sodyum	-2,0	$\text{SnBi}_3\text{Sb}_1\text{Te}_7$	151
Potasyum	-9,0	$\text{SnBi}_{2,5}\text{Sb}_{1,5}\text{Te}_7$	110
Nikel	-15,0	$\text{SnBi}_2\text{Sb}_2\text{Te}_7$	90
Bakır-Nikel	-35,0	$\text{PbBi}_4\text{Te}_7$	-53
Bizmut	-72,0		

Peltier etkisi, ısının elektrik akımı ile bir noktadan başka bir noktaya taşınması olayıdır (Şekil2.3). Devreden bir akım geçirilmesi durumunda akımın yönüne bağlı olarak kontak noktalarından birinde ısı soğururken diğerinde ısı yayılımı meydana gelir. Peltier etkisi Seebeck etkisinin tersi bir süreçtir [32,33].



**Şekil 2.3:** Peltier deney düzeneği [31].

### 2.3 Termoelektrik Güç Üretiminde Kullanılan Ekipmanlar

Termoelektrik güç üretimi deney düzeneği için gerekli ekipmanlar çizelge 2.3'de verilmiştir.

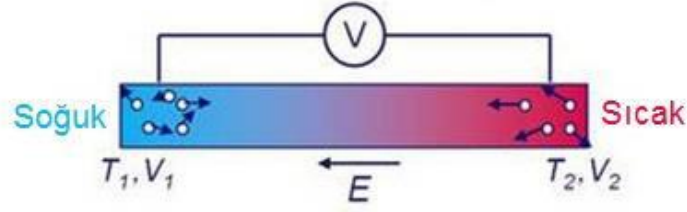
**Çizelge 2.3:** Termoelektrik Güç Üretimi Deney Ekipmanları.

Ekipman Numarası	Adı	Teknik Bilgisi	Adet
1	Peltier	A (92 Watt)	1
2	Peltier	B (123,2 Watt)	2
3	Peltier	C (136,8 Watt)	1
4	Termokupl	K Tipi	8
5	Sıcaklık Veri Kaydedici	4 Kanallı	2
6	Multimetre ve Probları	Voltmetre ve Ampermetre	2
7	Isı Değiştiricisi	10 x 10 x 2cm	3
8	Su Devirdaim Pompası	12V	2
9	Sıcak Su Deposu	5 Litre Kapasiteli	1
10	Soğuk Su Deposu	15 Litre Kapasiteli	1

#### 2.3.1 Termoelektrik jeneratörler

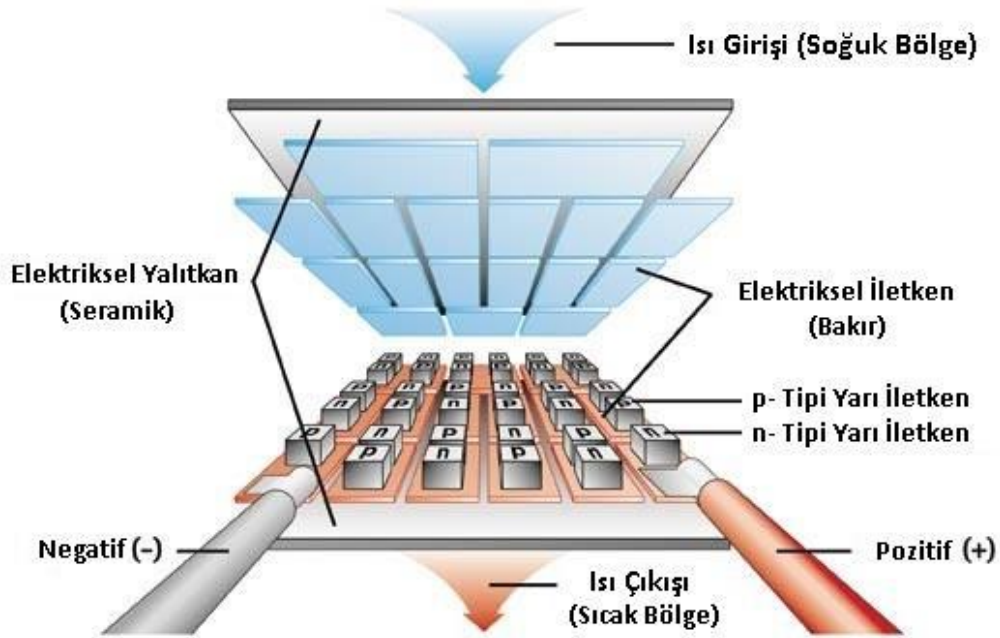
Termoelektrik jeneratörler günümüzde, elektrik enerjisi üretimi, ısıtma veya soğutma sistemleri ve sıcaklık sensörleri gibi farklı amaçlar için kullanılmaktadırlar. Elektrik enerjisi üretiminde Seebeck etkisinden faydalanılırken ısıtma veya soğutma işlemleri için Peltier etkisi kullanılır [33].

Seebeck etkisi kullanılarak ısı enerjisi doğrudan elektrik enerjisine dönüştürülebilir. Buna termoelektrik enerji üretimi denir. Şekil 2.4'te termoelektrik enerji üretimi şematik olarak gösterilmiştir. Örnek şekilde sağ taraftan ısıtılmaya başlandığında sıcaklık farkından dolayı madde indüklenir. Eğer devre bir yük ile (direnç) kapalı devre haline getirilirse üretilen elektrik bu yük üzerinde harcanır. Burada termoelektrik materyal bir çeşit batarya gibi davranır, termoelektrik güç elektromotor kuvvete karşılık gelirken materyalin direnci ise bataryanın iç direncine karşılık gelmektedir. Termoelektrik enerji üretiminin başlıca üç avantajı vardır; bakım gerektirmez, atık ısının geri dönüşümüne imkân verir ve uzun süreli işletim sağlar [33].



**Şekil 2.4:** Termoelektrik Jeneratör.

Modern bir termoelektrik modül, iki yalıtkan seramik arasında külçe şeklindeki “n” ve “p” tipi termoelement yarıiletkenlerin seri olarak iletkenler aracılığıyla bağlanmasından oluşur (Şekil 2.5). Bu modülün yüzeyleri arasında sıcaklık farkı oluşturulduğunda elektriksel güç harici bir yolla taşınır ve modül bir jeneratör gibi çalışır. Bunun tersine modülden elektrik akımı geçirildiğinde ısı modülün bir yüzeyinden diğer yüzeyine doğru emilir ve modül bir soğutucu olarak çalışır [33].



**Şekil 2.5:** Termoelektrik modül [34].

Termoelektrik modüller çalışma sıcaklık oranlarına bağlı olarak iki kategoriye ayrılırlar. Genellikle soğutma işleri için kullanılan Bizmut-tellür ve alaşımları yüksek Z değerine sahiptirler ve maksimum çalışma sıcaklıkları 450 K civarındadır. Kurşun-tellür alaşımları ile Silikon-germanyum alaşımlarının kalite faktörleri sonraki en yüksek değere sahiptir. Bu materyaller jeneratör uygulamalarında kullanılırlar ve çalışma sıcaklıkları 1000 K - 1300 K'dir [33,34].

Peltier etkisini kullanan termoelektrik aygıtlar soğutucu materyaller olarak kullanılabilir. Bir termoelektrik soğutucu, gazlı soğutucularda olduğu gibi herhangi bir dönüşüm malzemesine ihtiyaç duymaz. Bu sebeple verimli bir termoelektrik

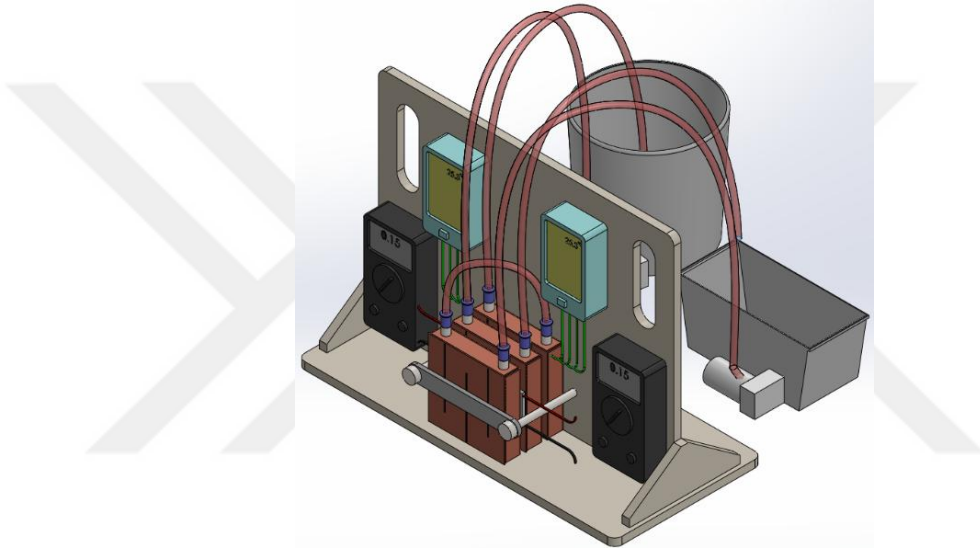
soğutucu gazlı soğutuculara çok iyi bir alternatif olabilir. Diğer bir avantajı ise termoelektrik soğutucularda akım yönünde çok hızlı bir ısınma ve soğuma gerçekleşir. Böylece termoelektrik bir soğutucu taşıma kabinlerinde kullanılabilir [33].

Termoelektrik jeneratörler katı cisimlerdir. Sıcaklık farkından meydana gelen enerji doğrudan elektrik enerjisine dönüşmesi etkisiyle çalışırlar ve bu etki Seebeck etkisidir. Termoelektrik güç döngüsünde çalışma elemanı olarak elektronlar vardır. Termodinamik verimleri yasalarla tespit edilir. Termoelektrik güç jeneratörleri diğer teknolojilere göre en belirgin avantajları şöyledir [37,40:43]:

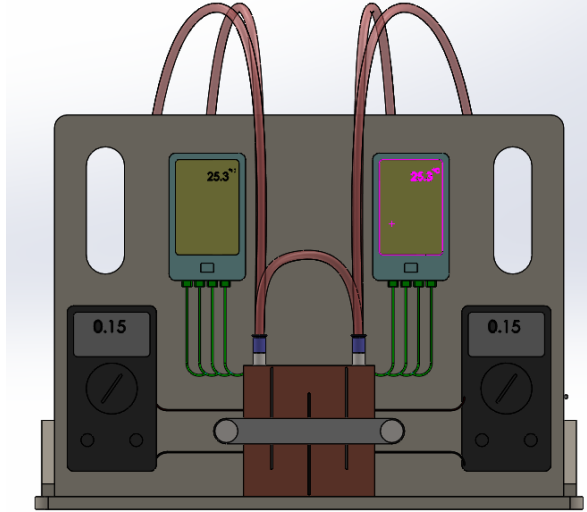
- Güvenilirdir, sessiz çalışır, hareketli parçası yoktur, bakım ihtiyacı azdır,
- Basit, kompakttır,
- Boyutları küçük, ağırlıkları azdır,
- Yüksek sıcaklıklarda çalışabilir,
- Küçük enerji ihtiyaçlarını karşılayabilir ve kırsal bölgelerde elektrik enerjisi gereksinimlerinde kullanılabilir,
- Çevre dostudur,
- Herhangi bir duruş pozisyonu sınırı yoktur,
- Esnek güç kaynağıdır.

### 3. DENEYSEL ÇALIŞMA

Deney setinde sıcak su devresi 30°C ile 70°C sıcaklıklar arasında çalışmaktadır. Sıcak ve soğuk su arasındaki ısı farkından elektrik elde etmek için tasarlanmış kapalı bir sistemdir. Sistem iki devreden oluşmaktadır. Sıcak su devresi; tek bir ısı değıştiricisi, bir adet sirkülasyon pompası, depo ve bağlantı parçalarından oluşmaktadır. Soğuk su devresi; iki adet ısı değıştiricisi, bir adet sirkülasyon pompası, depo ve e bağlantı parçalarından oluşmaktadır (Şekil 3.1a, Şekil 3.1b).



Şekil 3.1a: Deney düzeneğinin solidworks tasarımı izometrik görünüşü.



Şekil 3.1b: Deney düzeneğinin solidworks tasarımı ön görünüşü.

Deney düzeneğinin sistem şeması şekil 3.2'de verilmiştir. Buna göre düzenekte 2 adet 176-T4 sıcaklık veri kaydedici kullanılmıştır. Her sıcaklık veri kaydedicide 4





**Şekil 3.3:** Deney düzeneği.

1 rakamı A harfi ile ve 7 rakamı da G harfiyle olacak biçimde rakam ve harf koduyla sırasıyla eşleştirilmiştir (Çizelge3.1).

**Çizelge 3.1: Sıcaklık Değerlerinin rakam ve harf karşılaştırma Tablosu.**

Sıcaklık Kodu	Sıcaklık (°C)	Kodu
T1	Sıcak Su Girişi	A
T2	Sıcak Su Çıkışı	B
T3	Soğuk Su Girişi	C
T4	Soğuk Su Çıkışı	D
T5	Sıcak Kaynak	E
T6	Soğuk Kaynak	F
T7	Çevre Sıcaklığı	G

Deney düzeneği akış şemasında belirtildiği gibi 2 adet su devirdaim pompası yardımıyla sistemde suyun dolaşımı sağlanır. 7 farklı noktadan sıcaklık değeri aynı anda sıcaklık ölçüm cihazları yardımıyla ölçülebilir. İsteğe bağlı olarak PC'ye kurulmuş program yardımıyla sistem belleğine kaydedilir (Şekil 3.4a-Şekil 3.4b).





**Şekil 3.5:** Deney düzeneğinde kullanılan termoelektrik modül Peltier A.

Peltier A (92Watt)

Termoelektrik Soğutucu Peltier A: 12V, 92W

Ölçüler (mm): 40 x 40 x3.6

Renk: Beyaz

Voltaj: 12V

$V_{max}$  (V): 15.4V

$I_{max}$  (A): 6A

$Q_{max}$  (W): 92W

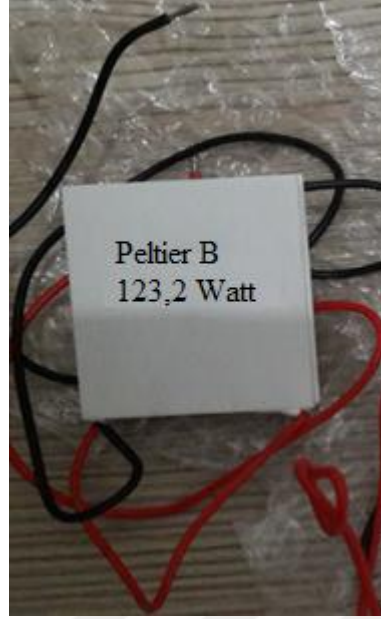
$T_{max}$  (° C): 66

Ürün Net Ağırlığı: 50 g

Güç Kablosu: 350mm

### **3.1.2 Deneyde kullanılan Peltier B**

Kullanılan peltierlerden biri Peltier B'dir (Şekil 3.6).



**Şekil 3.6:** Deney düzeneğinde kullanılan termoelektrik modül Peltier B.

Peltier B (123,2 Watt)

Ürün Özellikleri:

Ürün Adı: Termoelektrik Soğutucu

Ölçüler (mm): 40 x 40 x3.6

Renk: Beyaz

Voltaj: 12V

$V_{\max}$  (V): 15.4V

$I_{\max}$  (A): 8A

$Q_{\max}$  (W): 123,2

$T_{\max}$  (° C): 66

Ürün Net Ağırlığı: 50 g

Güç Kablosu: 350mm

### **3.1.3 Deneyde kullanılan Peltier C**

Diğer bir peltier ise Peltier C'dir (Şekil 3.7).



**Şekil 3.7:** Deney düzeneğinde kullanılan termoelektrik modül Peltier C.

Peltier C (136,8Watt)

Ürün Özellikleri:

Ürün Adı: Termoelektrik Soğutucu

Ölçüler (mm): 40 x 40 x3.6

Renk: Beyaz

Voltaj: 12V

$V_{\max}$  (V): 15.2V

$I_{\max}$  (A): 9A

$Q_{\max}$  (W): 123,2

$T_{\max}$  (° C): 66

Ürün Net Ağırlığı: 50 g

Güç Kablosu: 350mm

### 3.2 Sıcaklık veri kaydedici

Deneyde farklı uygulamalar için kullanılabilen 4 kanallı ve T,K,J tipi termokupl problemleriyle gerektiğinde eş zamanlı birden fazla değeri izlemeye, raporlamaya olanak sağlayan sıcaklık veri kaydedici kullanılmıştır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8: Sıcaklık veri kaydedici.

Ölçüm aralığı  $-195$  ile  $+1000$  °C , doğruluğu  $\pm 1\%$  ölçüm değeri ( $-195 \dots -100,1$  °C),  $\pm 0,3\%$  ölçüm değeri °C ( $-100 \dots +70$  °C) ,  $\pm 0,5 \%$  ölçüm değeri ( $+70,1 \dots +1000$  °C) ve çözünürlüğü  $0,1$  °C olarak kullanılabilir.

### 3.3 Termokupllar

Termokupl veya ısıl çift, bir tür sıcaklık sensörüdür. Farklı iki iletken malzemenin birleşimiyle oluşur. Bu malzemelerin iki ucu birleştirilir (sıcak nokta) ve ısıtılırsa, diğer uçlarda (soğuk nokta) gerilim elde edilir. Bu gerilimin kullanılan malzemenin cinsine ve birleşim noktasının ısınma miktarına bağlıdır. Sıcak nokta ile soğuk nokta sıcaklık dağılımı nasıl olursa olsun üretilen gerilim sıcak ile soğuk nokta arasındaki sıcaklık farkıyla orantılıdır. Sıcak nokta ile soğuk nokta arasındaki sıcaklık farkı termokupl üzerinde gerilim (EMF) yaratır. Sıcak nokta sıcaklığı aynı kalmak koşulu ile soğuk nokta sıcaklığı değiştiğinde farklı sıcaklıklar okunur. Bu nedenle mV tablolarındaki değerlerde standart sağlamak için ölçülen sıcaklık karşılığı mV değerleri soğuk noktanın  $0$  °C'de tutulması ile elde edilir. Termokupllar  $-200$ 'den  $2320$  °C'ye kadar çeşitli sıcaklıklarda, ölçüm ve kontrol için yaygın olarak kullanılır. Ayrıca sıcaklık gradyanını elektriğe dönüştürürler [35].

Termokupllar bilim ve endüstride de sıkça kullanılır. Özellikle tuğla veya kiremit yapımında kullanılan fırınlarda, gaz türbin egzozlarında (çıkışlarında), dizel motorlarda, vb. gibi yerlerde kullanılır [35].

Deneyde K tipi termokupllar kullanılmıştır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9: K tipi termokupl.

### 3.4 Multimetreler

Multimetre 2 farklı termoelektrik modülden ayrı biçimde akım ve voltaj ölçmek için gerekmektedir (Şekil 3.10).



Şekil 3.10: Multimetre.

Kırmızı ve siyah renkli probaları yardımıyla ölçüm yapılır. İhtiyaca göre seri veya paralel bağlantıya imkân sağlamaktadır.

### 3.5 Isı deęiřtircileri

Isı değiştircileri sayesinde termoelektrik modüllerin bir kenarına sıcak diğer tarafına soğuk teması sağlanmaktadır. Boyutsal özellikleri 10x10x2cm'dir. İçerisinde 3 kanallı kanatçık ile tasarlanmıştır (Şekil 3.11.a).



**Şekil 3.11a:** Isı Değiştiricileri.

Giriş ve çıkışlarına kaynatılan somuna rekor ve onların ucuna da nipeller bağlanmaktadır. Nipellerin ucuna bağlanan hortum sayesinde sıcak ve soğuk suyun dolaşımı sağlanmaktadır (Şekil 3.11b).



**Şekil 3.11b:** Isı değiştiricileri bağlantı detayı.

Isı yalıtımı sağlamak için ısı değiştiricileri saracak biçimde plastik bir malzeme ile çevresi sarılmıştır (Şekil 3.11c).



**Şekil 3.11c:** Deney tesisatından görüntüler.

### **3.6 Sıcak ve soğuk su depoları**

Sıcak su deposu olarak 5 lt kapasiteli izolasyonlu depo kullanılmıştır. Depoya gerekli bağlantılar ve sirkülasyon pompası bağlantısı yapılmıştır. Soğuk su deposu olarak 15 lt kapasiteli depo kullanılmıştır.

### **3.7 Sirkülasyon Pompası**

Deney düzeneğinde sirkülasyon yapabilmek için sıcak ve soğuk su depolarına birer adet sirkülasyon pompası bağlantısı yapılmıştır (Şekil 3.12).



**Şekil 3.12:** Sirkülasyon pompası.

## 4.ANALİZLER

Termodinamik analiz, en iyi şekilde mevcut enerji kaynaklarının değerlendirilmesi ve ele alınan sistemin iyileştirilme potansiyellerinin ortaya konulması için yapılan hesaplamalardır. Bu amaçla, bir sistemin termodinamik analizi, termodinamiğin birinci yasası olan enerji analizi ve termodinamiğin II. yasası olan ekserji analizine göre yapılmaktadır. Bu bağlamda I. yasa enerjinin niceliği ile ilgili olup enerjinin vardan yok edilemeyeceği ve yoktan var edilemeyeceğini vurgular. Sadece enerji bir formdan başka bir forma dönüşür ancak toplam enerji miktarı kesinlikle değişmez. Bu bağlamda termodinamiğin birinci yasa çözümlemesi bir hal değişimi esnasında enerji hesabını tutmak amacıyla yapılır.

Diğer taraftan termodinamiğin ikinci yasa çözümlemesinde hal değişiminin hangi yönde gerçekleşebileceğini belirler ve enerjinin niceliğinin yanında niteliğini de ön plana çıkarır. Gerçek sistem ve proseslerde sistemdeki sürtünme, entropi oluşumu gibi tersinmezliklerden dolayı enerjinin kalitesinde azalma olacağını söyler.

Bu bağlamda, ele alınan sistemlerin termodinamik açıdan performansının belirlenebilmesi için kütle, enerji ve ekserji denge bağıntılarının ayrı ayrı yazılması gerekmektedir. Bu bölümde kütle, enerji ve ekserji denge bağıntıları verilmeden önce, ölü hal ve enerji ve ekserji terimleri adı altında potansiyel, kinetik, fiziksel ve kimyasal enerji ve ekserji, kavramlarına değinilecektir [1].

### 4.1 Ölü (Referans) Hal

Basınç, sıcaklık, hız, sistemin çevreden olan yüksekliği, iş geliştirmesine olanak verecektir. Sistem değişiklikleri çevreyle dengedeysen bu hale ölü hal denir. Ölü halde, mekanik, ısıl ve kimyasal denge, sistem ve çevre arasında vardır. Bu denge hali, basınç sıcaklık, sistemin kimyasal potansiyelinin çevreyle eşit olmasıyla ilgilidir. Buna ilave olarak, ölü halde sistemin çevresine göre kinetik ve potansiyel enerjileri de sıfırdır. Bu koşullar altında sistem çevresiyle ısıl ve mekanik etkileşimde bulunmaz ve çevresi ile kimyasal reaksiyona girmez. Bir sistemin ölü haldeki özellikleri 0 alt indisli ile gösterilir ve bu özellikler  $P_0$ ,  $T_0$ ,  $h_0$ ,  $u_0$  ve  $s_0$ 'dır [1].

## 4.2 Enerji Terimleri

Bir sistemde manyetik alan, elektrik, yüzey gerilimi ve nükleer reaksiyonların gerçekleşmediği sistemlerde o sistemin enerjisi (a) kinetik enerji, (b) potansiyel enerji, (c) fiziksel enerji ve (d) kimyasal enerji toplamından oluşur [1].

$$E = E_{ke} + E_{pe} + E_{fiz} + E_{kim} \quad (4.1)$$

şeklinde yazılabilir. Buna göre birim kütle başına enerji, başka bir deyişle özgül enerji,

$$e = e_{ke} + e_{pe} + e_{fiz} + e_{kim} \quad (4.2)$$

olur.

Kinetik enerji sistemdeki akımın hızından kaynaklanır ve;

$$e_{ke} = \frac{v^2}{2} \quad (4.3)$$

ile ifade edilir.

Potansiyel enerji ise sistemin çevre ile arasındaki yükseklik farkı ve yerçekimine bağlıdır.

$$e_{pe} = gz \quad (4.4)$$

## 4.3 Ekserji Terimleri

Bir sistemde nükleer, manyetik, elektrik ve yüzey gerilim etkilerinin yokluğunda o sistemin ekserjisi dört bölümde incelenebilir. Bunlar: (a) kinetik ekserji, (b) potansiyel ekserji, (c) fiziksel ekserji, ve (d) kimyasal ekserjidir. Bu durumda sistemin toplam ekserjisi

$$\sum Ex = Ex_{ke} + Ex_{kp} + Ex_{fiz} + Ex_{kim} \quad (4.5)$$

şeklinde yazılabilir [1].

Kinetik, potansiyel ve fiziksel ekserji literatürde termomekanik ekserji olarak özetlenir. Buna göre birim kütle başına ekserji, başka bir deyişle özgül ekserji,

$$ex = ex_{ke} + ex_{pe} + ex_{fiz} + ex_{kim} \quad (4.6)$$

olur [1].

Çevreyle ilişik olarak ekserji değerlendirildiğinde, sistemin kinetik ve potansiyel enerjisinin tamamının işe dönüşebilir, bu durumda bir sistemin kinetik ve potansiyel enerjisinin iş potansiyeli veya ekserjisi, çevre hale bakılmaksızın kinetik enerjisine ve potansiyel enerjisine eşittir [1].

$$ex_{ke} = \frac{v^2}{2} \quad (4.7)$$

$$ex_{pe} = gz \quad (4.8)$$

Burada V hız ve z çevre durum ile olan yükseklik farkıdır. Sistemin çevreyle aynı bağlamda olduğu göz önüne alınırsa  $ex_{ke}$  ve  $ex_{pe}$  sıfır olur [1].

Bir ekserji akımının ya da maddenin belli bir P basıncı ve T sıcaklığında o sistemin  $P_0$  ve  $T_0$  halindeki çevre şartları ile termodinamik denge haline getirilmesi ile sistemden elde edilebilecek maksimum iş olarak tanımlanabilir.  $h$  ve  $s$  terimleri entalpi ve entropi olmak üzere birim kütle için fiziksel ekserji;

$$ex_{fiz} = (h - h_0) - T_0(s - s_0) \quad (4.9)$$

eşitliği ile tanımlanır [1].

Bir sistemdeki iki durum arasındaki maksimum iş o durumlar arasındaki fiziksel ekserji miktarları arasındaki fark ile hesaplanabilir.

$$ex_{fiz2} - ex_{fiz1} = (h_2 - h_1) - T_0(s_2 - s_1) \quad (4.10)$$

eşitliği ile ifade edilir [1].

Bir gazın sistem sıcaklığı ve basıncındaki kimyasal yapısıyla aynı gazın çevre sıcaklığı ve basıncındaki kimyasal yapısı arasındaki fark kimyasal ekserji olarak tanımlanır. Bazı uygun çevre malzemelerinin özellikleri referans alınarak maddelerin standart kimyasal ekserjileri hesaplanmıştır. Standart kimyasal ekserjiler, standart çevre (ölü hal) sıcaklığına ( $T_0 = 25 \text{ }^\circ\text{C} = 298,15 \text{ K}$ ) ve basıncına ( $P_0 = 1 \text{ atm}$ ) bağlıdır. İdeal gaz karışımları için birim mol başına kimyasal ekserji;

$$\bar{ex}_{kim} = -\bar{R}T_0 \sum x_k \ln \frac{x_{0,k}}{x_k} \quad (4.11)$$

veya

$$\bar{ex}_{kim} = \sum x_k \bar{ex}_{ch,k} + \bar{R}T_0 \sum x_k \ln x_k \quad (4.12)$$

eşitliklerinden de hesaplanabilir (Bejan et al. 1996; Moran, 1999). Bu eşitliklerde yer alan  $x_k$  toplam gaz içerisindeki k'nıncı gazın mol oranını,  $\bar{ex}_{ch,k}$  k'nıncı gazın standart kimyasal ekserjisini ifade etmektedir. Literatürde standart kimyasal ekserjileri için iki farklı yaklaşım mevcuttur. Bu yaklaşımlardan ilki Ahrendts (1980)

tarafından literatüre kazandırılmıştır. Ahrendts'in (1980) ele aldığı modelde çevre basıncı olarak 1,019 atm kabul etmiştir. İkinci yaklaşım ise Szargut et al. (1988) tarafından geliştirilmiş olup çevre basıncı olarak 1 atm. alınmıştır. Hesaplamalarda basitlik sağlanması açısından literatürde her iki yaklaşımı da ele alan çizelgeler kullanılabilir [1].

#### 4.4 Genel Kütle, Enerji ve Ekserji Denklik Bağlılıkları

Genel olarak, kararlı akış proseslerinde dört denge eşitliği vardır. Bunlar; kütle, enerji, entropi ve ekserji eşitlikleridir. Bu çalışmada, kütle, enerji ve ekserji denge eşitlikleri kullanılarak, ekserji kaybı (tahribi, yok oluşu veya yıkımı), enerji ve ekserji verimleri verilmiştir (36,47).

Termodinamik denklik bağlantıları vermeden önce, bir sistemdeki genel denklik aşağıdaki gibi yazmak daha doğru olacaktır.

$$\text{Giren} + \text{Üretilen} - \text{Çıkan} - \text{Tüketilen} = \text{Depolanan} \quad (4.13)$$

Burada; giren ve çıkan, sırasıyla, sistem sınırlarına giren ve sınırlarından çıkan miktarları, üretilen ve tüketilen, sırasıyla, sistem dâhilinde üretilen ve tüketilen miktarları ve depolanan ise, sistem dâhilindeki miktarın gelişimini (pozitif ya da negatif) gösterir. Sürekli akışlı-sürekli açık sistemler için depolanan akım terimi denklikte sıfırdır.

##### 4.4.1 Kütle denklik bağlantısı

Sürekli akışlı açık sistemlerde kontrol hacmi içerisinde zamana göre toplam kütle değişime uğramaz. Bu nedenle sisteme giren ve sistemden çıkan kütleler birbirine eşittir. Bu şekildeki sürekli akışlı açık sistem çözümlerinde birim zamanda geçen kütle yani kütleli debi, belirli bir zamanda kontrol hacmine giren ve çıkan kütleyle göre daha önemlidir. Eğer sisteme birden fazla giriş veya çıkış oluyorsa, bu sürekli akışlı açık sistemler için kütleli korunumu ilkesi aşağıdaki gibidir [36].

Sürekli akışlı-sürekli açık sistemler (SASA) için, kütle denkleği aşağıdaki gibi yazılabilir. Birim zaman bazında kütle (kütleli debi) dengesi:

$$(\text{Birim Zamanda Giren Toplam Kütle}) = (\text{Birim Zamanda Çıkan Toplam Kütle}) \quad (4.14)$$

$$\sum \dot{m}_g = \sum \dot{m}_ç \quad (4.15)$$

Burada  $\dot{m}_g$  sisteme birim zamanda giren kütleli debiyi,  $\dot{m}_ç$  ise sistemden birim zamanda çıkan kütleli debiyi göstermektedir ve reaksiyona giren ve çıkan kütleler korunmaktadır. Bu nedenle reaksiyona giren ve çıkan kütle miktarı eşittir.

#### 4.4.2 Enerji denklik bağıntısı

Enerji analizi, termodinamiğin birinci kanunu olan enerjinin korunumu prensibini esas alır. Sistem ile çevre arasında gerçekleşen iş ve ısı etkileşimlerinin net etkisinden, enerjinin korunumu denklemleri türetilir. Sürekli akışlı açık sistemde kontrol hacminin toplam enerjisi sabit olduğu belirtilmiştir. Böylece kontrol hacmine ısı, iş ve kütle akışı olarak giren enerjinin çıkan enerjiye eşit olması gerekir. Sürekli akışlı açık sistemler için termodinamiğin birinci yasasına göre enerji korunumu aşağıdaki gibi yazılabilir [36].

$$\left[ \begin{array}{c} \text{Sisteme} \\ \text{giren} \\ \text{toplamenerji} \end{array} \right] - \left[ \begin{array}{c} \text{Sistemden} \\ \text{çıkan} \\ \text{toplamenerji} \end{array} \right] = \left[ \begin{array}{c} \text{Sistem sınırları} \\ \text{içerisindeki} \\ \text{enerji değişimi} \end{array} \right] \quad (4.16)$$

Daha öncede belirtildiği gibi, korunum yasasına (nükleer reaksiyonları ihmal ederek) uğrayan enerji, ne üretilebilir nede tüketilebilir. Birim zamanda enerji dengesi (enerji akımı dengesi):

$$\sum \dot{E}_g = \sum \dot{E}_ç = \Delta \dot{E}_{\text{sistem}} \quad (4.17)$$

$$\sum \dot{m}_g Q_g - \sum \dot{m}_ç Q_ç = \dot{Q} - \dot{W} \quad (4.18)$$

Bu bağıntı çoğunlukla enerjinin korunumuna karşılığıdır ve herhangi bir hal değişiminde gerçekleşen herhangi bir sistem için uygulanabilmektedir. Bu bağıntının mühendislik problemlerinin çözümünde başarılı bir şekilde kullanılması, enerjinin farklı biçimlerinin anlaşılmasına ve enerji geçişi biçimlerinin fark edilmesine bağlıdır.

#### 4.4.3 Ekserji denklik bağıntısı

Belirli bir kontrol hacmi ele alındığında enerji korunurken aynı kontrol hacmi için ekserji korunumundan bahsedilemez. Ekserji tersinmezlikler nedeniyle bir proses boyunca daima tüketilir ve bu yüzden korunamayan bir yasayla karşı karşıya kalır. Sonuç olarak, genel ekserji denklik bağıntısı;

$$\text{Giren Ekserji} - \text{Çıkan Ekserji} - \text{Tüketilen Ekserji} = \text{Depolanan Ekserji} \quad (4.19)$$

$$\sum \dot{E}x_g - \sum \dot{E}x_\zeta - \sum \dot{E}x_{yıkım} = \Delta \dot{E}x_{sistem} \quad (4.20)$$

şeklinde yazılabilir.

Sürekli rejimde ekserji dengesi ele alındığında sistem içerisinde ekserji değişimi sıfır olacağından birim zamanda ekserji dengesi (ekserji akımı dengesi):

$$\sum \dot{E}x_g - \sum \dot{E}x_\zeta = \sum \dot{E}x_{yıkım} \quad (4.21)$$

veya

$$\dot{E}x_{ısı} - \dot{E}x_{iş} + \dot{E}x_{kütlesel,g} - \dot{E}x_{kütlesel,\zeta} = \dot{E}x_{yıkım} \quad (4.22)$$

şeklindedir.

Ekserji, enerjinin iş yapabilme yeteneğini belirler ve tersinir proseste çevreyle denge haline gelene kadar iş üretilebilir. Bu durumda, ekserji genellikle fiziksel ekserji ile;

$$ex_{fiz} = (h - h_0) - T_0(s - s_0) \quad (4.23)$$

ifade edilir. Bir prosesin belirli bir halindeki toplam ekserji ise, o haldeki fiziksel ve kimyasal ekserjisi toplamına eşittir. Bu nedenle belirli bir haldeki toplam özgül ekserji ifade edilecek olursa;

$$ex = ex_{fiz} + ex_{kim} \quad (4.24)$$

fiziksel ekserji ve kimyasal ekserji toplamıdır.

Eşitlik (5.27)'de h entalpiyi, s entropiyi ve alt indis 0 olarak verilen ifadeler ise P<sub>0</sub> ve T<sub>0</sub> olarak belirlenmiş referans durumdaki hali ifade etmektedir.

Prosesteki ekserji akımı ise;

$$\dot{E}x = \dot{m} \cdot ex \quad (4.25)$$

İle ifade edilmektedir.

Eşitlik (5.24b) ve (5.28) birleştirildiğinde, ekserji yıkımı;

$$\begin{aligned} E_{x_{yıkım}} = & \sum [(h-h_0) - T_0(s-s_0) + ex_{kim}]_g \\ & - \sum [(h-h_0) - T_0(s-s_0) + ex_{kim}]_\zeta + \left(1 - \frac{T_0}{T_{reaksiyon}}\right) \cdot Q - W \end{aligned} \quad (4.26)$$

elde edilir.

TEG sisteminde üretilen güç, W<sub>TEG</sub>,

$$W_{TEG} = I_{TEG}^2 R_{load} \quad (4.27)$$

brüt elektrik akımı,  $I_{TEG} = V_{TEG} / (R_{TEG} + R_{load})$ . Jeneratörün maksimum ısıl verimi, iç yük direncinin optimum yükleme direncine oranıdır [44,45].

#### 4.4.4 I. ve II. yasa analizleri

Sürekli akışın söz konusu olduğu açık sistemlerde, akışkanların kontrol hacmi içerisinde kapasite ve şiddet özelliklerinin değişmediği sürekli bir akış vardır. Bu sistemlerde kontrol hacmi içerisinde akışkan özellikleri bir noktadan farklı bir noktaya farklılık gösterir. Ancak sürekli akışlı açık sistemde tek bir noktada akışkan özellikleri zamanla değişim göstermez.

Termoelektrik malzemelerin performans ifadesi (37,38)

$$Z = \frac{\alpha^2}{kR} \quad (4.28)$$

Z termoelektrik malzeme ise,  $\alpha$  boyutsuz Seebeck katsayısı;

$$\alpha = - \frac{\Delta V}{\Delta T} \quad (4.29)$$

Boyutsuz R elektrik direnci ve k toplam ısı iletkenlik katsayısı. Sıcak ve soğuk plakaların mutlak sıcaklıkları T (K), olmak üzere

$$Z\bar{T} = \alpha^2 \frac{T}{kR} \quad (4.30)$$

ve

$$\bar{T} = \frac{T_H + T_L}{2} \quad (4.31)$$

$\frac{\alpha^2}{R}$  terimi elektrik faktörüdür. Genel olarak, bir termoelektrik jeneratörlerde verim düşüktür ( $Z\bar{T} \leq 1$ ). Bir termoelektrik devrede verim; (37,38)

$$\eta = \frac{W_e}{Q_H} \quad (4.32)$$

Termoelektrik bir modülün birinci yasa verimliliği ( $\eta$ ), iletilen elektrik gücünün ( $Q_{elektrik}$ ), cihazın sıcak tarafından giren ( $Q_{sıcak}$ ) enerjiye oranıdır [46].

$$\eta = \frac{W_{elektrik}}{Q_{sıcak}} \quad (4.33)$$

Modül ısı transfer iletimi Fourier yasası ile verilir.

$$\dot{Q}_{sıcak} = \frac{KA}{t} \Delta T \quad (4.34)$$

K ısı iletkenlik katsayısı, A yüzey alanı ve t modül et kalınlığı olarak ifade edilir.

Üretilen elektrik gücü ile direnç ilişkisi;

$$\dot{W}_{elektrik} = \frac{V^2}{R} \quad (4.35)$$

Termodinamiğin birinci yasası enerjinin korunumu yasasıdır. Birinci yasaya aykırı bir hal değişimine bugüne kadar rastlanılmamıştır. Hal değişiminin oluşması için birinci yasanın sağlanması gerekmektedir. Fakat birinci yasanın sağlanmış olması hal değişiminin gerçekleşmesi için tek başına yeterli değildir.

Termodinamiğin ikinci yasasının amacı hal değişimlerindeki yönünü belirlemek değildir. İkinci yasa enerjinin hem niceliğini hem de niteliğini inceler. Termodinamiğin ikinci yasasının ifadesine göre ısıyı işe dönüştüren makinelerin hiçbir zaman verimi % 100 olamaz, yani hiçbir zaman ısının tamamı işe çevrilemez.

Sürekli akışlı açık sistemin birden çok girişi ve çıkışı olduğu, sistemin  $P_0$  basıncında ve  $T_0$  sıcaklığındaki çevre şartlarında ısı alış verişinde bulunabileceği kabul edilir.

İkinci yasa çözümlenmesi lüle, kompresör, pompa, ısı değiştiricileri gibi içinde sürekli akış olan açık sistemler için kullanılır [36].

Termodinamiğin ikinci yasası, kapalı bir termoelektrik güç üretimindeki sistemde mutlak maksimum verimin ifadesi, tersinir olarak çalışan Carnot çevrimiyle ifade edilmektedir [ 36,37].

$$\eta_{Carnot} = 1 - \frac{T_L}{T_H} \quad (4.36)$$

Tersinmez bir termoelektrik jeneratör sisteminde maksimum verimlilik ifadesi; [37,39]

$$\eta = \eta_{Carnot} \left[ \frac{\sqrt{1+ZT}-1}{\sqrt{1+ZT}+T_L/T_H} \right] \quad (4.37)$$

#### 4.5 İkinci Kanun Verimi

Birinci yasa verimi mühendislik sistemlerinde olabilecek en iyiyi ölçü olarak almaz ve bu durumda bazen yanlış değerlendirmelere yol açabilir. Birinci yasa verimi mühendislik sistemleri için tek başına bir başarı ölçüsü olmayacağı görülmektedir. Bu yetersizliği gidermek için ikinci yasa verimi tanımlanmıştır.

İkinci yasa verimi ise, gerçek ısıl verimin, aynı koşullarda olabilecek en yüksek (tersinir) ısıl verime oranıdır [36].

İkinci yasa verimini tanımlamadaki amaç tersinir hal değişimlerine hangi ölçüde yaklaştığını belirlemektir. Bu bakımdan ikinci yasa veriminin değeri en kötü durumda sıfır, en iyi durumda bir olacaktır. Buna göre ikinci yasa verimi aşağıdaki gibi tanımlanır;

$$\eta_{II} = \frac{\text{sistemden elde edilen ekserji}}{\text{sisteme sağlanan ekserji}} \quad (4.38)$$

$$\eta_{II} = 1 - \frac{\text{ekserji yok oluşu}}{\text{sisteme sağlanan ekserji}} \quad (4.39)$$

İkinci yasa verimi makineden elde edilen yararlı işin elde edilebilecek en çok işe (tersinir) oranı olarak tanımlanır.

$$\eta_{II} = \left[ \frac{W_{net}}{\left(1 - \frac{(T_D + 273)}{(T_{sıcak} + 273)}\right) Q_{sıcak}} \right] \quad (4.40)$$



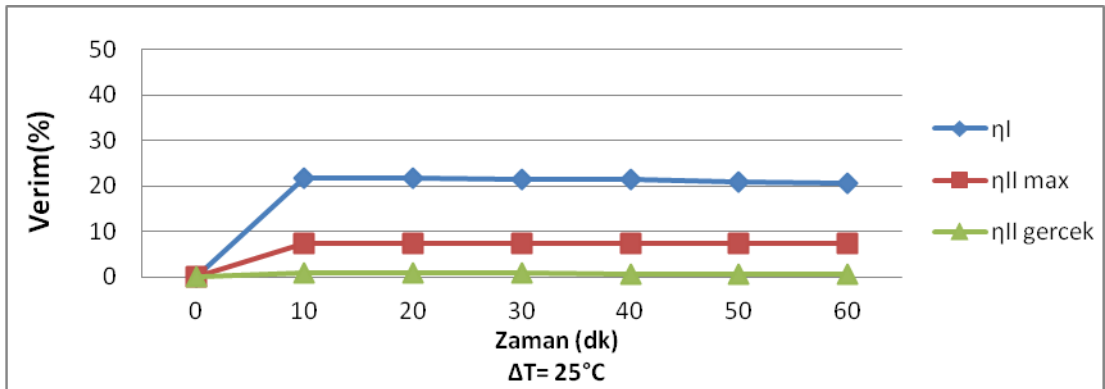
## 5. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRMESİ VE ÖNERİLER

Tez kapsamında oluşturulan, şematik gösterimi şekil 3.2’de verilen deney düzeneğinde Peltier A, Peltier B, Peltier C modüllerine  $\Delta T=25^{\circ}\text{C}$ ,  $\Delta T=30^{\circ}\text{C}$ ,  $\Delta T=40^{\circ}\text{C}$ ,  $\Delta T=50^{\circ}\text{C}$ ,  $\Delta T=60^{\circ}\text{C}$  sıcaklık farkları uygulanarak enerji ve ekserji metoduna göre sistemin performansı değerlendirilmiştir.

### 5.1 Peltier A’nın Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve Öneriler

Yapılan deneylerdeki gözlemlere göre; Peltier A’nın yüzeylerine uygulanan sıcak ve soğuk sıcaklık farkı  $25^{\circ}\text{C}$ ’de ilk 10 dakikada sabitlendiğinde sistemin enerji veriminin %21,34’e ulaştıktan sonra beklendiği gibi verim değerinde zamanla değişikliğin çok az olduğu gözlenmiştir. Depolar yalıtım malzemesi ile kaplanmış olmasına rağmen gerçekleşen ısı kaybı nedeniyle beklendiği üzere verimin zamanla bir miktar azaldığı tespit edilmiştir (Çizelge 5.1).

**Çizelge 5.1:** Peltier A’nın  $\Delta T=25^{\circ}\text{C}$  sabit sıcaklıkta enerji ve ekserji veriminin zamana göre değişimi.

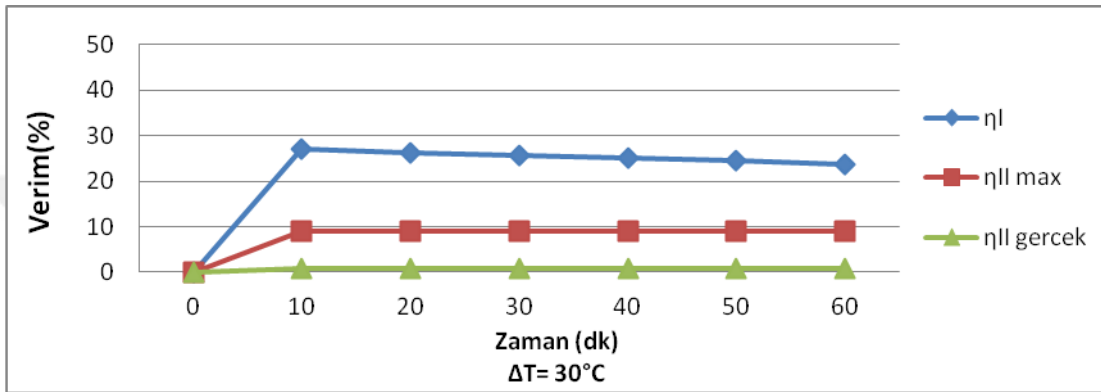


Sistemin ekserji verim değerine bakıldığında sistemin gerçek ekserji verim değerinin beklendiği gibi Carnot ekserji verim değerinin altında olduğu hesap edilmiştir. Sistem 10. dakikada %0,74 değerine ulaştıktan sonra verim değerinde zamanla bir değişim göstermemesine karşın tüm grafikler ele alındığında sistemin ekserji veriminin referans hal sıcaklığındaki artışa bağlı olarak sistemin ekserji veriminde azalma tespit edilmiştir. Bu durum sistemin çevre haliyle ilgili olduğundan sistemin ekserji veriminin azalması beklenen sonuçtur. Ayrıca sistemin maksimum ekserji

verim değeri denklem (4.36) ele alınarak hesap edilmiş olup. Maksimum ulaşacağı ekserji verim değerleri de grafikte sunulmuştur.

Sistemde sıcaklık farkı  $\Delta T=30^{\circ}\text{C}$  olduğunda ise çizelge 5.2’de verildiği üzere sistemden elde edilen verim değerleri  $\Delta T=25^{\circ}\text{C}$ ’ye göre yükselmiştir. Sistemin verimi 10.dakikada %27,00’a ulaştıktan sonra verim değerinde zamanla değişikliğin çok az olduğu gözlenmiştir.

**Çizelge 5.2:** Peltier A’nın  $\Delta T=30^{\circ}\text{C}$  sabit sıcaklıkta enerji ve ekserji veriminin zamana göre değişimi.

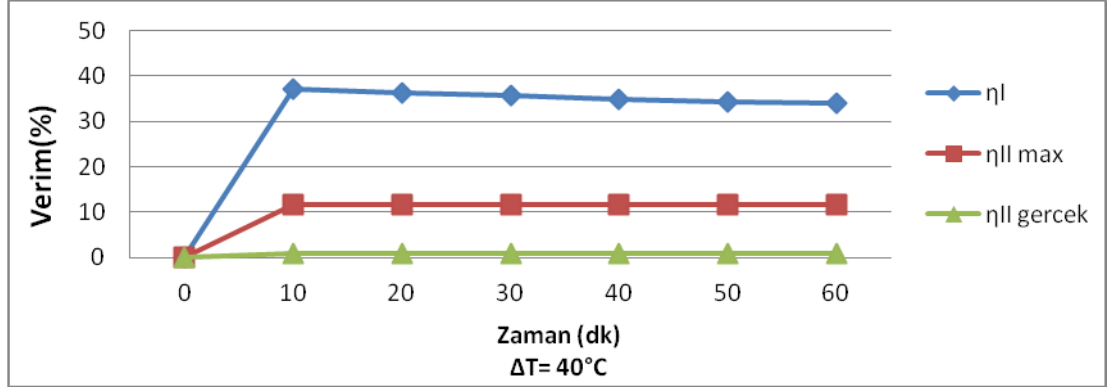


Sistemin ekserji verim değerine bakıldığında ise sistemin gerçek ekserji verim değerinin eşitlik 4.36 ya göre hesap edilen Carnot ekserji verim değerinin altında olduğu hesaplanmıştır. Sistem yine yaklaşık 10. dakikada %0,78 verim değerine ulaştıktan sonra zamanla bir değişim göstermemesine karşın tüm grafikler ele alındığında sistemin ekserji veriminin referans hal sıcaklığındaki artışa bağlı olarak sistemin ekserji veriminde azalma tespit edilmiştir. Sistemin  $\Delta T=30^{\circ}\text{C}$ ’de maksimum ulaşacağı ekserji verim değerleri de grafikte sunulmuştur.

Sıcaklık farkının  $30^{\circ}\text{C}$  olduğu sistemin verim değerlerinin (Şekil 5.2), sıcaklık farkının  $25^{\circ}\text{C}$  olduğu sistem değerlerinden (Çizelge 5.1) beklendiği gibi daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Deney düzeneğinde sıcaklık farkının  $\Delta T=40^{\circ}\text{C}$  ulaştığında 10.dakikaya gelindiğinde sistem enerji veriminin %37,13 değerine ulaştığı gözlemlenmiştir (Çizelge 5.3). Zamanla çok küçük de olsa verimde azalmalar meydana gelmiştir. Bu azalmaya sebebi yine depolardaki ısı kaybıdır.

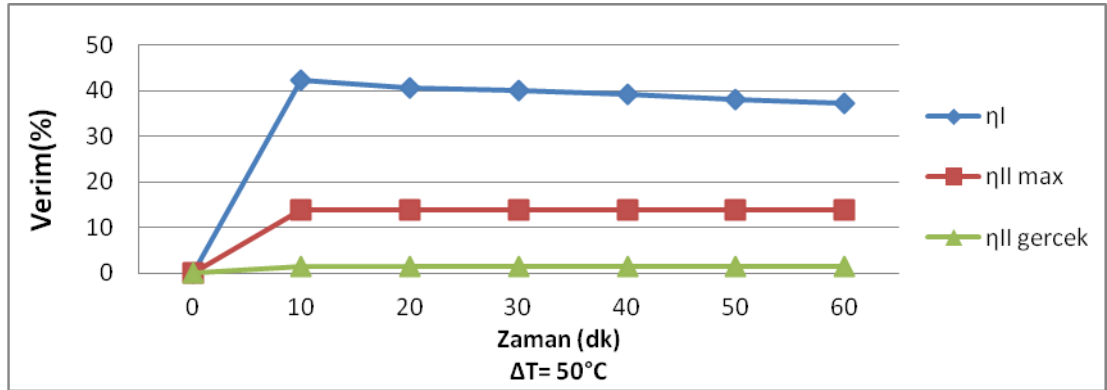
**Çizelge 5.3:** Peltier A'nın  $\Delta T=40^{\circ}\text{C}$  sabit sıcaklıkta enerji ve ekserji veriminin zamana göre değişimi.



Sıcaklık farkının  $\Delta T=40^{\circ}\text{C}$  olduğu sistemde verim değerleri grafikten de görüldüğü üzere,  $\Delta T=30^{\circ}\text{C}$  de elde edilen verim değerlerinden beklendiği gibi daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Deney düzeneğinde sıcaklık farkının  $\Delta T=50^{\circ}\text{C}$ 'ye çıktığında ise yine beklendiği üzere sistemde 10.dakikaya gelindiğinde enerji verimi %42,33 değerine ulaşarak küçük düşüşlerle sabit kaldığı gözlemlenmiştir. (Çizelge 5.4). Zamanla çok küçük de olsa verimde azalmaların meydana gelmesinin sebebi yine depolardaki ısı kaybıdır.

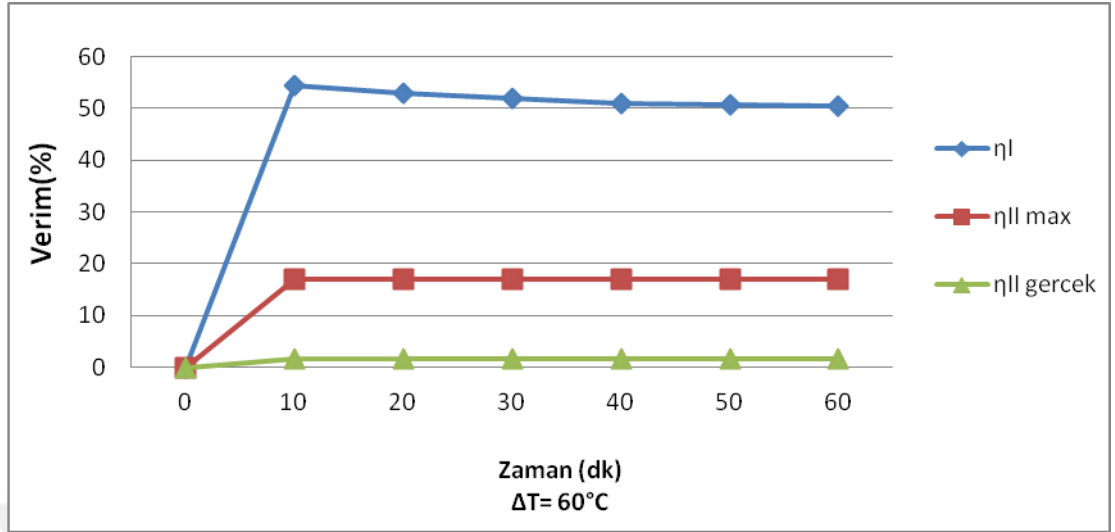
**Çizelge 5.4:** Peltier A'nın  $\Delta T=50^{\circ}\text{C}$  sabit sıcaklıkta enerji ve ekserji veriminin zamana göre değişimi.



Sistemin  $\Delta T=50^{\circ}\text{C}$ 'deki ekserji değeri;  $\Delta T=25^{\circ}\text{C}$  ,  $\Delta T=30^{\circ}\text{C}$ ,  $\Delta T=40^{\circ}\text{C}$  sıcaklık farklarına göre beklendiği gibi yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Sıcaklık farkı  $\Delta T=60^{\circ}\text{C}$  olduğu sistemde deneyin yine ilk 10 dakikasında enerji verimi % 54,44 değerine beklendiği üzere yükselmiştir (Çizelge 5.5).

**Çizelge 5.5:** Peltier A'nın  $\Delta T=60^{\circ}\text{C}$  sabit sıcaklıkta enerji ve ekserji veriminin zamana göre değişimi.

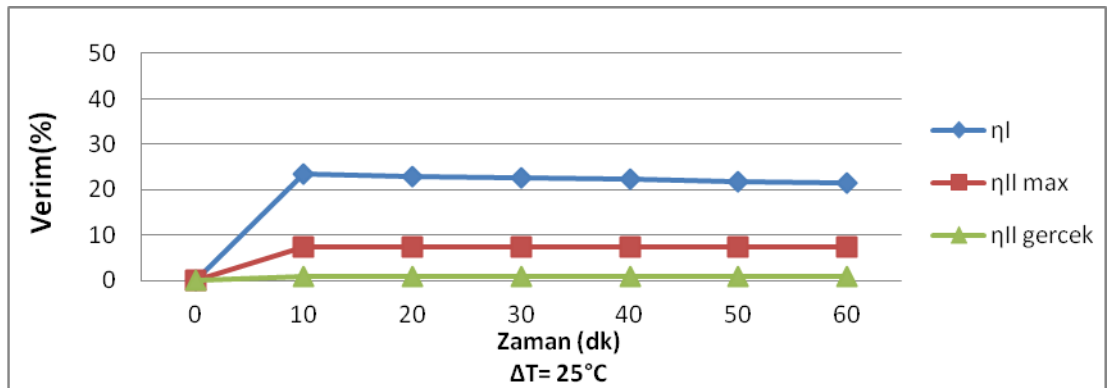


Sıcaklık farkı  $\Delta T=60^{\circ}\text{C}$  olduğu bu sistemde ise enerji ve ekserji değerlerinin önceki sıcaklık farklarına göre daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Sistemdeki tüm verim çeşitlerindeki artış beklendiği gibi sistemin sıcaklık farkının artmasına bağlı olduğunu ortaya koyduğu gözlemlenmiştir.

## 5.2 Peltier B'nin Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve Öneriler

Peltier B'nin deneyde 10. dakikanın sonunda  $\Delta T=25^{\circ}\text{C}$  sabit sıcaklığa ulaştığında enerji verim değeri %23,37'ye ulaşarak sabit kaldığı gözlemlenmiştir. Zamanla ise depolardaki ısı kaybından dolayı az miktarda düşüşler gözlemlenmiştir (Çizelge 5.6).

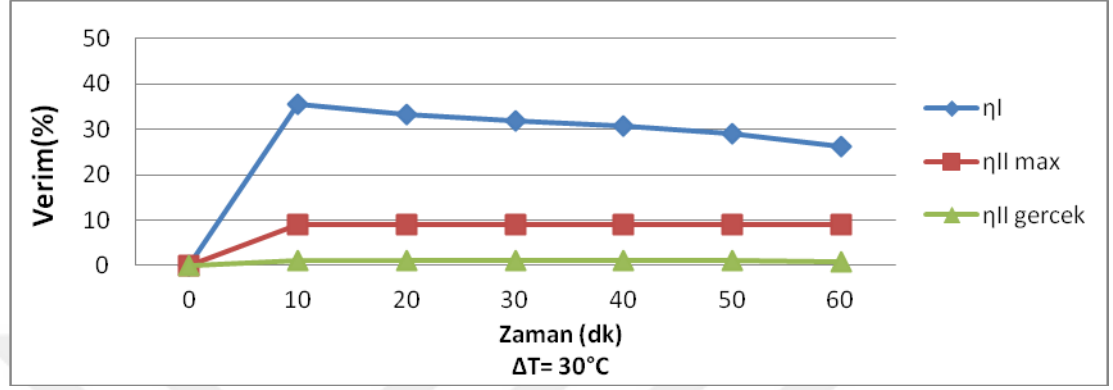
**Çizelge 5.6:** Peltier B'nin  $\Delta T=25^{\circ}\text{C}$  sabit sıcaklıkta enerji ve ekserji veriminin zamana göre değişimi.



Ekserji değerlerinin verildiği tabloda ise gerçek ve maksimum ekserji verim değerleri ile enerji verim değerlerine bakıldığında, Peltier A'nın aynı sıcaklık değerlerine göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Sistem 10. dakikanın sonunda  $\Delta T=30^{\circ}\text{C}$  sabit sıcaklığa ulaştığında ise enerji verim değeri %35,39'a ulaşarak sabit kaldığı gözlemlenmiştir. Zamanla ise depolardaki ısı kaybından dolayı az miktarda düşüşler gözlemlenmiştir (Çizelge 5.7).

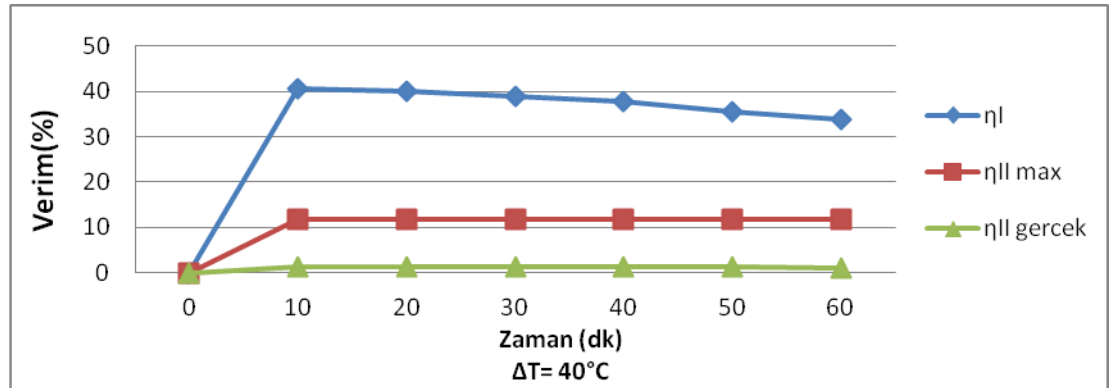
**Çizelge 5.7:** Peltier B'nin  $\Delta T=30^{\circ}\text{C}$  sabit sıcaklıkta enerji ve ekserji veriminin zamana göre değişimi.



Çizelge 5.7'ye bakıldığında ekserji verim değerlerinin gerçek ve maksimum değerleri ile enerji verim eğrileri görülmektedir.  $\Delta T=25^{\circ}\text{C}$  deki ve Peltier A'nın aynı sıcaklık değerlerine göre beklendiği üzere daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Sistem 10. dakikanın sonunda  $\Delta T=40^{\circ}\text{C}$  sabit sıcaklığa ulaştığında ise enerji verim değeri %40,70'e ulaşarak sabit kaldığı gözlemlenmiştir. Zamanla ise depolardaki ısı kaybından dolayı az miktarda düşüşler gözlemlenmiştir (Çizelge 5.8).

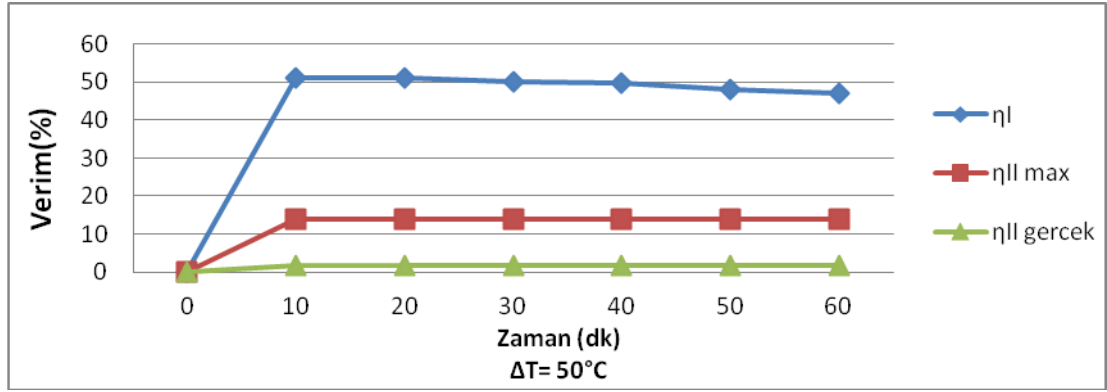
**Çizelge 5.8:** Peltier B'nin  $\Delta T=40^{\circ}\text{C}$  sabit sıcaklıkta enerji ve ekserji veriminin zamana göre değişimi.



Çizelge 5.8'e bakıldığında ekserji verim değerlerinin gerçek ve maksimum değerleri ile enerji verim eğrileri görülmektedir.  $\Delta T=30^{\circ}\text{C}$  deki ve Peltier A'nın aynı sıcaklık değerlerine göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Sistem 10. dakikanın sonunda  $\Delta T=50^{\circ}\text{C}$  sabit sıcaklığa ulaştığında ise enerji verim değeri %51,20'e ulaşarak sabit kaldığı gözlemlenmiştir. Zamanla ise depolardaki ısı kaybından dolayı az miktarda düşüşler gözlemlenmiştir (Çizelge 5.9).

**Çizelge 5.9:** Peltier B'nin  $\Delta T=50^{\circ}\text{C}$  sabit sıcaklıkta enerji ve ekserji veriminin zamana göre değişimi.

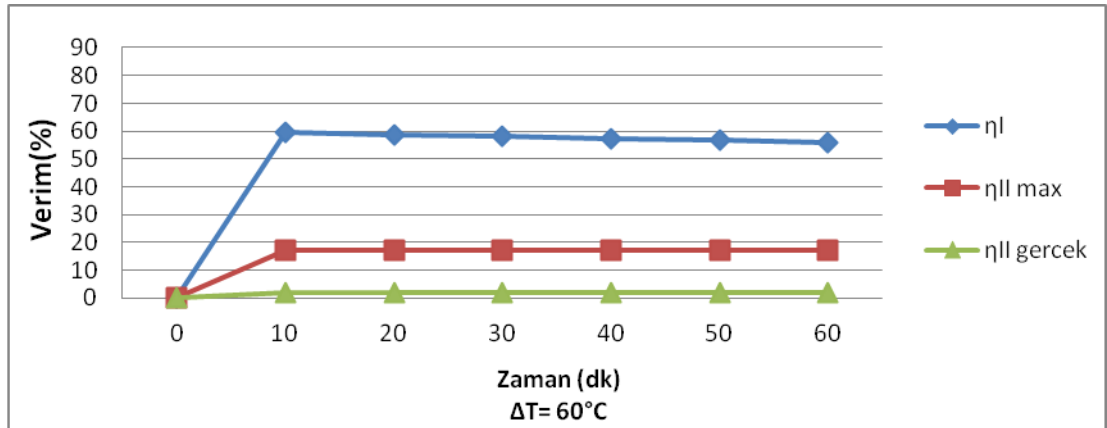


Çizelge 5.9'a bakıldığında ekserji verim değerlerinin gerçek ve maksimum değerleri ile enerji verim eğrileri görülmektedir.  $\Delta T=40^{\circ}\text{C}$  deki ve Peltier A'nın aynı sıcaklık değerlerine göre beklendiği üzere daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Sistem 10. dakikanın sonunda  $\Delta T=60^{\circ}\text{C}$  sabit sıcaklığa ulaştığında ise enerji verim değeri %59,40'a ulaşarak sabit kaldığı gözlemlenmiştir. Zamanla ise depolardaki ısı kaybından dolayı az miktarda düşüşler gözlemlenmiştir (Çizelge 5.10).

Çizelge 5.10'a bakıldığında ekserji verim değerlerinin gerçek ve maksimum değerleri ile enerji verim eğrileri görülmektedir.  $\Delta T=50^{\circ}\text{C}$  deki ve Peltier A'nın aynı sıcaklık değerlerine göre beklendiği üzere daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

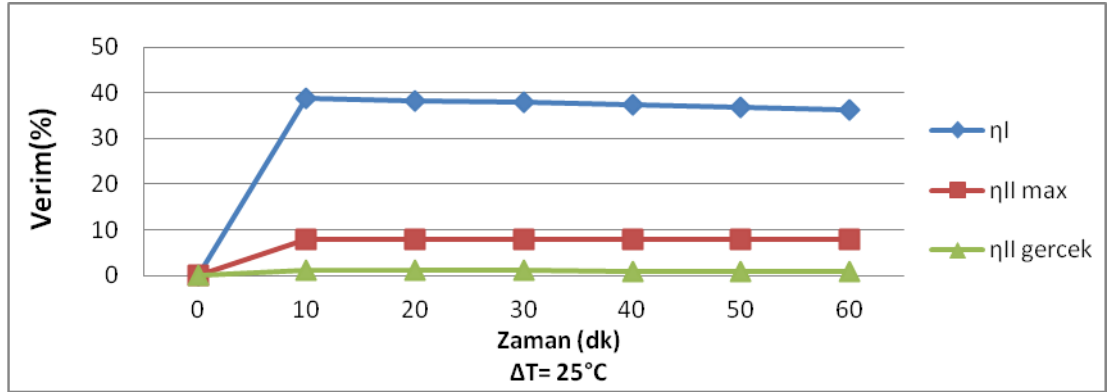
**Çizelge 5.10:** Peltier B'nin  $\Delta T=60^{\circ}\text{C}$  sabit sıcaklıkta enerji ve ekserji veriminin zamana göre değişimi.



### 5.3 Peltier C'nin Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve Öneriler

Peltier C'nin deneyde 10. dakikanın sonunda  $\Delta T=25^{\circ}\text{C}$  sabit sıcaklığa ulaştığında enerji verim değeri %38,69'a ulaşarak sabit kaldığı gözlemlenmiştir. Zamanla ise depolardaki ısı kaybından dolayı az miktarda düşüşler gözlemlenmiştir (Çizelge 5.11).

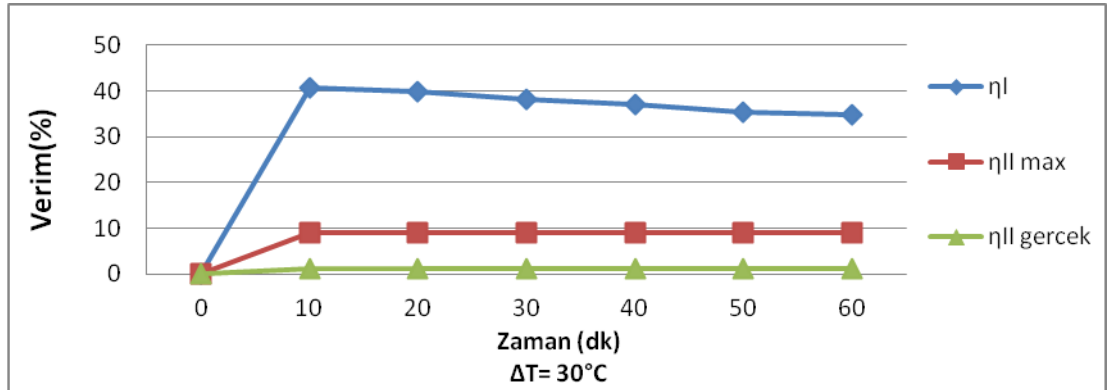
**Çizelge 5.11:** Peltier C'nin  $\Delta T=25^{\circ}\text{C}$  sabit sıcaklıkta enerji ve ekserji veriminin zamana göre değişimi.



Çizelge 5.11'e bakıldığında ekserji verim değerlerinin gerçek ve maksimum değerleri ile enerji verim eğrileri görülmektedir.  $\Delta T=25^{\circ}\text{C}$  deki Peltier A'nın ve Peltier B'nin aynı sıcaklıklardaki enerji ve ekserji değerlerine göre beklendiği üzere daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Peltier C'nin deneyde 10. dakikanın sonunda  $\Delta T=30^{\circ}\text{C}$  sabit sıcaklığa ulaştığında enerji verim değeri %40,77'ye ulaşarak sabit kaldığı gözlemlenmiştir. Zamanla ise depolardaki ısı kaybından dolayı az miktarda düşüşler gözlemlenmiştir (Çizelge 5.12).

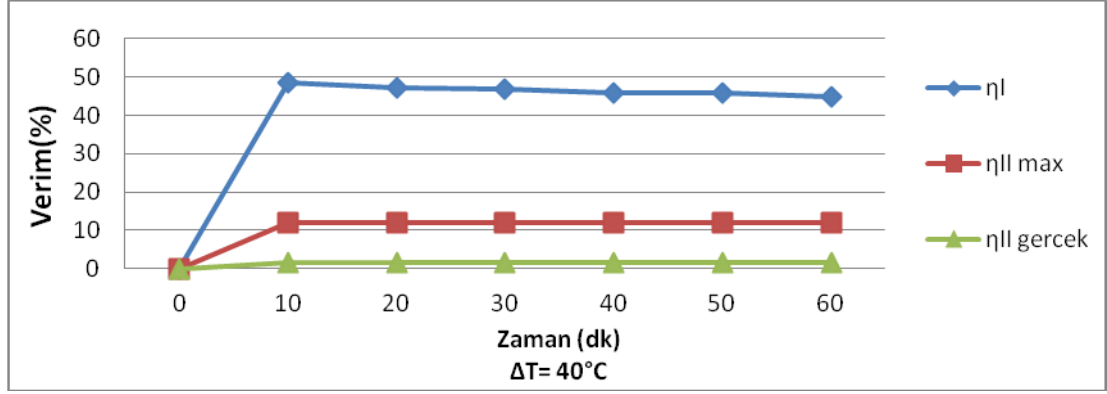
**Çizelge 5.12:** Peltier C'nin  $\Delta T=30^{\circ}\text{C}$  sabit sıcaklıkta enerji ve ekserji veriminin zamana göre değişimi.



Çizelge 5.12'ye bakıldığında ekserji verim değerlerinin gerçek ve maksimum değerleri ile enerji verim eğrileri görülmektedir.  $\Delta T=25^{\circ}\text{C}$  deki enerji ve ekserji değerlerine göre ve ayrıca Peltier A'nın ve Peltier B'nin aynı sıcaklıklardaki enerji ve ekserji değerlerine göre beklendiği üzere daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Deneyde 10. dakikanın sonunda  $\Delta T=40^{\circ}\text{C}$  sabit sıcaklığa ulaştığında enerji verim değeri %48,72'ye ulaşarak sabit kaldığı gözlemlenmiştir. Zamanla ise depolardaki ısı kaybından dolayı az miktarda düşüşler gözlemlenmiştir (Çizelge 5.13).

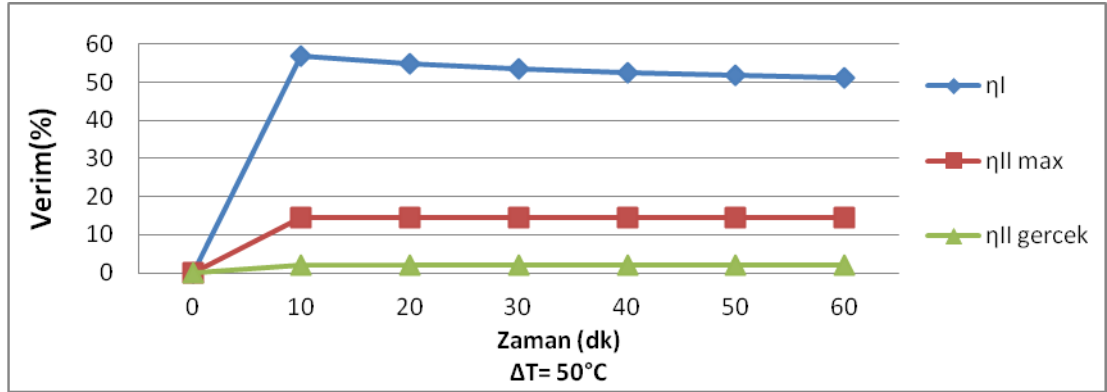
**Çizelge 5.13:** Peltier C'nin  $\Delta T=40^{\circ}\text{C}$  sabit sıcaklıkta enerji ve ekserji veriminin zamana göre değişimi.



Çizelge 5.13'de ele alınan sistemin ekserji verim değerlerinin gerçek ve maksimum değerleri ile enerji verim değerleri verilmiştir.  $\Delta T=30^{\circ}\text{C}$  deki enerji ve ekserji verim değerlerine göre ve ayrıca Peltier A'nın ve Peltier B'nin aynı sıcaklıklardaki enerji ve ekserji verim değerlerine göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Deneyde 10. dakikanın sonunda  $\Delta T=50^{\circ}\text{C}$  sabit sıcaklığa ulaştığında enerji verim değeri %56,92'ye ulaşarak sabit kaldığı gözlemlenmiştir. Zamanla ise depolardaki ısı kaybından dolayı az miktarda düşüşler gözlemlenmiştir (Çizelge 5.14).

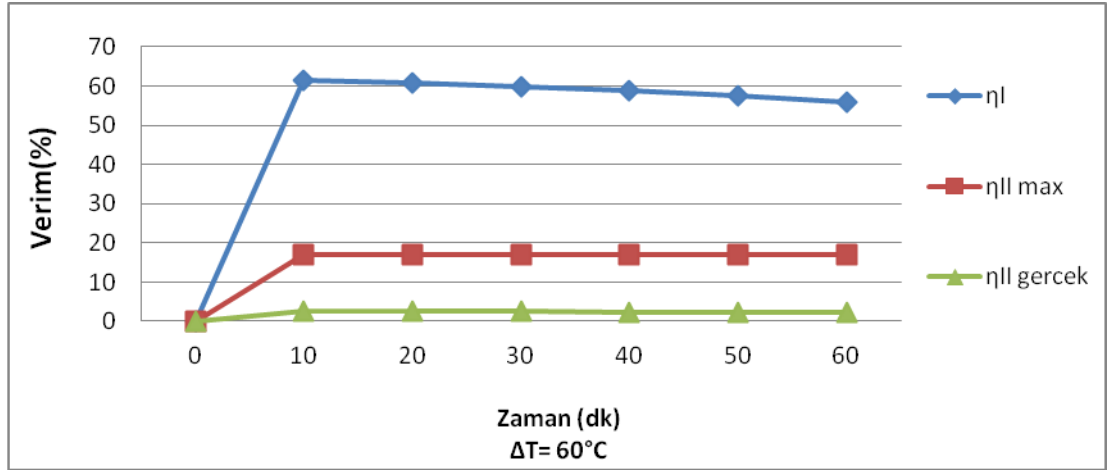
**Çizelge 5.14:** Peltier C'nin  $\Delta T=50^{\circ}\text{C}$  sabit sıcaklıkta enerji ve ekserji veriminin zamana göre değişimi.



Çizelge 5.14'e bakıldığında Peltier C'nin ekserji verim değerlerinin gerçek ve maksimum değerleri ile enerji verim eğrileri görülmektedir.  $\Delta T=40^{\circ}\text{C}$  deki enerji ve ekserji verim değerlerinin diğer Peltier A ile Peltier B'nin aynı sıcaklıklardaki enerji ve ekserji verim değerlerinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Deneyde 10. dakikanın sonunda  $\Delta T=60^{\circ}\text{C}$  sabit sıcaklığa ulaştığında enerji verim değeri %61,51'e ulaşarak sabit kaldığı gözlemlenmiştir. Zamanla ise depolardaki ısı kaybından dolayı az miktarda düşüşler gözlemlenmiştir (Çizelge 5.15).

**Çizelge 5.15:** Peltier C'nin  $\Delta T=60^{\circ}\text{C}$  sabit sıcaklıkta enerji ve ekserji veriminin zamana göre değişimi.

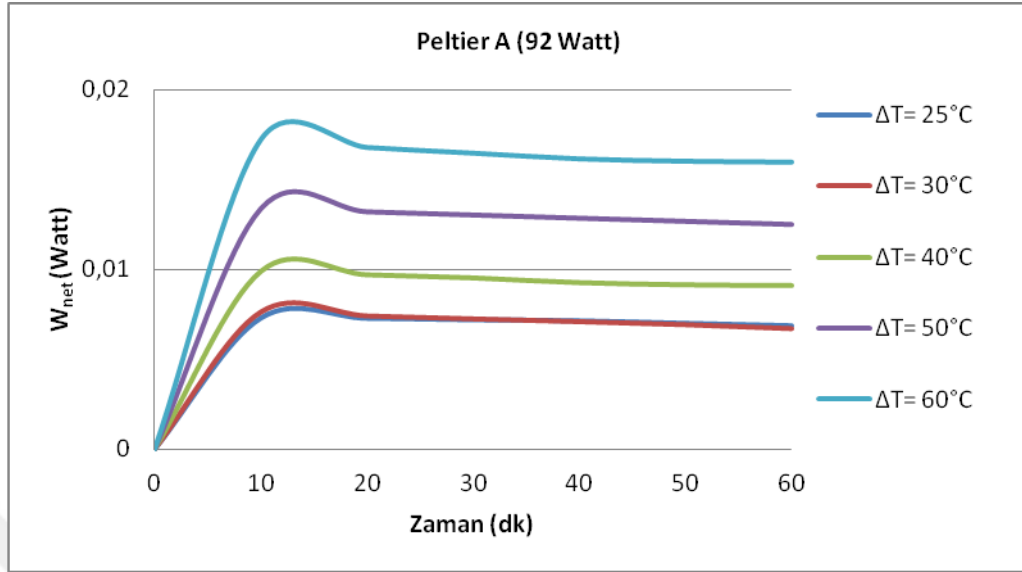


Çizelge 5.15'e bakıldığında Peltier C modülünün ekserji verim değerlerinin gerçek ve maksimum değerleri ile enerji verim eğrileri görülmektedir.  $\Delta T=50^{\circ}\text{C}$  deki enerji ve ekserji verim değerleri diğer Peltier A ile Peltier B modülleriyle aynı sıcaklıklardaki enerji ve ekserji verim değerlerinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Tüm bu veriler incelendiğinde sıcaklık farkı ( $\Delta T$ ) yükseldikçe her bir Peltier'in grafikleri göz önüne alındığında da verim değerlerinin beklendiği üzere yükseldiği gözlemlenmiştir. Peltier A, Peltier B ve Peltier C Peltierleri arasındaki ilişki incelenmiştir. Aynı sıcaklık farkları ( $\Delta T$ 'ler) için en yüksek enerji ve ekserji verimlerinin Peltier C Peltier modülünde görülmüştür. Ayrıca en küçük enerji ve ekserji verimlerinin ise Peltier A modülünde olduğu gözlemlenmiştir.

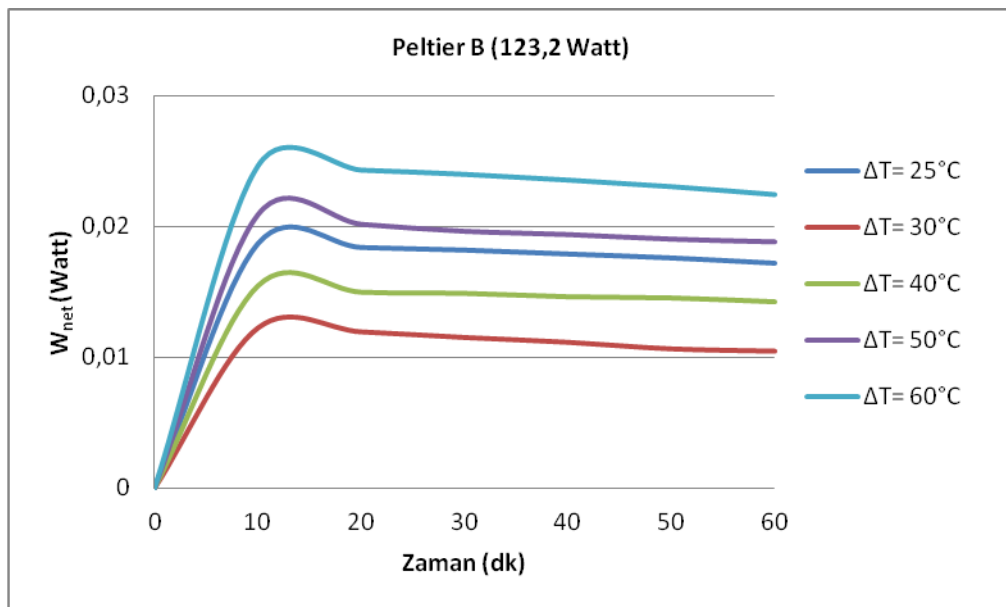
Çizelge 5.16 da Peltier A'nın farklı  $\Delta T$  sabit sıcaklık farklarına göre  $W_{\text{net}}$  değerinin zamana göre değişimi gösterilmektedir. Buna göre 10. dakikanın sonucunda  $\Delta T$  sıcaklık farkında  $W_{\text{net}}$  değerinde yükselme gözlemlenmiş ve belirli bir değere ulaştıktan sonra ise beklenildiği gibi küçük azalmalarla sabit kaldığı gözlemlenmiştir.

**Çizelge 5.16:** Peltier A'nın  $\Delta T$  sabit sıcaklıklara göre  $W_{net}$  değerinin zamana göre değişimi.



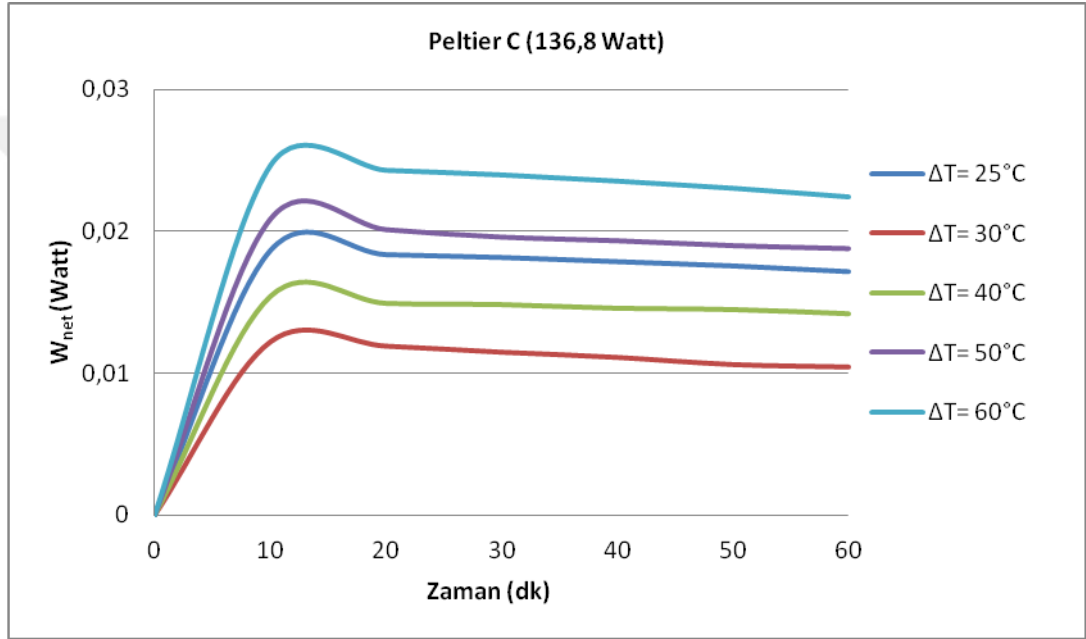
Çizelge 5.17 de Peltier B'nin farklı  $\Delta T$  sabit sıcaklık farklarına göre  $W_{net}$  değerinin zamana göre değişimi gösterilmektedir. Buna göre 10. dakikanın sonucunda  $\Delta T$  sıcaklık farkında  $W_{net}$  değerinde yükselme gözlenmiş ve belirli bir değere ulaşıktan sonra ise beklenildiği gibi küçük azalmalarla sabit kaldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca Peltier A modülüne göre aynı sıcaklık farklarında ve aynı dakikalardaki Peltier B modülünde elde edilen  $W_{net}$  değerlerinin beklenildiği gibi daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

**Çizelge 5.17:** Peltier B'nin  $\Delta T$  sabit sıcaklıklara göre  $W_{net}$  değerinin zamana göre değişimi.



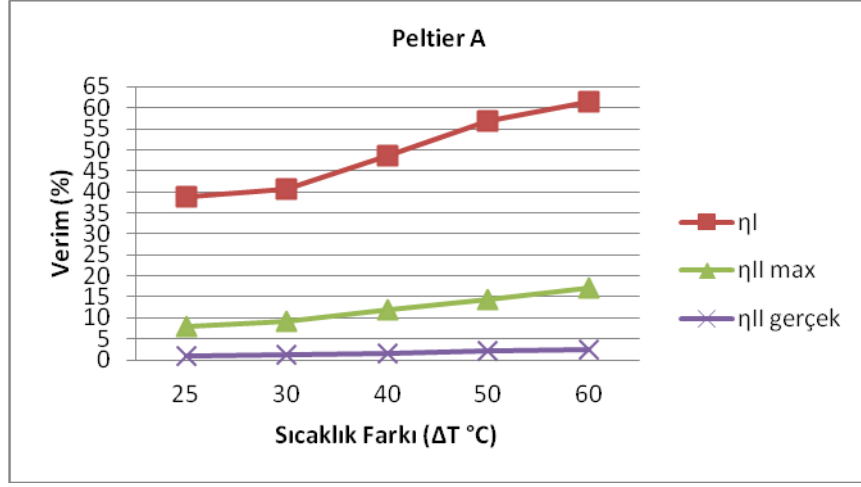
Çizelge 5.18 de Peltier C'nin farklı  $\Delta T$  sabit sıcaklık farklarına göre  $W_{net}$  değerinin zamana göre değişimi gösterilmektedir. Buna göre 10. dakikanın sonucunda  $\Delta T$  sıcaklık farkında  $W_{net}$  değerinde yükselme gözlenmiş ve belirli bir değere ulaştıktan sonra ise beklenildiği gibi küçük azalmalarla sabit kaldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca Peltier A ve Peltier B modüllerine göre aynı sıcaklık farklarında ve aynı dakikalardaki Peltier C modülünde elde edilen  $W_{net}$  değerlerinin beklendiği gibi daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

**Çizelge 5.18:** Peltier C'nin  $\Delta T$  sabit sıcaklıklara göre  $W_{net}$  değerinin zamana göre değişimi.



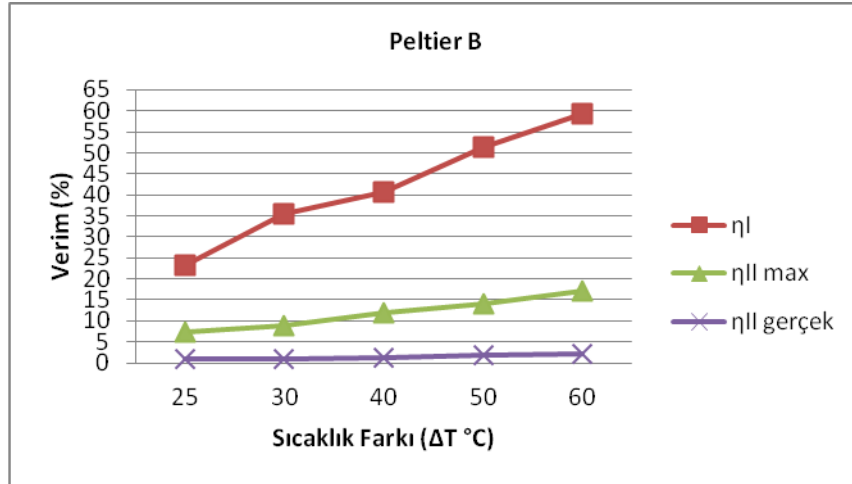
Deneyde Peltier A'nın ilk 10 dakikalarındaki verim (%) değerinin  $\Delta T$  sabit sıcaklık farklarına göre değişimi verilmektedir (Çizelge 5.19). Buna göre ilk 10 dakikanın sonunda  $\Delta T$  sabit sıcaklık farkının artmasına karşılık enerji ve ekserji değerlerinin de beklendiği gibi artış gösterdiği gözlemlenmiştir.

**Çizelge 5.19:** Peltier A'nın ilk 10 dakikalarındaki verim (%) değerinin  $\Delta T$  sabit sıcaklık farklarına göre değişimi.



Sistemde Peltier B'nin ilk 10 dakikalarındaki verim (%) değerinin  $\Delta T$  sabit sıcaklık farklarına göre değişimi ise çizelge 5.20'de verilmektedir. Buna göre ilk 10 dakikanın sonunda  $\Delta T$  sabit sıcaklık farkının artmasına karşılık enerji ve ekserji değerlerinin de artış gösterdiği gözlemlenmiştir. Ayrıca her bir sıcaklık farkındaki verim değerinin Peltier A modülündeki değerlere göre (Çizelge 5.19) beklendiği üzere daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

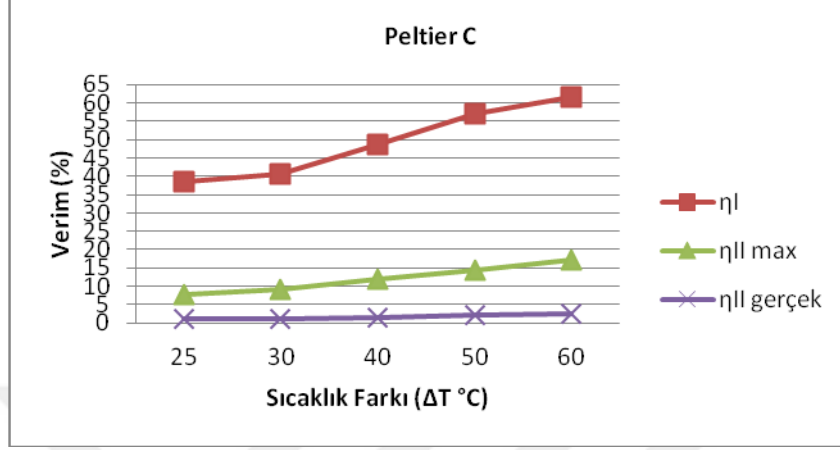
**Çizelge 5.20:** Peltier B'nin ilk 10 dakikalarındaki verim (%) değerinin  $\Delta T$  sabit sıcaklık farklarına göre değişimi.



Sistemde Peltier C'nin ilk 10 dakikalarındaki verim (%) değerinin  $\Delta T$  sabit sıcaklık farklarına göre değişimi ise çizelge 5.21'de verilmektedir. Buna göre ilk 10 dakikanın sonunda  $\Delta T$  sabit sıcaklık farkının artmasına karşılık enerji ve ekserji değerlerinin de artış gösterdiği gözlemlenmiştir. Ayrıca her bir sıcaklık farkındaki

verim değerinin Peltier A ve Peltier B modüllerindeki değerlere göre (Çizelge 5.19 ve Çizelge 5.20) beklendiği üzere daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

**Çizelge 5.21:** Peltier C'nin ilk 10 dakikalarındaki verim (%) değerinin  $\Delta T$  sabit sıcaklık farklarına göre değişimi.



Tüm grafikler incelendiğinde sistemin performans değerlendirilmesi yapılarak farklı Peltierlerle ve farklı sıcaklık farklarında ( $\Delta T$ 'lerde) ekserji verim değerine bakıldığında sistemin gerçek ekserji verim değerinin beklendiği gibi Carnot ekserji verim değerinin altında olduğu hesap edilmiştir. Sistemin her bir Peltier ve sıcaklık farklarındaki 10. dakikalarında verimlerinin belirli (%) değerlere ulaştığı gözlemlenmiştir. Sonrasında verim değerinde zamanla ciddi bir değişim göstermemesine karşın tüm grafikler ele alındığında sistemlerin ekserji verimlerinin referans hal sıcaklığındaki artışa bağlı olarak sistemlerin ekserji verimlerinde azalma tespit edilmiştir. Bu durum farklı Peltierlerle ve farklı sıcaklık farklarında ( $\Delta T$ 'lerde) çevre haliyle ilgili olduğundan sistemin ekserji veriminin azalması beklenen sonuçtur. Ayrıca farklı Peltierlerle ve farklı sıcaklık farklarında ( $\Delta T$ 'lerde) maksimum ekserji verim değerleri denklem (4.36) ele alınarak hesap edilmiştir. Maksimum ulaşacakları ekserji verim değerleride grafiklerle sunulmuştur.

Sistemin farklı Peltierler ve farklı sıcaklık farklarında performans değerlendirilmesi yapılmıştır. Sistem performansının artırılması ve enerji verimlerinin yükselmesini, ekserji değerlerinin de azalmasını sağlamak için alınması önerilen önlemlerin başında depolardaki ısı kayıplarının minimize edilerek depo yalıtımının daha etkin yapılması öngörülmüştür. Ayrıca sistemin enerji verimlerini etkileyen giriş ve çıkış sıcaklıkları arasındaki farkların optimum seviyelere getirilmesi gerekmektedir.

## KAYNAKLAR DİZİNİ

- [1] Balta, M.T., 2010. Jeotermal esaslı hidrojen üretim sistemlerinin ekserji ve eksergonomik analizi, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [2] Yılmaz, İ., İlbaş, M. ve Su, Ş., 2003. Türkiye rüzgar enerjisi potansiyelinin değerlendirilmesi, Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, TMMOB, 3-4 Ekim 2003, Kayseri, 399-401s.
- [3] Büyükmihci, M.K., (2003). Yenilenebilir enerji kaynakları Avrupa Birliği ülkelerindeki uygulamalar ve Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından hazırlanmakta olan kanun tasarısı taslağı çerçevesinde planlanan önlemler, Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, TMMOB, 3-4 Ekim Kayseri, Sayfa 15-22.
- [4] Aydoğan, E., 2004. 1980 den Günümüze Türkiye’de enflasyon serüveni, Yönetim ve Ekonomi, Cilt:11 Sayı:1, Celal Bayar Üniversitesi, BF, İktisat Bölümü, MANİSA, <http://www2.bayar.edu.tr/yonetimekonomi/dergi/pdf/C11S12004/ea.pdf>, (Erişim Tarihi: 08.05.2015)
- [5] Dünya Petrol Krizi 1973-74 Yılları, [http://www.acikders.org.tr/pluginfile.php/4163/mod\\_resource/content/11/lecturenotes/2.pdf](http://www.acikders.org.tr/pluginfile.php/4163/mod_resource/content/11/lecturenotes/2.pdf), (Erişim Tarihi: 08.05.2015)
- [6] Ceylan, T., Çevre ve Enerji, Muğla Üniversitesi, [http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya\\_ekler/5df35de87aa441b\\_ek.pdf?dergi=177](http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/5df35de87aa441b_ek.pdf?dergi=177), (Erişim Tarihi:08.05.2015)
- [7] World Bank, World Development Report 1992, s. 204.
- [8] Altay, H., Nugay, U., 2013. Uşak Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 6/3, [http://sosyaldergi.usak.edu.tr/Makaleler/65801332\\_MAKALE\\_1.pdf](http://sosyaldergi.usak.edu.tr/Makaleler/65801332_MAKALE_1.pdf), (Erişim Tarihi: 08.05.2015)
- [9] BP Statistical World Review of Energy,2010. [http://russland.ahk.de/fileadmin/ahk\\_russland/Dokumente/Veranstaltungen/2011/Vorstellung\\_BP\\_Energiejahresbericht/Statistical\\_review\\_of\\_world\\_energy\\_full\\_report\\_2011.pdf](http://russland.ahk.de/fileadmin/ahk_russland/Dokumente/Veranstaltungen/2011/Vorstellung_BP_Energiejahresbericht/Statistical_review_of_world_energy_full_report_2011.pdf), (Erişim Tarihi: 08.05.2015)
- [10] Enerji Tabii ve Kaynaklar Bakanlığı, 2012. 2011 Yılı Enerji Dengesi, [http://www.enerji.gov.tr/EKLENTI\\_VIEW/index.php](http://www.enerji.gov.tr/EKLENTI_VIEW/index.php), (Erişim tarihi: 19.12.2012)

- [11] BP Statistical Review of World Energy, 2012. British Petroleum (BP), London, UK.
- [12] Koç, E., Şenel, M.C., 2013. On Dokuz Mayıs Üniversitesi, Dünyada ve Türkiye'de Enerji Durumu - Genel Değerlendirme, Makale, Cilt 54, Sayı 639, S. 32-44. [http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya\\_ekler/a8c16d2696b35f9\\_ek.pdf?dergi=1345](http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/a8c16d2696b35f9_ek.pdf?dergi=1345), (Erişim Tarihi: 08.05.2015)
- [13] BOTAŞ, 2013. Sektör Raporu, <http://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2F1%2FDocuments%2FSekt%C3%B6r+Raporu%2FBOTAS+2013+Sektor+Raporu.pdf>, (Erişim Tarihi: 08.05.2015)
- [14] ETKB Mavi Kitap 2012, URL-1 [http://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2F1%2FDocuments%2FMavi+Kitap%2FMavi\\_Kitap\\_2012.pdf](http://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2F1%2FDocuments%2FMavi+Kitap%2FMavi_Kitap_2012.pdf), (Erişim Tarihi: 08.05.2015)
- [15] Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu, 1991. Ortak Geleceğimiz, 3. Baskı, TÇSV Yayını, Ankara, Sayfa 220-221.
- [16] Berkes, N., Kışlalıoğlu, M., 1990. Ekoloji ve Çevre Bilimleri, Remzi Kitabevi, İstanbul, Sayfa 144.
- [17] Kothari, R., Buddhi, D., ve Sawhney, R.L., 2008. Comparison of Environmental and Economic Aspects of Various Hydrogen Production Methods, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Cilt 12, Sayı 553, Sayfa 563.
- [18] Orman Genel Müdürlüğü, İklim Değişikliği ve Biyoenerji, Kyoto protokolü, [http://web.ogm.gov.tr/diger/iklim/Dokumanlar/Kyoto\\_tr.doc](http://web.ogm.gov.tr/diger/iklim/Dokumanlar/Kyoto_tr.doc) (Erişim tarihi: 21.04.2010).
- [19] Global Conference On Global Warming (GCGW) 2008. Abstract Book, ISBN 978-605.
- [20] Dincer, I., 2007a. Exergetic and Sustainability Aspects of Green Energy Systems, Clean 35(4):31, S.322.
- [21] Günerhan, G.G., Kocar, G., ve Hepbasli, A., 2001. Geothermal Energy Utilization in Turkey, International Journal of Energy Research, 25:769, Sayfa 784.
- [22] Enerji Genel İşler Genel Müdürlüğü, Bülten (Ocak-Şubat 2015), Engin İlseven, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Kanunu (EEG 2014), Almanya Elektrik, Gaz, Telekom, Posta ve Demiryolları Şebeke Regülatörü, Almanya Ekonomi ve Teknoloji Bakanlığı,

[http://www.eigm.gov.tr/File/?path=ROOT%2F4%2FDocuments%2FB%3%BCIten%2FOcak-%C5%9Eubat+B%3%BCIteni\\_son.pdf](http://www.eigm.gov.tr/File/?path=ROOT%2F4%2FDocuments%2FB%3%BCIten%2FOcak-%C5%9Eubat+B%3%BCIteni_son.pdf), (Erişim Tarihi: 08.05.2015)

- [23] Kılıç, C., Tanyeri, B., Cihan, Ö. ve Temizer, İ., 2012. Termoelektrik teknolojisinin taşıt sistemleri üzerindeki etkileri, Batman Üniversitesi, Yaşam Bilimleri Dergisi, Cilt 1, Sayı 2.
- [24] Derun, E.M., 2005.  $Sb_2Te_3$  ve  $Bi_2Te_3$  içerikli bileşenlerin termoelektrik, yapısal ve mikroyapısal özelliklerinin incelenmesi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [25] Taşpınar, Y.S., 2012. Organ taşıma amaçlı termoelektrik soğutma sistem tasarımı ve uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [26] Çakır, H., 2006. Güneş piliyle elde edilen elektrik enerjisinin termoelektrik soğutmada kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- [27] Uçar, R., Bardakçı, B., 2005. Termoelektrik soğutma, Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Makine Eğitimi Bölümü, Tesisat Anabilim dalı, Zonguldak.
- [28] Dikmen, E., 2003. Termoelektrik soğutucuların çalışma kriterlerine etki eden faktörlerin ve endüstrideki kullanım alanların tespiti, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, Sayfa 1,43.
- [29] Kırmacı, V., 2002. Termoelektrik soğutma etkisinin soğutmada kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [30] Maneewan, S., Khedari, J., Zeghamati, B. ve Hirunlabh, J., 2003. Investigation on generated power of thermoelectric roof solar collector, Renewable Energy, 29: 743-752.
- [31] Pollock, D.D., 1985. Thermoelectricity: Theory, Thermometry, Tool, ASTM Special Technical Publication 852, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA.
- [32] Moffat, R., 1997. Notes on Using Thermocouples, Electronics Cooling, Vol. 3, No.1.

- [33] Erdal, M.O., 2013. Elektrosprin Yöntemiyle Termoelektrik Nano Yapılar Üretimi ve Karakterizasyonu, Doktora Tezi, Konya Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Konya.
- [34] Noah Precision LLC, 2013, *Guide to citing Internet sources*, Vancouver, <http://www.noahprecision.com/thermoelectric-overview.html> (Ziyaret Tarihi: 22.04. 2013).
- [35] URL-2, <https://tr.wikipedia.org/wiki/Termokupl> Termokupllar hakkında bilgilendirme (Erişim tarihi 18.08,2015).
- [36] Cengel, Y.A., Boles, M.A., 2008. Thermodynamics: An Engineering Approach, 6th edition, McGraw-Hill, NY.
- [37] Basel, I.I., Wael H.A., 2009. Thermoelectric Power Generation Using Waste Heat Energy as an Alternative Green Technology, Recent Patents on Electrical Engineering, 2: 27-39.
- [38] Rowe, D.M., 2006. Thermoelectric waste heat recovery as a renewable energy source. Int J Innov Energy Syst Power,1: 13-23.
- [39] Min, G., Rowe, D.M., 2004. Kontostavlakis K. Thermoelectric figure-of-merit under large temperature differences. J Phys D: Appl Phys, 37: 1301-1304.
- [40] Riffat, S.B., Ma, X., 2003. Thermoelectrics: A review of present and potential applications. Appl Therm Eng, 23: 913-935.
- [41] Ömer, S.A., Infield, D.G., 2000. Design and thermal analysis of two stage solar concentrator for combined heat and thermoelectric power generation. Energy Conversion & Management, 41: 737-756.
- [42] Yadav, A., Pipe, K.P. ve Shtein, M., 2008. Fiber-based flexible thermoelectric power generator. J Power Sources, 175: 909-913.
- [43] Jinushi, T., Okahara, M., Ishijima, Z., Shikata, H. ve Kambe, M., 2007. Development of the high performance thermoelectric modules for high temperature heat sources. Mater Sci Forum, 534-536: 1521-1524.
- [44] Shu, G., Zhao, J., Tian, H., Liang, X. ve Wei, H., 2012. Parametric and exergetic analysis of waste heat recovery system based on thermoelectric generator and organic rankine cycle utilizing R123, Energy, 45: 806-816.
- [45] Angrist, W.S., Direct energy conversion. Allyn and Bacon, Inc; Longman, 1976.

- [46] Phillips, S.S., 2009. Characterizing the Thermal Efficiency of Thermoelectric Modules, Massachusetts Institute of Technology.
- [47] Kotas, T.J., 1995. The Exergy Method of Thermal Plant Analysis. Reprint Edition, Krieger Publishing Company, Malabar.



## EKLER

	<u>Sayfa</u>
<b>Ek A1:</b> Peltier A (92 Watt) deney verileri. ....	57
<b>Ek A1'in Devamı:</b> Peltier A (92 Watt) deney verileri. ....	58
<b>Ek A1'in Devamı:</b> Peltier A (92 Watt) deney verileri. ....	59
<b>Ek A2:</b> Peltier B (123,2 Watt) deney verileri. ....	60
<b>Ek A2'nin Devamı:</b> Peltier B (123,2 Watt) deney verileri. ....	61
<b>Ek A2'nin Devamı:</b> Peltier B (123,2 Watt) deney verileri. ....	62
<b>Ek A3:</b> Peltier C (136,8 Watt) deney verileri. ....	63
<b>Ek A3'ün Devamı:</b> Peltier C (136,8 Watt) deney verileri. ....	64
<b>Ek A3'ün Devamı:</b> Peltier C (136,8 Watt) deney verileri. ....	65

**Ek A1 : Peltier A (92 Watt) deney verileri.**

Sıcaklık:	30°C için		Peltier A (92 Watt)								Deney Tarihi: 03/01/2016			
Adım / Süre (dk)	$\dot{m}_1$ (Sıcak Su Hattı Debisi) (kg/sn)	$\dot{m}_2$ (Soğuk Su Hattı Debisi) (kg/sn)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	V (Volt)	A (Amper)	$W_{net}$ (Watt)	$Q_{sıcak}$ (Watt)	$Q_{soğuk}$ (Watt)
10	0,0167	0,0167	29,0	27,9	8,9	9,8	31,3	5,9	21,6	0,473	0,0154	0,0073	0,0183	0,0150
10	0,0167	0,0167	28,8	27,7	8,7	9,6	31,1	5,9	21,6	0,475	0,0153	0,0073	0,0183	0,0150
10	0,0167	0,0167	28,8	27,7	8,6	9,5	31,0	5,9	21,6	0,482	0,0149	0,0072	0,0183	0,0150
10	0,0167	0,0167	28,8	27,7	8,5	9,4	30,9	5,9	21,6	0,488	0,0146	0,0071	0,0183	0,0150
10	0,0167	0,0167	28,6	27,5	8,4	9,3	30,8	5,9	21,7	0,492	0,0142	0,0070	0,0183	0,0150
10	0,0167	0,0167	28,5	27,4	8,5	9,4	30,8	6,0	21,7	0,493	0,0139	0,0069	0,0183	0,0150

Sıcaklık:	40°C için		Peltier A (92 Watt)								Deney Tarihi: 04/01/2016			
Adım / Süre (dk)	$\dot{m}_1$ (Sıcak Su Hattı Debisi) (kg/sn)	$\dot{m}_2$ (Soğuk Su Hattı Debisi) (kg/sn)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	V (Volt)	A (Amper)	$W_{net}$ (Watt)	$Q_{sıcak}$ (Watt)	$Q_{soğuk}$ (Watt)
10	0,0167	0,0167	35,8	34,7	12,3	12,9	40,2	9,9	22,4	0,430	0,0178	0,0077	0,0183	0,0100
10	0,0167	0,0167	35,1	34,0	12,3	12,9	40,2	10,0	22,4	0,432	0,0172	0,0074	0,0183	0,0100
10	0,0167	0,0167	34,9	33,8	12,2	12,8	40,1	10,0	22,5	0,435	0,0167	0,0073	0,0183	0,0100
10	0,0167	0,0167	34,8	33,7	12,2	12,8	40,1	10,1	22,5	0,439	0,0162	0,0071	0,0183	0,0100
10	0,0167	0,0167	33,8	32,7	12,2	12,8	40,1	10,2	22,5	0,442	0,0157	0,0069	0,0183	0,0100
10	0,0167	0,0167	34,9	33,8	12,2	12,8	40,1	10,3	22,5	0,445	0,0151	0,0067	0,0183	0,0100

**Ek A1'in Devamı : Peltier A (92 Watt) deney verileri.**

Sıcaklık:	50°C için		Peltier A (92 Watt)								Deney Tarihi: 05/01/2016			
Adım / Süre (dk)	$\dot{m}_1$ (Sıcak Su Hattı Debisi) (kg/sn)	$\dot{m}_2$ (Soğuk Su Hattı Debisi) (kg/sn)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	V (Volt)	A (Amper)	$W_{net}$ (Watt)	$Q_{sıcak}$ (Watt)	$Q_{soğuk}$ (Watt)
10	0,0167	0,0167	43,2	42,4	12,9	13,7	50,7	10,4	23,9	0,406	0,0244	0,0099	0,0133	0,0133
10	0,0167	0,0167	44,1	43,3	12,5	13,3	50,3	10,1	23,9	0,408	0,0238	0,0097	0,0133	0,0133
10	0,0167	0,0167	43,9	43,1	12,5	13,3	50,2	10,1	24,1	0,411	0,0232	0,0095	0,0133	0,0133
10	0,0167	0,0167	43,1	42,3	12,4	13,2	50,1	10,1	24,1	0,412	0,0225	0,0093	0,0133	0,0133
10	0,0167	0,0167	43,3	42,5	12,3	13,1	50,0	10,2	24,1	0,414	0,0221	0,0091	0,0133	0,0133
10	0,0167	0,0167	43,2	42,4	12,3	13,1	50,0	10,3	24,1	0,416	0,0219	0,0091	0,0133	0,0133

Sıcaklık:	60°C için		Peltier A (92 Watt)								Deney Tarihi: 06/01/2016			
Adım / Süre (dk)	$\dot{m}_1$ (Sıcak Su Hattı Debisi) (kg/sn)	$\dot{m}_2$ (Soğuk Su Hattı Debisi) (kg/sn)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	V (Volt)	A (Amper)	$W_{net}$ (Watt)	$Q_{sıcak}$ (Watt)	$Q_{soğuk}$ (Watt)
10	0,0167	0,0167	52,5	51,1	13,8	14,3	60,3	9,6	24,7	0,398	0,0337	0,0134	0,0233	0,0083
10	0,0167	0,0167	52,4	51,0	13,7	14,3	60,2	9,8	24,7	0,395	0,0335	0,0132	0,0233	0,0092
10	0,0167	0,0167	52,2	50,8	13,6	14,2	60,1	9,9	24,7	0,392	0,0333	0,0131	0,0233	0,0093
10	0,0167	0,0167	52,1	50,7	13,6	14,2	60,1	10,0	24,7	0,389	0,0331	0,0129	0,0233	0,0095
10	0,0167	0,0167	52,1	50,7	13,5	14,1	60,0	10,0	24,8	0,386	0,0329	0,0127	0,0233	0,0100
10	0,0167	0,0167	52,0	50,6	13,4	14,0	59,8	10,0	24,8	0,383	0,0327	0,0125	0,0233	0,0102

**Ek A1'in Devamı : Peltier A (92 Watt) deney verileri.**

Sıcaklık:	70°C için		Peltier A (92 Watt)								Deney Tarihi: 07/01/2016			
Adım / Süre (dk)	$\dot{m}_1$ (Sıcak Su Hattı Debisi) (kg/sn)	$\dot{m}_2$ (Soğuk Su Hattı Debisi) (kg/sn)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	V (Volt)	A (Amper)	$W_{net}$ (Watt)	$Q_{sıcak}$ (Watt)	$Q_{soğuk}$ (Watt)
10	0,0167	0,0167	56,1	55,1	11,6	12,5	70,4	9,9	25,3	0,534	0,0323	0,0172	0,0167	0,0150
10	0,0167	0,0167	55,5	54,5	11,6	12,5	70,4	10,1	25,3	0,542	0,0310	0,0168	0,0167	0,0150
10	0,0167	0,0167	60,0	59,0	11,4	12,3	70,2	10,1	25,1	0,544	0,0303	0,0165	0,0167	0,0150
10	0,0167	0,0167	60,2	59,2	11,4	12,3	70,1	10,1	25,1	0,548	0,0295	0,0162	0,0167	0,0150
10	0,0167	0,0167	60,5	59,5	11,3	12,2	70,0	10,2	25,0	0,551	0,0291	0,0160	0,0167	0,0150
10	0,0167	0,0167	60,1	59,1	11,3	12,2	70,0	10,3	25,0	0,553	0,0289	0,0160	0,0167	0,0150

**Ek B1 : Peltier B (123,2 Watt) deney verileri.**

Sıcaklık:	30°C için		Peltier B (123,2 Watt)								Deney Tarihi: 27/12/2015				
Adım / Süre (dk)	$\dot{m}_1$ (Sıcak Su Hattı Debisi) (kg/sn)	$\dot{m}_2$ (Soğuk Su Hattı Debisi) (kg/sn)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	V (Volt)	A (Amper)	$W_{net}$ (Watt)	$Q_{sıcak}$ (Watt)	$Q_{soğuk}$ (Watt)	
10	0,0167	0,0167	28,9	27,5	7,9	8,8	30,5	5,1	22,1	0,498	0,0180	0,009	0,0233	0,015	
10	0,0167	0,0167	27,5	26,1	7,6	8,5	30,2	5,2	22,1	0,509	0,0172	0,009	0,0233	0,015	
10	0,0167	0,0167	27,4	26,0	7,6	8,5	30,2	5,2	22,1	0,511	0,0170	0,009	0,0233	0,015	
10	0,0167	0,0167	27,8	26,4	7,5	8,4	30,1	5,2	21,2	0,516	0,0166	0,009	0,0233	0,015	
10	0,0167	0,0167	27,6	26,2	7,5	8,4	30,1	5,3	21,2	0,525	0,0160	0,008	0,0233	0,015	
10	0,0167	0,0167	27,1	25,7	7,4	8,3	30,0	5,4	21,2	0,530	0,0155	0,008	0,0233	0,015	

Sıcaklık:	40°C için		Peltier B (123,2 Watt)								Deney Tarihi: 28/12/2015				
Adım / Süre (dk)	$\dot{m}_1$ (Sıcak Su Hattı Debisi) (kg/sn)	$\dot{m}_2$ (Soğuk Su Hattı Debisi) (kg/sn)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	V (Volt)	A (Amper)	$W_{net}$ (Watt)	$Q_{sıcak}$ (Watt)	$Q_{soğuk}$ (Watt)	
10	0,0167	0,0167	36,5	35,7	12,2	13,2	40,5	10,0	22,7	0,468	0,0227	0,0106	0,0133	0,0167	
10	0,0167	0,0167	35,8	34,9	12,1	13,1	40,4	10,1	22,7	0,479	0,0221	0,0106	0,0150	0,0167	
10	0,0167	0,0167	33,0	32,1	12,0	13,0	40,3	10,2	22,7	0,481	0,0215	0,0103	0,0158	0,0167	
10	0,0167	0,0167	35,1	34,1	12,0	13,0	40,3	10,3	22,7	0,486	0,0210	0,0102	0,0167	0,0167	
10	0,0167	0,0167	35,3	34,3	11,9	12,9	40,2	10,4	22,8	0,495	0,0195	0,0097	0,0167	0,0167	
10	0,0167	0,0167	33,7	32,6	11,8	12,8	40,0	10,4	22,8	0,500	0,0184	0,0092	0,0183	0,0167	

**Ek B1'in Devamı: Peltier B (123,2 Watt) deney verileri.**

Sıcaklık:	50°C için		Peltier B (123,2 Watt)								Deney Tarihi: 29/12/2015				
Adım / Süre (dk)	$\dot{m}_1$ (Sıcak Su Hattı Debisi) (kg/sn)	$\dot{m}_2$ (Soğuk Su Hattı Debisi) (kg/sn)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	V (Volt)	A (Amper)	$W_{net}$ (Watt)	$Q_{sıcak}$ (Watt)	$Q_{soğuk}$ (Watt)	
10	0,0167	0,0167	45,6	44,8	12,2	13,4	50,3	9,8	24,7	0,435	0,0312	0,0136	0,0133	0,0200	
10	0,0167	0,0167	44,0	43,2	12,1	13,3	50,2	9,9	24,7	0,446	0,0299	0,0133	0,0133	0,0200	
10	0,0167	0,0167	43,2	42,4	12,1	13,3	50,2	10,1	24,7	0,448	0,0290	0,0130	0,0133	0,0200	
10	0,0167	0,0167	43,1	42,3	12,1	13,3	50,1	10,1	24,5	0,453	0,0278	0,0126	0,0133	0,0200	
10	0,0167	0,0167	42,1	41,3	12,1	13,3	50,1	10,3	24,5	0,462	0,0257	0,0119	0,0133	0,0200	
10	0,0167	0,0167	41,1	40,3	12,0	13,2	50,0	10,4	24,5	0,467	0,0242	0,0113	0,0133	0,0200	

Sıcaklık:	60°C için		Peltier B (123,2 Watt)								Deney Tarihi: 30/12/2015				
Adım / Süre (dk)	$\dot{m}_1$ (Sıcak Su Hattı Debisi) (kg/sn)	$\dot{m}_2$ (Soğuk Su Hattı Debisi) (kg/sn)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	V (Volt)	A (Amper)	$W_{net}$ (Watt)	$Q_{sıcak}$ (Watt)	$Q_{soğuk}$ (Watt)	
10	0,0167	0,0167	51,9	50,9	13,6	14,7	60,4	9,9	24,5	0,415	0,0432	0,0179	0,0167	0,0183	
10	0,0167	0,0167	50,7	49,7	13,5	14,6	60,3	10,1	24,5	0,426	0,0419	0,0178	0,0167	0,0183	
10	0,0167	0,0167	50,7	49,7	13,5	14,6	60,3	10,2	24,4	0,428	0,0411	0,0176	0,0167	0,0183	
10	0,0167	0,0167	49,8	48,8	13,5	14,6	60,2	10,2	24,4	0,433	0,0403	0,0174	0,0167	0,0183	
10	0,0167	0,0167	49,4	48,4	13,4	14,5	60,2	10,3	24,4	0,442	0,0382	0,0169	0,0167	0,0183	
10	0,0167	0,0167	49,9	48,9	13,4	14,5	60,2	10,4	24,3	0,447	0,0370	0,0165	0,0167	0,0183	

**Ek B1'in Devamı : Peltier B (123,2 Watt) deney verileri.**

Sıcaklık:	70°C için		Peltier B (123,2 Watt)								Deney Tarihi: 02/01/2015				
Adım / Süre (dk)	$\dot{m}_1$ (Sıcak Su Hattı Debisi) (kg/sn)	$\dot{m}_2$ (Soğuk Su Hattı Debisi) (kg/sn)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	V (Volt)	A (Amper)	$W_{net}$ (Watt)	$Q_{sıcak}$ (Watt)	$Q_{soğuk}$ (Watt)	
10	0,0167	0,0167	61,4	60,4	11,3	12,4	70,4	9,4	26,8	0,400	0,0520	0,0208	0,0167	0,0183	
10	0,0167	0,0167	61,1	60,1	11,2	12,3	70,3	9,8	26,8	0,403	0,0510	0,0206	0,0167	0,0183	
10	0,0167	0,0167	60,7	59,7	11,2	12,3	70,2	10,2	26,8	0,408	0,0500	0,0204	0,0167	0,0183	
10	0,0167	0,0167	60,2	59,2	11,1	12,2	70,2	10,4	26,9	0,410	0,0490	0,0201	0,0167	0,0183	
10	0,0167	0,0167	60,0	59,0	11,1	12,2	70,1	10,5	27,0	0,415	0,0481	0,0200	0,0167	0,0183	
10	0,0167	0,0167	60,0	59,0	11,0	12,1	70,0	10,5	27,0	0,418	0,0470	0,0196	0,0167	0,0183	

**Ek C1 : Peltier C (136,8 Watt) deney verileri.**

Sıcaklık:	30°C için		Peltier C (136,8 Watt)								Deney Tarihi: 03/01/2016				
Adım / Süre (dk)	$\dot{m}_1$ (Sıcak Su Hattı Debisi) (kg/sn)	$\dot{m}_2$ (Soğuk Su Hattı Debisi) (kg/sn)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	V (Volt)	A (Amper)	$W_{net}$ (Watt)	$Q_{sıcak}$ (Watt)	$Q_{soğuk}$ (Watt)	
10	0,0167	0,0167	29,0	28,3	6,2	7,1	30,2	5,0	21,6	0,552	0,0187	0,0103	0,0117	0,0150	
10	0,0167	0,0167	28,8	28,1	6,2	7,1	30,2	5,1	21,1	0,554	0,0184	0,0102	0,0117	0,0150	
10	0,0167	0,0167	28,7	28,0	6,2	7,1	30,2	5,2	22,4	0,557	0,0182	0,0101	0,0117	0,0150	
10	0,0167	0,0167	28,7	28,0	6,2	7,1	30,2	5,4	22,2	0,558	0,0179	0,0100	0,0117	0,0150	
10	0,0167	0,0167	28,6	27,9	6,2	7,1	30,2	5,6	22,1	0,560	0,0176	0,0099	0,0117	0,0150	
10	0,0167	0,0167	28,5	27,8	6,1	7,0	30,1	5,6	21,7	0,561	0,0172	0,0096	0,0117	0,0150	

Sıcaklık:	40°C için		Peltier C (136,8 Watt)								Deney Tarihi: 04/01/2016				
Adım / Süre (dk)	$\dot{m}_1$ (Sıcak Su Hattı Debisi) (kg/sn)	$\dot{m}_2$ (Soğuk Su Hattı Debisi) (kg/sn)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	V (Volt)	A (Amper)	$W_{net}$ (Watt)	$Q_{sıcak}$ (Watt)	$Q_{soğuk}$ (Watt)	
10	0,0167	0,0167	35,8	34,6	11,7	12,3	40,2	10,0	22,4	0,523	0,0234	0,0122	0,0200	0,0100	
10	0,0167	0,0167	35,6	34,4	11,6	12,2	40,1	10,0	23,0	0,535	0,0223	0,0119	0,0200	0,0100	
10	0,0167	0,0167	35,2	34,0	11,5	12,1	40,0	10,0	22,5	0,540	0,0213	0,0115	0,0200	0,0100	
10	0,0167	0,0167	34,8	33,6	11,5	12,1	40,0	10,1	23,3	0,543	0,0205	0,0111	0,0200	0,0100	
10	0,0167	0,0167	34,3	33,1	11,4	12,0	39,9	10,1	22,8	0,545	0,0195	0,0106	0,0200	0,0100	
10	0,0167	0,0167	33,8	32,6	11,3	11,9	39,8	10,2	23,0	0,550	0,0190	0,0105	0,0200	0,0100	

**Ek C1'in Devamı : Peltier C (136,8 Watt) deney verileri.**

Sıcaklık:	50°C için		Peltier C (136,8 Watt)								Deney Tarihi: 05/01/2016				
Adım / Süre (dk)	$\dot{m}_1$ (Sıcak Su Hattı Debisi) (kg/sn)	$\dot{m}_2$ (Soğuk Su Hattı Debisi) (kg/sn)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	V (Volt)	A (Amper)	$W_{net}$ (Watt)	$Q_{sıcak}$ (Watt)	$Q_{soğuk}$ (Watt)	
10	0,0167	0,0167	44,1	42,8	12,1	12,7	50,3	10,1	23,3	0,490	0,0315	0,0154	0,0217	0,0100	
10	0,0167	0,0167	44,0	42,7	12,1	12,7	50,3	10,2	23,9	0,493	0,0303	0,0149	0,0217	0,0100	
10	0,0167	0,0167	43,9	42,6	12,0	12,6	50,2	10,2	24,2	0,495	0,0300	0,0149	0,0217	0,0100	
10	0,0167	0,0167	43,7	42,4	11,9	12,5	50,1	10,2	24,1	0,498	0,0293	0,0146	0,0217	0,0100	
10	0,0167	0,0167	43,6	42,3	11,8	12,4	50,0	10,3	24,2	0,500	0,0290	0,0145	0,0217	0,0100	
10	0,0167	0,0167	43,2	41,9	11,7	12,3	49,9	10,3	21,6	0,502	0,0283	0,0142	0,0217	0,0100	

Sıcaklık:	60°C için		Peltier C (136,8 Watt)								Deney Tarihi: 06/01/2016				
Adım / Süre (dk)	$\dot{m}_1$ (Sıcak Su Hattı Debisi) (kg/sn)	$\dot{m}_2$ (Soğuk Su Hattı Debisi) (kg/sn)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	V (Volt)	A (Amper)	$W_{net}$ (Watt)	$Q_{sıcak}$ (Watt)	$Q_{soğuk}$ (Watt)	
10	0,0167	0,0167	52,5	51,0	12,2	12,9	60,3	10,0	24,7	0,480	0,0435	0,0209	0,0250	0,0117	
10	0,0167	0,0167	52,4	50,9	12,2	12,9	60,3	10,1	26,4	0,485	0,0415	0,0201	0,0250	0,0117	
10	0,0167	0,0167	52,3	50,8	12,1	12,8	60,2	10,2	26,0	0,490	0,0400	0,0196	0,0250	0,0117	
10	0,0167	0,0167	52,1	50,6	12,1	12,8	60,1	10,3	25,7	0,496	0,0390	0,0193	0,0250	0,0117	
10	0,0167	0,0167	51,7	50,2	12,0	12,7	60,0	10,5	26,4	0,500	0,0380	0,0190	0,0250	0,0117	
10	0,0167	0,0167	51,2	49,7	11,9	12,6	59,9	10,6	26,1	0,501	0,0375	0,0188	0,0250	0,0117	

**Ek C1'in Devamı : Peltier C (136,8 Watt) deney verileri.**

Sıcaklık:	70°C için		Peltier C (136,8 Watt)								Deney Tarihi: 07/01/2016			
Adım / Süre (dk)	$\dot{m}_1$ (Sıcak Su Hattı Debisi) (kg/sn)	$\dot{m}_2$ (Soğuk Su Hattı Debisi) (kg/sn)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	V (Volt)	A (Amper)	$W_{net}$ (Watt)	$Q_{sıcak}$ (Watt)	$Q_{soğuk}$ (Watt)
10	0,0167	0,0167	56,1	54,5	11,9	12,7	70,5	10,0	22,8	0,478	0,0515	0,0246	0,0267	0,0133
10	0,0167	0,0167	55,9	54,3	11,7	12,5	70,3	10,1	25,3	0,478	0,0508	0,0243	0,0267	0,0133
10	0,0167	0,0167	55,7	54,1	11,6	12,4	70,1	10,1	26,8	0,482	0,0497	0,0240	0,0267	0,0133
10	0,0167	0,0167	55,6	54,0	11,5	12,3	70,0	10,2	27,5	0,488	0,0482	0,0235	0,0267	0,0133
10	0,0167	0,0167	55,5	53,9	11,4	12,2	69,9	10,3	26,6	0,495	0,0465	0,0230	0,0267	0,0133
10	0,0167	0,0167	55,4	53,8	11,3	12,1	69,8	10,4	26,7	0,498	0,0450	0,0224	0,0267	0,0133

## ÖZGEÇMİŞ

**Adı ve Soyadı** :İbrahim CERAN  
**Doğum Tarihi ve Yeri** :19.10.1988 / NEVŞEHİR  
**E-posta adresi** :mechanicalengineering7216@hotmail.com

### EĞİTİM BİLGİLERİ (Kurum ve Yıl)

**Lisans** :Harran Üniversitesi, 2010  
**Yüksek Lisans** :Aksaray Üniversitesi, 2016

Mayıs 2011'den bugüne Aksaray Mysilo Tahıl Depolama Sistemleri Ar-Ge birimi personeli olarak çalışmaya devam etmektedir.