

**GÜNEŞ ENERJİLİ TERMOELEKTRİK SOĞUTMA
SİSTEMLERİNDE ARDIŞIK (KASKAT) SOĞUTMA
YÖNTEMİ UYGULANABİLİRLİĞİNİN DENEYSEL
İNCELENMESİ**

**2014
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ**

Berat Burak KAVAK

**GÜNEŞ ENERJİLİ TERMOELEKTRİK SOĞUTMA SİSTEMLERİNDE
ARDIŞIK (KASKAD) SOĞUTMA YÖNTEMİ UYGULANABİLİRLİĞİNİN
DENEYSEL İNCELENMESİ**

Berat Burak KAVAK

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

**KARABÜK
Ekim 2014**

Berat Burak KAVAK tarafından hazırlanan “GÜNEŞ ENERJİLİ TERMOELEKTRİK SOĞUTMA SİSTEMLERİNDE ARDIŞIK (KASKAT) SOĞUTMA YÖNTEMİ UYGULANABİLİRLİĞİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Emrah DENİZ

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 27/09/2014

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Kamil ARSLAN (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Emrah DENİZ (KBÜ)



...../...../2014

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Mustafa BOZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Berat Burak KAVAK

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

GÜNEŞ ENRJİLİ TERMOELEKTRİK SOĞUTMA SİSTEMLERİNDE ARDIŞIK (KASKAD) SOĞUTMA YÖNTEMİ UYGULANABİLİRİĞİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ

Berat Burak KAVAK

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Emrah DENİZ

Ekim 2014, 188 sayfa

Bu çalışmada, besinlerin saklanması, tıbbi malzemelerin, ilaçların, aşısı ve kan ünitelerinin düşük sıcaklıklarda muhafazası için kullanılan TEC (Termoelektrik Soğutma Sistemi) sistemi ardışık uygulaması incelenmiştir. TEC, bir tarafı ısınırken diğer tarafı soğuyan termoelektrik modül (peltier etkisi) ilkesine bağlı olarak çalışmaktadır. Termoelektrik modüllerde kullanılan elektrik enerjisi güç kaynağı ve güneş pillerinden elde edilmiştir. Soğutulacak kabin olarak bir araç buzdolabı kullanılmış ve termoelektrik modül buzdolabının ısı kaybını karşılayacak kapasitede seçilmiştir. Deneyler iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşama hava soğutmalı sistem kullanılarak tek katlı ve ardışık katlı seri, paralel, ayrık bağlı termoelektrik modülün güç kaynağı ve güneş panelleri kullanılarak çalıştırılması şeklinde gerçekleştirilmiştir. Deneyin ikinci aşamasında tek katlı ve ardışık katlı seri, paralel, ayrık bağlı TE modüller su soğutmalı bir sistem yardımıyla güç kaynağı ve güneş

panelleri ile çalıştırılmıştır. Alınan sonuçlar bir önceki değerler ve kendi aralarında karşılaştırma yapılarak değerlendirilmiştir. Tespit edilen değerler ışığında su soğutmalı sistemin hava soğutmalı sistemden daha etkin olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca istenilen soğutma verimin elde edilmesi için termoelektrik modül ile güneş pillerinin seçiminin iyi yapılması, sıcak yüzeyden ısıyı atmak için değişik yöntemlerin kullanılabilmesi ve soğutulan hacmin ısı yalıtımının en uygun biçimde yapılması gerektiği sonucuna ulaştırmıştır. Çevre ile uyumlu olan bu soğutma sisteminin gelecekte kullanımının yaygınlaşacağı düşünülmektedir.

Anahtar Sözcükler : Termoelektrik modül, güneş pili, soğutma, ardışık soğutma, kaskat soğutma.

Bilim Kodu : 914.1.038

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE APPLICABILITY OF SEQUENTIAL (CASCADE) COOLING TECHNIQUE IN SOLAR TERMO- ELECTRIC COOLING SYSTEMS

Berat Burak KAVAK

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Thesis Advisor:

Assoc. Prof. Dr. Emrah DENİZ

October 2014, 188 pages

In this study, applications of TEC system was investigated, which is used for low-temperature storage of medical supplies, medicines, vaccines, blood units and food. TEC is operated according to the thermoelectric module (Peltier effect) which cools at one side and heats at the other side. The electricity used in thermoelectric modules was generated by power supply and solar cells. A vehicle refrigerator was used as the cooling cabinet and thermoelectric module were selected to bear the heat loss capacity of the refrigerator cabinet. Experiments were conducted at two stages. At the first stage, air cooled system was implemented and tests were conducted by powering the single layer and sequential layered serial, parallel and separately connected thermoelectric modules by power supply and solar panels. At the second stage, the single layer and sequential layered serial, parallel and separately connected TE modules are operated by power supply and solar panels supported by a water-cooled system. Results were evaluated by comparing to the previous values and to each other. Results showed that water-cooled system is more effective than the air-cooled system. It is concluded that; various methods can be used to discard heat from

the hot surface and, thermoelectric module and solar cells should be selected carefully, and cooled volume should be insulated accordingly to obtain the desired cooling efficiency. It is expected that this environmentally friendly cooling system will widely be used in the future.

Key Word : Thermoelectric modules, solar cells, cooling, refrigeration, sequential, cascade refrigeration.

Science Code : 914.1.038

TEŞEKKÜR

Bu tez çalıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütölmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren sayın hocam Doç. Dr. Emrah DENİZ'e sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Sevgili aileme maddi ve manevi hiçbir yardımı esirgemedен yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xviii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ VE AMAÇ.....	1
1.1. GİRİŞ.....	1
1.2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ.....	3
1.3. ÇALIŞMANIN AMACI.....	3
BÖLÜM 2	4
LİTERATÜR TARAMASI.....	4
BÖLÜM 3	12
TERMOELEKTRİK SOĞUTMA VE UYGULAMALARI.....	12
3.1. TERMOELEKTRİĞİN TARİHÇESİ	12
3.2. TERMOELEKTRİK MODÜL TEKNOLOJİSİ	14
3.3. TERMOELEKTRİK ELEMAN ÇALIŞMA PRENSİBİ	18
3.3.1. Termoelektrik Etkiler.....	19
3.3.1.1. Joule Etkisi.....	19
3.3.1.2. Seebeck Etkisi	20
3.3.1.3. Peltier Etkisi.....	20
3.3.1.4. Thomson Etkisi	21

	<u>Sayfa</u>
3.3.1.5. Feuer Etkisi	22
3.3.2. Ardışık Katlı Termoelektrik Modüllerin Çalışması.....	24
3.4. TERMOELEKTRİK ELEMANLARIN BAĞLANTI ŞEKİLLERİ.....	27
3.4.1. Termoelektrik Elemanların Seri Bağlaması	27
3.4.2. Termoelektrik Elemanların Paralel Bağlaması.....	27
3.4.3. Termoelektrik Elemanların Ayrık Bağlaması	28
3.5. TERMOELEKTRİK ELEMAN UYGULAMALARI	28
BÖLÜM 4	33
MATERYAL VE YÖNTEM	33
4.1. ARAŞTIRMA YERİNİN ÖZELLİKLERİ.....	33
4.2. DENEY SİSTEMİ VE GENEL ÖZELLİKLERİ	34
4.2.1. Soğutma Kabini	34
4.2.2. Soğutma Kabini Isı Kaybı Hesapları	35
4.2.3. Isı Değiştiriciler	40
4.2.4. Güneş Pilleri	40
4.2.5. Termoelektrik Modüller	41
4.2.6. Jel Akü	43
4.2.7. Diğer Malzemeler	44
4.3. YÖNTEM	44
BÖLÜM 5	45
DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE BULGULAR	45
5.1. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	45
5.1.1. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Malzeme ve Temini.....	45
5.1.2. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Sistem	45
5.1.3. Deneysel Çalışmaların Teorik Hesaplamaları.....	49
5.2. DENEYSEL ÖLÇÜMLER.....	53
5.2.1. Tek Katlı TE Modül Deney Ölçümleri	54
5.2.2. Ardışık Katlı Seri Bağlı TE Modül Deney Ölçümleri	63
5.2.3. Ardışık Katlı Paralel Bağlı TE Modül Deney Ölçümleri.....	71
5.2.4. Ardışık Katlı Ayrık Bağlı TE Modül Deney Ölçümleri	78

	<u>Sayfa</u>
5.3. SON DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER	87
KAYNAKLAR.....	94
EK AÇIKLAMALAR A. DENEYNE YERDE KULLANILAN CİHAZ ÖZELLİKLERİ	98
EK AÇIKLAMALAR B. DENEY SONUÇLARI	103
ÖZGEÇMİŞ.....	189

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Termoelektrik modül kesit görünümü.	5
Şekil 3.1. Seebeck deneyi ve termoelektrik çifti.....	12
Şekil 3.2. Peltier deneyi ve termoelektrik soğutucu.....	13
Şekil 3.3. n-tipi termoelektrik eleman.....	15
Şekil 3.4. Farklı yarı-iletken malzemelerin sıcaklığa bağlı verimleri.....	15
Şekil 3.5. p-tipi termoelektrik elemanın şematik görünümü.....	16
Şekil 3.6. Yalnız n-tipi termoelektrik elemandan oluşan sıra.....	16
Şekil 3.7. n-tipi ve p-tipi termoelektrik elemanların ardışık dizilişiyle oluşan sıra..	17
Şekil 3.8. Bir termoelektrik modülün içyapısı.....	17
Şekil 3.9. Termoelementin yapısı.....	18
Şekil 3.10. Seebeck devresi.....	20
Şekil 3.11. Peltier Etkisi.....	21
Şekil 3.12. Thomson olayını açıklayan devre.....	21
Şekil 3.13. Kaskat bağlı termoelektrik modüllerin çalışma prensibi.....	25
Şekil 3.14. TE modüllerin seri bağlanması.....	27
Şekil 3.15. TE modüllerin paralel bağlanması.....	28
Şekil 3.16. TE modüllerin ayrık bağlanması.....	28
Şekil 3.17. Silindirik yüzeylerin soğutulmasında kullanılan termoelektrik modül. ...	28
Şekil 3.18. Yarı iletken malzemelerin test edilmesinde kullanılan, termoelektrik olarak soğutulan cihaz.....	30
Şekil 3.19. Termohipoterm cihazı.....	30
Şekil 3.20. 27 W gücünde “Havadan-havaya” soğutucu.....	31
Şekil 3.21. 50 W gücünde bir Buz Sondası.....	31
Şekil 3.22. Çok katlı (Kaskat) Termoelektrik modül.....	32
Şekil 4.1. Karabük ilinin konumu ve global güneş ışınımının dağılımı.....	33
Şekil 4.2. Sistemde kullanılan soğutma kabini.....	35
Şekil 4.3. Soğutulacak dolabın duvarları içindeki yalıtım malzemeleri.....	36
Şekil 4.4. Kanatlı alüminyum plaka.....	40

	<u>Sayfa</u>
Şekil 4.5. Güneş pili ölçüleri.	41
Şekil 4.6. Termoelektrik modül boyutları.	42
Şekil 4.7. Jel akü.	43
Şekil 5.1. Hava soğutmalı deney düzeneğinden bir görünüm.	46
Şekil 5.2. Su soğutmalı deney düzeneğinden bir görünüm.	47
Şekil 5.3. Deney düzeneği şematik gösterimi.	48
Şekil 5.4. TE modül alt yüzey termokupl yerleşim detayı.	48
Şekil 5.5. Güneş panelleri ile çalıştırılan sistem görünümü.	49
Şekil 5.6. Hava soğutmalı tek katlı modül sıcaklıklarının karşılaştırılması.	55
Şekil 5.7. Hava soğutmalı tek katlı modül gerilim ile sıcaklık farklarının karşılaştırılması.	56
Şekil 5.8. Hava soğutmalı tek katlı TE modül COP değerleri.	56
Şekil 5.9. Hava soğutmalı tek katlı modül fan çıkış sıcaklığına göre COP değişimi.	57
Şekil 5.10. Su soğutmalı tek katlı modül gerilim-sıcaklık grafiği.	60
Şekil 5.11. Su soğutmalı tek katlı modül karşılaştırma grafiği.	60
Şekil 5.12. Su soğutmalı tek katlı modül güç grafiği.	60
Şekil 5.13. Hava soğutmalı sistemde güneş paneli ve laboratuvar şartlarında gerçekleştirilen deneylerin karşılaştırılması.	61
Şekil 5.14. Su soğutmalı sistemde güneş panelli ve laboratuvar şartlarında gerçekleştirilen deneylerin karşılaştırılması.	62
Şekil 5.15. Hava soğutmalı ardışık katlı seri bağlı TE modülün gerilime göre sıcaklık değerleri.	64
Şekil 5.16. Hava soğutmalı ardışık katlı seri bağlı TE modülün akım-gerilim değerleri.	65
Şekil 5.17. Hava soğutmalı ardışık katlı seri bağlı TE modülün sıcaklık farklarının değişimi.	65
Şekil 5.18. Hava soğutmalı ardışık katlı seri bağlı modül $\Delta T_{yüzey}$ 'e bağlı olarak COP değişimi.	66
Şekil 5.19. Su soğutmalı ardışık katlı seri bağlı modüllerin akıma bağlı güç grafiği.	67
Şekil 5.20. Su soğutmalı ardışık katlı seri bağlı TE modüllerin güç grafiği.	68
Şekil 5.21. Hava soğutmalı sistemde güneş paneli ve laboratuvar şartlarında gerçekleştirilen deneylerin karşılaştırılması.	69
Şekil 5.22. Su soğutmalı sistemde güneş paneli ve laboratuvar şartlarında gerçekleştirilen deneylerin karşılaştırılması.	71

Şekil 5.23. Soğutma kabini içinden bir görünüm.	72
Şekil 5.24. Hava soğutmalı alt fan çıkış sıcaklığına bağlı ortam sıcaklığı grafiği.	73
Şekil 5.25. Hava soğutmalı ardışık katlı paralel bağlı TE modüller sıcaklık grafiği.	73
Şekil 5.26. Hava soğutmalı ardışık katlı paralel bağlı TE modüllerde gerilime göre COP değişimi.	74
Şekil 5.27. Su soğutmalı ardışık katlı paralel bağlı TE modüllerin sıcaklık farkı gerilim grafiği.	75
Şekil 5.28. Su soğutmalı ardışık katlı paralel bağlı TE modüllerin güç grafiği.	76
Şekil 5.29. Hava soğutmalı sistemde güneş paneli ve laboratuvar şartlarında gerçekleştirilen deneylerin karşılaştırılması.	77
Şekil 5.30. Su soğutmalı sistemde güneş paneli ve laboratuvar şartlarında gerçekleştirilen deneylerin karşılaştırılması.	78
Şekil 5.31. Hava soğutmalı ardışık katlı ayırık bağlı TE modül soğutma gücü grafiği.	80
Şekil 5.32. Hava soğutmalı ardışık katlı ayırık bağlı alt modül gerilimine göre sıcaklık değişimi grafiği.	80
Şekil 5.33. Hava soğutmalı ardışık katlı ayırık bağlı alt modül gerilimine göre COP değişimi.	81
Şekil 5.34. Üst fan çıkış sıcaklığına bağlı ΔT farkları.	82
Şekil 5.35. Su soğutmalı ardışık katlı ayırık bağlı TE modül sıcaklık-gerilim grafiği.	83
Şekil 5.36. Su soğutmalı ardışık katlı ayırık bağlı TE modül gerilim-sıcaklık grafiği.	84
Şekil 5.37. Su soğutmalı ayırık bağlı modül güç grafiği.	84
Şekil 5.38. Hava soğutmalı sistemde güneş paneli ve laboratuvar şartlarında gerçekleştirilen deneylerin karşılaştırılması.	85
Şekil 5.39. Su soğutmalı sistemde güneş paneli ve laboratuvar şartlarında gerçekleştirilen deneylerin karşılaştırılması.	87
Şekil 5.40. Hava ve su soğutmalı deneylerin alt yüzey sıcaklığı karşılaştırması.	88
Şekil 5.41. Hava ve su soğutmalı seri bağlı deneylerin alt yüzey sıcaklığı karşılaştırması.	88
Şekil 5.42. Hava ve su soğutmalı seri bağlı güç-COP karşılaştırması.	90
Şekil 5.43. Hava ve su soğutmalı paralel bağlı alt yüzey sıcaklığı grafiği.	90
Şekil 5.44. Hava ve su soğutmalı paralel bağlı iç ortam sıcaklığı grafiği.	90
Şekil 5.45. Hava ve su soğutmalı ayırık bağlı alt yüzey sıcaklık-gerilim grafiği.	91
Şekil 5.46. Hava ve su soğutmalı ayırık bağlı güç-COP karşılaştırması.	92

	<u>Sayfa</u>
Şekil EK A1. Adam 4018 görünümü.....	99
Şekil EK A2. Adam 4520 görünümü.....	100
Şekil EK A3. Su soğutma sistemi görünümü.....	101
Şekil EK A4. Güç kaynağı görünümü.....	102

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1. Karabük iline ait meteorolojik veriler.	34
Çizelge 4.2. Güneş pilleri özellikleri.	41
Çizelge 4.3. Termoelektrik modül özellikleri.	42
Çizelge 4.4. Jel akü özellikleri.	43
Çizelge 5.1. TE modül parametreleri.	49
Çizelge 5.2. Gerilim değerlerine göre TE modül alt yüzey sıcaklıkları.	53
Çizelge 5.3. Güneş panelli sistemde elde edilen TE modül alt yüzey sıcaklıkları. ...	54
Çizelge 5.4. Hava soğutmalı tek katlı modül deney sonuçları.	55
Çizelge 5.5. Su soğutmalı tek modül deney sonuçları.	58
Çizelge 5.6. Hava soğutmalı sistemde güneş panelleri ile gerçekleştirilen tek katlı modül deney sonuçları.	61
Çizelge 5.7. Su soğutmalı sistemde güneş panelleri ile gerçekleştirilen tek katlı modül deney sonuçları.	62
Çizelge 5.8. Hava soğutmalı ardışık katlı seri bağlı TE modül deney sonuçları.	63
Çizelge 5.9. Su soğutmalı ardışık katlı seri bağlı TE modüllerin deney sonuçları. .	66
Çizelge 5.10. Hava soğutmalı sistemde güneş panelleri ile gerçekleştirilen ardışık katlı seri bağlı modül deney sonuçları.	68
Çizelge 5.11. Su soğutmalı sistemde güneş panelleri ile gerçekleştirilen ardışık katlı seri bağlı modül deney sonuçları.	70
Çizelge 5.12. Hava soğutmalı ardışık katlı paralel bağlı TE modüllerin deney sonuçları.	71
Çizelge 5.13. Su soğutmalı ardışık katlı paralel bağlı TE modüllerin deney sonuçları.	74
Çizelge 5.14. Hava soğutmalı sistemde güneş panelleri ile gerçekleştirilen ardışık katlı paralel bağlı modül deney sonuçları.	76
Çizelge 5.15. Su soğutmalı sistemde güneş panelleri ile gerçekleştirilen ardışık katlı paralel bağlı modül deney sonuçları.	77
Çizelge 5.16. Hava soğutmalı ardışık katlı ayırık bağlı TE modül deney sonuçları. ...	80
Çizelge 5.17. Su soğutmalı ardışık katlı ayırık bağlı alt modülün gerilimine göre deney sonuçları.	82

Sayfa

Çizelge 5.18. Hava soğutmalı sistemde güneş panelleri ile gerçekleştirilen ardışık katlı ayırık bağlı modül deney sonuçları.....	85
Çizelge 5.19. Su soğutmalı sistemde güneş panelleri ile gerçekleştirilen ardışık katlı ayırık bağlı modül deney sonuçları.....	86

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

A	: Malzemenin alanı (m^2)
d	: Malzeme kalınlığı (m)
E	: Açık devre gerilimi (V)
G	: Termoelektrik modülün geometrisi (A/L) (cm)
H	: Duvar durum katsayısı ($kWh /m^3 K$)
I	: Akım (A)
K	: Malzemenin toplam ısı transfer katsayısı ($W/m^2 K$)
L	: Malzemenin uzunluğu (m)
l	: Kabinin açılan kısımlarının çevre uzunluğu (m)
N	: Termoelement çift sayısı
R	: Kabin durum katsayısı
T	: Mutlak sıcaklık (K)
V	: Gerilim (V)
Z	: Kalite faktörü
W	: Watt
Q	: Birim zamanda transfer edilen ısı enerjisi (W)
ρ	: Elektriksel direnç (H)
T_h	: Modül sıcak yüzey sıcaklığı (K)
T_c	: Modül soğuk yüzey sıcaklığı (K)
T_o	: Ardışık katlı modül arak kat sıcaklığı (K)
ΔT	: Modül soğuk yüzey ile sıcak yüzey arasındaki sıcaklık farkı (K)
ΔT_{max}	: Maksimum sıcaklık farkı (K)
α	: Seebeck etkisi (V/K)
k	: Malzemenin ısı iletim katsayısı (W/mK)
kW	: Kilowatt
MW	: Megawatt

μm	: Mikrometre
μV	: Mikrovolt
I_{opt}	: Optimum akım (A)
COP	: Optimum soğutma tesir katsayısı
I_{max}	: Maksimum akım (A)
Q_s	: Hava sızıntısı ile oluşan ısı kaybı (W)
Q_c	: Termoelektrik modülün soğuk yüzeyinden emilen ısı (W)
Q_h	: Termoelektrik modülün sıcak yüzeyinden uzaklaştırılan ısı (W)
a	: Hava sızıntısı katsayısı (m /mh)
Z_e	: Köşe Artırım Katsayı (birimsiz)

KISALTMALAR

TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel Ve Teknolojik Araştırma Kurumu
YEKARUM	: Yenilebilir Enerji Kaynakları Araştırma Uygulama Merkezi
EİE	: Elektrik İşleri Etüt İdaresi
PV	: Photovoltaic System (Güneş Pili)
TE	: Thermoelectric Modules (Termoelektrik Modül)
COP	: Coefficient of Performance (Soğutma Tesir Katsayısı)
DC	: Diffirent Current (Doğru Akım)
AC	: Alternating Current (Alternatif Akım)
mL	: Mililitre
MMO	: Makine Mühendisleri Odası

BÖLÜM 1

GİRİŞ VE AMAÇ

1.1. GİRİŞ

Uygarlığın gelişmesi enerjinin kullanılmasıyla orantılıdır. Yeryüzünde her geçen gün enerji gereksinimi artmakta ve yeni enerji kaynaklarına ihtiyaç duyulmaktadır. Fosil yakıtların çevreye zarar vermeleri ve tükenmelerinin söz konusu olmasından dolayı alternatif yakıt arayışları giderek artmıştır. Doğal enerji kaynaklarının çoğunun temeli Güneş'e dayanmaktadır. Güneş, nükleer yakıtlar dışındaki diğer yakıtların ana kaynağı oluşturduğu bilinmektedir. Yakın bir gelecekte kömür, petrol, doğalgaz gibi fosil yakıtlı enerji kaynaklarının ihtiyacı karşılayamayacağı düşünülürse, yeni enerji kaynaklarına yönelmek (hidrojen, rüzgâr, biomas, güneş enerjisi vb.) aynı zamanda enerji kullanımındaki verimliliği arttırmak kaçınılmaz olmaktadır. İkinci bir önemli nokta ise, fosil yakıtların ve nükleer enerji kaynaklarının dünyamızın ekolojik ve klimatolojik dengesini bozucu etkileridir. Dolayısıyla yeni enerji kaynakları aynı zamanda temiz olmalıdır [1].

İnsanlar günlük yaşantılarını sürdürürken temel yaşam maddeleri olan gıdalarını sağlıklı bir şekilde taze tutma ve taze olarak tüketmeyi amaçlar. Ancak insanların bu amaç için kullandıkları soğutucular için, yaşadıkları ortamlarda her zaman elektrik enerjisine ulaşabilmeleri mümkün olmayabilir veya ulaşırsalar da enerji pahalı olabilir. Ayrıca insanlar çeşitli sebeplerden dolayı toplu yaşama alanlarında ayrılarak kırsal alanlarda yaşamak ve çalışmak zorunda kalabilir. İnsanların ihtiyaç duyduğu elektrik enerjini ucuz ve çevre dostu olarak elde edilme yöntemlerinden birisi de güneş enerjisi kullanılmasıdır [2].

Güneş enerjisi birçok uygulama alanına sahip olup, uygulama alanlardan biride güneş pili (fotovoltaik) uygulamalardır. Güneş pilleri, üzerlerine düşen güneş

enerjisini doğru akım elektrik enerjisine dönüştüren yarı iletken diyotlardır. Ancak güneş pilleri enerjiyi depolayamazlar. Işık kaynağı engellendiğinde pil hücrelerinin ürettiği elektrik kesilir. Elektrik gece kullanılacak ise, devreye bir elektrik enerjisi depolayan aparat (akü vb.) eklenmelidir. Güneş pillerinin daha verimli olması için pillerin güneşi takip edecek sisteme ihtiyacı vardır. Güneşi takip eden güneş pili sistemleri ile en verimli şekilde enerji elde edilebilir.

Çeşitli boyutlarda ve güçlerde üretilmeleri güneş pillerinin değişik alanlarda kullanımını yaygın hale getirmiştir. Fotovoltaik (PV) elemanlar yardımı ile güneş enerjisinden elektrik elde etme sistemleri diğer sistemlere göre en büyük avantajı gerekli olan enerjinin her yerde bulunabilir nitelikte olmasıdır [3].

Son yıllarda yapılan araştırmalarda CFC ve HCFC kökenli soğutucu gazların ozon tabakasını tahrip edici özelliğe sahip oldukları belirlenmiştir. Aralarında Türkiye'nin de bulunduğu 150 ülke Montreal Protokolü ile CFC kökenli maddelerin hemen kaldırılması, HCFC kökenli maddelerin ise kullanımlarının kısıtlanarak süreç içerisinde kullanımlarına son verilmesi karar alınmıştır. Kaldırılan soğutucu yerine kullanılacak alternatif soğutucu akışkanlar tespit edilerek imzalanmıştır. Ancak alternatif soğutuculara geçişte uyum zorlukları, performans değişiklikleri ve çevreye verilen zararlar gibi sorunlar ortaya çıkmıştır. Bu arada da çevreye zararı olmayan alternatif soğutma sistemleri üzerinde de çalışmalar hız kazanmıştır [4].

Bu konudaki çalışmalardan birisi olan termoelektrik soğutucular genellikle küçük hacimlerin soğutulması uygulamalarında güvenilir, sessiz ve düzgün çalışan, çevre dostu ve sıcaklık kontrolünün önemli olduğu çalışmalar için uygun olan bir yöntemdir. Termoelektrik soğutucuların en önemli sakıncaları soğutma tesir katsayılarının (STK) kompresörlü soğutma sistemlerinden düşük olması ve üretim teknikleri nedeniyle pahalı olmalarıdır. Teknolojideki gelişmelerle birlikte termoelektrik modül fiyatlarında gün geçtikçe düşüş görülmektedir.

Bu çalışmada peltier etkisine bağlı olarak çalışan termoelektrik elemandan yararlanarak soğutucu bir sistem tasarlanmıştır. TE elemanı çalıştırmak için yüksek güce sahip bir doğru akım güç kaynağından ve güneş pillerinden faydalanılmıştır. TE

modül burada bir ısı pompası olarak çalışmaktadır. TE modül üzerinden akım geçtiğinde bir yüzeyi soğurken diğer yüzeyi ısınmaktadır. TE modülün ısınan yüzeyinin sıcaklığı bir öncelikle fan yardımıyla daha sonra da su soğutmalı bir sistem yardımıyla kontrol altında tutulmaya çalışılmıştır. Her iki durumda da soğuyan yüzey tarafına bir fan eklenerek soğutulacak hacmin sıcaklığının homojen düşürülmesi hedeflenmektedir. Oluşturulan bu soğutma sistemi TE modüllerin ardışık bağlanması ile farklı enerji girişleri (seri, paralel ve ayırık) uygulanarak elde edilmeye çalışılacaktır.

1.2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ

Dünya nüfusunun hızla arttığı, teknolojinin hızla geliştiği ve bu gelişmelere paralel olarak enerji tüketiminde de büyük bir artış olduğu görülmektedir. Günümüzde fosil kökenli enerji kaynaklarının sınırlı olması, tüketimin sürekli artması ve bu kaynakların gittikçe azalması insanları enerji ihtiyacını karşılamak için yenilenebilir enerji kaynaklarına yöneltmiştir [5].

Bu çalışmada güneş enerjisi kullanılarak, elde edilen enerji ardışık termoelektrik soğutmada kullanılmıştır. Bu sistem doğaya ve çevreye zarar veren gazların kullanıldığı mekanik soğutma sistemlerine bir alternatif oluşturmuş ve kompresör olmadığından gürültü sorunu ortadan kalkmıştır.

1.3. ÇALIŞMANIN AMACI

Bu çalışmanın amacı; güneş enerjisi ile çalışan ardışık bağlantılı termoelektrik soğutma uygulamalarında bağlantı tipinin sistem üzerindeki etkisini deneysel olarak araştırmaktır. Ayrıca şebeke geriliminin yanı sıra güneş enerjisi kullanılarak bir hacmin ardışık yöntemi ile soğutulmasını sağlayarak, çevre ile uyumlu, alternatif bir soğutma sistemi olan termoelektrik soğutma sisteminin ve güneş enerjisinin kullanımlarının yaygınlaşmasına katkı sağlamaktır.

BÖLÜM 2

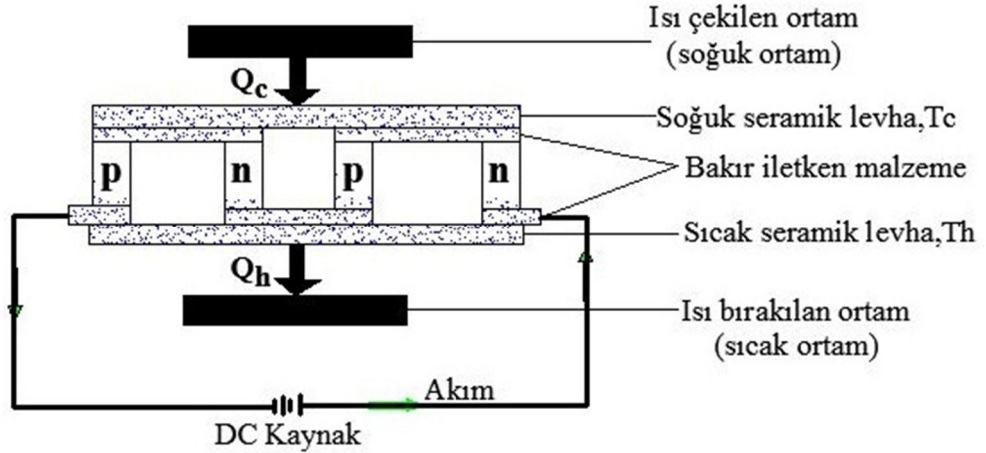
LİTERATÜR TARAMASI

1834'te Peltier iki metalin etkisinde bir akım geçirildiğinde, akım bir yönde aktığında ısının yutulduğunu, akımın yönü ters çevrildiğinde ise ısının açığa çıktığını bulmuştur. Yarı iletken halinde elektron enerji farkı daha büyük olabilir ve sistemde daha yüksek elektro motor kuvveti (e.m.k) meydana getirmektedir. Bu e.m.k'in boyutu sadece eklemi meydana getiren malzemeye değil, eklemin sıcaklığına da bağlıdır. Peltier etkisinden faydalanarak "Peltier efekt" p - n eklemelerinin seri olarak bağlanmasıyla TEC "Termoelektrik soğutucu" modül oluşturulmaktadır. TEC özellikle yeni nesil bilgisayar işlemcilerinin soğutulmasında ve araç tipi buzdolaplarının yapımında kullanılır. Bağlantı uçlarına DC akım uygulandığı zaman, bir yüzey soğurken diğer yüzey ısınır. Watt olarak güçlerine ve boyutlarına göre çeşitli tip ve modellerde üretilir [4]. Bu modüllerinin verimi çok düşüktür; bu da onların genel amaçlı elektrik jeneratörü olarak kullanılmasını engellemektedir. Ancak kalorimetre uygulamaları ya da DC besleme (termal batarya) olarak bazı özel durumlarda faydalanılmaktadır. Bunlar arasında uzay araçları elektroniği, fırın, kazan, kalorifer kontrol elektroniği, jeotermal ve güneş enerjisi gibi uygulamalar sayılabilir [6].

Termoelektrik modüller; iki farklı metalden oluşan, birleşme noktaları farklı sıcaklıklarda bulunan kapalı bir devreden oluşmaktadır [7]. Termoelektrik soğutucular, bazen termoelektrik modül veya "Peltier soğutucusu" diye de adlandırılabilir. TE soğutucular küçük bir ısı pompası gibi çalışan yarı iletkenlerdir. Bir doğru akım kaynağından sağlanan küçük bir voltaj sayesinde ısı modülün bir ucundan diğerine doğru hareket eder. Böylece modülün bir yüzü ısınırken, diğeri de eş zamanlı olarak soğumaya başlar. Bu olay, doğru akım kaynağının artı ve eksi kutuplarının yer değiştirmesiyle tersine çevrilebilmektedir. Bir termoelektrik modül, kullanım amacına göre ısıtıcı veya soğutucu olarak kullanılabilir. Çoğu termoelektrik

soğutucu modül, yüzey alanı başına 3 - 6 W/cm²'lik bir ısı pompalaması yapabilmektedir [8].

Termoelektrik soğutma, “n” ve “p” tipi yarı iletken metal çiftlerinden oluşmuş bir veya daha çok modülden, bir doğru akımın geçmesi ile elde edilir. Şekil 2.1’de bir “n” ve “p” yarı iletken çiftinden meydana gelmiş bir termoelektrik soğutma modülü gösterilmiştir. p ve n tipi termoelemanlar elektriksel olarak seri, ısıl olarak paralel şekilde seramikler arasına bağlanmaktadır. Akımın yönüne bağlı olarak ısıtma ve soğutma elde edilebilir. Şekil 2.1’den de görüleceği gibi soğutma durumunda, doğru akım “n” tipi yarı iletkeninden “p” tipine geçmektedir. Akım, düşük enerji seviyesindeki “p” tipi yarı iletken malzemeden yüksek enerji seviyesine geçtiğinde soğutulacak ortamdaki ısıyı çekerek soğutma meydana getirmektedir. Soğuk ortamdaki çekilen bu ısı, yüksek sıcaklıktaki ortama elektronlar vasıtasıyla transfer edilir. Böylelikle ısı, bir ortamdaki çekildiği gibi başka bir ortama da terk edilmektedir. Dolayısıyla termoelektrik modül ısı pompası vazifesi göstermektedir [9].



Şekil 2.1. Termoelektrik modül kesit görünümü [9].

Dai Y. J., Wang R. Z, Ni L., 2003’te güneş pili kullanılarak yapılan termoelektrik soğutmanın deneysel araştırmasını ve bu araştırma ile ilgili analizini yapmıştır. Taşınabilir buzdolabını gece ve gündüz kullanımına uygun olarak farklı modlarda çalıştırmıştır. Buzdolabını gündüz çalıştırmak için güneş ışınımından faydalanılmıştır. Gece kullanımında, bulutlu ve yağmurlu günlerde ise elektrik enerjisini doğrultucu ve aküden elde etmiştir. Deney sonucunda, buzdolabı sıcaklığı

5 – 10 °C, COP değeri yaklaşık 0,3 olarak elde edilmiştir. Bu sistemin, güç kaynağı bulunmayan uygulamalarda, aşı, gıda, içecek ve soğuk depolama için kullanılabilir olduğunu ispatlamıştır [10].

2011’de, 25 × 25 × 35 cm³ boyutlarında, 4 × 4 cm² termoelektrik modül kullanılarak bir soğutma sistemi tasarlayan Jugsujinda S., Vora-ud A., ve Seetawan T., bu amaçla sistemde 40W’lık fan kullanmıştır. Termoelektrik Buzdolabı soğutma sistemini kontrol etmek için 10 noktadan ölçüm yaparak; sıcaklık, zaman ve COP değerlerini incelemiştir [11].

Termoelektrik soğutma prensibi ile çalışan cihazın performansını arttırmak amacıyla, siyah yünle kaplı duvardan oluşan güneş panelli bir sistem kurulmuş ve sistemin duvarları pleksiglass ile kaplanmıştır. Ölçümler, İran’ın iklim koşullarında 9 gün boyunca yapılmıştır. Deneysel sonuçunda, performansı ortam sıcaklığı ve güneş ışınımının direkt olarak etkilediği gözlemlenmiştir. Yaz ve kış sonuçları karşılaştırılarak sistemin verimliliği kıyaslanmıştır [12].

Bir başka çalışmada Sabah A., Abdul-Wahab ve diğerleri, güneş enerjisi ile çalışan taşınabilir termoelektrik soğutma sistemini deneysel olarak incelenmiştir. Sistem, elektriğin olmadığı Umman bölgesinde peltier etkisinden yararlanarak tasarlanmıştır. Sistemde karşılıklı iki yanal yüzeye beşer tane olmak üzere 10 adet termoelektrik modül, 64 tek kristal silisyum güneş hücresi ve sıcaklıkları belirlemek için termokupl kullanmıştır. Yapılan deneylerde, soğutma sıcaklığının 44 dakikada 27°C’den 5 °C ‘ye düştüğünü ve COP değerini de 0.16 olarak hesaplamışlardır [13].

Atik ve Çakır, tarafından elektrik enerjisinin bulunmadığı yerlerde soğutma yapabilmek için elektrik enerjisi ihtiyacını güneş pilinden alan termoelektrik soğutucu imal edilmiş, dış ölçüleri 29x29x29 cm ebatlarında olan kabinin ısı kazancını karşılayan termoelektrik modül ve bu termoelektrik modülün elektrik enerjisi ihtiyacını sağlayabilen fotovoltaiik sistem (güneş pili) seçimi yapılmış, yapılan sistem farklı dış şartlarda deneysel olarak çalıştırılmış, rejim haline gelmesi gözlemlenmiş, yapılan deneylerde; 17,80 °C dış sıcaklık ve 775 W/m² ışınım şiddetinde kabin içi sıcaklık 4,90 °C ye kadar düştüğü gözlemlenmiş, termoelektrik

soğutucu için STK 0,90 ve güneş pilinin verimi ise %10 dolaylarında olduğu söylenmektedir [5].

Sungur, sıcak iklim şartlarında, elektrik enerjisinin olmadığı yerlerde kullanılmak üzere prototip, güneş pilleri ile beslenen $48 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ hacminde maksimum. 18 W gücünde bir termoelektrik soğutucu tasarlamıştır. Tasarlanan bu sistemde, kontrol devresi ve termoelektrik soğutucudan oluşmakta, gerekli olan enerjiyi elde etmek için fotovoltaik (PV) panel ve panelden yeterli enerji alınmadığı zamanlarda yedekleme için batarya kullanılmıştır. 25 °C ortam sıcaklığında, soğutma iç sıcaklığı 5 °C - 10 °C arasında ayarlanıp bu şartlardaki maliyet, verim ve ekonomi açısından performans testleri yapılmış, testlerin sonucunda termoelektrik soğutucunun COP değeri 0,3 ila 0,6 arasında bulunduğu belirtilmiştir [14].

Yılmaz, tarafından 3,5 litre iç hacme sahip bir soğutucu haznesini TEC1–12706 termoelektrik modül ile soğutulmuş, termoelektrik modülün sıcak yüzeyinden ısının atılmasında hava ve su soğutmalı olmak üzere farklı iki yöntem uygulamış, her iki yöntemde de modüle farklı gerilim değerleri uygulanarak ortam, soğutucu iç sıcaklıkları ve modülün çektiği akım değerleri ölçülmüş, sonuçlardan sistemlerin verimleri hesaplanarak mukayese edilmiş, 8 V gerilim uygulamasında, hava ile soğutmada, soğutucu iç sıcaklığı 6 °C, su ceketli soğutmada 1 °C, sistem verimleri sırasıyla %36 ve %30 olarak belirlenmiş, 12 V gerilim uygulamasında ise soğutucu iç sıcaklıkları, 3,6 °C ve –1.5 °C ve verimleri de %31 ve %21 olarak bulunduğu belirtilmiştir [15].

Bulut ise yaptığı çalışmasında termoelektrik soğutma teorisi, uygulama alanları, tasarım ve seçiminde etkili olan elektriksel ve ısıl parametreler hakkında bilgi vermiştir. Sonuç olarak termoelektrik cihazlar güç üretimi ve soğutma uygulamalarında kullanılmaktadır. Termoelektrik soğutucular askeri ve uzay çalışmalarında, hassas ölçüm aletlerinde, tıbbi, endüstriyel ve ticari cihazlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Büyük soğutma yüklerinde kullanılmamaları, düşük COP değerleri ve göreceli yüksek maliyetleri temel dezavantajları olmaktadır. Ancak, yakın gelecekte, evsel uygulamalar için ısı pompası ve iklimlendirme amaçlı TE soğutma sistemlerinin pazarda rekabete gireceği tahmin edilmektedir [9].

Atik, tarafından termoelektrik (TE) soğutucu tasarımının enerji ve ekonomik yönden analizi yapılmış, tasarlanan sistem eşit sıcaklık farkı altında eşit soğutma gücünü sağlamakta olduğu, 7 farklı tipte TE modül kullanılan çalışmada modül sayıları dolayısıyla modüllerin çalışma şartları değiştirilmiş olduğu, bütün çalışma durumlarında birim soğutma gücü için yatırım, enerji ve toplam maliyet değerleri hesaplanarak karşılaştırılmış, Termoeconomik olarak en uygun (optimum) çalışma şartı her modül tipi ile değişmekle beraber, maksimum gücün elde edildiği maksimum akım değeri ile optimum akım değerleri arasında bir değere denk geldiği tespit edilmektedir. Termodinamik optimum nokta ile termoeconomik optimum noktanın farklı olduğu ifade edilmektedir [16].

Chung ve diğerleri, yaptıkları projede alan emisyonu geliştirilmiş termoelektrik tipli soğutucu tasarlamış ve teorik olarak analizini yapmıştır. Soğuk kaynaktan sıcak kaynağa “n” ve “p” tipi taşıyıcılarla enerji taşınımını sağlamak için elektriksel alan ve ayarlanmış akım kullanan termoelektrik soğutucu cihazı tasarlamışlardır. Bu cihaz standart “n” ve “p” kanallı katı hal termoelektrik soğutucuları ile iki elemanlı alan emisyon cihazının katı hal ısısal iletimini ortadan kaldırmak için her iki kanalın içine yerleştirilmesi ile imal edilmiştir. Sonuç olarak bu cihaz bir soğutucu için kompakt, güvenilirlik, uzun ömür, düşük maliyet, düşük güç tüketimi ve düşük bakım maliyeti gerekliliklerini tatmin ettiği anlaşılmıştır [17].

Ahiska, termoelektrik modüllerin tüm çıkış parametrelerini araştırabilmek için yeni bir yöntem gerçekleştirmiştir. Yeni yöntemin temelini çalışan bir modülün ürettiği termoemk’in ölçülmesi oluşturur. Bu yöntemi kullanarak gerçek bir termoelektrik modülün sahip olduğu tüm dinamik parametrelerinin elde edilmesi için denklemler kurmuştur. Bu yöntemle tıpta hastaların beyinlerinin soğutulması için tasarlanan termoelektrik kaskın yapımında kullanılan modülün yüksüz iken dinamik tüm parametreleri araştırılmıştır [18].

Esen ve arkadaşları, elektrik enerjisinin olmadığı yerlerde güneş enerjisi ile çalışan termoelektrik soğutma sistemi (TEC) tasarlanmıştır. TEC sistemi; besinlerin saklanması, tıbbi malzemelerin, ilaçların, aşı ve kan ünitelerinin düşük sıcaklıklarda muhafazası için kullanılmaktadır. Sistem, bir tarafı ısınırken diğer tarafı soğuyan termoelektrik modül (peltier etkisi) ilkesine bağlı olarak çalışmaktadır.

Termoelektrik modülün, sıcak ve soğuk yüzeylerine ısı transferini kolaylaştırmak için 89x68x34,5 mm boyutunda alüminyum ısı eşanjörü yerleştirilmiştir. Hızlı bir şekilde hava akımını kolaylaştırmak amacıyla, ısı eşanjörünün üzerine 12 Voltluk 7H54A-R1 model fan monte edilmiştir. Kabinin arka üst bölgesine termoelektrik modül, ısı eşanjörü ve fandan oluşan iki adet kombin monte edilmiştir. Bu sistem iki farklı soğutma fanı (hava ve sulu) kullanılarak çalıştırılmıştır. TEC sistemi, su soğutmalı fan kullanılarak sadece güç kaynağı modunda, hava soğutmalı da ise güç kaynağı, batarya, PV ve PV + batarya olmak üzere dört farklı modda çalıştırılmıştır. PV ve güç kaynağı ile olan deneysel çalışmalar, 10:00-17:00 saatleri arasında gerçekleştirilmiştir. Batarya desteği ile yapılan çalışmalar ise 18:00-01:00 saatleri arasında yapılmıştır. Hava ve su soğutmalı olarak yapılan testler sonucunda TEC sistemi performans değerleri hesaplanmıştır. COP değerleri, hava soğutmalı sistem için sırasıyla; 0,548, 0,502, 0,38, 0,43 olarak hesaplanmıştır. Su soğutmalı da ise güç kaynağı ile çalışma modunda 0,12 olarak bulmuştur [19].

X.C. Xuan, K.C. Ng ve diğerleri, elektriksel olarak seri, paralel ve ayrıık olarak bağlanmış, iki katlı TE soğutucuları üç farklı maksimum sıcaklık farkına göre analiz etmişlerdir. Analizler, tüm iki katlı TE soğutucular için önemli olan bir r oranına göre yapılmıştır. r oranı TE modül katları arasındaki termokupl sayılarının oranını belirtmektedir. Maksimum sıcaklık farkı ilk ve son yapılandırma tek katlı TE soğutucuda daha yüksek olduğundan kriyojenik uygulamalarda TE soğutucu olarak teşvik edilebilir. r sonsuza yaklaştığında maksimum sıcaklık farkını sınırlayıcı kapalı formüller bulmuşlardır. Burada iki katlı TE soğutucuların polar karakteristikleri alternatif elektrik akımları verilerek tartışılmıştır [20].

Yu ve Wang çalışmasında TEC modülünün maksimum performans katsayısı (COP) arttırmak için termoelektrik soğutma (TEC) modülü imalatına dair bir yaklaşım sunmuştur. Yeni bir özellik olarak TEC modüllerin ısı pompası şeklinde soğuk tarafından sıcak tarafına doğru bir akış sağlanmıştır. TEC modülün alt ve üst kademeleri seri ve paralel olarak piramit stil oluşturacak şekilde bağlanmıştır. Bu bağlantı şekillerine göre TEC modülün bir matematiksel modeli ve performans değerleri için simülasyon oluşturulmuştur. Simülasyon sonuçları en yüksek COP

değerlerinin TEC modüllerin kaskat olarak bağlandığında elde edilebileceğini göstermektedir [21].

X.C. Xuan, K.C. Ng makalelerinde, iki pratik tasarım biçimi düzenlenmiş iki kademeli TE soğutucuların optimizasyon ve optimizasyon yöntemleri ile diğer çok katlı tasarımlar yapmışlardır. İlk olarak piramit stil çok katlı TE soğutucu için elektrik akımı tek yönlü sağlanmış birimin üst kısmının soğuması sağlanmıştır. İkinci dizayn şekli olarak da kübik stil çok katlı TE soğutucu alternatif elektrik akım ile üst ve alt katları ısıtma ve soğutma modunda kullanılmıştır. Optimizasyon çift katlı TE modüllerin her ikisi içinde en iyi performans katsayısı (COP) ve en yüksek soğutma kapasitesi belirlenmiştir. TE soğutucunun tasarımında ilk aşamada TE modüllerin sayının optimum oranını belirlemeye yönelikse de modüllerin toplam sayısı sabit tutulduğu zaman ikinci tasarım şekli olan elektrik akımı optimum oranı çözmektedir. İki katlı TE soğutucuların optimum tasarım parametreleri verilen koşullara göre karşılaştırılmıştır. Sonuçta pratik amaçlar için TE modüllerin özellikleri tamamı ile TE modülün materyal özelliklerine dayanmaktadır [22].

Lingen Chen, Jun Li ve arkadaşları, iki katlı bir termoelektrik yarı iletken ısı pompası ile dış ısı transferi davranış modeli geliştirmiştir. Isı pompasının performansı Newton'nun ısı transferi kanunu varsayılarak sonlu zaman termodinamiği ve denge dışı termodinamiği kombinasyonu kullanılarak analiz edilmiştir. Analitik formüller açıklanarak elektrik - çalışma akımına karşı ısıtma yükü ve elektrik - çalışma akımına karşı performans katsayısı (COP) türetilmiştir. Termoelektrik elementlerin toplam sayısı sabitlendiğinde termoelektrik elementlerin üst katmanının termoelektrik element sayısı oranı ile termoelektrik elemanların ısıtma yükü ve ısı pompasının COP değeri maksimize etmek için optimize edilmiştir. Tasarım faktörlerinin etkilerinin performans üzerindeki etkileri analiz edilmiştir [23].

Yi-Hsiang Cheng ve Chunkuan Shih bu çalışmalarında performans katsayısı (COP) için iki katlı termoelektrik soğutucu ve soğutma kapasitesini maksimize etmek için genetik algoritmayı (GA) temel alan bir yöntem sunmuştur. Art arda düzenlenmiş iki katlı TE modül üzerinde odaklanarak uygulamalı elektrik akımı ve her aşamada termokupl çifti sayısı gibi parametreler optimize edilmiştir. Yeni matematiksel

modelleme, sıcaklığa bağı malzeme özellikleri ile başa çıkmak ve iletişim için termal dirençlerin yayılma etkileri dahil etmek için önerilmiştir. GA ile elde edilen en uygun parametreler öncelikle analitik yöntemleri elde edilen veriler ile karşılaştırılarak doğrulanmıştır. Doğrulamadan sonra istenilen sıcaklık farkı 90 °C için optimum parametreleri oluşturmak için optimizasyon gerçekleştirilmiştir. Termal dirençleri, soğutma kapasitesi ve iki aşamalı TE modüllerin etkileri de dahil olmak üzere biraz parametreleri ayarlama yoluyla geliştirildi. GA hesaplamada arama boyunca işlemleri hızlı bir şekilde yakınsatan ve uygun parametreler olmadan tespit edilmiştir [24].

Xiao-Dong Wang, Qiu-Hong Wang ve Jin-Liang Xu, ilk defa iki aşamalı TE modüllerin elektriksel olarak sırasıyla seri, paralel ve ayırık bağı üç çeşit performansını optimize etmek için üç boyutlu multi-fizik modelini kullanmıştır. En iyi duruma gelmeleri için iki katlı TE modül 30 termoelektrik eleman ile yapılmıştır. En uygun soğutma kapasitesi, COP ve maksimum sıcaklık farkına ulaşmak için sayı oranı ve akım oranı değerleri aranmaktadır. Bir işaretli üç boyutlu ısı dağılımı için numara oranı 1,00 daha büyük veya daha küçük olan iki katlı TE modül görülmektedir. Ayrıca sıcaklığa bağı malzeme özellikleri iki katlı TE modüllerin performansını tahmin etmek için son derece önemli olduğu kanıtlanmıştır. Sabit malzeme özellikleri ve bir boyutlu ısı dağılımı varsayıldığında, termal direnci modelleri önceki iki katlı TE modül çalışmalarında yaygın olarak kabul edilen TE modül performans değerlerini doğru bir şekilde tahmin edemez. Sonuçlar termoelektrik öge sayısı sıcak ve soğuk taraf soğutma kapasitesi ve COP geliştirmek için yüzey alanı üzerinde daha büyük olmalıdır ve optimal sayı oranı 1,73 ile 2,33 dizi yapılandırması için ilgili olduğu tespit edilmiştir. Sıcak tarafa daha yüksek akım sağlanarak performansı daha da geliştirilebilir ve optimal akım oranı 1,00 ile 2,00 arasında değişmektedir [25].

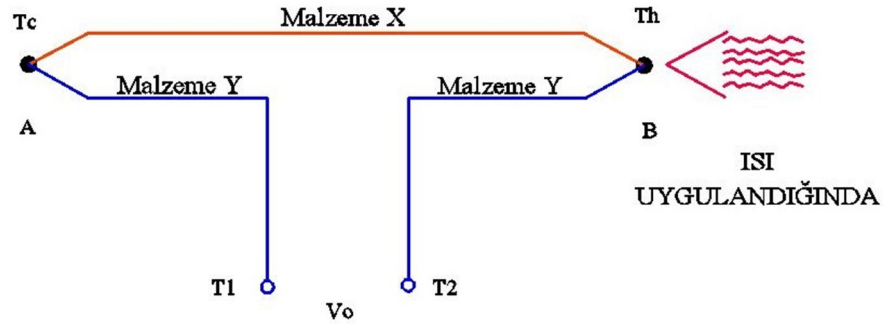
Bu çalışmada yukarıda bahsi geçen çalışmalar ışığında araç tipi bir buzdolabı kabininin tek katlı termoelektrik modül ve ardışık katlı seri, paralel, ayırık bağı termoelektrik modül sistemi ile hem güneş pilleri hem de laboratuvar şartlarında güç kaynağı kullanılarak soğutulması sonucunda oluşturulan sistemlerin verimlilik katsayısı (COP) değerlerinin tespiti ve karşılaştırması yapılmaktadır.

BÖLÜM 3

TERMOELEKTRİK SOĞUTMA VE UYGULAMALARI

3.1. TERMOELEKTRİĞİN TARİHÇESİ

Termoelektrik etki ilk olarak 1821 yılında Alman fizikçi Thomas Seebeck tarafından keşfedilmiştir. Seebeck, iki farklı metal iletkenin bir devrede, iletkenlerin birleşme noktaları farklı sıcaklıklarda tutulduğu zaman belirli bir gerilim oluştuğunu gözlemlemiştir. Gerilimin yönü, ısı akışının yönüne bağlıdır; yani hangi noktanın daha sıcak olduğuna göre değişmektedir (Şekil 3.1). Seebeck kendi gözlemlerine bilimsel bir açıklama getirememiştir ama onun bu deneyi, bugün yaygın olarak kullanılan termoelektrik çiftlerinin doğuşuna altyapı hazırlamıştır [27,28].



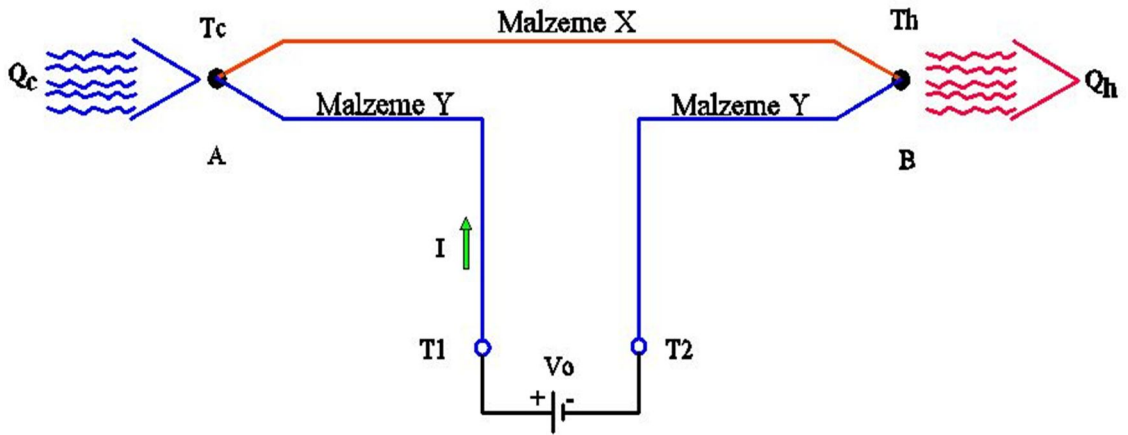
Şekil 3.1. Seebeck deneyi ve termoelektrik çifti [28].

Seebeck deneyinde X ve Y malzemeleri, A ve B noktalarından birleştirilir. A noktası referans sıcaklıkta iken (genellikle oda sıcaklığı) B noktasına yüksek sıcaklık uygulanır. Bunun sonucunda Eşitlik 3.1’de ifade edildiği gibi T₁ ve T₂ terminali arasında, sıcaklık farkı ile orantılı bir gerilim oluşur [28].

$$V = \alpha \Delta T \quad (3.1)$$

“ α ”, malzemeye bağımlı bir katsayı olup birimi V/K'dir. Termal verimi oldukça düşük olan termoelektrik çiftlerin çıkış gerilimleri de genellikle mV seviyesinde kalmaktadır [28].

Benzer bir deney, 13 yıl sonra Fransa'da saatçilik yapan ve boş zamanlarında fizik ile uğraşan Jean Peltier tarafından gerçekleştirilmiştir. Seebeck'in deneyini tersinden uygulayan Peltier, iki farklı metali birleştirerek elektrik akımı uygulamış ve bu birleşme noktasında metallere birinin ısındığını, diğerinin ise soğuduğunu gözlemlemiştir (Şekil 3.2). Isının akış yönü, elektrik akımının yönüne bağlı olup, gerilim ters çevrildiğinde, evvelce ısınan metal bu sefer soğumakta ve soğuyan metal de ısınmaktadır [28]. Termoelektrik etkinin (aynen elektromanyetik etki gibi) çift yönlü olduğunu ortaya koyan Peltier deneyi termoelektrik soğutuculara (TEC) beşiklik yapmıştır [28].



Şekil 3.2. Peltier deneyi ve termoelektrik soğutucu [32].

Peltier deneyinde X ve Y malzemeleri, yine A ve B noktalarından birleştirilir. “ T_1 ” ve “ T_2 ” terminali arasında “ V_0 ” gerilimi uygulandığında akan “ I ” akımı, “ Q_c ” miktarındaki bir ısının A noktasından alınarak B noktasına verilmesine neden olur. Aktarılan ısı Eşitlik 3.2’de şu formülle hesaplanır [27,28].

$$Q_c = \Pi I \quad (3.2)$$

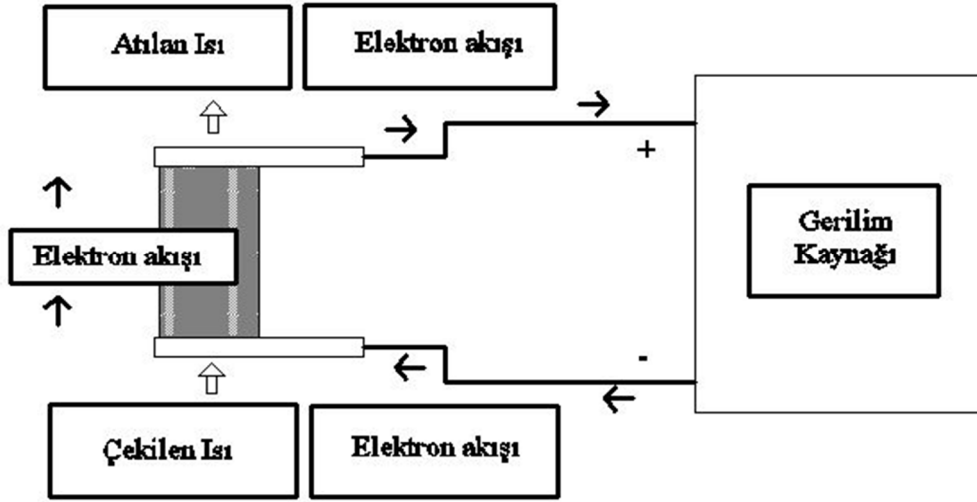
$$\Pi = \alpha T \quad (3.3)$$

“T”, malzemenin cinsi, modülün geometrisi ve sıcaklığa bağımlı bir çarpan olup birimi V’tur. “I”, devreden geçen akımı, “T” mutlak sıcaklığı ifade etmektedir. Günümüz teknolojisi ile 1~100 W ısı aktarma gücüne sahip modüller üretilmektedir [28].

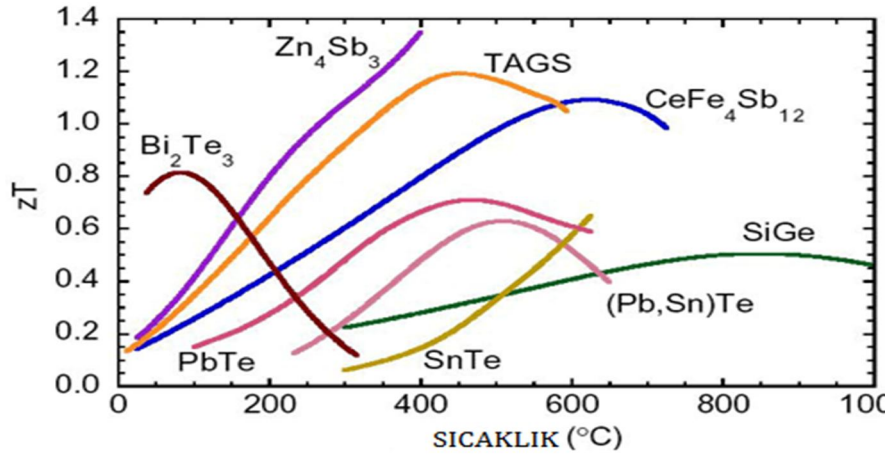
20 yıl kadar sonra William Thomson (Lord Kelvin olarak da bilinir) Seebeck ve Peltier’in buluşlarını birleştirerek teorik dayanaklarını açıklamıştır. Ancak termoelektrik alanında pratiğe yönelik uğraşlar ilk olarak 1930’larda Rus bilimciler tarafından başlatılmıştır. Termoelektrik modüllerin piyasaya çıkması ise 1960’ları bulmuştur [27,28].

3.2. TERMOELEKTRİK MODÜL TEKNOLOJİSİ

Tüm termoelektrik soğutma sistemlerinin temel yapı taşı, bir DC gerilim kaynağından beslenen termoelektrik elemandır. Bu eleman, yüksek katkılı bir yarı-iletken malzemenin, sıcak ve soğuk yüzeyleri oluşturan iki plaka arasına preslenmesinden meydana gelir (Şekil 3.3). Yarı-iletken malzeme olarak en çok bizmut-tellürit (Bi_2Te_3) kullanılmakla birlikte, bazı özel uygulamalarda kurşun-tellürit (PbTe), silisyum-germanyum (SiGe) ya da bizmut-antimon (Bi-Sb) alaşımlarından da faydalanılmaktadır. Bizmut-tellürit, yüksek termoelektrik verimi ve uygun sıcaklık aralığı nedeniyle tercih edilmektedir. Şekil 3.4’te yarı-iletken malzemelerin sıcaklığa göre verimlerini ifade eden zT katsayısını gösteren bir grafik görülmektedir [27]. n-katkılı malzemenin özelliği çok miktarda serbest elektronlar içermesidir. Bu elektronlar uygulanan gerilimin etkisiyle bir plakadan diğerine akarken, plakanın ısını da beraberlerinde taşırlar. Bu nedenle ısı akımı, elektron akımıyla aynı yöndedir [26].

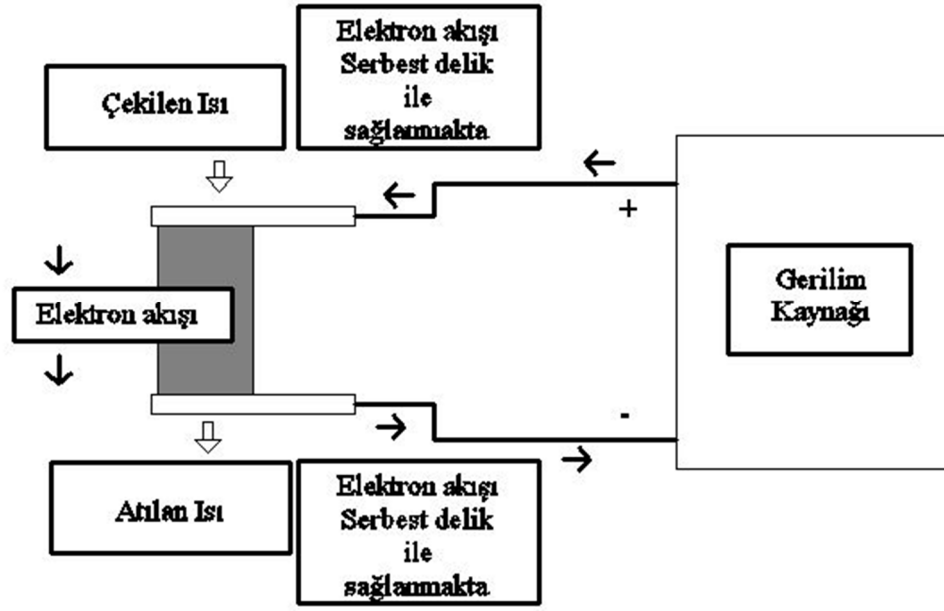


Şekil 3.3. n-tipi termoelektrik eleman [28].



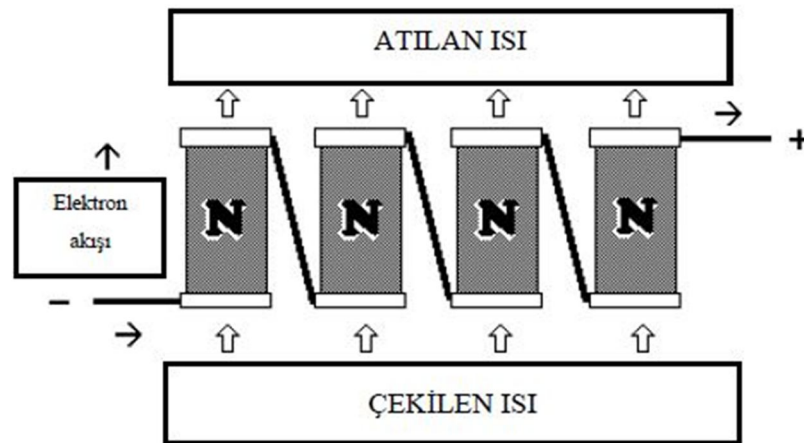
Şekil 3.4. Farklı yarı-iletken malzemelerin sıcaklığa bağlı verimleri [28].

p-katkılı malzemeyle üretilen elemanlarda ise elektrik akımı serbest “delikler” tarafından taşınmaktadır (Şekil 3.5). Isı akımı da “delik” hareketiyle aynı yönde gerçekleşmektedir. Dikkat edilecek olursa, aynı yönde uygulanan gerilim altında p ve n katkılı malzemeler ısıyı zıt yönde iletmektedir [28].

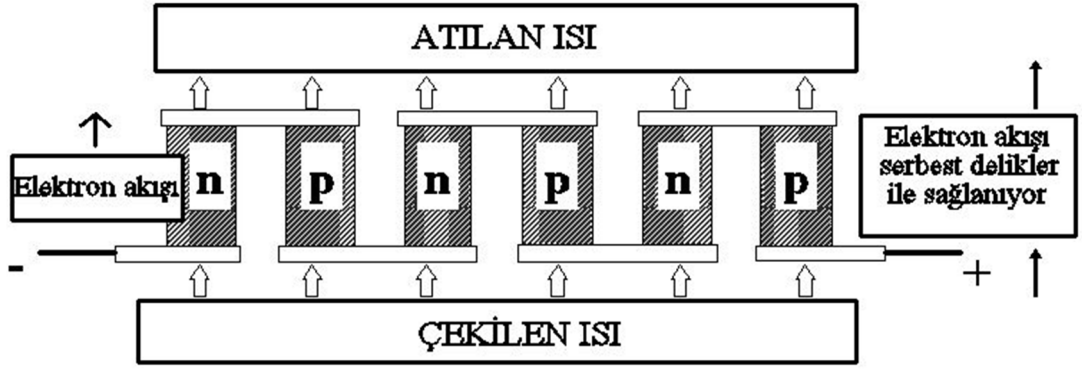


Şekil 3.5. p-tipi termoelektrik elemanın şematik görünümü [28].

Şekil 3.6’da termoelektrik elemanların bir araya getirilmesi ile termoelektrik modüller elde edilir. Elemanlar, ısı akımını hep aynı yönde kalacak şekilde birbirlerine seri olarak bağlanır. Aynı tip katkı malzemenin kullanılması bağlantı zorluğuna neden olacağı için, n-tipi ve p-tipi katkı malzemeler ardışık olarak kullanılır. Bu durumda elektrik akış yönü zikzak çizerken, ısı akış yönü değişmemektedir (Şekil 3.7) [28].

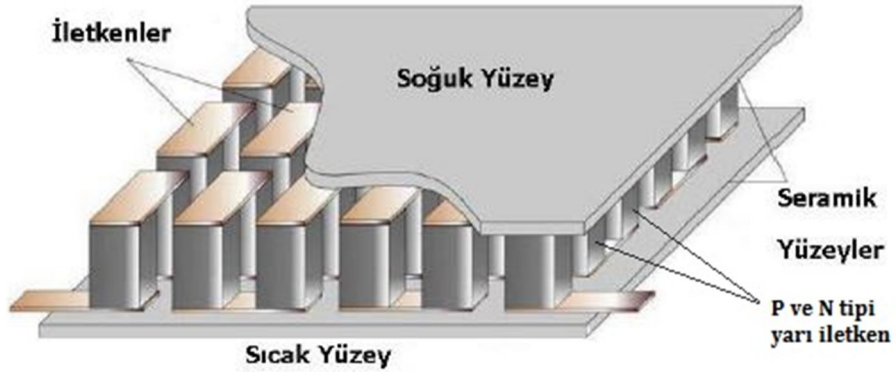


Şekil 3.6. Yalnız n-tipi termoelektrik elemandan oluşan sıra [28].



Şekil 3.7. n-tipi ve p-tipi termoelektrik elemanların ardışık dizilişiyile oluşan sıra [28].

17 elemanlı bir modül, Şekil 3.8’de görülmektedir. Elemanlar ısıl olarak paralel bağlandıklarından bir modülün soğutma gücü, her bir elemanın soğutma gücünün toplamı olacaktır. Yanal plaka olarak metal kaplı seramik kullanılması, hem ısıl iletkenliği ve elektriksel izolasyonu, hem de montaj için gerekli yüksek mekanik mukavemeti sağlamaktadır [28].



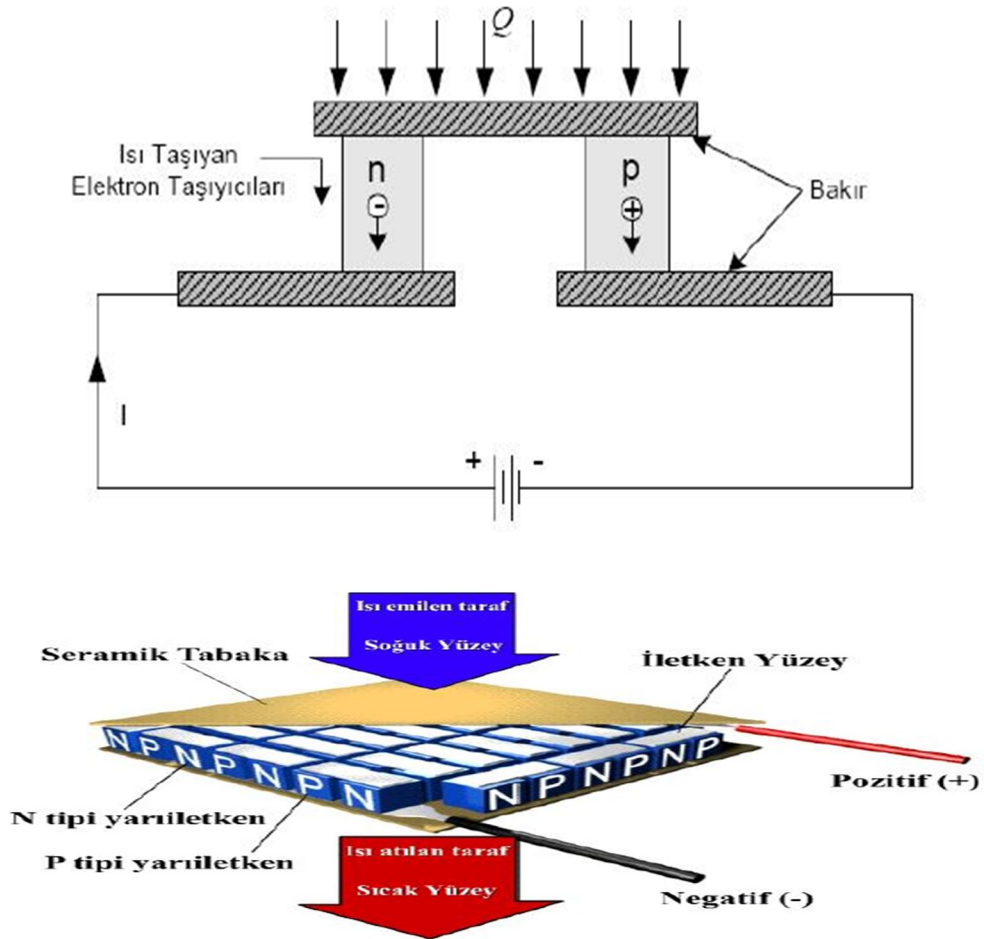
Şekil 3.8. Bir termoelektrik modülün içyapısı [28].

Modülün çalışması esnasında sıcak yüzey genişip soğuk yüzey büzüldüğünden, modül üzerinde termal kökenli bir mekanik gerilim meydana gelmektedir. Kırılgan yapıya sahip yarı-iletken malzemeye zarar verebilecek bu gerilim, modül boyutlarıyla doğru orantılı olduğundan, çok büyük modüllerde bozulma oranı oldukça yüksek çıkmaktadır. Bu sebeple pratikte modül boyutu yaklaşık 50x50 mm. ile sınırlı tutulmaktadır. Bu ebatta bir modül, yüzden fazla eleman içerebilmekte ve 100 W gücünde soğutma yapabilmektedir. Daha büyük soğutma gücüne ihtiyaç

duyulduğunda birden fazla modül, ısıl açıdan birbirine paralel bağlanmaktadır. Çalışma ömrü 200.000 saate (>20 yıl) kadar çıkabilen termoelektrik modüllerin soğutma performansı 3~6 W/cm² olup, yüzeyleri arasında 70 °C'e varan sıcaklık farkı oluşabilmektedir [28].

3.3 TERMOELEKTRİK ELEMAN ÇALIŞMA PRENSİBİ

Bir termoelektrik modül termoelementlerin elektriksel olarak seri ve termal olarak paralel bağlanmasından oluşur. Bir termoelektrik modülün iç yapısı Şekil 3.9'da gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Termoelementin yapısı [28].

Termoelement "n" ve "p" tipi yarıiletkenlerin bir bakır iletken ile elektriksel olarak seri bağlanmasıyla oluşur. Buradaki "n" tipi yarıiletken termoelementin negatif, "p"

tipi ise termoelementin pozitif kollarını tanımlamaktadır. Bir termoelementin çalışma prensibini ele alacak olursak; termoelemente DC bir gerilim uygulandığında, yük taşıyıcıları, enerji seviyesi düşük olan üstteki bakırdan yarıiletkenlere geçeceklerdir. Bakır ile yarıiletken arasında mevcut olan enerji duvarını aşmak için elektron ve delikler bakırın örgüsünden enerji sağlayacaktır. Böylece üstteki bakırın sıcaklığı düşecektir. Altta bakırda ise yüksek enerji seviyesinden düşük enerji seviyesine geçen yük taşıyıcıları sahip oldukları fazla enerjiyi alttaki iletkenlere aktararak ısınmasına neden olacaktır. Bu geçiş sırasında soğuyan yüzeyden ısı emilirken soğuk yüzeyin sıcaklığı düşecek, ısının pompalandığı sıcak yüzeyin sıcaklığı ise artacaktır. Devreye uygulanan akımın yönü değiştirildiğinde ise pompalanan ısının akış yönü de değişecektir ve soğuyan yüzey ısınırken ısınan yüzey de soğuyacaktır.

3.3.1. Termoelektrik Etkiler

Bütün bu olayların meydana getiren aslında, iki farklı metalden oluşan kapalı bir devrede birleşme noktaları farklı sıcaklıklarda bulunursa, bu yüzeyler arasında Jeul etkisi, Feuer etkisi, Peltier etkisi ve Seebeck etkisi oluşur (Rıfat vd. 2004).

3.3.1.1. Joule Etkisi

James Prescott Joule'un elektrik enerjisinin ısı enerjisine dönüşümünü ifade eden ve kendi adı ile isimlendirilen etkiye göre, akım taşıyan bir iletken, direnci ve içinden geçen akımın karesiyle orantılı olarak ısısını artırır. Bir başka deyişle, devreden geçen akım sonucu ortaya çıkan ısı enerjisidir. Bu etki her iki yüzeye eşit olarak (yarı yarıya) paylaşılmaktadır. Akım (dolayısıyla gerilim) değeriyle parabolik olarak artmaktadır.

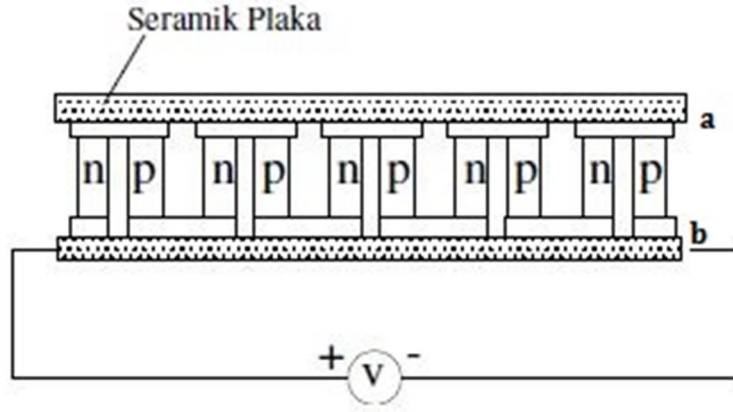
Bir elektrik devresinde birim zamanda ortaya çıkan, Joule etkisi kaynaklı ısı miktarı;

$$Q_c = I^2 \cdot R \quad (3.4)$$

ile ifade edilir. Burada, devreden geçen "Q_j" akımının etkisi ile ortaya çıkan toplam, Joule etkisi kaynaklı ısı yükünü, "I" devreden geçen akım miktarını, "R" ise devrenin elektrik akımına gösterdiği toplam direnç miktarını ifade etmektedir [24].

3.3.1.2. Seebeck Etkisi

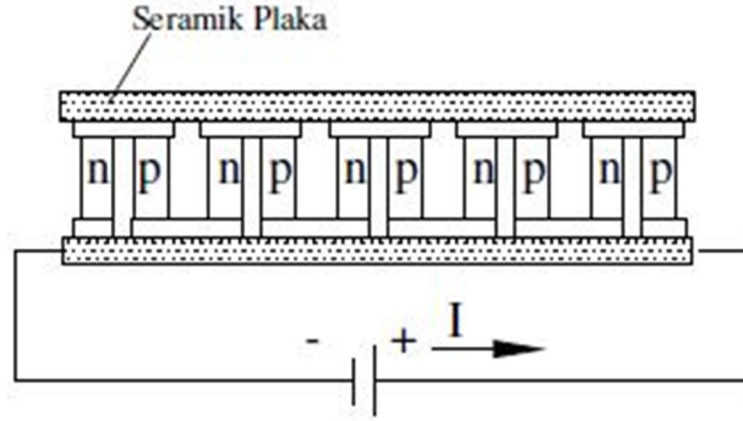
Alman fizikçi Thomas J. Seebeck 1820’de, farklı metallere yapılmış iki tel parçasının uçlarının birleştirilerek bir kapalı devre meydana getirildiğinde ve metallere birleşim noktaları arasında bir sıcaklık farkı oluşturulduğunda, iletken uçlarında sıcaklık farkıyla doğru orantılı bir gerilim meydana geldiğini bulmuştur. Böyle bir devre “termokupl” olarak adlandırılır. Şekil 3.10’da gösterildiği üzere a ve b gibi farklı maddelerden oluşan ve temas uçları arasında sıcaklık farkı ($\Delta T = T_2 - T_1$) getirildiğinde bu uçlar arasında potansiyel farkı (ΔV) meydana gelir. Matematiksel olarak ifadesi Eşitlik 3.1’de verilmiştir [28].



Şekil 3.10. Seebeck devresi [30].

3.3.1.3. Peltier Etkisi

1834’de Fransız fizikçi Jean C. A. Peltier (1785–1845), Seebeck etkisinin tersi bir durum keşfetti. Eğer termokupl içerisinde bir akım geçerse, Joule ısısı ile birlikte bir eklem noktasından ötekisine ısı transferi sağlayacak şekilde bir ucun sıcaklığı düşerken ötekisinin sıcaklığı yükselir. Joule ısısından farklı olarak ortaya çıkan bu ısıya Peltier ısısı denir. Açığa çıkan ısı miktarı, uygulanan akım şiddetiyle orantılıdır ve yönü akım yönünün değiştirilmesi ile değişir. Peltier olayını açıklayan devre Şekil 3.11’de gösterilmiştir. Birim zamanda üretilen Peltier ısısı (Watt olarak); Eşitlik 3.2 ve 3.3’te ifade edildiği gibidir [28].



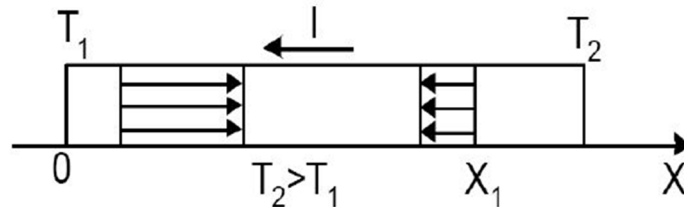
Şekil 3.11. Peltier Etkisi [30].

3.3.1.4 Thomson Etkisi

İskoç bilim adamı William Thomson (daha sonraları Lord Kelvin olarak anılacaktır), 1856'da termoemk ile Peltier katsayısı arasındaki bağıntıyı kaydetmiştir. Bir diğer ifadeyle Seebeck ve Peltier etkileri arasındaki ilişkiyi ifade eder. Bunu matematiksel olarak Eşitlik 3.5'te görmekteyiz. Böylece devrede oluşan ısı hem elektrik akımına hem de sıcaklık farkına bağlıdır.

$$\alpha = \Pi / T \quad (3.5)$$

Buna ek olarak kendi ismini taşıyacak olan yeni bir olayın hipotezini ortaya atmıştır. Bu olay 1867'de Leru tarafından deneysel olarak kanıtlanmıştır. Thomson olayı şöyle açıklanabilir. Şekil 3.12'de görüldüğü gibi, akım taşıyan bir iletkenin herhangi iki noktası arasında bir sıcaklık farkı varsa akım yönüne göre iletken Joule ısısına ek olarak Thomson ısısı (Q_t) açığa çıkmaktadır [29].



Şekil 3.12. Thomson olayını açıklayan devre [29].

Birim zamanda ortaya çıkan Thomson ısısı, akım şiddeti “I” ve sıcaklık farkı “ΔT” ile doğru orantılıdır. Bunlar Eşitlik 3.6 ve 3.7’de ifade edilmektedir.

$$Q_t = I.\alpha.\Delta T \quad (3.6)$$

$$\Delta T = T_2 - T_1 \quad (3.7)$$

İki farklı metalden oluşan bir devre için Thomson termoemk’ları arasındaki ilişki Eşitlik 3.8’e göre;

$$\alpha_t = (\alpha_{ta} - \alpha_{tb}).(T_2 - T_1) / T_2 \quad (3.8)$$

şeklinde verilmiştir. Buradaki “α_t” Thomson olayında meydana gelen termoemk’dır. Formüldeki “α_{at}” ve “α_{bt}” sayıları farklı malzemelerden oluşan devreyi ifade etmek için kullanılmaktadır [29].

3.3.1.5. Feuer Etkisi

Feuer etkisi; ise iki yüzey arasındaki sıcaklık farkından dolayı iletimle olan ısı geçişini ifade eder. Yüzeyler arası sıcaklık farkı arttıkça bu değer de artmaktadır.

$$Q = k.A.\Delta T \quad (3.9)$$

“k” ısı iletim katsayısı (W/mK), “A” kesit alanı (m²), “ΔT” sıcaklık farkını ifade etmektedir [31].

Bütün bu etkiler bir arada yazılırsa; N adet çiftten oluşan bir termoelektrik jeneratörde soğuk yüzeyden emilen ısı miktarı Eşitlik 3.10’daki gibidir.

$$Q_c = 2.N.(\alpha.T_c.I - I^2.\rho / 2.G - k.\Delta T.G) \quad (3.10)$$

Sıcak yüzeyden atılan ısı miktarı Eşitlik 3.11’te;

$$Q_h = 2.N.(\alpha.T_c.I + I^2.\rho / 2.G - k.\Delta T.G) \quad (3.11)$$

Eşitliklerde; “N” termoelektrik çift sayısı, “α” Seebeck katsayısı (V/K), “T_c” soğuk yüzey sıcaklığı (K), “T_h” sıcak yüzey sıcaklığı (K), “G”, şekil faktörü (Alan/Uzunluk, cm), “ρ” elektriksel direnci (Ω cm) göstermektedir.

TE modül gerilim, akım, optimum akım ve optimum performans katsayısı sırasıyla Eşitlik 3.12, 3.13, 3.14 ve 3.15’te verilmiştir.

Termoelektrik modüle uygulanan gerilim:

$$V = 2.N.(I.\rho / G + \alpha.\Delta T) \quad (3.12)$$

şeklinde yazılır. Gerilim formülünden elde edilen akım ise;

$$I = (V / 2.N - \alpha.\Delta T).G / \rho \quad (3.13)$$

Optimum verimin elde edildiği akım değeri;

$$I_{opt} = k.\Delta T.G.(1 + \sqrt{1 + Z.t}) / (\alpha.t) \quad (3.14)$$

Termoelektrik modülün optimum performans katsayısı;

$$COP_{opt} = (k / \Delta T).\sqrt{1 + Z.t - 1} / \sqrt{1 + Z.t + 1} - 1 / 2 \quad (3.15)$$

“Z” parametresi, termoelektrik materyalin performansı açısından çok önemlidir. Bu durumu gösteren bir grafik Şekil 3.4’te verilmiştir. Eğer “Z” büyükse verim yüksek olacaktır. Dolayısıyla, büyük Seebeck katsayısı, düşük özdirenc ve kötü ısı iletkenliği istemektedir. “Z” parametresi materyal parametrelerine bağımlı olduğundan termoelektrik materyallerin karşılaştırılmasında kullanılmaktadır Eşitlik 3.16’da ifade edilmektedir (Ahiska vd,2004).

$$Z = \alpha^2 / k.\rho \quad (3.16)$$

Termoelektrik materyaldeki “ΔT = T_h - T_c” sıcaklık farkı ısı yük tarafından belirlendiğinden maksimum “ΔT”, “Q” = 0 şartında oluşacaktır. Buna göre;

$$\Delta T_{\max} = T_h - \left(\sqrt{1 + 2.Z.T_h} - 1 \right) / Z \quad (3.17)$$

Maksimum ΔT 'nin elde edilebileceği akımı bulabilmek için maksimum akım eşitliği elde edilecektir. Çünkü bu değerden sonra akımı arttırmanın hiçbir faydası olmadığı için joule ısı etkisinin değeri artacağı için Peltier elemanın soğurabileceği net ısı (Q) düşecektir (Melcor Comparison, 2000). Buna göre maksimum akım Eşitlik 3.18'deki gibi olacaktır;

$$I_{\max} = (k.G/\alpha) \left(\sqrt{1 + 2.Z.T_h} - 1 \right) \quad (3.18)$$

şeklinde yazılır.

Buna göre verilen soğutma gücünü sağlamak için gerekli giriş gücü (Eşitlik 3.19) ise;

$$W = I.V \quad (3.19)$$

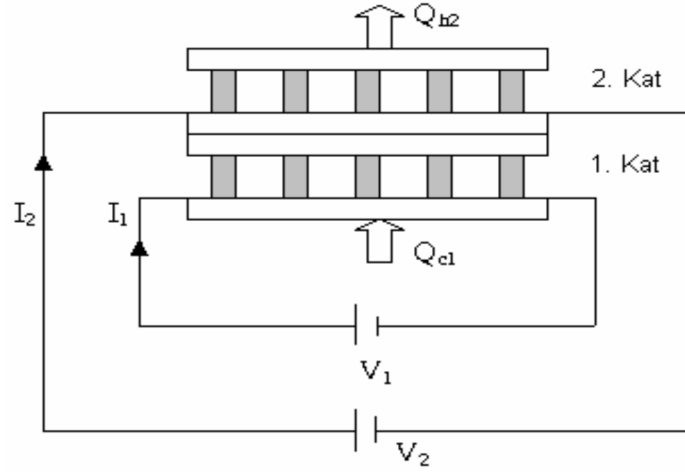
olup gerilim; elektriksel iletkendeki gerilim düşümü ile Seebeck voltajının toplamı olmaktadır. Böylece giriş ve çıkış gücü belli olduğuna göre TE elemanın verim katsayısı bir başka deyişle performans katsayısı (COP) Eşitlik 3.20'deki gibi bulunabilir;

$$COP = \frac{Q}{W} \quad (3.20)$$

olarak bulunmaktadır [31].

3.3.2. Ardışık Katlı Termoelektrik Modüllerin Çalışması

TE modüllerin ardışık (kaskat) bağlantıları Şekil 3.13'te görülmektedir. Ara yüzey için ısı toplamı yazılacak olursa 1. kattaki TE modül tarafından atılan ısı 2. kattaki TE modül tarafından alınan ısıya eşit olması gerekmektedir. TE modüllerin çalıştığı sıcaklıklar " T_h " ve " T_c ", iki modül ara yüzey sıcaklığı " T_o " olsun.



Şekil 3.13. Kaskat bağlı termoelektrik modüllerin çalışma prensibi [31].

Bir TE modülde soğuk yüzeyden emilen ısı miktarı aşağıdaki 3.21, 3.22 ve 3.23'teki eşitliklerle bulunur (Melcor, 2006):

$$Q_c = 2.N \left(\alpha.I.T_c - \frac{I_1^2 \cdot \rho}{2.G} + k.\Delta T.G \right) \quad (3.21)$$

Sıcak yüzeyden atılan ısı miktarı:

$$Q_h = 2.N \left(\alpha.I.T_h - \frac{I_1^2 \cdot \rho}{2.G} + k.\Delta T.G \right) \quad (3.22)$$

Devredeki gerilim:

$$V = 2.N \left(\frac{I \cdot \rho}{G} + \alpha.\Delta T \right) \quad (3.23)$$

Denklemleriyle bulunur. Birinci kat için Eş. (3.21), Eş. (3.22) ve Eş. (3.23) kullanılarak:

$$Q_{c1} = 2.N \left(\alpha.I.T_c - \frac{I_1^2 \cdot \rho}{2.G} + k.\Delta T_1.G \right) \quad (3.24)$$

$$Q_{h1} = 2.N \left(\alpha.I.T_o - \frac{I_1^2 \cdot \rho}{2.G} + k.\Delta T_1.G \right) \quad (3.25)$$

$$V_1 = 2.N \left(\frac{I_1 \cdot \rho}{G} + \alpha.\Delta T_1 \right) \quad (3.26)$$

İkinci kat için Eş. (3.24), Eş. (3.25) ve Eş. (3.26) kullanılarak:

$$Q_{c2} = 2.N \left(\alpha.I.T_c - \frac{I_2^2 \cdot \rho}{2.G} + k.\Delta T_2.G \right) \quad (3.27)$$

$$Q_{h2} = 2.N \left(\alpha.I.T_o - \frac{I_2^2 \cdot \rho}{2.G} + k.\Delta T_2.G \right) \quad (3.28)$$

$$V_2 = 2.N \left(\frac{I_2 \cdot \rho}{G} + \alpha.\Delta T_2 \right) \quad (3.29)$$

Ara yüzeyde alınan ve verilen ısılar birbirine eşit olduğundan: $Q_{c2} = Q_{h1}$ Birinci kat için; çekilen ısı (Q_{c1}), “ T_1 ”ve “ T_o ” sıcaklıkları biliniirse Eş. (3.24)’den “ I_1 ” akımı Newton-Raphson metoduyla hesaplanabilir

$$I_1 = I_1 - f / f' \quad (3.30)$$

Burada f çözülecek fonksiyon, f' bu fonksiyonun türevidir.

$$f = 2.N \left(\alpha.I_1.T_c - \frac{I_1^2 \cdot \rho}{2.G} - k.(T_o - T_c).G - Q_{c1} \right)$$

$$f' = 2.N \left(\alpha.T_c - \frac{2.I_1 \cdot \rho}{2.G} \right)$$

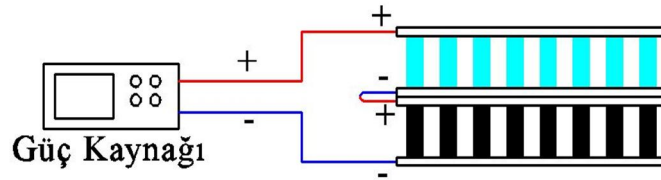
Eşitlik 3.33’teki değerler yerine yazılarak iterasyona başlanır. Yeterli yakınlık elde edilene kadar iterasyona devam edilir. “ I_1 ” akımı hesaplandıktan sonra Eş. (3.25) ve Eş. (3.26) ile “ Q_{h1} ” ve “ V_1 ” hesaplanır. Benzer şekilde 2. kat için çekilen ısı (Q_{c2}), “ T_h ” ve “ T_o ” sıcaklıkları belli olduğundan Eş. (3.27) den I_2 akımı Newton-Raphson

metoduyla hesaplanabilir. “ I_2 ” akımı hesaplandıktan sonra Eş. (3.28) ve Eş. (3.29) ile “ Q_{h2} ” ve “ V_2 ” hesaplanır [31].

3.4. TERMOELEKTRİK ELEMANLARIN BAĞLANTI ŞEKİLLERİ

3.4.1. Termoelektrik Elemanların Seri Bağlaması

Şekil 3.14’te görüldüğü üzere ardışık sistem oluşturmak için üst üste yerleştirilmiş TE modüller seri olarak bağlanmak istendiğinde alt katta bulunan modülün “+” ucu ile üst katta bulunan modülün “-” ucu bir birine eklenir ve boşta kalan uçların da yük işaretlerine uygun olarak güç kaynağına bağlanmasıyla modüller birbirine seri olarak bağlanmış olurlar.

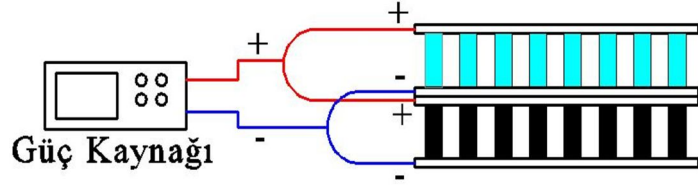


Şekil 3.14. TE modüllerin seri bağlanması.

Seri bağlamada devrenin çektiği akım değeri diğer bağlama şekillerine göre daha düşük olmaktadır. Bunun nedeni seri bağlı elemanların her birinden geçen akımın aynı olmasıdır. Her bir elemanın uçları arasındaki gerilimin toplamı ise o elemanlara uygulanan toplam gerilimi vermektedir.

3.4.2. Termoelektrik Elemanların Paralel Bağlaması

Şekil 3.15’te alt katta bulunan modül “-” ucu ile üst katta bulunan modülün “-” ucunun ve aynı şekilde “+” uçlarının bağlanması ve birbirine bağlanan uçların da yük durumlarına uygun olarak güç kaynağına bağlanmasıyla meydana getirilen paralel bağlama şekli görülmektedir.

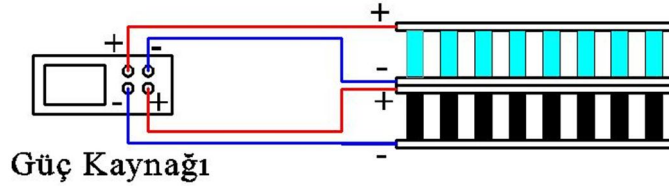


Şekil 3.15. TE modüllerin paralel bağlanması.

Paralel bağlama yönteminde TE modüller seri bağlama yöntemine göre daha çok gerilim değerlerinde çalışmaktadır. Bunun nedeni olarak paralel devrelerin verdiği kural gereğince; her bir elemanın gerilimi paralel bağlı diğer elemanların gerilimine eşittir, kaynak akımı ise her bir elemana giden akımların toplamıdır şeklinde açıklamak mümkündür.

3.4.3. Termoelektrik Elemanların Ayrık Bağlaması

Bu bağlama şeklinde ise alt katta ve üst katta bulunan TE modüller ayrı ayrı güç kaynağına bağlanarak ayrık bağlama şekli elde edilmektedir. Bunun bir örneği Şekil 3.16’da görülmektedir.



Şekil 3.16. TE modüllerin ayrık bağlanması.

Ayrık bağlama şeklinde TE modüllerin birbirine bir bağlantısı olmadığından her birini ayrı bir gerilim ve akım değerinde çalıştırma imkânı elde edilmektedir. Bu durum diğer bağlantı şekillerine göre bu bağlantı şeklinin üstün yönünü oluşturmaktadır.

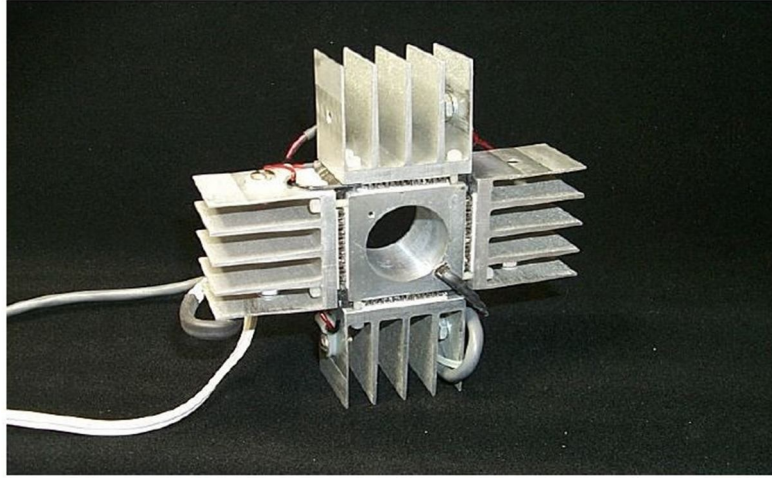
3.5. TERMOELEKTRİK ELEMAN UYGULAMALARI

Termoelektrik soğutma, soğutma süreci boyunca hareketli parçaların olmaması nedeni ile geleneksel kompresörlü soğutuculardan farklıdır. Sıcak yüzeyinin ısıyı kanatçıklı yüzeyler (fan ilave edilebilir) veya devridaim pompası kullanan akışkanlı

sistemler kullanılarak alınmalıdır. Termoelektrik sistemin ısıtma ve soğutma fonksiyonları sadece akım yönünü değiştirerek ters çevrilebilmektedir. Yani aynı düzenele hem soğutma hem de ısıtma yapılabilir.

Termoelektrik elemanların başka bir özelliği ise yerçekimi olmayan yerlerde veya dünya yerçekimi kuvvetinin birkaç katında çalışabilmesidir. Bu özelliği dolayısıyla U.S.A. uzay programlarında üzerinde önemle durulmaktadır. Bir termoelektrik eleman geniş bir sıcaklık aralığında rahatlıkla kullanılabilir.

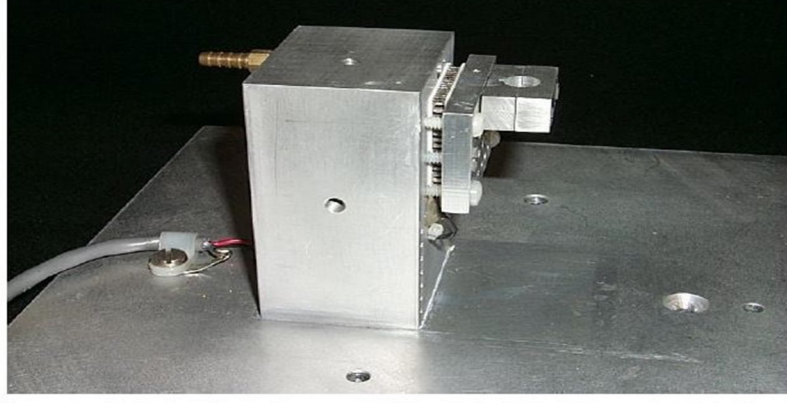
Askeri uygulamalarda termoelektrik eleman, gürültüsüz, karmaşık olmamak gibi avantajlar sunar. 2500 W'lık bir ünite, denizaltı yiyecek muhafaza depolarında inceleme amaçlı olarak kurulmuştur. Yine küçük bir denizaltıda 31,7 kW'lık (9 ton) bir air-condition uygulaması vardır ve her iki uygulamada sıcak yüzeydeki ısı, deniz suyu ile alınmaktadır [28].



Şekil 3.17. Silindirik yüzeylerin soğutulmasında kullanılan termoelektrik modül [28].

Ticari alandaki uygulamalardan; ulaşım araçları, özel araçlar, deniz, çöl gibi şebeke cereyanı olmayan yerlerde, işyerlerinde, ilaç muhafazasında kullanılan küçük portatif soğutucular ve oteller için buz yapıcılar sayılabilir. Buz yapıcı uygulama 0,464 kg suyu 6 saat içinde kübik buz yapabilmektedir. 120 / 220 V AC veya 12 V DC gerilim ile çalışan 0,283 m³'lük portatif soğutucular yurtdışında birçok üretici tarafından satılmaktadır. Bu soğutucular akım yönünü ters çevirerek ısıtıcı olarak da

kullanılabilmektedir. 0,0566 m³'lük bir hacimde, soğutucu durumunda 2 °C, ısıtıcı durumunda 71 °C elde edilebilmektedir [28].



Şekil 3.18. Yarı iletken malzemelerin test edilmesinde kullanılan, termoelektrik olarak soğutulan cihaz [28].

Ticari alanda termoelektrik soğutucular, nem kontrolü ve küçük özel uygulamalarda soğuk yüzey elde etmekte iyi sonuçlar vermektedir. Termoelektrik sistemler; soğutma kapasitesi 60 - 90 W değerlerine kadar ekonomik olmaktadır.

Tüm bu çalışmaların yanında ülkemizde de termoelektrik soğutma ile ilgili tıp alanında çalışmalar devam etmektedir. Raşit AHISKA tarafından geliştirilmiş olan “Termohipoterm Cihazı” ile beyin ısıyı istenilen seviyeye ayarlanabilmektedir [28].



Şekil 3.19. Termohipoterm cihazı [28].

En sık karşılaşılan uygulama tipi “havadan-havaya” iletimdir. Burada hem sıcak, hem de soğuk yüzey üzerinden ısının iletiminde kanatlı alüminyum profiller kullanılır. Güç elektroniğinden tanıdığımız bu profiller üzerine, ısıl direnci azaltmak için birer fan monte edilir. Şekil 3.20’de, 27 W gücünde bir soğutucuyu göstermektedir. En çok buzdolabı uygulamalarında rastladığımız bu tip sistemler, buzdolabının bir duvarına açılacak bir deliğe monte edilir [28].



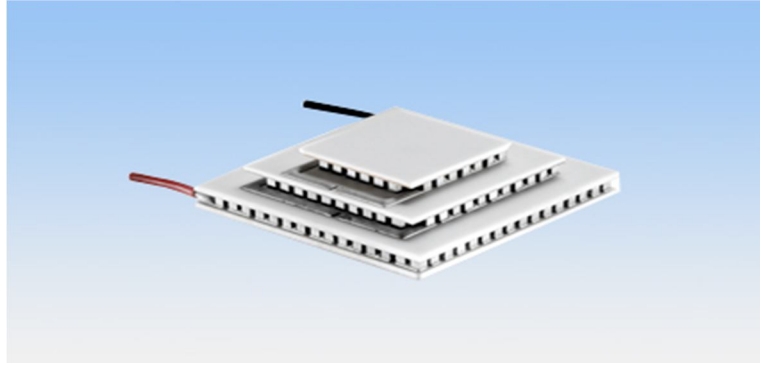
Şekil 3.20. 27 W gücünde “Havadan-havaya” soğutucu [28].

“Buz sondası” adı verilen bir akvaryum soğutucusu, Şekil 3.21’de verilmektedir. Akvaryum duvarında açılacak 3 cm. Çapındaki bir deliğe vidalanan sonda, 20 litrelik bir akvaryumun sıcaklığını 8 °C düşürebilmektedir. Bu tip soğutucular, özellikle cam, fiber veya plastik haznelerin soğutulması için uygundur [28].



Şekil 3.21. 50 W gücünde bir Buz Sondası [28].

Termoelektrik soğutucuların yüzeyleri arasındaki azami 65-70 °C'lik ısı farkının yeterli olmadığı uygulamalarda “çok-katlı” sistemler kullanılmaktadır. Bu sistemlerde 2 veya 3 modül, birinin sıcak yüzeyi diğerinin soğuk yüzeyine değecek şekilde arka arkaya bağlanmaktadır (Şekil 3.19). Modüllerin bu şekilde ısıl olarak seri bağlanmasıyla iki katlı modüllerde 85-90 °C, üç katlılarda ise 110 °C'ye varan sıcaklık farkları oluşturulabilmektedir. Çok katlı modüllerin verimi ne yazık ki çok düşüktür ve ancak 1 W civarında bir soğutma gücüne erişebilmektedirler [28].



Şekil 3.22. Çok katlı (Kaskat) termoelektrik modül [28].

Genel uygulama alanları olarak;

- Askeri çalışmalar ve uzay çalışmaları,
- Fiber-optik ve lazer uygulamaları,
- Bilgisayarlar ve elektronik endüstrisi,
- Laboratuvar ve bilimsel deneyler,
- Tıp,

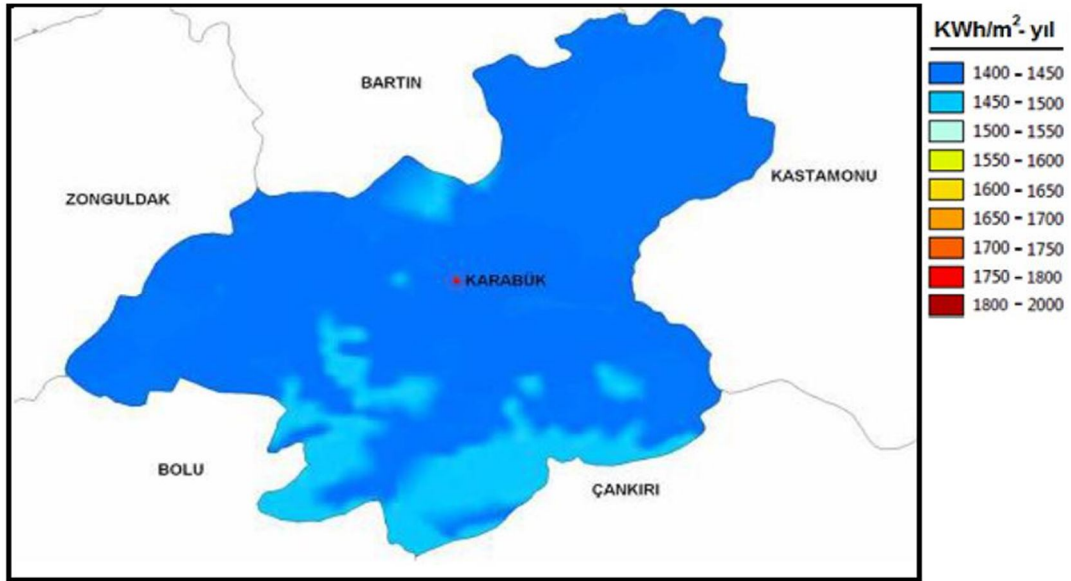
alanları sayılabilir.

BÖLÜM 4

MATERYAL VE YÖNTEM

4.1. ARAŞTIRMA YERİNİN ÖZELLİKLERİ

Araştırma; Karabük ilinde yürütülmüştür. Şekil 4.1’de Karabük ilinin konumu ve global Güneş Işınım Şiddetinin kWh/m² yıl cinsinden dağılımı verilmiştir. Deneyler; Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi’nde gerçekleştirilmiştir. Deneyler güneş enerjili termoelektrik soğutma sistemlerinde ardışık katlı uygulaması üzerine, Mayıs/2014’te yapılmıştır.



Şekil 4.1. Karabük ilinin konumu ve global güneş ışınımının dağılımı (ie.gov.tr).

Karabük kara ikliminin hüküm sürdüğü bir ilimizdir. Yazları sıcak ve kurak, kışları soğuk ve yağışlı geçer. Hakim rüzgarlar genel olarak birinci derecede güney-batı, ikinci derecede ise kuzey-doğu yönünden eser. Karabük coğrafi konum olarak, 41° 12’kuzey enlemi, 32° 38’doğu boylamında bulunur. Karabük iline ait 1954-2013 yılları arasında ölçülmüş meteorolojik veriler Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Karabük iline ait meteorolojik veriler (metor.gov.tr).

KARABÜK	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Uzun Yıllar İçinde Gerçekleşen Ortalama Değerler (1954 - 2013)												
Ortalama Sıcaklık (°C)	2.9	4.6	7.9	12.8	17.4	21.0	23.9	23.6	19.4	14.2	8.3	4.2
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	7.3	10.3	14.7	20.3	25.5	29.0	32.2	32.4	28.3	21.9	14.4	8.8
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-0.5	0.3	2.6	6.8	10.7	13.7	16.4	16.2	12.7	8.7	3.7	0.8
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	12.2	10.9	11.9	12.1	12.0	9.2	5.4	4.8	6.0	8.4	9.6	12.0
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	52.1	34.8	44.0	50.4	56.2	45.8	25.9	24.5	27.3	38.0	33.9	49.2
Uzun Yıllar İçinde Gerçekleşen En Yüksek ve En Düşük Değerler (1954 - 2013)*												
En Yüksek Sıcaklık (°C)	22.1	24.8	32.5	34.9	38.8	40.6	44.0	44.1	40.8	37.2	27.0	23.7
En Düşük Sıcaklık (°C)	-15.1	-14.2	-9.2	-5.8	0.1	4.6	8.9	8.9	3.4	-3.1	-6.4	-12.0

4.2. DENEY SİSTEMİ VE GENEL ÖZELLİKLERİ

Elektrik ihtiyacı güneş pilinden sağlanan termoelektrik soğutucunun performans deneyleri için ilk olarak yeterli büyüklükte güç kaynağı kullanılmış daha sonra her biri 130 W olan 2 adet güneş pili kullanılarak 2 adet TEC1-12703 DFKY07-04 termoelektrik modül çalıştırılmıştır. Sistemin sıcaklık ölçümleri için kullanılmış olan termokuplların anlaşılabilir verilere dönüşmesi için Advantech marka Adam 4018 cihazının bilgisayar programı kullanılarak ölçümler yapılmıştır. Deneylerde; soğutucu kabin, ısı değiştiriciler, güneş pilleri, termoelektrik modüller ve diğer malzemeler kullanılmıştır.

4.2.1. Soğutma Kabini

Soğutulacak kabin Andoutdoor firmasına ait JYA24 model oto buzdolabı, Dış Ölçüler: 40x29.5x43,5 cm, İç Ölçüler: 31x22x33 cm ölçülerindedir. Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Sistemde kullanılan soğutma kabini.

4.2.2. Soğutma Kabini Isı Kaybı Hesapları

Soğutma kabinini ısı kayıpları Fourier etkisi formülüyle hesaplanmıştır. Bu hesapların yapılmasındaki amaç sistemde kullanacak olan TE modüllerin soğutma güçlerini tayin edebilmektir.

Fourier etki için;

$$Q_F = K.A.\Delta T$$

Q_F : Yüksek sıcaklıktaki bölgeden düşük sıcaklıktaki bölgeye giden ısı miktarı (W)

A: Malzemenin toplam alanı (m^2)

K: Toplam ısı iletim katsayısı (W/m K)

ΔT : İç ortam ile dış ortam arasındaki sıcaklık farkı (K)

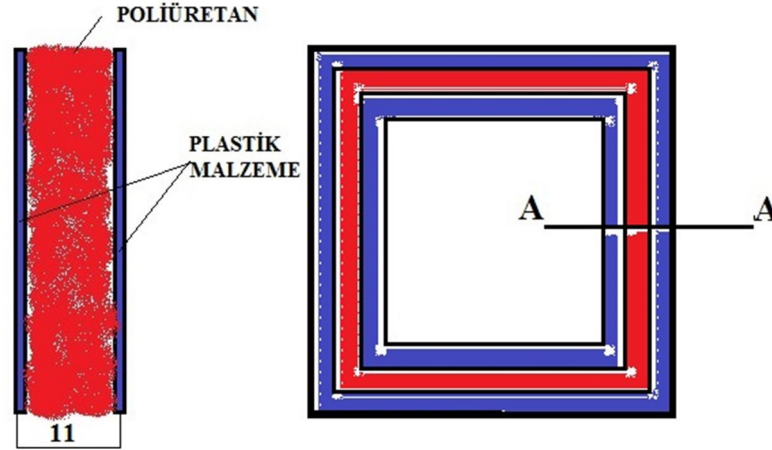
$$K = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{d}{k} + \frac{1}{h_2}}$$

h: Isı taşınım katsayısı (W / m^2K)

k: Isı iletim katsayısı (W / m K)

d: Malzemenin kalınlığı (m)

Deneyde kullanılacak soğutma kabini iç hacmi 310x228x330mm boyutlarındadır. Soğutma kabini Şekil 4.2’de görüldüğü üzere iç ve dış duvarları 1 mm kalınlığında plastik malzemeden yapılmıştır. İç ve dış duvarlar arasına da 9 mm kalınlığında poliüretan malzeme eklenmiş olup bu şekilde kabini ısı kayıpları en aza düşürülmüştür. Şekil 4.3’te soğutma kabini bir kesit görünümü verilmiştir.



Şekil 4.3. Soğutulacak dolabın duvarları içindeki yalıtım malzemeleri (A-A kesiti).

Fourier denklemine göre soğutma kabini ısı kayıplarını hesaplamak için dış sıcaklık değeri 30 °C ve iç sıcaklık değeri 0 °C olarak belirlenmiştir. Buna göre;

1- Yan duvarların ısı kaybı;

Soğutulacak kabini yan duvarlarında meydana gelen ısı kayıplarını hesaplamak için yukarıda belirlenen değerler fourier denkleminde yerine yazılırsa;

$$Q_F = K.A.\Delta T$$

$$\Delta T = 30 - 0 = 30 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$A = 0,4.0,435 = 0,174\text{m}^2$$

$$K = 1 / \left(1/h_{iç} + d_1/k_1 + d_2/k_2 + d_3/k_3 + 1/h_{dış} \right)$$

K değeri hesaplanırken eşitlikteki; “ $h_{iç}$ ” =8,14 W/m²K, “ d_1 ”=0,001 m, “ k_1 ”=47 W/m K, “ d_2 ”=0,009 mm, “ k_2 ” = 0,035 W/m K, “ d_3 ” =0,001 m, “ k_3 ”= 47 W/m K, “ $h_{dış}$ ” = 23,26 W/m²K olarak alınmıştır. Buna göre;

$$K = 1 / (1 / 8,14 + 0,001 / 47 + 0,009 / 47 + 0,009 / 0,035 + 0,001 / 47 + 1 / 23,26)$$

$$1 / K = 0,123 + 2,13 + 0,257 + 2,13 + 0,043$$

K= 0,213 W/m²K olarak hesaplanmıştır. Bulunan bu değerler Fourier denkleminde yerine yazılır ise Q_{Fyan} ; yan duvarlarda meydana gelen ısı kaybı;

$$Q_{Fyan} = 0,213 \times 0,174 \times 30 = 1,11 \text{ W}$$

Dolabın iki yüzeyi için ; $Q_{Fyan} = 1,11 \times 2 = 2,22 \text{ W}$ olarak bulunur.

2- Ön ve arka duvar ısı kaybı;

Ön duvar ısı kaybı hesabı yapılırken yukarıda hesap edilen yan duvar ısı kaybı hesabında yaptığımız gibi ilk önce fouier denkleminde kullandığımız ΔT , A, K değerlerini hesap edilir. ΔT , A, K değerlerinde kullanılan k ve h değerleri yan duvar ısı kaybı hesabında kullanılan değerler ile aynı alınmıştır.

$$\Delta T = 30 - 0 = 30 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$A = 0,295 \times 0,435 = 0,128 \text{ m}^2$$

$$K = 1 / (1 / 8,14 + 0,001 / 47 + 0,009 / 47 + 0,009 / 0,035 + 0,001 / 47 + 1 / 23,26)$$

K= 0,213 W/m² K şeklinde bulunduktan sonra fourier denkleminde yerine konulur.

$$Q_{ön-arka} = K.A.\Delta T$$

$$Q_{ön-arka} = 0,213 \times 0,128 \times 30 = 0,818 \text{ W}$$

Dolabın iki yüzeyi için; $Q_{ön-arka} = 0,818 \times 2 = 1,636 \text{ W}$ şeklinde bulunur.

3- Taban ısı kaybı;

Bu kısımda soğutma kabininin tabanında meydana gelen ısı kaybının hesabı yapılmıştır. İlk olarak ΔT , A ve K değerlerini hesap edilir.

$$\Delta T = 30 - 0 = 30 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$A = 0,4 \times 0,295 = 0,118 \text{ m}^2$$

$$K = 1 / (1/8,14 + 0,001/47 + 0,009/47 + 0,009/0,035 + 0,001/47 + 1/23,26)$$

K = 0,213 W/m K şeklinde bulunur. Bulunan bu değerler fourier denklemde yerine konulursa;

$$Q_{Taban} = 0,213 \times 0,118 \times 30 = 0,754 \text{ W olarak bulunur.}$$

4- Tavan (kapak) ısı kaybı;

Soğutma kabini tavanından meydana gelen ısı kayıpları için kabinin diğer bölümleri için uyguladığımız formüller tekrar işletilerek tavandan olan ısı kaybı değerleri hesaplanır.

$$\Delta T = 30 - 0 = 30 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$A = 0,4 \times 0,295 = 0,118 \text{ m}^2$$

$$K = 1 / (1/8,14 + 0,001/47 + 0,009/47 + 0,009/0,035 + 0,001/47 + 1/23,26)$$

$$Q_{Tavan} = 0,206 \times 0,118 \times 30 = 0,73 \text{ W olarak hesaplanır.}$$

Ayrıca kabinin tavan kısmında bulunan kapakta hava sızıntısından dolayı ısı kaybı meydana gelecektir. Bu kaybı da “ Q_s ” olarak ifade edecek olursak;

$$Q_s = \sum (a.L).R.H.\Delta T.Z_e$$

Q_s : Hava sızıntısı ısı kaybı, (W)

- a : Hava sızıntısı katsayısı, (m³ / mh)
 L : Kabinin açılan kısımlarının çevre uzunluğu, (m)
 R : Kabin durum katsayısı (birimsiz)
 H : Duvar durum katsayısı (Wh / m³K)
 ΔT : İç ve dış sıcaklık farkı (°C)
 Z_e : Köşe artırım Katsayısı (birimsiz)

Sızdırmazlık formülünde yer alan değerler MMO'nun 352/5 sayılı yayınından alınmıştır. Buna göre değerler sırasıyla yerine yazılarak sızdırmazlık kaybı hesaplanırsa;

$$Q_s = \sum (a.L).R.H.\Delta T.Z_e$$

$$Q_s = 2 \times 1,39 \times 0,7 \times 0,279 \times 30 \times 10^{-3}$$

Q_s = 16,2 W olarak bulunur. Buna ek olarak kabinin ısı kayıpları yapıldıktan sonra kabinin içinde bulunan fanın çektiği gerilim 12 V, akım ise 0,18 A'dir. Fandan gelen ısı Q_{fan} ise;

$$Q_{fan} = I.V$$

$$Q_{fan} = 12 \times 0,18 = 2,16 \text{ W olarak bulunur.}$$

5- Kabinin toplam ısı kaybı;

Q_{Toplam} = Duvarlardan ısı kaybı + Sızdırmazlıklardan olan ısı kaybı + Fandan ısı kazancı

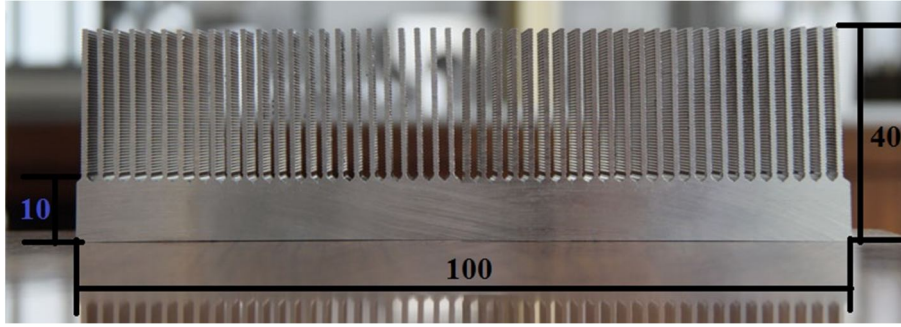
$$Q_{Toplam} = 5,34 + 16,2 + 4,32$$

$$Q_{Toplam} = 25,86 \text{ W olarak hesaplanır.}$$

4.2.3. Isı Değiştiriciler

Soğutma kabini i hacminden ısıyı çekmek için termoelektrik modül yüzeyine 140x60x300 mm lulerinde kanatlı alüminyum soğutucu parça konulmuştur. Kabin i hacmindeki havayı hareketlendirmek için alüminyum parça üzerine fan yerleştirilmiştir. Kanatlı alüminyum plaka Şekil 4.4’de gösterilmiştir.

TE modül sıcak yüzeyinden ısıyı atmak için ise 100x160x40 lulerinde 1 adet kanatlı alüminyum soğutucu plaka kullanılmıştır. TE modül sıcak yüzeyinde ısı transferini arttırmak için alüminyum parçaya birde fan eklenmiştir.



Şekil 4.4. Kanatlı alüminyum plaka.

4.2.4. Güneş Pilleri

Bu çalışmada şebeke elektriği kullanılmayan yerler için soğutma kabini enerjisi güneş pillerinden sağlanmıştır. Güneş pillerinden maksimum verim elde etmek için güneş pillerine istenilen açıyı verebilecek ayaklar tasarlanmıştır. Uygulamada JS SOLAR firmasına ait IS 130M model 130 W gücünde ve 1482x676x35 mm lulerinde 2 adet güneş pili kullanılmıştır. Uygulamada kullanılan güneş pillerinin lleri Şekil 4.5’de gösterilmiş özellikleri ise izelge 4.2’de verilmiştir.



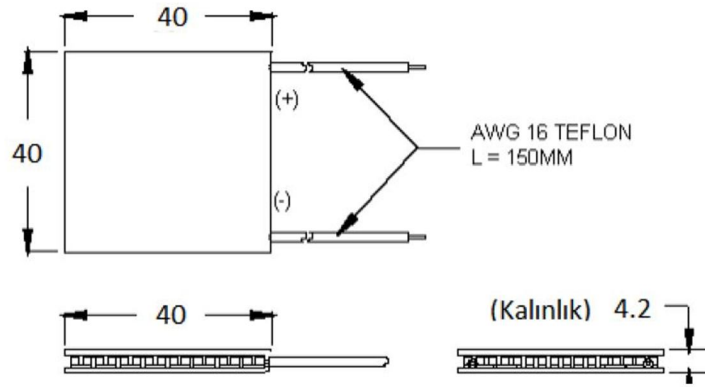
Şekil 4.5. Güneş Pili ölçüleri.

Çizelge 4.2. Güneş pilleri özellikleri.

MODEL	IS 130M
Max. Güç	130 W
Max. Voltaj Gücü	17,32 V
Max. Geçer Akım	7,51 A
Açık Devre Gerilim	22,05 V
Kısa Devre Akım	8,63 A
Uzunluğu	1482 mm
Genişliği	676 mm
Kalınlığı	35 mm
Ağırlığı	11,5 kg

4.2.5. Termoelektrik Modüller

Soğutma kabininin ısı kaybı hesapları göz önüne alınarak termoelektrik modül seçimi yapılmıştır. Hesap edilen ısı kaybı değerlerini karşılayabilecek büyüklükte TEC1-12703DFKY07-04 model bir termoelektrik modül seçilmiştir. Seçilen bu termoelektrik modül sistemde tek katlı ve ardışık katlı olarak denenmiştir. Uygulamada kullanılan modül ölçüleri Şekil 4.6'da, modülün teknik değerleri de Çizelge 4.3'de verilmiştir.



Şekil 4.6. Termoelektrik Modül boyutları.

Çizelge 4.3. Termoelektrik modül özellikleri.

Isınan Taraf Sıcaklığı (°C)	25 (°C)	50 (°C)
Q_{max} (W)	43	49
ΔT_{max} (°C)	66	75
I_{max} (A)	5,3	5,3
V_{max} (V)	14,2	16,2
Modül Direnci (Ω)	2,4	2,75

TE modüllerin teknik verileri üretici firma tarafından verilmiştir. Bu verilere göre; 5,3 A akım geçerken yüzeyler arası sıcaklık farkı 75 °C olduğunda TE modülün soğutma kapasitesi sıfır, yüzeyler arası sıcaklık farkı sıfır olduğunda TE modülün soğutma kapasitesi 49 W olmaktadır. Bu değerleri sağlayacak şekilde aşağıdaki eşitlik elde edilmiştir

$$Q_c = \frac{(75 - \Delta T) \cdot 49}{75}$$

Burada “ΔT”, TE modülün yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkını, “Q_c” TE modülün soğutma kapasitesini ifade etmektedir. Soğutma kapasitesinin akımla doğru orantılı olduğu da göz önüne alınarak:

$$Q_c = \frac{(75 - \Delta T) \cdot 49}{75} \cdot \frac{I}{3}$$

İfadesi elde edilir. Burada “I” devreden geçen akımdır.

Yapılan deneyde akım değerleri, modül yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkı göz önüne alınarak yapılan hesaplamada, her modül için soğutma gücü elde edilmiş ve iki tane modül olduğunda da toplam soğutma gücü bulunmuştur.

4.2.6. Jel Akü

Sistemin çalışma devamlılığı için Yiğit Akü markalı Gel Energy 12V 100Ah 550A model 2 adet jel akü kullanılmıştır. Kullanılan aküler Şekil 4.7’de ve özellikleri Çizelge 4.4’te gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Jel Akü.

Çizelge 4.4. Jel akü özellikleri.

Nominal Voltajı (V)	12
Nominal Kapasite (Ah / 20 saat)	100
Soğukta Marş Akımı CAC (AEN)	550
Deşarj Akım Değeri (I20 ye göre) (A)	5,00
Yaklaşık Ağırlık (kg)	31,0
25 Derecede İç Direnç (miliohm)	7,1
Kısa Devre Akımı (A)	2235
Ölçüler (mm) (UzunlukxGenişlikxYükseklik)	350x175x235

4.2.7. Diğer Malzemeler

Fan; termoelektrik modülün ısınan tarafında oluşan ısının alınarak ΔT değerinin yüksek değerde tutulmasını sağlamak için 2,16 W fırçasız 12 Volt DC motor fan kullanılmıştır.

Deneyleerde, sekiz ayrı noktadan sıcaklık ölçmek için termokupl ve termokupulların ürettiği değerleri anlamlandırmak için Advantech marka ADAM 4018 model veri algılayıcı ve ADAM-4520 model dönüştürücü bilgisayara bağlanarak kullanılmış ve özellikleri EK A'da verilmiştir.

4.3. YÖNTEM

Soğutma kabinin ısı kaybı hesaplandıktan sonra hesaplanan değere göre termoelektrik modüller seçilmiştir. TE modüllerin gereksinim duyduğu çalışma enerjisine göre de 130 W gücünde 1 m² yüzey alanına sahip JS SOLAR firmasına ait IS 130M model 2 adet güneş pilleri seçimi yapılmıştır. Gerçekleştirilen uygulamalı çalışmada, öncelikle TE modülün tek katlı olarak bağlandığında göstermiş olduğu performans gözlemlenmiştir. İkinci bir aşama olarak ta TE modül ardışık olarak bağlanmış ve farklı biçimlerde (seri, paralel, ayrık) bağlanarak göstermiş oldukları performanslar gözlemlenmiştir. Bir diğer aşamada ise yapılan deneylerin olumsuz yönleri nasıl giderilebilir sorunun cevabını arar nitelikte deneyler yapılmıştır. Deneyler ilk olarak laboratuvar ortamında güç kaynağı kullanılarak test edilmiş daha sonra sistem güneş pilleri ile çalıştırılıp bu çalışma sistemlerinin karşılaştırması yapılmıştır. Deneyler esnasında sistemin 8 farklı yerinden sıcaklık ölçümleri termokupl yardımıyla alınmış termokupulların ürettiği verileri Advantech marka ADAM 4018 isimli veri algılayıcının bilgisayara bağlantısı yapılarak ölçüm yapılmıştır. Bu değerler kullanılarak termoelektrik soğutucunun malzeme ve elektriksel özellikleri sabit tutularak termodinamik bağıntılar yardımıyla performans analizleri hesaplanmıştır.

BÖLÜM 5

DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE BULGULAR

5.1. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

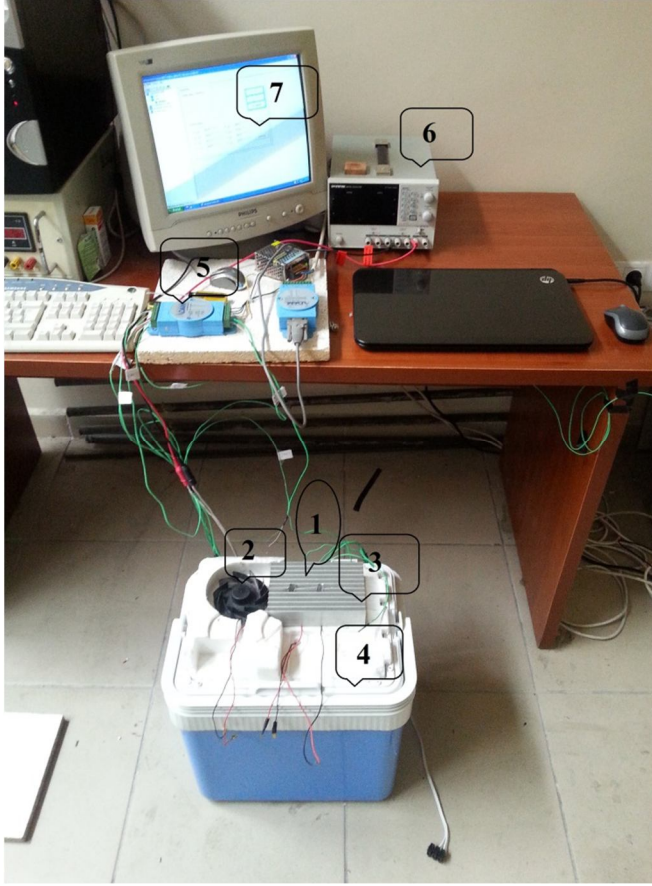
5.1.1. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Malzeme ve Temini

Yapılan çalışmada, tek başına 49 W soğutma kapasitesine sahip tek katlı ve ardışık katlı TE modüllerin kullanıldığı bir soğutma kabini, TE modüllerin gereksinim duyduğu enerjiyi sağlamak için 2 adet 130 W gücünde güneş pili ve laboratuvar ortamında kullanılmak üzere DC güç kaynağı, sistemin çeşitli noktalarından sıcaklık ölçümü almak için termokupl kullanılmış ve termokuplların ürettiği veriyi anlamlı hale getiren Advantech markalı ADAM 4018 veri dönüştürücü cihaz ile TE elemanın sıcak yüzeyini soğutmak için Termaltech markalı 760E model sulu soğutma sistemi deneysel düzenek olarak kullanılmıştır. Deney sisteminde kullanılan ekipmanların hepsi Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi laboratuvarından tedarik edilmiştir.

5.1.2. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Sistem

Deneysel çalışmada kullanılan soğutma kabini hazır halde temin edilmiş, TE modüllerin ardışık olarak eklenmesine hazır duruma getirilmiş ve modüllerin montajı yapılmıştır. Sisteme sıcaklık değerlerini ölçmekte kullanılan termokuplların eklenmesi işlemleri gerçekleştirilmiştir. Sistemde 1,5 saatlik süre zarfında 5 dakikalık aralıklarla sıcaklık değerlerini ölçülebilmesi ve kaydedilebilmesi için kullanılan data logger cihazlarının bağlantıları yapılarak doğru ölçüm sonuçları vermesi sağlanmıştır. Hazırlanan sistem ilk olarak TE modül sıcak yüzeyinin ısısının hava soğutmalı bir sistem ile uzaklaştırılması ve ardışık katlı modüllerin seri, paralel

ayrık bağlanması ile çalıştırılmış ve sonuçlarının belirtilen aralıklarla kaydedilmesi sağlanmıştır. Şekil 5.1’de oluşturulan hava soğutmalı sistemin bir görünümü verilmiştir.



- 1- Termoelektrik Elamanlar,
- 2- Fanlar,
- 3- Isı değıştiricileri,
- 4- Soğutma kabini,
- 5- Data Logger,
- 6- Güç kaynağı

Şekil 5.1. Hava soğutmalı deney düzeneğinden bir görünüm.

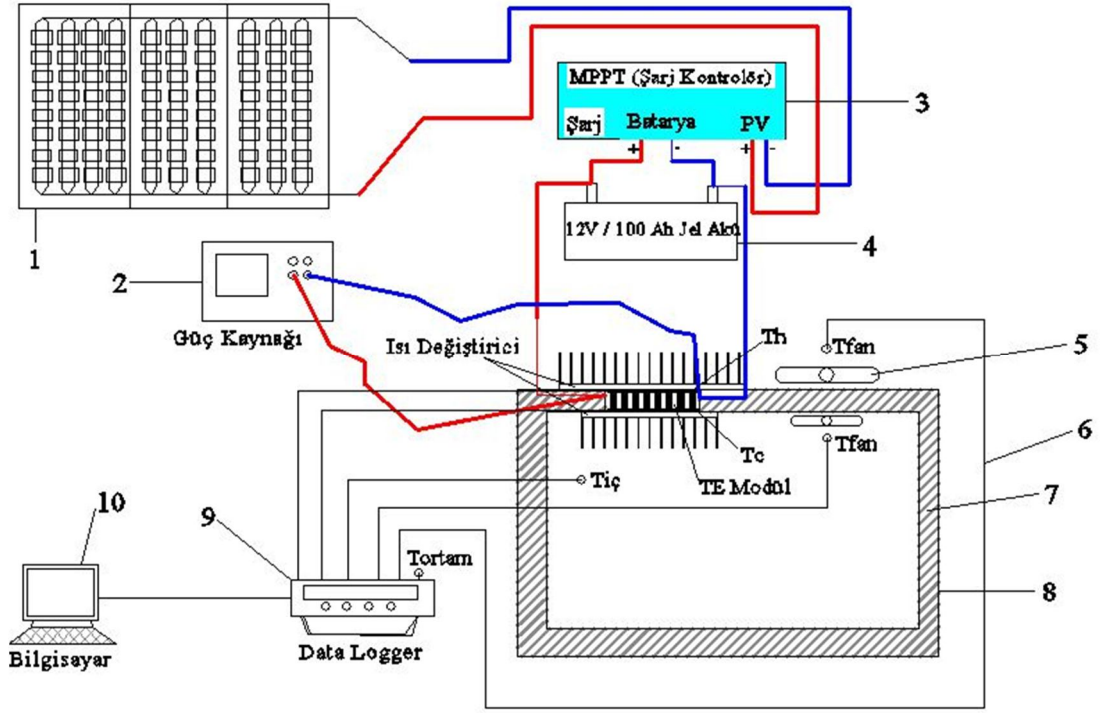
Daha sonra hazırlanan sistemin yüzey soğutma şekli su soğutmalı sistem ile değıştirilerek TE modül sıcak yüzey ısısu soğutmalı sistem ile uzaklaştırılmaya çalışılmıştır. Hava soğutmalı sistemde gerçekleştirilmiş olan tek katlı ve ardışık katlı seri, paralel, ayrık bağlı TE modülerde gerçekleştirilen deneylerde olduğu gibi belirtilen aralıklarda sıcaklık değeri kaydedilmiştir. Oluşturulan su soğutmalı sistemin bir görünümü Şekil 5.2’de verilmiştir.



- 1- Bilgisayar
- 2- Data Logger
- 3- DC Güç Kaynağı
- 4- TE Modül Soğutucu Başlık
- 5- Soğutma Kabini
- 6- Su Soğutucu Sistem

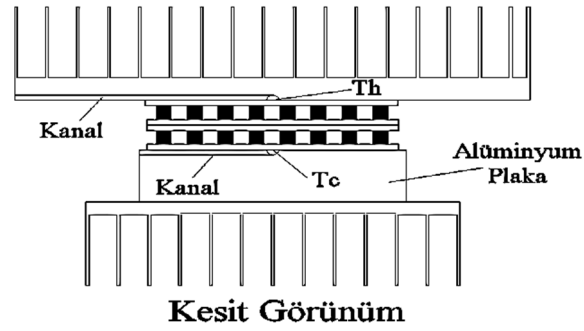
Şekil 5.2. Su soğutmalı deney düzeneğinden bir görünüm.

Gerçekleştirilen deneylerde yerleştirilen termokuplların yerlerini ve oluşturulan sistemin şematik bir görünümü Şekil 5.3'te verilmiştir. Ayrıca TE modüllerin alt ve üst yüzeylerinin sıcaklıklarını almakta kullanılan termokuplların yerleşimi detaylı olarak Şekil 5.4'te gösterilmiştir. Şekil 5.4'e göre TE modül alt ve üst yüzeyine yerleştirilen termokupl TE modül yüzeyinin bastığı alüminyum bir plaka üzerine kanal açılarak kanal içerisine yerleştirilmiştir. Yani yüzeyden ölçülen sıcaklık değeri doğrudan TE modül yüzey sıcaklığı olmayıp yüzey sıcaklığı ve alüminyum plakanın sıcaklığı olduğu anlaşılmalıdır.



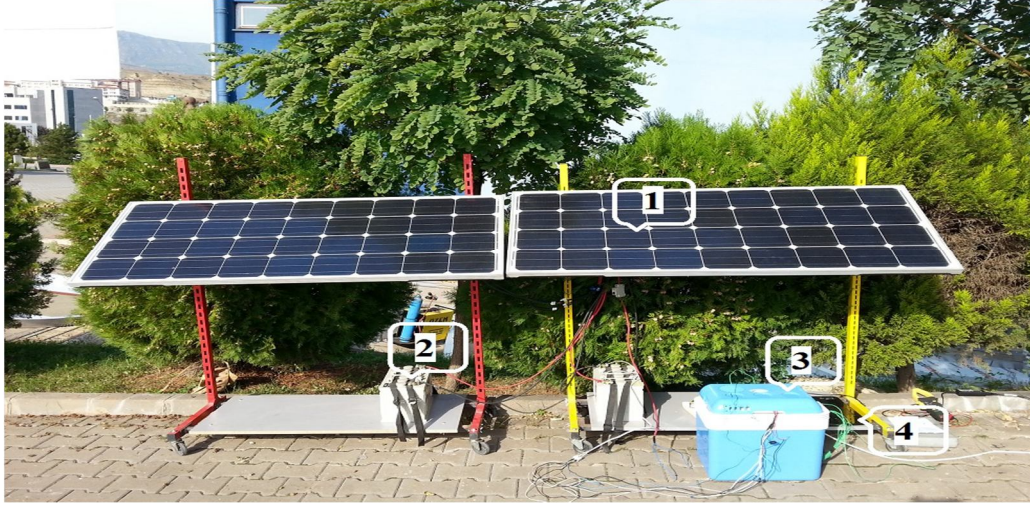
(1- Güneş Pili Paneli, 2- Güç Kaynağı, 3- Şarj Regülatörü, 4- Jel Akü, 5- Fan, 6- Termokupl, 7- Yalıtım Malzemesi, 8- Soğutma Kabini, 9- Data Logger, 10- Bilgisayar)

Şekil 5.3. Deney düzeneği şematik gösterimi.



Şekil 5.4. TE modül alt yüzey termokupl yerleşim detayı.

Laboratuvar ortamında gerçekleştirilen deneylerin yanı sıra dış ortamda güneş panellerinden elektrik üretilerek çalıştırılan sistem tasarlanmıştır. Oluşturulan sistemin bir görünüşü Şekil 5.5’de görülmektedir.



(1-Güneş Pili Paneli, 2- Jel Akü, 3- Soğutma Kabini, 4- Bilgisayar)

Şekil 5.5. Güneş panelleri ile çalıştırılan sistem görünümü.

Şekil 5.5’de görülen düzenekten yararlanılarak laboratuvar şartlarında gerçekleştirilen hava ve su soğutmalı sistem deneyleri aynı şartlar gözetilerek gerçekleştirilmiştir. Deneyler laboratuvar şartlarında gerçekleştirilen deneylerden elde edilen en iyi sonuçlar tekrarlanarak güneş panelli sistemde denemiştir.

5.1.3. Deneysel Çalışmaların Teorik Hesaplamaları

Bu çalışmada, TEC1-12703DFKY07-04 termoelektrik modül kullanılmıştır. Kullanılan modülün özellikleri üretici firmada bulunamamıştır. Kullanılan modülün özelliklerine en yakın Melcor firmasının ürettiği CP 1.4 L 10 termoelektrik modülün parametrelerinden yararlanılmıştır. Melcor firmasının ürettiği CP 1.4 L 10 termoelektrik modülün parametreleri Çizelge 5.1’de verilmiştir (Melcor Comparison,2000).

Çizelge 5.1. TE modül parametreleri.

$\alpha = 2,02 \times 10^4$ [V/K]	$V = 15,40$ [V]
$\rho = 1,01 \times 10^{-3}$ [Ωcm]	$I = 3,9$ [A]
$k = 1,51 \times 10^{-2}$ [W/mK]	$R = 3,44$ [Ω]
$N = 127$	$Z = 2,68 \times 10^{-3}$ [K^{-1}]
$G = 0,077$ [Alan/Uzunluk]	

Çizelge 5.1’de “ α ” Seebeck katsayısını, “ ρ ” elektriksel direnci, “ k ” ısı iletkenliği, “ N ” termoelektrik çift sayısını, “ G ” Şekil faktörünü, “ V ” gerilimi, “ I ” akımı, “ R ” termoelektrik direnci, “ Z ” kalite katsayısını ifade etmektedir.

Gerçekleştirilen deney sonuçlarına göre teorik olarak yapılacak hesaplar Microsoft Office Excel programı tablosuna aktarılarak hesaplama işlemleri program oluşturularak her durum için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Bu kısımda yapılan hesaplamalara örnek teşkil etmesi açısından hava soğutmalı tek katlı TE modülün 5 V değerinde gerçekleştirilen deneylerden saat 16.15’te elde edilen sonuçları kullanılarak hesaplamalar yapılacaktır. Buna göre 16.15’te elde edilen sonuçlar şöyledir. “ T_c ”: 11 °C, “ T_h ”: 26,1 °C, “ I ”: 1,2 A, “ V ”: 5 V olarak tespit edilmiştir. Bu değerlere göre hesaplamalar aşağıdaki gibi olmaktadır. Hesaplamalarda sıcaklık değerleri Kelvin cinsinden alınmıştır.

Eşitlik 3.10’a göre TE modül soğuk yüzeyinden emilen ısı miktarı;

$$Q_c = 2.N.(\\alpha.T_c.I - I^2.\\rho / 2.G - k.\\Delta T.G)$$

$$Q_c = 2.127(2,02.10^4.284.1,2 - 1,2^2.1,01.10^{-3} / 2.0,077 - 1,51.10^{-2}.15,1.0,077)$$

$$Q_c = 10,62753 \text{ W}$$

Eşitlik 3.12’ye göre TE modüle uygulanan gerilim;

$$V = 2.N.(I.\\rho / G + \\alpha.\\Delta T)$$

$$V = 2.127.(1,2.1,01.10^{-3} / 0,077 + 2,02.10^4.15,1)$$

$$V = 4,7728 \text{ V}$$

Eşitlik 3.13’e göre TE modülün çektiği akım;

$$I = (V / 2.N - \\alpha.\\Delta T).G / \\rho$$

$$I = (5 / 2.127 - 2,02.10^4.15,1).0,077 / 1,01.10^{-3}$$

$$I = 1,2682 \text{ A}$$

Eşitlik 3.14'e göre optimum verimin elde edildiği akım değeri;

$$I_{opt} = k \cdot \Delta T \cdot G \cdot (1 + \sqrt{1 + Z \cdot t}) / (\alpha \cdot t)$$

$$I_{opt} = 1,51 \cdot 10^{-2} \cdot 15,1 \cdot 0,077 \cdot (1 + \sqrt{1 + 2,68 \cdot 10^{-3} \cdot 300} / 2,02 \cdot 10^4 \cdot 300)$$

$$I_{opt} = 0,6788 \text{ A}$$

Eşitlik 3.18'e göre maksimum akım değeri;

$$I_{max} = (k \cdot G / \alpha) (\sqrt{1 + 2 \cdot Z \cdot T_h} - 1)$$

$$I_{max} = (1,51 \cdot 10^{-2} \cdot 0,077 / 2,02 \cdot 10^4) (\sqrt{1 + 2 \cdot 2,68 \cdot 10^{-3} \cdot 299,1} - 1)$$

$$I_{max} = 3,5309 \text{ A}$$

Eşitlik 3.17'e göre maksimum sıcaklık farkı;

$$\Delta T_{max} = T_h - (\sqrt{1 + 2 \cdot Z \cdot T_h} - 1) / Z$$

$$\Delta T_{max} = 299,1 - (\sqrt{1 + 2 \cdot 2,68 \cdot 10^{-3} \cdot 299,1} - 1) / 2,68 \cdot 10^{-3}$$

$$\Delta T_{max} = 70,2059 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Eşitlik 3.15'e göre optimum performans katsayısı;

$$COP_{opt} = (k / \Delta T) \cdot \sqrt{1 + Z \cdot t} - 1 / \sqrt{1 + Z \cdot t} + 1 - 1 / 2$$

$$COP_{opt} = (1,51 \cdot 10^{-2} / 15,1) \cdot \sqrt{1 + 2,68 \cdot 10^{-3} \cdot 300} + 1 - 1 / 2$$

$$COP_{opt} = 2,4094$$

Eşitlik 3.19'a göre soğutma gücü sağlamak için gerekli giriş gücü;

$$W = I \cdot V$$

$$W = 4,7727.1,2682$$

$$W = 6,0528 \text{ W}$$

Eşitlik 3.20'ye göre performans katsayısı;

$$COP = \frac{Q_c}{W}$$

$$COP = \frac{10,62753}{6,0528}$$

$$COP = 1,7557$$

Yukarıda hesap edilen değerler her deney sonucu için hesaplanmış ve Ek açıklamalar B'de verilmiştir.

Yapılan hesaplamalar ardışık katlı deney sistemlerinin sonuçlarında da kullanılmıştır. Bu eşitliklere ek olarak ardışık katlı sistemlerin birleşim noktasındaki sıcaklık değerini Eşitlik 3.25 ve 3.27 denklemleri eşitlenerek elde edilmiştir. Buna göre birleşim noktası sıcaklığı "T_o" olarak kabul edilirse;

$$T_o = \frac{k.G.(T_c - T_h) - \left(\frac{\rho}{2.G}\right).(I_1^2 - I_2^2)}{\alpha.(I_1 - I_2) - 2.k.G} \quad (5.1)$$

Eşitliği elde edilmektedir. Bu eşitlik kullanılarak hava soğutmalı ardışık katlı seri bağlı TE modülün 5 V değerinde saat 19.15'te kayıt edilen verileri kullanılarak "T_o" hesabına bir örnek verilmiştir. Diğer değerler için hesaplanan sonuçlar Ek açıklamalar B'de ayrıntılı olarak verilmektedir.

19.15'teki hava soğutmalı ardışık katlı seri bağlı TE modül deney sonuçları; "T_c":13,4 °C, "T_h": 23,0 °C, "I₁":0,534 A, "I₂":0,534 A olarak alınmıştır. Buna göre;

$$T_o = \frac{1,51.10^{-2}.0,077.(13,4 - 23) - (1,01.10^{-3}/2.0,077)(0,534^2 - 0,534^2)}{2,02.10^4.(0,534 - 0,534) - 2.1,51.10^{-2}.0,077}$$

$$T_o = 277,8 \text{ K} = 4,8 \text{ °C} \text{ olarak hesap edilmiştir.}$$

5.2. DENEYSEL ÖLÇÜMLER

Deneysel çalışmalar, TE modüllerin kat durumuna ve bağlantı şekillerine göre sınıflandırılmıştır. Soğutma durumuna göre hava ve su soğutmalı, kat durumuna göre tek ve ardışık katlı olarak tasarlanmıştır. Ardışık katlı sistemler kendi içerisinde seri, paralel ve ayrık bağlanarak deneyler sekiz farklı durum için gerçekleştirilmiştir. Ayrıca tüm durumlar için güneş panelleri yardımıyla üretilen elektrik kullanılarak belirtilen deneyler gerçekleştirilmiştir.

Her durum için değişken olan değerimiz TE modüllerin gerilimleri olmuştur. Tek katlı olsun ardışık katlı farklı bağlantı şekilleri olsun her durumda 5 V değerinden 12 V değerine kadar deneyler gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen deneylerde ortak olarak TE modül alt ve üst yüzey sıcaklığı, soğutma kabini iç ortam sıcaklığı, deneylerin yapıldığı ortamın sıcaklığı ve soğutma kabini içerisine yerleştirilen fanın giriş ve çıkış sıcaklığı ölçümleri belirtilen aralıklarda kaydedilmiştir. Bu değerlere ek olarak hava soğutmalı sistemde sıcak yüzeye yerleştirilen fanın çıkış sıcaklığı ölçülmüştür. Çizelge 5.2’de gerilim değerlerine göre her durumdaki TE modül alt yüzey sıcaklık değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.2. Gerilim değerlerine göre TE modül alt yüzey sıcaklıkları.

GERİLİM	HAVA SOĞUTMALI				SU SOĞUTMALI			
	Tek	Seri	Paralel	Ayrık	Tek	Seri	Paralel	Ayrık
5	10,3	11,8	14,2	6	9,3	13	9,8	4,8
6	7,7	10,6	12,7	5,7	6,2	13,7	9,1	4,3
7	6,7	9,8	11,8	6,2	4,3	11,8	5	2,4
8	5,3	9,1	11	6,5	2,8	10,3	6,7	5
9	2,6	8,9	7,2	6,9	2,6	10,1	6,7	5,7
10	1,9	8,4	10,1	7,4	1,9	9,8	7,7	7,2
11	1,6	7,9	12	7,7	1,2	8,1	7,7	7,9
12	0,4	7,4	14,2	8,6	-0,3	7,9	8,1	8,9

Güneş panelleri ile gerçekleştirilen deneyler laboratuvar şartlarında kayıt edilen deneylerin TE modül alt yüzey sıcaklıklarının en iyi sonuçları verdiği gerilim değerleri için tekrar edilmiştir. Güneş panelleri ile hava ve su soğutmalı olarak gerçekleştirilen deneylerin TE modül alt sıcaklığını gösteren sonuçlar Çizelge 5.3'te verilmiştir.

Çizelge 5.3. Güneş panelli sistemde elde edilen TE modül alt yüzey sıcaklıkları.

Lab. Şart.	HAVA SOĞUTMALI				SU SOĞUTMALI			
	Tek	Seri	Paralel	Ayrık	Tek	Seri	Paralel	Ayrık
En iyi sonuç gerilimi								
6	-	-	-	11,5	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	8,1	13
9	-	-	14,2	-	-	-	-	-
12	10,3	-	-	-	0,2	-	-	-
14	-	-	-	-	-	13	-	-
15	-	15,1	-	-	-	-	-	-

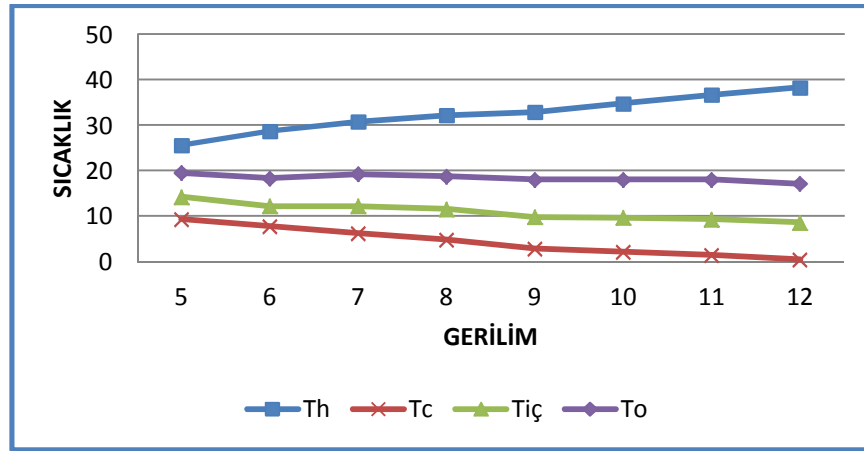
5.2.1. Tek Katlı TE Modül Deney Ölçümleri

Hava soğutmalı sistem üzerinde TE modül alt sıcaklığı ve üst sıcaklığı, kabin iç sıcaklığı, ortam sıcaklığı ve üst fan çıkış sıcaklığı değerlerinin ölçümü yapılmıştır. Kaydedilen değerler Çizelge 5.4'de bir araya getirilmiş ve karşılaştırması yapılmıştır. Belirlenen süre sonundaki deney sonuçlarına göre 5V'luk gerilimde TE modül alt sıcaklığının 9,3 °C'ye, 12V'luk gerilimde ise bu değer 0,4 °C olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca soğutma kabini iç sıcaklığı 5V'da 14,2 °C, 12V'da 8,6 °C olmuştur. Buna karşılık gelen COP değerleri ise sırasıyla 1,72 ve 0,44 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.4. Hava soğutmalı tek katlı modül deney sonuçları.

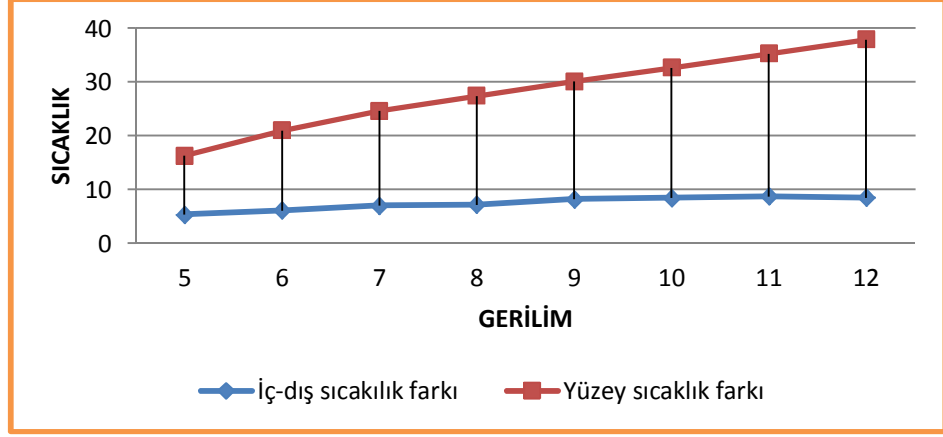
Zaman	T_c	T_h	$T_{iç}$	T_{ortam}	T_{fan}	I	V	COP
90dk	10,3	25,8	15,4	19,7	22,8	1,2	5	1,72
90 dk	7,7	28,2	12,2	17,5	25,1	1,4	6	1,28
90 dk	6,7	30,5	12,5	19	27	1,5	7	0,99
90 dk	5,3	32,2	12	18,7	28,2	1,7	8	0,82
90 dk	2,6	32,4	9,8	17,3	27,7	1,9	9	0,68
90 dk	1,9	35	9,6	18,3	30,1	2	10	0,57
90dk	1,6	36,7	9,8	17,8	31	2,7	11	0,52
90 dk	0,4	38,3	8,6	17,1	32	3,1	12	0,44

Hava soğutmalı tek katlı olarak bağlanmış modülden " T_c ", " T_h ", " $T_{iç}$ ", " T_{ortam} ", " T_{fan} " ve akım değerlerinin ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.6'da elde edilen değerlerin karşılaştırmasını görmektedir.



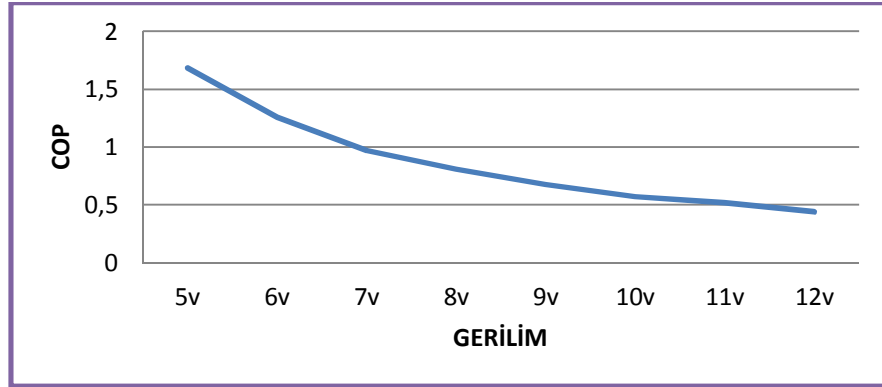
Şekil 5.6. Hava soğutmalı tek katlı modül sıcaklıklarının karşılaştırılması.

Tek katlı TE modül ile gerçekleştirilen deneyler diğer gerçekleştirilecek deneylere bir karşılaştırma orijini olması için gerçekleştirilmiştir. Zaman değeri olarak 90 dakikalık bir aralık belirlemede sistemin rejime yaklaşık 30 - 40 dakikalık bir sürede ulaşması etkili olmuştur.



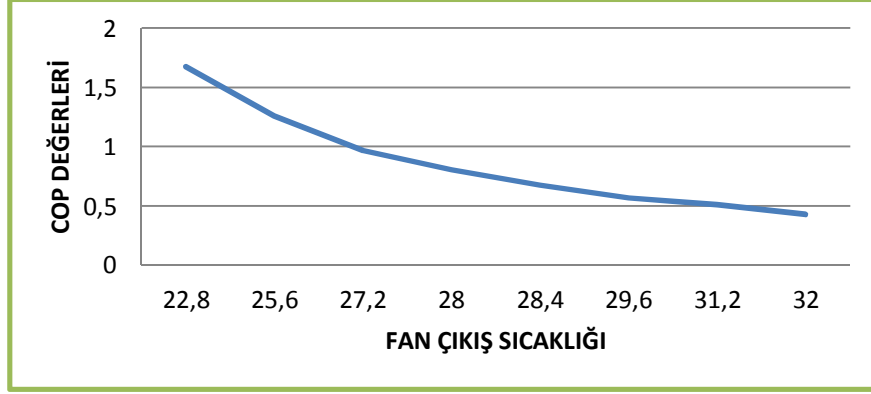
Şekil 5.7. Hava soğutmalı tek katlı modül gerilim ile sıcaklık farklarının karşılaştırılması.

Şekil 5.7’de gerilime bağlı olarak TE modül yüzey sıcaklık farkları ve kabin sıcaklığı ile ortam sıcaklığı farkları gösterilmektedir. Grafikte görüldüğü üzere gerilim değeri arttıkça ΔT değerleri de artmaktadır.



Şekil 5.8. Hava soğutmalı tek katlı TE modül COP değerleri.

En yüksek COP değeri 5V geriliminde 1,68 olarak görülmektedir. Bu değer gerilim arttıkça düşüş göstermektedir (Şekil 5.8). Bunun nedeni; TE modül sıcak yüzeyinden ısıyı tam olarak uzaklaştırılmadığından kaynaklanmaktadır. Isı yeterli olarak uzaklaştırılmış olsa COP değerleri daha iyi bir duruma gelecektir. Şekil 5.9’daki grafik bu durumu özetler niteliktedir.



Şekil 5.9. Hava soğutmalı tek katlı modül fan çıkış sıcaklığına göre COP değişimi.

Şekil 5.9’da fan çıkış sıcaklığı artış gösterdikçe COP değeri düşmektedir. TE modüller çalışma sistemleri gereği iki yüzeyi arasındaki sıcaklık farkı ne kadar yüksek olursa o kadar iyi performans göstermektedir. Yani bir yüzeyi ne kadar soğursa diğer yüzeyi o kadar ısınmaktadır. Ancak ısınan yüzeyden sıcaklık tam olarak uzaklaştırılmadığında yüzeyler arası ısı transferi olmakta ve soğuk yüzeydeki sıcaklıkta yükselmeye başlamaktadır. Bu durumu gidermek için sıcak yüzeye su soğutmalı sistemler adapte edilmeli veya havadan havaya daha kuvvetli ısı değiştiriciler kullanılmalıdır.

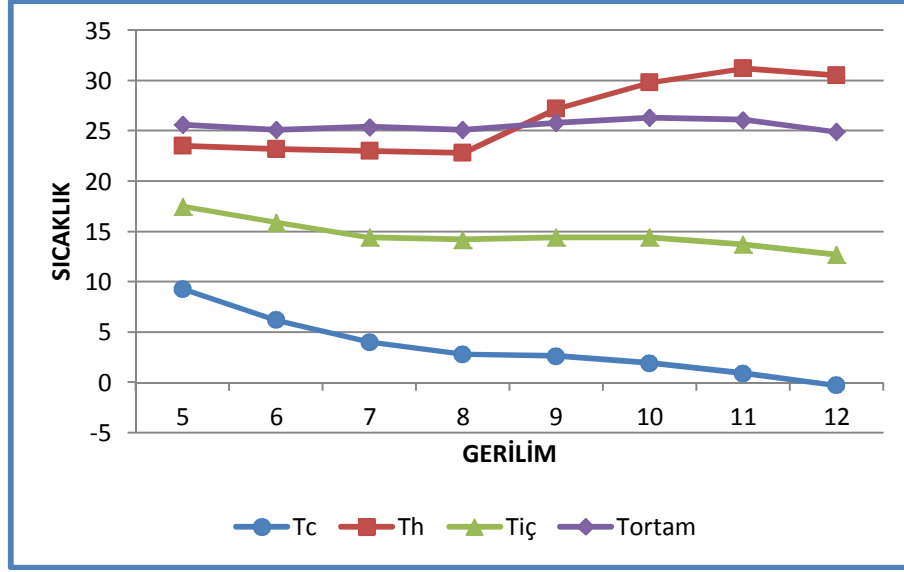
Hava soğutmalı olarak gerçekleştirilen deney sonuçlarına göre daha iyi performans değerleri elde etmek için su soğutmalı veya daha kuvvetli bir ısı değiştirici kullanılması gerektiği ortaya çıkmıştır. Bu durumu gerçekleştirmek için ikinci bir deney sistemi kurularak su soğutmalı deneyler gerçekleştirilmiştir. Su soğutmalı olarak gerçekleştirilen deneyler de hava soğutmalı olarak gerçekleştirilen deney şartlarında gerçekleştirilmiştir. 5 V gerilim değerinden 12 V gerilim değerine kadar tek katlı, ardışık katlı seri, paralel ve ayırık bağlı olarak sistem çalıştırılmıştır. Belirlenen sürelerde kaydedilen deney sonuçları Çizelge 5.5’de verilmiştir.

Çizelge 5.5. Su soğutmalı tek modül deney sonuçları.

V	T _c	T _h	T _{iç}	T _{ortam}	T _{afg}	T _{afç}	I	W	COP
5	9,3	23,5	17,5	25,6	17,8	15,4	1	5	1,78
6	6,2	23,2	15,9	25,1	16,1	13,2	1,3	7,8	1,35
7	4	23	14,4	25,4	14,6	11,5	1,6	11,2	1,10
8	2,8	22,8	14,2	25,1	14,4	10,8	2,1	16,8	0,98
9	2,6	27,2	14,4	25,8	14,2	9,8	2,5	24,3	0,79
10	1,9	29,8	14,4	26,3	14,2	9,8	2,7	27	0,66
11	0,9	31,2	13,7	26,1	13,2	9,8	2,8	30,8	0,57
12	-0,3	30,5	12,7	24,9	12,5	8,9	3,1	37,2	0,49

Çizelge 5.5’de gerilim değeri için elde edilen değerler verilmiştir. Çizelgede geçen “T_c”: TE modül alt sıcaklığını, “T_h”: TE modül üst sıcaklığını, “T_{iç}”: kabin iç sıcaklığını, “T_{ortam}”: ortam sıcaklığını, “T_{afg}”: alt fan giriş sıcaklığını, “T_{afç}”: alt fan çıkış sıcaklığını, “I” akım değerini ve “W” de TE modülün verdiği gücü ifade etmektedir.

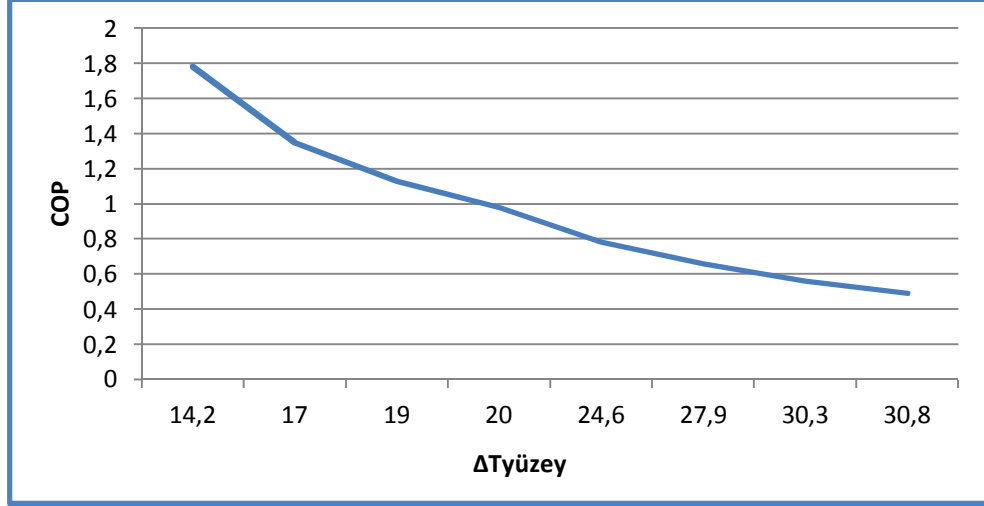
Su soğutmalı tek bağlı deney sonuçlarımız 5V değerinde sırasıyla TE modül alt sıcaklığımız, üst sıcaklığımız, kabin iç sıcaklığı, ortam sıcaklığı şu şekilde ölçülmüştür; 9,3 °C, 23,5 °C, 17,5 °C, 25,6 °C olmuştur. Buna bağlı olarak COP değerimiz 5 V’de 1,78, 12 V’de 0,49 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.10. Su soğutmalı tek katlı modül gerilim-sıcaklık grafiği.

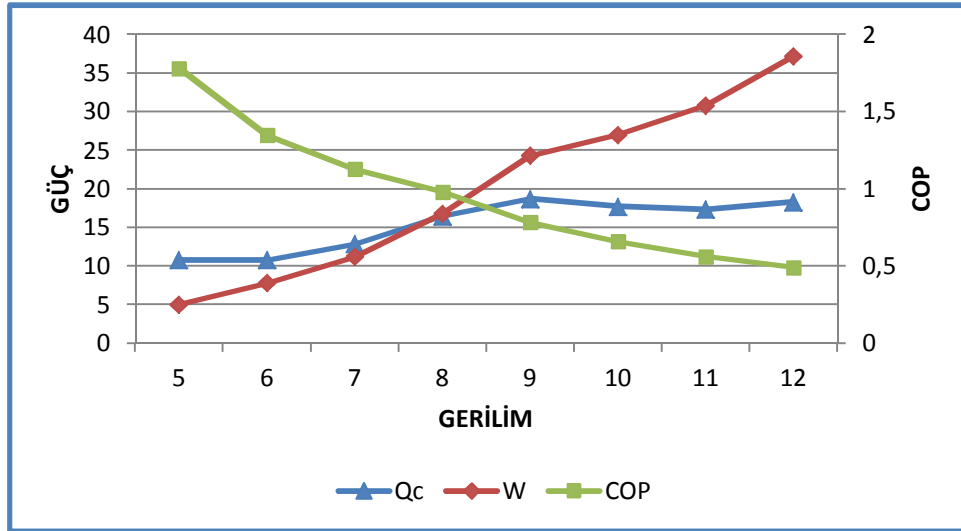
Şekil 5.10’da 5–12 V arasındaki değerlerde elde edilen “T_c”, “T_h”, “T_{iç}” ve “T_{ortam}” sıcaklıklarının karşılaştırması yapılmaktadır. Grafiğe göre “T_c” değeri 12 V değerinde -0,3 °C olarak görülmektedir.

Şekil 5.11’de görülen grafikte ise “ $\Delta T_{\text{yüzey}}$ ” değerine bağlı olarak COP değişimi gösterilmektedir. Burada “ $\Delta T_{\text{yüzey}}$ ” değeri artış gösterdikçe COP değerinde düşüş gerçekleştiği görülmektedir. Bu düşüşün nedeni olarak TE modülün soğutma gücünde kayda değer artışların olmamasının yanı sıra soğutma gücü ilk birkaç gerilim değerine kadar artış gösterip daha sonra sabit kalması buna karşılıklıta soğutma kabinin ısı kaybı değerini yenebilecek bir soğutma gücü sağlayamamasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 5.11. Su soğutmalı tek katlı modül karşılaştırma grafiği.

Şekil 5.12’de deney yapılan gerilim aralığına bağlı olarak TE modüle verilen elektriksel güç (W), TE modülün hesap edilen soğutma gücü (Q_c) ile bunlara göre COP karşılaştırması yapılmaktadır.



Şekil 5.12. Su soğutmalı tek katlı modül güç grafiği.

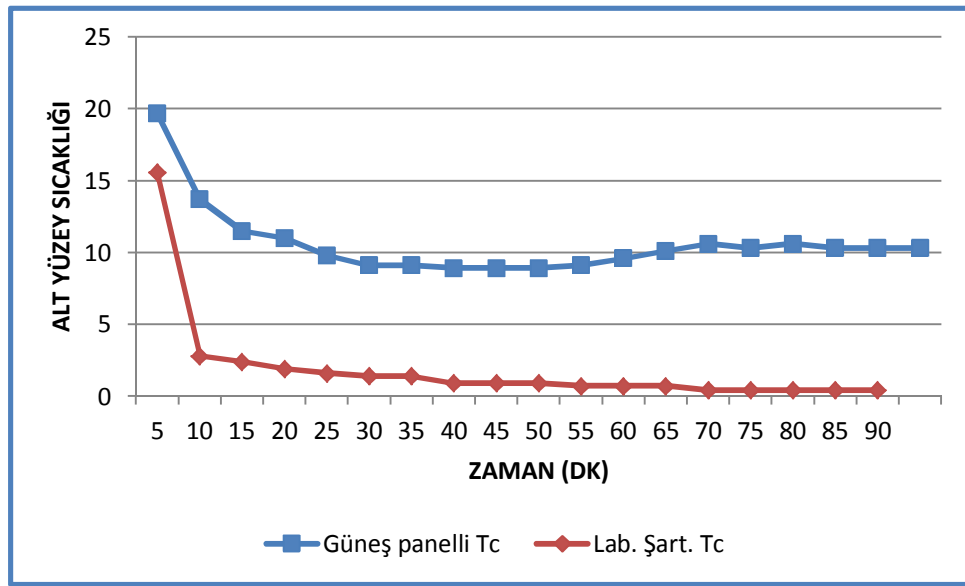
Yukarıdaki grafikten çıkarılan sonuç elektriksel olarak verilen güç her gerilim artışı ile artmakta ancak buna bağlı olan soğutma gücü artış gösterse de etkili olmamaktadır. Bunun için COP değeri de her gerilim artışında düşüş göstermektedir.

Laboratuvar şartları yanı sıra güneş panellerinden üretilen elektrik ile gerçekleştirilen hava soğutmalı tek katlı modül deney sonuçları Çizelge 5.6’de verilmiştir.

Çizelge 5.6. Hava soğutmalı sistemde güneş panelleri ile gerçekleştirilen tek katlı modül deney sonuçları.

V	T _c	T _h	T _{iç}	T _{ortam}	T _{afg}	T _{afç}	I	W	COP
12	10,3	57,6	31	26,8	30,5	28,5	3,2	38,4	0,41

Çizelge 5.6’da güneş panelleri ile gerçekleştirilen 12 V değeri laboratuvar şartlarında en iyi TE modül alt yüzey sıcaklığını veren değerdir. Bu değere göre gerçekleştirilen deneye göre COP değerimiz 0,41 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.13. Hava soğutmalı sistemde güneş paneli ve laboratuvar şartlarında gerçekleştirilen deneylerin karşılaştırılması.

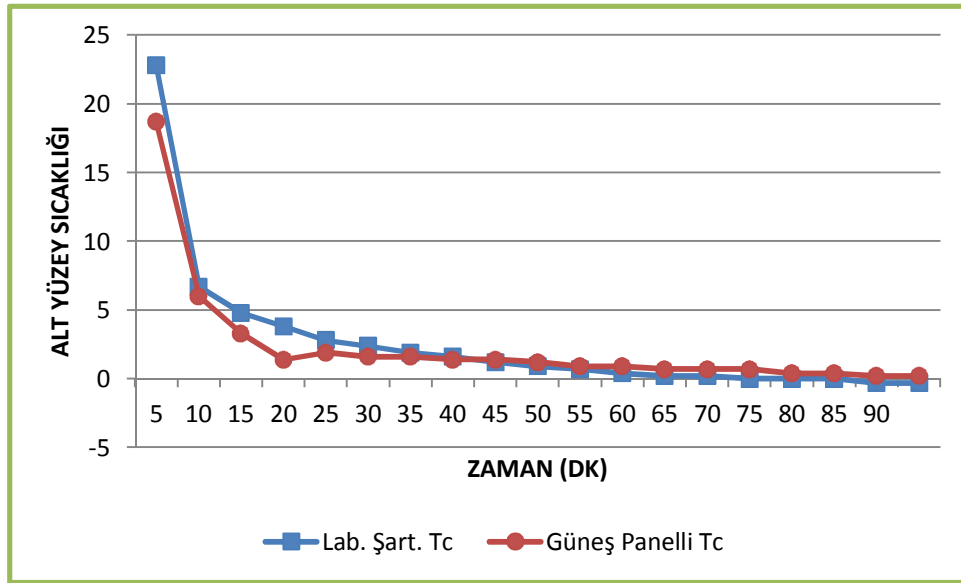
Şekil 5.13’de laboratuvar şartlarında ve güneş panelleri ile 12 V değerinde gerçekleştirilen deneylerde elde edilen sonuçların zamana karşı karşılaştırması yapılmıştır. Grafikten anlaşılacağı üzere laboratuvar şartlarında daha uygun sonuçlar elde edilmiştir. Güneş panelleri ile elde edilen sonuçların bu şekilde alınmasındaki nedenin dış ortam şartları olduğu söylenebilir.

Güneş panelleri kullanılarak gerçekleştirilen su soğutmalı tek katlı modül deney sonuçları Çizelge 5.7’de görülmektedir. Çizelge 5.7’de laboratuvar şartlarında en iyi alt yüzey sıcaklığını veren 12 V değerindeki sonuçlar verilmektedir.

Çizelge 5.7. Su soğutmalı sistemde güneş panelleri ile gerçekleştirilen tek katlı modül deney sonuçları.

V	T _c	T _h	T _{iç}	T _{ortam}	T _{afğ}	T _{afç}	I	W	COP
12	0,2	32,2	12,5	19,2	12,2	10,1	3,2	38,4	0,48

Yukarıdaki çizelgeye göre güneş panelleri ile su soğutmalı olarak gerçekleştirilen deneylerde COP değeri 0,48 ve alt yüzey sıcaklığı 0,2 °C olmaktadır.



Şekil 5.14. Su soğutmalı sistemde güneş panelli ve laboratuvar şartlarında gerçekleştirilen deneylerin karşılaştırılması.

Şekil 5.14’te laboratuvar şartlarında ve güneş panelleri ile 12 V değerinde gerçekleştirilen deneylerde elde edilen sonuçların zamana karşı karşılaştırması yapılmıştır. Grafığe göre su soğutmalı sistemde laboratuvar şartları ile dış ortam şartları altında gerçekleşen deneyler arasında hemen hemen bir farklılık

görülmemektedir. Güneş panelleri ile yapılan deneyde alt yüzey sıcaklığı 0,2 °C sıcaklığına ulaşmış ve COP değeri 0,48 olarak hesaplanmıştır.

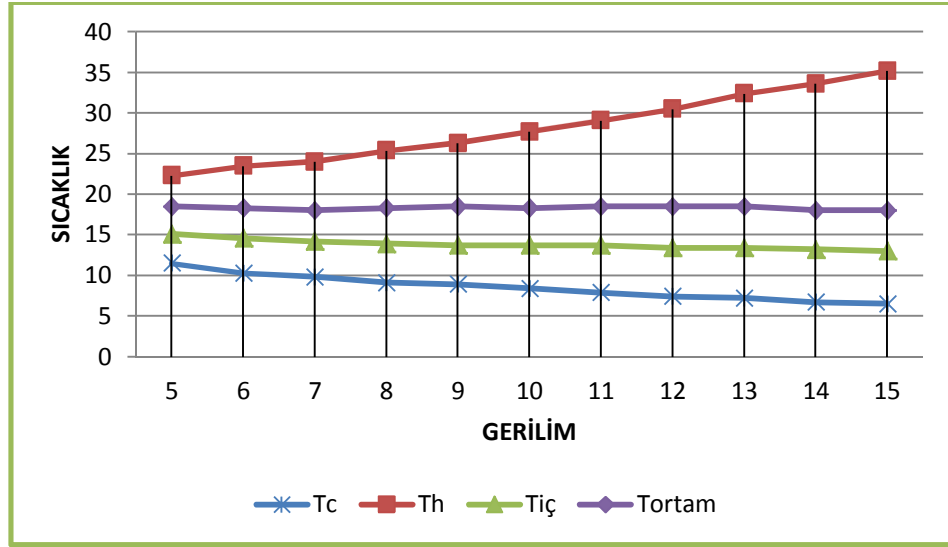
5.2.2. Ardışık Katlı Seri Bağlı TE Modül Deney Ölçümleri

Hava soğutmalı ardışık katlı seri bağlı TE modül deneyleri, tek katlı TE modül deneylerinin gerçekleştirildiği deney seti üzerinde gerçekleştirilmiştir. Deneyler 1,5 saatlik zaman sarfında 5 dakikalık aralıklarda sonuçlar kayıt edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre 5V değerinde TE modül alt sıcaklığı 11,5 °C ve soğutma kabini iç sıcaklığı 15,1 °C ölçülmüştür. Ardışık katlı seri bağlı TE modül deneylerinde gerilim değerine bağlı olarak TE elemanların çektikleri akımlar seri bağlı olmaları sebebiyle oldukça düşük seyretmektedir. TE modüllerin katalog değerlerine bağlı kalmak ve TE modüllerin yüksek akım değerlerinde çalışmasını sağlayacak gerilim değerini üreten güç kaynağımız bulunmadığı ve bunu gerçekleştirecek güç kaynağının maliyetinin fazla olması nedeniyle gerilim değeri deneylerde 15 V'a kadar alınmıştır. 15 V değerinde TE modül alt sıcaklığı 6,5 °C ve soğutma kabini iç sıcaklığı 13 °C olarak ölçülmüştür. Kayıt edilen değerlere göre hesap edilen COP değerleri ise 5 V için 1,53 iken 15 V için 0,42 olarak hesap edilmiştir. Kayıt altına alınan değerler Çizelge 5.8'de verilmiştir.

Çizelge 5.8. Hava soğutmalı ardışık katlı seri bağlı TE modül deney sonuçları.

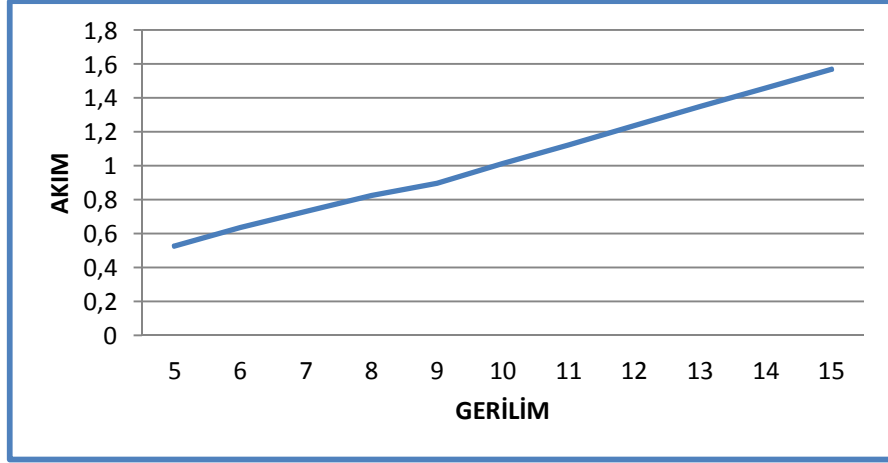
Zaman	T _c	T _h	T _{iç}	T _{ort}	T _{fan}	I	V	COP
90 dk	11,8	22,5	15,4	18,5	20,7	0,528	5	1,55
90 dk	10,6	23,5	14,6	18,5	20,9	0,639	6	1,25
90 dk	9,8	24	14,2	18	21,6	0,731	7	1,08
90 dk	9,1	25,4	13,9	18,3	22,5	0,825	8	0,91
90 dk	8,9	26,3	13,7	18,3	23,2	0,9	9	0,81
90 dk	8,4	27,7	13,7	18,3	24,2	1,015	10	0,71
90 dk	7,9	29,1	13,7	18,5	25,1	1,12	11	0,63
90 dk	7,4	30,5	13,4	18,5	25,8	1,24	12	0,57
90 dk	7,2	32,4	13,4	18,5	27	1,35	13	0,51
90 dk	6,7	33,6	13,2	18	27,5	1,46	14	0,46
90 dk	6,5	35,2	13	18	28,9	1,57	15	0,42

Hava soğutmalı ardışık katlı seri bağlı TE modül deney sonuçlarına göre Şekil 5.15’de elde edilen sıcaklık değerleri grafik olarak verilmiştir. Grafiğe göre TE modül alt sıcaklığı 5 V değerinde 11,5 °C, 15 V değerinde ise 6,5 °C , “T_h” için 5 V da 22,3 °C, 15 V’ta 35,2 °C, “T_{iç}” 5 V’ta 15,1 °C, 15 V’ta 13 °C olarak tespit edilmiştir.



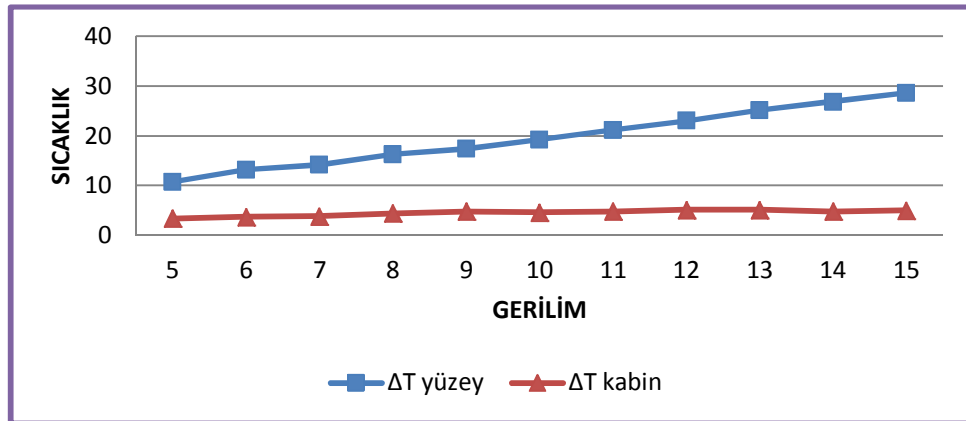
Şekil 5.15. Hava soğutmalı ardışık katlı seri bağlı TE modülün gerilime göre sıcaklık değerleri.

Şekil 5.16’da görüldüğü üzere akım değerleri deney gerçekleştirilen aralıkta 0,5 – 1,6 A aralığında değişmektedir. Aslında tek katlı olarak bağlanmış olan TE modülde örneğin 5 V’de çekilen akım 1,2 A gibi bir değere tekabül etmektedir. Bu yönüyle seri bağlı modül tek katlı olan bağlama yönteminden daha kullanışlı olmaktadır. Ancak TE modüllerin güç değerlerinde en etkili değişken akım değeri olduğundan avantaj görülen düşük akım çekme işlemi dezavantaja dönüşmektedir.



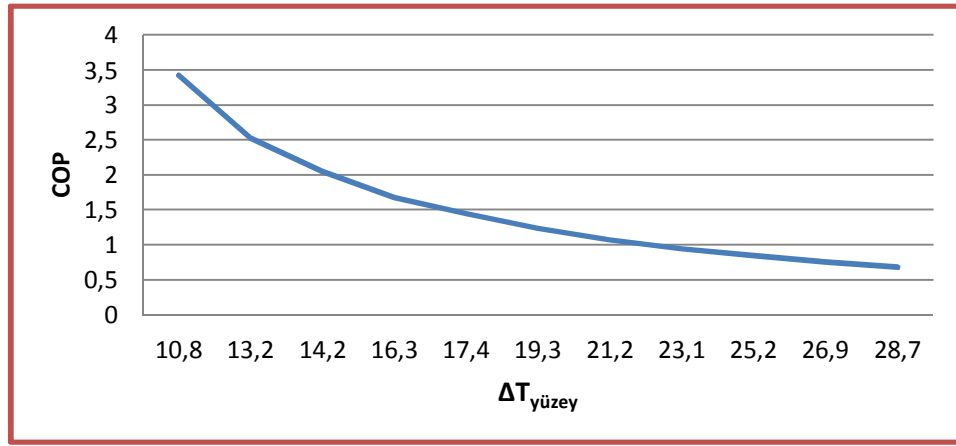
Şekil 5.16. Hava soğutmalı ardışık katlı seri bağlı TE modülün akım-gerilim değerleri.

Şekil 5.17’de sıcaklık farklarının karşılaştırıldığı bir grafik görmektedir. Grafiğe göre TE modül yüzeyindeki sıcaklık değerleri artmakta buna karşın “ $T_{iç}$ ” ve “ T_{ortam} ” farkı pek fazla değişmemektedir. “ ΔT_{kabin} ” de sıcaklık farkının büyümesi için “ T_c ” değerinin daha düşük sıcaklıklara ulaşması gerekmektedir. Sonuçta ortam sıcaklığı pek fazla değişim göstermeyecektir. Bu durumu gerçekleştirmek için yani “ T_c ” sıcaklığını daha da düşürmek için “ T_h ” değerini değiştirmemiz gerekmektedir. Ancak “ T_h ” değerinin belirli bir değerde tutulması gerektiği de göz ardı edilmemelidir. Çünkü “ T_h ” sıcaklığı arttığında gerekli düzeyde sıcaklık uzaklaştırılmaz ise soğuk yüzey ile sıcak yüzey arasında ısı transferi gerçekleşmekte ve soğuk yüzey sıcaklığında buna bağlı olarak artış göstermektedir. Bu durumun olmaması için “ T_h ” sıcaklığının düzenli ve etkili olarak uzaklaştırılması gerekmektedir.



Şekil 5.17. Hava soğutmalı ardışık katlı seri bağlı TE modülün sıcaklık farklarının değişimi.

Şekil 5.18’de TE modül yüzey sıcaklıkları farkına bağlı olarak sistemin COP değişimini görülmektedir. Bu grafiğe göre yüzeyler arasındaki fark büyüdükçe COP değeri düşüş göstermektedir. Buradan şöyle bir durum ortaya çıkmaktadır. $\Delta T_{\text{yüzey}} = T_h - T_c$ olduğundan “ T_h ” değeri büyürken etkili bir şekilde sıcaklığı uzaklaştırılmadığından soğuk yüzeyi ile ısı transferi gerçekleşmekte ve “ T_c ” sıcaklığı düşüş göstermektedir. Soğutma durumundaki COP değerinde buna bağlı olarak düşüş göstermektedir. Bu durumun oluşmaması için “ T_h ” sıcaklığının etkili şekilde uzaklaştırılacak daha güçlü fanlar veya sıvı soğutmalı sistemler denenmelidir.



Şekil 5.18. Hava soğutmalı ardışık katlı seri bağlı modül $\Delta T_{\text{yüzey}}$ ’e bağlı olarak COP değişimi.

Hava soğutmalı olarak gerçekleştirilen ardışık katlı seri bağlı deney verilerine bağlı olarak çıkartılan sonuca göre su soğutmalı ardışık katlı seri bağlı TE modüller ile 5 V değerinden 15 V değerine kadar daha önce gerçekleştirilen deney şartlarında ve belirlenen süre zarfında deneyler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler kayıt altına alınarak Çizelge 5.9’da verilmiştir.

Çizelge 5.9. Su soğutmalı ardışık katlı seri bağlı TE modüllerin deney sonuçları.

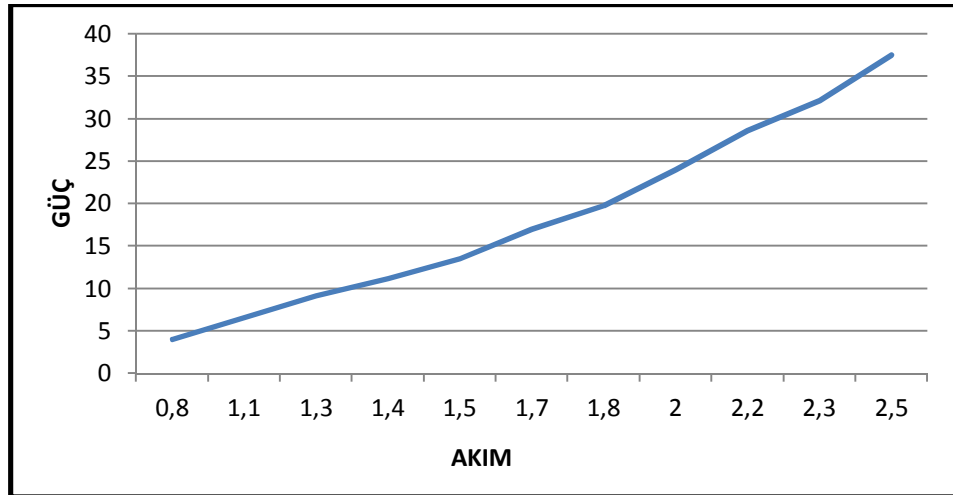
V	T_c	T_h	$T_{iç}$	T_{ortam}	T_{afg}	$T_{afç}$	I	W	COP
5	13	28	19,2	26,8	19,5	18	0,8	4	1,56
6	13,7	28	20	25,8	20	19	1,1	6,6	1,50
7	11,8	29,4	18,7	26,3	18,7	17,5	1,3	9,1	1,21
8	10,3	28,9	17,8	25,4	17,8	16,6	1,4	11,2	1,04

Çizelge 5.9. (devam ediyor.)

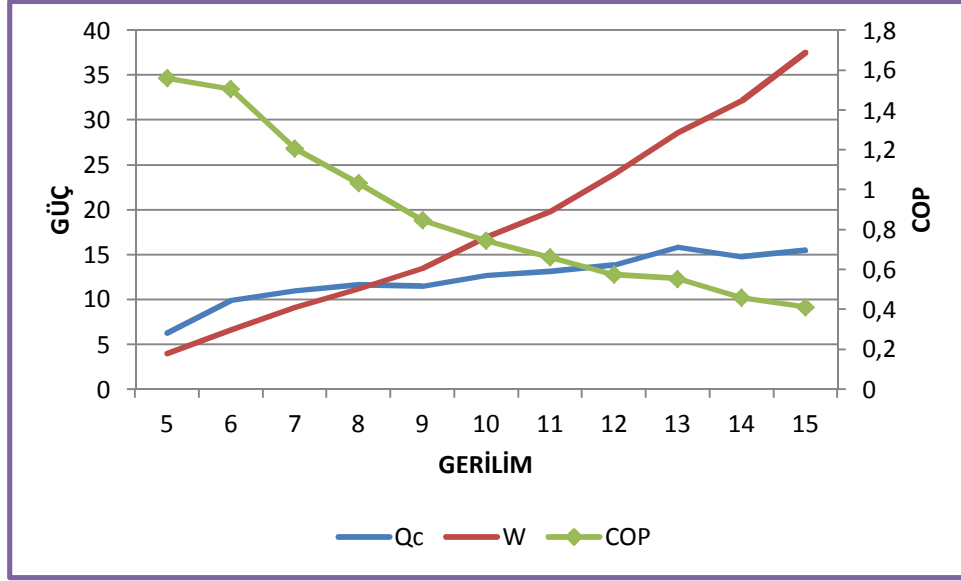
9	10,1	32,4	18,3	27,2	18,5	17,1	1,5	13,5	0,85
10	9,8	34,1	18	26,8	18,3	16,8	1,7	17	0,75
11	8,1	33,4	16,6	25,1	16,6	15,1	1,8	19,8	0,66
12	7,9	36,2	17,1	25,6	17,1	15,6	2	24	0,58
13	8,4	35	17,3	25,4	17,3	15,9	2,2	28,6	0,55
14	6	37,6	15,1	24	15,4	13,9	2,3	32,2	0,46
15	7,7	42	17,3	25,1	17,5	15,9	2,5	37,5	0,41

Bunlara bağılı olarak Eşitlik 3.20'ye göre yapılan hesaplamalara göre COP değerlerimiz 5 V'ta 1,56, 12 V'ta 0,18 ve 15 V'ta 0,41 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.9'da verilen değerler ışığında Şekil 5.19'da TE modüllerin çektiği akım değerine göre sisteme verilen gücün karşılaştırıldığı bir grafik sunulmuştur. Grafiğe göre su soğutmalı sistemin hava soğutmalı sisteme göre daha fazla akım çektiği görülmektedir. Bunun nedeni su soğutmalı TE modüllerin daha fazla soğutma gücü üretmesidir.



Şekil 5.19. Su soğutmalı ardışık katlı seri bağılı modüllerin akıma bağılı güç grafiği.



Şekil 5.20. Su soğutmalı ardışık katlı seri bağlı TE modüllerin güç grafiği.

Şekil 5.20’de su soğutmalı ardışık katlı seri bağlı TE modüllerin soğutma gücü, elektriksel güç ve COP değeri arasında karşılaştırma yapılmaktadır. Grafiğe göre sistemin elektriksel gücü artış gösterirken soğutma gücü elektriksel güç ile doğru orantılı olarak artış göstermemektedir. COP değeri de bu iki değere bağlı olduğundan başlarda yüksek daha sonra elektriksel güce karşı soğutma gücünün düşük kalmasından dolayı düşüş göstermektedir.

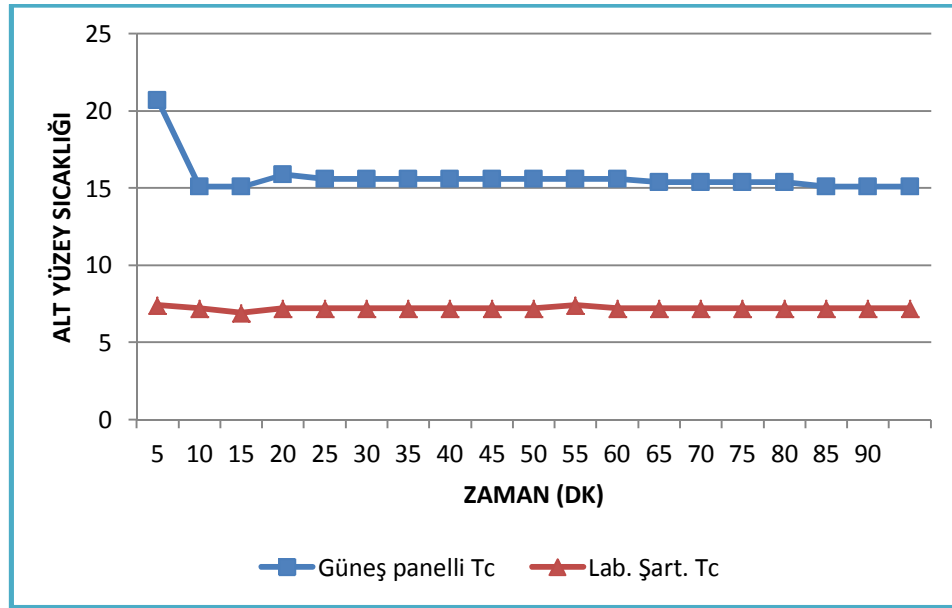
Güneş panelleri ile gerçekleştirilen deneylere ait sonuçlar Çizelge 5.10’da verilmiştir. Çizelge 5.10’da verilen değerlerinin laboratuvar şartlarında gerçekleştirilen deneylerin en iyi alt yüzey sıcaklığı veren 15 V değerinde yapılması gerekirken güneş panellerinde maksimum 13,2 V gerilim alınmasından ötürü bu durum gerçekleştirilememiştir. Buna binaen deneyler panellerin ürettiği 13,2 V değerine göre gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 5.10. Hava soğutmalı sistemde güneş panelleri ile gerçekleştirilen ardışık katlı seri bağlı modül deney sonuçları.

V	T _c	T _h	T _{iç}	T _{ortam}	T _{afg}	T _{afç}	I	W	COP
13,2	15,1	31,2	19,7	22,5	19,7	19,5	1	13	0,64

Şekil 5.21’de hava soğutmalı ardışık katlı seri bağlı modüllerin güneş pilleri ve laboratuvar ortamında gerçekleştirilen deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma grafiğine göre laboratuvar şartlarında gerçekleştirilen deneyin güneş panelleri ile gerçekleştirilen deneylerden elde edilen verilerden daha iyi durumda olduğu görülmektedir. Grafik değerinde laboratuvar şartlarında “T_c” değeri 7,2 °C sıcaklığa ulaşırken güneş panelleri ile gerçekleştirilen deneyde “T_c” 15,1 °C olarak görülmektedir.

Şekil 5.21’de gözlenen durumun dış ortam şartlarından kaynaklandığı söylenebilir. Dış ortamdaki hava sıcaklıklarının laboratuvar sıcaklığından fazla ve çok değişken olması, havanın rüzgârlı olması, soğutma kabine doğrudan güneş gelmesi v.b. durumlar güneş pilleri ile yapılan deneylerin hatalı yönlerini oluşturmaktadır.



Şekil 5.21. Hava soğutmalı sistemde güneş paneli ve laboratuvar şartlarında gerçekleştirilen deneylerin karşılaştırılması.

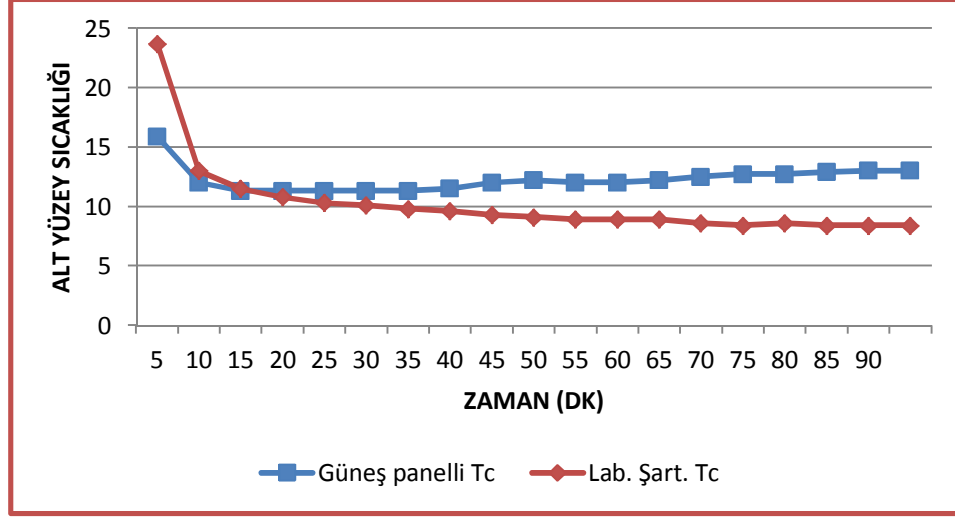
Güneş panelleri ile hava soğutmalı sistemin yanı sıra su soğutmalı ardışık katlı seri bağlı modül deneyleri de gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen deneylerden elde edilen veriler Çizelge 5.11’de verilmiştir. Çizelge 5.11’de verilen veriler laboratuvar şartlarında elde edilen alt yüzey sıcaklığının en iyi sonuçlarından 14 V değerine göre

oluşturulması gerekirken güneş panellerinden en fazla 13,2 V gerilim üretilmediğinden 13,2 V değerine göre gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 5.11. Su soğutmalı sistemde güneş panelleri ile gerçekleştirilen ardışık katlı seri bağlı modül deney sonuçları.

V	T _c	T _h	T _{iç}	T _{ortam}	T _{afg}	T _{afç}	I	W	COP
13,2	13	23,7	16,8	20	16,6	16,3	0,8	10,4	0,72

Şekil 5.22’de su soğutmalı ardışık katlı seri bağlı modüllerin güneş panelleri ve laboratuvar ortamında gerçekleştirilen deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma grafiğine göre laboratuvar şartlarında gerçekleştirilen deneyin güneş panelleri ile gerçekleştirilen deneylerden elde edilen verilerden daha iyi durumda olduğu görülmektedir. Şekil 5.22’de ki grafiğe göre 5–15 dakika aralığında güneş panelleri ile elde edilen sonuçların iyi olduğu ancak bu zaman zarfından sonra durumun laboratuvar şartlarındaki deney verileri lehine olduğu görülmektedir. Grafiğe göre en düşük sıcaklık güneş panelleri ile yapılan deneyde 13 °C iken laboratuvarda gerçekleştirilen deneyde 8,4 °C olmaktadır. COP değerleri sırasıyla 0,72 ve 0,55 olarak hesaplanmıştır. COP değerlerin arkının fazla olmasındaki en büyük etki güneş panelleri ile yapılan deneylerin laboratuvarda yapılan deneylere göre daha az enerji çekmesinden kaynaklanmaktadır. Laboratuvar şartlarında TE modüllerin çektiği enerji 28,6 W olurken güneş panellerindeki deneylerde bu değer 10,4 W olarak ölçülmüştür.



Şekil 5.22. Su soğutmalı sistemde güneş paneli ve laboratuvar şartlarında gerçekleştirilen deneylerin karşılaştırılması.

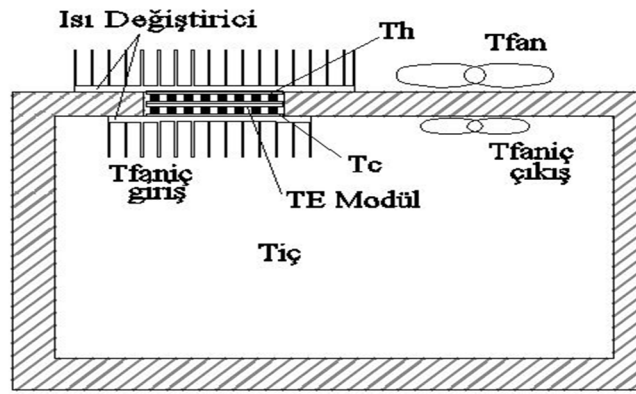
5.2.3. Ardışık Katlı Paralel Bağlı TE Modül Deney Ölçümleri

Bu sistemde gerçekleştirilen deneyler sonucunda alt modül sıcaklığı 5 V için 13,7 °C, 12 V için 14,2 °C olarak ölçülmüştür. Soğutma kabini iç sıcaklığı ve ortam sıcaklığı sırasıyla 5 V’de 16,1 °C, 17,8 °C, 12 V’de 17,1 °C, 19,2 °C olarak ölçülmüştür. Bu değerlere göre 5 V’de ki COP değeri 1,62 bulunurken 12 V’de bu değer 0,49 olarak hesaplanmıştır. Ara değerler için kayıt altına alınan değerler Çizelge 5.12’de verilmiştir.

Çizelge 5.12. Hava soğutmalı ardışık katlı paralel bağlı TE modüllerin deney sonuçları.

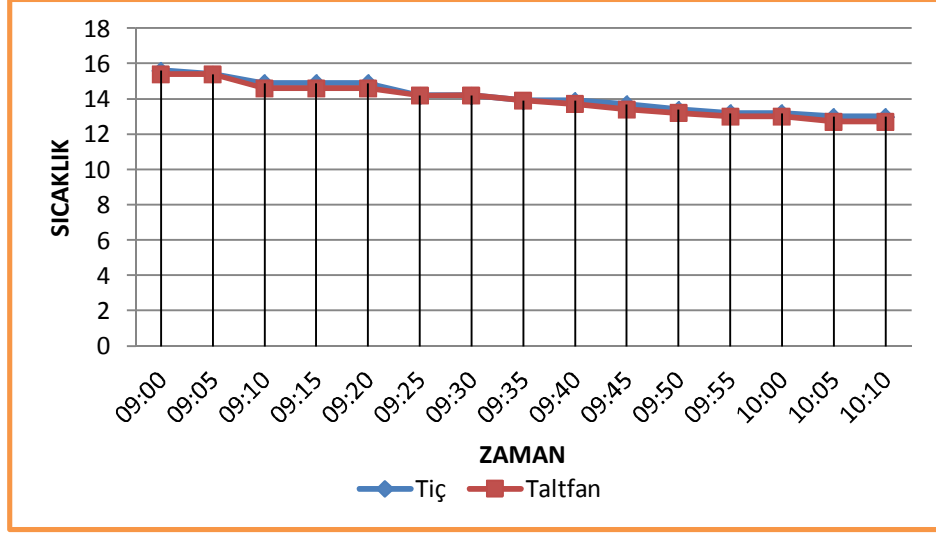
Zaman	T _c	T _h	T _{iç}	T _{ortam}	T _{fan}	I	V	COP
90 dk	14,2	33,1	16,6	18	26,5	2,5	5	1,62
90 dk	12,7	35,2	15,6	17,5	27	2,8	6	1,26
90 dk	11,8	37,6	15,2	17,8	28,2	3,4	7	1,03
90 dk	11	40,9	14,6	17,8	30,5	3,7	8	0,83
90 dk	7,2	43	13	18,5	32	3,9	9	0,64
90 dk	10,1	47,6	14,9	20	34,5	4,8	10	0,59
90 dk	12	50,9	16,1	19,2	36,2	5	11	0,53
90 dk	14,2	54,6	17,1	19,2	37,4	5,2	12	0,49

Ardışık katlı paralel bağı TE modüller ile gerçekleştirdiğimiz deneylerde diğer deneylerde olduğu gibi “ T_c ”, “ T_h ”, “ T_{fan} ”, “ $T_{iç}$ ”, “ T_{ortam} ” sıcaklıkları yanı sıra kabin içinde bulunan fanın giriş ve çıkış sıcaklıklarının da ölçümünü gerçekleştirilmiştir. Alt fan giriş sıcaklığı olarak ifade edilen TE modül altında bulunan ısı değiştiricinin sıcaklığı olurken çıkış sıcaklığı olarak da bu sıcaklığın daha rahat iletimini sağlamak için yerleştirilen fandan alınan sıcaklıktan bahsedilmektedir. Bu durum Şekil 5.23’de görülmektedir.



Şekil 5.23. Soğutma kabini içinden bir görünüm.

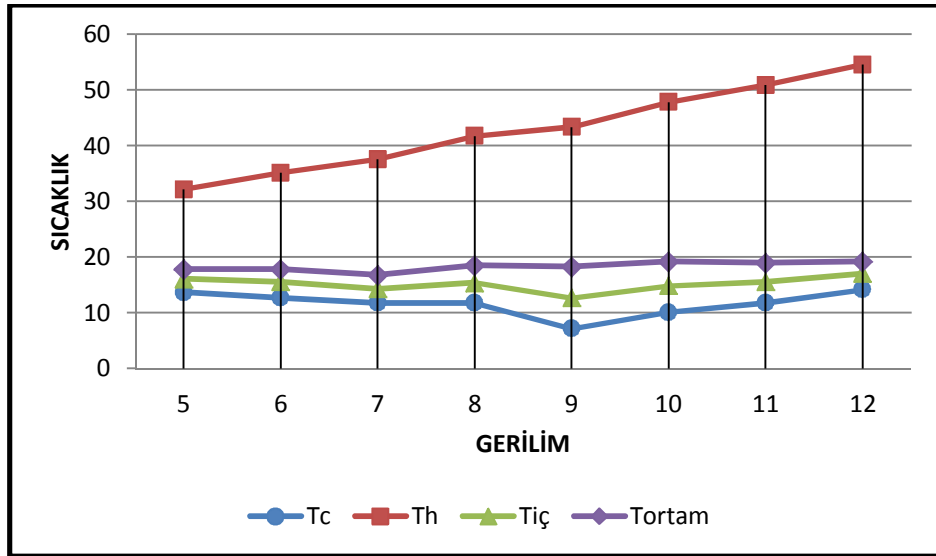
Alt fan sıcaklık değerlerinin alınmasındaki neden soğutma kabini içine yerleştirdiğimiz fanın ne kadar etkili olduğunu öğrenmektir. Şekil 5.24’te ardışık katlı paralel bağı modüllerin göstermiş olduğu en iyi performansta alt fan giriş sıcaklığına bağı iç ortam sıcaklığı grafiği incelenmektedir.



Şekil 5.24. Hava soğutmalı alt fan çıkış sıcaklığına bağlı ortam sıcaklığı grafiği.

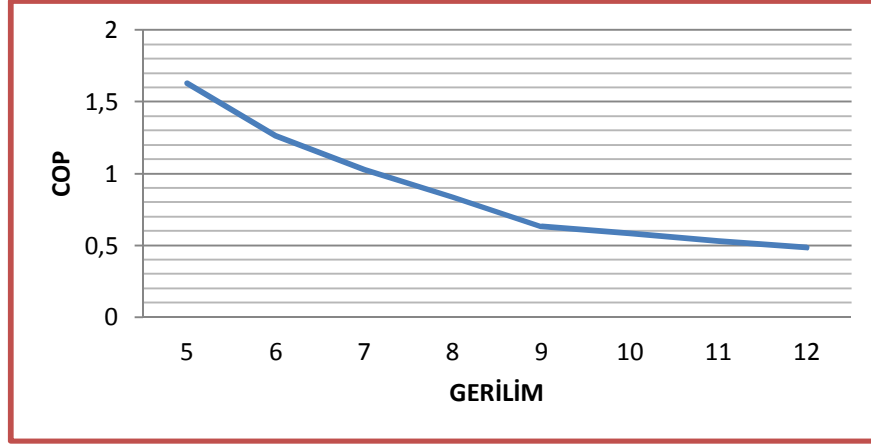
Şekil 5.24'teki grafiğe göre iç ortam sıcaklığının TE modülün soğuk taraf sıcaklığına bağlı olduğu görülmektedir. Bir başka deyişle “ T_c ” sıcaklığını ne kadar düşürebilsek iç ortamı da buna bağlı olarak o kadar soğutabiliriz demektir.

Şekil 5.25'de Çizelge 5.12'de verilen değerlerin grafiksel bir görünümü verilmiştir. Grafiğe göre göre sistem en iyi “ T_c ” sıcaklığına 9 V değerinde vermektedir. Buna bağlı olarak diğer değerlerde en iyi durumlarını bu değerinde vermektedir. 9 V'de “ T_c ” 7,2 °C, “ T_h ” 43,4 °C, “ $T_{iç}$ ” 12,7 °C, “ T_{ortam} ” 18,3 °C değerlerinde olmaktadır.



Şekil 5.25. Hava soğutmalı ardışık katlı paralel bağlı TE modüller sıcaklık grafiği.

Gerilim artış gösterdiğinde Şekil 5.26'daki grafikteki değerlerde artış göstermekte ve COP düşmektedir. 9 V'de COP değeri 0,63 olurken 12 V'de 0,48 olarak hesaplamıştır.



Şekil 5.26. Hava soğutmalı ardışık katlı paralel bağlı TE modüllerde gerilime göre COP değişimi.

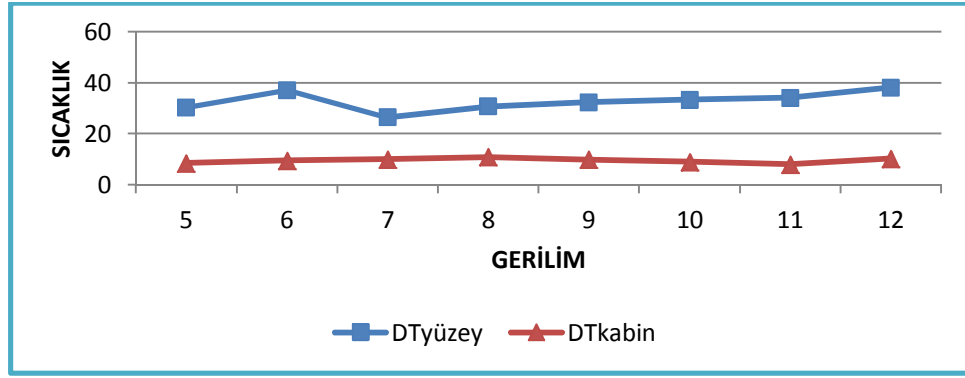
Hava soğutmalı sistemin eksikliklerini gidermek adına su soğutmalı ardışık katlı TE modüller ile gerçekleştirdiğimiz deneyler paralel bağlı TE modüller içinde gerçekleştirilmiştir. Paralel bağlı ardışık modüller ile gerçekleştirilen deneylerde diğer deneyler ile aynı şartlar altında gerçekleştirilmiştir. Kayıt altına alınan değerler Çizelge 5.13'de verilmiştir.

Çizelge 5.13. Su soğutmalı ardışık katlı paralel bağlı TE modüllerin deney sonuçları.

V	T _c	T _h	T _{iç}	T _{ortam}	T _{afg}	T _{afç}	I	W	COP
5	9,8	40,2	18,5	27	18,5	14,9	2,5	12,75	1,34
6	9,1	46,2	18,3	27,8	18,3	14,6	3	18	0,97
7	5	31,5	15,1	25,1	15,1	12	4	28	0,81
8	6,7	37,4	17,1	28	17,1	14,4	4,5	36	0,61
9	6,7	39	17,1	27	17,1	14,6	4,8	43,2	0,49
10	7,7	41,1	17,5	26,5	17,8	15,9	5,4	54	0,36
11	7,7	41,8	17,1	25,1	16,8	15,1	5,8	63,8	0,27
12	8,1	46,2	17,8	28	17,8	15,9	6,1	73,2	0,20

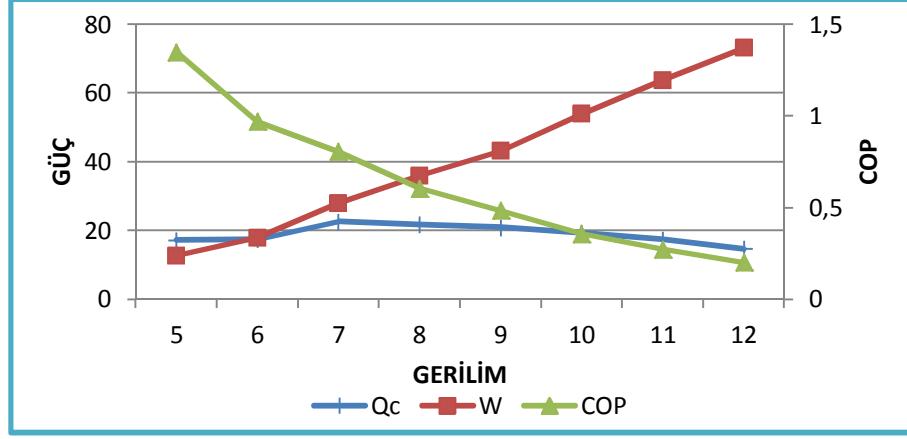
Çizelge 5.13'deki deney sonuçları her gerilim değerinin en iyi sonuçları dikkate alınarak hazırlanmıştır.

Şekil 5.27'de su soğutmalı ardışık katlı paralel bağlı TE modüllerin yüzey sıcaklıkları farkı ve soğutma kabini iç sıcaklığı ile dış sıcaklık farkının karşılaştırması görülmektedir. " $\Delta T_{\text{yüzey}}$ " en büyük değerini 12 V değerinde 38,1 °C olarak almaktadır. " ΔT_{kabin} " ise 8 V değerinde 10,8 °C olarak almaktadır.



Şekil 5.27. Su soğutmalı ardışık katlı paralel bağlı TE modüllerin sıcaklık farkı gerilim grafiği.

Ardışık katlı paralel bağlı TE modüllerin sıcak yüzeyinde oluşan ısıyı su soğutmalı bir sistem kullanarak uzaklaştırma işlemi denenmiştir. Gerçekleştirilen deney sonuçları daha evvel Çizelge 5.13'de verilmiştir. Şekil 5.28'de TE modüllere verilen elektriksel güce karşın elde edile soğutma gücünü karşılaştırması görülmektedir. Grafikte COP değeri en yüksek 1,34, soğutma gücü en yüksek değeri 7 V değerinde 22,5 W ve elektriksel güçte 12 V değerinde 73,2 W olarak hesaplanmıştır.



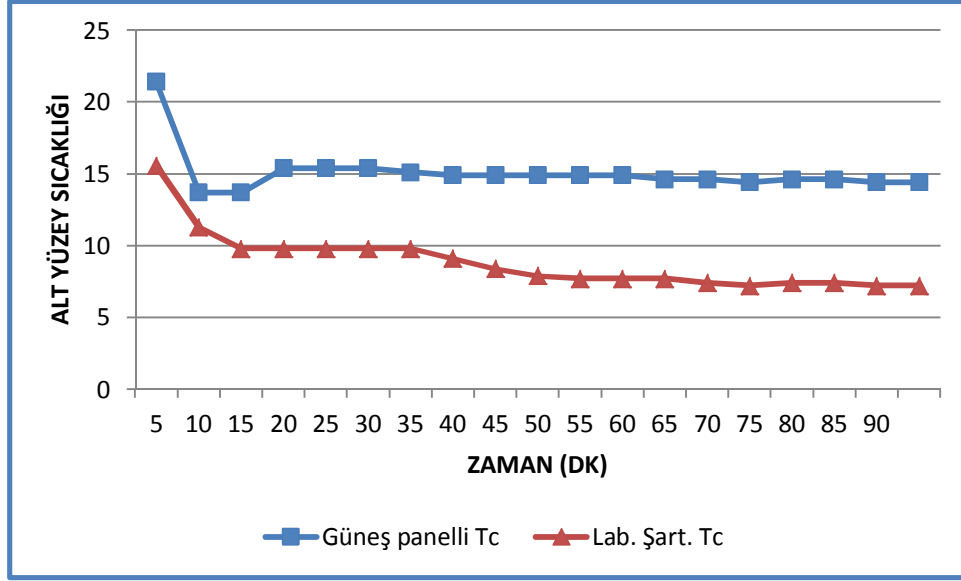
Şekil 5.28. Su soğutmalı ardışık katlı paralel bağlı TE modüllerin güç grafiği.

Laboratuvarında gerçekleştirilen deneyler ışığında güneş panelleri ile yapılan ardışık katlı paralel bağlı gerçekleştirilen deney sonuçları Çizelge 5.14'te verilmiştir. Çizelgedeki değerler laboratuvar şartlarında gerçekleştirilen deneylerde alt yüzey sıcaklığı en iyi olan 9 V değerinde deneyler tekrar edilerek elde edilmiştir.

Çizelge 5.14. Hava soğutmalı sistemde güneş panelleri ile gerçekleştirilen ardışık katlı paralel bağlı modül deney sonuçları.

V	T _c	T _h	T _{iç}	T _{ortam}	T _{afg}	T _{afç}	I	W	COP
9	14,4	47,6	19,5	20,7	19,2	18,7	3,2	28,8	0,72

Şekil 5.29'da hava soğutmalı ardışık katlı paralel bağlı modüllerin güneş panelleri ve laboratuvar ortamında gerçekleştirilen deney sonuçları karşılaştırılmıştır.



Şekil 5.29. Hava soğutmalı sistemde güneş paneli ve laboratuvar şartlarında gerçekleştirilen deneylerin karşılaştırılması.

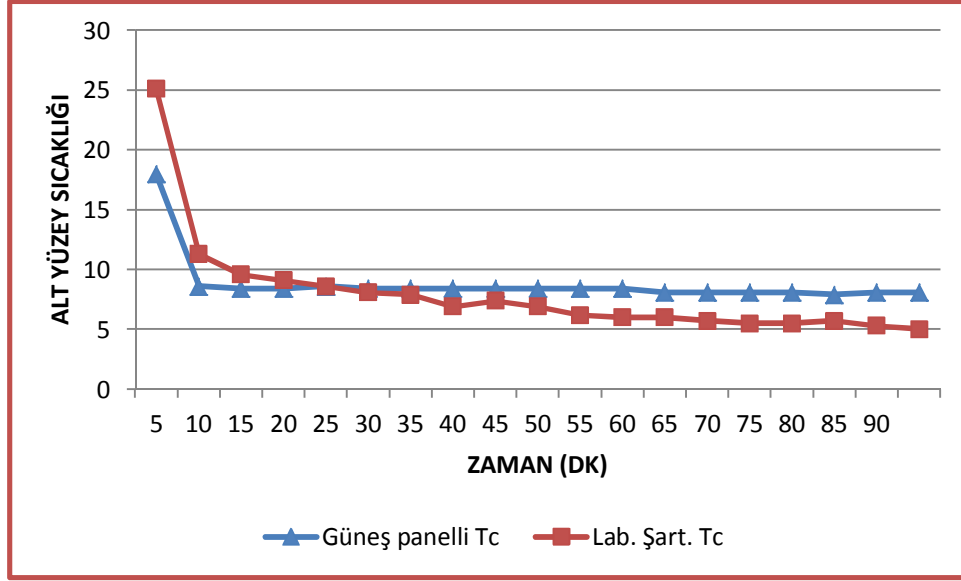
Şekil 5.29'a göre elde edilen eğriler hemen hemen aynı olmaktadır. Ancak sıcaklık değerleri laboratuvar şartlarında gerçekleştirilen deneylerde daha iyi olduğu görülmektedir. Bu durumun nedeni ortam değişikliğinden ve dış şartların etkilerinden kaynaklanmaktadır.

Güneş panellerinden elde edilen elektrik kullanılarak ardışık katlı paralel bağlı su soğutmalı sistem ile gerçekleştirilen deneylerden elde edilen sonuçlar Çizelge 5.15'de verilmiştir. Sistem deneyler gerçekleştirirken 7 V değerinde çalıştırılmıştır. 7 V değerinde çalıştırılmasının sebebi laboratuvar şartlarında en düşük alt yüzey sıcaklığının bu değerde elde edilmiş olmasıdır.

Çizelge 5.15. Su soğutmalı sistemde güneş panelleri ile gerçekleştirilen ardışık katlı paralel bağlı modül deney sonuçları.

V	T _c	T _h	T _{iç}	T _{ortam}	T _{afg}	T _{afç}	I	W	COP
7	8,1	34,1	13,7	18	13,7	13	4	28	0,83

Şekil 5.30'da yapılan deneyler sonucu elde edilen verilerin zamana göre karşılaştırılmıştır.



Şekil 5.30. Su soğutmalı sistemde güneş paneli ve laboratuvar şartlarında gerçekleştirilen deneylerin karşılaştırılması.

Şekil 5.30’da 7 V değerinde güneş panelleri ve laboratuvar şartlarında yapılan deneylerden elde edilen alt yüzey sıcaklığı değerlerinin zamana karşı karşılaştırılması yapılmaktadır. Grafiğe göre güneş panelleri ile elde edilen en düşük sıcaklık 8,1 °C olarak kayıt edilmiştir. Ayrıca yapılan hesaplamalara göre COP değeri laboratuvar şartlarında 0,80 olurken güneş panellerinde 0,83 olarak hesap edilmiştir.

5.2.4. Ardışık Katlı Ayrık Bağlı TE Modül Deney Ölçümleri

Bu deneylerde, ardışık katlı TE modüller farklı güç kaynaklarına bağlanarak her birini farklı gerilim değerlerinde çalıştırmak suretiyle deneyler gerçekleştirilmiştir.

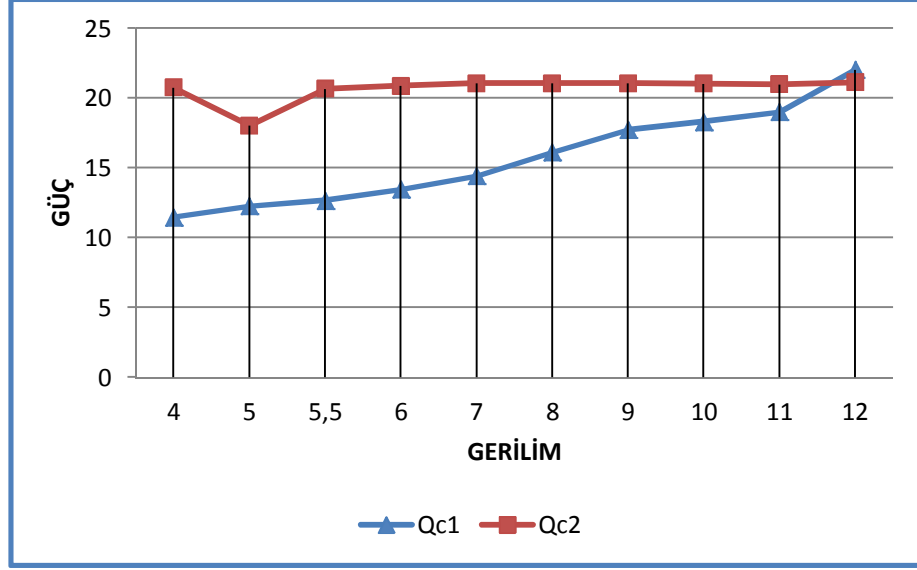
Alt TE modül gerilim değeri 5 V’den 12 V’ye kadar değiştirilmiştir. Üst TE modül gerilimini ise 12 V’de sabit tutulmuştur. Hava soğutmalı olarak gerçekleştirilen çalışma sonucunda modül alt sıcaklığını 5 V’de 5,5 °C, 12 V’de 8,4 °C olarak tespit edilmiştir. Soğutma kabini iç sıcaklığı 5 V’de 10,8 °C, 12 V’de 13 °C olarak ölçülmüştür. Bulunan bu değerlere göre COP değerleri sırasıyla 0,43 ve 0,60 olarak hesaplanmıştır. Diğer aralıktaki değerler için sıcaklık sonuçları Çizelge 5.16’da verilmiştir. Her gerilim değeri için kayıt altına alınan deney sonuçları ayrıntılı olarak Ek açıklamalar B’de verilmiştir.

Çizelge 5.16. Hava soğutmalı ardışık katlı ayırık bağlı TE modül deney sonuçları.

Zaman	T _c	T _h	T _{iç}	T _{ort}	I _{alt}	I _{üst}	V _(alt-üst)	COP
90 dk	6,0	45,1	11,0	17,5	1,3	2,4	5-12	0,43
90 dk	5,7	46,2	10,8	16,6	1,4	3,0	6-12	0,32
90 dk	6,2	48,6	11,3	17,1	1,5	3,1	7-12	0,39
90 dk	6,5	49,7	11,8	17,5	1,7	3,1	8-12	0,38
90 dk	6,9	50,9	12,0	17,8	1,9	3,1	9-12	0,46
90 dk	7,4	51,6	12,5	17,8	2,0	3,1	10-12	0,47
90 dk	7,7	53,2	13,0	18,5	2,1	3,1	11-12	0,49
90 dk	8,6	53,2	13,2	17,8	2,5	3,1	12-12	0,59

Hava soğutmalı ardışık katlı ayırık bağlı sistem güçleri aynı olan TE modüllerin ardışık olarak bağlayarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Yapılan diğer çalışmalar incelendiğinde genellikle ardışık bağlanacak modüllerin güçleri farklı olan modüller kullanılmaktadır.

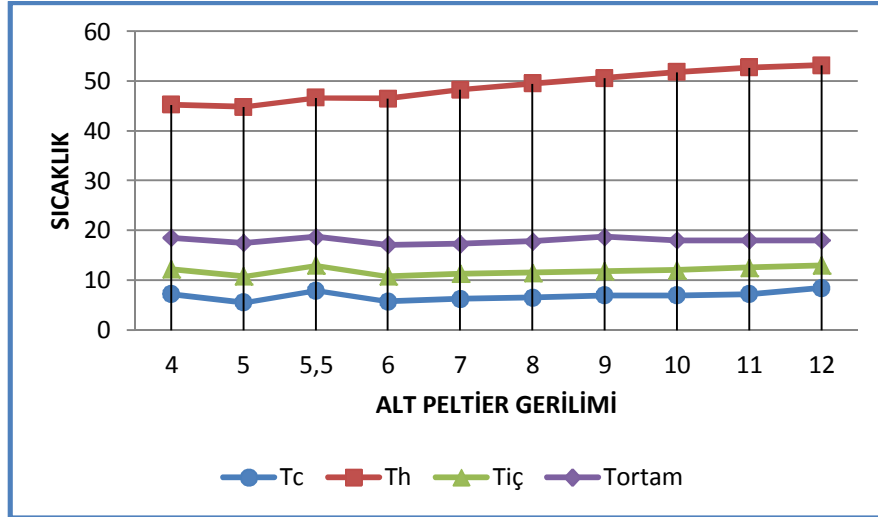
Konu ile alakalı olan diğer çalışmalar ve gerçekleştirdiğimiz çalışma sonucuna göre deneylerde alt kata yerleştirilen modül gerilim değeri sürekli değiştirilerek üst kata yerleştirilen modül gerilim değeri de alt katta çalışan modülün sıcak yüzeyine göre kendi çalışma gerilimini seçebilecek şekilde bir otomasyon sistemi ile çalıştırma yapılırsa ayırık bağlı sistem diğer bağlama yöntemlerinden daha etkili bir yöntem olacaktır. Bu düşüncüyü destekler nitelikte Şekil 5.31’de alt modül gerilimine bağlı olarak alt ve üst kata yerleştirilen modül soğutma güçlerinin grafiği verilmiştir.



(Q_{c1} : Alt modül soğutma gücü, Q_{c2} : Üst modül soğutma gücü)

Şekil 5.31. Hava soğutmalı ardışık katlı ayrık bağlı TE modül soğutma gücü grafiği.

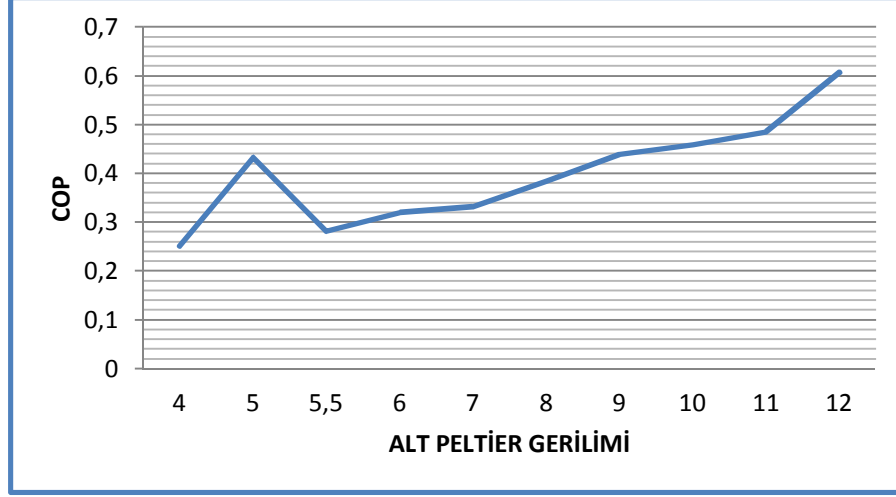
TE modüller aynen bir ısı pompası gibi çalıştığından alt kattaki TE modülün ısınan tarafının sıcaklığını üst kattaki TE modül gerilimi arttıkça karşılayamamakta ve buna bağlı olarak sıcaklık değerleri istenildiği gibi bir sonuç sergilememektedir.



Şekil 5.32. Hava soğutmalı ardışık katlı ayrık bağlı alt modül gerilimine göre sıcaklık değişimi grafiği.

Şekil 5.33'de yaptığımız deneylere göre en iyi soğutma işlemi alt modül geriliminin 12 V olduğu değerinde gerçekleşmektedir. Bu durumda COP değerimiz 0,59 olarak

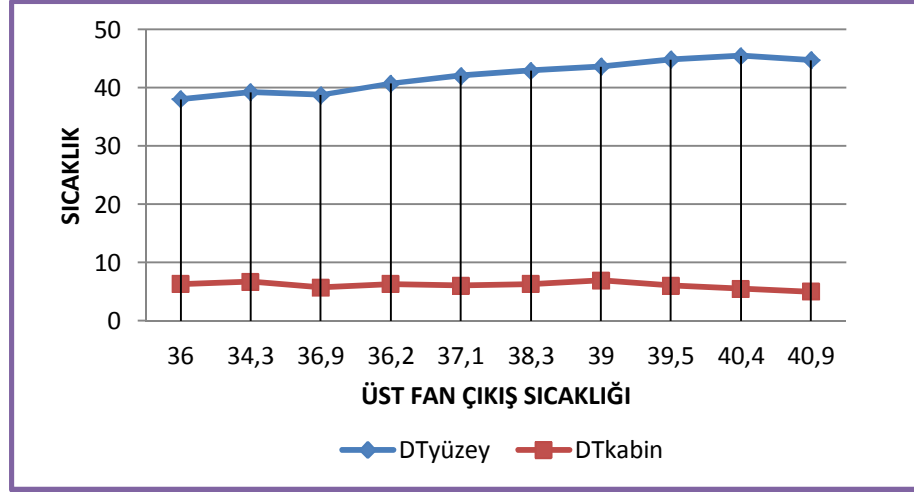
hesaplanmıştır. Dikkat edilecek bir noktada bu bağlama şeklinde diğer bağlama şekillerine göre COP değerleri artış göstermektedir.



Şekil 5.33. Hava soğutmalı ardışık katlı ayırık bağlı alt modül gerilimine göre COP değişimi.

COP değerinin yükselme eğiliminde olması sistemin eksik yönleri giderildiği takdirde diğer yöntemlere nazaran daha kullanışlı olacağı düşüncesini doğurmuştur. Sistemin en büyük sorunlarından birinin üst yüzey sıcaklığının havadan havaya ısı transferi ile verimli olarak atılmadığından kaynaklanmaktadır.

Şekil 5.34'te görülen grafikte sistemin üst kısmında bulunan fan çıkış sıcaklığına bağlı olarak yüzey ve kabin sıcaklık farkları değişimi görülmektedir. Yukarıda bahsettiğimiz duruma örnek olarak gösterilebilir. Burada sıcak yüzeyden ısı verimli bir şekilde atılmış olsaydı soğuk yüzey sıcaklığı daha da düşecek ve buna bağlı olarak kabin sıcaklık farkı artış gösterecektir. Ancak kullanılan soğutma sistemi yeterli olmadığından bu durum gerçekleşmemiştir. Bunu sağlamak için su soğutmalı veya daha kuvvetli fanlara sahip soğutma yapılmalıdır.



Şekil 5.34. Üst fan çıkış sıcaklığına bağlı ΔT farkları.

Hava soğutmalı ayırık bağlı sistemin eksik yönü olan sıcak yüzey soğutma işlemi su soğutmalı bir sistem ile gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen deneyde ayırık bağlı TE modüller hava soğutmalı sistemdeki şartlara bağlı kalınarak yapılmıştır. Elde edilen veriler Çizelge 5.17’de gösterilmiştir.

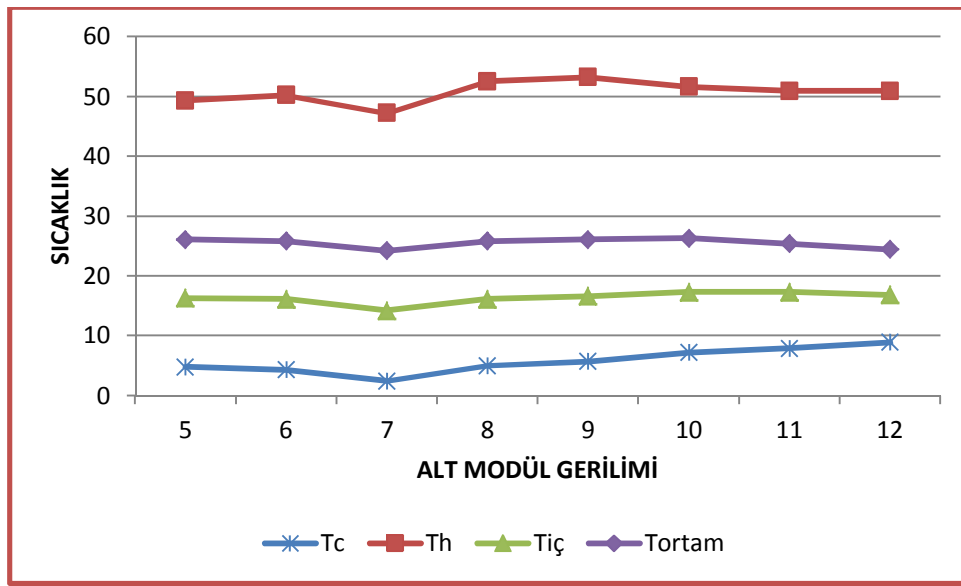
Çizelge 5.17. Su soğutmalı ardışık katlı ayırık bağlı alt modülün gerilimine göre deney sonuçları.

V	T_c	T_h	$T_{iç}$	T_{ort}	T_{afg}	$T_{afç}$	I_{alt}	$I_{üst}$	V_{alt}	$V_{üst}$	COP
5	4,8	49,3	16,3	26,1	16,3	14,6	1,5	3,7	5	12	0,23
6	4,3	50,2	16,1	25,8	16,1	14,4	1,8	3,7	6	12	0,28
7	2,4	47,2	14,2	24,2	14,2	12,5	2,1	3,7	7	12	0,31
8	5	52,5	16,1	25,8	16,1	14,2	2,3	3,7	8	12	0,35
9	5,7	53,2	16,6	26,1	16,6	14,9	2,5	3,7	9	12	0,39
10	7,2	51,6	17,3	26,3	17,5	16,1	2,8	3,7	10	12	0,47
11	7,9	50,9	17,3	25,4	17,5	16,1	3	3,7	11	12	0,49
12	8,9	50,9	16,8	24,4	17,1	16,1	3,2	3,7	12	12	0,53

Çizelgedeki “ I_{alt} ”: alt katta bulunan TE modülün çektiği akımı, “ $I_{üst}$ ”: üst katta bulunan TE modülün çektiği akımı, “ V_{alt} ” ve “ $V_{üst}$ ” ise, sırasıyla alt kat ve üst katta bulunan TE modüllerin gerilim değerlerini ifade etmektedir.

Yapılan deneyler sonucunda Eşitlik 3.21 ile 3.29 arasındaki denklemler yardımıyla COP değerleri hesaplanmıştır. 5 V değerinde hesaplanan COP değeri 0,23 iken 12 V değerinde 0,53 olarak hesaplanmıştır.

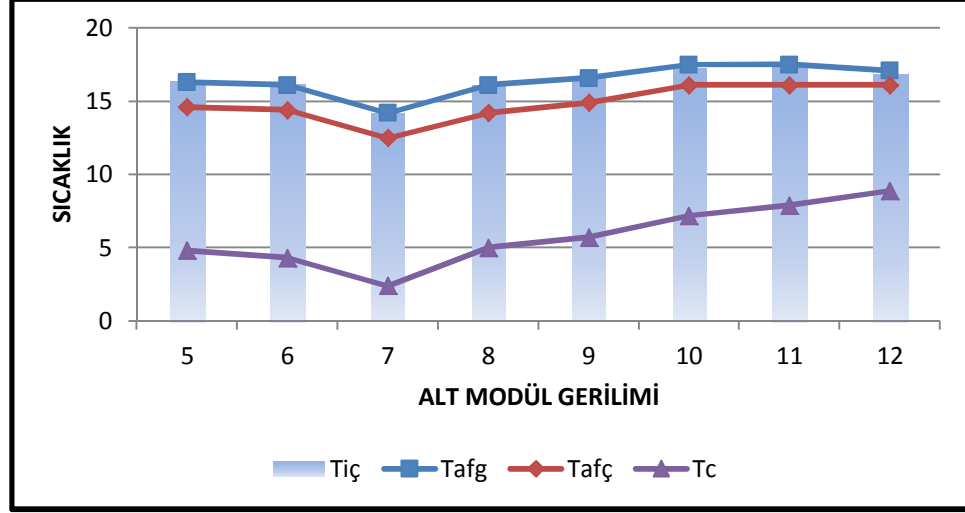
Su soğutmalı ardışık katlı ayırık bağlı TE modül deneyinden elde ettiğimiz sonuçları bir grafik haline getirilip Şekil 5.35'te gösterilmiştir. Şekil 5.35'teki grafikte “ T_c ” en düşük 7 V değerinde 2,4 °C, “ T_h ” en yüksek 8 V değerinde 52,5 °C, “ $T_{iç}$ ” en düşük 7 V değerinde 14,2 °C ve “ T_{ortam} ” ortalama olarak 25,5 °C olarak görülmektedir.



Şekil 5.35. Su soğutmalı ardışık katlı ayırık bağlı TE modül sıcaklık-gerilim grafiği.

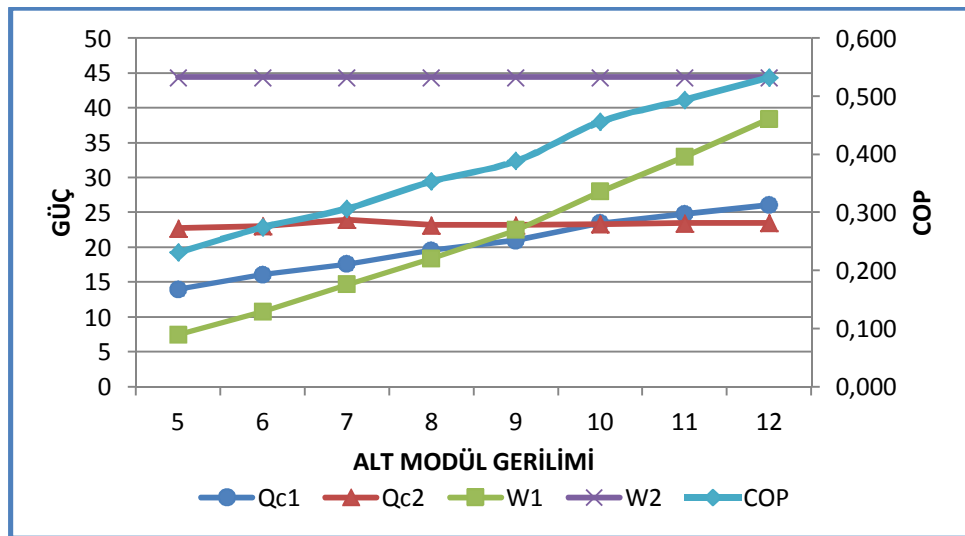
Şekil 5.36 diğer deney sonuçlarında verdiğimiz grafiklerden biraz farklı olarak kabin içerisinde bulunan fanın giriş ve çıkış sıcaklıkları ile kabin iç sıcaklığı karşılaştırılmıştır. Grafikte görüldüğü üzere alt fan çıkış sıcaklığı giriş sıcaklığına göre daha düşük seyretmektedir. Buna karşın kabin iç sıcaklığı da yaklaşık olarak alt fan giriş sıcaklığı ile aynı görülmektedir. Ayrıca burada deneyler esnasında karşılaştığımız bir durumu da belirtirsek kabin içinde çalışan fan gerilimi direkt olarak ardışık modülün alt yüzey sıcaklığına etki etmektedir. Alt fan çalıştırma gerilimi tüm sistemlerde 12 V olarak belirlenmiştir. Ancak çalışma gerilimi düşürüldüğünde soğutma kabini iç sıcaklığının daha düşük değerlere ulaştığını gözlemlenmiştir. Bu durum bizlere kabinin kapak kısmı ısı kaybının düşürülmesi gerektiğini kanıtlamıştır. Çünkü fan kabin içerisindeki havanın değişerek her

noktasında homojen olarak dağılmasını sağlamaktadır. Kapakta var olana açıklıklardan içeri sızan sıcak hava bu karışımın homojenliğini değiştirdiğinden fanın çalışma hızına bağlı olarak bu değer iç sıcaklığa etki etmektedir.



Şekil 5.36. Su soğutmalı ardışık katlı ayırık bağlı TE modül gerilim-sıcaklık grafiği.

Şekil 5.37'de ise, soğutma güçleri, elektriksel güç ve COP değerlerinin karşılaştırıldığı grafik verilmiştir. Bu grafikte COP diğer bağlama yöntemlerinden farklı olarak düşmek yerine artış göstermektedir. Bu durum bu yöntemin diğer yöntemlere göre avantajını oluşturmaktadır.



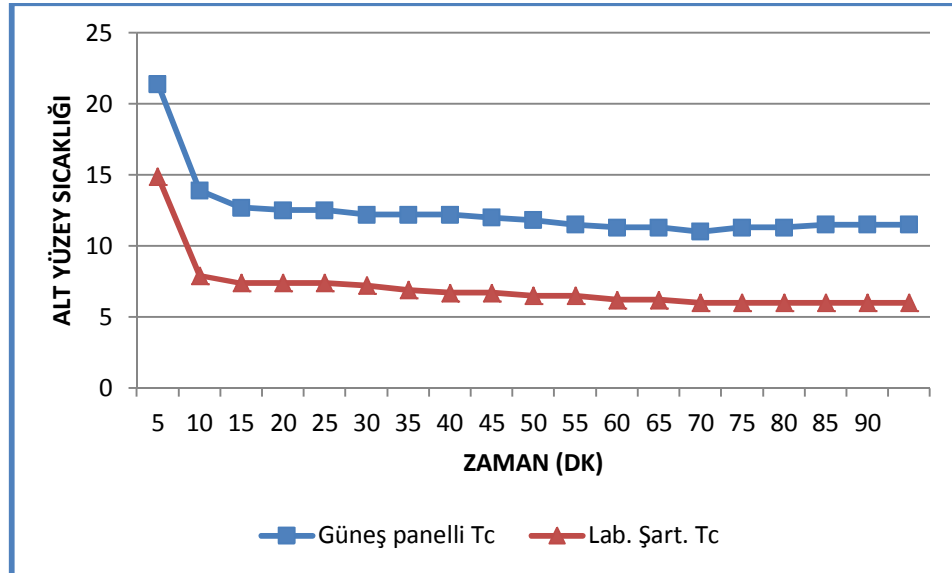
Şekil 5.37. Su soğutmalı ayırık bağlı modül güç grafiği.

Ardışık katlı ayırık bağlı sistem güneş panelleri ile 6 V değerinde çalıştırılmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 5.18’de verilmiştir.

Çizelge 5.18. Hava soğutmalı sistemde güneş panelleri ile gerçekleştirilen ardışık katlı ayırık bağlı modül deney sonuçları.

V	T _c	T _h	T _{iç}	T _{ort}	T _{afg}	T _{afç}	I _{alt}	I _{üst}	V _{alt}	V _{üst}	COP
6	11,5	49,3	17,3	20,4	16,6	16,3	0,7	3,2	6	12	0,17

Şekil 5.38’de yapılan deneyler sonucu elde edilen verilerin zamana göre karşılaştırılmıştır.



Şekil 5.38. Hava soğutmalı sistemde güneş paneli ve laboratuvar şartlarında gerçekleştirilen deneylerin karşılaştırılması.

Şekil 5.38’de 6 V değerinde güneş panelleri ve laboratuvar şartlarında yapılan deneylerden elde edilen alt yüzey sıcaklığı değerlerinin zamana karşı karşılaştırılması yapılmaktadır. Grafiğe göre güneş panelleri ile elde edilen en düşük sıcaklık 11,5 °C olarak kayıt edilmiştir. Ayrıca yapılan hesaplamalara göre COP değeri laboratuvar şartlarında 0,33 olurken güneş panellerinde 0,17 olarak hesap edilmiştir. Daha önce belirtildiği üzere güneş panelleri ile gerçekleştirilen deneylerde elde edilen değerlerin

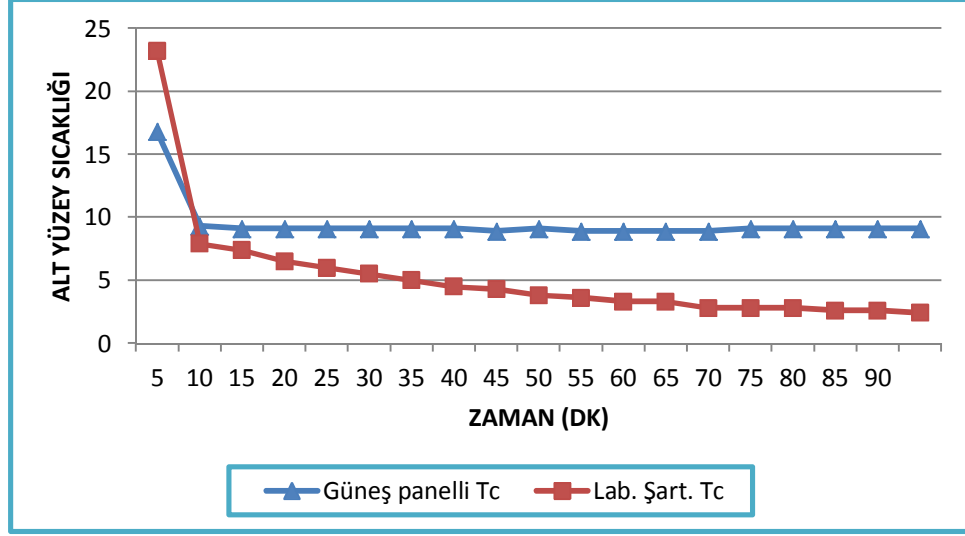
laboratuvarda gerçekleştirilen deneylere nazaran kötü olması dış etkenlerden kaynaklanmaktadır.

Ardışık katlı paralel bağlı su soğutmalı sistemin güneş panelleri ile 7 V değerinde çalıştırılması ile elde edilen deney sonuçları Çizelge 5.19’da verilmiştir.

Çizelge 5.19. Su soğutmalı sistemde güneş panelleri ile gerçekleştirilen ardışık katlı ayırık bağlı modül deney sonuçları.

V	T _c	T _h	T _{iç}	T _{ort}	T _{afg}	T _{afç}	I _{alt}	I _{üst}	V _{alt}	V _{üst}	COP
7	9,1	35,2	14,6	19	14,6	13,7	2,7	3,2	7	12	0,73

Şekil 5.39’da 7 V değerinde güneş panelleri ve laboratuvar şartlarında yapılan deneylerden elde edilen alt yüzey sıcaklığı değerlerinin zamana karşı karşılaştırılması yapılmaktadır. Grafiğe göre güneş panelleri ile elde edilen en düşük sıcaklık 9,1 °C olarak kayıt edilmiştir. Ayrıca yapılan hesaplamalara göre COP değeri laboratuvar şartlarında 0,31 olurken güneş panellerinde 0,73 olarak hesap edilmiştir. Daha önce belirtildiği üzere güneş panelleri ile gerçekleştirilen deneylerde elde edilen değerlerin laboratuvarda gerçekleştirilen deneylere nazaran kötü olması dış etkenlerden kaynaklanmaktadır. COP değerlerindeki değişim soğutma güçlerinden kaynaklanmaktadır. Güneş panelleri ile gerçekleşen deneyde hesap edilen soğutma gücü 25,56 W olurken laboratuvar şartlarında hesap edilen soğutma gücü 17,63 W olarak hesap edilmektedir.

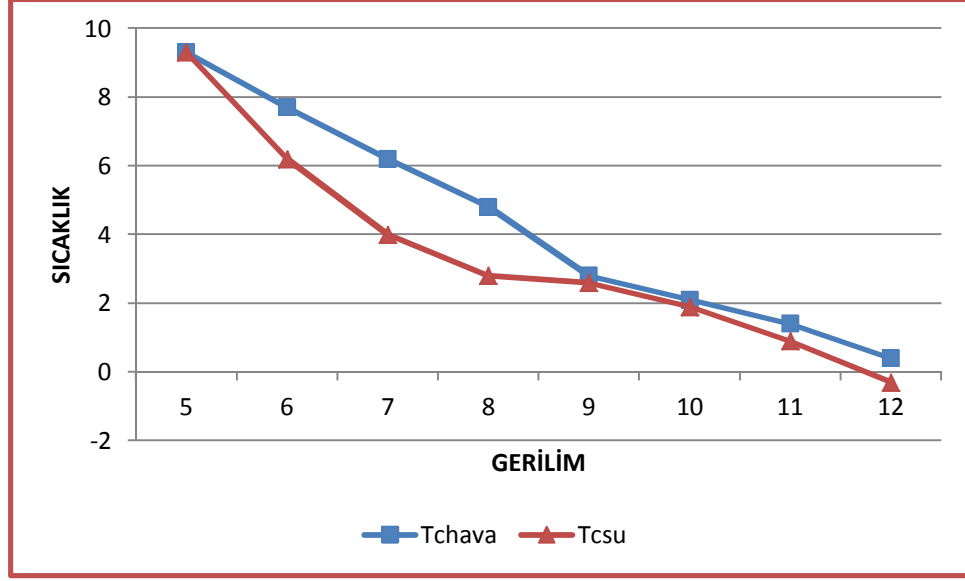


Şekil 5.39. Su soğutmalı sistemde güneş paneli ve laboratuvar şartlarında gerçekleştirilen deneylerin karşılaştırılması.

5.3. SON DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER

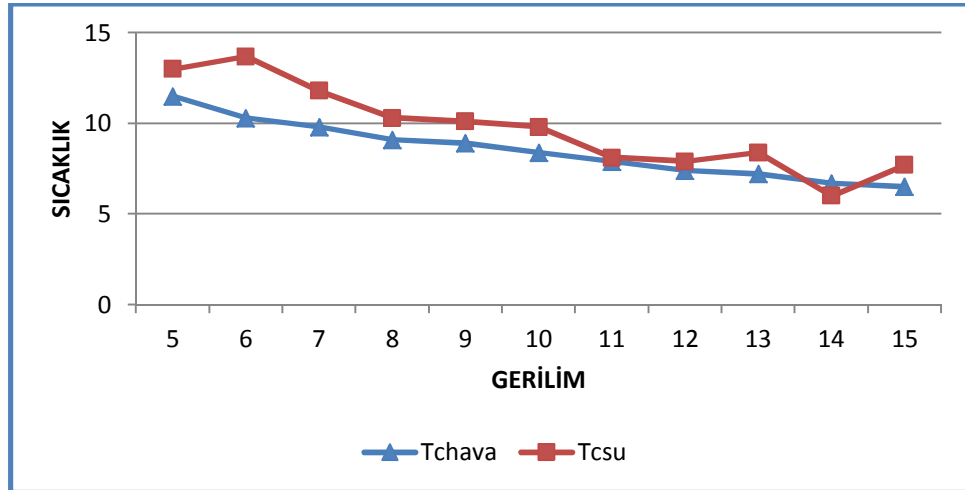
Gerçekleştirilen deneylere göre genel bir değerlendirme yapılacak olursa çalışma şekli olarak her sistemin kendine göre avantajları ve dezavantajları olduğu görülmektedir. Tek katlı olarak bağlanmış olan TE modül diğer şekillerde bağlanmış olan ardışık modüllere göre daha etkin bir soğutma sağlamaktadır. Ancak ayrıklı bağlı ardışık modül farklı güçlerde birleştirilir ve birbiri ile uyumlu bir şekilde çalıştırılırsa daha iyi olacağı izlenimini vermiştir. Güneş panelleri ile çalıştırılmış sistemler içerisinde en etkili sistem su soğutmalı tek katlı modül sistemi olmuştur.

Şekil 5.40'da " $T_{c,hava}$ " olarak tanımlanan değer hava soğutmalı tek modül alt yüzey sıcaklıklarını, " $T_{c,su}$ " ile de su soğutmalı tek modül alt yüzey sıcaklıkları ifade etmektedir. Grafikte görüldüğü üzere su soğutması ile yapılan deneylerde alt yüzey sıcaklığı 9 V değerine kadar hava soğutmalı sisteme göre daha iyi durumdadır. 9 V'den sonra hemen hemen aynı değerlerde seyretmektedir. Ancak yine de daha iyi durumdadır.

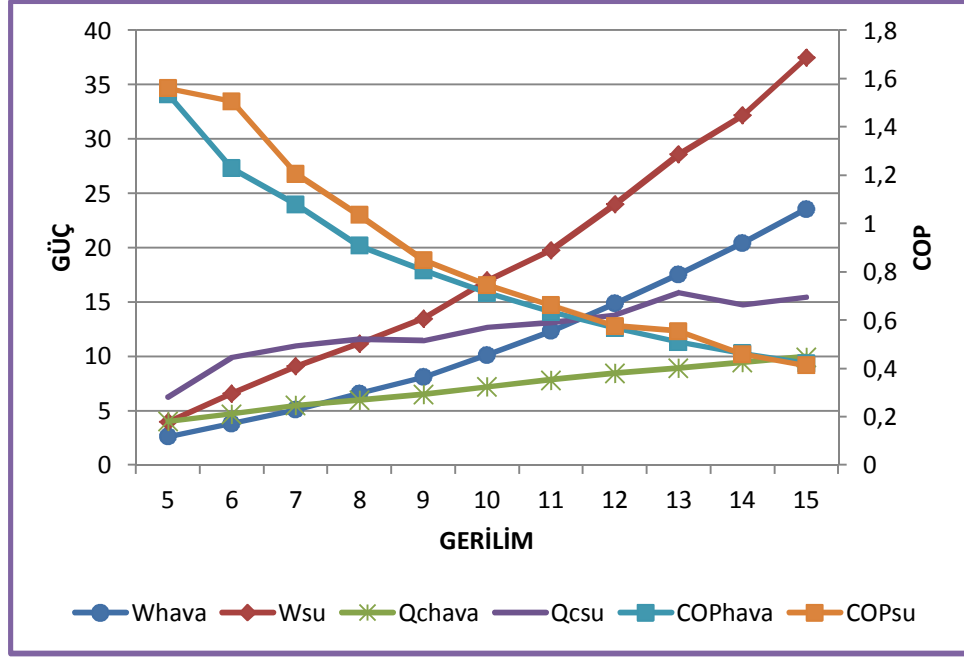


Şekil 5.40. Hava ve Su soğutmalı deneylerin alt yüzey sıcaklığı karşılaştırması.

Bir sonraki deneyimiz olan ardışık katlı seri bağlı modül uygulamasında da durum tek katlı modül deneylerinde olduğu gibi alt yüzey sıcaklığında kayda değer bir düşüş görülmemektedir. Hava soğutmalı sistem alt yüzey sıcaklığı 6,5 °C'ye kadar düşüş gösterirken su soğutmalı sistem alt yüzey sıcaklığı 7,7 °C olarak ölçülmüştür. Ancak su soğutmalı sistem 14 V değerinde 6 °C sıcaklık ile hava soğutmalı sistemin altına düşmektedir. Bu durumu Şekil 5.41'de görülmektedir.



Şekil 5.41. Hava ve su soğutmalı seri bağlı deneylerin alt yüzey sıcaklığı karşılaştırması.

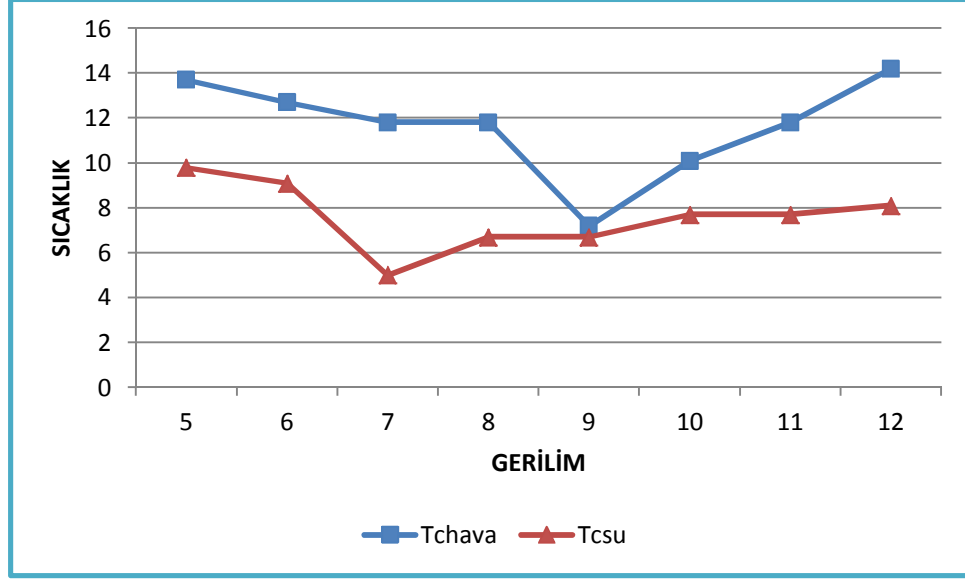


Şekil 5.42. Hava ve su soğutmalı seri bağlı güç-COP karşılaştırması.

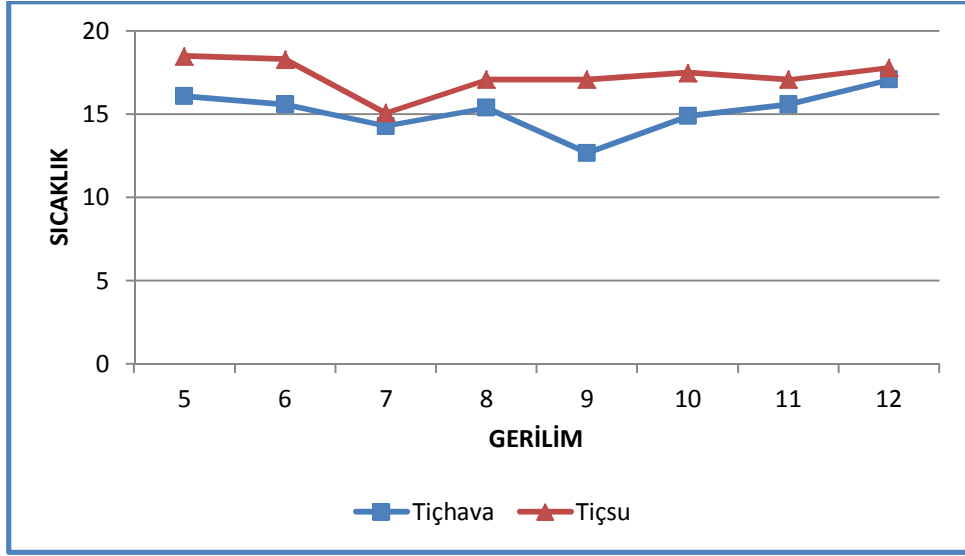
Şekil 5.42’de seri bağlı olarak deney yapılan sistemlerde 5 – 15 V aralığında alınan sonuçlara göre hava ve su soğutmalı sistemlerin elektriksel güçleri ile soğutma güçleri ve bunlara bağlı olarak COP değerlerinin karşılaştırması yapılmaktadır. Bu grafiğe göre su soğutmalı sistem elektriksel gücü hava soğutmalı sistemden daha fazladır. Aynı zamanda soğutma gücü ve COP değerleri de oldukça yüksektir.

Bir diğer deneyimizde paralel bağlı olan ardışık modüller üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerimizde su soğutmalı sistemin alt yüzey sıcaklığı hava soğutmalı sisteme göre daha iyi durumdadır. Şekil 5.43’de bunu gösteren bir grafik görülmektedir. Bu grafikte hava soğutmalı sistemin en iyi durumunu 9 V değerinde 7,2 °C, su soğutmalı sistemde bu değer 7 V’de 5 °C olduğu görülmektedir.

Şekil 5.44’te paralel bağlı hava ve su soğutmalı deneylerin iç ortam sıcaklıklarının karşılaştırması yapılmıştır. Grafik Şekil 5.34’te verilen grafiğin şekline benzemektedir. Bu da alt yüzey sıcaklığının ortam sıcaklığına etkisini göstermektedir.

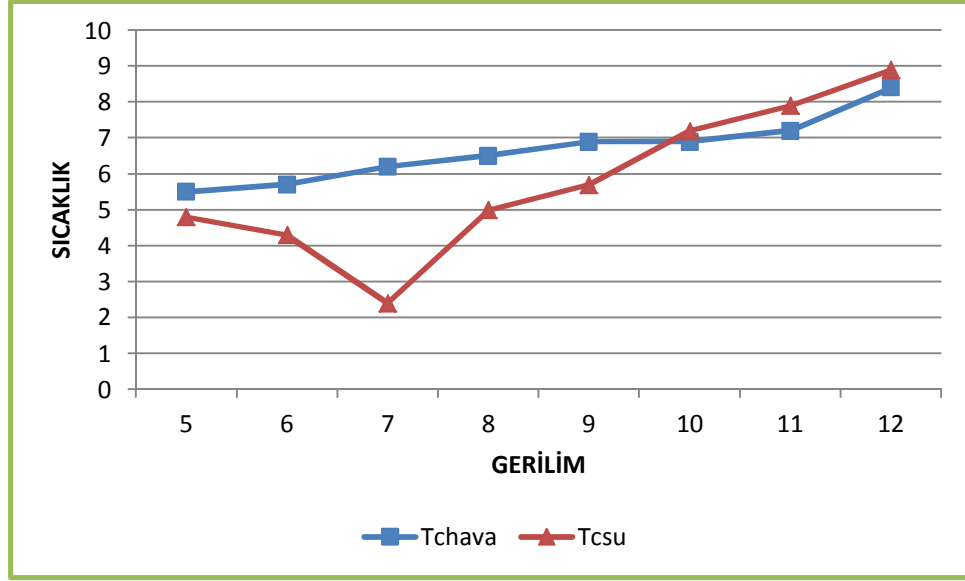


Şekil 5.43. Hava ve su soğutmalı paralel bağlı alt yüzey sıcaklığı grafiği.



Şekil 5.44. Hava ve su soğutmalı paralel bağlı iç ortam sıcaklığı grafiği.

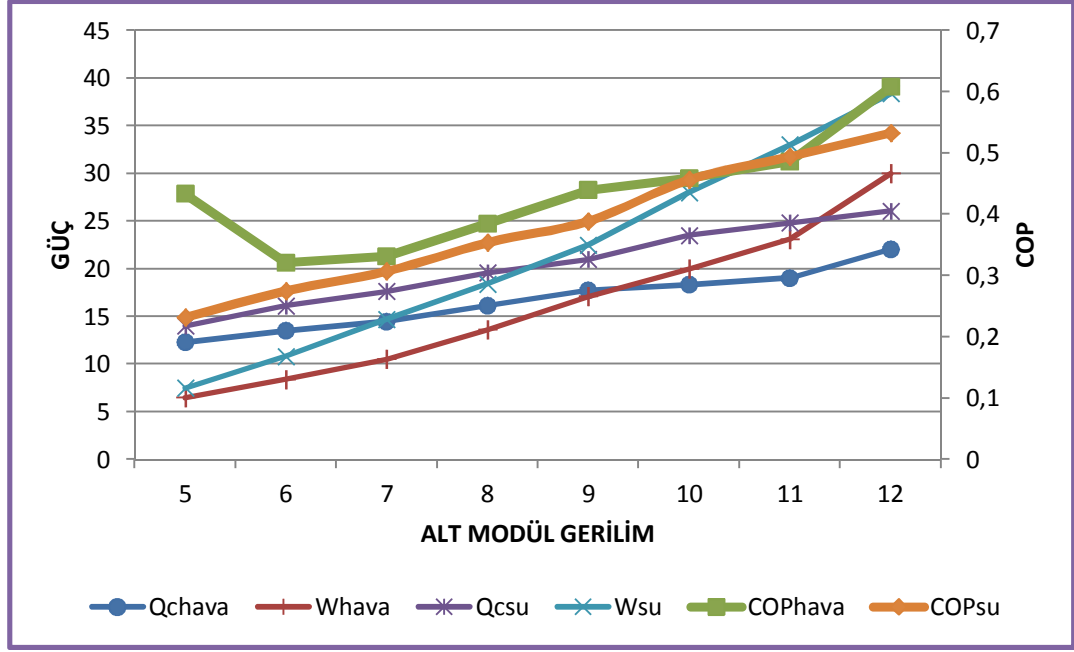
Bir başka deneyde ardışık bağlı ayırık modüller için yapılmıştır. Şekil 5.45’de yapılan hava ve su soğutmalı deneylerin alt yüzey sıcaklıklarının karşılaştırması yapılmıştır.



Şekil 5.45. Hava ve su soğutmalı ayırık bağlı alt yüzey sıcaklık-gerilim grafiği.

Şekil 5.45'deki grafikte ardışık katlı ayırık bağlı modüllerin alt yüzey sıcaklığı su soğutmalı sistemde 10 V değerine kadar hava soğutmalı sistemden daha iyi performans sergilerken 10 V'den sonra hava soğutmalı sistem ile arasında çok bir fark bulunmamaktadır. Su soğutmalı deneyde en iyi durum 7 V'de 2,4 °C olarak ölçülmüştür.

Şekil 5.46'da hava ve su soğutmalı sistemlerin güçlerine bağlı olarak COP değerleri karşılaştırması yapılmaktadır. Grafiğe göre su soğutmalı sistemin elektriksel olarak harcadığı güç diğer sisteme göre fazla görülmektedir. Bununla bağlantılı olarak soğutma gücünde su soğutmalı sistemde fazla olmaktadır. COP değeri su soğutmalı sistemde 12 V'de 0,53 olurken hava soğutmalı da 0,61 olmaktadır. Bu değerler 5 V'de sırasıyla 0,23 ve 0,32 olarak görülmektedir.



Şekil 5.46. Hava ve su soğutmalı ayrık bağlı güç-COP karşılaştırması.

Genel olarak bir değerlendirme yapılacak olursa laboratuvar deneyleri sırasında karşılaşılan en büyük sorun ardışık katlı TE modüllerde sıcak yüzey sıcaklığının tasfiyesinde yaşanmaktadır. Bu sorunun çözüm yolu için gerekirse yukarıda da değindiğimiz gibi sistemde daha kuvvetli fanlar kullanmak veya sulu sistem soğutucular kullanmaktır. Sıcak yüzeyin soğutma işlemi tam olarak yapılırsa TE modül yüzeyleri arasında ΔT farkı artacağından modül veriminde de iyileşme gözlenecektir. Bu sorunu çözmek için su soğutmalı bir sistem ile çalışma yapılmıştır. Su soğutmalı sistemin her durum için hava soğutmalı sistemden üstün olduğu sonucuna varılmıştır. Her iki yönteminde kendine göre artı yanları olsa da termoelektrik soğutma sisteminde diğer soğutma yöntemlerinde olduğu gibi çok düşük sıcaklıklara inmek oldukça güç olmaktadır. TE modül çıplak olarak -5 ila -10 °C arasında sıcaklıklara inme başarılırsa bunu bir ısı değiştiricisi ile iletmeye çalıştığımızda bu değerlere ancak çok uzun süreler bekleyerek ulaşabilmekteyiz. Termoelektrik sistemleri en çok etkileyen durumun yapısındaki yarı iletken malzemelerin özellikleri olduğu diğer yapılan çalışmalarda ifade edilmektedir. Güneş panelleri ile gerçekleştirilen deneylerde de sıkıntı oluşturan durumlar laboratuvar şartlarında var olan sorunlar yanı sıra soğutma kabini iç sıcaklığının dış ortamdan çok etkilenmesi ve buna bağlı olarak iç sıcaklığının istenilen değerlere

düşürülememesi olarak söylenebilir. Ayrıca güneş panellerinin zamanla kirlenmesi ile panel verimlerinde oluşan düşüşler, akülerin uzun ömürlü olmayışı gibi birçok etken sayılabilmektedir. Tartışılan sorunların tümü için genel anlamda bir öneri vermek gerekirse; TE modüllerin malzeme yapısında yapılacak olumlu değişiklikler, TE modül sıcak yüzey ısını uzaklaştırmada kullanılan soğutma sistemlerinin daha etkin hale getirilmesi, soğutma kabinlerinin yalıtımlarının geliştirilmesi gerçekleştirilirse TEC sistemleri daha iyi duruma gelecektir.

Yapılacak yoğun çalışmalar sonucunda ilerleyen zamanlarda gerçekleşecek olan teknoloji ile belki de şimdi tartışılan konular çok uzakta kalacaktır. Bilimin en üstün yanı. hiçbir zaman sonunun gelmeyecek olmasıdır.

KAYNAKLAR

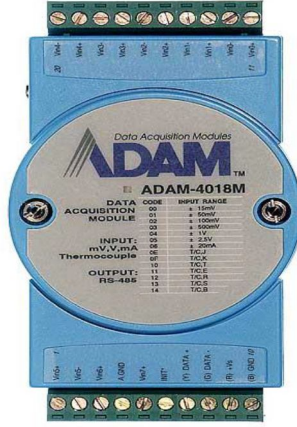
1. Ültanır, M. Ö., “Türkiye açısından yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının yeri 21. yüzyıla girerken Türkiye’nin enerji stratejisinin değerlendirilmesi”, *Tüsiad Raporu T/98*, 12-239 (1998).
2. Fıratoğlu, Z. A. ve Yeşilata, B., “Lineer elektriksel yüke bağlı PV panellerinin optimizasyonu ve bölgesel uygulanabilirliğinin araştırılması”, *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 1 (1): 65-72 (2003).
3. Boztepe, M., “Güneş pilleri ile çalışan peltier elemanlı bir soğutucu sistemin geliştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *E.Ü. Güneş Enerjisi Enstitüsü*, İzmir, 25-40 (1995).
4. Kırmacı, V. ve Usta, H., “Termoelektrik etkiler ve soğutma etkinliğinin soğutmada uygulanması”, *Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Teknoloji Dergisi*, 3 (3): 65-71 (2002).
5. Atik, K. ve Çakır, H., “Doğrudan bağlantılı fotovoltaik soğutma sistemi”, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 3 (3): 33-37 (2006).
6. İnan, S. A., Kara, İ., ve Koyun, A., “Peltier termoelektrik soğutucu kullanılarak katı cisimlerin ısı iletim katsayısının ölçülmesine yönelik cihaz tasarımı yapılması ve endüstriyel uygulaması”, *23. Fizik Kongresi*, Muğla (2005).
7. Riffat, S. B. and Qiu, G., “Comperative investigation of thermoelectric air-conditioners versus vapour compression and absorption air-conditioners”, *Thermal Engineering*, 24: 1979-1993 (2004).
8. Gao, M. and Rowe, D. M., “Exporitemel evaluation of prototype thermoelectric domestic refrigerators”, *Applied Energy*, 83 (2): 1-20 (2005).
9. Bulut, H., “Termoelektrik soğutma sistemleri”, *Haran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Soğutma Dünyası Dergisi*, 31: 9-16 (2005).
10. Dai, Y., J., Wang, R., Z., and Ni, L., “Experimentalinv estigation on a thermoelectric refrigerator driven by solar cell”, *Renewable Energy*, 28: 949-959 (2003).
11. Jugsujinda, S., Vora-Ud, A., and Seetawan, T., “Analyzing of thermoelectric refrigerator performance”, *Procedia Engineering*, 8: 154-159 (2011).
12. Esfahani, J. A., Rahbar, N., and Lavvaf, M., “Ulization of thermoelectric cooling in a portable active solar stil – an experimental study on winter days”, *Desalination*, 269: 198-205 (2011).

13. Sabah, A. and Wahab, A., “Desing and experimental investigation of portable solar thermoelectric refrigerator”, *Renewable Energy*, 34: 30-34 (2009).
14. Sungur, C., “Güneş pilleri ile beslenen termoelektrik mobil soğutucunun tasarımı ve analizi”, *Selçuk Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Teknik-Online Dergisi*, 7 (1): 1-17 (2008).
15. Yılmaz, S., “Termoelektrik modüllü soğutucuda farklı soğutma uygulamalarının sistem performansına etkilerinin deneysel olarak incelenmesi”, *Karabük Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Teknoloji Dergisi*, 11 (1): 39-44 (2008).
16. Atik, K., “Termoelektrik soğutucu tasarımında termoeconomik optimizasyon”, *Karabük Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)*, Karabük (2009).
17. Chung, M., Miskovsky, N. M., Cutler, P. H., Kumar, N., and Patel, V., “Theoretical analysis of a field emission enhanced semiconductor thermoelectric cooler”, *Solid-State Electronics*, 47 (10): 1745-1751 (2003).
18. Ahiska, R., “Termoelektrik modülün dinamik çıkış parametrelerinin araştırması için yeni bir yöntem”, *Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22 (4): 709-716 (2007).
19. Esen, D. Ö. ve Balta, E., ”Güneş enerjisi ile desteklenen termoelektrik soğutma sistemi performans analizi”, Mart/Nisan, *Tesisat Mühendisliği*, 134: 31-39 (2013).
20. Xuan, X. C., Ng, K. C., Yap, C., and Chua, H. T., “The maximum temperature difference and polar characteristic of two-stage thermoelectric coolers”, *Cryogenics*, 42: 273–278 (2002).
21. Yu J. and Wang B., “Enhancing the maximum coefficient of performance of thermoelectric cooling modules using internally cascaded thermoelectric couples”, *International Journal of Refrigeration*, 32: 32–39 (2009).
22. Xuan X.C., Ng K.C., Yap C., and Chua H.T., “Optimization of two-stage thermoelectric coolers with two design configurations”, *Energy Conversion and Management*, 43: 2041–2052 (2002).
23. Chen L., Li J., Sun F., and Wu C., “Performance optimization for a two-stage thermoelectric heat-pump with internal and external irreversibilities”, *Applied Energy*, 85: 641–649 (2008).
24. Cheng, Y. H. and Chunkuan, S., “Maximizing the cooling capacity and cop of two-stage thermoelectric coolers through genetic algorithm”, *Applied Thermal Engineering*, 26: 937–947 (2006).

25. Wang X., Wang Q., and Xu J., “Performance analysis of two-stage tees (thermoelectric coolers) using a three-dimensional heat-electricity coupled model”, *Energy*, 65: 419-429 (2014).
26. Ahiska, R., “Termoelektrik modülün dinamik çıkış parametrelerinin araştırması için yeni bir yöntem”, *Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22 (4): 709-716 (2007).
27. Yalçınkaya, G., “Termoelektrik modül ile soğutma ve deneysel elektrik üretimi”, Yüksek Lisans Tezi, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kütahya, 17-38 (2008)
28. Keçeciler, A., “Termoelektrik soğutucular ve uygulamalar”, Makine Mühendisliği Bölümü Ders Notları, *Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi*, Kütahya (2007).
29. Cıylan, B., “Termoelektrik modüller için mikro denetleyici kontrollü yeni bir test sisteminin tasarımı ve gerçekleştirilmesi”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 4-12 (2009).
30. Xuan, X. C., “Investigation of thermal contact effect on thermoelectric coolers”, *Energy Conversion and Management*, 44 (3): 399-410 (2003).
31. Atik, K., “Kaskat bağlı özdeş termoelektrik modüllerin performansının araştırılması”, *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 27 (1): 1-5 (2007).

EK AÇIKLAMALAR A.

DENEYLERDE KULLANILAN CİHAZ ÖZELLİKLERİ



Parametre	Özellik
Güç Tüketimi	10 – 30 V _{DC}
Doğruluk	± %0,1
Ölçüm Kanalı Sayısı	8
Çözünürlük	16
Girdi Tipleri	T/C, mV, V, Ma
İzolasyon Koruması	3000 V _{DC}
Boyutlar	
Ölçüm Aralıkları	J, K, T, E, R, S, B Termokupl +/- 1 V, +/- 2.5 V, +/- 5 V, +/-10 V +/-100 mV, +/- 500 mV, +A20 mA, +4-20 mA
Çevre Şartları	
Nem	5 - %95 RH
Uygulama Sıcaklığı	-10 ~ 70 ° C (14 ~ 158 ° F)
Depolama Sıcaklığı	-25 ~ 85 ° C (-13 ~ 185 ° F)

Şekil EK A.1. Adam 4018 görünümü.



Parametre	Özellik
Bağlantı	USB
Güç Tüketimi	10 – 30 V _{DC}
Data Bits	5, 6 ,7, 8
Max. Uzaklık	15 m
Çalışma Sıcaklığı	10 – 70 °C
Depolama Sıcaklığı	-25 ≈ 85 °C
Çalışma Nem Aralığı	5 –≈95% RH

Şekil EK A.2. Adam 4520 görünümü.



Genel	Boyutlar	249,5mm(L) x 149mm(W) x 128mm(H)
	Ağırlık	1,74 kg
Su bloğu	Malzeme	Tüm bakır dizaynlar
	Boyutlar	58mm(L)x58mm(W)x35mm(H)
	Ağırlık	318 g
Pompa	Boyutlar	75mm(L)x70mm(W)x75mm(H)
	Max. Kapasite	500 L/hr
	Anma Gerilimi	DC 12V
	Giriş Akımı	600 mA
	Konnektör	4 pin
	Gürültü	10 - 16 dBA
	Kullanım Ömrü	80000 hr (MTBF)
Radyatör	Boyutlar	153mm(L)x120mm(W)x28mm(H)
	Malzeme	Alüminyum
	Boru Dizaynı	Alüminyum, Dimple
	Kanatçık Dizaynı	Alüminyum, Louvered
Fan	Fan Boyutları	120mm(L)x120mm(W)x25mm(H)
	Fan Hızı	1600 - 2400 RPM
	Anma Gerilimi	12 V
	Gürültü	10 - 20 dB
	Kullanım Ömrü	30000 hr
Su Tankı	Boyutlar	130,2mm(L)x107,2mm(W)x51,5mm(H)
	Kapasite	530 c.c
Soğutma Sıvısı	Kapasite	1000 c.c
	Malzeme Birleşeni	Propilen Glikol

Şekil EK A.3. Su soğutma sistemi görünümü.



Çıkış Değerleri	CH1/CH2 Bağımsız	0-30 V / 0-3 A
	CH1/CH2 Seri	0 - 60 V / 0-3 A
	CH1/CH2 paralel	0 - 30 V / 0-6 A
	CH3	2,5 V / 3,3 V / 5,0 V , 3 A
Gerilim Düzenleme	Line	$\leq 0.01\% + 3mV$
	Load	$\leq 0.01\% + 3mV$ (rating current $\leq 3A$) $\leq 0.02\% + 5mV$ (rating current $> 3A$)
	Dalgalanma ve Gürültü	$\leq 1mV_{rms}$ (5Hz ~ 1MHz)
	Kurtarma Zamanı	$\leq 100\mu s$ (50% load change, minimum load 0.5A)
	Sıcaklık katsayısı	$\leq 300ppm/^{\circ}C$
Akım Düzenleme	Line	$\leq 0.2\% + 3mA$
	Load	$\leq 0.2\% + 3mA$
	Dalgalanma ve Gürültü	$\leq 3mA_{rms}$
CH3 Özellikleri	Düzenleme	Line $\leq 5mV$
		Load $\leq 15mV$
	Dalgalanma ve Gürültü	$\leq 2mV_{rms}$
Çalışma Takibi	Çalışma Hatası	$\leq 0.5\% + 10mV$ of Master
	Paralel Düzenleme	Line: $\leq 0.01\% + 3mV$
		Load: $\leq 0.01\% + 3mV$ (rating current $\leq 3A$)
		Load: $\leq 0.02\% + 5mV$ (rating current $> 3A$)
		Line: $\leq 0.01\% + 5mV$
	Seri Düzenleme	Load: $\leq 300mV$

Şekil EK A.4. Güç kaynağı görünümü.

EK AÇIKLAMALAR B.

DENEY SONUÇLARI

ÖZGEÇMİŞ

Berat Burak KAVAK 1989 yılında İskenderun'da doğdu, ilk ve orta öğrenimin Ankara'da tamamladı. Kastamonu Kuzeykent Lisesinden mezun oldu. 2007 yılında Hitit Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde öğrenimine başlayıp 2011 yılında iyi derece ile mezun oldu. 2011 yılında yaşadığı şehirde iş hayatına başladı. 2012 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisans programına başladı. Halen özel sektörde makine mühendisi görevinde çalışmaya devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Saraçlar Mahallesi Doğa Sokak
Doğakent Sitesi K Blok No:7
Merkez / KASTAMONU
Telefon : 0506 515 71 18
E-posta : kavakburak@hotmail.com