



**FOTOVOLTAİK TERMAL (PV/T)- PELTİER HİBRİT
BİR SİSTEMİN BAL PETEĞİ ISI ALICI
KULLANILARAK TERMAL VE ELEKTRİKSEL
PERFORMANSININ İNCELENMESİ**

Abdulsamet ÇOBAN

Danışman: Doç. Dr. Faruk YEŞİLDAL

Yüksek Lisans Tezi

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

(Her hakkı saklıdır.)

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**FOTOVOLTAİK TERMAL (PV/T)- PELTİER HİBRİT BİR SİSTEMİN BAL PETEĞİ
ISI ALICI KULLANILARAK TERMAL VE ELEKTRİKSEL
PERFORMANSININ İNCELENMESİ**

(Investigation of Thermal and Electrical Performance of a Photovoltaic Thermal (PV/T)-
Peltier Hybrid System Using a Honeycomb Heat Sink)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Abdulsamet ÇOBAN

Danışman: Doç. Dr. Faruk YEŞİLDAL

Erzurum
Aralık, 2024

KABUL VE ONAY TUTANAĞI

Abdulsamet ÇOBAN tarafından hazırlanan “Fotovoltaik Termal (PV/T)- Peltier Hibrit Bir Sistemin Bal Peteği Isı Alıcı Kullanılarak Termal ve Elektriksel Performansının İncelenmesi” başlıklı çalışması 03/12/2024 tarihinde yapılan tez savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, EnerĐi Bilim Dalında yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı: Doç. Dr. Ahmet Numan ÖZAKIN
Atatürk Üniversitesi

Aslı Islak İmzalıdır

Danışman: Doç. Dr. Faruk YEŞİLDAL
Atatürk Üniversitesi

Aslı Islak İmzalıdır

Jüri Üyesi: Dr. Öğr. Üyesi Abdüssamed KABAKUŞ
Artvin Çoruh Üniversitesi

Aslı Islak İmzalıdır

Enstitü Yönetim Kurulunun
.../.../.... tarih ve sayılı
kararı.

Bu tezin Atatürk Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği’nin ilgili maddelerinde belirtilen şartları yerine getirdiğini onaylarım.

Prof. Dr. Alper NUHOĞLU

Enstitü Müdürü

Aslı Islak İmzalıdır

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildiriş, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU

Yüksek Lisans Tezi olarak Doç. Dr. Faruk YEŞİDAL danışmanlığında sunulan “FOTOVOLTAİK TERMAL (PV/T)- PELTİER HİBRİT BİR SİSTEMİN BAL PETEĞİ ISI ALICI KULLANILARAK TERMAL VE ELEKTRİKSEL PERFORMANSININ İNCELENMESİ” başlıklı çalışmanın tarafımızdan bilimsel etik ilkelere uyularak yazıldığını, yararlanılan eserlerin kaynakçada gösterildiğini, Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından belirlenmiş olan Turnitin Programı benzerlik oranlarının aşılmadığını ve aşağıdaki oranlarda olduğunu beyan ederiz.

Tez Bölümleri	Tezin Benzerlik Oranı (%)	Maksimum Oran (%)
Giriş	18	30
Kuramsal Temeller	16	30
Materyal ve Metot	2	35
Araştırma Bulguları ve Tartışma	0	20
Sonuçlar ve Öneriler	0	20
Tezin Geneli	16	25

Not: Yedi kelimeye kadar benzerlikler ile Başlık, Kaynakça, İçindekiler, Teşekkür, Dizin ve Ekler kısımları tarama dışı bırakılabilir. Yukarıdaki azami benzerlik oranları yanında tek bir kaynaktan olan benzerlik oranlarının %5'den büyük olmaması gerekir.

Beyan edilen bilgilerin doğru olduğunu, aksi halde doğacak hukuki sorumlulukları kabul ve beyan ederiz.

Tez Yazarı (Öğrenci)	Tez Danışmanı
Abdulsamet ÇOBAN	Doç. Dr. Faruk YEŞİLDAL
3.12.2024	3.12.2024
İmza: Aslı Islak İmzalıdır	İmza: Aslı Islak İmzalıdır

* Tez ile ilgili YÖKTEZ’de yayınlamasına ilişkin bir engelleme var ise aşağıdaki alanı doldurunuz.

☐ Tezle ilgili patent başvurusu yapılması / patent alma sürecinin devam etmesi sebebiyle Enstitü Yönetim Kurulunun/....../.... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 2 (iki) yıl süreyle engellenmiştir.

☐ Enstitü Yönetim Kurulunun/....../.... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 6 (altı) ay süreyle engellenmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu Yüksek Lisans çalışmasının yapılması sırasında bana bilgi ve tecrübeleri ile yol gösteren, karşılaştığım zorluklarda fikirleriyle ve çözüm önerileriyle desteğini sürekli yanımda hissettiğim kıymetli danışman hocam Sayın Doç. Dr. Faruk YEŞİLDAL'a yine bilgi ve tecrübelerinden yaralandığım, desteğini benden esirgemeyen değerli Doç. Dr. Ahmet Numan ÖZAKIN ve Dr. Öğr. Üyesi Abdüssamed KABAKUŞ hocalarıma teşekkür ederim. Ayrıca çalışmamın gerçekleşmesinde maddi desteklerinden dolayı Bilimsel Araştırma Projeleri Kurumuna (BAP) teşekkür ederim.

Hayatım boyunca hem maddi hem manevi desteklerini bir an olsun eksik etmeyen, emekleriyle beni bugünlere getiren, en büyük destekçilerim olan sevgili annem Elvan ÇOBAN, saygıdeğer babam Abdullah ÇOBAN'a ve değerli kardeşim Osman ÇOBAN'a teşekkür ederim. Son olarak çalışmam boyunca yardımları ve destekleri ile beni bir an olsun yalnız bırakmayan, yanımda olan çok değerli dostum Furkan ERCAN'a teşekkür ederim.

Abdulsamet ÇOBAN

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FOTOVOLTAİK TERMAL (PV/T)- PELTİER HİBRİT BİR SİSTEMİN BAL PETEĞİ ISI ALICI KULLANILARAK TERMAL VE ELEKTRİKSEL PERFORMANSININ İNCELENMESİ

Abdulsamet ÇOBAN

Danışman: Doç. Dr. Faruk YEŞİLDAL

Amaç: Çalışmanın amacı, PV/T-Termoelektrik birleşik sistemin güneş radyasyonu sonucunda ısınarak veriminin düşmesinin önüne geçmektir. Soğutma elemanı ve ana ısı alıcılar olarak alüminyum bal peteği kanatçıkları kullanılan sistemde, tasarlanan kontrol hacmi içerisinde bir kanal fanı yardımıyla hava geçirilerek farklı açılarla konumlandırılan ısı alıcıların soğutmaya etkisi deneysel olarak incelenecektir. Ayrıca farklı iki tip Peltier kullanılarak ikincil bir elektrik enerjisi üretimi elde edilecektir. Kanatçık açılarının ve Peltier tipinin, sistemin enerji ve verimliliğine etkileri gözlemlenecektir.

Yöntem: Bu çalışmada; doğal güneş ışınımı altında çalışan bir fotovoltaik panelin, özel olarak tasarlanmış kontrol hacmi içerisinde farklı hava hızlarında (0,5, 1,4 ve 2 m/s) ve akış yönüne göre farklı açılarla (0°, 45° ve 90°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıklarının iki farklı Peltier (12705 ve 12708) yardımıyla soğutulması deneysel olarak incelenmiştir. Elektriksel ve termal verim analiz edilmiştir.

Bulgular: Deneysel çalışmaların sonucunda PV panelin güç çıktısında, termal ve elektriksel veriminde artış elde edilmiştir. Ayrıca PV panelin yüzey sıcaklığını düşürmek için sisteme entegre edilen alüminyum bal peteği ısı alıcılarının, akış yönüne göre dizilimleri soğutmaya farklı düzeylerde etki etmiş olduğu gözlemlenmiştir. Son olarak sistemde kullanılan Peltier elemanların çalışma prensibinden yararlanılarak bu soğutma işlemi sırasında ek bir elektrik enerjisi üretimi elde edilmiştir.

Sonuçlar: 12705 serisi Peltier için en yüksek termal verim, akış yönüne paralel (0°) dizilim ve 10. kademedeki (2 m/s) %38,6 olarak hesaplanmıştır. 12705 serisi Peltier için en yüksek elektriksel verim, akış yönüne çapraz (45°) dizilim ve 10. kademedeki (2 m/s) %6,28 olarak hesaplanmıştır. 12708 serisi Peltier için en yüksek termal verim, akış yönüne paralel (0°) dizilim ve 10. kademedeki (2 m/s) %40,9 olarak hesaplanmıştır. 12708 serisi Peltier için en yüksek elektriksel verim, akış yönüne dik (90°) dizilim ve 10. kademedeki (2 m/s) %8,94 olarak hesaplanmıştır. 12705 serisi Peltier için en yüksek güç üretimi, akış yönüne dik (90°) dizilim ve 10. kademedeki (2 m/s) %71,73'lik artış olmuştur. 12708 serisi Peltier için en yüksek güç üretimi, akış yönüne dik (90°) dizilim ve 10. kademedeki (2 m/s) %71,6'lık artış olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Alüminyum Bal Peteği, PV/T Sistemleri, Termoelektrik, PV Panel, Güneş Enerjisi

Aralık 2024, 138 Sayfa

ABSTRACT

MASTER'S THESIS

INVESTIGATION of THERMAL and ELECTRICAL PERFORMANCE of a PHOTOVOLTAIC THERMAL (PV/T)- PELTIER HYBRID SYSTEM USING a HONEYCOMB HEAT SINK

Abdulsamet ÇOBAN

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Faruk YEŞİLDAL

Purpose: The purpose of the study is to prevent the efficiency of the PV/T-Thermoelectric combined system from decreasing due to heating as a result of solar radiation. In the system, where aluminum honeycomb fins are used as cooling elements and main heat absorbers, the effect of heat absorbers positioned at different angles on cooling will be experimentally investigated by passing air through the designed control volume with the help of a channel fan. Additionally, secondary electricity generation will be obtained by using two different types of Peltier. The effects of fin angles and Peltier type on the energy and efficiency of the system will be observed.

Method: In this study, the cooling of a photovoltaic panel operating under natural solar radiation was experimentally investigated using aluminum honeycomb fins placed at different angles (0° , 45° , and 90°) and at different air speeds (0.5, 1.4, and 2 m/s) within a specially designed control volume, with the help of two different Peltier devices (12705 and 12708). Electrical and thermal efficiency were analyzed.

Findings: As a result of the experimental studies, an increase in the power output, thermal, and electrical efficiency of the PV panel was achieved. Additionally, it was observed that the arrangement of aluminum honeycomb heat absorbers integrated into the system to reduce the surface temperature of the PV panel had different levels of impact on cooling depending on the flow direction. Finally, additional electrical energy was generated during this cooling process by utilizing the working principle of the Peltier elements used in the system.

Conclusions: For the 12705 series Peltier, the highest thermal efficiency was calculated as 38.6% with a parallel alignment to the flow direction (0°) at stage 10 (2 m/s). The highest electrical efficiency for the 12705 series Peltier was calculated as 6.28% with a diagonal alignment to the flow direction (45°) at stage 10 (2 m/s). For the 12708 series Peltier, the highest thermal efficiency was calculated as 40.9% with a parallel alignment to the flow direction (0°) at stage 10 (2 m/s). The highest electrical efficiency for the 12708 series Peltier was calculated as 8.94% with a perpendicular alignment to the flow direction (90°) at stage 10 (2 m/s). The highest power generation for the 12705 series Peltier was observed with a perpendicular alignment to the flow direction (90°) at stage 10 (2 m/s), resulting in a 71.73% increase. Similarly, the highest power generation for the 12708 series Peltier was observed with a perpendicular alignment to the flow direction (90°) at stage 10 (2 m/s), resulting in a 71.6% increase.

Keywords: Aluminum Honeycomb, PV/T Systems, Thermoelectric, PV Panel, Solar Energy

December 2024, 138 Pages

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY TUTANAĞI.....	i
ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TABLolar DİZİNİ.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ	xiii
GİRİŞ.....	1
KURAMSAL TEMELLER.....	11
Güneş Enerjisi	11
Güneş enerjisinin avantaj ve dezavantajları	12
Güneş enerjisinin kullanım alanları	14
Türkiye'nin Güneş Enerji Potansiyeli	14
Erzurum'da Güneş Enerjisi Potansiyeli	17
Fotovoltaik Sistemler	18
Fotovoltaik hücre verimliliği.....	18
Fotovoltaik hücrelerin çalışma prensibi	20
Fotovoltaik panelinin bileşenleri	24
Fotovoltaik panellerinin sınıflandırılması	25
Fotovoltaik sistemi etkileyen parametreler	30
PV sistemlerde soğutma çeşitleri	35
Termoelektrik Teknolojisi ve Termoelektrik Etki	40
Seebeck etkisi.....	41
Peltier etkisi.....	41
Alüminyum Bal Peteği Isı Alıcıları.....	42
Termal özelliklere dayalı alüminyum peteklerin uygulamaları	43
MATERYAL VE METOT	45
Deney Düzenekği	45
Fotovoltaik panel.....	47
Piranometre	48

Veri kaydedici (Data Logger)	48
Termoelektrik soğutucu (Peltier)	49
Kanal fanı	50
Güç analizörü	51
Alüminyum bal peteği (Honeycomb).....	52
Tam Faktöriyel Deney Planı	52
Elektriksel ve Termal Verimin Hesaplanması	53
Belirsizlik Analizi	54
ARAŞTIRMA BULGULARI	56
SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	111
KAYNAKÇA	116
ÖZGEÇMİŞ.....	123

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Alüminyum Bal Peteği Kullanım Alanları	44
Tablo 2. PV Panel Teknik Özellikleri.....	47
Tablo 3. Piranometre Teknik Özellikleri	48
Tablo 4. Veri Kayıt Cihazı (Data Logger) Teknik Özellikleri	49
Tablo 5. TEC1-12705 ve TEC1-12708 Serisi Peltierlerin Teknik Özellikleri	50
Tablo 6. Kanal Fanı Teknik Özellikleri	51
Tablo 7. Alüminyum Bal Peteği Teknik Özellikleri	52
Tablo 8. Tam Faktöriyel Deney Planı.....	53
Tablo 9. Deney Sisteminde Yapılan Ölçüm Değerlerinin Belirsizliği	55

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Fosil (kırmızı) ve yenilenebilir (mavi) enerji kaynakları tüketimi	3
Şekil 2. Güneşin yapısı	11
Şekil 3. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli atlası	15
Şekil 4. Türkiye global ışıınım değerleri	15
Şekil 5. Türkiye güneşlenme süreleri	16
Şekil 6. Erzurum güneş enerjisi potansiyeli haritası	17
Şekil 7. Erzurum global radyasyon değerleri	17
Şekil 8. Erzurum güneşlenme süresi	18
Şekil 9. 1976'dan beri güneş hücresi enerji dönüşüm verimlilikleri araştırma zaman çizelgesi	20
Şekil 10. PV Hücre, modül ve dizi tasarımları	20
Şekil 11. PV hücre yapısı, fotovoltaiik etki	21
Şekil 12. (a) p tipi yarı iletken (b) n tipi yarı iletken	22
Şekil 13. PV hücrenin iç yapısı	23
Şekil 14. Fotovoltaiik hücre yapısını meydana getiren materyaller	24
Şekil 15. Nesillerine göre fotovoltaiik teknolojilerin sınıflandırılması	26
Şekil 16. Monokristal ve polikristal PV panelleri	27
Şekil 17. Amorf silisyum (a-Si) ince film güneş paneli	28
Şekil 18. Farklı nesillerdeki güneş panellerinin verimleri	29
Şekil 19. Fotovoltaiik panellerde meydana gelen kayıplar	30
Şekil 20. Bir solar hücre için sabit ışıınım ve farklı sıcaklıklardaki güç çıkışları	33
Şekil 21. 150 Watt'lık modül bulunan 8 diziden oluşan bir PV dizesinde uyumsuzluk kayıpları	35
Şekil 22. Rüzgarla çalışan fanlı soğutma	36
Şekil 23. Sprey soğutma	36
Şekil 24. Suyu daldırma ile soğutma	37
Şekil 25. Zorlanmış hava taşınımı ile aktif soğutma	37
Şekil 26. Sıvı Sirkülasyonlu Soğutma	38
Şekil 27. PV/T sistemde termosifon ile pasif soğutma	39
Şekil 28. PV/T sistemde aktif soğutma	39
Şekil 29. Termoelektrik modül kesit görünüşü	40

Şekil 30. Termoelektrik modüllerde seebeck ve peltier etkisi oluşumu.....	41
Şekil 31. Farklı kullanım alanlarına sahip alüminyum bal peteği yapıları.....	43
Şekil 32. Deney düzeneği.....	46
Şekil 33. Deney sistemi şematik	46
Şekil 34. PV panel iç tasarım	47
Şekil 35. Monokristal PV paneli	47
Şekil 36. Piranometre	48
Şekil 37. Data logger	49
Şekil 38. TEC1-12705 ve TEC1-12708 serisi peltier.....	50
Şekil 39. Kanal fanı.....	51
Şekil 40. Güç analizörü	51
Şekil 41. Alüminyum bal peteği.....	52
Şekil 42. Soğutmadan önce panelin zamana bağlı Elektriksel Verim-Işınım grafiği	57
Şekil 43. Soğutmadan önce panel yüzey sıcaklığı	57
Şekil 44. Soğutmadan önce sıcaklığa bağlı Elektriksel Verim-Sıcaklık grafiği	58
Şekil 45. Soğutmadan önce panelin Güç-Zaman grafiği.....	58
Şekil 46. 12705 Serisi Peltierlerin dizilimi	59
Şekil 47. 12705 serisi Peltier 10. kademe kanatçiksız soğutma.....	60
Şekil 48. 12705 serisi Peltier 8. kademe kanatçiksız soğutma.....	62
Şekil 49. 12705 serisi Peltier 6. kademe kanatçiksız soğutma.....	64
Şekil 50. 12705 serisi Peltier ve akış yönüne paralel (0°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıkları	65
Şekil 51. 12705 serisi Peltier ve akış yönüne paralel (0°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıkları 10. kademe soğutma deneyi.....	67
Şekil 52. 12705 serisi Peltier ve akış yönüne paralel (0°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıkları 8. kademe soğutma deneyi.....	69
Şekil 53. 12705 serisi Peltier ve akış yönüne paralel (0°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıkları 6. kademe soğutma deneyi.....	71
Şekil 54. 12705 serisi Peltier ve akış yönüne paralel (45°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıkları	72
Şekil 55. 12705 serisi Peltier ve akış yönüne çapraz (45°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıkları 10. kademe soğutma deneyi.....	73
Şekil 56. 12705 serisi Peltier ve akış yönüne çapraz (45°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıkları 8. kademe soğutma deneyi.....	75

Şekil 57. 12705 serisi Peltier ve akış yönüne çapraz (45°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıkları 6. kademe soğutma deneyi.....	77
Şekil 58. 12705 serisi Peltier ve akış yönüne dik (90°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıkları	78
Şekil 59. 12705 serisi Peltier ve akış yönüne dik (90°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıkları 10. kademe soğutma deneyi.....	80
Şekil 60. 12705 serisi Peltier ve akış yönüne dik (90°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıkları 8. kademe soğutma deneyi.....	82
Şekil 61. 12705 serisi Peltier ve akış yönüne dik (90°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıkları 6. kademe soğutma deneyi.....	84
Şekil 62. 12708 serisi Peltierlerin dizilimi	85
Şekil 63. 12708 serisi Peltier 10. kademe kanatçıksız soğutma.....	86
Şekil 64. 12708 serisi Peltier 8. kademe kanatçıksız soğutma.....	88
Şekil 65. 12708 serisi Peltier 6. kademe kanatçıksız soğutma.....	90
Şekil 66. 12708 serisi Peltier ve akış yönüne paralel (0°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıkları	91
Şekil 67. 12708 serisi Peltier ve akış yönüne paralel (0°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıkları 10. kademe soğutma deneyi.....	92
Şekil 68. 12708 serisi Peltier ve akış yönüne paralel (0°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıkları 8. kademe soğutma deneyi.....	94
Şekil 69. 12708 serisi Peltier ve akış yönüne paralel (0°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıkları 6. kademe soğutma deneyi.....	96
Şekil 70. 12708 serisi Peltier ve akış yönüne çapraz (45°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıkları	97
Şekil 71. 12708 serisi Peltier ve akış yönüne çapraz (45°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıkları 10. kademe soğutma deneyi.....	99
Şekil 72. 12708 serisi Peltier ve akış yönüne çapraz (45°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıkları 8. kademe soğutma deneyi.....	101
Şekil 73. 12708 serisi Peltier ve akış yönüne çapraz (45°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıkları 6. kademe soğutma deneyi.....	103
Şekil 74. 12708 serisi Peltier ve akış yönüne dik (90°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıkları	104
Şekil 75. 12708 serisi Peltier ve akış yönüne dik (90°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıkları 10. kademe soğutma deneyi.....	105

Şekil 76. 12708 serisi Peltier ve akış yönüne dik (90°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıkları 8. kademe soğutma deneyi.....	107
Şekil 77. 12708 serisi Peltier ve akış yönüne dik (90°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıkları 6. kademe soğutma deneyi.....	109



KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ

ΔT	: Sıcaklık farkı ($^{\circ}\text{C}$)
A	: Kesit alanı (A)
CFD	: Hesaplamalı Akışkanlar Mekaniği
c_p	: Özgül ısı (J/kg.K)
GEPA	: Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası
HRV (Heat Recovery System)	: Isı Geri Kazanım Sistemi
I	: Akım (Amper)
I	: Işınım değeri (W/m^2)
MPP	: Maksimum Güç Noktası
PDM	: Faz Değişim Malzemesi
PV/T	: Fotovoltaik Termal
PV	: Fotovoltaik
T	: Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)
TE	: Termoelektrik
TEJ	: Termoelektrik jeneratör
V	: Gerilim (Volt)
η	: Verim

GİRİŞ

Günümüzde artan küresel enerji talepleri nedeniyle, enerji kaynaklarının daha detaylı bir şekilde anlaşılması büyük bir önem kazanmıştır. Bilimsel, endüstriyel ve politik alanlarda sürdürülebilir ve güvenilir enerji çözümlerine olan bu yoğun ilgi, yenilikçi çalışmaları teşvik etmektedir. Bu çalışmaların arkasında yatan temel, modern dünyamızın enerji ihtiyacını karşılamada her biri kendi benzersiz avantajları ve zorlukları olan geleneksel ve yenilenebilir enerji kaynakları arasındaki ilişkidir (Koç & Kaya, 2015).

Geleneksel enerji kaynakları, özellikle kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıtlar, yüzyılı aşkın süredir dünya genelinde enerji üretiminin temelini oluşturmuştur. Bu kaynakların tercih edilme nedenleri arasında yüksek enerji verimliliği, çıkarılmasının nispeten kolay olması ve mevcut dağıtım altyapısının kullanım kolaylığı bulunmaktadır. Ancak, fosil yakıtların kullanımı, hava ve su kirliliği, sera gazı emisyonları ve kaynaklara erişimdeki jeopolitik çekişmeler gibi bir dizi çevresel ve sosyo-ekonomik sorunu da beraberinde getirmiştir (Çukurçayır & Sağır, 2008).

En bol bulunan ve yaygın olarak kullanılan fosil yakıt olan kömür, tarihsel olarak sanayi devriminin başlamasını kolaylaştırmış ve dünya çapındaki ekonomilerin büyümesini desteklemiştir. Yanması, iklim değişikliğine yol açan bir sera gazı olan büyük miktarlarda karbondioksit (CO₂) açığa çıkarır (Çetintaş, Bicil, & Türköz, 2017). Benzer şekilde, çok yönlülüğü ve enerji yoğunluğu ile göze çarpan petrol ve doğal gaz, küresel emisyonlara ve çevresel bozulmaya önemli ölçüde sebebiyet vermektedir. Fosil yakıt rezervlerinin sınırlı doğası, uzun vadeli sürdürülebilirlikleri konusundaki endişeleri daha da artırmaktadır (Bayraç, 2009).

Buna karşılık yenilenebilir enerji kaynakları, güneş ışığı, rüzgâr, su ve jeotermal ısı gibi doğal süreçleri kullanarak elektrik ve ısı üretir. Bu kaynaklar, fosil yakıtların tersine, çevreye olan etkileri minimize eder ve sera gazı emisyonlarını düşürürken, aynı zamanda bol miktarda, tükenmeyen ve temiz enerji alternatifleri sağlar. Enerji üretim ve tüketiminde yenilenebilir enerjiye geçiş, daha sürdürülebilir ve dirençli bir gelecek için önemli bir adım olarak görülmektedir (Öztürk H. , 2021).

Güneş enerjisi, güneş radyasyonundan yararlanarak elde edilen ve bol miktarda bulunan, geleceğe yönelik umut verici yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir. Fotovoltaik (PV) hücreler, güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine çevirirken, güneş termal sistemler ise

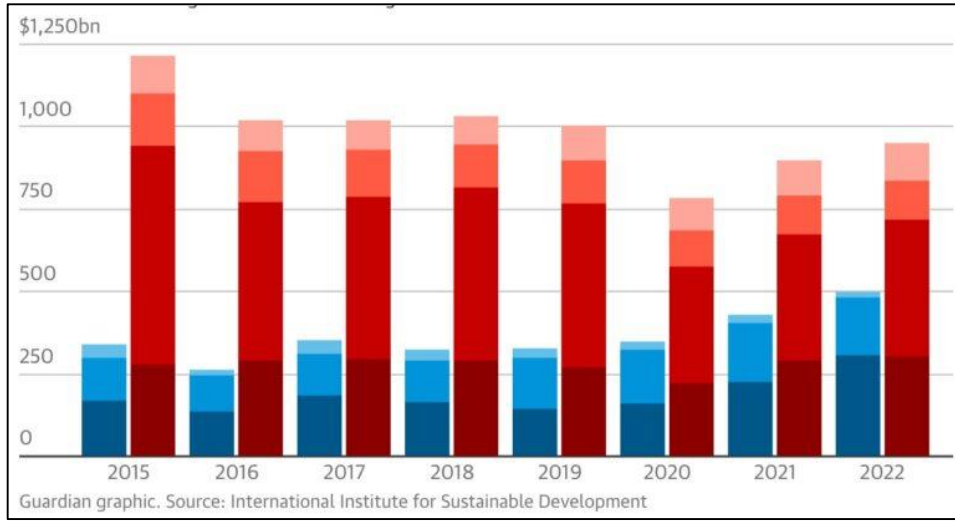
konsantre edilmiş güneş ışığını kullanarak çeşitli uygulamalar için ısı enerjisi üretir. Güneş teknolojilerindeki hızlı ilerlemeler ve maliyetlerin düşmesi, güneş enerjisini birçok bölge için geleneksel enerji kaynaklarına karşı rekabetçi bir alternatif haline getirmiştir (Rüstemli, Dinçer, Çelik, & Cengiz, 2013).

Son yıllarda, rüzgâr türbinlerinin kullanımıyla elde edilen rüzgâr enerjisi, önemli bir büyüme kaydetmiştir. Hem karada hem de denizde kurulan rüzgâr çiftlikleri, elektrik üretimi için rüzgârın kinetik enerjisini kullanmaktadır. Rüzgâr enerjisinin ölçeklenebilir ve esnek yapısı, merkezi ve dağıtık enerji üretim sistemleri için tercih edilen bir alternatif olmasını sağlar. Ancak, rüzgâr enerjisinin aralıklı doğası ve arazi kullanımı ile ilgili sorunlar, enerji şebekelerine entegrasyon için dikkatli bir planlama gerektirmektedir (Elibüyük & Üçgül, 2014).

Hidroelektrik enerjisi, akan suyun gücünden faydalanarak elektrik üretir ve dünya genelinde en yaygın kullanılan yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olarak öne çıkar. Barajlar ve akarsu tesisleri, enerji üretiminin yanı sıra sel kontrolü ve sulama gibi ek avantajlar sağlamaktadır. Ancak, hidroelektrik santrallerinin çevresel etkileri, habitatların ve su ekosistemlerinin zarar görmesi ve geniş çaplı ekolojik etkileri nedeniyle endişe konusudur (Bozkurt & Tür, 2015).

Jeotermal enerji, yeryüzünün altındaki sıcaklıktan faydalanarak elektrik ve ısı üretiminde kullanılır. Bu enerji türü, yer kabuğundaki kayaların ve sıvıların içinde saklanan termal enerjiyi kullanır. Elektrik üretimi için, jeotermal enerji santralleri yeraltı rezervuarlarından çıkarılan buharı veya sıcak suyu türbinleri döndürmek amacıyla kullanır. Düşük emisyon seviyesi ve azaltılmış karbon ayak izi ile çevre dostu bir alternatif olan jeotermal enerji, güvenilir ve devamlı bir yenilenebilir enerji kaynağıdır (Canik, Çelik, & Arıgün, 2000).

Geleneksel yakıtların küresel enerji piyasalarındaki hakimiyeti sürerken, iklim değişikliğinin azaltılması ve enerji güvenliğinin sağlanması gerekliliği, yenilenebilir enerji altyapılarının genişlemesine ivme kazandırmıştır. Ekonomik faktörler, çevresel etkiler ve sosyal adaletin dengelenmesi, yirminci yüzyılın enerji genel görünümünü biçimlendirmede hayati bir rol oynayacaktır. Bu dengeleme süreci, sürdürülebilir bir gelecek için kritik öneme sahiptir ve enerji sektöründeki yeniliklerle birlikte, gelecek nesiller için daha temiz ve adil bir dünya vaat etmektedir (Koç & Kaya, 2015).



Şekil 1. Fosil (kırmızı) ve yenilenebilir (mavi) enerji kaynakları tüketimi (Anonim, 2024a)

Dünya genelinde enerji sorunu, kaynakların hızla tükenmesiyle birlikte artmakta ve bu durum, alternatif enerji kaynaklarına olan ilgiyi güçlendirmektedir. Fosil yakıtların kullanımı çevre kirliliğine ve küresel ısınmanın artışına yol açarken, bu sorunların üstesinden gelmek için yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim artmaktadır. Güneş enerjisi sistemleri, yenilenebilir enerji alanındaki en önemli çalışma sahalarından biri haline gelmiştir ve bu sistemlerin kullanımı, evlerden büyük güneş enerji çiftliklerine kadar geniş bir alana yayılmıştır. Güneş enerjisi sistemleri, ısı ve fotovoltaik sistemler olmak üzere iki ana kategoriye ayrılır. PV-T (Fotovoltaik-Termal) sistemleri, fotovoltaik ve termal sistemlerin entegrasyonu ile oluşturulmuştur (Yıldız & Gürel, 2019).

Kerem ve diğ. (2020). yaptıkları bu deneysel çalışmada, iki adet 50cm x 100cm boyutlarında ve 80W güç kapasitesine sahip özdeş PV paneller kullanılarak soğutma işleminin elektriksel verime etkisini araştırmışlardır. Panellerden birine üst kısmından soğuk su püskürtebilen bir boru sistemi eklenmiş ve belirli aralıklarla yüzey soğutulmuştur. Soğutma işlemi yapılmayan ve yapılan panellerin akım, gerilim ve güç değerleri karşılaştırılarak performans analizi yapılmıştır. Çalışma sonucunda, PV yüzey sıcaklığının 32°C'den 19°C'ye düşürülmüş, elektriksel güç değeri ortalama olarak 79,621W'tan 91,149W'a yükselmiş ve %14,47'lik bir verim artışı elde etmişlerdir (Kerem, Atık, & Bayram, Fotovoltaik (PV) panel sisteminde yüzey soğutma işleminin elektrik üretimine etkisinin deneysel incelenmesi, 2020).

Bahaidarah ve diğ. (2013). Suudi Arabistan'ın Dhahran ikliminde yapılan deneysel bir çalışmada, Hibrit PV su soğutmalı bir sistem kullanmışlardır. Panelin performansı üzerindeki termal ve elektriksel etkiler EES yazılımı kullanılarak sayısal bir model ile incelenmiştir. Model, ölçümlerle uyumlu sonuçlar vermiştir. Araştırmada, modülün arka yüzeyine entegre edilen bir ısı eşanjörü sayesinde aktif su soğutması ile modül sıcaklığı yaklaşık %20 oranında

azaltılmış ve bu durum PV panelinin verimliliğini %9 oranında artırmıştır (Bahaidarah, Subhan, Gandhidasan, & Rehman, 2013).

Bayrak ve diğ. (2020). fotovoltaik (PV) paneller için uygulanan farklı soğutma tekniklerinin deneysel olarak incelendikleri bu çalışmada, soğutma yöntemleri olarak faz değişim malzemesi (PCM), termoelektrik (TE) ve alüminyum kanatlar kullanmışlardır. $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ gibi yaygın bir PCM ve PV panelinin yüzey sıcaklığından yüksek erime sıcaklığına sahip başka bir PCM seçilmiş, farklı sayıdaki TE ve farklı düzenlerde alüminyum kanatlar kullanılarak PV panellerin yüzey sıcaklıkları ve elektrik üretim kapasiteleri karşılaştırmışlardır. Uygun olmayan şekilde seçilen PCM'lerin, PV panellerin sıcaklığını artırarak yalıtım özelliği gösterdiği ve elektrik üretimini azalttığı belirlemişlerdir. Aynı çevresel koşullar altında yapılan testlerde, kanat sistemine sahip PV paneller en yüksek elektrik üretimini 47,88 W ile gerçekleştirirken, PCM ve TE kullanılan PV panellerinin en düşük güç üretimini 44,26 W olarak kaydetmişlerdir (Bayrak, Öztop, & Selimefendigil, 2020).

Yılancı (2020). fotovoltaik panellerin yüzey sıcaklığını düşürmek için termoelektrik soğutucuların kullanıldığı teorik ve deneysel olarak yaptığı bu çalışmalarda, termoelektrik soğutucuyla ortalama $3,1^\circ\text{C}$ ile $4,9^\circ\text{C}$ arasında bir sıcaklık düşüşü sağlamıştır. Bu soğutma sayesinde enerji ve güç üretiminde %7,3 ile %6,7 arasında bir artış gözlemlemiştir. Ayrıca, her 1°C 'lik sıcaklık düşüşü, güç üretiminde yaklaşık %2,3 ve %1,2 artışa neden olduğunu aktarmıştır. Termodinamik modellemelerle yapılan çalışmalar, ölçüm verileri ile uyumlu sonuçlar ortaya koymuştur. Ayrıca panel yüzey sıcaklıkları arasındaki farkın $12,7^\circ\text{C}$ 'ye kadar ulaştığı gözlemlenmiştir. Termoelektrik soğutuculu fotovoltaik panelin, termoelektrik kullanılmayan fotovoltaik panel ile karşılaştırıldığında %20,5 daha fazla enerji ürettiği görülmüştür. Termoelektrik soğutucu kullanımının fotovoltaik panelde enerji üretiminde ve performans çıkışında önemli ölçüde artış sağladığı gözlemlenmiştir (Yılancı, 2020).

Grubišić-Čabo ve diğ. (2018). fotovoltaik (PV) panellerin çalışma sıcaklığını düşürmek ve enerji dönüşüm verimliliğini artırmak için bir pasif soğutma tekniği kullandıkları bu çalışmada, 50 W gücündeki bir Si-polikristal PV panelin arka yüzeyine epoksi iletken yapıştırıcı ile monte edilmiş alüminyum kanatlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İki farklı dizilim yapılarak PV panelin arka yüzeyinden soğutma oranını artırmak amaçlanmıştır. İlk dizilim, paralel konumlandırılmış alüminyum kanatlarla (L-profil) oluşturulmuştur, ancak ikinci dizilim, rastgele konumlandırılmış delikli L profiller kullanılarak daha verimli bulunmuştur ve yaklaşık %2'lik bir verim artışı elde edilmiştir. Ayrıca, belirli bir dizilim geometrisi kullanılarak daha yoğun bir soğutma hızı sağlanabileceği ifade edilmiştir. İncelenen soğutma tekniği kanatçıkların ve dizilimlerinin soğutma potansiyelini göstermiştir ancak daha

uzun süreli bir test ile daha kesin sonuçlar elde edilebileceği ifade edilmiştir. Önerilen pasif soğutma tekniği ile PV sistemlerinin verimliliğini artırarak ve PV panellerinin işletme ömrünü uzatarak önemli faydalar sağlanabileceğini belirtmişleridir (Grubišić-Čabo, Nižetić, Čoko, Kragić, & Papadopoulos, 2018).

PraveenKumar ve diğ. (2022). gerçek hava koşullarında bir PV panelini termoelektrik soğutma mekanizması kullanarak soğutmanın etkilerini inceledikleri bu çalışmada, soğutulmuş PV panelin sıcaklığı ortalama 33,37 °C'ye düşerken, referans PV panelin sıcaklığı 45,60 °C'de kalmıştır. Bu, PV panelin sıcaklığında 12,23 °C'lik bir düşüş ve elektriksel verimlilikte %5,07'lik bir artış sağlamıştır (PraveenKumar, ve diğerleri, 2022).

Metwally ve diğ. (2021). PV panel üzerinde aktif soğutma işlemi yaptıkları bu çalışmada, termoelektrik soğutma yöntemi kullanmışlardır. Termoelektrik jeneratörün yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkını artırmak ve soğutma amacıyla su kullanmışlardır. Fotovoltaik panel yüzey sıcaklığının sabit bir seviyede tutulmasıyla verim %4 ile %20 arasında arttığını aktarmışlardır (Metwally, Mahmoud, Aboelsoud, & Ezzat, 2021).

Singh ve diğ. (2022). güneş modülleri ile termoelektrik elemanlar ve faz değişim malzemesi (FDM) birleştirilerek fotovoltaik panelin verimini artırmak için hibrit bir sistem geliştirdiler. Çalışmada, güneş panellerinin sıcaklığının artmasıyla elektriksel veriminin azaldığı gerçeği temel alınarak, COMSOL-Multiphysics yazılımı kullanılarak FDM kombinasyonlarını analiz ettiler. FDM kombinasyonlarına göre simülasyon verimliliğinde %9,7'lik bir artış gözlemlediler. Termoelektrik jeneratörler ve FDM'lerin birlikte kullanıldığı hibrit soğutma sistemi ile daha yüksek bir verim elde edildiğini gözlemlediler (Singh, Chaubey, Parvez, Monga, & Srivastava, 2022).

Sajjad ve diğ. (2019). hava soğutmalı bir PV modül ile soğutmasız modülün performansını karşılaştırdılar. Çalışma sonuçlarına göre; soğutulan modül, soğutulmayan modüle göre %7,2 daha yüksek elektriksel verimlilik ve %6 daha yüksek performans oranı göstermiştir (Sajjad, Amer, Ali, Dahiya, & Abbas, 2019).

Kabul ve Duran (2014). PV panelin arka yüzeyine monte ettikleri borular sayesinde dolaşan su yardımıyla panelin yüzeyini soğuttular. Bu soğutma işlemi sırasında, panelin sıcaklığını emen su ısınarak bir su deposuna yönlendirdiler. Bu ısı depolandı ve kullanıma hazır hale getirildi. PV/T sistemin bu soğutma metoduyla hem daha verimli çalıştığı hem de ısınan suyun yardımıyla sıcak su sağlanmış oldu. Yapılan deneyler, soğutma işlemi uygulanan panellerle uygulanmayanları karşılaştırdığında, soğutulan sistemlerin elektrik üretiminde %35'e varan güç artışı ve %7 daha fazla verim sağlandığını belirttiler (Kabul & Duran, 2014).

Kabul ve Yaşar (2017). yaptıkları deneysel çalışmada, su ve hava ile soğutulan PV/T paneller ile soğutma yapılmayan PV panellerin yüzey sıcaklıkları karşılaştırdılar. Su ile soğutulan PV/T panelin yüzey sıcaklığı yaklaşık 61°C iken, hava ile soğutulanınki 80°C, soğutma yapılmayan PV panelinki ise 73°C olarak ölçtüler. Su soğutmalı sistemde, yüzey sıcaklığında %16'lık bir düşüş sağlanmış, hava soğutmalı sistem ise soğutma yapılmayan panele göre %8 daha yüksek sıcaklıkta kalmıştır. Ayrıca, su soğutmalı panele iki farklı debide su pompalanmış ve 1,46 kg/s debi ile yapılan soğutmanın, 0,66 kg/s debi ile yapılandan daha etkili olduğunu gözlemlediler. Daha yüksek debide suyun panelden geçişi, yüzey sıcaklığını daha etkin bir şekilde düşürmüştür. Soğutma işlemi yapılan paneller, yapılmayan panele kıyasla daha fazla güç artışı sağlamıştır; 0,66 kg/s debi ile soğutulan panellerde %5-7, 1,46 kg/s debi ile soğutulan panellerde ise %10-14 oranında bir artış olmuştur. Hava ile soğutulan PV/T panellerin, soğutma yapılmayan PV panellere göre daha az verimli olmasının nedeni, hava akışının dış ortam şartlarına bağlı olarak kısıtlanması ve sıcak havanın yeterince atılamaması olduğunu belirttiler (Kabul & Yaşar, 2017).

Ömeroğlu (2018). yaptığı bu çalışmada, 900 W/m² yapay güneş ışığı altında çalışan bir PV/T sistemi tasarladı. Sistemin termal ve elektriksel performansını çalışma süresince inceledi. Elde edilen deneysel sonuçları, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) analizleri ile karşılaştırılarak doğruladı. Deneyler, farklı hava hızları (3 m/s, 4 m/s, 5 m/s) ve iki farklı yüzey konfigürasyonu kullanılarak gerçekleştirilmiş, ısı transfer elemanı olarak bakır kanatçıklar tercih edilmiştir. Araştırma sonucunda, fotovoltaik panellerin elektriksel ve termal verimliliğinin, aktif soğutma yöntemleriyle nasıl iyileştirilebileceği göstermiştir (Ömeroğlu, 2018).

Pektemir, (2019). yapmış olduğunu doktora tezinde, fotovoltaik termal (PV/T) sistemlerin performansı, hava ve su kullanılarak değerlendirilmiş ve sonuçları, su bazlı PV/T sistemleri ile soğutulmayan PV sistemlerinin sonuçlarıyla karşılaştırmıştır. İki farklı PV/T sistemi tasarlamıştır: biri yalnızca su kullanırken, diğeri hem su hem de hava ısı değiştiricisi kullanmaktadır. "Solenam" adı verilen yenilikçi sistemde, alüminyum bal peteği şeklindeki hava ısı değiştiricisi ve bakır borularla entegre edilmiş su ısıtıcısı kullanmıştır. PV panellerin arkasına yerleştirilen siyah absorber plaka sayesinde termal kazanım artırılmış ve düşük sıcaklık problemleri çözülmüştür. Bu sistemde, su ve hava, ayrı ısı değiştiriciler aracılığıyla PV panellerden ısıyı eş zamanlı olarak çekmektedir, bu da panellerin hem üstten hem de alttan etkin bir şekilde soğutulmasını sağlamıştır. Yapılan karşılaştırmalarda, su ve hava bazlı PV/T sistemi, su bazlı PV/T ve soğutulmayan PV sistemlerine göre daha yüksek verimlilik göstermiştir. Su bazlı PV/T sistemlerinde toplam verim %20 ile %40 arasında değişirken, su ve hava bazlı PV/T

sistemlerinde %60 ile %90 arasında bir verim elde edilmiştir. Ayrıca, su ve hava bazlı PV/T sistemlerinin termal kazançları yüksek olup, çeşitli optimizasyonlarla evsel uygulamalara uygun hale getirilebileceğini belirtmiştir. Bu çalışma, güneş enerjisinden yüksek oranda yararlanmayı sağlayacak olan Solenam sisteminin potansiyelini ortaya koymaktadır (Pektemir, 2019).

Göksel ve Varıyenli (2021). fotovoltaiik/Termal (PV/T) sistemleri kullanılarak güneş radyasyonunun hem termal hem de elektrik enerjisine dönüştürülmesini amaçladıkları bu çalışmada: PV panellerin güneş ışıınımlarını absorbe ederek ısınması, direnç artışına ve dolayısıyla verimlilik düşüşüne neden olacağını belirtmişlerdir. PV/T sistemleri, PV hücrelerinden uzaklaştırılan ısı ile hücreleri soğutarak direnci düşürerek verimliliği artırabileceğini ve PV panellerde oluşan fazla ısının serpantin ile panel arka yüzeyinden çekilmesi yöntemiyle verimlilik artışını hedeflemişlerdir. Aynı özelliklere sahip iki PV panelin karşılaştırılmasıyla, aynı ortam ve çevre şartları altında deneysel inceleme yapmışlardır. Soğutucu olarak su kullanılmıştır. Soğutma işlemi yapılan modül için, debi ayarı sisteme debimetre ile 15 dakikada bir yapılmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre, soğutma işlemi yapılmayan PV panelin genel verimi maksimum %16,12 olarak gerçekleşmiştir. Soğutulan PV/T modülün toplam verimi (elektrik + termal verim) ise maksimum %69,38 olarak gerçekleşmiştir. Soğutulan PV panelin elektrik verimi ise maksimum %17,56 olarak belirlenmiştir. Bu çalışma sonuçlarına dayanarak, bu tip bir PV/T modülünün konutlar, oteller ve yurtlar gibi yapılar için hem elektrik enerjisi hem de termal enerji ihtiyacını bütünsel bir yapıda sağlayabileceği belirtmişlerdir (Göksel & Varıyenli, 2021).

Gül ve Akyüz, (2019). yaptıkları deneysel çalışmada, hibrit fotovoltaiik termal (PV/T) sistem üzerinde elektriksel ve termal çalışma performanslarını incelediler. Kurulan sistemde, şebekeden bağımsız olarak akülerle birlikte elektriksel çalışma performansını değerlendirdiler. 0.015, 0.044 ve 0.069 kg/s'lik akışkan hızlarında yapılan ölçümlerde, sistemin termal veriminin %49.9 ile %52.11 arasında değiştiğini belirlediler. Ayrıca, PV/T panelin soğutmalı ve soğutmasız durumlarda elektriksel performansı incelemiş ve soğutma yapıldığı durumda elektriksel çıkışın maksimum güç noktasında %12.9 arttığı belirlemişlerdir. Bu durumda elektriksel verimi %12 olarak hesaplamışlardır (Gül & Akyüz, 2019).

Soltani ve diğ. (2017). fotovoltaiik (PV) panellerin verimliliğini artırmak için PV panelin sıcaklığının düşürülmesi gerektiğini ifade etmişlerdir. Hibrit PV/termoelektrik (PV/TE) sistemlerinin, PV panelin fazla ısını alması ve bu ısıyı güç üretmek için kullanmanın etkili bir yolu olduğunu söylemişlerdir. Yaptıkları çalışmada, nanoakışkan bazlı yeni bir soğutma yöntemi önermişler ve doğal soğutma, zorlanmış hava soğutma, su soğutma, SiO₂/su

nanoakışkan soğutma ve $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{su}$ nanoakışkan soğutma gibi geleneksel yöntemlerle karşılaştırmışlardır. SiO_2/su nanoakışkan soğutma %54,29 güç ve %3,35 verimlilikte en yüksek artışı sağladığını, $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{su}$ nanoakışkan soğutma ise sırasıyla %52,40 ve %3,13 iyileşme gösterdiğini belirlemişlerdir (Soltani, Kasaeian, Sarrafha, & Wen, 2017).

Mojumder ve diğ. (2016). yaptıkları çalışmada, aşırı ısınmayı önlemek amacıyla PV hücrelerinin verimini koruyan bir hava tipi tek geçişli PV/T kolektör sistemi geliştirmişlerdir. Sisteminin termal ve elektriksel verimliliğini, çeşitli kanat sayısı, kütle akış hızı ve güneş radyasyonu değerleri altında test etmişlerdir. Maksimum verimlilik, dört kanatlı konfigürasyonda %56.19 termal ve %13.75 PV verimliliği ile elde edildiğini aktarmışlardır (Mojumder, Chong, Ong, & Leong, 2016).

Hossain ve diğ. (2019). fotovoltaiik (PV) teknolojisinin, modülün aşırı ısınmasıyla daha da kötüleşen düşük enerji dönüşüm verimliliği sorunuyla karşı karşıya olduğunu ifade etmişlerdir. Paralel serpantin boru akışlı bir PV/T sistem tasarlamış, geliştirmiş ve deneysel olarak incelemişlerdir. Deneyler farklı hacim akış hızlarında gerçekleştirilmiştir; 0,5–4 L/dakika arasında, tasarlanmış ve geliştirilmiş PV/T'nin optimize edilmesi için deneyler yapmışlardır. PV/T sisteminin maksimum termal verimliliğini, 2 L/dakika 'da %76,58 olarak buldular. PV ve yalnızca PV/T'nin elektriksel verimliliğini sırasıyla %9,89 ve %10,46 olarak hesapladılar. PV ve PV/T sisteminin maksimum ekserji verimliliği sırasıyla %7,16 ve %12,98 (0,5 L/dakika) olarak bulunduğunu aktarmışlardır (Hossain, ve diğerleri, 2019).

Metwally ve diğ. (2021). PV panel üzerinde aktif soğutma işlemi yaptıkları bu çalışmada, termoelektrik soğutma yöntemi kullanmışlardır. Termoelektrik jeneratörün yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkını artırmak ve soğutma amacıyla su kullanılmıştır. Fotovoltaiik panel yüzey sıcaklığının sabit bir seviyede tutulmasıyla verimin %4 ile %20 arasında arttığını gözlemlemişlerdir (Metwally, Mahmoud, Aboelsoud, & Ezzat, 2021).

Jia ve diğ. (2019). farklı çalışma akışkanları ve çeşitli atmosferik koşullar altında çalışan çeşitli fotovoltaiik-termal (PV/T) sistemlerin genel bir değerlendirmesini sunmuşlardır. Araştırmacılar, PV akupleli termo-elektrik soğutuculara ek olarak, odaklayıcı ve düz tip fotovoltaiik-termal sistemleri incelemişlerdir. Ayrıca, farklı çalışma akışkanları kullanan PV/T sistemlerinin karşılaştırmasını yapmışlardır. Çalışmada, su esaslı PV/T sistemlerinin karmaşık yapıya sahip olduğu, hava esaslı sistemlerin ise basit yapılarla karakterize olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, su bazlı sistemlerin hava bazlı sistemlere göre daha iyi termal ve elektriksel verime sahip olduğu vurgulanmıştır. İki akışkanlı sistemlerin ise, karmaşık yapıya sahip olmaları, yüksek maliyet ve sınırlı uygulama alanı dezavantajlarına rağmen, daha iyi soğutma

sağlamaları ve daha yüksek termal ve elektriksel verime sahip olmaları gibi avantajlara sahip olduğu belirtilmiştir (Jia, Alva, & Fang, 2019).

Benghanem ve diğ. (2016). Medine bölgesinde yaz aylarında ortam sıcaklığı 40 °C ile 50 °C arasında değişmekte ve bazen 50 °C'nin üzerine çıktığı ifade etmişlerdir. Hücre sıcaklığının ise 83°C'ye ulaştığını, bu durumun güneş hücrelerinin (SC) davranışlarını etkileyerek verimliliklerini düşürdüğünü aktarmışlardır. Yaptıkları çalışmada, güneş hücrelerinin performansı, soğutma sistemi olarak termoelektrik modül (TEM) kullanılarak incelemişlerdir. Deneysel olarak, güneş hücrelerinin sıcaklığı arttıkça verimliliğinin azaldığını gözlemlemişlerdir. Bu nedenle, güneş hücrelerinin verimliliğini artırmak için daha düşük sıcaklıklarda çalıştırılması gerektiğini ifade etmişlerdir. Termoelektrik yardımıyla yaptıkları soğutma çalışmasıyla fotovoltaik panelin sıcaklığı 65°C'ye kadar düşürmeyi başarmışlardır. Sıcak bölgelerde PV uygulamaları için hibrit PV/T sistemi kullanılmasını önermişlerdir (Benghanem, Al-Mashraqi, & Daffallah, 2016).

Sajjad ve diğ. (2019). hava soğutmalı bir PV modül ile soğutmasız modülün performansını karşılaştırmışlardır. Çalışma sonuçlarına göre; soğutulan modül, soğutulmayan modüle göre %7,2 daha yüksek elektriksel verimlilik ve %6 daha yüksek performans oranı göstermiştir. Elde ettikleri sonuçlara göre, bu araştırmanın önemini ve uygulanabilirliğini göstermişlerdir (Sajjad, Amer, Ali, Dahiya, & Abbas, 2019).

Ahn ve diğ. (2015). yaptıkları çalışmada, ısı geri kazanım sistemi (heat recovery system) HRV ile entegre edilen hava tipi PV/T kolektörünün termal ve elektriksel performansı deneysel olarak incelenmiş ve sırasıyla %23 ve %15 olarak bulmuşlardır. HRV ile kullanılan PV/T kolektörünün toplam verimliliğini %38 olarak belirlemişlerdir. Ayrıca, PV/T kolektöründen gelen ön ısıtılmalı hava sayesinde HRV'nin ısı transfer verimliliği %20 oranında artmıştır. HRV sistemi ile entegre edilen PV/T kolektörünün, geleneksel HRV sistemlerine kıyasla daha yüksek verimlilik sağladığı görülmüştür (Ahn, Kim, & Kim, 2015).

Kazem, (2019). su bazlı PV/T panellerin, aynı anda sıcak su ve elektrik üretimi için kullanışlı olduğu ifade etmiştir. Yaptığı çalışmada, su bazlı bir PV/T'nin tasarımını ve Umman'ın hava koşullarında dış mekânda yapılan deneylerden elde edilen performansını incelemiştir. PV/T sistemin, deney süresi boyunca geleneksel PV panellere kıyasla üstün elektriksel performans gösterdiğini belirlemiştir. PV/T panelinin ortalama gücü, geleneksel PV panelinin ortalama gücünden %6 daha yüksek olduğunu gözlemlemiştir (Kazem, 2019).

Alobaid ve diğ. (2018). su bazlı PV/T sistemin performansını inceledikleri bu çalışmada, fotovoltaik termal sistemin performansını hesaplamak için bir matematiksel model kullanmışlardır. Ortalama termal ve elektriksel verimlilik sırasıyla %65 ve %13,7 olarak elde

edilmiş ve fotovoltaik termal matematiksel modeli, literatürden elde ettikleri deneysel verilerle karşılaştırarak doğrulamışlardır. (Alobaid, Hughes, O'Connor, Calautit, & Heyes, 2018).

Literatürdeki çalışmalar, PV/T sistemlerin termal ve elektriksel verimlerinin artışı üzerine odaklanmıştır. PV panellerin daha verimli ve uzun ömürlü çalışabilmeleri için belirli sıcaklık aralıklarında tutulması gerekmektedir. Bu çalışmada özel bir kontrol hacmi tasarlanmış ve hava yardımıyla aktif soğutma gerçekleştirilmiştir. Isı alıcı olarak alüminyum bal peteği kanatçıkları kullanılan deney sisteminde, peltierler yardımıyla ikincil bir elektrik enerjisi üretimi elde edilmeye çalışılmıştır. Üç farklı hava hızında alüminyum kanatçıkların, akış yönüne göre farklı açılarla yerleştirilmesinin soğutma üzerinde etkileri incelenmiştir.

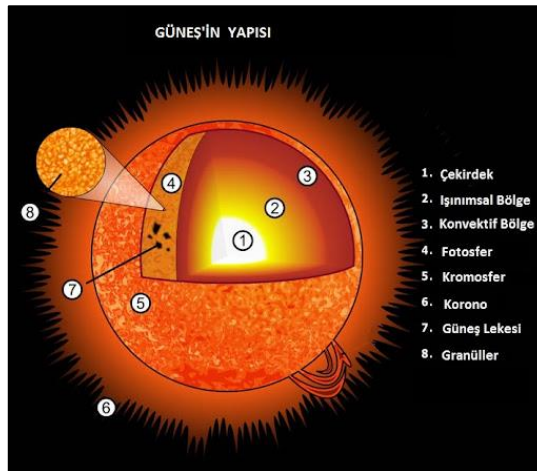


KURAMSAL TEMELLER

Güneş Enerjisi

Güneşin çekirdeğinde gerçekleşen füzyon süreci (He'nin H₂'ye dönüşmesi), güneş enerjisi olarak adlandırılan ışıma enerjisini üretir. Dünya atmosferinin dışında güneş enerjisinin şiddeti yaklaşık 1370 W/m²'dir, fakat atmosferin etkisiyle dünyaya ulaşan miktar 0-1100 W/m² aralığında değişir. Dünyaya ulaşan bu enerjinin küçük bir kısmı bile, tüm insanlığın kullandığı enerjiden çok daha fazladır. 1970'lerden itibaren güneş enerjisinden yararlanmak için yapılan araştırmalar artmış ve bu alanda sağlanan gelişmeler, güneş enerjisini ekonomik olarak daha cazip hale getirmiştir. Kurulumundan sonra maliyetinin düşük olması ve çevreye zarar vermemesi, güneş enerjisine olan ilgiyi artırmıştır (T.C Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2024). Güneşin kütlesi yaklaşık 1.99×10^{30} kg olup yüzey sıcaklığı 6000 K'dir. Güneş, inanılmaz derecede yüksek sıcaklıklarda bir saniyede yayılan radyasyon enerjisiyle, tahmini olarak 4×10^{23} kW enerji üretir. Güneşten dünyamıza gelen enerji, oldukça uzun bir mesafe olmasına rağmen 8 dakikada kat edilir. Yerküre ise dünya üzerinde bir yılda üretilen net enerjiye eşit bir enerjiyi güneş ışınlarından absorbe etmektedir (Kılıç & Öztürk, 1984).

Güneş, esas olarak hidrojen ve helyumdan meydana gelir. Şu anki evresinde, Güneş'in fotosferindeki kütlenin büyük bir kısmını bu iki element oluşturur; hidrojen yaklaşık %74,9 ve helyum ise %23,8 oranındadır. Diğer tüm ağır elementler, yani metaller, toplam kütlenin %2'den azını teşkil eder. En yaygın bulunan ağır elementler oksijen (%1 civarında), karbon (%0,3), neon (%0,2) ve demir (%0,2)'dir.



Şekil 2. Güneşin yapısı (Jeofizik Mühendisleri, 2024)

Güneş enerjisinin avantaj ve dezavantajları

Güneş enerjisi, çevresel etkileri ve sürdürülebilirlik potansiyeli ile geniş bir avantajlar ve dezavantajlar yelpazesi sunar. Bu enerji formunun avantajları arasında, yenilenebilir ve temiz bir enerji kaynağı olması, işletme maliyetlerinin düşük olması ve enerji üretiminde dışa bağımlılığı azaltması yer alır. Dezavantajları ise başlangıçta yüksek kurulum maliyetleri, güneş ışığının mevsimsel ve coğrafi değişkenliği ve enerji depolama sistemlerinin maliyetidir. Güneş enerjisinin kullanımı, bu avantaj ve dezavantajlar dikkate alınarak değerlendirilmelidir.

Avantajları

- Güneş panelleri, sürekli olarak yenilenen bir enerji kaynağından faydalanır. Güneşin varlığı devam ettiği sürece, dünya çapında güneş enerjisine erişim sağlanabilir; bu da güneş ışığından en az beş milyar yıl daha faydalanabileceğimiz anlamına gelir.
- Güneş enerjisi sistemleri, enerji ihtiyaçlarımızın bir kısmını karşılayarak elektrik üretir ve bu sayede elektrik faturalarımızda önemli ölçüde tasarruf etmemizi sağlar. Bu sistemler, güneşin yenilenebilir ve temiz bir enerji kaynağı olarak kullanılmasıyla hem çevreyi korumaya katkıda bulunur hem de uzun vadede ekonomik avantajlar sunar.
- Güneş enerjisi, elektrik üretimi için fotovoltaik sistemler ve ısıtma için termal sistemler olmak üzere iki temel kullanım alanına sahiptir. Enerji altyapısı bulunmayan bölgelerde, güneş enerjisi elektrik sağlama, suyu arıtma ve uzay uydularına enerji verme gibi çeşitli ihtiyaçları karşılamak için mükemmel bir çözümdür. Bunun yanı sıra, güneş enerjisi sistemleri, binaların tasarımına entegre edilerek, yapıların enerji verimliliğini artırabilir ve sürdürülebilir bir enerji kaynağı sağlayabilir.
- Güneş enerjisi sistemleri genellikle az bakım gerektirir ve güvenilir üreticiler tarafından 20-25 yıl arasında garanti verilir. Bu sistemlerin hareketli parçaları olmadığı için aşınma riskleri oldukça düşüktür. Yine de inverter gibi bazı sürekli çalışan bileşenlerin ömrü genellikle 5-10 yıl kadardır ve bu parçaların zamanla değiştirilmesi gerekebilir. Ayrıca, güneş enerjisi sisteminin verimliliğini sürdürmek için kabloların düzenli bakımı da büyük önem taşır.
- Ülkeler, yenilenebilir enerji kullanımını teşvik etmek amacıyla çeşitli destekler sağlamaktadır. Bu destekler, sürdürülebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesi ve kullanımının artırılması için önemli bir rol oynamaktadır. Yenilenebilir enerji teşvikleri, çevresel sürdürülebilirliği destekleyerek gelecek nesiller için daha temiz

bir dünya bırakmayı amaçlamaktadır. Bu teşvikler sayesinde, yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırımlar her geçen gün artmakta ve bu enerji türünün kullanımı daha da yaygınlaşmaktadır.

Dezavantajları

- Güneş panelleri, invertörler, piller, enerji iletimi ve kurulum gibi unsurlar, güneş enerjisi sistemlerinin maliyetini oluşturan ayrı bileşenlerdir. Her biri, sistemin genel maliyetine katkıda bulunur. Ancak, teknolojinin sürekli ilerlemesiyle birlikte, bu maliyetlerin gelecekte azalması beklenmektedir. Bu düşüş, daha verimli üretim yöntemleri ve malzemelerin geliştirilmesi, ölçek ekonomilerinin artması ve yenilikçi tasarımlar sayesinde mümkün olacaktır.
- Bulutlu ve yağışlı hava koşulları, güneş panellerinin enerji toplama verimini azaltabilir. Güneş panelleri, performanslarını maksimize etmek için doğrudan güneş ışığına ihtiyaç duyarlar. Bu nedenle, hava kapalı olduğunda, enerji üretiminde dalgalanmalar meydana gelebilir. Ancak, bu durumlar dikkate alınarak tasarlanmış sistemler, hava değişikliklerine karşı daha dayanıklı olabilir ve enerji üretimindeki bu dalgalanmaları en aza indirebilir.
- Elektrik enerjisi üretildiğinde ya anında tüketilmeli ya da gelecekteki kullanım için saklanmalıdır. Güneş enerjisi sistemleri bu bağlamda önemli bir rol oynar; burada piller, geceleyin kullanılmak üzere gün içinde enerji depolar. Ancak, pillerin maliyeti yüksektir ve bu durum, güneş enerjisi çözümlerinin genel maliyetini artırır. Öte yandan, güneş enerjisinin en verimli şekilde kullanıldığı gündüz saatleri, tipik olarak enerji talebinin zirve yaptığı anlara rastlar. Bu durum, güneş enerjisi sistemlerinin tasarım ve işletilmesinde önemli bir faktördür.
- Fotovoltaik sistemlerin evlere montajı, yüksek maliyetler ve uzmanlık gerektiren bir süreç olabilir. Bu sistemler, güneş ışığını takip ederek enerji verimliliğini artırır, ancak özellikle orta gelirli aileler için başlangıç yatırımı oldukça yüksek olabilir. Yine de uzun vadede elektrik faturalarında tasarruf sağlayarak bu ilk maliyeti dengeleyebilirler.
- Güneş panellerinin etkin bir şekilde çalışması, düzenli temizlik ve bakımı şart koşar. Bu durum, ek maliyetlerin ortaya çıkmasına neden olabilir. Ancak, bu maliyetler, panellerin verimliliğini ve ömrünü uzatarak, uzun vadede enerji tasarrufu sağlayarak telafi edilebilir. Güneş panelleri, temiz ve sürdürülebilir enerji sağlamanın yanı sıra, enerji faturalarında tasarruf sağlamak için de önemli bir yatırımdır.

- Genellikle şehir dışındaki çöl alanlarında kurulan büyük güneş enerjisi tarlaları, üretilen enerjinin tüketim bölgelerine taşınması için uzun mesafeli iletim hatlarına ihtiyaç duyar. Bu durum, enerji nakli sırasında ortaya çıkan ek maliyetlerle birlikte, enerjinin iletimini hem mali hem de teknik olarak daha karmaşık hale getirmektedir (Anonim, 2019b).

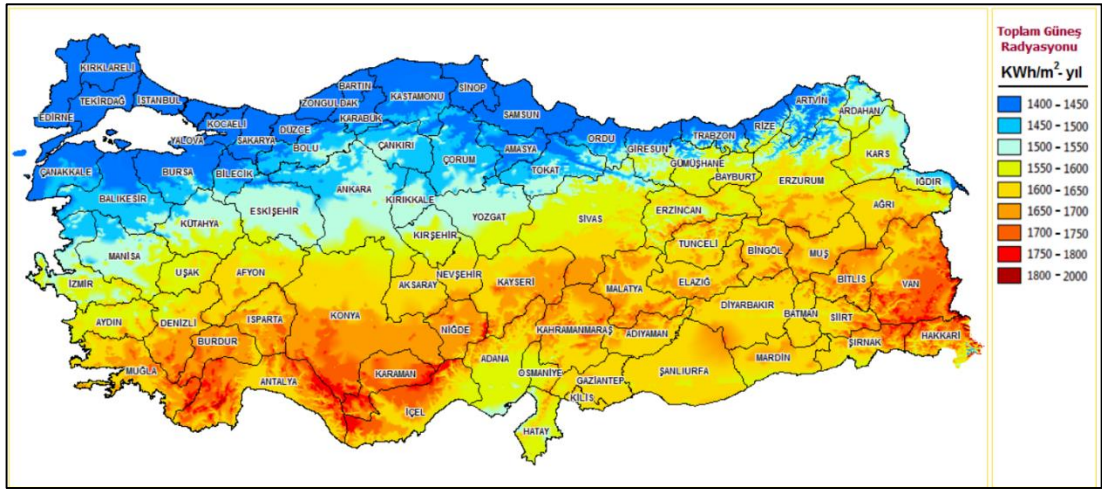
Güneş enerjisinin kullanım alanları

Günümüzde teknolojinin hızla ilerlemesi, güneş enerjisi sistemlerinin kullanım alanlarının genişlemesine ve çeşitlenmesine olanak tanımaktadır. Bu sistemler, teknolojik yeniliklerle birlikte daha geniş bir kullanım spektrumunda yerini almaktadır. Güneş enerjisi, sürdürülebilir ve temiz bir enerji kaynağı olarak, enerji ihtiyacının karşılanmasında önemli bir rol oynamaktadır ve bu alandaki gelişmeler, geleceğin enerji çözümleri üzerinde büyük bir etkiye sahiptir.

- Su arıtma ve damıtma süreçlerinde,
- Karayolları ve caddelerin aydınlatılmasında,
- Kurutma ve nem giderme işlemlerinde,
- Soğutma ve diğer iklimlendirme işlemlerinde,
- Trafik sinyalleri ve lambalarının enerji gereksinimlerinin sağlanmasında,
- Isınma ihtiyaçları ve kullanım suyu elde etme süreçlerinde,
- Uzay uyduları ve güneş enerjisiyle çalışan kulelerde,
- Konutlar ve çeşitli yapıların elektrik ihtiyacının karşılanmasında,
- Geliştirme aşamasındaki güneş enerjili araçlarda (Anonim, 2023c).

Türkiye'nin Güneş Enerji Potansiyeli

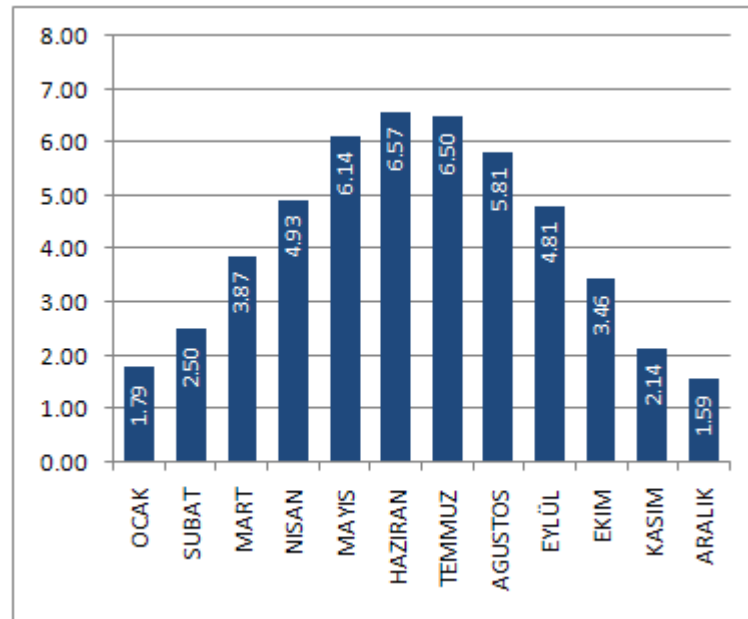
Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA) incelendiğinde, ortalama yıllık toplam ışınlam şiddetinin 1527,46 kWh/m²-yıl, ortalama günlük toplam ışınlam şiddetinin 4,18 kWh/m²-gün, ortalama yıllık toplam güneşlenme süresinin 2741,07 saat/yıl ve ortalama günlük toplam güneşlenme süresinin 6,5-7 saat/gün olduğu görülmektedir. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyel atlası **Şekil 3**'te verilmiştir.



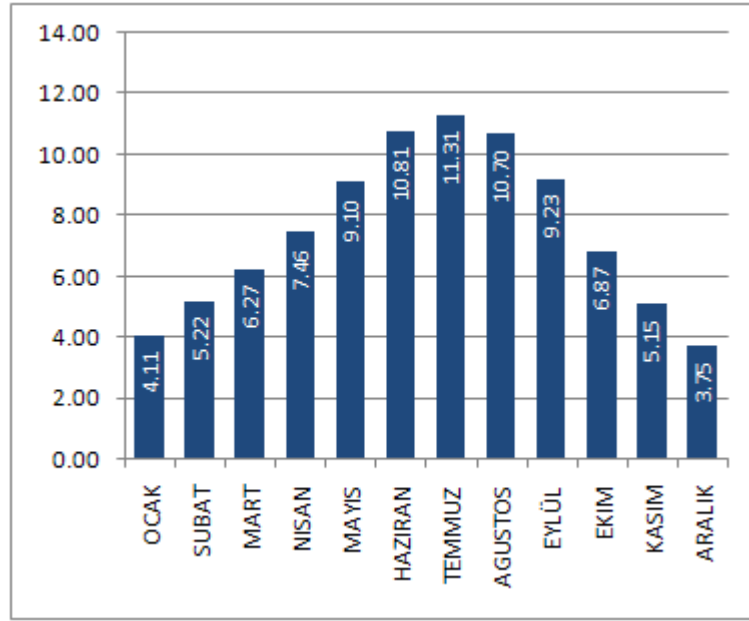
Şekil 3. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli atlası (GEPA) (T.C Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2024)

Haritadaki bilgilere göre, Türkiye'nin kuzeyinden güneyine doğru ilerlendiğinde güneşlenme potansiyeli yükselmektedir. Karadeniz Bölgesi, coğrafi konumunun ve yağışlı günlerin çokluğunun bir sonucu olarak en az güneş ışınlamını alır. Ege ve Marmara bölgeleri ortalama seviyede ışınlam alırken, Güneydoğu Anadolu, Akdeniz, Doğu Anadolu ve İç Anadolu bölgeleri daha yüksek ışınlam değerlerine sahiptirler. Bu durum, söz konusu bölgeleri güneş enerjisi yatırımları için daha cazip kılar ve bu bölgelerde yatırımın geri dönüş süresi diğerlerine kıyasla daha kısadır.

Türkiye'nin ortalama günlük global güneş ışınlamı değerinin ve ortalama günlük güneşlenme sürelerinin aylara göre gösterimi sırasıyla **Şekil 4** ve **Şekil 5**'te verilmiştir.



Şekil 4. Türkiye global ışınlam değerleri (KWh/m²) (T.C Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2024)



Şekil 5. Türkiye güneşlenme süreleri (Saat) (T.C Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2024)

Türkiye'de yenilenebilir enerjiye dayalı kurulu güç kapasitesi, yıllar içinde sürekli bir artış göstermiştir. 2015 yılında 31,6 GW olan bu kapasite, yıllık ortalama %8,1'lik bir artışla 2023 yılı Ekim ayında yaklaşık 58,5 GW'a ulaşmıştır. Aynı zamanda, 2015 yılında toplam kurulu gücün %43,3'ünü oluşturan yenilenebilir enerjinin payı, 2023 yılı Ekim ayı itibarıyla %55,2'ye yükselmiştir (TSKB Enerji Çalışma Grubu, 2023).

Türkiye, rüzgâr, jeotermal ve güneş gibi yenilenebilir enerji kaynakları açısından zengindir. Bu kaynakların kullanımının artırılması hem iklim değişikliğiyle mücadelede hem de enerji ithalatı ve fosil yakıt kullanımının azaltılmasında kritik bir rol oynamaktadır. Geçtiğimiz iki yıl içinde yürürlüğe giren elektrik depolama yasaları sayesinde, güneş ve rüzgâr enerjisi kaynaklarının daha etkin kullanılması ve bu alandaki yatırımların artması beklenmektedir. Kendi enerjisini üreten kapasitelerin ve hibrit santrallerin devreye alınmasıyla, yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilginin artarak devam edeceği öngörülmektedir (Şimşek, 2024).

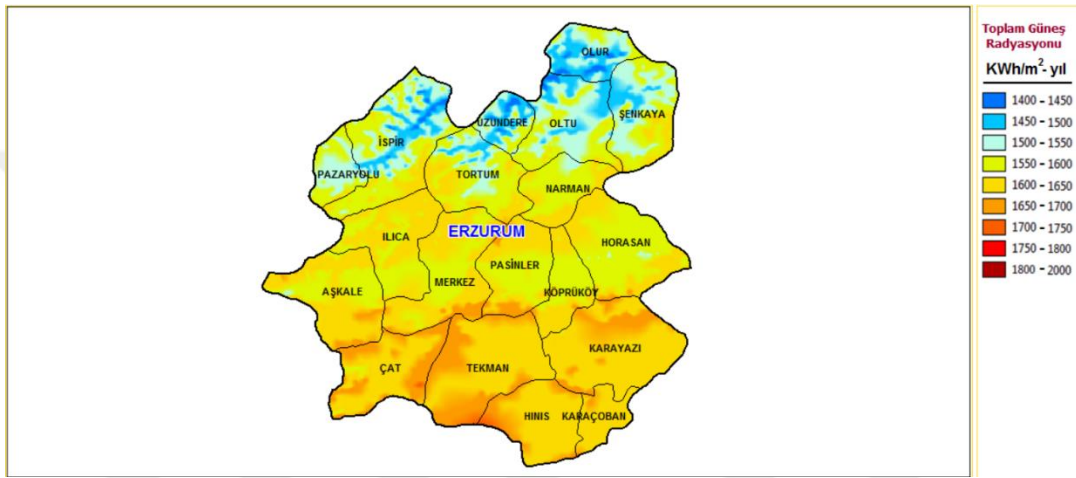
Türkiye Ulusal Enerji Planı'na göre, elektrik tüketimi 2025 yılında 380,2 TWh, 2030 yılında 455,3 TWh ve 2035 yılında 510,5 TWh olması öngörülmektedir. 2023 yılı elektrik üretim kompozisyonu şu şekildedir: %36,3 kömür, %21,4 doğal gaz, %19,6 hidrolik, %10,4 rüzgâr, %5,7 güneş, %3,4 jeotermal ve %3,2 diğer kaynaklar. 2024 yılı mart ayı itibarıyla Türkiye'nin toplam kurulu gücü 107.959 MW'a ulaşmıştır (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2024).

2024 yılı mart ayı sonunda Türkiye'nin kurulu güç dağılımı şu şekildedir: %29,6 hidrolik, %23,2 doğal gaz, %20,2 kömür, %11,2 rüzgâr, %11,7 güneş, %1,6 jeotermal ve %2,5

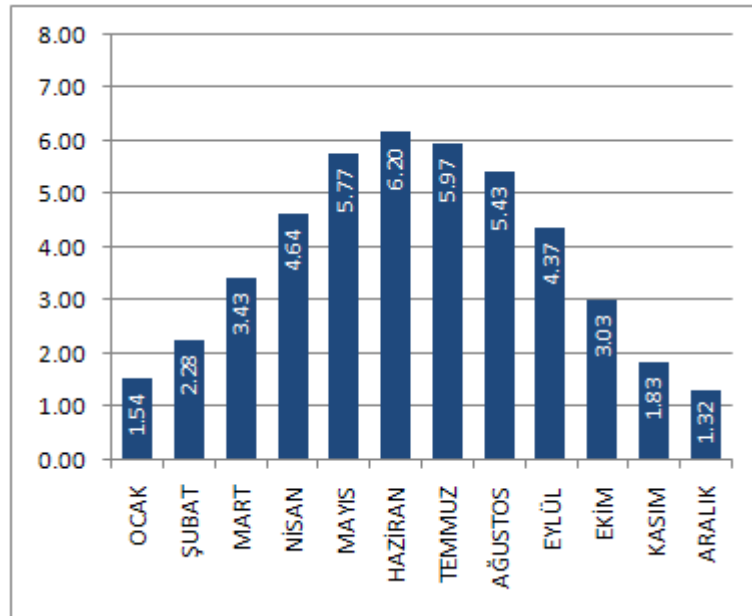
diğer kaynaklar. 2024 yılı mart ayı sonu itibarıyla Türkiye'deki elektrik enerjisi üretim santrali sayısı 18.231'e (lisanssız santraller dahil) yükselmiştir. Bu santrallerin 757'si hidroelektrik, 69'u kömür, 364'ü rüzgâr, 63'ü jeotermal, 363'ü doğal gaz, 16.144'ü güneş ve 471'i diğer kaynaklardan enerji üretmektedir (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2024).

Erzurum'da Güneş Enerjisi Potansiyeli

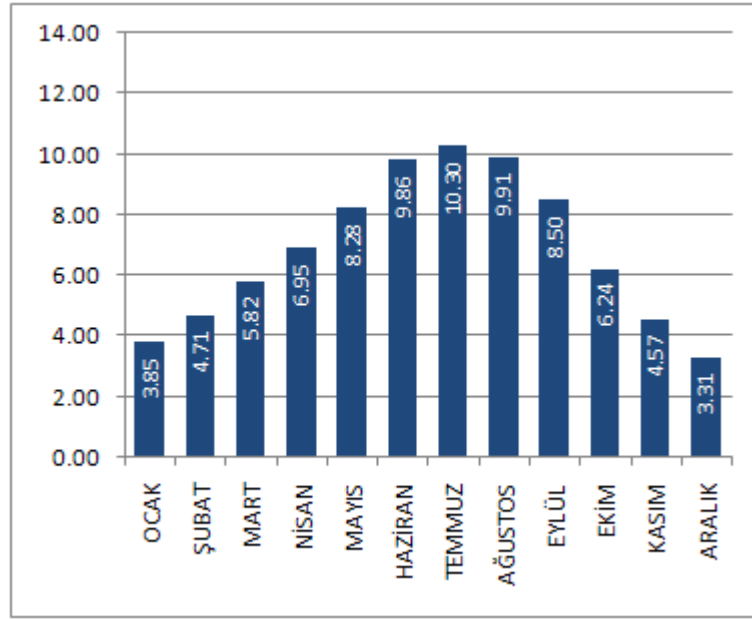
Erzurum'un ortalama global radyasyon değeri 3,82 kWh/m² -gün, ortalama güneşlenme süresi ise 7 saat olarak hesaplanmıştır. **Şekil 6**'da Erzurum'un güneş enerji potansiyeli haritası gösterilmektedir.



Şekil 6. Erzurum güneş enerjisi potansiyeli haritası (T.C Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2024)



Şekil 7. Erzurum global radyasyon değerleri (KWh/m²-gün) (T.C Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2024)



Şekil 8. Erzurum güneşlenme süresi (saat) (T.C Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2024)

Fotovoltaik Sistemler

Fotovoltaik hücre verimliliği

İnsanlık, güneş enerjisinden teknolojik faydalanma konusunda uzun bir geçmişe sahiptir. Güneş enerjisini farklı enerji türlerine dönüştürme yöntemleri, antik zamanlara kadar uzanır. En eski örneklerden biri, Arşimed'in Sirakuza'da büyük aynalar kullanarak güneş ışınlarını yoğunlaştırıp düşman gemilerine yönlendirerek yakmasıdır. 17. yüzyılda, güneş ışınlarının aynalar yardımıyla yoğunlaştırılıp odun yığınlarını ateşlemek için kullanıldığı bilinirken, 18. yüzyılda yoğunlaştırılmış güneş ışınlarının kimyasal reaksiyonlarda ve güneş fırınlarında kullanıldığı kaydedilmiştir. 19. yüzyılda ise, güneş enerjisi uygulamalarında bir artış gözlemlenmiş, yoğunlaştırılmış güneş enerjisi ile metal eritme, su pompalama, buhar üretme ve güneş enerjisiyle çalışan makineler gibi çeşitli teknolojik gelişmeler gerçekleştirilmiştir (Bozkurt S. , 2017).

Güneş pillerinin temel çalışma prensibi, fotovoltaik etkiye dayanmaktadır. 1839 yılında Becquerel tarafından keşfedilen bu olay, elektrolit içindeki elektrotlar arasındaki gerilimin, üzerine düşen ışığa bağlı olarak değiştiğini göstermiştir. 1876 yılında selenyum kristalleri üzerinde benzer bir etki G.W. Adams ve R.E. Day tarafından gözlemlenmiştir. Bu buluşlar, fotoğrafçılıkta ışık ölçerlerde kullanılan bakır oksit ve selenyum tabanlı foto diyotların gelişimine yol açmıştır. 1914 yılında fotovoltaik diyotların verimliliği %1'e ulaşmış, ancak gerçek anlamda güneş enerjisini elektrik enerjisine %6 verimlilikle dönüştüren fotovoltaik diyotlar, 1954 yılında Chapin tarafından silikon kristali kullanılarak geliştirilmiştir. Bu dönüm noktası, uzay araçları için güç sistemlerinin araştırılması ve tasarlanmasına öncülük etmiştir.

1960'ların başlarından itibaren fotovoltaik güç sistemleri, uzay çalışmaları için güvenilir bir enerji kaynağı olmuştur ve 1970'li yılların başlarına kadar güneş pillerinin kullanımı bu alanda yoğunlaşmıştır (Kebabcıoğlu, 2009).

Güneş pillerinin yeryüzünde de elektriksel güç sistemi olarak kullanılabilmesine yönelik araştırma ve geliştirme çabaları gerçek anlamda 1973 yılındaki 1. petrol bunalımını izleyen yıllarda olmuştur. Amerika' da Avrupa'da, Japonya' da büyük bütçeli ve geniş kapsamlı araştırma ve geliştirme projeleri başlatılmıştır (Bozkurt S. , 2017).

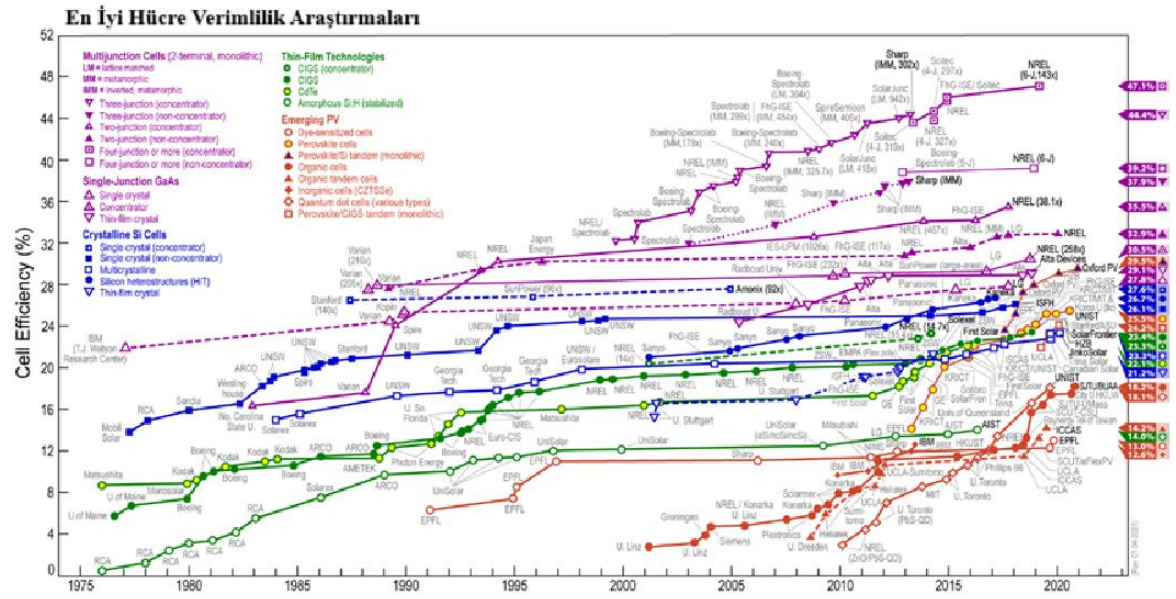
Şekil 9'da 1976 yılından 2000 yılına kadar geçen sürede güneş pillerinin verimliliği ile ilgili gelişmeler gösterilmiştir. Bu grafik, bağımsız ve prestijli test laboratuvarları NREL, AIST, JRC-ESTI ve Fraunhofer-ISE gibi kurumlar tarafından onaylanmış ve standart bir temel üzerinde raporlanmış güncel teknolojiye sahip cihazları kapsamaktadır. Yeni cihazların ölçümleri, düz plaka cihazları için belirlenen global referans spektrumu ve konsantratör cihazları için direkt referans spektrumu olan standart test veya raporlama koşullarına uygun olarak yapılmalıdır. Bu standartlar, IEC 60904-3'ün ikinci sürümünde veya ASTM G173'te belirtilmiştir. Referans sıcaklık 25°C olarak alınır ve alan, hücrenin toplam yüzeyi veya bir açıklık tarafından tanımlanır.

Hücre verimliliği sonuçları, çeşitli yarı iletken ailelerine göre sınıflandırılır:

- Çok bağlantılı hücreler
- Tek bağlantılı galyum arsenid hücreleri
- Kristal silikon hücreler
- İnce film teknolojileri
- Yeni gelişmekte olan fotovoltaikler

28 farklı alt kategori, renk kodlarıyla ayrılmış sembollerle ifade edilir.

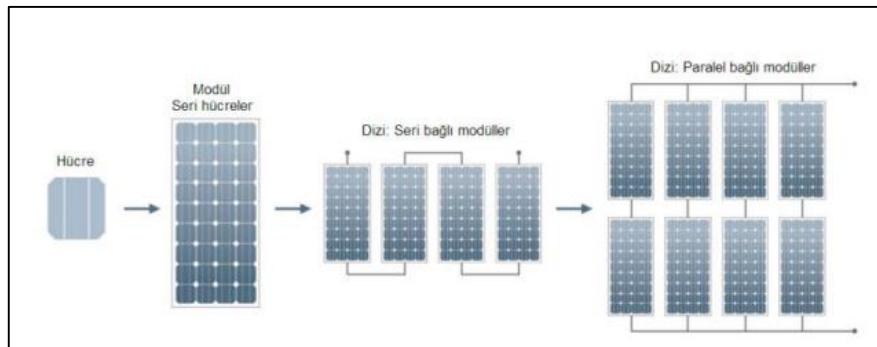
Her teknoloji için en yüksek dünya rekoru, ilgili teknolojinin simgesi ve verimlilik oranı ile bir bayrakta sağ tarafta öne çıkarılır. En son rekorları kıran cihazları üreten şirket veya gruplar, grafik üzerinde kalın harflerle vurgulanır (Anonim, 2024d).



Şekil 9. 1976'dan beri güneş hücresi enerji dönüşüm verimlilikleri araştırma zaman çizelgesi (Wikipedia, 2024)

Fotovoltaik hücrelerin çalışma prensibi

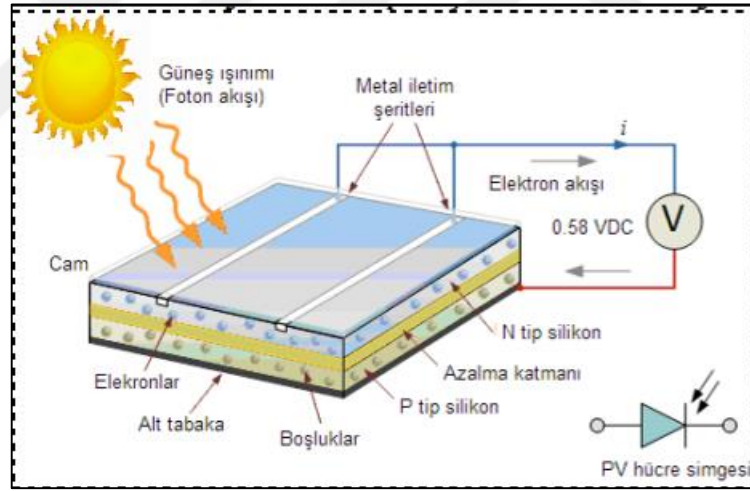
Fotovoltaik (PV) hücreler, güneş ışığını elektrığe çeviren, hareketli parçası olmayan, bakımı kolay ve uzun ömürlü elektronik cihazlardır. Bu hücreler, yarı iletken malzemelerden yapılmış olup, güneş enerjisini direkt olarak elektrik enerjisine dönüştürürler. PV hücreleri, iç fotoelektrik reaksiyonu kullanarak güneş ışığının enerjisini elektrığe çevirir ve bu işlem, hücrenin yapısına göre %5 ile %20 arasında değişen bir verimlilikle gerçekleşir. PV hücrelerin yüzey şekilleri genellikle kare, dikdörtgen veya daire şeklindedir ve boyutları 60 ile 160 cm² arasında değişirken, ortalama olarak 100 cm²'dir. Bunların kalınlığı ise yaklaşık 0,2 ile 0,4 mm arasındadır. Daha yüksek güç çıkışı elde etmek için, çok sayıda PV hücre, paralel veya seri olarak bağlanıp bir yüzeye monte edilerek PV modülleri oluşturulur. İhtiyaca göre PV modülleri seri veya paralel bağlanarak, birkaç Watt'tan mega Watt'lara kadar güç üretebilen PV dizileri kurulabilir (Öztürk H. , 2017).



Şekil 10. PV Hücre, modül ve dizi tasarımları (Öztürk H. , 2017)

Fotovoltaik hücreler, güneş ışınımını elektriğe dönüştüren temel bir fiziksel işlem olan fotovoltaik etki ile çalışır. Bu etki, güneş ışınımı içindeki fotonların yarı iletken malzemelerin yüzeyine çarpması ve bu etkileşim sonucunda atomlardan elektronların serbest bırakılması prensibine dayanır. "Fotovoltaik" terimi, Yunanca "ışık" anlamına gelen "photo" ve elektrik akımı üreten cihazları tasarlayan Alessandro Volta'nın adından türetilen "voltaic" kelimelerinin birleşiminden gelir. Güneş hücreleri olarak da bilinen fotovoltaik hücreler, ilk olarak 1839'da Becquerel tarafından incelenmiştir ve günümüzde yenilenebilir enerji teknolojilerinin temel taşlarından biridir (Öztürk H. , 2017).

Albert Einstein, ışığın yalnızca bir dalga olarak değil, aynı zamanda tanecik veya parçacık formunda da hareket edebileceğini keşfetmiştir. Bu özellik, ışığın içerdiği enerji paketleri olan fotonlar sayesinde mümkün olmaktadır. Güneş ışığı, bu elektromanyetik parçacıkların, yani fotonların akışı olarak da düşünülebilir. Fotonlar, elektromanyetik radyasyonun parçacık halidir ve bu radyasyonun enerjisini taşırlar. Enerjik yapılarıyla fotonlar, fotosentezde olduğu gibi foto kimyasal reaksiyonları başlatabilir veya yarı iletkenlerde elektronların hareketini tetikleyerek güneş ışığını elektriğe dönüştürebilirler (Öztürk H. , 2017).



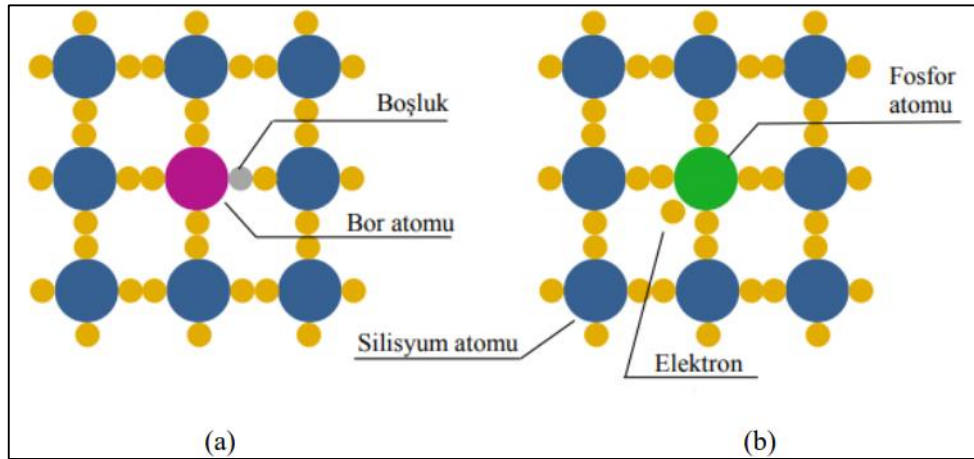
Şekil 11. PV hücre yapısı, fotovoltaik etki (Öztürk H. , 2017)

Güneşten yayılan ışınım, enerji yüklü fotonların toplamından meydana gelir. Bu fotonlar, güneş spektrumundaki çeşitli dalga boylarına göre değişen enerji seviyelerine sahiptirler. Bir fotovoltaik hücreye çarptıklarında, bazı fotonlar hücre tarafından emilir, bazıları yansıtılır ve bazıları da hücrenin içinden geçer. Hücre tarafından emilen fotonlar elektrik enerjisi üretimine katkıda bulunur. Bu süreçte, fotonların enerjisi yarı iletken malzemenin atomlarındaki elektronlara aktarılır (Öztürk H. , 2017).

Fotovoltaik (PV) hücreler, güneş ışığını elektrik enerjisine dönüştürmek için güneşten gelen fotonları kullanır. Bu süreçte, fotonlar fotovoltaik malzemeye çarpar ve bu etkileşim sonucunda elektronlar serbest bırakılır. Serbest bırakılan elektronlar, foto akım ve gerilim

oluşturarak elektriksel güç üretir. Güneş ışınımı enerji taşıyan fotonlardan oluşur ve bu fotonlar, yarı iletken malzemelerin yüzeyine çarptığında elektronları atomlardan ayırır. Fotovoltaik hücreye çarpan fotonların bir kısmı hücre tarafından emilirken, bir kısmı yansıtılır ve bazıları da hücreyi geçer. Hücre tarafından emilen fotonlar, yarı iletken malzemenin atomlarındaki elektronlara enerji transfer eder ve bu enerji, elektronların normal pozisyonlarından ayrılarak elektrik devresinde akım oluşturmasını sağlar. Böylece, fotovoltaik hücreler güneş ışığını kullanarak elektrik enerjisi üretir (Öztürk H. , 2017).

Güneş pillerinin üretiminde kullanılan yarı iletken malzemeler, p veya n tipi olacak şekilde düzenlenmelidir. Bu işlem, saf yarı iletken eriyiğine istenilen katkı maddelerinin kontrollü bir şekilde eklenmesiyle gerçekleşir ve yarı iletkenin p veya n tipi oluşu, eklenen katkı maddesine bağlıdır. Güneş pillerinde en yaygın kullanılan malzeme olan silisyum, n tipi yarı iletken elde etmek için periyodik cetvelin 5. grubundan fosfor gibi bir element eklenerek üretilir. Fosforun beş, silisyumun ise dört valans elektronu bulunur; bu durum, fosfordaki fazladan elektronun kristal yapıya geçmesini sağlar. Bu nedenle, 5. grup elementleri n tipi katkı maddesi veya donör olarak adlandırılır. Eğer eriyiğe 3. gruptan bor, alüminyum veya indiyum gibi bir element eklenirse, p tipi silisyum oluşur. Bu elementlerin üç valans elektronu vardır ve kristalde bir elektron eksikliği oluştururlar; bu eksiklik boşluk veya hol olarak adlandırılır ve pozitif yük taşıdığı kabul edilir. Bu sebeple, bu tür maddelere alıcı veya p tipi katkı maddesi denir (Wikipedia, 2024).

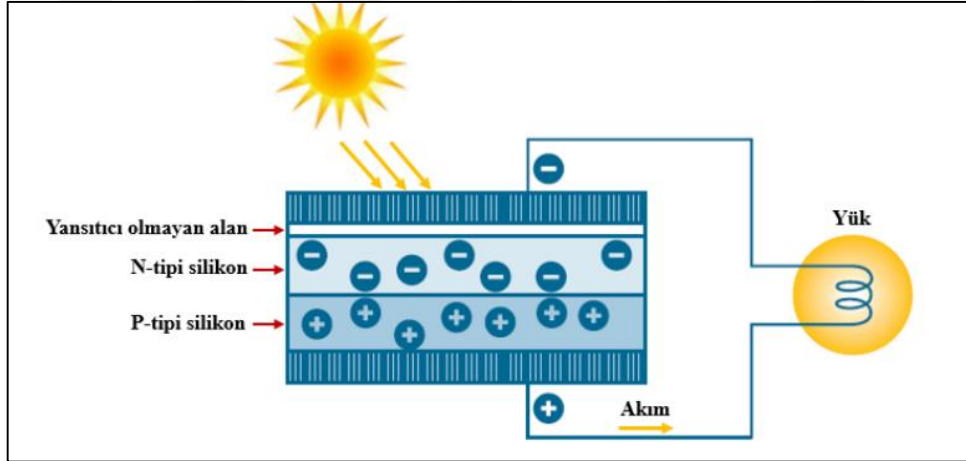


Şekil 12. (a) p tipi yarı iletken (b) n tipi yarı iletken (Bayrak F. , 2017)

Yarı iletken malzemelerin güneş pilleri olarak kullanılabilmesi için, n veya p tipi katkı maddeleri eklenerek yarı iletken eklemler oluşturulur. P tipi yarı iletkenlerde boşluklar, n tipi yarı iletkenlerde ise elektronlar baskın taşıyıcıdır. N ve p tipi yarı iletkenler birleşmeden önce her ikisi de elektriksel olarak nötrdür; yani n tipindeki elektron sayısı pozitif yüklerle dengelenirken, p tipindeki boşluklar negatif yüklerle dengelenir. N tipi yarı iletken içindeki

elektronlar, p tipi yarı iletkenle birleştğinde, bir PN eklemi oluşturur ve bu süreç, yük dengesi sağlanana kadar devam eder. PN eklemi oluşturan maddenin arayüzünde, n bölgesinde pozitif, p bölgesinde ise negatif yük birikir. Bu yükten arındırılmış bölgeye geçiş bölgesi denir ve burada oluşan elektrik alan yapısal elektrik alan olarak adlandırılır. Güneş pili olarak işlev görebilmesi için, eklem bölgesinde fotovoltaiik dönüşüm gerçekleşmelidir. Işık eklem bölgesine düştüğünde elektron ve boşluk çiftleri oluşur ve bu çiftler, bölgedeki elektrik alanının etkisiyle ayrılarak iki aşamalı bir dönüşüm sağlar (Wikipedia, 2024).

Yarı iletkenler, yasak enerji aralığı ile ayrılan iki enerji bandından oluşur: iletkenlik bandı ve valans bandı. Eğer bir fotonun enerjisi bu yasak aralığına eşit veya daha fazla ise ve yarı iletken tarafından emilirse, valans bandındaki bir elektrona enerjisini aktarır ve bu elektronu iletkenlik bandına taşır. Bu işlem sonucunda bir elektron-hol çifti oluşur. Eğer bu, bir p-n eklem güneş pilinin arayüzünde gerçekleşirse, elektron-hol çiftleri oradaki elektrik alan tarafından ayrılır. Bu sayede güneş pili, holleri p bölgesine, elektronları ise n bölgesine taşıyan bir pompa işlevi görür ve ayrılan elektron-hol çiftleri güneş pilinin uçlarında kullanılabilir güç üretir. Bu süreç, yeni bir foton yüzeye çarptığında tekrarlanır. Yarı iletken içinde de elektron-hol çiftleri oluşur, ancak gerekli elektrik alanın olmaması nedeniyle bu çiftler tekrar birleşir ve kaybolur (Wikipedia, 2024).



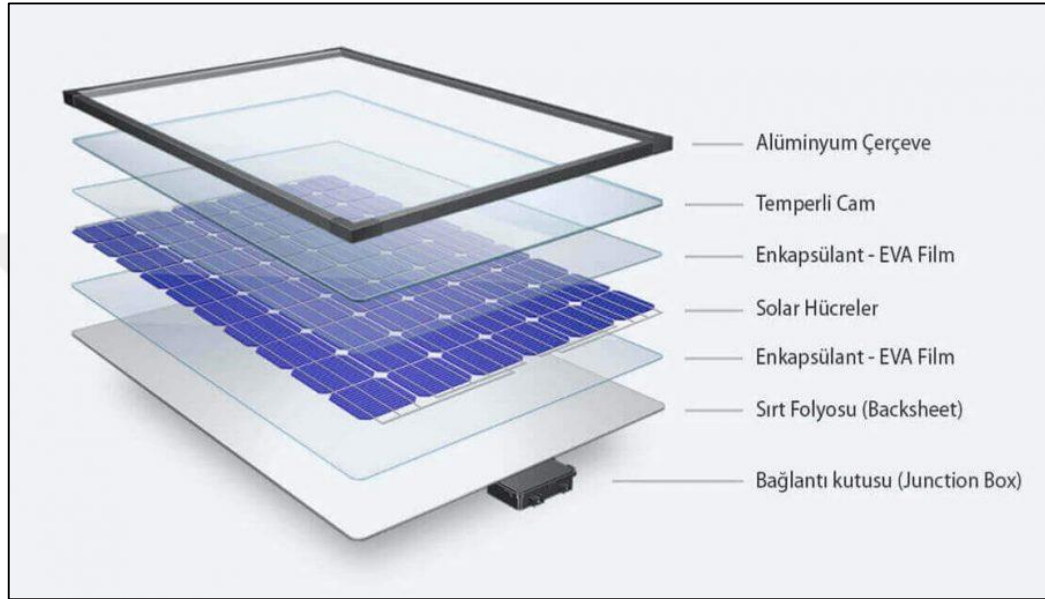
Şekil 13. PV hücrenin iç yapısı (Anonim, 2024e)

Birçok malzeme ve işlem, fotovoltaiik enerji dönüşümü için potansiyel sağlasa da pratikte çoğunlukla P-N bağlantılı yarı iletken malzemeler kullanılır. Güneş pilinin işleyişindeki temel adımlar şunlardır:

1. Işıkla taşıyıcıların oluşturulması,
2. Akım oluşturmak için taşıyıcıların toplanması,
3. Güneş hücresinde yüksek voltajın oluşturulması ve son olarak dış devrede gücün dağıtılmasıdır.

Fotovoltaik panelinin bileşenleri

PV panelin ısıl direncini ve kapasitesini belirlemek için, panelin oluşturduğu tüm katmanları sırasıyla tanımlamak önemlidir. Fotovoltaik teknoloji kullanılarak üretilen PV paneller, çeşitli katmanların birleşiminden oluşur. Bu katmanlar, panelin yüzey alanına göre küçük olup, sıcaklık tepkimesine minimal düzeyde etki ettikleri için, etkileri göz ardı edilebilecek bir metal çerçeve içine monte edilmiştir (Jones & Underwood, 2001). Fotovoltaik panelin katmanları **Şekil 14**'te verilmiştir.



Şekil 14. Fotovoltaik hücre yapısını meydana getiren materyaller (Anonim, 2024f)

Alüminyum çerçeve: güneş panelinin montajında kullanılan alüminyum çerçeve, sağlam bir yapı sunar ve panelin bütünlüğü için hayati öneme sahiptir. Ekstrüzyon yöntemiyle üretilen alüminyum parçalar hem sertlik hem de hafiflik açısından avantajlıdır. Bu çerçeveler, dış etkenlere ve özellikle şiddetli rüzgârlara karşı direnç gösterecek biçimde tasarlanmalıdır (Anonim, 2024g).

Temperli cam: PV modüllerinin ön cam tabakası, olumsuz hava koşullarına karşı koruma sağlar. 3-4 mm kalınlığında olan bu temperli cam, yüksek sıcaklıklara ve mekanik etkilere karşı dayanıklı bir yapıya sahiptir. Sertleştirilmiş cam, büyük darbelere maruz kaldığında standart camın aksine keskin parçalar yerine küçük parçalara bölünerek daha güvenli bir durum sunar. Camın yüksek ışık geçirgenliği, içerdiği düşük demir miktarı sayesinde performans ve verimliliği artırır. Ayrıca, ışık iletimini iyileştirmek ve yansıma kayıplarını azaltmak için camın arka yüzeyinde anti-reflektif bir kaplama bulunur (Anonim, 2024g).

EVA katmanı: güneş paneli hücrelerini, yani panellerin ana bileşenlerini korur ve zaman içindeki yıpranmalarını engeller. Aslında, hava almayan ve vakumlanarak mühürlenmiş bir

kapsül oluşturur. Hücreleri dış etkenlere karşı koruyarak ve hava geçirmez bir kapsül içinde saklayarak uzun ömürlülüklerini artırır. EVA malzemesi, dayanıklılığı ve nem ile yüksek sıcaklıklara karşı direnci ile bilinir. Kir ve nemnin oluşumunu önleyerek, panelin uzun süreli verimliliğine katkıda bulunur. Üretim sırasında, hücreler cam ve arka levha arasına yerleştirilmeden önce EVA ile kaplanır (Anonim, 2024g).

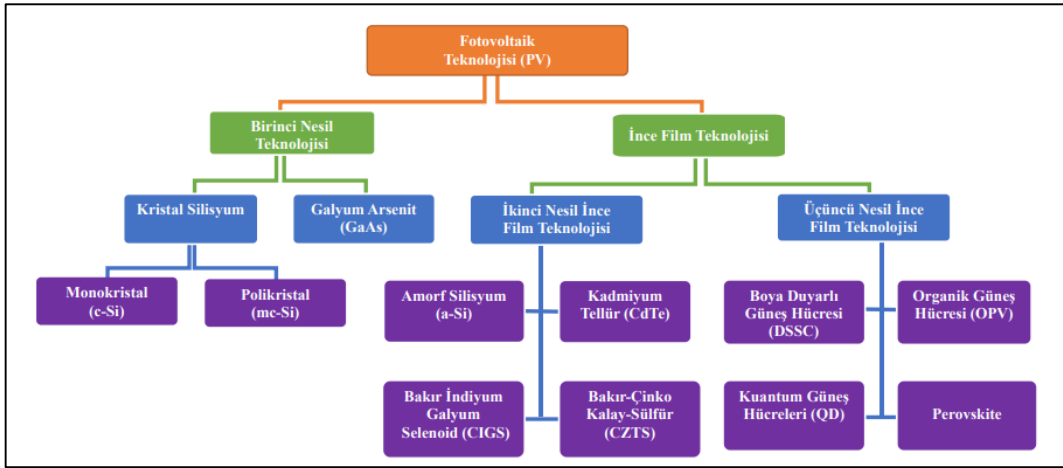
Fotovoltaik (PV) hücre: PV hücreleri, yani fotovoltaik hücreler, güneş ışığını doğrudan doğru akım (DC) elektrik enerjisine dönüştüren cihazlardır ve fotovoltaik teknolojinin temel birimleridir. Kullanılan silikonun özelliklerine ve türüne bağlı olarak güneş pillerinin verimliliği belirlenir. Güneş panelleri, kullanılan silikonun yapısına göre polikristal ve monokristal olmak üzere iki ana kategoriye ayrılır. PV hücreler genellikle 0,1 mm kalınlığında olup, bu ince yapılar negatif yüklü n-tipi veya pozitif yüklü p-tipi silikondan üretilir (Anonim, 2024g).

Sırt folyosu (Tedlar): güneş panellerinin arka tabakası, elektrik izolasyonu ve mekanik koruma sağlar, aynı zamanda nem bariyeri olarak görev yaparak panellerin en dış katmanını oluşturur. Arka tabaka malzemesi, ısıl stabilite, koruma seviyeleri ve uzun süreli UV direnci sunan PET, PVF ve PP gibi plastik ve polimerlerden yapılmıştır. Özellikle Dupont'un "Tedlar" adlı PVF (Polivinil florür) malzemesi, fotovoltaik teknolojide önde gelen ve yüksek verimlilik sunan bir arka katman malzemesi olarak tanınır (Anonim, 2024g).

Bağlantı kutusu: güneş panelinin arka tarafında bulunan ve hava koşullarına dayanıklı olan küçük bağlantı kutusu, tüm hücrelerin bir araya geldiği merkezi bir noktada konumlanır ve kir ile nemden korunması gereklidir. Ayrıca, bağlantı kutusu kirlendiğinde veya gölgelendiğinde oluşabilecek geri akışı önlemek amacıyla gerekli baypas diyotlarını da içerir (Anonim, 2024g).

Fotovoltaik panellerinin sınıflandırılması

Güneş panellerinden elektrik üretimi için ışıının şiddeti ve süresi hayati öneme sahiptir. Bu yenilenebilir enerji kaynağının hücre verimlilikleri, kullanılan teknolojiye bağlı olarak %5 ile %20 arasında değişkenlik gösterir ve bu da onları farklı kategorilere ayırır. Güneş pili teknolojisi, kullanılan malzemeler ve üretim yöntemleri açısından oldukça çeşitlidir. Şu anda güneş pilleri yapımında bir düzineden fazla madde kullanılırken, yüzlerce farklı madde üzerinde de araştırmalar devam etmektedir. **Şekil 15**'te fotovoltaik panellerin bir sınıflandırılması verilmiştir.



Şekil 15. Nesillerine göre fotovoltaik teknolojilerin sınıflandırılması (Aydın, 2022)

Birincil nesil fotovoltaik teknoloji

Galyum arsenit (GaAs) ve silisyum (Si), güneş hücreleri üretiminde en çok kullanılan malzemeler arasındadır. Bu malzemelerle üretilen güneş hücreleri, piyasanın %86'sını oluşturan en eski hücre türleridir. Yapım kolaylığı ve maliyet avantajlarına rağmen, bu hücrelerin verimlilik oranları %20 seviyelerini genellikle aşmaz. Ancak, bu durum onların popülerliğini ve yaygın kullanımını etkilememiştir (Aydın, 2022).

Kristal silisyum fotovoltaik hücreler

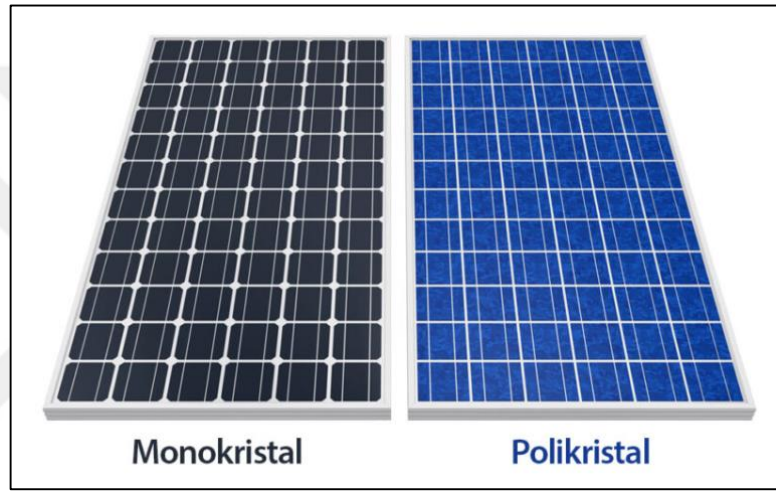
Silisyum, yarı iletken özelliklerini tipik bir şekilde sergileyen ve güneş pili üretiminde en yaygın kullanılan malzemedir. Uzun vadede de bu lider konumunu koruması beklenmektedir. Fotovoltaik özellikleri daha üstün olan diğer malzemeler de bulunsada silisyum hem teknolojik üstünlüğü hem de maliyet etkinliği nedeniyle tercih edilen bir seçenektir (Kebabcıoğlu, 2009).

Monokristal güneş pilleri

Silikon, dünyada oksijenden sonra en bol bulunan ikinci elementtir ve doğada genellikle silikatlar ve silisyum dioksit (SiO_2) formunda bulunur. Kuvars ve kum, en yaygın formlardandır. Yüksek kaliteli kuvarsit yatakları neredeyse %99 saf silikat içerse de kum genellikle silikon haline getirilecek kadar saf değildir. Endüstriyel kullanım için, doğal SiO_2 ve diğer silikatlar, %98-%99 oranında çok kristalli silikona dönüştürülmelidir. Ancak, fotovoltaik (PV) uygulamalar için çok kristalli silikon uygun değildir. Bu nedenle, çok kristalli silikon, Czochralski saflaştırma yöntemi ile tek kristalli hale getirilir (Cook, 1991). Czochralski yöntemiyle saflaştırma, yüksek maliyetlere neden olmasına rağmen, ticari alanda %15-20 ve laboratuvar ortamında %24'e varan yüksek verimlilik oranları, monokristal PV hücrelerin tercih edilmesini sağlamaktadır (Yılmaz, 2013).

Polikristal güneş pilleri

Polikristal malzemelerin kristal yapılarının yönlenmesi dışında optik, yapısal ve elektriksel özellikleri benzerdir. Kristal kalitesi, damarların büyüklüğü ile doğru orantılı olarak artar. Elektriksel yük taşınmasında, akım yolları arasındaki kesintiler ciddi sorunlara yol açar. Monokristal malzemelerle karşılaştırıldığında, damar büyüklüğünün azalmasıyla orantılı olarak elektriksel özelliklerin düşmesi, verimliliğin azalmasına neden olur. Ayrıca, polikristal malzemelerin üretimi daha kolay ve maliyet açısından daha ekonomiktir. Çok kristalli silisyum güneş hücreleri, dökme silisyum blokların dilimlenmesiyle üretilir ve bu hücrelerin üretimi ekonomik olmasına karşın, verimlilikleri daha düşüktür; laboratuvar ortamında %18'e kadar, ticari kullanımda ise yaklaşık %14 seviyesindedir.



Şekil 16. Monokristal ve polikristal PV panelleri (Anonim, 2024h)

İnce film güneş pilleri

İnce film fotovoltaik malzemeler genellikle çok kristalli yapıdadır. Yani, ince film yarı iletkenler, bir milimetrenin binde biri ile milyonda biri arasında değişen boyutlarda damarlardan meydana gelir. Her bir damar, fotovoltaik uygulamalar için ideal olan elektriksel, optiksel ve yapısal özelliklere sahip olmasına rağmen, damarlar arasındaki mikro düzeydeki yapısal kusurlar, çok kristalli malzemelerde karşılaşılan başlıca sorunlardır. Yine de ince film yarı iletkenlerin farklı malzemeler üzerine geniş yüzeylere kolay ve uygun şekilde kaplanabilmesi, fotovoltaik modül üretiminde büyük bir avantaj sunar. İnce film güneş pilleri içinde öne çıkan üç ana aday vardır: amorf silisyum, kadmiyum tellür gibi birleşik yarı iletkenler ve bakır indiyum diselenid gibi bileşik yarı iletkenlerdir (Bozkurt S. , 2017).

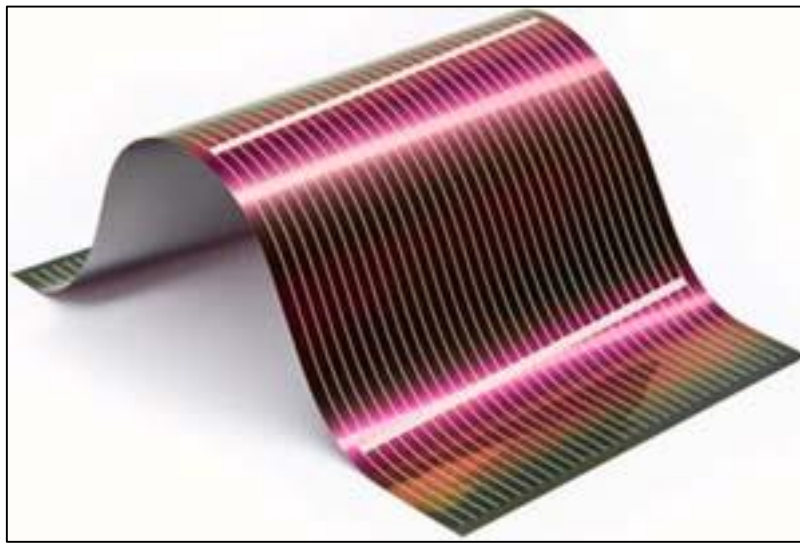
Amorf silisyum (a-Si)

Günümüzde artan enerji ihtiyacını karşılamada ince film silikon güneş pilleri kritik bir rol oynamaktadır. Hidrojenle zenginleştirilmiş amorf silikon (a-Si:H) güneş pilleri, n ve p tipi

yarı iletkenler arasına yerleştirilen foton emici bir ara katman olarak kullanılır. a-Si:H güneş pillerinin verimlilikleri, yüksek hata yoğunluğu ve düşük delik hareketliliği nedeniyle, temel dönüşüm verimliliği eşiğinin altındadır. Yüksek verimli a-Si:H güneş pilleri, %11 üzerinde bir verimlilik ve %75 üzerinde bir dolum faktörü sağlar, ancak ilk birkaç ay içinde verimlilik karakteristik olarak %10-20 arasında azalır. Işığa maruz kaldıkça yaşanan bu dejenerasyon, bu tip güneş pilleri için tipiktir. Düşük verimliliğin kabul edilebilir olduğu uygulamalar, örneğin hesap makineleri için, silisyum ince film güneş pilleri uygun bir seçenektir. Bu güneş pilleri, esnek substratlar üzerine uygulanabilir ve iyon demeti güçlendirilmiş buharlaşma, plazma spreyi, elektron siklotron rezonansı, plazma destekli kimyasal buhar biriktirme, yüksek basınç kimyasal buhar çökeltme, reaktif kimyasal buhar biriktirme ve püskürtme gibi çeşitli yöntemlerle üretilebilir (Stuckelberger, Biron, Wyrsh, Haug, & Ballif, 2017).

Kadmiyum tellür (CdTe)

Kadmiyum tellür (CdTe), güneş pili teknolojisinde ideal bir bant aralığı ve yüksek soğurma katsayısına sahip olmasıyla dikkat çeker. Bu özellikleri, fotovoltaik teknolojide gelecek vaat eden bir malzeme yapar ve bu malzemeden yapılan güneş hücrelerinin verimliliği %9'un üzerindedir. Ayrıca, %15'in üzerinde bir verimlilik sunarlar. CdTe, periyodik tablonun II ve VI grup elementlerinin birleşiminden oluşan bir yarı iletken malzemedir ve 1,45 eV'lik yasak enerji bandı aralığına sahiptir, bu da onu güneş pillerinden elektrik enerjisi üretmek için uygun kılar. Diğer ince film güneş pili teknolojilerine kıyasla, CdTe'den yapılmış güneş pilleri daha geniş bir uygulama alanına sahip olup, güneş enerjisini daha etkin bir şekilde depolama potansiyeline sahiptir (Öztürk H. , 2021).

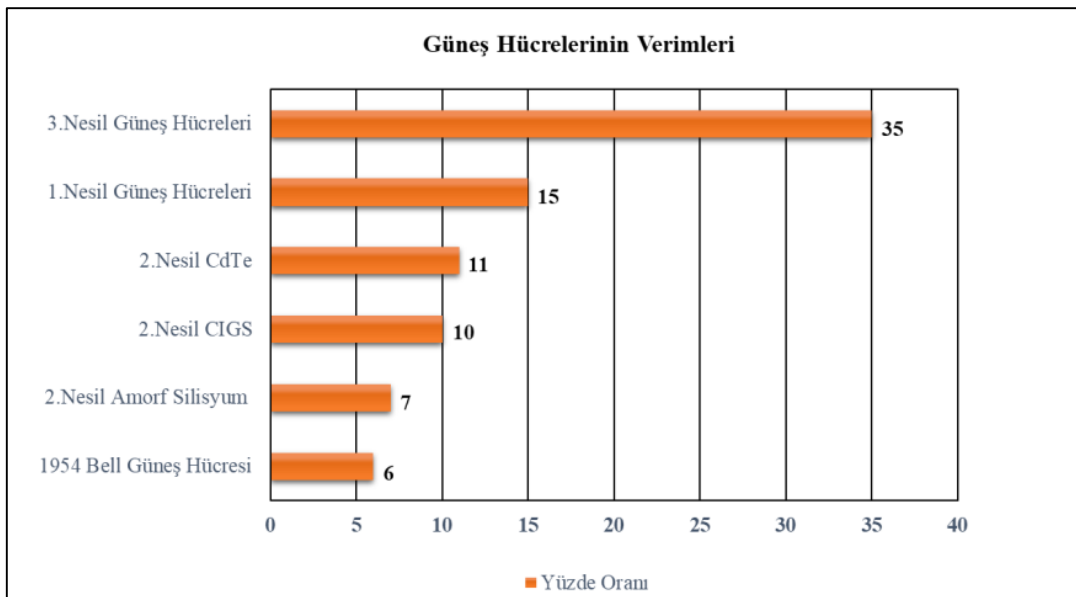


Şekil 17. Amorf silisyum (a-Si) ince film güneş paneli (Anonim, 2024ı)

Enerji korunumu yasası, fizikteki temel kurallardan biridir ve enerjinin ne yaratılabileceğini ne de yok edilebileceğini; ancak bir formdan diğerine dönüştürülebileceğini ifade eder. Bu prensip, bir güneş hücresinin, aldığı ışık enerjisinden daha fazla elektrik enerjisi üretemeyeceği gerçeğine işaret eder. Gerçekte, güneş hücreleri genellikle aldıkları enerjinin sadece yaklaşık %10-20'sini elektriğe çevirebilir. Tek bağlantılı silikon güneş hücrelerinin teorik maksimum verimliliği, Shockley-Queisser limiti ile sınırlı olup bu yaklaşık %30'dur. Güneş ışığının farklı dalga boylarında ve enerjilerde geniş bir foton yelpazesi içermesi nedeniyle, tek bağlantılı hücreler sadece belirli bir frekans bandındaki fotonları etkin bir şekilde yakalayabilir; diğer fotonlar ise kullanılmadan israf olur. Bazı fotonlar elektronları harekete geçirecek kadar enerjiye sahip değilken, bazıları için enerji fazlası israfa yol açar. En gelişmiş çoklu bağlantılı laboratuvar hücreleri bile, farklı enerjilerdeki fotonları yakalamak için tasarlanmış olsa da ideal koşullar altında %50'ye yakın bir verimlilik elde edebilir.

Evsel güneş panelleri, gerçek dünya koşullarında, çeşitli faktörler nedeniyle yaklaşık %15 civarında bir verimlilik gösterebilir ve bu oranın önemli ölçüde artması beklenmemektedir. İlk nesil tek bağlantılı güneş hücreleri, teorik olarak %30'luk Shockley-Queisser sınırına ulaşamamakta, %47.1'lik laboratuvar rekoru ise pratikte elde edilememektedir. Güneş panellerinin verimliliği; yapısına, konumlandırılma şekline, açısına, gölgelenme durumuna, temizliğine, sıcaklığına (yüksek sıcaklıklar genellikle verimliliği düşürür) ve altından hava akışına izin verilip verilmediğine (serin tutmak için) bağlı olarak değişkenlik gösterir. Bu tür gerçek dünya faktörleri, panellerin nominal verimliliğini olumsuz etkileyebilir (Woodford, 2024).

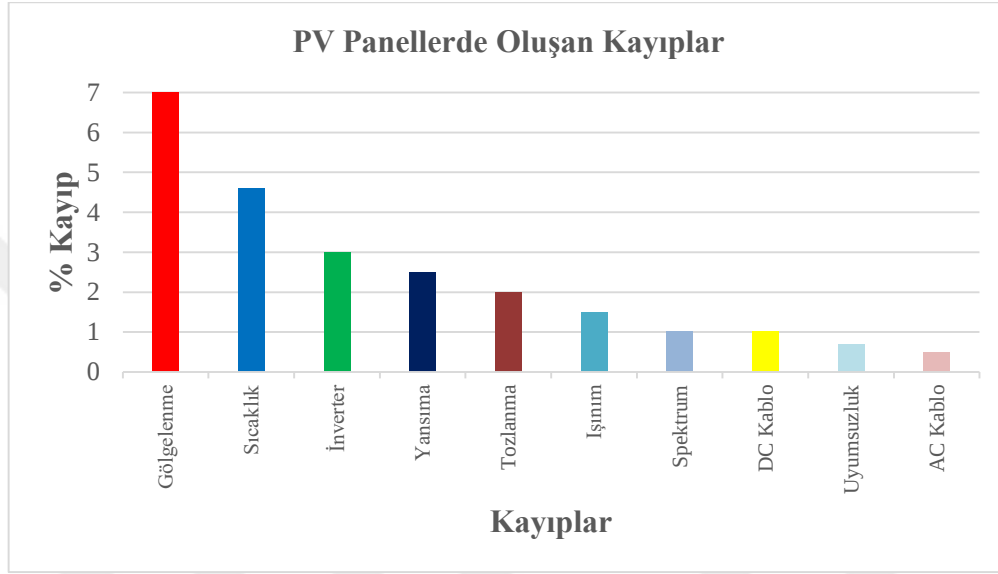
Şekil 18'de farklı nesillere ait PV hücrelerinin verimliliği gösterilmiştir.



Şekil 18. Farklı nesillerdeki güneş panellerinin verimleri (Aydın, 2022)

Fotovoltaik sistemi etkileyen parametreler

Fotovoltaik panellerde güneş enerjisini elektriğe dönüştürürken birçok kayıp yaşanmaktadır. Bu kayıplar arasında en belirgin olanı, gölgelenme sonucu oluşan kayıptır; bu da PV panelin çıkış gücünün düşmesine neden olur. Işınımın engellenmesi durumunda, fotovoltaik hücrede elektrik üretimi gerçekleşmez. Gölgeleme kaybindan sonra, verimliliği en çok etkileyen ikinci faktör sıcaklıktır. **Şekil 19**'da fotovoltaik panellerden meydana gelen kayıplar gösterilmektedir.



Şekil 19. Fotovoltaik panellerde meydana gelen kayıplar (Çakır & Alçı, 2017)

Işınım kayıpları

Güneş, dünyamız için hayati öneme sahip bir ışık ve ısı kaynağıdır. Aynı zamanda, uzaydan gelen radyasyonun başlıca kaynağı olan güneş ışığı, görünür ışığın yanı sıra morötesi ışınlar da içerir. Bu morötesi ışınlar, iyonlaştırıcı radyasyon olarak bilinir ve atmosferimiz tarafından filtrelendir, bu da güneş enerjisinden tam olarak faydalanmamızı engeller. Atmosferin neden olduğu bu enerji kaybına ışınım kaybı denir. Güneş enerjisinden daha etkin yararlanabilmek için, güneş panellerini atmosferin dışına yerleştirmek bir çözüm olabilir. Alternatif olarak, bu ışınları atmosferde tutabilecek ve yansıtmadan önce yakalayabilecek teknolojilerin geliştirilmesi gerekmektedir.

PV panelin düzlem açısı

Fotovoltaik (PV) paneller için düzlem açısı, yani eğim açısı, güneş enerjisinden en iyi şekilde yararlanmak için hayati öneme sahiptir. Bu açı, panelin yatay düzleme göre ne kadar eğik olduğunu belirtir ve güneş ışınlarını maksimize ederek panelin birim alandan aldığı gücü artırır. İdeal eğim açısı, yıl içinde güneş ışığından en iyi şekilde yararlanabilmek için kurulum

yapılan yerin enlemine göre ayarlanmalıdır. Ekvatora yakın yerlerde daha az eğim, yüksek enlemlerde ise kış aylarında düşük güneş açılarını yakalayabilmek için daha fazla eğim önerilir.

Optimum eğim açısı, mevsimlere ve coğrafi konuma göre değişiklik gösterir. Sabit kurulumlarda, eğim açısını bölgenin enlemi ile aynı yapmak yaygın bir yöntemdir; ancak, mevsimsel değişikliklere bağlı olarak $\pm 15^\circ$ 'lik ayarlamalar performansı iyileştirebilir. Araştırmalar, doğru eğim açısının, yatay montajlı panellere kıyasla fotovoltaik sistemlerin verimliliğini %20'ye kadar artırabileceğini ortaya koymaktadır. Eğim ve azimut açılarını sürekli ayarlayabilen izleme sistemleri, verimliliği daha da artırabilir, ancak bu sistemler ek maliyet ve mekanik karmaşıklık gerektirir (Gunerhan & Hepbasli, 2007).

Spektrum kayıpları

Fotovoltaik paneller, güneş ışığını elektriğe dönüştürürken bazı spektrum kayıpları yaşar. Bu kayıplar, güneş ışığının spektrumu ile panellerin farklı dalga boylarındaki ışığı emme ve dönüştürme kapasitesi arasındaki uyumsuzluktan kaynaklanır. Güneş panelleri genellikle, etkin bir şekilde elektrik üretebilmek için belirli bir ışık frekans aralığını hedefleyen silikon veya diğer yarı iletken malzemeler kullanılarak üretilir. Fakat güneş ışığının tamamı bu ideal aralığa dahil değildir. Örneğin, düşük enerjili kızılötesi ışınlar yeterli enerjiye sahip olmadığından elektrik üretimine katkı sağlamaz ve ısı olarak yayılırlar. Diğer yandan, yüksek enerjili ultraviyole ışınlar, elektronları harekete geçirdikten sonra kalan fazla enerjiyi termal kayıp olarak yayar ve bu da tam olarak elektrik üretiminde kullanılamaz. Standart tek birleşimli silikon hücreler, güneş ışığının sadece bir kısmını yakalayabildiği için bu tür kayıplardan özellikle etkilenir. Çok katmanlı hücreler gibi daha gelişmiş fotovoltaik teknolojiler, farklı dalga boylarına özgü birden fazla katman ekleyerek bu spektrum kayıplarını azaltmayı hedefler. Ancak, bu teknolojiler genellikle daha maliyetlidir ve bu yüzden çoğunlukla uzay uygulamaları gibi özel alanlarda kullanılır (Green, ve diğerleri, 2023).

Gölgelenme kayıpları

Fotovoltaik sistemlerde gölgelenme, güneş panellerinin verimliliğini düşüren ve güç kayıplarına yol açan önemli bir faktördür. Güneş panelleri üzerine düşen gölgeler, binalar, ağaçlar veya diğer paneller gibi çeşitli nesneler tarafından oluşturulabilir. Bu gölgeler, panellerin güneş ışığından tam olarak yararlanmasını engeller ve enerji çıktısını azaltır. Gölgelenme kayıpları, gölgenin şiddetine ve panellerin konumuna bağlı olarak değişir. Hatta küçük bir gölge bile, panellerdeki güneş hücrelerinin seri bağlantısı nedeniyle, tüm sistemin performansını olumsuz etkileyebilir. Bu nedenle, fotovoltaik sistemlerin tasarımında ve yerleşiminde gölgelenme etkilerinin dikkate alınması hayati önem taşır (Kayri, 2024).

Tozlanmadan kaynaklı kayıplar

Toz birikimi, fotovoltaik (PV) panellerin verimliliği ve güç çıkışı üzerinde kritik bir etkiye sahiptir. Türkiye de dahil olmak üzere yapılan araştırmalar, tozun güneş ışığının güneş pillerine ulaşan miktarını azalttığını ve bu durumun enerji üretiminde düşüşe neden olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle küçük toz parçacıkları, büyük parçacıklara kıyasla performans kaybında daha belirgin bir rol oynayabilir. Araştırmalar, tozun türüne göre (örneğin çimento, silika dumanı veya mermer tozu) PV panellerin güç çıkışında önemli düşüşler yaşanabileceğini, küçük parçacıkların daha fazla ışığı engelleyerek panelin maksimum güç noktasını (MPP) ve verimliliğini etkileyebileceğini göstermektedir. Laboratuvar testleri, toz birikiminin ışıyım seviyelerine bağlı olarak %10 ila %20 arasında verim kaybına yol açtığını belirtmektedir. Bu sonuçlar, özellikle tozun yoğun olduğu kurak veya endüstriyel alanlarda PV sistemlerinin kurulumunda yerel toz koşullarının göz önünde bulundurulmasının önemini vurgulamaktadır (Benli, Gürtürk, & Koçdemir, 2020).

Yansıma nedeni ile oluşan kayıplar

Fotovoltaik (PV) panellerin genel verimliliği üzerinde yansıma kayıpları önemli bir etkiye sahiptir. Güneş ışığının panel yüzeyine çarpması ve güneş pilleri tarafından emilmesi yerine yansıtılması sonucu bu kayıplar oluşur. Yansıma miktarı, yüzey malzemesinin türüne ve güneş ışığının açısına bağlı olarak değişkenlik gösterir. Kaplanmamış panellerde, koruyucu camdan yansıyan ışığın oranı %4 ile %30 arasında değişebilir (Ekinci, Sancaklı, Law, & Walls, 2022).

PV panellerdeki yansıma kayıplarını azaltmak amacıyla, genellikle yansıma önleyici kaplamalar eklenir. SiO_2 , TiO_2 ve ZrO_2 gibi malzemeler, yansımayı azaltıp ışık geçirgenliğini artıran çok katmanlı kaplamalar yapmak için tercih edilir. Bu kaplamalar, güneş ışığının güneş pillerine ulaşan miktarını artırarak, panelin elektrik üretimini iyileştirir. Yapılan araştırmalar, özellikle kırılma indisi ve dayanıklılık açısından optimize edilmiş çok katmanlı kaplamaların kullanılmasıyla, PV panellerin verimliliğinin belirgin şekilde artırılabilirliğini ortaya koymaktadır (Ekren, 2020).

Sıcaklık nedeniyle oluşan kayıplar

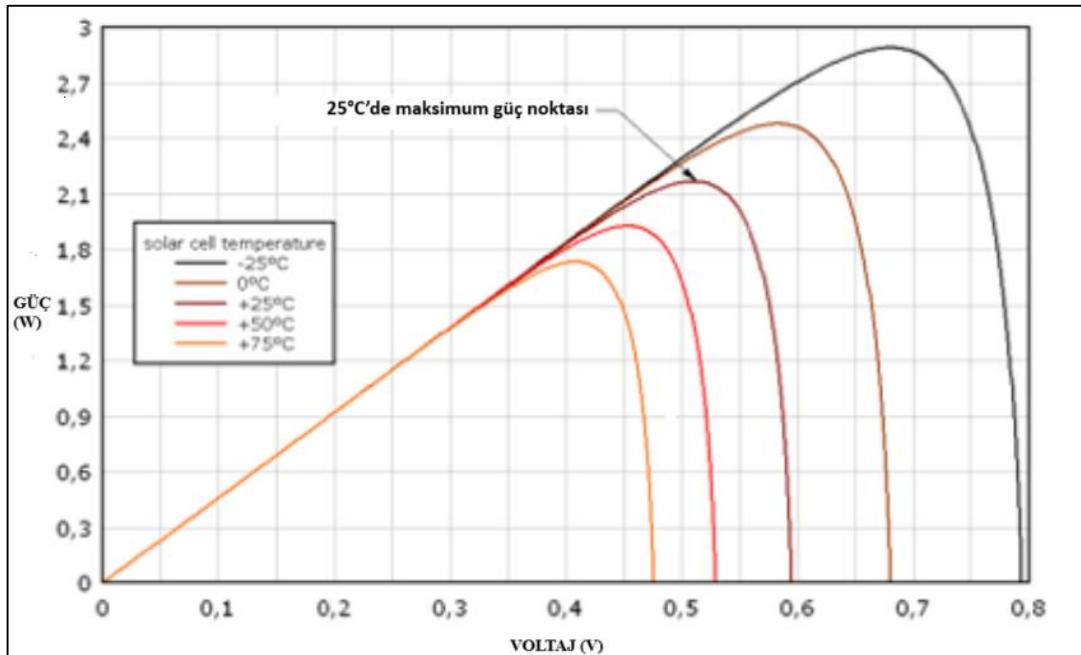
Fotovoltaik sistemlerin verimliliği ve performansı üzerinde sıcaklık kayıplarının önemli bir etkisi vardır. Bu kayıplar, genellikle yarı iletken malzemelerden oluşan fotovoltaik modüllerin termal davranışlarından kaynaklanmaktadır. Güneş ışığı altında, güneş ışıyımının emilimi modüllerin sıcaklığını yükseltir ve bu da PV hücrelerinin voltaj çıkışında düşüşe neden olarak genel güç üretimini azaltır. Bu durum, sıcaklık artışı başına panelin güç çıkışında

yaklaşık %0,3 ile %0,5 arasında bir azalma ile sonuçlanan gücün sıcaklık katsayısı ile açıklanabilir.

Yüksek ortam sıcaklıkları ve yoğun güneş ışınlamı olan bölgelerde sıcaklığa bağlı verimlilik kaybı daha fazla hissedilir. Fotovoltaik modüller, bu koşullarda fazla ısı emebilir ve yeterli soğutma olmadan, geleneksel modül tasarımları termal birikimi artırabilir. Bu nedenle, aktif ve pasif soğutma sistemleri gibi termal yönetim çözümleri araştırılmıştır. Bu sistemler, modüllerin sıcaklığını düşürerek performanslarını artırmayı hedefler.

Gelişmiş fotovoltaik tasarımlar, örneğin fotovoltaik termal (PV/T) sistemler, termal yönetimi sürece entegre ederek hem elektrik hem de faydalı termal enerji üretimi sağlar. Bu sistemler, ısıyı daha etkin bir şekilde yöneterek genel verimliliği artırabilir. Güneş radyasyonu ve ortam sıcaklıklarının yüksek olduğu bölgelerde, sıcaklığa bağlı kayıpları azaltmak, fotovoltaik sistemlerin performansını optimize etmek için hayati öneme sahiptir (Çoşkun, 2024).

PV modüllerin güç çıkışı ile modül sıcaklığı arasında bir ters orantı bulunmaktadır; bu da modül sıcaklığının artması durumunda PV modülünden elde edilen gücün azalacağı anlamına gelir. Sıcaklık kaynaklı kayıplar, hücre sıcaklığı ile doğrudan orantılıdır ve ortam sıcaklığının artması hücre sıcaklığını da artırarak üretilen enerji miktarının düşmesine sebep olur. Solar hücrelerin, 800 W/m^2 güneş ışınlamı, 1 m/s rüzgâr hızı ve 20°C ortam sıcaklığı altındaki çalışma sıcaklığına Hücre Nominal Çalışma Sıcaklığı (NOCT) denir. Bu değer, PV modüllerin teknik kataloglarında yer alır (Deniz E. , 2013).



Şekil 20. Bir solar hücre için sabit ışınlam ve farklı sıcaklıklardaki güç çıkışları (Deniz E. , 2013)

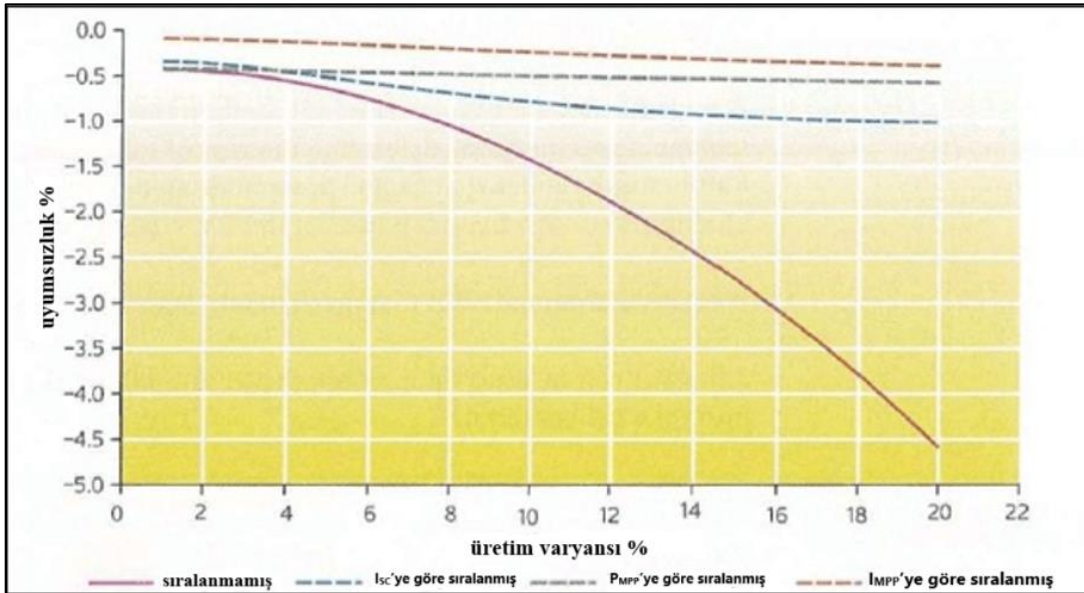
Kablo kayıpları

PV sistemlerinde kullanılan DC ve AC kablolarındaki omik kayıplar, kablo kayıplarına yol açar. Bu kayıplar, PV sistem tasarımının kritik bir aşaması olan kabloların boyutlandırılmasını gerektirir. Seri ve paralel bağlı PV modüller, DC kablolar vasıtasıyla invertere bağlanmalıdır. İletkenin akım taşıma kapasitesi ve üzerinde oluşacak gerilim düşümü, kablo boyutunun belirlenmesinde temel faktörlerdir. DC ve AC taraflarındaki kablo kesitleri, gerilim düşümleri ve kablo maliyetlerinin dengelenmesi yoluyla hesaplanır. Her iki tarafta da %1 ile %3 arasındaki gerilim düşümleri, genellikle kabul edilebilir sınırlar içindedir (Deniz E. , 2013).

Uyumsuzluk kayıpları

PV modüller, invertere gerekli DC gerilim ve akımı sağlamak amacıyla seri ve paralel bağlantılarla düzenlenir. Ancak, bu yapıda toplam DC güç, bireysel panellerin güç toplamından genellikle daha azdır. Bunun başlıca nedenleri arasında statik uyumsuzluk, çevresel etkiler ve gölgelenme bulunur. Statik uyumsuzluk, üretim toleransları ve modüllerin yaşlanmasıyla ilgilidir; çevresel etkiler ise hava koşullarının modüllere zarar vermesiyle alakalıdır. PV dizilerindeki modüllerin farklı çalışma sıcaklıklarına veya ısıtım değerlerine maruz kalması, uyumsuzluğa yol açabilir. Aynı dizi içindeki modüller arasındaki DC kablo uzunlukları ve kesit farklılıkları da kayıplara sebep olabilir. Dinamik uyumsuzluk ise, modüllerin Maksimum Güç Noktalarından sapmalarından kaynaklanır. Seri bağlantılarda gerilim, paralel bağlantılarda ise akım eşitlendiğinden, PV modüller Maksimum Güç Noktalarında çalışmayabilir.

Modüller arasındaki seri ve paralel bağlantılar, inverterler tarafından etkin bir şekilde yönetilmelidir. Seri bağlantılı modüllerin güç toleranslarındaki farklılıklar, uyumsuzluk kayıplarının derecesini etkiler. TÜV Rheinland PV Certification Laboratory'den Werner Herrmann'ın araştırmasına göre, modüller ön sıralama işlemine tabi tutulmadan bağlandığında $\pm 5\%$ güç toleransına sahip modüllerde uyumsuzluk kayıpları yaklaşık %1 olurken, akım değerlerine göre sıralandığında bu kayıplar %0,2'ye düşebilir. Bu, modüllerin verimliliğini artırmak için ön sıralamanın önemini vurgular (Hermann, 2005).



Şekil 21. 150 Watt'lık modül bulunan 8 diziden oluşan bir PV dizisinde uyumsuzluk kayıpları (Hermann, 2005)

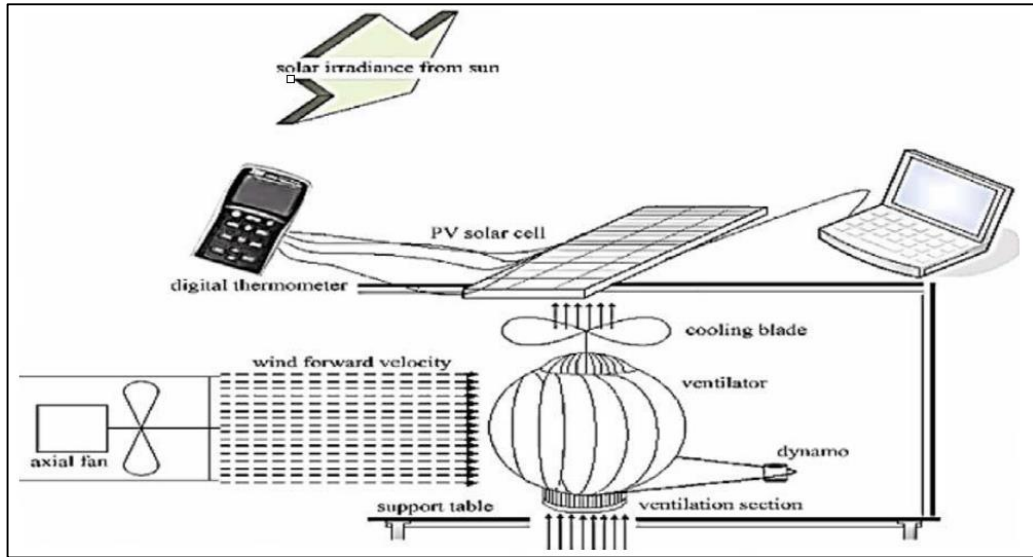
PV sistemlerde soğutma çeşitleri

Fotovoltaik (PV) sistemlerinde, sıcaklık yükseldikçe panellerin verimliliği azalır. Bu durum, panellerin soğutulmasını, sistem performansını artırmak adına kritik bir yöntem haline getirir. PV panelleri soğutmak için kullanılan yöntemler, aktif ve pasif olmak üzere iki temel kategori altında incelenebilir. Aktif soğutma genellikle dışarıdan bir enerji kaynağı gerektirirken, pasif soğutma doğal ısı dağılımı yollarını kullanır. Her iki soğutma tekniği de panellerin sıcaklığını düşürerek verimliliği maksimize etmeye yardımcı olur.

PV sistemlerde pasif soğutma yöntemleri

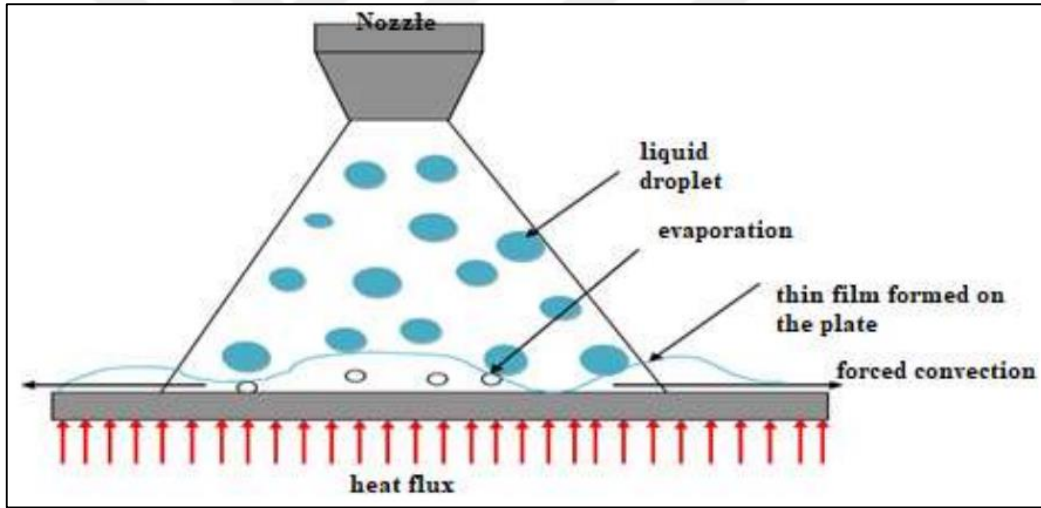
Enerji tüketmeksizin doğal yollarla ısıyı azaltmayı hedefleyen tekniklerdir. Bu yöntemlerden en bilinenleri şunlardır:

Hava Soğutma: Panellerin arkasında serbest hava akışı sağlayarak yüzey sıcaklığını düşürmeyi amaçlar ve eğimli kurulumlarda oldukça etkilidir.



Şekil 22. Rüzgarla çalışan fanlı soğutma (Özbaş & Alkış, 2018)

Su Sprey Soğutma: Panel yüzeyine düzenli aralıklarla su püskürtülerek sıcaklığı azaltır ve bu yöntemle verimliliğin %12'ye kadar arttığı gözlemlenmiştir (Yağcı, 2021).



Şekil 23. Sprey soğutma (Ege & Yakut, 2024)

Suya Daldırma: Bu yöntemle paneller su tankı içerisinde tutularak soğutulur; yapılan çalışmalar, bu yöntemin panel sıcaklığını etkili bir şekilde düşürdüğünü ve elektrik üretimini artırdığını ortaya koymuştur (Yağcı, 2021).



Şekil 24. Suyla daldırma ile soğutma (Özbaş & Alkış, 2018)

PV sistemlerde aktif soğutma yöntemleri

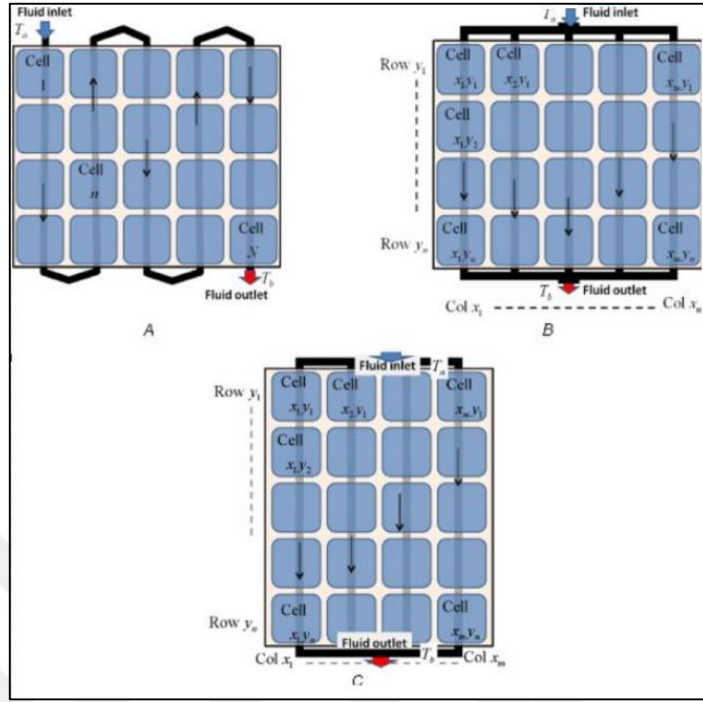
Panel sıcaklığını düşürmek için enerji harcayan cihazlar kullanır.

Hava Üfleyici Sistemler: Panellerin üzerine veya altına monte edilen fanlar aracılığıyla soğutma işlemi gerçekleştirir. Bu sistemler, hava akışını hızlandırarak panel yüzeyinin sıcaklığını azaltır.



Şekil 25 Zorlanmış hava taşınımı ile aktif soğutma (Mazón-Hernández, García-Cascales, Vera-García, Káiser, & Zamora, 2013)

Su Sirkülasyonlu Soğutma Sistemleri: Panellerin arka yüzeyine yerleştirilen borularla suyun dolaştırılması esasına dayanır.



Şekil 26. Sıvı Sirkülasyonlu Soğutma (Özbaş & Alkış, 2018)

PV panellerde hibrit soğutma yöntemleri

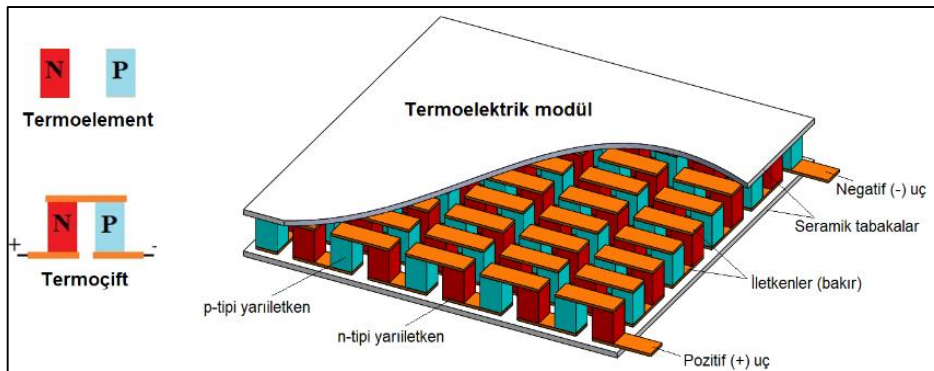
Soğutma ve enerji üretimini entegre eden yenilikçi çözümler sunar. PV-T (Fotovoltaik-Termik) sistemler gibi teknolojiler, fotovoltaik panellerin arkasından geçirilen su veya hava aracılığıyla hem soğutma işlemi gerçekleştirir hem de toplanan termal enerjiyi başka ihtiyaçlar için, örneğin sıcak su sağlamak amacıyla kullanabilir (Bozkuş, 2022). Sıcak iklimlerdeki PV sistemlerinin verimliliğini artırmada bu soğutma yöntemleri kritik rol oynar. Araştırmalar, etkin bir soğutma sistemi ile PV panellerin performansının %10'dan %30'a kadar artabileceğini ortaya koymaktadır. Dolayısıyla, PV sistemlerinin etkinliğini maksimize etmek için soğutma tekniklerinin önemi büyüktür. Doğru soğutma teknolojisinin seçimi hem sistem tasarımına hem de kullanım alanına özel olmalıdır; bu, performansı uzun vadede artırırken maliyetleri de düşürebilir (Kerem, Atik, & Bayram, 2020).

Termoelektrik Teknolojisi ve Termoelektrik Etki

Termoelektrik etki, ısı ve elektrik arasındaki ilişkiyi inceleyen bir olgudur. İlk olarak 1800'lerde Alman fizikçi Johann Seebeck tarafından gözlemlendi. Seebeck, farklı metallerden yapılmış iki plakayı birbirine temas ettirerek ve bu devreyi bir ucunda ısıtarak bir devre oluşturdu. Seebeck etkisi, sıcaklık farklılıklarının elektriğe doğrudan dönüşümünü tanımlar ve adını Baltık Alman fizikçi Thomas Johann Seebeck'ten alır. Seebeck, bu birleştirilmiş metaller arasındaki sıcaklık farkının kapalı bir pusula iğnesinin sapmasına neden olduğunu keşfetti. Bu durumda, bir elektrik akımı döngüsü ve bir manyetik alan oluşmaktaydı. Seebeck, bu olayın bir elektrik akımından kaynaklandığını fark edemedi ve buna termoelektrik etkiye fenomen adını verdi. Daha sonra Danimarkalı fizikçi Hans Christian Ørsted bu hatayı düzeltti ve "termoelektrik" terimini kullandı (Wikipedia, 2024).

Termoelektrik elemanlar, ısı enerjisini doğrudan elektrik enerjisine çeviren yarı iletken aygıtlardır. Bu aygıtlar, çoğunlukla p ve n tipi yarı iletkenlerden meydana gelir ve termoelektrik etkileri kullanır. Sıcaklık farklarını kullanarak enerji üretme yeteneğine sahip olan Termoelektrik jeneratörler (TEJ), özellikle atık ısıyı geri kazanım uygulamalarında değerlendirilir. Mesela, bir otomobilin egzoz gazlarından veya bir sanayi tesisindeki atık ısıdan elektrik üretimi yapılabilir (Tol, Sarman, Tıkız, & Çelik, 2022).

Termoelektrik modüller, çok sayıda termoçiftin seri ve paralel olarak birleştirilmesiyle meydana gelir. Her termoçift, bir yüzeyi ısıtılıp diğer yüzeyi soğutulduğunda elektrik akımı oluşturur. Bu olay, ısıнын elektronlar ya da delikler aracılığıyla transfer edilmesinden kaynaklanır. n-tipi yarı iletkenler, serbest elektronlar vasıtasıyla ısı transferi yaparken, p-tipi yarı iletkenler ise pozitif yüklü delikler aracılığıyla bu işlevi gerçekleştirir (PAU Termoelektrik Labaratuvarı , 2024).



Şekil 29. Termoelektrik modül kesit görünüşü (Anonim, 2024i)

Termoelektrik etkiler, sıcaklık farklarını kullanarak doğrudan elektrik enerjisi üretimi sağlar veya elektrik akımı yardımıyla ısıtma ve soğutma işlemleri gerçekleştirir. Bu fiziksel

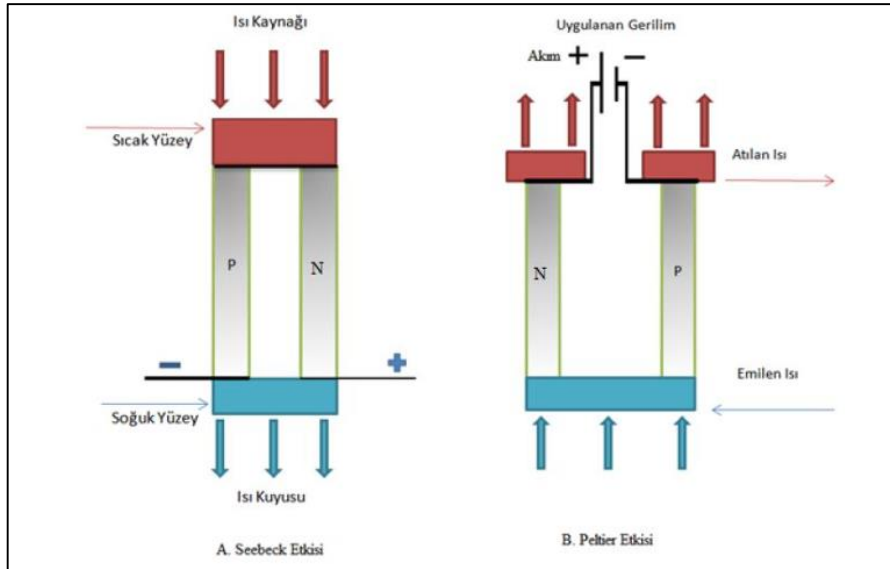
süreçler, termal enerji ile elektrik enerjisi arasında doğrudan bir dönüşüm olanağı tanıyarak enerji verimliliği konusunda kritik öneme sahip çözümler ortaya koyar.

Seebeck etkisi

Termoelektrik etkiler arasında en tanınmış olanı, Thomas Johann Seebeck'in 1821'de keşfettiği Seebeck etkisidir. Bu etki, iki farklı metalin bir araya getirilerek bir devre oluşturulması ve uçlar arasında sıcaklık farkı sağlanması durumunda, devrede elektrik potansiyel farkının meydana gelmesi prensibine dayanır. Oluşan bu potansiyel fark, sıcaklık farkı ile orantılı olup, kullanılan malzemelerin özgül Seebeck katsayısına bağlıdır. Termoelektrik jeneratörlerde elektrik enerjisi üretiminde kullanılan bu etki, atık ısının geri kazanımı açısından da büyük önem taşır (Anonim, 2024j).

Peltier etkisi

1834 yılında Jean Charles Athanase Peltier tarafından keşfedilen Peltier etkisi, iki farklı yarı iletken malzeme arasından geçen doğru akımın, birleşme noktalarında ısı alışverişine neden olması prensibine dayanır. Bir noktada ısının emilmesini sağlarken, diğer noktada ısıyı açığa çıkarır. Bu fenomen, özellikle termoelektrik soğutucular (TEC) gibi cihazlarda soğutma işlemi için kullanılır. Ayrıca, elektronik cihazların soğutulmasında ve hassas sıcaklık kontrolü gerektiren uygulamalarda da Peltier etkisi yaygın olarak tercih edilir (Anonim, 2024j).



Şekil 30. Termoelektrik modüllerde seebeck ve peltier etkisi oluşumu (Türk, 2022)

Termoelektrik cihazların enerji dönüşüm verimliliği, kullanılan malzemelerin niteliklerine, sıcaklık farkına ve modül tasarımına bağlı olarak değişir. Enerji verimliliğini yükseltmek amacıyla, yeni termoelektrik malzemelerin geliştirilmesi ve modül tasarımlarının optimizasyonu üzerinde çalışmalar sürdürülmektedir. Atık ısının elektrik enerjisine çevrilmesi,

enerji verimliliğini artırma ve fosil yakıt kullanımını azaltma potansiyeli açısından önem taşır. Termoelektrik sistemler, yenilikçi enerji çözümleri sağlayarak sürdürülebilir enerji üretimine önemli katkılar sunmaktadır. Seebeck ve Peltier etkileri üzerine yapılan araştırmalar, daha etkin ve maliyeti düşük termoelektrik malzemelerin geliştirilmesine yöneliktir. Böylece, termoelektrik elemanlar, enerji tasarrufu ve çevre dostu enerji üretimi için kritik bir teknoloji olarak dikkat çekmektedir. Bu elemanlar, atık ısının geri kazanımından taşınabilir elektroniklere, otomotivden endüstriyel uygulamalara kadar geniş bir kullanım alanına sahiptir.

Alüminyum Bal Peteği Isı Alıcıları

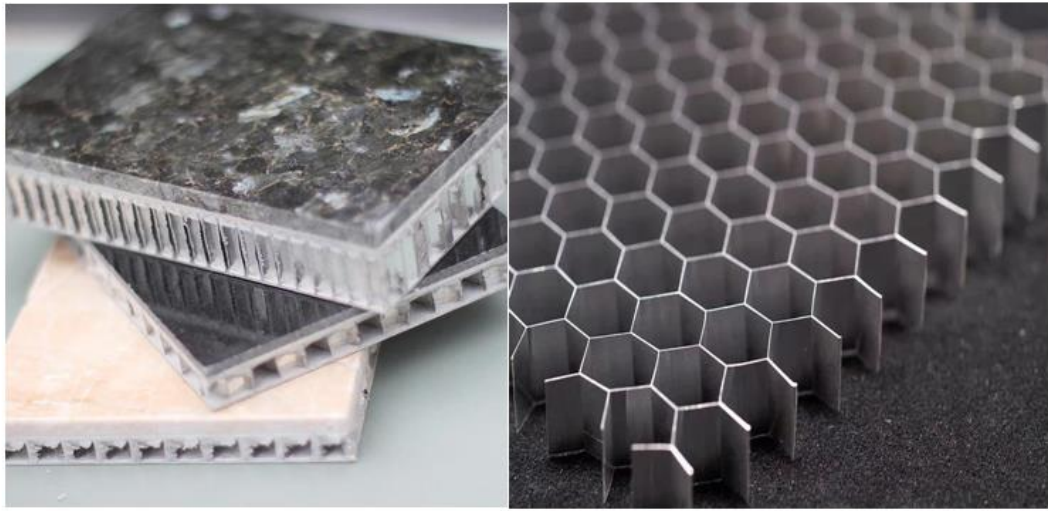
Alüminyum petekler, hafif fakat sağlam bir yapıyı desteklemek üzere bir araya getirilmiş ince alüminyum folyo katmanlarından meydana gelen altıgen hücre ağlarından oluşur. Bu yapılandırma, üstün mukavemet/ağırlık oranı ile dikkat çeker ve olağanüstü mekanik özellikler sağlar. Ayrıca, petek yapısının hücre büyüklüğü, duvar kalınlığı ve yoğunluğu gibi özellikleri, spesifik uygulama ihtiyaçlarına göre ayarlanabilir, böylece esnek bir kullanım sunar. Alüminyum petek yapılar, hafiflikleri ve yüksek mukavemetleri sayesinde havacılık, otomotiv, inşaat gibi çeşitli mühendislik disiplinlerinde tercih edilmektedir. Bu yapıların değerini artıran önemli özelliklerden biri de termal performanslarıdır. Alüminyum petek yapılar, ısı yönetimi ve yalıtım gerektiren uygulamalarda kullanışlı hale getiren birkaç dikkate değer termal özellik sergiler.

Alüminyum, ısıyı ileten bir malzeme olarak dikkat çeker ve bu özelliği, ısı iletkenliği olarak bilinen bir değerle ölçülür. Oda sıcaklığında saf alüminyumun ısı iletkenliği yaklaşık olarak 235 W/m. K seviyesindedir; fakat bu değer, kullanılan alaşımın türüne ve üretim metoduna göre farklılık gösterebilir. Alüminyumun petek şeklindeki yapısı, geniş yüzey alanı sayesinde ve hücreler arası bağlantılarla ısı dağılımını iyileştirir. Bu özellikler, alüminyum peteğin ısı eşanjörleri, soğutma panelleri ve özellikle havacılık ile elektronik alanlarında termal yönetim gerektiren uygulamalarda tercih edilmesini sağlar (Anonim, 2020k).

Termal genleşme katsayısı (CTE), bir malzemenin sıcaklık değişikliklerine nasıl tepki verdiğini, yani genişleyip büzüldüğünü belirten önemli bir özelliktir. Alüminyum, yaklaşık $23,1 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ile nispeten düşük bir CTE değerine sahiptir. Bu düşük CTE değeri, petek yapısının termal gerilmeleri malzeme içinde daha homojen bir şekilde dağıtmasına olanak tanır, böylece sıcaklık dalgalanmaları sırasında bükülme veya deformasyon riskini azaltır. Özellikle uzay yapıları ve yüksek performans gerektiren araçlar gibi, sıcaklık değişimlerinin yoğun yaşandığı uygulamalarda bu tür bir stabilite hayati önem taşır (Anonim, 2018l).

Alüminyum, ısıyı iyi ileten bir malzeme olmasına rağmen, petek yapısının hücrelerinde hapsolmuş hava sayesinde ısı yalıtımı özelliği de gösterebilir. Hava, petek panelin yapısı kapalı olduğunda veya başka malzemelerle sıkıştırıldığında, panelin genel ısı iletkenliğini düşüren bir yalıtkan işlevi üstlenir. Bu nitelik, özellikle sıcaklık kontrolünün kritik olduğu bina panelleri, soğutmalı konteynerler ve koruyucu kılıflar gibi uygulamalarda avantaj sağlar (Anonim, 2019m).

Alüminyum petek yapılar, yüksek sıcaklıklarda mekanik bütünlüklerini muhafaza ederek bu tür ortamlar için ideal bir seçim haline gelirler. Alüminyum yüzeyinde doğal olarak meydana gelen alüminyum oksit tabakası, malzemenin yüksek sıcaklıklardaki oksidasyon ve korozyona karşı direncini artırır. Bu özellik, termal olarak zorlayıcı uygulamalarda alüminyumun dayanıklılığını ve kullanım ömrünü önemli ölçüde iyileştirir (Anonim, 2021n).



Şekil 31. Farklı kullanım alanlarına sahip alüminyum bal peteği yapıları

Termal özelliklere dayalı alüminyum peteklerin uygulamaları

Alüminyum petek yapılar, olağanüstü termal özellikleri sayesinde birçok endüstride tercih edilmektedir. **Tablo 1**'de alüminyum bal peteğinin kullanım alanları verilmiştir.

Tablo 1. Alüminyum Bal Peteği Kullanım Alanları (Anonim, 2024o)

Kullanım Alanı	Kullanım Şekli
Havacılık sektöründe	Uçak kaplamaları, ısı kalkanları ve termal yönetim sistemleri gibi kritik uygulamalarda verimli ısı dağılımı ve termal stabilite sağlamak için kullanılır.
Elektronik sektöründe	Yüksek ısı iletkenliği sayesinde elektronik muhafazalar ve ısı emicilerde hassas bileşenlerin ürettiği ısıyı dağıtmak amacıyla değerlendirilir.
İnşaat sektöründe	Bina cepheleri ve yalıtım panellerinde kullanılan alüminyum petek, ısı yalıtımı ve yapısal destek sunarak enerji verimliliğine katkı sağlar.
Otomotiv endüstrisinde	Isı kalkanları ve egzoz sistemleri gibi yüksek sıcaklıklara maruz kalan uygulamalarda ısı transferini yönetme yeteneği nedeniyle önemli bir rol oynar.
Yenilenebilir enerji teknolojilerinde	Güneş panelleri ve rüzgâr türbini kanatları gibi uygulamalarda termal özellikleriyle verimliliği ve dayanıklılığı artırır. Alüminyum petek yapıların bu çok yönlü kullanımı, onları modern endüstrilerin vazgeçilmez bir bileşeni haline getirmiştir

Alüminyum petek yapılar, termal özellikleri sayesinde ısı yönetimi gerektiren endüstriler için vazgeçilmez bir malzeme olmuştur. Bu yapılar, üstün ısı iletkenliği, sıcaklık dalgalanmalarına karşı gösterdiği stabilite ve yüksek ısı direnci ile dikkat çeker. İleri mühendislik uygulamalarında kritik bir rol üstlenen alüminyum petekler, termal yönetim teknolojilerindeki araştırmalar derinleştikçe kullanım alanlarını genişletmekte ve yeni teknolojik gelişmeler için kapılar aralamaktadır.

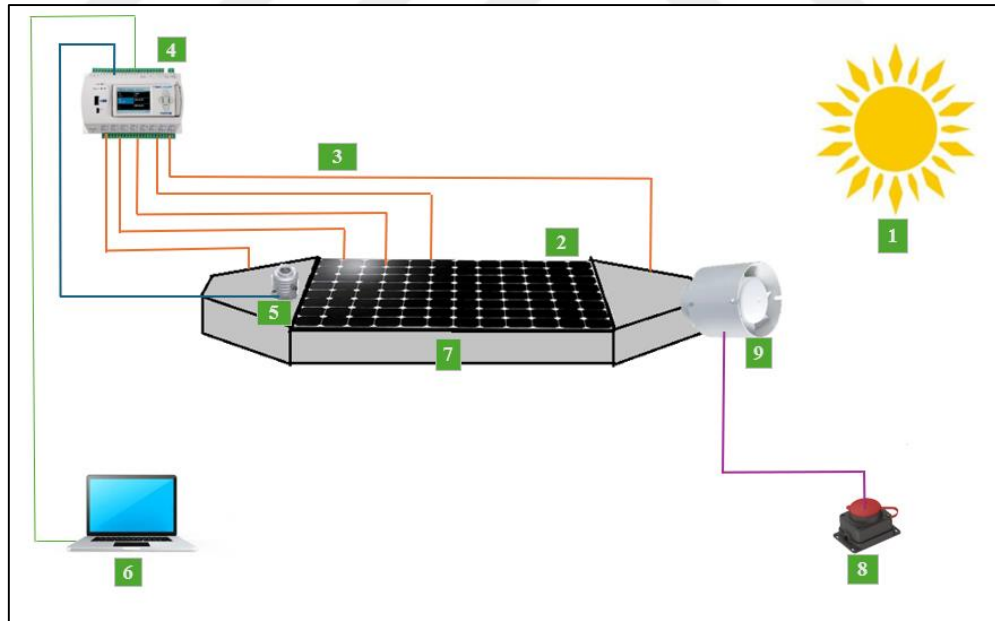
MATERYAL VE METOT

Deney Düzeneği

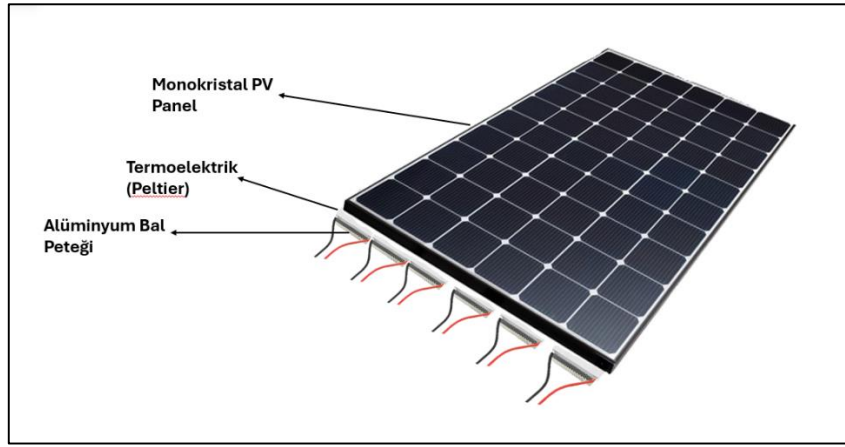
Bu çalışmada monokristal yapılı bir PV panelin, doğal güneş radyasyonu altında soğutulmasını konu almaktadır. PV panel sıcaklığının artması güç üretimini ve verimi olumsuz yönde etkilemektedir. Bu aşırı ısınma sorununun önüne geçebilmek amacıyla sistemde ısı alıcı olarak alüminyum bal peteği ısı alıcıları kullanılmıştır. Panelin alt yüzeyinde oluşturulan kontrol hacminden bir hava fanı yardımıyla hava geçirilerek soğutma işlemi gerçekleştirilmiştir. Akış yönüne 0°, 45° ve 90 ° derecelik farklı açılarda yerleştirilmiş alüminyum ısı alıcıların soğutma performansları incelenmiş ve verim üzerine etkileri gözlemlenmiştir. Ayrıca PV panelin ürettiği elektriğine ek olarak termoelektrik (Peltier) elemanlar sayesinde ikincil bir elektrik enerjisi üretimi gerçekleştirilmiştir. Kontrol hacminden dışarıya atılan atık ısının farklı amaçlar için kullanılabilir olup olmadığı konusunda öneriler sunulacaktır. Bu soğutma işleminin amacı fotovoltaiik hücrelerin aşırı ısınma sonucunda kimyasal yapısındaki bozulmaların önüne geçilerek hem ömrünün uzun olması hem de daha verimli çalışabilmesini gerçekleştirmektir. Deneyler; Erzurum ili içerisinde, ağustos ayında ve dış ortam koşullarında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 32. Deney düzeneği



Şekil 33. Deney sistemi şematik (1. Işık Kaynağı, 2. Monokristal PV Panel, 3. Isıl Çiftler (termokupl), 4. Veri Kaydedici (data logger), 5. Piranometre, 6. Bilgisayar, 7. Kontrol Hacmi, 8.Priz, 9.Fan)



Şekil 34. PV panel iç tasarımı

Fotovoltaik panel

Güneş ışınımından yararlanarak elektrik enerjisi üretmeye yarar. Bu deneysel çalışmada fotovoltaik hücrelerin aşırı ısınmasının önüne geçebilmek ve verimli bir çalışma sıcaklığı belirlemek amacıyla alüminyum bal peteği ısı alıcı olarak kullanılarak bir soğutma çalışması yapılacaktır. Kullanılan PV panel **Şekil 35**'te teknik özellikleri ise **Tablo 2**'de verilmiştir.



Şekil 35. Monokristal PV paneli

Tablo 2. PV Panel Teknik Özellikleri

Parametre	Parametre Değeri
Güç (W)	25
Açık Devre Gerilimi (V)	24,62
Maksimum Gerilim (V)	20,84
Maksimum Akım (I)	1,23
Maksimum Sistem Gerilimi (V)	1000
Model Ölçüleri (mm)	420x355x20

Piranometre

Fotovoltaik panel üzerine gelen güneş ışınımını ölçmek amacıyla kullanılmaktadır. Bu deneysel çalışmada kullanılan piranometre **Şekil 36**'da teknik özellikleri ise **Tablo 3**'te gösterilmiştir.



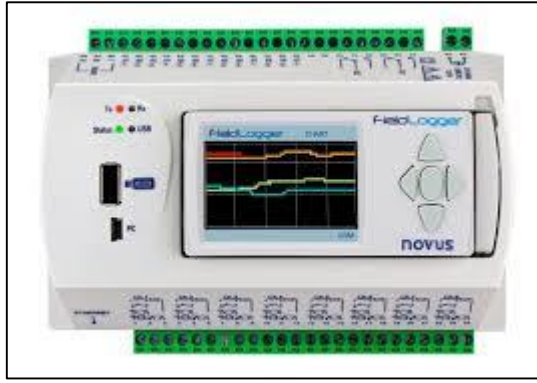
Şekil 36. Piranometre

Tablo 3. Piranometre Teknik Özellikleri

Donanım	Özellikler
Ölçüm	Hemisferik Güneş Işınımı
Ölçüm Aralığı	0-1600 W/m ²
Görüş Açısı	180°
ISO Sınıfı	ISO 9060:2. Sınıf
Hata Oranı	%1,8
Voltaj Aralığı	5-30 V (DC)
Sinyal Çıkışı	4-20 Ma

Veri kaydedici (Data Logger)

Deneyde, panel sıcaklıkları ile hava giriş ve çıkış sıcaklıklarının ölçümü için, üç adet termokupl panel altına ve iki adet termokupl da hava giriş ve çıkış noktalarına yerleştirilmiştir. Bu termokupllar aracılığıyla yapılan ölçümler, beş farklı port üzerinden fieldlogger cihazı kullanılarak anlık olarak kaydedilmiştir. Cihazın görünümü **Şekil 37**'de, teknik özellikleri ise **Tablo 4**'de sunulmuştur.



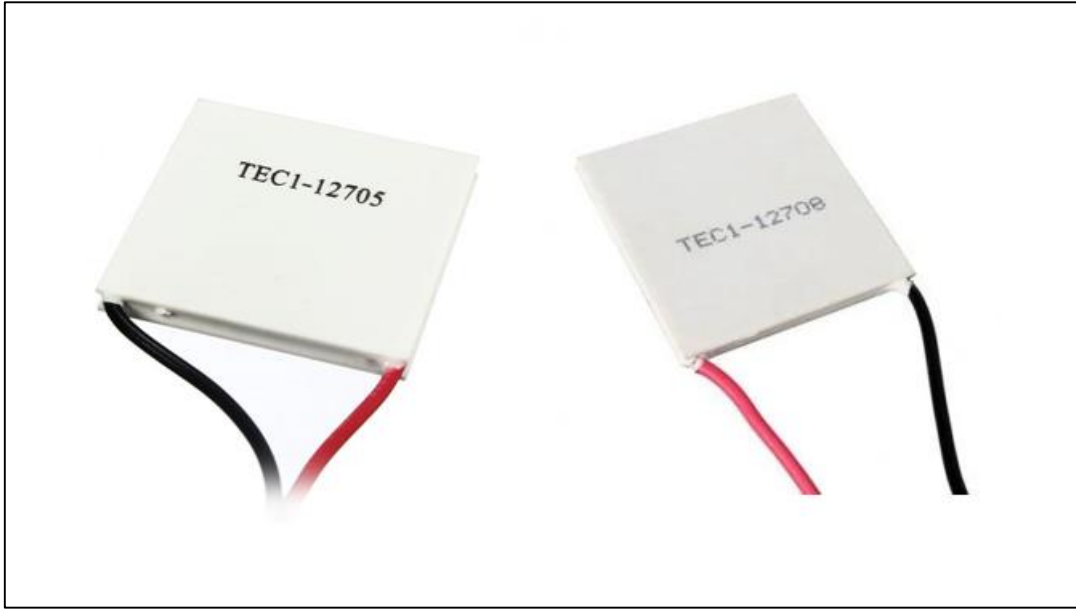
Şekil 37. Data logger (Veri kayıt cihazı)

Tablo 4. Veri Kayıt Cihazı (Data Logger) Teknik Özellikleri

Donanım	Özellikler
Analog giriş portu	8 adet
Röle çıkış portu	2 adet
Güç kaynağı	AC (100-240 V) DC (19-30 V)
Arabirim	RS485
Dahili hafıza	2 MB
SD hafıza	16 MB
Boyutlar (mm)	165x117x70

Termoelektrik soğutucu (Peltier)

Termoelektrik soğutucular, termal macun ve viskoz yapıştırıcı kullanılarak panelin alt kısmına sabitlenmiştir. Bu elemanlar, panelin altında belirli bir düzende yirmi adet olarak yerleştirilmişlerdir. Elemanların çıkış uçları seri bir şekilde bağlanmış, böylece ürettikleri akım değeri multimetre ile ölçülmüştür. Bu elemanların en dikkat çekici özelliği, bir yüzey ne kadar ısınırsa, diğer yüzey o kadar soğur. Bu sıcaklık farkı, DC akım kaynağı gibi elektrik üretimine olanak tanır ve sisteme ek elektrik girdisi sağlar. Bu çalışmada TEC1-12705 ve TEC1-12708 serisi iki farklı Peltier kullanılmıştır. Deney cihazının görseli **Şekil 38**'te teknik özellikleri ise **Tablo 5**'te sunulmuştur.



Şekil 38. TEC1-12705 ve TEC1-12708 serisi peltier

Tablo 5. TEC1-12705 ve TEC1-12708 Serisi Peltierlerin Teknik Özellikleri

	TEC1-12705	TEC1-12708
Maksimum Akım (A)	4,3-4,6	4,3-4,6
Maksimum Gerilim (V)	15,4	15,4
Sıcaklık Aralığı (° C)	-30 ° C, 70°C	-30 ° C, 70° C
Kablo Uzunluğu (mm)	300	300
Boyutlar (mm)	40x40x3,8	40x40x3,7
Anma Akımı (A)	5	8
Anma Gerilimi (V)	12	12

Kanal fanı

Deney sisteminde, PV panelin kontrol hacmine hava üfleyen bir fan kullanılmaktadır. Bu fan, belirli bir sıcaklık seviyesine ulaştığında verimliliği düşen panelin performansını iyileştirmek için devreye girer. Fanın sağladığı hava akışı sayesinde, panelin verimi optimum seviyelere çıkarılmakta ve aynı zamanda panelin altındaki Peltierler üzerinden geçen hava akışı, Peltierlerin verimini de artırmaktadır. **Şekil 39**'da kanal fanının görünümünü, **Tablo 6**'da ise fanın teknik özellikleri gösterilmektedir.



Şekil 39. Kanal fanı

Tablo 6. Kanal Fanı Teknik Özellikleri

Donanım	Özellikler
Maksimum Güç (W)	33
Debi (m ³ /h)	145-187
Maksimum Çalışma Sıcaklığı (°C)	60
Ebatlar (mm)	D96 mm- 167*190*246 mm
Maksimum devir (d/dk)	2385
Voltaj (V)	1-230V 50-60 Hz

Güç analizörü

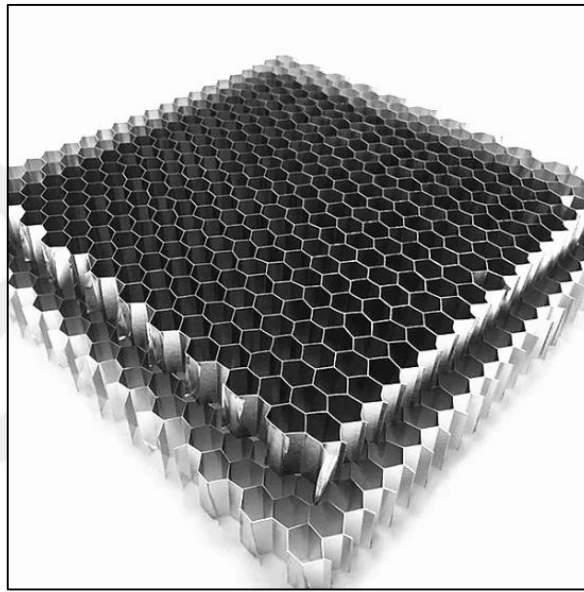


Şekil 40. Güç analizörü

PV panelin gücünü ölçmek için kullanılan cihazdır. Deneylerde her 5 dakikada bir güç değerlerinin okunmasına yardımcı olmuştur.

Alüminyum bal peteği (Honeycomb)

Bu çalışmada ısı alıcı olarak kullanılan ana elemandır. Yaklaşık olarak 5x5cm ebatlarında kesilerek panelin altında bulunan Peltierlere farklı dizilim şekilleriyle yerleştirilmiştir. Dizilim, fan yardımıyla sağlanan hava akış yönü referans alınarak 0°, 45° ve 90° derecelik açılarla yapılmıştır. Soğutmanın en aktif ve verimin en yüksek olduğu dizilim bu şekilde belirlenmiştir. **Şekil 41**'de alüminyum bal peteği ve **Tablo 7**'de teknik özellikleri verilmiştir.



Şekil 41. Alüminyum bal peteği

Tablo 7. Alüminyum Bal Peteği Teknik Özellikleri

Parametre	Özellikler
Tip	Açık Gözenekli
Alüminyum	3000 serisi
Nüve kalınlığı (mm)	18
Hücre çapı (mm)	6
Folyo kalınlığı (µm)	46-60
Çalışma sıcaklığı (°C)	-40 °C- +80 °C
Yoğunluk (kg/m ³)	83
Boyutlar (mm)	500x500x100

Tam Faktöriyel Deney Planı

PV panelin soğutulması deneyleri: iki farklı peltier serisi, üç farklı açı ile dizilmiş alüminyum bal peteği ısı alıcıları ve üç farklı hava hızında gerçekleştirilmiştir. Gerekli deneysel

veriler elde edildikten sonra Tam Faktöriyel Deney Metodu uygulanmıştır. Ek olarak alüminyum bal peteği ısı alıcılarının kullanılmadığı, yalnızca peltierler yardımıyla üç farklı hava hızındaki soğutma verileri de kaydedilmiştir. **Tablo 8**'de deney planı gösterilmektedir.

Tablo 8. Tam Faktöriyel Deney Planı

Deney Numarası	Peltier Cinsi	Alüminyum Bal Peteği Alıcılarının Dizilimi	Isı Hava hızı (m/s)
1	12705	0°	0.5-1.4-2
2	12705	45°	0.5-1.4-2
3	12705	90°	0.5-1.4-2
4	12708	0°	0.5-1.4-2
5	12708	45°	0.5-1.4-2
6	12708	90°	0.5-1.4-2

Elektriksel ve Termal Verimin Hesaplanması

PV panelleri ve peltierlerin güç analizini yapabilmek adına, ilk adım olarak bu cihazların gerilim ve akım değerlerinin hassas bir şekilde ölçülmesi şarttır. Gerilim ve akım değerlerini ölçmek için, peltierlerin pozitif (+) ve negatif (-) uçlarından multimetre yardımıyla ölçüm yapılır. Gerilim ölçümü gerçekleştirmek amacıyla multimetre, devreye paralel bağlanmalı; akım ölçümü için ise seri bağlantı tercih edilmelidir. PV panellerin güç çıktısını ölçmek için ise bir güç analizörü kullanılmalıdır. Gerekli ölçümler tamamlandıktan sonra peltierin gücünü hesaplamak için:

$$W_{peltier} = V (Gerilim) \times I(Akım) \quad (1)$$

formülü kullanılır. Burada V gerilim değeri olup birimi Volt'tur, I değeri akım olup birimi Amper'dir. Daha sonra güç analizöründen elde edilen W_{panel} ile sistemin toplam gücü:

$$W_{toplam} = W_{panel} + W_{peltier} \quad (2)$$

formülü yardımıyla hesaplanır.

Elektriksel verimin hesaplanabilmesi için: panel yüzeyine düşen ışıının, panel yüzey alanının ve toplam gücün bilinmesi gerekmektedir. Işınım değerleri bir piranometre yardımıyla tespit edildikten sonra elektriksel verim:

$$\eta_{elekt} = \frac{W_{panel} + W_{peltier}}{A \cdot I_{ışınım}} = \frac{W_{toplam}}{A \cdot I_{ışınım}} \quad (3)$$

formülü yardımıyla hesaplanabilir. Burada A, panel yüzey alanını temsil etmektedir ve birimi m²'dir. $I_{ışınım}$ panel yüzeyine düşen ve piranometre yardımıyla tespit edilen ışınlım değeridir birimi W/m²'dir.

Termal verimi hesaplamak için ise aşağıdaki formül kullanılır:

$$\eta_{ter} = \frac{\dot{m} \cdot c_p \cdot (T_{\dot{c}} - T_g)}{A \cdot I_{ışınım}} \quad (4)$$

Burada $\dot{m}$ sistemin kütleli debisidir ve birimi kg/s'dır, C_p ise sistemde kullanılan akışkanın (hava) özgül ısıdır, birimi J/kg°C'dir. Kontrol hacmine giren hava T_g , çıkan hava $T_{\dot{c}}$ ile gösterilmektedir ve birimi °C'dir. A, panel yüzey alanını temsil etmektedir ve birimi m²'dir. $I_{ışınım}$ panel yüzeyine düşen ışınlım değeridir birimi W/m²'dir.

Belirsizlik Analizi

Bir parametrenin ölçümünde, sabit hatalar, rastgele hatalar ve imalat hataları gibi çeşitli hata türleri göz önünde bulundurularak toplam hata hesaplanabilir. Ölçümlerle ilişkili belirsizlik W_R olarak ifade edilirken, W_1 , W_2 ve W_3 bağımsız değişkenlerle ilişkili belirsizlikleri temsil eder. Alan ölçümü göz ardı edilebilir bir düzeydedir. Eğer bağımsız değişkenlerle ilişkili belirsizlikler belirli oranlarla ifade edilirse, bu oranlar kullanılarak elde edilen sonuçtaki belirsizlik şu şekilde hesaplanır (Kline, 1976):

$$W_R = \left[\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} W_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2} W_2 \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_3} W_3 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial R}{\partial x_n} W_n \right)^2 \right]^{0.5} \quad (5)$$

Deneyisel çalışmaların başarısı, elde edilen sonuçların yanı sıra, ölçüm değerlerinin doğruluğuna da bağlıdır. Doğruluk, deney sırasında meydana gelebilecek çeşitli hatalardan etkilenebilir. Standartlara uygun bir deney düzeneği kullanılarak yapılan deneylerde, hatalar iki ana kategoride incelenebilir: deney seti ve ölçüm araçlarının yapısından kaynaklanan hatalar ile deneyi gerçekleştiren kişinin hataları. İkinci kategoriye ait hatalar, deneyimli bir deneyci tarafından yapılan deneylerle minimize edilebilir. Ancak, ilk kategoriye ait hataların tespiti ve düzeltilmesi her zaman mümkün olmayabilir, çünkü bu hatalar genellikle deneyde kullanılan araç ve gereçlerin kendilerinden kaynaklanır (Anonim, 2024e).

Bu deneylerde kullanılan araç ve gereçlerin imalatı sırasında herhangi bir hatanın olmadığı kabul edilmiştir. Tüm bu faktörler de göz önüne alındığında, her bir bağımsız değişken için meydana gelebilecek hata değerleri **Tablo 9**'da verilmiştir.

Tablo 9. Deney Sisteminde Yapılan Ölçüm Değerlerinin Belirsizliği

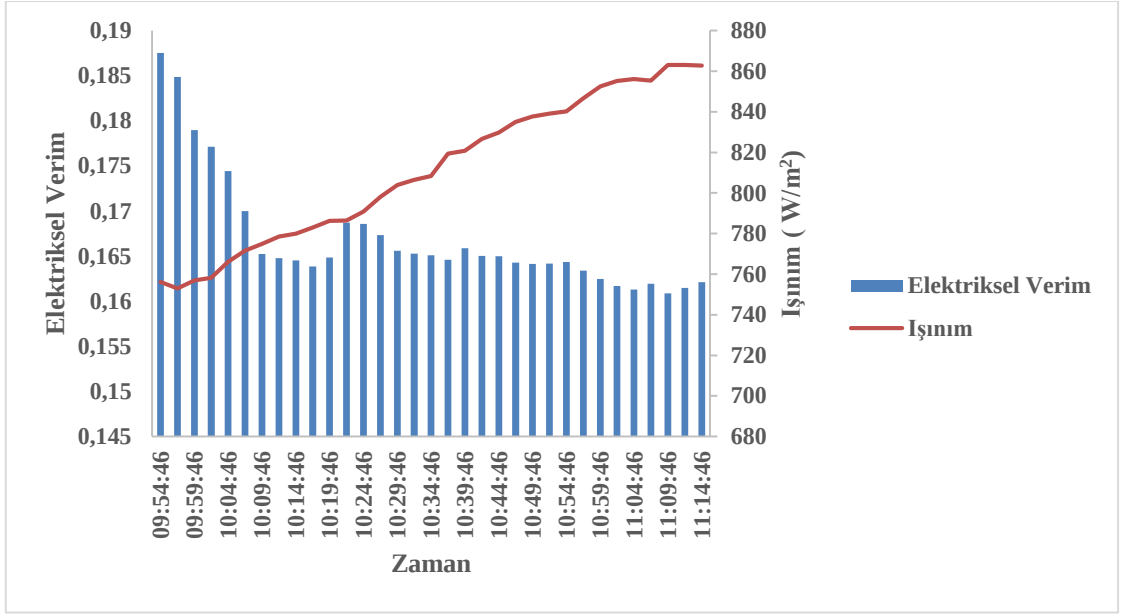
Ölçüm Aleti	Toplam belirsizlik %
Termokupl	± 0.65 ($^{\circ}\text{C}$)
Piranometre	± 1.7 (W/m^2)
Anemometre	$\pm 1,18$ (m/s)
Güç Analizörü	$\pm 1,2$ (W)
Multimetre (Gerilim)	$\pm 0,72$ (V)
Multimetre (Akım)	$\pm 0,1$ (I)

Yapılan hesaplamalar sonucunda: Peltier gücü %1,67, panel gücü %1,21, elektriksel verim %2,04 ve termal verim için %2,32 belirsizlik bulunuştur.

ARAşTIRMA BULGULARI

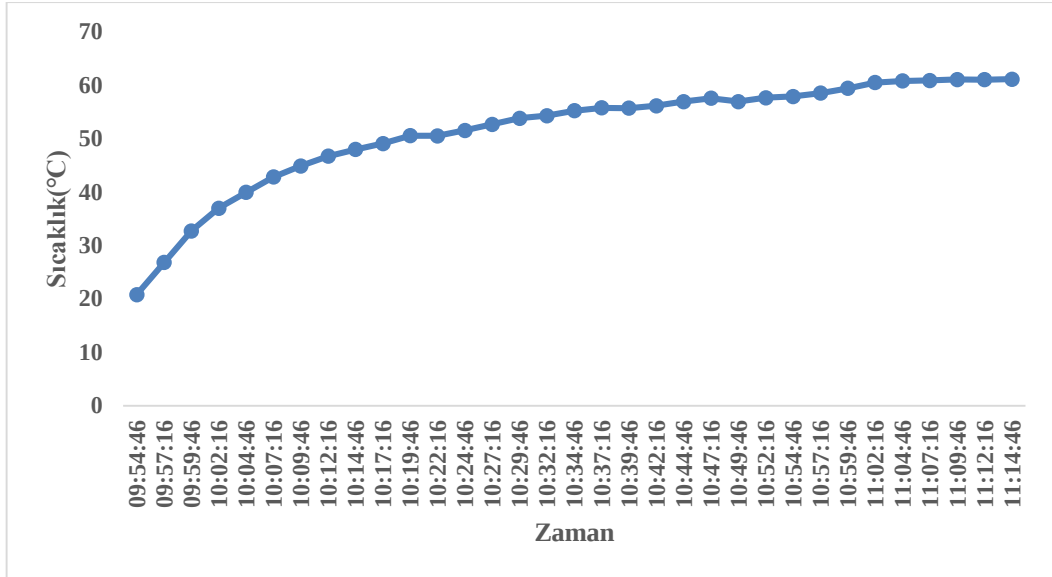
Fotovoltaik sistemlerde aşırı ısınmadan dolayı verim düşüşünün önüne geçebilmek için çeşitli soğutma teknikleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada; panel yüzeyi, ısı alıcı olarak alüminyum bal peteği kanatçıkları kullanılarak bir kontrol hacminden geçirilen hava yardımı ile soğutulmuştur. Soğutmaya ek olarak termoelektrik elemanlar sayesinde ikincil bir elektrik enerjisi üretimi gerçekleştirilmiştir. Deneylerin tamamı dış hava koşulları altında, Erzurum ilinde gerçekleştirilmiştir. Erzurum ilinin güneşlenme ve sıcaklık değerleri dikkate alındığı zaman ortalama en sıcak ve deneyler için en uygun olan ağustos ayı seçilmiştir (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2023). Deneyde kullanılan monokristal PV panel; yüzey sıcaklığının sabit ve en yüksek olduğu kararlı üst sınır sıcaklığına kadar ısınması beklenmiş daha sonra soğutma işlemi yapılmıştır. Soğutma işlemi, PV panelin yüzey sıcaklığının sabit ve en düşük olduğu kararlı alt sınır sıcaklığına kadar devam ettirilmiştir. Ayrıca panel hücrelerinin alt yüzeylerinde bulunan Peltier elemanlar yardımıyla elektrik üretilmiştir.

Alüminyum bal peteği ısı alıcıları ile yapılan soğutma işlemi sonuçlarıyla karşılaştırmak amacıyla ilk önce Monokristal panele hiçbir soğutma işlemi uygulanmamıştır. Doğrudan güneş ışınımı altında çalışan panelin güç, verim ve sıcaklık gibi değerleri deney araçları yardımıyla ölçölüp, gerekli hesaplamalar yapılarak kaydedilmiştir. Bu deneyler sırasında panelin alt yüzeyinde Peltierler bulunmamaktadır. Dolayısıyla ikincil bir güç üretimi gerçekleşmemektedir. Ayrıca ısı ölçümleri ısı çiftler (termokupl) yardımıyla anlık olarak alınmaktadır. Bu deneyler daha sonra yapılacak olan soğutma deneyleri için bir anlamda referans deneyleri olarak kabul edilecek ve karşılaştırma yapılarak sonuçlar tartışılacaktır.



Şekil 42. Soğutmadan önce panelin zamana bağlı Elektriksel Verim-Işınım grafiği

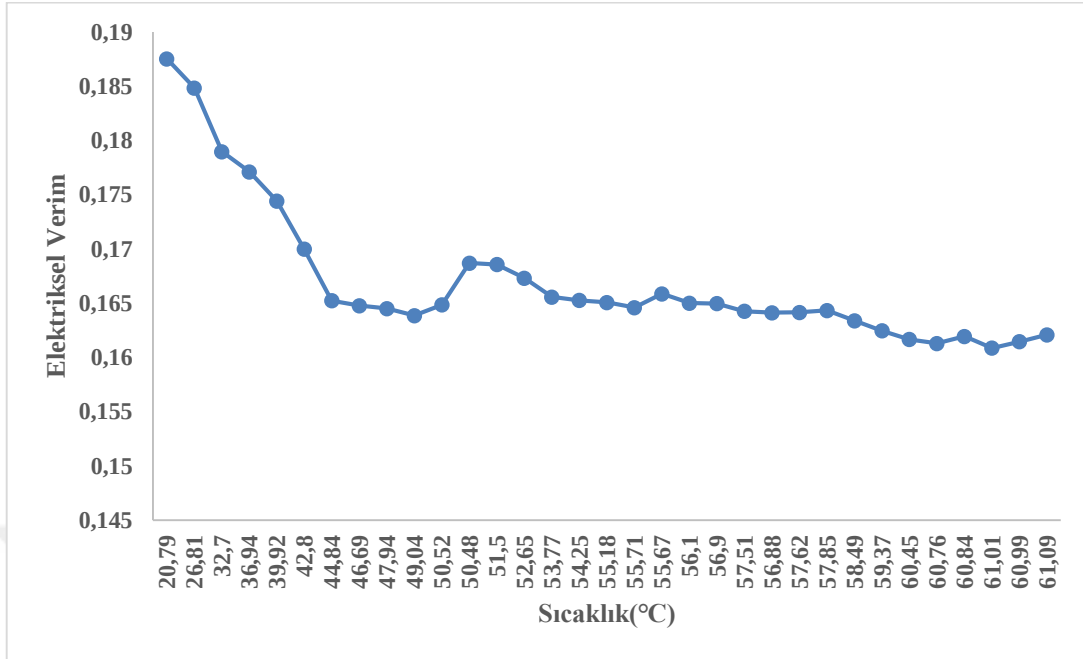
Şekil 42’de herhangi bir soğutma işlemi uygulanmadan önce panelin zamana bağlı Elektriksel Verim-Işınım grafiği görülmektedir. Ölçüm süresi boyunca ışıınım miktarı artmasına rağmen verim düşmektedir. Bunun sebebi: panel yüzeyine düşen ışıınım miktarının artması sonucunda yüzey sıcaklığının da artmasıdır. Yüzey sıcaklığının artması verim kaybına neden olmuştur. Işınım miktarı bir piranometre aracılığıyla ölçülüp, veriler Data Logger yardımıyla kaydedilmiştir.



Şekil 43. Soğutmadan önce panel yüzey sıcaklığı

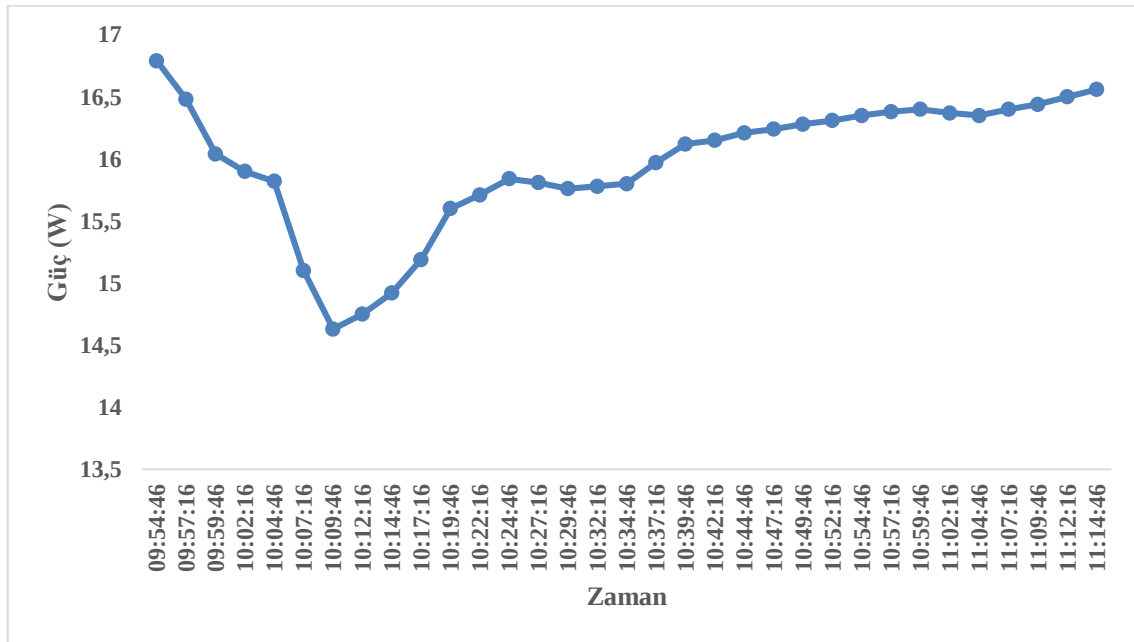
Şekil 43’te yaklaşık olarak 80 dakikalık bir ölçüm süresi boyunca panelin yüzey sıcaklığını gösteren Sıcaklık-Zaman grafiği görülmektedir. Yüzey sıcaklığı 20,79°C’den maksimum 61°C’ye kadar yükselmiştir. Sıcaklık, panelin alt yüzeyine gradyan biçimde

yerleştirilen üç ısı çifti (termokupl) yardımıyla ölçülmüştür. Sıcaklık değerleri anlık olarak Data Logger aracılığıyla kaydedilmiştir.



Şekil 44. Soğutmadan önce sıcaklığa bağlı Elektriksel Verim-Sıcaklık grafiği

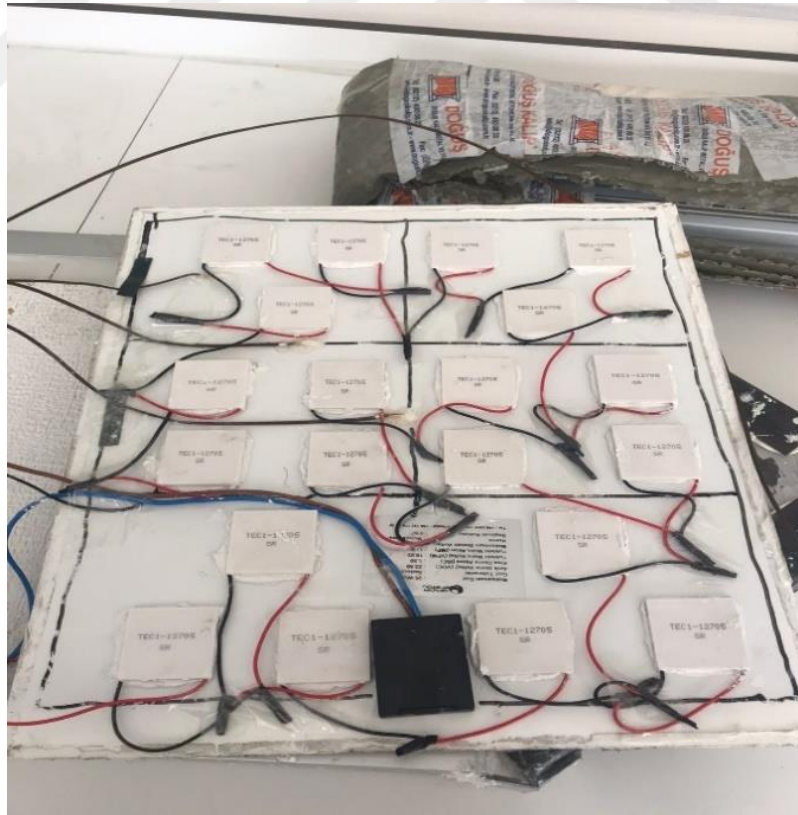
Şekil 44'te sıcaklığa bağlı olarak elektriksel verimi ifade eden Elektriksel Verim-Sıcaklık grafiği gösterilmektedir. Yüzey sıcaklığının artması verim kaybının yaşanmasına neden olmaktadır. Verim değeri %18,7'den %16,2'ye kadar düşerek %13,36'lık bir kayıp meydana gelmiştir. Panelden daha iyi verim alabilmek ve uzun bir kullanım ömrü için uygun çalışma sıcaklığına soğutulması gerekmektedir.



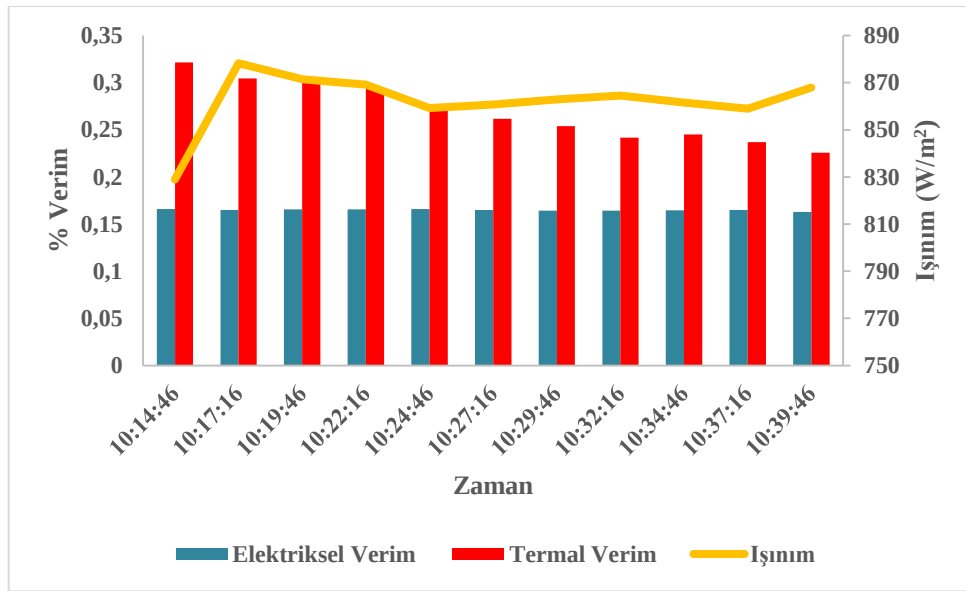
Şekil 45. Soğutmadan önce panelin Güç-Zaman grafiği

Şekil 45'te panel üzerinde herhangi bir soğutma işlemi yapılmadan önceki Güç-Zaman grafiği görülmektedir. Doğrudan güneş ışınlamı altında çalışan panelin gücü, güç analizörü yardımıyla her 5 dakikada bir ölçülüp not edilmiştir. Başlangıçta panelin yüzey sıcaklığı düşük olduğu için güç çıktısı fazladır. Yüzeyin giderek ısınmasıyla beraber hücre sıcaklığı artarak güç kayıpları yaşanmasına neden olmaktadır. Işınım miktarının yüksek olması panelin güç çıktısını artırmasına rağmen sıcaklık bunun tam tersi bir etki yapmaktadır. Bundan dolayı sıcaklığın düşük ve ışınlım miktarının yüksek olduğu durumlarda panel daha fazla güç üretecektir.

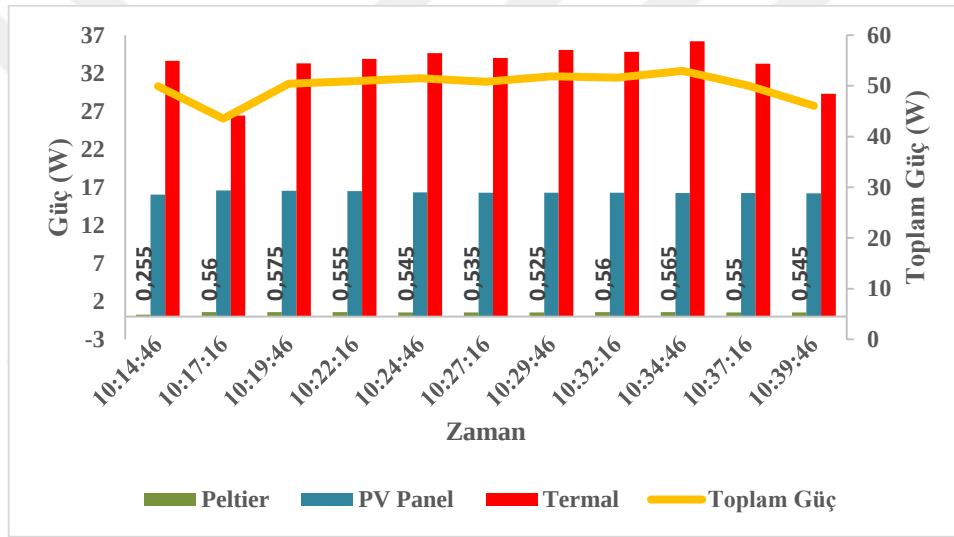
Soğutma deneylerinde ilk olarak panelin alt yüzeyine yalnızca 12705 serisi yirmi adet Peltier yerleştirilmiş, alüminyum bal peteği ısı alıcıları kullanılmamıştır. Burada, Peltierlerin soğutma ve güç çıktısına etkilerini görmek amaçlanmıştır. Kontrol hacmi yalıtılarak bir kanal fanı yardımıyla 10-8-6 kademelerinde çalıştırılarak, sırasıyla 2, 1,4 ve 0,5 m/s hızlarında soğutma işlemi gerçekleştirilmiştir. Peltierlerin panele temas eden yüzeyleri ısınırken altta kalan yüzeyleri soğumaktadır. Havanın yardımıyla bu sıcaklık farklı artırılmaya çalışılmaktadır. Bu sıcaklık farkı yardımıyla Peltierlerden ikincil bir güç üretimi elde etmek ve sistemin toplam gücünün artırılması amaçlanmıştır. **Şekil 46**'da Peltierlerin dizilimi gösterilmiştir.



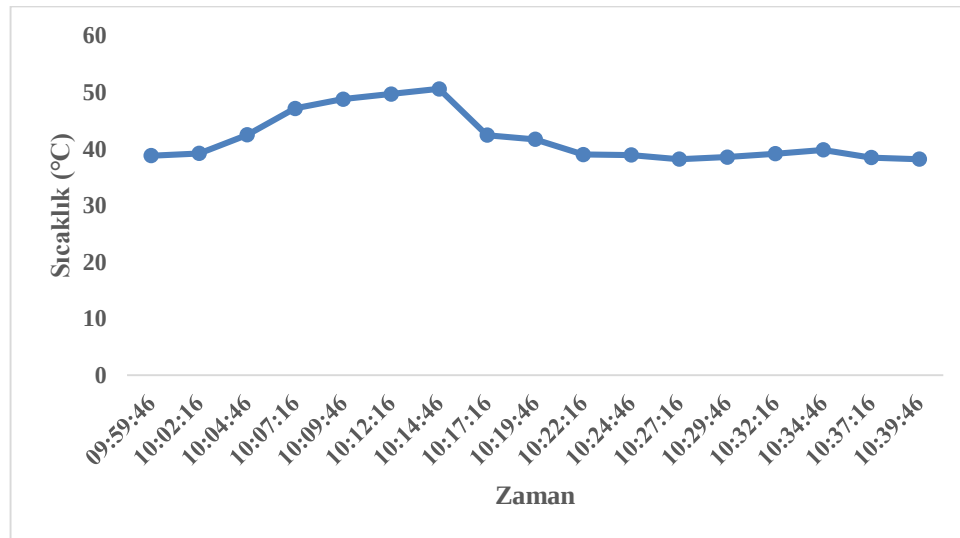
Şekil 46. 12705 Serisi Peltierlerin dizilimi



(a)



(b)

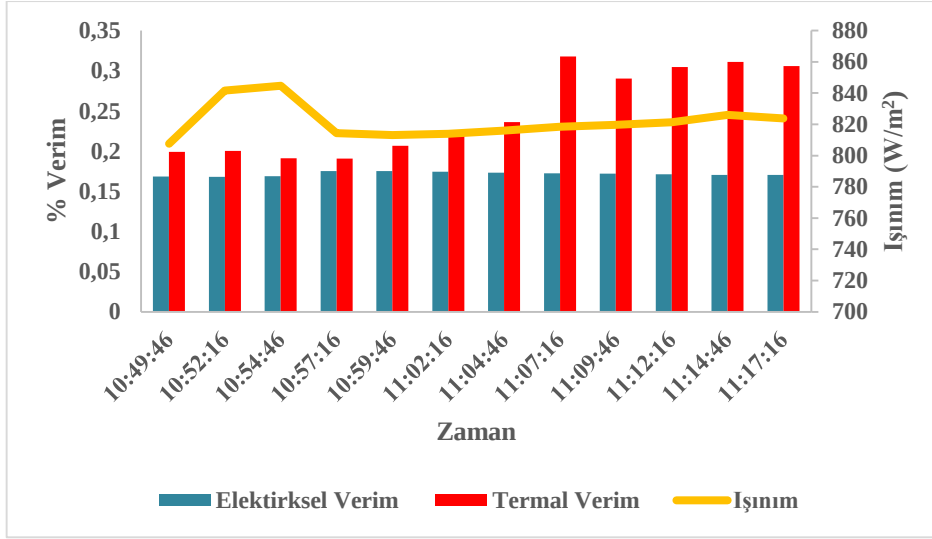


(c)

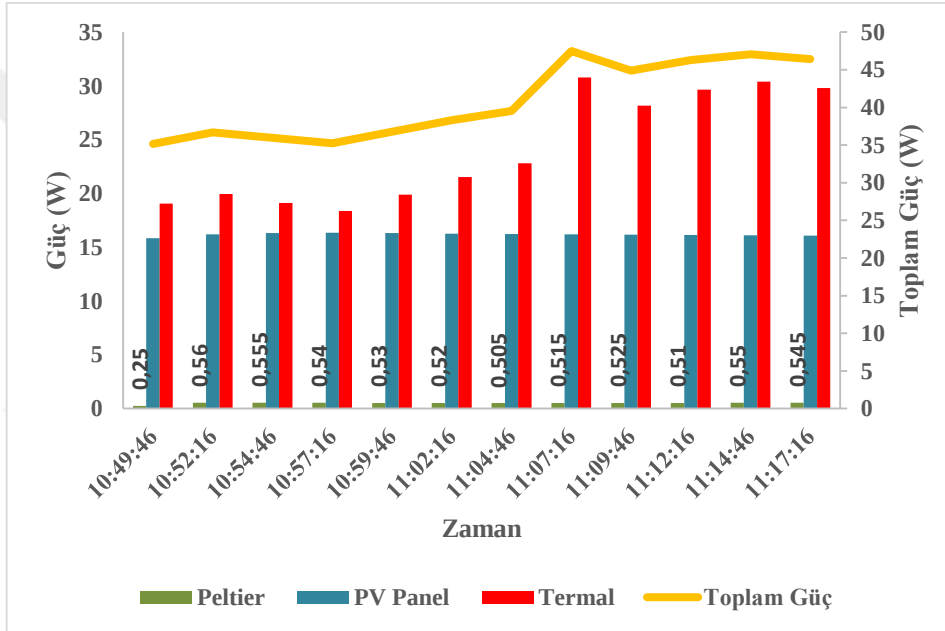
Şekil 47. 12705 serisi Peltier 10. kademe kanatçıksız soğutma

Şekil 47.c'de panelin, 12705 serisi Peltier ve alüminyum ısı alıcıları kullanılmadan 10. kademedeki soğutulmasını gösteren Sıcaklık-Zaman grafiği verilmiştir. Panel sıcaklığı 10:14'te 50,61°C'ye ulaştıktan sonra fan çalıştırılmış ve 10:39'a kadar soğutulmuştur. Sıcaklık bu noktada 38,2°C'nin daha fazla altına düşmediği için fan kapatılmıştır. Soğutma süresi yaklaşık 25 dakika sürmüş ve panel sıcaklığı 12,41°C düşmüştür. Bu süre boyunca sistemin zamana bağlı Işınım-Verim grafiği **Şekil 47.a'**da gösterilmiştir. Elektriksel verim fan açılmadan hemen önce %15,96 olarak hesaplanmış, soğutma sırasında %16,6 seviyesine kadar yükselmiş ve yaklaşık %3,84'lük bir artış meydana gelmiştir. Fan açıldıktan sonra termal verim %32,1 seviyelerindeyken sıcaklığın kararlı hale gelmesiyle beraber %22,5'e kadar düşmüştür. Soğutma süresi boyunca ortalama termal verim yaklaşık %27 olarak hesaplanmıştır. **Şekil 47.b'**de ise zamana bağlı Toplam Güç-Zaman grafiği gösterilmiştir. Peltierin gücü, fan açılmadan hemen önce 0,255 W olarak ölçülmüş ve soğutma sırasında 0,575 W'a kadar çıkarak %55,65'lik bir artış meydana gelmiştir. Panel gücü ise fan açılmadan hemen önce 16,07 W olarak ölçülmüş, soğutma sırasında 16,58 W'a kadar çıkarak %3,07'lik bir artış gerçekleşmiştir. Soğutma süresi boyunca termal güç ortalama 33,14 W olarak hesaplanmıştır. Peltier, panel ve termal gücün toplamı sistemin toplam gücünü ifade etmektedir. Toplam güç, soğutma süresi boyunca ortalama 49,97 W olarak hesaplanmıştır.

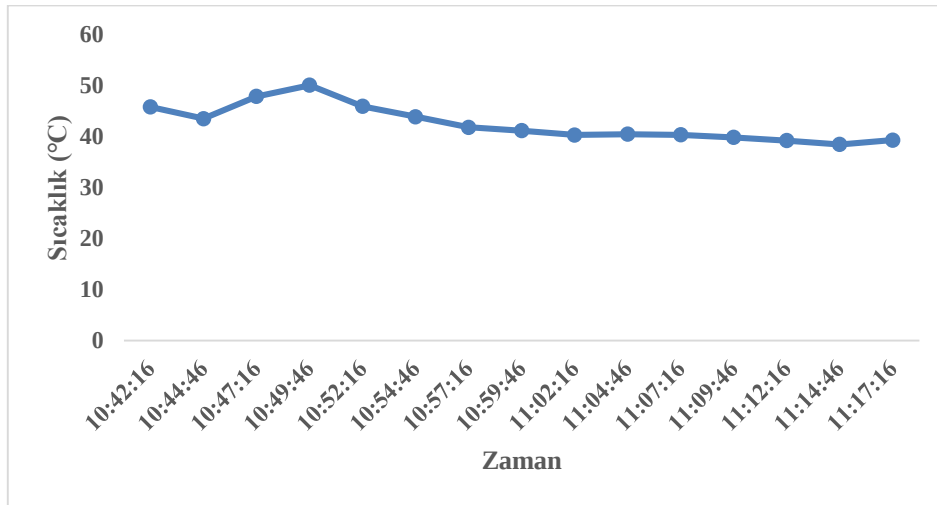
12705 serisi Peltier 10. kademe kanatçıksız soğutma deneyinden sonra, 8. kademe kanatçıksız soğutma deneyine geçilmiştir.



(a)



(b)

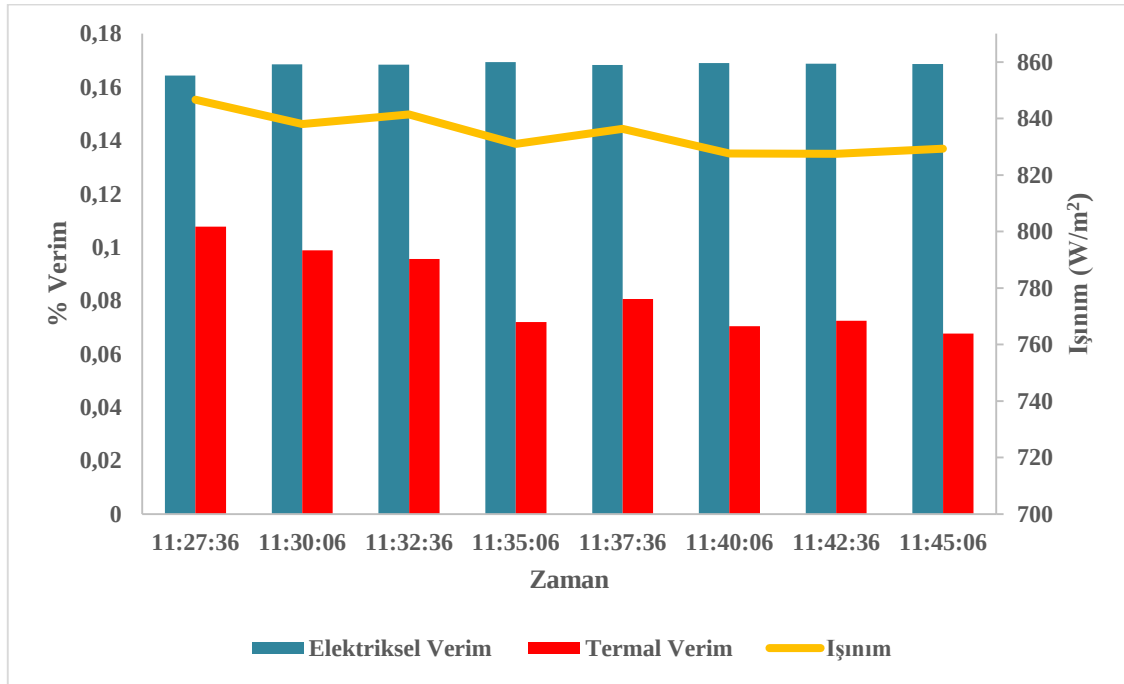


(c)

Şekil 48. 12705 serisi Peltier 8. kademe kanatçiksız soğutma

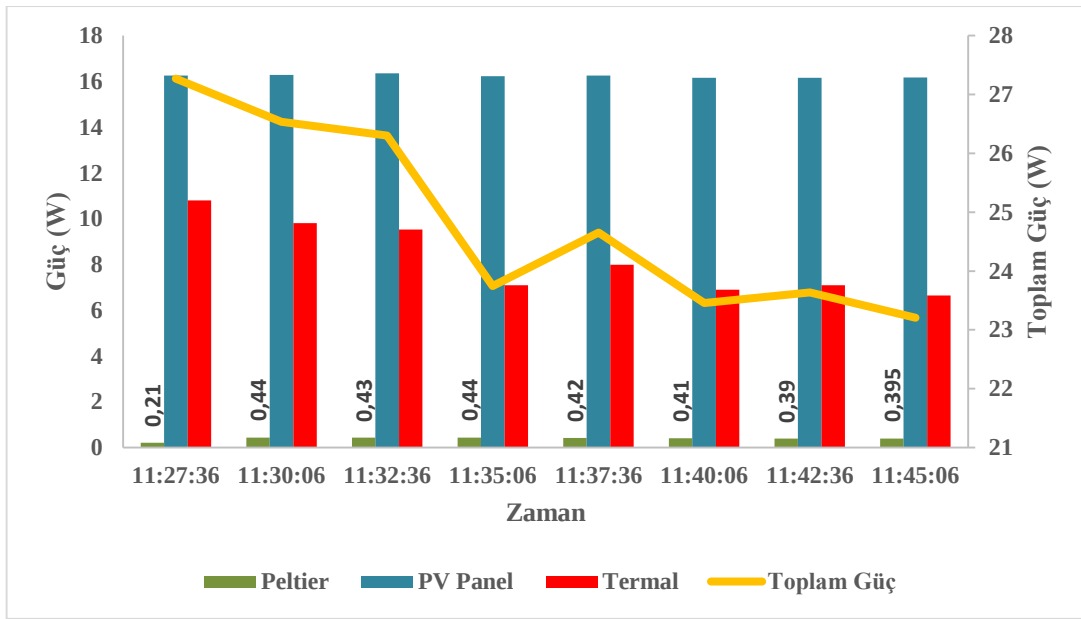
Şekil 48.c'de panelin, 12705 serisi Peltier ve alüminyum ısı alıcıları kullanılmadan 8. kademede soğutulmasını gösteren Sıcaklık-Zaman grafiği verilmiştir. Panel sıcaklığı 10:52'de 50,12°C'ye ulaştıktan sonra fan çalıştırılmış ve 11:17'ye kadar soğutulmuştur. Sıcaklık bu noktada 39,34°C'nin daha fazla altına düşmediği için fan kapatılmıştır. Soğutma süresi yaklaşık 28 dakika sürmüş ve panel sıcaklığı 10,78°C düşmüştür. Bu süre boyunca sistemin zamana bağlı Işınım-Verim grafiği **Şekil 48.a'**da gösterilmiştir. Elektriksel verim fan açılmadan hemen önce %16,7 olarak hesaplanmış, soğutma sırasında %17,5 seviyesine kadar yükselmiş ve yaklaşık %4,16'lık bir artış meydana gelmiştir. Kontrol hacminde biriken ısı nedeniyle sıcaklık farkı çok azdır. Zamanla ısıl denge bozulmuş ve sıcaklık farkı oluşarak termal verim artış göstermiştir. Başlangıçta yaklaşık %20 olan termal verim zamanla artarak maksimum %31,78 seviyelerine kadar yükselmiştir. Soğutma süresi boyunca ortalama termal verim %24,8 olarak hesaplanmıştır. **Şekil 48.b'**de ise zamana bağlı Toplam Güç-Zaman grafiği gösterilmiştir. Peltierin gücü, fan açılmadan hemen önce 0,235 W olarak ölçülmüş ve soğutma sırasında 0,56 W'a kadar çıkarak %58,03'lük bir artış meydana gelmiştir. Panel gücü ise fan açılmadan hemen önce 15,86 W olarak ölçülmüş, soğutma sırasında 16,34 W'a kadar çıkarak %2,93'lük bir artış gerçekleşmiştir. Soğutma süresi boyunca termal güç ortalama 24,13 W toplam güç ise ortalama 40,82 W olarak hesaplanmıştır.

12705 serisi Peltier 8. kademe kanatçıksız soğutma deneyinden sonra, 6. kademe kanatçıksız soğutma deneyine geçilmiştir.

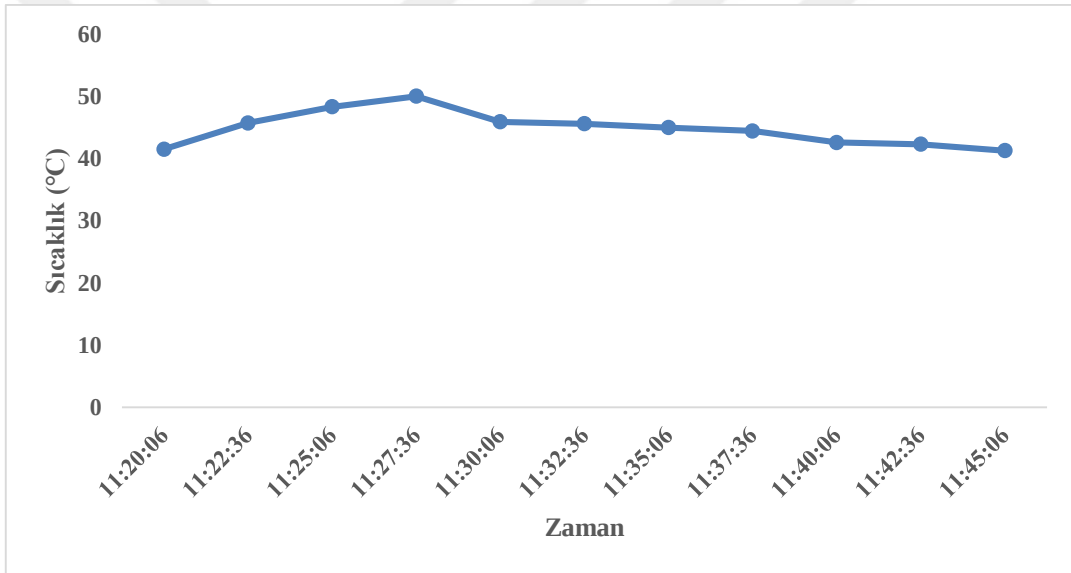


(a)

Şekil 49. 12705 serisi Peltier 6. kademe kanatçıksız soğutma (devamı)



(b)



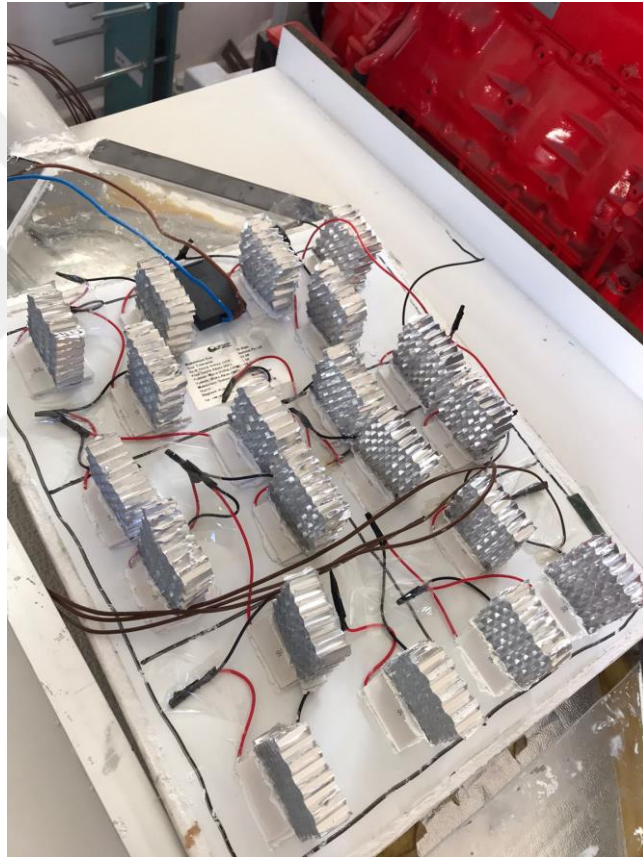
(c)

Şekil 50. 12705 serisi Peltier 6. kademe kanatçıksız soğutma

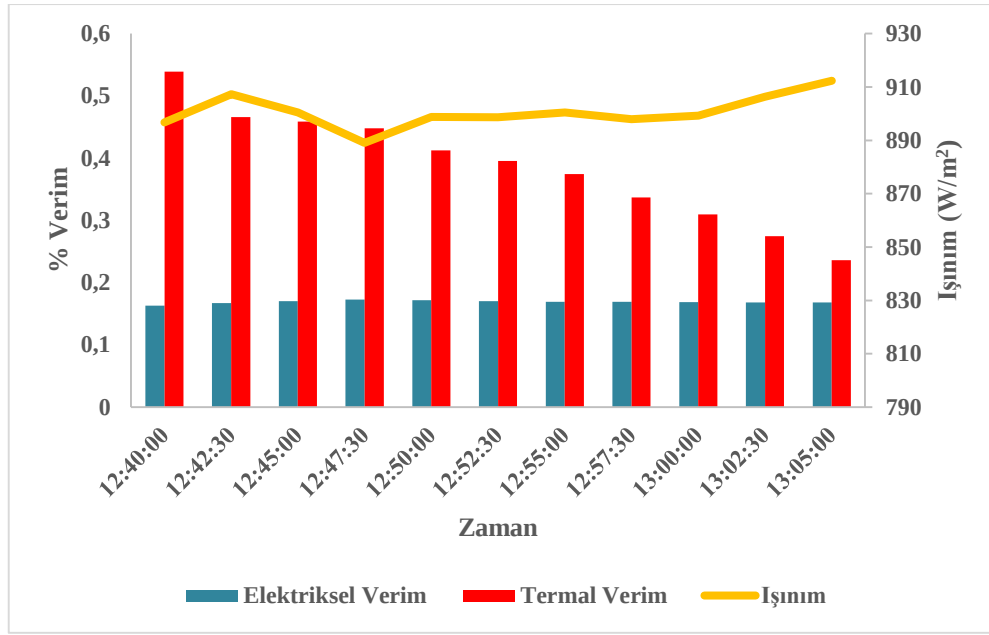
Şekil 49.c’de panelin, 12705 serisi Peltier ve alüminyum ısı alıcıları kullanılmadan 6. kademede soğutulmasını gösteren Sıcaklık-Zaman grafiği verilmiştir. Panel sıcaklığı 11:27’de 50,02°C’ye ulaştıktan sonra fan çalıştırılmış ve 11:45’ye kadar soğutulmuştur. Sıcaklık bu noktada 41,28°C’nin daha fazla altına düşmediği için fan kapatılmıştır. Soğutma süresi yaklaşık 18 dakika sürmüş ve panel sıcaklığı 8,74°C düşmüştür. Bu süre boyunca sistemin zamana bağlı Işınım-Verim grafiği Şekil 49.a’da gösterilmiştir. Elektriksel verim fan açılmadan hemen önce %16,4 olarak hesaplanmış, soğutma sırasında %16,93 seviyesine kadar yükselmiş ve yaklaşık %3,18’lik bir artış meydana gelmiştir. Kontrol hacminden ısı atılmıştır fakat debinin düşük olması sıcaklık farkını fazla artırmamıştır. Fan açıldıktan sonra termal verim %10,77 seviyelerinden %6,7 seviyelerine kadar düşmüştür. Soğutma süresi boyunca ortalama termal

verim %8,3 olarak hesaplanmıştır. **Şekil 49.b**'de ise zamana bağlı Toplam Güç-Zaman grafiği gösterilmiştir. Peltierin gücü, fan açılmadan hemen önce 0,245 W olarak ölçülmüş ve soğutma sırasında 0,44 W'a kadar çıkarak %44,31'lik bir artış meydana gelmiştir. Panel gücü ise fan açılmadan hemen önce 16,27 W olarak ölçülmüş, soğutma sırasında 16,35 W'a kadar çıkarak %0,49'luk bir artış gerçekleşmiştir. Soğutma süresi boyunca termal güç ortalama 8,23 W, toplam güç ortalama 24,85 W olarak hesaplanmıştır.

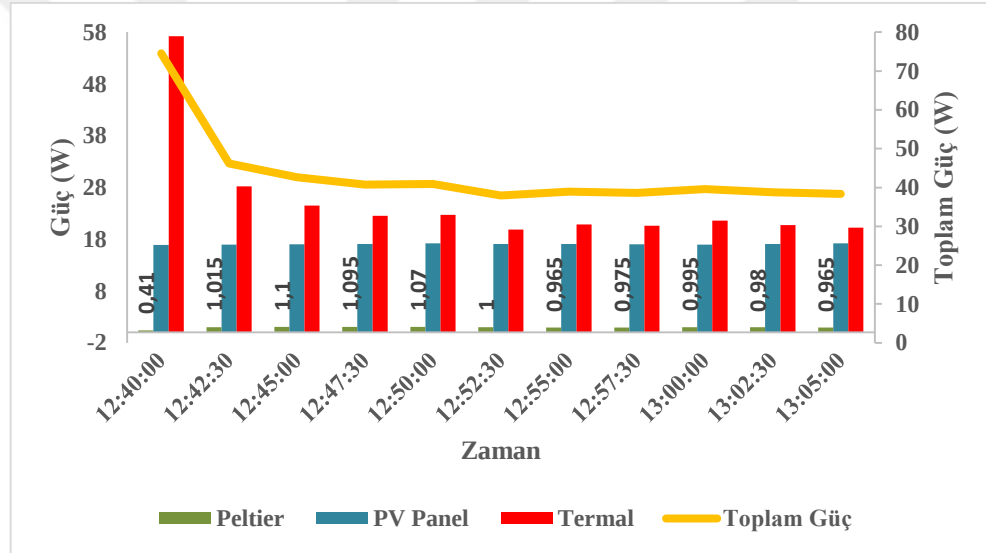
Bundan sonraki deneylerde ise Peltierlerin alt yüzeylerine farklı açılarda 0° , 45° ve 90° yerleştirilen alüminyum bal peteği kanatçıklarının soğutma performansları incelenmiştir. İlk olarak akış yönüne paralel (0°) ile yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıkları **Şekil 50**'de görülmektedir,



Şekil 51. 12705 serisi Peltier ve akış yönüne paralel (0°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıkları

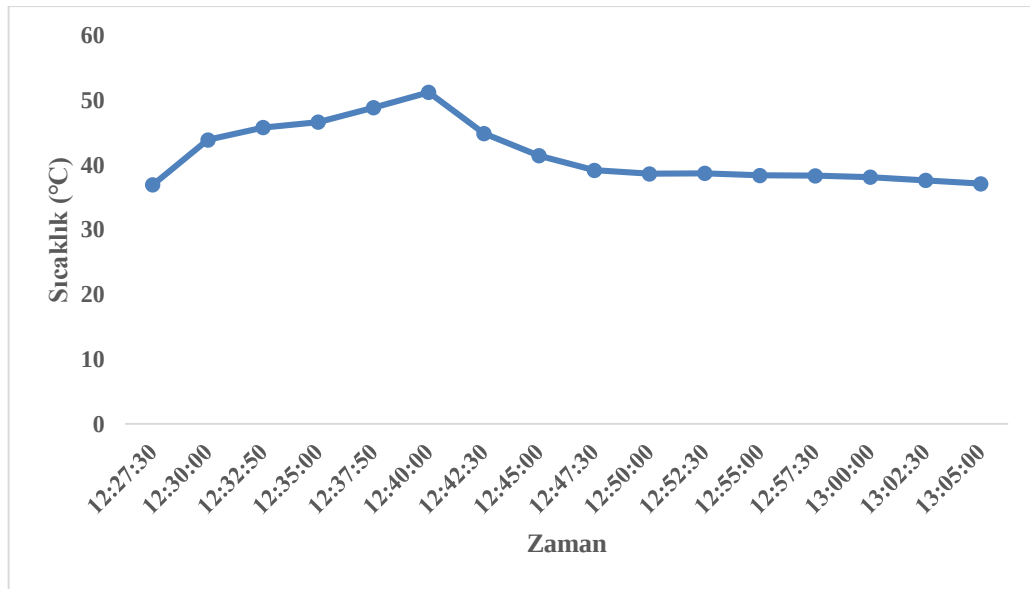


(a)



(b)

Şekil 52. 12705 serisi Peltier ve akış yönüne paralel (0°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıkları 10. kademe soğutma deneyi (devamı)

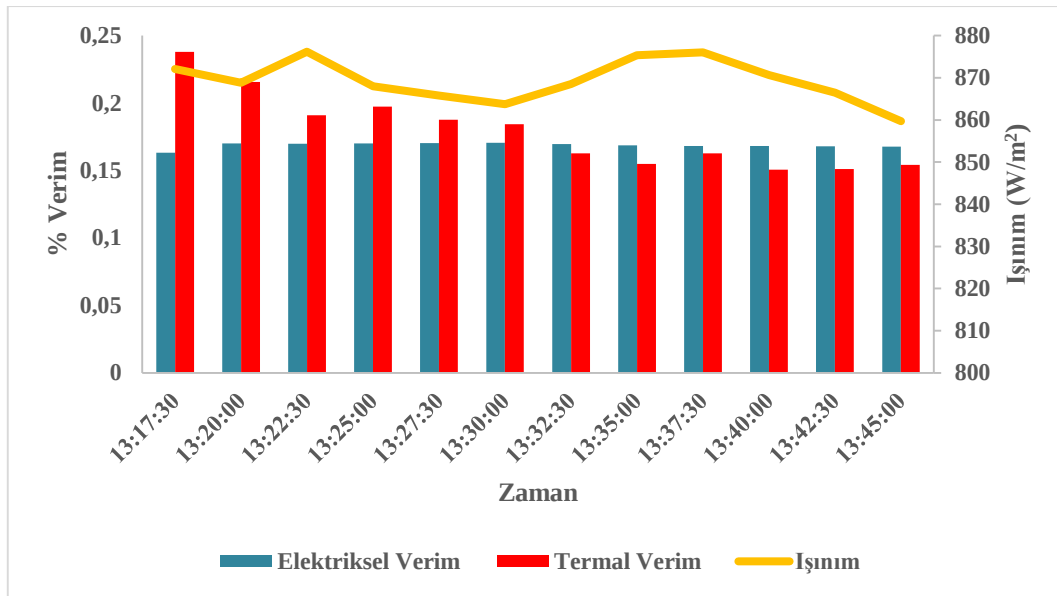


(c)

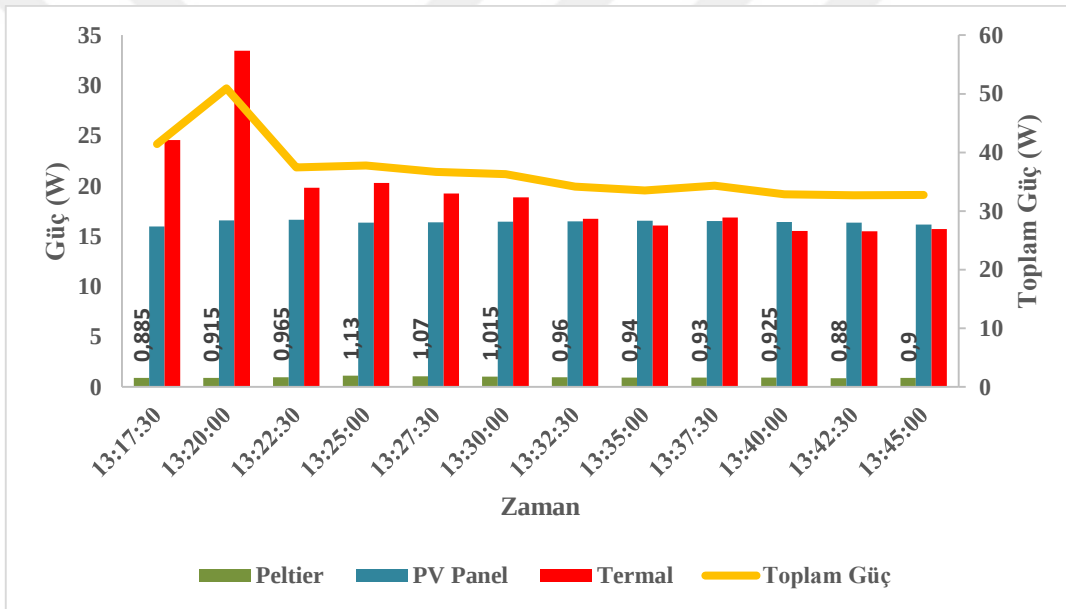
Şekil 53. 12705 serisi Peltier ve akış yönüne paralel (0°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıkları 10. kademe soğutma deneyi

Şekil 51.c'de panelin, 12705 serisi Peltier ve akış yönüne paralel (0°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıklar ile 10. kademede soğutulmasını gösteren Sıcaklık-Zaman grafiği verilmiştir. Panel sıcaklığı $12,40^\circ\text{C}$ 'ta $51,25^\circ\text{C}$ 'ye ulaştıktan sonra fan çalıştırılmış ve $13,05^\circ\text{C}$ 'e kadar soğutulmuştur. Sıcaklık bu noktada $37,11^\circ\text{C}$ 'nin daha fazla altına düşmediği için fan kapatılmıştır. Soğutma süresi yaklaşık 25 dakika sürmüştür ve panel sıcaklığı $14,14^\circ\text{C}$ düşmüştür. Bu süre boyunca sistemin zamana bağlı Işınım-Verim grafiği **Şekil 51.a'**da gösterilmiştir. Elektriksel verim fan açılmadan hemen önce %16,3 olarak hesaplanmış, soğutma sırasında %17,1 seviyesine kadar yükselmiş ve yaklaşık %5,01'lik bir artış meydana gelmiştir. Fan çalıştırıldıktan sonra kontrol hacminde biriken ısı hızla dışarıya atılmış ve zamanla sıcaklık farkı azaldığı için kararlı hale gelmiştir. Termal verim %53,9 seviyelerinden ısı dengelinin sağlanması ile %23,6'ya kadar düşmüştür. Soğutma süresi boyunca ortalama termal verim %38,6 olarak hesaplanmıştır. **Şekil 51.b'**de ise zamana bağlı Toplam Güç-Zaman grafiği gösterilmiştir. Peltierin gücü, fan açılmadan hemen önce 0,48 W olarak ölçülmüş ve soğutma sırasında 1,095 W'a kadar çıkarak %56,16'lık bir artış meydana gelmiştir. Panel gücü ise fan açılmadan hemen önce 16,88 W olarak ölçülmüş, soğutma sırasında 17,18 W'a kadar çıkarak %1,74'lük bir artış gerçekleşmiştir. Soğutma süresi boyunca termal güç ortalama 25,37 W, toplam güç, soğutma süresi boyunca ortalama 43,38 W olarak hesaplanmıştır.

12705 serisi Peltier ve akış yönüne paralel (0°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıklarını kullanıldığı 10. kademe soğutma deneylerinden sonra, 8. kademe soğutma deneylerine geçilmiştir.

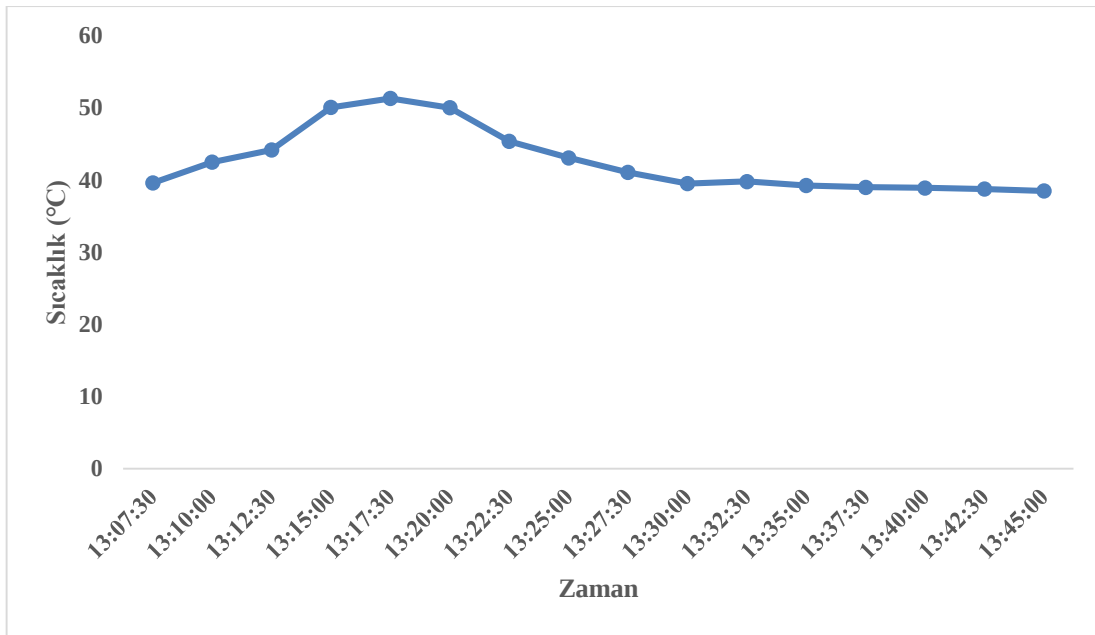


(a)



(b)

Şekil 54. 12705 serisi Peltier ve akış yönüne paralel (0°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıkları 8. kademe soğutma deneyi (devamı)

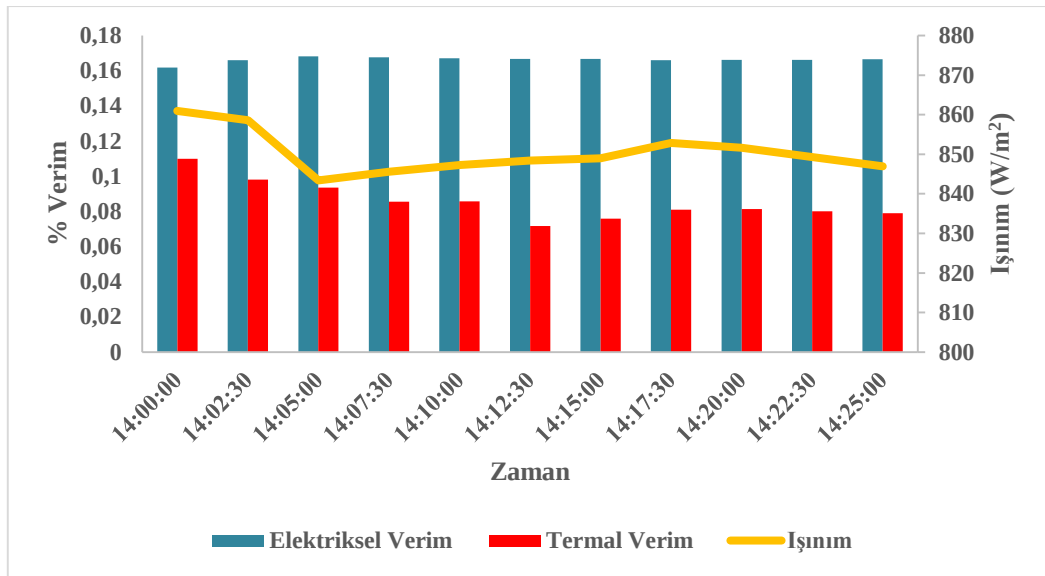


(c)

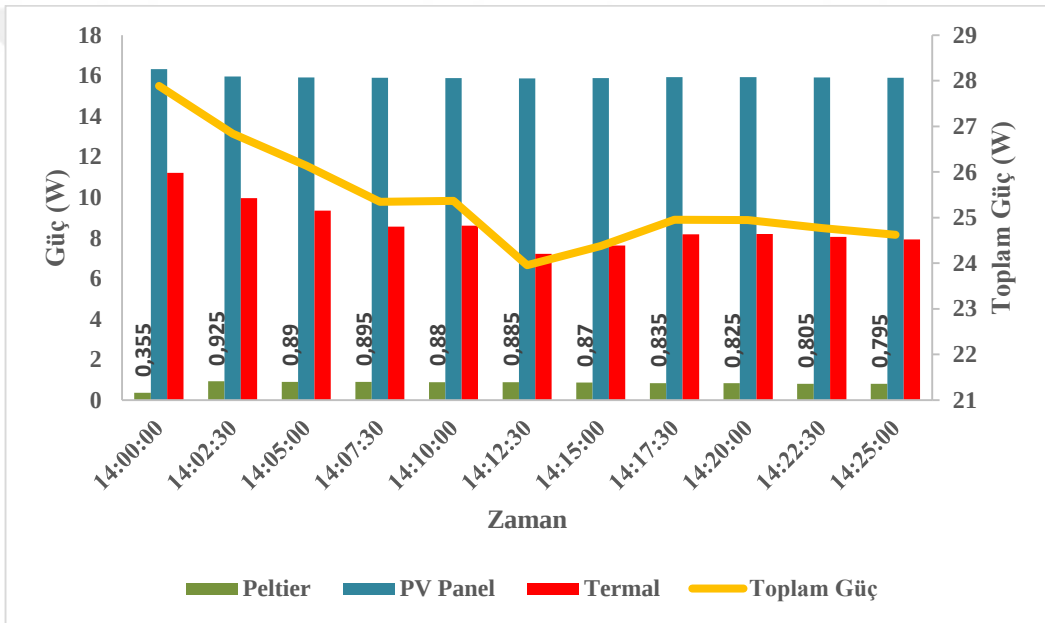
Şekil 55. 12705 serisi Peltier ve akış yönüne paralel (0°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıkları 8. kademe soğutma deneyi

Şekil 52.c'de panelin, 12705 serisi Peltier ve akış yönüne paralel (0°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıklar ile 8. kademede soğutulmasını gösteren Sıcaklık-Zaman grafiği verilmiştir. Panel sıcaklığı 13:17'de $51,3^\circ\text{C}$ 'ye ulaştıktan sonra fan çalıştırılmış ve 13:45'e kadar soğutulmuştur. Sıcaklık bu noktada $38,49^\circ\text{C}$ 'nin daha fazla altına düşmediği için fan kapatılmıştır. Soğutma süresi yaklaşık 28 dakika sürmüştür ve panel sıcaklığı $12,81^\circ\text{C}$ düşmüştür. Bu süre boyunca sistemin zamana bağlı Işınım-Verim grafiği **Şekil 52.a'**da gösterilmiştir. Elektriksel verim fan açılmadan hemen önce %16,3 olarak hesaplanmış, soğutma sırasında %17 seviyesine kadar yükselmiş ve yaklaşık %4,28'lik bir artış meydana gelmiştir. Fan açıldıktan sonra kontrol hacmindeki ısı dışarıya atılarak sıcaklık farkı oluşmuştur fakat zamanla ısı kontrol hacmi içerisinde kalarak ısı dengesi sağlanmıştır. Başlangıçta %23,8 olan termal verim %15,4'e kadar düşmüştür. Soğutma süresi boyunca termal verim ortalama %17,9 olarak hesaplanmıştır. **Şekil 52.b'**de ise zamana bağlı Toplam Güç-Zaman grafiği gösterilmiştir. Peltierin gücü, fan açılmadan hemen önce 0,42 W olarak ölçülmüş ve soğutma sırasında 1,13 W'a kadar çıkarak %62,83'lük bir artış meydana gelmiştir. Panel gücü ise fan açılmadan hemen önce 16,58 W olarak ölçülmüş, soğutma sırasında 16,65 W'a kadar çıkarak %0,42'lik bir artış gerçekleşmiştir. Soğutma süresi boyunca termal güç, ortalama 19,38 W toplam güç, ortalama 36,74 W olarak hesaplanmıştır.

12705 serisi Peltier ve akış yönüne paralel (0°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıklarını kullanıldığı 8. kademe soğutma deneylerinden sonra, 6. kademe soğutma deneylerine geçilmiştir.

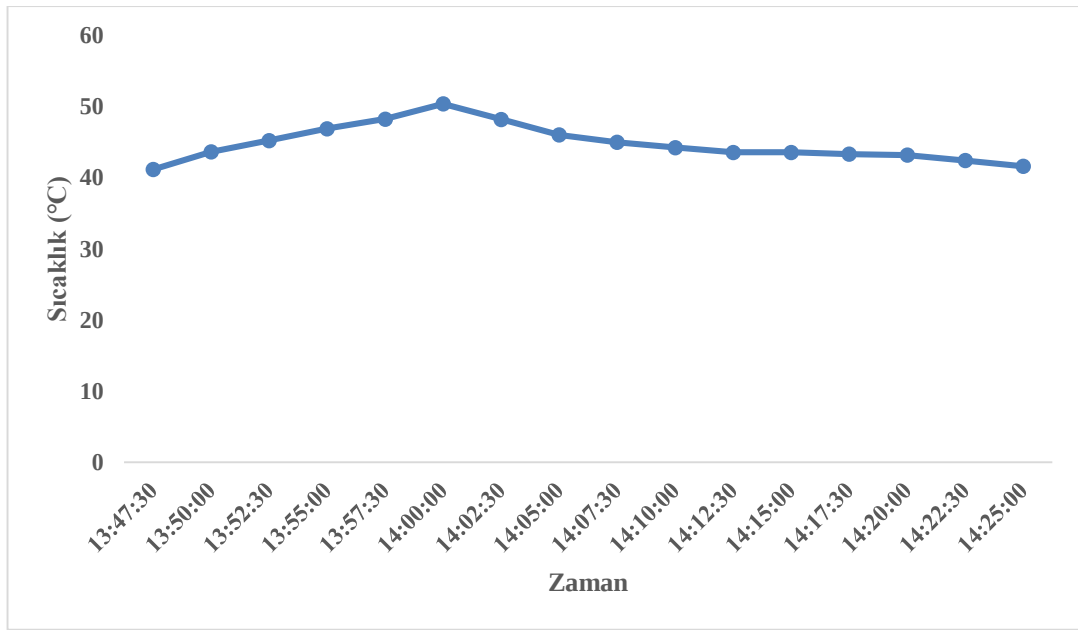


(a)



(b)

Şekil 56. 12705 serisi Peltier ve akış yönüne paralel (0°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıkları 6. kademe soğutma deneyi (devamı)

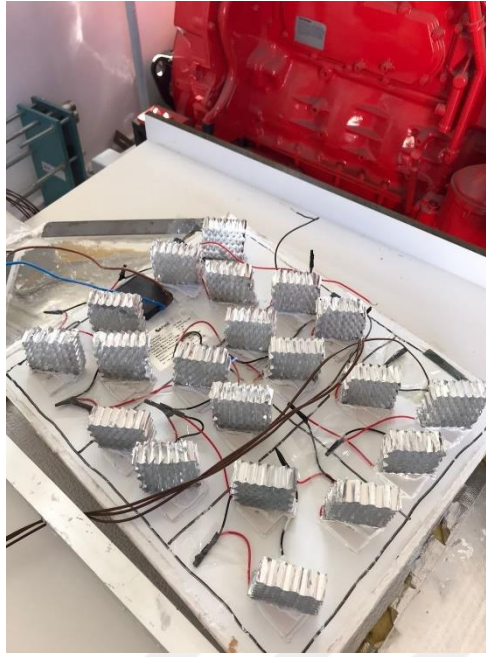


(c)

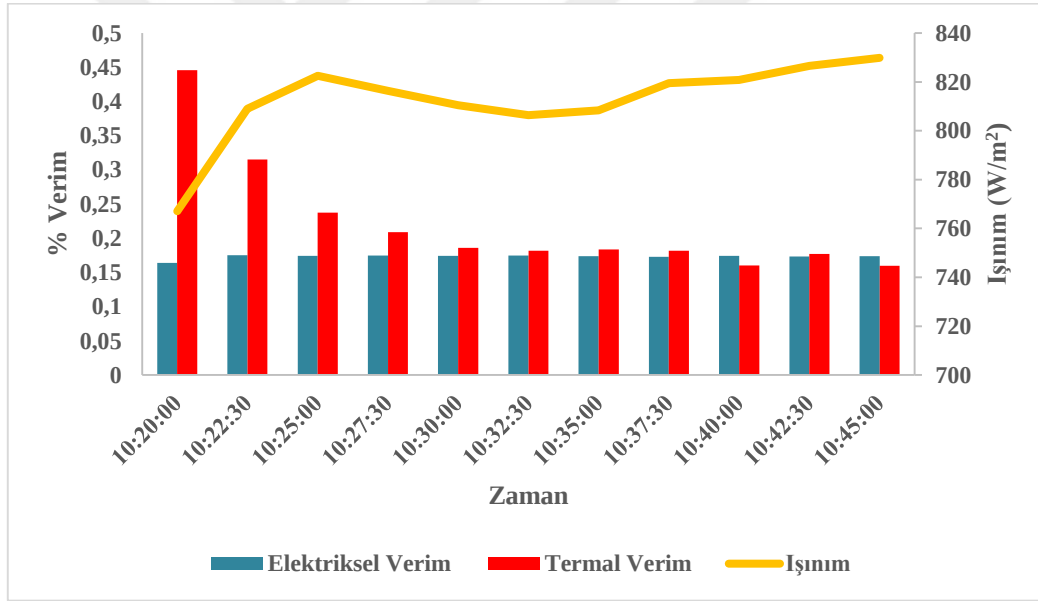
Şekil 57. 12705 serisi Peltier ve akış yönüne paralel (0°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıkları 6. kademe soğutma deneyi

Şekil 53.c'de panelin, 12705 serisi Peltier ve akış yönüne paralel (0°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıklar ile 6. kademedeki soğutulmasını gösteren Sıcaklık-Zaman grafiği verilmiştir. Panel sıcaklığı 14:00'da $50,4^\circ\text{C}$ 'ye ulaştıktan sonra fan çalıştırılmış ve 14:25'ye kadar soğutulmuştur. Sıcaklık bu noktada $41,63^\circ\text{C}$ 'nin daha fazla altına düşmediği için fan kapatılmıştır. Soğutma süresi yaklaşık 18 dakika sürmüştür ve panel sıcaklığı $8,77^\circ\text{C}$ düşmüştür. Bu süre boyunca sistemin zamana bağlı Işınım-Verim grafiği **Şekil 53.a'**da gösterilmiştir. Elektriksel verim fan açılmadan hemen önce %16,5 olarak hesaplanmış, soğutma sırasında %16,8 seviyesine kadar yükselmiş ve yaklaşık %1,96'lık bir artış meydana gelmiştir. Fan açıldıktan sonra termal verim %10,99 seviyelerinden, ısı atıldıkça %7,8'e kadar düşmüştür. Debinin düşük olması sıcaklık farkında büyük bir değişim meydana getirmemiştir. Soğutma süresi boyunca ortalama termal verim %8,5 hesaplanmıştır. **Şekil 53.b'**de ise zamana bağlı Toplam Güç-Zaman grafiği gösterilmiştir. Peltierin gücü, fan açılmadan hemen önce 0,4 W olarak ölçülmüş ve soğutma sırasında 0,925 W'a kadar çıkarak %56,75'lik bir artış meydana gelmiştir. Panel gücü ise fan açılmadan hemen önce 16,24 W olarak ölçülmüş, soğutma sırasında 16,32 W'a kadar çıkarak %0,49'luk bir artış gerçekleşmiştir. Soğutma süresi boyunca termal güç, ortalama 8,62 W toplam güç, ortalama 25,38 W olarak hesaplanmıştır.

Daha sonra kanatçıklar **Şekil 54'**te görüldüğü gibi akış yönüne çapraz (45°) ile yerleştirilmiş ve soğutma deneyleri bu dizilim için tekrarlanmıştır.

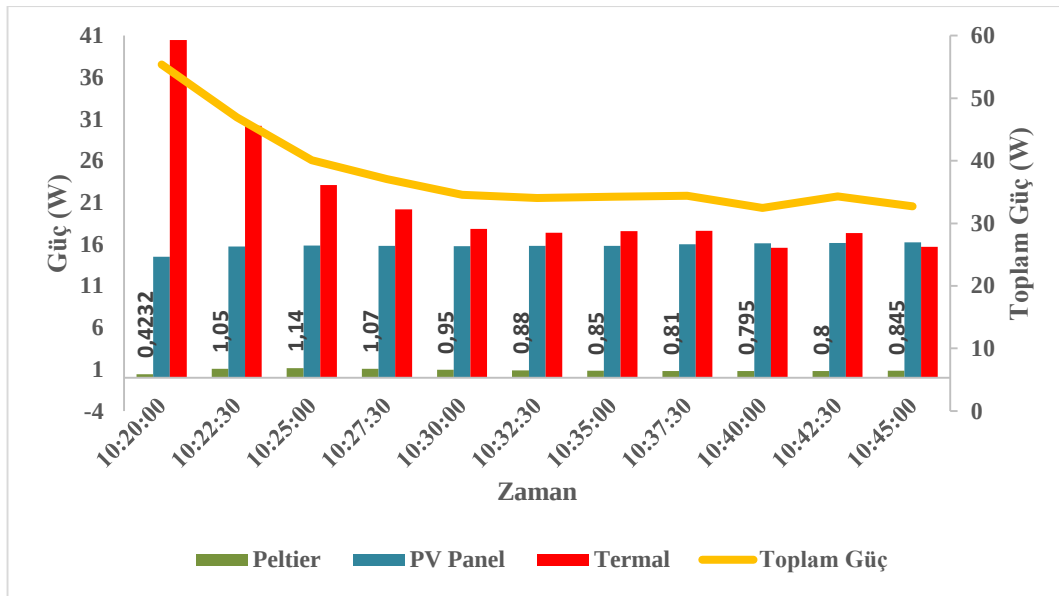


Şekil 58. 12705 serisi Peltier ve akış yönüne paralel (45°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıkları

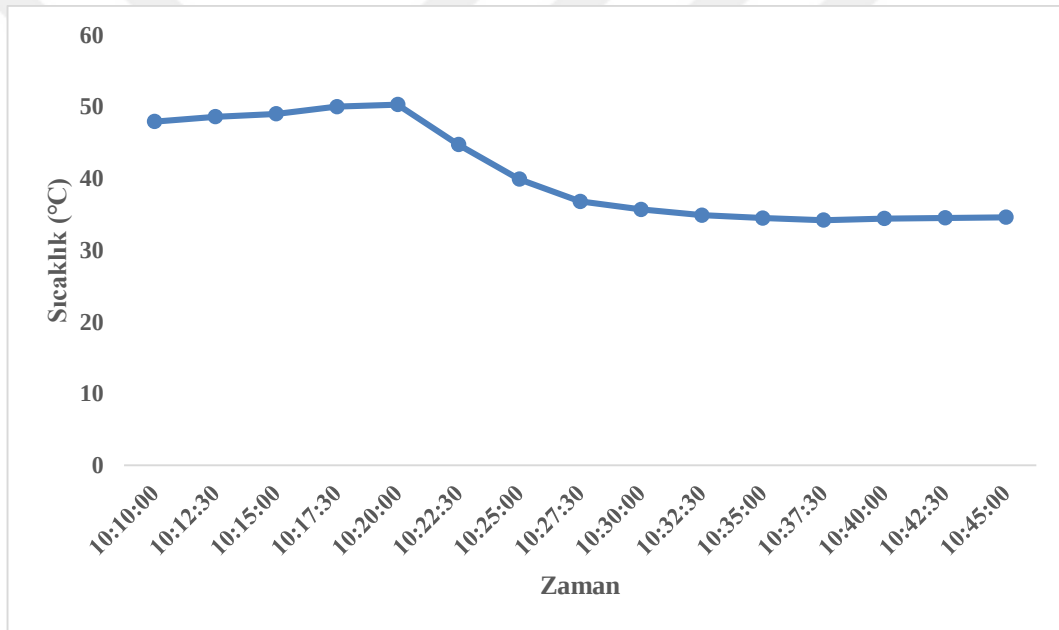


(a)

Şekil 59. 12705 serisi Peltier ve akış yönüne çapraz (45°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıkları 10. kademe soğutma deneyi (devamı)



(b)



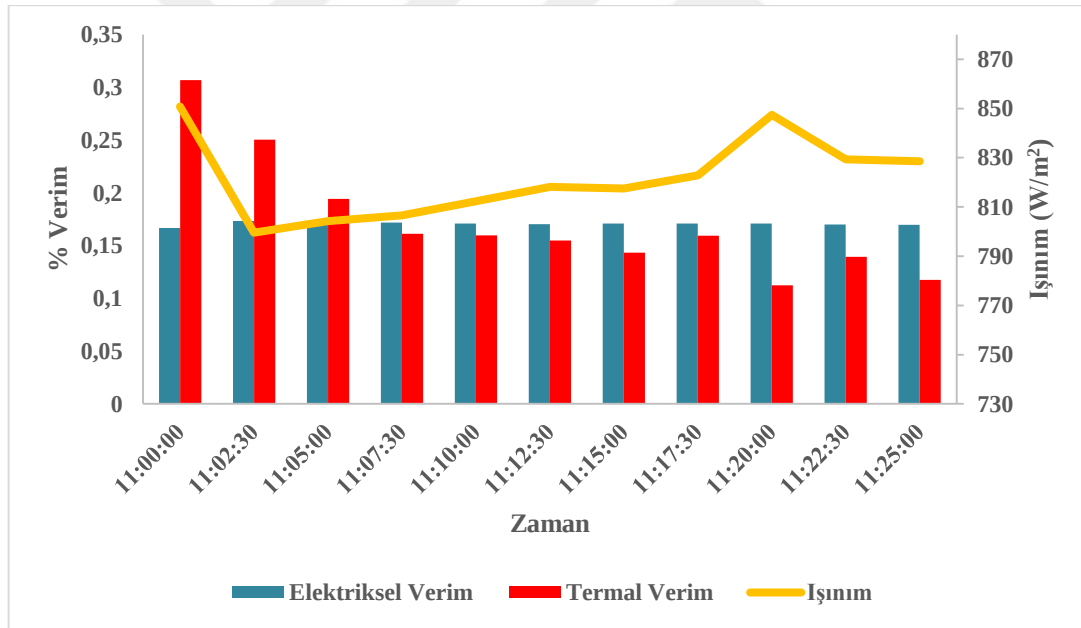
(c)

Şekil 60. 12705 serisi Peltier ve akış yönüne çapraz (45°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıkları 10. kademe soğutma deneyi

Şekil 55.c’de panelin, 12705 serisi Peltier ve akış yönüne çapraz (45°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıklar ile 10. kademede soğutulmasını gösteren Sıcaklık-Zaman grafiği verilmiştir. Panel sıcaklığı 10:22’de $50,31^\circ\text{C}$ ’ye ulaştıktan sonra fan çalıştırılmış ve 10:45’e kadar soğutulmuştur. Sıcaklık bu noktada $34,58^\circ\text{C}$ ’nin daha fazla altına düşmediği için fan kapatılmıştır. Soğutma süresi yaklaşık 23 dakika sürmüştür ve panel sıcaklığı $15,73^\circ\text{C}$ düşmüştür. Bu süre boyunca sistemin zamana bağlı Işınım-Verim grafiği Şekil 55.a’da gösterilmiştir. Elektriksel verim fan açılmadan hemen önce %16,4 olarak hesaplanmış, soğutma sırasında %17,5 seviyesine kadar yükselmiş ve yaklaşık %6,28’lik bir artış meydana gelmiştir.

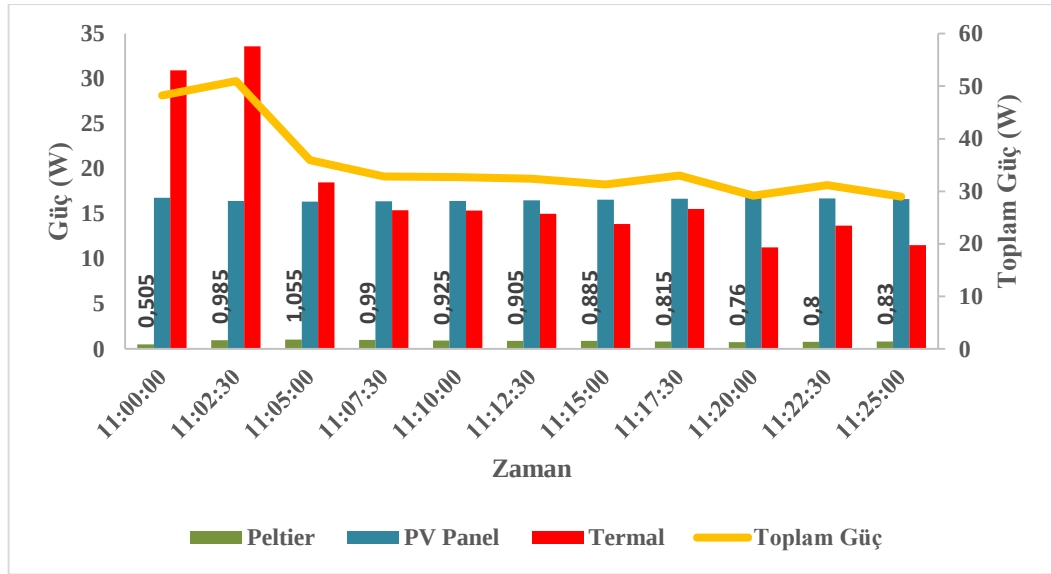
Fan açıldıktan sonra termal verim %44,6 seviyelerinden, zamanla kontrol hacminden ısınının atılmasıyla beraber sıcaklık farkının azalıp denge haline gelmesiyle %15,9'a kadar düşmüştür. Debinin yüksek olması, başlangıçta sıcaklık farkının da fazla olmasına sebep olmuştur. Soğutma süresi boyunca ortalama termal verim %22,1 olarak hesaplanmıştır. **Şekil 55.b**'de ise zamana bağlı Toplam Güç-Zaman grafiği gösterilmiştir. Peltierin gücü, fan açılmadan hemen önce 0,405 W olarak ölçülmüş ve soğutma sırasında 1,14 W'a kadar çıkarak %64,47'lik bir artış meydana gelmiştir. Panel gücü ise fan açılmadan hemen önce 14,5 W olarak ölçülmüş, soğutma sırasında 16,21 W'a kadar çıkarak %10,55'lik bir artış gerçekleşmiştir. Soğutma süresi boyunca termal güç, ortalama 21,17 W toplam güç, soğutma süresi boyunca ortalama 37,83 W olarak hesaplanmıştır.

12705 serisi Peltier ve akış yönüne çapraz (45°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıklarını kullanıldığı 10. kademe soğutma deneylerinden sonra, 8. kademe soğutma deneylerine geçilmiştir.

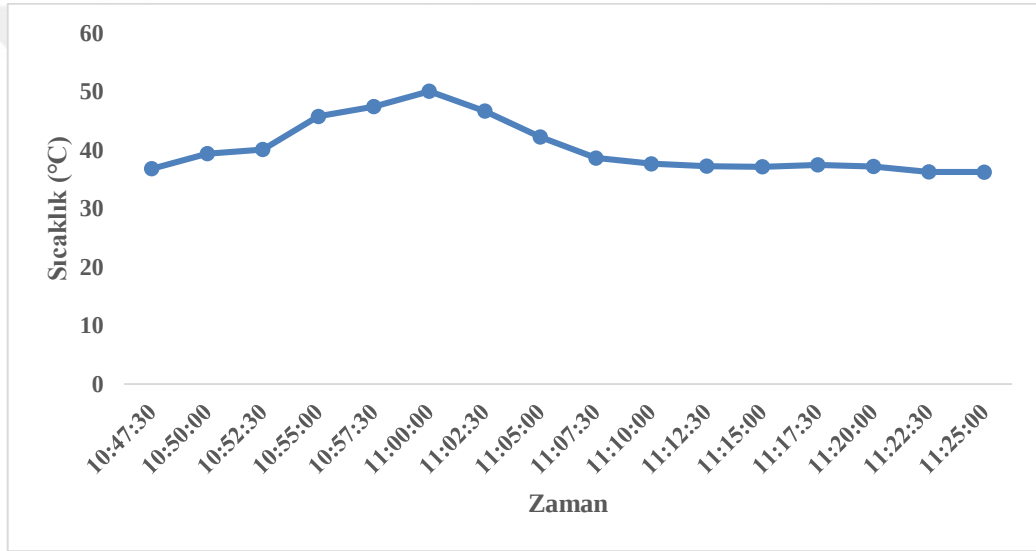


(a)

Şekil 61. 12705 serisi Peltier ve akış yönüne çapraz (45°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıkları 8. kademe soğutma deneyi (devamı)



(b)



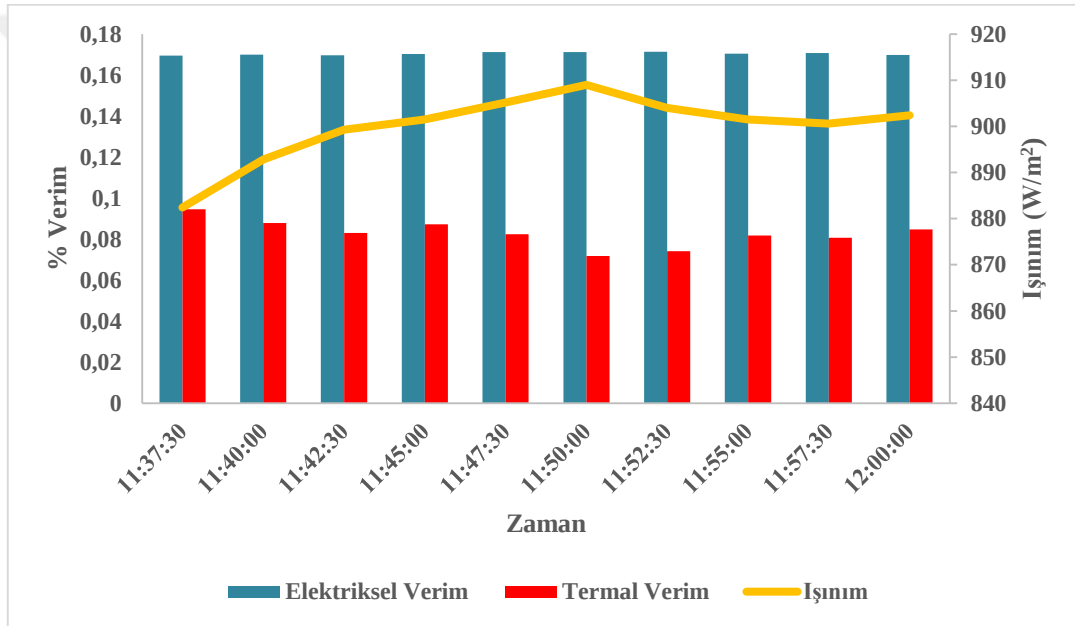
(c)

Şekil 62. 12705 serisi Peltier ve akış yönüne çapraz (45°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıkları 8. kademe soğutma deneyi

Şekil 56.c’de panelin, 12705 serisi Peltier ve akış yönüne çapraz (45°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıklar ile 8. kademedeki soğutulmasını gösteren Sıcaklık-Zaman grafiği verilmiştir. Panel sıcaklığı 11:00’da $50,06^\circ\text{C}$ ’ye ulaştıktan sonra fan çalıştırılmış ve 11:25’e kadar soğutulmuştur. Sıcaklık bu noktada $36,24^\circ\text{C}$ ’nin daha fazla altına düşmediği için fan kapatılmıştır. Soğutma süresi yaklaşık 25 dakika sürmüş ve panel sıcaklığı $13,82^\circ\text{C}$ düşmüştür. Bu süre boyunca sistemin zamana bağlı Işınım-Verim grafiği Şekil 56.a’da gösterilmiştir. Elektriksel verim fan açılmadan hemen önce %16,78 olarak ölçülmüş, soğutma sırasında %17,34 seviyesine kadar yükselmiş ve yaklaşık %3,23’lük bir artış meydana gelmiştir. Fan açıldıktan sonra termal verim %30,67 seviyelerinden, zamanla kontrol hacminden ısıнын atılmasıyla beraber sıcaklık farkının azalıp denge haline gelmesiyle %11,75’e

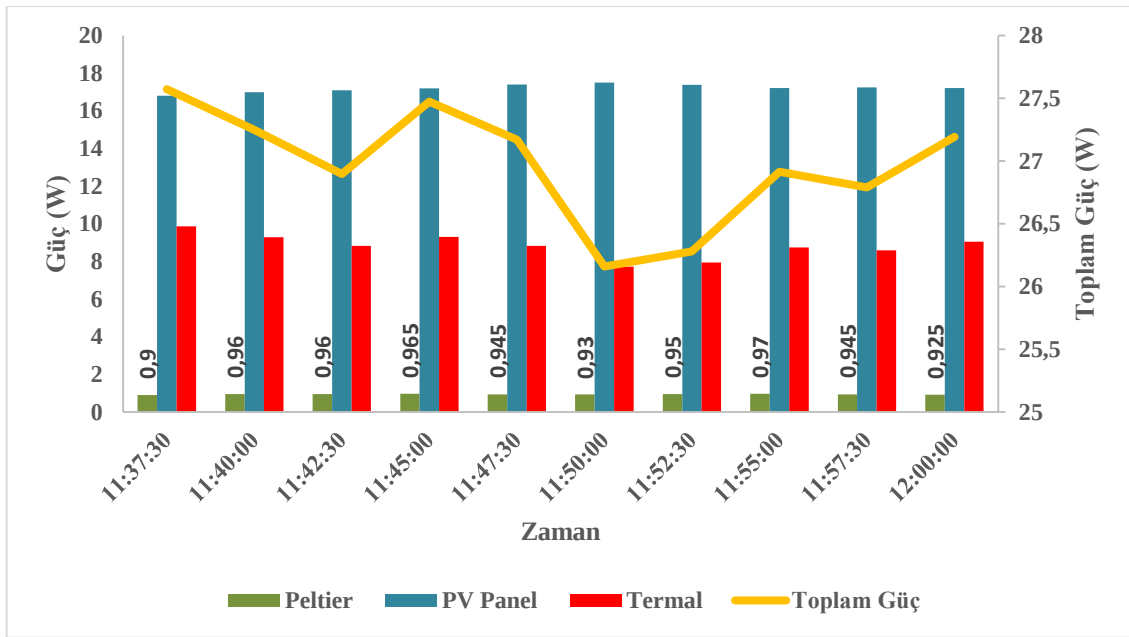
kadar düşmüştür. Debinin yüksek olması, başlangıçta sıcaklık farkının da fazla olmasına sebep olmuştur. Soğutma süresi boyunca ortalama termal verim %17,2 olarak hesaplanmıştır. **Şekil 56.b**'de ise zamana bağlı Toplam Güç-Zaman grafiği gösterilmiştir. Peltierin gücü, fan açılmadan hemen önce 0,55 W olarak ölçülmüş ve soğutma sırasında 1,055 W'a kadar çıkarak %47,86'lık bir artış meydana gelmiştir. Panel gücü ise fan açılmadan hemen önce 16,33 W olarak ölçülmüş, soğutma sırasında 16,795 W'a kadar çıkarak %2,77'lik bir artış gerçekleşmiştir. Soğutma süresi boyunca termal güç, ortalama 17,69 W toplam güç, ortalama 35,15 W olarak hesaplanmıştır.

12705 serisi Peltier ve akış yönüne çapraz (45°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıklarını kullandığı 8. kademe soğutma deneylerinden sonra, 6. kademe soğutma deneylerine geçilmiştir.

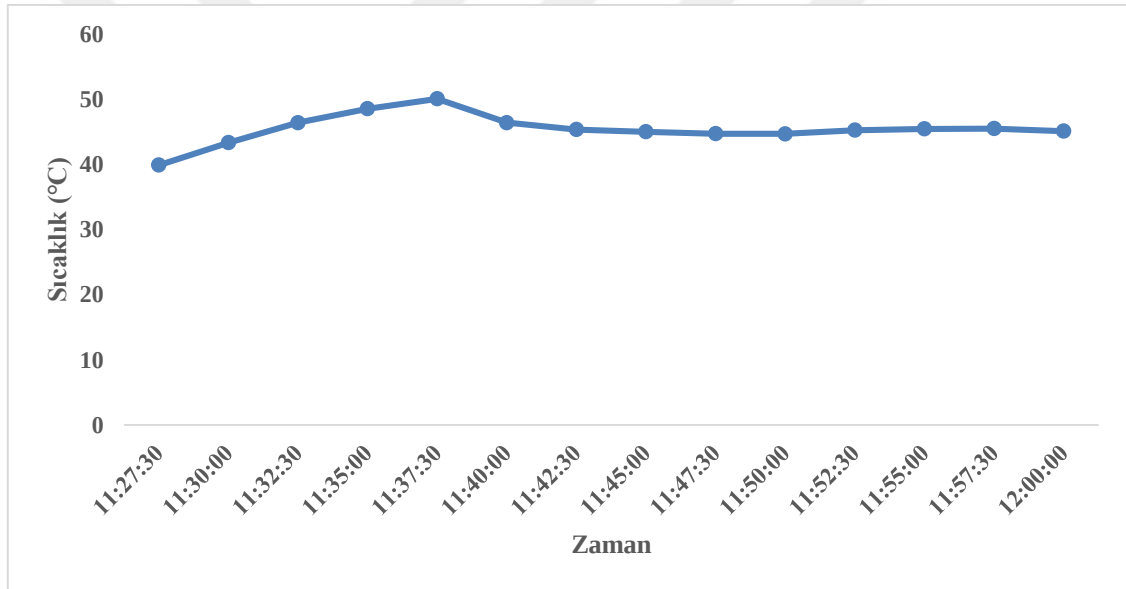


(a)

Şekil 63. 12705 serisi Peltier ve akış yönüne çapraz (45°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıkları 6. kademe soğutma deneyi (devamı)



(b)



(c)

Şekil 64. 12705 serisi Peltier ve akış yönüne çapraz (45°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıkları 6. kademe soğutma deneyi

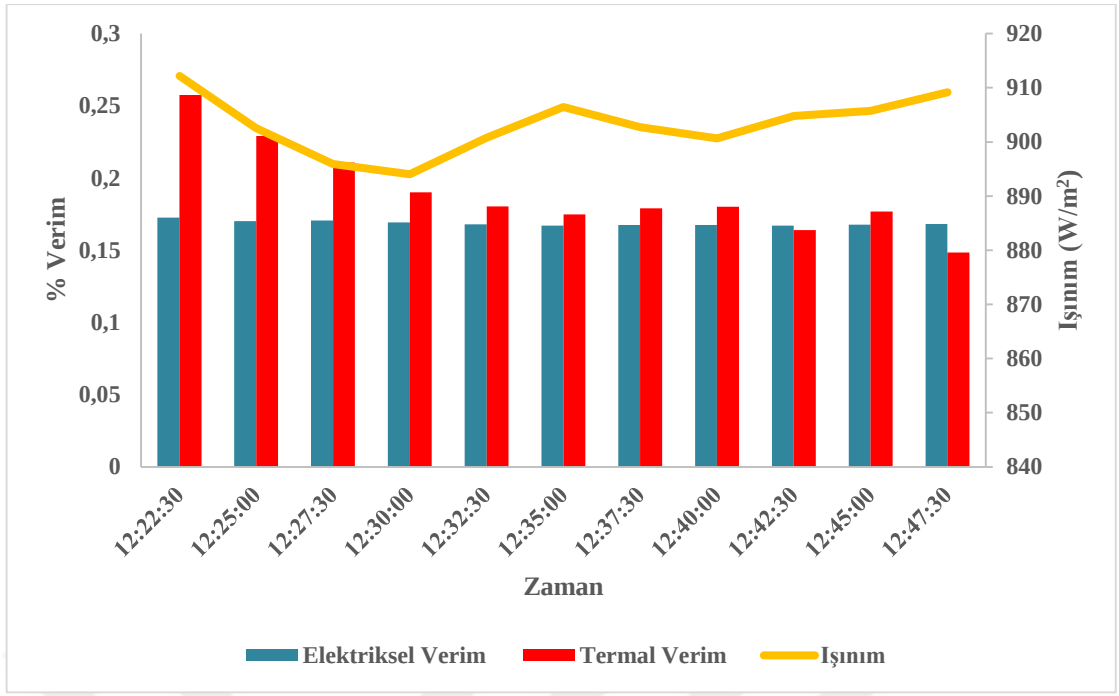
Şekil 57.c’de panelin, 12705 serisi Peltier ve akış yönüne çapraz (45°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıklar ile 6. kademe soğutulmasını gösteren Sıcaklık-Zaman grafiği verilmiştir. Panel sıcaklığı 11:40’ta $50,07^\circ\text{C}$ ’ye ulaştıktan sonra fan çalıştırılmış ve 12:00’a kadar soğutulmuştur. Sıcaklık bu noktada $45,11^\circ\text{C}$ ’nin daha fazla altına düşmediği için fan kapatılmıştır. Soğutma süresi yaklaşık 20 dakika sürmüş ve panel sıcaklığı $4,96^\circ\text{C}$ düşmüştür. Bu süre boyunca sistemin zamana bağlı Işınım-Verim grafiği Şekil 57.a’da gösterilmiştir. Elektriksel verim fan açılmadan hemen önce %16,51 olarak hesaplanmış, soğutma sırasında %17,13 seviyesine kadar yükselmiş ve yaklaşık %3,62’lik bir artış meydana

gelmiştir. Fan açıldıktan sonra termal verim %9,44 seviyelerinden fan kapatılıncaya kadar %8,4'e kadar düşmüştür. Debinin düşük olması kontrol hacmindeki ısının tamamının atılması için yeterli olmamış bu da sıcaklık farkını çok etkilememiştir. Soğutma süresi boyunca ortalama termal verim %8,2 hesaplanmıştır **Şekil 57.b**'de ise zamana bağlı Toplam Güç-Zaman grafiği gösterilmiştir. Peltierin gücü, fan açılmadan hemen önce 0,47 W olarak ölçülmüş ve soğutma sırasında 0,97 W'a kadar çıkarak %51,54'lük bir artış meydana gelmiştir. Panel gücü ise fan açılmadan hemen önce 16,71 W olarak ölçülmüş, soğutma sırasında 17,5 W'a kadar çıkarak %4,51'lik bir artış gerçekleşmiştir. Soğutma süresi boyunca termal güç, ortalama 8,82 W toplam güç, ortalama 26,96 W olarak hesaplanmıştır.

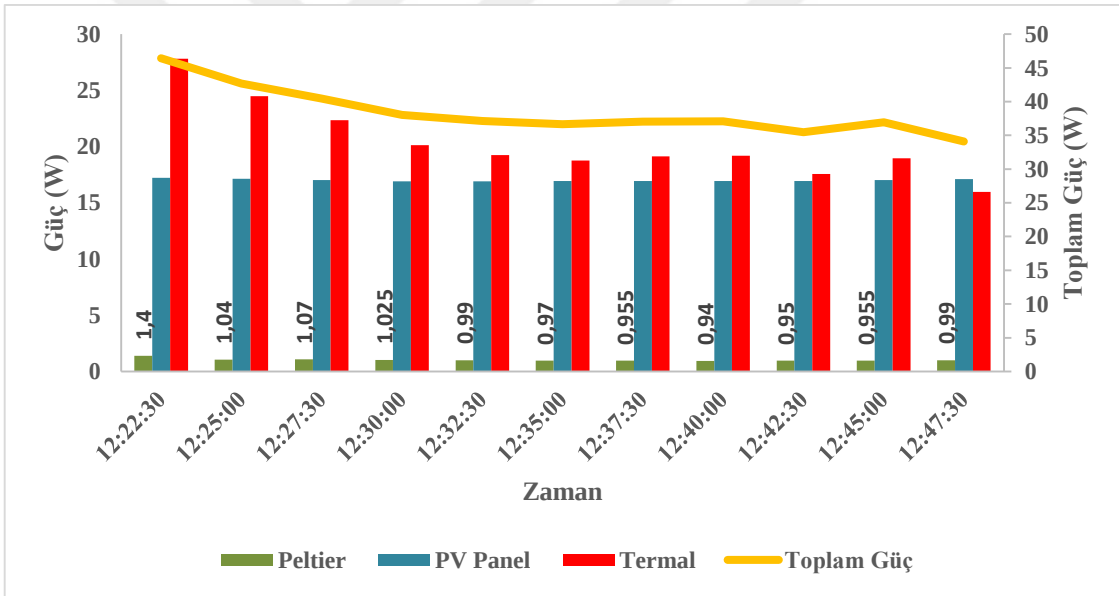
Son olarak **Şekil 58**'de akış yönüne dik (90°) ile yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıkları için soğutma deneyleri yapılarak 12705 serisi Peltier için tüm soğutma deneyleri tamamlanmıştır.



Şekil 65.12705 serisi Peltier ve akış yönüne dik (90°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıkları

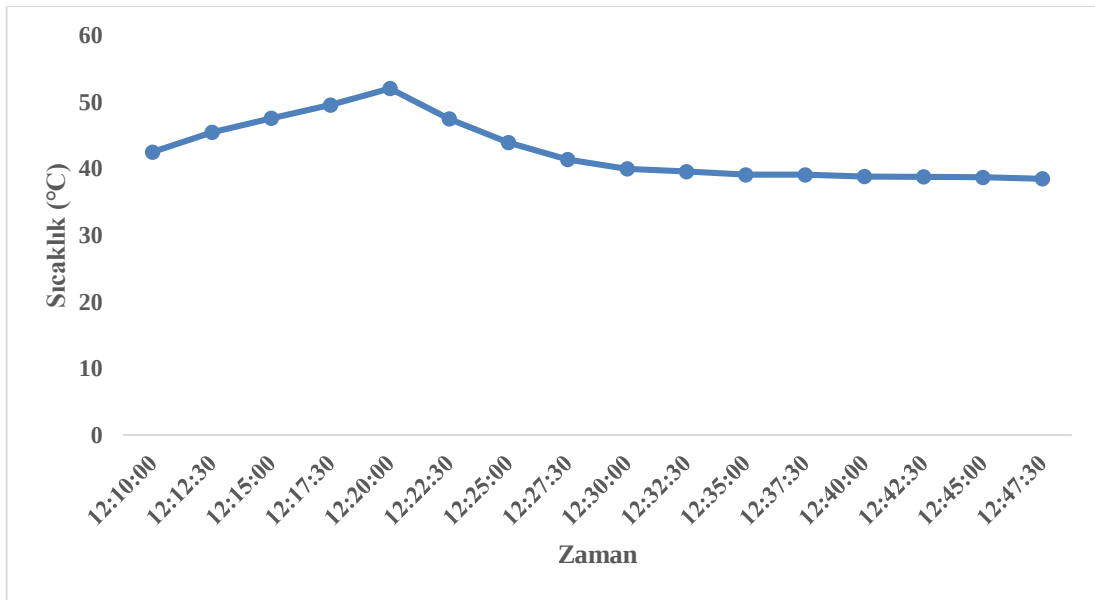


(a)



(b)

Şekil 66. 12705 serisi Peltier ve akış yönüne dik (90°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıkları 10. kademe soğutma deneyi (devamı)

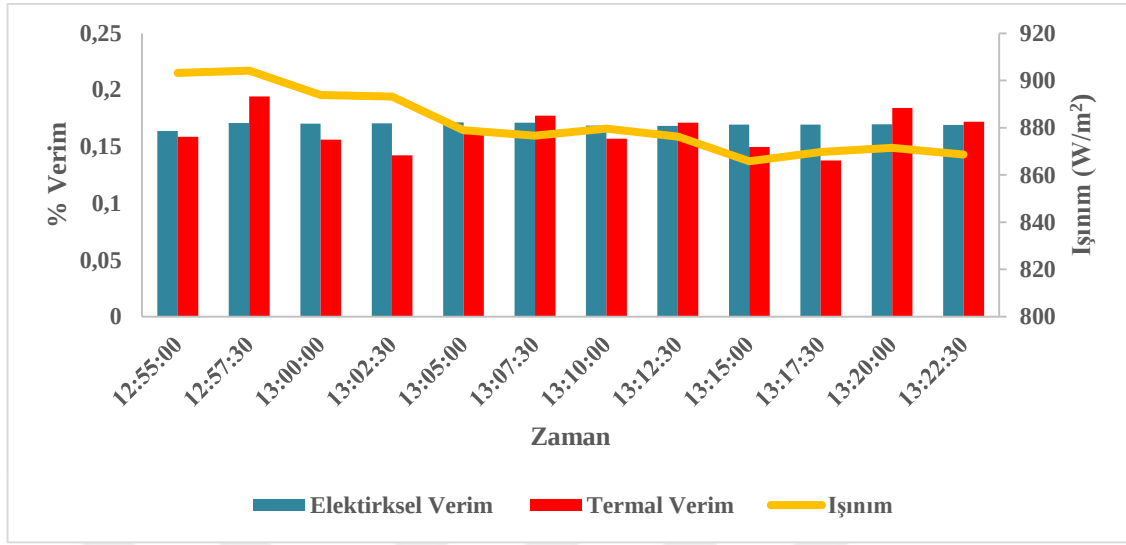


(c)

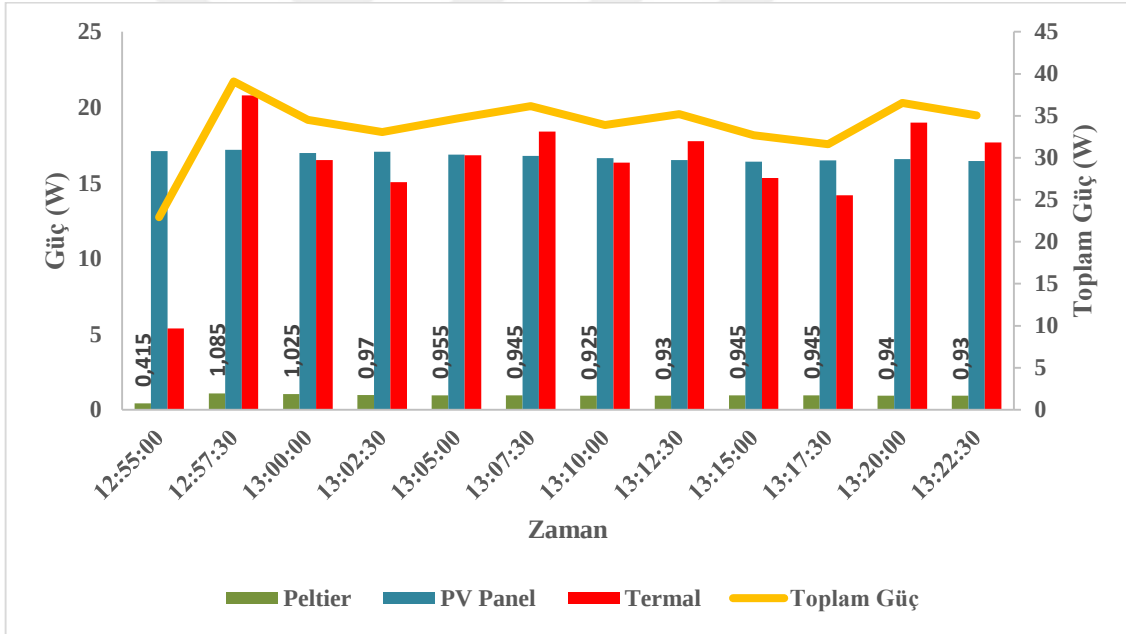
Şekil 67. 12705 serisi Peltier ve akış yönüne dik (90°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıkları 10. kademe soğutma deneyi

Şekil 59.c'de panelin, 12705 serisi Peltier ve akış yönüne dik (90°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıklar ile 10. kademede soğutulmasını gösteren Sıcaklık-Zaman grafiği verilmiştir. Panel sıcaklığı 12,20'de $52,07^\circ\text{C}$ 'ye ulaştıktan sonra fan çalıştırılmış ve 12,47'ye kadar soğutulmuştur. Sıcaklık bu noktada $38,49^\circ\text{C}$ 'nin daha fazla altına düşmediği için fan kapatılmıştır. Soğutma süresi yaklaşık 27 dakika sürmüş ve panel sıcaklığı $13,58^\circ\text{C}$ düşmüştür. Bu süre boyunca sistemin zamana bağlı Işınım-Verim grafiği **Şekil 59.a'**da gösterilmiştir. Elektriksel verim fan açılmadan hemen önce %16,25 olarak hesaplanmış, soğutma sırasında %17,25 seviyesine kadar yükselmiş ve yaklaşık %5,8'lik bir artış meydana gelmiştir. Fan açıldıktan sonra termal verim %25,7 seviyelerinden, zamanla kontrol hacminden ısıнын atılmasıyla beraber sıcaklık farkının azalıp denge haline gelmesiyle %14,8'e kadar düşmüştür. Debinin yüksek olması, başlangıçta sıcaklık farkının da fazla olmasına sebep olmuştur. Soğutma süresi boyunca ortalama termal verim %19 olarak hesaplanmıştır. **Şekil 59.b'**de ise zamana bağlı Toplam Güç-Zaman grafiği gösterilmiştir. Peltierin gücü, fan açılmadan hemen önce 0,4 W olarak ölçülmüş ve soğutma sırasında 1,4 W'a kadar çıkarak %71,83'lük bir artış meydana gelmiştir. Panel gücü ise fan açılmadan hemen önce 17,22 W olarak ölçülmüş, soğutma sırasında 17,23 W'a kadar çıkarak %0,05'lik bir artış gerçekleşmiştir. Kanatçıklar panel sıcaklığını çekmesine rağmen ısı kontrol hacmi içerisinde kalmış ve panelin gücünü etkilemiştir. Soğutma süresi boyunca termal güç, ortalama 20,33 W toplam güç, ortalama 38,36 W olarak hesaplanmıştır.

12705 serisi Peltier ve akış yönüne dik (90°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıklarını kullanıldığı 10. kademe soğutma deneylerinden sonra, 8. kademe soğutma deneylerine geçilmiştir.

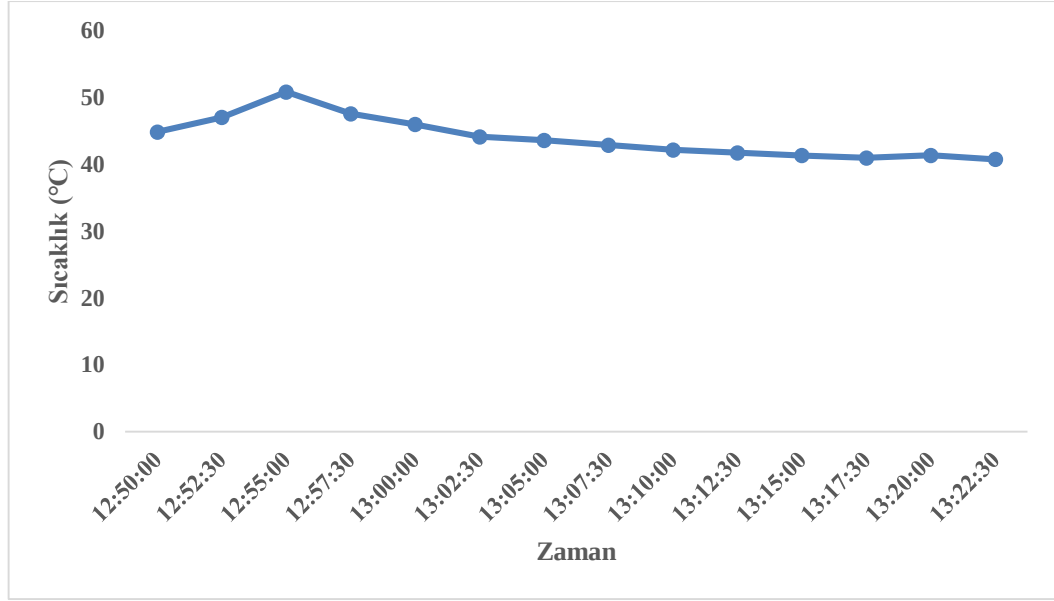


(a)



(b)

Şekil 68. 12705 serisi Peltier ve akış yönüne dik (90°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıkları 8. kademe soğutma deneyi (devamı)

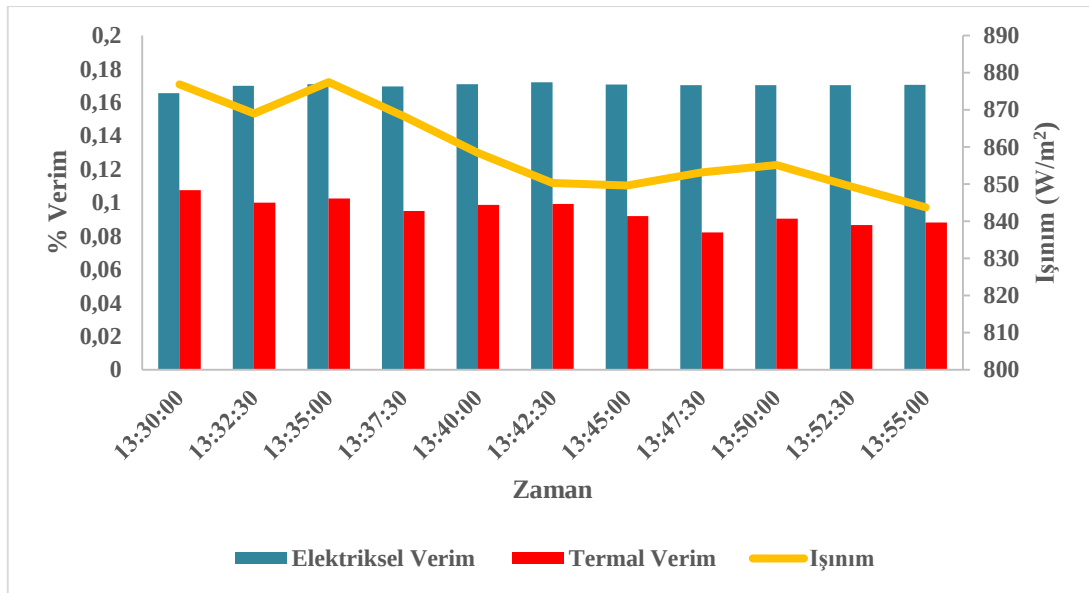


(c)

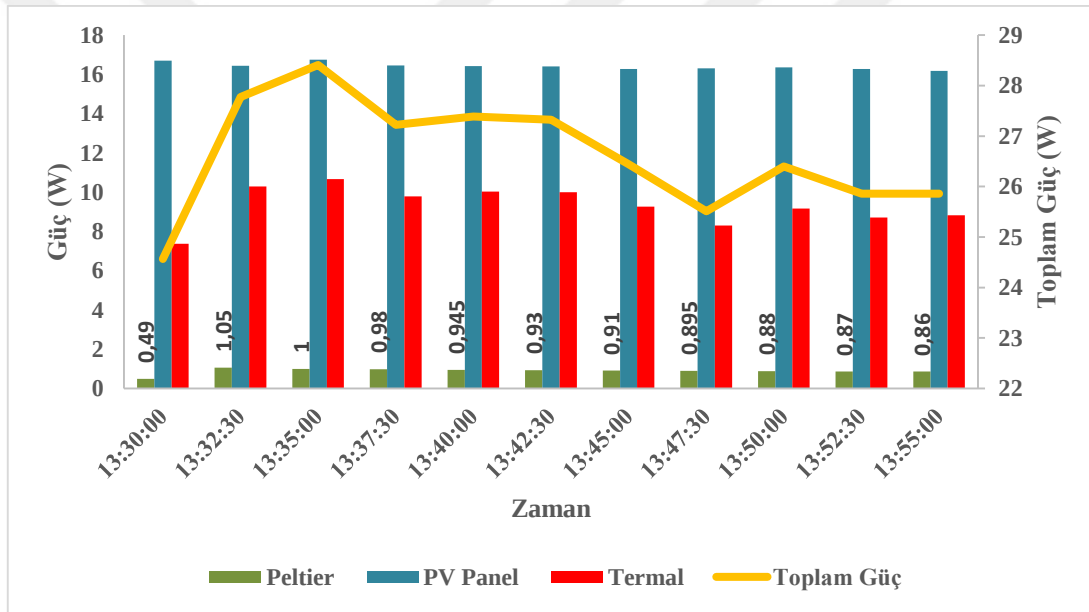
Şekil 69. 12705 serisi Peltier ve akış yönüne dik (90°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıkları 8. kademe soğutma deneyi

Şekil 60.c'de panelin, 12705 serisi Peltier ve akış yönüne dik (90°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıklar ile 8. kademede soğutulmasını gösteren Sıcaklık-Zaman grafiği verilmiştir. Panel sıcaklığı 12:55'te $50,81^\circ\text{C}$ 'ye ulaştıktan sonra fan çalıştırılmış ve 13:22'ye kadar soğutulmuştur. Sıcaklık bu noktada $40,74^\circ\text{C}$ 'nin daha fazla altına düşmediği için fan kapatılmıştır. Soğutma süresi yaklaşık 27 dakika sürmüş ve panel sıcaklığı $10,07^\circ\text{C}$ düşmüştür. Bu süre boyunca sistemin zamana bağlı Işınım-Verim grafiği **Şekil 60.a'**da gösterilmiştir. Elektriksel verim fan açılmadan hemen önce %16,38 olarak ölçülmüş, soğutma sırasında %17,13 seviyesine kadar yükselmiş ve yaklaşık %4,38'lük bir artış meydana gelmiştir. Debinin, ısıyı kontrol hacminden atmaya yeterli olmaması içeride ısının hapsolmesine neden olmuştur. Bu nedenle sıcaklık farklarında büyük bir değişim olmamış termal verimde önemli bir yükseliş meydana gelmemiştir. Soğutma süresi boyunca ortalama termal verim %16,3 hesaplanmıştır. **Şekil 60.b'**de ise zamana bağlı Toplam Güç-Zaman grafiği gösterilmiştir. Peltierin gücü, fan açılmadan hemen önce 0,485 W olarak ölçülmüş ve soğutma sırasında 1,085 W'a kadar çıkarak %55,3'lük bir artış meydana gelmiştir. Panel gücü ise fan açılmadan hemen önce 17,11 W olarak ölçülmüş, soğutma sırasında 17,2 W'a kadar çıkarak %0,52'lik bir artış gerçekleşmiştir. Soğutma süresi boyunca termal güç, ortalama 16,10 W toplam güç, ortalama 33,78 W olarak hesaplanmıştır.

12705 serisi Peltier ve akış yönüne dik (90°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıklarını kullanıldığı 8. kademe soğutma deneylerinden sonra, 6. kademe soğutma deneylerine geçilmiştir.

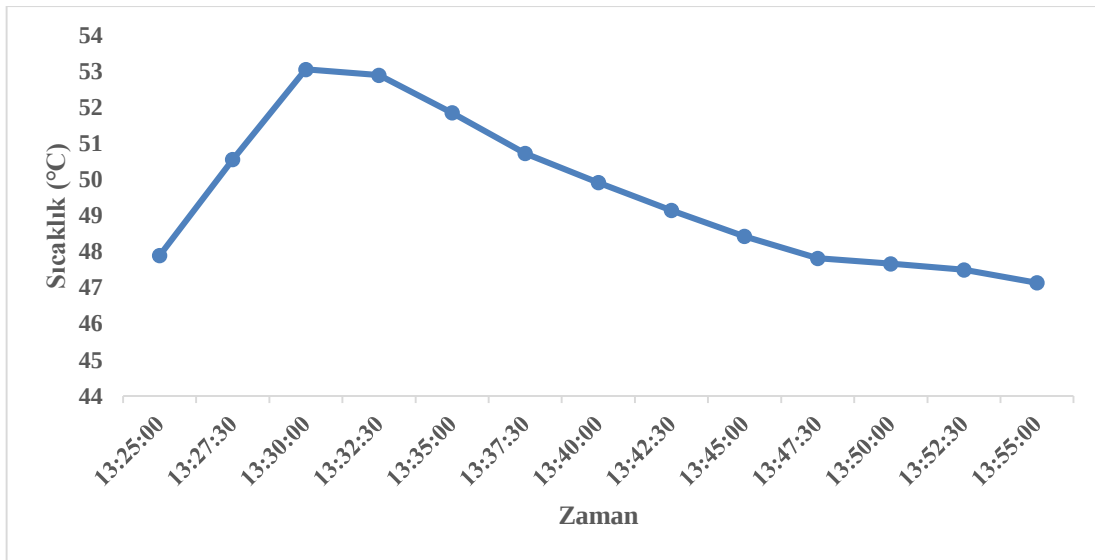


(a)



(b)

Şekil 70. 12705 serisi Peltier ve akış yönüne dik (90°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıkları 6. kademe soğutma deneyi (devamı)



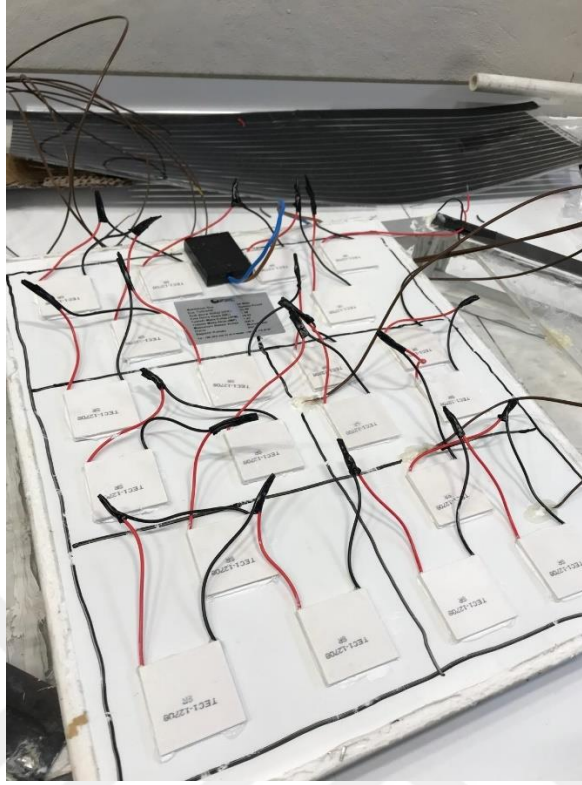
(c)

Şekil 71. 12705 serisi Peltier ve akış yönüne dik (90°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıkları 6. kademe soğutma deneyi

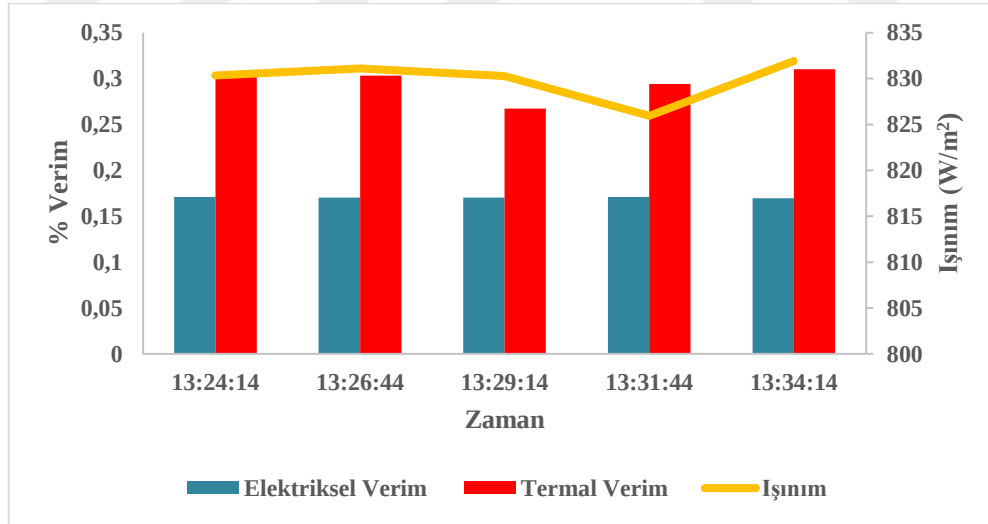
Şekil 61.c'de panelin, 12705 serisi Peltier ve akış yönüne dik (90°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıklar ile 6. kademede soğutulmasını gösteren Sıcaklık-Zaman grafiği verilmiştir. Panel sıcaklığı 13:30'da $53,06^\circ\text{C}$ 'ye ulaştıktan sonra fan çalıştırılmış ve 13:55'e kadar soğutulmuştur. Sıcaklık bu noktada $47,14^\circ\text{C}$ 'nin daha fazla altına düşmediği için fan kapatılmıştır. Soğutma süresi yaklaşık 25 dakika sürmüştür ve panel sıcaklığı $5,92^\circ\text{C}$ düşmüştür. Bu süre boyunca sistemin zamana bağlı Işınım-Verim grafiği **Şekil 61.a'**da gösterilmiştir. Elektriksel verim fan açılmadan hemen önce %16,79 olarak hesaplanmış, soğutma sırasında %17,21 seviyesine kadar yükselmiş ve yaklaşık %2,44'lük bir artış meydana gelmiştir. Debinin, ısıyı kontrol hacminden atmaya yeterli olmaması içeride ısının hapsolmesine neden olmuştur. Bu nedenle sıcaklık farklarında büyük bir değişim olmamış termal verimde önemli bir yükseliş meydana gelmemiştir. Soğutma süresi boyunca ortalama termal verim %9,4 hesaplanmıştır. **Şekil 61.b'**de ise zamana bağlı Toplam Güç-Zaman grafiği gösterilmiştir. Peltierin gücü, fan açılmadan hemen önce 0,405 W olarak ölçülmüş ve soğutma sırasında 1,05 W'a kadar çıkarak %61,43'lük bir artış meydana gelmiştir. Panel gücü ise fan açılmadan hemen önce 16,72 W olarak ölçülmüş, soğutma sırasında 16,75 W'a kadar çıkarak %0,18'lik bir artış gerçekleşmiştir. Soğutma süresi boyunca termal güç, ortalama 9,31 W toplam güç, ortalama 26,61 W olarak hesaplanmıştır.

İkinci aşamada ise Peltier olarak 12708 serisi Peltier kullanılmış, başlangıç olarak kanatçık kullanılmadan yalnızca hava yardımı ile soğutma yapılmış ayrıca Peltier ile güç elde edilmiştir. Daha sonraki deneylerde ise alüminyum bal peteği kanatçıkları kullanılarak yine

aynı dizilimlerde sistemin soğutma performansı incelenmiştir. Şekil 62’de 12708 serisi Peltierlerin panel alt yüzeyine dizilimleri gösterilmiştir.

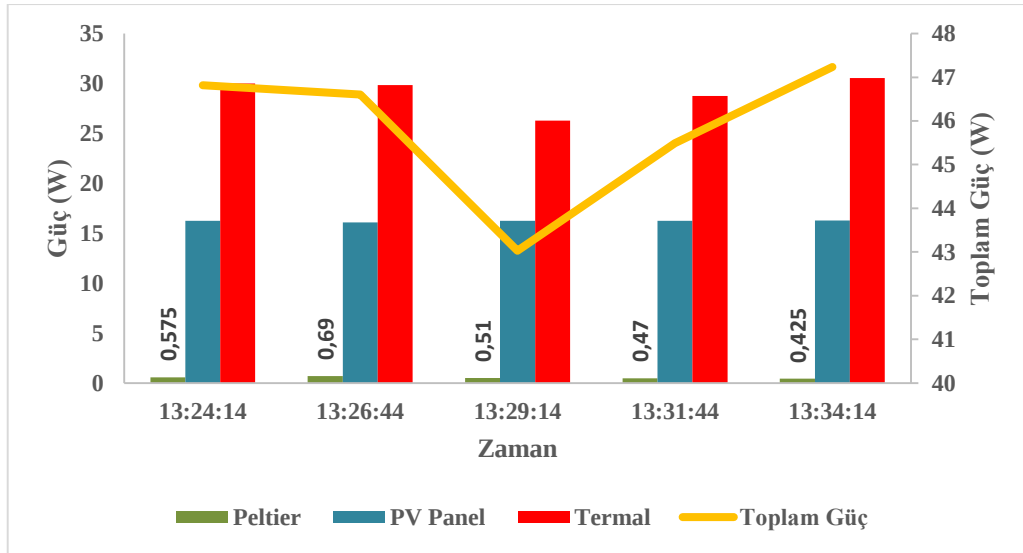


Şekil 72. 12708 serisi Peltierlerin dizilimi

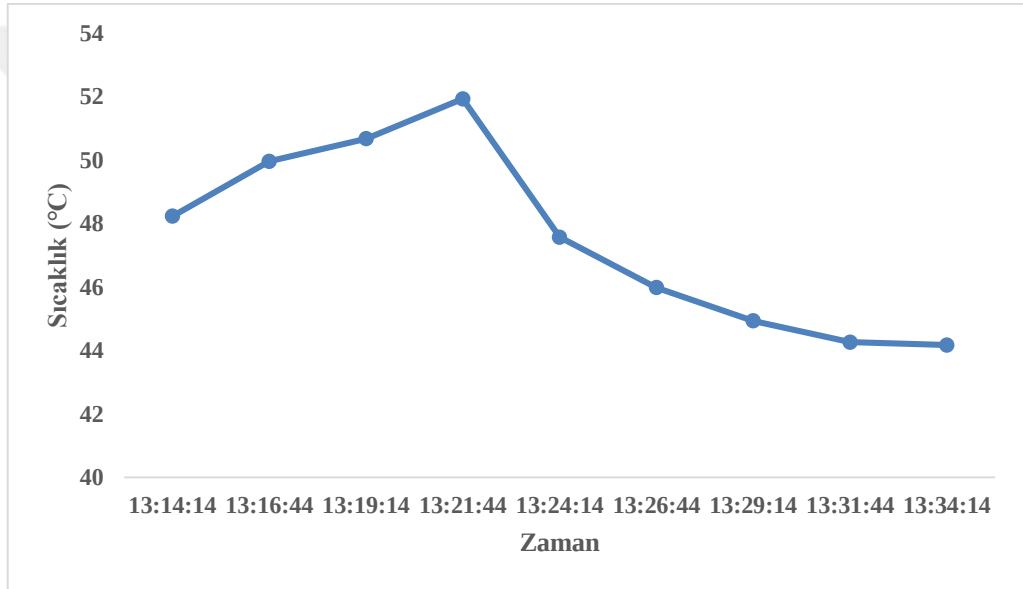


(a)

Şekil 73. 12708 serisi Peltier 10. kademe kanatçiksız soğutma (devamı)



(b)



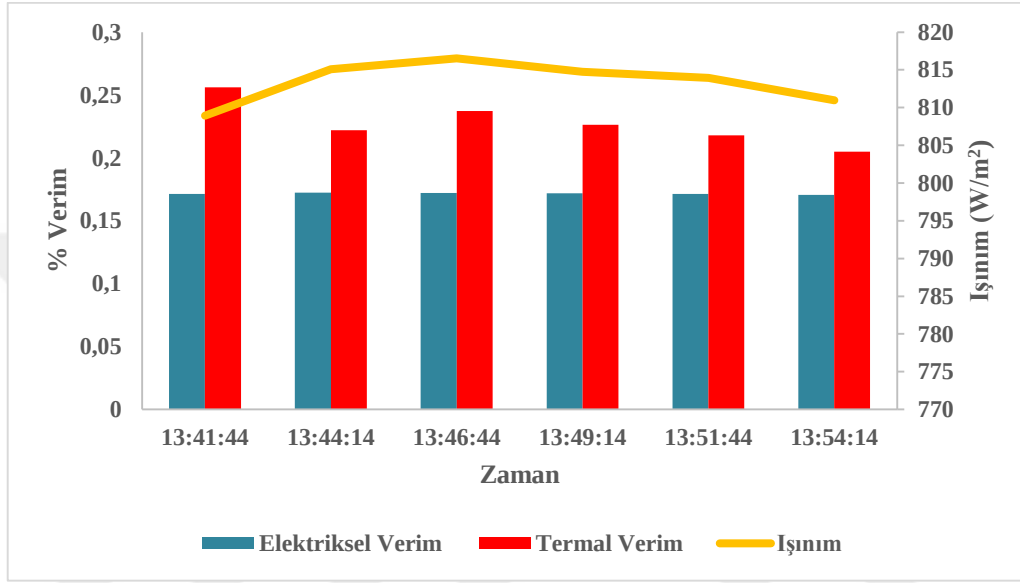
(c)

Şekil 74. 12708 serisi Peltier 10. kademe kanatçıksız soğutma

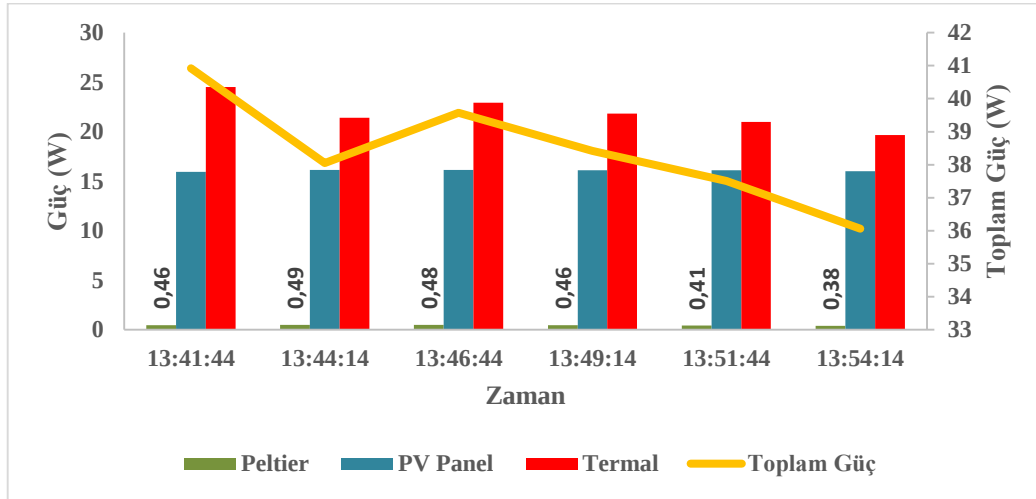
Şekil 63.c'de panelin, 12708 serisi Peltier ve alüminyum ısı alıcıları kullanılmadan 10. kademede soğutulmasını gösteren Sıcaklık-Zaman grafiği verilmiştir. Panel sıcaklığı 13:21'de 51,93°C'ye ulaştıktan sonra fan çalıştırılmış ve 13:34'e kadar soğutulmuştur. Sıcaklık bu noktada 44,17°C'nin daha fazla altına düşmediği için fan kapatılmıştır. Soğutma süresi yaklaşık 13 dakika sürmüştür ve panel sıcaklığı 7,76°C düşmüştür. Bu süre boyunca sistemin zamana bağlı Işınım-Verim grafiği **Şekil 63.a'**da gösterilmiştir. Elektriksel verim fan açılmadan hemen önce %16,32 olarak ölçülmüş, soğutma sırasında %17,10 seviyesine kadar yükselmiş ve yaklaşık %4,56'lük bir artış meydana gelmiştir. Debi yüksek olduğu için ısı kontrol hacminden kısa bir sürede dışarı atılmıştır. Bu süre ısıl dengenin sağlanması için yeterli olmuştur. Soğutma süresi boyunca ortalama termal verim %29,6 hesaplanmıştır. **Şekil 63.b'**de ise zamana bağlı Toplam

Güç-Zaman grafiği gösterilmiştir. Peltierin gücü, fan açılmadan hemen önce 0,374 W olarak ölçülmüş ve soğutma sırasında 0,69 W'a kadar çıkarak %45,8'lik bir artış meydana gelmiştir. Panel gücü ise fan açılmadan hemen önce 15,82 W olarak ölçülmüş, soğutma sırasında 16,27 W'a kadar çıkarak %2,76'lık bir artış gerçekleşmiştir. Soğutma süresi boyunca termal güç, ortalama 29,08 W toplam güç, ortalama 45,83 W olarak hesaplanmıştır.

12708 serisi Peltier 10. kademe kanatçıksız soğutma deneyinden sonra, 8. kademe kanatçıksız soğutma deneyine geçilmiştir.

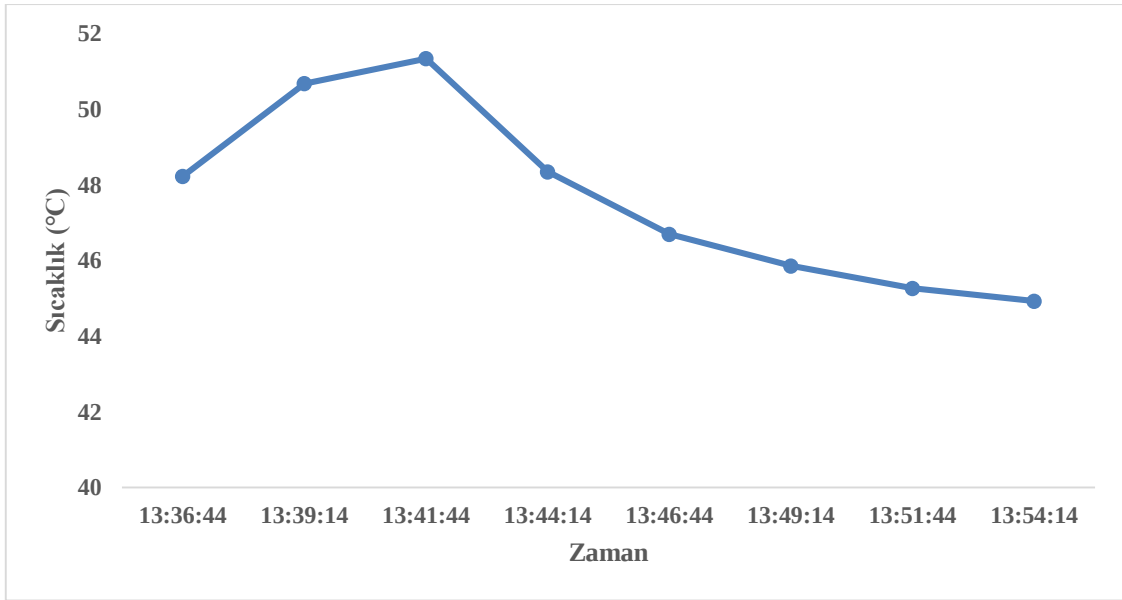


(a)



(b)

Şekil 75. 12708 serisi Peltier 8. kademe kanatçıksız soğutma (devamı)

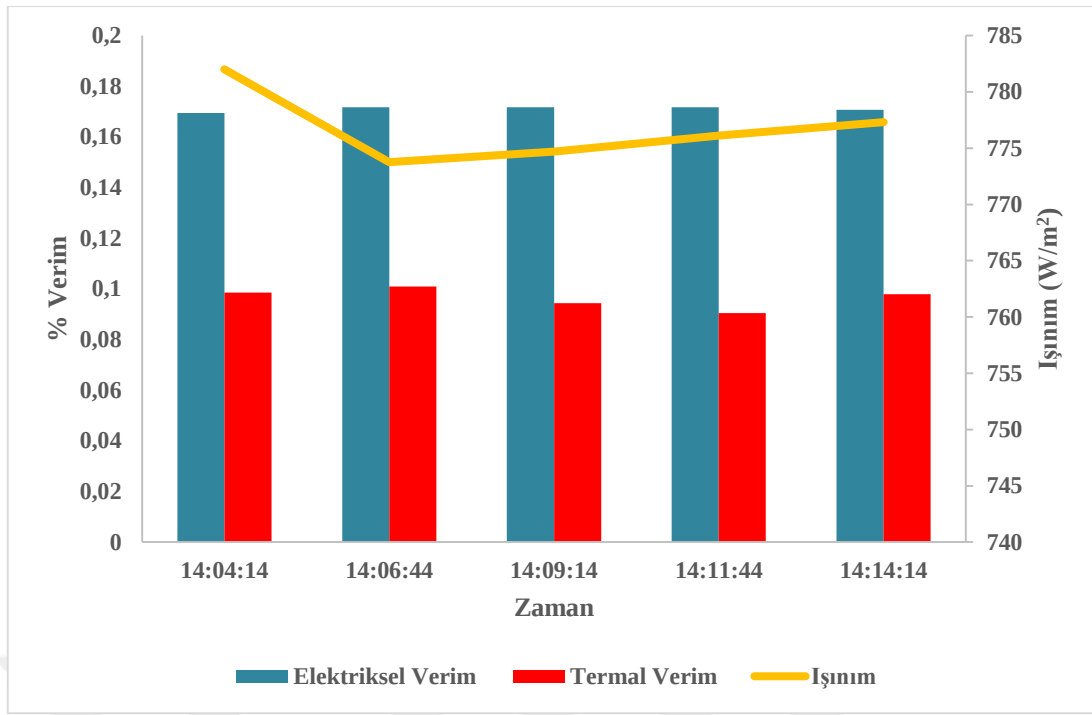


(c)

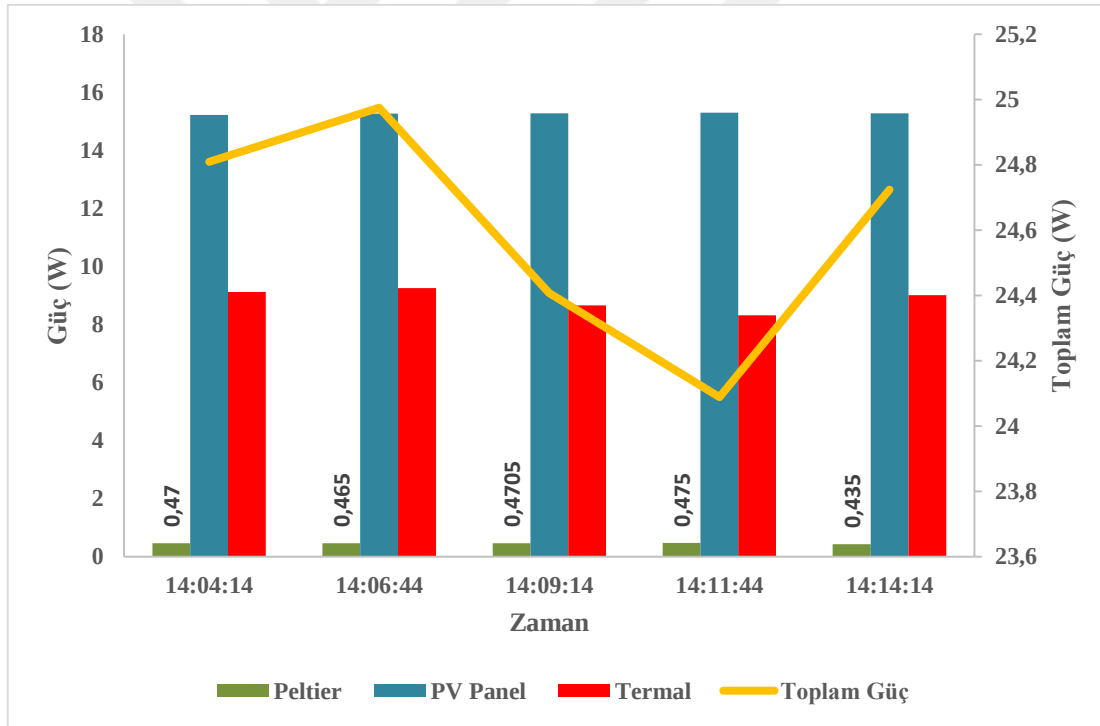
Şekil 76. 12708 serisi Peltier 8. kademe kanatçıksız soğutma

Şekil 64.c'de panelin, 12708 serisi Peltier ve alüminyum ısı alıcıları kullanılmadan 8. kademede soğutulmasını gösteren Sıcaklık-Zaman grafiği verilmiştir. Panel sıcaklığı 13:41'de 51,34°C'ye ulaştıktan sonra fan çalıştırılmış ve 13:54'e kadar soğutulmuştur. Sıcaklık bu noktada 44,93°C'nin daha fazla altına düşmediği için fan kapatılmıştır. Soğutma süresi yaklaşık 13 dakika sürmüş ve panel sıcaklığı 6,41°C düşmüştür. Bu süre boyunca sistemin zamana bağlı Işınım-Verim grafiği **Şekil 64.a'**da gösterilmiştir. Elektriksel verim fan açılmadan hemen önce %16,56 olarak hesaplanmış, soğutma sırasında %17,23 seviyesine kadar yükselmiş ve yaklaşık %3,88'lik bir artış meydana gelmiştir. Debi yüksek olduğu için ısı kontrol hacminden kısa bir sürede dışarı atılmıştır. Bu süre ısı dengenin sağlanması için yeterli olmuştur. Soğutma süresi boyunca ortalama termal verim %22,7 hesaplanmıştır. **Şekil 64.b'**de ise zamana bağlı Toplam Güç-Zaman grafiği gösterilmiştir. Peltierin gücü, fan açılmadan hemen önce 0,29 W olarak ölçülmüş ve soğutma sırasında 0,49 W'a kadar çıkarak %40,81'lik bir artış meydana gelmiştir. Panel gücü ise fan açılmadan hemen önce 15,89 W olarak ölçülmüş, soğutma sırasında 16,15 W'a kadar çıkarak %1,62'lik bir artış gerçekleşmiştir. Soğutma süresi boyunca termal güç, ortalama 21,9 W toplam güç, ortalama 38,42 W olarak hesaplanmıştır.

12705 serisi Peltier 8. kademe kanatçıksız soğutma deneyinden sonra, 6. kademe kanatçıksız soğutma deneyine geçilmiştir.

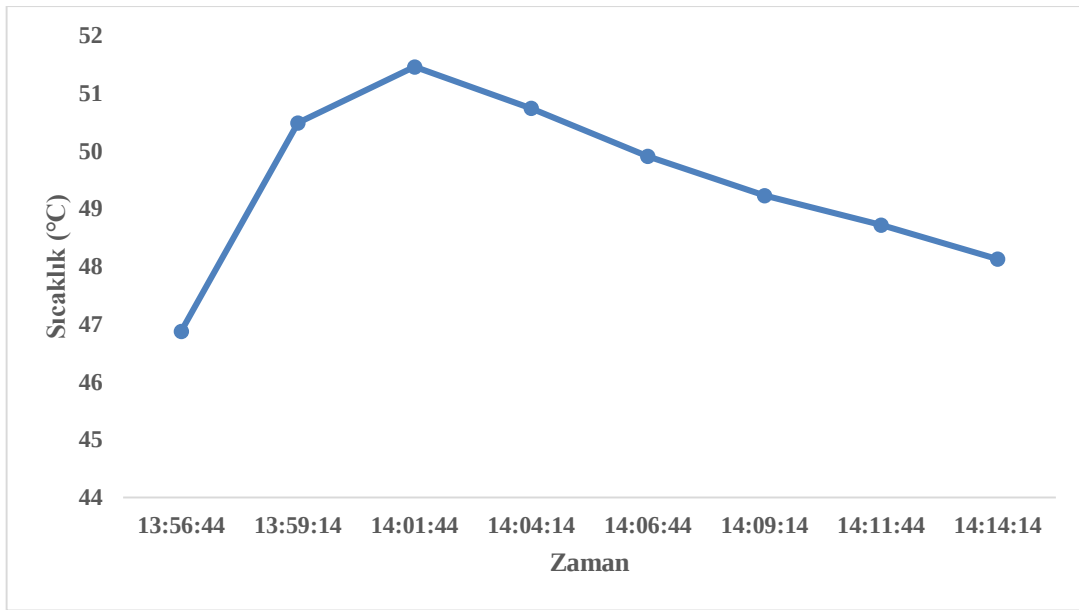


(a)



(b)

Şekil 77. 12708 serisi Peltier 6. kademe kanatçıksız soğutma (devamı)

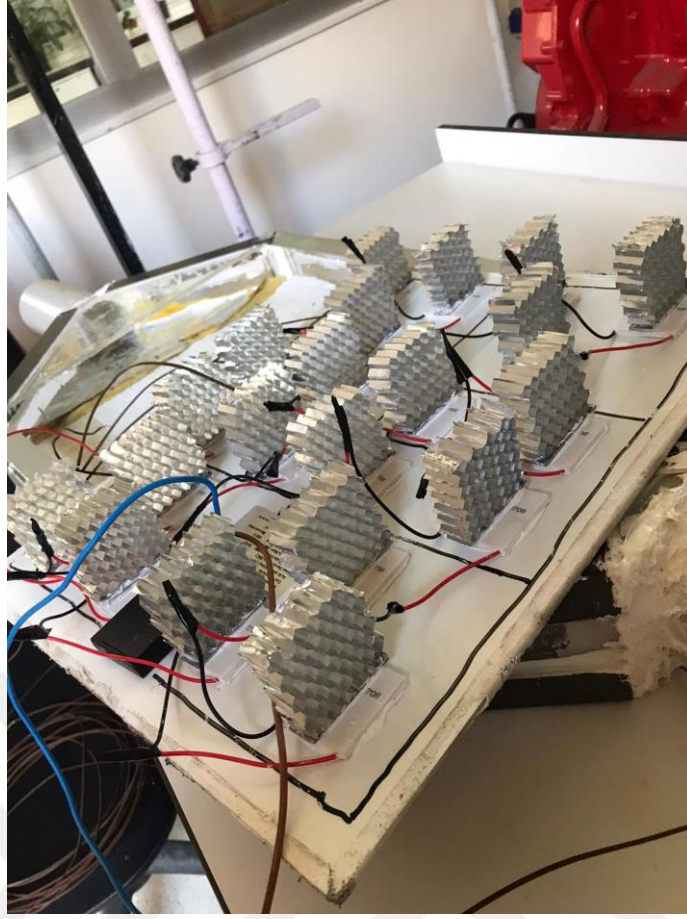


(c)

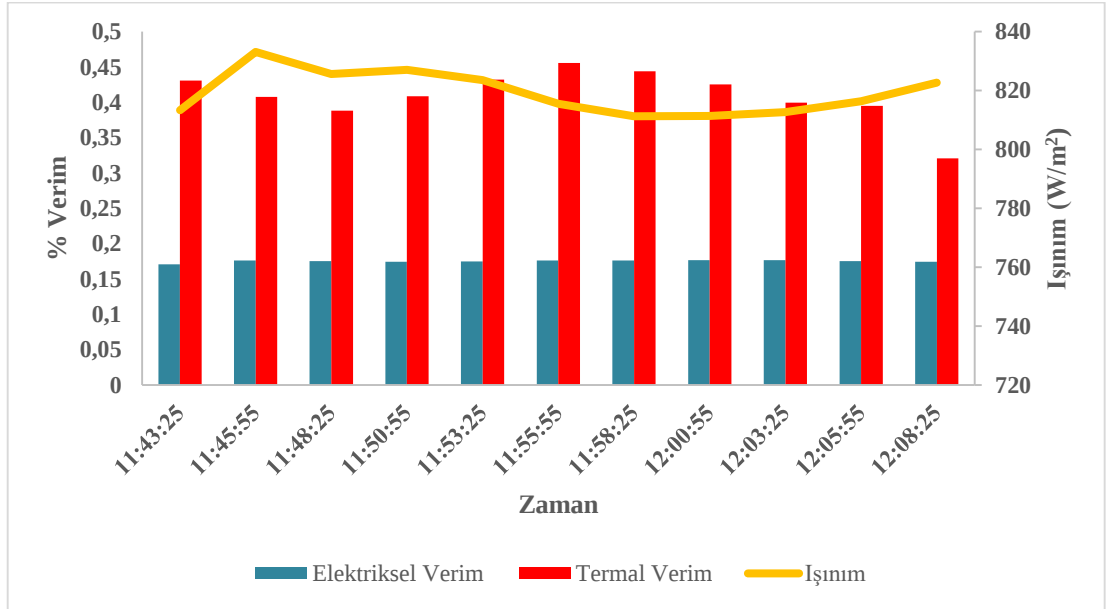
Şekil 78. 12708 serisi Peltier 6. kademe kanatçıksız soğutma

Şekil 65.c'de panelin, 12708 serisi Peltier ve alüminyum ısı alıcıları kullanılmadan 6. kademedeki soğutulmasını gösteren Sıcaklık-Zaman grafiği verilmiştir. Panel sıcaklığı 14:01'de 51,46°C'ye ulaştıktan sonra fan çalıştırılmış ve 14:14'e kadar soğutulmuştur. Sıcaklık bu noktada 48,13°C'nin daha fazla altına düşmediği için fan kapatılmıştır. Soğutma süresi yaklaşık 13 dakika sürmüştür ve panel sıcaklığı 3,33°C düşmüştür. Bu süre boyunca sistemin zamana bağlı Işınım-Verim grafiği **Şekil 65.a'**da gösterilmiştir. Elektriksel verim fan açılmadan hemen önce %16,61 olarak hesaplanmış, soğutma sırasında %17,17 seviyesine kadar yükselmiş ve yaklaşık %3,26'lık bir artış meydana gelmiştir. Debi düşük olduğu için soğutma süresi panel sıcaklığını çok düşürememiştir. Bu nedenle kontrol hacminde ısı denge önemli bir ölçüde değişmemiştir. Soğutma süresi boyunca ortalama termal verim %9,6 hesaplanmıştır. **Şekil 65.b'**de ise zamana bağlı Toplam Güç-Zaman grafiği gösterilmiştir. Peltierin gücü, fan açılmadan hemen önce 0,4 W olarak ölçülmüş ve soğutma sırasında 0,475 W'a kadar çıkarak %15,79'luk bir artış meydana gelmiştir. Panel gücü ise fan açılmadan hemen önce 15,2 W olarak ölçülmüş, soğutma sırasında 15,3 W'a kadar çıkarak %0,65'lik bir artış gerçekleşmiştir. Soğutma süresi boyunca termal güç, ortalama 8,87 W toplam güç, ortalama 24,60 W olarak hesaplanmıştır.

Bundan sonraki deneylerde ise Peltierlerin alt yüzeylerine farklı açılarda 0°, 45° ve 90° yerleştirilen alüminyum bal peteği kanatçıklarının soğutma performansları incelenmiştir. İlk olarak akış yönüne paralel (0°) ile yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıkları **Şekil 66'**da görülmektedir,

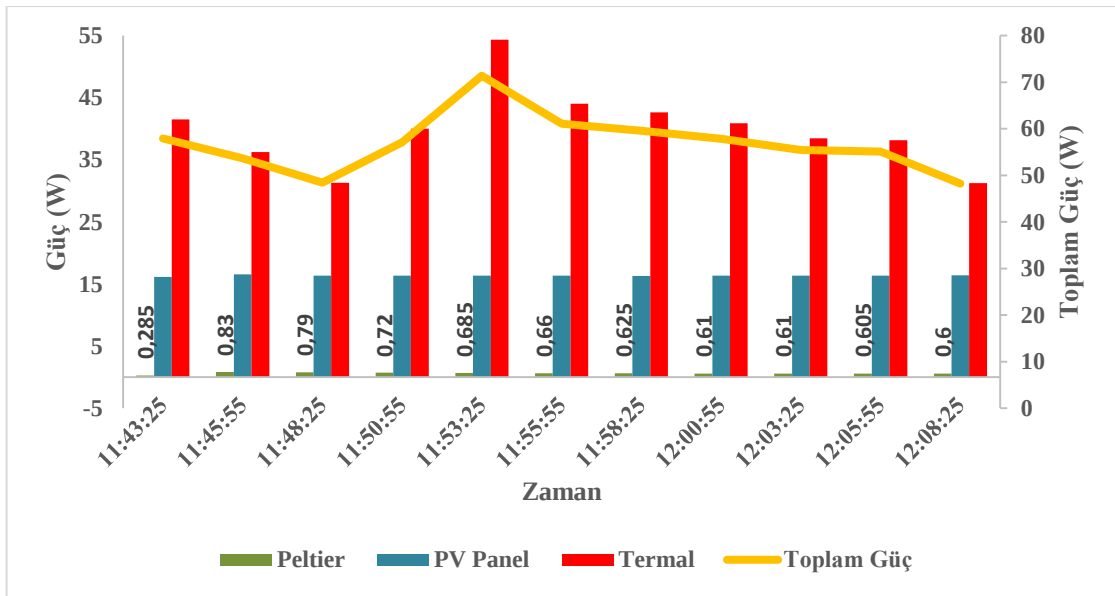


Şekil 79. 12708 serisi Peltier ve akış yönüne paralel (0°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıkları

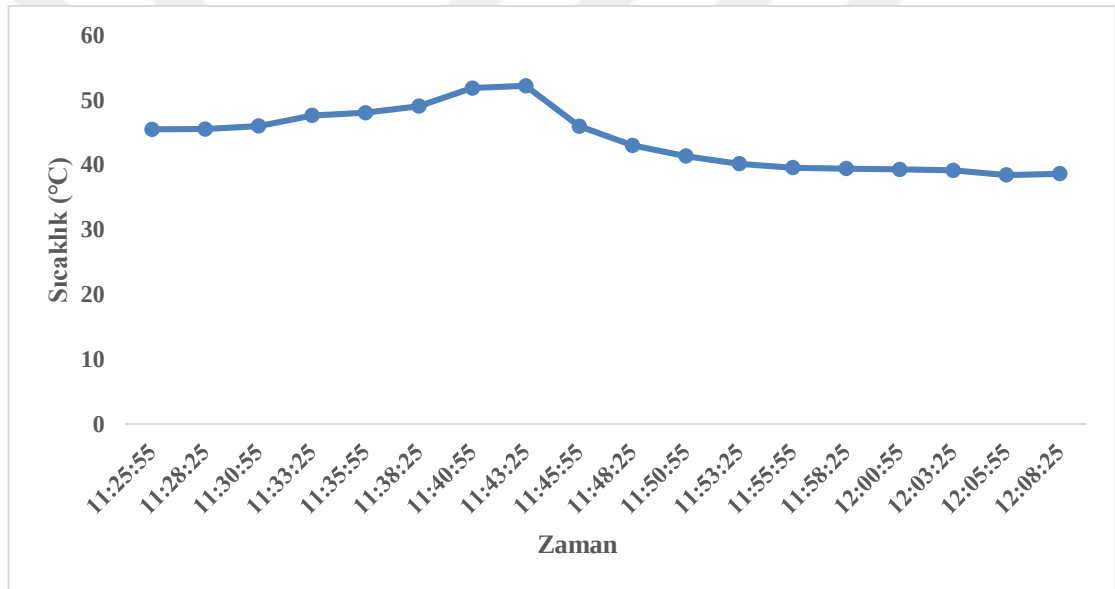


(a)

Şekil 80. 12708 serisi Peltier ve akış yönüne paralel (0°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıkları 10. kademe soğutma deneyi (devamı)



(b)



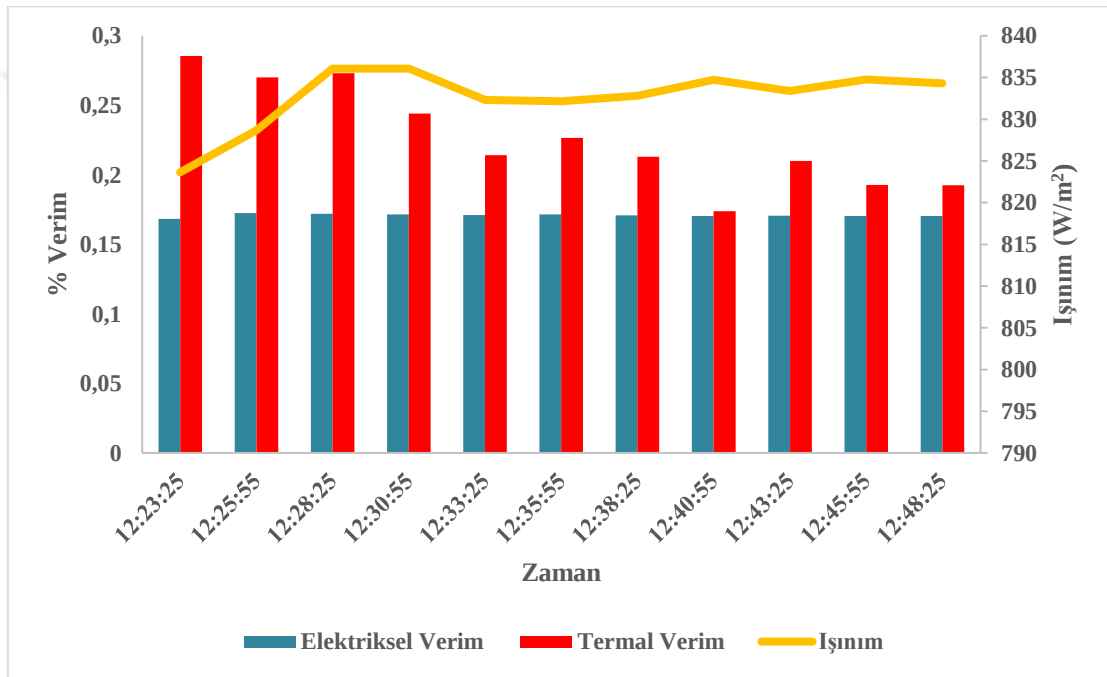
(c)

Şekil 81. 12708 serisi Peltier ve akış yönüne paralel (0°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıkları 10. kademe soğutma deneyi

Şekil 67.c’de panelin, 12708 serisi Peltier ve akış yönüne paralel (0°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıkları ile 10. kademe soğutulmasını gösteren Sıcaklık-Zaman grafiği verilmiştir. Panel sıcaklığı 11,43’te $52,18^\circ\text{C}$ ’ye ulaştıktan sonra fan çalıştırılmış ve 12:08’e kadar soğutulmuştur. Sıcaklık bu noktada $38,61^\circ\text{C}$ ’nin daha fazla altına düşmediği için fan kapatılmıştır. Soğutma süresi yaklaşık 25 dakika sürmüştür ve panel sıcaklığı $13,57^\circ\text{C}$ düşmüştür. Bu süre boyunca sistemin zamana bağlı Işınım-Verim grafiği Şekil 67.a’da gösterilmiştir. Elektriksel verim fan açılmadan hemen önce %16,41 olarak hesaplanmış, soğutma sırasında %17,67 seviyesine kadar yükselmiş ve yaklaşık %7,13’lük bir artış meydana gelmiştir. Kontrol hacmi içerisinde ısı birikmiş ve sıcaklıklarda önemli farklar oluşturmamıştır.

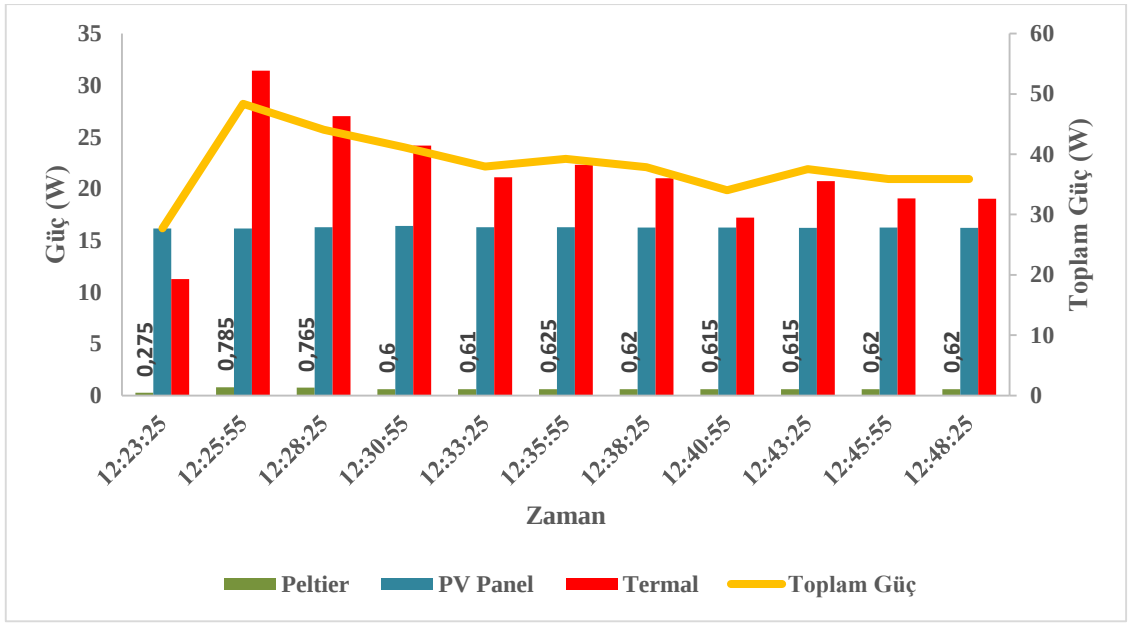
Bu nedenle termal verimde de dikkate değer bir değişim meydana gelmemiştir. Soğutma süresi boyunca ortalama termal verim %40,9 hesaplanmıştır. **Şekil 67.b**'de ise zamana bağlı Toplam Güç-Zaman grafiği gösterilmiştir. Peltierin gücü, fan açılmadan hemen önce 0,35 W olarak ölçülmüş ve soğutma sırasında 0,83 W'a kadar çıkarak %56,47'lik bir artış meydana gelmiştir. Panel gücü ise fan açılmadan hemen önce 16,07 W olarak ölçülmüş, soğutma sırasında 16,54 W'a kadar çıkarak %2,84'lük bir artış gerçekleşmiştir. Soğutma süresi boyunca termal güç, ortalama 39,9 W toplam güç, ortalama 56,89 W olarak hesaplanmıştır.

12708 serisi Peltier ve akış yönüne paralel (0°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıklarını kullanıldığı 10. kademe soğutma deneylerinden sonra, 8. kademe soğutma deneylerine geçilmiştir.

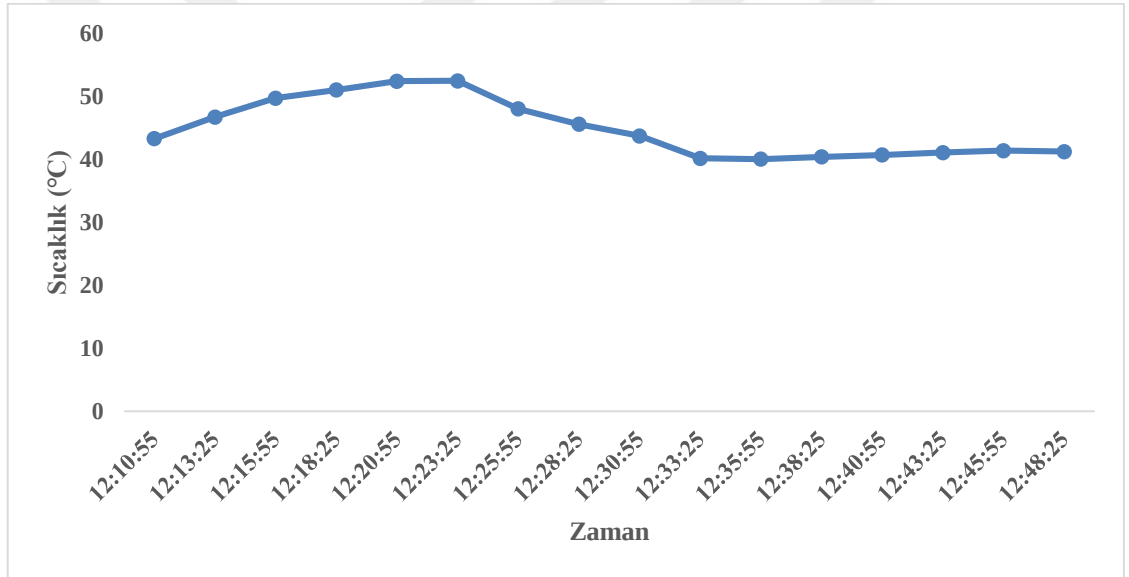


(a)

Şekil 82. 12708 serisi Peltier ve akış yönüne paralel (0°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıkları 8. kademe soğutma deneyi (devamı)



(b)



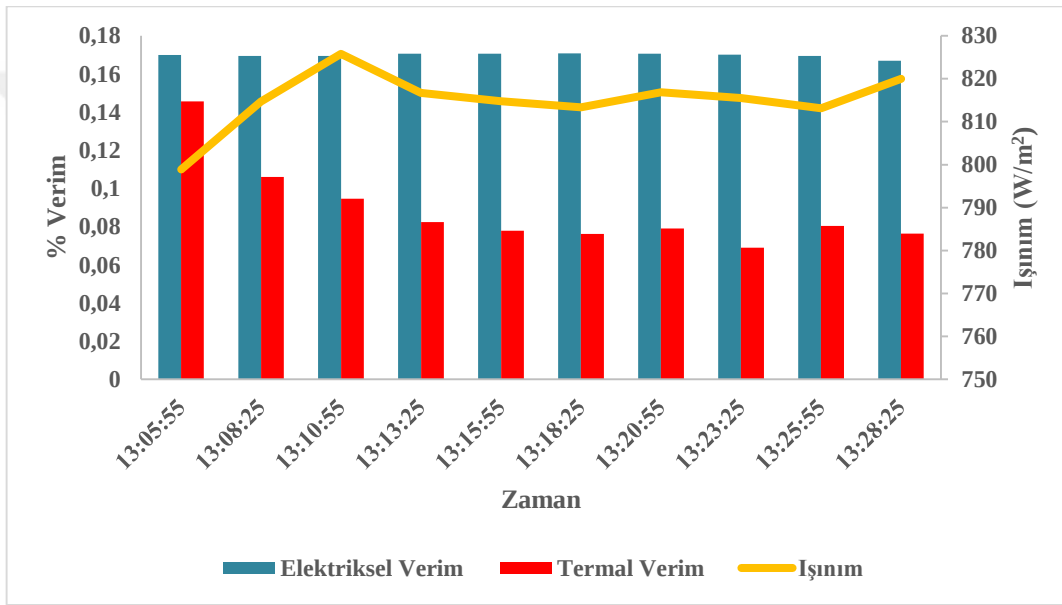
(c)

Şekil 83. 12708 serisi Peltier ve akış yönüne paralel (0°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıkları 8. kademe soğutma deneyi

Şekil 68.c'de panelin, 12708 serisi Peltier ve akış yönüne paralel (0°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıkları ile 8. kademedeki soğutulmasını gösteren Sıcaklık-Zaman grafiği verilmiştir. Panel sıcaklığı $12:23$ 'te $52,44^\circ\text{C}$ 'ye ulaştıktan sonra fan çalıştırılmış ve $12:48$ 'e kadar soğutulmuştur. Sıcaklık bu noktada $41,23^\circ\text{C}$ 'nin daha fazla altına düşmediği için fan kapatılmıştır. Soğutma süresi yaklaşık 25 dakika sürmüştür ve panel sıcaklığı $11,21^\circ\text{C}$ düşmüştür. Bu süre boyunca sistemin zamana bağlı Işınım-Verim grafiği **Şekil 68.a'**da gösterilmiştir. Elektriksel verim fan açılmadan hemen önce %16,54 olarak hesaplanmış, soğutma sırasında %17,26 seviyesine kadar yükselmiş ve yaklaşık %4,17'lik bir artış meydana gelmiştir. Kontrol hacminde biriken ısı bu kademedeki dışarıya atılabilmektedir. Bu da termal verimi

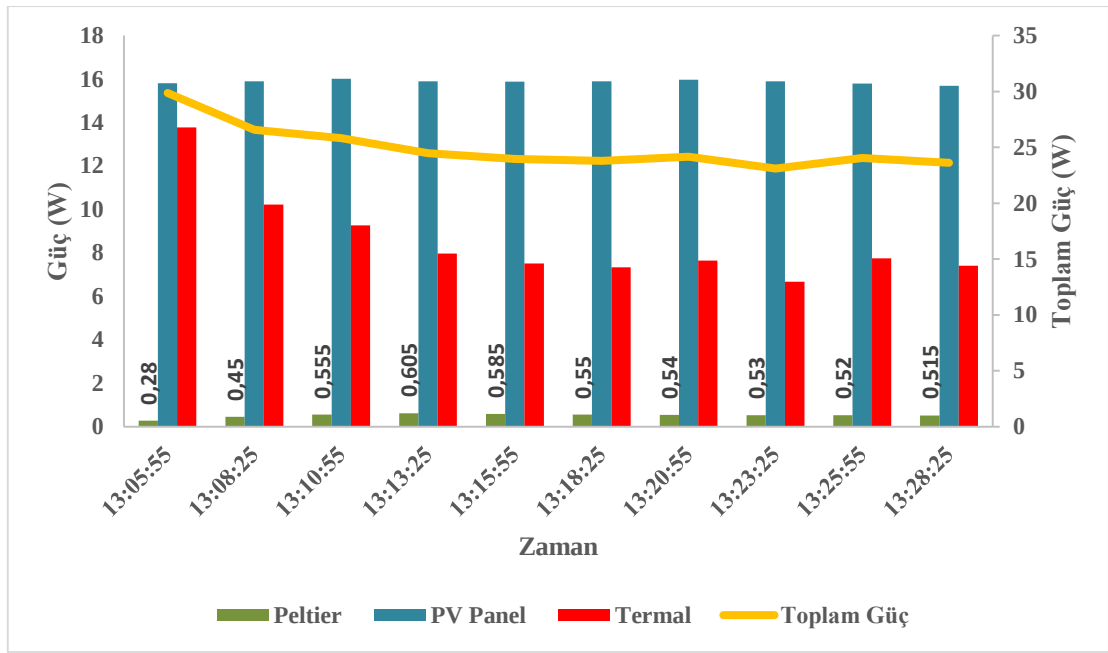
%28,5 seviyelerinden %19,2'ye kadar düşmesine neden olmuştur. Soğutma süresi boyunca ortalama termal verim %22,7 hesaplanmıştır. **Şekil 68.b**'de ise zamana bağlı Toplam Güç-Zaman grafiği gösterilmiştir. Peltierin gücü, fan açılmadan hemen önce 0,305 W olarak ölçülmüş ve soğutma sırasında 0,785 W'a kadar çıkarak %61,15'lik bir artış meydana gelmiştir. Panel gücü ise fan açılmadan hemen önce 16,17 W olarak ölçülmüş, soğutma sırasında 16,39 W'a kadar çıkarak %1,34'lük bir artış gerçekleşmiştir. Soğutma süresi boyunca termal güç, ortalama 21,30 W toplam güç, ortalama 38,15 W olarak hesaplanmıştır.

12708 serisi Peltier ve akış yönüne paralel (0°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıklarını kullanıldığı 8. kademe soğutma deneylerinden sonra, 6. kademe soğutma deneylerine geçilmiştir.

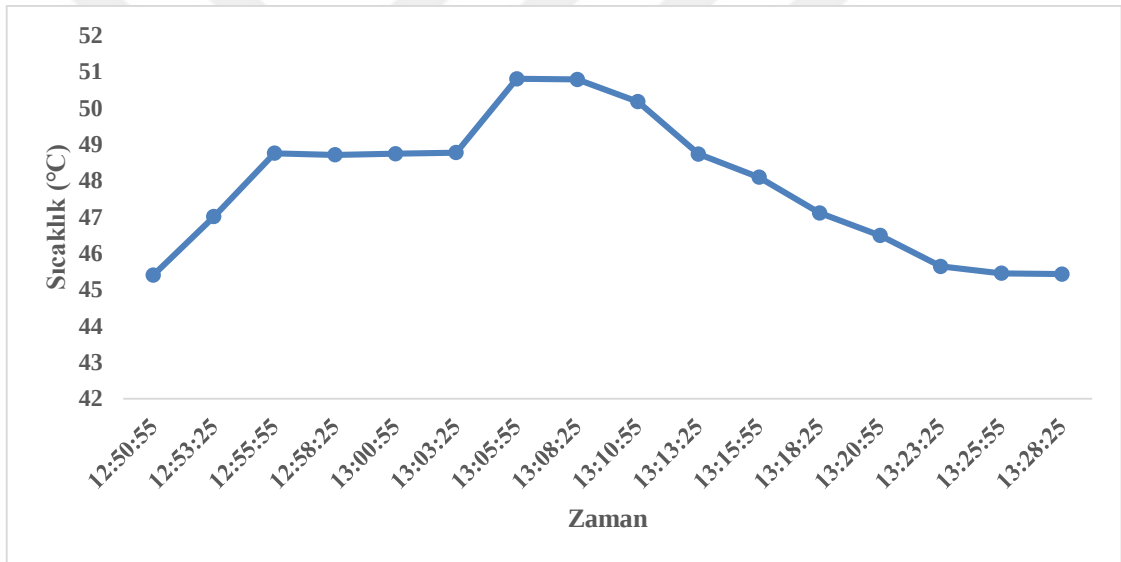


(a)

Şekil 84. 12708 serisi Peltier ve akış yönüne paralel (0°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıkları 6. kademe soğutma deneyi (devamı)



(b)



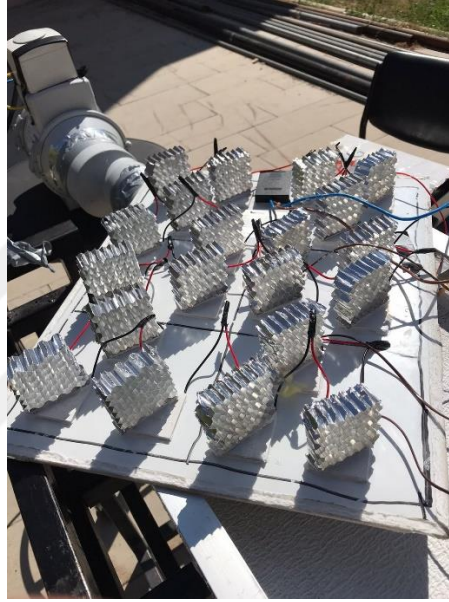
(c)

Şekil 85. 12708 serisi Peltier ve akış yönüne paralel (0°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıkları 6. kademe soğutma deneyi

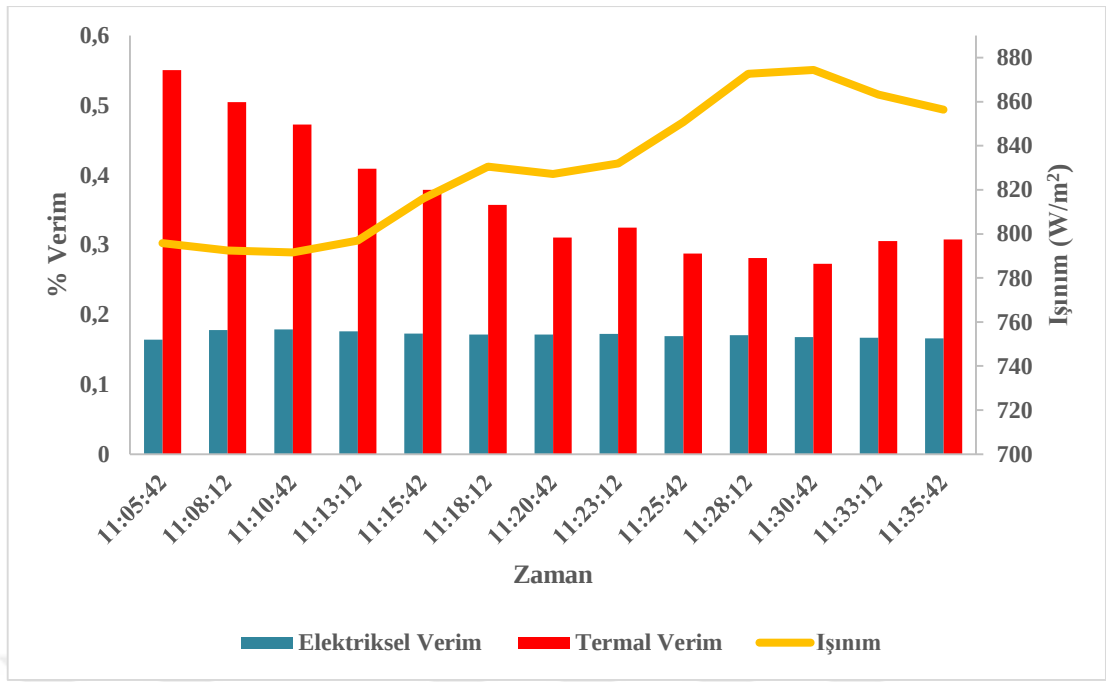
Şekil 69.c’de panelin, 12708 serisi Peltier ve akış yönüne paralel (0°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıklar ile 6. kademedeki soğutulmasını gösteren Sıcaklık-Zaman grafiği verilmiştir. Panel sıcaklığı 13:05’te $50,8^\circ\text{C}$ ’ye ulaştıktan sonra fan çalıştırılmış ve 13:28’e kadar soğutulmuştur. Sıcaklık bu noktada $45,43^\circ\text{C}$ ’nin daha fazla altına düşmediği için fan kapatılmıştır. Soğutma süresi yaklaşık 23 dakika sürmüş ve panel sıcaklığı $5,37^\circ\text{C}$ düşmüştür. Bu süre boyunca sistemin zamana bağlı Işınım-Verim grafiği Şekil 69.a’da gösterilmiştir. Elektriksel verim fan açılmadan hemen önce %16,5 olarak hesaplanmış, soğutma sırasında %17,07 seviyesine kadar yükselmiş ve yaklaşık %3,34’lük bir artış meydana gelmiştir. Kontrol hacmindeki ısı bu kademedeki de atılmaya devam etmiş ve ısı denge neredeyse

sağlanmıştır. Fan açıldıktan sonra %14,5 olan termal verim zamanla %7,6'ya kadar düşmüştür. Soğutma süresi boyunca ortalama termal verim %8,8 hesaplanmıştır. **Şekil 69.b**'de ise zamana bağlı Toplam Güç-Zaman grafiği gösterilmiştir. Peltierin gücü, fan açılmadan hemen önce 0,22 W olarak ölçülmüş ve soğutma sırasında 0,605 W'a kadar çıkarak %63,63'lük bir artış meydana gelmiştir. Panel gücü ise fan açılmadan hemen önce 15,87 W olarak ölçülmüş, soğutma sırasında 15,96 W'a kadar çıkarak %0,56'lık bir artış gerçekleşmiştir. Soğutma süresi boyunca termal güç, ortalama 8,55 W toplam güç, ortalama 24,93 W olarak hesaplanmıştır.

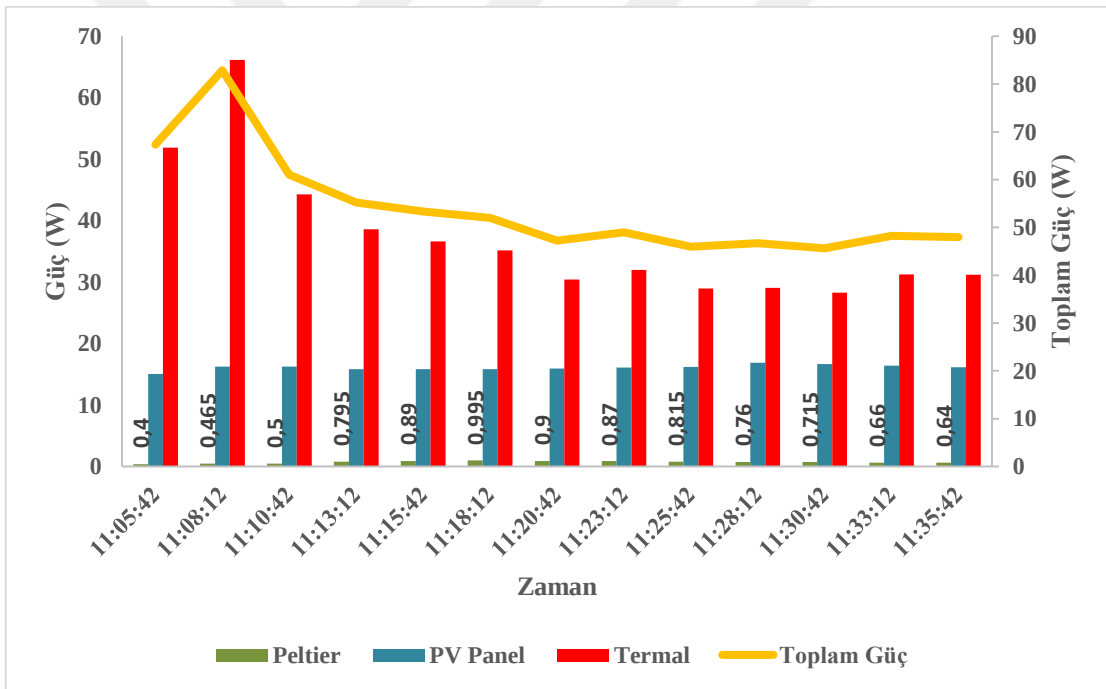
Daha sonra kanatçıklar **Şekil 70**'te görüldüğü gibi akış yönüne çapraz (45°) ile yerleştirilmiş ve soğutma deneyleri bu dizilim için tekrarlanmıştır.



Şekil 86. 12708 serisi Peltier ve akış yönüne çapraz (45°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıkları

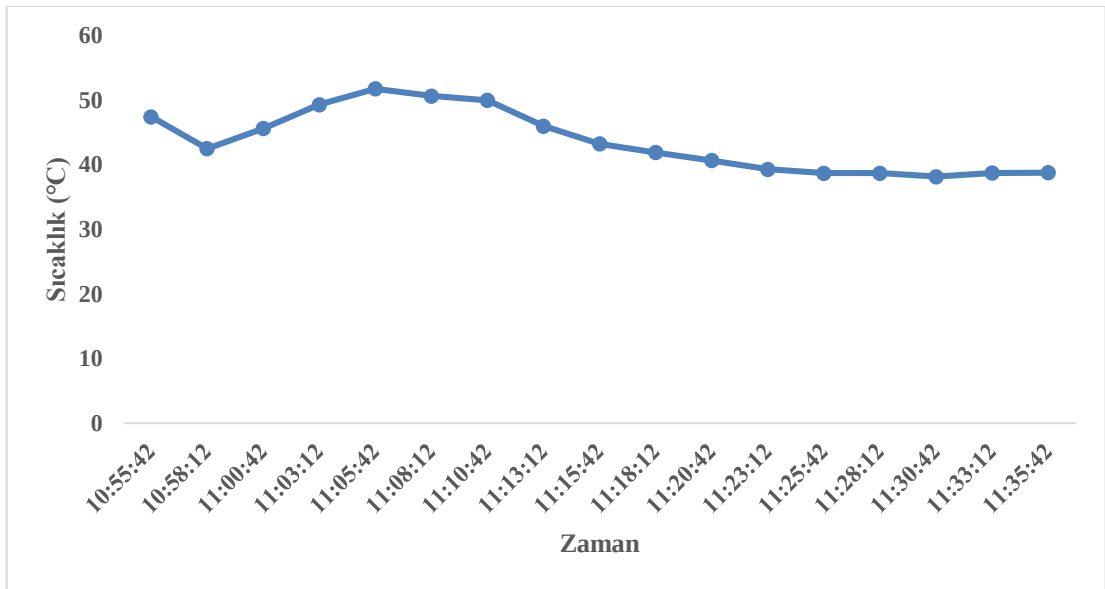


(a)



(b)

Şekil 87. 12708 serisi Peltier ve akış yönüne çapraz (45°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıkları 10. kademe soğutma deneyi (devamı)

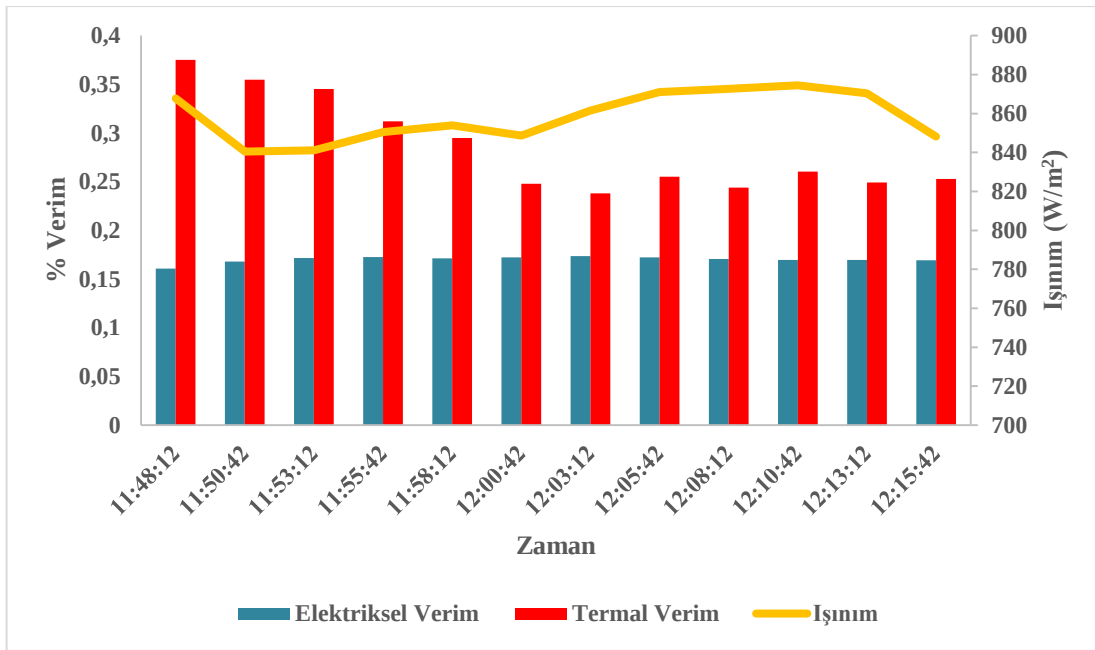


(c)

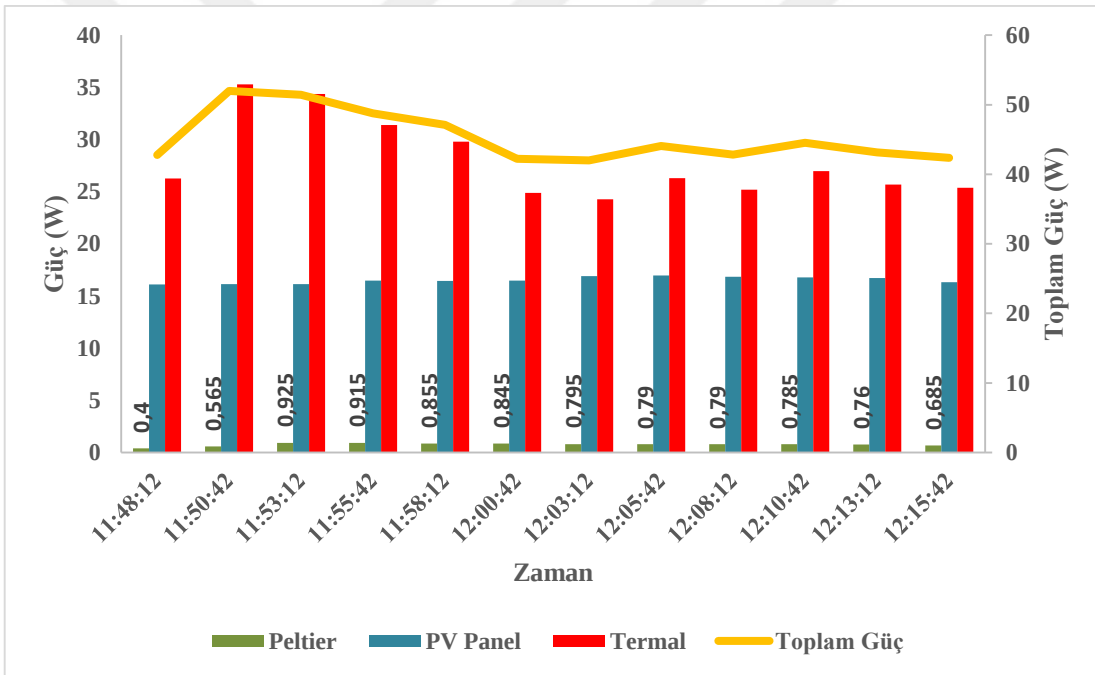
Şekil 88. 12708 serisi Peltier ve akış yönüne çapraz (45°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıkları 10. kademe soğutma deneyi

Şekil 71.c'de panelin, 12708 serisi Peltier ve akış yönüne çapraz (45°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıklar ile 10. kademedeki soğutulmasını gösteren Sıcaklık-Zaman grafiği verilmiştir. Panel sıcaklığı 11:08'de $51,78^\circ\text{C}$ 'ye ulaştıktan sonra fan çalıştırılmış ve 11:35'e kadar soğutulmuştur. Sıcaklık bu noktada $38,79^\circ\text{C}$ 'nin daha fazla altına düşmediği için fan kapatılmıştır. Soğutma süresi yaklaşık 27 dakika sürmüştür ve panel sıcaklığı 13°C düşmüştür. Bu süre boyunca sistemin zamana bağlı Işınım-Verim grafiği **Şekil 71.a'**da gösterilmiştir. Elektriksel verim fan açılmadan hemen önce %16,46 olarak hesaplanmış, soğutma sırasında %17,88 seviyesine kadar yükselmiş ve yaklaşık %7,94'lük bir artış meydana gelmiştir. Fan açıldıktan sonra termal verim %70,4 seviyelerine kadar yükselmiş ve zamanla %30,7'ye kadar azalmıştır. Debinin yüksek olması ısı dengenin sağlanmasına katkıda bulunmuş ve kontrol hacmindeki ısı denge sıcaklığına gelerek dışarı atılabilmektedir. Soğutma süresi boyunca ortalama termal verim %36,6 hesaplanmıştır. **Şekil 71.b'**de ise zamana bağlı Toplam Güç Zaman grafiği gösterilmiştir. Peltierin gücü, fan açılmadan hemen önce 0,41 W olarak ölçülmüş ve soğutma sırasında 0,995 W'a kadar çıkarak %58,79'luk bir artış meydana gelmiştir. Panel gücü ise fan açılmadan hemen önce 15,47 W olarak ölçülmüş, soğutma sırasında 16,88 W'a kadar çıkarak %8,35'lik bir artış gerçekleşmiştir. Soğutma süresi boyunca termal güç, ortalama 37,21 W toplam güç, ortalama 54,04 W olarak hesaplanmıştır.

12708 serisi Peltier ve akış yönüne çapraz (45°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıklarını kullanıldığı 10. kademe soğutma deneylerinden sonra, 8. kademe soğutma deneylerine geçilmiştir.

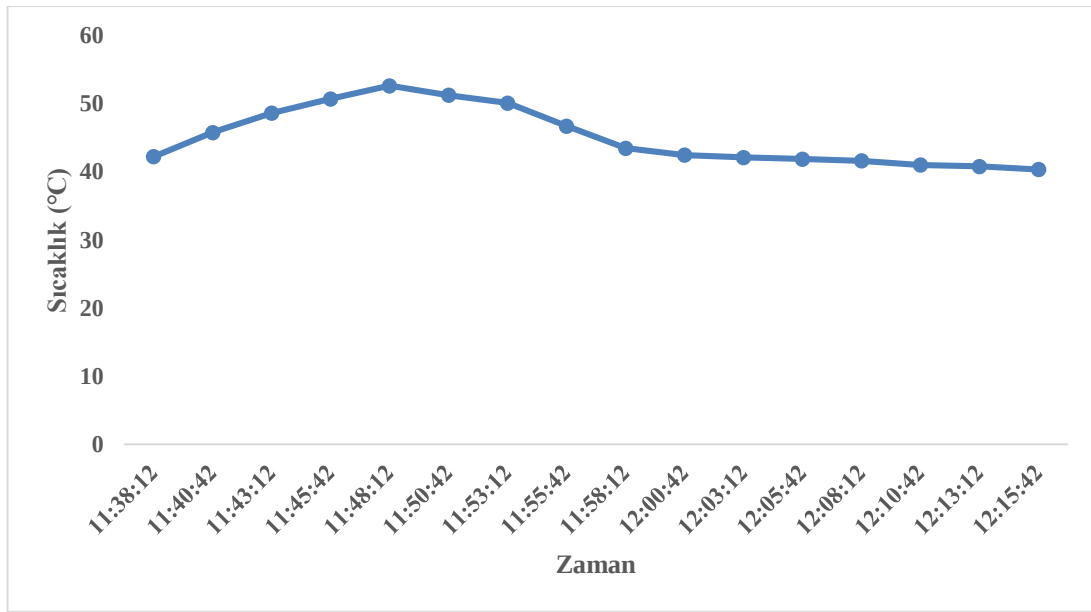


(a)



(b)

Şekil 89. 12708 serisi Peltier ve akış yönüne çapraz (45°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıkları 8. kademe soğutma deneyi (devamı)

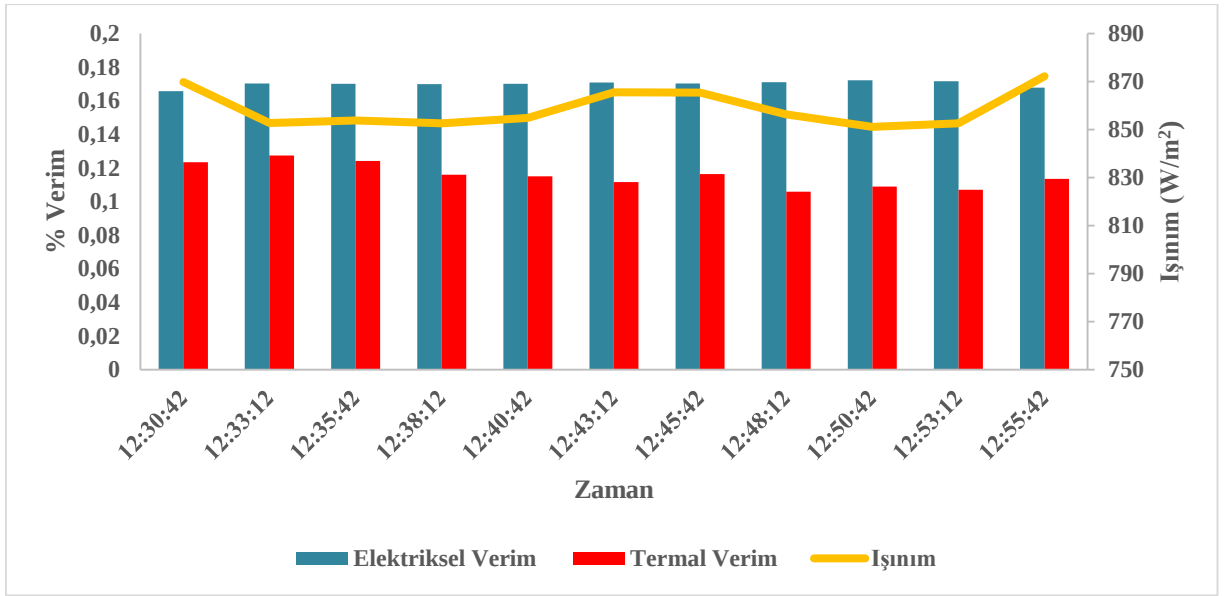


(c)

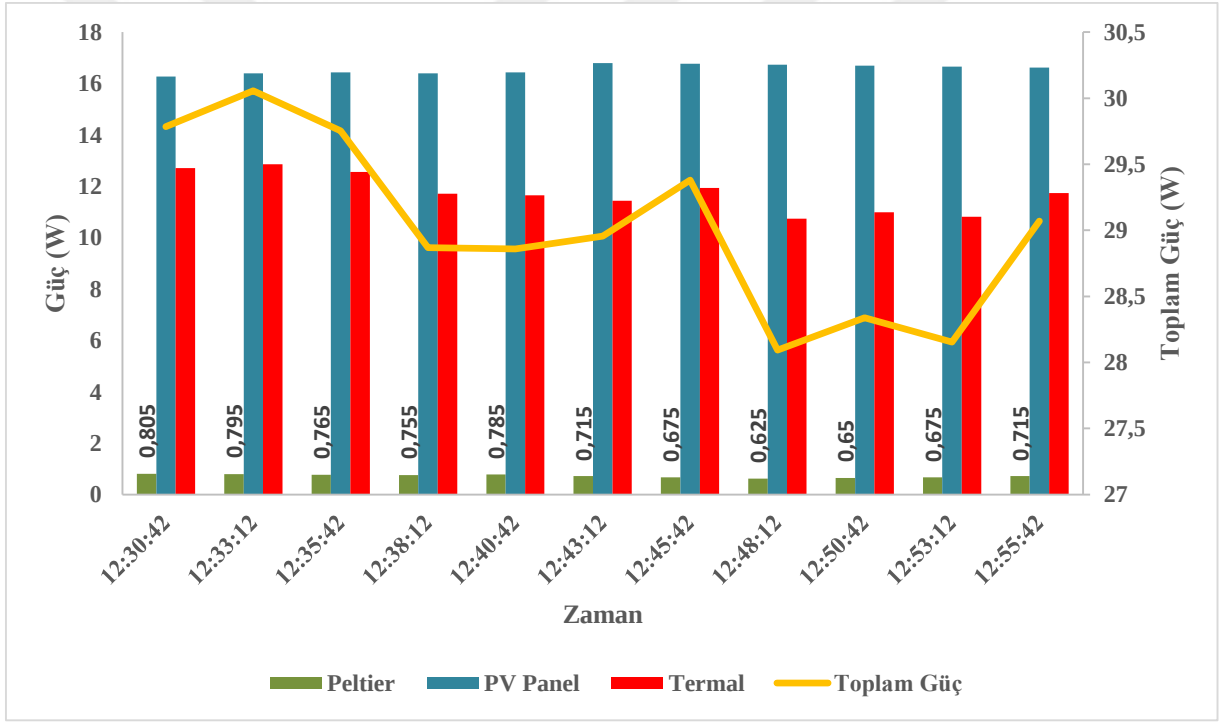
Şekil 90. 12708 serisi Peltier ve akış yönüne çapraz (45°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıkları 8. kademe soğutma deneyi

Şekil 72.c’de panelin, 12708 serisi Peltier ve akış yönüne çapraz (45°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıklar ile 8. kademedeki soğutulmasını gösteren Sıcaklık-Zaman grafiği verilmiştir. Panel sıcaklığı 11:48’de $52,64^\circ\text{C}$ ’ye ulaştıktan sonra fan çalıştırılmış ve 12:15’e kadar soğutulmuştur. Sıcaklık bu noktada $40,35^\circ\text{C}$ ’nin daha fazla altına düşmediği için fan kapatılmıştır. Soğutma süresi yaklaşık 27 dakika sürmüştür ve panel sıcaklığı $12,29^\circ\text{C}$ düşmüştür. Bu süre boyunca sistemin zamana bağlı Işınım-Verim grafiği Şekil 72.a’da gösterilmiştir. Elektriksel verim fan açılmadan hemen önce %16,19 olarak hesaplanmış, soğutma sırasında %17,25 seviyesine kadar yükselmiş ve yaklaşık %6,14’lük bir artış meydana gelmiştir. Fan açıldıktan sonra termal verim maksimum %35,4 seviyelerine kadar yükselmiş ve zamanla ısı dengenin sağlanmasıyla %25,3’e kadar düşmüştür. Soğutma süresi boyunca ortalama termal verim %28,5 hesaplanmıştır. Şekil 72.b’de ise zamana bağlı Toplam Güç-Zaman grafiği gösterilmiştir. Peltierin gücü, fan açılmadan hemen önce 0,355 W olarak ölçülmüş ve soğutma sırasında 0,925 W’a kadar çıkarak %61,62’lik bir artış meydana gelmiştir. Panel gücü ise fan açılmadan hemen önce 16,44 W olarak ölçülmüş, soğutma sırasında 16,97 W’a kadar çıkarak %3,12’lik bir artış gerçekleşmiştir. Soğutma süresi boyunca termal güç, ortalama 27,98 W toplam güç, ortalama 45,27 W olarak hesaplanmıştır.

12708 serisi Peltier ve akış yönüne çapraz (45°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıklarını kullanıldığı 8. kademe soğutma deneylerinden sonra, 6. kademe soğutma deneylerine geçilmiştir.

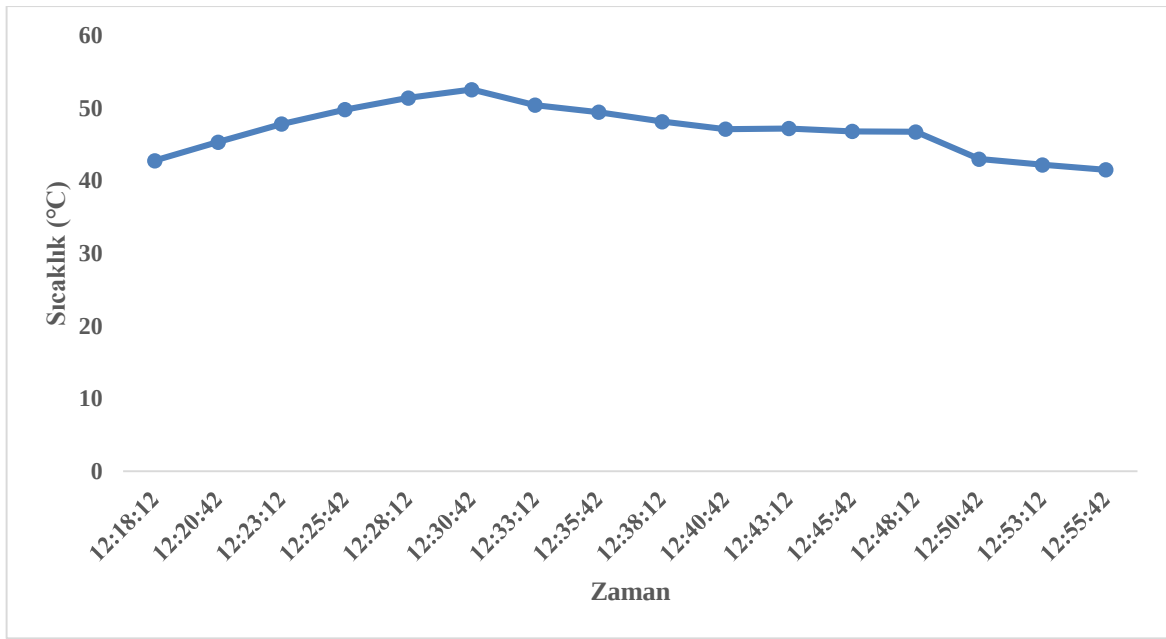


(a)



(b)

Şekil 91. 12708 serisi Peltier ve akış yönüne çapraz (45°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıkları 6. kademe soğutma deneyi (devamı)

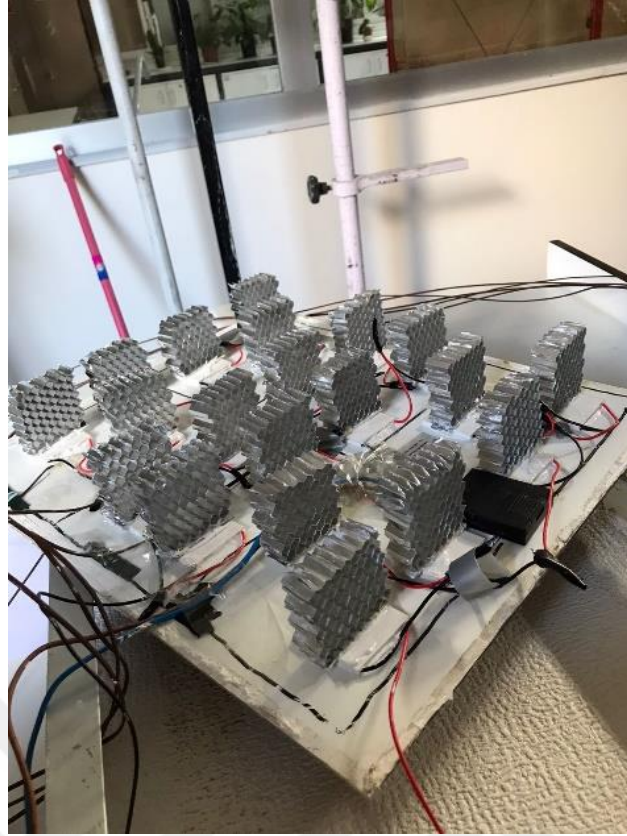


(c)

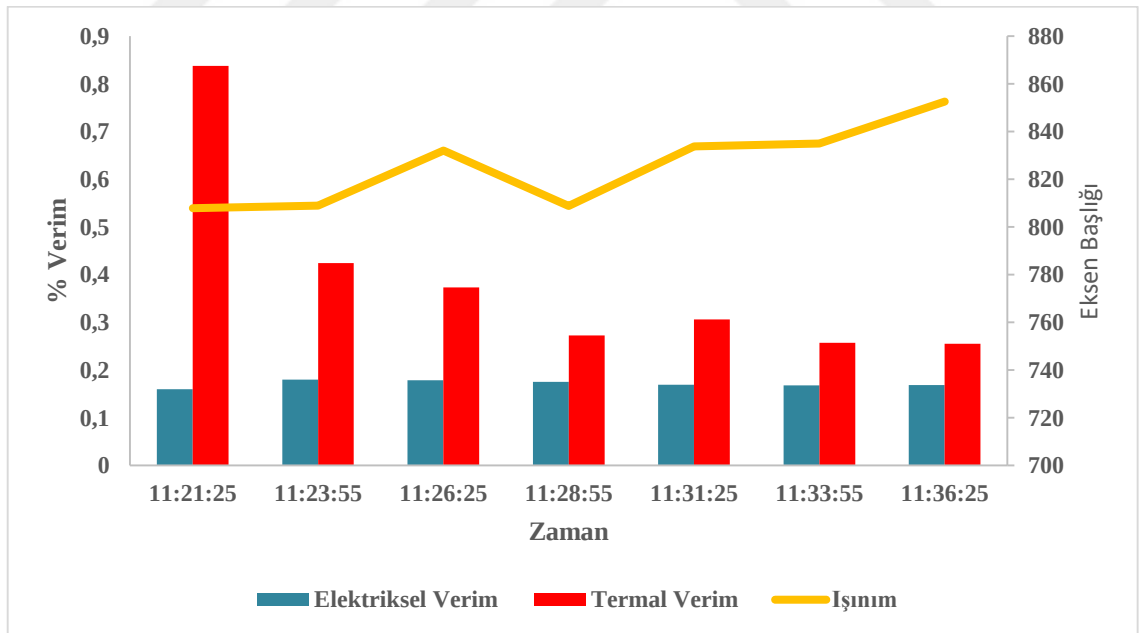
Şekil 92. 12708 serisi Peltier ve akış yönüne çapraz (45°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıkları 6. kademe soğutma deneyi

Şekil 73.c'de panelin, 12708 serisi Peltier ve akış yönüne çapraz (45°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıklar ile 6. kademedeki soğutulmasını gösteren Sıcaklık-Zaman grafiği verilmiştir. Panel sıcaklığı 12:30'da $52,56^\circ\text{C}$ 'ye ulaştıktan sonra fan çalıştırılmış ve 12:55'e kadar soğutulmuştur. Sıcaklık bu noktada $41,52^\circ\text{C}$ 'nin daha fazla altına düşmediği için fan kapatılmıştır. Soğutma süresi yaklaşık 25 dakika sürmüştür ve panel sıcaklığı $11,04^\circ\text{C}$ düşmüştür. Bu süre boyunca sistemin zamana bağlı Işınım-Verim grafiği **Şekil 73.a'**da gösterilmiştir. Elektriksel verim fan açılmadan hemen önce %16,39 olarak hesaplanmış, soğutma sırasında %17,21 seviyesine kadar yükselmiş ve yaklaşık %4,76'lık bir artış meydana gelmiştir. Debi kontrol hacmindeki ısı dengesi bozamaz ve sıcaklık farklarında önemli bir değişim meydana gelmemiştir. Soğutma süresi boyunca ortalama termal verim %11,5 hesaplanmıştır. **Şekil 73.b'**de ise zamana bağlı Toplam Güç-Zaman grafiği gösterilmiştir. Peltierin gücü, fan açılmadan hemen önce 0,35 W olarak ölçülmüş ve soğutma sırasında 0,805 W'a kadar çıkarak %56,52'lik bir artış meydana gelmiştir. Panel gücü ise fan açılmadan hemen önce 16,09 W olarak ölçülmüş, soğutma sırasında 16,8 W'a kadar çıkarak %4,23'lük bir artış gerçekleşmiştir. Soğutma süresi boyunca termal güç, ortalama 11,74 toplam güç, ortalama 29,02 W olarak hesaplanmıştır.

Son olarak **Şekil 74'**te akış yönüne dik (90°) ile yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıkları için soğutma deneyleri yapılarak 12708 serisi Peltier için tüm soğutma deneyleri tamamlanmıştır.

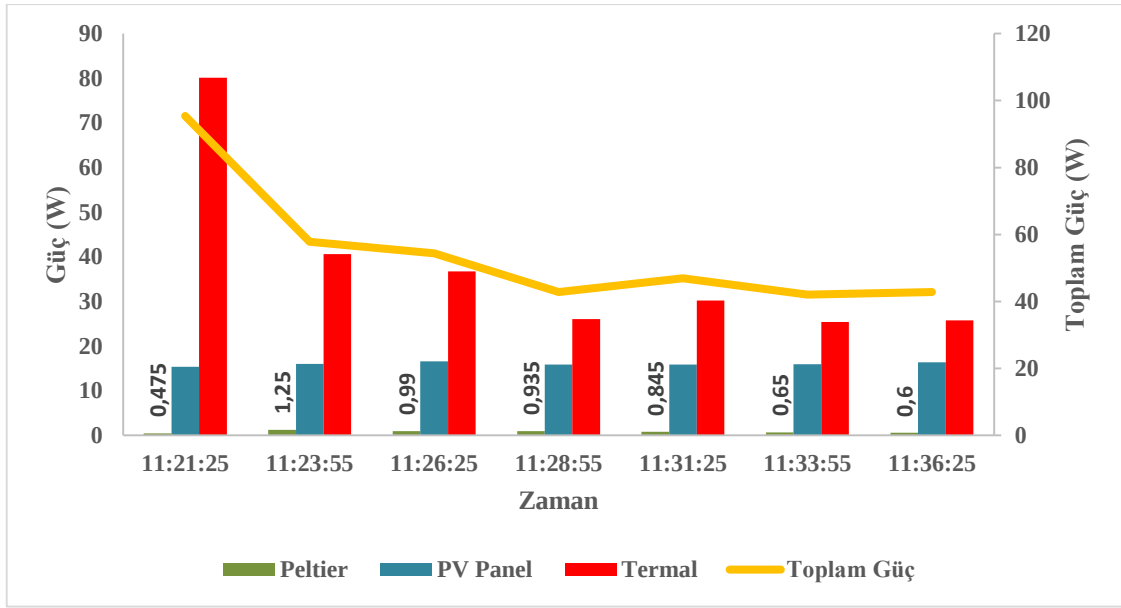


Şekil 93. 12708 serisi Peltier ve akış yönüne dik (90°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıkları

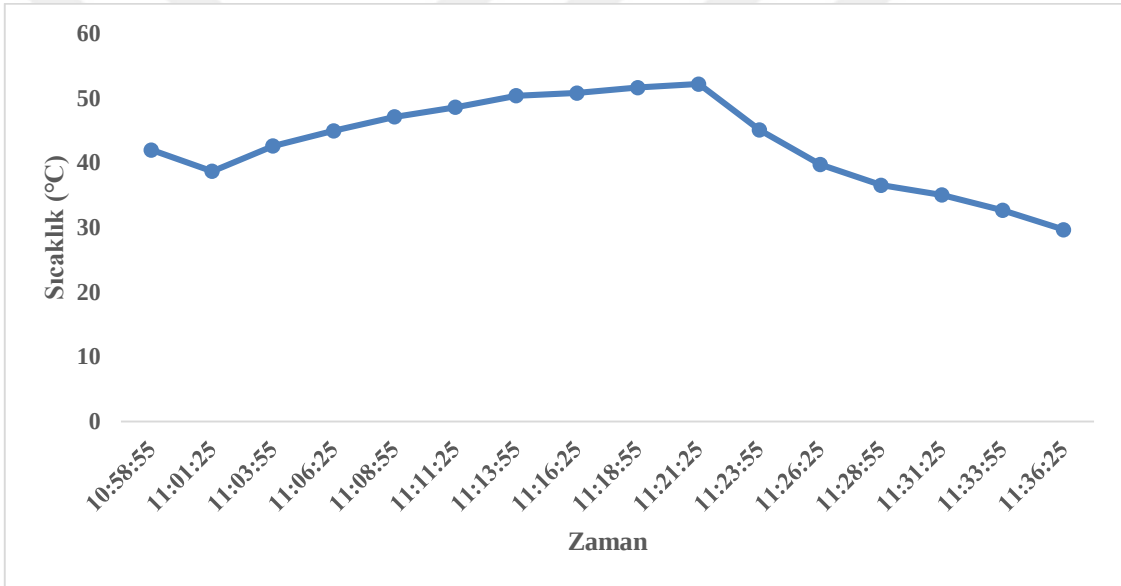


(a)

Şekil 94. 12708 serisi Peltier ve akış yönüne dik (90°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıkları 10. kademe soğutma deneyi (devamı)



(b)



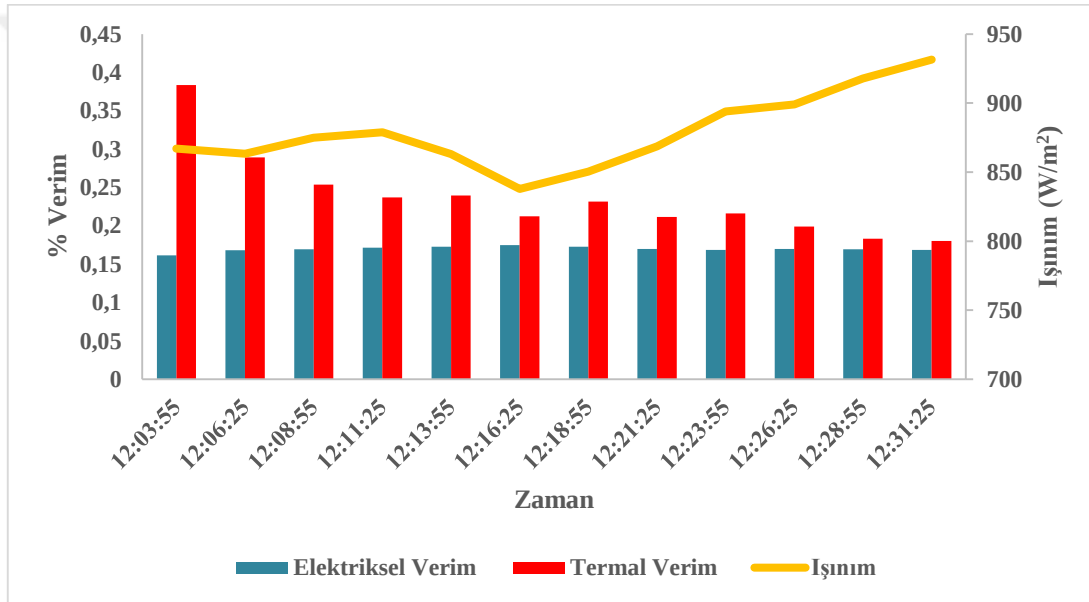
(c)

Şekil 95. 12708 serisi Peltier ve akış yönüne dik (90°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıkları 10. kademe soğutma deneyi

Şekil 75.c’de panelin, 12708 serisi Peltier ve akış yönüne dik (90°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıklar ile 10. kademedeki soğutulmasını gösteren Sıcaklık-Zaman grafiği verilmiştir. Panel sıcaklığı 11:21’de $52,14^\circ\text{C}$ ’ye ulaştıktan sonra fan çalıştırılmış ve 11:36’ya kadar soğutulmuştur. Sıcaklık bu noktada $29,62^\circ\text{C}$ ’nin daha fazla altına düşmediği için fan kapatılmıştır. Soğutma süresi yaklaşık 15 dakika sürmüş ve panel sıcaklığı $22,52^\circ\text{C}$ düşmüştür. Bu süre boyunca sistemin zamana bağlı Işınım-Verim grafiği Şekil 75.a’da gösterilmiştir. Elektriksel verim fan açılmadan hemen önce %16,4 olarak hesaplanmış, soğutma sırasında %18,01 seviyesine kadar yükselmiş ve yaklaşık %8,94’lük bir artış meydana gelmiştir. Fan açıldıktan sonra Termal verim %83,77 seviyelerine kadar yükselmiş ve zamanla

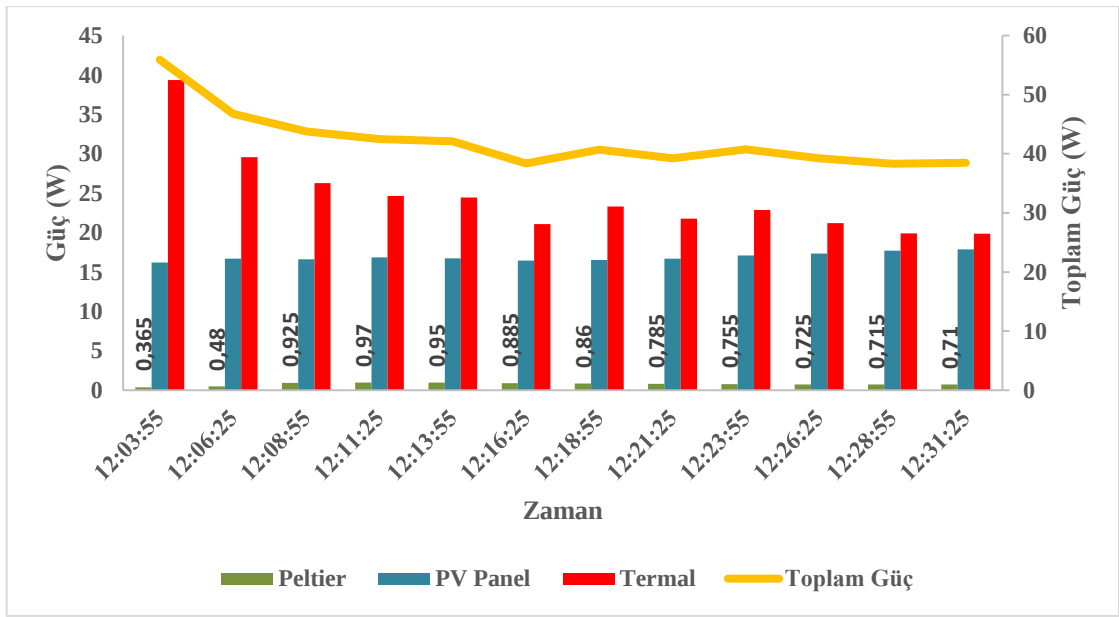
ısıl denge sağlanarak %25,53'e kadar düşmüştür. Debinin yüksek olması, sıcaklık farklarını önemli ölçüde değiştirmiş ve kısa sürede ısıl dengenin sağlanmasına neden olmuştur. Soğutma süresi boyunca ortalama termal verim %38,9 hesaplanmıştır. **Şekil 75.b**'de ise zamana bağlı Toplam Güç Zaman grafiği gösterilmiştir. Peltierin gücü, fan açılmadan hemen önce 0,355 W olarak ölçülmüş ve soğutma sırasında 1,25 W'a kadar çıkarak %71,6'lık bir artış meydana gelmiştir. Panel gücü ise fan açılmadan hemen önce 15,42 W olarak ölçülmüş, soğutma sırasında 17,58 W'a kadar çıkarak %12,28'lik bir artış gerçekleşmiştir. Soğutma süresi boyunca termal güç, ortalama 37,86 W toplam güç, ortalama 54,61 W olarak hesaplanmıştır.

12708 serisi Peltier ve akış yönüne dik (90°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıklarını kullanıldığı 10. kademe soğutma deneylerinden sonra, 8. kademe soğutma deneylerine geçilmiştir.

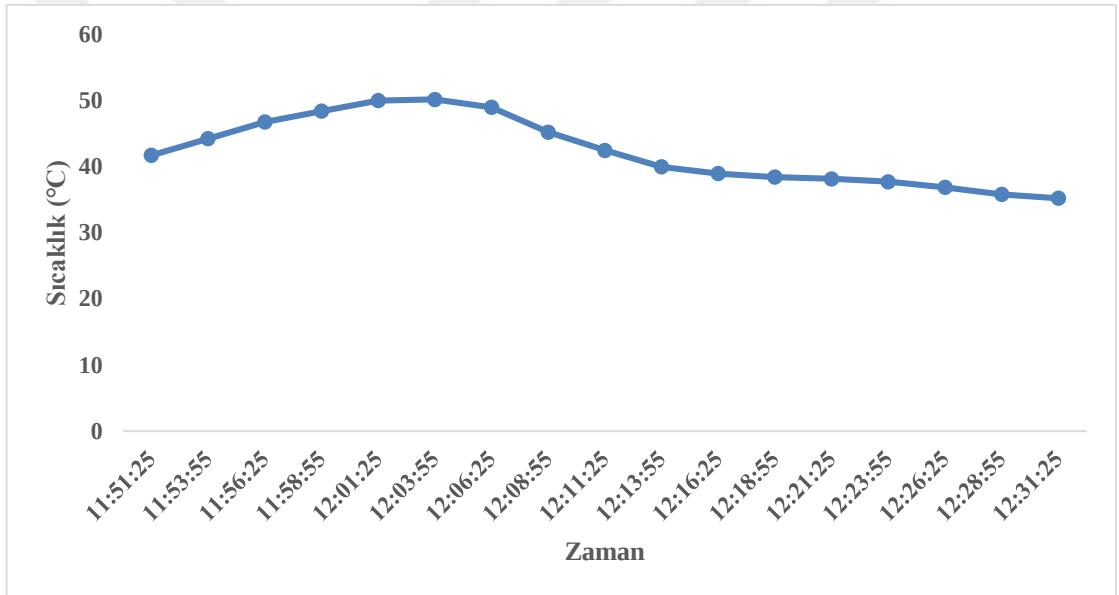


(a)

Şekil 96. 12708 serisi Peltier ve akış yönüne dik (90°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıkları 8. kademe soğutma deneyi (devamı)



(b)



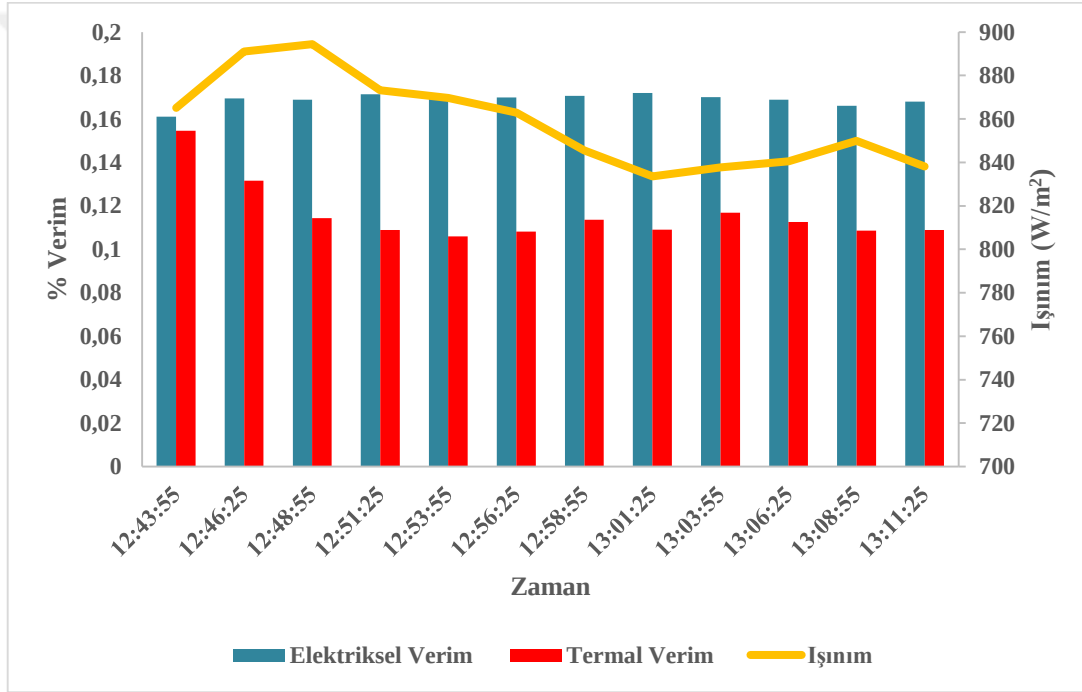
(c)

Şekil 97. 12708 serisi Peltier ve akış yönüne dik (90°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıkları 8. kademe soğutma deneyi

Şekil 76.c’de panelin, 12708 serisi Peltier ve akış yönüne dik (90°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıklar ile 8. kademedeki soğutulmasını gösteren Sıcaklık-Zaman grafiği verilmiştir. Panel sıcaklığı 12,03’te $50,14^\circ\text{C}$ ’ye ulaştıktan sonra fan çalıştırılmış ve 12:21’e kadar soğutulmuştur. Sıcaklık bu noktada $35,21^\circ\text{C}$ ’nin daha fazla altına düşmediği için fan kapatılmıştır. Soğutma süresi yaklaşık 18 dakika sürmüştür ve panel sıcaklığı $14,93^\circ\text{C}$ düşmüştür. Bu süre boyunca sistemin zamana bağlı Işınım-Verim grafiği Şekil 76.a’da gösterilmiştir. Elektriksel verim fan açılmadan hemen önce %16,39 olarak hesaplanmış, soğutma sırasında %17,46 seviyesine kadar yükselmiş ve yaklaşık %6,13’lük bir artış meydana gelmiştir. Fan açıldıktan sonra termal verim maksimum %38,34 seviyelerine kadar yükselmiş

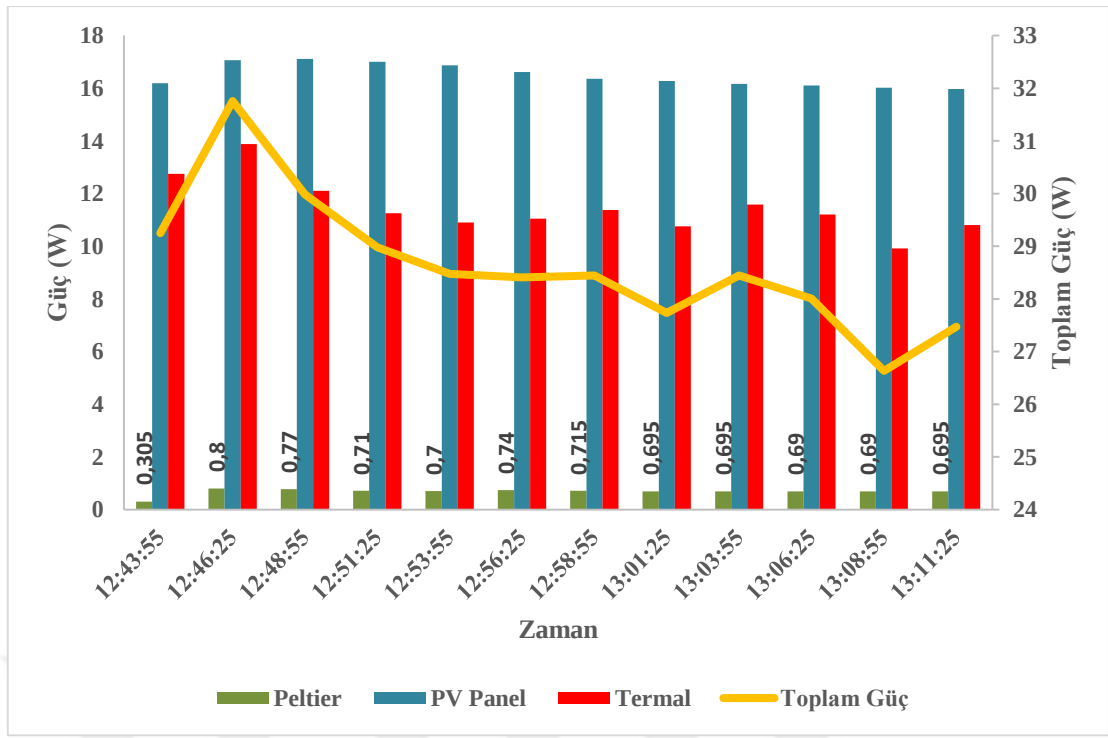
ve zamanla %18,01'e kadar düşmüştür. Debi kontrol hacmindeki ısının atılması için yeterli olmuş ve sistem ısı dengeye ulaşmıştır. Soğutma süresi boyunca ortalama termal verim %23,6 hesaplanmıştır. **Şekil 76.b**'de ise zamana bağlı Toplam Güç-Zaman grafiği gösterilmiştir. Peltierin gücü, fan açılmadan hemen önce 0,4 W olarak ölçülmüş ve soğutma sırasında 0,97 W'a kadar çıkarak %58,76'lık bir artış meydana gelmiştir. Panel gücü ise fan açılmadan hemen önce 16,33 W olarak ölçülmüş, soğutma sırasında 17,88 W'a kadar çıkarak %8,66'lık bir artış gerçekleşmiştir. Soğutma süresi boyunca termal güç, ortalama 24,52 W toplam güç, ortalama 42,18 W olarak hesaplanmıştır.

12708 serisi Peltier ve akış yönüne dik (90°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıklarını kullanıldığı 8. kademe soğutma deneylerinden sonra, 6. kademe soğutma deneylerine geçilmiştir.

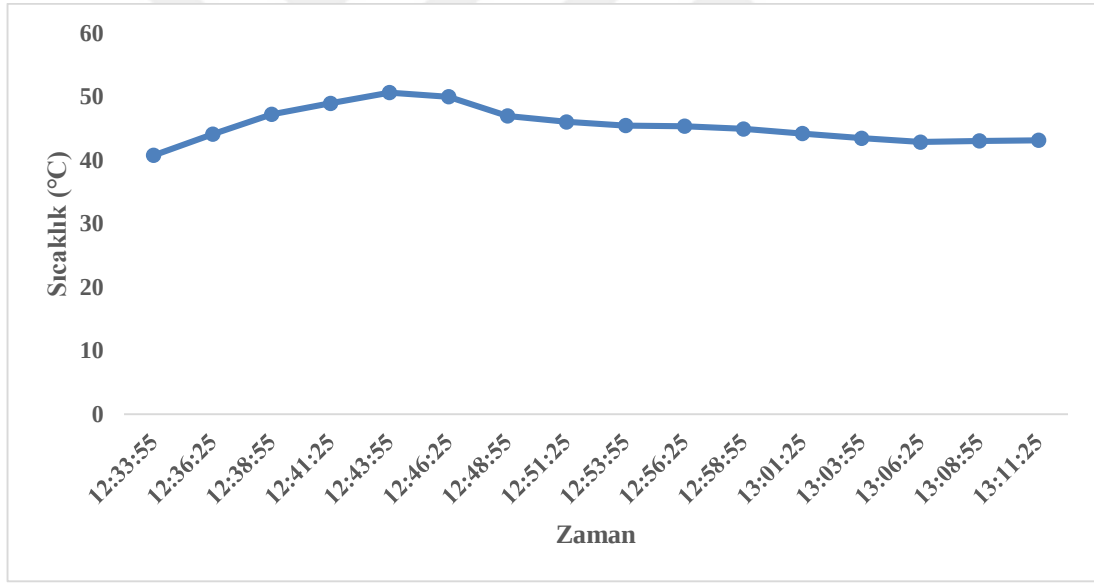


(a)

Şekil 98. 12708 serisi Peltier ve akış yönüne dik (90°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıkları 6. kademe soğutma deneyi (devamı)



(b)



(c)

Şekil 99. 12708 serisi Peltier ve akış yönüne dik (90°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıkları 6. kademe soğutma deneyi

Şekil 77.c’de panelin, 12708 serisi Peltier ve akış yönüne dik (90°) yerleştirilmiş alüminyum bal peteği kanatçıklar ile 6. kademedeki soğutulmasını gösteren Sıcaklık-Zaman grafiği verilmiştir. Panel sıcaklığı 12:43’te 50,66°C’ye ulaştıktan sonra fan çalıştırılmış ve 13:11’e kadar soğutulmuştur. Sıcaklık bu noktada 43,14°C’nin daha fazla altına düşmediği için fan kapatılmıştır. Soğutma süresi yaklaşık 28 dakika sürmüştür ve panel sıcaklığı 7,52°C düşmüştür. Bu süre boyunca sistemin zamana bağlı Işınım-Verim grafiği Şekil 77.a’da gösterilmiştir. Elektriksel verim fan açılmadan hemen önce %16,2 olarak hesaplanmış, soğutma

sırasında %17,2 seviyesine kadar yükselmiş ve yaklaşık %5,76'lık bir artış meydana gelmiştir. Fan açıldıktan sonra termal verim maksimum %15,4 seviyelerine kadar yükselmiş ve zamanla %10,9'a kadar düşmüştür. Debi kontrol hacmindeki ısının atılması için yeterli olmuş ve sistem ısı dengeye ulaşmıştır. Soğutma süresi boyunca ortalama termal verim %11,6 hesaplanmıştır. **Şekil 77.b**'de ise zamana bağlı Toplam Güç-Zaman grafiği gösterilmiştir. Peltierin gücü, fan açılmadan hemen önce 0,28 W olarak ölçülmüş ve soğutma sırasında 0,8 W'a kadar çıkarak %65'lik bir artış meydana gelmiştir. Panel gücü ise fan açılmadan hemen önce 16,48 W olarak ölçülmüş, soğutma sırasında 17,11 W'a kadar çıkarak %3,68'lik bir artış gerçekleşmiştir. Soğutma süresi boyunca termal güç, ortalama 11,46 W toplam güç, ortalama 28,63 W olarak hesaplanmıştır.



SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada; alüminyum bal peteği kanatçıkları ve termoelektrik eleman kullanılarak, monokristal yapılı bir fotovoltaiik panelin aktif soğutulması amaçlanmıştır. İki farklı Peltier (12705 ve 12708) yardımıyla ikincil bir elektrik gücü elde edilmiştir. Deneylerin ilk aşamasında kanatçık kullanılmadan yalnızca 12705 serisi Peltierlerin bağlı olduğu sistemin elektriksel/termal verimi ve panel gücü analiz edilmiştir. Daha sonra alüminyum bal peteği kanatçıklarının, hava akış yönüne göre 0°, 45° ve 90°'lik konumlarındaki elektriksel/termal verim ve güç performansı incelenmiştir. Deneylerin ikinci aşamasında ise 12708 serisi Peltier kullanılarak soğutma deneyleri tekrarlanmıştır. Çalışma sonucu aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- **Şekil 47.a**'da panelin, elektriksel veriminde yaklaşık %3,84'lük bir artış meydana gelmiştir. Ortalama termal verim yaklaşık %27 olarak hesaplanmıştır. **Şekil 47.b**'de Peltierin gücünde %55,65'lik, panel gücünde ise %3,07'lik bir artış gerçekleşmiştir. Soğutma süresi boyunca termal güç, ortalama 33,14 W toplam güç, ortalama 49,97 W olarak hesaplanmıştır.
- **Şekil 48.a**'da panelin, elektriksel veriminde yaklaşık %4,16'lık bir artış meydana gelmiştir. Ortalama termal verim yaklaşık %24,8 olarak hesaplanmıştır. **Şekil 48.b**'de Peltierin gücünde %58,03'lük, panel gücünde ise %2,93'lük bir artış gerçekleşmiştir. Soğutma süresi boyunca termal güç, ortalama 24,13 W toplam güç, ortalama 40,82 W olarak hesaplanmıştır.
- **Şekil 49.a**'da panelin, elektriksel veriminde yaklaşık %3,18'lik bir artış meydana gelmiştir. Ortalama termal verim yaklaşık %8,3 olarak hesaplanmıştır. **Şekil 49.b**'de Peltierin gücünde %44,31'lik, panel gücünde ise %0,49'luk bir artış gerçekleşmiştir. Soğutma süresi boyunca termal güç, ortalama 8,23 W toplam güç, ortalama 24,85 W olarak hesaplanmıştır.
- **Şekil 51.a**'da panelin, elektriksel veriminde yaklaşık %5,01'lik bir artış meydana gelmiştir. Ortalama termal verim yaklaşık %38,6 olarak hesaplanmıştır. **Şekil 51.b**'de Peltierin gücünde %56,16'lık, panel gücünde ise %1,74'lük bir artış gerçekleşmiştir. Soğutma süresi boyunca termal güç, ortalama 25,37 W toplam güç, ortalama 43,38 W olarak hesaplanmıştır.

- **Şekil 52.a**'da panelin, elektriksel veriminde yaklaşık %4,28'lik bir artış meydana gelmiştir. Ortalama termal verim yaklaşık %17,9 olarak hesaplanmıştır. **Şekil 52.b**'de Peltierin gücünde %62,83'lük, panel gücünde ise %0,42'lik bir artış gerçekleşmiştir. Soğutma süresi boyunca termal güç, ortalama 19,38 W toplam güç, ortalama 36,74 W olarak hesaplanmıştır.
- **Şekil 53.a**'da panelin, elektriksel veriminde yaklaşık %1,96'lik bir artış meydana gelmiştir. Ortalama termal verim yaklaşık %8,5 olarak hesaplanmıştır. **Şekil 53.b**'de Peltierin gücünde %56,75'lik, panel gücünde ise %0,49'luk bir artış gerçekleşmiştir. Soğutma süresi boyunca termal güç, ortalama 8,62 W toplam güç, ortalama 25,38 W olarak hesaplanmıştır.
- **Şekil 55.a**'da panelin, elektriksel veriminde yaklaşık %6,28'lik bir artış meydana gelmiştir. Ortalama termal verim yaklaşık %17,2 olarak hesaplanmıştır. **Şekil 55.b**'de Peltierin gücünde %47,86'lük, panel gücünde ise %2,77'lik bir artış gerçekleşmiştir. Soğutma süresi boyunca termal güç, ortalama 17,69 W toplam güç, ortalama 35,15 W olarak hesaplanmıştır.
- **Şekil 56.a**'da panelin, elektriksel veriminde yaklaşık %3,23'lük bir artış meydana gelmiştir. Ortalama termal verim yaklaşık %22,1 olarak hesaplanmıştır. **Şekil 56.b**'de Peltierin gücünde %64,47'lük, panel gücünde ise %10,55'lik bir artış gerçekleşmiştir. Soğutma süresi boyunca termal güç, ortalama 21,17 W toplam güç, ortalama 37,83 W olarak hesaplanmıştır.
- **Şekil 57.a**'da panelin, elektriksel veriminde yaklaşık %3,62'lik bir artış meydana gelmiştir. Ortalama termal verim yaklaşık %8,2 olarak hesaplanmıştır. **Şekil 57.b**'de Peltierin gücünde %51,54'lük, panel gücünde ise %4,51'lik bir artış gerçekleşmiştir. Soğutma süresi boyunca termal güç, ortalama 8,82 W toplam güç, ortalama 26,96 W olarak hesaplanmıştır.
- **Şekil 59.a**'da panelin, elektriksel veriminde yaklaşık %5,8'lik bir artış meydana gelmiştir. Ortalama termal verim yaklaşık %19 olarak hesaplanmıştır. **Şekil 59.b**'de Peltierin gücünde %71,73'lük, panel gücünde ise %0,05'lik bir artış gerçekleşmiştir. Soğutma süresi boyunca termal güç, ortalama 20,33 W toplam güç, ortalama 38,36 W olarak hesaplanmıştır.
- **Şekil 60.a**'da panelin, elektriksel veriminde yaklaşık %4,38'lik bir artış meydana gelmiştir. Ortalama termal verim yaklaşık %16,3 olarak hesaplanmıştır. **Şekil 60.b**'de Peltierin gücünde %55,3'lük, panel gücünde ise %0,52'lik bir artış gerçekleşmiştir. Soğutma süresi boyunca termal güç, ortalama 16,1 W toplam güç, ortalama 33,78 W olarak hesaplanmıştır.

- **Şekil 61.a**'da panelin, elektriksel veriminde yaklaşık %2,44'lük bir artış meydana gelmiştir. Ortalama termal verim yaklaşık %9,4 olarak hesaplanmıştır. **Şekil 61.b**'de Peltierin gücünde %61,43'lük, panel gücünde ise %0,18'lik bir artış gerçekleşmiştir. Soğutma süresi boyunca termal güç, ortalama 9,31 W toplam güç, ortalama 26,61 W olarak hesaplanmıştır.
- **Şekil 63.a**'da panelin, elektriksel veriminde yaklaşık %4,56'lık bir artış meydana gelmiştir. Ortalama termal verim yaklaşık %29,6 olarak hesaplanmıştır. **Şekil 63.b**'de Peltierin gücünde %45,8'lik, panel gücünde ise %2,76'lık bir artış gerçekleşmiştir. Soğutma süresi boyunca termal güç, ortalama 29,08 W toplam güç, ortalama 45,83 W olarak hesaplanmıştır.
- **Şekil 64.a**'da panelin, elektriksel veriminde yaklaşık %3,88'lik bir artış meydana gelmiştir. Ortalama termal verim yaklaşık %22,7 olarak hesaplanmıştır. **Şekil 64.b**'de Peltierin gücünde %40,81'lik, panel gücünde ise %1,62'lik bir artış gerçekleşmiştir. Soğutma süresi boyunca termal güç, ortalama 21,9 W toplam güç, ortalama 38,42 W olarak hesaplanmıştır.
- **Şekil 65.a**'da panelin, elektriksel veriminde yaklaşık %3,26'lık bir artış meydana gelmiştir. Ortalama termal verim yaklaşık %9,6 olarak hesaplanmıştır. **Şekil 65.b**'de Peltierin gücünde %15,79'lük, panel gücünde ise %0,65'lik bir artış gerçekleşmiştir. Soğutma süresi boyunca termal güç, ortalama 8,87 W toplam güç, ortalama 24,6 W olarak hesaplanmıştır.
- **Şekil 67.a**'da panelin, elektriksel veriminde yaklaşık %7,13'lük bir artış meydana gelmiştir. Ortalama termal verim yaklaşık %40,9 olarak hesaplanmıştır. **Şekil 67.b**'de Peltierin gücünde %56,47'lik, panel gücünde ise %2,84'lik bir artış gerçekleşmiştir. Soğutma süresi boyunca termal güç, ortalama 39,9 W toplam güç, ortalama 56,89 W olarak hesaplanmıştır.
- **Şekil 68.a**'da panelin, elektriksel veriminde yaklaşık %4,17'lik bir artış meydana gelmiştir. Ortalama termal verim yaklaşık %22,7 olarak hesaplanmıştır. **Şekil 68.b**'de Peltierin gücünde %61,15'lük, panel gücünde ise %1,34'lik bir artış gerçekleşmiştir. Soğutma süresi boyunca termal güç, ortalama 21,3 W toplam güç, ortalama 38,15 W olarak hesaplanmıştır.
- **Şekil 69.a**'da panelin, elektriksel veriminde yaklaşık %3,34'lük bir artış meydana gelmiştir. Ortalama termal verim yaklaşık %8,8 olarak hesaplanmıştır. **Şekil 69.b**'de Peltierin gücünde %63,63'lük, panel gücünde ise %0,56'lık bir artış gerçekleşmiştir. Soğutma süresi boyunca termal güç, ortalama 8,55 W toplam güç, ortalama 24,93 W olarak hesaplanmıştır.

- **Şekil 71.a'**da panelin, elektriksel veriminde yaklaşık %7,94'lük bir artış meydana gelmiştir. Ortalama termal verim yaklaşık %36,6 olarak hesaplanmıştır. **Şekil 71.b'**de Peltierin gücünde %58,79'lük, panel gücünde ise %8,35'lik bir artış gerçekleşmiştir. Soğutma süresi boyunca termal güç, ortalama 37,21 W toplam güç, ortalama 54,04 W olarak hesaplanmıştır.
- **Şekil 72.a'**da panelin, elektriksel veriminde yaklaşık %6,14'lük bir artış meydana gelmiştir. Ortalama termal verim yaklaşık %28,5 olarak hesaplanmıştır. **Şekil 72.b'**de Peltierin gücünde %61,62'lük, panel gücünde ise %3,12'lik bir artış gerçekleşmiştir. Soğutma süresi boyunca termal güç, ortalama 27,98 W toplam güç, ortalama 45,27 W olarak hesaplanmıştır.
- **Şekil 73.a'**da panelin, elektriksel veriminde yaklaşık %4,76'lık bir artış meydana gelmiştir. Ortalama termal verim yaklaşık %11,5 olarak hesaplanmıştır. **Şekil 73.b'**de Peltierin gücünde %56,52'lik, panel gücünde ise %4,23'lük bir artış gerçekleşmiştir. Soğutma süresi boyunca termal güç, ortalama 11,74 W toplam güç, ortalama 29,02 W olarak hesaplanmıştır.
- **Şekil 75.** panelin, elektriksel veriminde yaklaşık %8,94'lük bir artış meydana gelmiştir. Ortalama termal verim yaklaşık %38,9 olarak hesaplanmıştır. **Şekil 75.b'**de Peltierin gücünde %71,6'lık, panel gücünde ise %12,28'lik bir artış gerçekleşmiştir. Soğutma süresi boyunca termal güç, ortalama 37,86 W toplam güç, ortalama 54,61 W olarak hesaplanmıştır.
- **Şekil 76.a'**da panelin, elektriksel veriminde yaklaşık %6,13'lük bir artış meydana gelmiştir. Ortalama termal verim yaklaşık %23,6 olarak hesaplanmıştır. **Şekil 76.b'**de Peltierin gücünde %58,76'lük, panel gücünde ise %8,66'lık bir artış gerçekleşmiştir. Soğutma süresi boyunca termal güç, ortalama 24,52 W toplam güç, ortalama 42,18 W olarak hesaplanmıştır.
- **Şekil 77.a'**da panelin, elektriksel veriminde yaklaşık %5,76'lık bir artış meydana gelmiştir. Ortalama termal verim yaklaşık %11,6 olarak hesaplanmıştır. **Şekil 77.b'**de Peltierin gücünde %65'lik, panel gücünde ise %3,68'lik bir artış gerçekleşmiştir. Soğutma süresi boyunca termal güç, ortalama 11,46 W toplam güç, ortalama 28,63 W olarak hesaplanmıştır.
- 12705 serisi Peltier için en yüksek termal verim, akış yönüne paralel (0°) dizilim ve 10. kademedede (2 m/s) %38,6 olarak hesaplanmıştır.
- 12705 serisi Peltier için en yüksek elektriksel verim, akış yönüne çapraz (45°) dizilim ve 10. kademedede (2 m/s) %6,28 olarak hesaplanmıştır.

- 12708 serisi Peltier için en yüksek termal verim, akış yönüne paralel (0°) dizilim ve 10. kademede (2 m/s) %40,9 olarak hesaplanmıştır.
- 12708 serisi Peltier için en yüksek elektriksel verim, akış yönüne dik (90°) dizilim ve 10. kademede (2 m/s) %8,94 olarak hesaplanmıştır.
- 12705 serisi Peltier için en yüksek güç üretimi, akış yönüne dik (90°) dizilim ve 10. kademede (2 m/s) %71,73'lik artış olmuştur.
- 12708 serisi Peltier için en yüksek güç üretimi, akış yönüne dik (90°) dizilim ve 10. kademede (2 m/s) %71,6'lık artış olmuştur.



KAYNAKÇA

- Ahn, J., Kim, J., & Kim, J. (2015). A study on experimental performance of air-type PV/T collector with HRV. *Energy Procedia*, 78, 3007-3012.
- Alobaid, M., Hughes, B., O'Connor, D., Calautit, J., & Heyes, A. (2018). Improving thermal and electrical efficiency in photovoltaic thermal systems for sustainable cooling system integration. *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*, 6(2), 305-322.
- Anonim. (2018l). Thermal expansion properties of aluminum alloys. *Materials Research*.
- Anonim. (2019b, 9 13). *Artıları ve Eksileri ile Güneş Enerjisi*. Alfa Enerji Danışmanlık: <https://afaenerji.com/blog/2019/09/13/artilari-ve-eksileri-ile-gunes-enerjisi/> adresinden alındı
- Anonim. (2019m). Insulating properties of honeycomb structures. *International Journal of Thermal Sciences*.
- Anonim. (2020k). Aluminum honeycomb and its applications in heat management. *Journal of Materials Science and Engineering*.
- Anonim. (2021n). High-temperature behavior of aluminum honeycomb structures. *Journal of Engineering Materials and Technology*.
- Anonim. (2023c). *Solarcati*. Solarcati web sitesi: <https://solarcati.com/gunes-enerjisi-kullanim-olanlari/> adresinden alındı
- Anonim. (2024a, 09 01). *Meydascope*. medyascope.tv: <https://medyascope.tv/2023/08/23/cop26da-verilen-sozler-tutulmadi-fosil-yakit-tuketimi-azalmiyor-artiyor/> adresinden alındı
- Anonim. (2024d, 9 14). *Photovoltaic Research*. NREL Transforming Energy: <https://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html> adresinden alındı
- Anonim. (2024e, 11 22). *DENEYSEL ÇALIŞMALARDA HATA VE BELİRSİZLİK ANALİZİ*. Hitit Üniversitesi: https://cdn.hitit.edu.tr/mf/files/66164_2047113654.pdf adresinden alındı
- Anonim. (2024e, 05 21). *Fotovoltaik Hücreler*. 2024 tarihinde Cıbe Journal: <https://www.cibsejournal.com/cpd/modules/2010-01/> adresinden alındı
- Anonim. (2024f, 05 21). *Güneş paneli nasıl yapılır?* Antalya Enerji: <https://www.antalyaenerji.com/gunes-paneli-nasil-yapilir/> adresinden alındı
- Anonim. (2024g, 05 21). *Solar Panel Construction*. Clean Energy Reviews: <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/solar-panel-components-construction> adresinden alındı
- Anonim. (2024h, 05 21). *Monokristal ve Polikristal Güneş Panelleri Arasındaki Fark Nedir?* Aydınlatma Portalı: <https://aydinlatma.org/monokristal-ve-polikristal-gunes-panelleri-arasindaki-fark-nedir.html> adresinden alındı
- Anonim. (2024ı, 05 21). Güneysan Güneş Enerji Sistemleri: <https://www.guneysangunesenerjisi.com.tr/?pnum=6&pt=Güneş+Pilleri+%28Fotovoltaik%29+veya+Güneş+Hücreleri> adresinden alındı

- Anonim. (2024i, 05 27). *Pamukkale Üniversitesi*. Pamukkale Üniversitesi Termoelektrik Laboratuvarı: <https://www.pau.edu.tr/termoelektrik/tr/sayfa/termoelektrik-modul> adresinden alındı
- Anonim. (2024j, 11 11). *Termoelektrik Etkiler*. Pamukkale Üniversitesi Termoelektrik Laboratuvarı: <https://www.pau.edu.tr/termoelektrik/tr/sayfa/termoelektrik-sistem> adresinden alındı
- Aydın, A. (2022). *Monokristalin Yapılı Pv/T Sistemde Kolektif Soğutma Uygulaması Ve Nanoakışkan Kullanımının Pv Panel Verimine Etkilerinin Deneysel Ve Matematiksel Analizi*. Batman: Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Bahaidarah, H., Subhan, A., Gandhidasan, P., & Rehman, S. (2013). Performance evaluation of a PV (photovoltaic) module by back surface water cooling for hot climatic conditions. *Energy*, 59, 445-453.
- Bansal, P., & Martin, A. (2000). Comparative study of vapour compression, thermoelectric and absorption refrigerators. *International Journal of Energy Research*, 24(2), 93-107.
- Bayraç, H. (2009). Küresel Enerji Politikaları Ve Türkiye: Petrol Ve Doğal Gaz Kaynakları Açısından Bir Karşılaştırma. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 10(1), 115-142.
- Bayrak, F. (2017). *Fotovoltaik panellere bütünleştirilmiş farklı pasif yöntemlerin sistem verimliliğine etkisinin sayısal ve deneysel analizi*. Elazığ: Fırat Üniversitesi.
- Bayrak, F., Öztıp, H., & Selimefendigil, F. (2020). Experimental study for the application of different cooling techniques in photovoltaic (PV) panels. *Energy Conversion and Management*, 212, 112789.
- Benghanem, M., Al-Mashraqi, A., & Daffallah, K. (2016). Performance of solar cells using thermoelectric module in hot sites. *Renewable Energy*, 89, 51-59.
- Benli, H., Gürtürk, M., & Koçdemir, N. (2020). EXPERIMENTAL ANALYSIS OF THE OUTPUT PERFORMANCE OF THE ABRASIVE EFFECT OF DUST ON PHOTOVOLTAIC CELLS. *Journal of Scientific Reports-A*, 045, 158-177.
- Bozkurt, S. (2017). *TERMOELEKTRİK ETKİ İLE FOTOVOLTAİK PANELLERİN SOĞUTULMASI VE PERFORMANSININ İNCELENMESİ*. İzmir: EGE ÜNİVERSİTESİ GÜNEŞ ENERJİSİ ENSTİTÜSÜ Güneş Enerjisi Anabilim Dalı.
- Bozkurt, S., & Tür, R. (2015). Dünyada ve Türkiyede Hidroelektrik Enerji, Gelişimi ve Genel Değerlendirme. *Su Yapıları Sempozyumu Kitabı* (s. 32330). içinde Antalya.
- Bozkuş, Ö. (2022). *FOTOVOLTAİK PANELLERDE SOĞUTMA TEKNİĞİNİN ENERJİ VERİMLİLİĞİNE ETKİLERİNİN UYGULAMA VE SİMÜLASYON YOLUYLA ANALİZİ*. Kocaeli: KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ .
- Canik, B., Çelik, M., & Arıgün, Z. (2000). Jeotermal enerji. Hiperlink.
- Cook, G. (1991). *Photovoltaic fundamentals*. Washington, DC: Solar Energy Research Institute.
- Çakır, T., & Alçı, M. (2017). *Fotovoltaik Panellerde Sıcaklık Etkisinin İncelenmesi*. 8. Enerji Verimliliği Forumu ve Fuarı. Ankara: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü.
- Çalışır, O. (2014). *Termoelektrik Jeneratörlerde Atık Isı Kullanımına Bir Uygulama: Pem Yakıt Pili Atık Isısının Değerlendirilmesi*. Kayseri: Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Çetintaş, H., Bicil, İ., & Türköz, K. (2017). Türkiye’de enerji üretiminde fosil yakıt kullanımı ve CO2 emisyonu ilişkisi: Bir senaryo analizi . *EconWorld Working Paper Series.*, 1-12.
- Çoşkun, O. (2024, 11 10). *Fotovoltaik Sistemlerin Verimliliğini Etkileyen Faktörler*. Enerji Sistemleri Mühendisliği: <https://www.enerjisistemlerimuhendisligi.com/fotovoltaik-sistemlerin-verimlilikini-etkileyen-faktorler/3753/> adresinden alındı
- Çukurçayır, M., & Sağır, H. (2008). Enerji sorunu, çevre ve alternatif enerji kaynakları. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 20, 257-278.
- D., O. (2002). Güneş Pilleri. *Seminer*. Süleyman Demirel Üniversitesi.
- Deniz, E. (2013). Güneş enerjisi santrallerinde kayıplar. *Akademi Enerji İzmir*, 14.
- Deniz, E. (2013). *GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALLERİNDE KAYIPLAR*. İzmir: Akademi Enerji.
- Döşkaya, H. (2010). *Güneş enerjisi ve atık ısı kullanılarak termoelektrik modül ile deneysel elektrik üretimi*. Hatay: Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Earthscan. (2005). *Planning and Installing Photovoltaic Systems*. London: British Library.
- Ege, F., & Yakut, K. (2024). Experimental and Numerical Investigation of Photovoltaic Systems Cooling with Binary Mixture Spray. *Journal of Energy Trends*, 1(1), 1-9.
- Ekinci, S., Sancaklı, S., Law, A., & Walls, J. (2022). Performance and durability of thin film solar cells via testing the abrasion resistance of broadband anti-reflection coatings. *Journal of Energy Systems*, 6(1), 33-45.
- Ekren, N. (2020). *A review of anti-reflection and self-cleaning coatings on photovoltaic panels*. Marmara Üniversitesi.
- Electropedia. (2024, 05 22). *Solar Power (Technology and Economics)*. Electropedia: https://www.mpoweruk.com/solar_power.htm adresinden alındı
- Elektrikport. (2024, 05 27). *Termoelektrik Etki Nedir?* Elektrikport: <https://www.elektrikport.com/makale-detay/termoelektrik-etki-nedir/17041#ad-image-0> adresinden alındı
- Elibüyük, U., & Üçgül, İ. (2014). Rüzgâr türbinleri, çeşitleri ve rüzgâr enerjisi depolama yöntemleri. *Yekarum*, 2(3).
- Elsafi, A., & Gandhidasan, P. (2015). Performance of a photovoltaic or thermal double-pass solar air heater with different fin configurations. *J. Clean Energy Technol*, 3, 28-33.
- Gholampour, M., Ameri, M., & Samani, M. (2014). Experimental study of performance of Photovoltaic–Thermal Unglazed Transpired Solar Collectors (PV/UTCs): Energy, exergy, and electrical-to-thermal rational approaches. *Solar Energy*, 110, 636-647.
- Göksel, B., & Varıyenli, H. (2021). FOTOVOLTAİK/TERMAL (PV/T) GÜNEŞ KOLEKTÖRDE ELEKTRİKSEL VE TERMAL VERİMİN DENEYSEL ANALİZİ. *Aegean Innovation Technology & Engineering Congress*. İzmir.
- Green, M., Dunlop, E., Yoshita, M., Kopidakis, N., Bothe, K., Siefer, G., & Hao, X. (2023). Solar cell efficiency tables (version 62). *Progress in Photovoltaics*, 31(7).
- Grubišić-Čabo, F., Nižetić, S., Čoko, D., Kragić, I., & Papadopoulos, A. (2018). Experimental investigation of the passive cooled free-standing photovoltaic panel with fixed aluminum fins on the backside surface. *Journal of Cleaner Production*, 176, 119-129.
- Gunerhan, H., & Hepbasli, A. (2007). Determination of the optimum tilt angle of solar collectors for building applications. *Building and environment*, 42(2), 779-783.

- Gül, M., & Akyüz, E. (2019). Fotovoltaik-termal (PV/T) bir sistemin deneysel performansının incelenmesi. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21(1), 444-458.
- He, W., Zhou, J., Hou, J., Chen, C., & Ji, J. (2013). Theoretical and experimental investigation on a thermoelectric cooling and heating system driven by solar. *Applied energy*, 107, 89-97.
- Hermann, W. (2005). Mismatchverluste bei Verschaltung von Solarmodulen–Ertragsgewinn durch Vorsortierung. 20. In *Symposium Photovoltaische Solarenergie*, Kloster Banz.
- HexaPan. (2024, 9 14). HexaPan HoneyComb Panel Systems: <https://www.hexapan.com/uploads/521f786023ba3e27550d546907079639.pdf> adresinden alındı
- Hossain, M., Pandey, A., Selvaraj, J., Abd Rahim, N., Rivai, A., & Tyagi, V. (2019). Thermal performance analysis of parallel serpentine flow based photovoltaic/thermal (PV/T) system under composite climate of Malaysia. *Applied Thermal Engineering*, 153, 861-871.
- Jeofizik Mühendisleri. (2024, 09 1). jeofizikmuhendisleri.com: <http://www.jeofizikmuhendisleri.com/makaleler/gunesin.yapisi> adresinden alındı
- Jia, Y., Alva, G., & Fang, G. (2019). Development and applications of photovoltaic–thermal systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 102, 249-265.
- Jones, A., & Underwood, C. (2001). A thermal model for photovoltaic systems. *Solar energy*, 70(4), 349-359.
- Journal of Materials Science and Engineering. (2020). Aluminum Honeycomb and its Applications in Heat Management. *Journal of Materials Science and Engineering*,.
- Kabul, A., & Duran, F. (2014). ISPARTA İLİNDE FOTOVOLTAİK/TERMAL (PV/T) HİBRİT SİSTEMİN PERFORMANS ANALİZİ. *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 9(1), 31-43.
- Kabul, A., & Yaşar, E. (2017). FOTOVOLTAİK/TERMAL (PV/T) HİBRİT SİSTEMLERİN SOĞUTMA TEKNİKLERİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ. *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 9(1), 17-32.
- Kayri, İ. (2024). Investigation of Near Shading Losses in Photovoltaic Systems with PVsyst Software. *Balkan Journal of Electrical and Computer Engineering*, 12(1), 10-19.
- Kazem, H. (2019). Evaluation and analysis of water-based photovoltaic/thermal (PV/T) system. *Case Studies in Thermal Engineering*, 13, 100401.
- Kebabcıoğlu, S. (2009). Endüstriyel amaçlı akıllı sistem tabanlı optimal güneş pili uygulaması. *Yüksek Lisans Tezi*. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kerem, A., Atik, M., & Bayram, A. (2020). Fotovoltaik (PV) panel sisteminde yüzey soğutma işleminin elektrik üretimine etkisinin deneysel incelenmesi. *International Journal of Engineering Research and Development*, 12(2), 565-578.
- Kerem, A., Atik, M., & Bayram, A. (2020). Fotovoltaik (PV) panel sisteminde yüzey soğutma işleminin elektrik üretimine etkisinin deneysel incelenmesi. *International Journal of Engineering Research and Development*, 12(2), 565-578.
- Kılıç, A., & Öztürk, A. (1984). *Güneş ışıını ve düz toplayıcılar*. Ankara: SEGEM.
- Kim, J., Park, S., & Kim, J. (2014). Experimental performance of a photovoltaic-thermal air collector. *Energy Procedia*, 48, 888-894.
- Kline, W. (1976). *Describing uncertainties in single-sample experiments*. Japan: Mac. Eng.

- Koç, E., & Kaya, K. (2015). Enerji kaynakları–yenilenebilir enerji durumu. *Mühendis ve Makina*, 56(668), 36-47.
- Kumar, R., & Rosen, M. (2011). Performance evaluation of a double pass PV/T solar air heater with and without fins. *Applied Thermal Engineering*, 31(8-9), 1402-1410.
- Liu, J., Shi, Y., & Yang, Y. (2001). Solvation-induced morphology effects on the performance of polymer-based photovoltaic devices. *Advanced Functional Materials*, 11(6), 420-424.
- Mazón-Hernández, R., García-Cascales, J., Vera-García, F., Káiser, A., & Zamora, B. (2013). Improving the electrical parameters of a photovoltaic panel by means of an induced or forced air stream. *International Journal of Photoenergy*(1). doi:830968
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü. (2023). T.C. ÇEVRE, ŞEHİRCİLİK ve İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ BAKANLIĞI: <https://www.mgm.gov.tr/Veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=ERZURUM> adresinden alındı
- Metwally, H., Mahmoud, N., Aboelsoud, W., & Ezzat, M. (2021). Yearly performance of the photovoltaic active cooling system using the thermoelectric generator. *Case Studies in Thermal Engineering*, 27, 101252.
- Mojumder, J., Chong, W., Ong, H., & Leong, K. (2016). An experimental investigation on performance analysis of air type photovoltaic thermal collector system integrated with cooling fins design. *Energy and Buildings*, 130, 272-285.
- Moshfegh, H., Eslami, M., & Hosseini, A. (2018). Thermoelectric cooling of a photovoltaic panel. *The Role of Exergy in Energy and the Environment*, 625-634.
- Mühendisiz.net. (2024, 05 27). *Soğutma Yöntemleri Ve Açıklamaları*. Mühendisiz.net: <https://www.muhendisiz.net/sogutma-yontemleri-ve-aciklamalari.html> adresinden alındı
- Ömeroğlu, G. (2018). Fotovoltaik - Termal (PV / T) Sistemin Sayısal (CFD) ve Deneysel Analizi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 30(1), 161-167.
- Özbaş, E., & Alkış, M. (2018). Fotovoltaik Modüle Uygulanan Soğutma Tekniklerinin İncelenmesi. 2. *International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies*. 3, s. 1274-1277. Samsun: SETSCI Conference Indexing System.
- Öztürk, H. (2012). *Güneş Enerjisi ve Uygulamaları*. İstanbul: Birsen.
- Öztürk, H. (2017). Güneş Enerjisinden Fotovoltaik Yöntemle Elektrik Üretiminde Güç Dönüşüm Verimi ve Etkili Etmenler. *Elektrik Tesisat Ulusal Kongre ve Sergisi Bildirileri*, 1, s. 1-14.
- Öztürk, H. (2021). *Yenilenebilir enerji kaynakları*. İstanbul: Birsen Yayınevi.
- Öztürk, H. (2021). *Yenilenebilir Enerji Kaynakları 2. Baskı*. İstanbul: Birsen Yayınevi.
- PAU Termoelektrik Laboratuvarı . (2024, 11 11). *Termoelektrik Nedir?* PAU Termoelektrik Laboratuvarı: <https://www.pau.edu.tr/termoelektrik/tr/sayfa/termoelektrik-nedir-2> adresinden alındı
- Pektemir, İ. (2019). *FOTOVOLTAİK TERMAL (PV/T) SİSTEMLERDE HAVA VE SU AKIŞKANLARININ BİRLİKTE KULLANILMASININ TOPLAM VERİME ETKİSİNİN İNCELENMESİ*. İstanbul: MARMARA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ.
- PraveenKumar, S., Agyekum, E., Qasim, M., Alwan, N., Velkin, V., & Shcheklein, S. (2022). Experimental assessment of thermoelectric cooling on the efficiency of PV module. *Int. J. Renew. Energy Res.(IJRER)*, 12, 1670-1681.

- Rüstemli, S., Dinçer, F., Çelik, M., & Cengiz, M. (2013). Fotovoltaik Paneller: Güneş Takip Sistemleri ve İklimlendirme Sistemleri. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2(2), 141-147.
- Sajjad, U., Amer, M., Ali, H., Dahiya, A., & Abbas, N. (2019). Cost effective cooling of photovoltaic modules to improve efficiency. *Case Studies in Thermal Engineering*, 14, 100420.
- Singh, D., Chaubey, H., Parvez, Y., Monga, A., & Srivastava, S. (2022). Performance improvement of solar PV module through hybrid cooling system with thermoelectric coolers and phase change material. *Solar Energy*, 241, 538-552.
- Soltani, S., Kasaeian, A., Sarrafha, H., & Wen, D. (2017). An experimental investigation of a hybrid photovoltaic/thermoelectric system with nanofluid application. *Solar Energy*, 155, 1033-1043.
- Sopian, K., Liu, H., Kakac, S., & Veziroglu, T. (2000). Performance of a double pass photovoltaic thermal solar collector suitable for solar drying systems. *Energy conversion and management*, 41(4), 353-365.
- Stuckelberger, M., Biron, R., Wyrsh, N., Haug, F., & Ballif, C. (2017). Progress in solar cells from hydrogenated amorphous silicon. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76, 1497-1523.
- Şimşek, S. (2024). Yenilenebilir Enerji Tüketimi ve Ekonomik Büyüme Arasındaki Nedensellik İlişkisi: Türkiye Örneği. *Politik Ekonomik Kuram*, 8(2), 425-433.
- T.C Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2024, 05 21). T.C Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2021. Güneş - Bilgi Merkezi: <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-gunes> adresinden alındı
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2024, 05 21). T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı: <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-elektrik> adresinden alındı
- Temizer, İ., İlkılıç, C., Tanyeri, B., & Cihan, Ö. (2012). TERMoeLEKTRİK TEKNOLOJİSİNİN TAŞIT SİSTEMLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ. *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, 1(2), 199-209.
- Teo, H., Lee, P., & Hawlader, M. (2012). An active cooling system for photovoltaic modules. *Applied Energy*, 90(1), 309-315.
- Tol, G., Sarman, İ., Tıkız, İ., & Çelik, C. (2022). Gemi Makinelerinde Egzoz Atık Isısının Geri Kazanımı İçin Bir Termoelektrik Sistemin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Tasarımı ve Analizi. *Denizcilik Araştırmaları Dergisi: Amfora*, 1(2), 85-101.
- Tripanagnostopoulos, Y., Bazilian, M., Zoulia, I., & Battisti, R. (2002). *Hybrid PV/T system with improved air heat extraction modification*. Rome: PV in Europe.
- TSKB Enerji Çalışma Grubu. (2023). *Enerji Görünümü 2023*. TSKB. <https://www.tskb.com.tr/uploads/file/enerji-gorunumu-2023.pdf> adresinden alındı
- Türk, S. (2022). *Fotovoltaik panellerde sıcaklığın etkisi ve panel sıcaklığının düşürülmesi için farklı soğutma yöntemlerinin incelenmesi*. Edirne: Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Tyagi, V., Kaushik, S., & Tyagi, S. (2012). Advancement in solar photovoltaic/thermal (PV/T) hybrid collector technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(3), 1383-1398.
- Wikipedi. (2024, 9 14). *Termoelektrik soğutma*. Wikipedi: https://tr.wikipedia.org/wiki/Termoelektrik_soğutma adresinden alındı

- Wikipedia. (2024). Wikipedia: https://tr.wikipedia.org/wiki/Güneş_Hücresi_Verimliliği adresinden alındı
- Wikipedia. (2024, 11 11). *Termoelektrik soğutma*. Wikipedia: https://tr.wikipedia.org/wiki/Termoelektrik_soğutma adresinden alındı
- Woodford, C. (2024, 11 09). *Solar cells*. explainthatstuff: <https://www.explainthatstuff.com/solarcells.html> adresinden alındı
- Yağcı, O. (2021). Fotovoltaik panellerin suya daldırma metodu ile soğutulmaları. *Uluslararası Katılımlı 23. Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi* (s. 1912-1919). Gaziantep, Turkey: Gaziantep.
- Yılancı, A. (2020). Termoelektrik etki ile soğutulan bir fotovoltaik panelin performansının analizi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 35(2), 619-634.
- Yıldız, G., & Gürel, A. (2019). PV/T Sistemler: Tipleri, Avantajları ve Uygulamaları. *TTMD 122 Dergisi*.
- Yıldız, Y. (2010). *Güneş pilli termoelektrik modüllü ev tipi soğutucunun imalatı ve performansının ölçülmesi*. Karabük: Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yılmaz, M. (2013). *Güneş takip sistemi ile güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde etme yöntemleri ve optimum verimin belirlenmesi*. Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Zheng, X., Liu, C., Yan, Y., & Wang, Q. (2014). A review of thermoelectrics research–Recent developments and potentials for sustainable and renewable energy applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 32, 486-503.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	: Abdulsamet ÇOBAN
Doğum tarihi	:
Doğum Yeri	:
Uyruğu	:
Adres	:
Tel	:
E-mail	:
Eğitim	
Lise	
Lisans	
Yüksek lisans	
Doktora	
Yabancı Dil Bilgisi	
İngilizce	: İyi
Üye Olunan Mesleki Kuruluşlar	
Tezden Üretilmiş Yayınlar	