T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAVALI SOĞUTMADA GEOMETRİNİN PV PANEL VERİMİNE ETKİSİNİN DENEYSEL ve NÜMERİK OLARAK ARAŞTIRILMASI

Mahmut Umut AKAGÜNDÜZ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

ŞANLIURFA
2023

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET i
ABSTRACT ii
TEŞEKKÜR iii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
ÇİZELGELER DİZİNİ viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ ix
1. GİRİŞ 1
1.1. Yenilenebilir Enerji Kaynakları 2
1.1.1. Hidrolik enerji 3
1.1.2. Dalga enerjisi 3
1.1.3. Rüzgâr enerjisi 3
1.1.4. Jeotermal enerji 4
1.1.5. Hidrojen enerjisi 4
1.1.6. Biyokütle enerjisi 4
1.1.7. Güneş enerjisi 4
1.2. Türkiye'nin Güneş Enerjisi Kapasitesi 5
1.2.1. Şanlıurfa ilinin güneşlenme kapasitesi 6
1.3. Toprak Enerjisi 8
1.4. Fotovoltaik Sistemler 9
1.4.1. PV panel teknolojileri 11
1.4.1.1. Monokristal yapılı PV paneller 11
1.4.1.2. Polikristal yapılı PV paneller 12
1.4.1.3. İnce film PV paneller 13
1.4.2. PV panellerin elektriksel karakteristiği 14
1.4.2.1. Açık devre voltajı 15
1.4.2.2. Kısa devre akımı 15
1.4.2.3. Maksimum güç noktası 15
1.4.2.4. Dolgu faktörü 15
1.4.3. Fotovoltaik panellerin verimini etkileyen temel parametreler 16
1.4.3.1. Fotovoltaik panellerde sıcaklığın etkisi 17
1.4.4. Fotovoltaik sistemlerde soğutma 19
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 26
2.1. Hava ile Soğutma Çalışmaları 26
2.2. Sıvı ile Soğutma Çalışmaları 28
2.3. Diğer Soğutma Çalışmaları 32
3. MATERYAL ve YÖNTEM 38
3.1. Materyal 38
3.1.1. Deney düzeneğinde kullanılan ana elemanlar ve özellikleri 39
3.1.1.1. Bifacial PV panel 40
3.1.1.2. Toprak hava ısı değiştiricisi (THID) 41
3.1.1.3. Fan 42
3.1.1.4. Soğutucu davlumbaz için dekota (PVC foam) malzemesi 43
3.1.2. Deney düzeneğinde kullanılan ölçüm cihazları 43
3.1.2.1. Datalogger 44
3.1.2.2. I-V checker 45
3.1.2.3. Piranometre 45
3.1.2.4. Anemometre 46

3.1.2.5. Hız anahtarı 47
3.1.2.6. Isıl çiftler 48
3.1.2.7. Termal kamera 48
3.2. Yöntem 49
3.2.1. Deneysel yöntem 49
3.2.2. Nümerik yöntem 58
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA 61
4.1. THID ile Soğutma 62
4.1.1. Tasarım1-2.5 m/s-THID 62
4.1.2. Tasarım1-3.5 m/s-THID 64
4.1.3. Tasarım1-4.5 m/s-THID 66
4.1.4. Tasarım1-6 m/s-THID 69
4.1.5. Tasarım1-7.5 m/s-THID 70
4.1.6. Tasarım2-2.5 m/s-THID 72
4.1.7. Tasarım2-3.5 m/s-THID 74
4.1.8. Tasarım2-4.5 m/s-THID 76
4.1.9. Tasarım2-6 m/s-THID 78
4.1.10. Tasarım2-7.5 m/s-THID 79
4.1.11. Tasarım3-2.5 m/s-THID 81
4.1.12. Tasarım3-3.5 m/s-THID 82
4.1.13. Tasarım3-4.5 m/s-THID 83
4.1.14. Tasarım3-6 m/s-THID 84
4.1.15. Tasarım3-7.5 m/s-THID 85
4.2. Çevre Havası ile Soğutma 86
4.2.1. Tasarım1-2.5 m/s-çevre 86
4.2.2. Tasarım1-3.5 m/s-çevre 88
4.2.3. Tasarım1-4.5 m/s-çevre 91
4.2.4. Tasarım1-6 m/s-çevre 93
4.2.5. Tasarım1-7.5 m/s-çevre 94
4.2.6. Tasarım2-2.5 m/s-çevre 95
4.2.7. Tasarım2-3.5 m/s-çevre 98
4.2.8. Tasarım2-4.5 m/s-çevre 100
4.2.9. Tasarım2-6 m/s-çevre 102
4.2.10. Tasarım2-7.5 m/s-çevre 103
4.2.11. Tasarım3-2.5 m/s-çevre 105
4.2.12. Tasarım3-3.5 m/s-çevre 105
4.2.13. Tasarım3-4.5 m/s-çevre 106
4.2.14. Tasarım3-6 m/s-çevre 107
4.2.15. Tasarım3-7.5 m/s-çevre 108
4.3. Soğutmasız Bifacial PV Panel Çalışmaları 110
4.3.1. Soğutmasız ve tek yüzeyli 110
4.3.2. Soğutmasız ve çift yüzeyli (toprak zemin) 111
4.3.3. Soğutmasız ve çift yüzeyli (beyaz zemin) 111
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER 120
5.1. Sonuçlar 120
5.2. Öneriler 122
KAYNAKLAR 123
ÖZGEÇMİŞ 128

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

HAVALI SOĞUTMADA GEOMETRİNİN PV PANEL VERİMİNE ETKİSİNİN DENEYSEL ve NÜMERİK OLARAK ARAŞTIRILMASI

Mahmut Umut AKAGÜNDÜZ

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Hüsamettin BULUT
Yıl:2023, Sayfa: 128

Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisinin en çok kullanıldığı teknolojilerden biri fotovoltaik sistemlerdir. Fotovoltaik paneller, güneş ışınımını direkt olarak elektrik enerjisine dönüştüren elemanlardır. Fotovoltaik panellerin verimlerine etki eden çevre koşulları, yüzeye gelen güneş ışınımı ve panel çeşidi gibi birçok parametre bulunmaktadır. Panel verimini etkileyen faktörlerden biri de yüksek panel yüzey sıcaklığıdır. Yüksek panel yüzey sıcaklığı, fotovoltaik panellerin verimini düşürmektedir. Panel yüzey sıcaklığını uygun değerlerde tutabilmek için farklı aktif ve pasif soğutma yöntemleri geliştirilmiştir. Bu tez çalışmasında, toprak hava ısı değiştiricisi (THID) kullanılarak elde edilen soğutulmuş hava ve doğrudan çevre havası kullanılarak PV panelde aktif soğutma yöntemi deneysel ve nümerik olarak incelenmiştir. Nümerik analizde, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) programı olarak, Autodesk CFD kullanılmıştır. Çalışmada PV panel arka yüzeyine yerleştirilen üç farklı geometride tasarlanan soğutucu davlumbaz (Tasarım1, Tasarım2 ve Tasarım3) kullanılmıştır. Nümerik ve deneysel çalışmalar ile elde edilen veriler sonucunda, yüzey sıcaklık ortalaması ve basınç kaybı açısından en verimli sonucu Tasarım1 olarak belirlen 6 kanatlı ve dikdörtgen prizmatik hacme sahip soğutucu davlumbaz vermiştir. THID sistemi ile yapılan soğutma çalışmalarının, çevre havası ile yapılan soğutma çalışmalarından daha etkili sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Tasarım1 ile yapılan soğutma çalışma sonucunda %18.42'lik bir verim artışı sağlanmıştır. Düşük güneş ışınım şartları altında (500 W/m^2 ve aşağısı) yapılan soğutma çalışmalarının, üretilen elektrik enerjisi ve yüzey sıcaklığı açısından büyük farklılıklar oluşturmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Gerçekleştirilen deneyler neticesinde, bifacial PV panelin beyaz bir zemin üzerinde kullanılmasının toprak zemin üzerinde kullanılmasına kıyasen daha fazla enerji ürettiği tespit edilmiştir. Bifacial PV panellerde arka yüzeyinin soğutulması yerine çift yüzlü kullanımının daha verimli olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Fotovoltaik Panel, Verim, Sıcaklık, THID, HAD

ABSTRACT

MSc Thesis

EXPERIMENTAL AND NUMERICAL INVESTIGATION OF THE EFFECT OF GEOMETRY ON PV PANEL EFFICIENCY IN AIR COOLING

Mahmut Umut AKAGÜNDÜZ

Harran University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Hüsamettin BULUT
Year:2023, Page: 128

One of the most used technologies of solar energy, which is one of the renewable energy sources, is photovoltaic systems. Photovoltaic panels are elements that convert solar radiation directly into electrical energy. There are many parameters that affect the efficiency of photovoltaic panels such as environmental conditions, solar radiation coming to the surface and panel type. One of the factors affecting panel efficiency is high panel surface temperature. High panel surface temperature reduces the efficiency of photovoltaic panels. Various active and passive cooling methods have been developed to keep the panel surface temperature at appropriate values. In this thesis, the active cooling method in the PV panel was investigated experimentally and numerically by using the cooled air obtained by using the earth-air heat exchanger (EAHX) and the ambient air directly. Autodesk CFD was used as a Computational Fluid Dynamics (CFD) program in numerical analysis. In the study, a cooling hood designed in three different geometries (Design1, Design2 and Design3) placed on the back surface of the PV panel was used. As a result of the data obtained by numerical and experimental studies, the most efficient result in terms of surface temperature average and pressure loss was determined as Design1 and the cooling hood with 6 blades and rectangular prismatic volume gave. It has been determined that the cooling studies with the EAHX system give more effective results than the cooling studies with the ambient air. As a result of the cooling work done with Design1, a power increase of 18.42% was achieved. It has been concluded that the cooling studies carried out under low solar radiation conditions (500 W/m^2 and below) do not create big differences in terms of electrical energy produced and surface temperature. As a result of the experiments carried out, it has been determined that the use of bifacial PV panel on a white ground produces more energy compared to its use on an earthen ground. In Bifacial PV panels, it has been concluded that the use of double faces is more efficient instead of cooling the back surface.

KEY WORDS: Photovoltaic Panel, Efficiency, Temperature, EAHX, CFD

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının her aşamasından maddi ve manevi yardımlarını esirgemeden şahsımla paylaşan danışmanım Sayın Prof. Dr. Hüsamettin BULUT'a, tecrübeleriyle önümü açan Prof. Dr. İsmail HİLALİ'ye, Öğr. Gör. Mehmet Vehbi BALAK'a, Dr. Öğr. Üyesi Yunus DEMİRTAŞ'a ve diğer tüm akademik personele şükranlarımı sunuyorum. Ayrıca, aynı çatı altında çalışma imkânı bulduğum müdürüm Ozan BURMAN'a ve çok kıymetli aileme desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Elektrik enerjisi üretiminde 103809,3 MW toplam kurulu gücümüz 2
Şekil 1.2. Türkiye'de yıl boyu alınan ışınım değerleri dağılımı 6
Şekil 1.3. Şanlıurfa iline ait güneş enerjisi potansiyeli atlası 7
Şekil 1.4. Şanlıurfa Merkez ilçesi global ışınım şiddetleri, kWh/m^2-gün 7
Şekil 1.5. Şanlıurfa Merkez ilçesi aylık güneşlenme süresi, saat 8
Şekil 1.6. Dış hava esaslı açık devre THID sistemler 9
Şekil 1.7. İç hava esaslı kapalı devre THID sistemler 9
Şekil 1.8. Fotovoltaik etki ile elektrik üretimi 10
Şekil 1.9. Fotovoltaik hücre, modül ve diziler 10
Şekil 1.10. PV panel teknolojileri 11
Şekil 1.11. Monokristal yapılı PV panel 12
Şekil 1.12. Polikristal yapılı PV panel 13
Şekil 1.13. İnce film PV teknolojisi 13
Şekil 1.14. Şanlıurfa ili için PV panellerin birim alan başına ürettikleri elektrik miktarı 14
Şekil 1.15. Fotovoltaik panel verimi etkileyen temel parametreler 16
Şekil 1.16. PV panellerde I-V karakteristiği 18
Şekil 1.17. Fotovoltaik panellerde elektriksel parametrelerin sıcaklığa göre değişimi 19
Şekil 1.18. Fotovoltaik sistemlerde soğutma yöntemleri 19
Şekil 1.19. Termosifon etkinin kullanıldığı pasif soğutma deney düzeneği 20
Şekil 1.20. Havuz içerisinde suya daldırma yöntemi ile PV panel soğutma 21
Şekil 1.21. FDM ile pasif soğutma 21
Şekil 1.22. Alüminyum kanatçıklar yardımıyla PV panellerde pasif soğutma 22
Şekil 1.23. Termoelektrik etkinin oluşumu 23
Şekil 1.24. Fotovoltaik sistemlerde TES ile soğutma 23
Şekil 1.25. Fotonik kristal ile pasif soğutma yöntemi 24
Şekil 1.26. Panelin ön ve arka yüzeyinden su ile aktif soğutma 24
Şekil 1.27. Zorlanmış hava taşınımı ile aktif soğutma 25
Şekil 2.1. Su ile otomasyonlu soğutma deney düzeneği 32
Şekil 3.1. Deney düzeneğinin ön ve arka görünüşü 38
Şekil 3.2. Deney düzeneğinin önden ve arkadan şematik görünümü 39
Şekil 3.3. Bifacial Half-Cut PV panel 40
Şekil 3.4. THID sistemlere ait şematik görünüm 41
Şekil 3.5. Deney setinde kullanılan kanal tipi fan 42
Şekil 3.6. Dekota 43
Şekil 3.7. Datalogger 44
Şekil 3.8. I-V Checker 45
Şekil 3.9. Piranometre 46
Şekil 3.10. Çok amaçlı ölçüm cihazı ve hava hızı ölçer aparat 47
Şekil 3.11. Fan üzerine monte edilmiş hız anahtarı 48
Şekil 3.12. K ve T tipi ısıl çiftler ve datalogger bağlantıları 48
Şekil 3.13. Termal Kamera 49
Şekil 3.14. Deney setinin kurulduğu alana ait uydu görüntüsü (37°17' N 39°00' E. 508 m) 50
Şekil 3.15. Tasarım1 soğutucu davlumbaz 51
Şekil 3.16. Tasarım2 soğutucu davlumbaz 51
Şekil 3.17. Tasarım3 soğutucu davlumbaz 52
Şekil 3.18. Üretim sonrası Tasarım1 ve Tasarım2 53
Şekil 3.19. Hava giriş kanalı ve yönlendirici menfez 53
Şekil 3.20. Soğutulan ve soğutulmayan panellerde sıcaklık ölçüm noktaları 54

Şekil 3.21. a) Tek Yüzlü-Soğutmasız, b) Çift Yüzlü-Toprak Zemin-Soğutmasız, c) Çift Yüzlü-Toprak Zemin-Soğutmasız 56
Şekil 3.22. THID kullanılarak PV panelde aktif soğutma 57
Şekil 3.23. Çevre havası kullanılarak PV panelde aktif soğutma 57
Şekil 3.24. a) Altı kanatlı Tasarım1, b) Sekiz kanatlı Tasarım2, c) Kanatsız model Tasarım3 için dış akış hacimleri 59
Şekil 3.25. Şanlıurfa ili için güneş enerjisi değerleri 60
Şekil 4.1. Tasarım1-2.5 m/s-THID sistemi için panel yüzey sıcaklık ortalamaları (deneysel) 62
Şekil 4.2. Tasarım1-2.5 m/s-THID sistemi için güç değerleri (deneysel) 62
Şekil 4.3. Tasarım1-2.5 m/s-THID sistemine ait termal görüntü 63
Şekil 4.4. Tasarım1-2.5 m/s-THID sistemi için panel yüzey sıcaklığı (sol) ve soğutucu davlumbaz içerisindeki sıcaklık değişimi (sağ) HAD analiz görüntüleri 63
Şekil 4.5. Tasarım1-2.5 m/s-THID sistemi için basınç dağılımı 64
Şekil 4.6. Tasarım1-3.5 m/s-THID için panel yüzey sıcaklık ortalamaları (deneysel) 64
Şekil 4.7. Tasarım1-3.5 m/s-THID sistemi için güç değerleri 65
Şekil 4.8. Tasarım1-3.5 m/s-THID sistemine ait termal görüntü 65
Şekil 4.9. Tasarım1-3.5 m/s-THID sistemi için panel yüzey sıcaklığı (sol) ve soğutucu davlumbaz içerisindeki sıcaklık değişimi (sağ) HAD analiz görüntüleri 66
Şekil 4.10. Tasarım1-3.5 m/s-THID sistemi için basınç dağılımı 66
Şekil 4.11. Tasarım1-4.5 m/s-THID sistemi için panel yüzey sıcaklık ortalamaları (deneysel) 67
Şekil 4.12. Tasarım1-4.5 m/s-THID sistemi için güç değerleri 67
Şekil 4.13. Tasarım1-4.5 m/s-THID'ye ait termal görüntü 68
Şekil 4.14. Tasarım1-4.5 m/s-THID sistemi için panel yüzey sıcaklığı (sol) ve soğutucu davlumbaz içerisindeki sıcaklık değişimi (sağ) HAD analiz görüntüleri 68
Şekil 4.15. Tasarım1-4.5 m/s-THID sistemi için basınç dağılımı 69
Şekil 4.16. Tasarım1-6 m/s-THID sistemi için panel yüzey sıcaklığı (sol) ve soğutucu davlumbaz içerisindeki sıcaklık değişimi (sağ) HAD analiz görüntüleri 69
Şekil 4.17. Tasarım1-6 m/s-THID sistemi için basınç dağılımı 70
Şekil 4.18. Tasarım1-7.5 m/s-THID sistemi için panel yüzey sıcaklığı (sol) ve soğutucu davlumbaz içerisindeki sıcaklık değişimi (sağ) HAD analiz görüntüleri 71
Şekil 4.19. Tasarım1-7.5 m/s-THID sistemi için basınç dağılımı 71
Şekil 4.20. Tasarım1 için farklı THID hızlarında PV panel yüzey sıcaklıkları (nümerik) 71
Şekil 4.21. Tasarım2-2.5 m/s-THID sistemi için panel yüzey sıcaklık ortalamaları (deneysel) 72
Şekil 4.22. Tasarım2-2.5 m/s-THID sistemi için güç değerleri 72
Şekil 4.23. Tasarım2-2.5 m/s-THID sistemine ait termal görüntü 73
Şekil 4.24. Tasarım2-2.5 m/s-THID sistemi için panel yüzey sıcaklığı (sol) ve soğutucu davlumbaz içerisindeki sıcaklık değişimi (sağ) HAD analiz görüntüleri 73
Şekil 4.25. Tasarım2-2.5 m/s-THID sistemi için basınç dağılımı 74
Şekil 4.26. Tasarım2-3.5 m/s-THID sistemi için panel yüzey sıcaklık ortalamaları (deneysel) 74
Şekil 4.27. Tasarım2-3.5 m/s-THID sistemi için güç değerleri 75
Şekil 4.28. Tasarım2-3.5 m/s-THID sistemine ait termal görüntü 75
Şekil 4.29. Tasarım2-3.5 m/s-THID sistemi için panel yüzey sıcaklığı (sol) ve soğutucu davlumbaz içerisindeki sıcaklık değişimi (sağ) HAD analiz görüntüleri 76
Şekil 4.30. Tasarım2-3.5 m/s-THID sistemi için basınç dağılımı 76
Şekil 4.31. Tasarım1-4.5 m/s-THID sistemi için panel yüzey sıcaklık ortalamaları (deneysel) 77
Şekil 4.32. Tasarım2-4.5 m/s-THID sistemi için güç değerleri 77
Şekil 4.33. Tasarım2-4.5 m/s-THID sistemine ait termal görüntü 77
Şekil 4.34. Tasarım2-4.5 m/s-THID sistemi için panel yüzey sıcaklığı (sol) ve soğutucu davlumbaz içerisindeki sıcaklık değişimi (sağ) HAD analiz görüntüleri 78
Şekil 4.35. Tasarım2-4.5 m/s-THID sistemi için basınç dağılımı 78
Şekil 4.36. Tasarım2-6 m/s-THID sistemi için panel yüzey sıcaklığı (sol) ve soğutucu davlumbaz içerisindeki sıcaklık değişimi (sağ) HAD analiz görüntüleri 79
Şekil 4.37. Tasarım2-6 m/s-THID sistemi için basınç dağılımı 79

Şekil 4.38. Tasarım2-7.5 m/s-THID sistemi için panel yüzey sıcaklığı (sol) ve soğutucu davlumbaz içerisindeki sıcaklık değişimi (sağ) HAD analiz görüntüleri 80
Şekil 4.39. Tasarım2-7.5 m/s-THID sistemi için basınç dağılımı 80
Şekil 4.40. Tasarım2 için farklı THID hızlarında PV panel yüzey sıcaklıkları (nümerik) 80
Şekil 4.41. Tasarım3-2.5 m/s-THID sistemi için panel yüzey sıcaklığı (sol) ve soğutucu davlumbaz içerisindeki sıcaklık değişimi (sağ) HAD analiz görüntüleri 81
Şekil 4.42. Tasarım3-2.5 m/s-THID sistemi için basınç dağılımı 81
Şekil 4.43. Tasarım3-3.5 m/s-THID sistemi için panel yüzey sıcaklığı (sol) ve soğutucu davlumbaz içerisindeki sıcaklık değişimi (sağ) HAD analiz görüntüleri 82
Şekil 4.44. Tasarım3-3.5 m/s-THID sistemi için basınç dağılımı 82
Şekil 4.45. Tasarım3-4.5 m/s-THID sistemi için panel yüzey sıcaklığı (sol) ve soğutucu davlumbaz içerisindeki sıcaklık değişimi (sağ) HAD analiz görüntüleri 83
Şekil 4.46. Tasarım3-4.5 m/s-THID sistemi için basınç dağılımı 83
Şekil 4.47. Tasarım3-6 m/s-THID sistemi için panel yüzey sıcaklığı (sol) ve soğutucu davlumbaz içerisindeki sıcaklık değişimi (sağ) HAD analiz görüntüleri 84
Şekil 4.48. Tasarım3-6 m/s-THID sistemi için basınç dağılımı 84
Şekil 4.49. Tasarım3-7.5 m/s-THID sistemi için panel yüzey sıcaklığı (sol) ve soğutucu davlumbaz içerisindeki sıcaklık değişimi (sağ) HAD analiz görüntüleri 85
Şekil 4.50. Tasarım3-7.5 m/s-THID sistemi için basınç dağılımı 85
Şekil 4.51. Tasarım3 için farklı THID hızlarında PV panel yüzey sıcaklıkları (nümerik) 86
Şekil 4.52. Tasarım1-2.5 m/s-Çevre sistemi için panel yüzey sıcaklık ortalamaları (deneysel) 86
Şekil 4.53. Tasarım1-2.5 m/s-Çevre sistemi için güç değerleri 87
Şekil 4.54. Tasarım1-2.5 m/s-Çevre sistemine ait termal görüntü 87
Şekil 4.55. Tasarım1-2.5 m/s-Çevre sistemi için panel yüzey sıcaklığı (sol) ve soğutucu davlumbaz içerisindeki sıcaklık değişimi (sağ) HAD analiz görüntüleri 88
Şekil 4.56. Tasarım1-2.5 m/s-Çevre sistemi için basınç dağılımı 88
Şekil 4.57. Tasarım1-3.5 m/s-Çevre sistemi için panel yüzey sıcaklık ortalamaları (deneysel) 89
Şekil 4.58. Tasarım1-3.5 m/s-Çevre sistemi için güç değerleri 89
Şekil 4.59. Tasarım1-3.5 m/s-Çevre sistemine ait termal görüntü 90
Şekil 4.60. Tasarım1-3.5 m/s-Çevre sistemi için panel yüzey sıcaklığı (sol) ve soğutucu davlumbaz içerisindeki sıcaklık değişimi (sağ) HAD analiz görüntüleri 90
Şekil 4.61. Tasarım1-3.5 m/s-Çevre sistemi için basınç dağılımı 90
Şekil 4.62. Tasarım1-4.5 m/s-Çevre sistemi için panel yüzey sıcaklık ortalamaları (deneysel) 91
Şekil 4.63. Tasarım1-4.5 m/s-Çevre sistemi için güç değerleri 91
Şekil 4.64. Tasarım1-4.5 m/s-Çevre sistemine ait termal görüntü 92
Şekil 4.65. Tasarım1-4.5 m/s-Çevre sistemi için panel yüzey sıcaklığı (sol) ve soğutucu davlumbaz içerisindeki sıcaklık değişimi (sağ) HAD analiz görüntüleri 92
Şekil 4.66. Tasarım1-4.5 m/s-Çevre sistemi için basınç dağılımı 93
Şekil 4.67. Tasarım1-6 m/s-Çevre sistemi için panel yüzey sıcaklığı (sol) ve soğutucu davlumbaz içerisindeki sıcaklık değişimi (sağ) HAD analiz görüntüleri 93
Şekil 4.68. Tasarım1-6 m/s-Çevre sistemi için basınç dağılımı 94
Şekil 4.69. Tasarım1-7.5 m/s-Çevre sistemi için panel yüzey sıcaklığı (sol) ve soğutucu davlumbaz içerisindeki sıcaklık değişimi (sağ) HAD analiz görüntüleri 94
Şekil 4.70. Tasarım1-7.5 m/s-Çevre sistemi için basınç dağılımı 95
Şekil 4.71. Tasarım1 için farklı çevre havası hızlarında PV panel yüzey sıcaklıkları (nümerik) 95
Şekil 4.72. Tasarım2-2.5 m/s-Çevre sistemi için panel yüzey sıcaklık ortalamaları (deneysel) 96
Şekil 4.73. Tasarım2-2.5 m/s-Çevre sistemi için güç değerleri 96
Şekil 4.74. Tasarım2-2.5 m/s-Çevre sistemine ait termal görüntü 97
Şekil 4.75. Tasarım2-2.5 m/s-Çevre sistemi için panel yüzey sıcaklığı (sol) ve soğutucu davlumbaz içerisindeki sıcaklık değişimi (sağ) HAD analiz görüntüleri 97
Şekil 4.76. Tasarım2-2.5 m/s-Çevre sistemi için basınç dağılımı 98
Şekil 4.77. Tasarım2-3.5 m/s-Çevre sistemi için panel yüzey sıcaklık ortalamaları (deneysel) 98
Şekil 4.78. Tasarım2-3.5 m/s-Çevre sistemi için güç değerleri 99
Şekil 4.79. Tasarım2-3.5 m/s-Çevre sistemine ait termal görüntü 99

Şekil 4.80. Tasarım2-3.5 m/s-Çevre sistemi için panel yüzey sıcaklığı (sol) ve soğutucu davlumbaz içerisindeki sıcaklık değişimi (sağ) HAD analiz görüntüleri 100
Şekil 4.81. Tasarım2-3.5 m/s-Çevre sistemi için basınç dağılımı 100
Şekil 4.82. Tasarım2-4.5 m/s-Çevre sistemi için panel yüzey sıcaklık ortalamaları (deneysel) 101
Şekil 4.83. Tasarım2-4.5 m/s-Çevre sistemi için güç değerleri 101
Şekil 4.84. Tasarım2-4.5 m/s-Çevre sistemine ait termal görüntü 101
Şekil 4.85. Tasarım2-4.5 m/s-Çevre sistemi için panel yüzey sıcaklığı (sol) ve soğutucu davlumbaz içerisindeki sıcaklık değişimi (sağ) HAD analiz görüntüleri 102
Şekil 4.86. Tasarım2-4.5 m/s-Çevre sistemi için basınç dağılımı 102
Şekil 4.87. Tasarım2-6 m/s-Çevre sistemi için panel yüzey sıcaklığı (sol) ve soğutucu davlumbaz içerisindeki sıcaklık değişimi (sağ) HAD analiz görüntüleri 103
Şekil 4.88. Tasarım2-6 m/s-Çevre sistemi için basınç dağılımı 103
Şekil 4.89. Tasarım2-7.5 m/s-Çevre sistemi için panel yüzey sıcaklığı (sol) ve soğutucu davlumbaz içerisindeki sıcaklık değişimi (sağ) HAD analiz görüntüleri 104
Şekil 4.90. Tasarım2-7.5 m/s-Çevre sistemi için basınç dağılımı 104
Şekil 4.91. Tasarım2 için farklı çevre havası hızlarında PV panel yüzey sıcaklıkları (nümerik) 104
Şekil 4.92. Tasarım3-2.5 m/s-Çevre sistemi için panel yüzey sıcaklığı (sol) ve soğutucu davlumbaz içerisindeki sıcaklık değişimi (sağ) HAD analiz görüntüleri 105
Şekil 4.93. Tasarım3-2.5 m/s-Çevre sistemi için basınç dağılımı 105
Şekil 4.94. Tasarım3-3.5 m/s-Çevre sistemi için panel yüzey sıcaklığı (sol) ve soğutucu davlumbaz içerisindeki sıcaklık değişimi (sağ) HAD analiz görüntüleri 106
Şekil 4.95. Tasarım3-3.5 m/s-Çevre sistemi için basınç dağılımı 106
Şekil 4.96. Tasarım3-4.5 m/s-Çevre sistemi için panel yüzey sıcaklığı (sol) ve soğutucu davlumbaz içerisindeki sıcaklık değişimi (sağ) HAD analiz görüntüleri 107
Şekil 4.97. Tasarım3-4.5 m/s-Çevre sistemi için basınç dağılımı 107
Şekil 4.98. Tasarım3-6 m/s-Çevre sistemi için panel yüzey sıcaklığı (sol) ve soğutucu davlumbaz içerisindeki sıcaklık değişimi (sağ) HAD analiz görüntüleri 108
Şekil 4.99. Tasarım3-6 m/s-Çevre sistemi için basınç dağılımı 108
Şekil 4.100. Tasarım3-7.5 m/s-Çevre sistemi için panel yüzey sıcaklığı (sol) ve soğutucu davlumbaz içerisindeki sıcaklık değişimi (sağ) HAD analiz görüntüleri 109
Şekil 4.101. Tasarım3-7.5 m/s-Çevre sistemi için basınç dağılımı 109
Şekil 4.102. Tasarım3 için farklı çevre havası hızlarında PV panel yüzey sıcaklıkları (nümerik) 110
Şekil 4.103. Soğutmasız ve tek yüzeyli kullanımda bifacial panel verileri 110
Şekil 4.104. Soğutmasız ve çift yüzeyli (toprak zemin) kullanımda bifacial panel verileri 111
Şekil 4.105. Soğutmasız ve çift yüzeyli (beyaz zemin) kullanımda bifacial panel verileri 112
Şekil 4.106. Deneysel çalışmalara ait güç grafiği 113
Şekil 4.107. Soğutulan ve soğutulmayan panellerde yüzey sıcaklığı grafiği (deneysel) 114
Şekil 4.108. Nümerik ve deneysel panel yüzey sıcaklıkları 115
Şekil 4.109. Soğutmalı sistemlere ait 500 W/m^2 ışınım altından güç verileri 116
Şekil 4.110. Soğutmalı sistemlere ait 750 W/m^2 ışınım altından güç verileri 117
Şekil 4.111. Soğutmalı sistemlere ait 1000 W/m^2 ışınım altından güç verileri 118
Şekil 4.112. Soğutmasız sistemlere ait 500 W/m^2 ışınım altından güç verileri 118
Şekil 4.113. Soğutmasız sistemlere ait 750 W/m^2 ışınım altından güç verileri 119
Şekil 4.114. Soğutmasız sistemlere ait 1000 W/m^2 ışınım altından güç verileri 119

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 1.1. Yenilenebilir enerji türleri ve enerji kaynakları 2
Çizelge 3.1. Deney setinde kullanılan ana parçalar ve teknik özellikleri 39
Çizelge 3.2. Bifacial PV panel özellikleri 40
Çizelge 3.3. Deneyde kullanılan THID'ye ait özellikler 42
Çizelge 3.4. Fanın teknik özellikleri 42
Çizelge 3.5. Dekota (PVC foam) teknik özellikleri 43
Çizelge 3.6. Deney düzeneğinde kullanılan yardımcı ekipmanlar 44
Çizelge 3.7. Datalogger teknik özellikler 44
Çizelge 3.8. I-V Checker teknik özellikler 45
Çizelge 3.9. Piranometre teknik özellikleri 46
Çizelge 3.10. Anemometre özellikleri 47
Çizelge 3.11. Termal kamera-teknik özellikler 49
Çizelge 3.12. Deney sırası ve detayları 55

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

$CaCl2.6H2O$	Kalsiyum Klorür Hekzahidrat
CFD	Computational Fluid Dynamics
CuO	Küprik Oksit
FDM	Faz Değiştiren Malzeme
FF	Doldurma Faktörü
GEPA	Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası
HAD	Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
I_{mp}	Maksimum Akım Noktası
I_{sc}	Kısa Devre Akımı
NPVT	Nano Akışkanlı Fotovoltaik Termal Sistemler
P_{max}	Maksimum Güç Noktası
PV/T	Fotovoltaik Termal Hibrit Sistemler
STK	Standart Test Koşulları
TES	Termoelektrik Soğutucu
THID	Toprak Hava Isı Değiştirici
V_{mp}	Maksimum Gerilim Noktası
V_{oc}	Açık Devre Gerilimi
YEGM	Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü

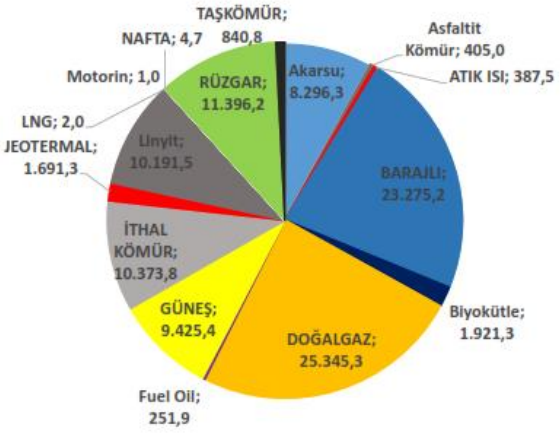
1. GİRİŞ

Ülkelerin kalkınma seviyesinde önemli ve vazgeçilmez bir rol üstlenen enerji, en genel anlamda enerji, yenilenemez ve yenilenebilir enerji kaynakları olarak iki ana başlıkta incelenmektedir. Hızla artan sanayileşme neticesinde enerjiye olan bağlılık da global olarak lineer bir artış sergilemektedir. Adeta gelişmişliğin bir sembolü olan enerji, yenilenemez enerji kaynakları bağlamında ülkelere yeteri kadar kaynak sağlayamamaktadır. Üstelik çevreye vermiş olduğu tahribatlar sebebiyle de insanoğlunu yeni kaynaklar keşfetmeye sürüklemiştir. Ulaşımdan sanayi sektörüne kadar birçok alanda karşılık bulan yenilenemeyen enerji kaynakları temel olarak fosil kaynaklı enerjiler ve nükleer enerji iki başlıkta kategorize edilebilir.

Fosil enerji kaynakları yapılarında yoğun miktarda karbon elementi bulunduran doğal kaynaklardan oluşmaktadır. Kömür, petrol ve doğal gaz bilinen en yaygın fosil enerji kaynaklarındandır. Bir diğer yenilenemez enerji kaynağı olan nükleer enerji ise atom merkezinde konumlanmış çekirdekten elde edilen enerji türüdür.

Azalan ve hatta günden güne temel ihtiyaçları dahi karşılamakta sorun yaşadığımız yenilenemeyen enerji kaynakları, global bir kriz haline gelmiş ve en nihayetinde insanoğlunu alternatif enerji kaynakları aramaya sevk etmiştir. Yenilenebilir enerji kaynakları bu bağlamda, küresel olarak kurtarıcı misyonu edinmiştir. Henüz sahada yeteri kadar karşılık bulamayan yenilenebilir enerji kaynaklarına gösterilen rağbet gün geçtikçe önemini arttırmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarını; rüzgâr, jeotermal, hidrolik, hidrojen, dalga, biyokütle, hidrolik ve bu tez çalışması için büyük önem arz eden güneş enerjisi olarak alt başlıklara ayırmak mümkündür (Öztürk, 2021).

Şekil 1.1, ülkemizdeki 2022 yılı sonunda toplam elektrik santralleri kurulu gücünün enerji kaynaklarına göre dağılımını göstermektedir. Şekilde görüldüğü üzere, elektrik enerjisi üretiminde güneş enerjisi, rüzgar enerjisinden hemen sonra gelmektedir.



Şekil 1.1. Elektrik enerjisi üretiminde 103809,3 MW toplam kurulu güç (TEİAŞ, 2022)

1.1. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Fosil yakıtlara kıyasla daha uzun ömürlü kaynak sağlayan ve emisyon değerleri itibariyle daha çevreci olarak nitelendirilen, kendini yenileme yeteneğine sahip enerji kaynaklarına yenilenebilir enerji kaynakları denir.

Birçoğunun ana kaynağı olarak güneşi referans gösterebileceğimiz yenilenebilir enerji kaynaklarını aşağıda belirtilen Çizelge 1.1'deki gibi sıralayabiliriz.

Çizelge 1.1. Yenilenebilir enerji türleri ve enerji kaynakları

Sıra	Yenilenebilir Enerjinin Türü	Kaynak
1	Hidrolik Enerji	Su (akarsular ve nehirler)
2	Dalga Enerjisi	Denizler ve okyanuslar
3	Rüzgâr Enerjisi	Rüzgâr
4	Jeotermal Enerji	Yer kabuğu ısısı
5	Hidrojen Enerjisi	Hidrokarbon yakıtlar ve su buharı
6	Biyokütle Enerjisi	Organik atıklar
7	Güneş Enerjisi	Güneş

1.1.1. Hidrolik enerji

Hidrolik enerji; yüksek bir mevkide konumlandırılmış suyun, sahip olduğu potansiyel enerjisini eğimli bir kanal vasıtasıyla kinetik enerjiye dönüştürülmesi esasına dayanır. Elde edilen kinetik enerji, türbin kanatçıklarına çarparak mekanik enerjiye dönüştürülür. Bir mil yardımı ile türbin üzerine entegre edilen jeneratör, kanatçıkların dönmesiyle mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çevirir. Bu çevrim neticesinde hidrolik enerji elde edilir.

1.1.2. Dalga enerjisi

Okyanus ve denizlerde bulunan suyun, sıcaklık farkından ve dalgalanabilme yeteneğinden elde edilen bir enerji türüdür. Diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına kıyasla kullanımı daha kısıtlıdır. Bunun sebeplerinden biri, dalga enerjisi elde etmek için kurulan sistemlerin yoğun fırtına altında kullanılmaz hale gelmesi iken bir diğer kullanım kısıtlılığı yaratan parametre ise, dünya üzerinde dalga enerjisi potansiyeli bulunan yerlerin az sayıda olmasıdır (Sağlam ve ark. 2010).

1.1.3. Rüzgâr enerjisi

Temelinin yer değirmenlerine dayandırıldığı rüzgâr türbinleri, farklı oranlarda ısınmış havanın, sahip olduğu kinetik enerjisini mekanik enerjiye çeviren ve elde edilen bu enerjiyi ise jeneratör üzerine konumlandırılmış rotor vasıtasıyla elektrik enerjisine çeviren sistemlerdir (Hau, 2013). Herhangi bir yakıt maliyeti gerektirmeyen bu santraller sadece kurulum ve işletim giderleri oluşturmaktadırlar. Bu sebeple, santral kurulumu yapılacak sahanın, işletme ve yatırım maliyetini kısa sürede amorti edebilmesi için yeteri şiddette ve süreklilikte rüzgâr enerjisi alıyor olması gerekmektedir. Herhangi atık ya da zararlı gaz salınımı ihtiva etmeyen, temiz, çevreci ve yenilenebilir bir enerji kaynağıdır.

1.1.4. Jeotermal enerji

Yerkürenin alt tabakalarında meydana gelen tepkimeler sonucunda ısı açığa çıkmaktadır. Açığa çıkan bu ısı, enerjisini üst tabakalarda bulunan suya ve diğer gazları transfer eder. En nihayetinde elde edilen bu enerji jeotermal enerji olarak adlandırılır (Külekçi, 2009). Daha çok fay kırıklarının bulunduğu alanlara kurulumu yapılan santraller vasıtasıyla jeotermal enerji ile seracılıktan konut ısıtmasına kadar birçok alanda istifade edilmektedir.

1.1.5. Hidrojen enerjisi

Doğada daha çok diatomik ya da su bileşiği forumunda bulunan hidrojen elementi, evrenin termonükleer reaksiyonlar sonucu bizlere sunduğu temel bir kimyasal üründür. Elde edilmesi aşamasında atmosfere sadece su ve su buharı salınımı yapıyor olması bu enerji kaynağını doğaya karşı oldukça çevreci kılmıştır (YEGM, 2022).

1.1.6. Biyokütle enerjisi

Hayvan ve bitki gibi canlılardan ya da kalıntılarından elde edilen organik esaslı enerji türüdür. Biyodizel, biyogaz ve biyoetanol olarak faydalanılan bu kaynağın yerli ve sürdürülebilir olması tercih edilme sebeplerini arttırmaktadır.

1.1.7. Güneş enerjisi

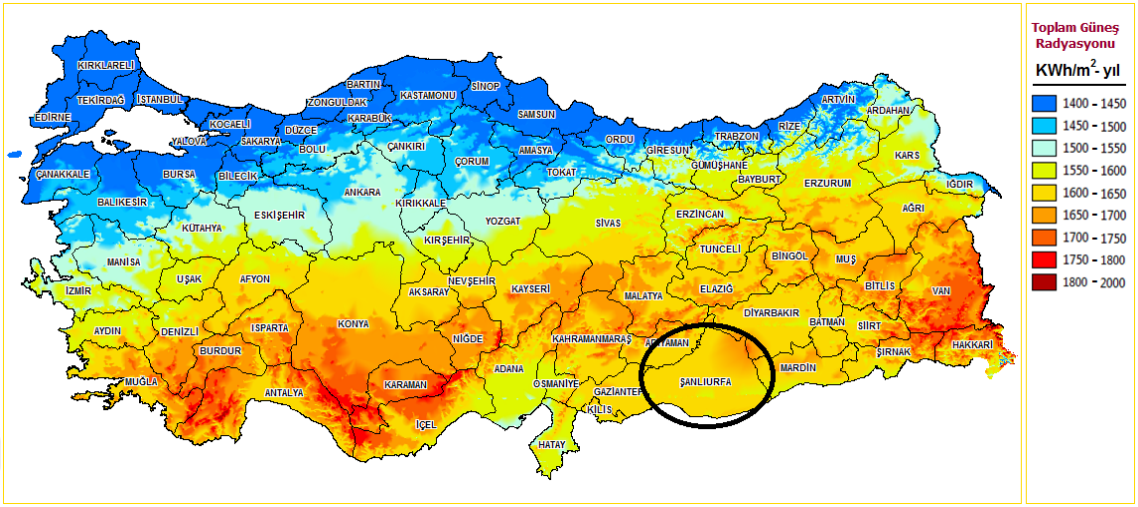
Temel olarak güneşte bulunan hidrojen atomlarının helyum elementine dönüşümü esasına dayanan bir enerji türüdür. Bu reaksiyon literatürde füzyon tepkimeleri olarak adlandırılmaktadır. Yenilenemeyen enerji kaynağı olarak nitelendirilen nükleer enerji dışında kalan birçok yakıtın temelini güneş enerjisi oluşturmaktadır. Güneşten elde edilen bu enerjinin sadece cüzi bir kısmı yerküreye ulaşmaktadır. Enerji kaynağından (güneşten), yeryüzüne dek seyirde bulunan bu ışınlar, çeşitli sebeplerden dolayı belirli kayıplara

uğramaktadırlar. Yaklaşık olarak, %17.5'inin atmosferi ısıtmak için harcanması, %35'lik bir bölümünün ise bulutlardan ve yer yüzeyinden yansıyarak yeniden atmosfere oradan da uzaya aktarılması, bu kayıplara verilebilecek örneklerdendir. Tüm bu kayıplardan sonra, yaklaşık olarak %47.5 bandında bir enerji miktarı elde edilmektedir. Elde edilen bu enerji ise direkt olarak ısı enerjisine dönüştürülmektedir. Enerji kaynağı için küçük olarak nitelendirebileceğimiz bu miktar, yerküre üzerinde tüketilen enerjinin çok daha üzerindedir (Ergene, 2021).

1.2. Türkiye'nin Güneş Enerjisi Kapasitesi

Matematiksel olarak dünya üzerinde 36-42 enlemleri ve 29-45 boylamlar arasında varlık gösteren ülkemizin yıl içi güneşlenme süresi ve güneşlenme kapasitesi, oldukça yüksek değerlere sahiptir.

Ülkemiz, yıl içerisinde toplam 2741 saatlik (bu değer ortalama olarak, günlük 7,5 saate tekabül etmektedir) güneş alma süresi ve yıllık toplam 1527 kWh/m².yıl şiddetindeki ışınım kapasitesiyle (günlük bazda, ortalama 4.18 kWh/m².gün) yüksek güneş enerjisi verimliliği göstermektedir. Coğrafik olarak yıl içerisinde alınan radyasyon (ışınım) miktarları, Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA) yardımıyla görselleştirilmiştir (Şekil 1.2) (YEGM, 2022).



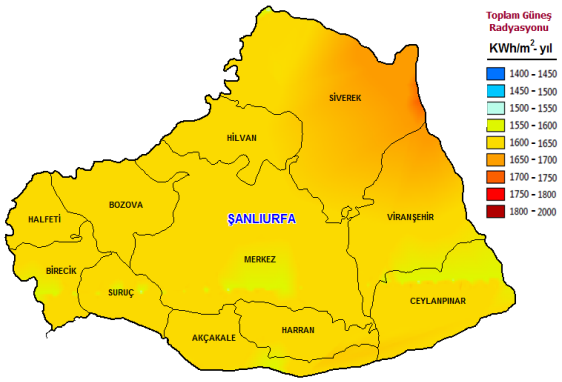
Şekil 1.2. Türkiye'de yıl boyu alınan ışınım değerleri dağılımı (GEPA, 2022)

Şekil 1.2'den görüldüğü üzere, ülkemizin en düşük radyasyon değerlerine sahip bölgesi ortalama 1120 kWh/m².yıl ışınım değeri ve 1120 saatlik güneşlenme süresiyle Karadeniz Bölgesi'dir. En verimli bölgelerden ikisi de sırasıyla; Güneydoğu Anadolu ve Akdeniz Bölgesi'dir. Güneydoğu Anadolu Bölgesi yıl boyunca 2993 saatlik güneşlenme süresine ve 1460 kWh/m².yıl ışınım şiddetine ev sahipliği yapmaktadır. En genel anlamda GEPA atlası, ülkemizdeki güneş enerjisi potansiyelinin güneyden kuzeye doğru gidildikçe azaldığını göstermektedir. Güneş enerjisi potansiyeline, yükselti, enlem ve bakı gibi mutlak ve göreceli konum parametreleri etki etmektedir.

1.2.1. Şanlıurfa ilinin güneşlenme kapasitesi

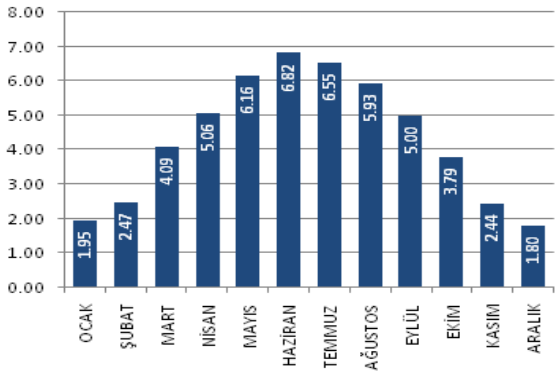
Tez çalışmasının gerçekleştirildiği konum Şanlıurfa ilidir. Şanlıurfa, güneşlenme potansiyelinin fazla olması sebebiyle fotovoltaik sistem uygulamalarına elverişli bir ortam sunmaktadır. Şekil 1.3'te Şanlıurfa iline ait güneşlenme atlasına, Şekil 1.4'te global ışınım şiddetine ve Şekil 1.5'te güneşlenme süresine yer verilmiştir.

Şekil 1.4'te görüldüğü gibi güneş enerjisi potansiyeli il genelinde homojen olarak dağılmaktadır. Siverek ve Viranşehir gibi şehrin kuzeydoğusunda yer alan ilçelerinin bir bölümü, diğer ilçelere nispeten daha fazla güneş enerjisine potansiyeli sahiptir.



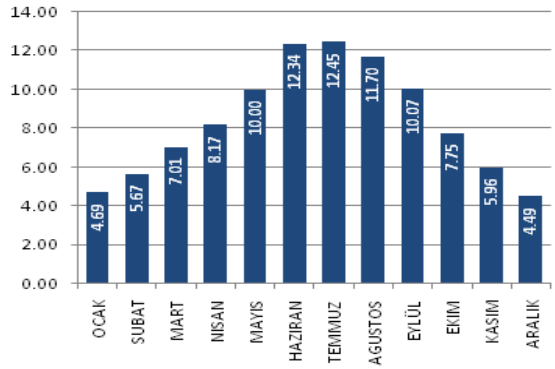
Şekil 1.3. Şanlıurfa iline ait güneş enerjisi potansiyeli atlası (GEPA, 2022)

Şekil 1.4'te şehre ait aylık ışınım değerleri gösterilmiştir. En yüksek radyasyon değeri 6.82 kWh/m^2-gün'lik şiddetle haziran ayında elde edilirken, en düşük ışınım şiddetine ise 1.80 kWh/m^2-gün değeriyle aralık ayında rastlanmaktadır.



Şekil 1.4. Şanlıurfa Merkez ilçesi global ışınım şiddetleri, kWh/m^2-gün (GEPA, 2022)

Güneşlenme süresine ait detayların verildiği Şekil 1.5'te maksimum değer 12.45 saatle temmuz ayında, minimum değer ise 4.49 saat ile aralık ayındadır. Grafiğe bakıldığında güneşlenme süresinin en çok yaz en düşük ise kış aylarında olduğu görülmektedir.

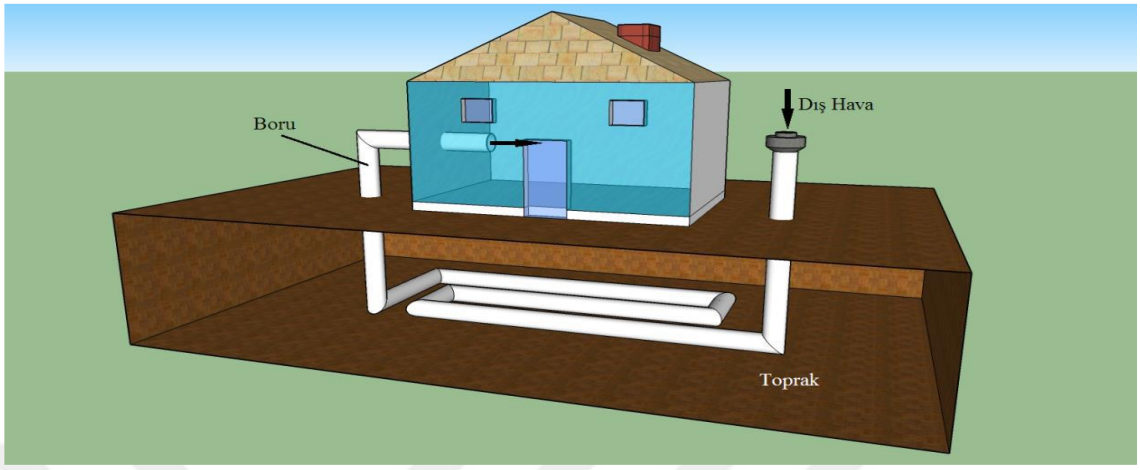


Şekil 1.5. Şanlıurfa Merkez ilçesi aylık güneşlenme süresi, saat (GEPA, 2022)

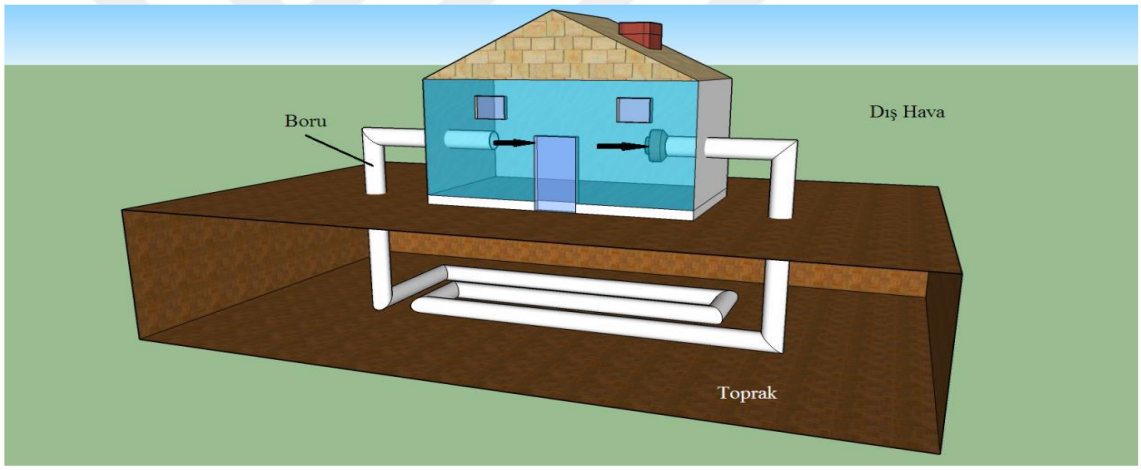
1.3. Toprak Enerjisi

Kuyu ya da kaynak olarak kullanılan ısıl enerji depolarını; akarsu, deniz, atmosfer havası ve toprak esaslı ısıl enerji depoları başlıkları altında toplamak mümkündür. En çok üretim maliyeti bazında sıkıntı yaşadığımız ve rezerv olarak da bitme eğilimine giren geleneksel enerji kaynaklarımız, bizleri daha çevreci ve alternatif enerji kaynakları keşfetmeye sürüklemiştir. Günümüzde daha çok ısıl kaynak ya da kuyu olarak faydalandığımız toprak enerjisi, literatürde bilinen en eski kaynaklar arasında yer edinmiştir.

Toprak enerjisinden ısı pompaları yardımıyla faydalanılmaktadır. Toprak altına, yatay ya da dikey pozisyonda konumlandırabileceğimiz toprak esaslı ısı pompaları; fan ve borulardan meydana gelmektedir. Akışkan olarak dış ortam havasını kullanıldığı sistemleri, açık devre sistemler olarak adlandırırken; iç havanın kullanıldığı sistemleri ise kapalı devre sistemler olarak adlandırmaktayız. Toprak hava ısı değiştiricilerinden (THID) mevsim şartlarına göre ısıtıcı ve soğutucu olarak istifade etmek mümkündür. Açık ve kapalı devre sistemlerine ait temsili görseller, sırasıyla Şekil 1.6 ve Şekil 1.7'de gösterilmiştir (Demirtaş, 2016).



Şekil 1.6. Dış hava esaslı açık devre THID sistemler (Demirtaş, 2016)

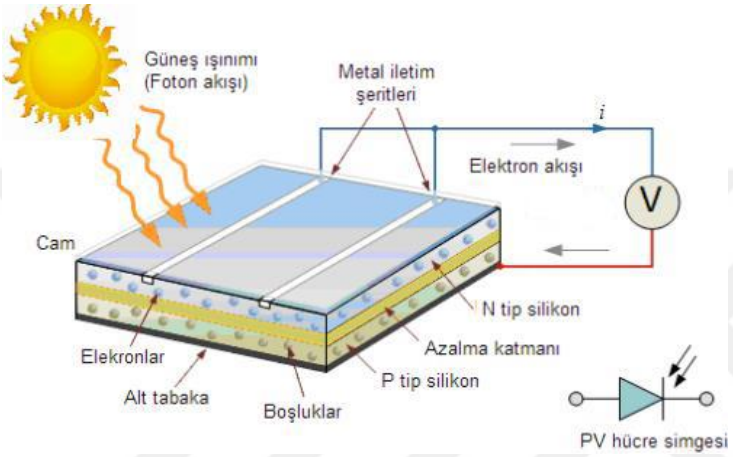


Şekil 1.7. İç hava esaslı kapalı devre THID sistemler (Demirtaş, 2016)

1.4. Fotovoltaik Sistemler

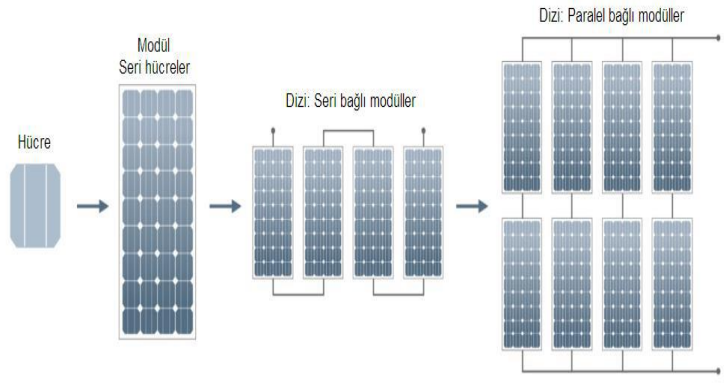
Yunancada kökünün "phos" (ışık) ve "volt" kelimelerine dayandığı fotovoltaik sistemler (PV), güneş tarafından yerküreye ulaşan ışınların fotovoltaik paneller vasıtasıyla elektrik enerjisine dönüştürüldüğü yapılardır (Öztürk ve Kaya, 2019). Panel yüzeyine ulaşan ışınlar, sistem üzerinde bulunan yarı iletken malzeme yardımı ile emilerek uçlar arasında bir potansiyel fark meydana getirir. Oluşan bu fark bir dış devre ile desteklenir. En nihayetinde, elektron akışının sağlandığı bu çevrimde elektrik üretimi gerçekleştirilmiş olur. Depolama kabiliyeti olmayan paneller yalnızca üretim odaklı çalışmaktadırlar. Tüm

bu çevrim neticesinde elde edilen elektrik enerjisi doğru akım üretmekte ve sistemde bulunan inverter vasıtasıyla da elde edilen akım alternatif akıma çevrilmektedir. PV kısaltması, daha çok mühendislik terminolojisinde fotovoltaik sistemleri ifade etmek için kullanılır. PV sistemin çalışma prensibine dair görsel Şekil 1.8'de gösterilmiştir.



Şekil 1.8. Fotovoltaik etki ile elektrik üretimi (Öztürk ve Kaya, 2019)

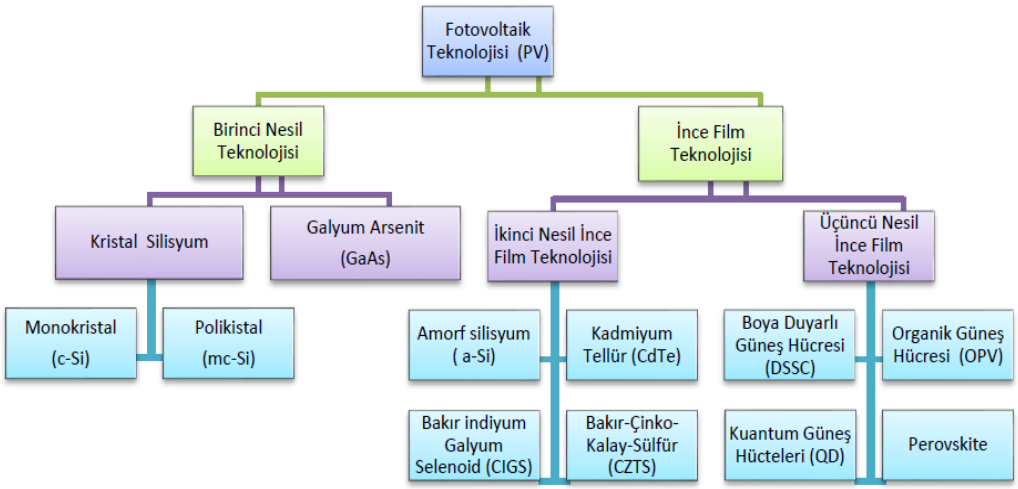
PV panellerin en küçük birimi, fotovoltaik hücre olarak tanımlanmaktadır. Hücreler birleşerek modülleri, modüller ise birleşerek fotovoltaik sistemleri meydana getirmektedir. Üretim kapasitesini arttırmak için kurulan diziler, fotovoltaik panellerin paralel ya da seri bağlanması neticesinde elde edilirler. Hücre, modül ve dizi terimleri, Şekil 1.9'da şematik olarak verilmiştir.



Şekil 1.9. Fotovoltaik hücre, modül ve diziler (Öztürk, 2019)

1.4.1. PV panel teknolojileri

Gelişen teknolojik devinimler ile birlikte fotovoltaik panel üretimi çeşitlenmiştir. PV paneller yapısal olarak hücre dizisinden meydana gelmiş modül topluluğudur. Panelin yapı taşı olarak nitelendirebileceğimiz hücreleri, üretim teknolojilerine ve yapılarında kullanılan elementlere göre sınıflandırmak mümkündür. Bugün piyasada daha çok Silisyum (Si) ve Galyum Arsenit (GaAs) esaslı hücreler bulunmaktadır. Kullanılan teknolojiye göre maliyet ve verim parametrelerine müdahale etmek mümkündür. Talebe göre üretimi yapılabilen ve yapısal olarak monokristal ve polikristal formda bulunan PV paneller, diğer PV teknolojilerine kıyasla daha çok tercih edilmektedir. Bu tercihe sevk eden temel etken, ürünlerin fiyat performansından kaynaklanmaktadır. En temel anlamda üç nesle ayrılan fotovoltaik panel teknolojileri, Şekil 1.10'da gösterilmiştir.



Şekil 1.10. PV panel teknolojileri (Ertürk, 2018)

1.4.1.1. Monokristal yapılı PV paneller

Fotovoltaik panel imalatında sıkça tercih edilen, yapısında tek kristal formda Silisyum bulunduran ve çok kristalli yapılara kıyasla saflık derecesi oldukça yüksek olan bu paneller, maliyet anlamında polikristal yapılı panellerden daha pahalıdırlar (Wiley ve Sons, 2003). Maliyetlerine rağmen güneş tarlaları için en verimli panel çeşitleridirler.

Görsel olarak da polikristal yapılı hücrelerden daha fark edilebilir olmaları, hücrelerinin dört köşesinin, performansı ve maliyeti optimum seviyelerde tutmak için kesilmesinden kaynaklanmaktadır.

Özel şartlarda ve saha kullanımlarında farklı verimlilik değerlerine sahiptirler. Monokristal yapılı panellerin saha verimi %15 bantlarında seyrederken, özel koşullar altında verimi ise %24 sınırlarına kadar ulaşmaktadır (Ajder, 2011; Arslan, 2018). Monokristal esaslı PV panellere ait görsel Şekil 1.11'de verilmiştir.



Şekil 1.11. Monokristal yapılı PV panel (Enerjimar, 2023)

1.4.1.2. Polikristal yapılı PV paneller

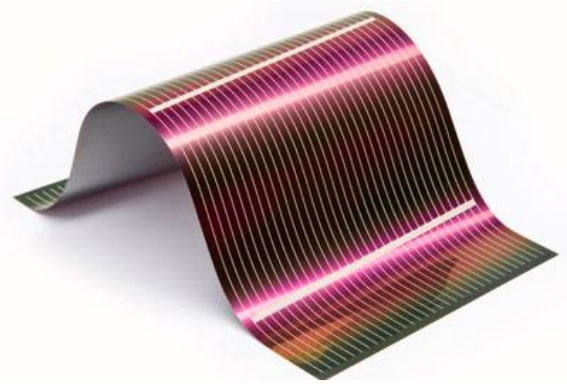
Monokristal esaslı fotovoltaik panellere kıyasla daha az maliyet gerektiren teknoloji ile üretildiklerinden, iç ve dış pazarda tercih sebebi oluşturmaktadırlar. Kurulumlarından itibaren ortalama 5 yıl gibi bir süre içerisinde maliyeti karşılayabilmektedirler. Verimleri monokristal yapılı panellere göre daha düşük olan bu sistemler; sahada %14 oranında, laboratuvar koşullarında ise yaklaşık olarak %18'lik bir verim sağlayabilmektedirler (Ajder, 2011; Arslan, 2018). Polikristal yapılı PV panellerin genel görünümleri Şekil 1.12'de gösterildiği gibidir.



Şekil 1.12. Polikristal yapılı PV panel (Lumoskaravan, 2023)

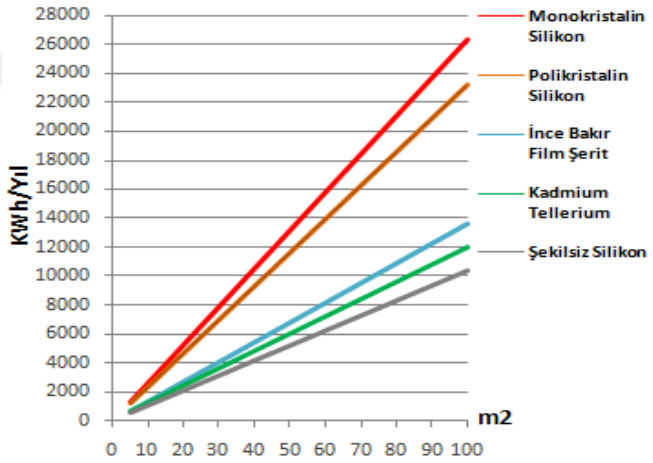
1.4.1.3. İnce film PV paneller

Polikristal ve monokristal panellere göre daha kısa ömürlü olan ince film PV paneller birden fazla katmanın bir araya gelmesiyle oluşturulur (Şekil 1.13). Bu katmanlarda; kadmiyum tellürid, organik esaslı hücreler, amorf silikon ve bakır indiyum galyum selenid gibi malzemeler kullanılabilmektedir. Kullanılan malzeme ince film teknolojisinin türünü belirlemekte rol alır. Malzeme tercihi panel verim yüzdesini %7 ile %13 arasında değiştirebilmektedir. Esnek formda olmaları dolayısıyla geniş kullanım sahası bulan ince film güneş pilleri, seri imalata uygun bir proses ile üretilebildiklerinden, maliyet olarak da tercih nedeni oluşturmaktadırlar (Altınkök, 2021).



Şekil 1.13. İnce film PV teknolojisi (Materialdistrict, 2023)

Genel olarak kristal yapılı ve ince film teknolojisi başlıklarına ayrılan fotovoltaik paneller, verim ve maliyet bağlamında farklı değerler sunmaktadır. Bu parametreler de arz-talep dengesini değiştirmektedir. Fiyat ve performans anlamında Optimum değerler sunan kristal yapılı paneller her daim tercih sebebi olmuştur. Şanlıurfa ilinde bulunan fotovoltaik panellerin birim alan bazında elektrik üretim kapasitelerine, Şekil 1.14'te yer verilmiştir.



Şekil 1.14. Şanlıurfa ili için PV panellerin birim alan başına ürettikleri elektrik miktarı (GEPA, 2022)

1.4.2. PV panellerin elektriksel karakteristiği

PV panel karakteristiğinin belirlemede I-V eğrisi tek başına yeterli olmamaktadır. Bu eğriye ilaveten bilinmesi gereken bazı parametreler bulunmaktadır. Panel üzerinde bulunan etiket yardımıyla bu değerleri; açık devre voltajı (V_{oc}), kısa devre akımı (I_{sc}), maksimum güç noktası (P_{max}) ve son olarak da doldurma faktörü (FF) olarak sıralamak mümkündür.

Fotovoltaik panellerin akım-gerilim karakteristiğinin belirlenmesi için öncelikle PV hücrelerinin bazı elektriksel özelliklerinin açıklanması gerekmektedir. Bu açıklamayı yapabilmek içinde gerilim ve akımın elektrik yükünden nasıl etkilendiğini görmek gereklidir. Bu sebeple Masters, (2004)'ın gerçekleştirdiği deneyde ilk olarak, elektriksel gücün ayarlanabildiği bir aracı ile devreye farklı şiddetlerde yükler gönderilmiştir.

Gerilim ve akım için çalışma aralığı, devreye gönderilen değişik güçteki elektriksel yüklere verilen tepkiler ile belirlenmiş ve bu deney ile fotovoltaik hücrenin, elektriksel parametreleri tayin edilmiştir.

1.4.2.1. Açık devre voltajı

Fotovoltaik panelin üzerinden herhangi bir akım geçirilmediği durumda, PV panele paralel bağlantı sonucu multimetreden okunan maksimum voltaj değerine, açık devre gerilimi ya da voltajı denilmektedir (Akman, 2019).

1.4.2.2. Kısa devre akımı

Herhangi bir elektriksel yüke maruz kalmayan PV panellerde, artı ve eksi kutup arasına voltmetre ya da multimetrenin seri bağlanması sonucu devreden geçen maksimum akım miktarına kısa devre akımı denir (Bayat, 2016).

1.4.2.3. Maksimum güç noktası

Pratikte (sahada) elde edilmesi mümkün olmayan bu değer, özel şartlar altında teorik olarak ulaşılacak maksimum gücü göstermektedir. Maksimum güç noktası değerine, sabit radyasyon şiddeti altında gerçekleştirilen deney ile maksimum gerilim ve maksimum akım değerlerinin matematiksel çarpımı sonucunda ulaşılmaktadır (Ceylan ve Gürel, 2022).

1.4.2.4. Dolgu faktörü

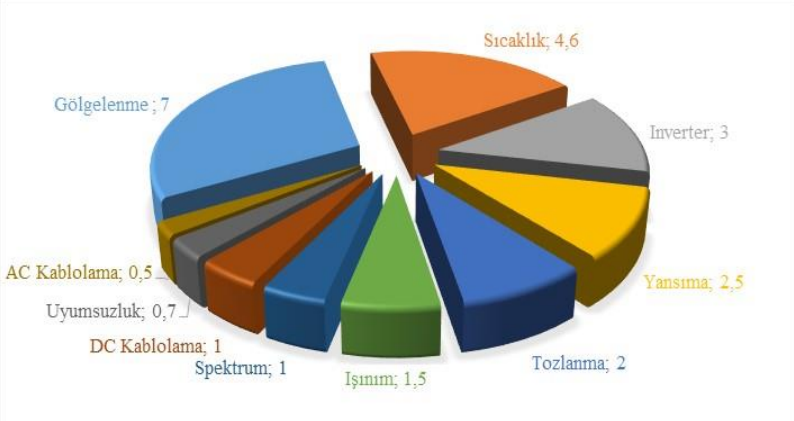
Bir fotovoltaik hücrenin karakteristiği hakkında yorum yapılabilmesi için bilinmesi gereken bir diğer parametre ise dolgu faktörüdür (FF). Dolgu faktörü, fotovoltaik hücrenin sahip olduğu maksimum gücün, kısa devre akımı ve açık devre gerilimi değerlerinin çarpımına oranıyla elde edilir. Bu değer, güneş hücresinin idealliğini belirlemede büyük rol alır (Ürper, 2014). Dolgu faktörü değeri 1 olan fotovoltaik sistem en ideal sistemdir.

Bu sebeple, dolgu faktörü 1'e yakın olan sistemler, diğer sistemlere kıyasla daha çok tercih edilme sebebi oluşturur.

1.4.3. Fotovoltaik panellerin verimini etkileyen temel parametreler

Panel yüzeyine düşen güneş ışınlarının tamamı elektrik enerjisine dönüştürülememekte ve hatta panel üretiminde gerçekleştirilen deneysel verilere (güç, akım, gerilim vb.) sahada erişilememektedir. Bunun temel nedeni PV panel verimine etki eden çeşitli parametrelerdir (Çarkıt ve Alçı, 2017).

Verime etki eden parametreler; kurulum faktörleri, sistem faktörleri ve çevresel faktörler başlıklarına ayrılmaktadır. Kurulum faktörlerini kendi içerisinde; eğim yönü ve eğim açısı, kablolama özellikleri ve uyumsuzluk etkileri alt başlıklarında incelerken, sistem faktörlerini; hücre verimliliği, hücre malzemesi ve atom yapısı, modül verimliliği ve modül yapısı alt başlıklarında incelenmektedir. PV panel verimine yüksek oranda etki eden çevresel faktörleri ise güneş radyasyonu, modül sıcaklığı, modül kirliliği, toz birikimi ve gölgelenme alt başlıklarında tedvin edilmiştir (Yaver, 2020). Şekil 1.15'te PV panellerde verimi etkileyen parametrelere ve etki yüzdelerine yer verilmiştir.



Şekil 1.15. Fotovoltaik panel verimi etkileyen temel parametreler (Çarkıt ve Alçı, 2017)

1.4.3.1. Fotovoltaik panellerde sıcaklığın etkisi

Normal koşullar altında güneş tarafından yayılan ışınların yalnızca %20'sinin altında kalan bir bölümü PV panel vasıtasıyla elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Artakalan güneş ışınları ise hücre sıcaklığını arttırarak PV panel verimini düşürmektedir (Fouad ve ark. 2017). Verimde ki bu düşüş, miktarı PV hücre yapısında kullanılan materyale ve kullanılan teknolojiye göre değişkenlik arz etmektedir.

İnce film teknolojisinin kullanıldığı hücreler, sıcaklığın yaratmış olduğu bu olumsuzluktan, silisyum menşeili kristal hücrelere kıyasla daha az etkilenmektedir. Dolayısıyla bu tip PV panellerde performans kayıpları daha düşük seviyelerdedir. Yaz şartları göz önüne alındığında, panel yüzey sıcaklıkları 75-80 °C seviyelerine kadar ulaşabilmekte bu da PV panel yüzey sıcaklığı ile ortam sıcaklığı arasındaki farkı 40 °C seviyelerine kadar çıkarmaktadır. En nihayetinde güç performansındaki bu düşüş, elektriksel verimi negatif yönde etkilemektedir (Thomas ve ark. 2001).

PV panellerin karakteristiğini belirlemede etkili olan iki temel parametre bulunmaktadır. Bu parametreler, gerilim ve akım değerleridir. Multimetre vasıtasıyla PV panelin iki kutbu arasındaki akım ve gerilim değeri ölçülüp güç kapasitesi hakkında, Denklem 1.1. kullanılarak yorum yapılabilmektedir. Denklemde kullanılan; "P" panel gücünü, "V" gerilimi ve "I" akım değerlerini sembolize etmektedir.

$$P = V\,I \tag{1.1.}$$

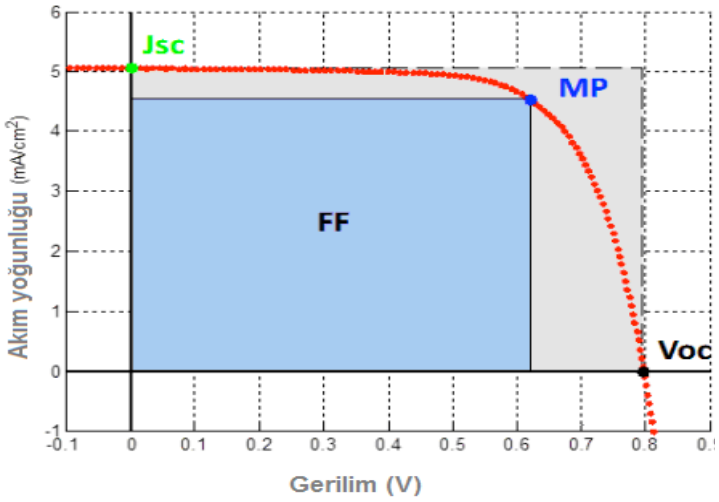
Fotovoltaik panellerde elektriksel verim hesabında ise aşağıda belirtilen Denklem 1.2.'deki bağıntı kullanılmaktadır. Formülde belirtilen A ve E değerleri sırasıyla; panel yüzey alanını (m^2) ve panel yüzeyine tesir eden radyasyon şiddetini (W/m^2) belirtmektedir.

$$\eta_e = \frac{VI}{EA} \tag{1.2.}$$

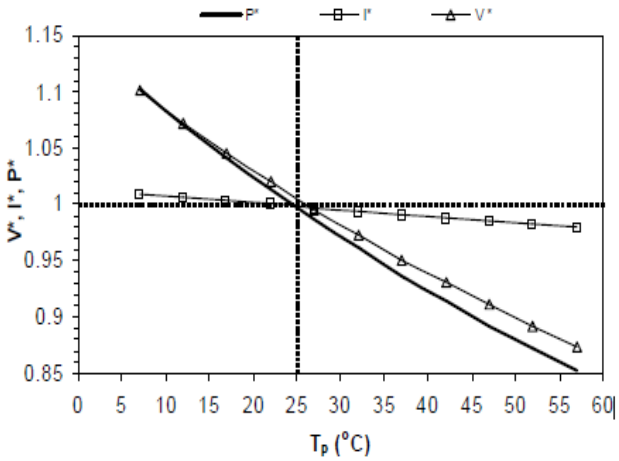
Herhangi bir zaman dilimi içerisinde PV hücre sıcaklığı ve ortam hava sıcaklığı arasındaki ilişki, Denklem 1.3. ile ifade edilmektedir. Formülde belirtilen NOCT sıcaklığı, nominal işletim hücre sıcaklığını göstermektedir (Boztepe, 2017).

$$T_{PV\ hücre} = T_{ortam} + \frac{(NOCT-20)}{0{,}8xE} \quad (1.3.)$$

Fotovoltaik panellerde ideal akım, gerilim ve güç karakteristiğine ilişkin grafik Şekil 1.16'da gösterilmiştir. Şekil 1.17'de belirtilen grafikte ise farklı sıcaklık şartları altında; gerilim, akım ve güç gibi elektriksel parametrelerin bu koşullara verdiği tepkiler gösterilmiştir. Şekil 1.17'de görüldüğü üzere PV panel verimini etkileyen temel elektriksel parametre gerilim değeridir. Gerilim değeri, yükselen sıcaklık şartlarından olumsuz yönde etkilenmekte ve panel çıkışındaki güç değerini paralel olarak düşürmektedir. Özetle, PV sistemlerde yükselen hücre sıcaklığı, sistem üzerinde oluşan gerilim değerini akım değerine nispeten daha çok düşürmektedir. Bu da doğrudan panelden elde edilen güç değerini doğrudan düşürmektedir. Gerilim değerindeki bu alçalma PV panelden elde edilen güç miktarını yaklaşık olarak %15 ve %20 oranında düşürmektedir (Boztepe, 2017).



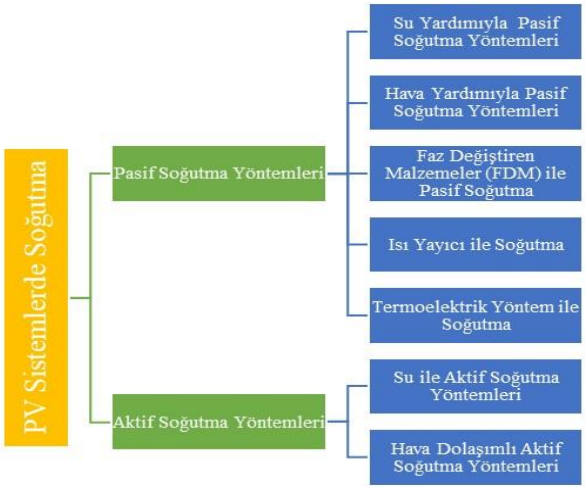
Şekil 1.16. PV panellerde I-V karakteristiği (Öztürk, 2019)



Şekil 1.17. Fotovoltaik panellerde elektriksel parametrelerin sıcaklığa göre değişimi (Demir, 2019)

1.4.4. Fotovoltaik sistemlerde soğutma

Fotovoltaik panellerde elektriksel verime tesir eden birçok unsur bulunmaktadır. Sıcaklık etkisi, tüm bu verim düşürücü parametreler arasında önemli bir paya sahiptir. Yükselen hücre sıcaklığının panel çıkış gücü üzerindeki olumsuz etkisini giderebilmek için ise akademik anlamda birçok yurtiçi ve yurtdışı soğutma çalışmaları yapılmış ve yapılmaktadır. Genel olarak pasif ve aktif soğutma ana başlıkları altında toplanan soğutma yöntemlerine Şekil 1.18'de yer verilmiştir.



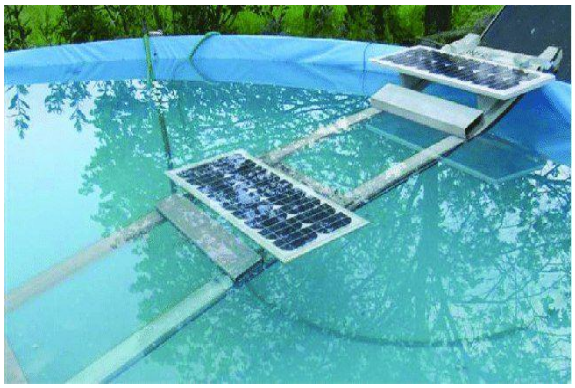
Şekil 1.18. Fotovoltaik sistemlerde soğutma yöntemleri (Bilen ve ark. 2021)

Doğal yöntemler ile haricen bir enerji sarfiyatı olmadan gerçekleştirilen soğutma yöntemlerine pasif soğutma yöntemleri denir. Literatürde daha çok su ve hava ile pasif soğutma çalışmaları karşımıza çıkmaktadır. Su ile pasif soğutma çalışmaları etkinliği en yüksek olan çalışmalardandır. Bunun en temel sebebi, su ile panel yüzey arasındaki ısı transfer hızının diğer pasif soğutma yöntemlerine nispeten daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Akışkan olarak suyun kullanıldığı pasif soğutma sistemlerinde sıcaklığın etkisi ile ısınan su ile soğuk su arasında termosifon etkisi oluşur. Panelin altından sisteme gönderilen soğuk su ısınarak yükselir ve panelin üst kısmındaki tanka aktarılır ve bu çevrim soğutma boyunca devam eder (Grubišić-Čabo ve ark. 2016) (Şekil 1.19).



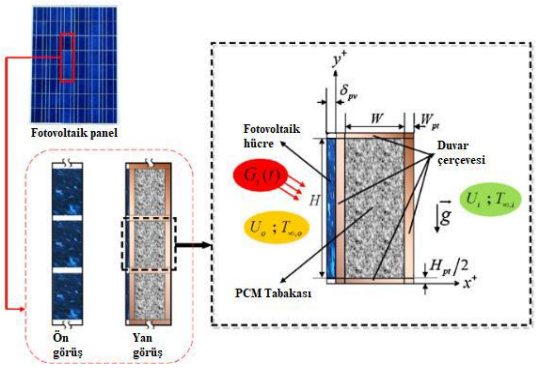
Şekil 1.19. Termosifon etkinin kullanıldığı pasif soğutma deney düzeneği (Grubišić-Čabo ve ark. 2016)

Pasif soğutma yönteminin kullanıldığı diğer bir çalışma ise suya daldırma tekniğiyle soğutmadır. Bu yöntemde fotovoltaik paneller suni ya da doğal yollarla oluşturulan büyük su kütleleri içerisinde daldırılır ve yüzey sıcaklığı su tarafından absorbe edilir. Panel yüzey sıcaklığının düşürülmesi neticesinde elektriksel verimde artış sağlanır. Şekil 1.20'de havuzda suya daldırma yöntemine dair görsele yer verilmiştir.



Şekil 1.20. Havuz içerisinde suya daldırma yöntemi ile PV panel soğutma (Lanzafame ve ark. 2010)

Pasif soğutma yöntemlerinde kullanılan bir diğer materyal faz değiştiren malzemelerdir (FDM). Tasarlanan bu metot ile FDM, fotovoltaik panelin arka yüzeyine entegre edilerek yüksek sıcaklığa maruz kalan ön yüzeyindeki ısıyı katı halden sıvı hale geçerek absorbe eder. Gerçekleşen bu ısı transferi mekanizmasıyla FDM, ısıyı gizli ısı olarak depolar. Depolaman gizli ısı ise FDM tarafından atmosfer havasına aktarılır ve materyal yeniden katı forma geçer. Soğutma işlemi süresince döngü bu şekilde devam eder (Karakaya ve Şen, 2019). Belirli bir periyot neticesinde materyalin ısı absorbe etme yeteneğinde azalma görülebilmektedir. Bu parametrenin değişkenlik göstermesi iklim koşulları ile doğrudan alâkalıdır. Şekil 1.21' de FDM ile soğutulan bir fotovoltaik panel görselleştirilmiştir.



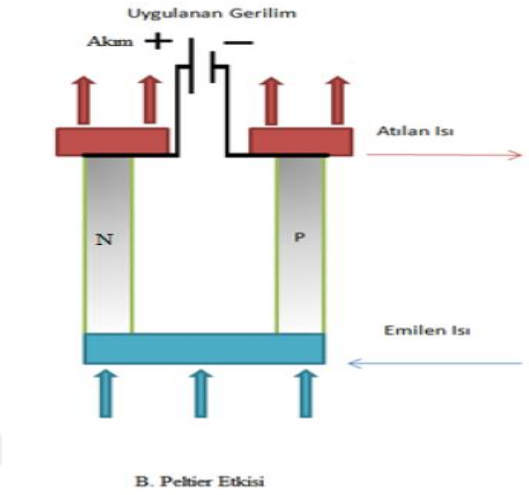
Şekil 1.21. FDM ile pasif soğutma (Browne ve ark. 2015)

Fotovoltaik panellerin yüzey sıcaklıklarındaki artışın elektriksel verimi azaltması için bu değerin optimum seviyede tutulması gerekir. Bu yüzden hava sirkülasyonunun yoğun olarak yaşandığı bölgelerde PV modülün arka yüzeyine yerleştirilen alüminyum kanatçıklar yardımıyla ısı transfer hızı arttırılabilmektedir. Bu çalışma neticesinde doğal hava kullanılarak pasif soğutma işlemi gerçekleştirilir. Şekil 1.22'de soğutma yöntemine ait görseller verilmiştir (Akan ve Akal, 2021).

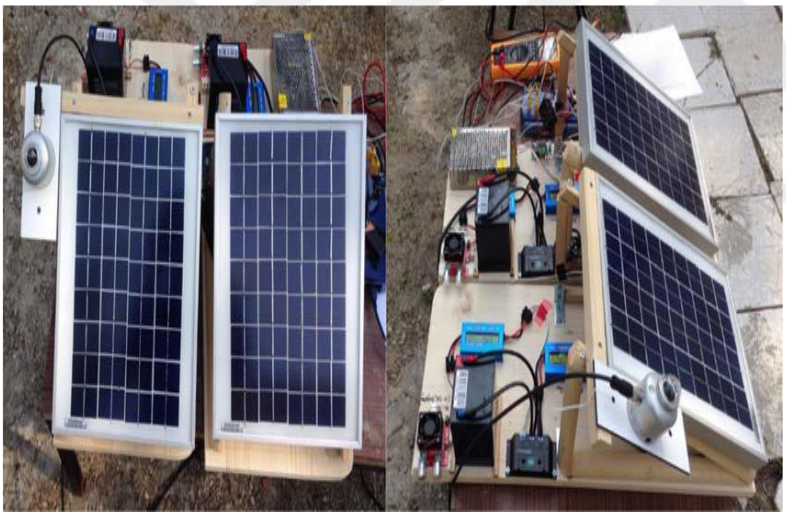


Şekil 1.22. Alüminyum kanatçıklar yardımıyla PV panellerde pasif soğutma (Akan ve Akal, 2021)

Son yıllarda kullanımı gittikçe artan soğutma yöntemlerinden biri de termoelektrik etki ile soğutmadır. Temel olarak Peltier esasına dayanan bu sistemlerde cihaz bağlantı ucuna verilen voltaj vasıtasıyla yüzeylerden biri soğurken diğeri ısınır. Yüksek ısıl iletkenlik değerine sahip metal ile birlikte PV panel yüzeyine arkadan temas ettirilen termoelektrik soğutucu yükselen panel yüzey sıcaklığının soğutarak sistem verimini kontrol altında tutar. Literatürde Termoelektrik Soğutucu (TES) adlandırması yapılan bu cihazlar fotovoltaik paneller gibi yarı iletken malzemelerden üretilmektedir (Yılancı, 2019). Şekil 1.23'te, Peltier etkisi görselleştirilmiş ve Şekil 1.24'te ise termoelektrik etki ile soğutulan fotovoltaik panele yer verilmiştir.

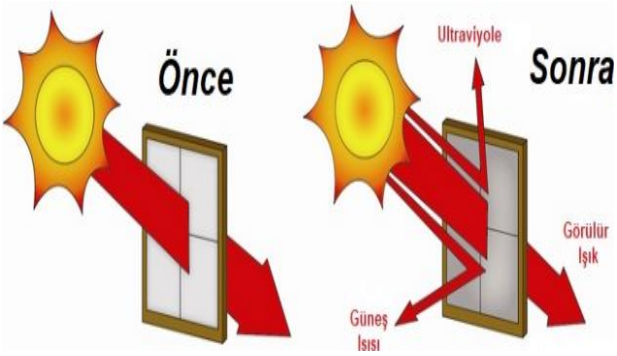


Şekil 1.23. Termoelektrik etkinin oluşumu (Kayabaşı ve Kaya, 2019)



Şekil 1.24. Fotovoltaik sistemlerde TES ile soğutma (Yılancı, 2019)

Fotovoltaik sistemlerde pasif soğutma için tercih edilen fotonik kristal esaslı soğutmanın bir diğer adı da şeffaf kaplama tekniği ile pasif soğutmadır. Fotovoltaik panellerin ön yüzeyine entegre edilen silika yapılı kara cisim, Güneş'ten gelen 8 ila 30 nanometre boyutundaki ışınlarla birlikte sistem tarafından üretilen ısıyı yeniden atmosfer yansıtır. Fotovoltaik panelin foton emebilme yeteneğini arttıran ve sistemi atık ısıdan arındıran bu soğutma yöntemi oldukça efektif çalışmaktadır. Sistemin çalışma prensibi Şekil 1.25'te verilmiştir.



Şekil 1.25. Fotonik kristal ile pasif soğutma yöntemi (Cracker, 2015)

Tüm bu pasif soğutma yöntemlerinin yanında literatürde aktif soğutma çalışmalarına da yer verilmektedir. Aktif soğutma yöntemlerinde, soğutma prosesi için haricen enerji sarfiyatı gerçekleştiğinden maliyet arttıran bir yöntemdir. Bu yöntemde pasif soğutmaya kıyasla daha hızlı ve daha yoğun ısı transferi gerçekleşmektedir. Aktif soğutma genel olarak iki alt başlıkta karşılık bulunmaktadır. Bunlar zorlanmış su ve zorlanmış hava taşınımı ile aktif soğutma yöntemleridir. Bu sistemlerde dolaştırılan akışkan; hava ise fan, su ise pompa kullanılır. Şekil 1.26'da zorlanmış su ile aktif soğutmaya, Şekil 1.27' de ise zorlanmış hava ile aktif soğutmaya yer verilmiştir.


Şekil 1.26. Panelin ön ve arka yüzeyinden su ile aktif soğutma (Phayom, 2013)



Şekil 1.27. Zorlanmış hava taşınımı ile aktif soğutma (Mazón-Hernández ve ark. 2013)

Aktif soğutma çalışmalarında üzerinde durulması gereken parametre soğutma maliyetidir. Soğutulan sistemdeki elektriksel verim artışı, soğutma maliyetini karşılamazsa yöntem ekonomiklik ilkesinden uzaklaşır.

Aktif ve pasif soğutma başlıklar altında incelediğimiz soğutma yöntemlerinin birçok çeşidi bulunmaktadır. Literatürde karşımıza çıkan diğer soğutma yöntemlerini, pamuk fitili ile doğrusal ve dairesel olarak soğutma, v formu verilmiş kanallar ile soğutma, ısı değiştirici yöntemi ile soğutma, ısı yayıcı yöntemi ile soğutma, ısı borucu ile soğutma, baca ile soğutma, rüzgâr tahrikli çatı üstü türbin vantilatörü ile soğutma şeklinde sıralamak mümkündür (Elbreki ve ark. 2017).

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Yenilenemez enerji kaynaklarının çevreci olmaması, tükenmesi ve teknolojinin hızla gelişmesi ile birlikte güneş enerjisinden azami oranda faydalanmak kaçınılmaz olmuştur. Bu sebeple, her geçen gün kullanım sahası genişleyen fotovoltaik panellerin elektriksel verimlerini arttırma çalışmaları, ulusal ve uluslararası araştırmalara konu olmuştur.

Fotovoltaik panellerin soğutulması ve sıcaklığın elektriksel verim üzerindeki etkisi ile ilgili çok sayıda akademik çalışmalar yapılmış olup değerli çalışmalardan bazıları aşağıda verilmiştir;

2.1. Hava ile Soğutma Çalışmaları

Bulut ve ark. (2017), Şanlıurfa şartlarında monokristal yapıda bulunan 2 adet panelden birini toprak hava ısı değiştiricisinden elde edilen soğuk hava ile soğuturken diğerini ise yalın halde bırakarak teste tabi tutmuşlardır. Yapılan deneysel çalışma neticesinde THID ile PV panelin yüzey sıcaklığını 20 °C düşürerek panel verimini %5 oranında arttırmışlardır.

Kabul ve Yaşar (2017), fotovoltaik panelin elektriksel verimi üzerinde olumsuz etki yaratan yüksek yüzey sıcaklık parametresini PV/T hibrit sistem üzerinde incelemişlerdir. Sistemde soğutma akışkanı olarak kullanılan su ve hava; ısıtma ve iklimlendirme uygulamalarında kullanılabilmektedir. Su ile soğutma safhasında sisteme iki farklı debide (0,66 ve 1,46 kg/s) akışkan gönderilmiştir. Beklendiği üzere 1,46 kg/s hızla gönderilen akışkan, yüzey sıcaklığını daha düşük seviyelere indirmiştir. Sistemin hava ile soğutulması durumunda ise yalın halde 73 °C bulunan panel sıcaklığının bu proseste 80 °C'ye çıktığı gözlemlenmiştir. Bunun sebebinin ise hava ile soğutulan sistemin kapalı bir alan ile sınırlandırılmış olmasıdır.

Ömeroğlu (2018), çalışmasında 900 W/m²'lik şiddete sahip yapay ışınım altında bulunan fotovoltaik termal sistemin ısıl ve elektriksel etkinliğini incelemiştir. Ampirik olarak elde edilen bulguları, hesaplamalı akışkanlar dinamiği verileriyle kıyaslamış ve deneyin doğruluğunu teyit etmiştir. Deney ve analiz verileri, farklı yüzey modelleri ve farklı rüzgâr hızları kullanılarak elde edilmiştir. Çalışma sonucunda bakır kanatçıkların kullanıldığı bu aktif soğutma yönteminin, elektriksel ve termal verimi iyileştirdiği ispat edilmiştir.

Fotovoltaik panelinin alt yüzeyine entegre edilen silindirik kanatçıklar yardımıyla, hava kullanılarak teorik soğutma yapan Özakın ve Kaya (2019), analiz için ANSYS Fluent yazılımını kullanmışlardır. Bilgisayar ortamında tasarımı ve analizi yapılan PV panele farklı debilerde rüzgâr hızı uygulamışlardır. Çalışma ile hücre sıcaklığında tespit edilen azalma miktarı, rüzgâr hızına bağlı olarak 10 °C ile 15 °C arasında olduğu gözlemlenmiştir. Bu düşüşün panel verimine etkisinin ise, ortalama %20 oranında olduğunu saptamışlardır.

Durdağı (2019), fotovoltaik panellerde elektriksel verim ile sıcaklık arasındaki bağımlılığı incelemiştir. Elde edilen veriler neticesinde, sıcaklık parametresinin fotovoltaik paneller de elektriksel verimi negatif yönde etkilediğini görmüş ve bu olumsuzluğu panele eklediği soğutma kanalları yardımıyla gidermiştir. Çalışma sonucunda, sıcaklığın yaratmış olduğu bu etkiden kurtulmak için soğutmanın gerekli olduğunu göstermiştir.

Mohanraj ve ark. (2019), yalın halde bulunan standart PV panellerin soğutulması ile birlikte elektriksel verimlerinin nasıl bir aksiyon alacağını araştırmışlardır. Çalışma kapsamında soğutucu olarak hava ve su akışkanları kullanılmış ve her akışkan için panel üstünden ve altından yapılan soğutma neticesinde, en verimli proses belirlenmiştir. Belirlenen bu proses, panel alt yüzeyinin su ile soğutulmasıdır. En yüksek etkinlik değerlerinin yakalandığı panel alt yüzeyinin su ile soğutulması çalışmasında, elektriksel verim %13.7'lik bir artış göstermiştir.

2.2. Sıvı ile Soğutma Çalışmaları

PV panellerde daha efektif ve stabil soğutma sağlayabilmek adına Nižetić ve ark. (2016), literatürde çok kez örneği bulunan sadece önden ve sadece arkadan su püskürtme ile soğutma yöntemini tek sistem üzerinde birleştirmişlerdir. Haricen, sistemin tek taraflı soğutulmasının etkisini de araştıran ekip, panelin ön yüzeyinin soğutulmasının arka yüzeyine soğutulmasından daha efektif olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Ön ve arka yüzey arasındaki soğutma farkı yaklaşık olarak 10 °C kadardır. Bu farkın kaynağı ön yüzeye etki eden güneş ışınlarının arkaya yüzeye nispeten daha yaygın olmasıdır.

Akademik çalışmasında çıkış gücü 100 W olan bir fotovoltaik panel kullanan Altınışık (2016), hücre sıcaklığının düşürülmesi ile elektriksel verimin alacağı aksiyonu araştırmıştır. Bu araştırma neticesinde fotovoltaik sistemi önden su kullanarak aktif soğutma tekniği ile fazla ısıdan arındırmıştır. Çalışma sonucunda soğutmanın fotovoltaik verime etkisinin yadsınamaz boyutta olduğunu göstermiştir.

Fotovoltaik sistemlerin hücre sıcaklığını düşürmek için birçok soğutma yönteminin olduğunu belirten Kurşun ve ark. (2016), çalışmalarında alt yüzeyine kanatçık ekledikleri PV paneli, sıvıya daldırma yöntemini esas alarak bilgisayar ortamında analiz etmişlerdir. Analiz süresince üzerinde durdukları parametreler, kanal geometrisi ve kanal içerisindeki PV panelin konumu olmuştur. Kanal içerisinde bulunan panelin konumunu, radyal ve eksenel olarak farklı pozisyonlarda analiz eden araştırmacılar, konum ve parametre değişikliğinden dolayı her analiz için basınç kaybı hesabı yaparak soğutma maliyetini belirlemişlerdir. Üzerinde çalışılan bu analizler neticesinde, kanal çıkış çapının küçültülmesinin ve kanal içerisinde bulunan fotovoltaik panelin eksenel pozisyonunun, kanal tahliye bölgesine yakın bir mesafede konumlandırıldığında daha etkin bir soğutma sağlayacağını belirlemişlerdir.

Kızılkan (2017), Siirt şartlarında bulunan 250 W gücündeki fotovoltaik panelin arka kısmını su ile soğutmuştur. Suyun panel yüzey sıcaklığına olan etkisi, panelin üst düzeyine

entegre edilen 5 adet termokupl ile takip edilmiştir. Elde edilen elektriksel parametreler, datalogger (veri toplayıcı) ile kayıt altına alınmıştır. Sistem için gerekli olan akışkan debisi, akış ölçer ile tespit edilmiş ve panel yüzey sıcaklığı optimum seviyelerde tutulmuştur. Bu tez çalışmasıyla, fotovoltaik panel üzerindeki sıcaklığın olumsuz etkisi su ile soğutularak azaltılmıştır.

Erkan ve ark. (2018), mono kristal yapıdaki bir fotovoltaik hücreyi mini kanallar yardımıyla HAD (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği) kullanılarak soğutmuşlardır. Soğutucu hacim 12 adet 40 mm uzunluğunda bulunan alüminyum kanallardan oluşmakta ve kanalların hidrolik yarıçapı 0,0018 m ölçüsündedir. Farklı ışınım değerlerinde tekrarlanan analizde, soğutucu akışkan olarak su kullanılmıştır. Ek olarak, akışkan debisinin soğutmaya etkisinin incelendiği bu çalışmada, hücre sıcaklığının mini kanal yöntemiyle 57 °C'den 25 °C'ye kadar soğutulabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Sıcaklığın panel verimi üzerindeki etkisini inceleyen Demir (2019), farklı azimut açılarında (20°, 38° ve 53°) soğutma yaparak bu değerleri kontrol grubunda bulunan yalın panellerle kıyaslamıştır. 4 adet panelin kullanıldığı bu çalışmada, 1. panel sadece su ile soğutulmuş, 2. panel hem soğutulmuş hem de mevsime göre azimut açısı değiştirilmiş, 3. panelin sadece mevsimsel azimut açısı değiştirilmiş ve 4. panel ise sabit açıda konumlandırılmış ve soğutulmamıştır. 70 günlük bir zaman dilimini kapsayan bu çalışmada, 2 numaralı panel kontrol grubunun 4 numaralı panele %17.49, 1 numaralı panele %11.04 ve 3 numaralı panele kıyasla %7.35 daha fazla elektrik enerjisi ürettiğini göstermiştir.

Akman (2019), Karabük'te 20 W etiket değerine sahip polikristal yapıda bulunan üç adet fotovoltaik panelden ikisini farklı iki metot (su kanallı ve su serpantinli) kullanarak soğutmuştur. Deney süresince en yüksek panel yüzey sıcaklık değerine 750 W/m²'lik radyasyon şiddetinde ulaşılmıştır. Belirtilen ışınım şiddetinde su serpantinli (SRP) su kanallı (SKP) ve yalın panele (YP) ait sıcaklık değerleri sırasıyla; 43.9 °C, 29.23 °C ve 59.53°C olarak ölçülmüştür. Bu sıcaklık şartları altında SKP, SRP ve YP panellere ait güç

değerleri sırasıyla; 15.23 W, 14.44 W ve 11.8 W olarak ölçülürken elektriksel verim sırasıyla %17, %16 ve %13 olarak hesaplanmıştır.

Alkış (2020), fotovoltaik sistemi iç ve dış ortamda pasif soğutma yöntemi ile soğutmuştur. 6 farklı akışkanın (sıvı yağ, su, trafo yağı, antifiriz, alkol ve 30 numara yağ) kullanıldığı bu çalışma ile sistem, dış ortamda ve 7 saatlik bir güneş ışınımı altında, iç ortamda ise 560 W/m² ışınım değerinin elde edildiği akkor lamba altında 1 saat süresince soğutulmuştur. Çalışma neticesinde alkolün suya kıyasla soğutmada daha az etkili olduğu sonucuna varılmış ve ek olarak kullanılan bu iki akışkanın da belirli bir süre sonra sahip olduğu ısıyı atamadığını tespit etmiştir. Çalışmada kullanılan akışkanlar arasında en yüksek enerji üretimi, antifiriz akışkanı ile elde edilmiştir.

Yaver (2020) çalışmasıyla; sıcaklığın, kısa devre akımı (Isc) ile doğru orantılı, açık devre gerilimi (Voc) ile ters orantılı olduğunu ve bu durumun sebebinin ise sıcaklığın elektron akışı üzerindeki olumsuz etkisinden kaynaklandığını söylemiştir. Sistem üzerindeki bu olumsuzluktan kurtulmak için de deneyde kullanılan fotovoltaik termal panel, su kullanılarak aktif soğutmaya tabi tutulmuştur. Bu çalışmada, fotovoltaik panel yüzeyinin soğutulması ile birlikte elektriksel verimde %52.6 oranında bir artış yakalanmıştır. Ek olarak, Hatay şartları altında çalışan bir panelden yüksek verim alınabilmesi için yüzey sıcaklık değerinin 55 °C'yi geçmemesi gerektiği önerilmiştir.

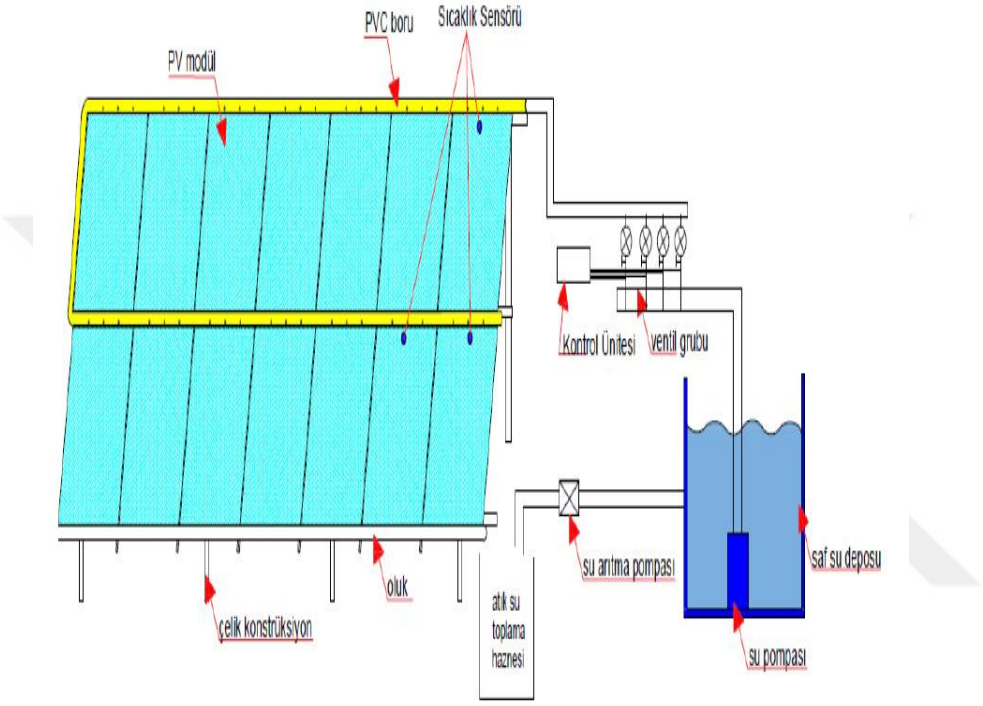
Soğutma prosesinin fotovoltaik panellerde elektriksel verime etkisini inceleyen Kerem ve ark. (2020), ebat ve yapısal olarak özdeş olan iki PV paneli çalışmalarına konu etmişlerdir. Osmaniye ilimizde gerçekleştirilen bu çalışmada, panellerden biri modül üzerine yerleştirilen ventiller yardımıyla su kullanılarak soğutulurken diğeri ise herhangi bir soğutma işlemine tabi tutulmadan incelenmiştir. Çalışmanın gerçekleştirildiği beş günün sonunda; yüzey sıcaklığı 32 °C'den 19 °C'ye düşürülmüş, güç ise 79.62 W değerinden 91.15 W seviyelerine çıkartılmıştır. En nihayetinde elektriksel verimde %14.47 oranında bir kazanım sağlanmıştır.

Hücre sıcaklığının 25 °C'yi geçtikten sonraki her 1 °C'lik artışında; verim, %0.5 ila %1 arasında kayıp yaşayacaktır, referansına atıfta bulunan Delibaş (2021), bu sorun ile alakalı hücre sıcaklığını 25 °C seviyelerine yakınsamak için "Yenilikçi Bir Tasarım ile Birlikte Fotovoltaik Panel Verimliliğinin Arttırılması" adlı çalışmayı gerçekleştirmiştir. Deneyde PV panelin arkasına selülozik süngerler homojen olarak dağıtılmış ve suyun buharlaşma entalpisinden faydalanılarak, süngerler üzerine konumlandırılan nozullar ile sistem soğutulmuştur. Radyasyon yoğunluğu, panel açısı ve nozulların su püskürtme süreleri, deney düzeneğinde değişiklik yapılan üç temel parametre olmuştur. Ağırlığının neredeyse 10 katına kadar sıvıyı emebilme ve yayabilme özelliğine sahip olan selülozik süngerler ile yapılan bu çalışmada, muadil sistemlere kıyasla daha homojen bir soğutma sağlanmıştır. Deney neticesinde, en yüksek verim ve en düşük su sarfiyatı ortamı oluşturabilmek için çalışma parametreleri üzerinde optimal seviyeler belirlenmiştir.

Erol (2021), Osmaniye şartlarında gerçekleştirilen çalışmada kurulan deney düzeneği ile sıcaklığın panel üzerindeki negatif etkisini asgari değerlere indirmek için fotovoltaik paneli, bakır borular kullanılarak su ile soğutmuştur. Her iki panel için de aynı şartlar altında elektriksel büyüklükler ölçülmüş, deney neticesinde su soğutmalı panelin standart PV panele kıyasla verim bazında, %5.9'luk bir artış sağladığı tespit edilmiştir.

Çakır ve Onay (2021), Antalya şartlarında, 1.75 kW kapasiteli fotovoltaik panellerden oluşan sistemi, su ile otomasyon kontrolünde soğutmuşlardır. Deney düzeneğinde; su pompası ve tankı, ventiller, borular ve otomasyon sistemi kullanılmıştır. Sıcaklık seviyesinin en yüksek seviyelerde olduğu DC kablolama bölümüne sıcaklıktaki değişimi okuyabilmesi için iki adet sensör konumlandırılmıştır. Otomasyon sistemi, ilk olarak panel yüzey sıcaklığının ortalama 70 °C'ye ulaşmasıyla aktif hale gelmektedir. Bu evrede, panel üzerinde bulunan dört ventil de çalışır konumdadır. Ortalama sıcaklık değeri 55 °C'ye inene kadar dört ventil durmadan panel yüzeyine su tedarik etmektedir. Aktif ventil sayısı, panel yüzeyindeki sıcaklık ortalaması 55 °C ila 40 °C arasında iken üçe, 40 °C ila 30 °C arasında iken ikiye, 30 °C ve 25 °C arasındayken de teke düşmekte, 25 °C altındaki sıcaklık değerlerinde ise sistem otomatik olarak pasif konuma geçmektedir. Bu

soğutma çalışmasıyla, panel çıkış gücünde %24.3'lük bir artış yaşanırken elektriksel verimde %2.2'lik bir ilerleme kaydedilmiştir. Deney düzeneğine ait şema Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Su ile otomasyonlu soğutma deney düzeneği (Çakır ve Onay, 2021)

2.3. Diğer Soğutma Çalışmaları

Moradgholi ve ark. (2014), PV ve PV/T panellerin verimliliklerini sisteme entegre ettikleri termosifon tip ısı borulu soğutma yöntemi ile karşılaştırmışlardır. Sistemde çalışma akışkanı olarak metil alkol ve aseton kullanmışlardır. Asetonun ve metil alkolün kullanıldığı her iki sistemde de PV/T sistem, geleneksel PV sisteminden daha verimli çalıştığı sonucuna ulaşılmıştır.

PV panellerin, sıcaklık ve iklim parametreleriyle olan ilişkisini araştıran Hasan ve ark. (2014), 4 farklı bölgede (Vehori, İrlanda, Dublin ve Pakistan) 65 W çıkış gücüne sahip polikristal yapılı PV sistemleri deneye tabi tutmuşlardır. Sıcaklığın etkisini farklı

kimyasal kompozisyona sahip faz değiştiren malzemeler kullanarak ele alan araştırmacılar, tüm coğrafyalarda ağustos ayından kasım ayına kadar sabah 09.00'dan akşam 18.00 saatlerine değin belirli periyotlarla veri kaydı alarak tamamlamışlardır. Çalışma ile en yüksek elektriksel verime Pakistan'da kurdukları deney setinde ulaşmışlardır. İki farklı FDM'nin (ötekteik ve tuz hidrat) kullanıldığı panellerin verimleri sırasıyla; %13.9 ve %14.5 olarak tespit edilmiştir. Bu verim değeri soğutmanın gerçekleştirilmediği sistemde ise %13.1 seviyesinde kalmıştır.

Popovici ve ark. (2016), fotovoltaik panelleri soğutmak için arka yüzeylerine delikli alüminyum kanatçık ekleyerek pasif soğutmayan maruz bırakmışlardır. Birbirinden farklı açı değerleri ile konumlandırılmış kanatçıkları ayrı ayrı tasarımlar kullanılarak analiz etmişlerdir. Analiz neticesinde kanatçıkların panelin arka yüzeyi ile yapmış olduğu optimum açıyı tespit etmeye çalışan araştırmacılar, 90° ve 45° pozisyonlarında konumlandırılmış tasarımların etkinliklerini yalın panele kıyasla sırasıyla %7.55 ve %6.97 daha verimli bulmuşlardır.

Siecker ve ark. (2017), soğutma yöntemlerinin fotovoltaik hücrenin ömrünü uzattığını ayrıca termal ve elektriksel verimini arttırdığını yapılan akademik çalışmaları ile ileri sürmüşlerdir. Soğutma yöntemlerinden maksimum oranda fayda sağlamak için sistem üzerindeki atık ısının daha homojen ve istikrarlı bir biçimde toplanması gerektiğinin önemini vurgulayan araştırmacılar, çalışmalarında birbirinden farklı 9 soğutma yöntemine yer vererek bunların avantaj ve dezavantajlarını bilim dünyasına kazandırmışlardır.

Radyoaktif soğutma yöntemlerinin fotovoltaik sistem üzerindeki etkisini araştıran Zhao ve ark. (2018), bu yöntemin beklendiği kadar büyük etki göstermediği sonucuna varmışlardır. Yapılan araştırmalar neticesinde radyoaktif soğutma ile panel yüzey sıcaklığında 10 °C kadar bir düşüş sağlanabileceğini ama bu skalanın soğutma potansiyeli için yetersiz kalacağını belirtmişlerdir.

Elbreki ve ark. (2017), çalışmalarında fotovoltaik panellerin elektriksel verimini arttırabilmek adına yapılan soğutma çalışmalarını incelemiş ve etkinliklerini belirtmişlerdir. Fotovoltaik sistemlerde soğutma yöntemlerini en temel anlamda iki ana başlıkta incelenebileceğini belirten bu çalışmada, aktif soğutma yöntemlerini verimliliklerinin pasif soğutma yöntemlerine kıyasla daha iyi olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Maliyet parametresi baz alındığında ise pasif soğutmanın çok daha pratik bir kullanım sağladığını da ayrıca özetlemişlerdir.

Bayrak (2017), Elazığ şartlarında gerçekleştirmiş olduğu doktora çalışmasında polikristal formda bulunan 75 W gücündeki panelleri birbirinden farklı pasif soğutma yöntemine tabi tutmuş ve yüzey sıcaklıklarındaki düşüşü gözlemlemiştir. Bu soğutma yöntemleri sırasıyla; alüminyum kanatçık kullanılarak soğutma, alüminyum kanatçıklı ve kapalı hücreli soğutma, faz değiştiren malzeme ile soğutma, termo elektrik etki (TE) ile soğutma ve son olarak FDM+TE kullanılarak soğutma şeklindedir. Alüminyum kanatçıkla soğutma için 10 farklı durum ele alınmış ve en iyi sonucu şaşırtmalı dizilime sahip 10 cm uzunluğunda ve 7 cm boyundaki tasarım vermiştir. 3 farklı FDM'nin kullanıldığı tasarımlarda en iyi sonucu kalsiyum klorür hekzahidrat vermiştir. Son olarak 6 ve 10 adet termoelektrik modülünün kullanıldığı iki tasarım arasından en iyi sonucu, modül sayısı fazla olan panel vermiştir.

Gölgeleme faktörünün panel verimine etkisini araştıran Ertürk (2018), buna ek olarak PV paneldeki yüksek yüzey sıcaklığını FDM kullanarak atık ısı şeklinde depolamış ve paneli soğutmuştur. Atmosfer sıcaklığının 32.9 °C olduğu bir anda FDM kullanılmayan (soğutmasız) sistemin sıcaklığını 44.85 °C, FDM kullanılan sistemin panel sıcaklığını ise 40.73 °C olarak ölçmüştür. En nihayetinde, FDM kullanılarak PV panel yüzey sıcaklığını 4.12 °C düşürmüştür.

FDM kullanılarak soğutulan termal ve fotovoltaik panellerde, verim hesabı için nümerik olarak COMSOL uygulamasını kullanan Fayaz ve ark. (2019), elde edilen sayısal verileri deneysel çıktılar ile kıyaslamışlardır. Akademik araştırma sonucunda termal

sistemlerde deneysel olarak %12.28, sayısal olarak %12.59 verim değerleri elde edilmiştir.

Şen (2019), Batman şartlarında gerçekleştirdiği çalışmasında iki adet fotovoltaik panel kullanmıştır. Kullanılan bu panellerden ilkini kalsiyum klorür hekzahidrat isimli faz değiştiren malzeme ile soğutmuş, diğerini ise herhangi bir soğutma olmaksızın teste tabi tutmuştur. Soğutulan panelin geriliminde %1.46 oranında artış sağlanırken elektriksel veriminde %2.95 artış tespit etmiştir.

Osta (2020), farklı radyasyon değerleri altında (750 W/m² ve 1000 W/m²) çalışan fotovoltaik paneller için 45 °C ile 25 °C yüzey sıcaklığı aralığında devreye giren bir soğutma sistemi tasarlamıştır. 45 °C seviyesine ulaşan yüzey sıcaklığı ile röle, soğutma sistemini devreye almakta ve sıcaklık değeri 25 °C olana kadar nozul yardımıyla PV panel yüzeyini sprey soğutmaya tabi tutmaktadır. Bu aralığın belirlenmesinde etkili olan parametre, elektriksel verimin belirtilen şartlarda optimum değerlerde seyretmesinden kaynaklanmaktadır. Sprey soğutma yönteminin kullanıldığı bu çalışmada deneysel ve sayısal değerler karşılaştırılmıştır.

Yükselen sıcaklık değerleri altında modül verimini standart test koşulları verilerine yakınsamak isteyen Kayabaşı ve Kaya (2020), monokristal ve polikristal esaslı modüllerde faz değiştiren malzeme ve ısı borusu kullanılarak yüzey soğutma çalışması yapmışlardır. Sistemde FDM olarak kalsiyum klorür hekzahidrat, soğutma akışkanı olarak su kullanılmıştır. Normal koşullar altında (soğutmasız) panel yüzey sıcaklığı 30 °C ila 80 °C aralığında seyrederken FDM ve ısı borulu soğutma sisteminin kullanıldığı panellerde bu aralık 30 °C ila 40 °C bandında ölçülmüştür. Özetle, verimin negatif olarak etkilendiği yüksek yüzey sıcaklığı parametresinin olumsuz etkisinden, ısı borusu ve FDM kullanılarak uzaklaşılmıştır.

Ali ve Koç (2021), çalışmalarında fotovoltaik sistemlerin üretiminin yeteri kadar yoğun olmamasını referans göstererek eldeki panellerden mümkün olduğunca yüksek

verimde faydalanılması gerektiğini belirtmişlerdir. Panel verimine olumsuz etki yaşatan yüksek hücre sıcaklığının, elektriksel kabiliyetini iyileştirmek için soğutucu olarak SP25E2, RT35 ve RT15 adında üç tip FDM'nin karışımını kullanmışlardır. Matlab ile simüle edilen araştırma neticesinde, sıcaklığı düşürülen hücrenin elektriksel yeteneğinde iyileşme olduğunu göstermişlerdir. Ayrıca sıcaklığın, faz değiştiren malzemenin erime sıcaklığından daha düşük seviyelerde olduğu durumlarda FDM kullanımının dezavantaj olacağını da belirtmişlerdir.

Kayabaşı (2021), sıcaklığın fotovoltaik panel verimi üzerindeki tesirini incelemiş ve yüksek sıcaklık seviyelerinde elektriksel verimin azaldığını saptamıştır. Pratikte ulaşılan güç değerlerinin, standart test koşulları'nda (STK) elde edilen güç değerlerine yakınsaması ile elektriksel verimde de %3'ten %15'e kadar artış sağlandığı sonucuna ulaşmıştır. Buna ek olarak, modül sıcaklığını düşürmenin her zaman için ekonomik olmayacağını da belirtmiştir. Özetle, soğutma yönteminin ekonomik olması gerektiğine vurgu yapılmıştır.

Akan ve Akal (2021), radyasyon şiddetinin, atmosfer sıcaklığının ve rüzgâr hızının paneli çıkış gücündeki etkisini, panelin alt yüzeyine ekledikleri alüminyum kanatçıklar kullanarak, pasif soğutma yöntemi ile incelemişlerdir. Kullanılan kanatçıklar ile panel çıkışındaki güç %9.07 seviyesinde bir artış göstermiştir. Ek olarak, solar radyasyonun panel gücüne %6 ila %12 oranında, rüzgâr hızının ortalama olarak %10 oranında ve sıcaklığın ise panel çıkış gücüne %3 ila %11 seviyelerinde olumlu tesiri olduğunu göstermiştir.

Ergene (2021), kalsiyum klorür hekzahidrat (CaCl2.6H2O) isimli faz değiştiren malzeme ile CuO/H2O yapılı nanoakışkanın birlikte kullanımı sonucu, PV/T sistemlerde elektriksel ve ısıl verimin nasıl bir reaksiyon göstereceğini araştırmış bu değerleri karşılaştırmıştır. Yalnızca nanoakışkanın kullanıldığı NPVT sistemlerde elektriksel verimin, standart tip PV modülüne kıyasla %7.2 oranında arttığını, nanoakışkanın yanında

FDM'nin kullanıldığı NPVT/FDM sistemler de ise bu verim artışının %11.8 seviyelerinde olduğunu tespit etmiştir.

Vuran (2022), 105 W güç çıkışına sahip üç özdeş PV panelden ikisini farklı soğutma yöntemlerine tabi tutmuştur. Panellerden birini panel arkasına döşediği bakır boruları kullanarak sıkıştırılmış hava ile soğuturken bir diğerini ise su ile soğutmuştur. Çalışma neticesinde, PV panel çıkışındaki güç değeri %5.73 arttırılmıştır.

Bu çalışmada PV panellerin hava ile soğutulması durumunda farklı soğutucu tasarımların panel yüzey sıcaklığına etkisinin analizi amaçlanmıştır.

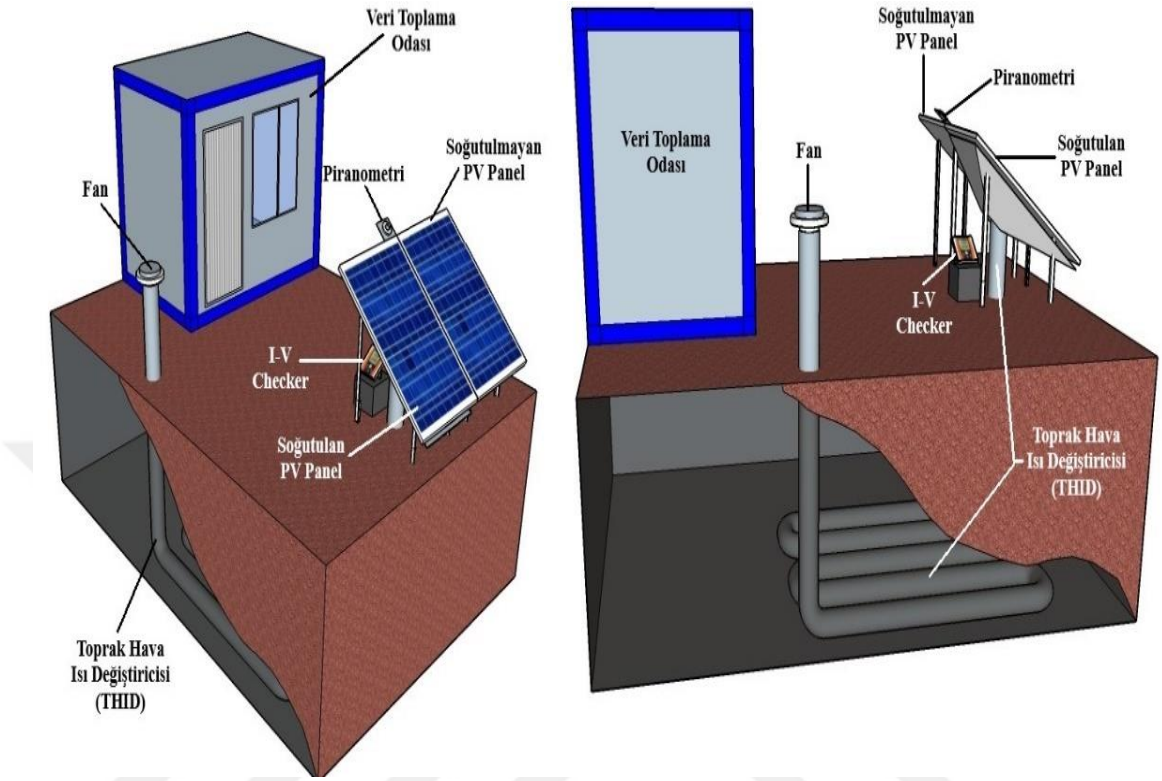
3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

Deney düzeneği, Harran Üniversitesi bünyesinde bulunan GAPYENEV merkezine ait araştırma sahası kurulmuştur. Deneyin yapıldığı sahaya ait gerçek ve şematik görüntüler Şekil 3.1 ve Şekil 3.2' de verildiği gibidir.



Şekil 3.1. Deney düzeneğinin ön ve arka görünüşü



Şekil 3.2. Deney düzeneğinin önden ve arkadan şematik görünümü

3.1.1. Deney düzeneğinde kullanılan ana elemanlar ve özellikleri

Deneysel çalışmada kullanılan ana elemanlar ve teknik özellikleri Çizelge 3.1'de belirtildiği gibidir.

Çizelge 3.1. Deney setinde kullanılan ana parçalar ve teknik özellikleri

No	Parça Adı	Teknik Özellik
1	Bifacial PV Panel	SS400M3FH-24/TH Bifacial Half-Cut Big Cell Panel 400W, Voc:49,92 Isc:10,16
2	THID	Toplam Boru Boyu: 21,95 m boru uzunluğu 2,5m derinlik, Boru çapı: 100 mm
3	Fan	Fansan Tkf 160 Radyal Fan, Fan Çapı: 160 mm, Devir: 2450 d/dk
4	Dekota (PVC Foam)	Özgül Ağırlık: 0,50-0,70 gr/cm3, Isı iletkenliği: 3-3,7 W/m2K

3.1.1.1. Bifacial PV panel

Deneysel çalışmada aynı özelliklere sahip iki adet bifacial half-cut monokristal PV panel kullanılmıştır. Panellerden birine soğutma işlemi yapılmış diğerine ise herhangi bir soğutma işlemi uygulanmadan yalın durumda incelenmiştir. Bifacial PV panele ait görsel Şekil 3.3'te, teknik özellikler Çizelge 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.3. Bifacial Half-Cut PV panel (Smartsolar, 2023)

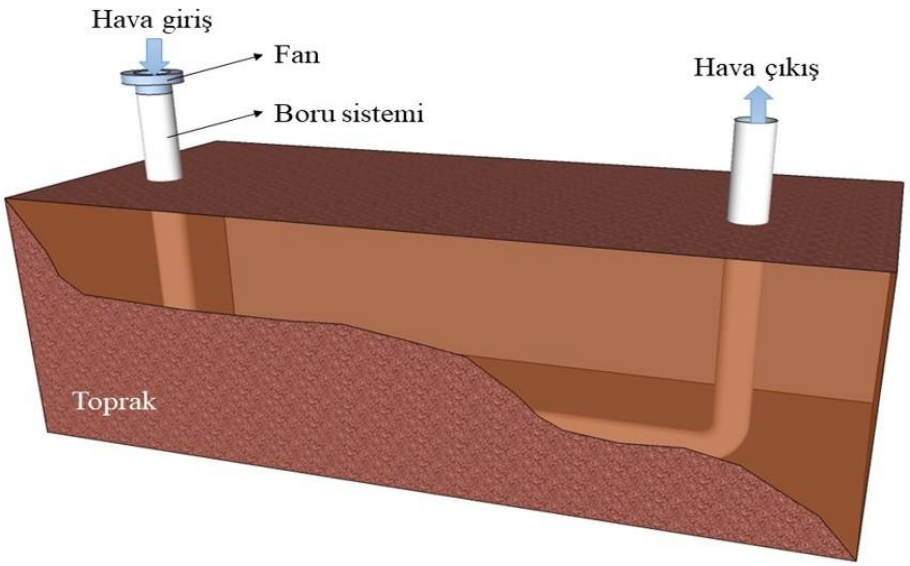
Çizelge 3.2. Bifacial PV panel özellikleri

Teknik Özellik	Açıklama
Marka	Smart Solar
Model	SS400M3FH-24/TH Bifacial Half-Cut
Hücre Tipi	Monokristal
Maksimum Güç	400 W
Maksimum Akım (Pmp)	9,80 A
Maksimum Gerilim (Vmp)	40,82 V
Kısa Devre Akımı (Imp)	10,16 A
Açık Devre Gerilimi (Voc)	49,92 V
NOCT (Nominal İşletim Hücre Sıcaklığı)	43±2 °C
Gerilim Sıcaklık Katsayısı	-0.269%/°C
Akım Sıcaklık Katsayısı	0.04%/°C
Güç Sıcaklık Katsayısı	-0.344%/°C
Ağırlık	24 kg
Boyut	2030x1010x30 mm

3.1.1.2. Toprak hava ısı değiştiricisi (THID)

Toprak sıcaklığında günlük ve yıllık sıcaklık değişimi çevre havasına oranla daha düşük düzeydedir. Toprak sıcaklığındaki bu değişim belirli bir derinlik seviyesinden sonra çok fazla değişim göstermediğinden, ihmal edilebilir duruma gelmektedir.

Toprak enerjisini kullanan THID sistemlerinden, yazın soğutma ve kışın ısıtma işlemlerinde faydalanılmaktadır. Bu proseslerde kullanılması hedeflenen çevre havası, THID sistemine entegre edilen bir fan yardımıyla emilip toprak altına yerleştirilen borulara gönderilmekte burada toprak ile hava arasında ısı alışverişi sağlanmaktadır. Fan ile emilen havanın THID'ye gönderildiği sisteme ait şematik görüntü Şekil 3.4'te belirtilmiştir.



Şekil 3.4. THID sistemlere ait şematik görünüm (Demirtaş, 2022)

Deney düzeneğinde kullanılan THID; yerin 2.5 m altına, toplam uzunluğu ise 20 m olacak şekilde serpantin ya S tipi olarak isimlendirilen düzende yerleştirilmiştir. THID sistemine ait teknik detaylar Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Deneyde kullanılan THID'ye ait özellikler

Teknik Özellik	Açıklama
Malzeme	PVC
Tasarım modeli	S Tipi
Boru uzunluğu	20 m
Boru et kalınlığı	4 mm
Boru çapı	110 mm
Isı iletim katsayısı	0.16 W/mK

3.1.1.3. Fan

Doğrudan çevre havasıyla ya da THID ile yapılan soğutma çalışmalarında 220 V ile çalışan, emme esaslı fan kullanılmıştır. Fan, soğutulması hedeflenen PV panel sisteminde, soğutucu davlumbaza gönderilecek havayı iletmek için kullanılmıştır. Deneyde kullanılan fana ait görsele Şekil 3.5'te, teknik özelliklere ise Çizelge 3.4'te yer verilmiştir.



Şekil 3.5. Deney setinde kullanılan kanal tipi fan (Fansan, 2023)

Çizelge 3.4. Fanın teknik özellikleri

Teknik Özellik	Açıklama
Marka	Fansan
Model	TKF-160
Motor Gücü	90W 230 V Monofaze
Devir Sayısı	2450 d/dk
Debi	670 m3/h
Ağırlık	3,1 kg
Ses	52 dB(A)

3.1.1.4. Soğutucu davlumbaz için dekota (PVC foam) malzemesi

Soğutucu davlumbaz hacmin modellemesinde kullanılan malzeme, çevrenin olumsuz şartlarından asgari düzeyde etkilenmesi, kolay işlenebilirlik ve hafiflik, yüksek ısı yalıtımına imkân sunması ve soğutulan havanın en verimli şekilde panele ulaşmasına olanak sağlaması sebebiyle "dekota" olarak belirlenmiştir. Malzemeye ait görsele Şekil 3.6'da, özelliklere ise Çizelge 3.5'te yer verilmiştir.



Şekil 3.6. Dekota (PVC foam)

Çizelge 3.5. Dekota (PVC foam) teknik özellikleri

Teknik Özellik	Açıklama
Özgül Ağırlık	0,50-0,70 g/cm^3
Elastisite Modülü	1100 MPa
Gerilme Dayanımı	19,5 MPa
Darbe Dayanımı	17,2 kj/m^2
Esneme Dayanımı	670 m^3/h
Isı İletkenliği	3,1 kg
Su emilimi	%0.9

3.1.2. Deney düzeneğinde kullanılan ölçüm cihazları

Çizelge 3.6'da deney setinde kullanılan ölçüm ekipmanlarına ve veri kaydetme cihazlarına yer verilmiştir. Deneysel çalışmalardan alınan verilerin hata yüzdelerini minimize etmek ve daha hassas sonuçlar elde etmek için ekipman kalibrasyonuna dikkat edilmiştir.

Çizelge 3.6. Deney düzeneğinde kullanılan yardımcı ekipmanlar

No	Parça Adı	Açıklama
1	Datalogger	Hioki LR8402-20
2	I-V Checker	EKO MP-11
3	Piranometre	EKO MS-602
4	Anemometre	Kimo AMI 300
5	Potansiyometre	Fan Hız Anahtarı
6	Termokupl	K ve T tipi
7	Termal Kamera	Testo 885-1

3.1.2.1. Datalogger

PV panellere ve THID sistemine monte edilen ısıl çiftler ve piranometre bağlantıları datalogger üzerinden yapılmıştır. Periyodik ölçüm alma, okuma ve kaydetme özelliğine sahip olan bu cihaz ile deneysel veriler, excel ortamına aktarılmıştır. Deney düzeneğinde kullanılan datalogger, HIOKI markasına ait HR8402-20 modelidir. Dataloggera ait görsel Şekil 3.7'de, teknik detaylar ise Çizelge 3.7'de verilmiştir.



Şekil 3.7. Datalogger (veri kaydedici) (Testone, 2023)

Çizelge 3.7. Datalogger teknik özellikler

Parametreler	Açıklama
Marka	HIOKI
Model	LR 8402-20
Kanal Sayısı	Standart 30 Kanallı (60'a kadar arttırılabilir.)
Voltaj Giriş Aralığı	10mV-100V
Termokupl Modelleri	K, T, J, E, N, R, S, B, W
Ekran	5,7 inç-Renkli Ekran
Puls Girişi	8 kanal her bir kanalda puls/dijital giriş seçilebilir.
Kayıt Aralığı	10 ms ile 1 saat arası
Ara Yüzler	Dahili LAN ve USB

3.1.2.2. I-V checker

Deney düzeneğinde kullanılan I-V checker, elektriksel parametrelerin ölçülmesine ve kaydedilmesine olanak sağlayan, EKO markasına ait MP-11 modelidir. Cihazın görseline Şekil 3.8'de, teknik detaylarına ise Çizelge 3.8'de yer verilmiştir.



Şekil 3.8. I-V Checker (EKO, 2023)

Çizelge 3.8. I-V Checker teknik özellikler

Parametreler	Açıklama
Marka	EKO
Model	MP-11
Güç Kaynağı	12VDC, 5W / AA Pil x 8
Güç Ölçüm Aralığı	10-18000 W
Voltaj Ölçüm Aralığı	10-1000 V
Akım Ölçüm Aralığı	0,1-30 A
Ölçüm Süresi	5 sn
Ölçüm Zaman Aralığı	30 sn
Ağırlık	3 kg

3.1.2.3. Piranometre

Fotovoltaik panel üzerine gelen ışınım şiddetini ölçmek için panel eğimine paralel olarak konumlandırmıştır. Cihaz bağlantısı, veri kaydedici (datalogger) üzerine yapılmış ve ışınım değerleri periyodik olarak kaydedilmiştir. Piranometre'ye ait görsele Şekil 3.9'da, teknik detaylara ise Çizelge 3.9'da yer verilmiştir.



Şekil 3.9. Piranometre

Çizelge 3.9. Piranometre teknik özellikleri

Parametreler	Açıklama
ISO 9060 Sınıfı	Second Class
Tepki süresi (%95) (sn)	< 17
Termal radyasyon (200 W/m2)	+10 W/m2
Sıcaklık değişimi (5 K/hr)	< 6 W/m2
Non-stabilite (değişme/yıl)	< 1.7 %
Non-linerite (1000 W/m2)	< 1.5 %
Yönsel tepki (1000 W/m2)	< 25 W/m2
Spektral seçicilik (0.35 – 1.5 µm)	< 1%
Sıcaklık tepkisi (50 °C)	< 2%
Tilt tepkisi (1000 W/m2)	< 2 %
Anma Duyarlılığı (µV/W/m2)	7
Anma Empedansı (ohm)	20-140
Çalışma sıcaklığı, °C	-40~80 °C arası
Kablo uzunluğu	10 m
Dalgaboyu aralığı	305-2800 arası

3.1.2.4. Anemometre

Deney setinde kullanılan soğutucu havanın ve çevre havasının hızını ölçmek için KIMO markasına ait AMI-300 model numaralı çok fonksiyonlu ölçüm cihazı kullanılmıştır. Rüzgâr hızı ölçülürken cihaza kablo bağlantısı ile bağlanmış hız ölçücü anemometreden faydalanılmıştır. Cihaza ve anemometreye ait görsel ve teknik özellikler, sırasıyla; Şekil 3.10 ve Çizelge 3.10'da verilmiştir.



Şekil 3.10. Çok amaçlı ölçüm cihazı ve hava hızı ölçer aparat

Çizelge 3.10. Anemometre özellikleri

Parametreler	Açıklama
Marka	KIMO
Model	AMI-300
Fonksiyonlar	Basınç, Hava Hızı, Higrometre, Hava Kalitesi Psikrometre, Termometre, Akım/Gerilim Modülü
Hız Ölçüm Aralığı	0,25-35 m/s
Ekran	70x52 mm, 320x240 piksel renkli ekran
Tuş Takımı	Metal kaplamalı 5 tuş, 1 joystick
Çalışma sıcaklığı	0-50 ºC
Otomatik Kapanma	0-120 dk (ayarlanabilir)
Ağırlık	380

3.1.2.5. Hız anahtarı

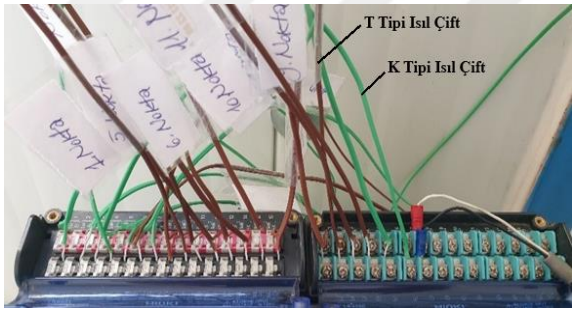
Soğutucu davlumbaza gönderilen soğuk hava hızını tayin etmek için fan üzerine bağlantısı sağlanmış hız anahtarı olarak kullanılan cihazdır. Hız anahtarı, fan devrini şebekeden çektiği elektrik üzerinde direnç oluşturarak ayarlayabilmektedir. Maksimum devir sayısı, fanın çalışma gerilimi ile sınırlandırılmıştır. Hız anahtarına ait görsel Şekil 3.11'de verilmiştir.



Şekil 3.11. Fan üzerine monte edilmiş hız anahtarı

3.1.2.6. Isıl çiftler

Deney düzeneğindeki sıcaklık ölçümlerinde K ve T Tipi ısıl çiftler kullanılmıştır. Sistemde kullanılan ısıl çiftler Şekil 3.12'de gösterilmiştir.



Şekil 3.12. K ve T tipi ısıl çiftler ve datalogger bağlantıları

3.1.2.7. Termal kamera

Soğutulan ve soğutulmayan panel arasındaki yüzey sıcaklık dağılımını görselleştirebilmek ve nümerik simülasyon görüntüleriyle karşılaştırabilmek için termal kamera kullanılmıştır. Termal kamera her iki paneli de görecek açıda bir tripot üzerine konumlandırılmıştır. Deney düzeneğinde Testo markasına ait 885-1 model numaralı cihaz kullanılmıştır. Cihaza ait görsel Şekil 3.13'te verilmiştir. Teknik özellikler ve diğer detaylar Çizelge 3.11'de belirtildiği gibidir.



Şekil 3.13. Termal Kamera (Testteknik, 2023)

Çizelge 3.11. Termal kamera-teknik özellikler

Parametreler	Açıklama
Marka	Testo
Model	885-1
Ölçüm Aralığı	-20 ile +650 °C
Termal Duyarlılık	30 °C @ NETD <30mK
Hassasiyet	± 2 °C
Görüntü Yenileme Hızı	9 Hz
Spektral Bant Aralığı	7.5-14 µm
Ekran	480x272 piksel, 4,3" LCD
Ağırlık	1570 g

3.2. Yöntem

3.2.1. Deneysel yöntem

Bu tez çalışmasının temel amacı PV panel sistemlerinde panel yüzey sıcaklığının elektriksel verim üzerindeki etkisini deneysel ve nümerik olarak incelemektir. Gerçekleştirilen deneylerde bifacial PV paneli soğutmak için THID ile soğutma ve direkt çevre havası ile soğutma olmak üzere iki başlıkta çalışmalar yapılmıştır. Her iki çalışma şartı için iki farklı soğutucu davlumbaz (Tasarım1 ve Tasarım2) kullanılarak soğutucu davlumbaz tasarımının soğutma üzerindeki etkinliği incelenmiştir. Tasarımlar için farklı hava hızlarında (4.5 m/s, 3.5 m/s ve 2.5 m/s) soğutma havası sisteme gönderilerek panel yüzeyindeki soğutma alanının homojenliği incelenmiştir. Sistemde kullanılan panel bifacial (çift taraflı) olduğundan ve soğutmaya tabii tutulan panele referans oluşturması

açısından soğutma deneylerinin yapıldığı düzeneklerde olduğu gibi arkası kapatılarak şartlar eşitlenmiş sonuçlar incelenmiştir.

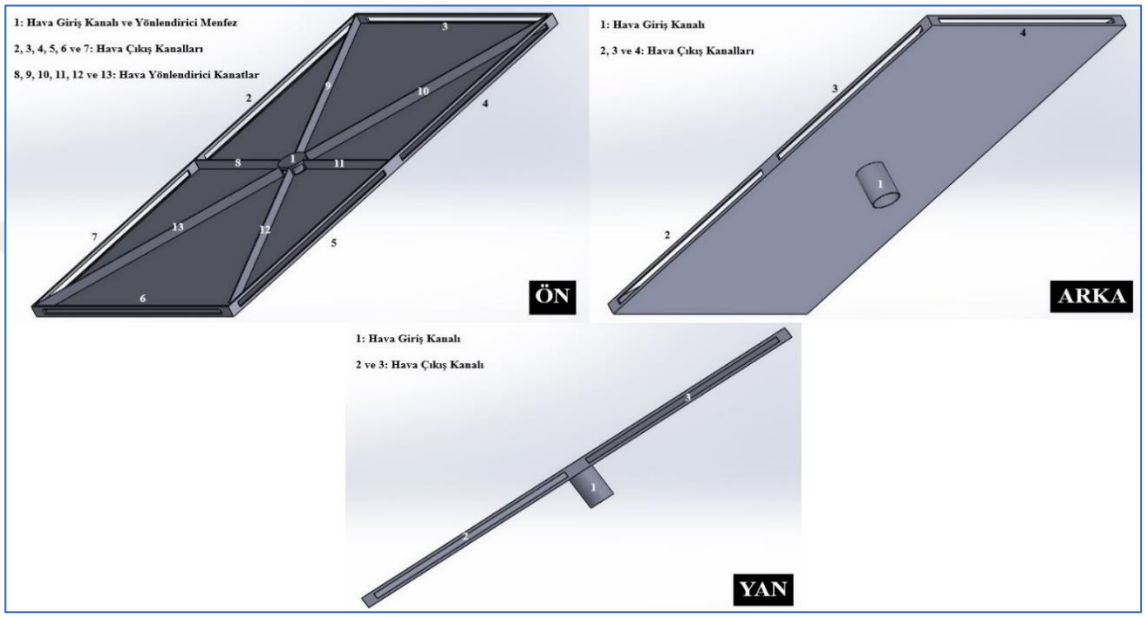
Panel veriminin soğutmaya tabi tutularak ve tek taraflı kullanılmasının mı daha verimli olacağı yoksa çift taraflı ve soğutmasız olarak kullanılmasının mı daha efektif sonuçlar vereceğinin anlaşılması için de soğutma deneylerine ek olarak, soğutmasız ve çift taraflı panelin deneysel verileri toplanmıştır. Buna ek olarak çift taraflı panellerde verimliliğin arttırılabilmesi için albedo (yansıtabilirlik) etkisi kullanılmış ve panelin arka yüzeyindeki elektriksel etkinliğinin arttırılabilmesi için bu yüzeyin hemen altına beyaz bir yüzey yerleştirilmiştir. Çift taraflı PV panel çalışmaları üzerinde yapılan bu deneysel çalışma ile de toprak ve beyaz zemin arasındaki güneş ışınlarının yansıtabilirliği arasındaki farklar gözlemlenmiştir. Deney düzeneğinin kurulduğu çalışma alanı Şekil 3.14'te belirtilmiştir.



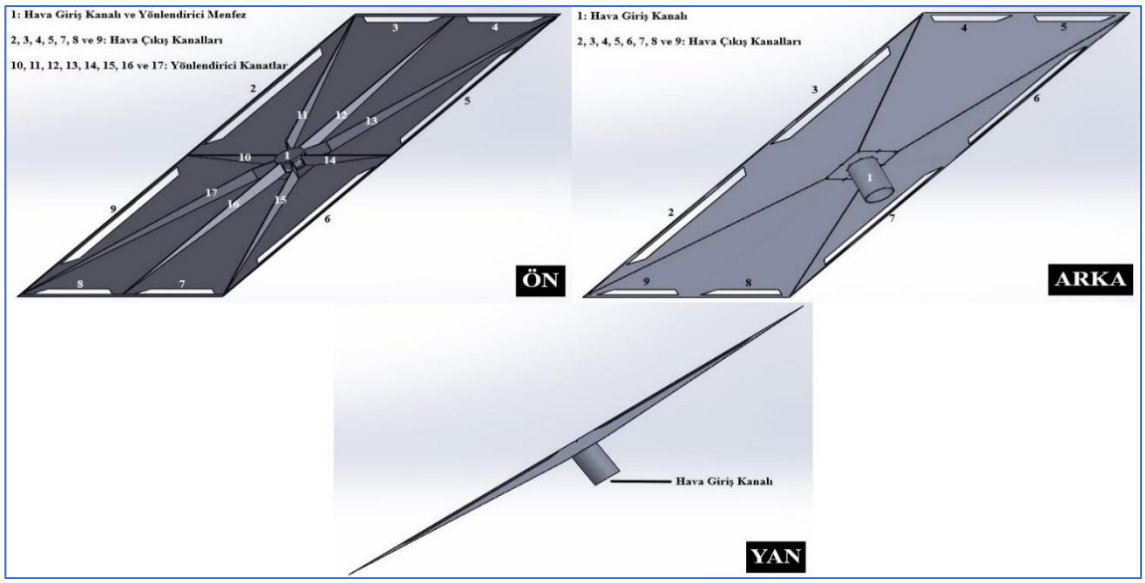
Şekil 3.14. Deney setinin kurulduğu alana ait uydu görüntüsü (37°17' N 39°00' E. 508 m)

Deney çalışmalarına ilk olarak soğutucu davlumbaz tasarımları ile başlandı. Tasarım için modellenen geometriler arasından en homojen panel yüzey sıcaklık dağılım oluşturacağı düşünülen iki tasarım belirlendi. Bu soğutucu davlumbazlar, Tasarım1 ve Tasarım2 olarak adlandırıldı. Deneysel çalışmalara ek olarak nümerik analizde kullanılması için de Tasarım3 olarak adlandırılan alternatif bir model oluşturuldu.

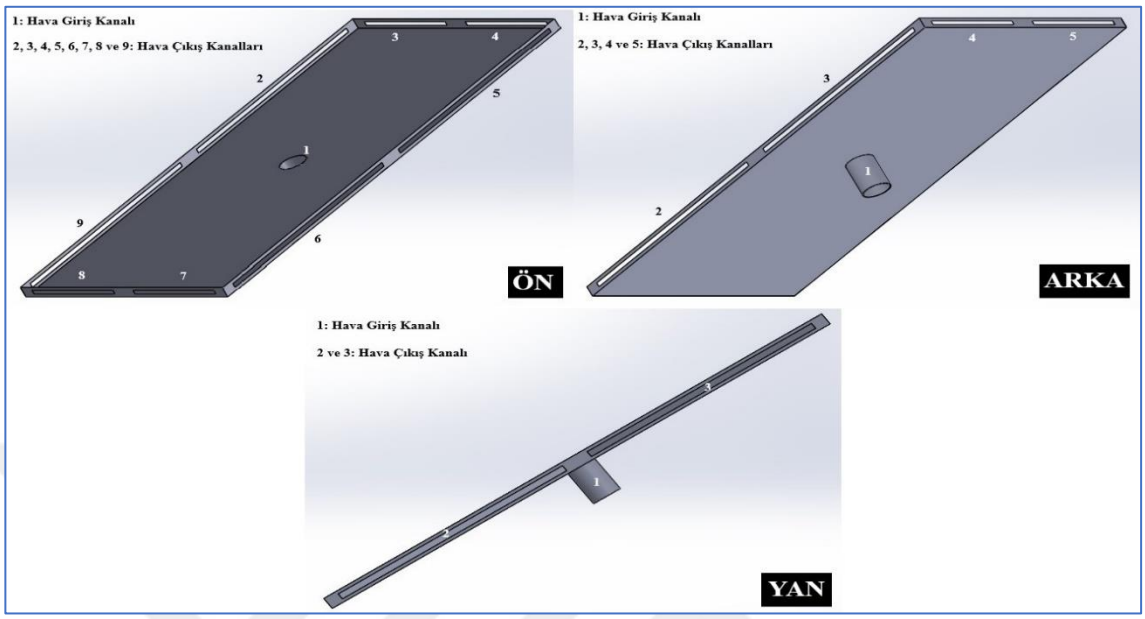
Tasarım1 ve Tasarım2 deney setinde kullanılmak üzere dekota malzemeden imal edildi. Soğutucu davlumbazlara ait katı modellere, Tasarım1 için Şekil 3.15'te, Tasarım2 için Şekil 3.16'da ve Tasarım3 için Şekil 3.17'de yer verilmiştir.



Şekil 3.15. Tasarım1 soğutucu davlumbaz



Şekil 3.16. Tasarım2 soğutucu davlumbaz



Şekil 3.17. Tasarım3 soğutucu davlumbaz

Tasarım1, 5 cm soğutucu davlumbaz derinliğinde, 6 kanatlı ve 6 hava çıkış kanalı olacak şekilde modellenirken; Tasarım2 aynı derinlikte fakat 8 kanatlı ve 8 hava çıkış kanalı olacak şekilde tasarlanmıştır. Tasarım3 ise 5 cm soğutucu derinliğine sahip dikdörtgen ve kanatsız formdaki modeli temsil etmektedir. Deneyde kullanılan Tasarım1 ve Tasarım2 soğutucu davlumbazların üretim sonrası görüntüleri Şekil 3.18'de gösterilmiştir.



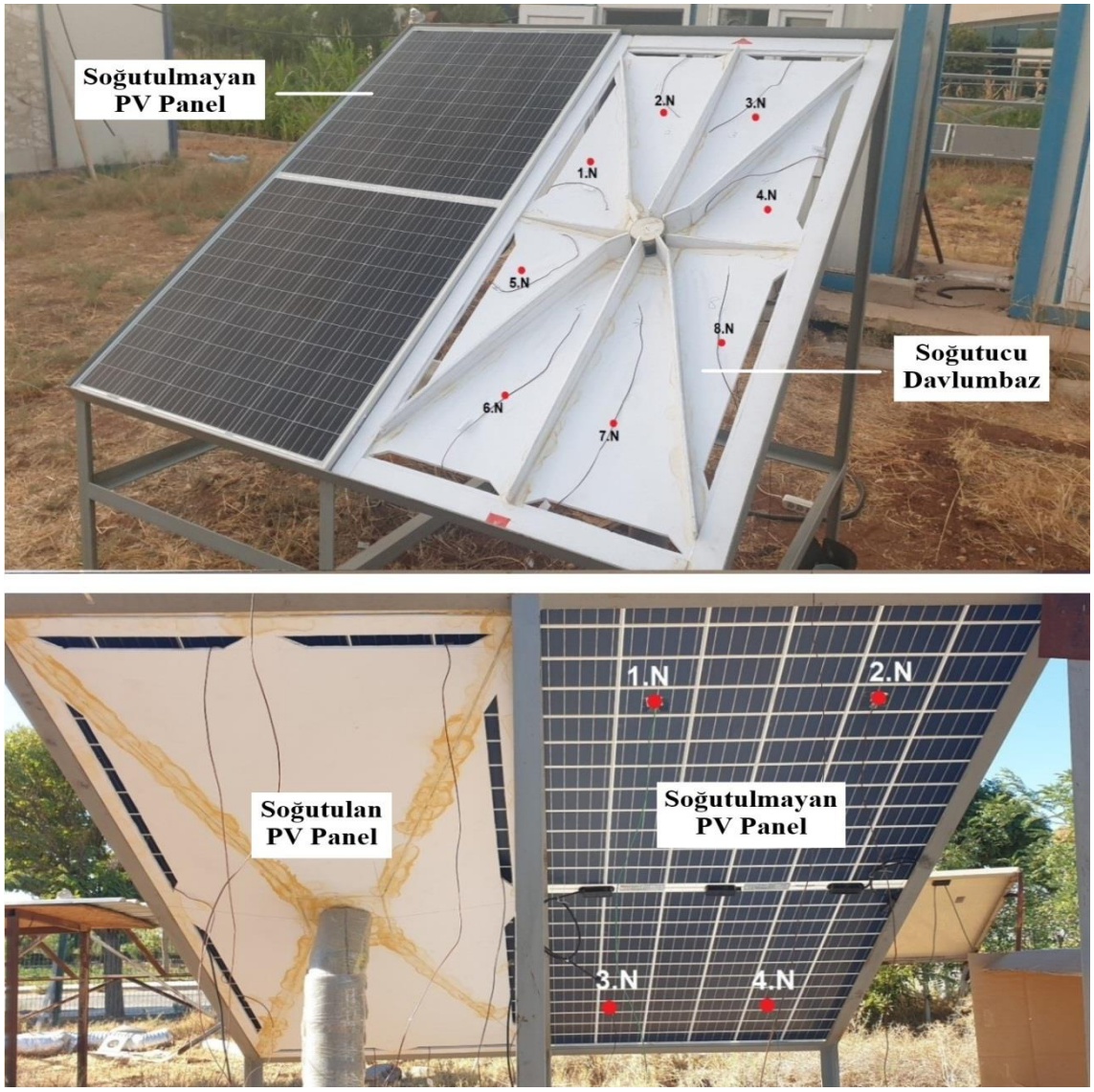
Şekil 3.18. Üretim sonrası Tasarım1 ve Tasarım2

Soğutucu havanın, PV panel arka yüzeyine daha verimli bir dağılış sergilemesi ve geri tepmemesi için davlumbaz ağzına hava yönlendirici menfez yerleştirilmiştir. Her üç tasarımda da kullanılan hava giriş kanalı ve menfeze ait görüntü Şekil 3.19'da verilmiştir.



Şekil 3.19. Hava giriş kanalı ve yönlendirici menfez

Soğutulan ve soğutulmayan PV panel üzerindeki sıcaklık ölçümleri termokupllarla yapılarak dataloggera kaydı sağlanmıştır. Şekil 3.20'de Soğutulan ve soğutulmayan panellerde sıcaklık ölçüm noktaları gösterilmiştir.



Şekil 3.20. Soğutulan ve soğutulmayan panellerde sıcaklık ölçüm noktaları

Deney düzeneğinde geometrik tasarımlar için hava giriş hızı (4.5, 3.5 ve 2.5 m/s) ve soğutucu hava kaynağı (çevre havası ve THID ile elde edilen soğuk hava) değerlerinde

deneyler gerçekleştirilmiş ve panel yüzey sıcaklıkları belirlenen periyotlarda dataloggera kaydedilmiştir.

Parametrelerin değiştirilmesi ve deney içeriğinin değişkenlik arz etmesi sebebiyle yapılan deneyler isimlendirilmiş ve deney içeriklerine ait detaylar Çizelge 3.12'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.12. Deney sırası ve detayları

Sıra	Deney Numarası	Deney Adı
1	Deney 1	4.5 m/s-THID-Dikdörtgen Model
2	Deney 2	3.5 m/s-THID-Dikdörtgen Model
3	Deney 3	2.5 m/s-THID-Dikdörtgen Model
4	Deney 4	4.5 m/s-THID-Davlumbaz Model
5	Deney 5	3.5 m/s-THID-Davlumbaz Model
6	Deney 6	2.5 m/s-THID-Davlumbaz Model
7	Deney 7	4.5 m/s- Çevre Havasıyla -Davlumbaz Model
8	Deney 8	3.5 m/s- Çevre Havasıyla -Davlumbaz Model
9	Deney 9	2.5 m/s- Çevre Havasıyla -Davlumbaz Model
10	Deney 10	4.5 m/s- Çevre Havasıyla -Dikdörtgen Model
11	Deney 11	3.5 m/s- Çevre Havasıyla -Dikdörtgen Model
12	Deney 12	2.5 m/s-Çevre Havasıyla-Dikdörtgen Model
13	Deney 13	Tek Taraflı PV
14	Deney 14	Çift Taraflı PV-Toprak Zemin
15	Deney 15	Çift Taraflı PV-Beyaz Zemin

Deney 1 ve 12 arasındaki çalışmalar ile soğutulan ve soğutulmayan PV panel arasındaki panel yüzey sıcaklık dağılımı ve çıkış gücündeki elektriksel değişimler de tespit edilmiştir.

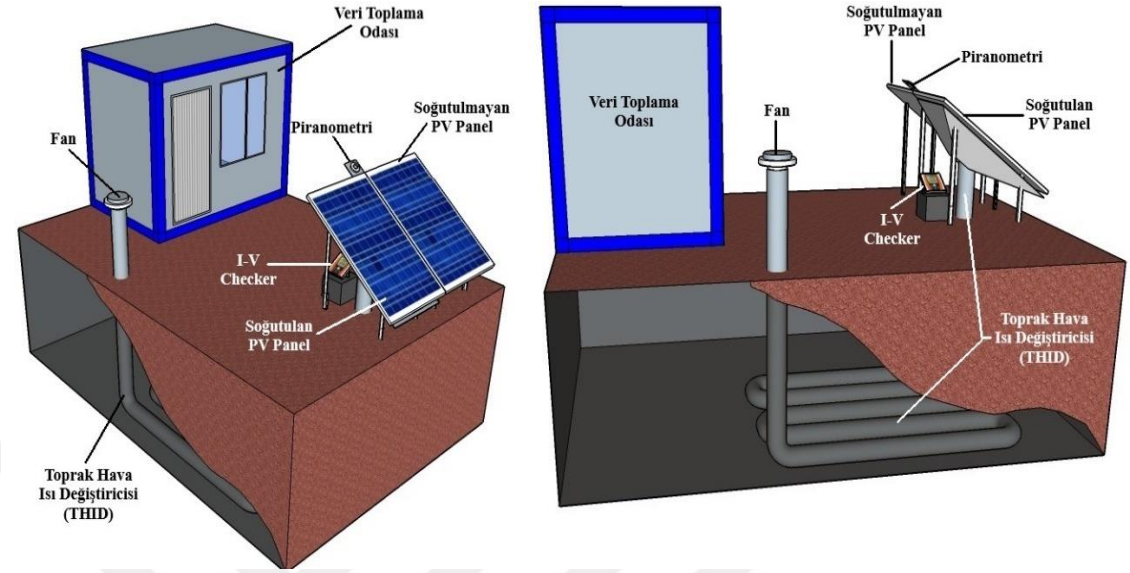
Deney 13'te, soğutulan deney düzeneklerinde olduğu gibi panel tek taraflı kullanım şartlarında ve soğutulmaksızın incelenmiş ve soğutulan paneller ile arasındaki elektriksel fark incelenmiştir. Deney 14 ve 15'te, panel çift taraflı ve soğutulmaksızın kullanılmıştır. Bu iki deney seti arasındaki temel fark; Deney 14'te kullanılan zeminin toprak, Deney 15'te kullanılan zeminin ise yansıtabilirliğin maksimum düzeyde olduğu beyaz zemin olmasıdır. Bu deneyler neticesinde, bifacial panelin hangi zeminde daha verimli sonuçlar

sergilediği tespit edilmiştir. Çift yüzlü ve tek yüzlü kullanımdan elde edilen elektriksel güç de ölçülmüştür (Şekil 3.21).

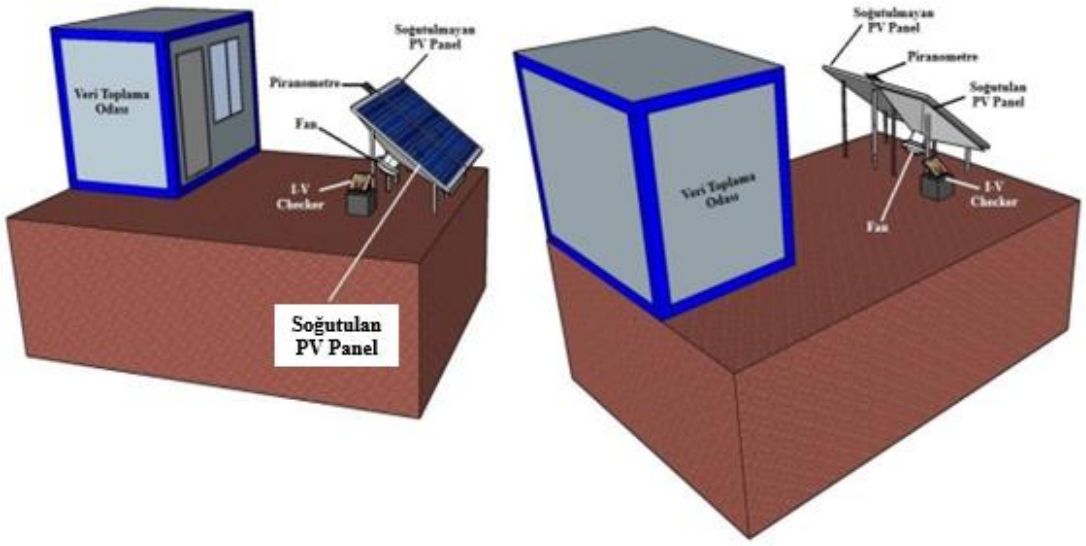


Şekil 3.21. a) Tek Yüzlü-Soğutmasız, b) Çift Yüzlü-Toprak Zemin-Soğutmasız, c) Çift Yüzlü-Beyaz Zemin-Soğutmasız

Şekil 3.22'de THID ile soğutma deney düzeneğinin şematik görseline, Şekil 3.23'te ise çevre havası ile soğutma deney düzeneğine ait şematik görsele yer verilmiştir.



Şekil 3.22. THID kullanılarak PV panelde aktif soğutma



Şekil 3.23. Çevre havası kullanılarak PV panelde aktif soğutma

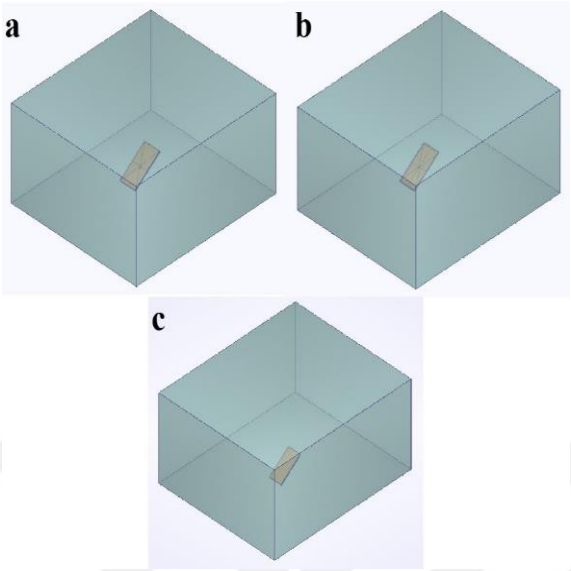
3.2.2. Nümerik yöntem

Nümerik analizde, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) programı olarak, Autodesk CFD programı kullanılmıştır. Program yardımıyla; ısı transferi, akışkanlar dinamiği ve mukavemet gibi disiplinleri ilgilendiren teknik çözümler, bilgisayar ortamında simule edilebilme olanağı bulmuştur. Bu da deney sürecini hızlandırmakla birlikte imalat maliyetleri gibi üretim için büyük önem arz eden parametrelerden tasarruf sağlamaktadır.

Autodesk CFD, teknik çözümlemeler için programın database'ine tanımlanan mühendislik denklemlerini (Navier-Stokes, süreklilik, momentum, iletim, taşınım ve ışınım vb.) kullanmaktadır. Analiz öncesinde program tarafından uygulanan çözüm yöntemi, sınır şartları ve giriş parametrelerinin tanımlanmasını, analizi yapılacak olan geometrinin sistemce sonlu ya da sonsuz diferansiyel parçacıklara bölünmesini konu almaktadır. Tüm girdiler sağlandıktan sonra optimum iterasyon sayısı da belirlenip analiz gerçekleştirilmiştir.

Bu tez çalışmasında, PV paneller deneysel veriler ışığında modellenmiş ve panel yüzeyindeki sıcaklık dağılımı teorik ve nümerik olarak karşılaştırılmıştır. Ayrıca soğutucu davlumbaz içerisindeki statik basınç değişimi gözlenmiştir.

Nümerik analize ilk olarak, deneysel veriler ile tutarlılık sağlaması açısından panelin de içerisinde bulunduğu dış ortam akış hacmini modelleyerek başlanmıştır. Akış hacmi oluşturulurken her yön için panel ebatlarının beş katı kadar uzaklık belirlenmiş ve bu noktalar birleştirilerek akış hacmi oluşturulmuştur. Altı kanatlı Tasarım1, sekiz kanatlı Tasarım2 ve kanatsız model Tasarım3'e ait akış hacimleri Şekil 3.24'te gösterilmiştir.

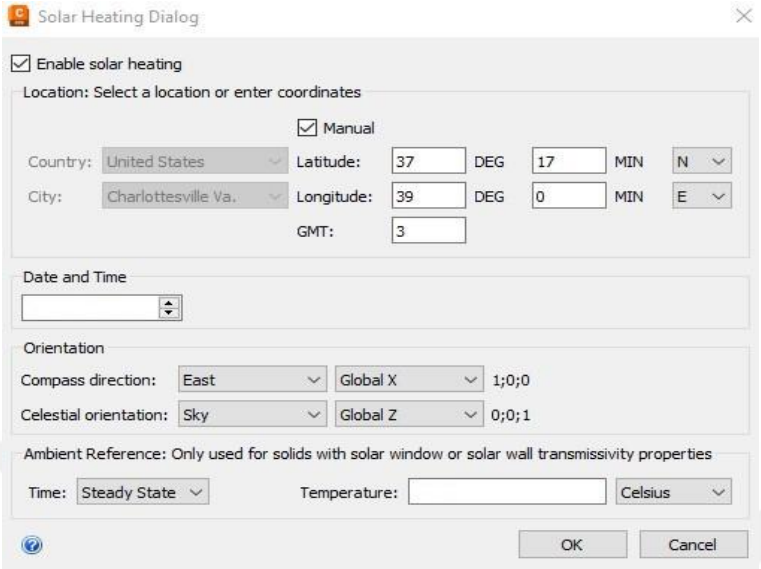


Şekil 3.24. a) Altı kanatlı Tasarım1, b) Sekiz kanatlı Tasarım2, c) Kanatsız model Tasarım3 için dış akış hacimleri

Akış hacimleri modellendikten sonra PV panel için silikon, soğutucu davlumbaz için PCB Laminate, iç ve dış akış bölgeleri için de hava tanımlamaları yapılmıştır.

Malzeme atamasının akabinde soğutma sistemi için sınır şartları (soğutucu davlumbaza gönderilen havanın hızı ve sıcaklığı, batı rüzgarının şiddeti ve yönü, ortam sıcaklığı) tanımlanmıştır. Soğutucu davlumbaz olarak modellenen tasarımlar kompleks bir geometrik yapıya sahip olmadıkları için mesh sayısı sistem tarafından atanan değerde bırakılmıştır.

Analiz başlatılmadan önce son olarak "Solve" komutu içerisinde yer alan sekmeden; yer çekimi etkisi, akış mekanizması (laminer, türbülans) ve solar enerji seçeneği de aktif hale getirilmiştir. Şekil 3.25'te, solar enerji tanımlaması yapılırken deneyin gerçekleştirildiği güne ait parametreler (güneşin doğduğu ve gökyüzünün bulunduğu bölgenin eksenel tayini; deney günü, saati ve konumu ve diğer güneş enerjisi tanımlamaları) gösterilmiştir.



Şekil 3.25. Şanlıurfa ili için güneş enerjisi değerleri

Analiz sonuçlarına “Result” sekmesi altından ulaşılmıştır. Panel yüzeyi ve soğutucu davlumbazdaki sıcaklık değişimleri hem hacimsel olarak hem de atanan bir düzlem aracılığıyla incelenmiştir. Soğutucu davlumbaz içerisindeki havanın basınç değişimini incelemek için de yine düzlem atanmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

PV panel üzerinde yapılan deneyler; THID'de elde edilen soğuk hava kullanılarak soğutma çalışmaları (Deney 1-6), çevre havası ile soğutma çalışmaları ve (Deney 7-12), tek taraflı ve soğutmasız çalışma (Deney 13), çift taraflı ve toprak zeminde çalışma (Deney 14) ve son olarak da bifacial (çift yüzeyli) PV panelin alt yüzeyine gelen ışınlarını daha fazla kullanmak için performansının toprak zemine kıyasla daha yüksek olduğu beyaz yüzeyli çalışmayı (Deney 15) konu almaktadır.

THID ve çevre havasının kullanıldığı çalışmalar 4.5, 3.5 ve 2.5 m/s soğutma hızlarında ve her üç soğutucu davlumbaz modeli için de ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Bu süreç, Deney 1'den Deney 12'ye kadar, Çizelge 3.12'de de gösterildiği gibi isimlendirilmiştir.

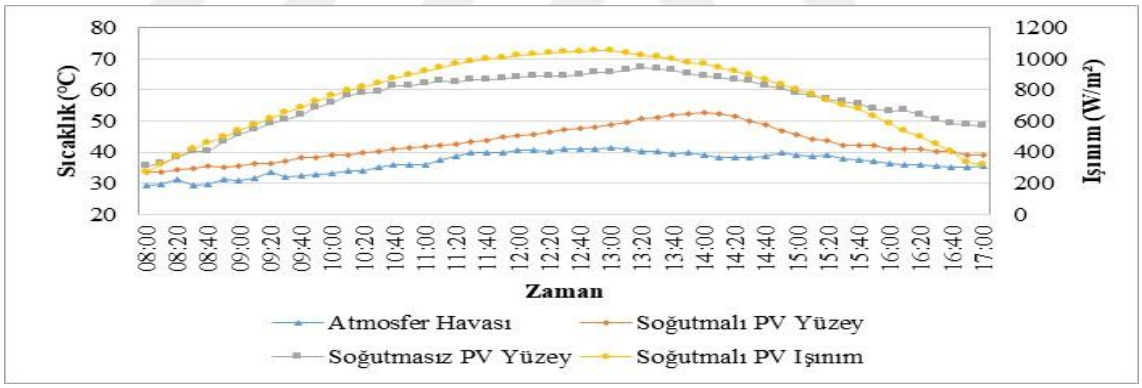
Deneysel çalışmalar, eylül ayında ve 08.00 ile 17.00 saatleri arasında 10 dakikalık periyotlarla kaydedilmiştir. Deney veriler ile karşılaştıracak olan nümerik analiz değerleri, gün içerisinde solar enerji yoğunluğunun en yüksek olduğu saat 13.00 verileri dikkate alınarak elde edilmiştir. Ek olarak, deneysel ve nümerik verileri desteklemek için termal kamera ile yine aynı saate ait görüntüler kaydedilmiştir.

Nümerik analizde, deneyde kullanılan Tasarım1 ve Tasarım2'nin soğutma hızlarına (2.5, 3.5 ve 4.5 m/s) ek olarak 6 m/s ve 7.5 m/s hava hızları da incelenmiştir. Alternatif olarak modellenen Tasarım3 ise tamamen nümerik olarak tüm soğutma hızlarında (2.5, 3.5, 4.5, 6 ve 7.5 m/s) analiz edilmiştir.

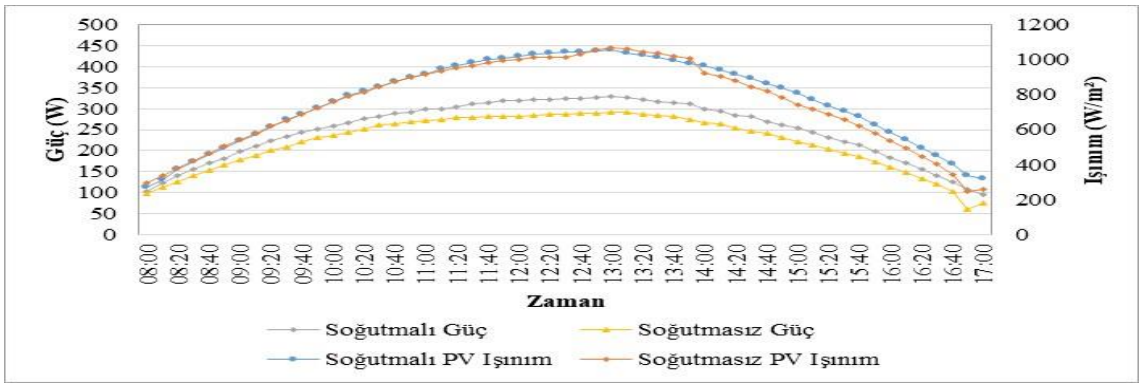
4.1. THID ile Soğutma

4.1.1. Tasarım1-2.5 m/s-THID

Soğutucu davlumbaz olarak Tasarım1'in kullanıldığı deneyde, THID'den elde edilen 29.81 ℃ sıcaklığındaki soğuk hava 2.5 m/s hızı ile panel arkasına gönderilmiştir. Tasarım1 için panel yüzey sıcaklıklarının zamanla değişimi Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Şekil 4.1'den saat 13 için soğutulan ve soğutulmayan panellerin yüzey sıcaklıkları sırasıyla; 48.68 ℃ ve 65.81 ℃ olduğu görülmektedir. Paneller arasındaki sıcaklık farkı ışınım değerlerin maksimum olduğu saat 13 öncesinde ve sonrasında değişkenlik göstermektedir. Elektriksel güç çıktısı açısından, soğutulan PV panelin soğutulmayan panelden 36.82 W daha fazla güç ürettiği belirlenmiştir (Şekil 4.2).

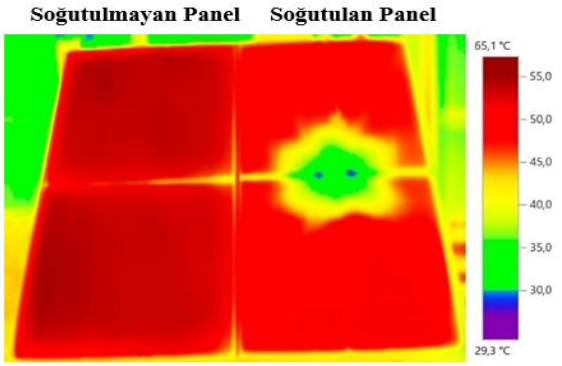


Şekil 4.1. Tasarım1-2.5 m/s-THID sistemi için panel yüzey sıcaklık ortalamaları (deneysel)

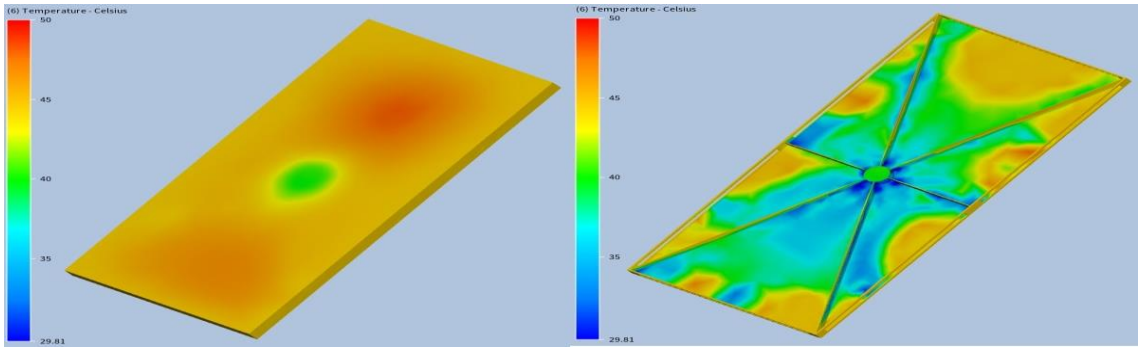


Şekil 4.2. Tasarım1-2.5 m/s-THID sistemi için güç değerleri (deneysel)

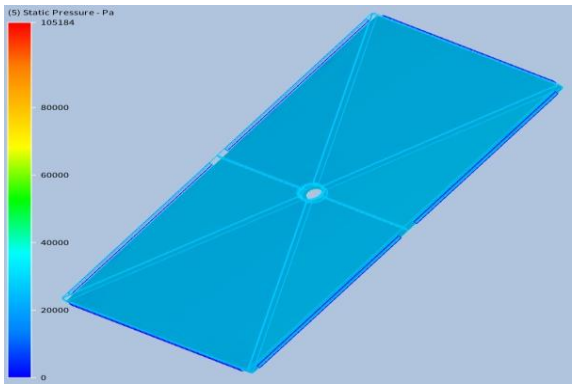
Deneysel ve nümerik olarak incelenen çalışmalara ait termal görüntü (Şekil 4.3), panel yüzey sıcaklığı ve soğutucu davlumbaz içerisindeki hava değişimi (Şekil 4.4) aşağıda gösterildiği gibidir. Şekilde görüldüğü üzere soğutulmamış PV panel için yüzey sıcaklık değerleri, soğutulmuş PV panel değerlerinden daha yüksektir. Soğutmanın yapıldığı panelde yüzey sıcaklığı genel olarak düşürülmüş fakat panel merkezinde lokal olarak daha etkin bir sıcaklık düşüşü yaşanmıştır. Buradan da soğutma hızının arttırılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Dataloggerdan alınan veriler ışığında soğutulmuş panel yüzeyindeki ortalama sıcaklık değerinin 48.68 ℃, soğutulmamış panelin ise 65.81 ℃ olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Şekil 4.3). Şekil 4.4'te görüldüğü üzere, nümerik analiz verileri ile soğutulan PV panel yüzeyindeki ortalama sıcaklık değerinin 44.35 ℃ olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Şekil 4.5 incelendiğinde, soğutucu davlumbaz içerisindeki havanın homojen basınç dağılımı sergilediği sonucuna ulaşılmaktadır.



Şekil 4.3. Tasarım1-2.5 m/s-THID sistemine ait termal görüntü



Şekil 4.4. Tasarım1-2.5 m/s-THID sistemi için panel yüzey sıcaklığı (sol) ve soğutucu davlumbaz içerisindeki sıcaklık değişimi (sağ) HAD analiz görüntüleri

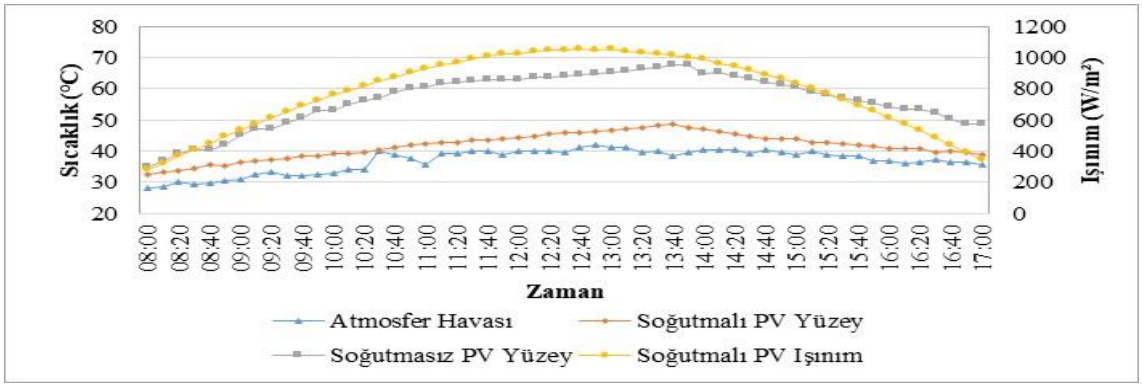


Şekil 4.5. Tasarım1-2.5 m/s-THID sistemi için basınç dağılımı

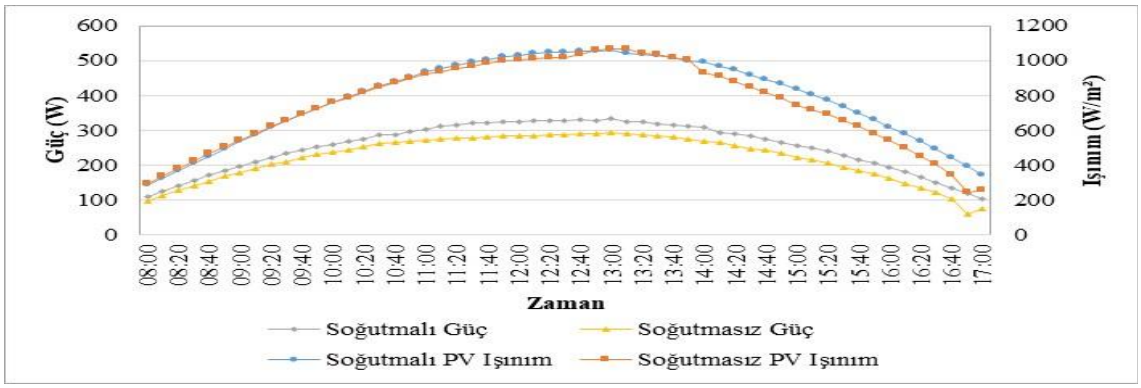
4.1.2. Tasarım1-3.5 m/s-THID

Soğutma hızının 3.5 m/s ve sıcaklığının 29.23 ℃ olduğu THID havası, soğutucu davlumbaza gönderilmiştir. Deneye ait panel yüzeyinde ölçülen sıcaklıklarının ortalaması hesaplanarak bulunan ortalama yüzey sıcaklığının zamanla değişimine Şekil 4.6'da yer verilmiştir.

Şekil 4.7 incelenip soğutulan ve soğutulmayan panellere ait saat 13 verilerine bakıldığında; soğutulan panelin güç çıkış değerinde soğutulmayan panele göre 41.09 W artış yaşandığı görülmektedir.

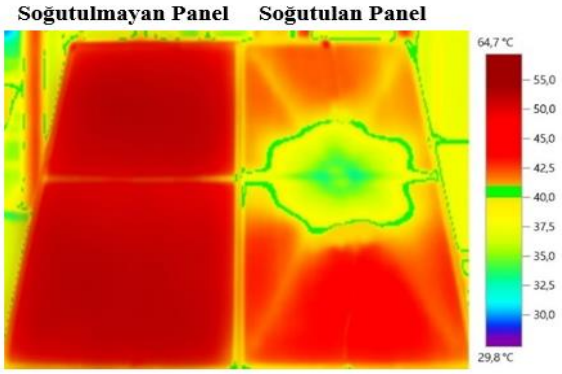


Şekil 4.6. Tasarım1-3.5 m/s-THID için panel yüzey sıcaklık ortalamaları (deneysel)



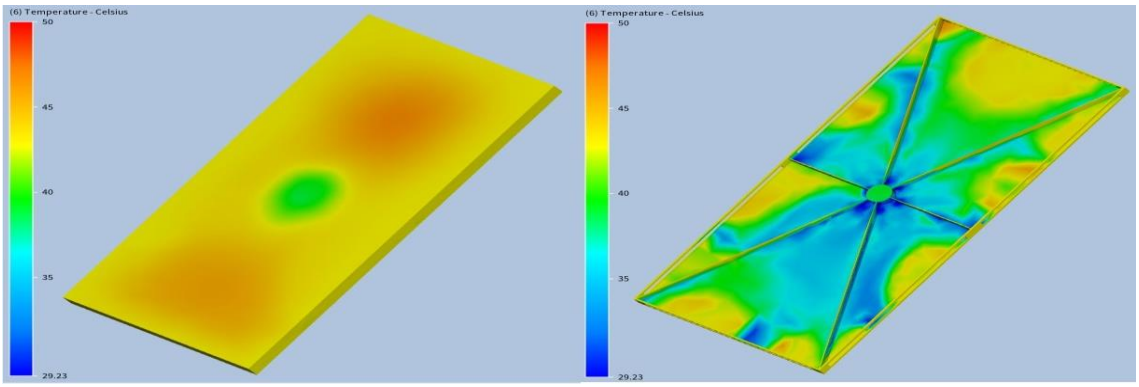
Şekil 4.7. Tasarım1-3.5 m/s-THID sistemi için güç değerleri

Deneye ilişkin termal görüntü Şekil 4.8'de gösterilirken nümerik olarak incelenen panel yüzey sıcaklığı ve soğutucu davlumbaz içerisindeki sıcaklık değişimi sonuçlarına Şekil 4.9'da yer verilmiştir. Şekil 4.8'deki güç grafiği incelendiğinde, soğutulan panelin yüzey sıcaklığında soğutulmayan panele kıyasla düşüş yaşandığı görülmüştür. PV panel yüzeyi ortalama sıcaklık değerlerinin, soğutulan panelde 46.91 ℃ iken soğutulmayan panelde 65.29 ℃ olduğu sonucuna ulaşılmıştır.



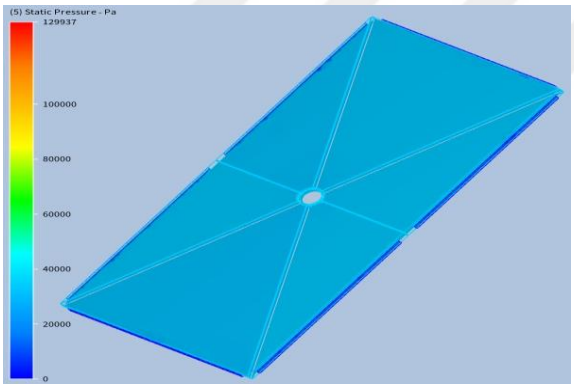
Şekil 4.8. Tasarım1-3.5 m/s-THID sistemine ait termal görüntü

Analiz sonuçları ışığında, soğutulan PV panelin yüzey sıcaklık değerlerinin deney verilere yakınsadığı sonucuna ulaşılmıştır. Bu veriler ile soğutulan PV paneldeki ortalama yüzey sıcaklığının 42.89 ℃ değerinde olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Şekil 4.9).



Şekil 4.9. Tasarım1-3.5 m/s-THID sistemi için panel yüzey sıcaklığı (sol) ve soğutucu davlumbaz içerisindeki sıcaklık değişimi (sağ) HAD analiz görüntüleri

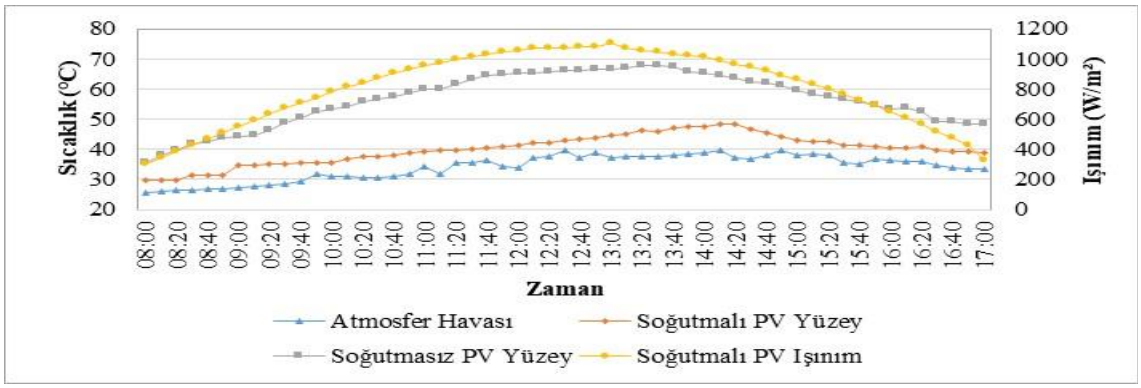
Soğutucu davlumbaz içerisindeki havanın homojen olarak dağıldığı Şekil 4.10'da gösterilmiştir.



Şekil 4.10. Tasarım1-3.5 m/s-THID sistemi için basınç dağılımı

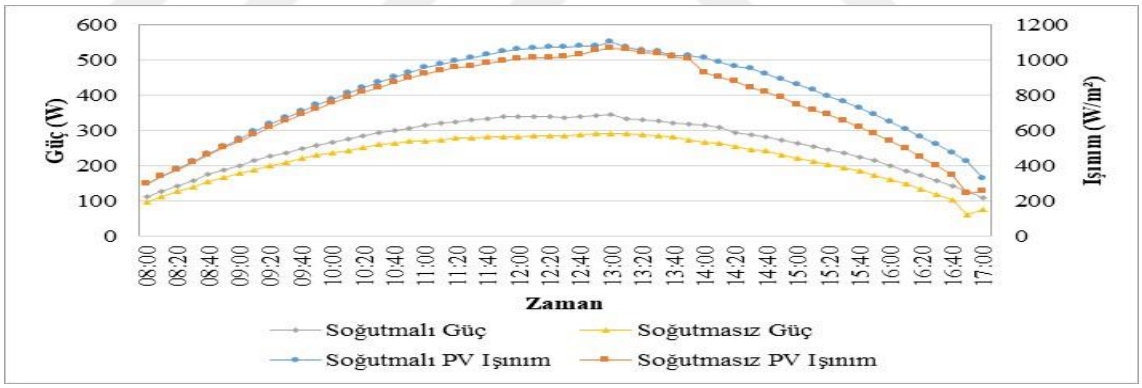
4.1.3. Tasarım1-4.5 m/s-THID

Deneyde, soğutucu davlumbaza gönderilen hava 28.27 ℃ ve 4.5 m/s hızındadır. Panel yüzey sıcaklık ortalamalarının değişimi Şekil 4.11'de gösterildiği gibidir.



Şekil 4.11. Tasarım1-4.5 m/s-THID sistemi için panel yüzey sıcaklık ortalamaları (deneysel)

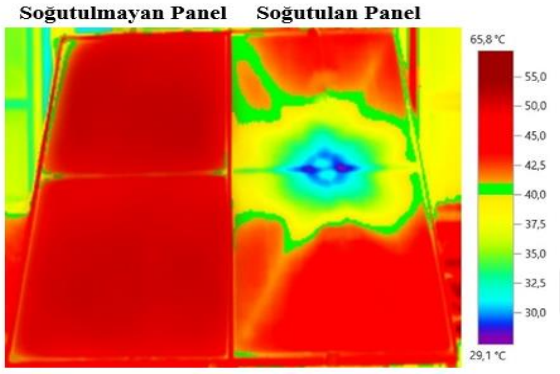
Deneysel veriler ele alındığında soğutulan ve soğutulmayan panellerde güneşten gelen ışınım şiddetine ve panel yüzey sıcaklık değerlerine bağlı olarak elektriksel değerlerde farklılık olduğu tespit edilmiştir. Bu farklılık soğutulan panelin soğutulmayan panelden 53.74 W daha etkin sonuçlar verdiğini belirtmektedir (Şekil 4.12).



Şekil 4.12. Tasarım1-4.5 m/s-THID sistemi için güç değerleri

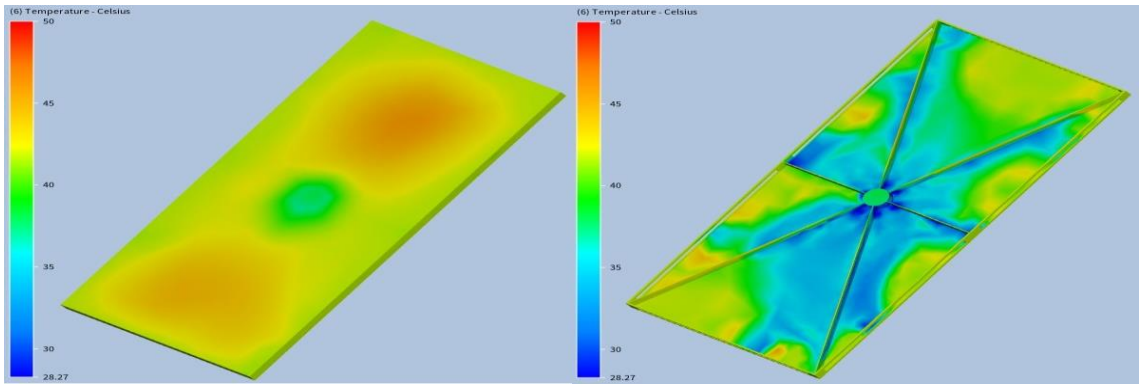
Deney gününe ait termal görüntüye Şekil 4.13'te yer verilmiştir. Datalogger'dan alınan saat 13 verileri incelendiğinde, soğutulan paneldeki ortalama yüzey sıcaklığının 44.78 ℃ değerinde olduğu görülürken soğutulmayan panelde ise bu değer 66.75 ℃ olarak tespit edilmiştir. Deneysel veriler ışığında gerçekleştirilen analiz sonuçlarına bakılarak soğutulan panelin deneysel değerlere yakınsadığı görmektedir. Analiz sonuçları neticesinde soğutulan paneldeki ortalama yüzey sıcaklığı dağılımının 41.11 ℃ olduğunu sonucuna ulaşılmıştır (Şekil 4.14). Şekil 4.15 incelendiğinde, nümerik analiz sonuçları

soğutucu davlumbaz içerisindeki havanın basınç kaybı yaşamadığını ve homojen olarak dağıldığını göstermektedir.

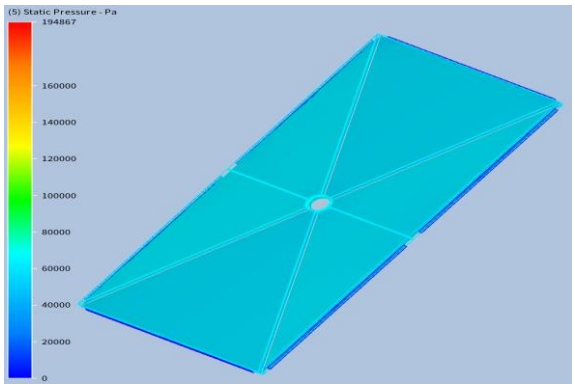


Şekil 4.13. Tasarım1-4.5 m/s-THID'ye ait termal görüntü

Datalogger'dan alınan saat 13 verileri incelendiğinde, soğutulan paneldeki ortalama yüzey sıcaklığının 44.78 ℃ değerinde olduğu görülürken soğutulmayan panelde ise bu değer 66.75 ℃ olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.14. Tasarım1-4.5 m/s-THID sistemi için panel yüzey sıcaklığı (sol) ve soğutucu davlumbaz içerisindeki sıcaklık değişimi (sağ) HAD analiz görüntüleri

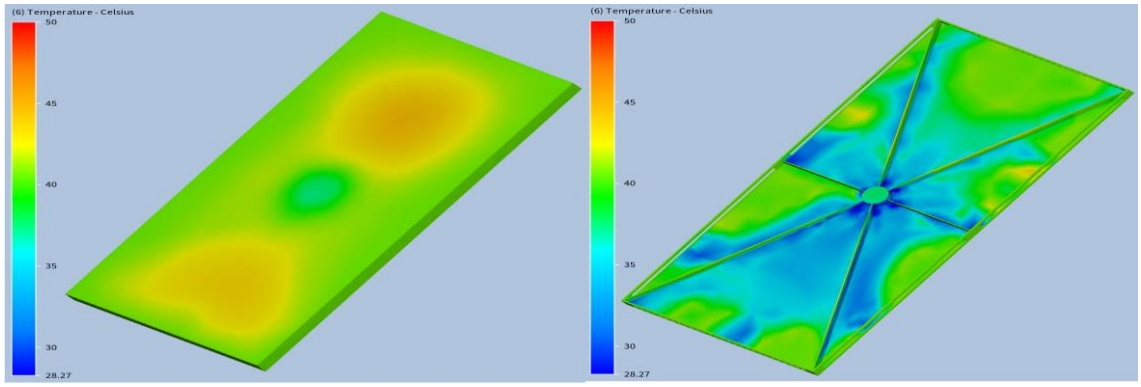


Şekil 4.15. Tasarım1-4.5 m/s-THID sistemi için basınç dağılımı

4.1.4. Tasarım1-6 m/s-THID

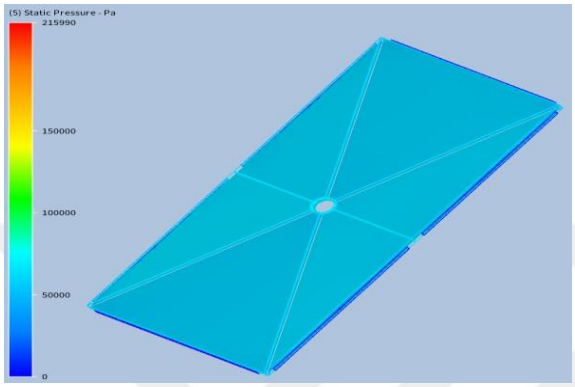
6 m/s hız ile soğutma yapılan nümerik analizde, 4.5 m/s ile soğutma yapılan deneysel veriler kullanılmış ve panel yüzeyindeki sıcaklık dağılımının homojenliği incelenmiştir. Analiz neticesinde panel yüzey sıcaklığının ortalama 40.55 °C değerinde olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Şekil 4.16).

Analiz verileri incelendiğinde, panelin 6 m/s'lik bir soğutma hızı ile soğutulduğu durumun 4.5 m/s ile soğutulduğu durumdan daha efektif sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Yani panel yüzey sıcaklık değerinde hem skaler olarak düşüş yaşanmış hem de soğutulan alanın genişlediği tespit edilmiştir.



Şekil 4.16. Tasarım1-6 m/s-THID sistemi için panel yüzey sıcaklığı (sol) ve soğutucu davlumbaz içerisindeki sıcaklık değişimi (sağ) HAD analiz görüntüleri

Soğutucu davlumbaz içerisindeki basınç homojen olarak dağılmış ve sisteme gönderilen hava hızının arttırılması sebebiyle de basınç değeri skaler olarak büyümüştür (Şekil 4.17).

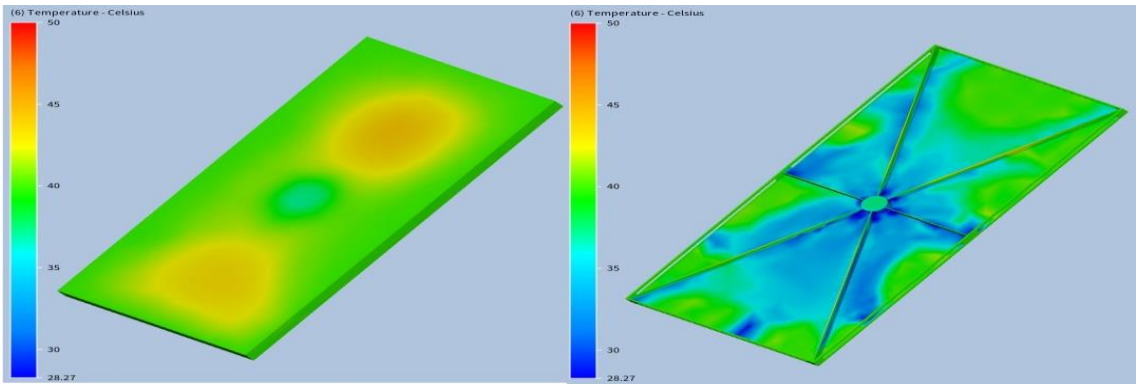


Şekil 4.17. Tasarım1-6 m/s-THID sistemi için basınç dağılımı

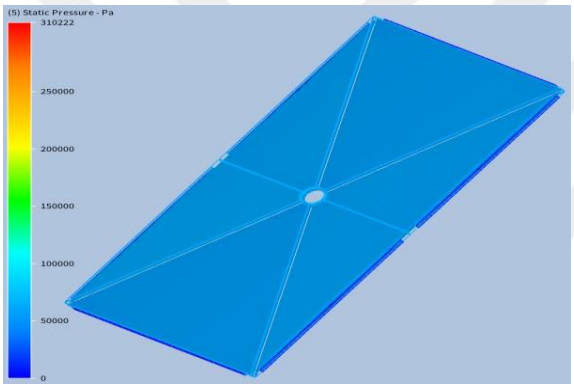
4.1.5. Tasarım1-7.5 m/s-THID

6 m/s'lik soğutma hızına ek olarak nümerik analiz ile soğutucu havanın hızı arttırılarak 7.5 m/s değerine getirilmiştir. Analiz ile panel yüzeyindeki sıcaklık değeri ve dağılımı diğer hızlarla gerçekleştirilen analiz verileri ile karşılaştırılmıştır. Şekil 4.18 incelendiğinde, panel yüzeyindeki sıcaklık dağılımının diğer hızlarla gerçekleştirilen deneylere oranla daha geniş alana yayıldığı sonucuna ulaşılmıştır. Bununla birlikte PV panel yüzeyindeki sıcaklık değerinin de skaler olarak düştüğü tespit edilmiştir. Nümerik analiz sonucunda PV panel yüzey sıcaklığının 39.72 ℃ olduğu belirlenmiştir. 7.5 m/s ile soğutulan PV panelde basınç dağılımı soğutucu hacim boyunca homojen olarak dağılmıştır (Şekil 4.19).

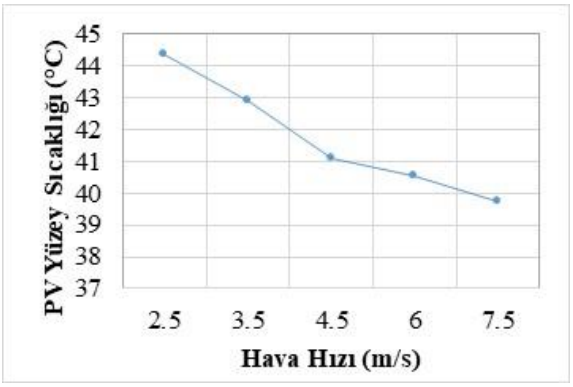
Şekil 4.20'deki grafik incelendiğinde, soğutucu davlumbaza gönderilen havanın hızı arttıkça PV panel yüzeyindeki sıcaklığın azaldığı görülmektedir. En düşük panel yüzey sıcaklık değerine, soğutucu havanın sisteme 7.5 m/s hız ile gönderildiği durumda ulaşılmıştır.



Şekil 4.18. Tasarım1-7.5 m/s-THID sistemi için panel yüzey sıcaklığı (sol) ve soğutucu davlumbaz içerisindeki sıcaklık değişimi (sağ) HAD analiz görüntüleri



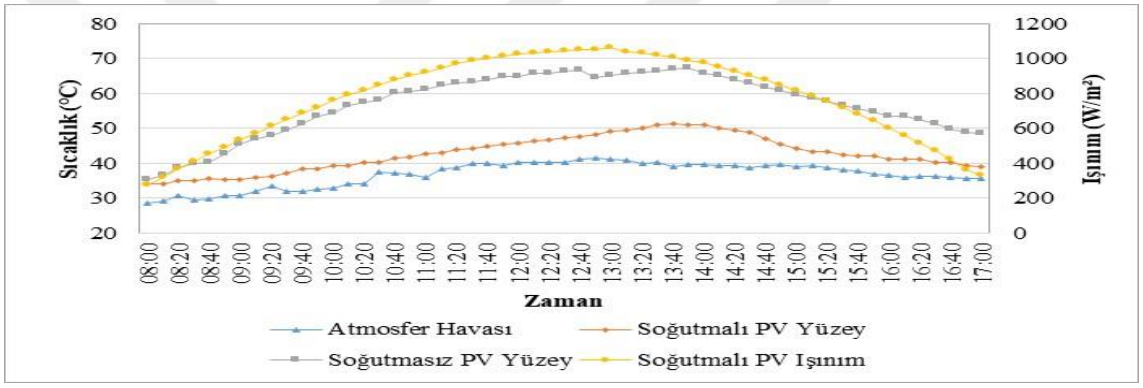
Şekil 4.19. Tasarım1-7.5 m/s-THID sistemi için basınç dağılımı



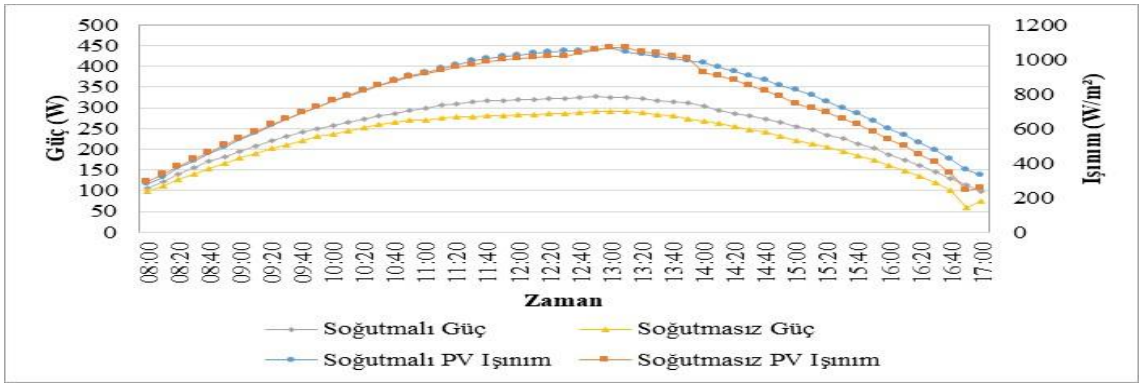
Şekil 4.20. Tasarım1 için farklı THID hızlarında PV panel yüzey sıcaklıkları (nümerik)

4.1.6. Tasarım2-2.5 m/s-THID

Deney setinde kullanılan soğutucu havanın hızı 2.5 m/s ve sıcaklığı 28.86 ℃'dir. Çalışma sonucunda elde edilen panel yüzey sıcaklık ortalamaları Şekil 4.21'de gösterildiği gibidir. Şekil 4.22'deki grafik incelendiğinde, artan ve azalan ışınım ve yüzey sıcaklık değerlerine bağlı olarak PV paneller tarafından üretilen güç değerleri de değişkenlik göstermiştir. Saat 13 verileri ele alındığında soğutulan panelin soğutulmayan panele kıyasla 32.36 W daha etkin sonuçlar gösterdiği belirlenmiştir.



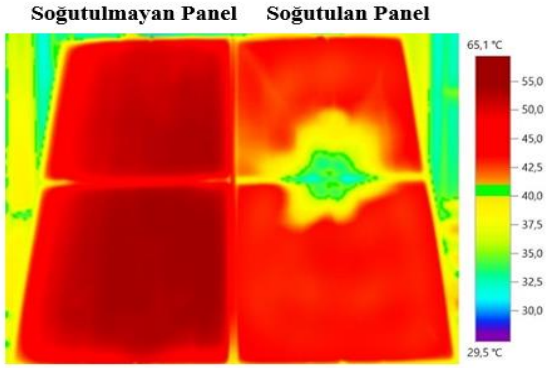
Şekil 4.21. Tasarım2-2.5 m/s-THID sistemi için panel yüzey sıcaklık ortalamaları (deneysel)



Şekil 4.22. Tasarım2-2.5 m/s-THID sistemi için güç değerleri

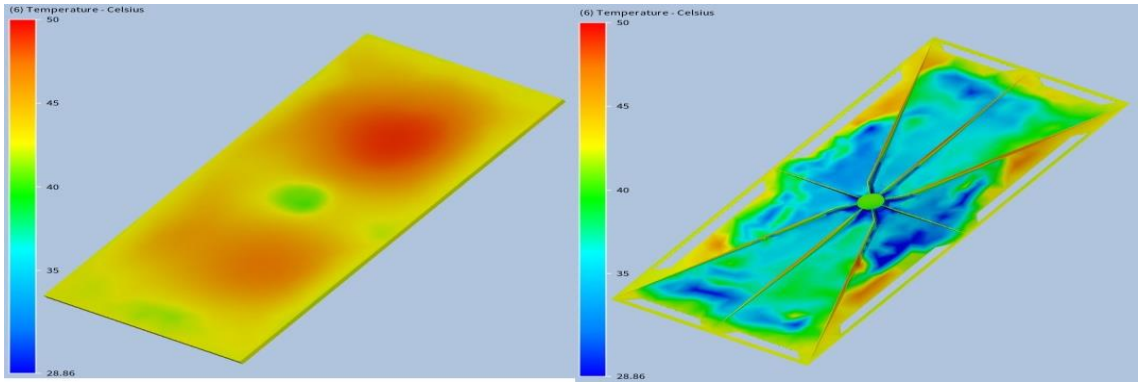
Deney gününe ait termal görüntü Şekil 4.23'te gösterildiği gibidir. Termal görüntü ve datalogger'dan alınan veriler ışığında, soğutulan panelin yüzey sıcaklığının ortalama

49.2 ℃, soğutulmayan panelin yüzey sıcaklığının ise 65.13 ℃ olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Şekil 4.23).



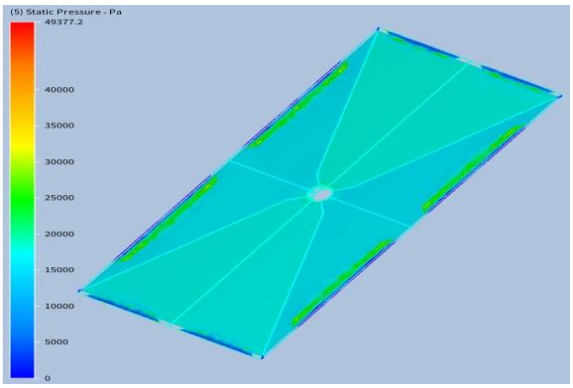
Şekil 4.23. Tasarım2-2.5 m/s-THID sistemine ait termal görüntü

Deney çıktıları yardımıyla gerçekleştirilen analiz sonuçları, panel yüzeyinde genel bir düşüş yaşandığını göstermekle birlikte lokal olarak yüksek sıcaklık değerlerine de işaret etmektedir. Analiz neticesinde soğutulan PV paneldeki yüzey sıcaklık ortalamasının 45.12 ℃ olduğunu göstermektedir (Şekil 4.24).



Şekil 4.24. Tasarım2-2.5 m/s-THID sistemi için panel yüzey sıcaklığı (sol) ve soğutucu davlumbaz içerisindeki sıcaklık değişimi (sağ) HAD analiz görüntüleri

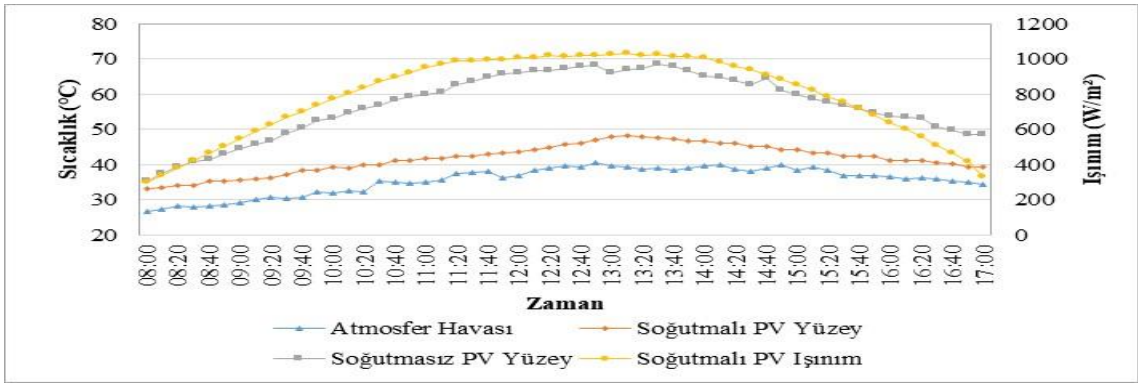
Soğutucu davlumbaz içerisindeki basınç, çıkış kanallarına doğru artış göstermiştir. Bu artışın yaşanmasındaki temel neden, havanın tahliye edildiği bölgede akış hacminin daralmasıdır (Şekil 4.25).



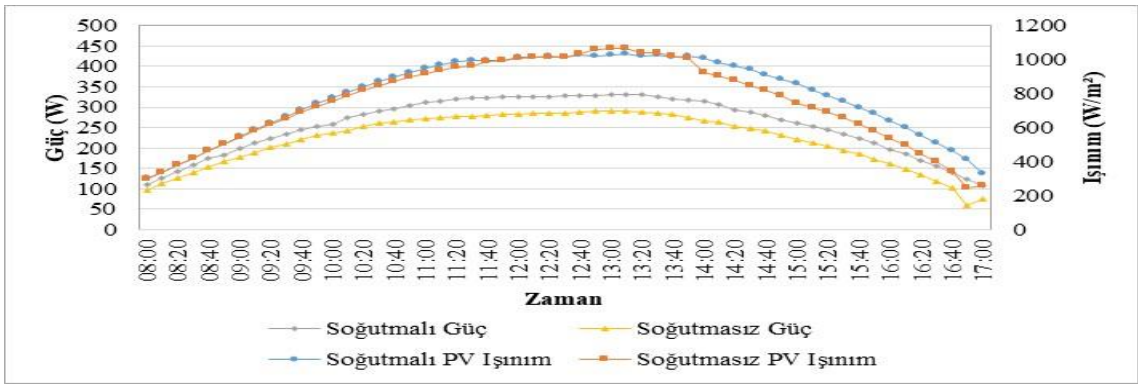
Şekil 4.25. Tasarım2-2.5 m/s-THID sistemi için basınç dağılımı

4.1.7. Tasarım2-3.5 m/s-THID

THID'den elde edilen ve soğutucu davlumbaza gönderilen hava 3.5 m/s hızında ve 28.78 ℃'dir. Deneyin gerçekleştirildiği güne ait panel yüzey ortalama sıcaklıkları Şekil 4.26'da belirtildiği gibidir. Grafikteki deneysel bulgular incelendiğinde paneller arasında yüzey sıcaklıkları, ışınım ve güç değerlerinde farklılıklar olduğu tespit edilmiştir. Bu farklılıklar neticesinde PV panellerde üretilen elektrik enerjisi miktarı da değişkenlik göstermiştir. Saat 13 verileri baz alındığında üretilen gücün soğutulan panelde 38.28 W'lık bir artış sağladığı sonucuna ulaşılmıştır (Şekil 4.27)

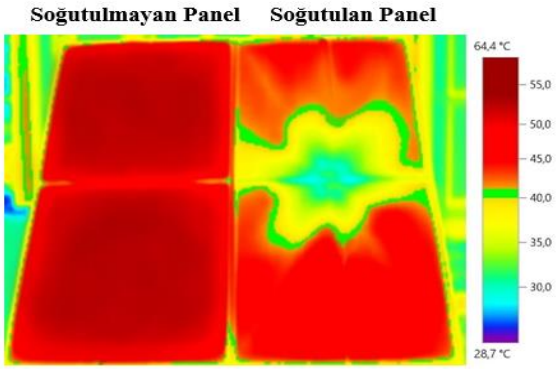


Şekil 4.26. Tasarım2-3.5 m/s-THID sistemi için panel yüzey sıcaklık ortalamaları (deneysel)



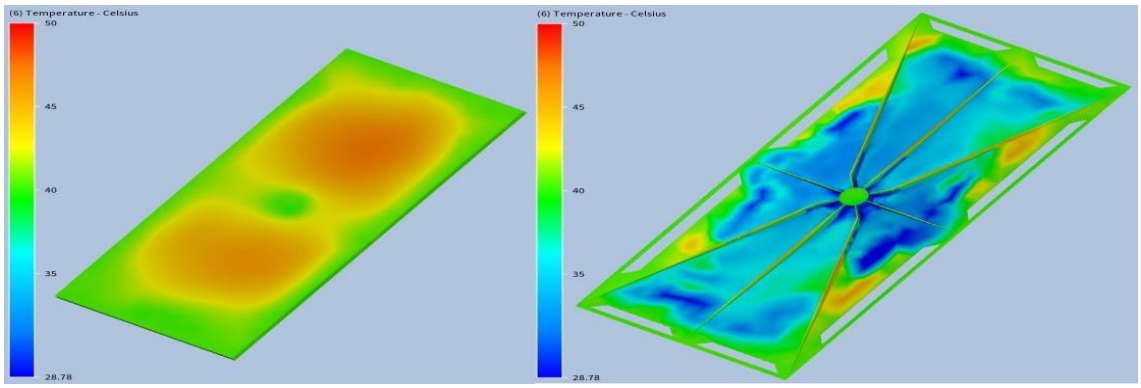
Şekil 4.27. Tasarım2-3.5 m/s-THID sistemi için güç değerleri

Deneye ait termal görüntü ve verilerin kaydedildiği datalogger bulgularından hareketle, soğutulan panelin yüzey sıcaklığı ortalamasının 47.85 °C olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Soğutulmayan paneldeki sıcaklık ortalamasının ise 66.27 °C olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Şekil 4.28).

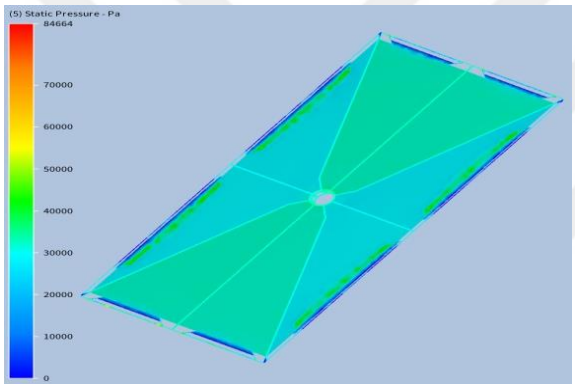


Şekil 4.28. Tasarım2-3.5 m/s-THID sistemine ait termal görüntü

Şekil 4.29'daki analiz sonuçları fotovoltaik panelin yüzey sıcaklığında genel olarak skaler bir düşüş yaşandığını göstermektedir. En nihayetinde, panel yüzey sıcaklığındaki ortalama değerin 43.71 °C olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Soğutucu davlumbaz içerisindeki basınç, çıkış kanallarına doğru farklılık göstermektedir (Şekil 4.30).



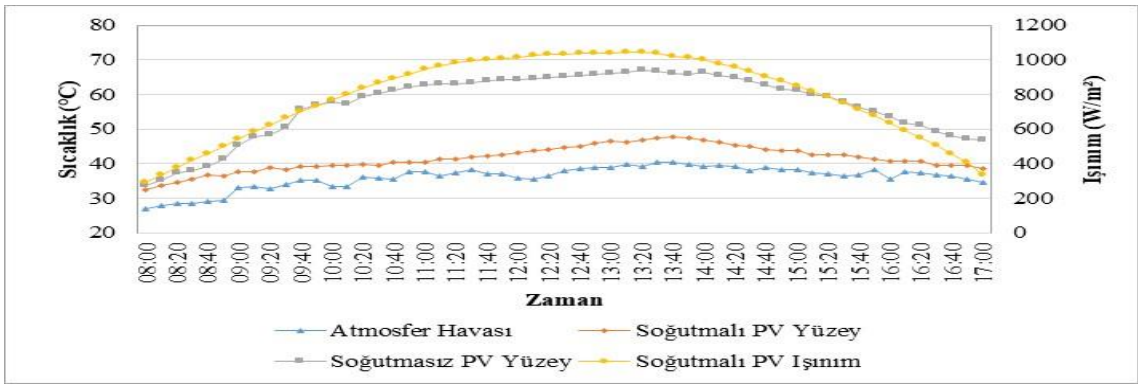
Şekil 4.29. Tasarım2-3.5 m/s-THID sistemi için panel yüzey sıcaklığı (sol) ve soğutucu davlumbaz içerisindeki sıcaklık değişimi (sağ) HAD analiz görüntüleri



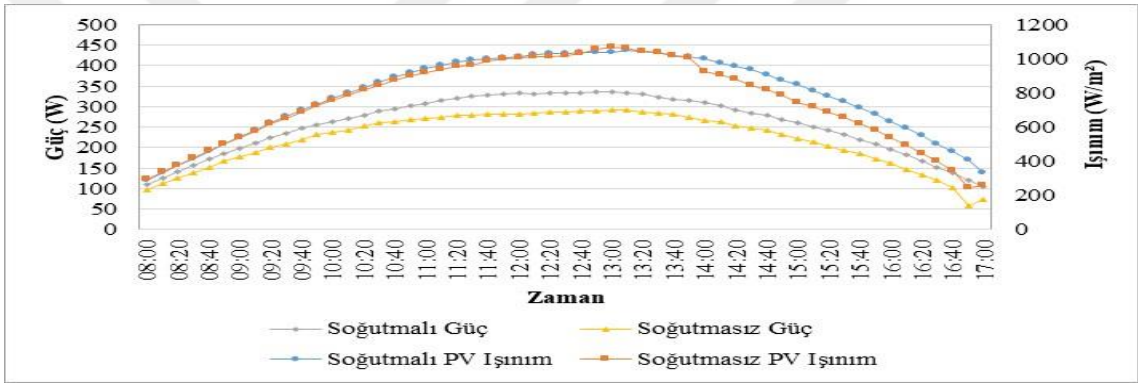
Şekil 4.30. Tasarım2-3.5 m/s-THID sistemi için basınç dağılımı

4.1.8. Tasarım2-4.5 m/s-THID

Deney, panel arka yüzeyine gönderilen soğuk hava hızının 4.5 m/s ve sıcaklığının 28.53 °C olduğu bir THID düzeneğiyle gerçekleştirilmiştir. Çalışma neticesinde elde edilen panel yüzey sıcaklık ortalamaları grafikte gösterilmiştir (Şekil 4.31). Şekil 4.32'deki deneysel veriler baz alındığında saat 13 için soğutulan ve soğutulmayan panel arasındaki elektriksel gücün 45.64 W'lık bir fark oluşturduğu tespit edilmiştir. Bu fark soğutulan paneli daha etkin kılmıştır.

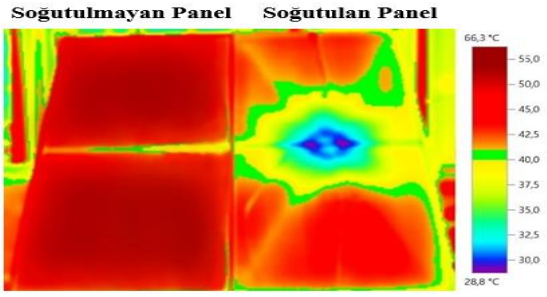


Şekil 4.31. Tasarım1-4.5 m/s-THID sistemi için panel yüzey sıcaklık ortalamaları (deneysel)



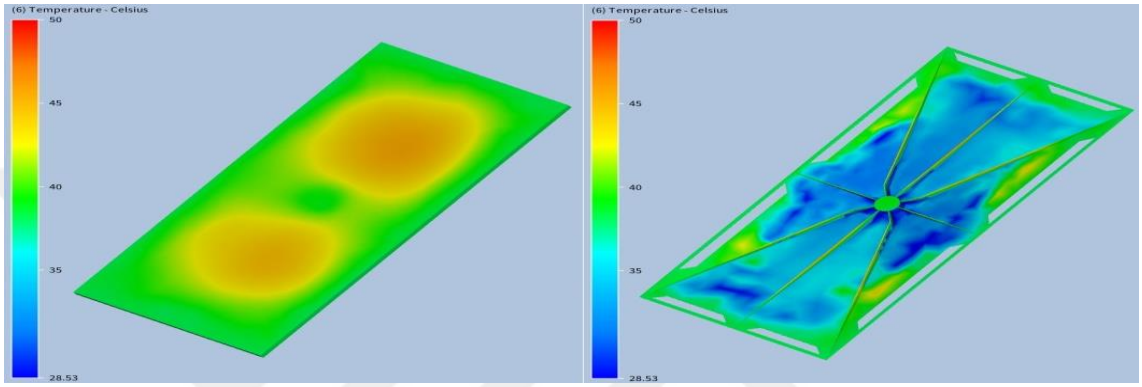
Şekil 4.32. Tasarım2-4.5 m/s-THID sistemi için güç değerleri

Datalogger verileri ve termal görüntüden elde edilen bulgular sonucunda; soğutulan panelin yüzey sıcaklığı ortalamasının 46.52 ℃ olduğu belirlenirken soğutulmayan panelde ise bu sıcaklık değerinin 65.94 ℃ olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Şekil 4.33).

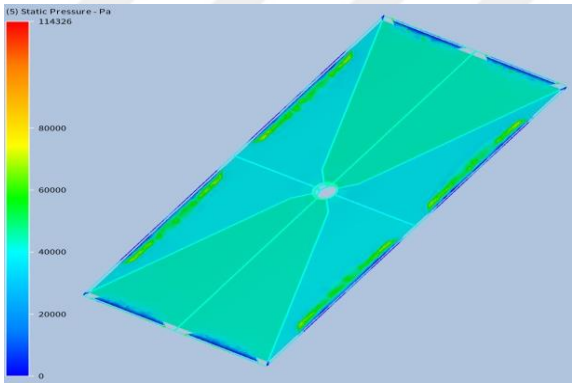


Şekil 4.33. Tasarım2-4.5 m/s-THID sistemine ait termal görüntü

Deneysel veriler ile oluşturulan analiz sonuçları Şekil 4.34'deki gibidir. Analiz verileri, soğutulan panelin ortalama yüzey sıcaklığının 42.68 ℃ olduğunu göstermiştir. Şekil 4.35 incelendiğinde, soğutucu davlumbaz içerisindeki havanın genel olarak homojen dağıldığını ancak çıkış kanallarına doğru artış gösterdiğini belirtmektedir.



Şekil 4.34. Tasarım2-4.5 m/s-THID sistemi için panel yüzey sıcaklığı (sol) ve soğutucu davlumbaz içerisindeki sıcaklık değişimi (sağ) HAD analiz görüntüleri

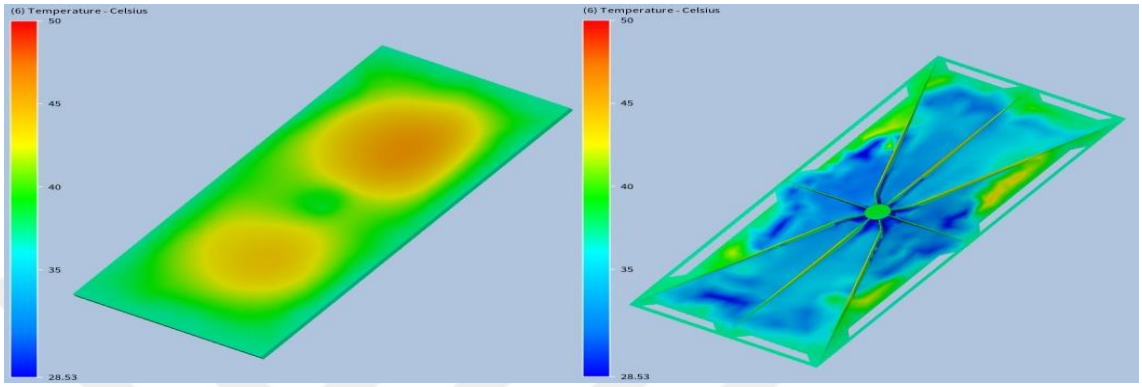


Şekil 4.35. Tasarım2-4.5 m/s-THID sistemi için basınç dağılımı

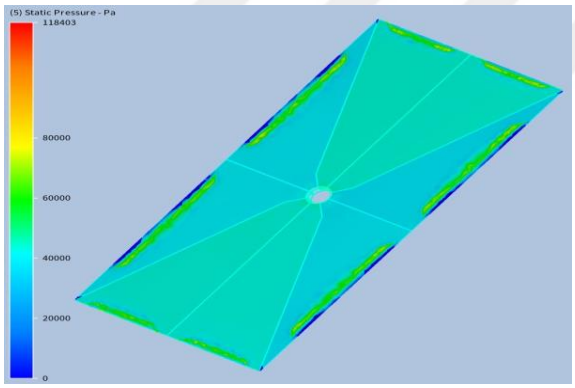
4.1.9. Tasarım2-6 m/s-THID

Nümerik olarak gerçekleştirilen çalışmada fan hızının arttırılmasıyla birlikte panel yüzey sıcaklık değeri ve dağılımı incelenmiştir. Yüzey sıcaklığı ortalamasının 41.08 ℃ olarak saptandığı analiz çalışmasında (Şekil 4.36), panel yüzeyindeki sıcaklık değerinin önceki çalışma hızlarından daha düşük değerlerde olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bununla birlikte panel yüzeyindeki sıcaklık dağılımı daha önceki çalışma hızlarına nispeten artış

göstermiştir. Genel olarak homojen dağılım gösteren basınç, ısınan havanın tahliye edildiği bölgeye doğru artış göstermiştir (Şekil 4.37).



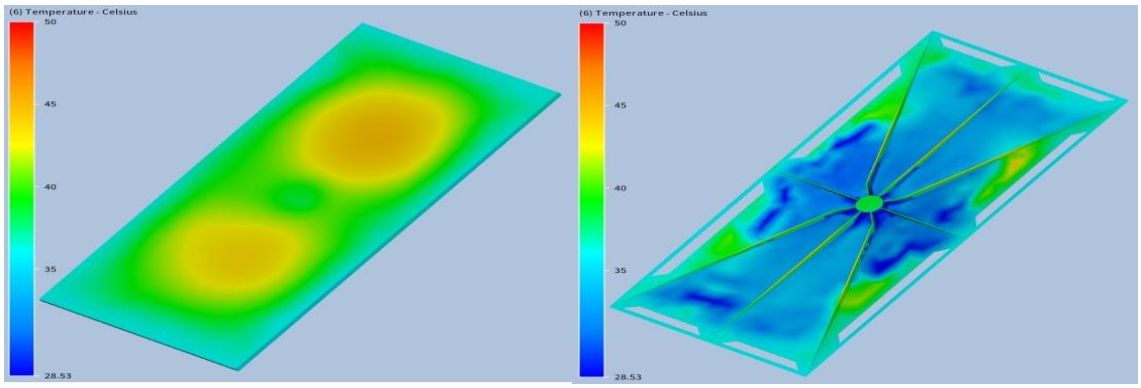
Şekil 4.36. Tasarım2-6 m/s-THID sistemi için panel yüzey sıcaklığı (sol) ve soğutucu davlumbaz içerisindeki sıcaklık değişimi (sağ) HAD analiz görüntüleri



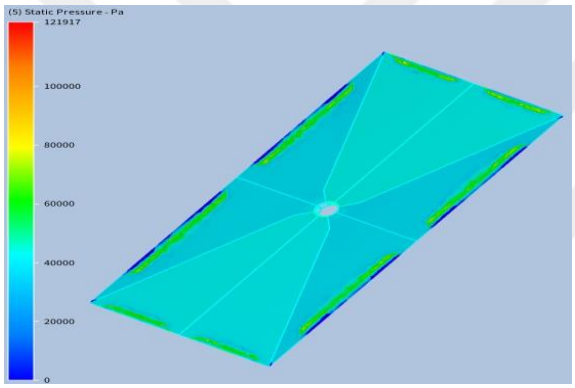
Şekil 4.37. Tasarım2-6 m/s-THID sistemi için basınç dağılımı

4.1.10. Tasarım2-7.5 m/s-THID

Analizde 6 m/s'lik soğutma hızına ek olarak 7.5 m/s'lik soğutma hızı da nümerik olarak incelenmiştir. Hızın arttırılması ile panel yüzeyindeki sıcaklık değişimi Şekil 4.38'de gösterildiği gibi sonuçlanmıştır. Şekil 4.38 incelendiğinde, ısınan havanın panel merkezinden rahat bir şekilde tahliye edilememesi lokal olarak yüksek sıcaklık değerlerinin elde edilmesine sebebiyet vermiştir. Diğer çalışma hızlarında olduğu gibi hava basıncı çıkış kanallarına doğru artmıştır. (Şekil 4.39).



Şekil 4.38. Tasarım2-7.5 m/s-THID sistemi için panel yüzey sıcaklığı (sol) ve soğutucu davlumbaz içerisindeki sıcaklık değişimi (sağ) HAD analiz görüntüleri



Şekil 4.39. Tasarım2-7.5 m/s-THID sistemi için basınç dağılımı

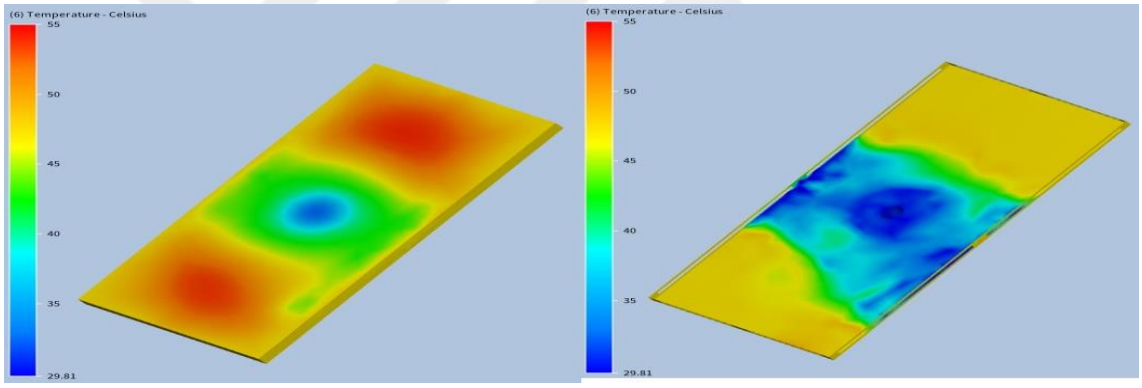
Grafik incelendiğinde artan soğutma hızı ile PV panel yüzeyindeki sıcak ortalamasının ters orantılı olduğu görülmektedir. En düşük panel yüzey sıcaklık ortalamasına 7.5 m/s hızla soğutmanın sağlandığı çalışma ile ulaşılmıştır. Bu değer, 39.72 °C'dir (Şekil 4.40).



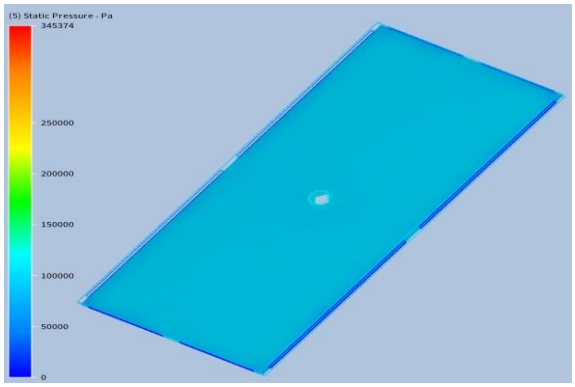
Şekil 4.40. Tasarım2 için farklı THID hızlarında PV panel yüzey sıcaklıkları (nümerik)

4.1.11. Tasarım3-2.5 m/s-THID

Bu tez çalışmasında, deneysel ve nümerik olarak çalışılan Tasarım1'e ve Tasarım2'ye alternatif oluşturması açısından Tasarım3 soğutucu davlumbaz modellenmiş ve aynı çalışma hızlarında nümerik olarak incelenmiştir. Analiz neticesinde ulaşılan sonuçlar aşağıda verilmiştir. 2.5 m/s soğutma hızının uygulandığı sistemde analiz verileri, soğutulan panel yüzey sıcaklık ortalamasının 47.37 °C olduğunu göstermiştir. Bu soğutma işlemi etkin olarak PV panel merkezinde toplanmıştır (Şekil 4.41). Analizi gerçekleştirilen sistemin sonuçları incelendiğinde, soğutucu davlumbaz içerisindeki basıncın hacim içerisinde homojen olarak dağıldığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.42).



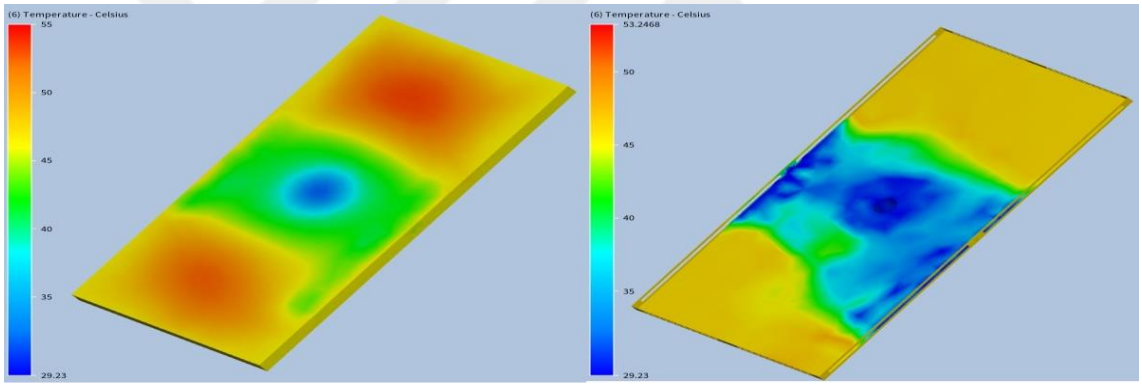
Şekil 4.41. Tasarım3-2.5 m/s-THID sistemi için panel yüzey sıcaklığı (sol) ve soğutucu davlumbaz içerisindeki sıcaklık değişimi (sağ) HAD analiz görüntüleri



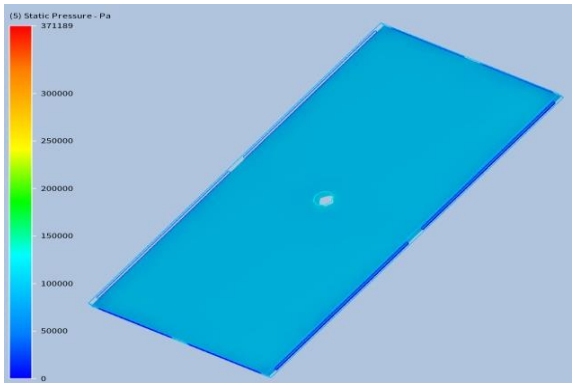
Şekil 4.42. Tasarım3-2.5 m/s-THID sistemi için basınç dağılımı

4.1.12. Tasarım3-3.5 m/s-THID

Soğutucu davlumbaz 3.5 m/s soğutma hızı kullanılarak nümerik olarak soğutulmuştur. Bu proses ile panel yüzeyinde soğutulmayan panele kıyasla genel olarak soğutma sağlamıştır. Ancak, soğutma neticesinde lokal olarak yüksek sıcaklıklar da görülmektedir. Şekil 4.43'te görüldüğü üzere, soğutma çalışması panel yüzeyinde skaler açıdan bir düşüş sağlamıştır. Ancak, bu soğutma homojen olarak dağılamamış ve soğutucu havanın gönderildiği merkez etrafında toplanmıştır. Soğutma neticesinde ulaşılan panel yüzey sıcaklık ortalaması 46.28 ℃'dir. Soğutucu davlumbaz içerisindeki hava basıncı Şekil 4.44'de görüldüğü gibi homojen olarak dağılmıştır.



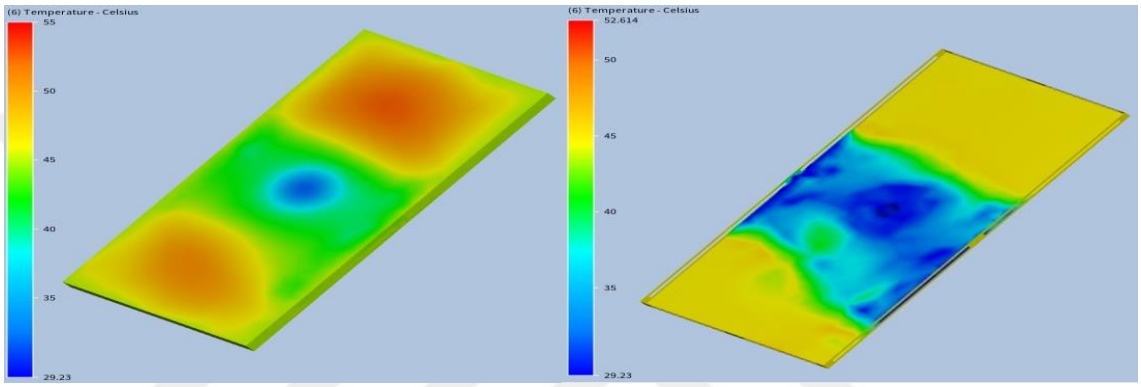
Şekil 4.43. Tasarım3-3.5 m/s-THID sistemi için panel yüzey sıcaklığı (sol) ve soğutucu davlumbaz içerisindeki sıcaklık değişimi (sağ) HAD analiz görüntüleri



Şekil 4.44. Tasarım3-3.5 m/s-THID sistemi için basınç dağılımı

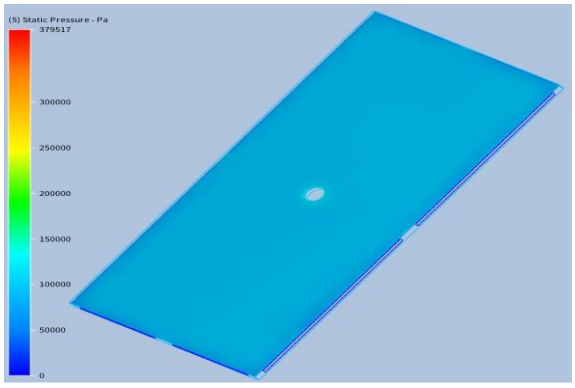
4.1.13. Tasarım3-4.5 m/s-THID

Soğutma hızı arttıkça panel yüzeyindeki sıcaklık dağılımı genişlemektedir. Nümerik analiz verileri ışığında PV panel yüzeyindeki sıcaklık ortalaması 45.52 ℃ olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.45).



Şekil 4.45. Tasarım3-4.5 m/s-THID sistemi için panel yüzey sıcaklığı (sol) ve soğutucu davlumbaz içerisindeki sıcaklık değişimi (sağ) HAD analiz görüntüleri

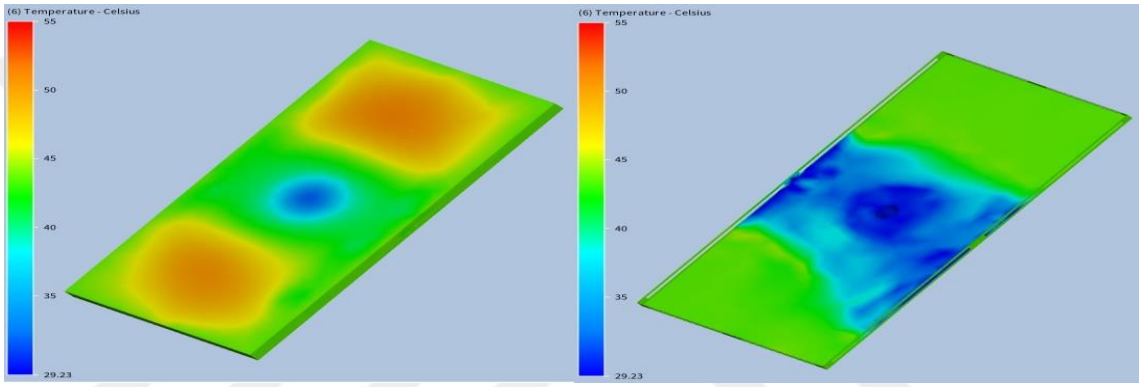
Şekil 4.46 incelendiğinde, soğutucu davlumbaz içerisindeki hava basıncı değerinin düşük hızlarla gerçekleştirilen önceki çalışmalara kıyasla arttığı gözlemlenmiş ancak dağılımında herhangi bir değişiklik görülmemiştir.



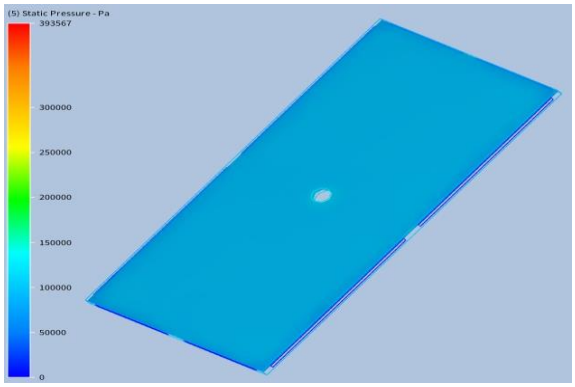
Şekil 4.46. Tasarım3-4.5 m/s-THID sistemi için basınç dağılımı

4.1.14. Tasarım3-6 m/s-THID

Şekil 4.47'deki analiz sonucunda, PV panel yüzeyindeki ortalama sıcaklık değerinin 44.73 ℃ olduğu ve lokal olarak farklılıklar gösterdiği tespit edilmiştir. Soğutucu davlumbaz içerisindeki hava basıncı, hacim genelinde homojen olarak dağılmıştır (Şekil 4.48).



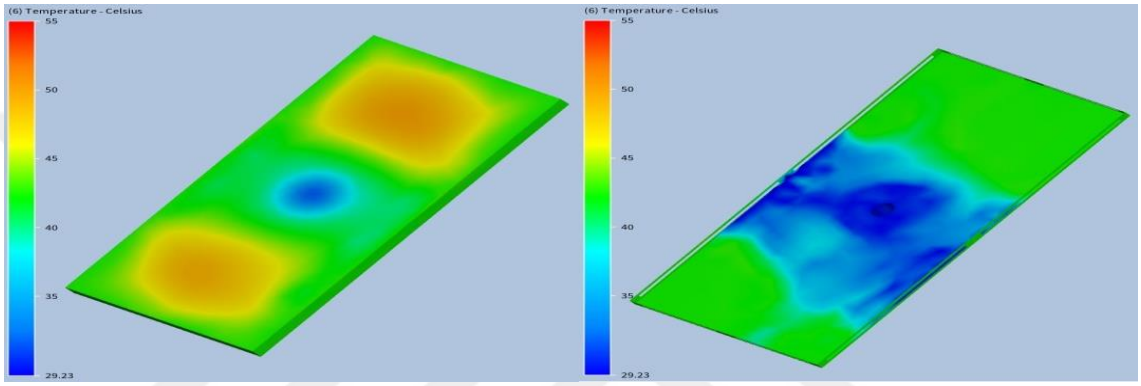
Şekil 4.47. Tasarım3-6 m/s-THID sistemi için panel yüzey sıcaklığı (sol) ve soğutucu davlumbaz içerisindeki sıcaklık değişimi (sağ) HAD analiz görüntüleri



Şekil 4.48. Tasarım3-6 m/s-THID sistemi için basınç dağılımı

4.1.15. Tasarım3-7.5 m/s-THID

HAD analizi neticesinde panel yüzeyindeki ortalama sıcaklık değerinin 43.85 ℃ olduğu görülmüştür (Şekil 4.49). Soğutucu davlumbaz içerisinde bulunan havanın basıncı hacim boyunca homojen olarak dağılmıştır (Şekil 4.50).

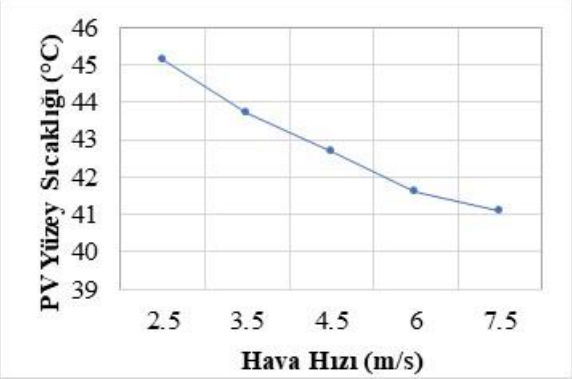


Şekil 4.49. Tasarım3-7.5 m/s-THID sistemi için panel yüzey sıcaklığı (sol) ve soğutucu davlumbaz içerisindeki sıcaklık değişimi (sağ) HAD analiz görüntüleri



Şekil 4.50. Tasarım3-7.5 m/s-THID sistemi için basınç dağılımı

Alternatif olarak modellenen soğutucu davlumbaz Tasarım3'e ait farklı hava hızlarındaki nümerik panel yüzey sıcaklıkları Şekil 4.51'de gösterilmiştir.Şekil 4.51'deki grafikten de anlaşılacağı üzere soğutma hızı ile PV panel yüzey sıcaklığı arasında ters orantı vardır. En yüksek panel yüzey sıcaklığına 2.5 m/s soğutma hızında, en düşüğüne ise 7.5 m/s'lik soğutma hızında ulaşılmıştır. Bu sıcaklık değerleri sırasıyla 47.29 ℃ ve 43.85 ℃'dir.



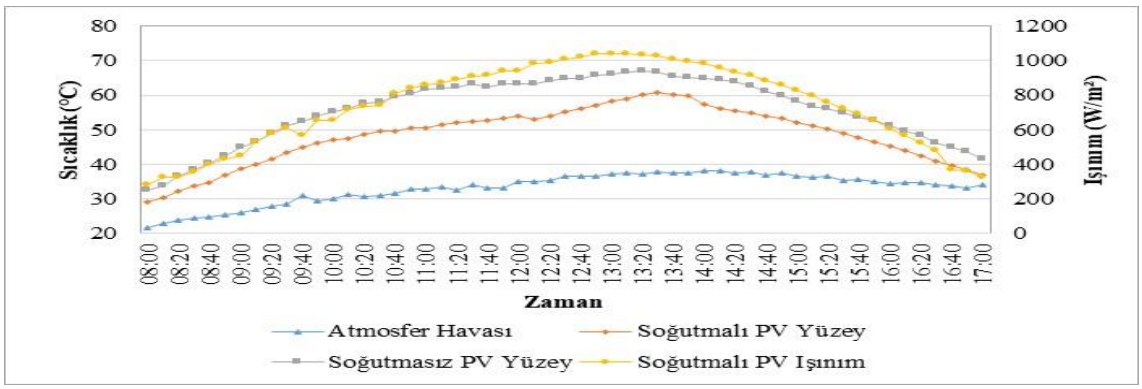
Şekil 4.51. Tasarım3 için farklı THID hızlarında PV panel yüzey sıcaklıkları (nümerik)

4.2. Çevre Havası ile Soğutma

Modellenen tüm tasarımlar THID ile yapılan soğutma çalışmalarına ek olarak direkt çevre havası ile soğutma çalışmalarında da kullanılmıştır. Elde edilen veriler THID ile soğutma verileriyle karşılaştırılmıştır.

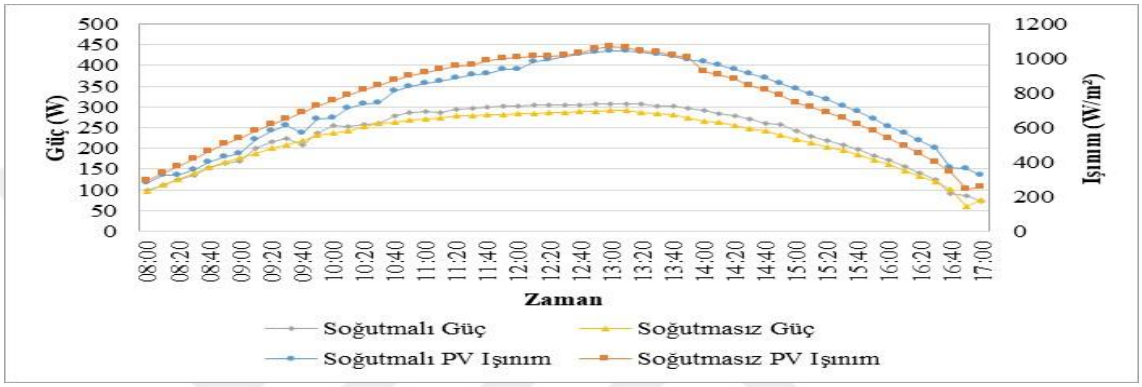
4.2.1. Tasarım1-2.5 m/s-çevre

Soğutucu davlumbaz olarak Tasarım1'in kullanıldığı deney setinde panel arkasına gönderilen havanın sıcaklığı 37.95 ℃ ve hızı 4.5 m/s'dir. Deneyin gerçekleştirildiği güne ait panel yüzey sıcaklık ortalamalarına Şekil 4.52'te yer verilmiştir.



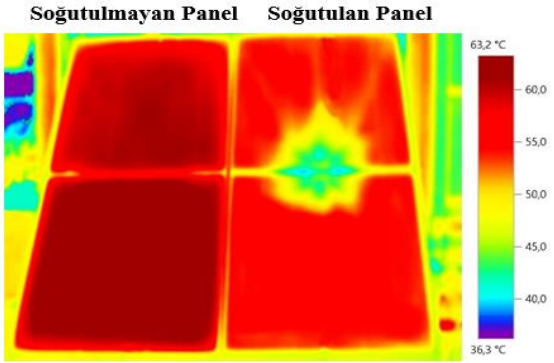
Şekil 4.52. Tasarım1-2.5 m/s-Çevre sistemi için panel yüzey sıcaklık ortalamaları (deneysel)

Deneysel çalışma neticesinde elde veriler ile çevre havasıyla soğutulan ve soğutulmayan panellerin farklı elektriksel sonuçlar oluşturduğu gözlemlenmiştir. Saat 13'teki veriler dikkate alındığında soğutulan panelin 20.39 W daha fazla güç ürettiği tespit edilmiştir (Şekil 4.53).



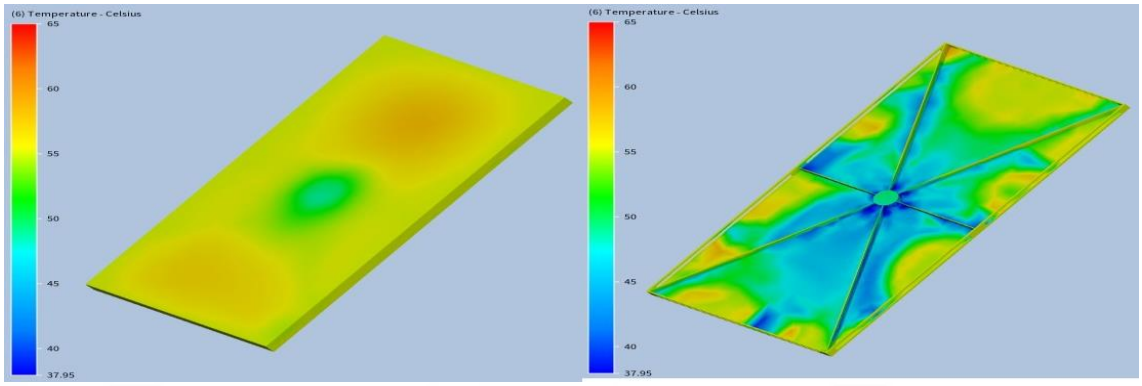
Şekil 4.53. Tasarım1-2.5 m/s-Çevre sistemi için güç değerleri

Çalışmaya ait termal görüntü Şekil 4.54'te verilmiştir. Sistemde kayıt aracı olarak kullanılan datalogger ve termal görüntü verileri incelendiğinde soğutulan panelin yüzey sıcaklık ortalamasının 57.25 ℃ olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Soğutulmayan panelde ise bu değer, 65.40 ℃ olarak tespit edilmiştir.



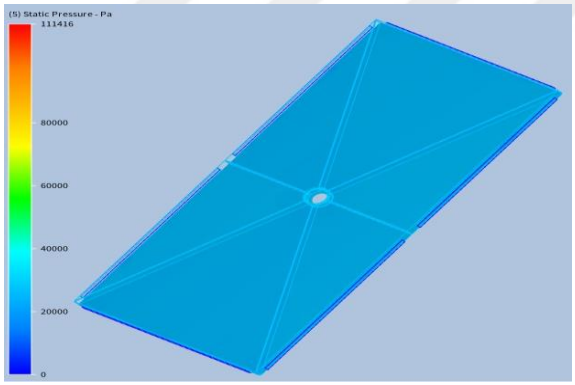
Şekil 4.54. Tasarım1-2.5 m/s-Çevre sistemine ait termal görüntü

Deneysel veriler ışığında gerçekleştirilen nümerik analiz neticesinde soğutulan panel yüzey sıcaklık ortalamasının 55.41 ℃ olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Şekil 4.55).



Şekil 4.55. Tasarım1-2.5 m/s-Çevre sistemi için panel yüzey sıcaklığı (sol) ve soğutucu davlumbaz içerisindeki sıcaklık değişimi (sağ) HAD analiz görüntüleri

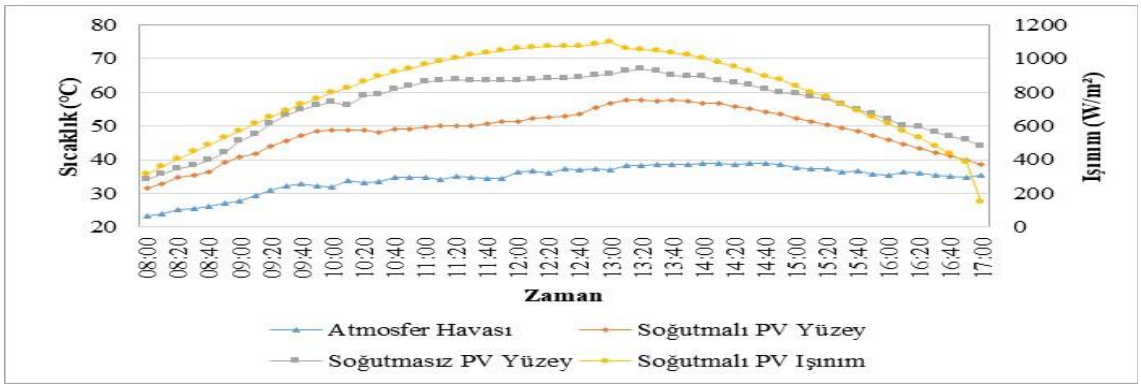
Soğutucu davlumbaz içerisinde homojen olarak dağılım gösteren basınç, Şekil 4.56'da gösterilmiştir.



Şekil 4.56. Tasarım1-2.5 m/s-Çevre sistemi için basınç dağılımı

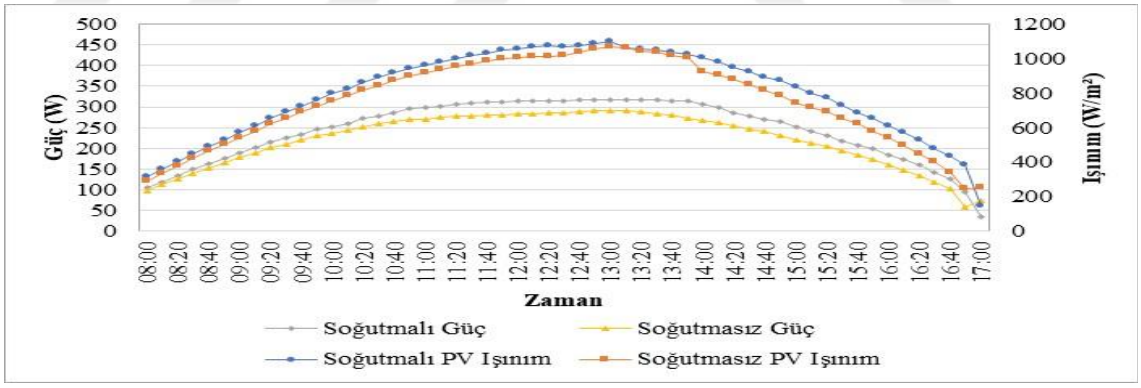
4.2.2. Tasarım1-3.5 m/s-çevre

Bu deney çalışmasında panel arkasına gönderilen havanın sıcaklığı 37.53 ℃ ve hızı 4.5 m/s'dir. Deney çalışmasının yapıldığı güne ait panel yüzeyi ortalama sıcaklıkları grafikte gösterilmiştir (Şekil 4.57).



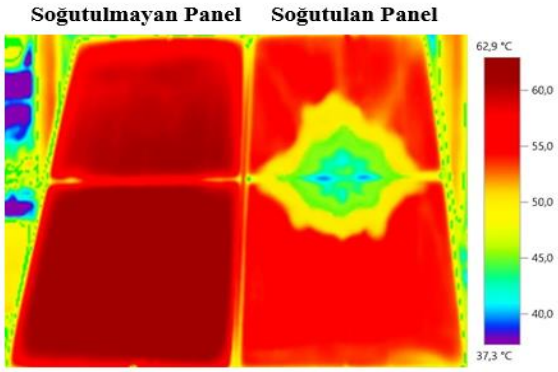
Şekil 4.57. Tasarım1-3.5 m/s-Çevre sistemi için panel yüzey sıcaklık ortalamaları (deneysel)

Şekil 4.58 incelendiğinde soğutulan ve soğutulmayan panelin yüzey sıcaklık ortalamalarının tüm saat dilimlerinde farklı değerlerde olduğu sonuca ulaşılmaktadır. Işınım şiddetinin maksimum olduğu saat 13 verileri dikkate alındığında ise, soğutulan panelin bu şartlar altında soğutulmayan panelden 30.36 daha fazla güç ürettiği tespit edilmiştir.



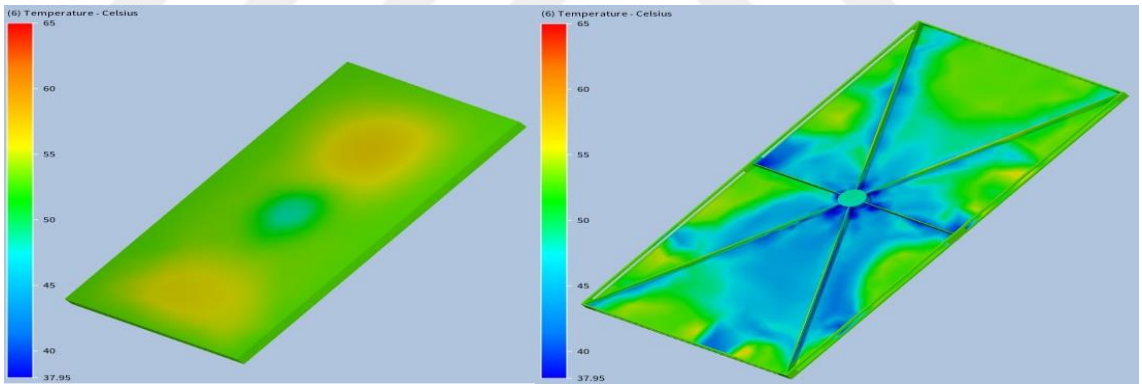
Şekil 4.58. Tasarım1-3.5 m/s-Çevre sistemi için güç değerleri

Deney gününe ait datalogger verileri ve Şekil 4.59'daki termal görüntü değerleri incelendiğinde soğutulan panelin yüzey sıcak ortalamasının 55.77 ℃ olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Soğutulmayan paneldeki yüzey sıcaklık ortalaması ise 65.37 ℃'dir.

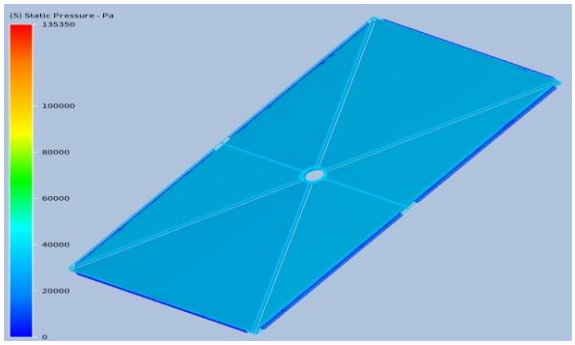


Şekil 4.59. Tasarım1-3.5 m/s-Çevre sistemine ait termal görüntü

Analiz neticesinde nümerik sonuçların deneysel değerlere yakınsadığı sonucuna ulaşılmıştır. Şekil 4.60 incelendiğinde, soğutulan paneldeki yüzey sıcaklık ortalamasının 53.87 ℃ olduğu sonucuna ulaşılır. Soğutucu davlumbaz içerisindeki hava diğer çalışma hızlarında olduğu gibi homojen olarak dağılmıştır (Şekil 4.61).



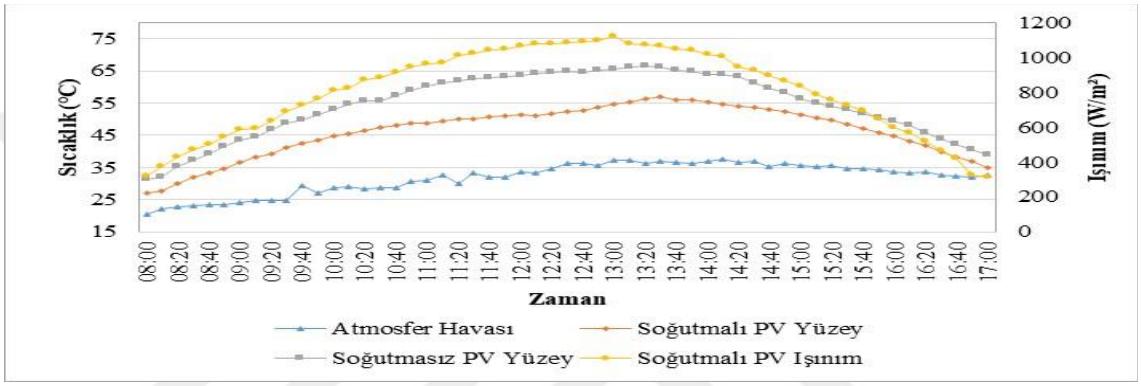
Şekil 4.60. Tasarım1-3.5 m/s-Çevre sistemi için panel yüzey sıcaklığı (sol) ve soğutucu davlumbaz içerisindeki sıcaklık değişimi (sağ) HAD analiz görüntüleri



Şekil 4.61. Tasarım1-3.5 m/s-Çevre sistemi için basınç dağılımı

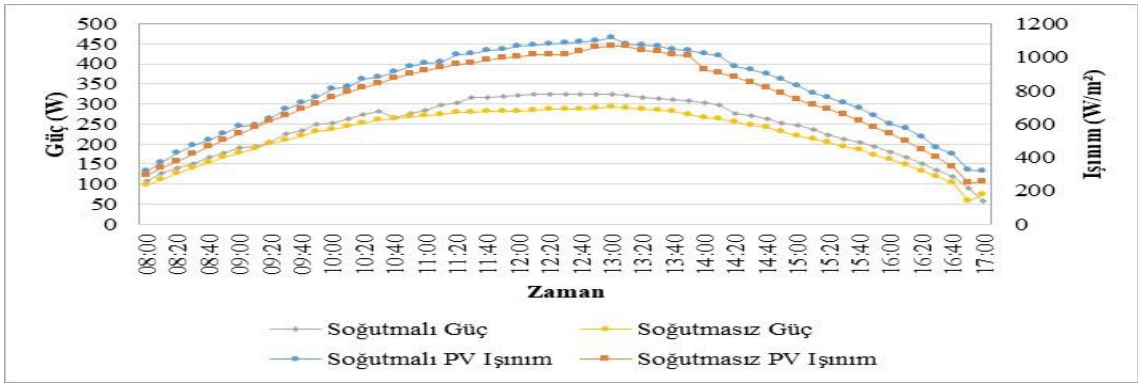
4.2.3. Tasarım1-4.5 m/s-çevre

Soğutucu akışkan olarak kullanılan havanın sıcaklığı 37.05 ℃ ve soğutucu davlumbaza aktarılma hızı 4.5 m/s'dir. Deney düzeneğinden elde edilen panel yüzey sıcaklık değerleri Şekil 4.62'de belirtilmiştir.



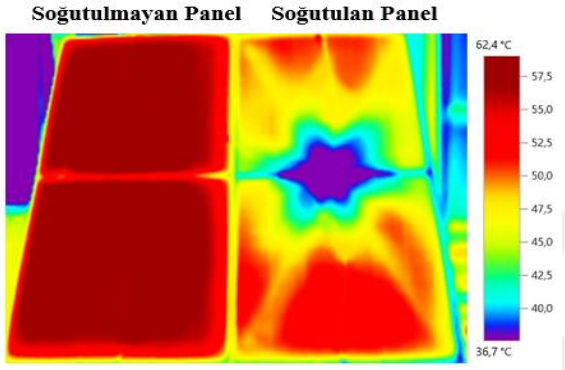
Şekil 4.62. Tasarım1-4.5 m/s-Çevre sistemi için panel yüzey sıcaklık ortalamaları (deneysel)

Grafik incelendiğinde (Şekil 4.63), soğutulan ve soğutulmayan PV panellere ilişkin farklılar tespit edilebilmektedir. Bu farklılıklardan biri de panellerin yüzey sıcak ortalamaları ve güç çıkış değeridir. Saat 13 verileri değerlendirildiğinde soğutulan panelin soğutulmayan panele kıyasla 38.12 W kadar bir elektrik üretim kazancı sağladığı sonucuna ulaşılmıştır.



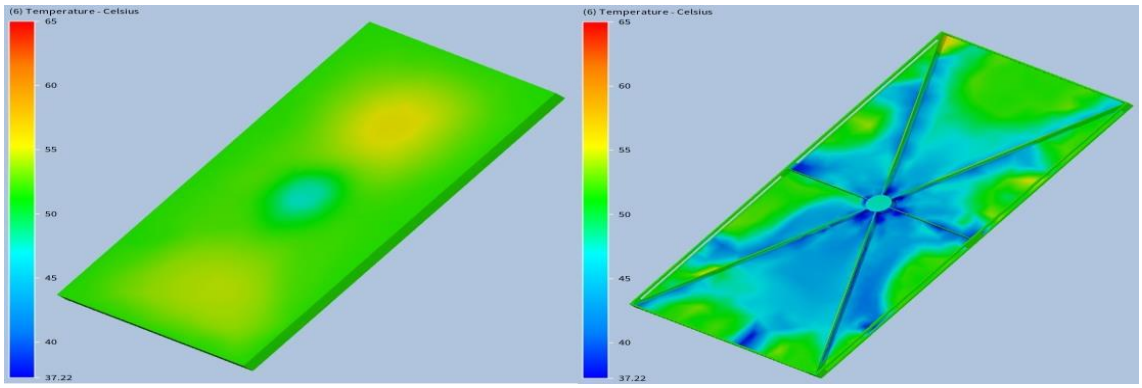
Şekil 4.63. Tasarım1-4.5 m/s-Çevre sistemi için güç değerleri

Deney gününe ait termal görsele Şekil 4.64'te yer verilmiştir. Elde edilen deneysel veriler sonucunda soğutulan paneldeki yüzey sıcaklık ortalaması 53.67 ℃ olarak tespit edilmiştir. Soğutulmayan paneldeki yüzey sıcaklık ortalaması ise 65.73 ℃'tür.



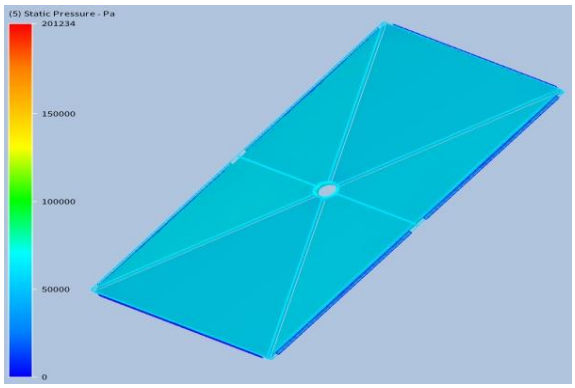
Şekil 4.64. Tasarım1-4.5 m/s-Çevre sistemine ait termal görüntü

Analiz verileri sonucunda soğutulan paneldeki yüzey sıcaklık ortalamasının 52.65 ℃ olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Şekil 4.65).



Şekil 4.65. Tasarım1-4.5 m/s-Çevre sistemi için panel yüzey sıcaklığı (sol) ve soğutucu davlumbaz içerisindeki sıcaklık değişimi (sağ) HAD analiz görüntüleri

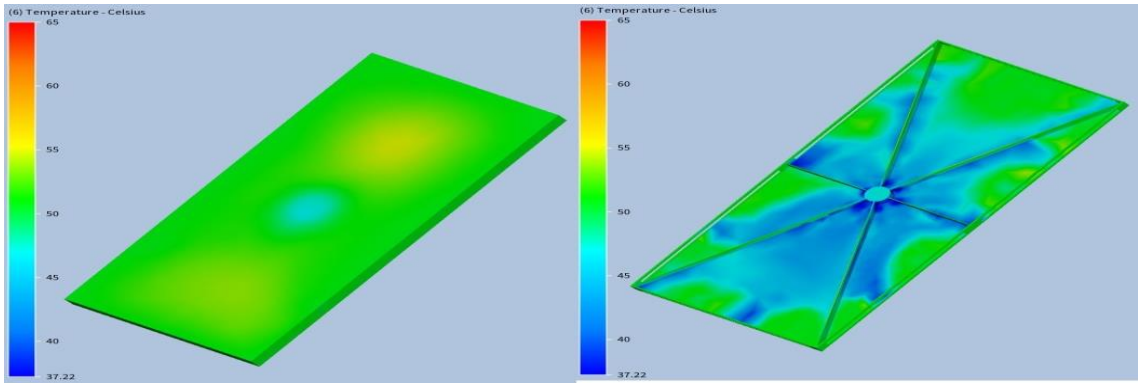
Modellenen soğutucu hacim içerisindeki basınç, 4.5 m/s soğutma hızında homojen dağılım göstermiştir (Şekil 4.66).



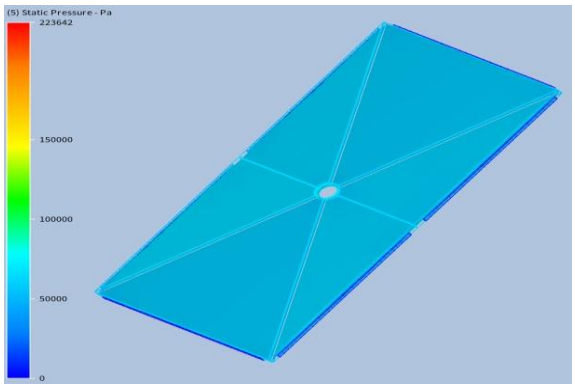
Şekil 4.66. Tasarım1-4.5 m/s-Çevre sistemi için basınç dağılımı

4.2.4. Tasarım1-6 m/s-çevre

Nümerik olarak incelenen bu çalışmada soğutma hızının panel yüzey sıcaklık değerine ve dağılımına etkisi araştırılmıştır. Analizden elde edilen bulgular aşağıdaki görsellerde belirtilmiştir. Şekil 4.67 incelendiğinde, yükseltilen fan hızının panel yüzeyindeki ve davlumbaz içerisindeki etkinliğini arttırdığı gözlemlenmiştir. Sonuç olarak panel yüzeyindeki sıcaklık ortalaması 51.75 ℃ olarak tespit edilmiştir. Arttırılan fan hızı basınç dağılımında değişiklik yaratmamış ancak basıncın skaler büyüklüğünü yükseltmiştir (Şekil 4.68).



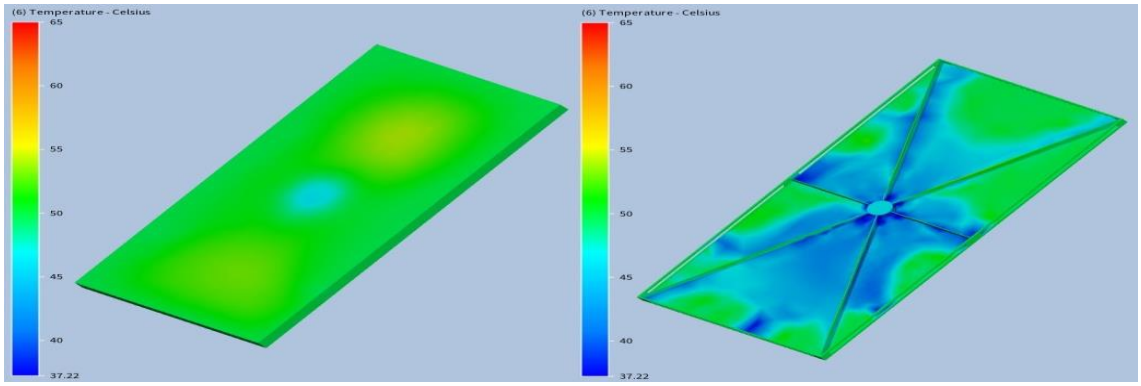
Şekil 4.67. Tasarım1-6 m/s-Çevre sistemi için panel yüzey sıcaklığı (sol) ve soğutucu davlumbaz içerisindeki sıcaklık değişimi (sağ) HAD analiz görüntüleri



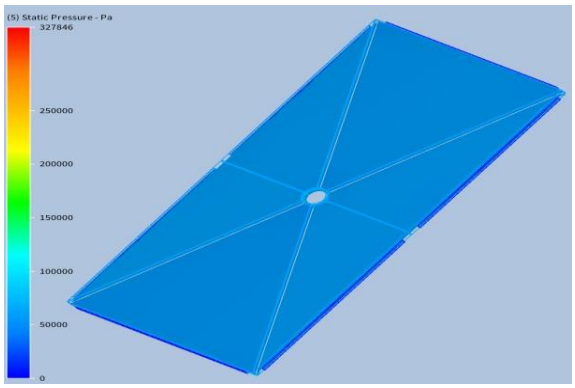
Şekil 4.68. Tasarım1-6 m/s-Çevre sistemi için basınç dağılımı

4.2.5. Tasarım1-7.5 m/s-çevre

Soğutucu davlumbaz son olarak 7.5 m/s hızı ile soğutulmuş ve sonuçları irdelenmiştir. Tasarım için uygulanan 7.5 m/s soğutma hızı, panel genelinde homojen olarak bir düşüş oluşturmuştur. Bu düşüş ile elde edilen panel yüzey sıcaklık ortalaması 50.91 ℃'dir (Şekil 4.69). Şekil 4.70 incelendiğinde, panel arkasına gönderilen soğutucu havanın davlumbaz içerisinde homojen olarak dağıldığı sonucuna ulaşılır.

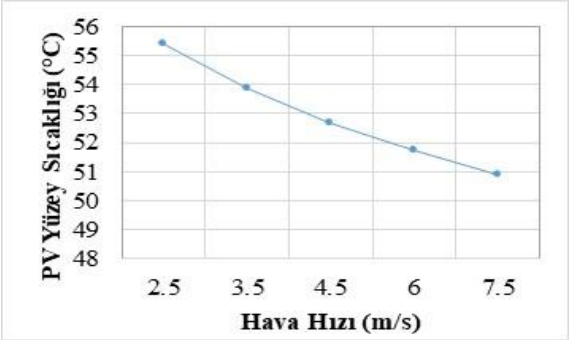


Şekil 4.69. Tasarım1-7.5 m/s-Çevre sistemi için panel yüzey sıcaklığı (sol) ve soğutucu davlumbaz içerisindeki sıcaklık değişimi (sağ) HAD analiz görüntüleri



Şekil 4.70. Tasarım1-7.5 m/s-Çevre sistemi için basınç dağılımı

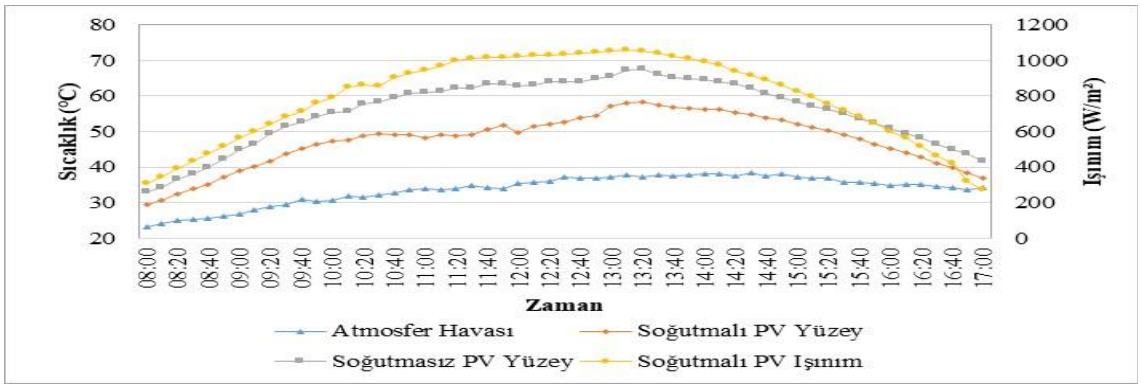
Soğutma işleminde kullanılan beş farklı çalışma hızı sonucunda, panel yüzeyindeki sıcaklık düşüşü ve dağılımı açısından en ideal sonucu, 7.5 m/s soğutma hızı ile çalışılan sistemin verdiği tespit edilmiştir (Şekil 4.71).



Şekil 4.71. Tasarım1 için farklı çevre havası hızlarında PV panel yüzey sıcaklıkları (nümerik)

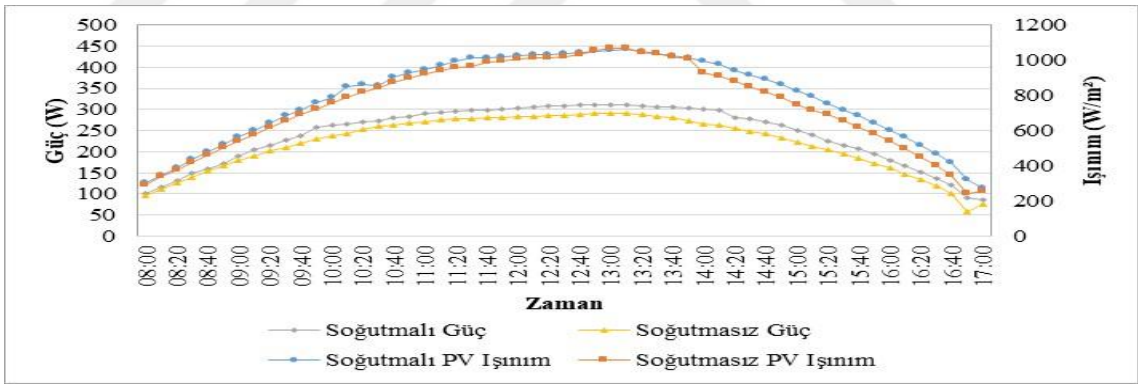
4.2.6. Tasarım2-2.5 m/s-çevre

Bu deney çalışmasında, soğutucu davlumbaz olarak modellenen Tasarım2 kullanılmıştır. Panel arkasına yerleştirilen geometriye 37.95 ℃ sıcaklığında ve 2.5 m/s hızında çevre havası gönderilmiştir. Soğutulan ve soğutulmayan PV panellere ait yüzey sıcaklık ortalamaları Şekil 4.72'de belirtilmiştir.



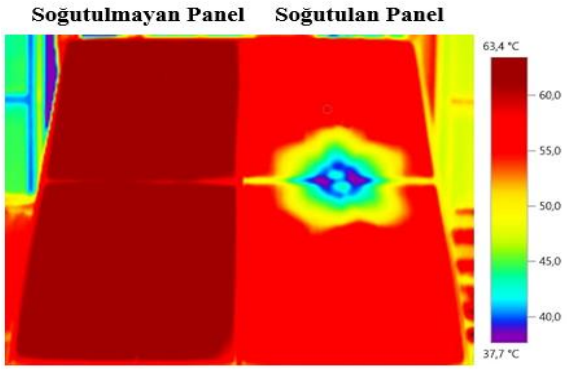
Şekil 4.72. Tasarım2-2.5 m/s-Çevre sistemi için panel yüzey sıcaklık ortalamaları (deneysel)

Deney sonucunda elde edilen bulgulardan hareketle panel yüzey sıcaklığı ve üretilen elektrik enerjisi hakkında yorum yapılmıştır. Şekil 4.73'deki grafik incelendiğinde, saat 13 verileri, soğutulan panelin soğutulmayan panelden 16.95 W daha fazla elektrik ürettiği sonucuna ulaştırmaktadır.



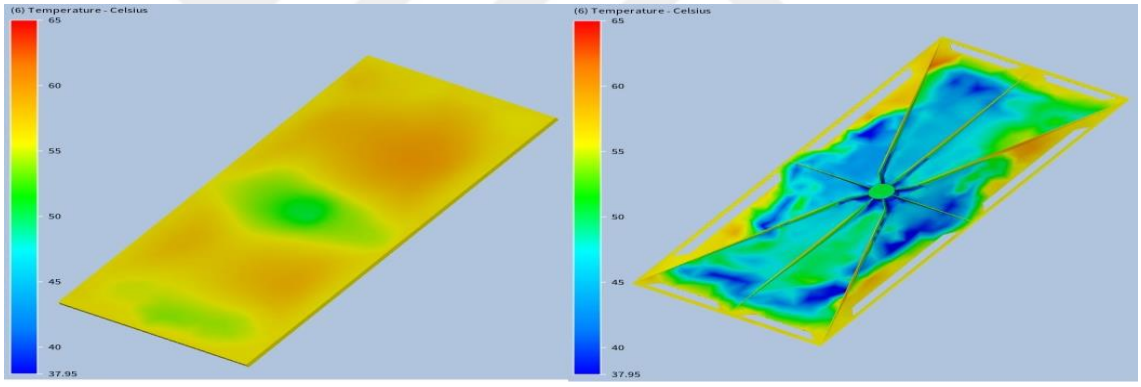
Şekil 4.73. Tasarım2-2.5 m/s-Çevre sistemi için güç değerleri

Termal görüntü incelenip dataloggerdan elde edilen veriler ile birlikte sentezlendiğinde, soğutulan panelin yüzey sıcaklık ortalamasının 58.32 ℃, soğutulmayan panelin yüzey sıcaklık ortalamasının 66.10 ℃ olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Şekil 4.74).



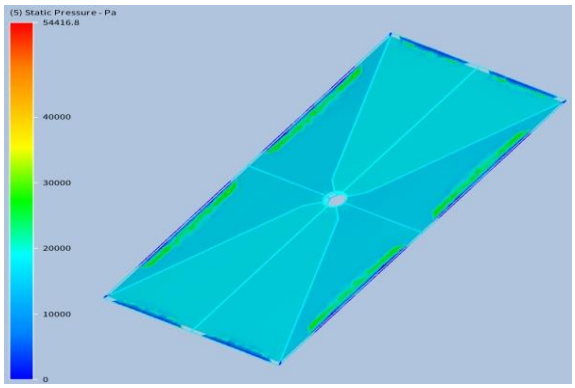
Şekil 4.74. Tasarım2-2.5 m/s-Çevre sistemine ait termal görüntü

Şekil 4.75'teki nümerik veriler incelendiğinde soğutulan panelin yüzey sıcaklık ortalamasının 54.89 ℃ olduğu sonucuna ulaşılmıştır.



Şekil 4.75. Tasarım2-2.5 m/s-Çevre sistemi için panel yüzey sıcaklığı (sol) ve soğutucu davlumbaz içerisindeki sıcaklık değişimi (sağ) HAD analiz görüntüleri

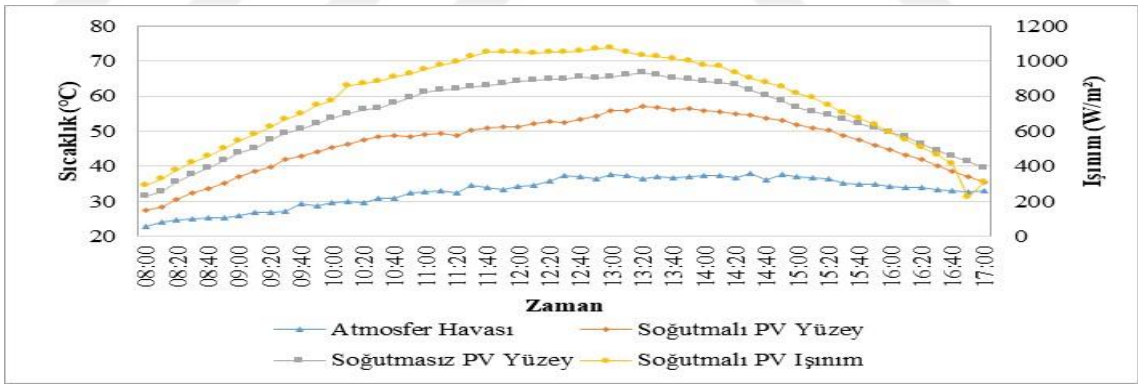
Soğutucu davlumbaz içerisindeki havanın panel genelinde homojen olarak dağıldığı ancak çıkış kanallarına doğru, kullanılan geometrinin etkisiyle basınçta artış yaşandığı saptanmıştır (Şekil 4.76).



Şekil 4.76. Tasarım2-2.5 m/s-Çevre sistemi için basınç dağılımı

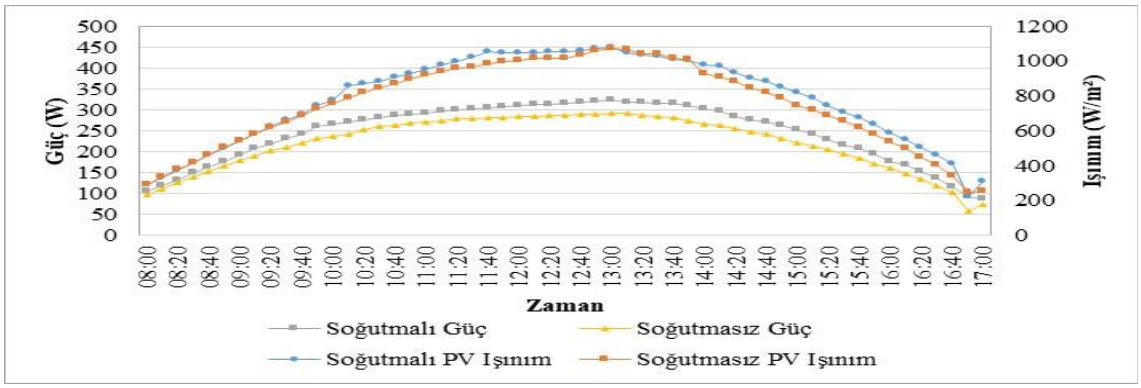
4.2.7. Tasarım2-3.5 m/s-çevre

Soğutucu davlumbaz olarak Tasarım2'nin kullanıldığı fotovoltaik soğutma sisteminde, panel arkasına gönderilen havanın hızı 4.5 m/s ve sıcaklığı 37.64 ℃'dir. Deney süresince elde edilen yüzey sıcaklık değerlerine Şekil 4.77'de verilmiştir.



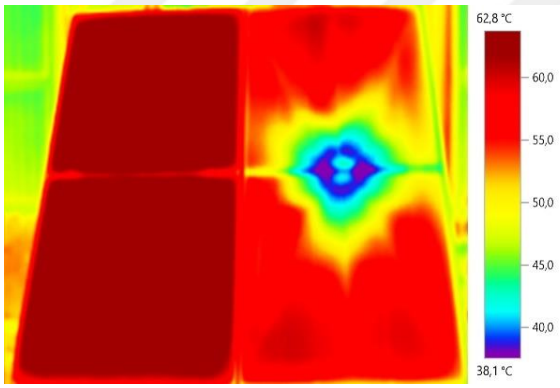
Şekil 4.77. Tasarım2-3.5 m/s-Çevre sistemi için panel yüzey sıcaklık ortalamaları (deneysel)

Şekil 4.78'deki saat 13 verileri ele alındığında, soğutulan panelin soğutulmayan panelden 25.89 W daha fazla elektrik enerjisi ürettiği sonucuna ulaşılmaktadır.



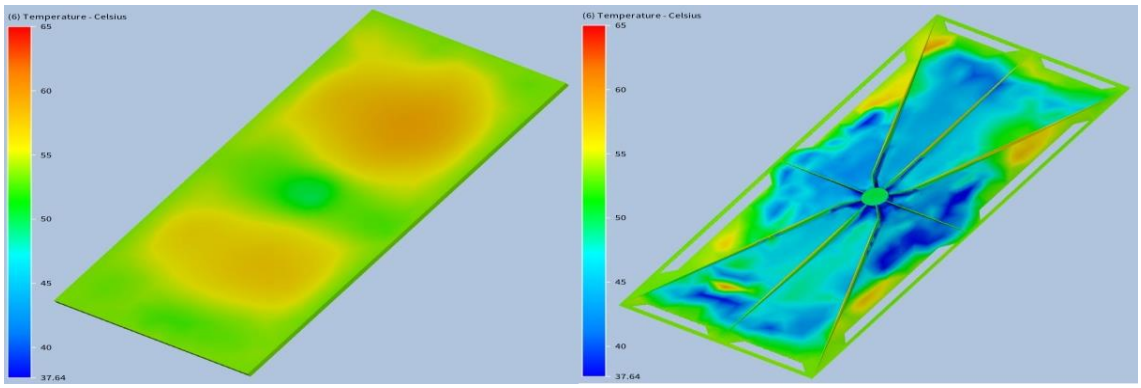
Şekil 4.78. Tasarım2-3.5 m/s-Çevre sistemi için güç değerleri

Termal görüntü incelendiğinde soğutulan panelin genelinde sıcaklık düşüşü yaşandığı görülmektedir. Ancak soğutma yeteri kadar homojen dağılmamıştır. Soğutulan panelin yüzey sıcaklık ortalaması 56.74 ℃, soğutulmayan panelin yüzey sıcaklık ortalaması ise 65.24 ℃'dir (Şekil 4.79).

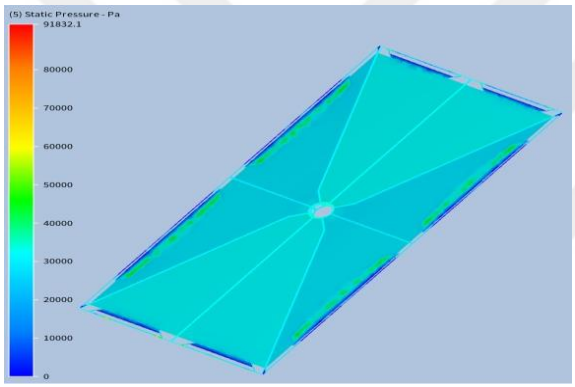


Şekil 4.79. Tasarım2-3.5 m/s-Çevre sistemine ait termal görüntü

Şekil 4.80 incelendiğinde, deneysel ve nümerik verilerin birbirine yakınsadığı görülmektedir. Analiz sonucunda, soğutulan panel yüzey sıcaklık ortalamasının 54.69 ℃ olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Davlumbaz içerisindeki soğutucu hava hacim boyunca homojen dağılmış fakat çıkış kanallarına doğru geometrinin etkisiyle artış göstermiştir (Şekil 4.81).



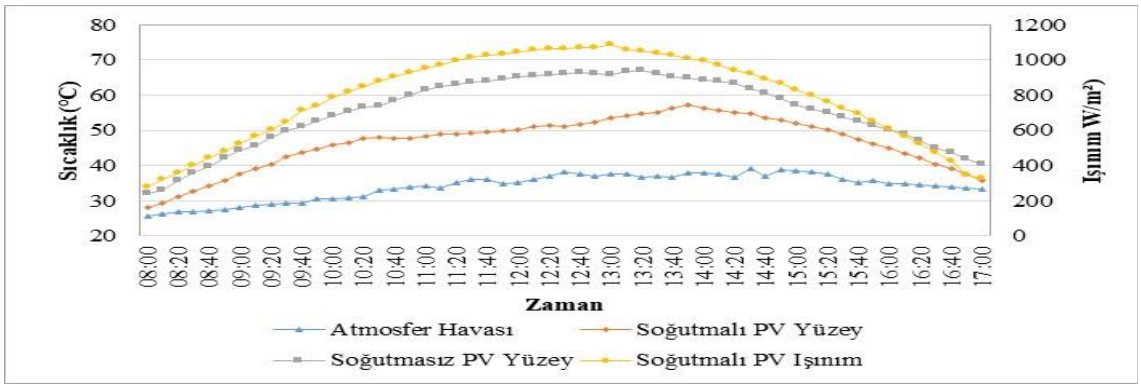
Şekil 4.80. Tasarım2-3.5 m/s-Çevre sistemi için panel yüzey sıcaklığı (sol) ve soğutucu davlumbaz içerisindeki sıcaklık değişimi (sağ) HAD analiz görüntüleri



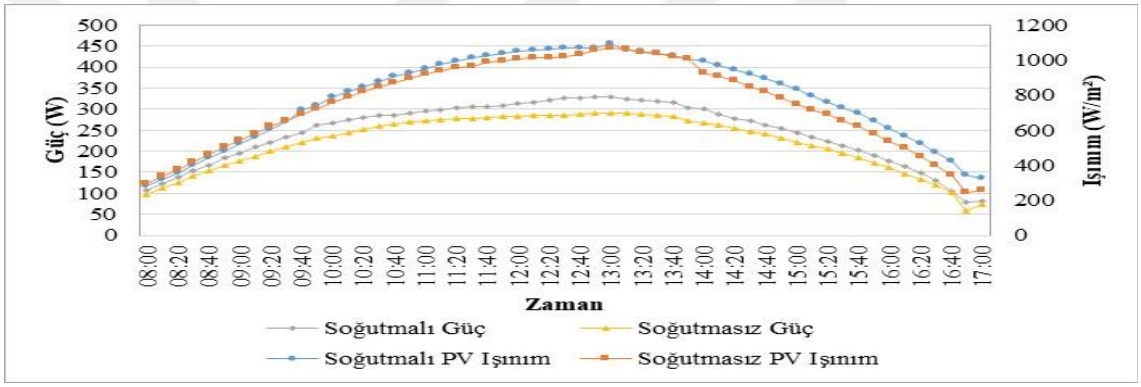
Şekil 4.81. Tasarım2-3.5 m/s-Çevre sistemi için basınç dağılımı

4.2.8. Tasarım2-4.5 m/s-çevre

Soğutma işlemini gerçekleştirmek için panel arkasına konumlandırılmış davlumbaza gönderilen havanın hızı 4.5 m/s ve sıcaklığı ise 37.22 ℃'dir. Deneyde elde edilen PV panel yüzey sıcaklık değerleri 10 dakikalık periyotlar datalogger'a kaydedilmiştir. Datalogger verileri, Şekil 4.82'de gösterilmiştir. Saat 13'te elde edilen veriler ışığında soğutulan panelin, soğutulmayan panelden 33.63 W daha fazla elektrik enerjisi ürettiği tespit edilmiştir (Şekil 4.83).

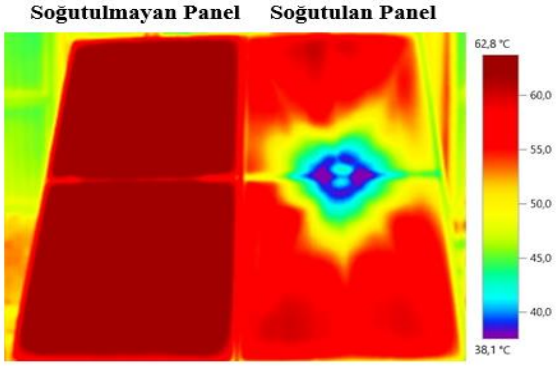


Şekil 4.82. Tasarım2-4.5 m/s-Çevre sistemi için panel yüzey sıcaklık ortalamaları (deneysel)



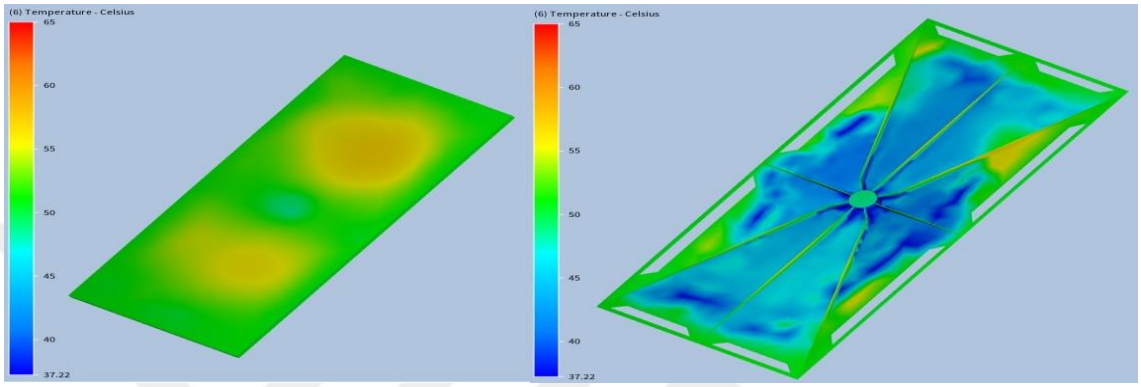
Şekil 4.83. Tasarım2-4.5 m/s-Çevre sistemi için güç değerleri

Termal görüntüden de görüldüğü üzere deneysel çalışma neticesinde soğutulan paneli yüzey sıcaklık ortalaması 54.56 ℃, soğutulmayan panelin yüzey sıcaklık ortalamasının ise 52.37 ℃'dir (Şekil 4.84).

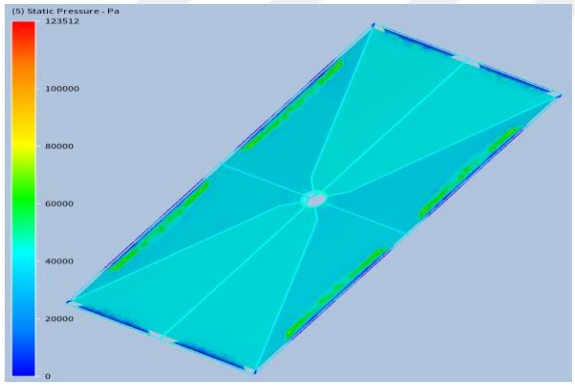


Şekil 4.84. Tasarım2-4.5 m/s-Çevre sistemine ait termal görüntü

Deneysel verilerin referans alındığı analizde, soğutulan panelin yüzey sıcaklık ortalaması 52.79 ℃ olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.85): Şekil 4.86 incelendiğinde, davlumbaz içerisindeki hava basıncının çıkış kanallarına doğru arttığı gözlemlenmektedir.



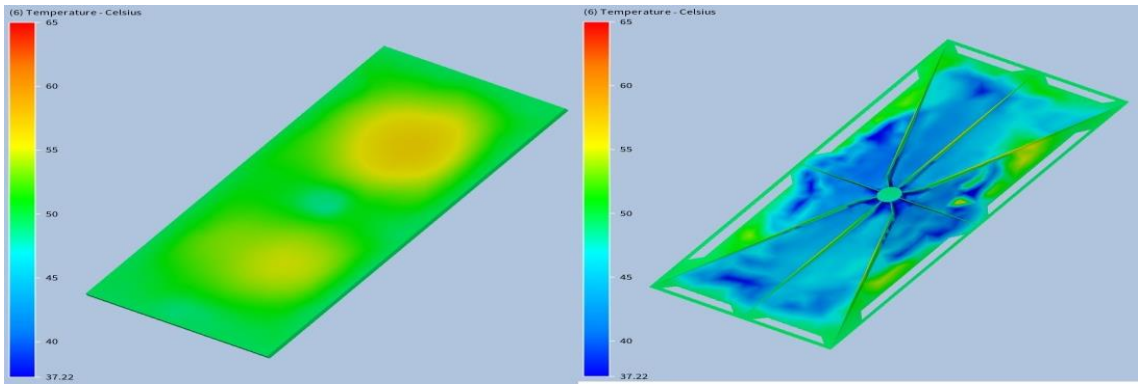
Şekil 4.85. Tasarım2-4.5 m/s-Çevre sistemi için panel yüzey sıcaklığı (sol) ve soğutucu davlumbaz içerisindeki sıcaklık değişimi (sağ) HAD analiz görüntüleri



Şekil 4.86. Tasarım2-4.5 m/s-Çevre sistemi için basınç dağılımı

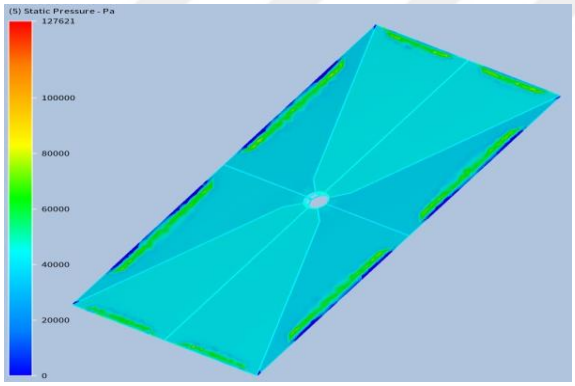
4.2.9. Tasarım2-6 m/s-çevre

Deneysel olarak gerçekleştirilen çalışma hızlarına ek olarak 6 m/s hız ile nümerik soğutma yapılmıştır. Analiz neticesinde elde edilen yüzey sıcaklık ortalaması 51.79 ℃'dir (Şekil 4.87).



Şekil 4.87. Tasarım2-6 m/s-Çevre sistemi için panel yüzey sıcaklığı (sol) ve soğutucu davlumbaz içerisindeki sıcaklık değişimi (sağ) HAD analiz görüntüleri

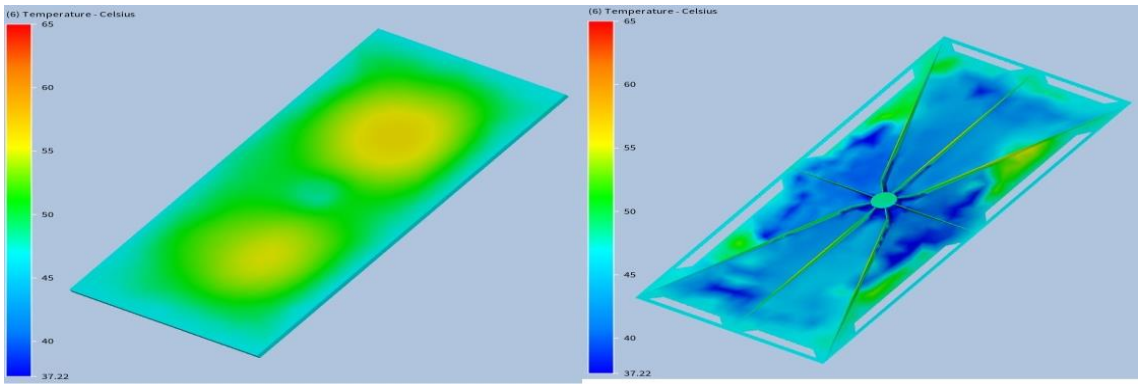
Analiz sonuçları, soğutucu davlumbaz içerisindeki hava basıncının hacim içerisinde genel olarak homojen dağılını ancak çıkış kanallarına doğru artış kaydettiği göstermiştir (Şekil 4.88).



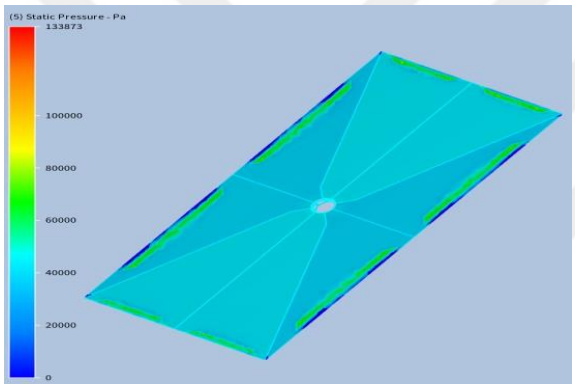
Şekil 4.88. Tasarım2-6 m/s-Çevre sistemi için basınç dağılımı

4.2.10. Tasarım2-7.5 m/s-çevre

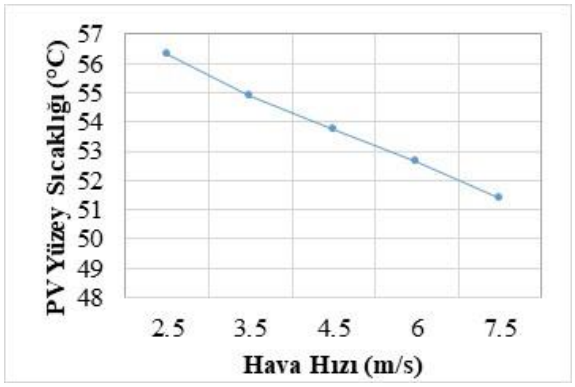
Analiz neticesinde, soğutulan PV panelin yüzey sıcak ortalamasının 50.53 ℃ olduğu ve düşük çalışma hızlarına nispeten panel yüzeyinde daha homojen bir dağılım sergilediği sonucuna ulaşılmıştır (Şekil 4.89). Şekil 4.90'da, düşük çalışma hızlarına kıyasla basınç değerinin arttığı görülmektedir. Grafikten de anlaşılacağı üzere soğutma hızı arttıkça panel yüzey sıcaklığının düştüğü sonucuna varılmıştır (Şekil 4.91).



Şekil 4.89. Tasarım2-7.5 m/s-Çevre sistemi için panel yüzey sıcaklığı (sol) ve soğutucu davlumbaz içerisindeki sıcaklık değişimi (sağ) HAD analiz görüntüleri



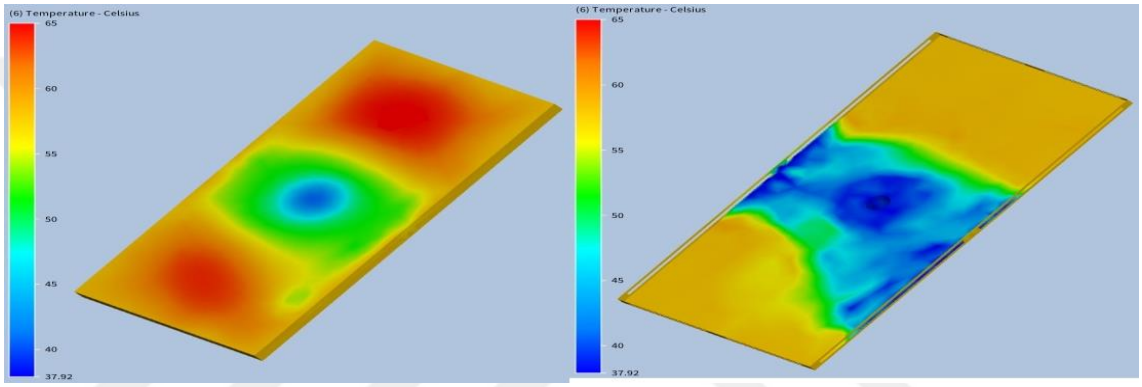
Şekil 4.90. Tasarım2-7.5 m/s-Çevre sistemi için basınç dağılımı



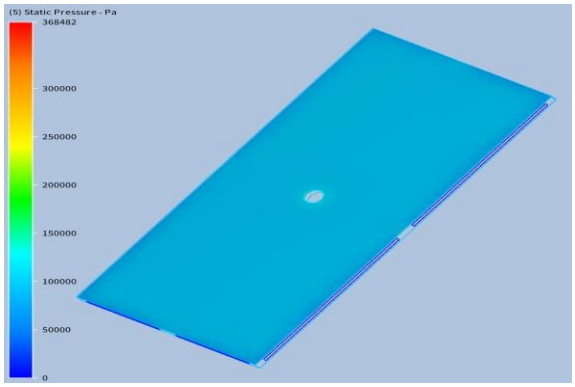
Şekil 4.91. Tasarım2 için farklı çevre havası hızlarında PV panel yüzey sıcaklıkları (nümerik)

4.2.11. Tasarım3-2.5 m/s-çevre

Şekil 4.92'deki nümerik analiz sonuçları ışığında 2.5 m/s hızında soğutulan PV panelin, yüzey sıcaklık ortalamasının 57.61 ℃ olduğu tespit edilmiştir. Şekil 4.93 incelendiğinde, soğutucu davlumbaz içerisindeki havanın homojen olarak dağıldığı görülmektedir.



Şekil 4.92. Tasarım3-2.5 m/s-Çevre sistemi için panel yüzey sıcaklığı (sol) ve soğutucu davlumbaz içerisindeki sıcaklık değişimi (sağ) HAD analiz görüntüleri

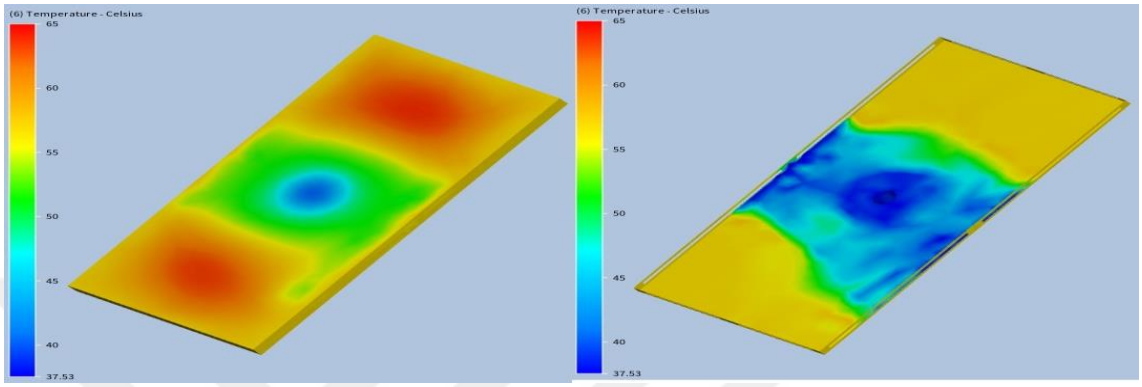


Şekil 4.93. Tasarım3-2.5 m/s-Çevre sistemi için basınç dağılımı

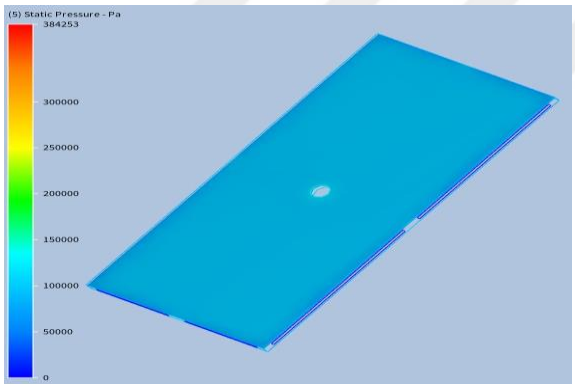
4.2.12. Tasarım3-3.5 m/s-çevre

Analizden elde edilen veriler, 3.5 m/s hız ile soğutulan panelin yüzey sıcaklık ortalamasının 56.52 ℃ olduğunu göstermektedir. Panel yüzeyindeki sıcaklık dağılımı

istenilen düzeyde değildir (Şekil 4.94). Basınç soğutucu davlumbaz içerisinde homojen olarak dağılmıştır (Şekil 4.95).



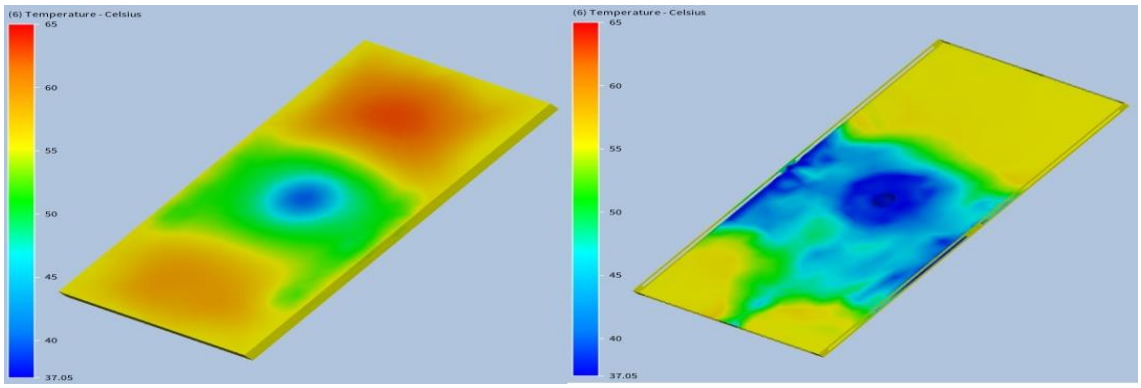
Şekil 4.94. Tasarım3-3.5 m/s-Çevre sistemi için panel yüzey sıcaklığı (sol) ve soğutucu davlumbaz içerisindeki sıcaklık değişimi (sağ) HAD analiz görüntüleri



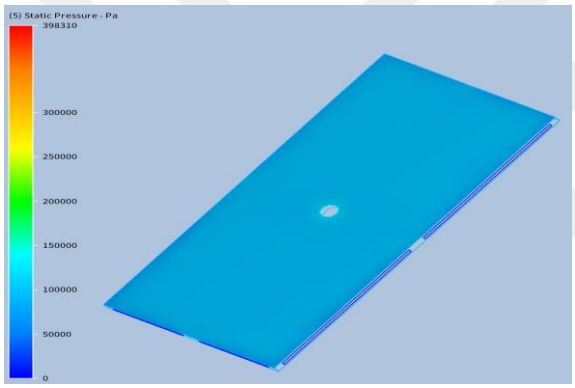
Şekil 4.95. Tasarım3-3.5 m/s-Çevre sistemi için basınç dağılımı

4.2.13. Tasarım3-4.5 m/s-çevre

Şekil 4.96'dan da görüldüğü üzere analiz neticesinde elde edilen panel yüzey sıcaklık ortalaması 55.17 ℃'dir. Tasarım3 olarak modellenen davlumbaz içerisindeki soğutucu hava, hacim boyunca basınç kaybına uğramamıştır (Şekil 4.97).



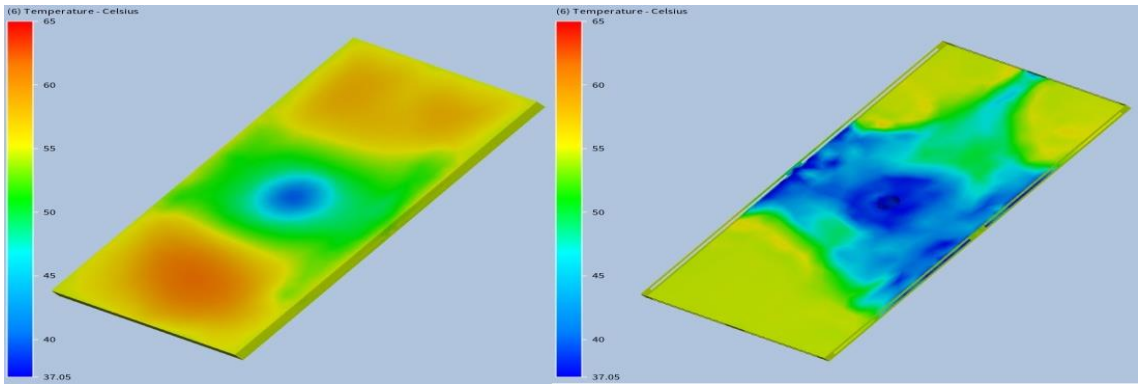
Şekil 4.96. Tasarım3-4.5 m/s-Çevre sistemi için panel yüzey sıcaklığı (sol) ve soğutucu davlumbaz içerisindeki sıcaklık değişimi (sağ) HAD analiz görüntüleri



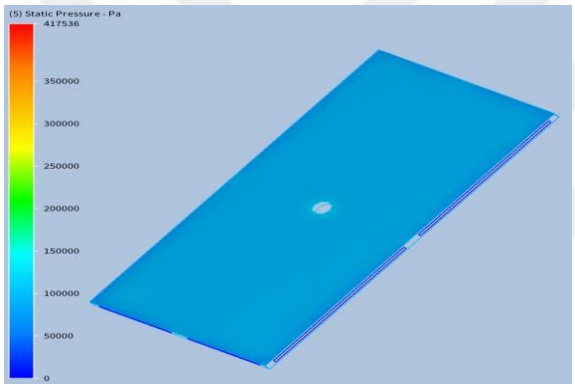
Şekil 4.97. Tasarım3-4.5 m/s-Çevre sistemi için basınç dağılımı

4.2.14. Tasarım3-6 m/s-çevre

6 m/s soğutma hızında gerçekleştirilen analiz sonucunda, PV panelin yüzey sıcaklık ortalaması 54.48 ℃ bulunmuştur (Şekil 4.98). Basınç dağılımı soğutucu davlumbaz hacmi boyunca homojen olarak dağılmıştır (Şekil 4.99).



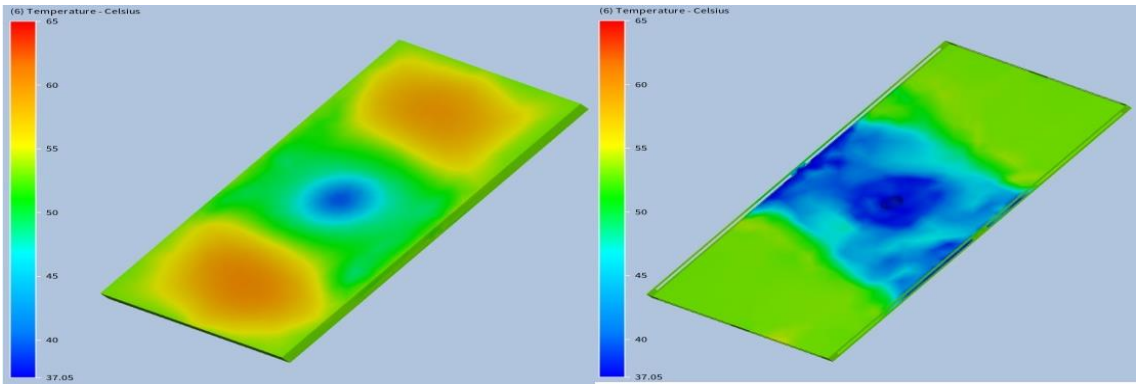
Şekil 4.98. Tasarım3-6 m/s-Çevre sistemi için panel yüzey sıcaklığı (sol) ve soğutucu davlumbaz içerisindeki sıcaklık değişimi (sağ) HAD analiz görüntüleri



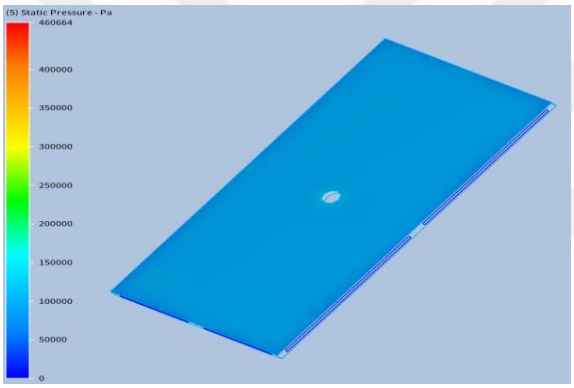
Şekil 4.99. Tasarım3-6 m/s-Çevre sistemi için basınç dağılımı

4.2.15. Tasarım3-7.5 m/s-çevre

Soğutulan PV panelin, nümerik analiz neticesinde yüzey sıcak ortalaması 53.59 °C olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.100). Soğutucu davlumbaz içerisindeki hava, soğutma hacmi boyunca homojen olarak dağılmıştır (Şekil 4.101).

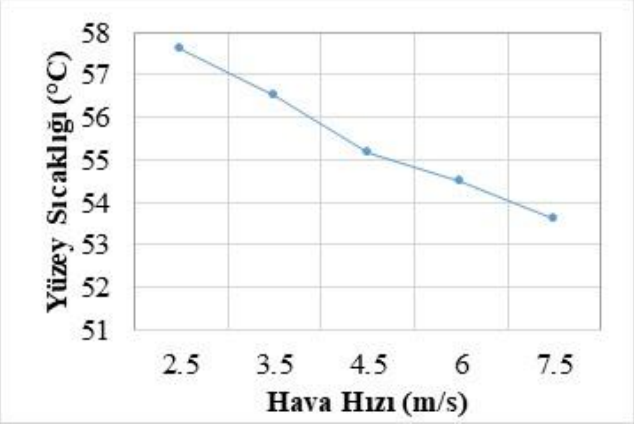


Şekil 4.100. Tasarım3-7.5 m/s-Çevre sistemi için panel yüzey sıcaklığı (sol) ve soğutucu davlumbaz içerisindeki sıcaklık değişimi (sağ) HAD analiz görüntüleri



Şekil 4.101. Tasarım3-7.5 m/s-Çevre sistemi için basınç dağılımı

Şekil 4.102'den de görüldüğü üzere soğutucu davlumbaza gönderilen çevre havasının hızı arttıkça PV panel ortalama yüzey sıcaklığının düştüğü tespit edilmiştir. Panel yüzeyindeki soğutulmuş alanın dağılımı soğutucu davlumbaza gönderilen hava hızı ile doğru orantılı olarak değişmiştir. Tüm bu veriler ışığında en etkili soğutmaya 7.5 m/s hız ile soğutulan çalışmada ulaşılmıştır.



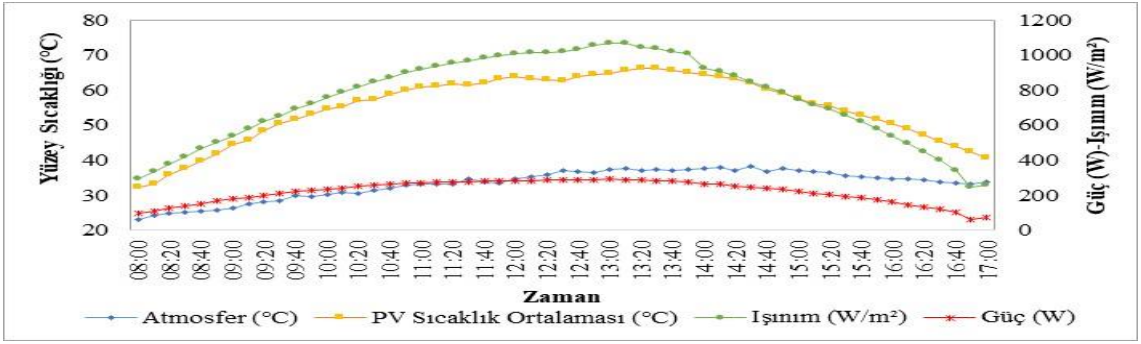
Şekil 4.102. Tasarım3 için farklı çevre havası hızlarında PV panel yüzey sıcaklıkları (nümerik)

4.3. Soğutmasız Bifacial PV Panel Çalışmaları

Bu tez çalışmasında, soğutma yapılmadığı, bifacial panelin; tek yüzeyli kullanıldığı, çift yüzeyli ve toprak zeminde kullanıldığı ve son olarak da çift yüzeyli ve beyaz zeminde kullanıldığı deneyler yapılmıştır.

4.3.1. Soğutmasız ve tek yüzeyli

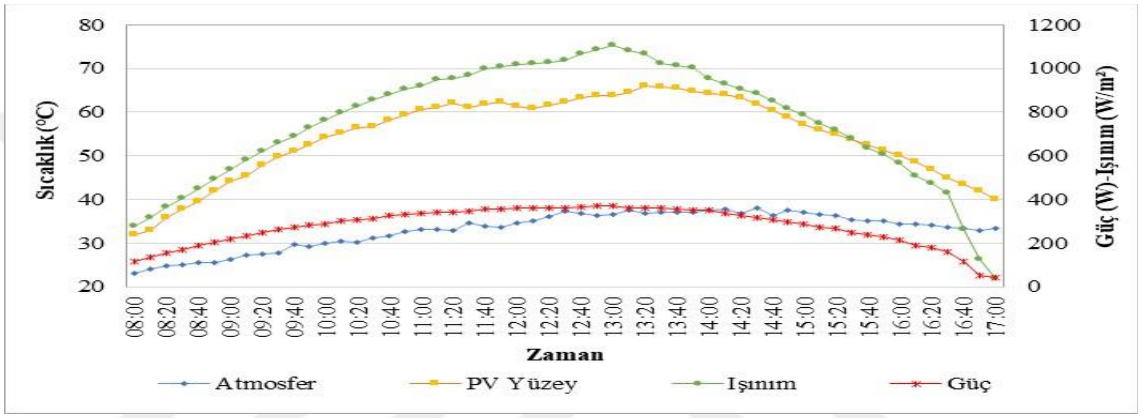
Herhangi bir soğutma işlemine tabii tutulmadan gerçekleştirilen deneysel çalışmanın sonuçları Şekil 4.103'te belirtildiği gibidir. Grafik verileri incelendiğinde soğutmasız ve tek yüzeyli PV panelin, saat 13'teki yüzey sıcaklık ortalamasının 64.72 °C olduğu görülmektedir. Panelin bu saat diliminde ürettiği elektrik enerjisi ise 291.79 W'tır.



Şekil 4.103. Soğutmasız ve tek yüzeyli kullanımda bifacial panel verileri

4.3.2. Soğutmasız ve çift yüzeyli (toprak zemin)

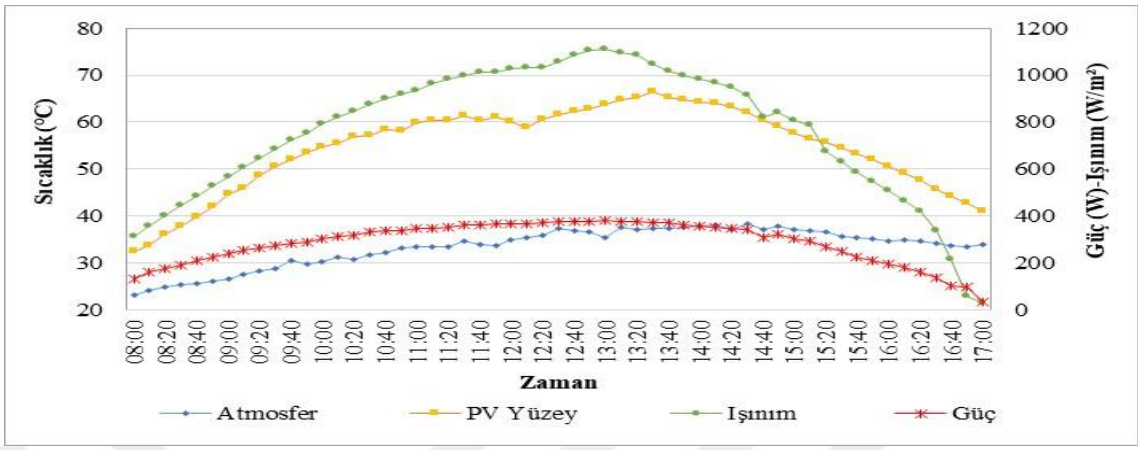
Grafik verileri incelendiğinde soğutmasız ve tek yüzeyli PV panelin, saat 13'teki yüzey sıcaklık ortalamasının 63.87 ℃ olduğu görülmektedir. Panelin bu saat diliminde ürettiği elektrik enerjisi ise 371.86 W'tır.



Şekil 4.104. Soğutmasız ve çift yüzeyli (toprak zemin) kullanımda bifacial panel verileri

4.3.3. Soğutmasız ve çift yüzeyli (beyaz zemin)

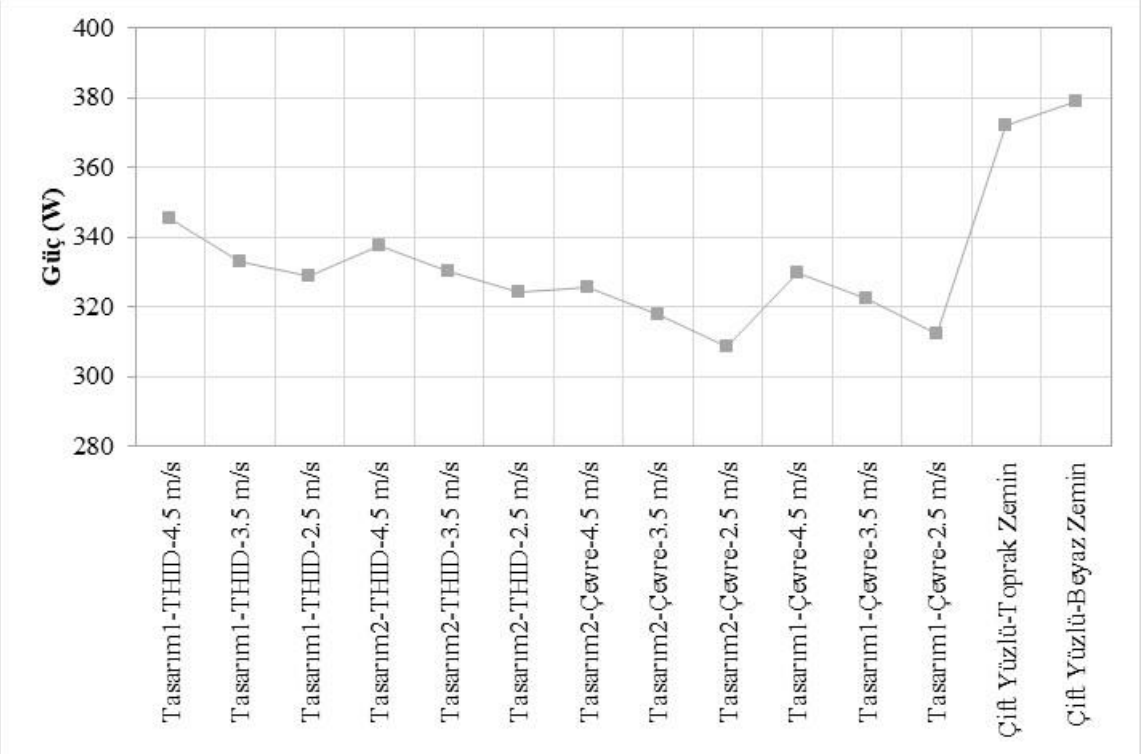
Toprak zemine kıyasla daha yüksek yansıtabilirlik katsayısına (albedo) sahip olan beyaz zemin, elektrik üretiminde de nispeten daha olumlu sonuç vermiştir. Saat 13 verilerine göre, panel yüzey sıcaklık ortalamasının 63.73 ℃ olduğu görülmektedir. Bifacial PV panel tarafından üretilen elektrik enerjisi ise 378.67 W'tır (Şekil 4.105).



Şekil 4.105. Soğutmasız ve çift yüzeyli (beyaz zemin) kullanımda bifacial panel verileri

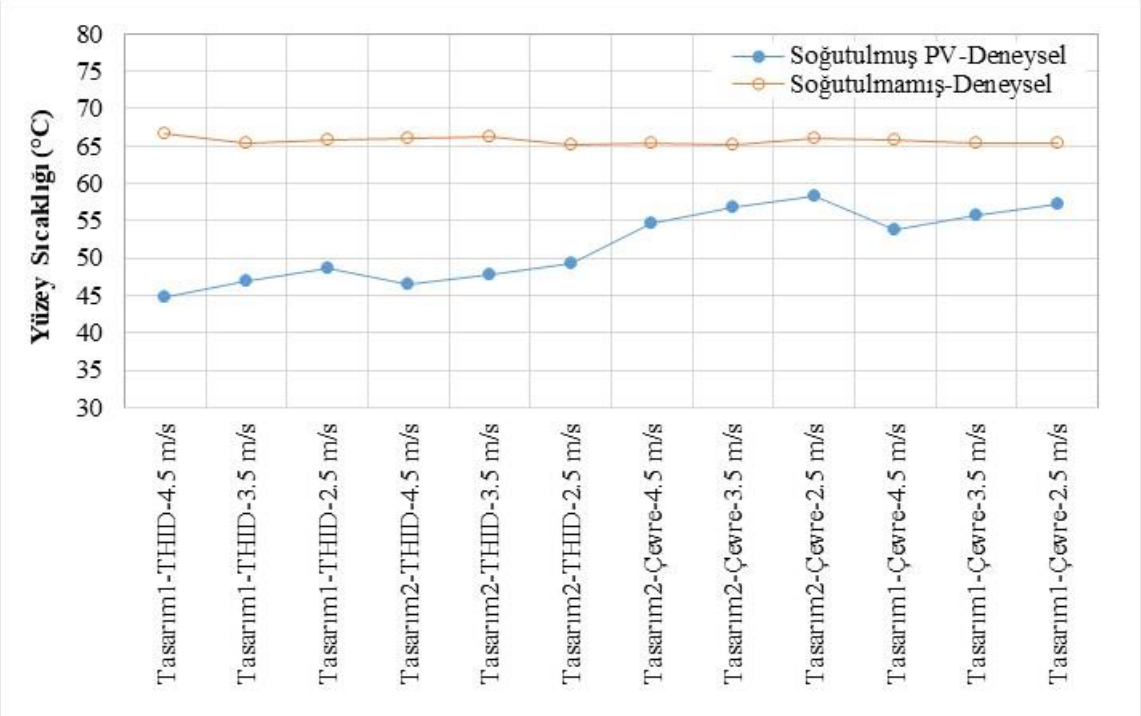
Soğutmalı ve soğutmasız çalışmalara ait tüm deneysel ve nümerik veriler, karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Verim parametresi değerlendirilirken referans alınan çalışma Deney 13'tür. Yani, bifacial PV panelin tek yüzeyli ve soğutmasız olarak kullanıldığı deney düzeneğidir. Deneysel olarak gerçekleştirilen soğutmalı çalışmalar arasından en verimli sonucu, soğutucu davlumbaz olarak Tasarım1'in kullanıldığı ve soğutma hızının 4.5 m/s olduğu sistem vermiştir. Soğutmasız olarak incelenen çalışmalar arasından en verimli sonucu ise bifacial PV panelin çift yüzeyli ve beyaz zemin üzerinde kurulduğu sistem vermiştir. En verimli soğutmalı ve soğutmasız çalışmalara ait değerler sırasıyla %18.42 ve %29.77'dir (Şekil 4.106).



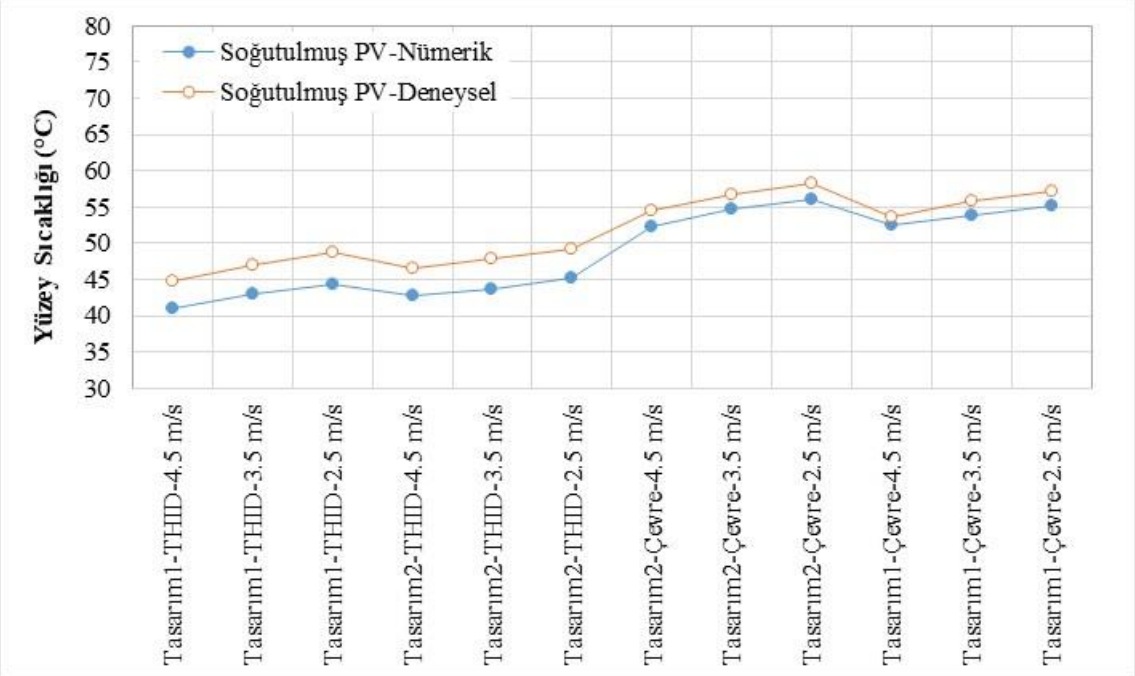
Şekil 4.106. Deneysel çalışmalara ait güç grafiği

Soğutma çalışmaları deneysel olarak incelendiğinde en verimli çalışmanın Deney 1 (Tasarım1-THID-4.5 m/s)'e ait olduğu görülmektedir. Bu deney düzeneğinde soğutulmayan panelin yüzey sıcaklığının 66.75 ℃, soğutulan panelin yüzey sıcaklığının ise 44.78 ℃ olduğu görülmektedir. Dolayısıyla, panel yüzey sıcaklığındaki bu düşüş oranı %49.06'dır (Şekil 4.107).



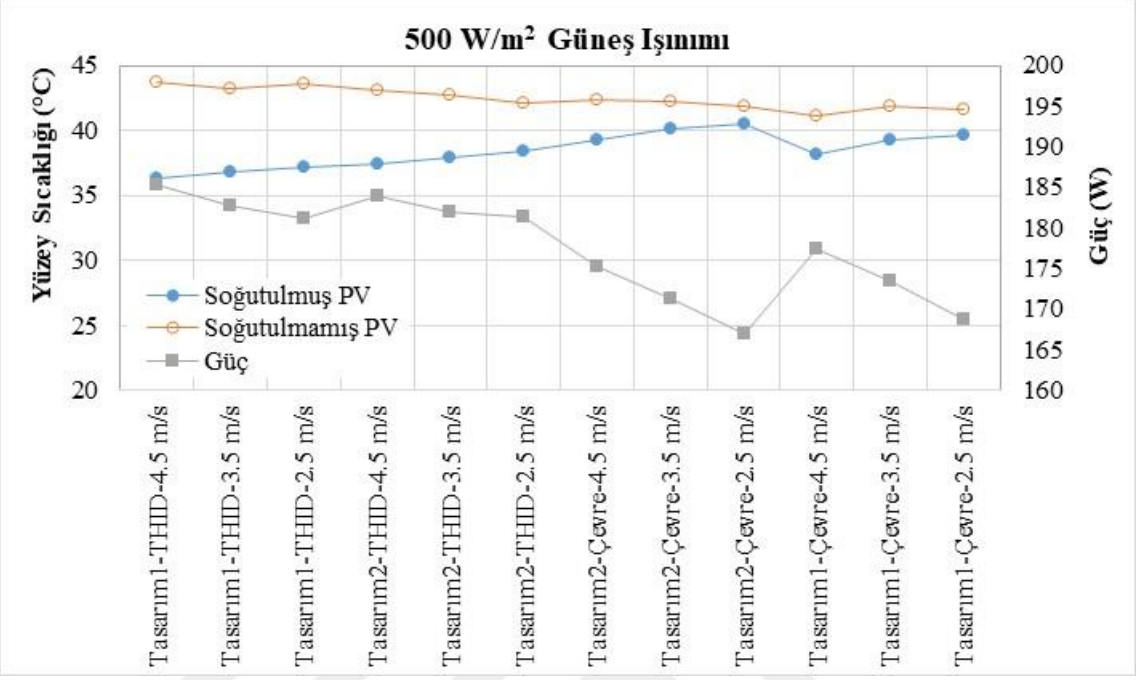
Şekil 4.107. Soğutulan ve soğutulmayan panellerde yüzey sıcaklığı grafiği (deneysel)

Şekil 4.108'de deneysel ve nümerik verilerin birbirlerine ne kadar yakınsadığı gösterilmiştir. Tüm çalışmalar incelendiğinde, nümerik verilerin deneysel verilerden sapma oranının %1.98 ile %8.89 arasında değiştiği görülmektedir. Sapma oranının en fazla yaşandığı çalışma Deney 3 (Tasarım1-THID-2.5 m/s), en az yaşandığı çalışma ise Deney 10'dur (Tasarım1-Çevre-4.5 m/s).



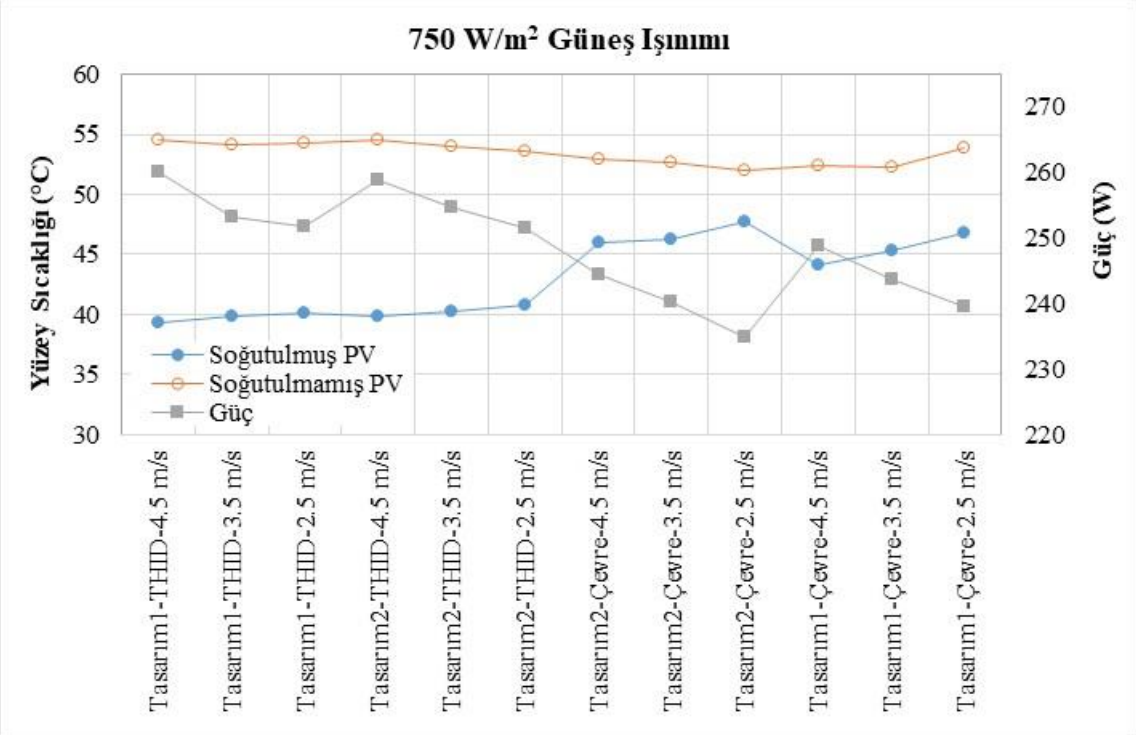
Şekil 4.108. Nümerik ve deneysel panel yüzey sıcaklıkları

Soğutma çalışmaları sonucunda, 500 W/m² ışınım şiddeti altında elde edilen PV panel güç verileri Şekil 4.109'da verilmiştir. Bu çalışma şartları baz alındığında en yüksek elektriksel değere 185.24 W ile Deney 1'de (Tasarım1-THID-4.5 m/s), en düşük değere ise 166.92 W ile Deney 9'da (Tasarım2- Çevre -2.5 m/s) ulaşılmıştır.



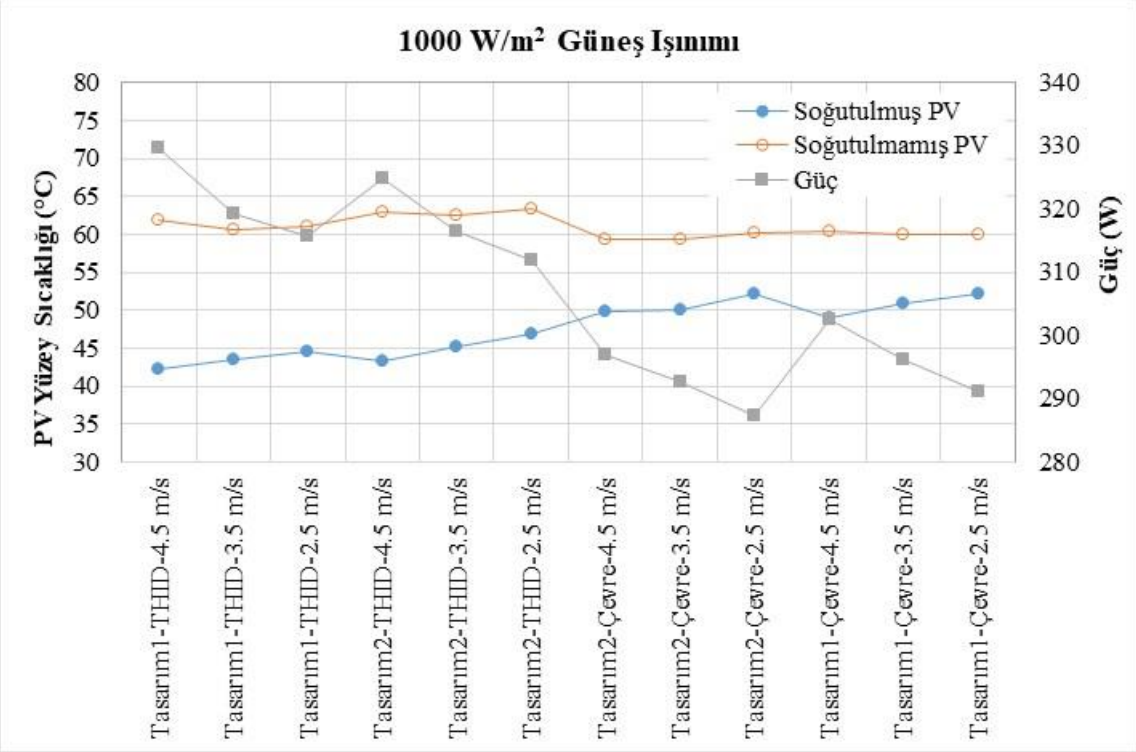
Şekil 4.109. Soğutmalı sistemlere ait 500 W/m^2 ışınım altından güç verileri

750 W/m² ışınım değerinde elde edilen güç değerleri Şekil 4.110'da gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde en düşük güç değerine 234.76 W ile Deney 9'da (Tasarım2-Çevre-2.5 m/s), en yüksek değere ise 260.12 W ile Deney 1'de (Tasarım1-THID-4.5 m/s) ulaşılmıştır.



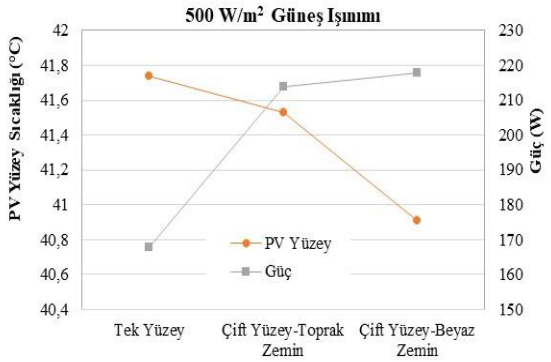
Şekil 4.110. Soğutmalı sistemlere ait 750 W/m^2 ışınım altından güç verileri

Şekil 4.111'de gösterilen grafik 1000 W/m²'lik ışınım şiddeti altında soğutulan PV panellerin güç değerlerini ve yüzey sıcaklıklarını göstermektedir. Ulaşılan değerler sonucunda en yüksek güç çıkışı 329.55 W ile Deney 1'de (Tasarım1-THID-4.5 m/s), en düşük ise 287.37 W ile Deney 9'dır (Tasasarım2-Çevre-2.5 m/s).



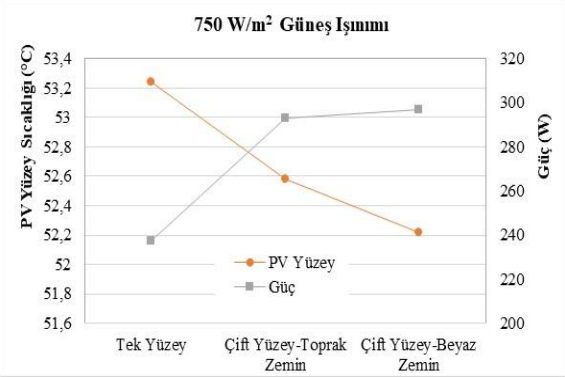
Şekil 4.111. Soğutmalı sistemlere ait 1000 W/m^2 ışınım altından güç verileri

500 W/m² ışınım şiddeti altında soğutulmayan PV panellere ait yüzey sıcaklık ve güç çıkış değerleri Şekil 4.112'de gösterilmiştir. Güç parametresi açısından en verimli sonuca, yüzey sıcaklık ortalaması 40.91 °C olan çift yüzeyli ve beyaz zemin (Deney 15) üzerinde kullanılan deney setinde ulaşılmıştır. Bu çalışma için ulaşılan güç değeri 217.73 W'tır.



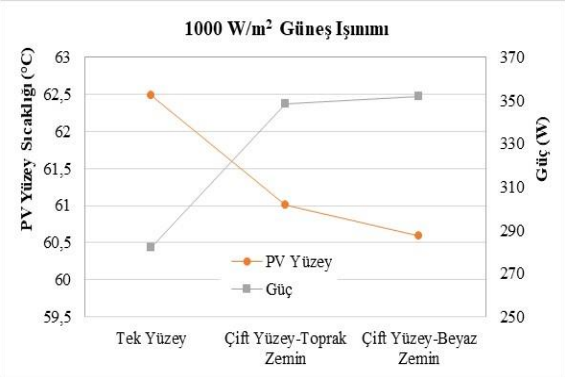
Şekil 4.112. Soğutmasız sistemlere ait 500 W/m^2 ışınım altından güç verileri

Solar radyasyonun 750 W/m² olduğu anda soğutmanın yapılmadığı deneysel çalışmalara ait verileriler Şekil 4.113'te gösterilmiştir. Veriler neticesinde en yüksek güç çıkışına çift yüzlü ve beyaz zemin (Deney 15) üzerinde kullanılan panelde ulaşılmıştır. Bu panel için yüzey sıcaklığı ortalaması 52.22 ℃ ve güç 296.81 W'tır.



Şekil 4.113. Soğutmasız sistemlere ait 750 W/m² ışınım altından güç verileri

Şekil 4.114'te 1000 W/m² ışınım altındaki PV panellerin güç ve yüzey sıcaklık değerleri verilmiştir. Tek yüzeyli (Deney 13) sistemin yüzey sıcaklık ortalaması 62.48 ℃ ve ürettiği güç 282.13 W'tır. Aynı çalışma şartları altında çift yüzlü ve beyaz zemin (Deney 15) üzerinde kullanılan panelin yüzey sıcaklık ortalaması ve güç değeri sırasıyla; 60.59 ℃ ve 351.92 W'tır.



Şekil 4.114. Soğutmasız sistemlere ait 1000 W/m² ışınım altından güç verileri

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında yüksek sıcaklık altında çalışan PV panel veriminin yüzey sıcaklığı ile değişimi araştırılmıştır. Araştırma neticesinde beklendiği gibi yüzey sıcaklığının panel verimine negatif olarak etki ettiği saptanmıştır. Yüzey sıcaklığını düşürmek için THID sistemi ve çevre havasıyla soğutma çalışmaları yapılmıştır. THID ile elde edilen bu soğuk hava farklı hızlarda ve çeşitli soğutucu davlumbazlar kullanılarak panel arkasına gönderilerek panel yüzey sıcaklığı düşürülmeye çalışılmıştır. THID sisteminden bağımsız olarak gerçekleştirilen bir diğer PV panel soğutma çalışması ise çevre havasının sadece fan kullanılarak doğrudan soğutucu davlumbaza gönderilmesidir. Deneysel ve Hesaplamalı akışkanlar Dinamiği (HAD) analiz çalışmalarının sonuçları aşağıda verilmiştir.

5.1. Sonuçlar

THID sisteminin kullanıldığı deneysel çalışmalarda en etkili soğutma verimine soğutucu davlumbaz olarak Tasarım1'in ve 4.5 m/s'lik soğutma hızının kullanıldığı sistemde ulaşılmıştır. Çalışmanın gerçekleştirildiği gün, dış ortam sıcaklığı 37.15 ℃, soğutucu davlumbaza gönderilen havanın sıcaklığı 28.27 ℃ ve solar ışınım şiddeti ise 1102.52 W/m² olarak ölçülmüştür. Bu çalışma şartları altında soğutulan PV panelin yüzey sıcaklık ortalaması 44.78 ℃, soğutulmayan PV panelin yüzey sıcaklık ortalamasının ise 66.75 ℃ olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Saat 13'te elde edilen bu veriler ışığında soğutulan panelin gücü 345.53 W olarak ölçülmüştür. Bu da elektriksel verimde %18.42'lik bir artış sağlandığını göstermektedir. Aynı soğutma sisteminin ve hızının kullanıldığı Tasarım2'de ise soğutulan panelin güç değeri 337.43 W olarak ölçülmüş ve buna bağlı olarak verimde %15.64 oranında bir artış sağlanmıştır.

Çevre havası ile soğutmanın yapıldığı çalışmalarda ise en verimli soğutma değerlerine yine davlumbaz olarak Tasarım1'in kullanıldığı sistemde deney setinde

ulaşılmıştır. Deney, 4.5 m/s soğutma hızında ve 37.05 ℃ dış ortam sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Çalışma neticesinde soğutulan ve soğutulmayan panellerin yüzey sıcaklık ortalamaları sırasıyla; 53.67 ℃ ve 65.73 ℃ olarak ölçülmüştür. Soğutma neticesinde elde edilen güç 329.91 W'tır. Bu değer verimde %13.06 artış sağlandığını göstermektedir. Aynı soğutma şartları altında Tasarım2'nin kullanıldığı sistemde ise verimde %11.53 artış sağlanmıştır.

Nümerik olarak gerçekleştirilen çalışmalarda ise deneyde kullanılan soğutucu davlumbazlara ek olarak Tasarım3 de kullanılmıştır. Analiz neticesinde, panel yüzey sıcaklığının en geniş ve homojen soğutma sağladığı modelin Tasarım1 olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Soğutucu davlumbaz içerisindeki basınç dağılımı açısından Tasarım1 ve Tasarım3 homojen dağılım gösterirken Tasarım2'de ise lokal olarak basınç artışları tespit edilmiştir. Basınç farklılığı soğutma kalitesini ve fan maliyetini doğrudan etkilediği için Tasarım2'nin soğutucu davlumbaz olarak kullanımının uygun olmayacağı belirlenmiştir. Panel yüzeyindeki soğutma performansının en homojen olarak dağıldığı çalışma hızı ise 7.5 m/s olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Soğutulmayan PV panel çalışmaları (Deney 13, Deney 14 ve Deney 15) neticesinde elektriksel olarak en yüksek güç değerlerin elde edildiği çalışmanın Deney 15 (Çift yüzlü ve beyaz zemin) olduğu sonucuna ulaşılmıştır Çift yüzlü (bifacial) PV panellerin kurulumunun gerçekleştirildiği zemin önem arz etmektedir. Çünkü her zeminin güneş ışınlarını yansıtabilirlik katsayısı birbirinden farklıdır. Bu tez çalışmasından elde edilen bulgular ışığında, bifacial PV panellerin beyaz zemin üzerinde kullanılması toprak zeminde kullanılmasına nispeten daha olumlu güç çıkışına olanak sağladığı sonucuna ulaşılmıştır.

Son olarak, farklı ışınım şiddetlerinin (500, 750 ve 1000 W/m^2) PV panel yüzey sıcaklıkları ve güç çıkış değerleri üzerindeki etkisinin incelenmesi neticesinde ışınım şiddetti düştükçe soğutulan ve soğutulmayan PV paneller arasındaki yüzey sıcaklarının ve

güç değerlerinin çok büyük farklar oluşturmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Soğutma çalışmalarının yüksek ışınım şartları altında daha etkili sonuçlar vereceği tespit edilmiştir.

Panel soğutmada kullanılan hava hızı artıkça panel yüzeyi ortalama sıcaklığının tüm soğutucu davlumbaz tasarımları için düştüğü tespit edilmiştir.

Soğutma çalışmaları neticesinde bifacial PV panellerin arka yüzünün soğutulması yerine çift yüzlü kullanımının daha verimli olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

5.2. Öneriler

Bu tez çalışması neticesinde; yüksek panel yüzey sıcaklığının, PV panel verimi üzerindeki olumsuz etkisinin yadsınamaz boyutta olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Özellikle yaz aylarında, Şanlıurfa gibi çevre sıcaklığının ülke genelinin üzerinde seyrettiği bölgelerde bu etki daha fazla hissedilmektedir. Bu sebeple, sıcaklığın PV panel üzerindeki etkisinin azaltılması için soğutma çalışmalarının yapılması gerekmektedir.

PV panel soğutmada THID sistemlerinden elde edilen soğuk havadan faydalanılabilir.

Isınının PV panelin tüm yüzeyinden alınması için arka yüzey üzerinden havanın homojen bir şekilde geçecek şekilde havanın gönderilmesi gerekir. Bunun için panelin altından veya yan kenarından lineer menfezler kullanılabilir. Havanın panel arakasına çeşitli şekillerde gönderilmesi ile ilgili çalışmalar yapılabilir.

PV panel soğutmasında, basınç kaybının düşük olduğu soğutucu davlumbaz tasarımlarının kullanılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

AJDER, A., 2011. Fotovoltaik güneş enerjisi sistemleri için optimum eğim açısının hesaplanması. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 68s.

AKAN, A. E. ve AKAL, D., 2021. Işınım, rüzgar hızı ve çevre sıcaklığının pasif soğutuculu fotovoltaik panel güç çıkışına etkisi. Trakya Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 22(2):65-72.

AKMAN, Ö., 2019. Fotovoltaik panellerde sıcaklığın elektriksel verime etkileri ve termal güç eldesi. Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Karabük, 87s.

ALKIŞ, M., 2020. Farklı akışkanlar ile pasif soğutmanın fotovoltaik (FV) panellerin parametrelerine etkileri. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Samsun, 65s.

ALTINIŞIK, U., 2016. Su soğutma ile fotovoltaik panellerin verimliliğinin arttırılması. Siirt Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Siirt, 48s.

ALTINKÖK, S., 2021. Giresun üniversitesi mühendislik fakültesi ihtiyaçlarına uygun fotovoltaik sistem tasarımı ve analizi. Giresun Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Giresun, 74s.

ARSLAN, İ., 2018. Tekirdağ koşullarında polikristal ve monokristal tip pv güneş panellerinin verimlilik karşılaştırılması. Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ, 40s.

BAYAT, M., 2016. Silikon tabanlı polikristal bir güneş panelinin Karabük iklim koşullarında enerji ve ekserji analizi. Karabük Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 142s.

BAYRAK, F., 2017. Fotovoltaik panellere bütünleştirilmiş farklı pasif yöntemlerin sistem verimliliğine etkisinin sayısal ve deneysel analizi. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Elazığ, 155s.

BİLEN, K., IŞIK, B., GEZER S. ve KIYIK F., 2021. Hava soğutmalı fotovoltaik panellerde kanatçık tipinin soğutmaya etkisinin teorik olarak incelenmesi. Journal of Polytechnic, 25(2): 711-722.

BOZTEPE, M., 2017. Fotovoltaik güç sistemlerinde verimliliği etkileyen parametreler. EMO İzmir Şubesi Aylık Bülteni, 321:13-17.

BROWNE, M. C., Norton, B. and MCCORMACK, S. J., 2015. Phase change materials for photovoltaic thermal management. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 47:762-82.

BULUT, H., DEMİRTAŞ, Y., İŞIKER, Y. ve İLKHAN, M. A., 2017. Fotovoltaik panellerin verimliliğini toprak-hava ısı değiştirici sistemi ile arttıran deneysel bir çalışma. ICESE 17 2-4 Kasım.

ÇAKIR, A. ve ONAY, E., 2021. Fotovoltaik panellerin verimliliğinin arttırılmasında su soğutmalı otomasyon sistemi uygulaması: Antalya örneği. Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi. 13(1): 23-33.

ÇARKIT, T. ve ALÇI, M., 2017. Fotovoltaik (PV) panellerde sıcaklık etkisinin incelenmesi. 36. Enerji Verimliliği Haftası: 8. Enerji Verimliliği Forumu ve Fuarı.

CEYLAN, İ. ve GÜREL, E., 2022. Güneş enerjisi sistemleri ve tasarımı. 3. Baskı. Dora Yayınları.

CRACKER, H. 2015. Engineers invent clear coating that boost solar cell efficiency by cooling them, 6s.

DELİBAŞ, H. M., 2021. Yenilikçi bir tasarım ile birlikte fotovoltaik panel verimliliğinin arttırılması. Karabük Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Karabük, 167s.

DEMİR, H. B., 2019. Güneş takip sistemlerinde panel sıcaklığının enerji üretimine etkisi. Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya, 60s.

DEMİRTAŞ, Y., 2016. Toprak hava ısı değiştiricisi performansına etki eden parametrelerin deneysel olarak incelenmesi. Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Şanlıurfa, 126s.

DEMİRTAŞ, Y., 2022. Bir mahalin fotovoltaik ve toprak hava ısı değiştirici destekli hava kaynaklı ısı pompası ile iklimlendirilmesi. Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Şanlıurfa, 152s.

DURDAĞI, A., 2019. Effect of temperature on photovoltaic panel efficiency. Gaziantep Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Gaziantep, 58s.

EKO, 2023. I-V measurement instruments mp-11 portable i-v checker. https://www.eko-instruments.com/in/categories/products/iv-measurement-instruments/mp-11-portable-i-v-checker Erişim Tarihi: 25.01.2023

ELBREKI, A. M., ALGHOUL, M. A., SOPIAN, K. and HUSSEIN, T., 2017. Towards adopting passive heat dissipation approaches for temperature regulation of PV module as a sustainable solution. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 69:961-1017.

ENERJİMAR, 2023. Lexron 185 Watt monokristal güneş paneli. https://enerjimar.com/lexron-185-watt-monokristal-gunes-paneli Erişim Tarihi: 25.01.2023

ERGENE, M. 2021. Fotovoltaik termal (FV/T) sistemlerde nanoakışkanlı ısı borusu ve faz değiştiren madde (FDM) kullanımının deneysel olarak araştırılması. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ, 60s.

ERKAN, O., ÖZKAN, M. ve ARSLAN O., 2018. Mini kanal ile fotovoltaik hücre soğutma. International Journal of Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies, 2(2):34-38.

EROL, H., 2021. Su soğutmalı fotovoltaik sistemin performans analizi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 4(2):142-48.

ERTÜRK, G., 2018. Enerji depolamalı fotovoltaik güneş panellerinde gölgelendirmenin enerji ve ekserji verimliliği üzerine etkisinin araştırılması. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ, 90s.

FANSAN, 2023. Fansan TKF 160 radyal fan yuvarlak kanal tipi aspiratörler TKF 160. https://www.trendyol.com/fansan/tkf-160-radyal-fan-yuvarlak-kanal-tipi-aspiratorler-p-65158820 Erişim Tarihi: 25.01.2023

FAYAZ, H., RAHIM, N. A., HASANUZZAMAN, M., NASRIN, R. and RIVAI A., 2019. Numerical and experimental investigation of the effect of operating conditions on performance of PVT and PVT-PCM. Renewable Energy, 143:827-41.

FOUAD, M. M., SHIHATA, L. A. and MORGAN, E. I., 2017. An ıntegrated review of factors ınfluencing the perfomance of photovoltaic panels. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 80:1499-1511.

GEPA, 2022. Enerji İşleri Genel Müdürlüğü güneş enerjisi potansiyeli atlası. https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/pages/63.aspx Erişim tarihi: 08.01.2022.

GRUBİŠİĆ-ČABO, F., NİŽETİĆ, S. and MARCO, T. G., 2016. Photovoltaic panels: a review of the cooling techniques. Transactions of Famena XL, (Special Issue 1):63-74.

HASAN, A., MCCORMACK, S. J., HUANG, M. J. and NORTON, B., 2014. Energy and cost saving of a photovoltaic-phase change materials (PV-PCM) system through temperature regulation and performance enhancement of photovoltaics. Energies, 7:1318-31.

HAU, E., 2013. Wind turbines: fundamentals, technologies, application, economics. 3rd Edition. Berlin: Springer Science & Business Media.

KABUL, A. ve YAŞAR, E., 2017. Fotovoltaik/termal (PV/T) hibrit sistemlerin soğutma tekniklerinin deneysel olarak incelenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi, 9(1): 17-32.

KARAKAYA, H. ve ŞEN, İ. E., 2019. Fotovoltaik panellerde verim iyileştirme yöntemleri. Academic Perspective, 2(3):1179-88.

KAYABAŞI, R., 2021. Fotovoltaik modüllerde yüzey sıcaklığının modül verimliliğine etkisi. Artıbilim: Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 4(1): 1-13.

KAYABAŞI, R. ve KAYA, M., 2019. Fotovoltaik modüllerin atık ısılarından termoelektrik jeneratör ile elektrik üretimi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (16):310-24.

KAYABAŞI, R. ve KAYA, M., 2020. Fotovoltaik modüllerde faz değiştiren madde kullanımı ve verimlerine etkisi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji, 8(2):262-78.

KEREM, A., ATİK, M. ve BAYRAM, A., 2020. Fotovoltaik (PV) panel sisteminde yüzey soğutma işleminin elektrik üretimine etkisinin deneysel incelenmesi. Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, 12(2): 565-78.

KIZILKAN, Ö., 2017. Arkadan su soğutma ile fotovoltaik panellerin verimliliğin arttırılması. Siirt Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Siirt, 68s.

KÜLEKÇİ, Ö. C., 2009. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında jeotermal enerjinin yeri ve Türkiye açısından önemi. Ankara Üniversitesi Çevrebilimleri Dergisi, 1(2): 83-91.

KURŞUN, B., ÖKTEN, K. ve DEDE, G., 2016. Fotovoltaik güneş panellerinin sıvıya daldırma yöntemi ile soğutulmasında kanal geometrisi ve panel konumunun etkisi. Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Dergisi, 31(ÖS2): 135-142.

LANZAFAME, R., NACHTMANN, S., ROSA-CLOT, M., ROSA-CLOT, P., SCANDURA, P. F., TADDEI, S. and TINA. G. M., 2010. Field experience with

performances evaluation of a single-crystalline photovoltaic panel in an underwater environment. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 57(7): 2492-2498.
LUMOSKARAVAN, 2023. Apex polikristal güneş paneli. https://karavanmalzemeleri.com.tr/products/polikristal-gunes-paneli Erişim Tarihi: 25.01.2023
MOHANRAJ, M., CHANDRAMOHAN, P., SAKTHIVEL, M. and KAMARUZZAMAN, S. (2019). Performance of photovoltaic water pumping systems under the influence of panel cooling. Renewable Energy Focus, 31: 31-44.
MASTERS, G. M., 2004. Renewable and efficient electric power systems.
MATERIALDISTRICT, 2023. Innovatıon: thin film solar cells at mx2016 1. https://materialdistrict.com/article/innovation-thin-film-solar-cells-at-mx2016/innovation-thin-film-solar-cells-at-mx2016-1/ Erişim Tarihi: 25.01.2023
MAZÓN-HERNÁNDEZ, R., GARCÍA-CASCALES, J. R., VERA-GARCÍA, F., KÁİSER, A. S. and ZAMORA, B., 2013. Improving the electrical parameters of a photovoltaic panel by means of an induced or forced air stream. International Journal of Photoenergy, 2013:830968.
MORADGHOLI, M., NOWEE, S. M. and ABRISHAMCHI, I., 2014. Application of heat pipe in an experimental ınvestigation on a novel photovoltaic/thermal (PV/T) system. Solar Energy, 107:82-88.
ALİ, M. and KOÇ, İ., 2021. Phase change material (PCM) effect on photovoltaic performance of solar panels. AURUM Mühendislik Sistemleri ve Mimarlık Dergisi, 5(2):211-223.
NİŽETİĆ, S., ČOKO, D., YADAV, A. and GRUBİŠİĆ-ČABO, F., 2016. Water spray cooling technique applied on a photovoltaic panel: the performance response. Energy Conversion and Management, 108:287-296.
ÖMEROĞLU, G., 2018. Fotovoltaik-termal (PV/T) sistemin sayısal (CFD) ve deneysel analizi. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 30 (1): 161-167.
OSTA, M. H., 2020. Fotovoltaik sistemlerde sprey soğutmanın deneysel ve sayısal analizi. Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Erzurum 105s.
ÖZAKIN, A. N. and KAYA F., 2019. Effect on the exergy of the pvt system of fins added to an air-cooled channel: a study on temperature and air velocity with ANSYS fluent. Solar Energy, 184:561-69.
ÖZTÜRK, H. H., 2021. Yenilenebilir Enerji Kaynakları. İstanbul: Birsen Yayınevi.
ÖZTÜRK, H. H., 2019. Güneş enerjisinden fotovoltaik yöntemle elektrik üretiminde güç dönüşüm verimi ve etkili etmenler. Elektrik Tesisat Ulusal Kongre ve Sergisi Bildirileri, 1-14.
ÖZTÜRK, H. ve KAYA, D., 2019. Güneş enerjisinden elektrik üretimi: fotovoltaik teknoloji. 2. Baskı. Umuttepe Yayınları.
PHAYOM, W., 2013. Improvement of photovoltaic module for increasing energy conversion efficiency. Applied Mechanics and Materials, 448-453:1428-32.
POPOVICI, C. G., HUDISTEANU, S. V., MATEESCU, T. D. and CHERECHES N. C., 2016. Efficiency ımprovement of photovoltaic panels by using air cooled heat sinks. Energy Procedia, 85:425-432.
SAĞLAM, M., SULUKAN, E. and UYAR, T. S., (2010). Wave energy and technical potential of Turkey. Journal of Naval Sciences and Engineering, 6 (2): 34-50.

SARKIN, A. S., 2022. Fotovoltaik panellerde verim artırıcı nano yapılı kaplamalar. Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, 144s.

SMARTSOLAR, 2023. Bifacial half-cut big cell panel 395-405W. https://www.smartsolar.com.tr/gp-bifacial-bigcell-halfcut-panel.html Erişim tarihi: 25.01.2023

ŞEN, İ. E., 2019. Fotovoltaik panellerde faz değiştiren madde kullanımının verim üzerine etkisinin deneysel olarak araştırılması. Batman Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Batman, 44s.

SIECKER, J., KUSAKANA, K. and NUMBI, B. P., 2017. A review of solar photovoltaic systems cooling technologies. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 79: 192-203.

TEİAŞ, 2022. Santral kurulu güç raporları. https://www.teias.gov.tr/kurulu-guc-raporlari Erişim Tarihi: 23.01.2023

TESTONE, 2023. Hioki lr 8402-20 çok amaçlı 30 kanallı datalogger. https://www.testone.com.tr/urunler/16-data-loggerlar/cok-amacli-memory-hicorderlar/hioki-lr-8402-20-cok-amacli-30-kanalli-datalogger/ Erişim Tarihi: 25.01.2023

TESTTEKNİK, 2023. testo 885 x1 Termal Kamera https://www.testteknik.com/urun/testo-885-x1-termal-kamera/ Erişim Tarihi: 25.01.2023

THOMAS, R. and FORDHAM, M., 2003. Photovoltaics and architecture. London and New York: Spon Press, Taylor and Francis Group.

ÜRPER, O., 2014. Tek duvarlı karbon nanotüplerin organik güneş pillerinde elektrot malzemesi olarak kullanılması. İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 100s.

VURAN, S., 2022. Buhar sıkıştırmalı klasik soğutma sistemi kullanarak PV sistemlerin soğutulması ve verim analizi. Batman Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Batman, 97s.

WILEY, J. and SONS. 2003. Handbook of Photovoltaic Science and Engineering.

YAVER, S., 2020. Hatay iklim koşullarında fotovoltaik modül yüzey sıcaklığının modül verimine etkisinin belirlenmesi. Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Hatay, 63s.

YEGM, 2022. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Enerji İşleri Genel Müdürlüğü. https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-gunes Erişim tarihi: 08.01.2022.

YILANCI, A., 2019. Termoelektrik etki ile soğutulan bir fotovoltaik panelin performansının analizi. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 35(2).

ZHAO, B., HU, M., AO, X. and PEI, G., 2018. Performance analysis of enhanced radiative cooling of solar cells based on a commercial silicon photovoltaic module. Solar Energy, 176:248-255.