



**GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİNDE
NANOAKIŞKAN KULLANIMININ İNCELENMESİ**

İsa ÇİÇEK

**2021
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Emrah DENİZ**

**GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİNDE NANOAKIŞKAN KULLANIMININ
İNCELENMESİ**

İsa ÇİÇEK

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Emrah DENİZ**

**KARABÜK
Ekim 2021**

İsa ÇİÇEK tarafından hazırlanan “GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİNDE NANOAKIŞKAN KULLANIMININ İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Emrah DENİZ

.....

Tez Danışmanı, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 25/10/2021

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Emrah DENİZ (KBÜ)

.....

Üye : Prof. Dr. Suat SARIDEMİR (DÜ)

Online

Üye : Doç. Dr. Mustafa KARAGÖZ (KBÜ)

.....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

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

İsa ÇİÇEK

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİNDE NANOAKIŞKAN KULLANIMININ İNCELENMESİ

İsa ÇİÇEK

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Emrah DENİZ

Ekim 2021, 140 sayfa

Bu çalışmada, fotovoltaik (PV) güneş enerji sistemlerinde panellerin elektrik verimliliğini artırabilmek amacıyla PV yüzeyinin soğutulmasında kullanılan aktif ve pasif soğutma yöntemleri üzerine literatür araştırmaları yapılmış ve son yıllarda aktif olarak yapılan bilimsel çalışmalarda kullanılan Al_2O_3 , Ag, Fly Ash gibi metal veya metal oksitlerin su ile süspansiyonu ile elde edilen nanoakışkanların PV/T panellerde kullanımının elektriksel ve ısı verim üzerine etkileri ansys 2021 R1 academic versiyona sahip mühendislik programı yardımıyla detaylıca simüle edilmiştir. CAD ortamında tasarımı yapılan polikristal yapıdaki 65W nominal güçteki PV'nin arka panel yüzeyine doğrudan akışlı bakır borulu kollektör laminasyonu sağlayacak şekilde yerleştirilmiştir. ansys programı ile geometriye aktarılan cam tabaka, PV, EVA, PVF, absorber plaka ve kollektör malzemelerinin fiziksel özellik atamaları engineering data modülü ile yapılmıştır. Mesh, tüm yapı için çoklu küçük element ve nodül parçacıklarına ayrılmıştır. Simülasyon sonucu elde edilecek olan verilerin

güvenilirliğini kontrol edebilmek amacıyla, deneysel çalışma Türkiye, Karabük ilinde kurulmuştur. Elde edilen yüzey sıcaklıkları, maksimum elektrik ve ısı verimlilikleri kıyaslanmıştır.

Çözümlemenin birinci aşamasında, PV'nin soğutma olmaksızın steady state termal modülü ile belli güneş ışınım şiddeti altında ve rüzgâr hızında min.-max. yüzey sıcaklık verileri termal kamera görüntüleri ve ansys sonuçları ile görsel ve sayısal olarak elde edilmiştir. İkinci aşamada ise, mesh, hem steady state termal için hem de fluent için ayrı ayrı uygulanmış ve fluent modülünde tasarımın giriş, çıkış ve katı-sıvı temas yüzeyleri atanmıştır. Fluent içeriğinde saf su ve nanoakışkan kullanılan simülasyonlarda farklı çalışma sıvıları belirlenmiş ve aynı hacimsel oranlarda simülasyonları yapılmış ve test sonuçları panel yüzey sıcaklığı değişimleri grafikler yardımı ile kıyaslanmıştır. Bazı varsayımlar gereği, steady state termal modülü içeriğinde tasarımın PV yüzeyi normale dik olacak şekilde sabit güneş ışınım şiddeti uygulanmış, ortam sıcaklığı sabit tutularak PV ve PV/T'nin rüzgâr kaynaklı ortama açılan tüm yüzeyleri için ısı taşınımından kaynaklı enerji kaybı olduğu belirtilmiştir. Min., max. ve ortalama PV panel yüzey sıcaklıkları çözümlerinin ardından sayısal olarak elde edilmiştir. Çalışmada momentumun, enerjinin ve kütle korunumu denklemleri CFD, ansys arayüzü ile uygulanmıştır. Akış rejimi, Reynolds hesaplamaları ile tanımlanmıştır. Tüm tasarıma ait verileri, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) ile çözümlenebilmek için system coupling modülü çalıştırılmış ve fluent ve steady state termal modülleri birleştirilmiştir. Çözüm verileri için response surface modülünde giriş ve çıkış akışkan sıcaklıkları, kütleli debi, çevre sıcaklığı ve güneş ışınım şiddetine bağlı parametrik verilerinin 2 boyutlu grafiğe aktarımı sağlanmıştır. Çalışmanın son aşamasında ise, sistemin ısı ve elektriksel verimleri ölçülmüş ve kıyaslanmıştır.

Deneysel ve simülasyon çalışmalarında elde edilen verilere göre PV/T için nanoakışkan kullanımının, PV ve saf su kullanılan PV/T sistemine göre daha yüksek elektriksel verimliliği sağladığı sonucuna varılmıştır.

Anahtar Sözcükler : Nanoakışkan, PV/T panel, ansys cfd hesaplamaları, ansys fluent ve steady state thermal modülleri, Soğutma, Al₂O₃, Ag, Fly Ash.

Bilim Kodu : 91408

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

INVESTIGATION OF USING NANOFLUID IN SOLAR SYSTEMS

İsa ÇİÇEK

Karabük University

Institute of Graduate Programs

Department of Mechanical Engineering

Thesis Advisor:

Prof. Dr. Emrah DENİZ

October 2021, 140 pages

In this study, it was investigated about the usage of the active and passive cooling method of decreasing PV surface temperature on literature investigations to enhance the electrical power efficiency of PV solar panel system and in the last years the nanofluid has been created by blending with water and the metal or metal oxide compounds such as Al_2O_3 , Ag, Fly Ash have been actively used in the scientific studies, was simulated by means of using the Ansys 2021 r1 academic engineering software. The PV panel which was designed its structure by means of CAD designation module, has got a 65W nominal power output and the direct flow-shaped copper tubes collector, was added in its back surface providing the lamination of surface.. Glass cover, PV cell, EVA, PVF, absorber plate and tube collector were applied by Ansys geometry design module program and their thermo-physical property values were assigned by Engineering data module. Mesh was divided as multiple as elements and nodes via small finity elements method for whole structure.

To make double checking the simulation and the experimental data that were obtained with PV and PV/T, an experimental work was performed in Karabuk, Turkey. Obtained data as average PV cell surface temperatures, maximum generating power point of electricity and efficiencies were compared for PV and PV/T.

In the first stage of the study, the data min., max. and average temperatures of the PV surface which is based on solar heat flux and wind speed, was acquired by steady state thermal without any cooling. In the second stage of the study, mesh was applied for both steady state thermal and fluent modules, respectively and inlet and outlet solid-liquid contact surface were assigned. Also, the fluent was defined in the simulations applying with soften water and nanofluid which is used as some different working fluids and the simulation was done and then, the results and altering the surface temperatures were compared with the help of graphics. In accordance with some assumptions, it was applied that solar heat flux was constant value onto the perpendicular of PV surface, and it was pointed out that there was heat loses based on the heat convection coefficient of wind surrounding the PV outer surface in the event that ambient temperature was to be constant. Min, max and average surface temperature values were provided as a numerical output on CFD. In this study, momentum, energy equation and conservation of mass were applied on CFD simulation made by ANSYS interface. Laminar flow was selected and done its calculations by CFD. For all designation data, fluent and steady state thermal modules were combined under the system coupling. Then, it was provided that some of the values such as inlet and outlet fluid temperatures, mass flow rate, ambient temperature, solar heat flux, inlet flow temperature which were added to 2-D graphics based on the input and output parameters, vice versa in response surface module. In the last stage, electrical and thermal efficiency tables and graphics were created and compared each other. The results showed us nanofluid usage means that gain the useful thermal energy and enhance the electrical output. In accordance with obtained data from these experimental and simulation studies, the usage of nanofluids for PV/T, was concluded to enhancing the electrical efficiency comparing with non-cooled PV and soften water-used PV/T.

Key Word : Nanofluid, PV/T panel, ansys CFD calculation, ansys fluent and steady state thermal modules, cooling, Al_2O_3 , Ag, Fly Ash.

Science Code : 91408

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında Őekillendiren sayın danışman hocam Prof. Dr. Emrah DENİZ'e ve tez aşamasında bu çalışmama önemli katkılar sağlayan sayın hocam Doç. Dr. Mustafa KARAGÖZ'e sonsuz teŐekkürlerimi sunarım.

Sevgili anneme, babama, kardeşlerime ve eşimin ailesine, ayrıca eşim Kübra iğdem'e ve kızım Beyza Hüma'ya manevi hiçbir yardımı esirgemedен yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vii
TEŞEKKÜR.....	x
İÇİNDEKİLER	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xvi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xxii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xxiii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ VE AMAÇ	1
1.1. GİRİŞ	1
1.2. AMAÇ.....	2
BÖLÜM 2	4
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	4
2.1. PV/T (FOTOVOLTAİK TERMAL) GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİNDE YAPILMIŞ DENEYSSEL VE TEORİK ÇALIŞMALAR	4
2.2. PV/T GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİNDE HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ (HAD) METODU İLE YAPILMIŞ ARAŞTIRMA ÇALIŞMALARI	7
BÖLÜM 3	20
FOTOVOLTAİK (PV) TEKNOLOJİSİ	20
3.1. FOTOVOLTAİK (PV) NEDİR?	20
3.2. PV PANEL PERFORMANSINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER	22
3.2.1. Güneş Pilleri Yapı Malzemesi	22
3.2.1.1. Mono Kristal Silikon Güneş Pilleri.....	22

	<u>Sayfa</u>
3.2.1.2. Poli Kristal Silikon Güneş Pilleri	22
3.2.1.3. Amorf Silisyum Güneş Pilleri	23
3.2.1.4. Galyum Arsenit (GaAs) Güneş Pilleri	23
3.2.1.5. Kadmiyum Tellürid (CdTe) Güneş Pilleri	23
3.2.1.6. Bakır İndiyum Diselenid (CuInSe ₂) Güneş Pilleri	24
3.2.1.7. Optik Yoğunlaştırıcılı Güneş Pilleri	24
3.2.2. Güneş Işınımı	24
3.2.2.1. Güneş Işınımına Bağlı Akım-Gerilim Değişimi	24
3.2.3. Kirlilik	25
3.2.4. Gölgeleme	26
3.2.5. Nemlilik	26
3.2.5.1. Sıcaklık Ve Buna Bağlı Olarak Akım-Gerilim Değişimi	26
3.3. PV/T PANEL TEKNOLOJİSİ	28
BÖLÜM 4	32
PV SOĞUTMA TEKNİKLERİ	32
4.1. AKTİF SOĞUTMA TEKNİKLERİ	32
4.1.1. Hava Soğutmalı Sistemler	32
4.1.2. Sıvı Sprey Uygulanarak Soğutma Yapılan Sistemler	34
4.1.3. Aktif Sıvı Soğutmalı Sistemler	35
4.2. PASİF SOĞUTMA TEKNİKLERİ	38
4.2.1. Kılcallık Etkisi ve Fital Yapılı Soğutma Teknikleri	38
4.2.2. Faz Değişim Malzemeli (FDM) Soğutma Tekniği	39
4.2.3. Işıma (Radyasyon) Tabanlı Soğutma Tekniği	41
4.2.4. Isı Boruları, Termosifon Ve Atımlı (Pulsating) Termosifon Kullanılan Soğutma Sistemleri	44
4.2.4.1. Isı Borusu Nedir?	44
4.2.4.2. Termosifon Nedir?	45
4.2.4.3. Atımlı (Pulsating) Isı Borusu Nedir?	46

	<u>Sayfa</u>
Kritik Kılcallık Çap Seçimi (d_{cir})	48
Isı Transferin Temelleri.....	50
BÖLÜM 5	52
NANOTEKNOLOJİ VE NANOAKIŞKAN	52
5.1. NANOAKIŞKANLAR.....	53
5.1.1. Yukarıdan Aşağıya Doğru Üretim.....	54
5.1.2. Aşağıdan Yukarıya Doğru Üretim.....	55
5.2. NANOAKIŞKANIN HAZIRLANMASI.....	57
5.2.1. Tek Adım Yöntemi	57
5.2.2. İki Adım Yöntemi	57
5.3. NANOAKIŞKANIN KARARLILIĞI (STABİLİZASYON)	58
5.4. NANOAKIŞKANLARIN TERMOFİZİKSEL ÖZELLİKLERİ	59
5.4.1. Isıl İletkenlik	59
5.4.2. Nanopartiküllerin Hareketi	59
5.4.3. Sıvı-Katı Yüzeyindeki Katmanı.....	59
5.4.4. Nanopartiküllerin Isı Taşıma Yapısı.....	59
5.4.5. Isı Taşıma Yapısı	60
5.4.6. Isıl iletkenliği Etkileyen Faktörler	60
BÖLÜM 6	66
MATERYAL VE METOT	66
6.1. GİRİŞ.....	66
6.2. PV VE PV/T DENEY DÜZENEKLERİNİN OLUŞTURULMASI.....	67
6.2.1. PV/T Sistem Elemanları	67
6.2.2. PV Ve PV/T Deneysel Sistemin Optimum Yerleşim Eğim Açısı	71
6.3. HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ (CFD)	72
6.3.1. CFD Akışkanlar İçin Korunum Denklemleri.....	72
6.3.2. Sayısal Modelleme ve PV/T Enerji Korunum Denklemleri	73

	<u>Sayfa</u>
6.3.3. Akış Rejimi Ve Modelleme	75
6.4. PV/T İÇİN HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ (HAD).....	77
6.4.1. PV/T İçin Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) Yöntemi ve Tasarımı	77
6.4.1.1. Model Simülasyon Örneği	77
6.4.1.2. CAD (Bilgisayar Destekli Tasarım) Ortamında Modelin Tasarımı	79
6.4.1.3. Geometri Tanımlamaları ve MESH Oluşturma	80
6.4.1.4. Simülasyon Sınır Şartları Ve Varsayımlar	82
6.4.2. PV/T Matematik Modeli Performansı	83
6.4.2.1. Matematiksel Isıl Verimlilik Denklemleri	83
6.4.2.2. Matemaiksel Elektrik Verimlilik Denklemi.....	85
BÖLÜM 7	87
DENEY VE ANALİZ SONUÇLARI	87
7.1. GİRİŞ.....	87
7.2. AKIŞ REJİM ANALİZİ	88
7.3. DENEYSEL ÇALIŞMALARDAN ELDE EDİLEN VERİLER	88
7.4. ANSYS SİMÜLASYON VE DENEY VERİLERİNİN KIYASLANMASI.	97
7.5. NANOAKIŞKAN KULLANILARAK PV/T ANSYS SİMÜLASYON VERİLERİNİN TÜRETİLMESİ	100
7.6. AL ₂ O ₃ -SAF SU NANOAKIŞKANIN KULLANILDIĞI PV/T ANSYS SİMÜLASYONUNDA ISIL VE ELEKTRİKSEL VERİMLERİ.....	107
7.7. TÜM ÇALIŞMANIN ISIL VE ELEKTRİKSEL VERİM SONUÇLARI...	117
BÖLÜM 8	119
DEĞERLENDİRMELER VE ÖNERİLER	119
KAYNAKLAR	122
EK AÇIKLAMALAR A.	130

	<u>Sayfa</u>
EK AÇIKLAMALAR B.	132
EK AÇIKLAMALAR C.	134
EK AÇIKLAMALAR D.	136
EK AÇIKLAMALAR E.	138
ÖZGEÇMİŞ	140

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1.	Aktif Soğutma sistemi PV ve kollektör modeli [17].....	8
Şekil 2.2.	PV/T Ansys simülasyon sonrası sıcaklık dağılımı [17].	9
Şekil 2.3.	PV/T su-nanoakışkan kullanılarak elektriksel ve ısı verim dağılım grafiği [18].....	9
Şekil 2.4.	a) Su kullanılarak soğutulan, b) sadece nanoakışkan kullanılarak PV yüzeyinin sıcaklık (K) dağılımı [18].	10
Şekil 2.5.	PV'nin 900 W/m^2 güneş ışınım değerinde soğutma olmaksızın yüzeydeki sıcaklık (K) dağılımı [20].	11
Şekil 2.6.	900 W/m^2 Güneş ışınımında 66 L/h debideki kollektör boru yüzeyinin sıcaklık (K) dağılımı [20].	11
Şekil 2.7.	Kollektör absorber metal yüzeyde ve borularda sıcaklık (K) dağılımı [21].	12
Şekil 2.8.	Mesh dağılımı [21].	13
Şekil 2.9.	PV/T katmanlar arası sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$) dağılımı [22].	13
Şekil 2.10.	PV/T farklı kollektör geometrileri arasındaki sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$) dağılımı [23].	14
Şekil 2.11.	PV/T üç boyutta sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$), akış debisi, kollektör giriş suyu sıcaklık dağılımı response surface grafiği [28].....	16
Şekil 2.12.	a) PV/T Kollektör çıkış suyu sıcaklığının (K)-akış hızına göre değişimi grafiği, b) Absorber plaka sıcaklığının (K)-akış hızına göre değişim grafiği [90].....	17
Şekil 2.13.	a) PV/T Kollektör çıkış nanoakışkan sıcaklık dağılımı, b) Absorber plaka sıcaklık dağılımı [90].	17
Şekil 2.14.	Gül. M. vd., Deneysel çalışma şeması [94].....	18
Şekil 2.15.	Pang.W. vd., deneysel çalışma şeması [95].	19
Şekil 3.1.	PV Solar Hücrenin teknolojik iç yapısı [29].	20
Şekil 3.2.	PV Bileşenleri iç yapısı [30].	21
Şekil 3.3.	Güneş ışınımına bağlı akım-gerilim grafiği [65].....	25
Şekil 3.4.	Güneş ışınımına bağlı güç-gerilim grafiği [65].....	25
Şekil 3.5.	Sıcaklığa bağlı PV Akım-Gerilim değişim grafiği [65].....	27
Şekil 3.6.	a) Sıcaklığa bağlı PV elektrik enerjisi akım-gerilim grafiği, b) Güç-gerilim grafikleri [65].....	27

Şekil 3.7. PV/T bileşenleri iç katmaların yapısı [30].	29
Şekil 4.1. Hava soğutması uygulanan PV/T için, hava kütleli debisinin elektrik enerjisi verimliliğine etkisi [59].	33
Şekil 4.2. PV/T için örnek dört farklı hava soğutma uygulaması [61].	34
Şekil 4.3. PV/T için örnek serpantinli su soğutmalı tasarım uygulaması [61].	35
Şekil 4.4. PV/T farklı kollektör tasarım kesitleri [62].	36
Şekil 4.5. Farklı kollektörlere ait eşanjör geometrileri [62].	37
Şekil 4.6. PV panel, fitil yapı ve akışkan rezervuarı [47].	39
Şekil 4.7. FDM'li farklı yapıda PV/T panel sistemleri [53].	40
Şekil 4.8. PV/T panel ve FDM yapıları [53].	41
Şekil 4.9. a) Güneş pilinin, 300-500K çalışma sıcaklığındaki verimin ışınımlı soğutmaya başlı değişimi, b) ürün sıcaklığına başlı çıkış voltaj değişimi [55].	43
Şekil 4.10. Isı borusunun çalışma mekanizması [55].	44
Şekil 4.11. Termosifon mekanizmasının çalışma sistematiği [67].	46
Şekil 4.12. Atımlı (Pulsating) ısı borusu [67].	47
Şekil 4.13. Atımlı ısı borusu baloncuk ve sıvı temas bloğu meniscus formu [69].	48
Şekil 4.14. Atımlı ısı borusu buharlaşma-yoğuşma arası ısı direnç transfer katsayısı gösterimi-1 [70].	50
Şekil 4.15. Atımlı ısı borusu buharlaşma-yoğuşma arası ısı direnç transfer katsayısı gösterimi-2 [70].	50
Şekil 5.1. Nanopartikül ve örnek maddelerin boyutlarının karşılaştırması [76].	54
Şekil 5.2. Nanopartiküllere ait elektron mikroskopu görüntüleri; a) altın çekirdek-silika kabuk nanopartiküller, b) altın nanoçubuklar, c) iç boşluklu platin nanopartiküller [77].	54
Şekil 5.3. Nanopartiküller ile mikropartiküllerin fiziksel ve termofiziksel olarak karşılaştırılması [79].	56
Şekil 5.4. Tek adım yöntemi ile nanakışkanların oluşturulması [80].	57
Şekil 5.5. İki adım yöntemi ile nanakışkanların oluşturulması [80].	58
Şekil 5.6. a) Topaklanmış CuO nanopartikülleri, b) Homojene yakın dağılmış CuO nanopartikülleri [81].	58

Şekil 5.7. a) Al ₂ O ₃ - Su nanoakışkanı, b) CuO-Su nanoakışkanı, farklı nano boyutlardaki farklı hacimsel oranların akışkan ısı iletim katsayısına etkisi [86].....	64
Şekil 6.1. Deneysel çalışma öncesi PV/T kollektör ve elemanlarının imalat sonrası görüntüleri.	67
Şekil 6.2. a) PV/T, b) PV sistemi deney düzeneği	68
Şekil 6.3. Sistemin deneysel tasarımı akış şeması.....	70
Şekil 6.4. a) Anemometre, b) Piranometre, c) Eşanjör sistem elemanları.....	70
Şekil 6.7. PV/T panelin deney yerleşimi eğim açısı.....	71
Şekil 6.8. Örnek PV/T panelin genel görünümü [88].....	78
Şekil 6.9. (a) Kollektör geometrisi, (b) PV/T geometrisi [90].	79
Şekil 6.10. PV/T panel model tasarımı.....	79
Şekil 6.11. PV/T kollektör tasarımı.....	80
Şekil 6.12. a)PV/T Model MESH oluşturma, b) PV/T karakteristik akış elemanlarının atanması.....	81
Şekil 7.1. Güneş ışınım şiddetinin zamana bağlı değişim grafiği.	89
Şekil 7.2. Rüzgâr hızının zamana bağlı değişim grafiği.....	89
Şekil 7.3. Ortalama çevre sıcaklığının zamana bağlı değişim grafiği.	90
Şekil 7.4. a) PV yüzey sıcaklık dağılımı b) PV/T yüzey sıcak dağılımı termal kamera görüntüleri.	91
Şekil 7.5. PV-PV/T min, max ve ortalama yüzey sıcaklıklarının zamana göre dağılım grafiği.	92
Şekil 7.6. Saat 14:19'a ait PV ve PV/T akım-gerilim grafiği.....	93
Şekil 7.7. Saat 14:19'a ait PV ve PV/T akım-gerilim grafiği.....	93
Şekil 7.8. Saat 14:19'a ait PV ve PV/T akım-gerilim grafiği.....	94
Şekil 7.9. PV ve PV/T gün boyunca ölçülen maksimum güç (P _{max}) zamana bağlı değişim grafiği.....	94
Şekil 7.10. Tüm gün boyunca PV ve PV/T elektriksel verimin zamana bağlı değişim grafiği.	95
Şekil 7.11. PV/T ısı verimin indirgenmiş sıcaklık [(T _{siv1 giriş} - T _{çevre})/G] katsayısına göre değişim grafiği.	96
Şekil 7.12. PV/T ısı verimin gün boyunca değişim grafiği.....	96

Şekil 7.13. PV/T güneş kollektör su giriş-çıkış sıcaklık farkının güneş ışınım miktarına göre değişim grafiği.	97
Şekil 7.14. a) Deneysel veriler sonucu elde edilen Termal Kamera PV yüzey sıcaklık dağılımı, b) ANSYS 2021 R1 ACADEMIC programında simüle edilen PV yüzey sıcaklık dağılımı.	98
Şekil 7.15. a) Termal Kamera PV/T yüzey sıcaklık dağılımı, b) ANSYS 2021 R1 ACADEMIC PV/T yüzey sıcaklık dağılımı.....	99
Şekil 7.16. a) PV/T bakır kollektör sıcaklık dağılımı, b) Saf su çıkış borusu sıcaklık dağılımı.....	100
Şekil 7.17. a) %5 Al ₂ O ₃ -Su nanoakışkanı PV/T yüzey sıcaklığı dağılımı, b) %10 Al ₂ O ₃ -Su nanoakışkanı PV/T yüzey sıcaklığı dağılımı.....	101
Şekil 7.18. a) %5 Al ₂ O ₃ -Su nanoakışkanı PV/T bakır kollektör sıcaklık dağılımı, .	102
Şekil 7.19. a) %5 Al ₂ O ₃ -Saf su süspansiyon nanoakışkanı kollektör boruları sıcaklık dağılımı, b) %10 Al ₂ O ₃ -Saf su süspansiyon nanoakışkanı kollektör boruları sıcaklık dağılımı.	102
Şekil 7.20. a) %5 Hacimsel karışımda Fly-Ash –Saf Su nanoakışkanı PV/T yüzey sıcaklığı dağılımı, b) %10 Hacimsel karışımda Fly-Ash –Saf Su PV/T yüzey sıcaklığı dağılımı.	103
Şekil 7.21. a) %5 Fly-Ash –Saf Su süspansiyon nanoakışkanı çıkış borusu sıcaklık dağılımı, b) %10 Fly-Ash –Saf Su süspansiyon nanoakışkanı çıkış borusu sıcaklık dağılımı.	104
Şekil 7.22. a) %5 Fly Ash-Saf su süspansiyon nanoakışkanı kollektör boruları sıcaklık dağılımı, b) %10 Fly Ash-Saf su süspansiyon nanoakışkanı kollektör boruları sıcaklık dağılımı	105
Şekil 7.23. a) %5 Hacimsel karışımda Ag-Saf su süspansiyon PV/T yüzey sıcaklığı dağılımı, b) %10 Hacimsel karışımda Ag-Saf su süspansiyon nanoakışkanı PV/T yüzey sıcaklığı dağılımı.....	106
Şekil 7.24. (a) %5 Ag-Saf su süspansiyon nanoakışkanı çıkış borusu sıcaklık dağılımı, (b) %10 Ag-Saf su süspansiyon nanoakışkanı çıkış borusu sıcaklık dağılımı.	106
Şekil 7.25. a) %5 Ag-Saf su süspansiyon nanoakışkanı kollektör boruları sıcaklık dağılımı, b) %10 Ag-Saf su süspansiyon nanoakışkanı kollektör boruları sıcaklık dağılımı.	107
Şekil 7.26. a) %1 Al ₂ O ₃ -Saf su nanoakışkanı için kollektör giriş hızına bağlı olarak PV/T yüzey sıcaklığı, b) kollektör giriş hızına bağlı olarak kollektör çıkış sıcaklığının değişimi.	108

Şekil 7.27. a) %1 Al ₂ O ₃ -Saf su nanoakışkanı akış hızı ve güneş ışınımına bağlı PV/T ortalama yüzey sıcaklığının değişimi, b) kollektör giriş hızına ve güneş ışınımına bağlı kollektör çıkış sıcaklığının değişim grafiği.	108
Şekil 7.28. a) %3 Al ₂ O ₃ -Saf Su Nanoakışkanı için kollektör giriş hızına bağlı olarak PV/T yüzey sıcaklığı, b) kollektör giriş hızına bağlı olarak kollektör çıkış sıcaklığının değişimi.	109
Şekil 7.29. a) %3 Al ₂ O ₃ -Saf su nanoakışkanı akış hızı ve güneş ışınımına bağlı PV/T ortalama yüzey sıcaklığının değişimi, (b) kollektör giriş hızına ve güneş ışınımına bağlı kollektör çıkış sıcaklığının değişim grafiği.	110
Şekil 7.30. a) %5 Al ₂ O ₃ -Saf su nanoakışkanı için kollektör giriş hızına bağlı olarak PV/T yüzey sıcaklığı, b) kollektör giriş hızına bağlı olarak kollektör çıkış sıcaklığının değişimi.	110
Şekil 7.31. a) %5 Al ₂ O ₃ -Saf Su Nanoakışkanı akış hızı ve güneş ışınımına bağlı PV/T ortalama yüzey sıcaklığının değişimi, b) kollektör giriş hızına ve Güneş ışınımına bağlı kollektör çıkış sıcaklığının değişim grafiği.	111
Şekil 7.32. a) %8 Al ₂ O ₃ -Saf Su Nanoakışkanı için kollektör giriş hızına bağlı olarak PV/T yüzey sıcaklığı, b) kollektör giriş hızına bağlı olarak kollektör çıkış sıcaklığının değişimi.	111
Şekil 7.33. a) %8 Al ₂ O ₃ -Saf su nanoakışkanı akış hızı ve güneş ışınımına bağlı PV/T ortalama yüzey sıcaklığının değişimi, b) kollektör giriş hızına ve güneş ışınımına bağlı kollektör çıkış sıcaklığının değişim grafiği.	112
Şekil 7.34. a) %10 Al ₂ O ₃ -Saf Su Nanoakışkanı için kollektör giriş hızına bağlı olarak PV/T yüzey sıcaklığı, b) kollektör giriş hızına bağlı olarak kollektör çıkış sıcaklığının değişimi.	112
Şekil 7.35. a) %10 Al ₂ O ₃ -Saf Su Nanoakışkanı akış hızı ve güneş ışınımına bağlı PV/T ortalama yüzey sıcaklığının değişimi, (b) kollektör giriş hızına ve güneş ışınımına bağlı kollektör çıkış sıcaklığının değişim grafiği.	113
Şekil 7.36. %10 Al ₂ O ₃ -Saf su nanoakışkanı için ANSYS analizleri tasarım modeli değerleri ile analiz örtüşme derecesi (doğrulama) grafiği.	113
Şekil 7.37. PV/T Isıl verimin Al ₂ O ₃ -Saf Su Nanoakışkan kollektör giriş hızına bağlı değişim grafiği.	114
Şekil 7.38. PV/T Elektriksel veriminin Al ₂ O ₃ -Saf Su Nanoakışkan kollektör giriş hızına bağlı değişim grafiği.	115
Şekil 7.39. PV/T Isıl verimin Al ₂ O ₃ -Saf su nanoakışkan % Al ₂ O ₃ -Su nanoakışkan hacimsel konsatrasyona bağlı değişim grafiği.	116
Şekil 7.40. PV/T Elektriksel veriminin Al ₂ O ₃ -Saf su nanoakışkan kollektör giriş hızına bağlı değişim grafiği.	116

Sayfa

Şekil 7.41. PV ve PV/T kullanılan akışkan bazında elektriksel verimlerinin en genel kıyaslama grafiği.	117
Şekil 7.42. PV/T panelde kullanılan akışkan bazında ısı verimlerinin en genel kıyaslama grafiği.	118

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1. PV panel katmanları, katman kalınlığı ve ısı transfer katsayıları.	22
Çizelge 3.2. Örnek PV/T panel katmanları ve kalınlığı ve ısı transfer katsayı [30]. .	30
Çizelge 4.1. Bond numarasına göre kanal çap sınıflandırılması [67].	48
Çizelge 5.1. Bazı nanoparçacıkların ısı iletim katsayıları [82].	61
Çizelge 5.2. Bazı nanoparçacıkların termofiziksel özellikleri.	61
Çizelge 6.1. Deney ve sistem düzeneğini oluşturan elemanlar.	69
Çizelge 6.2. Deneysel ve Ansys analiz çalışmalarında kullanılan akışkanlara ait hesaplanan karakteristik veriler.	77
Çizelge 6.3. PV/T geometrisi ve kullanılan malzeme özellikleri tablosu [88].	81
Çizelge 6.4. Sınır şartları içerisinde deneysel çalışmada kullanılan su ve nanoakışkanlara ait termofiziksel özellikler tablosu.	82
Çizelge 6.5. PV/T Deneysel ve analiz çalışmamızda kullandığımız yapısal malzemelere ait karakteristik ve termofiziksel özellikler.	82
Çizelge Ek A.1. Suyun Fiziksel Özellikleri [28].	131
Çizelge Ek B.1. Pantec PSM65P PV Güneş kollektörü [19].	133
Çizelge Ek C.1. Ansys 2021 R1 academic model çözümüleme workbench proje şeması.	135
Çizelge Ek D.1. ANSYS modelleme akış diyagramı.	137
Çizelge Ek E.1. Basınca bağlı suyun kaynama noktası çizelgesi [66].	139

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

Al	: alüminyum
Cu	: bakır
PV	: fotovoltaiik
PV/T	: fotovoltaiik termal
Al ₂ O ₃	: alüminyum oksit
ZnO	: çinko ksit
TiO ₂	: titanyum oksit
SiO ₂	: silisyum oksit
CuO	: bakır oksit
K	: kelvin
W	: güç
e	: spectral yayıcılık
h	: planck sabiti
k _B	: boltzmann sabiti,
c	: vakum içindeki ışığın hızı
λ	: dalga boyu
Bo	: bond numarası
Re _l	: reynold sayısı
<i>m</i>	: kütleselel debi
Ø	: çap gösterimi

KISALTMALAR

IEA	: World Energy Outlook (Dünya Enerji Görünümü)
ANSYS	: Analysis Sistem (Sistem Analizi)
CFD	: Computational Fluid Dynamics (Hesaplama Akışkanlar Dinamiği)
DIN	: Deutch Industrie Normen (Alman Endüstri Normları)
EN	: European Norm (Avrupa Normu)
FLUENT	: Ansys Akış Analiz modülü
EES	: Engineering Equation Solver (Mühendislik Denklem Çözücü)
TRANSIENT	: Süreksizlik Analizi
STEADY STATE	
THERMAL	: Kararlı Hal Isıl
SYSTEM	
COUPLING	: Sistem Birleştirme
MESH	: Ansys'e ait bir modül (Ağ Modülü)
CATIA	: CAD Programı
PVF	: Poli Vinil Florür
RESPONSE	
SURFACE	: Ansys'de Bir Yüzey Çözümleme Modülü
CAD	: Computer Aided Design (Bilgisayar Destekli Tasarım)
EVA	: Etilen Vinil Asetat
CdTe	: Kadmiyum Tellürid
CuInSe2	: Bakır İndiyum Diselenid
a-Si	: Amorf Silisyum Güneş Pilleri
GaAs	: Galyum Arsenit
FDM	: Faz Değişim Malzemesi

BÖLÜM 1

GİRİŞ VE AMAÇ

1.1. GİRİŞ

Günümüzde enerjiye olan ihtiyacın sürekli artması ve fosil yakıtların, hem ekonomik açıdan kolay elde edilebilir olmaması hem de dünyayı tehdit eden küresel ısınmaya yol açması, son yıllarda insanoğlunun alternatif enerji kaynaklarına yönelimini artırmıştır. Bu yönde dünya genelinde birçok bilimsel araştırma ve uygulama çalışmaları yapılmaktadır. Yapılan araştırmalar ve hedefler doğrultusunda küresel enerji ihtiyacında yenilenebilir enerji kaynağı kullanımının 2023 yılında gelecek 5 yıl içerisinde %15 kadar daha fazla büyümesi beklenmektedir [1].

Bunlardan önde gelen alternatif enerji kaynağı güneş enerjisidir. Güneş enerjisinden elektrik üretimi amacıyla Fotovoltaik (PV) panelleri kullanılmaktadır. 2050’de dünya genelinde kurulmuş PV panellerinin toplam nominal enerji üretimi 4,6 TW değerinden fazlasına ulaşacak ve IEA, 2014 verilerinde raporlandığı gibi 6300 TWh enerjii üretilebilecek [2]. Bu hedef yaklaşım, gelecek yıllarda fosil yakıtla enerji üretmenin yerini, büyük ölçüde doğayı koruyan alternatif enerji kaynaklarından güneş enerjisinin PV panel uygulamalarının alacağı anlamına gelmektedir. Enerji üretimi konusunda fosil yakıtlarla kıyaslandığında yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmak doğaya daha az sera gazı salınımı yapacağından küresel ısınma etkilerinin azalması anlamına gelmektedir [3].

PV ile elde edilen elektrik üretimini etkilen faktörleri genel olarak; güneş ışınım şiddeti, PV yüzey sıcaklığı ve PV’nin üretildiği malzemelerin karakteristik özellikleri olarak sınıflandırılabilir. PV panel yüzey sıcaklığı üzerine son yıllarda geliştirme çalışmaları yapılmış ve konu PV panellerde sıcaklığın elektrik üretimine etkisi de

çalışmaların önünü aralamıştır. Aynı zamanda, araştırmacıları daha verimli elektrik enerjisini üretebilecekleri soğutma yöntemlerini kullanmaya yönlendirmiştir.

Birçok araştırmacı, elektrik üretimi açısından daha verimli PV panellerin geliştirilmesi konusunda Ar-Ge çalışmaları yapılmaktadır. Sonuç olarak, bu alanda yapılan iyileştirme çalışmalarının ve bu çalışmalara bağlı projelerin önemli bir miktarını hem PV sistemlerin hücre sıcaklıklarının düşürülerek elektriksel üretim miktarının artırılmasına hem de ısı kaynağı olarak kullanılabilmelerine olanak sağlayan fotovoltaiik termal (PV/T) sistemler oluşturmaktadır.

Son yıllarda, geleneksel PV panellerinin yerini artık hibrit PV/T paneller almaya başlamıştır. Buradaki elektrik üretimi ile birlikte geleneksel PV panel ile elde edilemeyen ısı enerjisini faydalı enerjiye çevirebilen, insanlığın kullanımına sunulmuş ve aynı zamanda PV panel hücrelerinin gövde sıcaklığını düşürmeye yönelik aktif ve pasif soğutma teknikleri uygulanarak, daha verimli elektrik enerjisi sağlamaya yönelik birçok çalışma kayda alınmıştır.

PV/T hibrit sistemlerde ısıl kısımda serpantinli yapılar olan ısıl direnci düşük metaller kullanılmış ve soğutucu akışkan olarak su, hava, etil alkol ve son yıllarda deneysel çalışmalarda daha başarılı sonuçlar elde edilen yüksek verimlilikte ısı transferi sağlayan nano teknoloji alanında üretilen nano-akışkanlar kullanılarak çalışmalarda ve deneysel bulgularda daha çok elektriksel verim ve daha çok kullanılabilir faydalı ısı enerjisi elde edilebileceği saptanmıştır.

Araştırmalar gösteriyor ki, PV panellerin sıcaklıklarının düşürülmesi ile panellerin elektrik enerji verimliliği artmaktadır [4]. PV panel sıcaklığındaki artış gerilim değerinde büyük düşüslere ve çok az da olsa akımda bir artışa sebep olurken, PV panellerin elektrik üretiminde ve verim değerlerinde de azalmaya sebep olacaktır [5].

1.2. AMAÇ

Bu çalışmadaki amaç, panel hücrelerinin çalışma sıcaklıklarını düşürebilmek ve böylelikle elektrik enerjisi verimini artırabilmektir. Böylelikle, PV panelin arka

yüzeyine ısıyı soğurabilecek uygun bakır borulu kollektör imal edilip, gerekli akış debisi/akış hızı ile PV/T panelin soğumasını sağlamak ve aynı zamanda kollektör çıkışı elde edilen sıcak su/sıvı/nanoakışkan'ın ısı enerjisini kullanarak faydalı ısı enerjisine çevirebilmektir. Bunun için kullanılacak soğutma yöntemleri ayrı ayrı Bölüm 4'te incelenmiş ve bu çalışmada aktif sıvı soğutmalı sistem yöntemi çalışma konusu olarak seçilmiştir. Çalışmada ele alınacak, hedef konu olan nanoakışkanlı soğutma yöntemlerinin PV/T panel yüzey sıcaklığına olan etkisi Bölüm 2'de literatür taramasında çalışılmıştır. Seçilecek olan tasarıma göre Bölüm 6'da sistemin deneysel düzeneği oluşturulacak, soğutmasız ve saf su ile soğutularak yapılmış deneysel PV ve PV/T verileri paylaşılacaktır. Ardından saf su ile yapılan çalışma referans gösterilerek CAD ortamında tasarlanan model için Ag-Su, Al₂O₃-Su ve Fly-ash (uçucu kül)-Su gibi farklı nanoakışkanlar kullanılarak farklı sıvı giriş hızı ve farklı güneş ışınım ortamlarında, farklı hacimsel oranlarda karıştırıldıktan sonra hedeflenen PV yüzey sıcaklığı verileri ANSYS 2021 R1 ACADEMIC mühendislik programı yardımı ile elde edilecek ve veriler Bölüm 7'de ortalama yüzey sıcaklıkları, ısı ve elektriksel verim ifadeleri ile değerlendirilecektir. Bölüm 8'de ise öneriler ve değerlendirmelerden bahsedilecektir.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. PV/T (FOTOVOLTAİK TERMAL) GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİNDE YAPILMIŞ DENEYSEL VE TEORİK ÇALIŞMALAR

Dubey ve Tay, çalışmalarında PV güneş hücrelerinin elektrik verimlerini etkileyen ana faktörleri modülün tasarımı, malzemesi ve PV güneş hücresinin çalışma sıcaklığı olduğunu deneysel çalışmalarında belirtmiştir [6].

Chow, çalışmasında, güneş paneli üzerine gelen güneş ışınım enerjisinin büyük bir çoğunluğunun ısı enerjisine dönüşmesi ile fotovoltaik elektrik veriminin ancak %4 ile %17 arasında olabileceğini vurgulamıştır. Yüzey tarafından emilen ısı, PV güneş hücresinin sıcaklığını ortam sıcaklığının üstünde yani 50°C ye kadar artırdığı ve böylelikle c-Si PV hücrenin her 1°C sıcaklık artışı ile elektrik veriminde %0.4'lük azalmaya neden olacağına deneysel bulgular sonucunda ulaşılmıştır [7].

Hoffmann, PV hücre sıcaklığının PV'nin elektrik verimi için önemli bir rol oynadığını vurgulamıştır. Deneysel bulgulara göre, PV güneş paneli üzerindeki su ile aktif soğutma yönteminin PV'nin yüzey sıcaklığını 68°C'den 38°C'ye kadar düşürmesi ile PV'nin elektrik veriminde %8.6 ile %12.5 oranında artış sağladığı gözlemlenmiştir [8].

Bahaidarah vd., Suudi Arabistanda aktif PV soğutma deneysel çalışmasında su tankı, pompa, debimetre ve soğutma paneli kullanarak PV hücrelerin soğutulması için bir düzenek kurmuştur. Bu çalışmada, PV sıcaklığını %20 oranında düşürmekle PV elektrik verimini yaklaşık %9 oranında artırmayı başarmıştır [9].

Yine Dubey ve Tay, gün boyunca sıcaklık değişimi ile PV elektrik verimliliği üzerine değişimleri incelediği deneysel bir çalışma yapmıştır. Bulgulara göre, sabah saatlerinden gün ortası saat 13:00'a kadar PV sıcaklığının 35°C'den yaklaşık 60°C'ye kadar yükselmesi ile PV elektrik veriminin %13,5'ten %11,5'e gerilediği saptanmıştır. Aynı zamanda, öğle saatlerinden gün batımına kadar olan zamanda PV sıcaklığının 50°C'nin altına düşmesi ile PV elektrik veriminde %12,5 artış gözlemlenmiştir [6].

Aste vd., PV teknolojisinde kristal yapılarıdaki hücrelerde elektrik veriminin %13 ile %22 arasında ve amorf yapıdaki silikon hücre yapısına sahip bir güneş hücresinde ise, %7 ile %13 arasında olduğunu deneysel çalışmalarında belirtmiştir. Bir diğer özellik ise sıcaklık katsayısıdır. Kristal yapıdaki hücrede bu değer %0,3 ile %0,5 iken, amorf yapılı silikonlarda ise %0,2 ile %0,3 arasında değişmektedir. Aynı zamanda, poli-kristal yapılı ve mono-kristal yapılı hücreler düşük elektrik verimliliğine sahipken, kristal yapılı hücrelerin daha yüksek verimliliğe sahip olduğu belirtilmiştir [10].

Hosseinzadeh vd., PV/T sistemlerinin güneşten aldığı toplam enerjiyi hem elektrik hem de ısı enerjisi olarak sağlayabildiğini belirtmiştir. PV/T sisteminin, elektrik üreten PV hücrelerinden, akışkan kanallarından, absorbe edici plakadan ve ısı kayıplarını ve taşınımsal ısı girişini engellemek adına yalıtım malzemelerinden olduğunu belirtmektedir. Su, panelin sıcaklığını düşürmeyi sağlayan en yaygın olarak kullanılan akışkandır. Bunun yanısıra, hava ve son yıllarda çokça söz edilen nanokışkanlar da kullanılmaktadır [11].

Lari ve şahin, PV/T'nin şehir konutlarında hem sıcak su hem de elektrik eldesi için kullanılması üzerine deneysel sonuçlara göre çıkarımlar yapmıştır. Aynı zamanda bu sonuçlar için Engineering Equation Solver (EES) programı kullanılmış ve sonuçlara göre soğutma yapılan PV/T soğutma yapılmayan PV'ye göre %11,7 oranında elektrik verimliliğinin arttığı saptanmıştır [12].

Peng vd., PV yüzey sıcaklığının elektrik verimine etkisini deneysel olarak incelenmiş ve konutlarda PV çalışmalarında su ile soğutulan PV yüzeyinde verimin %35'e kadar

arttığı gözlemlenmiş ve soğutucu akışkan su kanalı çıkış suyunun konut ısınmasında kullanılmasını incelemiştir [13].

Cristofari vd., ısı ve elektriksel verimlilikleri üzerine araştırmalar yapabilmek için bir sonsuz model oluşturmuşlardır. Bu model, sıcak su sağlamak için suyun soğutucu akışkan olarak kullanılması ve konutlara elektrik enerjisi sağlamak adına polikristal PV'ler kullanılmıştır. Sonuçlara göre, %55 ısı verim ve %12,7 oranında da elektrik verim elde edildiği belirtilmiştir [14].

Dubey ve Tay (2014), 52 adet PV/T modülünü içeren 10 kW'lık nominal elektrik kapasitesine sahip bir model tesis geliştirmişlerdir. Enerji denklemlerini çözmek ve sistemin performansını hesaplayabilmek adına bir çok çözümsel varsayım ortaya koymuşlardır. Bu varsayımlara göre, sistemde kullanılan malzemelerin ısı kapasiteleri suyun ısı kapasitesiyle karşılaştırıldığında ihmal edilmiştir. Tek yönde ısı transferi, kararlı hal süreklilik metodu bu çalışmaya uygulanmış ve sıvı tankında herhangi bir sıcaklık tabakalaşması olmamıştır. Aynı çalışmanın deneysel bulguları göz önüne alındığında, araştırmacılar en uygun akış debisini 0,039 kg/s olarak belirlemişler ve deneysel sonuçlara göre ortalama %34 ısı verim ve %12 civarında da elektriksel verim elde etmişlerdir [6].

Guo vd., 50-60°C sıcaklıkta çalışan PV/T'yi kurutucu ve nemlenmeyi önleyen soğutma sisteminden faydalanarak çalıştırmışlardır. Sonuçlar göstermiştir ki, tasarımsal veriler PV/T'nin performansını doğrudan etkilemektedir ve suyun çıkış sıcaklığı kütleli debiye, cam kaplamaya, hidrolik kanal geometrisine bağlıdır. Debideki artış, çıkış sıcaklığının aksine elektriksel ve ısı verimi artırmaktadır. Cam ile kaplama ise, çıkış sıcaklığını artırarak ısı verimi artırmaktadır. Hidrolik çapın azaltılması PV/T'nin çıkış kollektör sıcaklığında artışa sebep olmaktadır [16].

Sarabadi vd. (2016), PV/T ile yapılan deneysel çalışmalarında soğutma sıvıları olarak Al_2O_3 , ZnO, TiO_2 nanopartikülleri suyu birlikte temel nanoakışkanlar olarak kullanmışlardır. Herbir nanoakışkanın kütleli ağırlık konsantrasyonu %0,2 olarak alınmıştır. Nanoparçacık çapı ise Al_2O_3 için 20 nm, ZnO için 10-25 nm ve TiO_2 için ise 10-30 nm olarak alınmıştır. Yapılan deneyler sonucu elde edilen verilere göre su,

TiO₂, ZnO, Al₂O₃ için PV/T elektrik verimlerinde iyileştirme sırasıyla %5.4, %6.5, %6.46 and %6.36 olarak ölçülmüştür [24].

He vd, monokriksal PV/T monokristal PV ve geleneksel düz plakalı su ısıtıcı güneş paneli ile sıcaklık ve verim değerlerini karşılaştırabilmek adına deneysel çalışmalar yapmışlardır. Deneysel sonuçlar, PV/T'nin PV'ye oranla %40 ısı ve %10 oranında ise elektriksel verim elde ettiğini ifade etmektedir [92].

Bhattarai vd., PV/T ve geleneksel güneş enerji kollektörü için karşılaştırmalı hem deneysel hem de simülasyon çalışmaları yapmışlardır. Deneysel sonuçlar göstermiştir ki, PV/T'nin ve güneş kollektörünün ısı verimleri sırasıyla %58,7 ve %71,5 olarak elde edilmiştir. Aynı şekilde PV/T elektriksel verimi ise, %13,69 olarak bulunmuştur. Güneş kollektörünün günlük verimi PV/T'den yaklaşık %18 fazla olsa da, PV/T'nin birincil enerji tasarrufu güneş kollektörüne oranla %16 daha fazla olduğu deneysel verilerle desteklenmiştir [93].

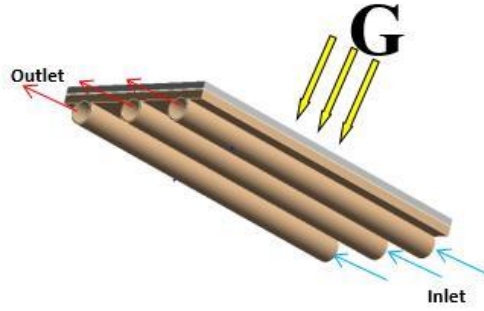
2.2. PV/T GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİNDE HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ (HAD) METODU İLE YAPILMIŞ ARAŞTIRMA ÇALIŞMALARI

Fudholi vd., farklı PV/T kollektörleri ile farklı güneş ışınım şiddeti uygulayarak tasarım üzerinde simülasyon çalışmalarında bulunmuşlar. Ağ şeklindeki akış, doğrudan akış ve spiral akışlı kollektörler üzerine simülasyonlar yapmışlar. Spiral akışlı kollektörün %13,8 elektriksel ve %54 ısı verime sahip olduğu saptanmıştır. Spiral akışlı kollektörün en verimli akış kollektör tipi olduğu deneysel verilerle elde edilmiştir [15].

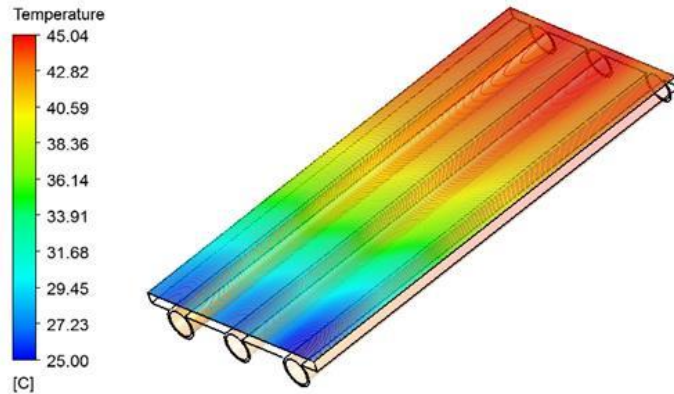
Hosseinzadeh vd. (2018), CFD fluent programı ile PV/T performansını araştırmışlardır. Modelin ön yüzeyine güneş ışınım şiddeti uygulanmış, suyun çıkış sıcaklığını tahmin edebilmek için ortalama %3,25 hata oranı kabul edilmiştir. Birçok değişken parametre, soğurulan güneş ışınımı, rüzgar hızı, giriş sıcaklığı ve kütleli debi Minitab yazılımı kullanılan Tagguchi yaklaşımına bağlı olarak uygulanmıştır. Araştırmacılar, giriş suyu sıcaklığının, debinin ve güneş ışınım şiddetinin PV/T

performansını etkileyen en önemli parametreler arasında olduğunu belirtmişlerdir [11].

Haloui vd. (2017), ansys 15.0 cfd ile PV/T soğutmalı modelde soğutucu olarak 0,02 kg/s kütleli debiye sahip su kullanmışlar, ortam sıcaklığının sürekli sabit olduğu kabulünde bulunmuşlardır. Şekil 2.1’de görüldüğü üzere, model 3 boyutlu olarak tasarlanmış ve PV/T paneline gelen güneş ışınım şiddeti değeri sürekli sabit olarak kabul edilmiştir. Soğutucu akışkan kollektör dağılımı Şekil 2.2’de belirtildiği gibi giriş suyu sıcaklığına bağlı olarak PV/T yüzey sıcaklığı en düşük 25°C ve en çok ise 45°C olarak simülasyon ile saptanmıştır. Araştırmacılar, amorf, monokristal, kadmiyum, bakır indiyum ve bakır galyum tabanlı güneş hücreleri ile yaptığı model araştırmada elektriksel ve ısıl analizler yapmışlardır. En iyi ısıl performansı %57 ile bakır galyum sağlarken, bakır indiyum ise %21,47 ile en iyi elektrik verimini sağlamıştır [17].

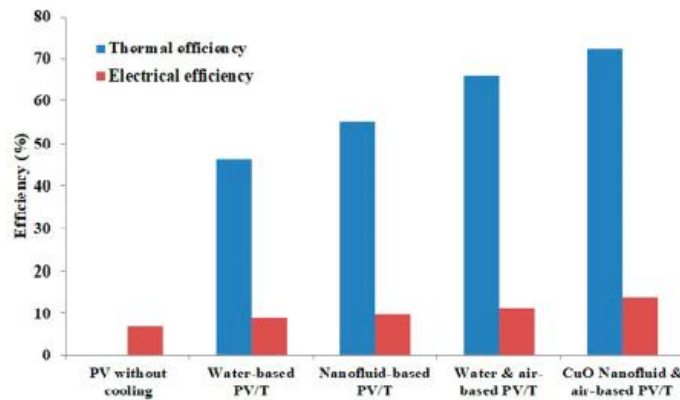


Şekil 2.1. Aktif Soğutma sistemi PV ve kollektör modeli [17].



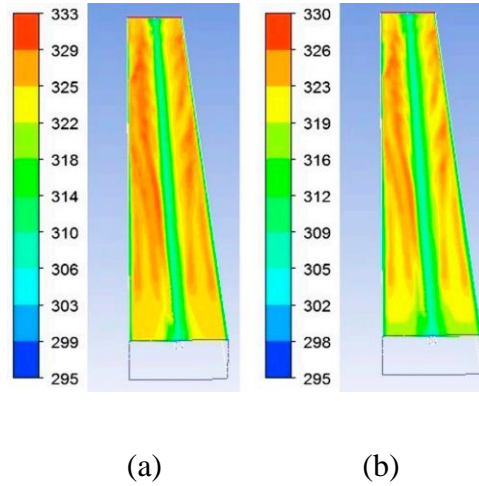
Şekil 2.2. PV/T Ansys simülasyon sonrası sıcaklık dağılımı [17].

Hussain vd., ansys fluent ve transient matematik modelleme ile yaptıkları çalışmada, nanoakışkan kullanılarak çift akışlı PV/T'nin soğutulması için bir model oluşturmuşlardır. Metal oksit nanoakışkanları CuO, Al₂O₃ ve SiO₂ ile temel akışkan olan suyun farklı hacimsel oranlarda karışımı sonrası PV/T ısı ve akış analizleri değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeler sonucunda, %0,75 hacimsel oran ile oluşturulmuş CuO-Su nanoakışkanının daha parlak ve etkin sonuçlar verdiği modelleme analiz sonuçları ile kanıtlanmıştır. Sonuçta, toplam eşdeğer verimler karşılaştırıldığında CuO nanoakışkanı+hava ve su+hava kullanılan çözümlemede verim değerleri sırasıyla %90,3 ve %79,8 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar gösteriyor ki, nanoakışkanın ısı davranışı nano partiküllerin derişimleri ile alakalıdır. Nanoakışkanın soğutucu olarak kullanımı suya göre karşılaştırıldığında PV'den gelen ısıyı daha fazla depolama eğiliminde olduğunu göstermektedir. Böylelikle, deneysel araştırmaların gelecekte yapılacak olan bu PV/T'nin geliştirilmesi adına öncülük etmektedir. Yine modelde olduğu üzere, PV'nin yüzeyine ulaşan güneş ışınları PV'nin yüzey sıcaklığını 56°C'ye yükseltmektedir. Eğer soğutucu olarak su kullanılırsa, ortalama PV yüzey sıcaklığı 52°C ve nanopartikül-su karışımı olan nanoakışkan kullanılırsa PV yüzey sıcaklığı 47°C olarak ölçülmüştür. Şekil 2.3'te soğutulmayan ve su veya nanoakışkan yardımı ile soğutulan PV/T'nin elektriksel ve ısı verim değerleri grafik halinde paylaşılmıştır [18].



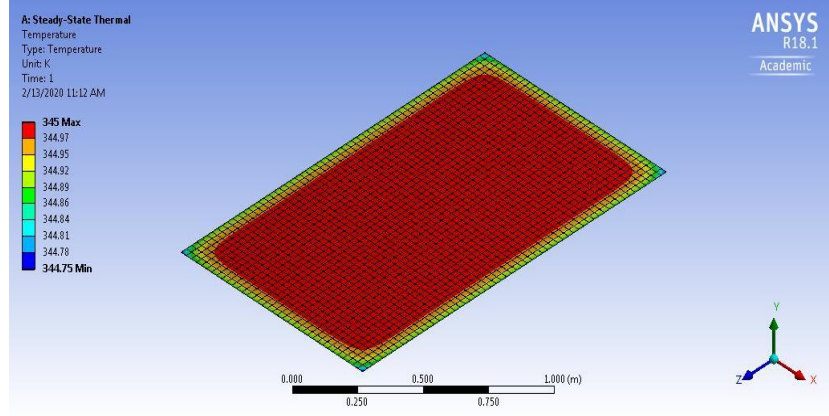
Şekil 2.3. PV/T su-nanoakışkan kullanılarak elektriksel ve ısı verim dağılım grafiği [18].

Sardouei vd., çalışmalarında Şekil 2.2’de belirtildiği gibi bir kaç farklı PV/T termal kollektör tasarımları incelemiş, ansys CFD programı ile simüle edilmiş ve aynı zamanda bu tasarımlara özgü deneysel çalışma standı oluşturulmuştur. Güneş ışıyım şiddeti değeri ise $600-1000 \text{ W/m}^2$, su giriş ve ortam sıcaklığı, su hacimsel akış debisi (L/h), gibi değerler tasarıma uyarlanmış ve tasarım simülasyon sonuçları ile uygulama sonuçları karşılaştırılmıştır. Elde edilen uygulama çalışmasına ait ortalama yüzey sıcaklığı, çıkış suyu sıcaklıkları ve akış debisi gibi değerler simülasyon verileri ile karşılaştırılmış ve karşılıklı değerlerin çok yakın olduğu gözlemlenmiştir 30, 60 ve 90 L/h hacimsel debilerde 25°C ’de su soğutucu olarak kollektör girişinde beslenmiş ve %56’lık en yüksek ısıl verimlilik 90L/h debi ile ölçülmüştür [39].



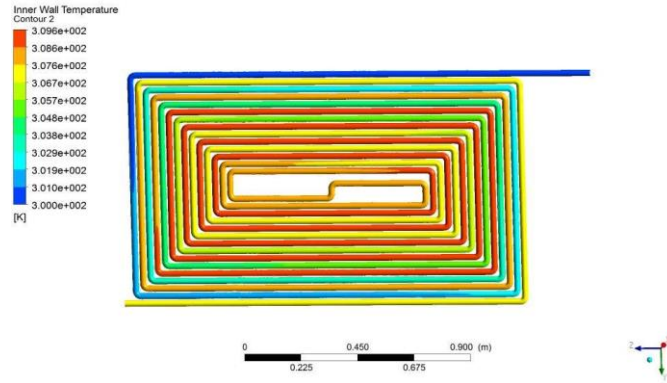
Şekil 2.4. a) Su kullanılarak soğutulan, b) sadece nanoakışkan kullanılarak PV yüzeyinin sıcaklık (K) dağılımı [18].

Baranval vd., çalışmalarında, spiral örgülü PV/T kollektörü ile donatılmış paneli ansys üzerinden modelleme ile simülasyon yapmışlardır. Panel yüzeyi ve su çıkış sıcaklığı $800, 900, 1000 \text{ W/m}^2$ atmosfer ve giriş suyu sıcaklığı $300,15\text{K}$ ve giriş suyu debisi de 16,5, 33, 66 ve 99 L/h debilerde ölçümler alınmıştır. İlk modelleme ve simülasyon Şekil 2.5’te olduğu gibi soğutucu kollektör olmadan yapılmış ansys steady stead termal modülü ile yapılırken, Şekil 2.6’da ikinci simülasyon ise ansys fluent ilavesi ile ve çözüm system coupling ile oluşturularak sonuçları değerlendirilmiştir [20].



Şekil 2.5. PV'nin 900 W/m^2 güneş ışınım değerinde soğutma olmaksızın yüzeydeki sıcaklık (K) dağılımı [20].

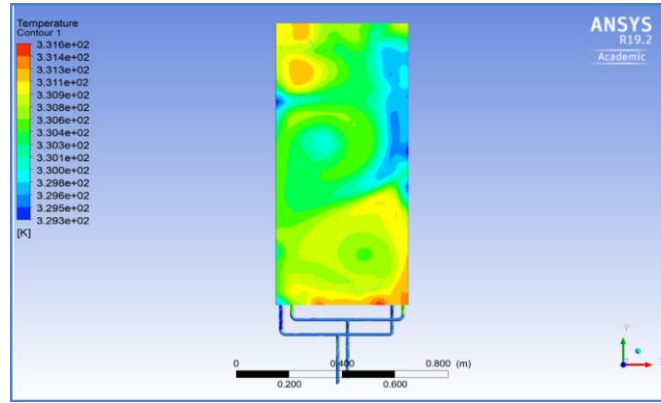
Deneysel çalışmada elde edilen veriler gösteriyor ki, kollektördeki su akış hızı 16.5 L/h 'ten 99 L/h 'e yükseldiğinde PV yüzey sıcaklığında hissedilir miktarda sıcaklığın azaldığı görülmektedir. Bu durum, 1000 W/m^2 güneş ışınımında yaklaşık %20'lik elektrik verimi olarak elde edilirken, ısıl verim en yüksek değer olan 16.5 L/h debide %39.65 olarak ölçülmüştür.



Şekil 2.6. 900 W/m^2 Güneş ışınımında 66 L/h debideki kollektör boru yüzeyinin sıcaklık (K) dağılımı [20].

Misha vd., çalışmalarında PV ve PV/T'nin yeni tasarlanan salınım tipi kollektör grubunun çalışma performansını hem sayısal hem de deneysel olarak incelemişlerdir. Sayısal değerler ansys 19.2 CFD versiyonunda gerçekleştirilerek PV ve PV/T arasındaki farklar değerlendirilmiştir. Termal kamera ile deneysel test sonuçları ve özellikle CFD simülasyonu ile PV yüzeyindeki ısı dağılımı test sonuçları karşılaştırıldı. Farklı kütledebilerde sayısal CFD sonuçları ile deney sonuçlarının

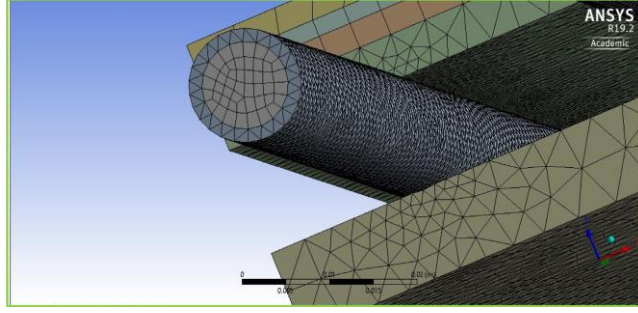
çok yakın değerler olduğu saptanmıştır. Şekil 2.7’de belirtildiği gibi, PV/T için ulaşılabilen max. güneş panel sıcaklığı CFD simülasyonu ve deneysel çalışma için sırasıyla 331.6K ve 329.1K değerleridir. Geometri tasarımı sonrası MESH modelleme yani geometriyi çoklu küçük eleman ve hücre sayısına ayırma durumuna tanımlamışlar ve bu geometriye uygulanan yük tüm elementler üzerinden eş dağılım sağlayarak daha düzgün ve gerçekçi sonuçlar alınmasını sağlamıştır. Yani, bu çalışmada “relevance center” bölümünde “Fine”, smoothing bölümünde ise “medium” seçeneği işaretlenmiştir. Meshing elementleri ise, altıgen yapı olan “hexahedral” yapı seçilmiştir. Bu geometride kollektör Mesh element sayısı 2432207 ve Node sayısı ise 1206113’tür. Yine Şekil 2.8’de Mesh geometri element dağılımı gösterilmiştir [21].



Şekil 2.7. Kollektör absorber metal yüzeyde ve borularda sıcaklık (K) dağılımı [21].

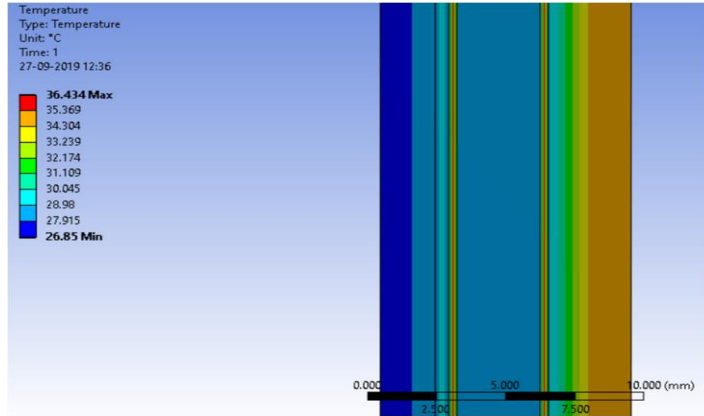
Her iki çalışma karşılaştırıldığında, max PV/T yüzey sıcaklığı simülasyonda 331,6K ve deneysel çalışmada ise 329,1K olarak kayda alınmıştır. PV/T panel ve PV panel güç çıkışları sırasıyla 75,13W ve 70,6 W olarak deneysel ölçülmüştür. PV/T ve PV en yüksek elektriksel verim değerleri sırasıyla %11,71 ve %10,86 olarak hesaplanmıştır.

PV'nin en yüksek yüzey sıcaklıkları 62,73°C ve 66,95°C olarak ölçülmüştür. Deneysel ve simülasyon verilerinden elde edilen çıkarımlara göre, Elektriksel gücün hem PV/T sıcaklığının düşürülmesi ile hem de güneş ışınım şiddetinin artırılması ile arttığı sonucuna varılmıştır.



Şekil 2.8. Mesh dağılımı [21].

Saurabh vd., yaptığı çalışmada PV/T paneli için ansys 19.1 CFD modülü kullanılarak gelen güneş ışınım ve soğutucu durumuna göre PV yüzey sıcaklıklarının dağılımları incelemiştir. Bulgular, Şekil 2.9’da belirtildiği gibi sıcaklığın yüzey cam tabakadan tedlar (PVF) tabakaya kadar göreceli olarak azaldığını kanıtlamıştır.



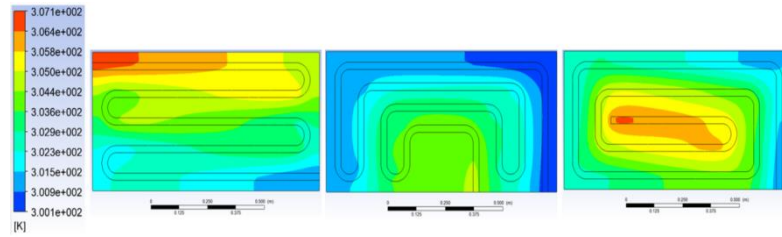
Şekil 2.9. PV/T katmanlar arası sıcaklık (°C) dağılımı [22].

Aynı çalışmada enerjinin, kütle, momentumun korunumu kanununu takip eden bu denklemler için bazı varsayımlar ortaya atılmıştır [22].

1. Sistem dengededir.
2. Güneş panelinde elektriksel ohm kayıpları ihmal edilecek.
3. Katmanlar arası güneş pilleri ve cam malzemeler arasında sıcaklık farklılıkları olmayacak.
4. Güneş panellerinin ısı kapasiteleri ihmal edilecek.
5. Sadece tek boyutta ısı akışı düşünülecek.

6. EVA malzemesinin ısı geçirgenliği %100 olacak.

Rosli vd., yaptıkları çalışmada modeli catia v5r20'de tasarlayıp modelini oluşturduktan sonra ansys fluent ve steady state modülü ile çözümlenmişlerdir. Geometri oluşumundan sonra mesh oluşturma, model çözümlene, ön ve son işlemlerin yapılmasını sağlamıştır. Farklı soğurucu (absorber) plaka kollektör tasarımlarının elektrik, ısı ve toplam verimlilik değerleri karşılaştırılmış ve sonuçlar kararlı hal yapısı ile simüle edilmiştir. Spiral kollektör tasarımının diğerlerine göre daha iyi ısı ve elektriksel verim sağladığı analiz sonuçları ile kanıtlanmıştır. Elektrik verimine değinmek gerekirse yüksek akış debisi daha iyi soğutma demektir. Serpantin kollektör yapısı ise ikinci yüksek verimliliğe sahiptir. U-tipi serpantin ise devamında gelen kollektör verimliliğine sahip olduğu kanıtlanmıştır. Farklı geometrilerdeki kollektörlerin aynı akış debisinde ve aynı güneş ışınımındaki yüzey sıcaklık dağılımı Şekil 2.10'da gösterilmiştir. Böylelikle, en etkin soğutulabilen yapı U-tipi soğutucu kollektörün olduğu PV yüzeyi olarak saptanmıştır [23].



Şekil 2.10. PV/T farklı kollektör geometrileri arasındaki sıcaklık (°C) dağılımı [23].

Khanjari vd., su ve Al_2O_3 -Su nanoakışkanını kullandıkları bir ansys cfd simülasyonu ile bir model oluşturmuşlardır. Bu model, hem ısı taşınım hem de ısı iletimi içeren soğurucu boru kollektörlerini içermektedir. Çalışmada elde edilmiş sonuçlar gösteriyor ki, nanoparçacıkların sıvı içerisindeki hacimsel oranların artırıldığında verimlilik ve ısı transfer katsayısında iyileştirmeye sebep olduğu kanıtlanmıştır. Al_2O_3 -su nanoakışkanı kullanıldığında ısı transfer katsayısındaki en çok artış %12 olarak kayda alınmıştır [25].

Abdellatif vd., ansys cfd fluent ile yaptıkları simülasyon çalışmalarında akışkan olarak su ve çeşitli PV/T kollektör yapılarını kullanarak verimlilik hesapları

yapmışlardır. Oluşturdukları modelde fluent programında sınır şartları kararlı hal ısı yapısı, laminar akış 0,02 kg/s, çıkış basıncı atmosferik basınç, güneş ısı akısı PV cam yüzeyine sabit bir değerde uygulanmıştır. Akışkan olarak saf su ataması yapılmış ve katmanlar arası “duvar çiftleri” olarak adlandırılan etkileşim modelleri atanmıştır. Çözüm, steady-state thermal ve fluent çifti hibrit çözümleme ile sağlanmıştır. Elde edilen sonuçlar gösteriyor ki, soğutma yapılan PV ile soğutma yapılmayan PV karşılaştırıldığında soğutma yapılan PV/T'nin elektriksel veriminde %11,84'lük kayda değer bir artış olduğu açıkça belirtilmiştir [26].

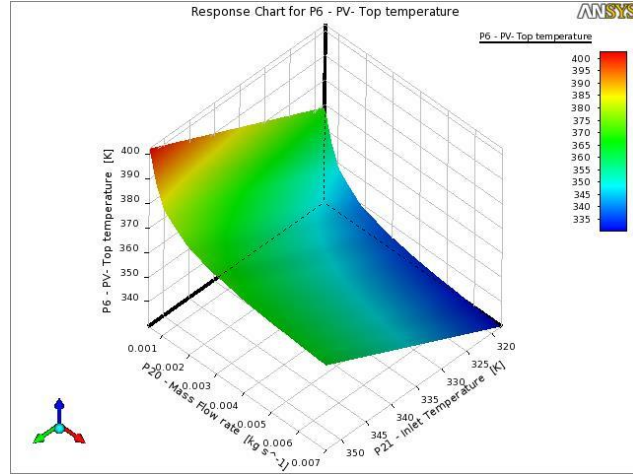
Alobaid, PV/T hibrit kollektör elektrik verimi, ısı verimi, kütleli debisi ve su giriş sıcaklıkları gibi parametreler üzerine bir model çalışması yapmıştır. PV/T üç boyutta ansys cfd fluent ve steady-state thermal ile model oluşturmuş ve modele ait geometri yerleşimini yaptıktan sonra mesh tanımlaması yapılmış, kafes yapısı içerisinde daha iyi sonuç dağılımı oluşturabilmek için “element” ve “nodulların” ataması yapılmış ve sonunda model çözümlemesi çalıştırılmıştır. 298K ve 373K arasında değişen sıcaklıklarda yüksek ve düşük seviye akış debisi kullanılarak örneklemeler yapılmıştır. Simülasyon sonuçları gösteriyor ki, ısı ve elektrik verim en düşük soğutucu besleme sıcaklığı olan 298K ve en yüksek akış debisi olan 0,0095 kg/s debide sırasıyla %82 ve %14,3 olarak ölçülmüştür. Boru ve sıvı arasındaki ısı transfer katsayısı akış debsinin artışı ile artmaktadır. Faydalı enerji ise, soğutma giriş suyu besleme sıcaklığının azaltılması sonucu artmaktadır [28].

Sistemin matematiksel elektrik&ısı performansını incelendiğinde referans sıcaklık olarak ortalama sıcaklık değeri hesaplamalara alınmıştır. Çalışmada, aynı zamanda sınır şartları belirlenmiş ve bu varsayımlar çerçevesinde hesaplamalar yapılmıştır. Sınır şartları ve varsayımlar aşağıda sırasıyla (1-7) maddelerle belirtilmiştir;

- 1- Malzemelerin fiziksel özellikleri aynı kalacak.
- 2- Giriş akışı Kararlı-Hal ve düzgün akış olarak tanımlanmış.
- 3- Güneş ışınımı PV/T panelin güneş hücrelerine dik açı ile gelmesi.
- 4- Çevreye olan ışınım kaynaklı ısı kayıpları ihmal edilmiştir.
- 5- Kollektörün tüm kenar yüzeyleri izole edilmiştir.

6- PV hücreleri, emici plaka ve boru kollektörleri arası temas yüzeyi mükemmel kabul edilmiştir.

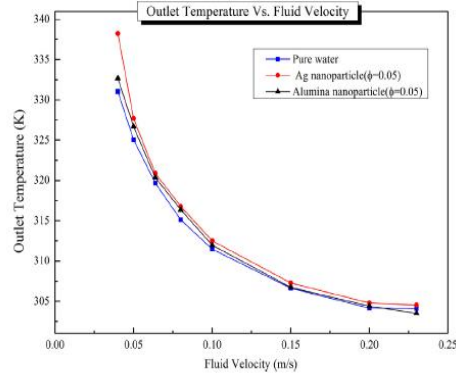
7- PV/T'nin alt kısmından olan ısı kayıplar taşınım yolu ile olmaktadır [28].



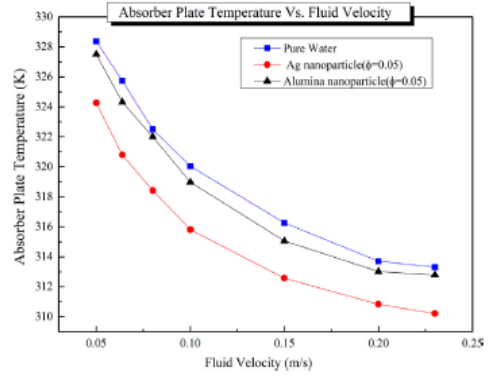
Şekil 2.11. PV/T üç boyutta sıcaklık (°C), akış debisi, kollektör giriş suyu sıcaklık dağılımı response surface grafiği [28].

Yine aynı çalışmada, giriş parameter değerlerinin çıkış parameter değerleri üzerine önemli etkileşim halinde olmasını sağlayan grafik kullanılmış ve bu grafik etkileşim yüzey grafiği olarak adlandırılmıştır. Şekil 2.11'de PV/T'nin ortalama yüzey sıcaklığının kütleli debi ve soğutma suyu giriş sıcaklığına bağlı değişim grafiğini belirtmiştir. 1000 adet örnekleme satırı ile %1,7 bağıl hata ile sistemin optimizasyonu ansys 16.1 programı ile çözümlenmiştir. Ve böylelikle optimum akış debisi 0,0033 kg/s, su besleme sıcaklığı 337,36 K ölçülmüş ve sırasıyla ısı ve elektriksel verim ise %81,32 ve %11,26 olarak kayda alınmış [28].

Khanjari vd, çalışmalarında hibrit PV/T hem ısı hem de elektriksel verimleri üzerine araştırma yapmışlardır. Çalışma akışkanı olarak Ag-Su ve Al₂O₃-Su nanoakışkanlarının farklı hacimsel oranlarda karışımları ve kollektör grubu girişi sıvı hızına bağlı PV/T ısı ve elektriksel verimlerinin suya göre kıyaslanması üzerine ansys cfd çalışması yapmışlardır. Giriş sıvı hızının artırılması ile PV/T ısı transfer performansı ciddi derecede artırılmış ve bununla birlikte PV yüzey sıcaklığının, absorber plakanın sıcaklığını, ekserji verimini ve çıkış sıvı sıcaklığını azalttığı Şekil 2.12'de olduğu gibi tespit edilmiştir [90].



(a)



(b)

Şekil 2.12. a) PV/T Kollektör çıkış suyu sıcaklığının (K)-akış hızına göre değişimi grafiği, b) Absorber plaka sıcaklığının (K)-akış hızına göre değişim grafiği [90].

Ansys cfd çözümlemesinin ardından Ag-Su nanoakışkanı kullanılan PV/T kollektöründe kollektör çıkış borusu sıcaklık dağılımı ve PV'nin temas ettiği ve ısı transferi yüzeyi olan absorber plaka sıcaklık dağılımını Şekil 2.13'te olduğu gibi elde etmişlerdir. Burada, çıkış sıvı sıcaklığının artması ile daha çok soğutma verimi elde edildiği tespit edilmiştir [90].

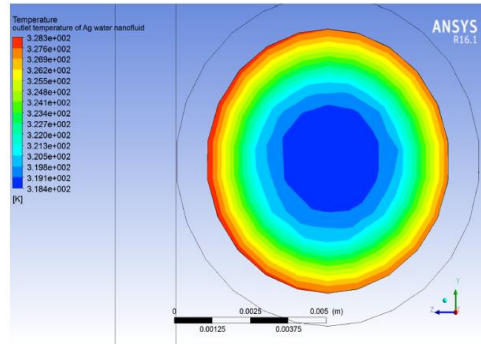


Fig. 16. Outlet temperature distribution contour for Ag-water nanofluid.

(a)

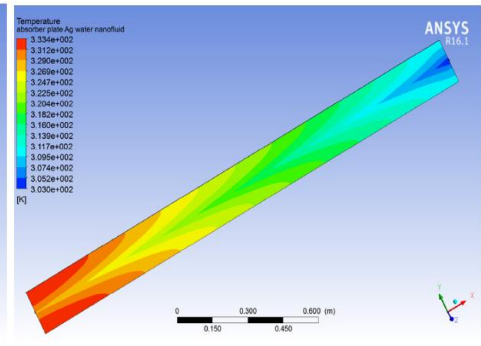


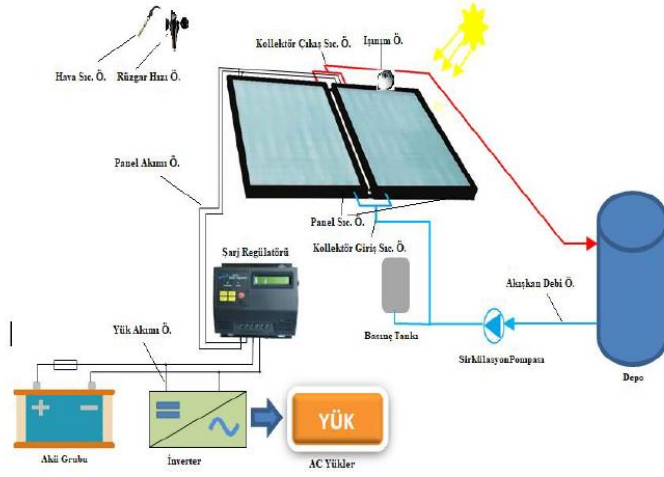
Fig. 17. Absorber plate temperature distribution for Ag-water nanofluid.

(b)

Şekil 2.13. a) PV/T Kollektör çıkış nanoakışkan sıcaklık dağılımı, b) Absorber plaka sıcaklık dağılımı [90].

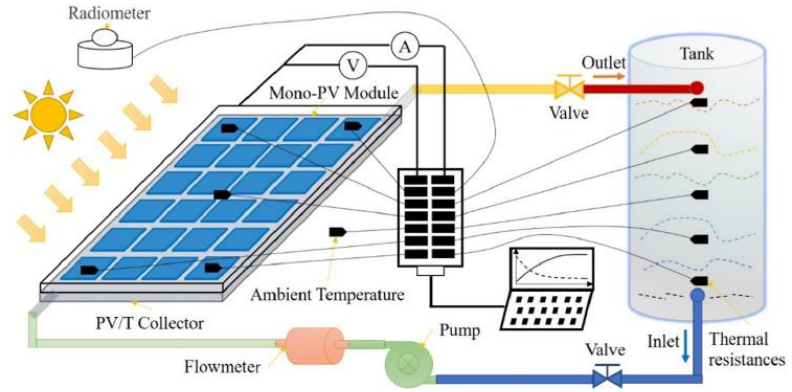
Gül. M. vd, yaptıkları deneysel çalışmada PV/T sisteminin ısıl ve elektriksel performansını deneysel olarak incelemişler, PV/T panellerin soğutulması için

kullanılan sıvı akışkanın panelin maksimum güç noktasındaki elektriksel çıkış değerinde %12,9'luk bir artış sağladığı belirlenmiştir. Farklı debilerde yapılan ölçümlerin ısı performansına etkisi incelenmiş ve debiyi arttırmanın ısı verimini arttırdığı gözlenmiştir. Bu noktada 0,069 kg/s debide verim %52,11 iken, 0,015 kg/s debide ise %49,9 olarak hesaplanmıştır [94].



Şekil 2.14. Gül. M. vd., Deneysel çalışma şeması [94].

Pang W. ve diğerlerine ait Şekil 2.15'te gösterilen deneysel çalışmada monokristal PV ve test düzeneği laboratuvar şartlarında kurulmuş, sabit güneş ışınım, sabit oda sıcaklığı ve sabit sıvı girişi ile alınan değerler karşılaştırılmıştır. PV elektriksel güç çıkışının PV yüzey sıcaklığının artması ile azaldığı tespit edilmiştir. PV güneş eğim açısının da optimum seviyede olması sistemin çalışma performansını etkileyen diğer bir faktördür. Sıvı giriş hızının artması ile elektriksel verim ve ısı verim değerlerinin arttığı saptanmıştır.



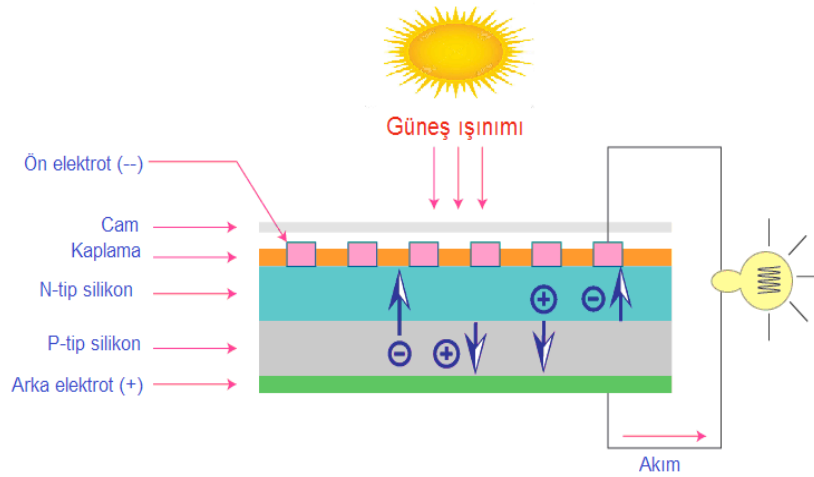
Şekil 2.15. Pang.W. vd., deneysel çalışma şeması [95].

BÖLÜM 3

FOTOVOLTAİK (PV) TEKNOLOJİSİ

3.1. FOTOVOLTAİK (PV) NEDİR?

Fotovoltaik yapı, Şekil 3.1’de gösterildiği gibi iki katmanlı silisyum yapıdan meydana gelmektedir. N tipi taban üzerinde ince bir P tipi malzeme bulunmaktadır. Işık bu iki malzemenin yüzeyine düştüğünde, N tipi malzemenin P tipine göre pozitif olduğu bir gerilim meydana gelir. Çıkış gerilimi, elemanın üzerine düşen ışık şiddetine bağlıdır. Çıkışa bir yük (direnç) bağlandığında, bir akım gerçekleşecektir. Bu akımın şiddeti, eleman üzerine ve eleman yüzey alanına düşen ışık şiddetine bağlıdır.



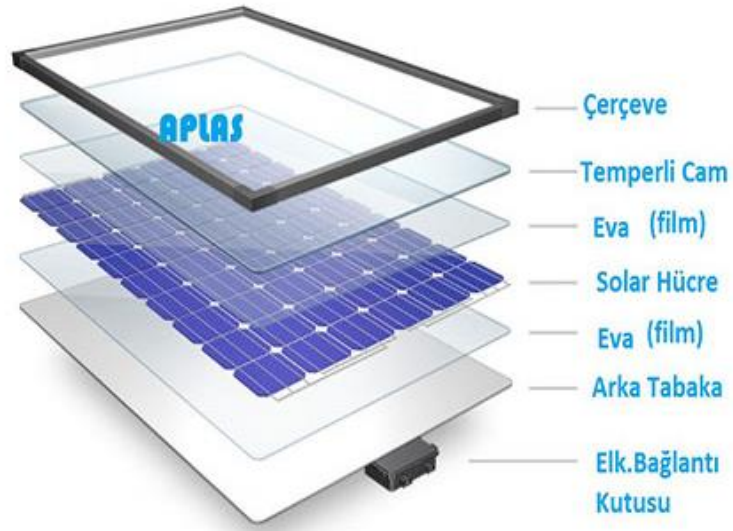
Şekil 3.1. PV Solar Hücrenin teknolojik iç yapısı [29].

PV panelleri güneş ışınları ile ilk temas ettiği yüzeyden en alt katmana kadar sıralandırılabilir. Öncelikle, tüm gövdeyi asgari esneklik ve dayanım açısından saran kenar kısımlarda alüminyum çerçeve kullanılır. Hafif ve kolay işlenebilir olması, korozyon direnci yüksek olması kullanım ömrünü artıran özelliklerdendir. Panelin çerçeve alanı iç kısmına gelen tüm güneş ışınlarını ikinci karşılayan katman temperli

cam yüzeydir. Bu yüzey, güneş ışınlarını %85-%95 arasında geçirgenlik özelliği olan malzemeden üretilmiştir. PV hücreleri, hava şartlarının ve dış etmenlerin olumsuz etkilerinden koruyabilmek için düşünülmüştür.

Bir sonraki katman olan Etilen Vinil Asetat (EVA) olarak adlandırılır ve polimer yapıya sahip olan EVA, solar hücre içerisinde toz, su vb. dış koşullardan izole edebilmek için kullanılır. Aynı zamanda, solar hücreleri tam anlamıyla sararak dış darbelerden olduğunca koruyabilir.

Diğer bir katman ise güneş hücreleridir. Bu hücreler güneş ışınımı ile elektrik üretimini sağlayan ürünlerdir. Yeniden EVA polimer malzemesi solar hücreyi alt kısımdan sarıp su ve kirlenmenin önüne geçmiş ve çok iyi izole etmiş olur. Daha sonra, Tedlar (PVF) yani poli vinil flor denilen polimer malzemeden oluşan bir katman ile karşılaşırız. Bu katman tüm güneş hücrelerini, devrelerini ve EVA katmanını sarıp yine toz, su gibi korozif etkilerden izole etmesini sağlar. Tüm detayları ile PV panelin örnek katman yapısı Şekil 3.2’de ve panel malzemelerinin fiziksel özellikleri ise Çizelge 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.2. PV Bileşenleri iç yapısı [30].

Çizelge 3.1. PV panel katmanları, katman kalınlığı ve ısı transfer katsayıları.

Katman	Katman Kalınlığı (m)	Isı Transfer Katsayısı (W/m.K)
Temperli Cam	0.003	0.98
EVA	0.0004	0.23
Solar Hücre	0.00018	148
EVA	0.0004	0.23
Tedlar(arka tabaka)	0.0005	0.36

3.2. PV PANEL PERFORMANSINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

3.2.1. Güneş Pilleri Yapı Malzemesi

Solar hücrenin yapısındaki malzemenin seçimi tasarımı ve elektrik iletkenlik verimi açısından çok önemli rol oynamaktadır. Özellikle silikon, bakır indiyum diselenür ve indiyum fosfür gibi ürünler solar hücre yapı taşı oluşturmaktadır. Ama, en çok kullanılanlar arasında şüphesiz silikon vardır. Bu gelişim, kristal yapıdaki silikon gibi ürünlerin gelecek yıllarda yatırım, proje ve araştırmalarda kullanım alanı daha da artıracaktır [9].

3.2.1.1. Mono Kristal Silikon Güneş Pilleri

Mono kristal silikon güneş hücreleri en yaygın kullanılan yarıiletkenlerdendir. Yapıları gereği standart verimleri %24,7 ve ticari amaçlı kullanımlarda ise %18 civarındadır. Aynı zamanda, çok düşük maliyetli ve yüksek kaliteli ürün olmalarından dolayı tercih edilirler.

3.2.1.2. Poli Kristal Silikon Güneş Pilleri

Yapısal gereği en çok ticari yapılarda kullanılan ve verimi daha yüksek bir yarı iletkenidir. Güçlü yanları, mono kristal yapıdan daha sağlam olması, daha ucuz üretim faaliyetlerinin olması önemli olanlardandır.

3.2.1.3. Amorf Silisyum Güneş Pilleri

Amorf silisyum güneş pilleri (a-Si), ince film güneş pili teknolojisinin en önde gelen örneğidir. İlk yapılan a-Si piller Schottky bariyer yapısında iken, daha sonraları p-i-n yapıları geliştirilmiştir. P-i-n yapısındaki pillerin fabrikasyonu kalay oksitle kaplı iletken bir yüzeyin üzerine çöktürme yöntemi ile yapılır, bu yüzeyin arkası daha sonra metalle kaplanır. Ancak, bu piller, kısa zamanda bozunuma uğrayarak çıkış güçleri azalır. Soğurma katsayısı çok büyük olan amorf silisyum, 250°C dolayındaki sıcaklıklarda geniş yüzeylere düzgün bir şekilde kaplanabilmektedir. Amorf-silisyum malzemesini kristal silisyumdan ayıran özellik, silisyum atomlarının malzeme içindeki düzenlerinin, birinci derece komşu atomların ötesinde gelişigüzel olmasıdır. Malzeme içerisindeki yapı taşlarının bu gelişigüzel dizilişi amorf-silisyumun elektriksel iletim kalitesini düşürse de, uygun yaklaşımlarla yarı iletken içerisine %5-10 oranında hidrojen katılarak elektriksel özellikler fotovoltaik çevrime uygun olan düzeyde tutulabilirler. Amorf silisyum güneş pilleri, daha çok küçük elektronik aletlerde kullanılmakta olup gelecekte binaların dış cephesine entegre olarak kullanılabilceği tahmin edilmektedir. Maliyetini geri ödeme süresi 1.5-3.5 yıl arasındadır, zaman içerisinde %21'lere yakın verim kaybı oluşmaktadır. Üretim için yüksek maliyetli donanımlar gerektirmektedir fakat üretim süreci ucuz olduğu için firmalar bu hücre tipine de yönelmektedir [64].

3.2.1.4. Galyum Arsenit (GaAs) Güneş Pilleri

Bu malzemeyle laboratuvar şartlarında %25 ve %28 (optic yoğunlaştırıcı) verim elde edilmektedir. Diğer yarı iletkenlerle birlikte oluşturulan çok eklemlili GaAs'de %30 verim elde edilmiştir. GaAs güneş pilleri uzay uygulamalarında ve optik yoğunlaştırıcı sistemlerde kullanılmaktadır.

3.2.1.5. Kadmiyum Tellürid (CdTe) Güneş Pilleri

Çok kristal yapıda bir malzeme olan CdTe ile güneş pili maliyetinin çok aşağılara çekileceği tahmin edilmektedir. Laboratuvar tipi küçük hücrelerde %16, ticari tip modüllerde ise %7 civarında verim elde edilmektedir.

3.2.1.6. Bakır İndiyum Diselenid (CuInSe₂) Güneş Pilleri

Bu çok kristal pilde laboratuvar şartlarında %17,7 ve enerji üretimi amaçlı geliştirilmiş olan prototip bir modülde ise %10,2 verim elde edilmiştir.

3.2.1.7. Optik Yoğunlaştırıcı Güneş Pilleri

Gelen ışığı 10–500 kat oranlarda yoğunlaştıran mercekli veya yansıtıcı araçlarla modül verimi %17'nin, pil verimi ise %30'un üzerine çıkılabilmektedir. Yoğunlaştırıcılar basit ve ucuz plastik malzemeden yapılmaktadır.

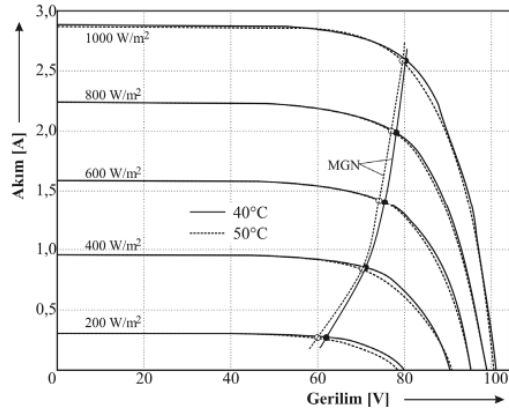
3.2.2. Güneş Işınımı

Hücrede üretilen elektrik enerjisi panele ulaşan güneş ışınım şiddetinin miktarı ile doğrudan ilişkilidir. Güneş ışınımı gün içerisinde farklı saatlerde değişkenlik gösterebilmektedir. En yoğun güneş ışınımı gün ortasında ulaşmaktadır. Aynı zamanda, panel yüzeyi ile güneş ışınım açısı 90° açı olduğunda en yüksek güneş ışınımı sağlanmış olur [33].

Diğer yandan, panel eğim açısı optimum elektrik üretimi olan coğrafi bölgeye bağlı olarak seçilmek zorundadır. Güneş izleyici sistemler gibi akıllı sistemlerin güneş panellerine montajı mümkündür. Böylelikle, tüm gün boyunca güneş ışınımının en dik açı ile gelmesini sağlayabilirsiniz

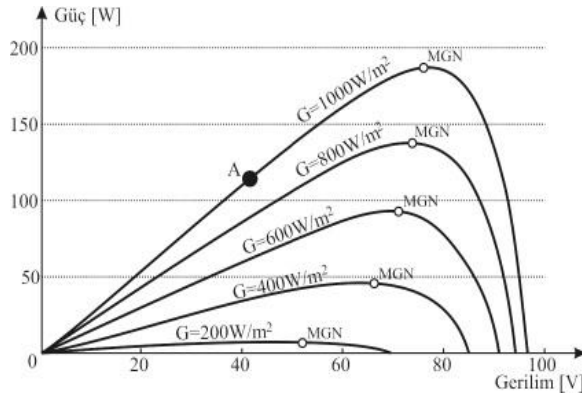
3.2.2.1. Güneş Işınımına Bağlı Akım-Gerilim Değişimi

Güneş ışınımına bağlı olarak PV panellerin akım-gerilim eğrilerinde değişimler görülmektedir. Şekil 3.3'te gösterildiği gibi güneş ışınım şiddeti arttıkça akım değeri artarken, gerilim ise akıma nispeten daha az artış eğilimi göstermektedir.



Şekil 3.3. Güneş ışınımına bağlı akım-gerilim grafiği [65].

Bir diğer PV panellerde aranacak özellik arasında ise güç-gerilim grafiğinin güneş ışık şiddetine bağlı değişimi vardır. Sıcaklık arttıkça PV'nin max çıkış gücü ve bu güce karşılık gelen gerilim değeri azalmaktadır. Ancak, güneş ışınım şiddeti arttıkça bu eşik değerine karşılık akım ve gerilim şiddeti artacağından Şekil 3.4'te görüldüğü gibi PV'nin max. güç çıkış değeri de artmış olacaktır [42].



Şekil 3.4. Güneş ışınımına bağlı güç-gerilim grafiği [65].

3.2.3. Kirlilik

Kirlilik, panel yüzeyine nüfuz ederek güneş ışınlarının solar hücreye ulaşmasını kısıtlamaktadır. Böylelikle, daha az ışığın soğurulması daha az voltaj-akım çıkışı ve daha az elektrik enerjisi üretimi anlamı taşır. PV verimi oldukça düşer. Yapılan çalışmalarda elde edilen bulgular sonucunda, kirlilikten dolayı yaklaşık %7 oranında

PV panel üretim verimliliği düşmektedir. Diğer bir çalışmada ise, mevcut kirli yüzeyin temizlenmesi ile PV verimi %32,27 oranında artırılmıştır [34]. Çalışmalar gösteriyor ki, kirlilik faktörü PV verimliliğini etkileyen önemli etmenlerdendir.

3.2.4. Gölgeleme

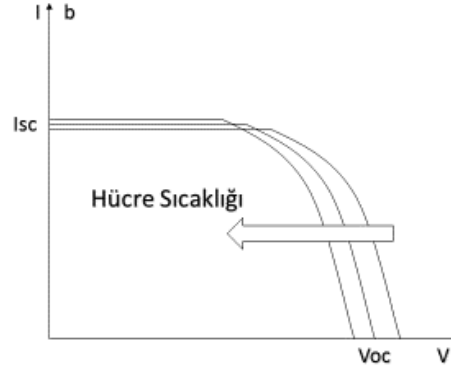
Gölgeleme, PV verimini etkileyen önemli etmenler arasında yer alır. Araştırmacılar, %2 oranında gölgelenen PV'nin elektrik üretim veriminin neredeyse %70 oranında daha az enerji üretebileceği ve bu durumun hücrenin performansını önemli oranda düşürdüğünü belirtmektedir [35].

3.2.5. Nemlilik

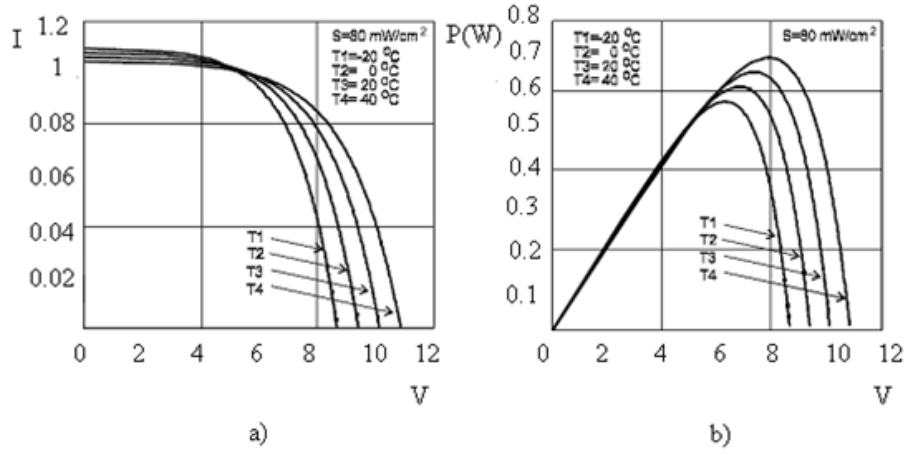
Ortamın nemliliği, PV hücrelerinin soğurabileceği güneş ışınım miktarını engeller ve yüzeyde yoğunlaşmış bir su tabakası meydana geldiğinde güneş ışınlarının solar hücreye istenilen verimlilikte nüfuz etmesini engeller [36]. Aynı zamanda, bir çok çalışmada da yer aldığı gibi yüzeyde yoğunlaşan nem ile ortam toz partikülleri birleşerek daha çok kirlilik meydana getirir ve PV'nin verimini düşüren diğer bir etken olarak kayda geçer.

3.2.5.1. Sıcaklık Ve Buna Bağlı Olarak Akım-Gerilim Değişimi

PV panel verimliliğini etkileyen en önemli faktörlerden birisi ve çalışmaların da odak konusu olan PV panelin yüzey çalışma sıcaklığıdır. Yüksek ortam sıcaklığı, rüzgar ve güneş ışınım değerleri sıcaklığı etkileyen faktörlerdendir. Eğer rüzgar kaynaklı doğal taşınımın yetersiz olduğu PV panel çalışma ortamında ortam sıcaklığının ve güneş ışınım değerinin çok olması halinde Şekil 3.5'te gösterildiği gibi PV'nin çalışma sıcaklığı yükselecek ve bu durum panelin gerilimini(V) azalacağından dolayı, panelin verimi sıcaklıkla ters orantılı olarak düşecektir.



Şekil 3.5. Sıcaklığa bağlı PV Akım-Gerilim değişim grafiği [65].



Şekil 3.6. a) Sıcaklığa bağlı PV elektrik enerjisi akım-gerilim grafiği, b) Güç-gerilim grafikleri [65].

Şekil 3.6-a'da belirtildiği gibi sıcaklığa bağlı gerilimin ve akımın değişimi grafiklerle gösterilmiştir. Aynı şekilde Şekil 3.6-b'de ise, aynı güneş ışınım değerinde gerilimin T_4 sıcaklığında fazla olması PV'nin T_1 sıcaklığına göre daha çok çıkış gücü aldığını göstermiştir.

PV'nin yapıtaşı olan yarıiletken malzemeler doğal karakteristik özelliklerinden dolayı sıcaklıktaki bir artış ile iletkenlikleri azalacak ve bu azalma panellerin doğrudan verimlerini düşürecektir. Bazı çalışmalar gösteriyor ki, sıcaklıktaki 1°C 'lik artış PV panelin veriminde yaklaşık %0,5'lik bir azalmaya sebep olacaktır [33].

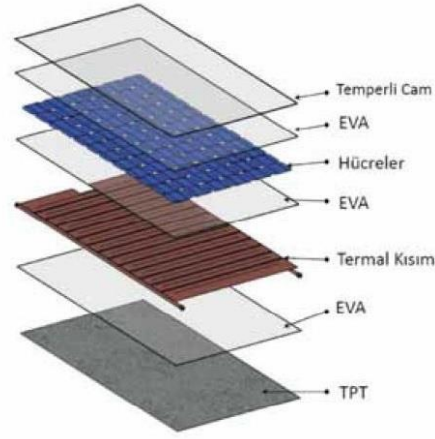
Başka bir çalışmada, PV performansındaki en büyük düşüş PV yüzey sıcaklığının 85°C'ye ulaştığı çalışma sıcaklığında ölçülmüş ve bu değer PV performansında yıllık toplam %11,3 verim kaybına sebep olmaktadır [37].

Yine sıcaklığın en önemli faktörlerden birisi olduğuna bir başka çalışmada değinilmiştir. PV panel sıcaklığının 50-60°C olduğu yaz aylarında panelin elektrik verimi yaklaşık %4-%5 oranında düştüğü deneysel çalışmalarla gözlemlenmiştir [38]. Yapılan çalışmalar gösteriyor ki, PV panel çalışma sıcaklığının düşürülmesi yönünde yapılacak araştırmalar panelin doğrudan veya dolaylı olarak soğutulması ile mümkün olacağı sonucuna varmamızı sağlamaktadır. Son yıllarda popüler olarak kullanılan PV/T paneller sıcaklığın düşürülebilmesinde kullanılan bir çok çalışmanın da önü açılmış olacaktır.

3.3. PV/T PANEL TEKNOLOJİSİ

PV/T çalışmaları, ilk olarak 1970'lerin ortasında bazı bilim adamlarca başlatılmıştır. Yakın senelerde ise bazı teorik ve deneysel çalışmalar literatürde yerini almıştır ve global yapıda daha gelişmiş çalışmalara öncülük edebilmiştir. Başlangıçta PV panel yüzeyi ve tüm çerşeveden ısıyı uzaklaştırmak için çoğunlukla su ve hava kullanılmıştır. 21. yüzyılın başlarında, soğutucu akışkan türü ve ısı transfer sistemleri üzerine bir çok farklı çalışmalar yapılarak PV/T teknolojisinin her geçen yıl daha optimum düzeye ulaştıracak yeni uygulamalı fikirler ortaya atılmaya başlanmıştır.

PV/T panel, genel olarak ısı ve elektrik enerjisinin üretebilen mikro çapta bir güneş tabanlı ko-jenarasyon sistemi olarak tanımlanabilir. Güneşten gelen ışınların bir kısmı solar hücrelerde elektrik enerjisine çevrilirken aslında büyük bit kısmı da ısı enerjisine dönüşmektedir. Lakin, bu ısı enerjisini sıradan PV panellerde faydalı enerjiye çevirip kullanabilmek çok mümkün değildi. Bu faydalı ısı enerjisinin kullanımını sağlamak için bir çeşit sı değiştirici olarak termal eleman ilavesi ile elektrik enerjisi ile birlikte panelin yüzey sıcaklığındaki enerjiyi ısı enerjisi olarak faydalı enerjiye çevirilebilir.



Şekil 3.7. PV/T bileşenleri iç katmaların yapısı [30].

Dünyadaki birçok araştırmacı farklı yöntemler kullanarak PV modülün soğutulması üzerine çalışmışlardır. Böylelikle, PV'yi geliştirmişler ve çalışmalarında artık hibrit sistem olan PV/T kullanmışlardır. Şekil 3.7'de PV/T'nin yapısal katmanları gösterilmektedir.

Çalışmanın bir diğerinde, geliştirilen bakır borulu serpantin absorber özellikteki alüminyum metal sac ile birleştirilmiş ve PV tedlar yüzeyi ile termal kısım arası ısı direnci minimuma indirebilmek için termal macun PV arka yüzeyine uygulanmıştır. Termal macun, minimum ısı direnç gösteren ısı iletim sağlayabilen bir üründür. Bakır borular içine soğutma suyu belli kütleli debi (kg/s) ile gönderilmiş ve bu döngüsel halde bir pompa ile tekrarlanmış. PV/T panel yüzey sıcaklığındaki azalma, panelin elektrik veriminde artış sağlamıştır [39].

Çizelge 3.2. Örnek PV/T panel katmanları ve kalınlığı ve ısı transfer katsayı [30].

Katman	Katman Kalınlığı (m)	Isı Transfer Katsayısı (W/mK)
Temperli Cam	0,003	0,98
EVA	0,0004	0,23
Solar Hücre	0,00018	148
EVA	0,0004	0,23
Termal Kısım 1 (Bakır levha)	0,0007	401
Termal Kısım 2 (Bakır ısı transfer serpantin borusu)	-	401
PVF Tedlar (arka tabaka)	0,0005	0,36

Bazı araştırmacılar toplam panel verim hesaplarında ısı ve elektriksel verimi doğrudan ilave ederken, bir başka grup araştırmacı ise ortalama verim hesabı ile sistemden çıkan elektrik çıkışının tüm sistem üzerine uygunluğunun hesapları yapılmıştır [40-42].

Başka bir deneysel çalışmada, yoğun kullanılan PV/T uygulamalarından olan hava soğutmalı PV/T deneyinde yaklaşık %39 ısı verim ve %8 elektriksel verim elde edilmiştir [43].

İki farklı bölgede yapılan deneylerde PV/T çalışma sıcaklığının PV çalışma sıcaklığına göre oldukça düşük olduğu saptanmış ve PV/T çalışma sıcaklığı 32-35°C civarlarında değişirken, PV'nin aynı ortam koşullarındaki sıcaklığı 60-61°C civarında ölçülmüştür. Bu ölçümler, elektrik veriminde ciddi bir fark oluşturmuş ve yıl bazında alınan ölçümlerin değerlendirilmesi sonucu PV/T panelin elektrik üretim performansı PV'ye göre %26 daha fazla olduğu kayıtlara geçmiştir. Yaz mevsiminde sıcaklığın daha yüksek olduğu bir dönemde PV/T verimliliği daha da yüksektir [44].

Son yıllarda insanların yaşadığı binalarda tri-jenerasyon enerji olan ısıtma, soğutma ve elektrik üretimi için de PV/T'ler kullanılmaya başlanmıştır. Öncelikle, bölgenin potansiyel ihtiyaçları ve kurulacak sistemin ekonomik geri ödemesi de ele alındığında uygun sistemlerin seçimi sağlanabilir. Bu proje çalışmaları, ilerleyen yıllarda daha az enerji giderleri olarak kullanıcılara ekonomik katkıda bulunacaktır. Fakat, Rusya gibi soğuk ülkelerde her an sıcaklığın istenilen düzeyde elde edilememesi bu tür PV/T sistemlerini ekonomik kılmamaktadır. Aynı zamanda, Almanya'nın Stuttgart şehrinde 100 m² lik alanda kurulacak PV/T sistemi hem CO₂ salınımını azaltırken aynı zamanda sıcak su ve elektrik üretimi ile yüksek oranda kullanıcılara finansal katkı sağlamış olduğu sayısal verilerle desteklenmektedir [45].

Benzer başka bir çalışmada, prototip olarak su tankı, pompa, su kollektörü vb. kapalı sistem tesisat elemanları standart PV'ye entegre edilmiş ve aynı zamanda hiçbir soğutma organı olmayan standart PV kullanılarak bir deneysel düzenek kurulmuştur. PV/T ve PV bulunduğu bölgeye göre eğim açıları ayarlanmış, şarj control cihazı, AC inventör ve batarya gibi elektrik elemanları sisteme entegre edilmiş ve deney başlatılmıştır. Sonuçlar, kapalı su çevrimi ile döngüsel soğutulan PV/T panel sıcaklığının %15-20 arası azaldığını ve bu oranda PV/T'nin PV'ye oranla yaklaşık %15-20 oranında ise daha fazla elektrik üretim yapabildiği deneysel bulgularla saptanmıştır [45].

Son yıllardaki tüm çalışmalar gösteriyor ki, enerji verimliliği adına yapılacak çalışmalarda PV/T yoğun bir şekilde kullanılacaktır. Bu durumda, fazla ısının atılması adına bir çok soğutma ve ısı jenerasyon sistemleri kullanılacaktır. Bölüm 4'te PV soğutma teknikleri üzerine literatür taraması ve örnek çalışmalar üzerine araştırma verileri kayda alınmıştır.

BÖLÜM 4

PV SOĞUTMA TEKNİKLERİ

Dünya literatür araştırmaları üzerine genel bir tarama yaptığımızda aktif ve pasif soğutma teknikleri olarak iki ana başlıkta PV soğutma tekniklerinin kullanıldığını görölmektedir.

4.1. AKTİF SOĞUTMA TEKNİKLERİ

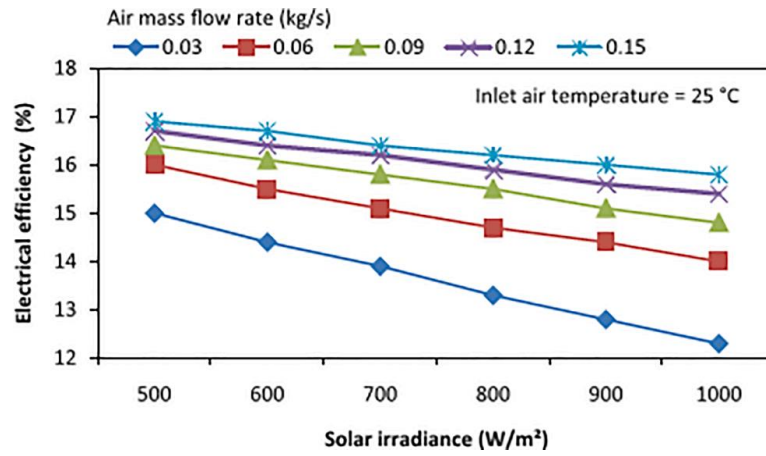
Aktif soğutma teknikleri, ilave güç gerektiren ve aynı zamanda ekipman gerektiren pompalama, fan tahrikli ve bu ekipmanlar için gerekli ilave sistemsel elemanların kurulması daha efektif bir soğutma yükü sağlamaktadır. Aktif soğutma tekniklerine genel olarak bir sonraki alt başlıklarda değinilmiştir.

4.1.1. Hava Soğutmalı Sistemler

PV panellerindeki hava soğutmalı sistemlerde, çoğunlukla PV'nin sıcaklığını düşürmeye veya ısıl kapasiteyi faydalı amaçlarla kullanmaya yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Her ne kadar hava çok verimli bir soğutucu olmamasına rağmen, düşük iletme maliyeti ve az yatırım maliyeti gibi bir çok avantajları da bulunmaktadır.

Isı transferi uygulamalarında hava, bir fan veya pompa gibi bir ekipmanla çark edilir. Bir örnek çalışmada, PV panelin performansı pompa ile şartlandırılmış havanın soğutma tekniğı kullanılmıştır. Aynı zamanda, soğutma yapılmayan fakat aynı karakteristikteki diğeri bir PV ile performans sonuçları değerlendirilmiştir. Sonuçlara göre, soğutulan panelin elektrik verimi %7,2 oranında arttığı gözlemlenmiştir [58].

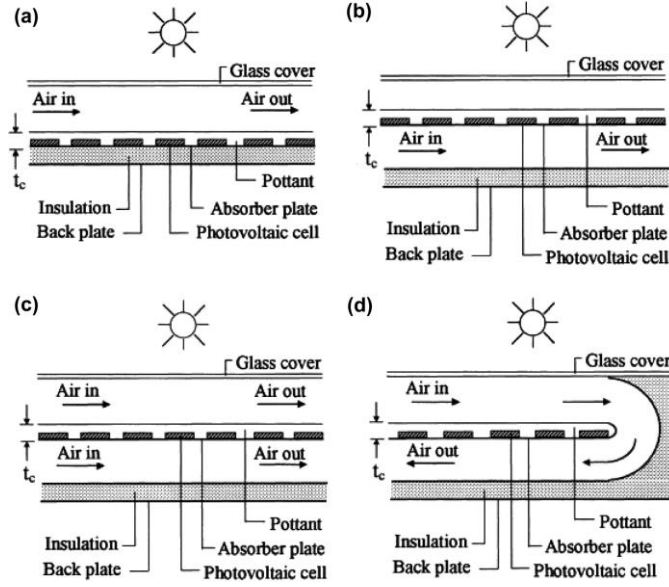
PV panel performansını etkileyen diğer etmenlerden olan hava debisi, güneş ışınım şiddeti ve alüminyum kanatçıklı artırılmış ısı transfer yüzeyi incelenmiş ve deneysel çalışmalarda kanatçıklı yapıdaki yüzeyden sırasıyla %10,5 ve %15 oranında daha fazla elektrik ve ısı performans gözlemlenmiştir. Yani, PV panel yüzeyini soğutmakla daha çok elektrik enerjisi elde edilmiştir. Aynı çalışmada, havanın kütleli akış debisindeki (kg/s) artış, elektrik üretim verimliliğini artırmıştır. Deneysel elde edilmiş veriler Şekil 4.1'deki grafik üzerinden incelediğimizde kütleli debideki artış ile doğrudan panelin elektrik enerji verimliliği artmıştır [59].



Şekil 4.1. Hava soğutması uygulanan PV/T için, hava kütleli debisinin elektrik enerjisi verimliliğine etkisi [59].

PV/T sistemlerde hava debisinin artırılması fanlarla sağlanabilir ve hava debisindeki artış ile elektrik verimliliği de artırılabilir. Ancak, kullanılacak fan sayısındaki artış çok fazla elektrik enerjisi gerektireceğinden toplamda verimli bir sistem olarak ele alınamaz. Bu durumda termal kısmın geometrisinde ısı transfer yüzeyinde iyileştirme yapmak daha mantıklı ve fanlardan kaynaklı daha az elektrik enerjisi sarfıyatı anlamına gelir.

Şekil 4.2'de PV solar hücre alt (a) ve üst yüzeylerine (b) ısı transfer kanalları entegre edilmiştir. Bu uygulamada üst ve alt yüzeylere sırasıyla hava soğutması yapılabilmesi için hava akışı verilmiş ve elde edilen PV panel elektriksel verimleri karşılaştırıldığında güneş hücrelerinin üst yüzeyinden soğutulması ile elde edilen elektrik enerjisi veriminin daha yüksek olduğu saptanmıştır [60].



Şekil 4.2. PV/T için örnek dört farklı hava soğutma uygulaması [61].

4.1.2. Sıvı Sprey Uygulanarak Soğutma Yapılan Sistemler

PV panellerin performanslarını etkileyen bir diğer unsur ise, güneş pil yüzeyine sıvı spreyi şeklinde yüzeysel soğutmanın yapılmasıdır. Ayrıca, yüzeyin temizlenmesi de sağlanmış olur. Bu yüzeyin temizlenmesinin de PV panellerin elektrik enerjisi üretimini doğrudan etkilemektedir. Böylelikle, sıvı sprey ile hem güneş panelinin yüzeyi temizlenmiş hem de yüzey sıcaklığı düşürülmüş olur.

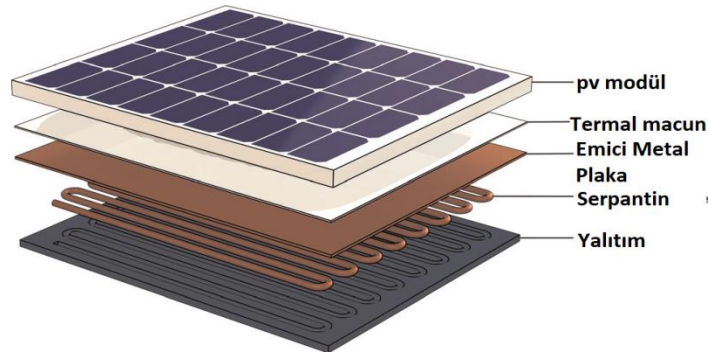
PV panel ve sprey uygulanmış diğer bir PV panelin aynı koşullardaki elektrik üretim ve yüzey sıcaklık verileri üzerine deneyler yapılmıştır. Deney düzeneği PV panelin üst yüzeyine sprey oluşumunu sağlayan nozullar yerleştirilmiştir. Nozulların PV soğutulacak yüzeyine uygulanması ile yüzeye tutunan sıvı damlacıklarının buharlaşma sıcaklığına ulaşması olayı faz değişimi olduğundan yüzeydeki istenmeyen gizli ısı bu şekilde uzaklaştırılmış olur ve çok ciddi sıcaklık düşüşleri meydana gelmektedir. Böylelikle, yapılan bu deneyde elde edilen PV veriminin %11,7 oranında arttığı saptanmıştır [56].

Diğer bir çalışmada, PV panel verimini artırmaya yönelik su nozul sprey sistemli deney düzeneği kurulmuş ve sprey uygulanmayan PV panele göre elektrik verimi

oldukça yüksek olduğu saptanmıştır. Lakin, bu soğutma işlemleri esnasında çok fazla su tüketildiği için istenilen uygunluk onayı sağlanmış değil [57].

4.1.3. Aktif Sıvı Soğutmalı Sistemler

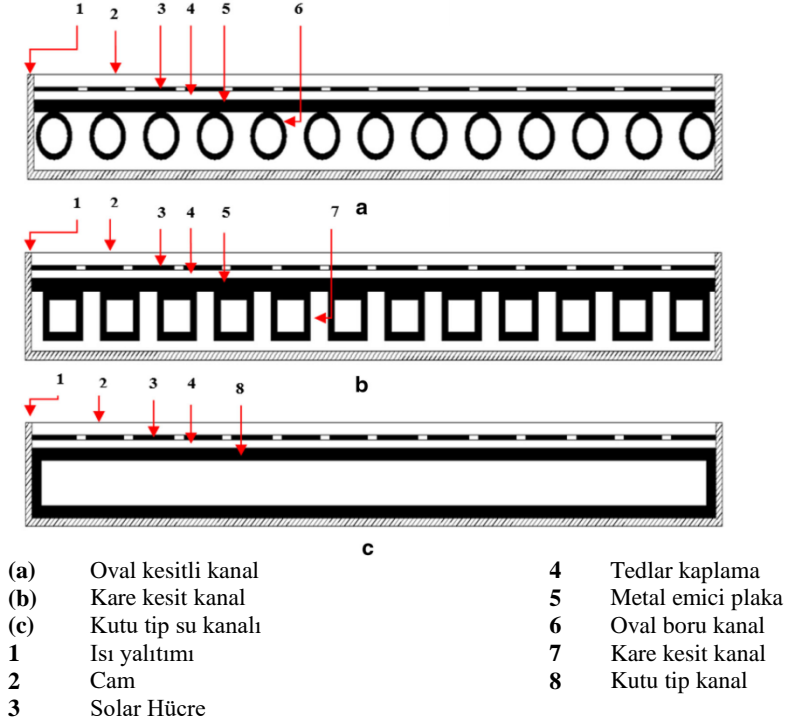
PV sistemleri son yıllarda fosil yakıtlardaki maliyetlerin artması ve karbon emisyonu açısından çevreci olduğu için üzerinde birçok araştırmacının çalıştığı bir alan haline almıştır. Özellikle, İran gibi bazı ülkeler petrol yakıtlarının birim maliyetlerini artırarak piyasanın ve araştırmacıların PV çalışmalarına yönelimlerini destekler nitelikte dolaylı olarak katkıda bulunmaktadır. Lakin, çevreci bir teknoloji olan PV panellerin ilk yatırım ve işletme maliyetleri yüksek olması, ısıl ve elektriksel verimliliği daha yüksek olan photovoltaic (PV/T) panelleri son yıllarda PV panellere göre alternatif olmuş ve önem kazanmıştır. Şekil 4.3'te örnek PV/T yapısını görmekteyiz.



Şekil 4.3. PV/T için örnek serpantinli su soğutmalı tasarım uygulaması [61].

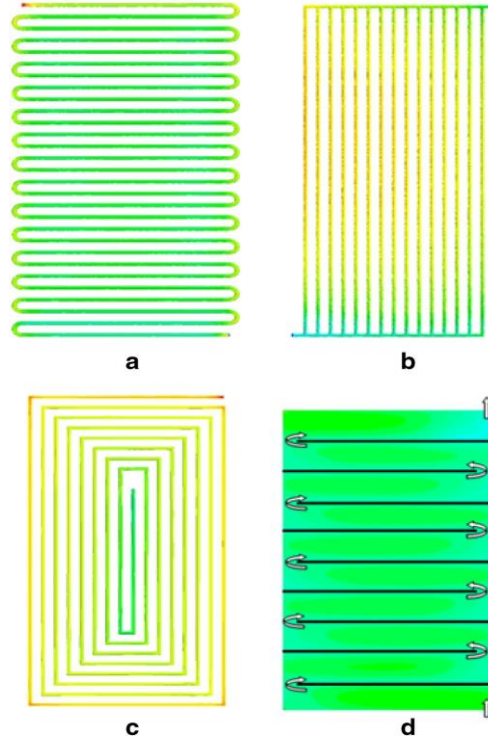
Sardouei vd., çalışmalarında Şekil 4.4'te farklı kollektör geometrilerini kullanmışlardır. Yine literatürde ve bu çalışmada en yaygın kullanılan kanal kesitli kollektör ve emici bakır plaka geometrisi için farklı akış geometrisi tasarımlarını da incelemek mümkündür. Şekil 4.4'te gösterilen kesit geometrileri değerlendirildiğinde oval kesitli geometri emici metal plaka arası temas yüzeyi oldukça zayıfken, kare kesitli kollektör geometrisi ile emici metal plaka arası temas yüzeyi yeterli seviyededir. Diğer kutu tip kollektör geometrisi ise tamamiyle emici ısı transfer metal plaka yüzeyine temas ettiği için daha etkin bir ısı transferi sağlayacaktır.

Ancak, bu kutu tip eşanjör için kenar temas yüzeylerin sızdırılması ise oldukça zor bir üretim yöntemini gerektirir.



Şekil 4.4. PV/T farklı kollektör tasarım kesitleri [62].

Bu gerekçe ile, her geçen gün soğutma amaçlı PV/T grubu termal kollektör kullanımı bilim insanlarınca araştırma konusu olmuştur. Uygun tasarımın belirlenmesi, doğrulanması amacıyla yürütülen çalışma metodlarında gerek sayısal analizler ile bilgisayar destekli hesaplama programları, gerekse saha uygulama projeleri ile elde edilen veriler yorumlanarak uygun tasarıma karar verilebilir. Bu tür geometriler kendi içersinde de farklı uzanımlara sahip ısı eşanjörleri olarak literatürlerde ve uygulamalarda karşımıza çıkmaktadır. Şekil 4.5'te bazı en yaygın kullanılan eşanjör geometri türleri verilmiştir.



- | | | | |
|----|--------------------------|----|------------------------|
| a) | Salımlı Akış Geometrisi | c) | Spiral Akış Geometrisi |
| b) | Doğrudan Akış Geometrisi | d) | Çapraz Akışlı Geometri |

Şekil 4.5. Farklı kollektörlere ait eşanjör geometrileri [62].

Literatürdeki bir diğer çalışmada, PV modülün saat 13:00'da modül sıcaklığı 65°C olarak ölçülmüş ve aynı PV'nin elektriksel verimi sadece %8'dir. Salımlı kanal yapılı aktif soğutma tekniği kullanılan aynı tip ve aynı koşullardaki ikinci bir PV için elektrik verimi ve modül sıcaklığında kayda değer bir iyileştirme saptanmıştır. $0,03\text{kg/s}$ soğutucu su akışlı bu sistemde en yoğun elektrik enerjisi verimi bu soğutmanın ardından %13,6 ve ısı verim ise %51 olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlar gösteriyor ki, aktif olarak soğutulan bir PV'nin elektrik verimi yüksektir ve ısı verimi de faydalı enerji olarak kullanılabilir [63]. Soğutucu olarak suyun yansıra yağ, etilen glikol ve aseton gibi sıvı akışkanlar literatürde kullanılmış ve son yıllarda yeni teknoloji olarak kayda geçen ve zamanla yaygınlaşan nanoakışkanların PV/T panellerin soğutulması çalışmaları Bölüm 5, Bölüm 6, Bölüm 7 ve Bölüm 8'de detaylıca incelenmiştir.

4.2. PASİF SOĞUTMA TEKNİKLERİ

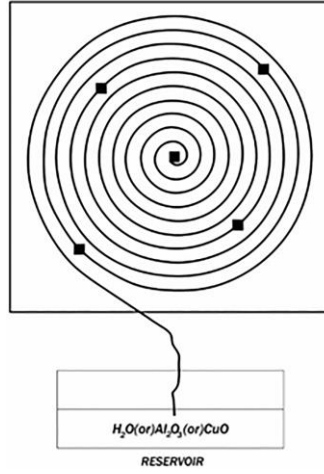
Pasif soğutma teknikleri, kapsamlı bir şekilde incelendiğinde çok yaygın olarak literatür taramalarında konu olmuş birçok başlığın olduğuna rastlamak mümkündür. Tercih edilme gereği soğutma için ilave enerji yükü gerektirmemesi pasif soğutma tekniklerini avantajlı hale getirmektedir. Bu tekniklere genel olarak aşağıdaki konu başlıklarında değinilmiştir.

4.2.1. Kılcallık Etkisi ve Fital Yapılı Soğutma Teknikleri

Kılcallık etkisi, sıvı ve çevreleyen katı yüzeyler arasındaki moleküller arası kuvvetler nedeniyle oluşan bir yapıdır. Örneğin tüpün çapı yeterince küçükse, sıvı ile tüp duvarı arasındaki sıvı içindeki kohesyonun neden olduğu yüzey gerilimi ve adezyon kuvvetlerinin birleşimi sıvıyı itme işlemini sağlar. Sıvılardan olan su, kolay elde edilebilmesi ve genellikle güneş hücre sıcaklıklarını düşürmede yaygın olarak kullanılırlar [46].

Fital yapıli sistemler, pasif soğutma yöntemlerinden birisi olarak karşımıza çıkar. Yapılan bir deneysel çalışmada, PV panelinin arka kısmına yerleştirilen pamuk malzemeden yapılmış fitilin iç yapısındaki su ile oluşturduğu kılcallık kuvvetinin sayesinde doğal sıvı hareketi sayesinde PV panelin arka yüzeyini soğuttuğu gözlemlenmiştir. Suyun da içlerinde yer aldığı Su, Al_2O_3 /su ve CuO/su ile oluşturulan üç farklı soğutucu nano akışkan sıvılar bu çalışmada kullanılmıştır. Elde edilen bulgulara göre, soğutma yapılmayan PV yüzey sıcaklığı ile karşılaştırıldığında sırasıyla %30, %17 ve %11 oranlarında yüzey sıcaklığında düşüşlerin olduğu gözlemlenmiştir. Aynı zamanda, PV'nin soğutulması ile en çok %15,61 oranında elektrik enerjisi verimi elde edilmiştir [47]. Bu çalışmada, nanoakışkanların kullanılması ile fitil yapının yüzeylerine yapışan nano partiküllerin kılcal etkiyi azalttığı kanıtlanmaktadır.

Şekil 4.6'da PV panel alt yüzeyine sarmal halde yerleştirilmiş fitil yapının ve kılcallık etkisiyle (sıfır enerji gereksinimi ile) sıvı beslemesi yapılan rezervuarın yapısı ve çalışma düzeneği yer almaktadır.



Şekil 4.6. PV panel, fitil yapı ve akışkan rezervuarı [47].

4.2.2. Faz Değişim Malzemeli (FDM) Soğutma Tekniği

Faz Değişim Malzemeleri (FDM), katıdan sıvıya veya sıvıdan katıya faz değişim fiziksel özelliği sayesinde yüksek verimlilikte ısı depolama veya ısı salınımı amacıyla kullanılmaktadırlar. Böylelikle, faz değişim sıcaklığına ulaşan FDM soğutma veya ısıtma sistemlerinde yaygın olarak kullanılabilir. Gizli ısı emilimi veya salınımı esnasında sıcaklık sabit kalmaktadır. FDM tarafından alınan gizli ısı, içerisinde depolanır ve böylelikle bu malzemeler yüksek verimlilikte ısı depolama olarak kullanılabilir. Bu özelliği sayesinde FDM, PV sistemlerde soğutucu olarak kullanılmaktadır.

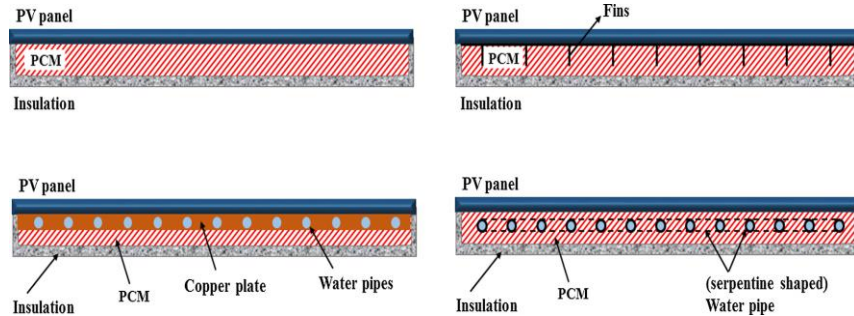
PV/T sistemlerin performansının artırmaya yönelik bir çalışmada, PV modül, su soğutmalı PV/T modülü ve FDM entegreli su bazlı PV/T üç farklı deneysel ortamı kurulmuş ve sonuçlara bakılırsa, FDM entegreli suyun soğutucu olarak kullanıldığı PV/T deneyi %53 oranında sıcaklıkta azalma ve böylelikle en verimli elektrik eldesi sağlayan bir deneysel çalışma olarak kayda alınmıştır [48].

Diğer bir deneysel çalışmada, soğutma yapılmayan PV üzerine uygulanan iki farklı termal iletkenlik değerlerine sahip iki FDM malzemesinin (RT28 ve paraffin tabanlı RT28) malzemeler üzerine ısı deneyleri yapılmıştır. Sonuçlar gösteriyor ki, yüksek

termal iletkenlik katsayısına sahip FDM'nin aynı koşullarda daha çok sıcaklıkta düşüşüne sahip olduğu gözlemlenmiştir [49].

Bir diğer çalışmada, FDM tabakasının kalınlığı PV/T dinamik karakteristiği üzerine önemli etkiyi vurgulamaktadır. PV modül sıcaklığı, ısı enerjisi, elektrik enerjisi hava çıkış sıcaklıkları üzerine etkisi simüle edilmiştir. Sonuçlar gösteriyor ki, 3 cm kalınlığındaki FDM üst tabakası mevcut PV panelin performansını önemli ölçüde artırmaktadır. Bu çalışmada, kalınlığın artması ile PV panelin veriminin arttığı gözlemlenmiştir [50]. Aynı zamanda, ortam sıcaklığının örneğin 25°C den 50°C'ye çıktığı durumda FDM destekli PV'nin elektrik üretim verimliliğinin %10 oranında düştüğü gözlemlenmiştir [51].

PV/T arka yüzeyi ile FDM arası alüminyum kanatçıklı yapı kurulmuş. Deneysel çalışmalar sonucunda alüminyum kanatçıklı yapının geniş bir ısı transfer yüzeyi oluşturduğu için ve daha çok ısı transferi sağlayarak PV'nin yüzey soğumasına ilave katkıda bulunduğu gözlemlenmiştir [52].



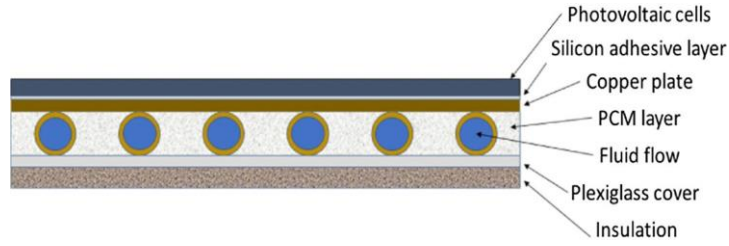
Şekil 4.7. FDM'li farklı yapıda PV/T panel sistemleri [53].

Bir başka çalışmada, PV/T-FDM bazlı sistem tasarlanmış ve yıllar boyu deneysel çalışmaları devam etmiştir. Burada FDM ile birleştirilmiş su ısıtıcı sistemi ısı girişini sağlayan paspas ile PV'nin sıcaklığını uzaklaştırmayı amaçlamaktadır. Şekil 4.7'de belirtildiği gibi, termosifonlu su akışını sağlamak için çoklu bakır boru düzeneği kurulmuş. Bakır borular ile PV arasına FDM malzemesi entegre edilmiştir. Bu kurulmuş düzeneğe normal PV/T sistemi ile karşılaştırıldığında hatırı sayılır bir sıcaklık artışının önüne geçilmiştir ve PV/T'nin elektriksel verimi artırılmıştır. Tüm

bu çalışmada, termal sistem ile PV arasında enerji denge denklemleri kurulmuştur [53].

FDM'nin seçimindeki en önemli konular arasında da erime noktası gelmektedir. Bu durumda kısmi erime veya sıvılaşma yetersiz ısı birikimine sebebiyet vereceğinden PV'nin performansı düşecektir.

FDM'nin üretimine ait yüksek maliyet ve termo-fiziksel özellikleri ürünün PV/T sistemlerinde kullanımını belirleyen temel unsurlardandır. İlerleyen yıllarda, yapılacak çalışmalarda daha etkin ve daha az maliyetli ürün ve metotların üzerine çalışılabilir. Şekil 4.8'de FDM kullanılan PV/T yapı elemanları verilmiştir.



Şekil 4.8. PV/T panel ve FDM yapılı çalışma [53].

4.2.3. Işıma (Radyasyon) Tabanlı Soğutma Tekniği

Pasif bir soğutma tekniği olan ışıma tabanlı soğutma üzerine son yıllarda bir çok çalışma yapılmıştır. Bu soğutma tekniği enerji harcamadan düşük ortam sıcaklığına ısı enerjisi aktarabilir. Bir çalışmada belirtildiği gibi, güneş ışınlarının yüzeye gelen büyük bir kısmı kullanılmadan kalır. Güneş pillerinin 300K gibi sabit bir sıcaklıkta çalıştığı var sayılırsa, teorik bir üst sınır olan Güneş enerjisinin en çok %32'lik kısmını elektrik enerjisine dönüştürebilir [54].

Temelde, atmosferde (8–13 μm) kalınlığında yerküre ile uzay boşluğu arasında ısı değişimini sağlayabilen kızılötesi ışınım düzeyinde saydam bir delik vardır. Işıma tabanlı soğutma sıfır enerji gereksinimine ulaşabilen bu prensipten faydalanmaktadır.

Işıma ile soğutma yükü için gerekli sayısal güç hesabı aşağıdadır: Işıma malzemesi alanı “A”, Sıcaklık “T”, açısal ve spectral yayıcılık “e” ve ortam sıcaklığı “T_{amb.}” Net ışıma soğutma enerjisi ise P_{n.r.c} dir [54].

$$P_{n.r.c}(T) = P_{rad}(T) - P_{atm}(T_{amb}) - P_{sun} - P_{c.d+c.v} \quad (4.1)$$

Atmosferik çerçevede ısı emisyondan kaynaklı ışıma gücü “P_{rad} (T)” olarak tanımlanır:

$$P_{rad}(T) = A \int d\Omega \cdot \cos \Theta \int_0^{\infty} d\lambda \cdot I_{B.B}(T, \lambda) \cdot e(\lambda, \Theta) \quad (4.2)$$

Burada, yarım kürenin açısal integrali $\int d\Omega = 2\pi \int_0^{\pi/2} d\Theta \cdot \sin\Theta$ ve $I_{B.B}(T, \lambda) = (2hc^2 / \lambda^5) \cdot [e^{hc/\lambda k_B T} - 1]^{-1}$ “T” sıcaklığındaki koyu yüzeyin spectral ışıma değeri, “h” Planck sabiti, “k_B” Boltzmann sabiti, “c “ vakum içindeki ışığın hızı ve “λ” ise dalga boyudur.

Saydam atmosfer koşullarından absorbe edilen güç formula aşağıda belirtilmiştir.

$$P_{atm}(T_{atm}) = A \int d\Omega \cdot \cos \Theta \int_0^{\infty} d\lambda \cdot I_{B.B}(T_{atm}, \lambda) \cdot e_{atm}(\lambda, \Theta) \quad (4.3)$$

Cihaz tarafından absorbe edilen Güneş enerjisi, “P_{sun}” aşağıda belirtildiği gibi hesaplanır,

$$P_{sun} = A \int_0^{\infty} d\lambda \cdot e(\lambda, \Theta_{sun}) \cdot I_{AM 1.5}(\lambda) \quad (4.4)$$

Burada, “I_{AM 1.5}(λ)”, güneş ışıma yoğunluğudur. Eşitlik (4.3) ve (4.4)’te Kirchoff yasası uygulanır ve açısal atmosferik yayıcılık “e(λ, q)”dır.

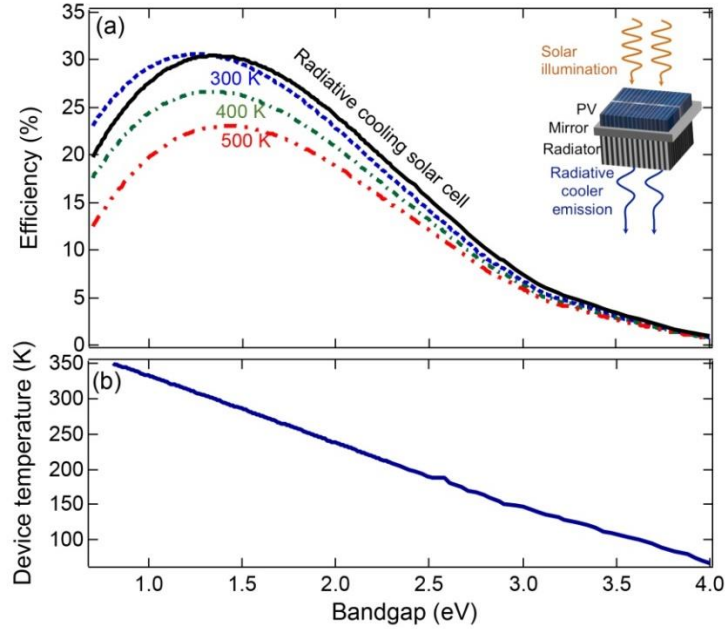
$$e_{atm}(\lambda, \Theta) = 1 - t(\lambda)^{1/\cos \Theta} \quad (4.5)$$

burada, “t (λ)” zenith yönünde atmosferik geçirgenliği ifade eder. Isı transferi olan taşınım ve iletimden kaynaklı ısı güç kayıpları aşağıda belirtilmiştir.

$$P_{c-d+c-v}(T, T_{amb}) = Ah_{tot}(T_{amb} - T) \quad (4.6)$$

Burada “ h_{tot} ” ışığa harici ısıl katsayı birleşimi ve ışığa soğutması yapılacak yüzey ile dış ortam arası etkileşimden kaynaklı oluşan “ $h_{c,d}$ ” ısıl iletkenlik katsayısı, $h_{c,v}$ ısıl yayılım katsayısı olarak tanımlanabilir.

Saydam atmosferik çerçevedeki “ P_{rad} ” ısıl ışınım emilim değerini artırabilmek için, “ P_{sun} ”, “ P_{atm} ”, ve “ $P_{c-d+c-v}$ ” değerlerini azaltmak gerekecektir. Şekil 4.9’da verimlilik değerlerinin karşılaştırılması üzerine çalışılmıştır [55].



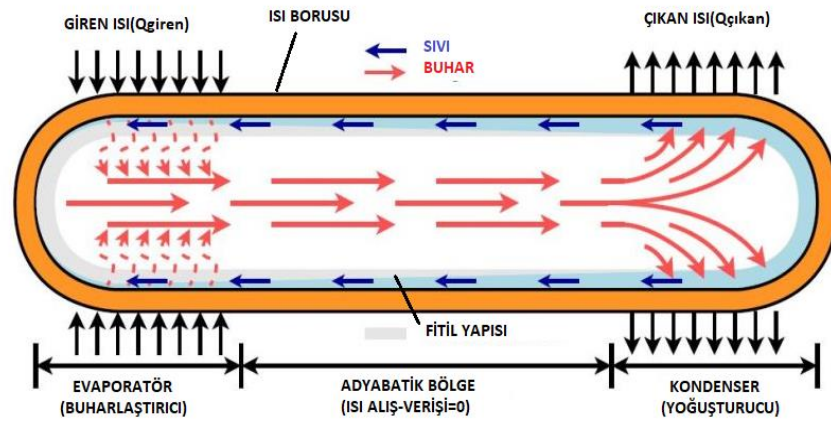
Şekil 4.9. a) Güneş pilinin, 300-500K çalışma sıcaklığındaki verimin ışınımlı soğutmaya bağlı değişimi, b) ürün sıcaklığına bağlı çıkış voltaj değişimi [55].

4.2.4. Isı Boruları, Termosifon Ve Atımlı (Pulsating) Termosifon Kullanılan Soğutma Sistemleri

4.2.4.1. Isı Borusu Nedir?

Isı boruları, yapısal olarak bakır veya alüminyum gibi ısı iletkenliği yüksek malzemelerden tamamen kapalı olarak üretilebilen bir ısı transfer ürünüdür. İç kısmında kılcallık etkisi ile çalışma sıvısını pasif harekete geçirebilecek fitil yapı vardır. Boruların üretimi esnasında ısı direnç sağlayabilecek hava gibi tüm gazlar vakum pompası ile uzaklaştırılır ve ardından tamamen dış ortam ile kütle transferi engellenir.

Isı borusunun bölgesel ısı transfer elemanlarını tanımak gerekirse; Evaporatör (buharlaştırıcı), Adyabatik (ısı alış-verişi=0) ve Kondenser (yoğuşturucu) bölgelerinden oluşur. Akışkan, öncelikle evaporatör kısmında sıvı fazdadır. Zamanla ısı girişinin etkisi ile negatif basınca vakumlanmış ortamda kaynama noktasına ulaşan sıvı, buhar faza dönüşür ve kondenser bölgesine ilerler. Bu ilerleme esnasında ilk olarak adyabatik bölgeden geçen buhar fazdaki akışkan burada herhangi bir ısı alış-verişi yapmaksızın kondenser bölümüne ulaşır.



Şekil 4.10. Isı borusunun çalışma mekanizması [55].

Kondenser bölümünde soğuk yüzeye çarpan buhar ısını atarak yeniden sıvı faza döner ve fitil yapıya teması ve kılcallık etkisi kuvveti ile yeniden evaporatöre

ulaşmış olur. Bu döngü her faz değişiminde gerçekleşir. Herhangi bir dış pompa gücü gerektirmez. Şekil 4.10'da ısı borusunun yapısal elemanları ve döngüsel bölümleri gösterilmiştir.

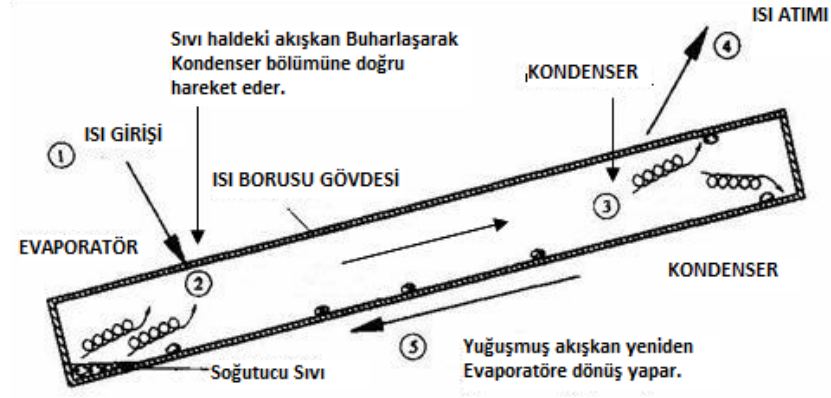
Akışkan sıvı, atmosfer basıncının çok altındaki koşullarda çalışmaktadır. Böylelikle, atmosfer basıncında kaynama derecesi vakum altındaki kaynama derecesinden oldukça yüksek olduğunda küçük sıcaklık değişimleri ile sıvı olan akışkan kaynamaya başlar ve buhar faza geçebilir. Böylelikle düşük sıcaklıklardaki ısılarda daha etkin bir ısı transferi sağlanmış olur. Çizelge Ek. E1'de suya ait tablo yer almıştır.

4.2.4.2. Termosifon Nedir?

Termosifonlar, yerçekimi kuvveti yardımı ile çalışan bir tür ısı borusudur. Bu cihazlar genellikle bir oval veya yassı boru ve boru içerisinde çalışan sıvı akışkandan oluşmaktadır. Şekil 4.11'de görüldüğü üzere, ısı boruları ile ortak evaporatör, kondenser ve adyabatik bölgeleri ısı transferlerini sağlar. Çalışma mantığına bakmak gerekirse, çalışma sıvısı evaporatör bölgesinden aldığı ısı ile daha yoğun halden az yoğun faz olan buhar hale dönüşür ve kondenser kısmına yükselir. Burada, daha soğuk yüzeye ısınıyı bırakarak yeniden sıvı faza geçer ve yerçekimi etkisi ile evaporatör kısmına dönüş yapar.

Bu faz döngüsünün performansını etkileyen bir çok durum vardır. Bunlar, boru malzemesinin ısı iletkenlik katsayısı ki doğrudan ısı performansını etkiler. Bir diğeri, sıvı doluluk oranıdır. Çok fazla oranda sıvı doluluk yapılsa düzensiz bir kaynama etkisi yapacağı gibi, aksine yetersiz oranda doluluk yapılması halinde ise evaporatörde buharlaşan sıvı yetersizliğinden dolayı evaporatör kısmı sürekli kuru kalarak yeterli ısı transfer döngüsünü engellemiş olur. Eğim açısı ise bir değer önemli performans parametrelerindedir ki akışkanın termosifon içinde akış karakteristiğini belirleyen unsurdur. Genellikle dik veya dike yakın eğim açıları ile sıvının yerçekimine göreceli hareketi desteklenmiş olur.

Akışkanın termofiziksel özellikleri de bir diğer ısıl performansı etkileyen unsurlardandır. Akışkan olarak, su, etanol, glikol kullanıldığı gibi ısıl iletkenlikleri daha yüksek olan son yıllarda bir çok çalışmada önemli sonuçlar vermiş olan nanoakışkanlar için de kullanılabilir.



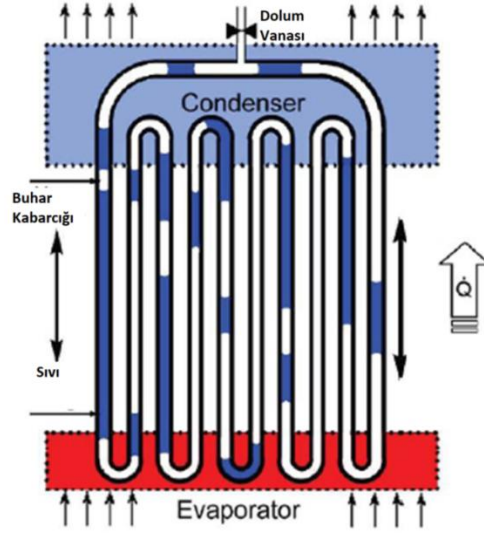
Şekil 4.11. Termosifon mekanizmasının çalışma sistematığı [67].

4.2.4.3. Atımlı (Pulsating) Isı Borusu Nedir?

Atımlı ısı borusu, fitilsiz ısı borularının son yıllardaki en yeni uygulamalarındandır. İlk olarak 1990'larda Akachi adındaki bir bilim adamı tarafından ortaya atılmıştır. Diğer fitilli ısı borularından farkı, kılcallık etkisi ile sıvı hareketini boruların içine ilave bir yapıdan ziyade daha küçük çaptaki boru demetlerinin kapalı sistem serpantin edilmesi ile oluşan bir yapıdır. Sonuç olarak, serpentine edilmiş yani bükülmüş belli çaptaki yerçekimi etkisini ve akışkan ile kılcallık etkisini sağlayabilecek metal borulardan meydana gelen bir ısı borusu türüdür. Bu tür ısı borusunda akışkan türü ve akışkanın hacimsel dolun oranı ısı borusunun performansını etkileyen en temel durumlardandır.

Şekil 4.12'de görüldüğü üzere çalışma sıvısının buharlaşma ve yoğuşması komşu borular arasındaki sıvıları hareket ettiren eşit olmayan buhar basıncının titreşimleri sayesinde sürekli halde devam eden bir akış ile sağlanır. Bu işlem, gizli ısı transferi ve hassas akışın birlikte oluşturduğu döngüsel ve titreşimli iki fazlı akışkan döngüsünün karmaşık bir hareketi olarak tanımlanabilir. Faz değişimleri titreşimli

akış oluşturur ve ısı transferinin büyük bir kısmı da bu şekilde hassas bir akış ile oluşturulur. Bu eşit olmayan akış sürekliliğini koruması halinde eğer evaporatör bölümü iyi tasarlanmış ise, cihaz yerçekimine karşı çalıştırılabilir ve kondenser kısmına gerekli ısı transferini aktarmış olur.



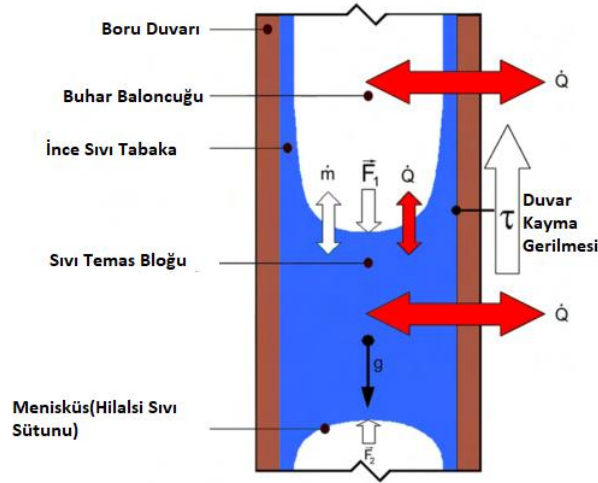
Şekil 4.12. Atımlı (Pulsating) ısı borusu [67].

Atımlı ısı borusunu içsel olarak incelemek gerekirse, kanalın kılcalık yapısından dolayı buhar baloncuğu halindeki akışkanın kenarı herkesin bildiği meniscus (yarım hilal) şeklini almıştır ve bu şekil ise bir yüzey gerilimi oluşturmaktadır. Sıvı akışkan ince film tabakası baloncuğun tamamını kapsar ve onun kalınlığı ve durumu meniscüsün katı-sıvı temas açısına bağlı olarak şekillenir.

Komşu sıvı-buhar kütle yüzeyi akışkandan ve meniscus şeklin kavisli bağlantısından kaynaklanan bir kılcallık basıncı sıvı yüzey üzerine etki eder. Bu sıvı-buhar ve akışkanın yığın hareketi esnasında duvarla arasındaki kayma gerilmesi (τ) gibi içten viskoz (akışkan olmayan) yayılım gösterir. Bundan kaynaklı oluşan basınç kuvveti hidrodinamik ve ısı transferine tesir eder [69].

Evaporatördeki gelişmeler sırasıyla şu akışı takip eder: sıvı ile duvar arasındaki ısı transferi (\dot{Q}) sonrası, kaynama noktasına ulaşır ve buharlaşma başlar yani bu sayede sıvı haldeki baloncuklar ayrılır ve komşu buhar baloncuklarına kütle transferi

sağlarlar. Doyma özelliği giderek artar. Doymuş buhar baloncuğu sıvı film tabakasından kanal duvarına doğrudan temas yüzeyine ısıyı ulaştırır. Bu durumda, sıvı temas yüzeyinde olduğu gibi film tabakasından buharlaşmadan kaynaklı kütle transferi oluşur. Tüm bu olay dizini termodinamik olarak izokorik (eş hacimli) olarak gerçekleşir. Aynı durum kondenser kısmında da tersine gerçekleşir. Şekli 4.13'te atımlı ısı borusu verilmiştir.



Şekil 4.13. Atımlı ısı borusu baloncuk ve sıvı temas bloğu meniscus formu [69].

Kritik Kılcallık Çap Seçimi (d_{cir})

Seçilecek mekanizmanın fiziksel özellikleri ve seçimi, büyük ölçekli atımlı ısı borusu çalışmalarından ziyade küçük (mikro) ölçekli yapılarda atalet ve viskoz kuvvetlere göre kanal içindeki kılcallık kuvvet değerinin kayda değer bir büyüklükte olmasından dolayı büyük öneme sahiptir. Kanal çapı küçüldükçe boru iç duvar yüzey gerilimi baskın bir değer almaktadır.

Çizelge 4.1. Bond numarasına göre kanal çap sınıflandırılması [67].

Kanal Ölçütü	Bond Numara Aralığı (Bo)
Mikro Kanal:	$Bo < 0.05$;
Orta büyüklükte Kanal:	$0.05 < Bo < 3$;
Makro Kanal:	$Bo > 3$;

Bond numarası, gövde kuvvetinin yüzey gerilim değerine oranı olarak adlandırılabilir. Bir çalışmada Bond numarası (Bo)'na göre yapılan yaklaşım sonucunda aşağıdaki Çizelge 4.1'de olduğu gibi sınıflandırılma yapıldığı gözlemlenmiştir [67].

$$Bo = g(p_1 - p_v)d_h^2 / 4\sigma \quad (4.7)$$

Bu eşitlikten kritik kanal çap formula aşağıdaki gibi türetilir.

$$d_{cir} \leq \sqrt{\sigma Bo / g (p_1 - p_v)} \quad (4.8)$$

Bu yaklaşımlarla “Bo” numarası tek başına sıvı-gaz temas yüzeylerinin dönüşümü esnasındaki atalet kuvvetleri düşünüldüğünde yeterli olmayacaktır. Diğer bir yaklaşıma göre hem atalet hem de viskos kuvvetlerin Garimella numarası (Ga) yarı deneysel bağlantı kriterine bağlı olduğu bulunmuştur [45].

$$Ga = \sqrt{Bo} Re_1 \leq 160 \quad (4.9)$$

Burada, “ Re_1 ” sıvı fazdaki Reynolds sayısını ifade etmektedir.

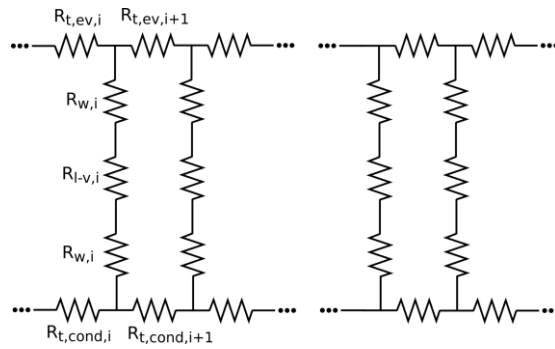
$$d_{Ga} \leq \sqrt{\frac{160\mu_1}{\rho_1 U_1} \sqrt{\frac{\sigma}{(p_1 - p_v) \cdot g}}} \quad (4.10)$$

Burada, “ U_1 ”, “ μ_1 ” ve “ ρ_1 ” ifadeleri sırasıyla sıvı fazdaki akışkanın hızı, viskozitesi ve yoğunluğunu ifade eder. Akışkanın buhar fazdaki yoğunluğu “ ρ_1 ”, “ σ ” yüzey gerilimi ve “ g ” ise, yerçekimi ivmesidir.

Yüzey gerilim değeri yerçekimini yenmeye başladığı anda akışkan kütle mikro veya makro kanallar içinde hareketine başlar ve buna Taylor baloncuk tren akışı denir. Taylor baloncuğu bir kapsül içinde kanal iç yüzeyi ile buhar fazı ayıran ince bir sıvı tabakası ile özel karakteristik şeklini alır [69].

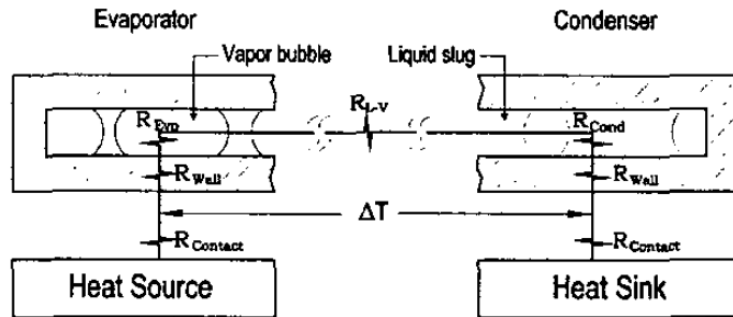
Isı Transferin Temelleri

Atımlı ısı pompasında toplam ısı transferini ele aldığımızda sırasıyla şu sınır elemanlarının arasındaki ısı transferlerinin toplamı olan değerler karşımıza çıkar. Bunlar, boru yüzeyi ve akışkanın temas ettiği yüzeyler arası radyal ısı transferi, buharlaşma ısı transferi, yoğuşmadan kaynaklı ısı transferinin toplamlarıdır. Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'te belirtildiği gibi buharlaşma başlangıcından yoğuşmanın sonuna kadar beş ayrı ısıl direnç şeması gösterilmektedir.



Şekil 4.14. Atımlı ısı borusu buharlaşma-yoğuşma arası ısıl direnç transfer katsayısı gösterimi-1 [70].

Burada, " R_{wall} " boru dış yüzeyi ısıl iletkenlik direnci, " R_{evap} " buharlaşmadan dolayı oluşan ısıl direnç, " R_{cond} " yoğuşmada kaynaklı oluşan ısıl direnç ve " R_{l-v} " boru boyunca sıvıdan buhara geçişte oluşan ısıl direnci ifade etmektedir.



Şekil 4.15. Atımlı ısı borusu buharlaşma-yoğuşma arası ısıl direnç transfer katsayısı gösterimi-2 [70].

Isı transfer kapasitesi “Q” aşağıdaki bağıntıda olduğu gibi hesaplanabilir.

$$Q = \frac{\Delta T}{2R_{\text{wall}} + R_{\text{evap}} + R_{\text{cond}} + R_{\text{l-v}}} = \frac{\Delta T}{\frac{L_{\text{eff}}}{k_{\text{eff}} \cdot A_{\text{cross}}}} \quad (4.11)$$

Burada, “ ΔT ” ısı borusu boyunca ortalama sıcaklık farkı, “ k_{eff} ” ve “ L_{eff} ” ısı borusunun efektif ısı iletim katsayısı ve uzunluğu ve “ A_{cross} ” ise, atımlı ısı borusunun kesit alanını ifade eder [70].

BÖLÜM 5

NANOTEKNOLOJİ VE NANOAKIŞKAN

Birçok alanda olduğu gibi güneş enerji sistemlerinde de yerini alan nanoteknoloji, son yıllarda yapılan araştırmalara konu olmuş ve termofiziksel özellikler arasında yeralan ısıl iletkenlik katsayılarının yüksek olması bu nano parçacıkların kullanımını ön plana çıkarmış ve özellikle güneş enerjili ısı değiştiricilerde, kollektör boru gruplarında çalışma akışkanı olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Deneysel çalışmalarda yaygın olarak kullanılan geleneksel ısı transfer akışkanları su, sentetik yağlar ve etilen glikol (antifriz), aseton vb.'dir. Ancak, bu ısı transfer akışkanlarının ısıl performanslarının az olması ısı transferini iyileştirmeye yönelik çalışmaları kısıtlamaktadır. Bu sebeple, son yıllarda araştırmacılar yeni nesil ısı transfer akışkanları üzerinde çalışmalar yapmaya başlamışlar ve yapılan çalışmalarda temel akışkan sıvısının içerisine katı parçacıkların süspansiyon şeklinde karıştırılması ile yeni yöntemler üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Akışkan içine büyüklük olarak milimetre (mm) ve mikrometre (μm) boyutlarında parçacıkların katılması dünya literatüründe önceden denenmiş bir yöntem olarak kayda geçer [71]. Ancak, bu yöntemde, yüksek hacimsel oranlarda boru kanal içerisindeki büyük basınç kayıpları, büyük parçacıklarda hızla çökelme, tortulaşma, aşınma benzeri sorunlardan ötürü endüstriyel işlemlerde bu yöntemlerin kullanılması uygunluk açısından yeterli görülmemiştir. Ayrıca, bu boyuttaki parçacıklarla hazırlanan süspansiyonların daha az kararlı bir yapı göstermeleri nedeniyle mikro kanallarda tıkanmalara neden olduğu gözlenmiştir [72].

Özellikle, ısı transfer katsayısının partikül seviyede yüksek olması güneş enerjisi toplayıcıları, nükleer reaktörler, elektronik soğutma sistemleri, otomobil radyatörleri. ısı boruları vb. konvektif ısı transferi ünitelerinde ilgili nanoakışkan araştırmaları özetlenmiştir [73].

Çalışma yapılacak olan temel akışkan içerisinde nanopartiküllerin katılması ile ısı transferi performansı önemli derecede iyileşmektedir. Buna sebep olan temel fiziksel olaylar aşağıdaki gibi sıralanabilir [74];

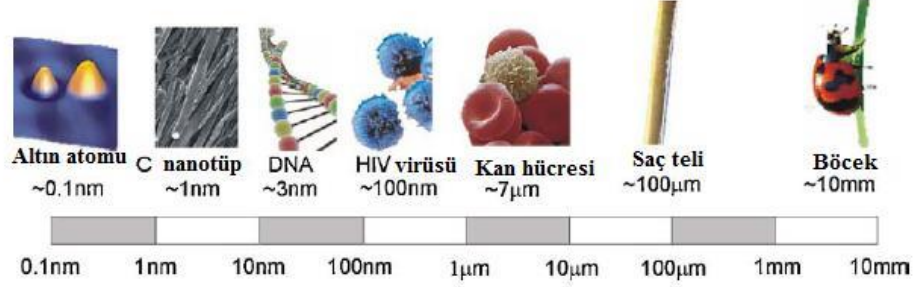
1. Akışkan içerisinde katılan nanopartiküller akışkanın yüzey alanını ve ısı kapasitesini artırır.
2. Akışkana ilave edilen partiküller akışkanın efektif ısı kapasitesini artırır.
3. Partiküller arasındaki etkileşim ve çarpışmalar akışkanın ve akış geçit yüzeyinin artmasına sebep olur.
4. Akışkan içindeki çalkantılar ve türbülans artar.
5. Çalışma akışkanı içerisinde nanopartiküller akışkanın akışa dik doğrultudaki sıcaklık gradyanının düzleşmesine neden olur.

Nanoakışkanlar, ısı transfer akışkanı olarak birçok mühendislik uygulamasında olduğu gibi güneş enerji sistemlerinde de kullanılmaya başlanmıştır. Güneş enerji sistemlerinin verimliliğini artırabilmek amacıyla kullanılan güneş pillerinin soğutulmasında da nanoakışkandan yararlanılmıştır. Sonlu elemanlar metoduyla silisyum güneş pillerinin soğutulmasını simüle etmişlerdir. Denklemler kartezyen koordinat sisteminde çözülerek sayısal analizleri Al_2O_3 /su nanoakışkanı için yapılmıştır. Isıl iletkenlik ve vizkozite değerleri sırasıyla Wasp ve Brinkman modelleri kullanılarak tahmin edilmiştir [75].

5.1. NANOAKIŞKANLAR

Son yıllarda metalurji ve malzeme bilimindeki teknolojik gelişmeler sonucunda ısı transferinin iyileştirilmesinde yüz yıllardır uygulanan akışkan içerisinde milimetre veya mikrometre boyutlarındaki katı partiküllerin süspansiyon edilmesi yöntemi yeni bir boyut kazanmıştır. Maddeyi atomik ve moleküler seviyede kontrol etme bilimi olan nanoteknoloji, son yıllarda Amerika, Çin, Avrupa ve Japonya'da yapılan araştırmalarla ve kayda geçen deneysel çalışmalarda bazı çalışmalarda son yıllara ait yeni bir teknoloji adımı olacağını ve verimi düşük geleneksel akışkanların yerini alacağını olumlu sinyallerini vermiştir.

Örnek bir araştırmada ele alınan ve bu gelişmeleri özetler nitelikte nanometrenin boyut olarak açıkça anlaşılması için Şekil 5.1’de milimetre ve mikrometre boyutların kıyaslamalı olarak bazı örnekleri verilmiştir [76].

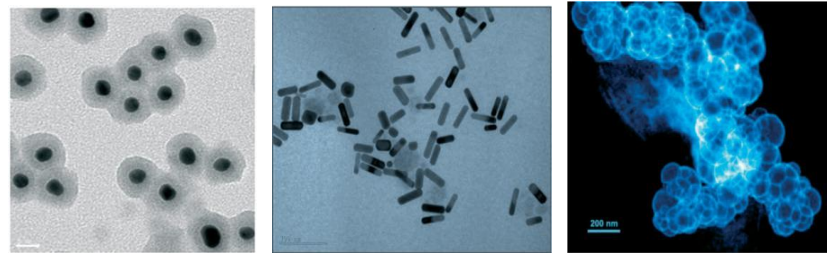


Şekil 5.1. Nanopartikül ve örnek maddelerin boyutlarının karşılaştırması [76].

Nanoteknolojik malzemelerin çıkış noktasını oluşturan nanopartiküller geniş bir kimyasal aralık ve morfolojide üretilebilirler. Son gelişmelere göre bu malzemelerin nanoparçacık seviyedeki üretimi için iki temel yaklaşım esas alınmaktadır.

5.1.1. Yukarıdan Aşağıya Doğru Üretim

Başlangıçta büyük olan hacimsel malzemeye dışarıdan mekaniksel veya kimyasal işlemler ile enerji verilmesi sonucunda malzemenin nano boyuta kadar inebilecek küçük parçalara ayrılması esas alınmaktadır.



(a)

(b)

(c)

Şekil 5.2. Nanopartiküllere ait elektron mikroskobu görüntüleri; a) altın çekirdek-silika kabuk nanopartiküller, b) altın nanoçubuklar, c) iç boşluklu platin nanopartiküller [77].

Bu yaklaşım ile çalışan yöntemlere verilebilecek en genel örnekler; mekanik öğütme ve aşındırmadır. Örneğin, mikron boyuttaki tozun yüksek enerjili değirmenlerde (örn. Spex değirmeni) öğütülerek ortalama partikül boyutları 100 nm'nin altında olan tozlar üretilir.

5.1.2. Aşağıdan Yukarıya Doğru Üretim

Atomik veya moleküler boyuttaki yapıları kimyasal reaksiyonlar ile büyütülerek partikül oluşumunun gerçekleştirilmesine dayanmaktadır. Metan gazının parçalanması sonucu karbon nanotüp üretimi örnek olarak verilebilir. Nanokristalin, metal ve alaşımlarının üretiminde kullanılan ilk yöntem olan gaz yoğunlaştırma tekniği aşağıdan yukarıya yaklaşımıyla çalışmaktadır. Kimyasal buhar kaplama, kimyasal buhar yoğunlaştırma, sol jel ve sprey piroliz yöntemleri de bu yaklaşımın en çok bilinen diğer örnekleridir [78].

Bu yöntemlerle 100 nm'nin altında parçacık elde edilerek bu parçacıklar, geleneksel olarak endüstriyel sistemlerde ısı transfer akışkanı olarak kullanılan su, sentetik yağ (motor yağı), etilen glikol, aseton gibi temel akışkanlarla belirli hacimsel oranlarda karıştırılarak yeni akışkanlar elde edilmiştir.

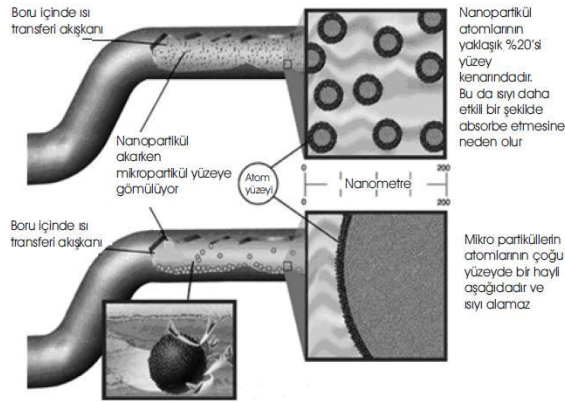
İlk kez Choi ve arkadaşları tarafından Argonne Ulusal Laboratuvarı, ABD'de yapılan çalışmalar sonucunda nanoakışkanların varlığı tanımlanmıştır. Bu çalışmada nanoakışkanlar; "nano boyutta metalik parçacıkların, su, etilen glikol (EG) veya motor yağı (EO) gibi endüstriyel ısı transferi akışkanları içerisinde dağıtılmasıyla oluşturulmuş, yaklaşık 10 nm büyüklüğünde metalik parçacıklar içeren ve günümüzde kullanılan nano boyut teknolojisi ile üretilebilecek, yüksek ısı iletkenliğine sahip yeni tür akışkanlar" olarak tanımlanmıştır [78].

Yeni bir akışkan sınıfı olan nanoakışkanlar, nano boyutlu partiküllerin (1-100 nm) temel akışkan ile oluşturdukları süspansiyonlardır.

Nanoakışkan üretebilmek için yaygın olarak kullanılan nanopartiküller SiC, Al₂O₃, CeO₂, CuO, Fe₂O₃, Fe₃O₄, SiO₂, TiO₂, ZnO₂, WO₃ gibi seramikler; Ag, Au, Cu, Fe

ve Ni gibi saf metaller; karbon ve titanat (TNT) nanotüpler (tek ve çok duvarlı), elmas ve grafit gibi karbon esaslılar; Ag-Cu, Ag-Al ve Al-Cu gibi alaşımlardır.

Yaygın olarak kullanılan temel akışkanlar ise; su (H_2O), etilen glikol (EG), propilen glikol (PG), aseton ve bunların karışımı ($H_2O&EG$, $H_2O \&EG$, $EG&PG$) ve motor yağı olarak sıralanabilir. Bunlara ek olarak, dekan ($C_{10}H_{22}$), polialfaolefin (PAO) ve vites kutusu yağı örnek verilebilir. Bu partiküller, genel olarak metal ve metal oksitler olarak, dışarı daha fazla ısı transferi sağlayarak iletim ve taşınım katsayısını arttırmırlar.



Şekil 5.3. Nanopartiküller ile mikropartiküllerin fiziksel ve termofiziksel olarak karşılaştırılması [79].

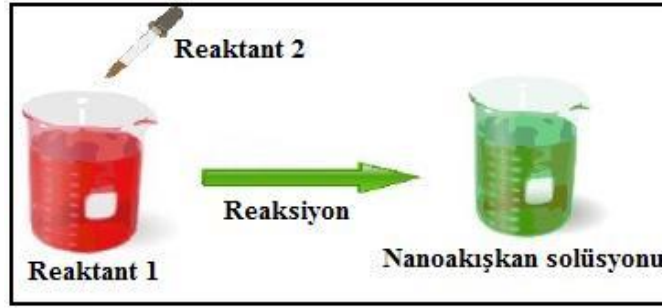
Bunun nedenlerinden biri; akışkan içerisine süspansiyon edilen partiküllerin, akışkanın ısı kapasitesini artırmasıdır. Şekil 5.3'te örnek bir deneysel gözlemede; Partiküller arasındaki etkileşim ve çarpışmalar akış geçiş yüzeyinin, çalkantı ve türbülans şiddetinin artmasına neden olur. Daha yüksek ısı iletimiyle birlikte çalkantı şiddeti ve geniş yüzey alanı daha çok ısı transferine izin verir. 20nm'den küçük partikül atomlarının %20'sini yüzeylerine taşırlar, bu da onları ısı etkileşimi için hazır hale getirir. Diğer bir avantaj ise çok küçük boyutlarından dolayı sıvıda mikro taşınımı ortaya çıkaran ve bundan dolayı ısı transferini artıran Şekil 5.3'te belirtildiği üzere partikül hareketliliğidir [79].

5.2. NANOAKIŞKANIN HAZIRLANMASI

Nanoakışkanların hazırlanmasında iki yöntem vardır. Bunlar, Tek adım yöntemi ve İki adım yöntemi olarak ele alınır.

5.2.1. Tek Adım Yöntemi

Nanopartiküller doğrudan fiziksel buhar biriktirme yöntemi veya sıvı kimyasal yöntemi ile üretilirler. Homojen dağılımlı ve daha kararlı nanopartiküller üretilebilir. Bu yöntemde topaklanma yüzdesi diğer yöntemlere göre azdır. Pahalı bir yöntem ve sadece bazı nanopartiküller için kullanılabilir olması dezavantajları arasında yer alır. Şekil 5.4'te tek adım yöntemi esaslı nanoakışkan hazırlama örneği sunulmuştur.

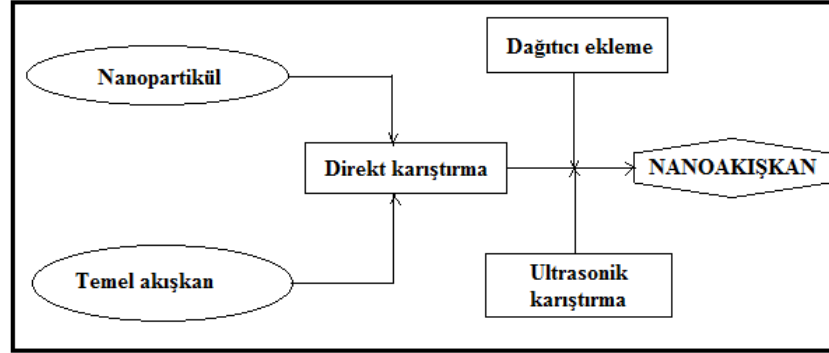


Şekil 5.4. Tek adım yöntemi ile nanoakışkanların oluşturulması [80].

5.2.2. İki Adım Yöntemi

Bu yöntem genel olarak en yaygın kullanılan nanoakışkan üretim yöntemleri arasındadır. İlk aşamada, nanopartiküller kimyasal veya fiziksel metodlar halinde üretilirler. İkinci aşamada ise, nano boyuttaki partiküllerin kararlı hale getirilebilmesi adına çeşitli uygulamalar gerekir. Bunlar, magnetik karıştırma, ultrasonik karıştırma, yüksek parçalayıcı örnekler arasındadır. Ayrıca, partiküller büyük yüzey alanları ve aktiviteleri sebebiyle topaklanma eğilimi gösterirler. Bu topaklanmayı engellemek için yüzeyde aktif madde (surfaktif) kullanılır. Ultrasonik karıştırma yöntemi ile yüzey aktifleştirici veya dağıtıcı madde eklenmesi sonucunda partiküllerin topaklanmasının önüne geçilmiş ve dağılım özelliği artırılmış olur. Çoğunlukla

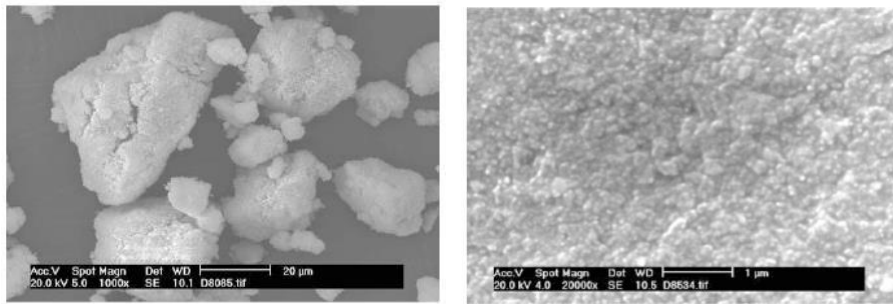
metalik olmayan ve metal oksit nanopartiküllerde uygulanan bir yöntem olarak ele alınır [80]. Şekil 5.5'te iki yöntem ile nanakışkanların hazırlanması şeması verilmiştir.



Şekil 5.5. İki adım yöntemi ile nanakışkanların oluşturulması [80].

5.3. NANOAKIŞKANIN KARARLILIĞI (STABİLİZASYON)

Nanopartiküllerin Wan der Waals etkileşimlerinden kaynaklı solüsyon içerisinde topaklanması ve çökmesini engellemek için bir takım yöntemler uygulanmaktadır. Bunlar; süspansiyonun pH değerini değiştirmek, yüzey aktif madde çözeltilerinin (aktivatör+seyrelticiler) kullanımı ve ultrasonik titreşim olarak ele alınabilir [81].



(a)

(b)

Şekil 5.6. a) Topaklanmış CuO nanopartikülleri, b) Homojene yakın dağılmış CuO nanopartikülleri [81].

5.4. NANOAKIŞKANLARIN TERMOFİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

Termofiziksel özellikler genel olarak nanoakışkan bazında karakteristik özellikleri belirleyen unsurlardandır. Bunlar, ısı iletim katsayısı, özgül ısı, yoğunluk, viskozite ve ısı transfer katsayısı olarak ele alınabilir.

5.4.1. Isıl İletkenlik

Nanoakışkanın ısı performansını artırmak ısı iletim katsayısı için önemli bir parametredir. Nanoakışkanların ısı iletim artışını açıklayan bazı etkenler şunlardır.

5.4.2. Nanopartiküllerin Hareketi

Nanoakışkanlardaki partiküllerin çarpışmalarından, partikül-partikül temasından kaynaklanan enerji değişimi ısı transferinin artışına neden olabilir. Böyle hareketler nanopartiküllerin hareketinden doğar. Çarpışmalar olmazsa bile partiküllerin Brownian hareketi ısı iletkenliği artırabilir [72].

5.4.3. Sıvı-Katı Yüzeyindeki Katmanı

Akışkan moleküller katı yüzeyinde düzenli yapılar oluştururlar. Bu ara yüzey tabaka, katı partikül ve sıvıdan oluşan karışımdan farklı termofiziksel özellik gösterir. Çünkü nano tabakanın düzenli yapısının ısı iletkenliğinin, akışkaninkinden daha yüksek olması beklenir. Arayüzey tabakanın varlığı ısı taşıma da önemli rol oynamasına rağmen, ısı iletkenlik artışından tek başına sorumlu olması muhtemel değildir [72].

5.4.4. Nanopartiküllerin Isı Taşıma Yapısı

Makroskobik teoriler ısının difüzyonla taşındığını varsaymaktadır. Kristal halindeki katılarda ısı fononlarıyla taşınır. Bir nanoakışkan içerisinde nanopartiküllerin boyutu, fononların ortalama serbest yolundan daha kısa olduğu zaman fononlar nanopartikül karşısında daha fazla difüze olmaz sadece saçılmadan balistik hareket eder. Balistik

ısı transferi detayına girmeden, balistik fononların taşınmasının, çok hızlı difüzyon fonon taşımadan nasıl daha etkili olacağını göz önüne getirebilmek zordur [72].

5.4.5. Isı Taşıma Yapısı

Nanoakışkanın pH değerinin, ısı iletkenliğin performansı üzerinde güçlü bir etkisinin olduğu düşünölmektedir. Bu nedenle, yüzeyin yük durumu da nanoakışkanların ısı iletkenlik değeriinde artışa neden olabilir [72].

5.4.6. Isı iletkenliği Etkileyen Faktörler

Nanoakışkanların ısı iletkenliğini etkileyen faktörler arasında nanoakışkanın viskozitesi, temel akışkanın ısı iletkenliği, katı partikölün yoğunluğu ve gizli ısısı, nanoartikölün nanoakışkan içeriisindeki hacimsel oranı gibi etkenler yerini alır. Bunların yanı sıra, ısı iletkenlik nanopartiköl kümesinin dönme yarıçapı ve topaklanmanın akışkan içeriisindeki yüzdesiyle değişmektedir [72].

Temel akışkanın içeriisine süspanse edilmiş kümelerin dönme yarıçapının küçüklüğu oranında, nanoakışkanların ısı iletkenliği artmaktadır. Bunun nedeni, daha küçük kümeler birim zamanda daha hızlı ve daha uzağa hareket edebilirler ve nanoakışkan içeriisinde daha güçlü enerji taşınımına sebep olurlar [82]. Belli başlı nanopartiköllere ve çalışma akışkanlarına ait ısı iletkenlik katsayıları Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Diğer yandan en çok kullanılan bazı nanoparçacıklara ait termofiziksel özellikler tablosu ise Çizelge 5.2’de belirtilmiştir.

Çizelge 5.1. Bazı nanoparçacıkların ısı iletim katsayıları [82].

Malzemeler	Isı İletim Katsayısı (W/m.K)@300K
Metalik Katılar	
Gümüş	429
Bakır	401
Alüminyum	237
Titanyum	22
Metalik olmayan Katılar	
Elmas	3300
Karbon Nanotüp	3000
Silikon	148
Alüminyum Oksit (Al ₂ O ₃)	40
Geleneksel Sıvılar	
Su	0,613
Etilen Glikol	0,252
Motor Yağı	0,145

Çizelge 5.2. Bazı nanoparçacıkların termofiziksel özellikleri.

Nanopartikül ve Su	ρ (kg/m ³)	c_p (J/kg K)	k (W/mK)
Saf Su	997,1	4179	0,613
Gümüş (Ag)	10500	235	429
Bakır (Cu)	8933	385	401
Alüminyum Oksit (Al ₂ O ₃)	3970	765	40
Bakır Oksit (CuO)	6320	531,8	76,5
Titanyum Oksit (TiO ₂)	4250	686,2	8,9538
Fly Ash	1920	514	1,7

5.4.6.1. Özgül Isı

Nanoakışkanlar üzerine yapılan bazı çalışmalarda özgül ısının ölçümünde kullanılacak bazı eşitliklerin olduğu birçok araştırmacı tarafından da kayda alınmıştır. Yalın hali, ile ilk olarak ortaya atılan matematiksel formül Eşitlik 5.1'de belirtilmiştir [83].

$$C_{nf} = (1 - \phi_v)C_w + \phi_v C_p \quad (5.1)$$

“ C_w ” suyun özgül ısısı, “ C_p ” partikül özgül ısısı ve “ ϕ_v ” hacimsel oran olarak tanımlanabilir.

Hata oranının neredeyse az olduğu bir çalışmada belirtilen Eşitlik 5.2’deki denklemde ele alınmıştır [83].

$$C_{nf} = \frac{\rho_{np}C_{np}\phi + \rho_{bf}C_{bf}(1-\phi)}{\rho_{nf}} \quad (5.2)$$

“ C_{nf} ” nanoakışkan özgül ısısı, “ C_{np} ” nano parçacık özgül ısısı, “ C_{bf} ” Temel akışkanın özgül ısısı, “ ρ_{np} ” nanoakışkanın yoğunluğu, “ ρ_{bf} ” temel akışkanın yoğunluğu, “ ρ_{nf} ” Nanoakışkanın yoğunluğu ve “ ϕ ” hacimsel oran olarak tanımlanabilir. Bu çalışmada, Eşitlik 5.2 üzerinden matematiksel çözüm hesaplamaları yapılacaktır.

5.4.6.2. Yoğunluk

Nanoakışkanların yoğunluk hesabında Eşitlik 5.3’te belirtilen denklem esas alınarak işlemler yapılır [83].

$$\rho_{nf} = \rho_{np}\phi + \rho_{bf}(1-\phi) \quad (5.3)$$

“ ρ_{np} ” nanoparçacığın yoğunluğu, “ ρ_{bf} ” temel akışkanın yoğunluğu, “ ρ_{nf} ” nanoakışkanın yoğunluğu ve “ ϕ ” hacimsel oran olarak tanımlanabilir.

5.4.6.3. Viskozite

Akışkanların viskozitelerini tahmin edebilmek adına bir çok araştırmacı bazı deneysel matematik modelleri ortaya atmıştır. Özellikle son yıllarda nanakışkan üretebilmek için gerekli olan viskozite modeli için bazı denklemler öne sürülmüştür.

Yapılan deneysel çalışmalarda sıcaklığın, partikül boyut ve boyut dağılımlarının, yüzey aktif madde, yüzey geriliminin ve partikül hacimsel oranı gibi bazı parametrelerin nanakışkanlardaki viskoziteyi doğrudan etkilediği saptanmıştır. Partikül kütlesi sabit kalmak kaydıyla partikül boyutu/çapı azaltıldığında birbirleri arasındaki etkileşim ve tutunma artacağından akış direnci ve viskozite artar.

Deneysel bulgulara göre nanokışkanın temel sıvıya göre viskozitesinin fazla olduğu belirtilmiştir. Partiküllerin hacimsel oranı ve partikül konsantrasyonu arttığında nanoakışkanın viskozitesi de artar. Sıcaklık arttıkça viskozite azalır.

Literatürde çok fazla sayıda viskozite denklemi türetilmiştir. Eşitlik 5.4'te belirtilen ve çalışmamıza en yakın Batchelor denklemi seçilmiştir [85].

$$\frac{\mu_{nf}}{\mu_{bf}} = (1 + 2.5\phi + 6.5\phi^2) \quad (5.4)$$

Burada;

μ_{nf} : Nanoakışkanın Viskozitesi (Pa.s)

μ_{bf} : Temel akışkanın Viskozitesi (Pa.s)

T_{nf} : Nanoakışkanın Sıcaklığı (°C)

d_{np} : Nanopartikül çapı (nm), terimlerin açıklamalarını ifade eder.

5.4.6.4. Isı Transfer Katsayısı

Nanoakışkanlarda ısı transfer katsayısını dolayısıyla ısı iletkenliği etkileyen birçok faktör vardır. Bunların arasında; temel akışkanın ısı iletkenliği, katı nanopartikülün termofiziksel özellikleri, nanoakışkanın viskozitesi, nanopartiküllerin hacimsel oranları, nanopartiküllerin topaklanması, sıcaklık, pH değerleri ve birim partikül çapı gibi faktörlerden söz edilebilir.

Yu vd., aynı parametreleri karşılaştırarak yaptığı çalışmalarında CuO-Su ve Al₂O₃-Su nanoakışkanları üzerine hacimsel oranın ısı iletkenliği üzerine araştırmalarını

incelemiştir. Şekil 5.7’de belirtilen grafiklerden de anlaşılacağı üzere hacimsel oranın artması ile ısı iletkenliğin arttığı saptanmıştır [86].

Nanoakışkanların ısı iletim katsayılarını bulmak için teorik bir yakınsama veya tahmini söz konusu değildir. Son yıllarda, mühendislik çalışmalarının artması ile ısı karakteristiklerin belirlenmesi ve nanoakışkan süspansiyonlarının ısı iletim katsayılarını belirlemede birçok matematik modeli ortaya atılmıştır. En yüksek ve optimum sonuçlar veren alışma Eşitlik 5.5’deki Maxwell modeli olarak belirlenmiştir [72].

$$\frac{k_e}{k_l} = \frac{k_p + 2k_l + 2(k_p - k_l)\Phi}{k_p + 2k_l - (k_p - k_l)\Phi} + \frac{\Phi\rho_{np}C_p}{2k_l} \sqrt{\frac{2k_B \cdot T}{3\pi d_{np}\mu_{nf}}} \quad (5.5)$$

Eşitlik 5.5, Ag-Su nanoakışkanı için modellenmiştir [90].

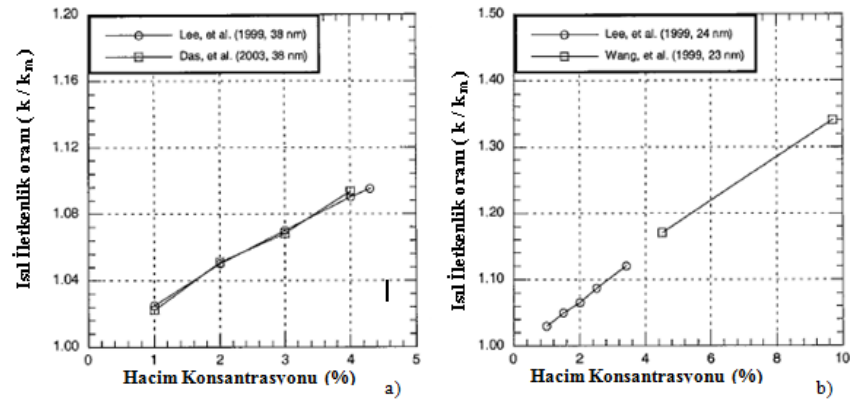
k_l : Temel akışkan ısı iletim katsayısı

k_p : Partikül akışkan ısı iletim katsayısı

k_e : Partikül-Akışkanın süspansiyonunun ısı iletkenliği

Φ : Hacimsel oran

k_B : Boltzman Sabiti



Şekil 5.7. a) Al₂O₃- Su nanoakışkanı, b) CuO-Su nanoakışkanı, farklı nano boyutlardaki farklı hacimsel oranların akışkanın ısı iletim katsayısına etkisi [86].

Aynı şekilde, Al₂O₃-Su nanoakışkanı için oluşturulacak sıvının ısı iletkenlik katsayısının ise Eşitlik 5.6 - 5.11’de olduğu gibi çözümlendiği tespit edilmiştir [90].

$$k_{\text{statik}} = \frac{k_e}{k_l} = \frac{k_p + 2k_l + 2(k_p - k_l)\phi}{k_p + 2k_l - (k_p - k_l)\phi} \quad (5.6)$$

$$k_{\text{brownian}} = A_1 \sqrt{T} (A_2 T + A_3) \quad (5.7)$$

$$A_1 = 5 * 10^4 \beta \phi \rho_{\text{nf}} C_{\text{nf}} \sqrt{\frac{k_B}{d_{\text{np}} \rho_{\text{np}}}} \quad (5.8)$$

$$A_2 = \frac{-2,8217 * 10^{-2} \phi + 3,917 * 10^{-3}}{273} \quad (5.9)$$

$$A_3 = 3,0669 * 10^{-2} \phi - 3,91123 * 10^{-3} \quad (5.10)$$

$$\beta_{\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Su}} = 8,4407 * (100 \phi)^{-1,073041\%} < \phi < \%10 \quad (5.11)$$

Uçucu Kül (Fly-ash)-Su nanoakışkanı ısı iletkenlik katsayısı hesabı için Eşitlik 5.12’de geçen denklem çözümlenerek bulunur [91].

$$\frac{k_e}{k_l} = (1 + 0,135 \left(\frac{k_p}{k_l}\right)^{0,273} \left(\frac{T}{20}\right)^{0,547} \left(\frac{100}{d_{\text{np}}}\right)^{0,547} \phi^{0,467}) \quad (5.12)$$

BÖLÜM 6

MATERYAL VE METOT

6.1. GİRİŞ

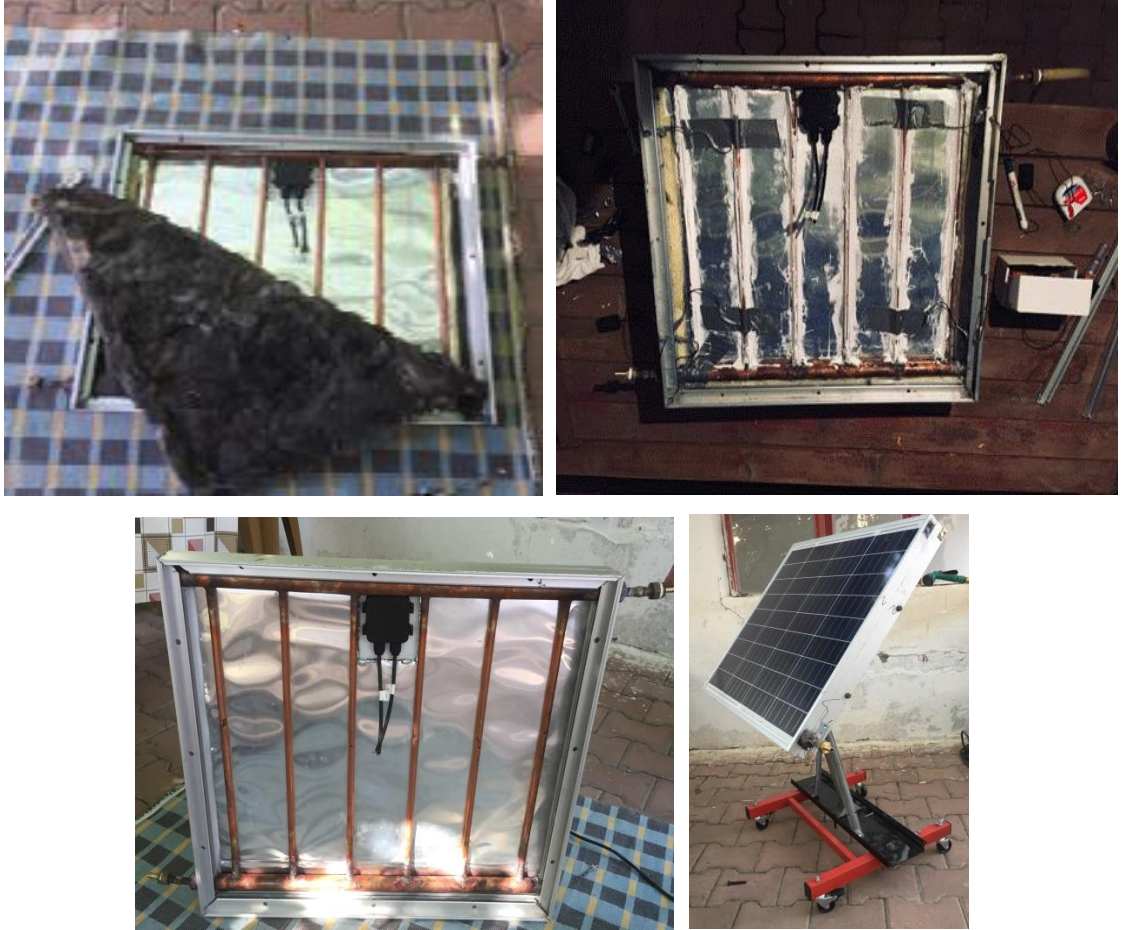
PV/T sistemlerin ısı kısmında; soğutucu olarak kullanılan sıvının türü, kütleli debisi ve giriş sıcaklığının, güneş ışınım şiddetinin, ortam sıcaklığının ve doğal taşınım ile ısı transfer katsayısının verimlilik hesaplarında rolü yüksektir. Yapılan çalışmada, aktif soğutma yöntemlerinden olan “sıvı ile soğutma yöntemi” uygulanmıştır. PV’nin arka kısmına yerleştirilmiş olan ısı değiştiricisi modeli bakır boru demetlerinden meydana gelmiş ve borulama yerleşimi olarak Şekil 4.5-b’de literatür çalışmalarında da kullanılan “doğrudan beslemeli kollektör” geometrisi uygulanmıştır. PV ve ısı kollektör kısmı Autodesk Inventor 2018 professional student versiyonu bilgisayar destekli tasarım program yardımı ile oluşturulmuştur. Güneş ışınım şiddeti ve hava şartları altında saf su ve nanoakışkanlar ile deneysel çalışmalar yapılmıştır. Bu tasarıma göre, hem PV/T hem de PV panel deney seti oluşturulmuştur. Aynı zamanda, deney sonuçları ile ısı ve akış analizleri ise sırasıyla ansys 2021 r1 academic Steady-State Thermal ve ansys 2021 R1 academic Fluent paket programları ile modellenmiş ve çalışma uzayı içerisinde “System Coupling” modülü ile veriler birleştirilmiştir. Sonuç ekranı ve Response Surface modülü içeriği parametreler ile panelin yüzey sıcaklıkları, kollektör çıkış sıvı sıcaklıkları karşılaştırılmıştır.

Yapılan çalışmanın amacı gereği, soğutma yapılmayan PV ve saf su ile soğutulan PV/T deneysel verileri elde edilmiş, değerlendirmeler yapılmış ve ansys ile yapılan modelleme üzerinde ise, farklı nanoakışkanlar kullanılarak soğutulan PV/T üzerinde simülasyonlar yapılmış ve analiz sonuçları değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar ve çıkarımlar ise, Bölüm 7 ve Bölüm 8’de detayları ile ele alınmış ve karşılaştırmalar yapılarak ısı ve elektriksel verimlilikleri hesaplanmıştır.

6.2. PV VE PV/T DENEY DÜZENEKLERİNİN OLUŞTURULMASI

6.2.1. PV/T Sistem Elemanları

PV/T'nin oluşturulmasında kullanılacak olan yapı elemanları ve montajlarının doğru yapılması çok önemlidir. Burada, 65W nominal güce sahip Çizelge Ek B.1. Pantec PSM65P marka polikristal yapıdaki PV arka yüzeyine bakır doğrudan akış geometrieli kollektörün imalatı ve montajı ile PV/T ürünü elde edilmiştir.



Şekil 6.1. Deneysel çalışma öncesi PV/T kollektör ve elemanlarının imalat sonrası görüntüleri.

Bakır kollektör ısı transferi sağlayacağı argonlu lazer kaynak yöntemi ile birleştirilmiş 0,7 mm kalınlığındaki Alüminyum absorber plaka yüzeyine laminasyon

yani ısı iletimi ile transfer sağlamak amacıyla ısı iletim katsayısı 1,25 W/mK olan termal macun uygulanmış ve PV ile kollektör absorber plaka arasında hava direncinin önüne geçilmiştir. Soğutma bütünlüğünün sağlanması amacıyla kollektör yüzeyine ve çepeçevre etrafına ortam havası ile yalıtım sağlayabilecek 50mm kalınlığında 0,04 W/mK ısı iletim katsayısına sahip taş yünü ve son olarak yalıtımı koruyabilmek için goflajlı sac ile Şekil 6.1’de olduğu gibi kapatılmıştır.

Deney düzeneği, Karabük Üniversitesi demir çelik kampüsü mühendislik fakültesi civarında 18 Eylül 2021 tarihinde saat 09:30-17:30 arasında güneşli bir günde kurulmuştur. Deney verilerinin alındığı tüm gün boyunca gölgelenme olmamıştır. PV ve PV/T olmak üzere iki deney düzeneğinde kıyaslama çalışmaları amacıyla deneysel veriler alınmıştır. Bu veriler için; ortam sıcaklığını, rüzgar hızını, güneş ışınım şiddeti (W/m^2) değerini, kollektör su giriş-çıkış suyu sıcaklıklarını ve PV hücreleri yüzey sıcaklığını ölçebilecek ve 5 saniye aralıklarla bilgisayar veri tabanına kayıt yapabilecek elektronik kart düzenekleri ve bilgisayarlı paket program sistem entegrasyonu yapılmıştır.



(a)

(b)

Şekil 6.2. a) PV/T, b) PV sistemi deney düzeneği

Ayrıca, sistem kapalı döngü çevrime sahip DC beslemeli pompa ile tahrik edilmiş ve dönüş suyu rezervuarda toplanıp yeniden pompa aracılığı ile plakalı eşanjöre

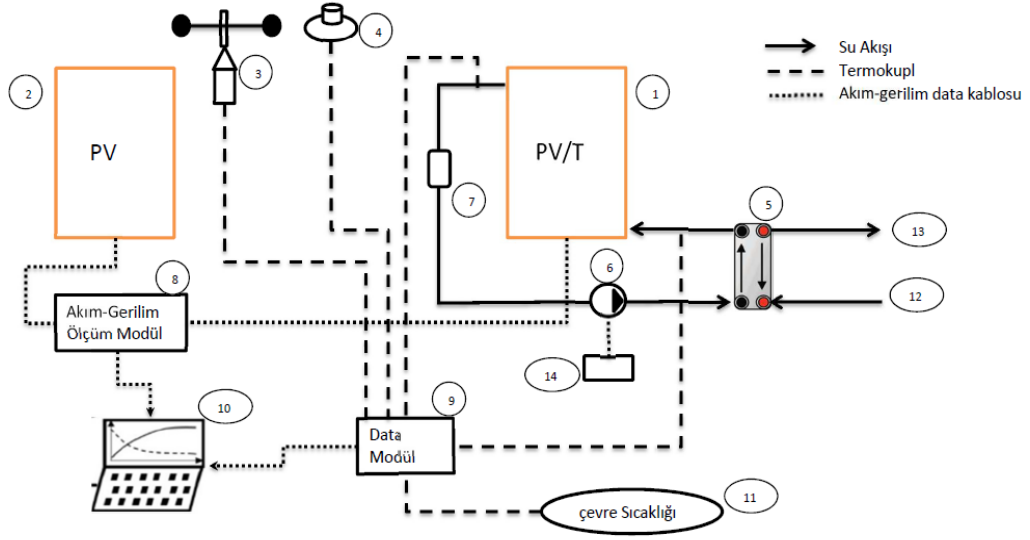
uğradıktan sonra soğutulan sıvı PV/T giriş suyu manifolduna ulaşır. Isınan su ise, pompa yardımıyla yeniden kollektörün çıkış suyu manifolduna ulaşır ve buradan sistemde istenilmeyen sıcaklığı alarak terk eder ve bir rezervuarda toplanır. Şekil 6.2’de tüm sistemin deneysel düzeneğine ait görsel verilmiştir.

Deney düzeneğini oluşturan sistem ve deney elemanları Çizelge 6.1’de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Deney ve sistem düzeneğini oluşturan elemanlar.

Pos. No.	Tanım	Model/Özelliği	Adet
1	PV	Pantec PSM65P	1
2	PV/T	Pantec PSM65P + bakır kollektör	1
3	Anemometre	BENETECH GM8902	2
4	Piranometre	Rika Rk200-03	1
5	Eşanjör	Vaillant vck Plakalı Eşanjör	1
6	DC Pompa	Aifa 800 L/h 22W 12V DC	1
7	Rezervuar	Plastik 1 lt hazne	1
8	Elektronik kartı	PV Max Akım-Gerilim-Güç ölçümü için	1
9	Data Modülü	ADAM-4019+	1
10	Bilgisayar	Laptop / i5 CPU	2
11	Termokupl	K tipi ısılıçift	5
12	Soğutma su girişi	1/2" npt+hortum girişi	1
13	Soğutma su çıkışı	1/2" npt + hortum çıkışı	1
14	DC pompa debi/akış hızı devir ayarlama kartı	LM2596 voltmetreli step down voltaj düşürücü	1
15	Paket program	ADAM 4000 Series	1
16	PV akım-voltaj Paket program	RealTerm: Serial Capture Program 2.0.0.70	1
17	Termal Kamera	FLIR IR T840	1

Sistemin deneysel tasarım akış şeması Şekil 6.3’te belirtildiği gibi oluşturulmuştur.

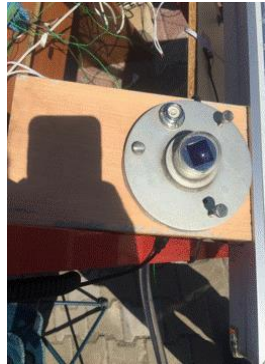


Şekil 6.3. Sistemin deneysel tasarımı akış şeması.

Sistem elemanları olarak kullanılan Şekil 6.3'teki şemada yer alan cihazların numaralandırılması Çizelge 6.1'de liste halinde 1- 17'ye kadar belirtilmiştir. Rüzgar hızı için anemometre (Şekil 6.4-a), güneş ışınım şiddetini ölçmek için piranometre (Şekil 6.4-b) ve sistem kapalı tesisat akışkan döngüsü ısı transferi yani PV/T soğutmak için ise eşanjör ekipmanı (Şekil 6.4-c) deneysel çalışmada kullanılmıştır.



(a)



(b)

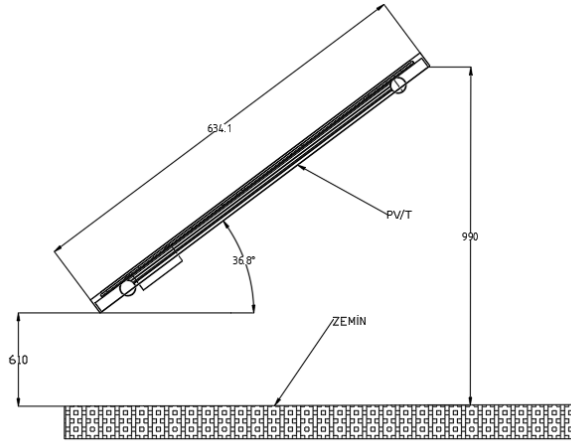


(c)

Şekil 6.4. a) Anemometre, b) Piranometre, c) Eşanjör sistem elemanları.

6.2.2. PV Ve PV/T Deneysel Sistemin Optimum Yerleşim Eğim Açısı

Deney düzeneği PV ve PV/T yerleşimindeki en önemli parametrelerden birisi de güneşle yaptığı eğim açısıdır. Deneyin yapıldığı enlem değerine ve mevsimsel koşullara göre değişkenlik gösteren PV eğim açısı (S), yıllık optimum verim için $S = \text{Enlem} * 0,9$ formülü ile hesaplanır. Karabük ili Enlem° x Boylam° (41,1956 x 32,6227)'dir. Teorik olarak optimum PV eğim açısı $S = (41,1956) * (0,9) = 37,08^\circ$ olarak bulunur. Karabük ili enlem-boylam değerlerine göre deneysel çalışmanın zeminine paralel düzlemler arasındaki açı Şekil 6.7'de olduğu gibi $36,8^\circ$ olarak saptanmıştır. Bu değer, teorik optimum açı olan $37,08^\circ$ 'ye oldukça yakınsadığı için doğru çalışma sonuçları elde edilecektir.



Şekil 6.7. PV/T panelin deney yerleşimi eğim açısı.

18 Eylül 2021 tarihi, Karabük ili Karabük Üniversitesi Demir çelik kampüsünde PV/T üzerine deneysel çalışma yapılmıştır. Saat 09:30 -17:30 arasında her 5 saniye zaman aralığı ile ölçümler alınmış ve kayıtlar tutulmuştur. Deneysel çalışmada elde edilmesi amaçlanan ölçüm değerleri aşağıda olduğu gibi sıralanmıştır.

Elde edilmesi planlanan ölçümler değerleri;

- 1- Sıvı giriş sıcaklığı
- 2- Sıvı çıkış sıcaklığı
- 3- Ortam sıcaklığı
- 4- Rüzgar hızı (manüel)

5- Güneş ışınım şiddeti

6- P_{max} , I_{max} , V_{max} elektriksel verilerin text olarak elde edilmesi

7- PV/T yüzey sıcaklığının ölçülmesi için 1 adet PV ve 1 adet PV/T için Termal kamera çekimleri (2 çekim/10 dk).

6.3. HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ (CFD)

Akışkan tabanlı problemler analitik hesaplamalı, deneysel veya matematiksel olarak çözümlenmeler yapılarak veriler elde edilebilir. Akışkanlara ait korunum denge denklemleri için sayısal analiz yöntemleri kullanılarak daha hassas sonuçlar elde edilebilir. İşte bu CFD yöntemi ısı ve akışkan tabanlı problemlerin modellenerek çözümünde zaman tasarrufu, finansal giderleri azaltmaya yardımcı olan ve en etkin bir mühendislik çözüm aracı olarak geliştirilmiştir. Bir problemin çözümünü elde edebilmek için, öncelikle CFD başarılı modellenmesi, model gereksinimlerini belirlemek ve programa uygulamak, model geometrisini tanımlamak ve mesh oluşturma işlemlerini sorunsuzca yaptıktan sonra özellikle verilerin ihtiyaca göre belirlenmesi ve sisteme yüklenmesinden sonra sonuçların elde edilmesi şeklinde sıralanabilir. Bu şekilde yapılan çalışmalar mühendislik tasarımlarında fiziksel prototip çalışmalarına yön vermede en etkin rol alan bir yöntemdir.

6.3.1. CFD Akışkanlar İçin Korunum Denklemleri

CFD çözüm yöntemlerinde, süreklilik korunum denklemlerine dayalı aşağıdaki denklemler kullanılır. Farklı yakınsaklık kriteri, hız ve sıcaklığı oluşturmak için süreklilik, momentum ve enerji denklemlerine yakınsama değerleri 10^{-3} ile 10^{-6} arasında tanımlanmıştır. Sıcaklık şartları ve akışkanın akış oranı kollektör kanal içerisinde aynı olarak atanır. Korunum denklemleri aşağıda Eşitlik 6.1, 6.2, 6.3, 6.4 ve 6.5'te olduğu gibi hız, basınç ve sıcaklık verilerini tanımlayabilmek için kullanılmıştır [87].

- Süreklilik denklemleri,

$$\frac{du}{dx} + \frac{dv}{dy} + \frac{dw}{dz} = 0 \quad (6.1)$$

➤ Momentum denklemleri,

$$u \frac{du}{dx} + v \frac{du}{dy} + w \frac{du}{dz} = -\frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dx} + \mu \left\{ \frac{d^2u}{dx^2} + \frac{d^2u}{dy^2} + \frac{d^2u}{dz^2} \right\} \quad (6.2)$$

$$u \frac{dv}{dx} + v \frac{dv}{dy} + w \frac{dv}{dz} = -\frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dy} + \mu \left\{ \frac{d^2v}{dx^2} + \frac{d^2v}{dy^2} + \frac{d^2v}{dz^2} \right\} \quad (6.3)$$

$$u \frac{dw}{dx} + v \frac{dw}{dy} + w \frac{dw}{dz} = -\frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dz} + \mu \left\{ \frac{d^2w}{dx^2} + \frac{d^2w}{dy^2} + \frac{d^2w}{dz^2} \right\} \quad (6.4)$$

➤ Enerji denklemleri,

$$u \frac{dT}{dx} + v \frac{dT}{dy} + w \frac{dT}{dz} = \alpha \left\{ \frac{d^2u}{dx^2} + \frac{d^2u}{dy^2} + \frac{d^2u}{dz^2} \right\} \quad (6.5)$$

u_i ; x, y, z boyunca u, v ve w değerlerini ifade eder.

6.3.2. Sayısal Modelleme ve PV/T Enerji Korunum Denklemleri

PV/T kolektörlerin enerji denge denklemleri termodinamiğin 1. Kanununa göre ele alınır ve sistemlerin enerji performansları ise yapılacak analizlere göre değerlendirilebilir. Bu değerlendirmeler yapılırken sistemin ısı ve elektriksel verimleri ele alınmalıdır.

PV/T enerjinin denge denklemleri her bir katmanın ve soğutucu akışkanın dinamik enerji analizine göre çözümlenir.

Enerjinin korunumu denklemi Eşitlik 6.6'da verilmiştir.

$$mc \frac{dT}{dt} = \frac{dU}{dt} \quad (6.6)$$

Dış ortam hava koşulları ile PV/T dış cam arası enerji denge denklemleri Eşitlik 6.7’de verilmiştir.

$$\begin{aligned} m_g c_g \frac{dT_g}{dt} &= Q_{g-e,CV} + Q_{g-e,CV} + Q_{g-e,CV} + Q_{g-e,CV} + Q_g \\ &= h_{g-e,CV} A (T_e - T_g) + h_{g-e,RD} A (T_{sky} - T_g) + h_{g-pv,CV} A (T_{pv} - T_g) \\ &\quad + h_{g-pv,RD} A (T_{pv} - T_g) + A \alpha_g G_{irr} \end{aligned} \quad (6.7)$$

Burada; “ $Q_{g-e,CV}$ ” rüzgarın ısı taşınımından dolayı oluşan ısı transfer değeri, “ $Q_{g-e,CV}$ ” ise ışınlama olan ısı kaybını, ve “ Q_g ” ise cam tarafından emilen ısı miktarını belirtir.

Dış ortam hava koşulu ile cam arasında ısı taşınım enerji denkleminde hava hızının değerine göre iki farklı denklem ilişkisi “ $h_{g-e,CV}$ ” başlığı altında Eşitlik 6.8’de karşımıza çıkmaktadır. Burada, “ V_W ” hava hızıdır.

$$h_{g-e,CV} = \begin{cases} 5.7 + 3.8V_W & V_W < 5 \frac{m}{s} , \\ 6.47 + V_W^{0.78} & V_W > 5 \frac{m}{s} , \end{cases} \quad (6.8)$$

ışınlama kayıp ısı transfer katsayısı “ $h_{g-e,RD}$ ”, aşağıdaki Eşitlik 6.9, 6.10 ve 6.11’deki eşitlikler ile hesaplanır.

$$h_{g-e,RD} = \epsilon_g \sigma (T_g^2 + T_{sky}^2) (T_g + T_{sky}) \quad (6.9)$$

$$T_{sky} = 0.0552 T_e^{1.5} + 2.652 N \quad (6.10)$$

$$T_{sky} = 0.0552 T_e^{1.5} \quad (6.11)$$

Burada, “ ϵ_g ” cam yüzeyinin geçirgenlik katsayısı, ($\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2/\text{K}^4$) Stefan–Boltzmann sabiti, “ T_{sky} ” gökyüzünün eşdeğer sıcaklığı, “ N ” ise gökyüzü bulutluluk

ikikat örtü değeridir. Eğer çözümlenmelerde “N” değeri belirtilmemiş ise Eşitlik 6.11 doğrudan kullanılabilir.

Hava ile PV arasındaki boşluk için yazılabilecek ısı transferi boşluktaki ısı taşınım katsayısı “ $h_{g-pv,CV}$ ” Eşitlik 6.12’de hesaplanarak bulunabilir.

$$h_{g-pv,CV} = \frac{Nu_{air} k_{air}}{H_{gap}} \quad (6.12)$$

burada, “ H_{gap} ” cam ile PV arası boşluk kalınlığını ve “ k_{air} ” ise boşluk içindeki havanın ısı iletim katsayısını ifade eder.

PV panel ile cam arasındaki “ $h_{g-pv,RD}$ ” ışıyım ısı transfer katsayısı aşğıdaki eşitlik 6.13’te denklemde belirtilmiştir.

$$h_{g-pv,RD} = \frac{1}{\frac{1}{\epsilon_{pv}} + \frac{1}{\epsilon_g} - 1} \sigma (T_g^2 + T_{pv}^2) (T_g + T_{pv}) \quad (6.13)$$

6.3.3. Akış Rejimi Ve Modelleme

Analizlere geçmeden önce sistemin sınır şartlarına bağı akış modelinin belirlenmesi önem arz etmektedir. İki tür akış vardır. Bir dairesel boru içerisindeki akışkanın düşük akış hızlarında akım çizgilerinin stabil hareket ettiğini ve uniform halde olduğunu görebiliriz. Bu tür akış rejimine laminer akış denir.

Eğer başka bir ifadeyle hız fazla ve çalkantılı veya düzensiz akım çizgileri olması halinde ise akış rejimi türbülanslı akış olarak tanımlanabilir. Bazı akış karakteristikleri laminerden türbülansa akışa geçiş esnasında birçok özelliğe bağı olarak değışkenlik gösterir. Bunlar yüzey pürüzlülüğü, akış hızı, sıcaklık, akışkan türü, geometrisi ve birçok özelliğı ihtiva eder. Osborne Reynolds 1880’li yıllarda yaptığı çalışmasında akış rejiminin belirlenmesinde atalet kuvvetlerinin viskoz kuvvetlere oranına bağı değıştiğini ifade etmiştir. Bu orana Reynolds sayısı (Re) denir. Eşitlik 6.14’te belirtilmiştir [89].

$$Re = \frac{\text{Atalet Kuvvetleri}}{\text{Viskoz Kuvvetleri}} = \frac{\rho V_{ort} D}{\mu_f} \quad (6.14)$$

$$Q = V_{ort} \cdot A \quad (6.15)$$

$$\rho = \frac{\dot{m}}{Q} \quad (6.16)$$

Burada, “ \dot{m} ” kütleli debi, “ Q ” hacimsel debi, “ ρ ” akışkan yoğunluğu (kg/m^3), “ V_{ort} ” ortalama akış hızı (m/s) ve “ D ” geometrinin karakteristik uzunluğu yani boru çapı (m) ve “ A ” (m^2) borunun “ D ” çaplı kesit alanıdır.

Eşitlik 6.14’ten yola çıkılarak Eşitlik 6.15 ve 6.16’da kullanılarak akış rejiminin sınırları ifade edilmiş ve Eşitlik 6.14’te ifadeler yerine yazıldığında akışın karakteristiği belirlenebilir.

- $Re < 2300$ ise akış laminer.
- $2300 < Re < 4000$ ise geçiş akışıdır.
- $Re > 4000$ ise akış türbülanslıdır.

Deneyisel çalışmamızda akış modeli için kollektör giriş ve ara dağıtım boruları için ayrı ayrı akış karakteristik verileri çıkarılmalıdır.

Reynold sayısı ($\text{Ø}25\text{mm}$ giriş kollektör borusu için 0.029kg/s kütleli debide kollektör giriş borusu ($\text{Ø}25\text{mm}$ için), $26,5^\circ\text{C}$ sıcaklıktaki yoğunlukta ($996,2\text{kg/m}^3$) ve akış hızı $0,00594 \text{ m/s}$ de $Re_{\text{Ø}25}=224,2$ olarak hesaplanmıştır. (basınç kayıpları ve yerel boru kayıpları ihmal edilecektir).

$Re_{\text{Ø}25}= 224,2 < 2300$ olduğundan akış laminerdir. 6 adet $\text{Ø}10 \text{ mm}$ dağıtım bakır boruları ile iletilen su için kütleli debi $0,00485 \text{ kg/s}$ /1 adet bakır boru için kütleli debide, $26,5^\circ\text{C}$ sıcaklıktaki yoğunlukta ($996,2\text{kg/m}^3$) ve akış hızı $0,00618 \text{ m/s}$ de $Re_{\text{Ø}10}=93,4$ olarak hesaplanmıştır. $Re_{\text{Ø}10}= 93,4 < 2300$ olduğundan akış laminerdir.

Aynı deney düzeneğinde nanoakışkanlar kullanılırsa yine akış karakteristiğini hesaplamak gerekecektir. Aynı denklemlerle akış karakteristiğini belirleyen Reynolds sayısının ve hacimsel orana (Φ) göre oluşturulan nanoakışkanların verileri Çizelge 6.2’de nanoakışkan akış karakteristik tablosunda yer almıştır.

Çizelge 6.2. Deneysel ve Ansys analiz çalışmalarında kullanılan akışkanlara ait hesaplanan karakteristik veriler.

Nanoakışkan /Akışkan	Hacimsel Oran % (Φ)	V (m/s)	Re ($\rho_{nf} * D * V / \mu_{nf}$)
Saf Su	0	0,06521	981,95
Al ₃ O ₄ -Saf Su	5	0,06521	989,46
	10	0,06521	956,75
Ag-Saf Su	5	0,06521	1272,77
	10	0,06521	1461,46
Fly Ash-Saf su	5	0,06521	931,36
	10	0,06521	952,11

6.4. PV/T İÇİN HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ (HAD)

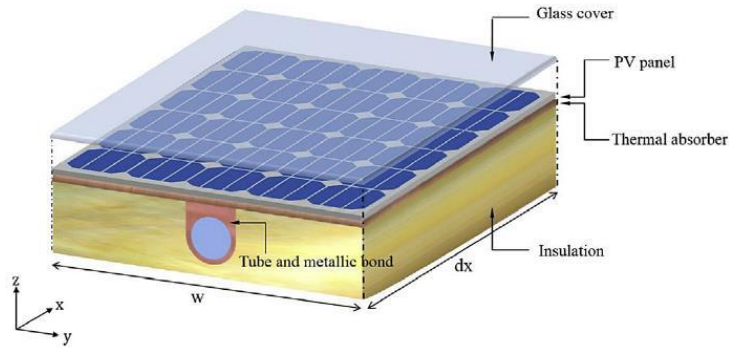
6.4.1. PV/T İçin Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) Yöntemi ve Tasarımı

CFD model oluşturma yöntemi literatür araştırmalarında geçerliliği olan ve daha doğru sonuçlar verebilen hem zaman tasarrufu hem de daha etkin mühendislik çözümleri sağlayabilen örnek bir uygulama modelidir. Bu model PV/T nin performansını ve akışkan giriş sıcaklığı, akış debisi ve çıkış sıcaklığı için en yüksek verimliliğe sahip verileri optimize etmek için kullanılmıştır. Sonraki bölümlerde soğutucu giriş sıcaklığı, akış debisi, çevre doğal taşınım katsayısı ve güneş ışınım şiddetinin PV/T performansına etkileri üzerine çalışmalar yapılacaktır.

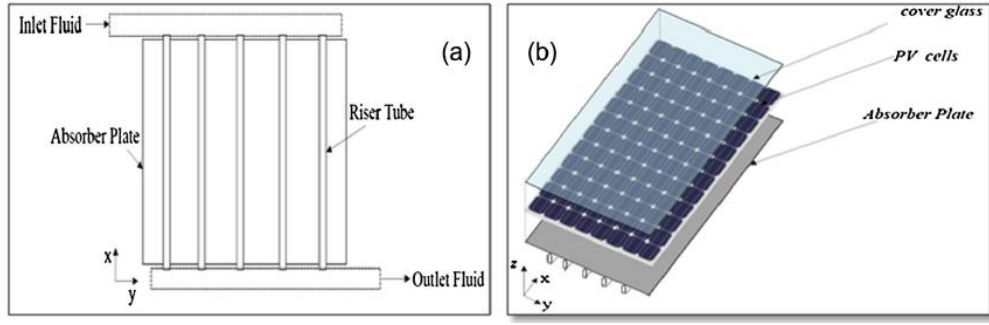
6.4.1.1. Model Simülasyon Örneği

Yazdanifard vd., PV/T nin CFD simülasyonu üzerine çalışmalar yapmışlar ve PV/T nin yapısal tasarımı Şekil 6.8’de olduğu gibi tanımlamışlardır. Model tasarım; cam yüzey, PV panel, ısı emici metal yüzey, metal kollektör boru ve izolasyon malzemelerinden oluşmaktadır. PV ise polikristal silikon malzemeden kullanılmıştır.

Khanyari vd., yaptıkları simülasyon çalışması Şekil 6.9-a ve Şekil 6.9-b’de belirtildiği gibi 35°C açı ile yerleştirdiği 1,64m*0,99m ebatlarındaki PV/T panelin soğutulması adına doğrudan besleme yapılabilecek bakır kollektör geometrisini tasarlamış ve giriş sıcaklığını 303K olarak sabitlemiştir. 800W/m² güneş ışınımı altında %5, %10 hacimsel oranlarda karıştırılan Ag-H₂O ve Al₂O₃-H₂O nanoakışkanlarını simülasyon olarak incelemiştir. Simülasyonda farklı sıvı giriş hızları 0,05m/s-0,23m/s arasında değişken değerlerde kullanılmıştır. Sıvı giriş hızının artması ile PV, absorber plakanın ve tabakalarının sıcaklığı ve sıvı çıkış sıcaklığında azalmalar saptanmıştır. Sistemin her karakteristik değişiminde ısıl ve elektriksel verimlilikleri hesaplanmıştır. Ansys 16 programındaki simülasyonda suya göre kıyaslandığında sıvı giriş hızı 0,06377m/s’de Al₂O₃-Su ve Ag-Su nanoakışkanlarının çıkış sıcaklığı suya göre 1K arttığı saptanmıştır. Aksine sıvı giriş hızı 0,04m/s iken %5 Ag-Su kollektör çıkış suyu sıcaklığı 338K ve bu değerler sırasıyla Al₂O₃ ve saf su için 333K ve 331K olarak kayda alınmıştır. Diğer yandan sıvı giriş hızı 0,2 m/s gibi max. hıza ulaştığında sıcaklık farkının her bir nanoakışkan ve saf su için kıyaslandığında neredeyse ‘sıfır’ olduğu tespit edilmiştir. Böylelikle, Bu simülasyonda Ag-Su, Al₂O₃-Su nanoakışkanlarının kullanımı sonunda PV sıcaklığını sırasıyla suya göre karşılaştırıldığında 4K ve 1K dolaylarında azalmasına katkı sağladığı tespit edilmiştir.



Şekil 6.8. Örnek PV/T panelin genel görünümü [88].

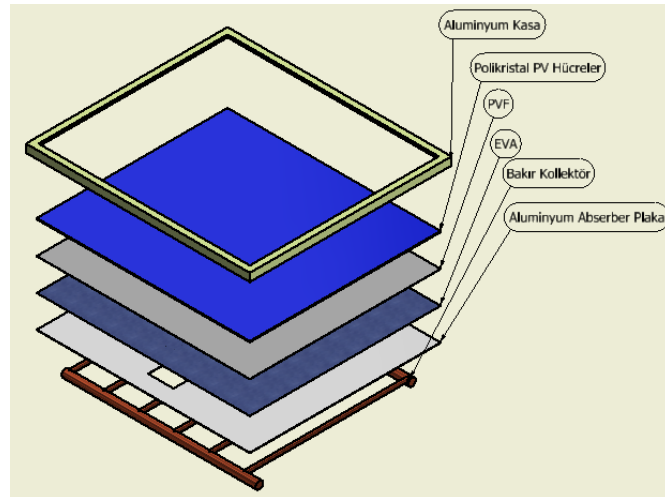


Şekil 6.9. (a) Kollektör geometrisi, (b) PV/T geometrisi [90].

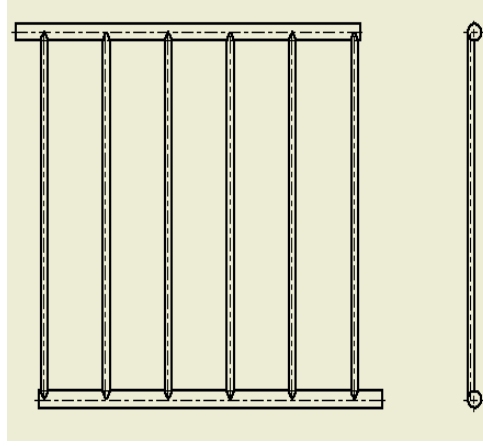
Biz de bu yüksek lisans tez çalışmamızda benzer ama boyutsal olarak farklılıkları olabilen PV ve PV/T ile deneysel ve analiz çalışmalarını ortaya koyacağız. Elde edilecek tüm sonuçlar ve değerlendirmeleri Bölüm 7’de detayları ile ele alınacaktır.

6.4.1.2. CAD (Bilgisayar Destekli Tasarım) Ortamında Modelin Tasarımı

ANSYS ile simülasyona başlamadan önce ihtiyacımız olan model tasarımı CAD ortamında Autodesk Inventor 2018 student ile oluşturulmuş ve STEP uzantılı dosya ile ANSYS geometri model içeriğine aktarmaya hazır hale getirilmiştir. Şekil 6.10 ve Şekil 6.11’de olduğu gibi tasarım detayları gösterilmektedir.



Şekil 6.10. PV/T panel model tasarımı.



Şekil 6.11. PV/T kollektör tasarımı.

PV arka yüzeyine Ø25 iki adet manifold, İç çap Ø10 mm, dış çap Ø11 mm 6 salınlı bakır borulu ve absorber plakalı bakır kollektör Bölüm 4’te belirtilen doğrudan beslemeli bakır borulu tip dizilime sahip kollektör seçimi yapılmıştır. Polikristal hücre yapısında olan, 65W nominal güce sahip Pantec PSM65P marka PV çalışmada model olarak kullanılmıştır. Bu modele ait teknik özellikler Ek Açıklamalar B, Çizelge B.1’de verilmiştir.

6.4.1.3. Geometri Tanımlamaları ve MESH Oluşturma

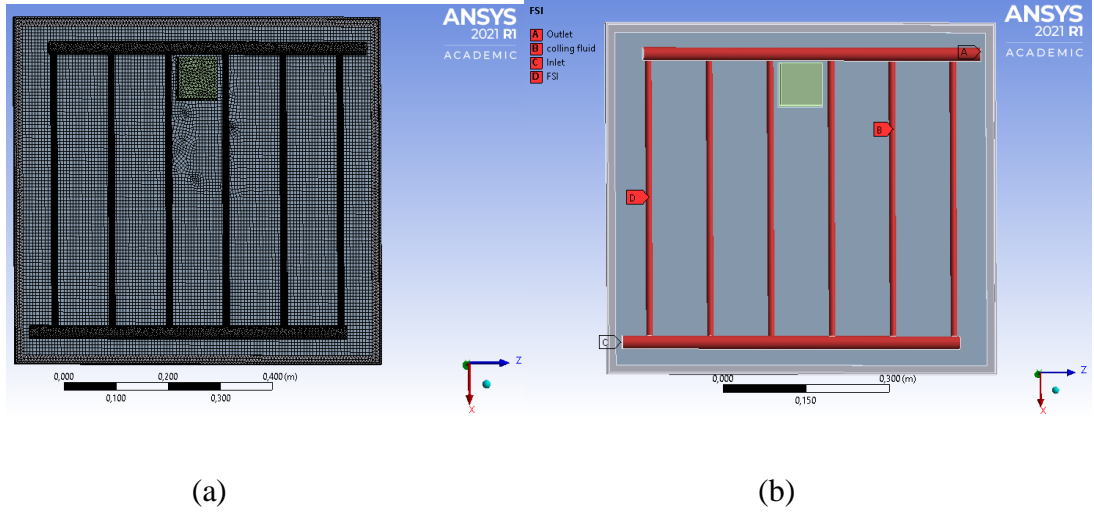
Yazdanifard vd., ANSYS paket programından model tasarımını yapmış, ortaya çıkan modele MESH yani geometriyi çok küçük hücre parçacıklarına ayırarak ağ benzeri bir yapı oluşturmuş ve ANSYS mühendislik veri girişine Çizelge 6.3’te belirtilen malzemelerin yoğunluk (kg/m^3), ısı iletim katsayısı (W/mK), özgül ısı (J/kgK) ve dinamik viskozite fiziksel özelliklerini veritabanına kaydetmiş ve MESH bölümünde ilgili geometriye göre malzeme atamaları yapmıştır [88].

Bu çalışmada, MESH model üzerinde oluşturulmuş ve MESH sonucunda 240003 adet Nodes, 679296 adet Elements üretilmiştir. Çarpıklık (fine skewness) 0.9 oranında iyileştirilmiştir. Adaptive sizing (uyumlu ölçülendirme) uygulanmıştır. Şekil 6.12-a’da tüm tasarımın MESH görüntüsü oluşturulmuştur.

MESH yapısının ardından tüm yapısal ve tasarımsal elemanların (giriş-çıkış akışkanı, fsi yani katı-sıvı etkileşim yüzeyi ve akışkanın seçimi tamamlanmıştır. Şekil 6.12-b’de tüm tasarım isimlendirmesi ve çalışma yüzey atamaları yapılmıştır.

Çizelge 6.3. PV/T geometrisi ve kullanılan malzeme özellikleri tablosu [88].

Malzeme	Yoğunluk (kg/m ³)	Isıl İletim Katsayısı (W/mK)	Özgül Isı (J/kg K)	Malzeme Cidar Kalınlığı (m)
Cam	2500	1,4	750	0,004
PV	2330	148	700	0,0005
Soğurucu ve Alüminyum kasa	8954	310	385	0,0005
Yalıtım	200	0,03	850	0,05



Şekil 6.12. a)PV/T Model MESH oluşturma, b) PV/T karakteristik akış elemanlarının atanması.

Aynı zamanda sınır şartları içerisinde kullanılan deneysel ve ansys analiz çalışmamızda kullandığımız akışkanların termofiziksel özelliklerini saptamak amacıyla Bölüm 5’te belirtilen özgül ısı, yoğunluk, dinamik viskozite ve ısı iletim katsayısı gibi termofiziksel özelliklerin saptanması sonucunda elde edilen veriler Çizelge 6.4’te olduğu gibi hesaplanmıştır.

Çizelge 6.4. Sınır şartları içerisinde deneysel çalışmada kullanılan su ve nanoakışkanlara ait termofiziksel özellikler tablosu.

Sınır şartları: $G=910 \text{ W/m}^2$ güneş ışınımı, $d_p=50 \text{ nm}$, $T_{in}=26,5^\circ\text{C}$ sıvı girişi, $h_{\text{çevre}}=8,36 \text{ W/m}^2\text{°C}$					
Nanoakışkan/Akışkan	Hacimsel Kesir Oran (% Φ)	ρ_{nf} (kg/m³)	μ_{nf} (pa.s)	C_{pnf} (J/kg K)	K_{nf} (W/m.K)
Saf Su	0	992,3	0,000676	4179,10	0,6305
Al ₃ O ₄ -Saf Su Süspansiyonu	5	1141,2	0,000752	3585,16	0,7299
	10	1272,07	0,000867	3161,83	0,8306
Fly Ash(Duman külü)-Saf su süspansiyonu	5	1038,7	0,000752	3840,26	0,7727
	10	1085,07	0,000867	3530,50	0,82733
Ag-Saf Su süspansiyonu	5	1467,7	0,000752	2768,10	1,2346
	10	1943,07	0,000867	2047,73	1,8497

Deneysel ve analiz çalışmamızda kullandığımız yapısal malzemelere ait karakterisitik termofiziksel özellikleri içeren veriler Çizelge 6.5'te belirtilmiştir.

Çizelge 6.5. PV/T Deneysel ve analiz çalışmamızda kullandığımız yapısal malzemelere ait karakterisitik ve termofiziksel özellikler.

Malzeme	Yoğunluk (kg/m³)	Isıl İletim Katsayısı (W/mK)	Özgül Isı (J/kg K)	Malzeme Cidar Kalınlığı (m)
Cam	3000	1,8	500	0,003
Polikristal PV	2330	148	677	0,0005
Absorber Plaka	2700	237	900	0,0005
Yalıtım	200	0,03	850	0,05
PVF	1200	0,2	1250	0,0001
EVA	960	0,35	2090	0,005
Bakır Kollektör	8933	401	385	-

6.4.1.4. Simülasyon Sınır Şartları Ve Varsayımlar

Aşağıdaki referans varsayımlar ve şartlar bu çalışmada uygulanmıştır.

1. Giriş borusuna dik Kararlı hal ve uniform bir akış
2. Seçilen tüm malzemelerin fiziksel özellikleri sabit kabul edilmiştir.

3. Salınım tip kollektör kullanıldığı için kütleli debi tüm boru hattı boyunca eşit ve sabittir.
4. Güneş ışınım şiddeti PV yüzeyine dik açı ile gelmiştir.
5. Ortama olan ışıma ile ısı kaybı ihmal edilecektir.
6. Kollektörün dış ortama komşu tüm yüzeyleri için ısı kaybı kapsamında sabit ortam sıcaklığında rüzgara bağlı ısı taşınımı mevcuttur.
7. PV, EVA, kollektör absorber plaka, kollektör, PVF malzemeleri birbirlerine yüzey temasları mükemmeldir. Hava kaynaklı ısı dirençler ihmal edilecek.
8. Kollektöre giriş sıvı sıcaklığı sabittir. Basınç kayıpları ihmal edilecektir.

6.4.2. PV/T Matematik Modeli Performansı

6.4.2.1. Matematiksel Isıl Verimlilik Denklemleri

PV yüzeyine gelen güneş ışınım sonucu toplam emilen enerji Eşitlik 6.17’de olduğu gibi hesaplanır.

$$Q_s = G \alpha \tau \quad (6.17)$$

burada “ Q_s ”, net emilen enerjiyi, “ G ” global güneş ışınımını, “ τ ” cam yüzeyin geçirgenlik katsayısını ve “ α ” ise yüzeyin soğurma katsayısını ifade eder.

Çevre faktörlerinden kaynaklı taşınım ile olan ısı transfer katsayısı Eşitlik 6.18’de olduğu gibi hesaplanır.

$$h_b = 2.8 + 3V_w \quad (6.18)$$

“ V_w ” ortamdaki hava hızı, “ h_b ” ısı taşınım katsayısını ifade eder.

Isıl enerji olarak PV panel yüzeyinden akışkana aktarılan faydalı enerji verim denklemi Eşitlik 6.19’da olduğu gibi hesaplanır.

$$n_{th} = C_p \dot{m} \frac{T_0 - T_i}{G A_c} \quad (6.19)$$

Burada, “ c_p ” (kJ/kg K) soğutucu akışkanın özgül ısısını, “ m ” (kg/s) akışkanın kütleli debisi, “ A_c ” PV kollektör alanı, “ T_i ” soğutucunun giriş sıcaklığını (K), “ T_0 ” soğutucunun çıkış sıcaklığı ve “ G ” ise global güneş ışınım (W/m^2) ifade eder.

Diğer yandan PV tarafından elektrik enerjisine dönüştürülen enerjinin yanısıra faydalı ısı enerjisi olarak akışkana aktarılan enerji denklemi ise Eşitlik 6.20’de olduğu gibi belirtilmiştir [6].

$$Q_u = F_r A_c [G \alpha \tau - U_L(T_i - T_a)] \quad (6.20)$$

$$F_r = \frac{\dot{m} C_p (T_0 - T_i)}{A_c [G \alpha \tau - U_L(T_i - T_a)]} \quad (6.21)$$

Burada, “ F_r ” kollektörün geri ısı dönüşüm faktörü, “ U_L ” ortalama ısı transfer katsayısı (iletim, taşınım ve radyasyon) (W/m^2K), “ T_a ” ise, ortam sıcaklığını, “ Q_u ” faydalı ısı enerjisini ifade eder.

Akışkan çıkış sıcaklığının faydalı enerji hesabına göre çözümlendiğinde aşağıdaki Eşitlik 6.22 kullanılır.

$$T_0 = T_i + \frac{Q_u}{\dot{m} C_p} \quad (6.22)$$

Faydalı enerji hesabına göre ise ısı verim Eşitlik 6.23’te olduğu gibi hesaplanır.

$$n_{th} = F_r (\alpha \tau) - \frac{F_r U_L (T_i - T_a)}{G} \quad (6.23)$$

6.4.2.2. Matemaiksel Elektrik Verimlilik Denklemi

Bu matematiksel hesaplamalar çoğunlukla tüm literature araştırmalarında PV/T elektriksel verimi için kullanılmaktadır. Özellikle deneysel çalışmalarda bu denklemlerin kullanıldı görölmektedir [9].

PV silikon katmanının enerji denge ilavesi yapıldığında PV hücre sıcaklığı aşağıdaki Eşitlik 6.24 ile hesaplanır.

$$T_{\text{cell}} = \frac{G \alpha \tau + U_T T_a + U_T T_{bs}}{U_t + U_T} \quad (6.24)$$

Tedlar (EVA) katmanının enerji denge ilavesi yapıldığında sıcaklığı aşağıdaki Eşitlik 6.25 ile hesaplanır.

$$T_{\text{cell}} = \frac{h_{p1} G \alpha \tau + U_T T_a + h_f T_f}{U_{tT} + h_f} \quad (6.25)$$

Burada, “ h_f ” su kanalının içindeki ısı taşınım katsatısı(W/m^2K), “ T_f ” akışkanın sıcaklığı (K), “ U_{tT} ” güneş paneli katmanları boyunca EVA tedlar ile cam arasındaki ortalama ısı taşınım katsayısı (W/m^2K), “ U_T ” Güneş paneli ile akışkan boyunca ortalama ısı taşınım katsayısı (W/m^2K), “ h_{p1} ” güneş paneli-cam-EVA boyunca kayıp faktörünü ifade eder.

PV Elektrik verimliliği Eşitlik 6.26’ya göre hesaplanır.

$$n_{el} = n_o [1 - \beta(T_{sc} - 298K)] \quad (6.26)$$

Burada, “ n_o ” referans hücre verimi, “ T_{sc} ” referans hücre sıcaklığını ve “ β ” ise sıcaklık katsayısı (K^{-1}) ifade eder ($\beta=0.0045$) [88].

Toplam elektrik eldesi (E_{PV}) ise Eşitlik 6.27 ile hesaplanır.

$$E_{PV} = n_o A_m G \tag{6.27}$$

BÖLÜM 7

DENEY VE ANALİZ SONUÇLARI

7.1. GİRİŞ

Bu çalışmada, PV ve PV/T sistemlerine ait elektriksel ve ısıl verimlerinin incelenmesi amacıyla bir deney sistemi kurulmuş ve deneysel çalışmaların doğruluklarını ve devamını sağlayabilecek Ansys fluent ve ansys steady state thermal bloğunda PV/T katı ve sıvı kontrol hacimleri CFD için enerjinin korunumu, süreklilik ve momentumun korunumu denklemleri paket program vasıtasıyla uygulanmıştır.

Deneysel verilerin doğrulama çalışması ve hata oranları saptamak amacıyla aynı koşullarda ve sınır şartlarında ansys 2021 r1 academic üzerinde simülasyon analiz çalışması yapılmış, sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu çalışma referans alınarak daha farklı nanoakışkanlar analiz edilerek daha farklı akışkanların kullanıldığı çalışmalar türetilmiştir. Çizelge 6.5'te belirtilen Cam tabaka, PV silikon hücre tabakası, EVA tabakası, PVF ve absorber plakası ve bakır kollektör için malzeme özellikleri ve verilerin yüklendiği Mühendislik Data bölümü oluşturulmuş ve malzemelere atamalar yapılmıştır. Isıl sınır şartlardan olan güneş ışınım şiddeti değeri PV üst tabakası olan ve normal ile dik açığa sahip cam yüzeye sabit değerde sürekli uygulanmıştır. Ardından, PV'nin atmosfer ortamına temaslı tüm yüzeyleri seçilmiş ve ısı taşınım katsayısı (W/m^2K) değeri uygulanmıştır. PV'nin kollektör ile son tabakası olan absorber tabaka arasında sıvı temas etkileşim yüzey (FSI) özelliği atanması yapılmış ve ortam sıcaklığı sabit kabul edilmiştir. Güneş ışınım şiddeti (W/m^2), ortama ait rüzgar kaynaklı ısı taşınım katsayısı (W/m^2K), PV ortalama sıcaklığı ($^{\circ}C$), akışkanın giriş sıcaklığı (K), akışkanın çıkış sıcaklığı (K), akışkanın kütleli debisi (kg/s) ve giriş hızı (m/s) gibi giriş değerleri belirlenmiş, programda parametrik olarak atanmış ve sınır değerleri için çözümlenmeler yapılmıştır.

Geometriye ait MESH eleman sayısı ve nodül sayıları atama işlemleri yapılmıştır. ansys fluent mesh bölümünde kollektör tasarımı üzerinden akışkanın modeli, sıvı-katı yüzeyi, sıvı giriş-çıkış yüzeyleri, sıvı termofiziksel özellikleri, akışın karakteristiği (laminer veya türbülans) ataması yapılarak sınır şartları oluşturulmuştur. steady state termal ve fluent çözümleri system coupling adı altında birleştirilmiştir. Çözümleme sonrası parametrik değerler için response surface modülü ile elde edilen veriler grafiklere aktarılmış ve kolay karşılaştırma ve değerlendirme imkanı sunulmuştur. Tüm bu programlama akış mantığı, Çizelge Ek. C1 ve Çizelge Ek. D1'de bulunan proje şeması ve akış diyagramına göre oluşturulmuştur. Soğutmasız, saf su ile soğutulan ve nanoakışkan ile soğutulan PV ve PV/T'ler için ısıl ve elektriksel verim değerleri oluşturulmuş ve kıyaslamalar yapılmıştır.

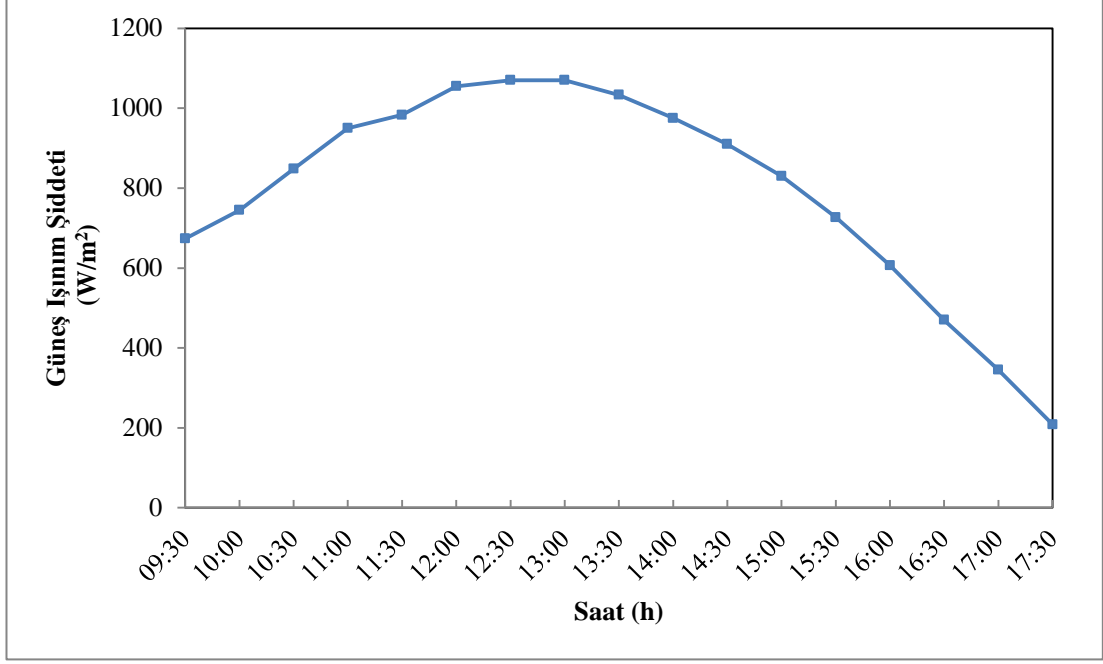
7.2. AKIŞ REJİM ANALİZİ

Sistemin deneysel ve model tasarımının ve ANSYS programında modellenmesinin ardından Setup kısmında akış karakteristiği belirlenmelidir. Öncesinde akışkanlar için hesaplanan değerler göz önüne alındığında Çizelge 6.2'de belirtildiği gibi Reynolds (Re) sayıları akış karakteriğine göre türetilmiştir. Tüm sonuçlara göre akışlar laminerdir. Hem deneysel hem de simülasyon çalışmalarında kullanılmıştır.

Akışın türbülanslı olduğu durumda ise, fluent setup model kısmında akış k-epsilon modeli uygulanmalıdır. Bu model daha ekonomik ve daha doğruya yakınsamalı sonuçlar verecektir [87].

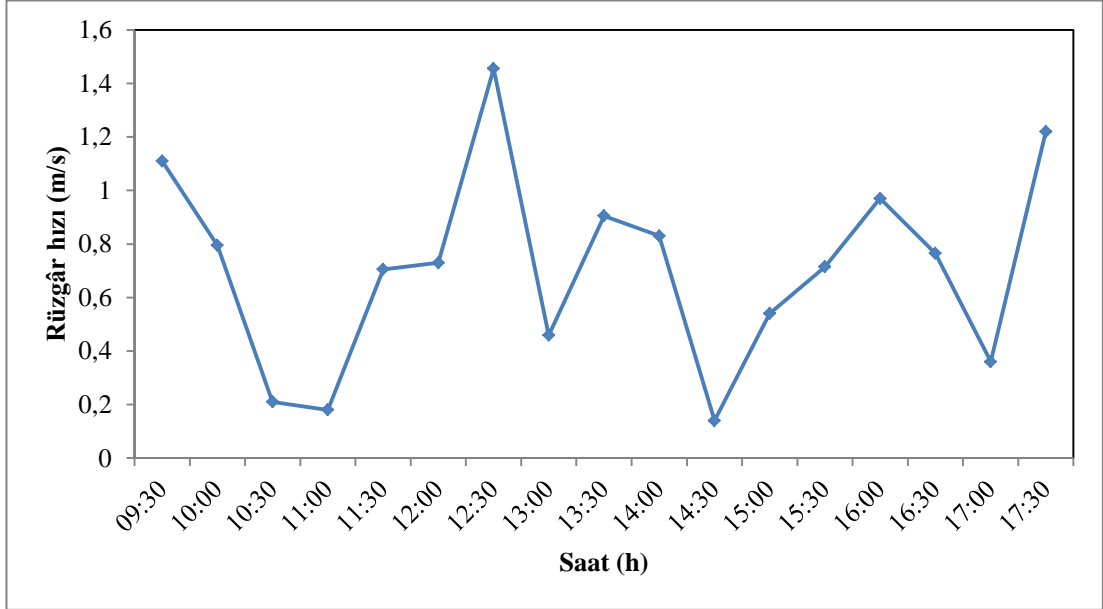
7.3. DENEYSEL ÇALIŞMALARDAN ELDE EDİLEN VERİLER

Karabük Üniversitesi demir çelik kampüsü mühendislik fakültesi bünyesinde kurulan deney standı ile 18 Eylül 2021 tarihinde saat 09:30-17:30 saatleri arasında elde edilen deneysel verilerden güneş ışınım şiddetinin zamana bağlı değişim grafiği Şekil 7.1'de olduğu gibi grafiğe aktarılmıştır. Saat 13:00'da güneş ışınım şiddeti 1070W/m^2 olarak kayda alınmıştır. Bu değer, aynı gün içerisinde kayıtlara geçmiş en yüksek güneş ışınım değeridir.



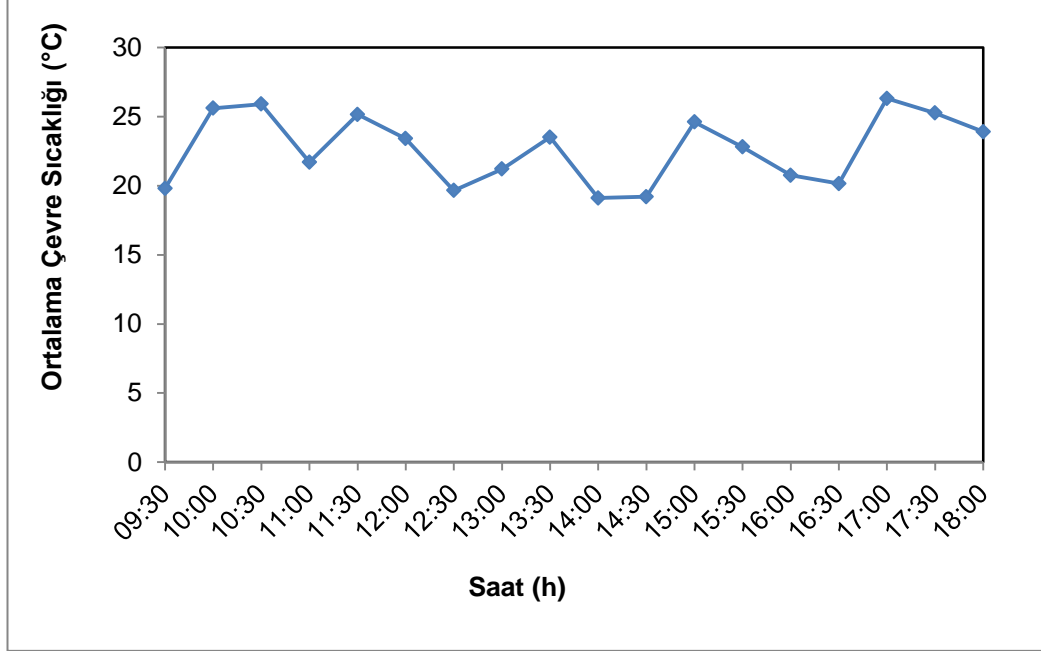
Şekil 7.1. Güneş ışınım şiddetinin zamana bağlı değişim grafiği.

Şekil 7.2’de elde edilen hava hızı verilerinin zamana bağlı değişim grafiği oluşturulmuştur. Grafikte max. rüzgâr hızı saat 12:20’de 1,595 m/s olarak kayda alınmıştır. Rüzgâr hızı ve sıcaklığının doğal taşınım ile ısı transferini sağlamaktadır.



Şekil 7.2. Rüzgâr hızının zamana bağlı değişim grafiği.

Şekil 7.3'te ortalama çevre sıcaklığının zamana bağlı değişim grafiği gün boyunca kayda alınmıştır. Saat 13:30 dolaylarında çevre sıcaklığında düşüş meydana gelmiştir.

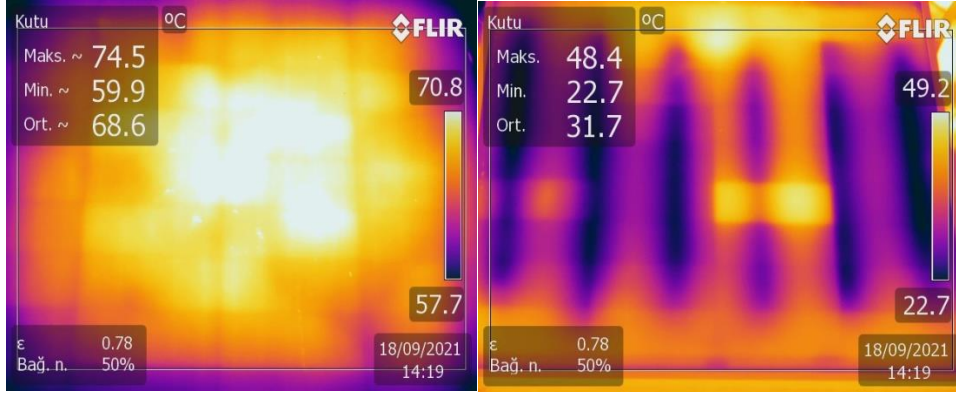


Şekil 7.3. Ortalama çevre sıcaklığının zamana bağlı değişim grafiği.

7.3.1. Soğutma Yapılmayan PV ve Saf Su Kullanılarak Soğutulan PV/T Deney Sonuçları

Deney mekanizması kurulduktan sonra $G=910 \text{ W/m}^2$ güneş ışınım şiddeti, $T_{\text{ortam}}=30,6^\circ\text{C}$ ve, $h_{\text{hava}}=8,36 \text{ W/m}^2\text{K}$ ($0,7 \text{ m/s}$ ortalama hava rüzgar hızı), optimum eğim açısı $36,8^\circ$ ve aynı karakteristik özelliklere sahip PV ve PV/T için deneyler yapılmıştır.

Sırasıyla minimum, ortalama ve maximum PV(a) ve PV/T(b) yüzey sıcaklığı değerleri gün boyunca termal kamera ile 10 dakikalık periyotlarla görüntülenmiş ve kaydedilmiştir. Pilot olarak seçilen saat 14:19'a ait termal kamera kayıtları hem PV hem de PV/T için Şekil 7.4'te verilmiştir.

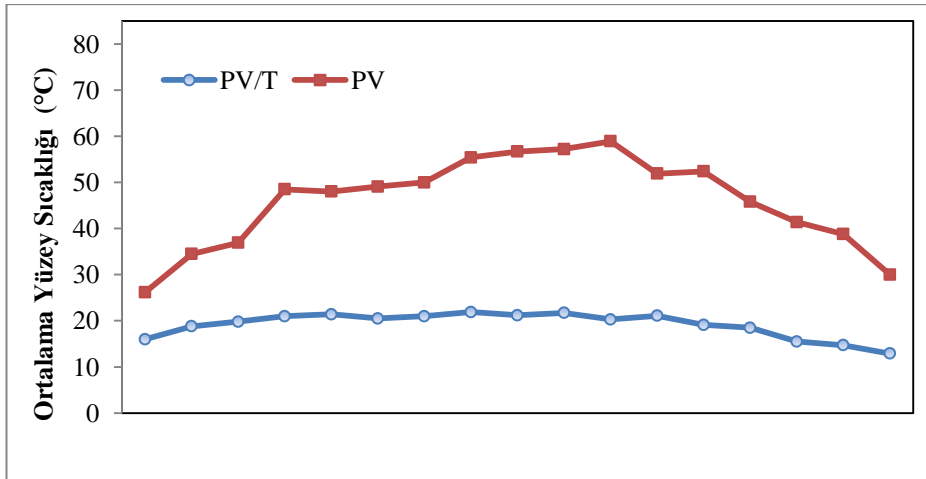
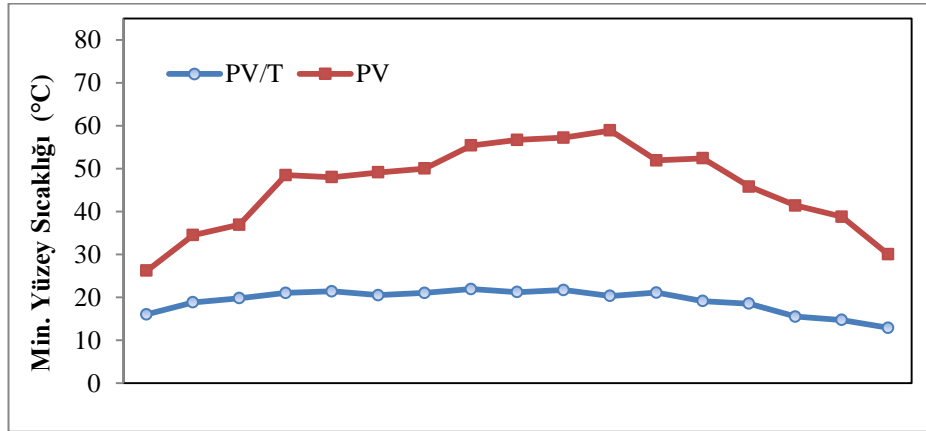


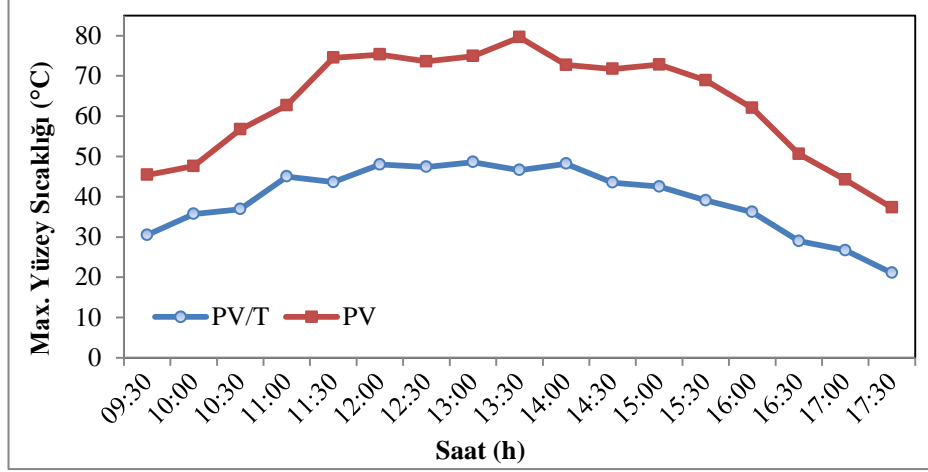
(a)

(b)

Şekil 7.4. a) PV yüzey sıcaklık dağılımı b) PV/T yüzey sıcak dağılımı termal kamera görüntüleri.

Diğer gün boyunca kayda alınmış PV ve PV/T'nin ortalama yüzey sıcaklığının zamana bağlı min., ortalama ve max. değerlerini gösteren grafikler Şekil 7.5'te oluşturulmuştur.





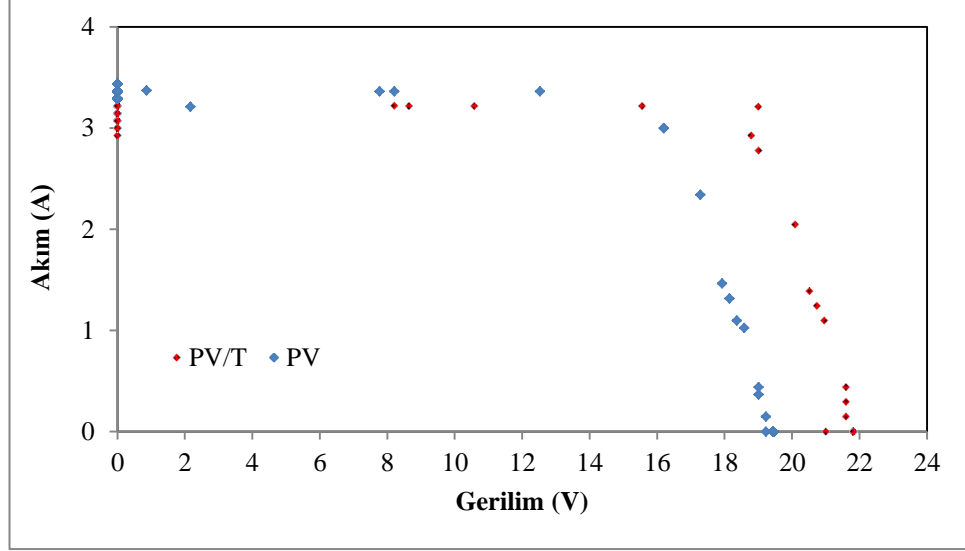
Şekil 7.5. PV-PV/T min, max ve ortalama yüzey sıcaklıklarının zamana göre dağılım grafiği.

Şekil 7.5'te yapılan deney sınır koşulları $G=910 \text{ W/m}^2$ güneş ışınım şiddeti, $T_{\text{ortam}}=30,6^\circ\text{C}$ ve, $h_{\text{hava}}=8,36 \text{ W/m}^2\text{K}$ (0,7 m/s ortalama hava rüzgar hızı), çevre sıcaklığı. PV/T minimum hücre yüzey sıcaklığı minimum $22,7^\circ\text{C}$, maksimum $48,4^\circ\text{C}$ ile PV/T elektrik kutusu yani efektif olarak soğutulamayan bölgeye ait ve PV/T tüm hücrenin ortalama yüzey sıcaklık değeri ise $31,7^\circ\text{C}$ olarak ölçülmüştür. PV için ise bu değerler sırasıyla $59,9^\circ\text{C}$, $74,5^\circ\text{C}$ ve $68,6^\circ\text{C}$ olarak kayda alınmıştır. Burada deneyde kullanılan saf su akışkanın PV/T ortalama yüzey sıcaklığını her iki deney standı da rejim halindeyken yaklaşık $36,9^\circ\text{C}$ kadar düşürmüştür. Bu sıcaklık farkı ile temelde PV nin elektriksel verimini artırmak hedeflenmiştir.

Yine termal olarak kayda alınan deneysel verilerin yanında bu sıcaklık değişimlerinden etkilendiğinin ispatı niteliğinde elektriksel hesaplamaların da değiştiği gerçeği deneysel verilerle elde edilmiştir. Hem PV hem de PV/T ile yapılan deneylerde maksimum akım-gerilim-güç verilerini kayda alan data kartı yardımı ile sisteme 2048 farklı akım-gerilim-güç sorgusunda 1 döngü elde edilecek şekilde aktarılmıştır. Bu verilerin oluşturduğu karakteristik eğriler olan Akım-Gerilim, Güç-Gerilim ve Güç-Akım grafikleri Şekil 7.6, Şekil 7.7 ve Şekil 7.8'da sırasıyla verilmiştir.

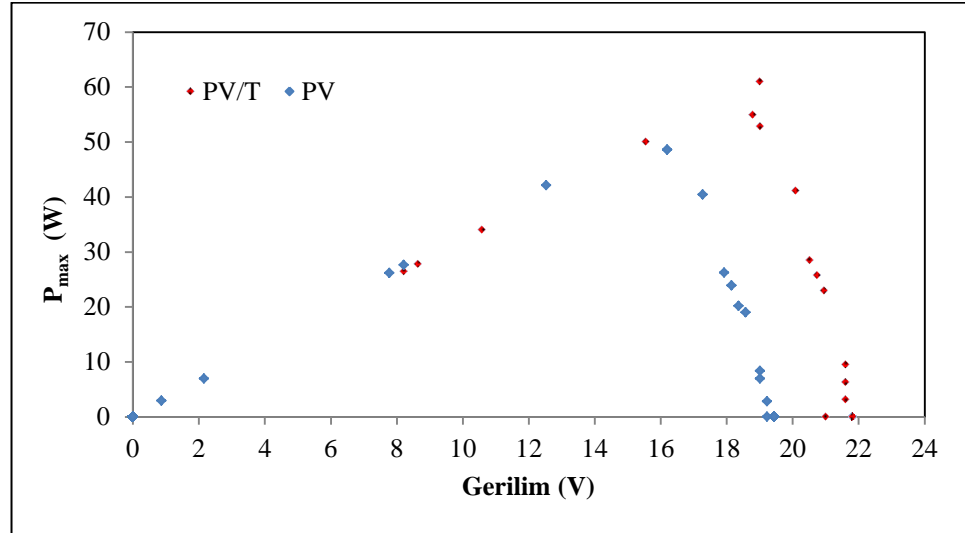
Şekil 7.6'da olduğu gibi PV/T ve PV'den aynı deney koşullarında maksimum güç noktasında gün içerisinde elde edilen akım değerleri sırasıyla 3,21A ve 2,99A olarak

saptanmıştır. Aynı şekilde gerilim değerlerinden bahsetmek gerekirse, PV/T ve PV için sırasıyla 19V ve 16,19V olarak belirlenmiş olunur.

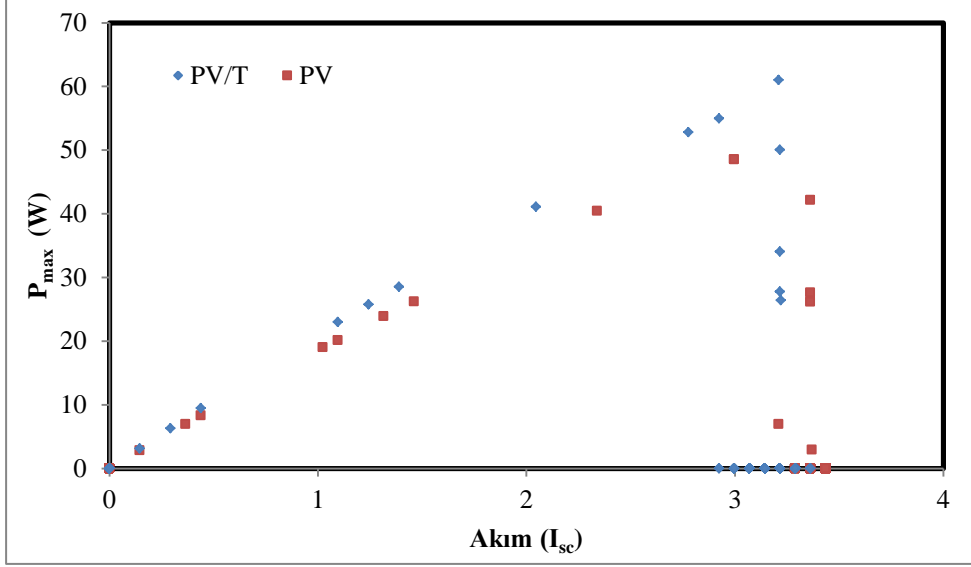


Şekil 7.6. Saat 14:19'a ait PV ve PV/T akım-gerilim grafiği.

Şekil 7.7'de ifade edildiği gibi, sistemlerin maksimum güç noktasındaki değerleri PV ve PV/T için sırasıyla 48,55W ve 60,11W olarak kayda alınmıştır.

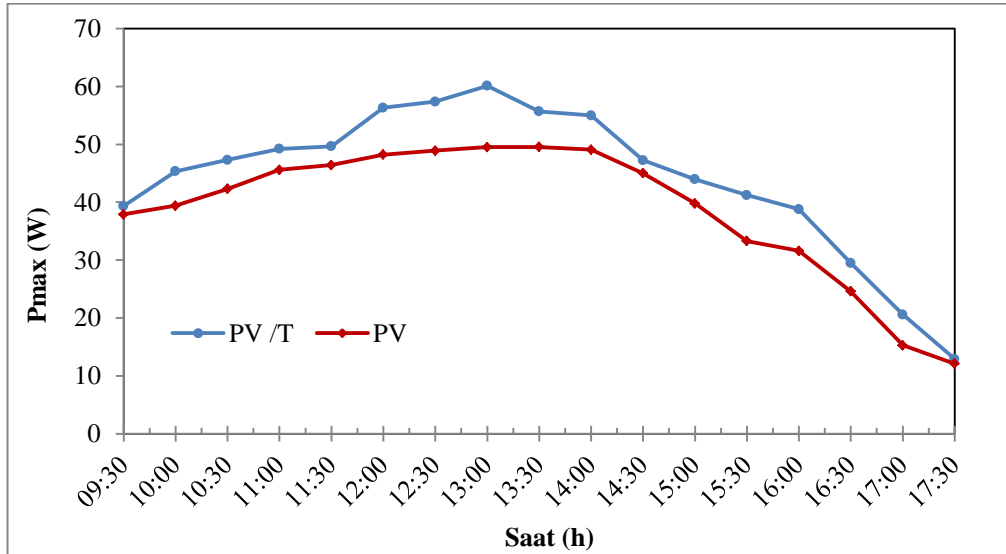


Şekil 7.7. Saat 14:19'a ait PV ve PV/T akım-gerilim grafiği.

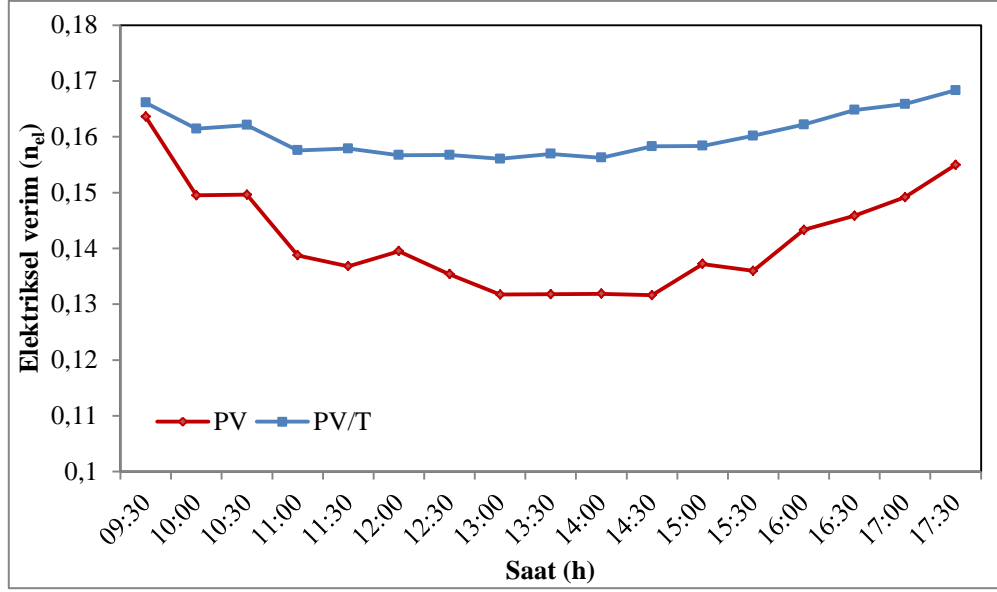


Şekil 7.8. Saat 14:19'a ait PV ve PV/T akım-gerilim grafiği.

Böylelikle, Bölüm 2'de tanımlanmış literatür çalışmalarında ifade edildiği üzere PV'nin soğutulmasıyla elektrik enerjisi eldesinin artış sağlayacağı görülmüştür. Yapılan çalışmada, yalnızca maksimum noktada değil, gün boyunca PV/T güç çıkışında PV'ye oranla elektriksel güç eldesinde artış olduğu deneysel çalışmalar sonucu elde edilen verilerin Şekil 7.9 ve Şekil 7.10'da verilen grafikte olduğu üzere kanıtlanmıştır.



Şekil 7.9. PV ve PV/T gün boyunca ölçülen maksimum güç (P_{max}) zamana bağlı değişim grafiği.

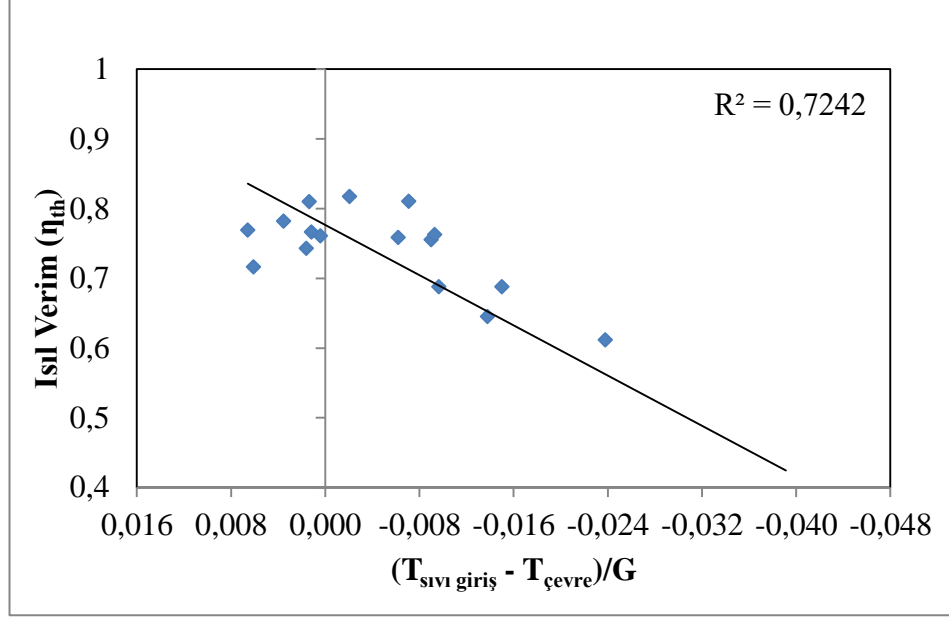


Şekil 7.10. Tüm gün boyunca PV ve PV/T elektriksel verimin zamana bağlı değişim grafiği.

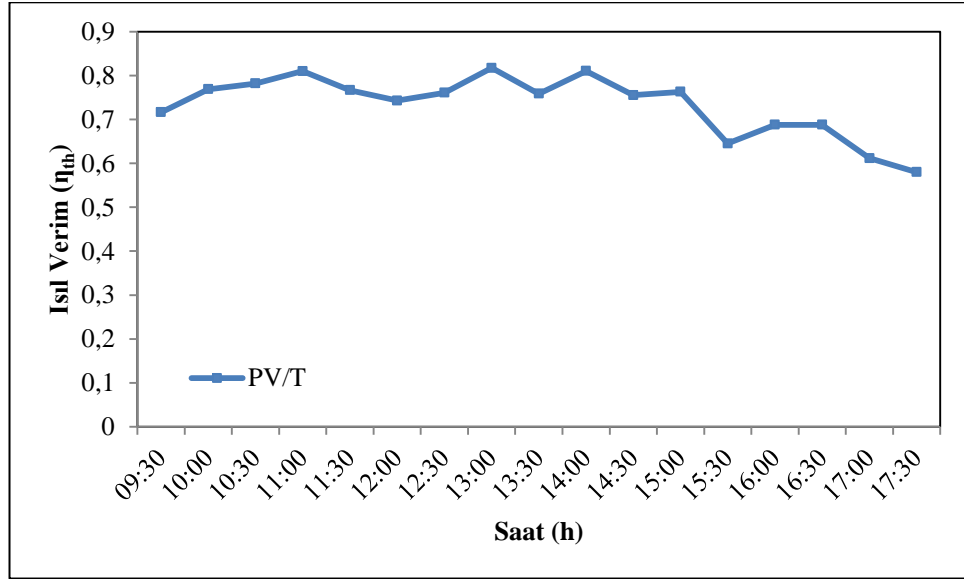
Güneş ışınlarının en dik açıda geldiği öğle saatlerinde PV'nin elektriksel verim değeri %13,17 iken, PV/T için bu değer %15,6 olarak kayda alınmıştır. Böylelikle, gün boyunca panellerin çalıştığı ve ürettiği güç göz önüne alındığında maksimum güç noktasında soğutulan PV/T'de PV'ye göre %18,45 oranında elektriksel verim artışı sağlanmıştır.

Diğer yandan, sistemin ısı verim ifadesi de PV/T'nin toplam verim ifadesini belirlemede etkin rol almaktadır. Lakin, PV için bu durum söz konusu değildir. Çünkü, PV'lerde soğutma olmadığı için sıcaklık farkına binaen ısı değişimi olmayacağından ısı verim ifadesinden bahsetmek mümkün olmaz.

Deneysel çalışmada kullanılan PV/T bakır kollektör giriş-çıkış su sıcaklık farkı, kütleli akış debisi, suyun özgül ısısı, güneş ışınım şiddeti ve kollektörün güneş ışınlarına temas ettiği yüzey alanı gibi parametrelerin Eşitlik 6.19'da belirtilen formüle göre saptanması ile bulunur. Burada, giriş-çıkış suyu sıcaklık farkı arttıkça ısı verim (η_{th}) de artacaktır. Deneysel çalışmada ele alınan ve Bölüm 2'de hedef literatürlerde belirtildiği gibi sistemin indirgenmiş ısı değerlerinin ısı verime göre grafiği Şekil 7.11'de verilmiştir.



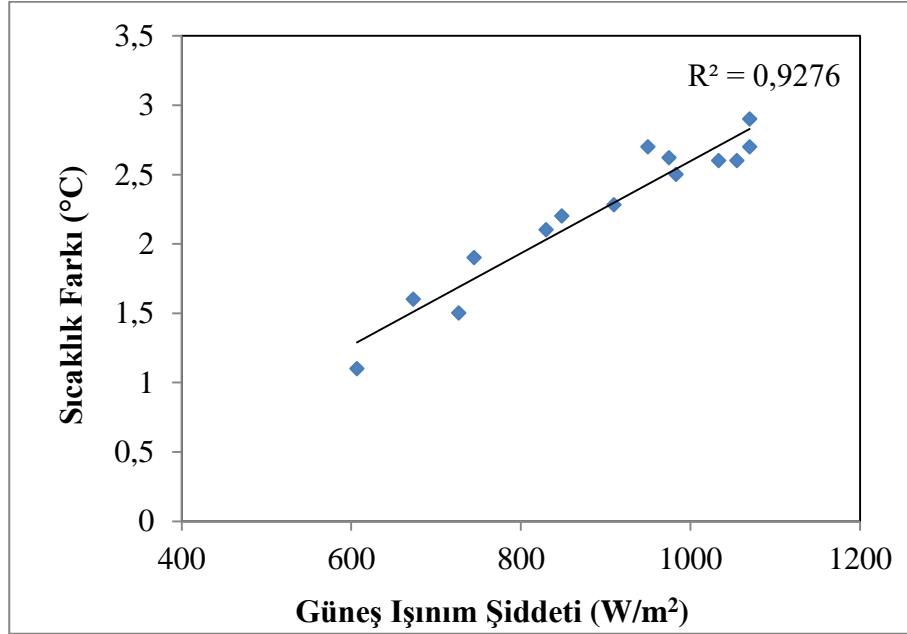
Şekil 7.11. PV/T ısı verimin indirgenmiş sıcaklık $[(T_{\text{sivi giriş}} - T_{\text{çevre}})/G]$ katsayısına göre değişim grafiği.



Şekil 7.12. PV/T ısı verimin gün boyunca değişim grafiği.

PV/T sistemi ısı veriminin gün boyunca değişimi Şekil 7.12’de verilmiştir. Sabah 09:00 ve akşam 17:00 civarında ısı verim değerinde öğle saatlerine göre düşüş saptanmıştır.

Yine deneysel çalışmalardan elde edilen veriler Şekil 7.13'teki grafiğe aktarıldığı zaman güneş ışınım şiddetinin artması ile su çıkış-giriş sıcaklık farkı artmaktadır. Böylelikle sistemin ısıl verimi de artmış olur.



Şekil 7.13. PV/T güneş kolektör su giriş-çıkış sıcaklık farkının güneş ışınım miktarına göre değişim grafiği.

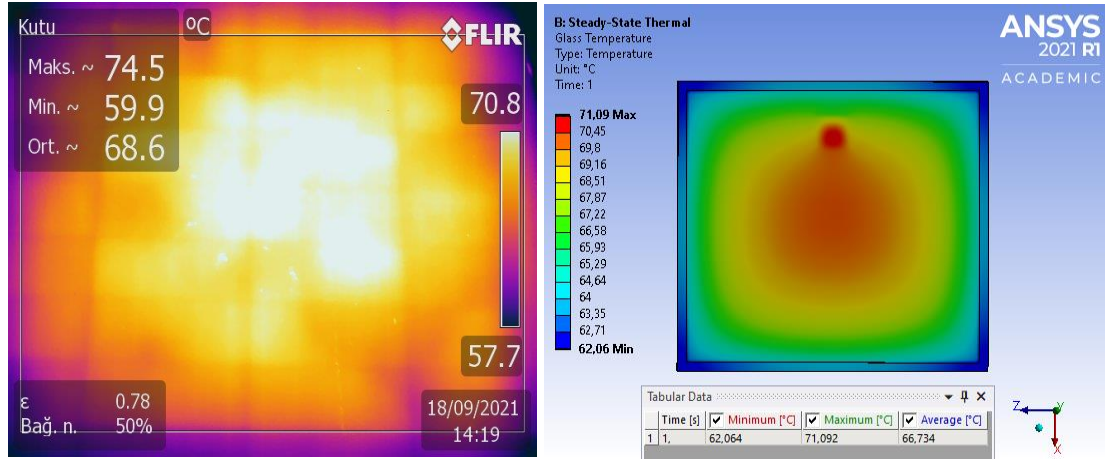
7.4. ANSYS SİMÜLASYON VE DENEY VERİLERİNİN KIYASLANMASI

7.4.1. PV Panel Deneysel ve Simülasyon Sonuçlarının Kıyaslanması.

PV ile yapılan deneysel verileri Bölüm 7.3.1'de ele alınmıştı. Deneysel sınır şartlarının ANSYS programına aktarılması ve modellenmesi yapıldı. Modelleme sonucunda sınır şartlarını ifade eden veri girişleri simülasyon programına girildi ve analiz verileri alındı. Deney koşulları 18 Eylül 2021 saat 14:19'a göre baz alınmıştır. Saat 14:19'a göre deney ve simülasyon sınır şartları ise, G : 910 W/m^2 güneş ışınım şiddeti, T_{ortam} : $30,6^\circ\text{C}$ ve, h_{hava} : $8,36 \text{ W/m}^2\text{K}$ (ort. rüzgar hızı $0,7 \text{ m/s}$)'dir.

Deney ortamında kayda alınan ve Şekil 7.14-a'da belirtilen termal kamera görüntüsünde PV ortalama yüzey sıcaklığı $68,6^\circ\text{C}$ olarak ölçülmüştür. Aynı sınır

şartlarında Şekil 7.14-b’de ANSYS ile simüle edilen aynı karakteristikteki PV için ölçülen ortalama yüzey sıcaklığı ise 66,734°C’dir.



(a)

(b)

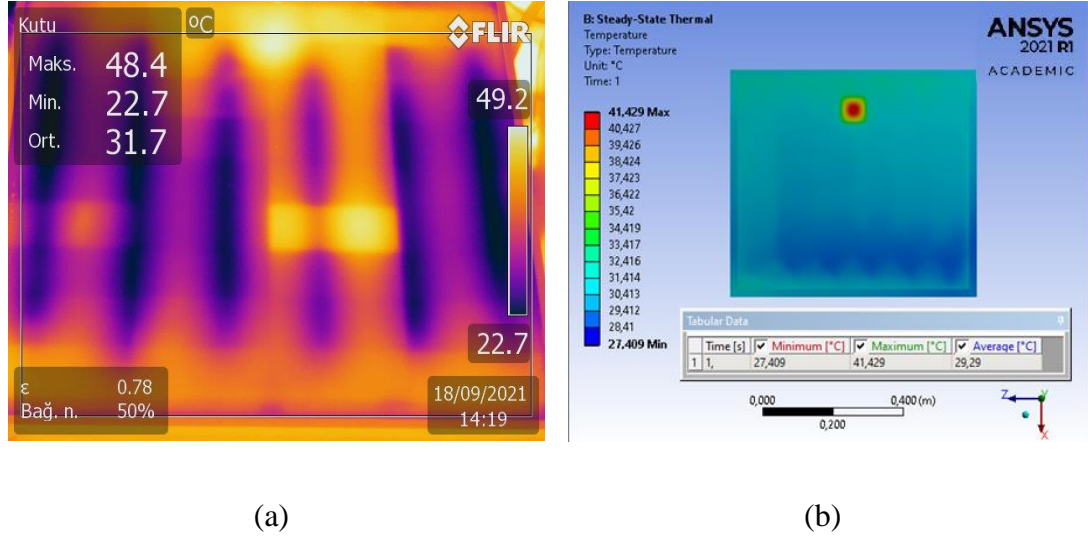
Şekil 7.14. a) Deneysel veriler sonucu elde edilen Termal Kamera PV yüzey sıcaklık dağılımı, b) ANSYS 2021 R1 ACADEMIC programında simüle edilen PV yüzey sıcaklık dağılımı.

Bu iki çalışma karşılaştırıldığında, gerçek deney verilerine karşın simülasyon sonuçlarından alınan verilerde hata oranı -0,0272 yani -%2,72 olarak belirlenir. Yani simülasyon ölçümü ile deneysel ölçüm arasında %2,72 oranında hata saptanmıştır. Bu sonuçlara göre, yapılan deneysel çalışmanın ANSYS simülasyonu ile %2,72 hata payı ile doğrulaması yapılmış olunur. Bu değer ise, mühendislik çalışmalarında oldukça doğruya yakın sonuçlar verecektir.

7.4.2. PV/T Panel Deneysel ve Simülasyon Sonuçlarının Kıyaslanması.

Deneysel sınır şartlarının ANSYS programına aktarılması ve modellenmesi yapılarak modelleme sonucunda sınır şartlarını ifade eden veri girişleri simülasyon programına girilmiş ve analiz verileri alınmıştır. Deney koşulları 18 Eylül 2021 saat 14:19’a göre baz alınmıştır. Saat 14:19’a göre deney ve simülasyon sınır şartları ise $G: 910 \text{ W/m}^2$ güneş ışınım şiddeti, $T_{\text{ortam}}: 30,6^\circ\text{C}$ ve, $h_{\text{hava}}: 8,36 \text{ W/m}^2\text{K}$ (ort. rüzgar hızı 0,7 m/s), $m: 0.029\text{kg/s}$ su akış debisi ($V=0,0652129 \text{ m/s}$ giriş hızı), $T_{\text{ortam}}: 30,6^\circ\text{C}$, $T_{\text{su giriş}}: 26,5^\circ\text{C}$ ve $T_{\text{su çıkış}}=27,5^\circ\text{C}$ ’dir.

Şekil 7.15-a, Saf su ile yapılan deneysel olarak elde edilen termal kamera sıcaklık dağılımını ifade etmektedir. Şekil 7.15-b ise, ANSYS programı ile yapılan simülasyona ait yüzey sıcaklık dağılımı çalışmasına aittir.

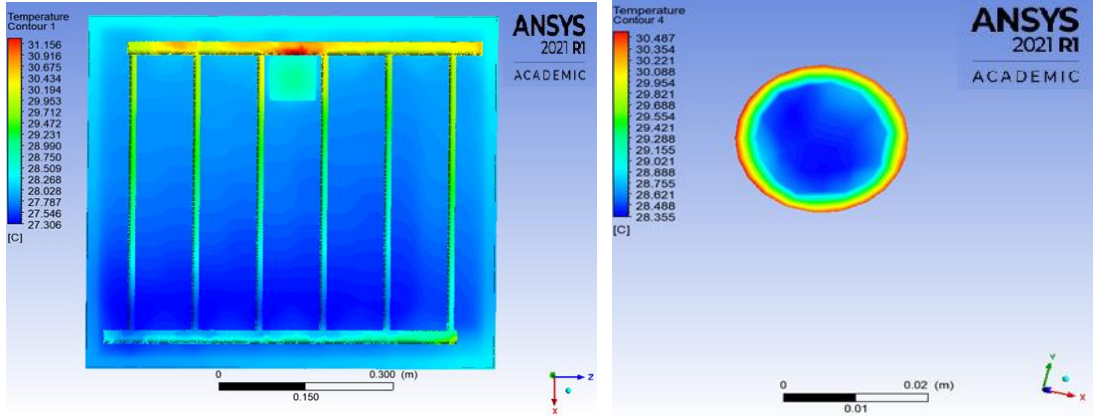


Şekil 7.15. a) Termal Kamera PV/T yüzey sıcaklık dağılımı, b) ANSYS 2021 R1 ACADEMIC PV/T yüzey sıcaklık dağılımı.

Deney ortamında kayda alınan termal kamera görüntüsünde PV/T Ortalama yüzey sıcaklığı 31,7 °C olarak ölçülmüştür. ANSYS ile simülasyon sonucu elde edilen PV/T ortalama yüzey sıcaklığı 29,291°C'dir.

Gerçek deney verilerine karşın simülasyon hata oranı %7,59 olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlara göre, deneysel çalışmanın ANSYS CFD-Post simülasyon kullanılarak %7,59 hata payı ile doğrulaması yapılmış olur.

PV/T yüzey sıcaklık dağılımına baktığımızda Şekil 7.15-b'de yer alan en yüksek sıcaklık elektrik bağlantı kutusu çevresinde yani PV/T soğutulamayan kısmında olduğu belirlenmiştir. Diğer yandan, kollektör giriş bölgesinde düşük sıcaklıkta olan suyun PV/T üst yüzeylerine gelindiğinde ısı transferi sayesinde giderek sıcaklığının arttığı ve sistemi giriş sıcaklığına oranla yüksek sıcaklıkta terk ettiği sonucuna bir kez daha varılmıştır. PV/T saf su ile yapılan sınır şartlarının uygulandığı bu çalışmada PV/T hücre sıcaklığı 29,291°C olarak simüle edilmiştir.



(a)

(b)

Şekil 7.16. a) PV/T bakır kolektör sıcaklık dağılımı, b) Saf su çıkış borusu sıcaklık dağılımı.

PV/T kolektör borusu çıkış suyu ortalama sıcaklığı Şekil 7.16-b’de belirtildiği üzere 28,62°C olarak simüle edilmiştir.

7.5. NANOAKIŞKAN KULLANILARAK PV/T ANSYS SİMÜLASYON VERİLERİNİN TÜRETİLMESİ

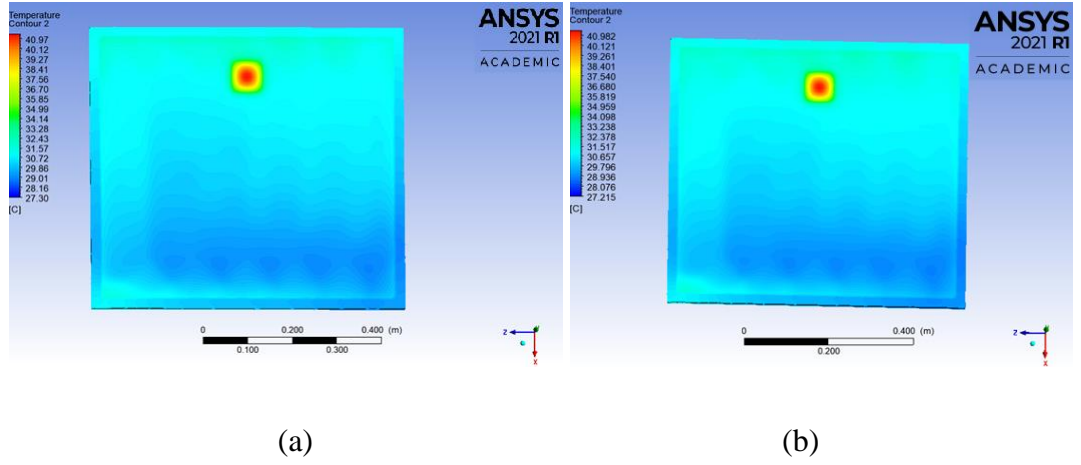
PV/T önceki bölümlerde saf su ile yapılan deneysel ve simülasyon sonuçları ele alınmıştır. Bu bölümde ise, suyun dışındaki farklı akışkanların ısı ve elektriksel performanslarını incelemek ve saf su ile kıyaslamasını ANSYS simülasyonu ile yapmak ve sonuçları yorumlamaktır.

7.5.1. %5 ve %10 hacimsel Al_2O_3 –Saf Su Nanoakışkanı Kullanılan PV/T ANSYS Simülasyon Sonuçları.

Saf su ile yapılan deneysel ve simülasyon sonuçlarını bir önceki bölümde değerlendirilmiştir. Şimdi ise kolektör içerisinde %5 ve %10 hacimsel Al_2O_3 –Saf su nanoakışkanı kullanılarak PV/T ısı ve elektriksel performans gelişimi gözlemlenmiştir. Bu değerlendirme ise, ANSYS simülasyon programı ile yapılmıştır.

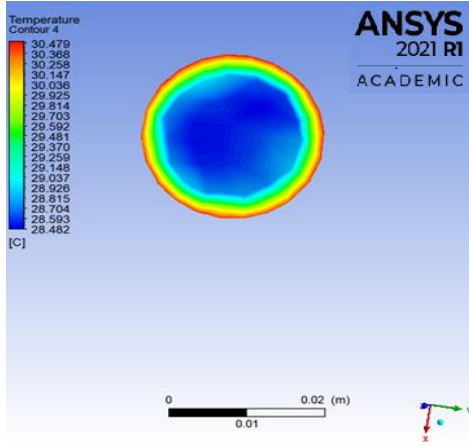
Simülasyon şartları; $G= 910 \text{ W/m}^2$ güneş ışınım şiddeti, $m: 0.029\text{kg/s}$ %5 ve %10 Al_2O_3 -Su süspansiyon nanoakışkanı akış debisi, $T_{\text{ortam}}:30,6^\circ\text{C}$, $T_{\text{Al}_2\text{O}_3\text{-su giriş}}:26,5^\circ\text{C}$ ve $h_{\text{hava}}: 8,36 \text{ W/m}^2\text{K}$ (ort.rüzgar hızı 0.7 m/s)'dir.

%5 Al_2O_3 hacimsel karışım oranına sahip Al_2O_3 -Saf su nanoakışkanı için Şekil 7.17-a'da verilen ANSYS sonuçlarına göre PV/T ortalama yüzey sıcaklığı $29,15^\circ\text{C}$ olarak hesaplanmıştır. %10 Al_2O_3 hacimsel karışım oranına sahip Al_2O_3 -Saf su nanoakışkanı için Şekil 7.17-b'de verilen ANSYS sonuçlarına göre PV/T ortalama yüzey sıcaklığı $28,75^\circ\text{C}$ olarak kayda alınmıştır.

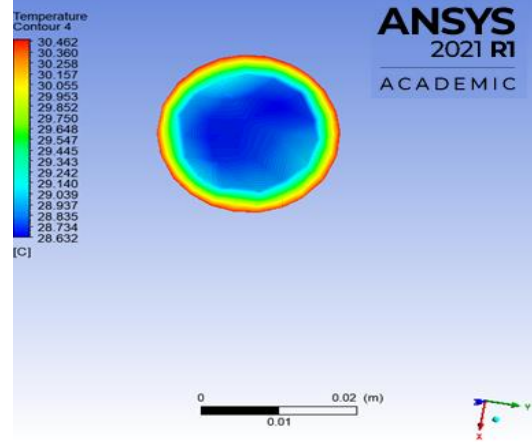


Şekil 7.17. a) %5 Al_2O_3 -Su nanoakışkanı PV/T yüzey sıcaklığı dağılımı, b) %10 Al_2O_3 -Su nanoakışkanı PV/T yüzey sıcaklığı dağılımı.

ANSYS 2021 R1 ACADEMIC programı ile yapılan simülasyon sonuçlarına göre, %5 Al_2O_3 hacimsel karışım oranına sahip Al_2O_3 -Saf su nanoakışkanı için Şekil 7.18-a'da kollektör çıkış sıcaklığı $28,84^\circ\text{C}$ olarak kayda alınmıştır. %10 Al_2O_3 hacimsel karışım oranına sahip Al_2O_3 -Saf su nanoakışkanı için Şekil 7.18-b'de verilen ANSYS sonuçlarına göre PV/T ortalama kollektör çıkış sıcaklığı ise $29,51^\circ\text{C}$ olarak hesaplanmıştır.



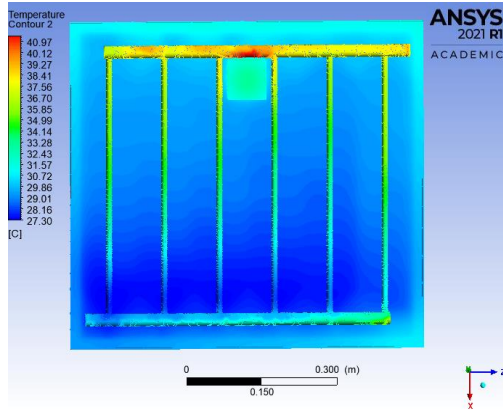
(a)



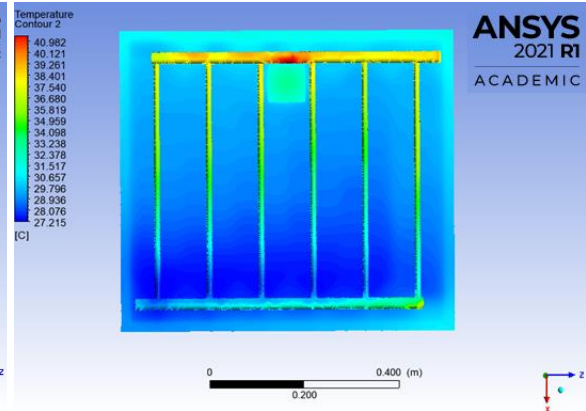
(b)

Şekil 7.18. a) %5 Al_2O_3 -Su nanoakışkanı PV/T bakır kolektör sıcaklık dağılımı, b) %10 Al_2O_3 -Su nanoakışkanı çıkış borusu sıcaklık dağılımı.

Bakır kolektörün PV/T arka yüzündeki sıcaklık dağılımını Şekil 7.19-a'da %5, Şekil 7.19-b'de ise, %10 hacimsel nanoakışkan süspansiyonu verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 7.19. a) %5 Al_2O_3 -Saf su süspansiyon nanoakışkanı kolektör boruları sıcaklık dağılımı, b) %10 Al_2O_3 -Saf su süspansiyon nanoakışkanı kolektör boruları sıcaklık dağılımı.

Veriler, ANSYS 2021 R1 ACADEMIC programı ile elde edilmiştir. PV/T Al_2O_3 -Su süspansiyon nanoakışkanı ile yapılan sınır şartlarının tamamının uygulandığı bu analiz çalışmasında PV/T hücre sıcaklığı %5 Al_2O_3 -Su ve %10 Al_2O_3 -Su için sırasıyla 29,15°C ve 28,75°C olarak simüle edilmiştir. Bu değerler saf su ile

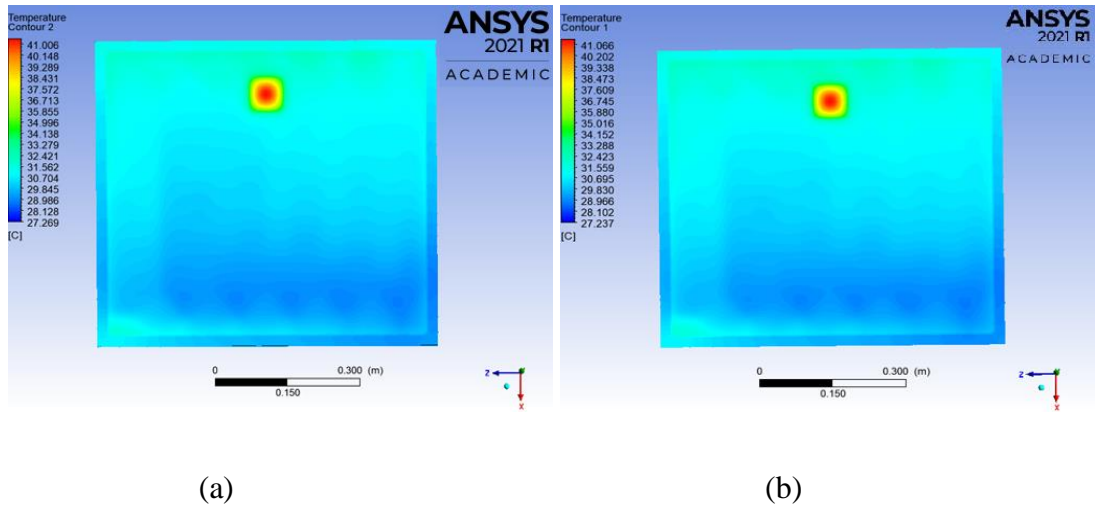
karşılaştırıldığında hem %5 hem de %10 Al₂O₃-Saf su nanoakışkan kullanımının daha etkin soğutma sağlayabileceğini kanıtlamaktadır.

7.5.2. %5 ve %10 Hacimsel Fly Ash (Uçucu Kül)–Saf Su Nanoakışkanı Kullanılan PV/T ANSYS Simülasyon Sonuçları.

PV/T kollektör içerisinde %5 ve %10 hacimsel Fly Ash–Saf su nanoakışkanı kullanılarak PV/T ısıl ve elektriksel performans gelişimi gözlemlenmiştir. Bu değerlendirme ise ANSYS simülasyon programı ile yapılmıştır.

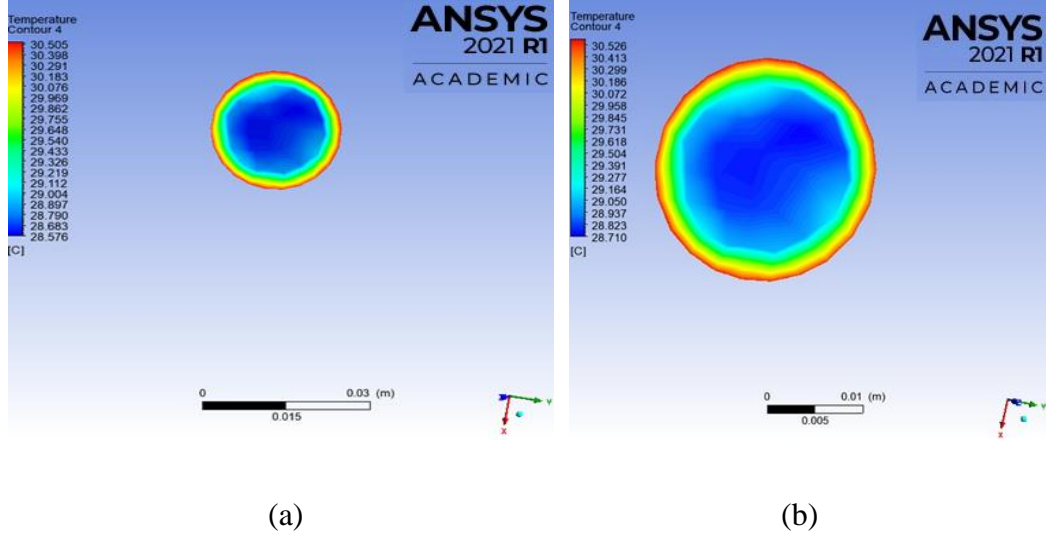
Yine simülasyon şartları; $G= 910 \text{ W/m}^2$ güneş ışınım şiddeti, $m=0.029 \text{ kg/s}$, %5 ve %10 Fly Ash-Su süspansiyon nanoakışkanı akış debisi, $T_{\text{ortam}}:30,6 \text{ }^\circ\text{C}$, $T_{\text{Fly Ash-su giriş}}:26,5^\circ\text{C}$ ve $h_{\text{hava}}=8,36 \text{ W/m}^2\text{K}$ (ort. rüzgar hızı $0,7 \text{ m/s}$)’dir.

%5 Fly-Ash hacimsel karışım oranına sahip Fly-Ash –Saf Su nanoakışkanı için Şekil 7.20-a’da verilen ANSYS sonuçlarına göre PV/T ortalama yüzey sıcaklığı $29,23^\circ\text{C}$ olarak kayda alınmıştır. %10 Fly-Ash hacimsel karışım oranına sahip Fly-Ash –Saf Su nanoakışkanı için Şekil 7.20-b’de verilen ANSYS sonuçlarına göre PV/T ortalama yüzey sıcaklığı $29,05^\circ\text{C}$ olarak kayda alınmıştır.



Şekil 7.20. a) %5 Hacimsel karışımında Fly-Ash –Saf Su nanoakışkanı PV/T yüzey sıcaklığı dağılımı, b) %10 Hacimsel karışımında Fly-Ash –Saf Su PV/T yüzey sıcaklığı dağılımı.

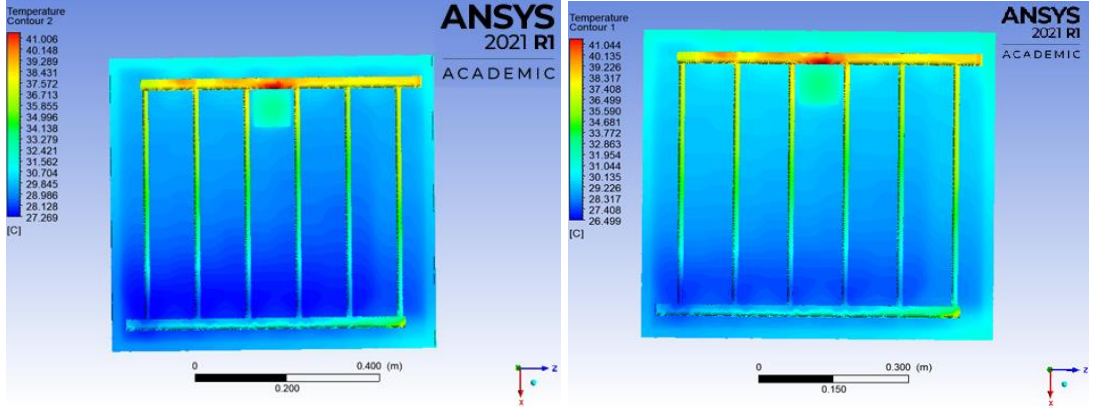
%5 Fly-Ash hacimsel karışım oranına sahip Fly-Ash –Saf Su nanoakışkanı için Şekil 7.21-a’da verilen ANSYS sonuçlarına göre kollektör çıkış sıcaklığı 29°C olarak kayda alınmıştır. %10 Fly-Ash hacimsel karışım oranına sahip Fly-Ash –Saf Su nanoakışkanı için Şekil 7.21-b’de verilen ANSYS sonuçlarına göre PV/T ortalama kollektör çıkış sıcaklığı ise 29,237°C olarak kayda alınmıştır.



Şekil 7.21. a) %5 Fly-Ash –Saf Su süspansiyon nanoakışkanı çıkış borusu sıcaklık dağılımı., b) %10 Fly-Ash –Saf Su süspansiyon nanoakışkanı çıkış borusu sıcaklık dağılımı.

Yine bakır kollektörün PV/T arka yüzeyindeki sıcaklık dağılımı Şekil 7.22’de verilmiştir.

PV/T Fly Ash-Saf su süspansiyon nanoakışkanı ile yapılan sınır şartlarının tamamının uygulandığı ANSYS 2021 R1 ACADEMIC ile yapılan çalışmada PV/T hücre sıcaklığı %5 Fly Ash-Saf su ve %10 Fly Ash-Saf su için sırasıyla 29,23°C ve 29,05°C olarak simüle edilmiştir. Bu değerler saf su ile karşılaştırıldığında hem %5 hem de %10 Fly Ash-Saf su nanoakışkan kullanımının daha etkin soğutma sağlayabileceğini kanıtlamaktadır.



(a)

(b)

Şekil 7.22. a) %5 Fly Ash-Saf su süspansiyon nanoakışkanı kollektör boruları sıcaklık dağılımı, b) %10 Fly Ash-Saf su süspansiyon nanoakışkanı kollektör boruları sıcaklık dağılımı

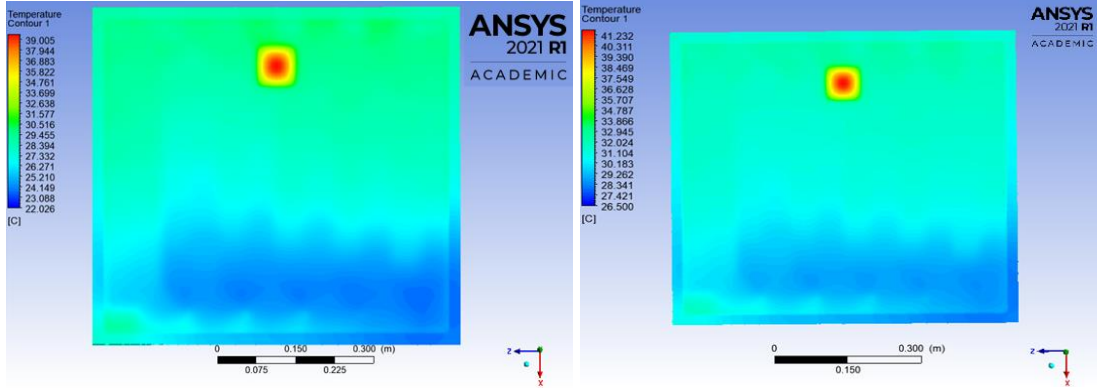
7.5.3. %5 ve %10 Hacimsel Ag–Saf Su Nanoakışkanı Kullanılan PV/T ANSYS Simülasyon Sonuçları.

PV/T kollektör içerisinde %5 ve %10 hacimsel Ag–Saf su nanoakışkanı kullanılarak PV/T ısı ve elektriksel performans gelişimi gözlemlenmiştir. Bu değerlendirme ise ANSYS simülasyon programı ile yapılmıştır.

Yine simülasyon şartları; $G= 910 \text{ W/m}^2$ güneş ışınım şiddeti, $m: 0.029\text{kg/s}$ %5 ve %10 Ag-Saf Su süspansiyon nanoakışkanı akış debisi, $T_{\text{ortam}}:30,6 \text{ }^\circ\text{C}$, $T_{\text{Ag-su giriş}}: 26,5^\circ\text{C}$ ve $h_{\text{hava}}: 8,36 \text{ W/m}^2\text{K}$ (ort. rüzgar hızı $0,7 \text{ m/s}$)'dir.

%5 Ag hacimsel karışım oranına sahip Ag-Saf su nanoakışkanı için Şekil 7.23-a'da verilen ANSYS sonuçlarına göre PV/T ortalama yüzey sıcaklığı $27,752^\circ\text{C}$ olarak kayda alınmıştır.

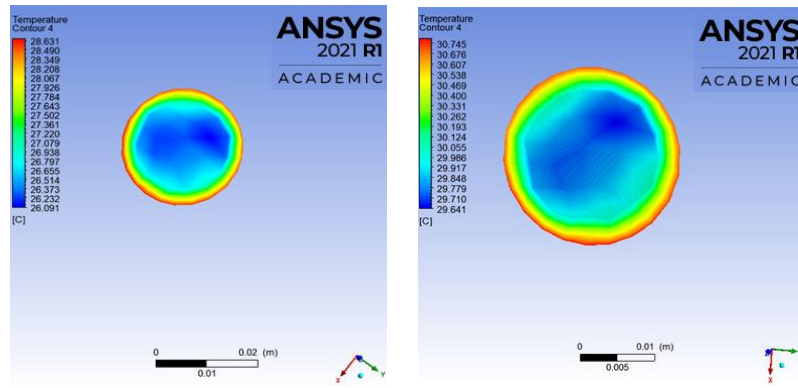
Aynı şekilde %10 Ag hacimsel karışım oranına sahip Ag-Saf su nanoakışkanı için Şekil 7.23-b'de verilen ANSYS sonuçlarına göre PV/T ortalama yüzey sıcaklığı $27,21^\circ\text{C}$ olarak kayda alınmıştır.



(a)

(b)

Şekil 7.23. a) %5 Hacimsel karışımda Ag-Saf su süspansiyon PV/T yüzey sıcaklığı dağılımı, b) %10 Hacimsel karışımda Ag-Saf su süspansiyon nanoakışkanı PV/T yüzey sıcaklığı dağılımı.

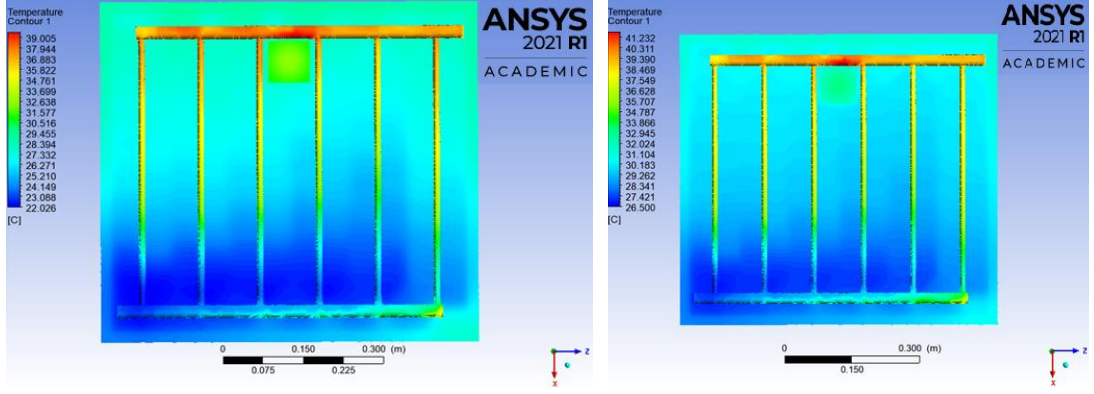


(a)

(b)

Şekil 7.24. (a) %5 Ag-Saf su süspansiyon nanoakışkanı çıkış borusu sıcaklık dağılımı., (b) %10 Ag-Saf su süspansiyon nanoakışkanı çıkış borusu sıcaklık dağılımı.

PV/T kollektöre ait simülasyon sonrası bakır boru grubuna ait sıcaklık dağılımı Şekil 7.25'te verilmiştir. PV/T Ag-Saf su süspansiyon nanoakışkanı ile yapılan sınır şartlarının tamamının uygulandığı bu analiz çalışmasında PV/T hücre sıcaklığı %5 Ag-Saf su ve %10 Ag-Saf su için sırasıyla 27,752°C ve 27,21°C olarak simüle edilmiştir. Bu değerler saf su ile karşılaştırıldığında hem %5 hem de %10 Ag-Saf su nanoakışkan kullanımının daha etkin soğutma sağlayabileceğini kanıtlamaktadır.



(a)

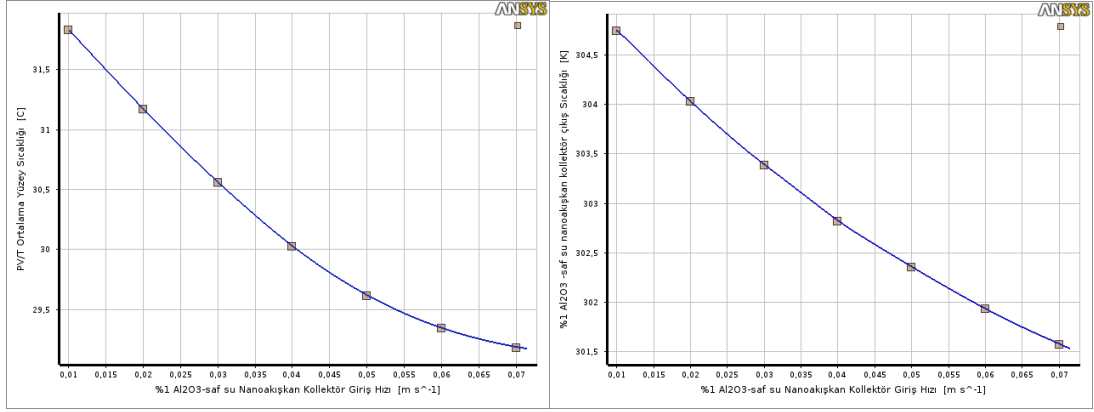
(b)

Şekil 7.25. a) %5 Ag-Saf su süspansiyon nanoakışkanı kollektör boruları sıcaklık dağılımı, b) %10 Ag-Saf su süspansiyon nanoakışkanı kollektör boruları sıcaklık dağılımı.

7.6. Al_2O_3 -SAF SU NANOAKIŞKANIN KULLANILDIĞI PV/T ANSYS SİMÜLASYONUNDA ISIL VE ELEKTRİKSEL VERİMLERİ

Bu bölümde bilindiği üzere literatür çalışmalarında da konu olan nanoakışkanın ısı ve elektriksel verimlerinin kollektör girişi akışkan hızına ve % hacimsel nanoakışkan konsantrasyona bağlı değişimini ifade edebilen birçok çalışma vardır. Bu bölümde ise pilot uygulama olarak Al_2O_3 -Saf Su Nanoakışkanı kullanılarak ANSYS çalışması yapılması amaçlanmıştır. Elde edilen değerler bu bölümde detaylıca yorumlanmıştır.

Şekil 7.26.-a'da, 910 W/m^2 güneş ışınım şiddeti altında %1 Al_2O_3 -Saf Su Nanoakışkanı giriş sıvı hızı ile PV/T ortalama yüzey sıcaklığının değişimi, Şekil 7.26-b'de ise, yine aynı güneş ışınım şiddetinde aynı akışkanın kollektör akış hızına bağlı akışkanın kollektörden çıkış sıcaklık değerlerinin ANSYS Response surface analiz sonuçları verilmiştir.

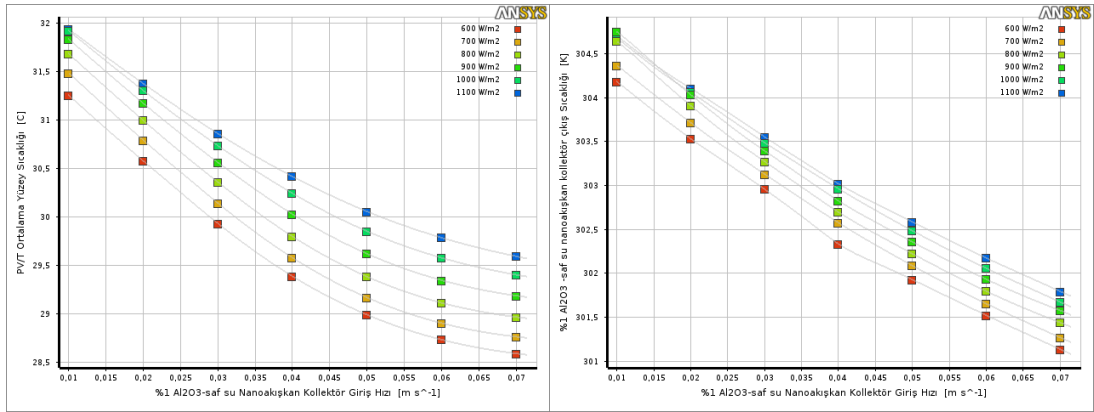


(a)

(b)

Şekil 7.26. a) %1 Al₂O₃-Saf su nanoakışkanı için kollektör giriş hızına bağlı olarak PV/T yüzey sıcaklığı, b) kollektör giriş hızına bağlı olarak kollektör çıkış sıcaklığının değişimi.

%1 Al₂O₃-Saf su nanoakışkanı için akışkan hızı azaldıkça PV/T ortalama yüzey sıcaklığı Şekil 7.26.-a'da olduğu gibi artmakta ve kollektör çıkış akışkan sıcaklığı da artmaktadır. Bu durumda, ısıl verim azalırken, elektriksel verimin de azaldığı sonucuna varılabilir.



(a)

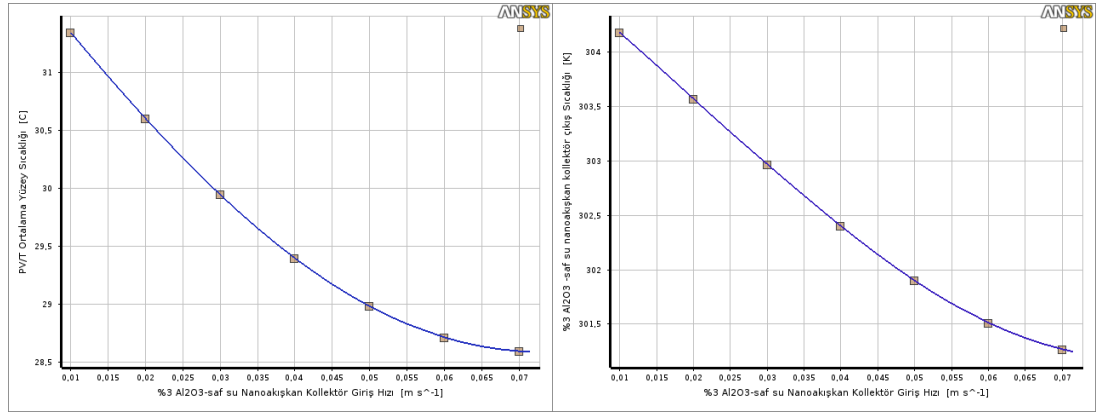
(b)

Şekil 7.27. a) %1 Al₂O₃-Saf su nanoakışkanı akış hızı ve güneş ışınımına bağlı PV/T ortalama yüzey sıcaklığının değişimi, b) kollektör giriş hızına ve güneş ışınımına bağlı kollektör çıkış sıcaklığının değişim grafiği.

Güneş ışınım şiddeti değişimine bağlı olarak Şekil 7.27.-a'da, PV/T kollektöre %1 Al₂O₃-Saf Su Nanoakışkanı giriş sıvı hızı ile PV/T ortalama yüzey sıcaklığının değişimi ve Şekil 7.27-b'de ise, yine güneş ışınım şiddeti değişimine bağlı olarak

aynı akışkanın kollektör akış hızı ile akışkanın kollektörden çıkış sıcaklık değerlerinin ANSYS Response surface analiz sonuçları verilmiştir.

Şekil 7.28.-a'da, 910 W/m^2 güneş ışınım şiddeti altında %3 Al_2O_3 -Saf su nanoakışkanı giriş sıvı hızı ile PV/T ortalama yüzey sıcaklığının değişimi, Şekil 7.28-b'de ise, yine aynı güneş ışınım şiddetinde aynı akışkanın kollektör akış hızına bağlı akışkanın kollektörden çıkış sıcaklık değerlerinin ANSYS Response surface analiz sonuçları verilmiştir.



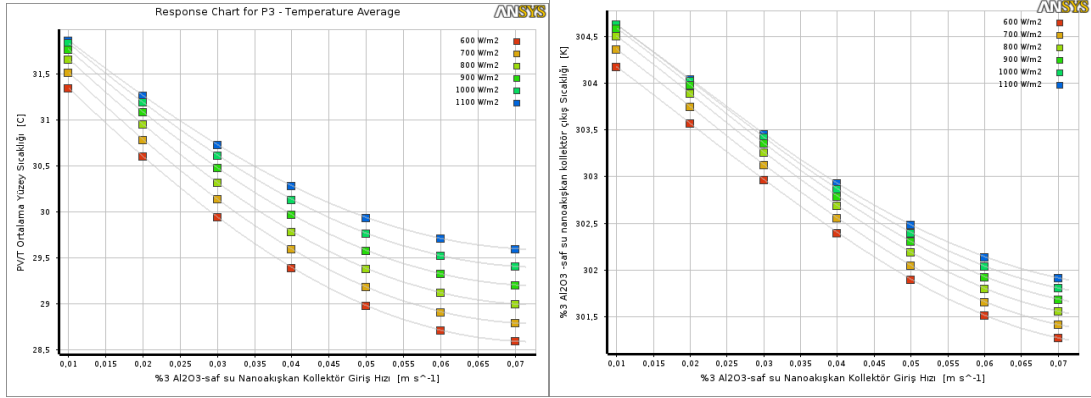
(a)

(b)

Şekil 7.28. a) %3 Al_2O_3 -Saf Su Nanoakışkanı için kollektör giriş hızına bağlı olarak PV/T yüzey sıcaklığı, b) kollektör giriş hızına bağlı olarak kollektör çıkış sıcaklığının değişimi.

%3 Al_2O_3 -Saf su nanoakışkanı için akışkan hızı azaldıkça PV/T ortalama yüzey sıcaklığı Şekil 7.28.-a'da olduğu gibi artmakta ve kollektör çıkış akışkan sıcaklığı da artmaktadır. Bu durumda, ısı verim azalırken, elektriksel verimin de azaldığı sonucuna varılabilir.

Güneş ışınım şiddeti değerindeki değişimine bağlı olarak Şekil 7.29.-a'da, PV/T kollektöre %3 Al_2O_3 -Saf su nanoakışkanı giriş sıvı hızı ile PV/T ortalama yüzey sıcaklığının değişimi ve Şekil 7.29-b'de ise, yine güneş ışınım şiddeti değişimine bağlı olarak aynı akışkanın kollektör akış hızı ile akışkanın kollektörden çıkış sıcaklık değerlerinin ANSYS Response surface analiz sonuçları verilmiştir.

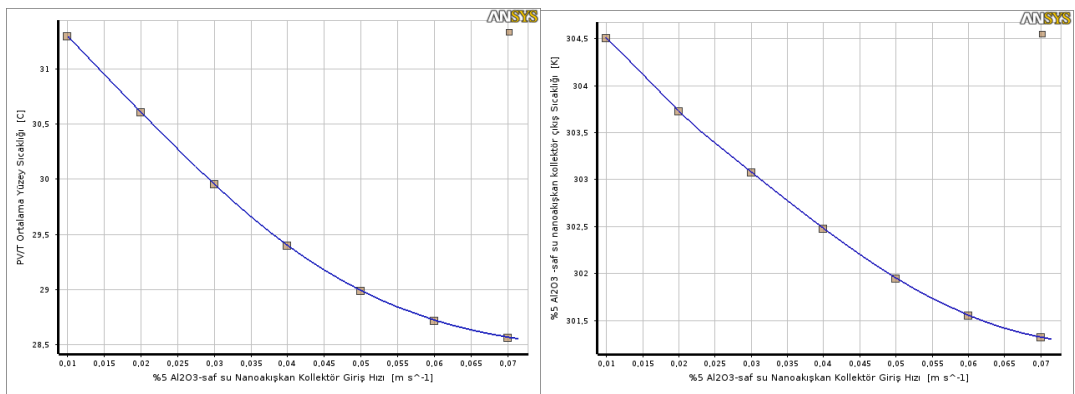


(a)

(b)

Şekil 7.29. (a) %3 Al₂O₃-Saf su nanoakışkanın akış hızı ve güneş ışınımına bağlı PV/T ortalama yüzey sıcaklığının değişimi, (b) kollektör giriş hızına ve güneş ışınımına bağlı kollektör çıkış sıcaklığının değişim grafiği.

Şekil 7.30.-a'da, 910 W/m² güneş ışınım şiddeti altında %5 Al₂O₃-Saf su nanoakışkanı giriş sıvı hızı ile PV/T ortalama yüzey sıcaklığının değişimi, Şekil 7.30-b'de ise, yine aynı güneş ışınım şiddetinde aynı akışkanın kollektör akış hızına bağlı akışkanın kollektörden çıkış sıcaklık değerlerinin ANSYS Response surface analiz sonuçları verilmiştir. %5 Al₂O₃-Saf su nanoakışkanı için akışkan hızı azaldıkça PV/T ortalama yüzey sıcaklığı Şekil 7.30.-a'da olduğu gibi artmakta ve kollektör çıkış akışkan sıcaklığı da artmaktadır. Bu durumda ısıl verim azalırken, elektriksel verimin de azaldığı sonucuna varılabilir.

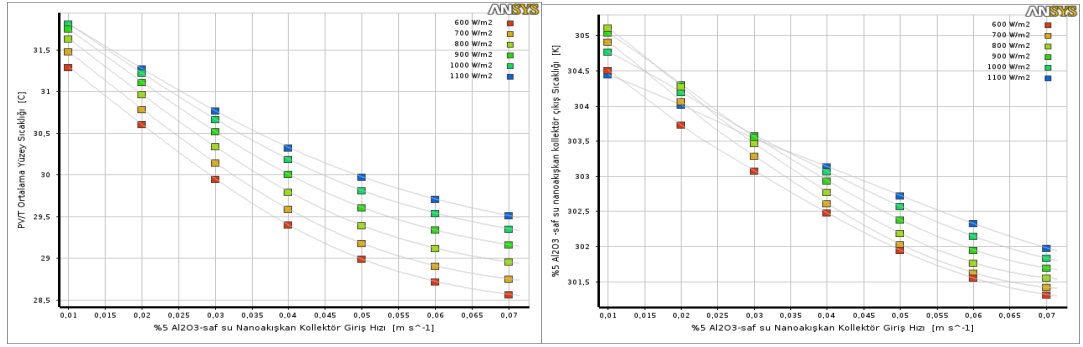


(a)

(b)

Şekil 7.30. a) %5 Al₂O₃-Saf su nanoakışkanı için kollektör giriş hızına bağlı olarak PV/T yüzey sıcaklığı, b) kollektör giriş hızına bağlı olarak kollektör çıkış sıcaklığının değişimi.

Güneş ışınım şiddetindeki değişime bağlı olarak Şekil 7.31-a'da, PV/T kollektöre %5 Al_2O_3 -Saf Su Nanoakışkanı giriş sıvı hızı ile PV/T ortalama yüzey sıcaklığının değişimi ve Şekil 7.31-b'de ise, yine güneş ışınım şiddeti değişimine bağlı olarak aynı akışkanın kollektör akış hızı ile akışkanın kollektörden çıkış sıcaklık değerlerinin ANSYS Response surface analiz sonuçları verilmiştir.

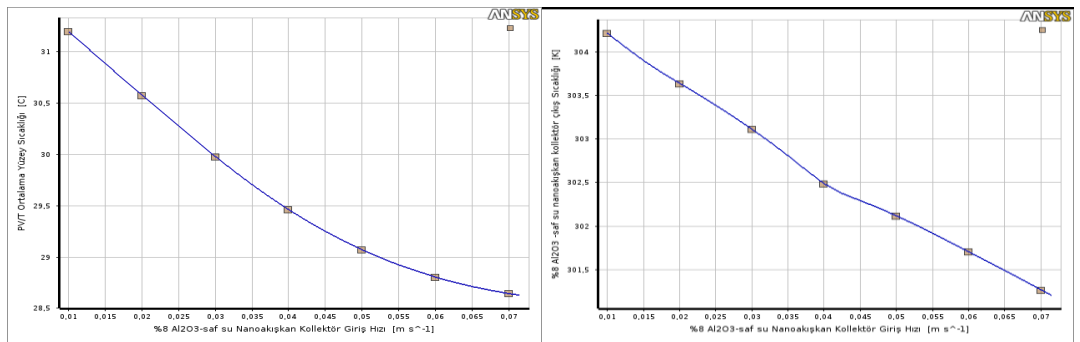


(a)

(b)

Şekil 7.31. a) %5 Al_2O_3 -Saf Su Nanoakışkanı akış hızı ve güneş ışınımına bağlı PV/T ortalama yüzey sıcaklığının değişimi, b) kollektör giriş hızına ve Güneş ışınımına bağlı kollektör çıkış sıcaklığının değişim grafiği.

%8 Al_2O_3 -Saf Su Nanoakışkanı için akışkan hızı azaldıkça PV/T ortalama yüzey sıcaklığı Şekil 7.32-a'da olduğu gibi artmakta ve kollektör çıkış akışkan sıcaklığı da artmaktadır. Bu durumda ısıl verim azalırken, elektriksel verimin de azaldığı sonucuna varılabilir.

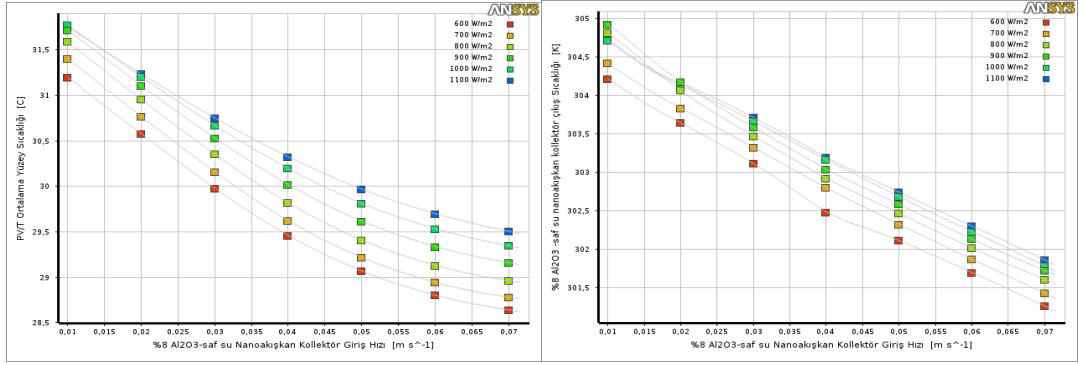


(a)

(b)

Şekil 7.32. a) %8 Al_2O_3 -Saf Su Nanoakışkanı için kollektör giriş hızına bağlı olarak PV/T yüzey sıcaklığı, b) kollektör giriş hızına bağlı olarak kollektör çıkış sıcaklığının değişimi.

Güneş ışınlam şiddeti değişimine bağlı olarak Şekil 7.33-a'da, PV/T kollektöre %8 Al₂O₃-Saf su nanoakışkanı giriş sıvı hızı ile PV/T ortalama yüzey sıcaklığının değişimi ve Şekil 7.33-b'de ise, yine güneş ışınlam şiddeti değişimine bağlı olarak aynı akışkanın kollektör akış hızı ile akışkanın kollektörden çıkış sıcaklık değerlerinin ANSYS Response surface analiz sonuçları verilmiştir.

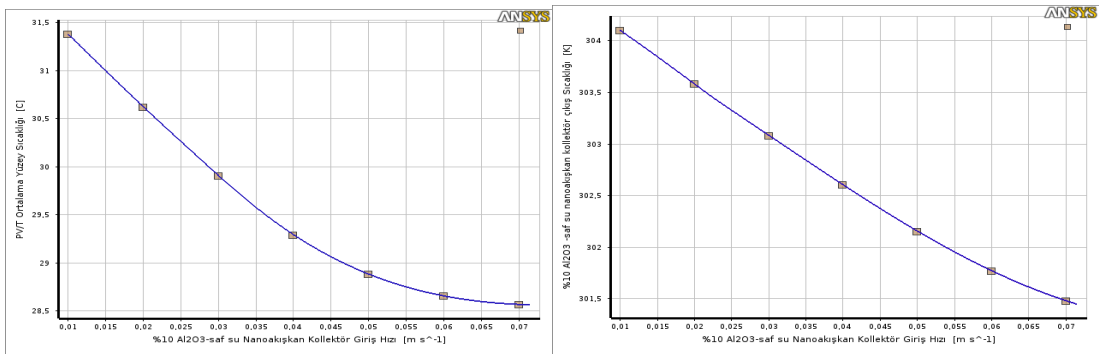


(a)

(b)

Şekil 7.33. a) %8 Al₂O₃-Saf su nanoakışkanı akış hızı ve güneş ışınlamına bağlı PV/T ortalama yüzey sıcaklığının değişimi, b) kollektör giriş hızına ve güneş ışınlamına bağlı kollektör çıkış sıcaklığının değişim grafiği.

%10 Al₂O₃-Saf su nanoakışkanı için akışkan hızı azaldıkça PV/T ortalama yüzey sıcaklığı Şekil 7.34-a'da olduğu gibi artmakta ve kollektör çıkış akışkan sıcaklığı da artmaktadır. Bu durumda ısıl verim azalırken, elektriksel verimin de azaldığı sonucuna varılabilir.

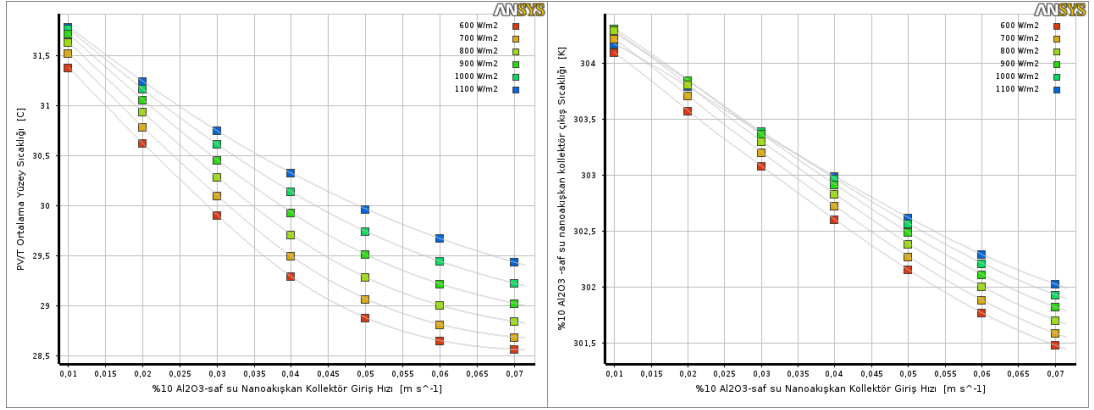


(a)

(b)

Şekil 7.34. a) %10 Al₂O₃-Saf Su Nanoakışkanı için kollektör giriş hızına bağlı olarak PV/T yüzey sıcaklığı, b) kollektör giriş hızına bağlı olarak kollektör çıkış sıcaklığının değişimi.

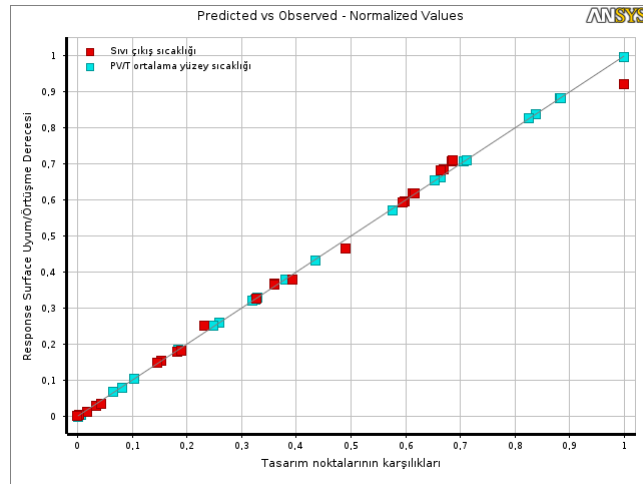
Güneş ışıının şiddeti değişimine bağlı olarak Şekil 7.35-a'da, PV/T kollektöre %10 Al_2O_3 -Saf su nanoakışkanı giriş sıvı hızı ile PV/T ortalama yüzey sıcaklığının değişimi ve Şekil 7.35-b'de ise, yine güneş ışıının şiddeti değişimine bağlı olarak aynı akışkanın kollektör akış hızı ile akışkanın kollektörden çıkış sıcaklık değerlerinin ANSYS Response surface analiz sonuçları verilmiştir.



(a)

(b)

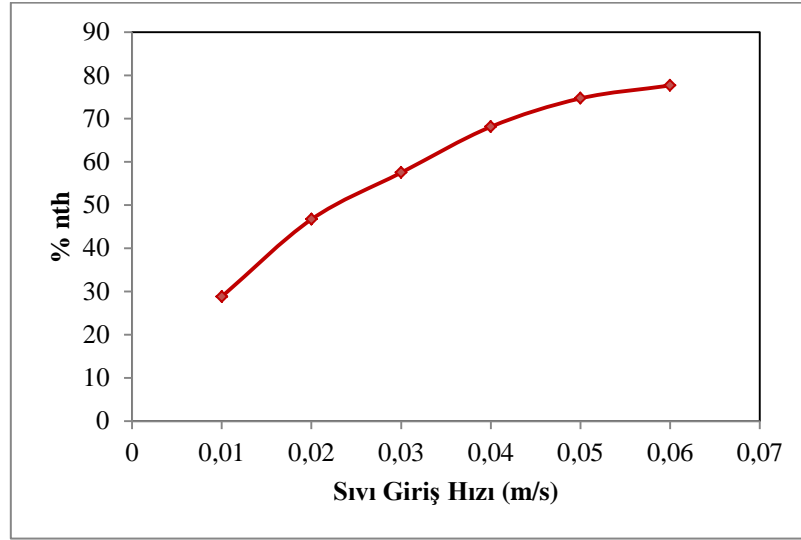
Şekil 7.35. (a) %10 Al_2O_3 -Saf Su Nanoakışkanı akış hızı ve güneş ışıınınına bağlı PV/T ortalama yüzey sıcaklığının değişimi, (b) kollektör giriş hızına ve güneş ışıınınına bağlı kollektör çıkış sıcaklığının değişim grafiği.



Şekil 7.36. %10 Al_2O_3 -Saf su nanoakışkanı için ANSYS analizleri tasarım modeli değerleri ile analiz örtüşme derecesi (doğrulama) grafiği.

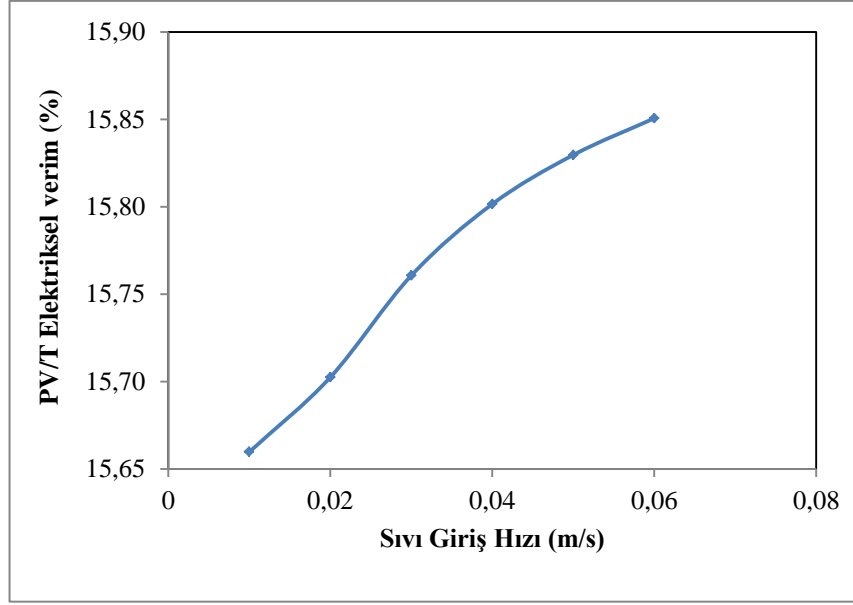
7.6.1. Isıl Verimin (n_{th}) & Elektriksel Verimin (n_{el}) Kollektör Giriş Hızına Göre Değişimi.

Deneysel çalışmada, sabit olarak 0,065 m/s su akış hızı ile tüm sistemin verim değerleri ifade edilmişti. Bu çalışmada ise, ANSYS CFD-post simülasyonu ile Al_2O_3 -Saf su nanoakışkanın ısı veriminin kollektör giriş akış hızına göre değişim grafiği Şekil 7.32’de olduğu gibi oluşturulmuştur.



Şekil 7.37. PV/T Isıl verimin Al_2O_3 -Saf Su Nanoakışkan kollektör giriş hızına bağlı değişim grafiği.

Sistemin elektriksel verim ifadesi için yine akışkan hızına bağlı değişimi üzerine ANSYS CFD-post simülasyonu yapılmıştır. Bu simülasyon verilerinin aktarılması sonucunda oluşan grafik Şekil 7.38’de verilmiştir. Böylelikle, sıvı giriş hızının artması ile elektriksel verimin de arttığı gözlemlenmiştir.

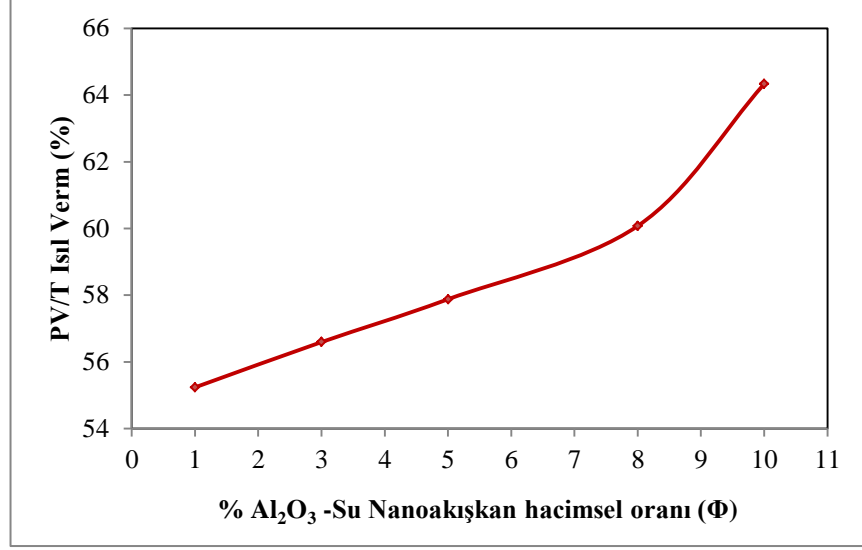


Şekil 7.38. PV/T Elektriksel veriminin Al_2O_3 -Saf Su Nanoakışkan kollektör giriş hızına bağlı değişim grafiği.

7.6.2. Isıl Verimin (n_{th}) & Elektriksel Verimin (n_{el}) Al_2O_3 % Hacimsel Karışım Oranına Göre Değişimi.

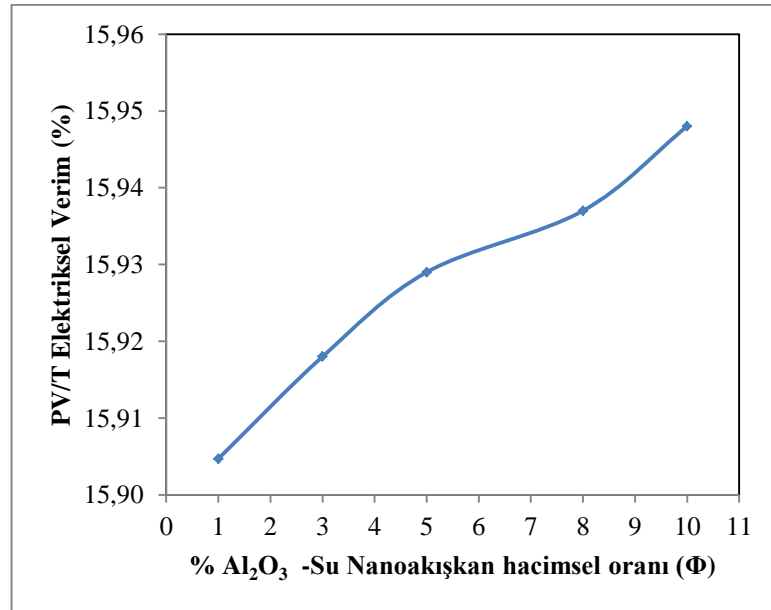
Isıl verimin % hacimsel nanoakışkan konsantrasyonuna göre değişimini hesaplamak simülasyondaki tüm % hacimsel ifadelerin ANSYS üzerinde hesaplanıp çıkan sıvı çıkış sıcaklığı ve sıcaklık farkını Bölüm 6'da yer alan ısıl verimlilik hesap formülü ile saptamak ile mümkündür. Fluent ve Steady-State çözümlenmeleri yapılmalıdır. Ardından system coupling ile tüm model birleştirilerek hesaplamalar bir ütü haline getirilir ve yorumlanabilir.

Yapılan analizler sonucunda elde edilen akışkan kollektör çıkış sıcaklık değerleri Şekil 7.39'da görülmektedir.



Şekil 7.39. PV/T Isıl verimin Al₂O₃-Saf su nanoakışkan % Al₂O₃ -Su nanoakışkan hacimsel konsatrasyona bağlı değişim grafiği.

Sistemin elektriksel verim ifadesi için yine akışkanın % hacimsel konsatrasyonuna değişimi üzerine ANSYS CFD-post simülasyonu üzerinden hesaplanmıştır. Bu simülasyon verilerinin Şekil 7.40'ta gösterilmiştir. Burada, Al₂O₃-Saf su nanoakışkan % hacimsel konsatrasyon oranı arttıkça PV/T elektriksel veriminde artışın olduğu görülmektedir.

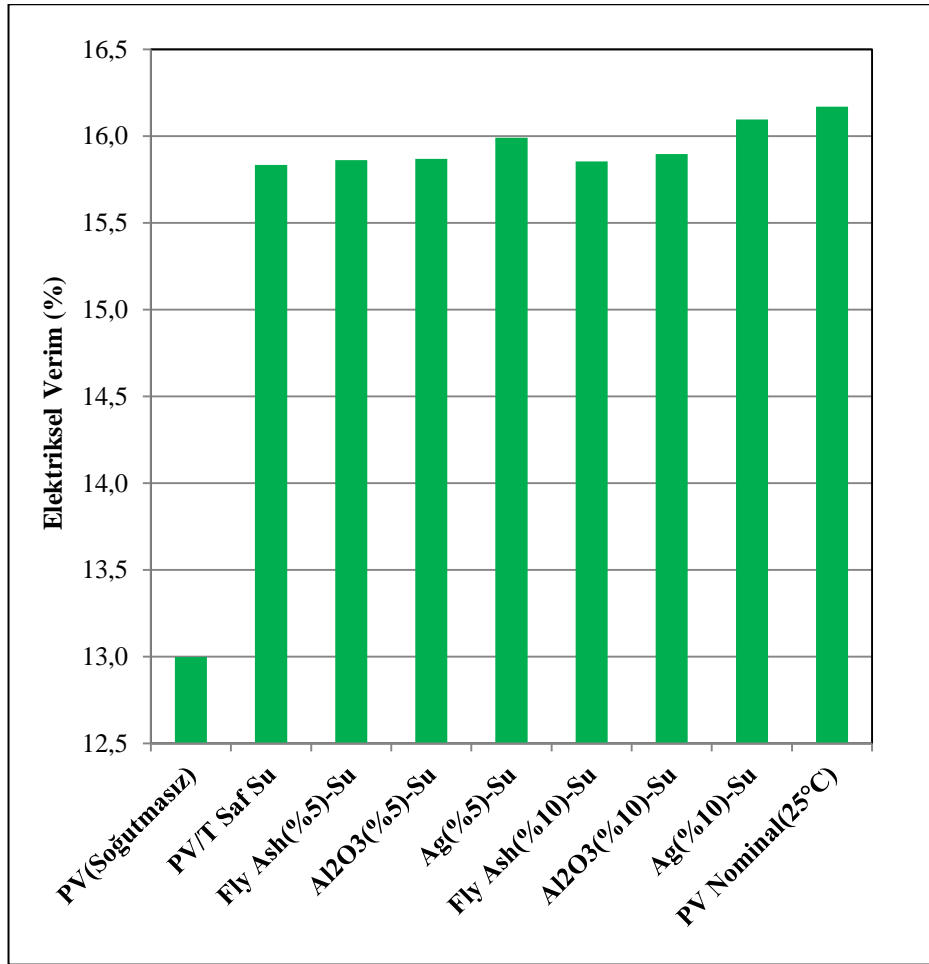


Şekil 7.40. PV/T Elektriksel veriminin Al₂O₃-Saf su nanoakışkan kollektör giriş hızına bağlı değişim grafiği.

7.7. TÜM ÇALIŞMANIN ISIL VE ELEKTRİKSEL VERİM SONUÇLARI

Akışkanlarla yapılan PV ve PV/T deneysel ve ANSYS simülasyon çalışmalarında kayda alınan tüm sonuçlar Bölüm 7’de değerlendirilmiştir. Yapılan tüm çalışmalara ait elektriksel verim kıyas tablosu Şekil 7.41’de özet olarak elde edilmiştir.

Deneysel çalışmaya göre yapılan ANSYS simülasyon çalışmasında ise nanoakışkan kullanılarak soğutma işlemi yapılan PV/T’ler için veriler elde edilmiş ve saf suya oranla elektrik verimlerinin daha fazla olduğu Şekil 7.41’deki grafik dağılımında kanıtlanmıştır.

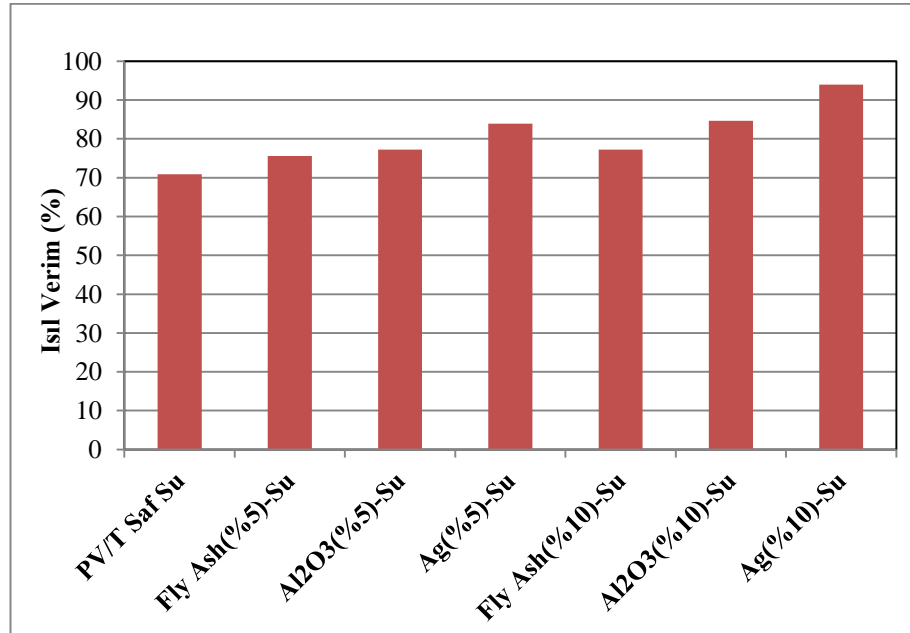


Şekil 7.41. PV ve PV/T kullanılan akışkan bazında elektriksel verimlerinin en genel kıyaslama grafiği.

PV'nin elektriksel verimi yüksek sıcaklık altında soğutma olmaksızın %12,997 olarak ölçülmüşken, saf su ile yapılan deneysel çalışmada elektriksel verim %15,834 olarak kayda alınmıştır. Burada yalnızca saf su kullanılarak yapılan PV/T çalışmasında PV'ye oranla yaklaşık %21,83'lük bir elektriksel güç eldesinde iyileştirme deneysel çalışma ile kanıtlanmıştır.

Bir diğer ifade ısı verimidir. PV ve PV/T'lerin farklı akışkan ile çalışmalarının neticesinde ısı verimlerinin değerlendirilmesi yapılmalıdır. PV'nin ısı verimi sıfır'dır. Soğutma yapılan PV/T için ise Şekil 7.37'de yapılan çalışmalarda kayda alınan ısı verim ifadeleri grafikte verilmişti. Çalışmanın en genel ısı verim kıyaslamasının yapıldığı sonuç özeti Şekil 7.42'deki grafikte verilmiştir.

Saf suya oranla PV/T ısı verimliliği %10 Ag-Saf su nanoakışkanı karşılaştırıldığında, Ag-saf su kullanılan PV/T sisteminin ısı verimliliği %93,978 iken, saf suya ise %70,895 olarak hesaplanmıştır. Buna göre Ag-Saf su kullanılan PV/T deney standı saf su kullanılan PV/T'ye göre ısı veriminin %32,55 oranında arttığı gözlemlenmiştir.



Şekil 7.42. PV/T panelde kullanılan akışkan bazında ısı verimlerinin en genel kıyaslama grafiği.

BÖLÜM 8

DEĞERLENDİRMELER VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmada kullanılan modelleme ve bu modele göre tasarlanan deneysel çalışmada elde edilen çözüm verileri saf su ile değerlendirildiğinde PV/T kollektör yapısı için saf su kullanımının ısı ve elektriksel verim üzerine etkileri araştırılmış, bulgular neticesinde nanoakışkan kullanımının da ısı kapasiteye ve PV elektriksel verimine etkileri için simülasyon çalışmaları yapılmıştır. Saf su ile yapılan deneysel çalışmalarda elde edilen veriler ile model oluşturulmuş ve ansys simülasyonu ile elde edilen veriler ile karşılaştırmaları yapılmıştır. Böylelikle, nanoakışkan kullanımı sonucu elde edilen simülasyon bulguları ansys 21 r1 academic programı ile üretilmiş ve kaydedilmiştir. Bu simülasyon çalışmasında elde edilen genel çıkarımlar şöyle özetlenebilir:

1. Soğutma yapılmayan ve yalnızca doğal taşınım ile ısı dengesine ulaşan PV'lerde sıcaklığa bağlı olarak elektrik verimlerinin nominal değerlerin oldukça altında bir değer olduğu ve böylelikle sıcaklığın PV elektrik verimini olumsuz etkilediği sonucuna ulaşılmıştır. Bu sonuç, aynı karakteristikteki PV/T ile alınan sonuçların PV ile alınan sonuçlarla karşılaştırılması üzerine kanıtlanmıştır.
2. Soğutma yapılmayan PV panellerde yüzey sıcaklığının saf su ile soğutulan PV/T panele göre daha fazla olduğu ve buna göre elektrik güç çıkışının ise PV/T panele göre daha az olması deneysel verilerle kanıtlanmıştır. Sıcaklıktaki artışın açık bir şekilde elektrik verimini düşürdüğü tespit edilmiştir.
3. PV/T panellerin kollektör grubu içerisinde dolaşım halinde olan akışkan ile soğutma işlemi sırasında PV/T arka kısım absorber plakadan ısı aktarımı sonucunda kollektörde önemli derecede sıcaklık artışları gözlemlenmiştir.

Oluşan ısı transferi kollektör çıkış sıcaklığını artırırken, PV arka yüzey sıcaklığını düşürmüş ve böylelikle bu durum PV'yi soğutmuştur.

4. Al₂O₃-saf su, Ag-saf su, Fly Ash-saf su nanoakışkan farklı hacimsel oranlarındaki süspansiyonları ısı iletim katsayısı, özgül ısıları, dinamik viskozite ve yoğunluk değerleri hesaplanmış ve ansys fluent veritabanına işlenmiştir. Parçacık hacimsel oranları arttıkça; yoğunluk, ısı iletimi ve dinamik viskozite değerleri artarken özgül ısı değerinin ise azaldığı tespit edilmiştir.
5. Al₂O₃-saf su nanoakışkanı pilot olarak seçilmiş ve %1, %3, %5, %8 ve %10 hacimsel oranlarda nanoakışkan çözeltileri oluşturulmuş, ANSYS simülasyonu ile farklı akışkan kollektör giriş hızlarında ve farklı hacimsel oranlardaki çözeltileri için ısıl ve elektriksel verim değerleri grafiklerde gösterilmiş ve çıkarımlar elde edilmiştir.
6. ANSYS model oluşturma, mesh, fluent ve steady state thermal modüllerinin oluşturulması maliyetli işlerin öncesinde mühendislik çözümlerinin daha uygun ve az maliyetle sürdürüleceğini kanıtlamış ve endüstriyel büyük ölçekli çalışmalar öncesinde sağlam fizibilitelerin oluşturulmasında etkin rol oynayabilir.

Gelecekte yine PV/T sistemlerinde nanoakışkan kullanımının incelenmesine yönelik yapılacak çalışmalarda:

1. PV/T absorpsiyonlu soğutma üzerine yine ansys cfd-post modeli ve bu uygulama kapsamında simülasyonu yapılabilir.
2. steady state thermal olarak denenmiş olan bu çalışma ileriki çalışmalarda parametrik olarak transys fonksiyonel değişken sıcaklık değerleri içeren modül ile güneş soğutma sistemleri üzerine modelleme yapılabilir.

3. ANSYS tasarım modeli üzerine deneysel ve teorik çalışmalar yapılabilir ve elde edilen bulgular ANSYS simülasyon verileri ile kıyaslanabilir. Soğutma chiller grubu, tank ve pompa, akış debi ölçer grup sistemi kurulup, veriler deneysel olarak incelenebilir.
4. ANSYS nodes ve elements mesh modülü daha doğruya yakınsaması açısından hacimsel olarak daha küçük elementlere bölünerek yeni bir simülasyon ve çözümleme yapılabilir.
5. Başka nanoakışkanlardan olan TiO_2 -su, SiO_2 -su, Cu-Su, Etilen glikol- Al_2O_3 karbonnanotüp-su karışımları üzerine farklı hacimsel oranlarda akışkanların ısı performansları, ısı iletim katsayıları ve yoğunlukları karşılaştırılıp, laminar veya türbülanslı akışa sahip ansys fluent geometri modeli, mesh, fluent ve steady state thermal çözümlenmeleri yapıp sonuçlar ısı iletkenlik açısından kıyaslanabilir.
6. Al_2O_3 -saf su, Ag-saf su, Fly Ash-saf su nanoakışkan üzerine mevcut deney sisteminde deneysel çalışmalar yapılarak, elde edilen verilerin ANSYS simülasyon çalışması bulguları ile kıyaslamaları yapılabilir.
7. İç ortamda (çevreden bağımsız) sabit güneş ışınım şiddeti altında deney sistemi kurularak deneysel ve simülasyon çalışmaları yapıp, sonuçlar karşılaştırılabilir.

KAYNAKLAR

1. Internet:IEA 2018 “Renewables 2018”<https://www.iea.org/renewables2018/heat/> (2018).
2. IEA, 2014, “Technology Roadmap”, *Solar Photovoltaic Energy*, sayfa. 20–21 (2014).
3. Ramezanizadeh, M., Alhuyi Nazari, M., Ahmadi, M.H., Lorenzini, G., Pop, I., “A review on the applications of intelligence methods in predicting thermal conductivity of nanofluids”, *J. Therm. Anal. Calorim.* 1–17(2019).
4. Teo, H.G., Lee, P.S., Hawlader, M.N.A., “An active cooling system for photovoltaic modules”, *Appl. Energy*, 90, 309–315 (2012).
5. Abdolzadeh, M., Ameri, M., “Improving the effectiveness of a photovoltaic water pumping system by spraying water over the front of photovoltaic cells. Renew”, *Energy 34*, 91–96 (2009).
6. Dubey, S. and Tay, A. A., “The theoretical modelling and optimization of a 10 KWP photovoltaic thermal system for a student hostel in Singapore”, *International Journal of Green Energy 11*, (3): 225-239 (2014).
7. Chow, T. T., “A review on photovoltaic/thermal hybrid solar technology”, *Applied Energy 87(2)*:, 365-379 (2010).
8. Hoffmann, W., “PV solar electricity industry: Market growth and perspective”, *Solar energy materials and solar cells 90(18)*, 3285-3311 (2006).
9. Bahaidarah, H. A., Subhan, P., Gandhidasan. and S. Rehman., “Performance evaluation of a PV (photovoltaic) module by back surface water cooling for hot climatic conditions”, *Energy 59*: 445-453 (2013).
10. Aste, N., C. del Pero and F. Leonforte., “Water flat plate PV–thermal collectors: A review”, *Solar Energy 102*, 98-115 (2014).
11. Hosseinzadeh, M. A., Salari., M., Sardarabadi. and M. Passandideh-Fard., “Optimization and parametric analysis of a nanofluid based photovoltaic thermal 178 system: 3D numerical model with experimental validation”, *Energy Conversion and Management 160*: 93-108 (2018).
12. Lari, M. O., and. Sahin, A. Z., “Effect of retrofitting a silver/water nanofluidbased photovoltaic/thermal (PV/T) system with a PCM-thermal battery for residential applications”, *Renewable Energy 122*, 98-107 (2018).

13. Peng, Z. J., M. R. Herfatmanesh. and Liu. Y. M., “Cooled solar PV panels for output energy efficiency optimization”, *Energy Conversion and Management* **150**, 949-955 (2017).
14. Cristofari, C., Notton, G., and Canaletti., J. L., “Thermal behavior of a copolymer PV/Th solar system in low flow rate conditions”, *Solar Energy* **83(8)**, 1123-1138 (2009).
15. Fudholi, A. K., Sopian, M. H., Yazdi, M. H., Ruslan, I. A., and Kazem. H. A., “Performance analysis of photovoltaic thermal (PVT) water collectors”, *Energy Conversion and Management* , 78(0): 641-651 (2014).
16. Guo, J. S., Lin, J. I., Bilbao, S. D., White, A., and Sproul, B., “A review of photovoltaic thermal (PV/T) heat utilisation with low temperature desiccant cooling and dehumidification”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **67**:1-14 (2017).
17. Haloui, H., Touafek, K, Zaabat, M., “Comparative Study of the Hybrid Solar Thermal Photovoltaic Collectors Based on Thin Films Solar Cells in South of Algeria”, *Res Rev Electrochem*, 8(2):109 (2017).
18. Hussain, M., Kim H. J., and Kim T. J., “Nanofluid-Powered Dual-Fluid Photovoltaic/Thermal (PV/T) System: Comparative Numerical Study”, *Energies* **2019**, 12, 775 (2019).
19. İnternet: Elizler yenilenebilir enerji sistemleri, “Pantec PSM65P PV Güneş kollektörü”, <https://www.elizler.com/wpcontent/uploads/2020/02/PSM60P.pdf> (2020).
20. Baranval N. K., Singhal M. K., “Modelling and simulation of a spiral type hybrid photovoltaic thermal (PV/T) water collector using ANSYS”, *ResearchGate*, **August 2020** (2020).
21. Misha, S., Abdullah, A. L., Tamaldin, N., Rosli. M.A.M., Sachit. F.A., “Simulation CFD and experimental investigation of PVT water system under natural Malaysian weather conditions” *Energy Reports* **6**, 28–44 (2020).
22. Saurabh, A., Atheaya, D., Kumar, A., “Computational fluid dynamics (CFD) modelling of hybrid photovoltaic thermal system”, *ISSN PRINT 2345-0533, ISSN ONLINE 2538-8479* (2020).
23. Rosli, M. A. M., Ping, Y. J., Misha, S., Akop, M., Z., Sophian, K., Mat, S., Al-Sahamani, A., N., Saruni. M., A., “Simulation study of computational fluid dynamics on photovoltaic thermal water collector with different designs of absorber tube”, *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences* **52**, Issue 112-22 (2018).
24. Sardarabadi, M., Passandideh-Fard, M., “Experimental and numerical study of metaloxides/water nanofluids as coolant in photovoltaic thermal systems (PV/T)”, *Sol Energy Mater Sol Cells* **157**: 533–542 (2016).

25. Khanjari, Y., Pourfayaz, F. K., “Numerical investigation on using of nanofluid in a water-cooled photovoltaic thermal system”, *Energy Convers Manage*, 122: 263–278 (2016).
26. Abdellatif. O.E., Eliwa, A., Ibrahim, A., M., Abdel-Wahed, A. H., “Investigation CFD Analysis of Photovoltaic Thermal Collector (PVT) With Different Configuration Absorber Cooling Design” *Engineering Reasearch Journal (ERJ)*, Vol. 1 No. 39 Jan. 2019, pp. 56-65 (2019).
27. Alobaid, M. S., “Determining the performance characteristics of flat plate and photovoltaic thermal collector for sustainable cooling systems integration” Doktora Tezi, *The University of Sheffield Department of Mechanical Engineering Jan 2019*, 16-183 (2019).
28. İnternet: Aralsan Makina sanayi, “Suyun Fiziksel Özellikleri”, <https://www.aralsan.com/su-fiziksel-ozellikleri> (2020).
29. Ozturk, H. H., “Güneş Enerjisinden Fotovoltaik Yöntemle Elektrik Üretiminde Güç Dönüşüm Verimi ve Etkili Etmenler”, *Metallurgical Transactions A*, 13 (A): 1793-1798 (1982).
30. İnternet: Aplus Group “pv panel iç yapısı”, <https://www.aplasgroup.com.tr/urun/solar-pv-fotovoltaik-monokristal-polikristal-paneller/> (2020).
31. Lee, B., Liu, J.Z., Bin, S., Shen, C.Y., and Dai, G.C., “Thermally conductive and electrically insulating eva composite encapsulants for solar photovoltaic (PV) cell,” *EXPRESS Polymer Letters*, 2(5), 357–363 (2008).
32. Frankl, P., Nowak, S., Gutschner, M., Gnos, S., Rinke, T. “Technology roadmap: solar photovoltaic energy”. *International Energy Association*, (2014).
33. Fouad, M.M., Shihata, L.A., Morgan, E.S.I., “An integrated review of factors influencing the performance of photovoltaic panels. Renew”, *Sustain. Energy*, Rev. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.141> (2017).
34. Hammoud, M., Shokr, B., Assi, A., Hallal, J., Khoury, P., “Effect of dust cleaning on the enhancement of the power generation of a coastal PV-power plant at Zahrani Lebanon.” *Sol. Energy* **184**, 195–201. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.04.005> (2019).
35. Quaschnig, V., Hanitsch, R., “Numerical simulation of current-voltage characteristics of photovoltaic systems with shaded solar cells”, *Sol. Energy* **56**, 513–520 (1996).
36. Panjwani, M.K., Narejo, G.B., “Effect of Humidity on the Efficiency of Sola Cell(photovoltaic)”, *Int. J. Eng. Res. Gen. Sci.* **2**, 499–503 (2014).

37. Skoplaki, E., Palyvos, J.A., “On the temperature dependence of photovoltaic module electrical performance: A review of efficiency/power correlations”, *Sol. Energy* **83**, 14–624 (2009).
38. Kumar, K., Sharma, S.D., Jain, L., “Standalone Photovoltaic (PV) Module Outdoor Testing Facility for UAE Climate”. *Submitted to CSEM-UAE Innovation Center LLC*, (2007).
39. Yang, D. J., Yuan, Z. F., Lee, P. H. and Yin, H. M., “Simulation and experimental validation of heat transfer in a novel hybrid solar panel”, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, **55**, 1076-1082 (2012).
40. Chow, T.T., Pei, G., Fong, K.F., Lin, Z., Chan, J. Ji, “Energy and exergy analysis of photovoltaic-thermal collector with and without glass cover”, *Appl. Energy*, **86** (3) 310–316 (2009).
41. Joshi, A.S., Tiwari, A., “Energy and exergy efficiencies of a hybrid photovoltaic–thermal (PV/T) air collector”, *Renew. Energy* **32** (13) 2223–2241 (2007).
42. Dubey, S., Sandhu, G.S., Tiwari, G.N., “Analytical express for electrical efficiency of PV/T hybrid air collector”, *Appl. Energy* **86** ,697–705 (2009).
43. Zhang, X., Zhao, X., Smith, S., Xu, J., Yu, X., “Review of R&D progress and practical application of the solar photovoltaic/thermal (PV/T) technologies”. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, **16**, 599–617 (2012).
44. Kallio, S., Siroux, M., “Energy Analysis and Exergy Optimization of Photovoltaic-Thermal Collector”, *Energies* **2020**, **13**, 5106 (2020).
45. Braun, R., Haag, M., Steve, J., Abdalnour, N., Eicker, U., “System design and feasibility of trigeration systems with hybrid photovoltaic -thermal (PVT) collectors for zero energy office buildings in different climates”, *Solar Energy* **196** ,39-48 (2020).
46. Rank, J.,”Capillary Action-Liquid, water, force ans surface”, *Science.jrank.org. Archived from the original, 06-18 (2013)*.
47. Chandrasekar, M., Suresh, S., Senthilkumar, T., Ganesh Karthikeyan, M., “Passive cooling of standalone flat PV module with cotton wick structures” , *Energy Convers. Manag.* **71**, 43–50 (2013).
48. Sajan, P., Brij, B., Tarun, M., “Experimental investigation of water based photovoltaic/thermal (PV/T) system with and without phase change material (PCM)”, *Solar Energy* **155**, pp 1104–1120 (2017).
49. Ewald, J., Gerrit, S., Stefan, K., Jadran V., “Experimental study of phase change materials for photovoltaic modules”, *Energy performance and economic yield for the EPEX spotmarket*, *Solar Energy* **140**, pp 51–59 (2016).

50. Di, S., Yuting, J., Guruprasad, A., Lingkun, L., Guiyin, F., “Comparative analyses on dynamic performances of photovoltaic–thermal solar collectors integrated with phase change materials”, *Energy Conversion and Management* **131**, pp 79–89 (2017).
51. Sarwar, J., Hasnain, A., Abbas, A.E., Kakosimos, K.E., “Comparative analysis of a novel low concentration dual photovoltaic/phase change material system with a non-concentrator photovoltaic system”, *Therm. Sci.* 468 (2019).
52. Hasan, A., McCormack, S.J., Huang, M.J., Norton, B., “Evaluation of phase change materials for thermal regulation enhancement of building integrated photovoltaics”, *Sol. Energy* **84**, 1601–1612 (2010).
53. Sardarabadi, M., Passandideh-Fard, M., Maghrebi, M.-J., Ghazikhani, M., “Experimental study of using both ZnO/water nanofluid and phase change material (PCM) in photovoltaic thermal systems”. *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* **161**, 62–69 (2017).
54. Youngsu, Ko., Dasol, Lee., Trevon, Badloe. and Junsuk, Rho. “Metamaterial-based Radiative Cooling: Towards Energy-Free All-Day Cooling” *Energies* **2019**, 12, 89 (2019).
55. Safil, T. S., Munday, J. N., “Improving photovoltaic performance through radiative cooling in both terrestrial and extraterrestrial environments.” *Opt Exp*, Vol. 23, Issue 19, pp. A1120-A1128 (2015).
56. Hasan, A., McCormack, S., Huang, M., Norton, B., Hasan, A., McCormack, S.J., Huang, M.J., Norton, B., “Energy and Cost Saving of a Photovoltaic-Phase Change Materials (PV-PCM) System through Temperature Regulation and Performance Enhancement of Photovoltaics”, *Energies* **7**, 1318–1331 (2014).
57. Alonso, G. M.C., Balenzategui, J.L., “Estimation of photovoltaic module yearly temperature and performance based on nominal operation cell temperature calculation”. *Renew. Energy* **2004**, 29, 1997–2010 (2004).
58. Sarwar, J., Hasnain, A., Abbas, A.E., Kakosimos, K.E., “Comparative analysis of a novel low concentration dual photovoltaic/phase change material system with a non-concentrator photovoltaic system”, *Therm. Sci.* 468 (2019).
59. Kumar, R., Rosen, M.A., “Performance evaluation of a double pass PV/T solar air heater with and without fins.” *Appl. Therm. Eng.* **31**, 1402–1410 (2011).
60. Wu, S.-Y., Wang, T., Xiao, L., Shen, Z.-G., “Effect of cooling channel position on heat transfer characteristics and thermoelectric performance of air-cooled PV/T system”. *Sol. Energy* ,180 489–500 (2019).

61. Kamron, M., M., Ali, E., Cheng, X., “A review of PV/T technologies: Effects of control parameters”, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 64 483–500 (2013).
62. Sardouei, M. M., Morteza pour, H., Naeimi, J. K., “Temperature distribution and efficiency assessment of different PVT water collector designs”, *Indian Academy of Sciences*, Sādhanā, 43:84 (2018).
63. Ozgoren, M., Aksoy, M.H., Bakır, C., Doğan. S., “Experimental Performance Investigation of Photovoltaic/Thermal (PV-T) System” *EPJ Web of Conferences*, *EPJ*, 45 01106 (2013).
64. Karamanav, M., “Güneş enerjisi ve güneş pilleri”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, (2007).
65. Kıncay, O., Bekiroğlu, N., Yumurtacı, Z., “Güneş Pilleri”, *Yıldız Teknik Üniversitesi Yayınları*, İstanbul, 1. Bölüm s.1-36 (2004).
66. İnternet: Kimyaevi org, “Basınca bağlı suyun kaynama noktası” <http://www.kimyaevi.org/TR/Genel/BelgeGenis.aspx?F6E10F8892433CFF8007620E7D5602E8713BA090EEBCE2E8> (2006).
67. Cheng, P., and H. Y. Wu., “Mesoscale and Microscale Phase-Change Heat Transfer”, *Adv. Heat Transf.*, vol. 39, pp. 461–463 (2006).
68. Mangini, D., Mamei, M., Georgoulas, A., Araneo, L., Filippeschi, S., and Marengo, M., “A pulsating heat pipe for space applications: Ground and microgravity experiments”, *Int. J. Therm. Sci.*, vol. 95, pp. 53–63 (2015).
69. Mehta, B., Khandekar, S., ‘Measurement of local heat transfer coefficient during gas–liquid Taylor bubble train flow by infra-red thermography’, *Int. J. Heat Fluid Flow*, vol. 45, pp. 41–52 (2014).
70. Karimi, G., Culham, J.R., “Review and assessment of pulsating heat pipe mechanism for high heat flux electronic cooling” *Int. J. Therm. Sci.*, vol. 99, pp. 53–63 (2018).
71. Maxwell J. C., “A Treatise on Electricity and Magnetism”,. *Second ed.*, *Clarendon Press*, Oxford, UK (1881).
72. Demirpolat, A.B., “Etilen glikol Bazlı Nanoakışkanların Üretilmesi, Viskozite ve Termal Özelliklerinin Deneysel İncelenmesi”, Doktora Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 10-40 (2018).
73. Ganvir R.B., Walke P.V., Kriplani, V.M., “Heat transfer characteristics in nanofluid A review”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 75 451–460 (2017).

74. Xuan, Y., Li, Q., “Heat transfer enhancement of nanofluids”, *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 21(1), 58–64 (2000).
75. Elmir, M., Mehdaoui, R., Mojtabi, A., “Numerical simulation of cooling a solar cell by forced convection in the presence of a nanofluid”, *Energy Procedia*, 18, 594–603 (2012).
76. Saidur, R., Leong, K.Y., Mohammad, H.A., “A review on applications and challenges of nanofluids”, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 15, 1646–1668 (2011).
77. Gürmen, S., Ebin, B., “Nanopartiküller ve Üretim Yöntemleri-1”, *Metallurji Dergisi*, 150, 31-38 (2008).
78. Choi, S.U.S., “Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles”, *The Proceedings of the 1995 ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition*, San Francisco, USA, ASME, FED 231/MD 66, 99–105 (1995).
79. Şahin, B., Çomaklı, Ö., Yılmaz, M., Karşlı, S., Çomaklı, K., Özyurt, Ö., Karagöz, Ş., Kaya, M., “Nanokışkanların Isı Transferi ve Akış Karakteristiklerinin İncelenmesi”, *TÜBİTAK Proje No: 105M292*, Erzurum (2010).
80. Mukherjee, S., Paria, S., “Preparation and Stability of Nanofluids-A Review”, *Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 9, 2, 63-69 (2013).
81. Xuan Y., Li Q., Heat transfer enhancement of nanofluids, *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 21(1), 58–64 (2000).
82. Dilek, E. F., “Nanoakışkanların Hazırlanması ve Isıl İletkenliklerinin Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum, 20-60 (2008).
83. Pak, B.C., Cho, Y.I., “Hydrodynamic and heat transfer study of dispersed fluids with submicron metallic oxide particles”, *Exp. Heat Transf Int. J.*, 11(2), 151–170 (1998).
84. Xuan, Y., Roetzel, W., “Conceptions for heat transfer correlation of nanofluids”. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 43, 3701-3707 (2000).
85. Sharma, K.V., Sarma, P.K., Azmi, W.H., Mamat, R., Kadrigama, K., “Correlations to predict friction and forced convection heat transfer coefficients of water based nanofluids for turbulent flow in a tube”. *IJMNTFTP*, Vol. 3, No. 4 (2012).
86. Yu, W., France, D.M., Choi, S.U.S. ve Routbort, J.L., “Review and Assessment of Nanofluid Technology for Transportation and Other Applications”, *Energy Systems Division, Argonne National Laboratory*, ANL/ESD/07-9 (2007).

87. Vyas, A.A. “CFD Based Thermal Efficiency Analysis of Solar Air Heater with Smooth Plate & Perforated Plate”. *Imp. J. Interdiscip. Res.* **2017**, 3, 415 (2017).
88. Yazdanifard, F., Ebrahimnia-Bajestan, E., and Ameri, M., “Investigating the performance of a water-based photovoltaic/thermal (PV/T) collector in laminar and turbulent flow regime”, *Renewable Energy* **99**, 295-306 (2016).
89. Cengel. A. Y., Cimbala. J. M., “Akışkanlar Mekaniği Temelleri ve Uygulamaları”, *Çeviri editörü/editörleri, Tahsin Engin*, İzmir, 321-398 (2008).
90. Khanyai. Y., Pourfayaz. F., Kasaeian. A.B., “Numerical investigation on using of nanofluid in a water-cooled photovoltaic thermal system”, *Energy Conversion and Management*, **122**, 263–278 (2016).
91. Patel, H., Sundararajan, T., Das, S. K., “An experimental investigation into the thermal conductivity enhancement in oxide and metallic nanofluids”, *J. Nanopart. Res.*, vol.12, pp. 1015–31 (2010).
92. He, W., Zhang Y., Ji, J., “Comparative experiment study on photovoltaic and thermal solar system under natural circulation of water”, *Appl. Therm. Eng.*, **31**:3369–76 (2011).
93. Bhattarai. S., Oh, J.H., Euh, S.H., Krishna K.G., Hyun, K. D., “Simulation and model validation of sheet and tube type photovoltaic thermal solar system and conventional solar collecting system in transient states”, *Sol. Energy Mater. Sol Cells*, **103**:184–93 (2012).
94. Gul, M., Akyuz, E., “Fotovoltaik-termal (PV/T) bir sistemin deneysel performansının incelenmesi”, *Baun fen bilimleri enstitüsü dergisi*, <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/687271>, (2019).
95. Pang, W., Cui, Y., Zhang, Q., Yu, H., Zhang, L., Yan, H., “Experimental effect of high mass flow rate and volume cooling on performance of a water-type PV/T collector” *Solar Energy* ,**188**, 1360–1368 (2019).

EK AÇIKLAMALAR A.

SUYUN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

Çizelge Ek A.1. Suyun Fiziksel Özellikleri [28].

SUYUN FİZİKSEL ÖZELLİKLER										
SICAKLIK	MUTLAK BASINÇ	ÖZGÜL KÜTLE	ÖZGÜL ISI	İLETİM KATSAYISI	DİNAMİK VİSKOZİTE	KİNEMATİK VİSKOZİTE	ISIL YAYINIM	ISIL GENLEŞME	PRANDLE	GİZLİ ISI
T	P	P	c_p	λ	μ 10 ⁶	ν 10 ⁶	α 10 ³	β 10 ³	Pr	r
[°C]	[bar]	[kg/m ³]	[kcal/kg °C]	[kcal/mh° C]	[kgs/m ²]	[m ² /s]	[m ² /h]	[1/°K]		[kcal/kg]
0	1	999,8	1,0074	0,475	182,7	1,762	0,472	-0,07	13,67	597,3
10	1	999,7	1,0013	0,497	133,3	1,34	0,497	0,088	9,47	591,7
20	1	999,2	0,9987	0,514	102,2	1,004	0,515	0,207	7,01	586
30	1	995,7	0,998	0,528	81,3	0,801	0,531	0,303	5,43	580,4
40	1	992,2	0,998	0,54	66,5	0,658	0,545	0,385	4,34	574,7
50	1	998	0,9985	0,551	55,7	0,553	0,559	0,457	3,56	569
60	1	983,2	0,9994	0,56	47,5	0,474	0,57	0,523	2,99	563,2
70	1	977,8	1,0007	0,568	41,2	0,413	0,58	0,585	2,56	557,3
80	1	971,8	1,0023	0,575	36,2	0,365	0,59	0,643	2,23	551,3
90	1	965,3	1,0044	0,581	32,1	0,326	0,599	0,698	1,96	545,2
100	1,033	958,4	1,007	0,586	28,8	0,295	0,607	0,752	1,75	539
120	2,024	943,1	1,014	0,589	23,9	0,249	0,616	0,86	1,45	526,1
140	3,658	926,1	1,024	0,588	20,3	0,215	0,621	0,975	1,25	512,3
160	6,302	907,4	1,037	0,586	17,5	0,189	0,633	1,098	1,09	497,4
180	10,225	886,9	1,053	0,581	15,35	0,17	0,622	1,233	0,98	481,3
200	15,857	864,7	1,074	0,572	13,92	0,158	0,616	1,392	0,92	463,5
220	23,659	840,3	1,101	0,561	12,75	0,149	0,606	1,697	0,88	443,7
240	34,14	813,6	1,137	0,546	11,78	0,142	0,59	1,862	0,87	421,7
260	47,866	784	1,189	0,526	10,91	0,137	0,564	2,21	0,87	396,8
280	65,457	750,7	1,268	0,499	10,15	0,133	0,524	2,7	0,91	368,5
300	87,611	712,5	1,4	0,465	9,43	0,13	0,466	3,46	1	368,5
320	115,12	667	1,58	0,422	8,72	0,128	0,4	4,6	1,15	295,6
340	148,96	609,5	2	0,37	7,9	0,127	0,304	8,25	1,5	245,3
360	195,42	524,5	3,2	0,3	6,98	0,131	0,18		2,6	171,9
374,2	225,6	326		0,18	5,16	0,155	0			0

$\rho = -0.00269 T^2 - 0.161769 T + 1002.893458 \quad 0^\circ\text{C} < T < 200^\circ\text{C}$
 $c_p = -1.1 \times 10^{-12} T^5 + 6.44 \times 10^{-10} T^4 - 1.3 \times 10^{-7} T^3 + 1.39 \times 10^{-5} T^2 - 0.00061943 T + 1.0069003$
 $\lambda = -6.1 \times 10^{-6} T^2 + 0.00165 T + 0.481465$
 $\mu = 0.01 / (-2.8 \times 10^{-5} T^3 + 0.012477 T^2 + 1.94888 T + 54.4225)$
 $\nu = 10^{-6} / (-3.77 \times 10^{-7} T^3 + 0.00012 T^2 + 0.020083 T + 0.551683)$
 $Pr = 4.763 \times 10^{-12} T^6 - 3.305 \times 10^{-9} T^5 + 9.165 \times 10^{-7} T^4 - 0.00013111 T^3 + 0.0105426 T^2 - 0.4958255 T + 13.6167$

EK AÇIKLAMALAR B.

PV GÜNEŞ KOLLEKTÖRÜ

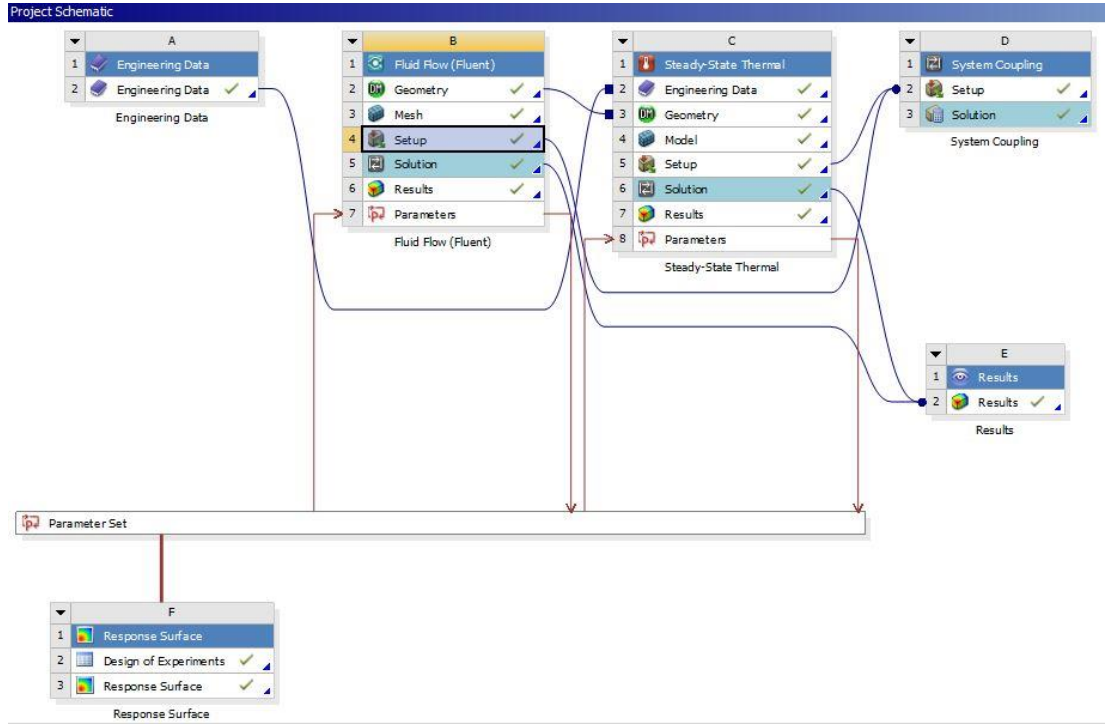
Çizelge Ek B.1. Pantec PSM65P PV Güneş kollektörü [19].

	Özellik	Değerler
1	Voc (V)	22,10
2	Isc Kısa devre akımı (A)	3,69
3	Modül PV Verimi (%) (25°C)	16,17
4	ENxBOYxYÜKSEKLİK (mm)	600x670x25
5	Hücre tipi	Polikristal Silikon
6	Max Güç Pmax (W)	65W (+/- %3)
7	Pmax sıcaklık katsayısı	-%0,44 / 1 °C
8	Voc sıcaklık katsayısı	-%0,33 / 1 °C
9	Isc sıcaklık katsayısı	%0,04 / 1 °C
10	Optimum çalışma Voltajı Vmp (V)	20,38
11	Optimum çalışma Akımı Imp (A)	3,22
12	Dolgu Faktörü (FF)	0,7456

EK AÇIKLAMALAR C.

ANSYS 2021 R1 ACADEMIC PROJE ŞEMASI

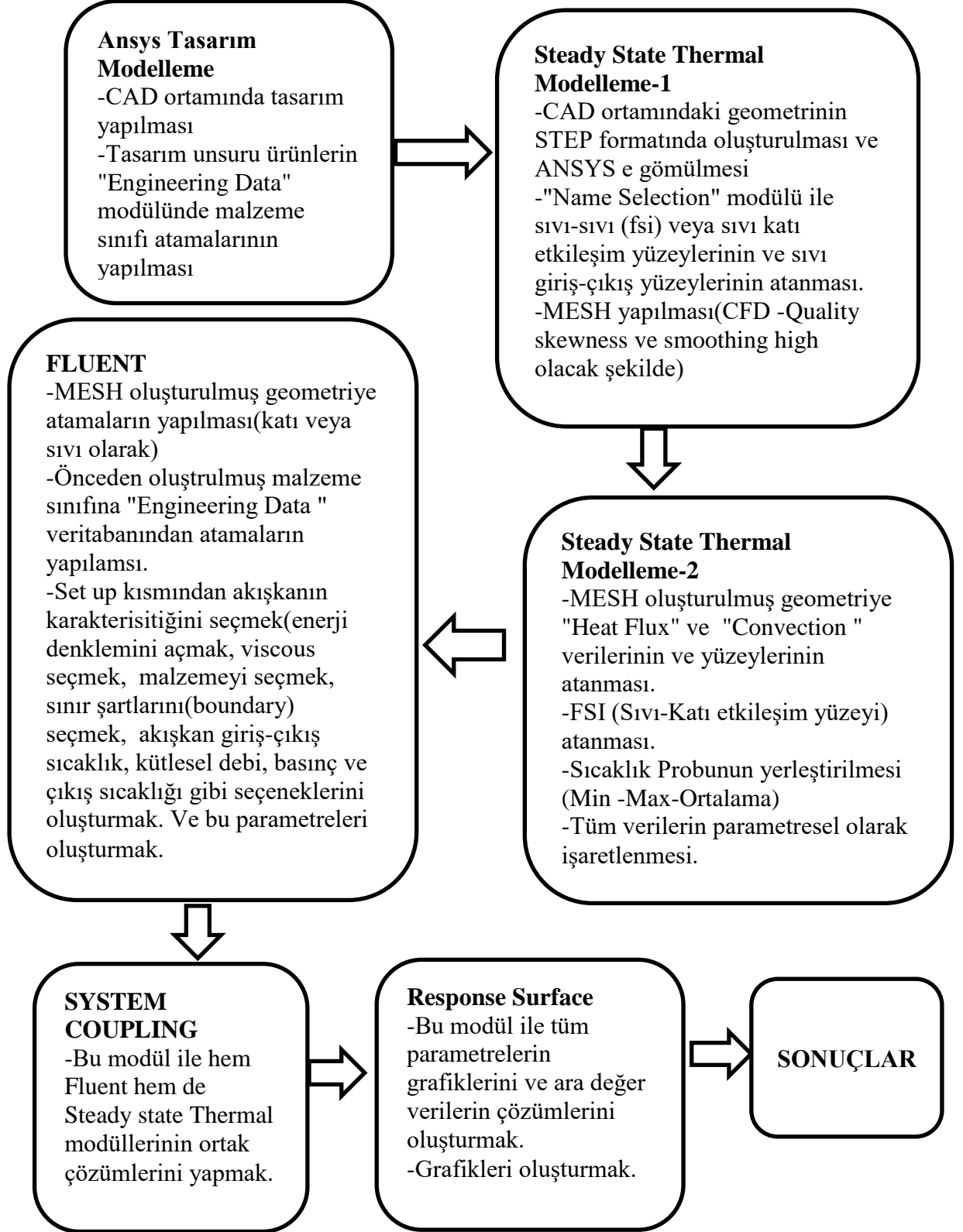
Çizelge Ek C.1. Ansys 2021 R1 academic model çözümlene workbench proje şeması.



EK AÇIKLAMALAR D.

ANSYS PROJE AKIŞ DİYAGRAMI

Çizelge Ek D.1. ANSYS modelleme akış diyagramı.



EK AÇIKLAMALAR E.

SUYUN FARKLI BASINÇLARDA KAYNAMA NOKTASI ÇİZELGESİ

Çizelge Ek E.1. Basınca bağlı suyun kaynama noktası çizelgesi [66].

<i>P/mbar</i>	<i>T°C</i>	<i>P/mbar</i>	<i>T°C</i>	<i>P/mbar</i>	<i>T°C</i>	<i>P/mbar</i>	<i>T°C</i>
50	32.88	915	97.17	1013.25	100.00	1200	104.81
100	45.82	920	97.32	1015	100.05	1250	105.99
150	53.98	925	97.47	1020	100.19	1300	107.14
200	60.07	930	97.62	1025	100.32	1350	108.25
250	64.98	935	97.76	1030	100.46	1400	109.32
300	69.11	940	97.91	1035	100.60	1450	110.36
350	72.70	945	98.06	1040	100.73	1500	111.38
400	75.88	950	98.21	1045	100.87	1550	112.37
450	78.74	955	98.35	1050	101.00	1600	113.33
500	81.34	960	98.50	1055	101.14	1650	114.26
550	83.73	965	98.64	1060	101.27	1700	115.18
600	85.95	970	98.78	1065	101.40	1750	116.07
650	88.02	975	98.93	1070	101.54	1800	116.94
700	89.96	980	99.07	1075	101.67	1850	117.79
750	91.78	985	99.21	1080	101.80	1900	118.63
800	93.51	990	99.35	1085	101.93	1950	119.44
850	95.15	995	99.49	1090	102.06	2000	120.24
900	96.71	1000	99.63	1095	102.19	2050	121.02
905	96.87	1005	99.77	1100	102.32	2100	121.79
910	97.02	1010	99.91	1150	103.59	2150	122.54

ÖZGEÇMİŞ

İsa ÇİÇEK, ilkokul, ortaokul ve lise eğitimini yine Kırşehir ilinde tamamladı. 2008 yılında Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği lisans öğrenimine başladı. 2012 yılında lisans düzeyinde TUBİTAK destekli “Katılarda Isı İletim Katsayısı Ölçüm Cihazı” geliştirme projesinde proje yürütücüsü olarak görev aldı ve 2013 yılında Makine mühendisliğinden mezun oldu. Aynı yıl Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği ABD (Ana Bilim Dalında) yüksek lisans öğrencisi olarak öğrenimine başladı. 2015 yılında ülkenin önde gelen ve ilk yerli araç lastik fabrikası olan Petlas Lastik San. A.Ş.’de Proje ve Yatırım Mühendisi olarak göreve başladı ve aynı şirkette görevine devam etmektedir.