

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PV/T SİSTEM PERFORMANSINA ZORLANMIŞ
HAVA/NANOAKIŞKAN ÇİFTLERİNİN ETKİSİNİN SAYISAL
OLARAK İNCELENMESİ

GÖKHAN SEFER
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GEBZE
2023

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PV/T SİSTEM PERFORMANSINA
ZORLANMIŞ HAVA/NANOAKIŞKAN
ÇİFTLERİNİN ETKİSİNİN SAYISAL
OLARAK İNCELENMESİ

GÖKHAN SEFER
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMANI
PROF. DR. SÜLEYMAN KARSLI

GEBZE
2023

T.R.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

**NUMERICAL INVESTIGATION OF THE
EFFECT OF FORCED AIR/NANOFUID
PAIRS ON PV/T SYSTEM PERFORMANCE**

GÖKHAN SEFER

**A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING**

**THESIS SUPERVISOR
PROF. DR. SÜLEYMAN KARSLI**

GEBZE

2023



YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 19/07/2023 tarih ve 2023/40 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 25/06/2023 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Gökhan SEFER'in tez çalışması Makine Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI)

: Prof. Dr. Süleyman KARSLI

ÜYE

: Prof. Dr. Fevzi BEDİR

ÜYE

: Prof. Dr. Mehmet KAYA

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

PV/T sistemler, güneş enerjisini elektrik ve ısı enerjisine dönüştüren sistemlerdir. Bu sistemler son zamanlarda dünya çapında yaygınlaşmaya başlamıştır. Güneş panelleri genellikle düşük verimle çalışırken panel sıcaklığı arttıkça güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüşüm verimi de düşmektedir. Güneş panellerinde, elektriksel verimi arttırmanın yanında termal verimini de arttırmak için PV/T sistemi analiz edilmiştir. Sayısal analizde ANSYS-Fluent programı kullanılarak sistem modellenmiştir. PV/T sistemlerinde dönüşüm verimlerinin süreç boyunca artan sıcaklıkla düşmemesi için soğutma işlemi gerekmekte ve bunun için genellikle su kullanılmaktadır. Bu çalışmada PV/T sistem performansına, zorlanmış hava, su ve nanoakışkan soğutucuları kullanarak sistem verimindeki etkisi numerik olarak incelenmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Analizde farklı hava hızları, farklı nanoakışkan debileri ve farklı nanoakışkan kompozisyonları kullanılarak sistem performansındaki değişimler gözlemlenmiştir. Bu inceleme yapılırken analiz sonucunda oluşan sıcaklık ve basınç değişimleri dikkate alınmıştır. Analizde baz akışkan olarak su bulunan, ağırlıkça %0,5 konsantrasyona sahip çok duvarlı karbon nano tüpler (MWCNT) ve grafen-nano peletler kullanılmıştır. Sayısal analizler, hava ve soğutucu nanoakışkan olarak, 1,3 ve 5 m/s'lik üç farklı hız ile su, MWCNT-su ve Grafen nanopelet-su olmak üzere üç farklı soğutucu akışkan kompozisyonları için gerçekleştirilmiştir. Ayrıca su ve nano akışkanlar kanatçıklı ve kanatçıksız serpantin konfigürasyonu için aynı deneysel koşullar altında sayısal olarak incelenmiştir. Analiz sonuçları ve hesaplamalara göre, MWCNT-su karışımı, tüm koşullarda diğer soğutuculardan daha iyi soğutma performansı sağladığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: PV/T sistemler, Nanoakışkan, Zorlanmış Hava, PV/T Verimliliği, Ekserji.

SUMMARY

PV/T systems are systems that convert solar energy into electricity and heat energy. These systems have gained widespread popularity worldwide in recent years. While solar panels typically operate with low efficiency, the conversion efficiency of solar energy to electrical energy decreases as the panel temperature rises. PV/T systems have been analyzed in order to improve the thermal efficiency in addition to increasing the electrical efficiency in solar panels. The system was modeled using the ANSYS-Fluent program for numerical analysis. Cooling is necessary in PV/T systems to maintain conversion efficiency as the temperature increases, water is commonly used for this purpose. In this study, the impact of forced air, water, and nanofluid coolants on the performance of PV/T systems was numerically focused on and the results were compared. Changes in system performance have been observed by using various air velocities, nanofluid flow rates, and nanofluid compositions in the analysis. During this study, the temperature and pressure variations resulting from the analysis were taken into consideration. The study employed water as the base fluid and included multi-walled carbon nanotubes (MWCNT) and graphene-nano pellets with a weight concentration of 0.5% as nanofluids. Numerical analyzes were conducted for three various coolant compositions such as water, MWCNT-water and Graphene nanopellet-water, with three different velocities of 1, 3 and 5 m/s, as air and coolant nanofluid. Additionally, water and nanofluids were numerically analyzed for both finned and unfinned serpentine configurations under the same experimental conditions. According to the analysis results and calculations, it was observed that the MWCNT-water mixture provides better cooling performance than other coolants in all conditions.

Key Words: PV/T systems, Nanofluid, Forced Air, PV/T Efficiency, Exergy.

TEŞEKKÜR

Başta, yüksek lisans eğitimimde ve akademik hayatımda desteğini ve yardımlarını hep yanımda gördüğüm, derin bilgi ve tecrübeleri ile benim bu çalışmayı yapmamda çok büyük emeği olan danışmanım Prof. Dr. Süleyman KARSLI'ya,

Çalışmam süresince varlığını hep yanımda hissettiğim, değerli tecrübelerini ve bilgilerini benimle paylaşan ve bu süreçte bana sonsuz destek gösteren sevgili eşim Sümeyye DEREÇİ SEFER'e en derin teşekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
TABLolar DİZİNİ	xvi
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği	4
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	6
2.1. PV/T Kolektörlerine Genel Bakış	10
2.2. PV/T Kolektörlerinin Sınıflandırılması	11
2.3. Sıcaklık Aralığına Göre PV/T Uygulamaları	13
2.4. Nanoakışkanların PV/T Sistemlerde Soğutucu Akışkan Olarak Kullanılması	13
2.4.1. Performans İyileştirilmesi İçin Düz PV/T Sistemlerinde Nano Akışkanların Kullanılması	14
3. HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ (HAD) YÖNTEMİ	18
3.1. HAD Yöntemine Genel Bakış ve Korunum Denklemleri	18
3.1.1. HAD Yönteminin Uygulanması	21
3.2. Türbülans Modelleri	22
4. PV/T SİSTEMİNİN SAYISAL ANALİZ YÖNTEMİ İLE ISIL PERFORMANSLARININ BELİRLENMESİ	25
4.1. PV/T Modülleri İçin Enerji Dengesi	26
4.2. Birinci Kanun Verimi (Enerji Verimi)	28
4.3. İkinci Kanun Verimi (Ekserji Verimi)	29

4.4. Sistem Modellemesi	30
4.5. Ağ Yapısının Oluşturulması	32
4.6. Fizik Modeli Seçimi	34
4.7. HAD Analizi Sonuçları	35
4.7.1. Çalışma Akışkanı Akışı Olmayan Sistem Sonuçları	35
4.7.2. Düz Serpantinli Akış Modeli Sonuçları	38
4.7.2.1. 200 W/m ² için Sonuçlar	38
4.7.2.2. 400 W/m ² için Sonuçlar	43
4.7.2.3. 600 W/m ² için Sonuçlar	48
4.7.2.4. 800 W/m ² için Sonuçlar	53
4.7.2.5. 1000 W/m ² için Sonuçlar	58
4.7.3. Kanatçıklı Serpantinli Akış Modeli Sonuçları	63
4.7.3.1. 200 W/m ² için Sonuçlar	63
4.7.3.2. 400 W/m ² için Sonuçlar	68
4.7.3.3. 600 W/m ² için Sonuçlar	73
4.7.3.4. 800 W/m ² için Sonuçlar	78
4.7.3.5. 1000 W/m ² için Sonuçlar	83
4.7.4. Karşılaştırma	88
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	99
 KAYNAKLAR	 100
ÖZGEÇMİŞ	104
EKLER	105

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler ve Açıklamalar

Kısaltmalar

CPV	: Yoğunlaştırıcılı Fotovoltaik
<i>div</i>	: Diverjans
DNS	: Direkt Sayısal Simülasyon
<i>grad</i>	: Gradyan
HAD	: Hesaplama Akışkanlar Dinamiği
LES	: Large Eddy Simülasyon
MWCNT	: Çok Duvarlı Karbon Nanotüp
PV/T	: Fotovoltaik – Termal
RANS	: Reynolds Ortalamalı Navier-Stokes
RSM	: Reynolds Gerilim Modeli

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil No:</u>	<u>Sayfa</u>
1.1: GEPA (İl bazlı güneş enerjisi potansiyeli atlası).	1
1.2: Paralel borulu kanatçıksız serpantinli güneş kolektörü.	3
2.1: Genel PV/T sistem tasarımları.	11
2.2: Tipik bir sıvı soğutmalı kaplanmamış PV/T düz levha toplayıcının şematik diyagramı.	12
2.3: Tipik bir sıvı soğutmalı kapalı PV/T düz levha toplayıcının şematik görünüşü.	12
4.1: Serpantin ölçüleri.	31
4.2: Kanatçığın kesit görünümü.	31
4.3: Kanatçıklı serpantin izometrik görünümü.	32
4.4: Düz serpantin izometrik görünümü.	32
4.5: Ağ Türleri (Kırmızı-Tetrahedral, Yeşil-Polihedral, Mavi-Hekzahedral).	33
4.6: Ağ yapısı.	34
4.7: 200 W/ m ² 'de akış olmayan haldeki sıcaklık dağılımı.	35
4.8: 400 W/ m ² 'de akış olmayan haldeki sıcaklık dağılımı.	36
4.9: 600 W/ m ² 'de akış olmayan haldeki sıcaklık dağılımı.	36
4.10: 800 W/ m ² 'de akış olmayan haldeki sıcaklık dağılımı.	37
4.11: 1000 W/ m ² 'de akış olmayan haldeki sıcaklık dağılımı.	37
4.12: Çalışma sıvısının su, hızının 1 m/s olduğu sıcaklık dağılımı	38
4.13: Çalışma sıvısının grafen nanopelet/su, hızının 1 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	39
4.14: Çalışma sıvısının MWCNT/su, hızının 1 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	39
4.15: Çalışma sıvısının su, hızının 3 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	40
4.16: Çalışma sıvısının grafen nanopelet/su, hızının 3 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	40
4.17: Çalışma sıvısının MWCNT/su, hızının 3 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	41
4.18: Çalışma sıvısının su, hızının 5 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	41
4.19: Çalışma sıvısının grafen nanopelet/su, hızının 5 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	42

4.20:	Çalışma sıvısının MWCNT/su, hızının 5 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	42
4.21:	Çalışma sıvısının su, hızının 1 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	43
4.22:	Çalışma sıvısının grafen nanopelet/su, hızının 1 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	44
4.23:	Çalışma sıvısının MWCNT/su, hızının 1 m/s olduğu sıcaklık dağılımı	44
4.24:	Çalışma sıvısının su, hızının 3 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	45
4.25:	Çalışma sıvısının grafen nanopelet/su, hızının 3 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	45
4.26:	Çalışma sıvısının MWCNT/su, hızının 3 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	46
4.27:	Çalışma sıvısının su, hızının 5 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	46
4.28:	Çalışma sıvısının grafen nanopelet/su, hızının 5 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	47
4.29:	Çalışma sıvısının MWCNT/su, hızının 5 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	47
4.30:	Çalışma sıvısının su, hızının 1 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	48
4.31:	Çalışma sıvısının grafen nanopelet/su, hızının 1 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	49
4.32:	Çalışma sıvısının MWCNT/su, hızının 1 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	49
4.33:	Çalışma sıvısının su, hızının 3 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	50
4.34:	Çalışma sıvısının grafen nanopelet/su, hızının 3 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	50
4.35:	Çalışma sıvısının MWCNT/su, hızının 3 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	51
4.36:	Çalışma sıvısının su, hızının 5 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	51
4.37:	Çalışma sıvısının grafen nanopelet/su, hızının 5 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	52
4.38:	Çalışma sıvısının MWCNT/su, hızının 5 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	52
4.39:	Çalışma sıvısının su, hızının 1 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	53
4.40:	Çalışma sıvısının grafen nanopelet/su, hızının 1 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	54
4.41:	Çalışma sıvısının MWCNT/su, hızının 1 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	54
4.42:	Çalışma sıvısının su, hızının 3 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	55
4.43:	Çalışma sıvısının grafen nanopelet/su, hızının 3 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	55
4.44:	Çalışma sıvısının MWCNT/su, hızının 3 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	56

4.45:	Çalışma sıvısının su, hızının 5 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	56
4.46:	Çalışma sıvısının grafen nanopelet/su, hızının 5 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	57
4.47:	Çalışma sıvısının MWCNT/su, hızının 5 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	57
4.48:	Çalışma sıvısının su, hızının 1 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	58
4.49:	Çalışma sıvısının grafen nanopelet/su, hızının 1 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	59
4.50:	Çalışma sıvısının MWCNT/su, hızının 1 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	59
4.51:	Çalışma sıvısının su, hızının 3 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	60
4.52:	Çalışma sıvısının grafen nanopelet/su, hızının 3 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	60
4.53:	Çalışma sıvısının MWCNT/su, hızının 3 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	61
4.54:	Çalışma sıvısının su, hızının 5 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	61
4.55:	Çalışma sıvısının grafen nanopelet/su, hızının 5 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	62
4.56:	Çalışma sıvısının MWCNT/su, hızının 5 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	62
4.57:	Çalışma sıvısının su, hızının 1 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	63
4.58:	Çalışma sıvısının grafen nanopelet/su, hızının 1 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	64
4.59:	Çalışma sıvısının MWCNT/su, hızının 1 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	64
4.60:	Çalışma sıvısının su, hızının 3 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	65
4.61:	Çalışma sıvısının grafen nanopelet/su, hızının 3 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	65
4.62:	Çalışma sıvısının MWCNT/su, hızının 3 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	66
4.63:	Çalışma sıvısının su, hızının 5 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	66
4.64:	Çalışma sıvısının grafen nanopelet/su, hızının 5 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	67
4.65:	Çalışma sıvısının MWCNT/su, hızının 5 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	67
4.66:	Çalışma sıvısının su, hızının 1 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	68
4.67:	Çalışma sıvısının grafen nanopelet/su, hızının 1 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	69
4.68:	Çalışma sıvısının MWCNT/su, hızının 1 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	69
4.69:	Çalışma sıvısının su, hızının 3 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	70

4.70:	Çalışma sıvısının grafen nanopelet/su, hızının 3 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	70
4.71:	Çalışma sıvısının MWCNT/su, hızının 3 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	71
4.72:	Çalışma sıvısının su, hızının 5 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	71
4.73:	Çalışma sıvısının grafen nanopelet/su, hızının 5 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	72
4.74:	Çalışma sıvısının MWCNT/su, hızının 5 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	72
4.75:	Çalışma sıvısının su, hızının 1 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	73
4.76:	Çalışma sıvısının grafen nanopelet/su, hızının 1 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	74
4.77:	Çalışma sıvısının MWCNT/su, hızının 1 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	74
4.78:	Çalışma sıvısının su, hızının 3 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	75
4.79:	Çalışma sıvısının grafen nanopelet/su, hızının 3 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	75
4.80:	Çalışma sıvısının MWCNT/su, hızının 3 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	76
4.81:	Çalışma sıvısının su, hızının 5 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	76
4.82:	Çalışma sıvısının grafen nanopelet/su, hızının 5 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	77
4.83:	Çalışma sıvısının MWCNT/su, hızının 5 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	77
4.84:	Çalışma sıvısının su, hızının 1 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	78
4.85:	Çalışma sıvısının grafen nanopelet/su, hızının 1 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	79
4.86:	Çalışma sıvısının MWCNT/su, hızının 1 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	79
4.87:	Çalışma sıvısının su, hızının 3 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	80
4.88:	Çalışma sıvısının grafen nanopelet/su, hızının 3 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	80
4.89:	Çalışma sıvısının MWCNT/su, hızının 3 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	81
4.90:	Çalışma sıvısının su, hızının 5 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	81
4.91:	Çalışma sıvısının grafen nanopelet/su, hızının 5 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	82
4.92:	Çalışma sıvısının MWCNT/su, hızının 5 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	82
4.93:	Çalışma sıvısının su, hızının 1 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	83

4.94:	Çalışma sıvısının grafen nanopelet/su, hızının 1 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	84
4.95:	Çalışma sıvısının MWCNT/su, hızının 1 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	84
4.96:	Çalışma sıvısının su, hızının 3 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	85
4.97:	Çalışma sıvısının grafen nanopelet/su, hızının 3 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	85
4.98:	Çalışma sıvısının MWCNT/su, hızının 3 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	86
4.99:	Çalışma sıvısının su, hızının 5 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	86
4.100:	Çalışma sıvısının grafen nanopelet/su, hızının 5 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	87
4.101:	Çalışma sıvısının MWCNT/su, hızının 5 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.	87
4.102:	Düz serpantin için total termal verim tablosu.	88
4.103:	Kanatçıklı serpantin için total termal verim tablosu.	88
4.104:	1000W/m ² 'de termal verimlerin serpantin farkıyla karşılaştırıldığı grafik.	90
4.105:	Düz serpantin için Total ekserjetik verim tablosu.	91
4.106:	Kanatçıklı serpantin için Total ekserjetik verim tablosu.	91
4.107:	1000W/m ² 'de total ekserjetik verimlerin serpantin farkıyla karşılaştırıldığı grafik.	93
4.108:	800W/m ² 'de total ekserjetik verimlerin serpantin farkıyla karşılaştırıldığı grafik.	94
4.109:	600W/m ² 'de total ekserjetik verimlerin serpantin farkıyla karşılaştırıldığı grafik.	95
4.110:	400W/m ² 'de total ekserjetik verimlerin serpantin farkıyla karşılaştırıldığı grafik.	96
4.111:	200W/m ² 'de total ekserjetik verimlerin serpantin farkıyla karşılaştırıldığı grafik.	97

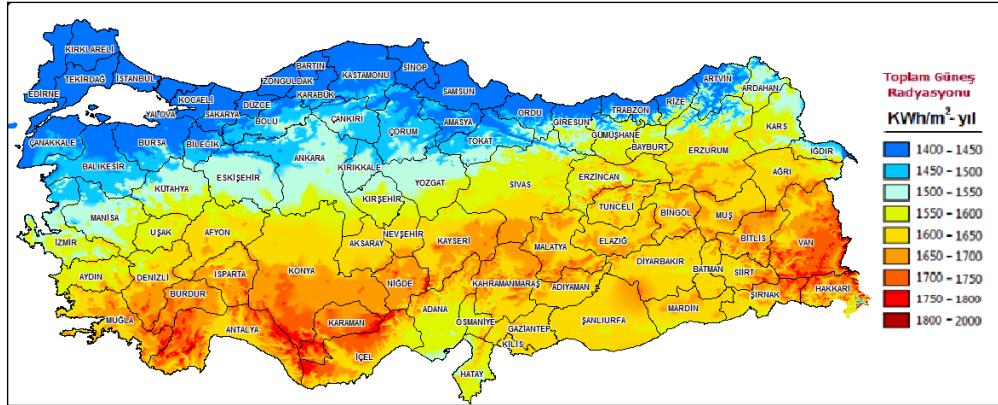
TABLolar DİZİNİ

<u>Tablo No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: Literatürde sık kullanılan bazı nano akışkanlar için elde edilen ısı transfer özellikleri özeti.	6
2.2: Düz PVT toplayıcılarda nano akışkan kullanımına ilişkin son performans iyileştirmeleri.	14
4.1: Kullanılan nanoparçacıkların ve suyun malzeme özellikleri.	34
4.2: Kullanılan nanoakışkanların ve suyun termal özellikleri.	35

1. GİRİŞ

Dünyada fosil yakıt kaynaklarının sınırlı olması ile birlikte yenilenebilir enerjinin önemi hızla artmaktadır. Sınırsız olan yenilenebilir enerji kaynakları sürdürülebilir kaynaklardır. Çevresel etkileri fosil yakıt kaynaklarına oranla çok daha azdır. Dolayısıyla ekonomik gerekçelerde hesaba katıldığında yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı son yıllarda hızlı bir artış trendi yakalamıştır.

En önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından biri güneş enerjisidir. Güneşten elde edilen enerji yenilenebilir enerjiler içerisinde en büyük ve temiz olanıdır. Yaklaşık 174.000 TW güneş radyasyonu, dünya atmosferinin üst seviyesi tarafından sürekli olarak alınmakta ve bir saat içinde dünyaya ulaşan güneş enerjisi, insanlığın yıllık enerji ihtiyacının tamamını karşılayabilecek kapasitede olduğu dikkatimize sunulmaktadır. Bulunan konum, hava durumu, zaman değişimi ve kullanılabilir alan gibi doğal ve beşeri faktörler, bu büyük miktarda ki enerjiden yararlanmak için tasarımlarda dikkate alınmalıdır. Güneş enerjisinden yararlanmak için verimli ve ekonomik teknolojilerin kullanımı, fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltabilir, artan enerji ihtiyaçlarını karşılayabilir ve yakın gelecek için duyulan iklim endişesini minimize edebilir [1].



Şekil 1.1: GEPA (İl bazlı güneş enerjisi potansiyeli atlası).

Türkiye'nin güneş potansiyeli oldukça yüksektir. Şekil 1.1'de Türkiye'de illerin güneş potansiyelini gösteren bir harita görülmektedir. Şekil 1.1'de görüldüğü gibi Türkiye genelinde, özellikle Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde yüksek bir güneş potansiyeli mevcuttur.

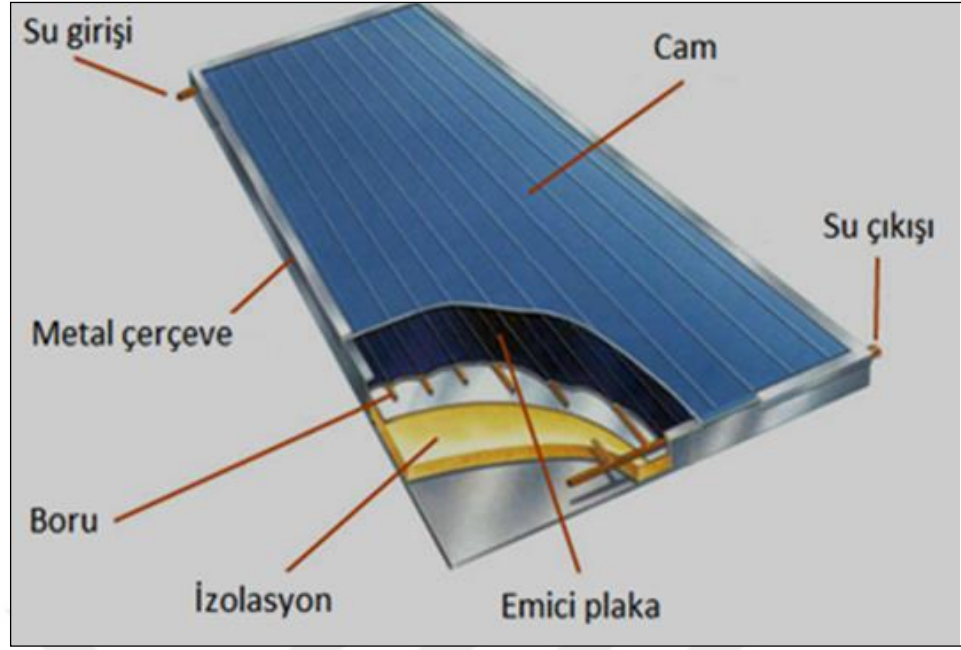
Güneş enerjili sistemler Türkiye’de gözle görülebilir derecede yaygın kullanım hızına erişmiş olup bu sistemlerin aynı zamanda mobiliteye ihtiyaç duymaması ve doğal kaynaktan beslenmesi en önemli avantajları olarak karşımıza çıkmaktadır. Güneş enerjili sistemlerin en büyük dezavantajlarından biri ise düşük verimle çalışmalarıdır. Bundan dolayı güneş enerjili sistemlerin termal verimlerinin artırılması üzerine birçok çalışma vardır.

Güneş sistemleri iki ana gruba ayrılabilir; PV fotovoltaiik sistemleri ve termal sistemler. Güneş enerjisini doğrudan elektriğe dönüştüren fotovoltaiik sistemler, güneş enerjisini ısıya dönüştüren termal sistemlerdir. Termal sistemler ise, ayrıca ısıtma amacıyla güneş enerjisini termal enerjiye dönüştüren sistemler ve elektrik üretmek için güneş enerjisini termal enerjiye dönüştüren sistemler olarak da kategorize edilebilmektedir. PV/T ile gösterilen fotovoltaiik termal hibrit sistemler ise üçüncü grubu oluşturmaktadır [1].

Aslında PV/T sistemi, tek bir sistemden ısı ve elektrik üretmek için termal dönüştürme teknolojisi ile güneş enerjisinin elektrik dönüşüm teknolojisinin bir kombinasyonudur. Güneş kolektörleri gibi ısıtma amaçlı kullanılan güneş enerjisi sistemleri genellikle bir bina veya tesisin ısıtma ihtiyacına kısmen veya tamamen katkıda bulunmayı amaçlayan küçük ölçekli sistemlerdir.

Şekil 1.2’de görüldüğü gibi güneş kolektörlerinin temel çalışma prensibi, gelen güneş ışınlarını soğurarak ısı enerjisine dönüştürmek ve oluşan enerjiyi bir soğurucu aracılığıyla sirküle edilen aracı akışkana transfer etmektir. Dolaşan soğutucu akışkana transfer edilen ısı değişik proseslerde kullanılmaktadır. Güneş enerjisini ısı enerjisine dönüştüren ve daha sonra bu ısı enerjisini buhar türbinleri-jeneratör sistemleri yardımıyla elektrik üretiminde kullanan genellikle büyük ölçekli sistemlerde endüstride kullanılmaktadır.

Güneş enerjisinden yararlanmak amacıyla geliştirilen fotovoltaiik modüller güneş enerjisini doğrudan elektriğe dönüştürülebilirler. Fotovoltaiik modül, bir muhafaza içinde birbirine elektriksel olarak bağlı ve entegre edilmiş bir dizi güneş pilinden oluşmaktadır. Bu tarz modern güneş pilleri yarı iletkenlerden yapılmıştır ve foto voltaik etki ile güneş enerjisini direkt elektriğe dönüştüren sistemlerdir. Fotovoltaiik modülün arkasına ısı eşanjörü monte edilerek, güneş enerjisi aynı anda elektrik ve termal enerjilere dönüştürülebilir.



Şekil 1.2: Paralel borulu kanatçıksız serpantinli güneş kolektörü.

PV/T sistemlerinde termal verimi etkileyen birçok parametre vardır. Kolektör verimini etkileyen parametreler içerisinde PV malzeme türü, cam örtü kalınlığı, soğutucu akışkan türü, soğutucu akışkan debisi, boru çapı, boru malzemesi ve yalıtım malzemesi olarak sıralanabilir.

Su ucuz olması nedeniyle, güneş kolektörlerinde soğutucu akışkan olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Fakat su ısıl iletkenlik bakımından nano akışkanlara göre daha düşüktür. Bundan dolayı termal verimliliği etkileyen önemli parametrelerden birisi aracı akışkan kompozisyonudur. Nano teknolojinin ilerlemesiyle aracı akışkanın ısıl iletkenliğinin artırıldığı yeni aracı akışkan kompozisyonları geliştirilmiştir. 1 ve 100 nm arasında metaller karıştırılarak elde edilen bu akışkanlara nano akışkan denmektedir. Farklı metaller içeren nano akışkanların termal özellikleri ile ilgili birçok araştırma ve çalışma yapılmış ve PV/T sistemlerinde farklı nano akışkanlar kullanılmıştır. Nano akışkan kullanılarak yapılan deneysel ve sayısal çalışmalarda her bir nano akışkan türü için farklı miktarlarda verim artışları gözlemlenmiştir.

Bu çalışmada PV/T sistemlerin ısıl performanslarının iyileştirilerek termal verimlerinin artırılması hedeflenmiştir. Çalışmada soğutucu akışkan olarak üç farklı türde aracı akışkan, PV/T sistemlerinin termal verimlerinin artırılması amacıyla kullanılmıştır. Yapılan analizler sonucunda her bir akışkan kompozisyonunun sistem performansına olan etkileri incelenmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği

Tasarlanan değişik PV/T sistemlerinde yapılan deneysel çalışmalar ile sistemlerin enerji performansları incelenmiş ve bu tarz sistemlerin optimum çalışma koşulları ortaya çıkarılmıştır. Böylece PV/T sistemlerinin az maliyetli etkin bir çözüm koşulları araştırmacıların dikkatine sunulmuştur. PV/T sistemlerinde güneş ışınlarından ve ortam sıcaklığından kaynaklanan aşırı ısınmanın termal verimi düşürdüğü literatürde ve deneysel çalışmalarda görülmüştür. Bundan dolayı PV/T sistemlerinin soğutulması sistem termal veriminin artırılmasını sağlamaktadır.

Isı transfer geçişlerinde verimlilik, büyük ölçüde aracı akışkanın termal özelliklerine bağlıdır. Klasik çalışma akışkanlarının, halen araştırma ve inceleme aşamasında olan ve daha iyi termal özelliklere sahip yeni aracı akışkanlarla değiştirilmesi, faydalı ısı kazancını artırarak, toplam verimliliği iyileştirmekte ve PV/T sistemlerinin maliyetini azaltmaktadır. Bu amaçla literatürde yüksek ısı taşınım kabiliyeti olan nano akışkanların kullanımı gittikçe yaygınlaşmaktadır [2].

Literatüre baktığımızda soğutucu akışkan olarak su veya havaya ilaveten aracı akışkan olarak birçok nano akışkanın kullanıldığını ve bu nano akışkanların sistemin performansında olumlu iyileştirmeler sağladığı anlaşılmıştır. Bu çalışmada ise, literatürde önceden yapılan çalışmalara ilaveten nano akışkanın yanı sıra zorlanmış hava akımı da kullanılmıştır. Buna ek olarak, aracı akışkanın geçtiği borulu serpantine, ısı transfer yüzey alanını arttırmak için zorlanmış hava tarafına akış yönüne paralel kanatçıklar serpantin dış yüzeyine eklenmiştir. Yapılan sayısal analiz sonucunda PV/T sistemlerinin enerji performanslarında sağlanan iyileştirmeler klasik akışkanlarla mukayese edilmiştir.

Bu çalışmada, aracı akışkan olarak grafen nano pelet-su ve çok duvarlı karbon nano tüpler MWCNT-su nano akışkanları kullanılmış, PV/T'nin termal verimi üzerindeki etkileri sayısal analiz yardımıyla ortaya çıkarılmıştır. Bu amaçla, önce bir PV/T sistemi modellemesi SOLIDWORKS modelleme programı kullanılarak yapılmıştır. Modelde kanatçıklı ve kanatçıksız serpantin olmak üzere iki farklı serpantin konfigürasyonu tasarlanmıştır. Kanatçıklar, aracı akışkan serpantininin dış çeperine yarım ay şeklinde montelenmiştir. Buradaki amaç ısı transfer yüzeyini artırıp sistemden daha çok enerji çekebilmek ve bu iki geometrideki sonuçları karşılaştırmaktır.

Oluşturulan model ANSYS Workbench'te içe aktarılıp FLUENT modülü kullanılarak istenilen sayısal analizleri ve karşılaştırmaları yapabilecek bir model kurulmuştur. Bu iki farklı geometri; 1 m/s, 3 m/s ve 5 m/s olmak üzere üç farklı soğutucu akışkan hızı; şebeke suyu, kütlece % 0,5 derişiklikte MWCNT-su karışımı ve kütlece % 0,5 derişiklikte Grafen nano pelet-su karışımı olmak üzere üç çeşit aracı akışkan türü; günün farklı zamanlarını simüle eden 200 W/m², 400 W/m², 600 W/m², 800 W/m² ve 1000 W/m² olmak üzere beş farklı solar radyasyon akısı değerleri kullanılarak toplam 100 farklı deney yapılmış ve deneylerden elde edilen kontürler ile grafiksel sonuçlar irdelenerek karşılaştırılmıştır.

Bu tezin literatüre katkısı, iki farklı soğutma yöntemi birleştirilerek sistemi hibrit hale getirmek ve bunun sayısal analizini gerçekleştirmektir. Bu iki farklı yöntemi birleştirirken serpentine kanatçık geometrisi eklenerek dış yüzey kanatçıklı geometrik tasarımın sistem performansına olan etkileri analiz edilmiştir.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, PV/T sistemlerinin ısııl etkinliğinin klasik sistemlere göre iyileştirilmesi amacına uygun olarak araştırmacılara faydalı yeni bulgular sağlayacaktır. PV/T sistemlerinin verimini etkileyen etkin faktörler saptanarak kullanılan teorik modelin bu tarz modern sistemlerin enerji ve ekserji açısından hassas sonuçlara ulaşılmasında yardımcı olacağı açıktır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

F.A. Sachit ve arkadaşları [2], güneş enerjisi sistemlerinde, özellikle fotovoltaiik termal PV/T sistemlerde kullanılan nano akışkanlar hakkındaki çalışmaları gözden geçirmişlerdir. Bu çalışmalara göre nano akışkanların yüksek termo fiziksel özellikleri göz önüne alındığında, araştırmacılar nano akışkanların PV/T sistemlerinde aracı akışkan olarak kullanılmasının aşağıdaki avantajları sağlayabileceğini kanıtlamışlardır:

- Sistemin termal kısmından yüksek sıcaklıklı akışkan çıkışı
- Sistem performansının iyileştirilmesi
- Artan sistem performansı nedeniyle daha küçük yüzeyli PV/T sistem yüzey alanına gereksinim duyulması [2].

Aynı çalışmada, farklı nano akışkan türlerinin, PV/T performansında sağladığı iyileştirmeler paylaşılmıştır. Literatürde benzer amaçlı farklı nano akışkan kompozisyonlarıyla yapılan çalışmalar ve sonuçları Tablo 2.1’de gösterilmiştir.

Tablo 2.1: Literatürde sık kullanılan bazı nano akışkanlar için elde edilen ısı transfer özellikleri özeti.

Nanoakışkan/baz akışkan çeşidi	Kütlece Derişiklik %	Isı transfer artışı %	Akış türü
Cu/Su	2	60	Laminer
Cu/Su	2	60	Türbülanslı
Al ₂ O ₃ / Su	1,6	41	Laminer
Grafite/Su	2	22	Laminer
TNT/Su	2,5	13,5	Laminer
ZrO ₂ /Su	1,32	3	Laminer
Al ₂ O ₃ / Su	6	27	Laminer
Al ₂ O ₃ / Su	0,3	8	Laminer
CuO/EG-Su	6	35	Türbülanslı
MWCNT/Su	0,12	25	Laminer
TiO ₂ /Su	2	26	Türbülanslı
TiO ₂ /Su	1	14	Türbülanslı
Al ₂ O ₃ -Cu/Su	0,1	13,56	Laminer
MWCNT/Su	0,45	159,3	Türbülanslı
MWCNT/Su	0,5	47	Türbülanslı

A. Fudholi ve arkadaşları [3], PV/T sistemlerinde kullanılan nano akışkanları incelemişlerdir. Nano akışkanların bu tarz sistemlerde kullanımı ile sistemin termal özelliklerinin tespitinde önemli bir parametre olduğunu ve diğer klasik aracı akışkanlarla karşılaştırıldığında üstün termal özellikleri nedeniyle nano akışkanların yeni nesil ısı transfer sıvıları olarak kullanılabileceğini göz önüne sermişlerdir.

M.H. Esfe ve arkadaşları [4], nano akışkanları kullanan PV/T sistemini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda PV/T sisteminin elektrik verimi, su püskürtmeli soğutma, reflektörlü ve bakır kanatlı borulardan su akışı, ıslak emici ve optimize edilmiş difüzördeki hava akışı için sırasıyla, %2, %6, %10, %15 ve %20 artırılarak yükseltildiğini gözlemlemişlerdir. Nano parçacıkların artan parçacık çapıyla beraber, türbülanslı akış için enerji ve ekserji verimi artarken, laminar akış için sistemin enerji ve ekserji verimlerinin azaldığını tespit etmişlerdir.

Y. Tong ve arkadaşları [5], MWCNT nano akışkanlarının su ile birlikte kullanıldığı kapalı tip vakum tipi güneş kolektörlerinin performansı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Nano akışkan, iki aşamalı yöntem kullanılarak hazırlanmıştır. Sistemin verimliliği, %0,06 ila %0,24 konsantrasyon hacmi ve 0,01 kg/s kütle debisi için test edilmiştir. Teorik ve deneysel sonuçlar, ısı transfer katsayısının hacimce %0,24'te nano akışkan kullanılmasıyla yaklaşık %8 artırıldığını ortaya koymuştur.

H.A.M. Alsalame ve arkadaşları [6], nano akışkan kullanan bir PV/T sisteminin performansını araştırmışlardır. Bu çalışmada nano akışkan kullanan bir PV/T sisteminin performans analizinde, aracı akışkan olarak su, CuO-su ve Al₂O₃-su nano akışkanları kullanılmıştır. Test edilen ortamlar arasında, CuO-su nano akışkan kullanan PV/T sisteminin toplam verimliliği ve enerji depolama verimliliği sırasıyla %51,22 ve %72,58 olarak gözlemlenmiş ve bu sonuç Al₂O₃-su nano akışkanı için elde edilen değerden daha yüksek olduğu anlaşılmıştır.

I.A. Qeays ve arkadaşları [7], sistem performansını iyileştirmek amacıyla bir hibrit PV/T sisteminde nano akışkanların kullanılması üzerine çalışmalar yapmışlardır. Nano akışkanın aracı akışkan olarak ısı transfer etkinliği, düşük debilerde daha yüksek değerler sağladığını ortaya koymuşlardır. Bunun yanı sıra nano akışkan boyutunun PV/T sistem verimliliği üzerindeki etkisi ihmal edilebilir düzeyde olduğunu beyan etmişlerdir. Ayrıca, çok duvarlı karbon nano tüp olan MWCNT'ler, hibrit nano akışkan ve grafen gibi karbon bazlı yeni nesil nano akışkanlar henüz araştırılmamış, bu yeni

nano akışkanlar, PV/T performansını daha da iyileştirebilir potansiyele sahip olduğunu öngörmüşlerdir.

A. Farzanehnia ve arkadaşları [8], nano akışkanların kullanıldığı PV/T sistemlerinde ekserji analizi yapılmış ve ekserji verimliliğinin genellikle %10-14 aralığında değiştiğini tespit etmişlerdir. Artan akış debisiyle beraber türbülanslı akış rejiminde sistemin ekserji veriminin arttığı gözlemlenmiştir. Aynı çalışmada nano akışkanların PV/T sistem verimini iyileştirmesine karşın, topaklanma, gerekli pompalama gücü ve boru iç yüzey aşınımı gibi olumsuzlukları da vurgulamışlardır.

J.H. Lee ve arkadaşları [9], düz plakalı PV/T sistemlerinin verimliliğini artırmak için bir çalışma yapmışlardır. Çalışma sıvısı olarak değişik debilerde su kullanılmıştır. PV/T sisteminin performansını etkileyen akış debisi 1, 2 ve 4 L/dk için karşılaştırıldığında, en yüksek verimin 3 L/dk'da elde edildiğini gözlemlemişlerdir. Ayrıca, nano akışkanlar CuO/su, Al₂O₃/su ve su için PV/T sistem verimliliğindeki etkileri ayrı ayrı incelenmiştir. Sonuçlar, nano akışkan olarak CuO/su kullanan PV/T sisteminin termal ve elektriksel verimlerinin, su kaynaklı sisteme nispeten sırasıyla %21,30 ve %0,07 oranında arttığı gözlemlenmiştir. Aracı akışkan olarak Al₂O₃/su kullanan PV/T sisteminin ısı verimi %15,14 oranında iyileştirirken, su ile Al₂O₃/su kaynaklı sistemler arasında elektrik verimliliğinde önemli bir farkın olmadığı anlaşılmıştır. Ayrıca nano akışkan tabanlı bir PV/T sisteminin etkinliği 3 L/dk'lık bir optimum akış değerine göre analiz etmişlerdir.

S.D. Prasetyo ve arkadaşları [10], PV/T sistemlerinde, nano akışkan kullanımının verimliliğe etkisini sayısal analiz yöntemiyle simüle etmişlerdir. Bu inceleme sonucunda aracı akışkan olarak nano akışkanların kullanılmasıyla PV/T sistem verimliliğinin arttığı kanıtlanmıştır. Elde edilen simülasyon sonuçlarına göre, küçük bir aralıkta sistem üzerinde daha düzgün bir yüzey sıcaklık dağılımı elde edildiği gözlemlenmiştir. SiO₂ nano akışkanı ile, %11,63 ile en iyi elektriksel verimlilik ve %14,31 ile en yüksek termal verimlilik sağlanmıştır. Sıcaklık değişimlerindeki bağıl fark ve üretilen elektrik verimliliğindeki kazançlar sırasıyla %19,39 ve %50,75 olarak hesaplanmıştır.

A.W. Saleh ve arkadaşları [11], PV/T sistemlerde nano akışkan kullanımının performans artırıcı etkisini incelemişlerdir. Yapılan tüm çalışmalar, nano akışkanların kullanılmasıyla elektriksel ve termal verimlerin iyileştiğini kanıtlamıştır. Düşük Reynolds sayılarında artan elektriksel verim, PV/T sistemini etkileyen en önemli parametrelerden biri olarak kabul edilen nano partikülün hacim fraksiyonu ve Ag/su

ile Cu/su nano akışkanları, PV/T'nin toplam verimliliğini daha fazla artırdığı anlaşılmıştır.

S. Gundala ve arkadaşları [12], nano akışkanlar ile PV/T kolektör üzerine deneysel bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada ağırlıkça %0,05'lik bir konsantrasyonda su ve su bazlı tamamen grafen nano pelet kullanımının PV/T yapılarının performansı üzerindeki etkilerini görmek amacıyla sırasıyla 0,5 L/dk ve 1,0 L/dk akış debilerinde testler gerçekleştirilmiştir. Grafen nano peletlerin sistem performansında suya göre daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir. PV/T sistemine su dahil edilmesi, ortalama günlük elektrik verimliliğini 0,5 L/dk ve 1,0 L/dk akış debilerinde sırasıyla %7,8 ve %8,5 artırdığı anlaşılmıştır. Ayrıca, PV/T sisteminde su kullanılması, ortalama günlük termal verimi 0,5 L/dk ve 1,0 L/dk'lık akış debileri için sırasıyla %24,9 ve %26,3 artırdığı görülmüştür.

Y. Menni ve arkadaşları [13], PV/T sistemlerde nano akışkan kullanımının avantajlarını numerik çalışmalar ile incelemişlerdir, inceledikleri çeşitli katı hacim oranları için ısı transfer akışkanları olarak, Cu, Au, Al₂O₃, SiO₂, TiO₂, CuO, vb. nano boyutlu metalik veya metalik olmayan akışkan partikülleri kullanılmıştır. Partiküllerin ortalama boyutu 100 nm'den azdır. Düşük parçacık konsantrasyonunda bile nano partiküllerin daha yüksek termal özellikler sağladığı tespit edilmiştir. Nano partikül boyutunun, tipinin ve şeklinin, akışın termal iletkenlik özelliklerini iyileştirdiğini göz önüne sermişlerdir.

M. Alktranee ve arkadaşları [14], nano akışkanların hibrit PV/T sistemlerinde kullanımıyla sistem verimliliğinin artırılmasında klasik akışkanlara iyi birer alternatif olabileceğini öngörmüşlerdir. Nano partiküllerin belirli konsantrasyonlarında, PV/T sisteminin elektriksel verimliliğinin önemli oranda arttığı görülmüştür.

S.R. Abdallah ve arkadaşları [15], PV/T sistemlerinde aracı akışkan olarak nano akışkan kullanılmasına ilişkin deneysel çalışmaları incelemişlerdir. Bu çalışmada, aracı akışkan olarak su bazlı çok duvarlı karbon nano tüp olan MWCNT kullanılmış ve PV/T sisteminin performansının tespiti için deneysel çalışmalar yapılmıştır. Akış debisi 1,2 L/dk olarak sabitlenirken değişen nano akışkan %0,1-%0,3 hacim konsantrasyon aralığında incelenmiştir. Deneysel sonuçları analiz ederek, temel sıvıya nano parçacıkları eklenmesiyle termal özelliklerde önemli bir artış sağlandığı ve PV/T sistem veriminin arttığı gözlemlenmiştir. En yüksek sistem verimlilikleri, su bazlı nanoakışkan olan MWCNT'lerin %0,075 kütleli konsantrasyonunda sağlanmıştır.

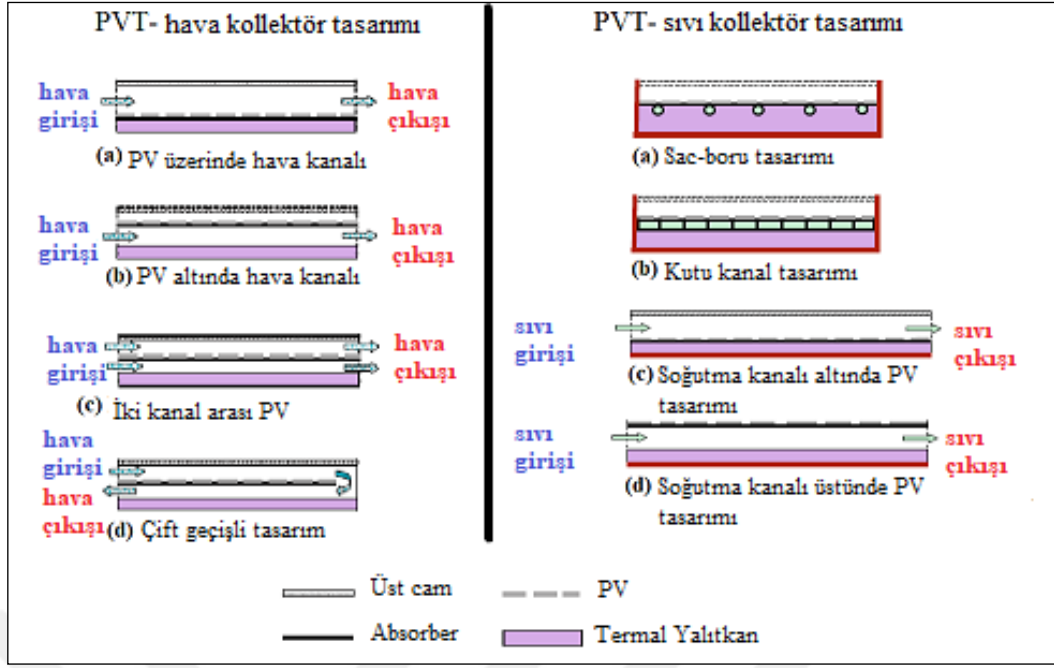
A.N. Özakin ve arkadaşları [16], hava kaynaklı PV/T sisteminin enerji ve ekserji analizlerini incelemişlerdir. Bu çalışmada boş, sık ve seyrek kanatçık konfigürasyonları için deneyler yapılmıştır. Boş duruma göre seyrek ve sık kanat kullanılması ile, polikristal ve monokristal PV/T'lerin ekserji verimlerinin sırasıyla %70 ve %30 oranında arttığı, termal verimlerinin ise, sırasıyla %55 ve %70 oranında arttığı anlaşılmıştır. Tüm konfigürasyonlar için PV/T yüzey sıcaklığının yaklaşık olarak 10 ile 15 °C arasında düştüğü gözlemlenmiştir.

2.1. PV/T Kolektörlerine Genel Bakış

Fosil yakıtların aşırı kullanılmasından kaynaklanan kirlilik sorunlarını çözmek, doğal kaynaklara yönelmek ve artan temiz enerji talebini karşılamak için güneş enerjisini toplamak ve verimli bir şekilde kullanmak en umut verici çözümlerden biridir [17]. Güneş enerjisini kullanma teknolojilerinden biri de PV hücreleri veya güneş pilleridir. Güneş pilleri, güneş radyasyonunun küçük bir kısmını elektrik enerjisine dönüştürürken, güneş radyasyonunun büyük bir kısmı termal enerjiye dönüştürülür. Elektrik ve ısı aynı sistem kullanılarak birlikte üretildiğinde, termal (T) veya fotovoltaik (PV) ile karşılaştırıldığında daha yüksek bir genel verimliliğe sahiptir.

PV panellerin elektriksel verimleri, çevre koşullarına ve güneş pili tipine göre %4-17 aralığındadır. Bu, gelen güneş radyasyonunun %50'den fazlasının enerji kaybı olarak ısıya dönüştüğü anlamına gelir. PV paneller tarafından üretilen ısı, hücre sıcaklığında ortam sıcaklığının 50 °C üzerinde bir artışa ve bu da elektrik verimliliğinin azalmasına neden olmakta, aynı zamanda PV panellerine zarar veren termal gerilmeler oluşturduğu bilinmektedir [18].

Güneş pilleri hava veya su gibi değişik aracı akışkanlar ile soğutularak elektrik verimi iyileştirilebilir. Buna ilaveten süreçte ortaya çıkan olarak ısı enerjisinin yeniden kullanılması düşüncesi sistemin toplam etkinliğinde olumlu katkılar sağlayacaktır. Sonuçta, panelin birim alanı başına enerji verimi de iyileşmiş olacaktır. Bunlar, PV/T hibrit güneş enerjisi teknolojisinin gelişmesine yol açan ayrıntılardır. Şekil 2.1'de PV/T kolektörlerinde PV hücrelerini soğutmak için çeşitli hava veya sıvı aracı akışkanlı ısı geçiş yüzey konfigürasyonları gösterilmiştir.



Şekil 2.1: Genel PV/T sistem tasarımları.

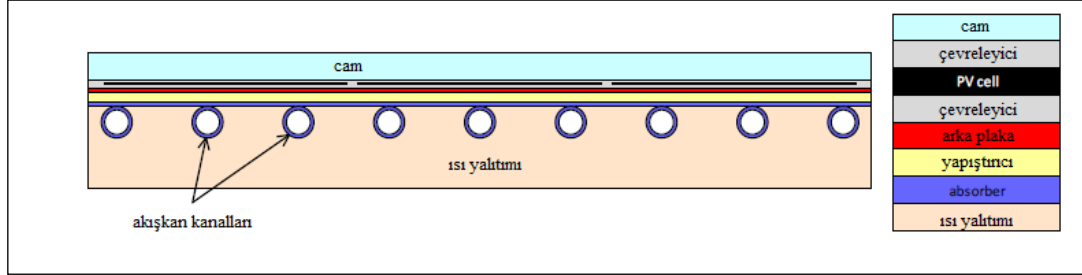
Düz PV/T kolektörün soğutma sıvısı çıkış sıcaklığı sadece 40-50 °C aralığında olduğundan, kullanım sıcak suyu uygulamaları için uygundur. Düz PV/T kolektörlerde, yüksek sıcaklık uygulamaları için daha yüksek termal enerji sağlanması zordur [19]. Bu da düz PV/T sistemleri için uygulama aralığını sınırlar [20]. PV/T'li güneş panellerinin kullanılması, pahalı olan PV alanını minimize ederek sistem maliyetini ve amortisman süresini azaltır. Konsantre fotovoltaik sistem olan CPV'ler, düz tip olanlardan daha yüksek verimliliği PV modül sıcaklığı minimum iken elde edilebilir [21].

2.2. PV/T Kolektörlerinin Sınıflandırılması

Burada, fotovoltaik termal toplayıcılar çeşitli tasarımlarda sınıflandırılabilir:

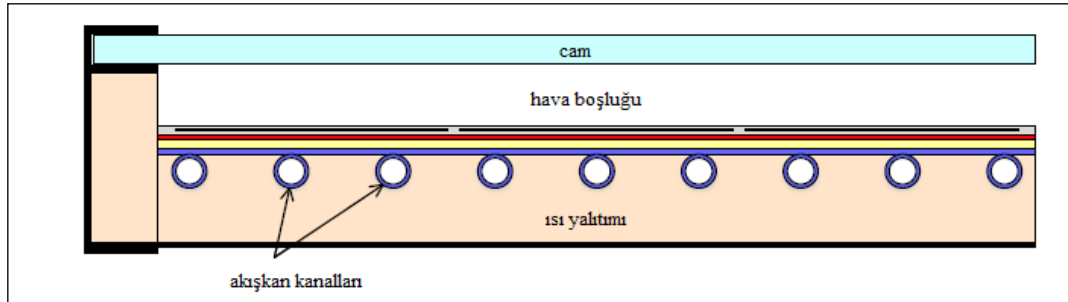
- Sıvı soğutmalı kapalı düz levha PV/T kolektörler.
- Sıvı soğutmalı açık düz levha PV/T kolektörler.
- Hava Soğutmalı düz plakalı PV/T kolektörler.

Şekil 2.2'de gösterildiği gibi, ön cam ile arka folyo arasına fotovoltaik hücreler yerleştirilerek tasarlanmıştır ve ünitenin arkasına bir soğutucu ile doldurulmuş metal veya plastik bir ısı emici monte edilmiştir. Bu tasarım en yaygın tasarımlardan biridir.



Şekil 2.2: Tipik bir sıvı soğutmalı kaplanmamış PV/T düz levha toplayıcının şematik diyagramı.

Bu tasarım daha çok bir termal güneş kolektörüne benzemektedir. Emici bir spektral kaplama yerine fotovoltaikler kullanılmıştır. Güneş pilleri ve bir ısı emici kombinasyonu, Şekil 2.3'te gösterildiği gibi bir cam tabakası, hava cepleri, ısı emici, ısı eşanjörü ve yalıtıktan oluşmakta, birinci tip ile büyük bir benzerliğe sahip olduğu görülmektedir. Bu toplayıcı, ısı yükünü azaltan ve yararlı yüksek sıcaklık seviyeleri sağlayabilen şeffaf/yarı saydam bir kapakla donatılmıştır. Bu nedenle daha fazla uygulama alanı vardır.



Şekil 2.2: Tipik bir sıvı soğutmalı kapalı PV/T düz levha toplayıcının şematik görünüşü.

Bu tasarımda soğutma sıvısı yerine hava kullanılmaktadır. Başlangıçta bu tarz tasarımlar güneş ışığını almak ve onu sıcak su ile elektrik enerjisine dönüştürmek için tasarlanmıştır. Bu tasarım, toplayıcıdan havaya termal enerji transferi gerçekleştirir. Avantajlarından biri de sıvılardan farklı olarak yüksek basınçlı buharı olmaması ve ısısının ısıtma/soğutma amaçlı olarak da kullanılabilmesidir. Uygun maliyetlidir ve düşük sıcaklıklarda çalışmasına rağmen termal verimlilik yüksektir.

2.3. Sıcaklık Aralığına Göre PV/T Uygulamaları

PV/T ve güneş-termal sistem uygulamaları sıcaklıkla doğrudan ilişkilidir ve sıcaklık limitlerine göre aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır [22].

- Düşük sıcaklıktaki uygulamalar (50 °C'ye kadar).
- Orta sıcaklıktaki uygulamalar (80 °C'ye kadar).
- Yüksek sıcaklıktaki uygulamalar (80 °C'nin üzerinde).

Düşük sıcaklık gerektiren uygulamalar normalde ısı pompaları, kaplıcaların ve yüzme havuzlarındaki 50°C'ye kadar olan ısıtma sistemleridir. Isı pompalarında, PV/T kolektörler ya bir ısı pompası evaporatörünü ısıtan düşük sıcaklıklı bir kaynak olarak hareket eder ya da bir orta sıcaklık sağlayarak yük tarafındaki bir depolama tankını ısıtır. Açık tip PV/T sistemlerinin kullanılması, bir ısı pompası aracılığıyla havadan suya daha iyi ısı alışverişi ile mümkündür [23].

2.4. Nanoakışkanların PV/T Sistemlerde Soğutucu Akışkan Olarak Kullanılması

Nanoakışkan, baz sıvıda asılı duran ortalama boyutları 1.0 – 100 nm olan katı nanopartiküller veya nanolifler içeren bir baz sıvı karışımıdır. Araştırmalar, nano akışkanların baz sıvılara göre önemli ölçüde daha yüksek termal iletkenliğe sahip olduğunu ortaya çıkarmıştır [24]. Ayrıca, nano akışkanlar güneş enerjili sistemlerde çalışma akışkanı olarak ve spektrum ayırıcı filtreler olarak kullanılabilir. Foto termal üniteye uygun bir nano akışkan kullanılırsa, bu teknik 150-300°C sıcaklıklara ulaşabilir [19]. Nano akışkanların en önemli kriteri çökmeyi önlemek için aglomerat içermemeleri ve baz sıvıda herhangi bir kimyasal değişiklik olmadan uzun süre stabil kalabilmeleridir [24].

Nano akışkanları elde etmenin iki temel yöntemi vardır [24]:

- Tek adımlı doğrudan buharlaştırma yöntemi: Bu yöntemde, kararlı nano akışkanlar üretmek için baz sıvıdaki nano parçacık malzemelerin doğrudan buharlaşması ve yoğunlaşması elde edilir.
- İki adımlı yöntem: Bu yöntemde önce farklı yöntemlerle nano parçacıklar elde edilir ve daha sonra baz sıvıya dağıtılır.

Son zamanlarda nano akışkanların ısı mühendisliği uygulamalarında kullanımı oldukça ilgi çekmektedir. Bunun nedeni, nano akışkanların dikkate değer termal özelliklerinden, özellikle de geleneksel ısı transfer sıvılarıyla karşılaştırıldığında yüksek düzeydeki termal iletkenlikleri olduğu söylenebilir.

Nano akışkanların hazırlanması hala bir tartışma konusudur ve iyi dağılmış nano akışkanları uzun süre stabil hazırlamak için ideal bir yöntem yoktur. Birçok araştırmacı hazırladıkları nano akışkanların ısı transfer akışkanı olarak PV/T sistemlerde uygulanmasının etkilerini araştırmışlardır.

2.4.1. Performans İyileştirilmesi İçin Düz PV/T Sistemlerinde Nano Akışkanların Kullanılması

PV/T düz kolektörlerde geleneksel çalışma akışkanlarının PV hücrelerini soğutmak ve dolayısıyla performanslarını artırmak için klasik akışkanlara göre daha yüksek ısı iletkenlikleri nedeniyle bu tür uygulamalarda büyük ilgi görmüştür ve PV/T sistemleri bu uygulamaların başında gelir. Literatürde nano akışkanların PV/T sistemlerde soğutucu akışkan olarak kullanımına ilişkin araştırmalar vardır ama gelecekteki çalışmalarda daha fazla çeşitlilik öngörülmektedir. Tablo 2.2, düz PV/T sistemlerinde nano akışkanların kullanılmasıyla elde edilen performans iyileştirmeleri özetlenmiştir.

Tablo 2.2: Düz PVT toplayıcılarında nano akışkan kullanımına ilişkin son performans iyileştirmeleri.

Referans	Nano akışkan	Konsantrasyon	Performans Durumu
Sardarabadi ve ark. [25]	SiO ₂ /su	Ağırlıkça %1 Ağırlıkça %3	-Ağırlıkça %1,0 ve %3,0 konsantrasyonları için PV/T-suya göre toplam verimin yüzde artışı sırasıyla %3,6 ve %7,9 idi. - PV'ye göre toplam ekserjideki artış yüzdesi su için %19,36 iken, %1,0 ve %3,0 silika-su konsantrasyonları için sırasıyla %22,61 ve %24,31 olmuştur.
Ghadiri ve ark. [26]	Ferrosıvı (Fe ₃ O ₄ -su)	Ağırlıkça %1 Ağırlıkça %3	50 Hz'lik alternatif manyetik alandan etkilenecek ağırlıkça %3,0 ferro sıvı uygulandığında, toplam verimdeki artış PV panele göre %45 ve PVT-su toplayıcıya göre %50 idi. Ayrıca, toplam ekserji 48W'a kadar yükseldi.
Sardarabadi ve ark. [27]	Al ₂ O ₃ TiO ₂ ZnO Tamamı iyonize olmayan suda dağılmış	Ağırlıkça %0.2	- TiO ₂ /su ve ZnO/su, daha yüksek elektrik verimlilik -ZnO/su en yüksek termal verim Sayısal olarak, konsantrasyonu ağırlıkça %0,05-10 içinde değiştirmek şunlara neden oldu: -Termal verim yaklaşık 4 kat arttı. -Yüzey sıcaklığı sadece %2,0 azaldı. -Elektrik verimliliği %0,02 arttı.
Al-shamani ve ark. [28]	SiO ₂ TiO ₂ SiC Tamamı suda dağılmış	Ağırlıkça %0.5, 1 ve 2 tüm nano akışkanlar için	PVT-SiC nanoakışkanı en yüksek elektriksel ve toplam verimlilik sırasıyla % 13,52 ve %81,73 ardından sırasıyla PVT-TiO ₂ nano akışkanları ile PVT-SiO ₂ nano akışkanları ve PVT-su
Al-Waeli ve ark. [29]	SiC/ deiyonize su	Ağırlıkça %3	Elektrik verimliliğindeki yüzde artış PV panele göre %24,0 olurken, termal verimlilikteki yüzde artış PVT-suya göre %100,16 oldu.
Al-Waeli ve ark. [30]	Al ₂ O ₃ CuO SiC Tamamı suda dağılmış	Hacimce %4	PVT-SiC, diğerlerine göre daha iyi performans.
Ebaid ve ark. [31]	TiO ₂ /susetiltrimetilamonyum bromür karışımı. Al ₂ O ₃ /supolietilen glikol karışımı	Ağırlıkça %0.01, 0.05 ve 0.1 tüm nano akışkanlar için	-PVT-AL ₂ O ₃ toplayıcısı PVT-TiO ₂ ve PVT'ye göre daha iyi performans. -Tüm akış hızlarında, daha yüksek konsantrasyonlara sahip nano akışkanlar, hücre sıcaklığında daha yüksek azalım.
Hosseinzadeh ve ark. [32]	ZnO / deiyonize su	Ağırlıkça %0.2	-Soğutucu giriş sıcaklığı, PVT kollektör verimi üzerinde en etkili parametredir. -Soğutucu giriş sıcaklığı 40 °C'den 20 °C'ye düştüğünde PVT-ZnO kollektörünün ısı veriminde %61,21 artış.
Al-Waeli ve ark. [33]	SiC/su	-	Hem iç hem de dış sistemlerde birbirine yakın sonuçlar.

Tablo 2.2: Devamı.

Referans	Nano akışkan	Konsantrasyon	Performans Durumu
Fayaz ve ark. [34]	MWCNT/su	Ağırlıkça %0.75	32 °C soğutma sıvı girişi ve 25 °C ortam sıcaklığı, 1000 W/m ² güneş radyasyonunda: -120 L/h nano akışkan hızında PV panele göre elektrik verimliliğinde deneysel olarak %12,25, sayısal olarak %10,72 artış. -Hücre sıcaklığında her 10 L/h azalım için sayısal olarak 0,77 °C ve deneysel olarak 0,72 °C, termal enerji deneysel olarak 6,89 W, sayısal olarak 7,74 W artış. -PV/T-MWCNT'nin termal verimliliği, PV/T-suya göre deneysel olarak %5,13 ve sayısal olarak %5,62 artış.
Nasrin ve ark. [35]	MWCNT/su	Ağırlıkça %0-1.0	-Sayısal sonuçlar ile deneysel ölçümler uyumlu -Deneysel olarak, PV/T-su performansı, PV panele göre %9,2 artış. -PV/T-MWCNT'nin ısı verimi PV/T-su'dan deneysel olarak %3,67 ve sayısal olarak %4 daha yüksek. -PV/T-MWCNT'nin toplam verimliliği deneysel olarak PV/T-sudan %4,11, sayısal olarak %3,81 daha yüksek.
Abdallah ve ark. [36]	MWCNT/su	Hacimce %0-0.3	Hacimce %0,075'lik optimum nano akışkan konsantrasyonu için: -PV panel sıcaklığındaki düşüş öğle saatlerinde 12 °C iken, gündüz saatlerinde 10,3 °C -Öğlen saatlerinde genel sistem verimliliği %83,26 ve deney test gününde %61,23.

Tablo 2.2'den yola çıkarak literatürde, PV/T sistemlerinde soğutucu olarak nano akışkanların kullanılmasının, klasik akışkanlara sahip PV/T panellere kıyasla performansı iyileştirdiği anlaşılmaktadır. Performanstaki bu gelişmeler, baz sıvının tipine, konsantrasyona, nano parçacık şekline, nano parçacık boyutuna, eklenen yüzey aktif maddelere ve karıştırma yöntemlerine bağlıdır. Buna rağmen PV/T sistemleri için önceden belirlenmiş bir geliştirme aralığı sağlamak üzere stabilize edilmiş nano akışkanların hazırlanmasını kontrol eden belirli bir kriter yoktur.

Bu çalışmada, PV/T sistemine eklenen kanatçıklı ve kanatçıksız farklı iki soğutucu serpantin yardımıyla sistem performansına, zorlanmış hava, su, MWCNT-su ve grafen nano pelet-su farklı nano akışkan kompozisyonları kullanılmıştır. Böylece

sistem performansına bu tarz tasarımların etkisi numerik olarak incelenmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.



3. HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ (HAD) YÖNTEMİ

3.1. HAD Yöntemine Genel Bakış ve Korunum Denklemleri

Hesaplamaı akışkanlar dinamiğı (HAD) tekniğı, akışkan akışı, ısı transferi ve kimyasal reaksiyonlar gibi ilgili olayları içeren sistemlerin bilgisayar tabanlı simülasyon yoluyla analizidir. Teknik çok kapsamlıdır ve çeşitli endüstriyel uygulama alanlarını kapsar. Bazı örnekler aşağıda verilmiştir:

- Uçak ve araçların aerodinamiğı
- Gemilerin hidrodinamiğı
- Elektrik santrali: içten yanmalı motorlarda ve gaz türbinlerinde yanma.
- Turbo makinelerin içindeki akış.
- Elektrik ve elektronik mühendisliğı: mikro devreler dâhil ekipmanın soğutulması.
- Kimyasal proses mühendisliğı: karıştırma ve ayırma, polimer kalıplama.
- Binaların dış ve iç ortamı: rüzgâr yüklemesi ve ısıtma/havalandırma.
- Deniz mühendisliğı: açık deniz yapıları üzerindeki yükler.
- Çevre mühendisliğı: atıkların dağıtımı.
- Hidroloji ve oşinografi: nehirler, okyanuslardaki akışlar.
- Meteoroloji: hava tahmini.
- Biyomedikal mühendisliğı: atardamarlardaki ve toplardamardaki kan akışı [37].

Son zamanlarda hesaplamaı akışkanlar dinamiğı ile mühendislik problemlerinin çözümü oldukça yaygın hale gelmiştir. Gelişen bilgisayarların üstün sorun çözme yetenekleri sayesinde karmaşık analizler çok daha hızlı ve kararlı bir durumda yapılabilmektedir. Buna bağılı olarak akışkanların davranışları daha doğru modellenebilmektedir.

Hesaplamaı akışkanlar dinamiğı yönteminin çözüm olarak kullanıldığı her yerde korunum denklemleri kullanılmaktadır. Bir diğeri adı Navier-Stokes Denklemleri olan korunum denklemlerinin tüm akış türlerinin çözümünü sağlayacağı

varsayılmaktadır [38]. Bir akışın sıkıştırılabilir veya sıkıştırılamaz olması Mach sayısına bakılarak belirlenir. Mach sayısı 0.3'ün altında olursa akışkanın yerel yoğunluk değişimi ihmal edilebilir düzeyde küçük bir değerdedir ve akış sıkıştırılamaz olarak kabul edilir [39]. Bu çalışmada iş yapan akışkan olarak kullanılan akışkanlar sıkıştırılamaz olarak modellenmiştir.

Navier-Stokes Denklemleri kütle, momentum ve enerji korunumu denklemlerini içermektedir [38]. Aşağıda üç boyutlu akışlar için Navier-Stokes Denklemleri verilmiştir [37].

- Kütle Korunum Denklemi:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (3.1)$$

- Momentum Korunumu Denklemleri (x yönü):

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \text{div}(u\mathbf{u}) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \text{div}(\text{grad } u) + \rho \bar{g}_x \quad (3.2)$$

- Momentum Korunumu Denklemleri (y yönü):

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \text{div}(v\mathbf{u}) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \mu \text{div}(\text{grad } v) + \rho \bar{g}_y \quad (3.3)$$

- Momentum Korunumu Denklemleri (z yönü):

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \text{div}(w\mathbf{u}) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \text{div}(\text{grad } w) + \rho \bar{g}_z \quad (3.4)$$

Yukarda verilen denklemlerin arasında ortak noktalar olduğu açıkça görülebilmektedir. Genel bir akışkan özelliği olarak ϕ eklenerek aşağıdaki denklem elde edilebilir [37].

$$\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} + \text{div}(\rho\phi\mathbf{u}) = \text{div}(\Gamma \text{grad } \phi) + S_\phi \quad (3.5)$$

Bu denklem, korunum denklemlerinin genel ifadesi olarak verilmiştir ve buna transport denklemi denmektedir. ϕ ifadesi, akış çevresinde dağılan veya üretilen ikinci bir akışkanı temsil etmektedir. Γ terimi ise akışkan içerisindeki ϕ ifadesinin hareketini

temsil etmektedir. $S\phi$ ise kaynak terimi olarak verilmektedir. Bu çalışmada bizim akışımız sıkıştırılamaz ve daimi olduğu için bu tür akışların genel formüllerinin üretimi verilecek, bu sebeple ϕ ifadesi 1 olarak alınmış olup, yoğunluğun zamana bağlı değişimi ihmal edilecektir. Transport denkleminin sıkıştırılamaz akışlar için ifadesi aşağıda verilmiştir [37]:

- Kütle Korunum Denklemi (Sıkıştırılamaz akış):

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (3.6)$$

- Momentum Korunumu Denklemi (x yönü ve sıkıştırılamaz akış):

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \text{div}(u\mathbf{u}) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \text{div}(\text{grad } u) \quad (3.7)$$

- Momentum Korunumu Denklemi (y yönü ve sıkıştırılamaz akış):

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \text{div}(v\mathbf{u}) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \mu \text{div}(\text{grad } v) \quad (3.8)$$

- Momentum Korunumu Denklemi (z yönü ve sıkıştırılamaz akış):

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \text{div}(w\mathbf{u}) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \text{div}(\text{grad } w) \quad (3.9)$$

Günümüzde korunum denklemleri analitik bir çözüme sahip değildir fakat çeşitli hesaplama teknikleri kullanılarak, sayısal yöntemler sayesinde yukarıdaki denklemler cebirsel denklem sistemlerine dönüştürülmektedir. Yaklaşık bir çözüm elde etmek amacıyla kullanılan bu işleme ayrıklaştırma adı verilir. Bu teknikler arasında en çok kullanılan sistem olarak sonlu hacimler yöntemini görmekteyiz. Bu yöntem basit veya karmaşık olan üç boyutlu birçok geometriyi çözümlemesi daha kolay olan küçük kontrol hacimlerine ayrıklaştırır [39]. Çoğu hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemini kullanan yazılımlar sonlu hacim tabanlı kodlarla çalışır.

3.1.1. HAD Yönteminin Uygulanması

HAD yöntemini kullanan yazılım programları, bir akış problemini üç ana başlıkta çözmektedir. Bu başlıklardan ilki olan ön işlemci bölümünde sırasıyla şu adımlar gerçekleştirilir:

- Geometri Tanımlama: Nümerik olarak çözülecek geometri tanımlanır ve akış çevresi oluşturulur.
- Ağ Yapısı Oluşturma: Akış çevresi, çok küçük kontrol hacimlerine veya hücrelere ayrılarak hesaplanabilir seviyeye getirilir. Bu aşamada ağ yapısı oluşturulur.
- Fiziksel ve Kimyasal Olayların Seçimi: Modellenmesi gereken fiziksel ve kimyasal olaylar belirlenir ve akışkan özellikleri ile sınır koşulları geometri üzerinde tanımlanır.

HAD yönteminde problem çözümü için ağ yapısı içerisindeki her bir hücreye kontrol hacmi adı verilir. Bu kontrol hacimleri içerisinde düğüm noktaları bulunur ve bu noktalara sıcaklık, basınç ve hız gibi değerler tanımlanır. Genel olarak, ağ eleman sayısını mümkün olduğunca yüksek tutmak, analizin doğru sonuçlar vermesi adına önemli bir husustur, ancak hesaplama süresinin de göz önünde bulundurulması gereklidir. Bir akış çevresine uygun ağ yapısı uygulanabilmesi için tek tip ağ yapıları kullanılmamaktadır. Düğüm noktaları arasında büyük değişikliklerin meydana geldiği bölgelerde (örneğin, sınır tabaka bölgesi) nispeten daha küçük boyutlarda ağ yapısı kullanılması gereklidir.

İkinci ana başlık çözücünün kullanılmasıdır. Bu bölümde ticari yazılım programları içerisindeki HAD kodları devreye girmektedir. İlk olarak tüm kontrol hacimlerine korunum denklemleri uygulanır, bu genellikle sonlu hacim metoduyla gerçekleştirilir. Daha sonra ayırıklaştırma yöntemiyle cebirsel denklemlere dönüştürülür. Son olarak, bu denklem sistemlerinin iteratif metotlar kullanılarak çözümü sağlanır.

Üçüncü ana başlık ise son işlemci olarak adlandırılır. Bu bölüm analizlerin çözümü sonrasında elde edilen verilerin çeşitli yöntemlerle (vektör, kontur, parçacık izleme vb.) görselleştirilmesini kapsar. HAD yöntemiyle çalışan ticari yazılım programları, son yıllarda üst düzey veri görselleştirme araçlarına sahip olmuştur. Bu

yazılımlar dinamik görselleştirme araçları kullanarak verileri animasyonlarla gösterebilir ve analiz konusunda uzman olmayan kişiler bile bu yöntemlerle veri sonuçlarını anlayabilir hale gelmiştir [37].

3.2. Türbülans Modelleri

PV/T sistemlerinde, hava akışı ve ısı transferi türbülans etkileri nedeniyle karmaşık bir şekilde gerçekleşir. Bu nedenle, sistem tasarımı, performans değerlendirmesi ve iyileştirmesi için doğru bir türbülans modellemesi gereklidir. PV/T sistemlerinde türbülans modellemesi için yaygın olarak kullanılan bazı yöntemler şunlardır:

- RANS (Reynolds Averaged Navier-Stokes) Modelleri: RANS, türbülans akışını ortalama etkilerine göre modellemektedir. Bu yöntemde, Navier-Stokes Denklemleri ortalama edilerek türbülans parametreleri için ekstra denklemler elde edilir. K- ϵ , k- ω ve Spalart-Allmaras gibi popüler RANS modelleri, PV/T sistemlerinde kullanılabilir.
- LES (Large Eddy Simulation): LES, türbülansın büyük ölçekli yapılarını doğrudan çözen bir yöntemdir. Küçük ölçekli yapılar ise parametrik olarak modellenir. Les, PV/T sistemlerindeki detaylı türbülans etkilerini daha iyi yakalamak için kullanılabilir.
- DNS (Direct Numerical Simulation): DNS, tüm türbülans hareketlerini ayrıntılı bir şekilde hesaplayan en kesin yöntemdir. Ancak, PV/T sistemlerinin karmaşıklığı nedeniyle pratik uygulamalarda maliyetli ve zaman alıcı olabilir.
- RSM (Reynolds Stress Model): RSM, türbülansın Reynolds gerilmesini doğrudan modeller. Bu model, karmaşık türbülans etkilerini daha iyi yakalayabilir, ancak hesaplama karmaşıklığı ve gereksinimleri daha yüksektir.

PV/T sistemlerinin türbülans modellemesi, genellikle HAD analizleri kullanılarak gerçekleştirilir. Bu analizler, sistem içindeki hava akışının ve ısı transferinin sayısal olarak çözülmesini sağlar. Bu sayede, sistem performansı ve verimliliği hakkında bilgi elde edilebilir ve tasarım iyileştirmeleri yapılabilir.

Günümüzde türbülanslı akışların tam anlamıyla hesaplanması oldukça zaman ve maliyet gerektiren bir süreçtir. Bunun yerine, RANS (Reynolds Ortalamalı Navier Stokes) denklemleri kullanılarak ortalama veya filtrelenmiş miktarlar hesaplanır ve küçük dalgalı yapıların etkisi yaklaşık olarak hesaplanır. HAD yöntemi kullanılarak yapılan analizler, tasarımcılara türbülanslı akışlar konusunda deney yapmadan iyi tahminler sunabilir [40].

Ticari yazılım programları içinde, RANS denklemlerini içeren farklı türbülans modelleri bulunmaktadır. Bunlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Spalart-Almaras (Tek Denklemlilik): Basit bir türbülans modelidir ve tek bir denklemlilik türbülans hesaplar.
- k-epsilon Modelleri (İki Denklemlilik): İki denklem kullanarak türbülans hesaplar. Bu modeller arasında standart, gerçekleştirilebilir (realizable) ve RNG (Re-normalization) gibi çeşitli seçenekler bulunur.
- k-omega Modelleri (İki Denklemlilik): İki denklem kullanarak türbülans hesaplar. Bu modeller arasında Wilcox (standart) ve SST (Shear Stress Transport) gibi seçenekler bulunur.
- ν^2 -f Modeli: Vorteks yoğunluğunu hesaplayan bir modeldir.
- Reynolds Stres Modeli (Beş Denklemlilik): Beş denklem kullanarak türbülansın Reynolds streslerini hesaplar.

Bu türbülans modelleri, farklı akış koşullarına ve tasarım ihtiyaçlarına uygun olarak seçilebilir ve analizlerde kullanılabilir. Bu çalışmada SST k-omega modeli kullanılmıştır.

SST k-omega modeli, türbülans modelleri arasında yaygın olarak kullanılan bir RANS (Reynolds Averaged Navier-Stokes) modelidir. Bu model, türbülans akışını daha doğru bir şekilde hesaplamak için hem k-epsilon (k- ϵ) modelinin hem de omega (ω) modelinin avantajlarını birleştirir.

SST k-omega modeli, türbülans kinetik enerji ve türbülans dissipe olan enerji (omega) için ayrı denklemler kullanır. Düz tabaka içinde k-omega modeli kullanılırken, ayrışma bölgesinde ise k-epsilon modeli kullanılır. Bu yaklaşım, düz tabakada iyi sonuçlar elde etmeyi ve ayrışma bölgelerinde daha iyi tahminler yapabilmeyi sağlar.

SST k-omega modeli, özellikle türbülansın viskoz alt tabakasında viskoz sürtünme etkilerini doğru bir şekilde yakalar. Ayrıca, serbest akış bölgesinde de iyi performans gösterir ve ters basınç gradyanına sahip akışlarda daha hassas sonuçlar sağlayabilir.

SST k-omega modelinin avantajları şunlardır:

- Daha iyi sınırlayıcı tabaka tahmini: SST k-omega modeli, sınırlayıcı tabakadaki türbülans etkilerini daha doğru bir şekilde hesaplar ve akışın sınırlayıcı tabakadaki özelliklerini daha iyi tahmin eder.
- Ayırışma bölgelerinde daha iyi tahminler: SST k-omega modeli, ayırışma bölgelerinde k-epsilon modeline göre daha iyi sonuçlar sağlar. Bu sayede, akışın ayırışma bölgelerinde daha doğru tahminler yapılabilir.
- İyi performans serbest akış bölgelerinde: SST k-omega modeli, serbest akış bölgelerindeki türbülans etkilerini doğru bir şekilde hesaplayabilir ve daha hassas sonuçlar sağlayabilir.

Ancak, SST k-omega modelinin dezavantajlarından biri, hesaplama karmaşıklığıdır. Bu model, k-epsilon ve k-omega modellerinin birleşimi olduğu için daha fazla hesaplama kaynağı gerektirir. Ayrıca, modelin bazı akış koşullarında performansı zayıf olabilir.

Sonuç olarak, SST k-omega modeli, türbülanslı akışları modellerken daha doğru sonuçlar elde etmek için sıkça kullanılan bir yöntemdir. Ancak, spesifik bir akış probleminde kullanılacak en uygun türbülans modelini belirlemek için dikkatli bir değerlendirme yapılması gerekmektedir. Bu avantajlardan dolayı mevcut çalışmada SST k-omega modeli kullanılmıştır.

4. PV/T SİSTEMİNİN SAYISAL ANALİZ YÖNTEMİ İLE ISIL PERFORMANSLARININ BELİRLENMESİ

PV/T sistemlerinin termal performansının belirlenmesi için sayısal analiz, etkili bir yöntemdir. Sayısal analiz, sistem içindeki ısı transferi, akışkan dinamiği ve türbülans etkilerini hesaplamak için bilgisayar tabanlı çözüm yöntemlerini kullanır. Bu yöntemler, sistemin tasarımı, performansı ve verimliliği hakkında değerli bilgiler sağlar.

Aşağıda, PV/T sistemlerinin sayısal analizle termal performansının belirlenmesi için izlenebilecek temel adımlar bulunmaktadır:

- **Geometri ve Sınır Koşullarının Tanımlanması:** PV/T sisteminin geometrisi ve sınır koşulları sayısal modelde tanımlanmalıdır. Bu adım, sistemin boyutlarını, bileşenlerin konumunu, akışkan giriş ve çıkışlarını ve sistemle etkileşime giren diğer parametreleri içerir.
- **Matematiksel Modelin Oluşturulması:** Sayısal analiz için kullanılacak matematiksel model, akışkan dinamiği denklemleri, enerji denklemleri ve türbülans modellerini içermelidir. Bu model, sistemin fiziksel davranışını temsil eden denklemleri içerir.
- **Sayısal Çözüm Yönteminin Seçimi:** Sayısal analiz için uygun bir çözüm yöntemi seçilmelidir. Bu, genellikle sonlu hacim veya sonlu elemanlar gibi yöntemler olabilir. Seçilen yöntem, sistemin karmaşıklığına ve analiz hedeflerine bağlı olarak belirlenir.
- **Sayısal Çözümün Gerçekleştirilmesi:** Matematiksel modelin sayısal çözümü gerçekleştirilir. Bu adımda, akışkanın hareketi, ısı transferi, türbülans etkileri ve diğer parametreler hesaplanır. İlgili denklemler sayısal olarak çözülür ve sonuçlar elde edilir.
- **Performans Değerlendirmesi:** Sayısal analiz sonuçları kullanılarak PV/T sisteminin termal performansı değerlendirilir. Bu, elektrik ve ısı üretimi, ısı transferi verimliliği, sıcaklık dağılımı, basınç düşüşü gibi parametrelerin analizini

içerir. Elde edilen sonuçlar, sistemin performansını anlamak ve iyileştirmeler yapmak için kullanılır.

- Optimizasyon ve Tasarım İyileştirmesi: Sayısal analiz sonuçlarına dayanarak PV/T sistemi optimize edilebilir ve tasarım iyileştirmeleri yapılabilir. Bu, bileşenlerin konumunu, geometriyi, akışkanın özelliklerini veya diğer parametreleri değiştirerek daha iyi bir termal performans elde etmeyi içerir.

Sayısal analiz, PV/T sistemlerinin termal performansını anlamak, tasarımını iyileştirmek ve en verimli çalışma koşullarını belirlemek için güçlü bir araçtır. Bu yöntem, zaman ve maliyet açısından deneylere kıyasla daha verimli bir şekilde kullanılabilir. Ancak, doğru sonuçlar elde etmek için analiz modelinin ve girdi parametrelerinin doğru bir şekilde ayarlanması ve doğrulanması önemlidir.

4.1. PV/T Modülleri İçin Enerji Dengesi

Düz foto voltaik termal panel, aynı anda düşen güneş ışınlarını hem termal enerjiye hem de elektriğe dönüştüren bir sistemdir. Kontrol hacmi olarak PV/T paneli dikkate alınarak ve enerji dengesi aşağıdaki gibi olur:

$$\left(\begin{array}{c} \text{Kontrol hacmi içindeki} \\ \text{enerjideki değişim oranı} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{Kontrol hacmine} \\ \text{giren enerji oranı} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} \text{Kontrol hacmini terk} \\ \text{eden enerji oranı} \end{array} \right) \quad (4.1)$$

Kararlı durum koşulları varsayıldığında, kontrol hacmi içindeki enerjideki değişim oranı sıfır olacaktır ve durum aşağıdaki gibi olur:

$$\left(\begin{array}{c} \text{Kontrol hacmine giren} \\ \text{enerji oranı } \dot{E}_{in} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{Kontrol hacmini terk eden} \\ \text{enerji oranı } \dot{E}_{out} \end{array} \right) \quad (4.2)$$

PV/T toplayıcısından (kontrol hacminden) çıkan enerji çıkışı oranı (Watt), termal güç $\dot{Q}_u$, elektrik gücü el ve güç kaybının toplamıdır:

$$\dot{E}_{çıkış} = \dot{Q}_u + \dot{E}_{el} + \dot{E}_{kayıp} \quad (4.3)$$

PV/T paneli ile ortam arasındaki sıcaklık farkından dolayı, bir miktar güç kaybı PV/T panelinden çevreye enerji kaybı olarak dağılır.

Termal enerji çıkışı oranı $\dot{Q}_u$, çalışma sıvısı tarafından sıcaklık artışı açısından yararlı toplanan güçtür (W):

$$\dot{Q}_u = \dot{m} C_p (T_o - T_i) \quad (4.4)$$

Burada, $\dot{m}$ = çalışma sıvısının kütle akış hızı (kg s^{-1}), C_p = çalışma sıvısının özgül ısısı ($\text{J.kg}^{-1} \text{K}^{-1}$), T_i ve T_o = sırasıyla çalışma sıvısının giriş ve çıkış sıcaklıklarıdır (K).

Fotovoltaik hücreler tarafından üretilen elektrik enerjisinin oranı (W) şu şekilde ifade edilir:

$$\dot{E}_{el} = V_{oc} \cdot I_{sc} \cdot FF \quad (4.5)$$

Burada V_{oc} , açık devre gerilimidir (V) ve I_{sc} , kısa devre akımıdır (A). FF , doldurma faktörüdür ve PV'nin maksimum güç dönüşüm verimliliğini temsil eder. Bu verimlilik, foto voltaik modülden elde edilen maksimum gücün, açık devre gerilimiyle çarpılmış kısa devre akımına oranı temel alınarak değerlendirilebilir. Bu değerlendirme, PV modülünün standart test koşullarında yapılır [41].

$$FF = \frac{P_m}{V_{oc} * I_{sc}} \quad (4.6)$$

Burada, P_m maksimum çıkış elektrik gücüdür ve şu şekilde ifade edilir:

$$P_m = V_m * I_m \quad (4.7)$$

Burada V_m ve I_m , PV hücreleri tarafından üretilen maksimum gerilim ve akımdır. Elektriksel güç aynı zamanda şu şekilde ifade edilebilir:

$$\dot{E}_{el} = P_m = V_m * I_m \quad (4.8)$$

PV/T kolektörüne gelen enerji girişi, PV/T kolektörü yüzey alanına (AC) düşen toplam güneş enerjisi $I(t)$ (W/m^2) ile belirlenir:

$$\dot{E}_{in} = I(t) * A_c \quad (4.9)$$

4.2. Birinci Kanun Verimi (Enerji Verimi)

Termodinamiğin birinci yasası verimliliği, belirli bir cihaz tarafından enerji kaynağından çekilebilen enerji miktarının bir ölçüsüdür. Düz bir PV/T sisteminin genel verimliliği (η_{pvt}), belirli bir zaman dilimi boyunca giriş enerjisine göre çıkış enerjilerinin oranıyla eşittir.

$$\eta_{pvt} = \frac{\dot{E}_{out}}{\dot{E}_{in}} = \frac{\dot{Q}_u + \dot{E}_{el}}{\dot{E}_{in}} \quad (4.10)$$

Bu nedenle, düz bir PV/T kolektörünün genel verimliliği, termal ve elektriksel verimliliklerin (sırasıyla η_{th} ve η_{el}) toplamıdır ve aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$\eta_{pvt} = \frac{\dot{Q}_u}{\dot{E}_{in}} + r * \frac{\dot{E}_{el}}{\dot{E}_{in}} = \eta_{th} + r * \eta_{el} \quad (4.11)$$

Burada r , paketleme faktörüdür ve PV alanının (A_{pv}) kolektör alanına (A_c) oranı olarak tanımlanır. $r = 0$ olduğunda PV hücreleri yok demektir. $r = 1$ olduğunda tüm kolektör alanı PV hücreleri tarafından kaplanmış demektir.

$$r = \frac{A_{pv}}{A_c} \quad (4.12)$$

Bu denklemlerden yola çıkarak sistemin termal verimi aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$\eta_{th} = \frac{\text{kullanılabilir enerji kazancı}}{\text{toplanan güneş radyasyon miktarı}} \quad (4.13)$$

$$\eta_{th} = \frac{\dot{Q}_u}{\dot{E}_{in}} = \frac{\left[\dot{m}_{sivi} c_{p_{sivi}} (T_{sivi_{out}} - T_{sivi_{in}}) + \dot{m}_{hava} c_{p_{hava}} (T_{hava_{out}} - T_{hava_{in}}) \right]}{I_{(t)} * A_c} \quad (4.14)$$

$\dot{Q}_u$, kolektörün birim alan başına kazanılan çıkış ısı değeri ve (4.4) denklemiyle hesaplanabilir. $\dot{E}_{el}$, birim alan başına fotovoltaik hücrelerden çıkan

elektrik değeridir ve (4.5) veya (4.8) denklemleriyle hesaplanabilir. $\dot{E}_{in}$, birim alan başına düşen etkili güneş ışınlarının değeridir ve (4.9) denklemleriyle hesaplanabilir. η_{th} , sistemin termal verimidir, (4.13) ve (4.14) denklemleriyle hesaplanır.

4.3. İkinci Kanun Verimi (Ekserji Verimi)

Ekserjetik verimlilik, aynı son durumlar için geri dönüşümlü koşullara göre sistemin performansını ölçen bir değerdir [42]. Başka bir deyişle, ekserjetik verimlilik, sistem tarafından üretilen enerjinin kalitesini ölçer. Düz bir PV/T panelinin genel ekserjetik verimliliği, PV/T paneli tarafından toplanan güneş enerjisinden elde edilen enerji kalitesini temsil eder ve aşağıdaki gibi ifade edilir [43]:

$$\varepsilon_{pvt} = \frac{\dot{E}x_{out}}{\dot{E}x_{in}} \quad (4.15)$$

Burada $\dot{E}x_{out}$, sistem çıkışı ekserjisini, $\dot{E}x_{in}$ ise sisteme giren ekserjiyi ifade eder. Bunlar aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$\begin{aligned} \dot{E}x_{out} &= \dot{E}x_{el} + \dot{Q}_{u_{total}} \\ &= I_o * V_o + \left\{ \begin{aligned} &\dot{m}_{sivi} c_{p_{sivi}} \left[\ln \left(\frac{T_{sivi_{out}}}{T_{sivi_{in}}} \right) - R_{sivi} \ln \left(\frac{P_{sivi_{out}}}{P_{sivi_{in}}} \right) \right] \\ &+ \dot{m}_{hava} c_{p_{hava}} \left[\ln \left(\frac{T_{hava_{out}}}{T_{hava_{in}}} \right) - R_{hava} \ln \left(\frac{P_{hava_{out}}}{P_{hava_{in}}} \right) \right] \end{aligned} \right\} \quad (4.16) \end{aligned}$$

Burada sistemin ekserji çıkışı, soğutucu akışkanın (sıvı) ve zorlanmış havanın (hava) verilerinin bulunduğu bir denklemden elde edilir. Bu denklemde basınç düşümleri de dikkate alınmıştır ancak zorlanmış havanın basınç düşümü sonuçları etkilemeyecek kadar küçük seviyede olduğu için ihmal edilmiştir. R_{sivi} ve R_{hava} sırasıyla soğutucu akışkanın ve zorlanmış havanın ideal gaz sabitleridir. $T_{sivi_{out}}$ ve $T_{hava_{out}}$ sırasıyla soğutucu akışkanın ve zorlanmış havanın sistemden çıkış sıcaklıklarıdır. $T_{sivi_{in}}$ ve $T_{hava_{in}}$ sırasıyla soğutucu akışkanın ve zorlanmış havanın sisteme giriş sıcaklıklarıdır. $\dot{m}_{sivi}$ ve $\dot{m}_{hava}$ sırasıyla soğutucu akışkanın ve zorlanmış

havanın akış debileridir. $c_{p_{sivi}}$ ve $c_{p_{hava}}$ sırasıyla soğutucu akışkanın ve zorlanmış havanın özgül ısılarıdır. $P_{sivi_{out}}$ ve $P_{hava_{out}}$ sırasıyla soğutucu akışkanın ve zorlanmış havanın sistemden çıkış basıncıdır. $P_{sivi_{in}}$ ve $P_{hava_{in}}$ sırasıyla soğutucu akışkanın ve zorlanmış havanın sisteme giriş basıncıdır.

$$\dot{E}x_{in} = I_{(t)} * A_c \left[1 - \frac{4}{3} \left(\frac{T_a}{T_{sun}} \right) + \frac{1}{3} \left(\frac{T_a}{T_{sun}} \right)^4 \right] \quad (4.17)$$

(4.17)'de yer alan denklemden sistemin ekserji girişi hesaplanır. Burada T_a ve T_{sun} sırasıyla ortam sıcaklığı ve güneşin yüzey sıcaklığıdır. Kelvin birimiyle ifade edilir.

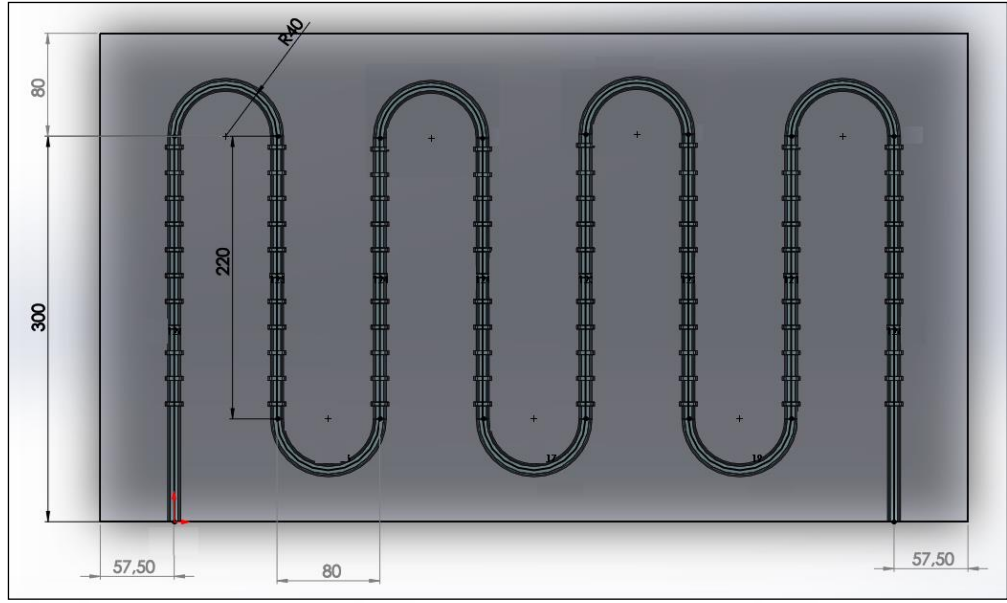
Güneşten gelen giriş ekserjisi için Jeter'in modeli [44] kullanılarak belirlenebilir:

$$\dot{E}x_{sun} = \left[1 - \left(\frac{T_a}{T_{sun}} \right) \right] I_{(t)} \quad (4.18)$$

Burada T_{sun} , 5777 K'deki güneş yüzey sıcaklığıdır [43].

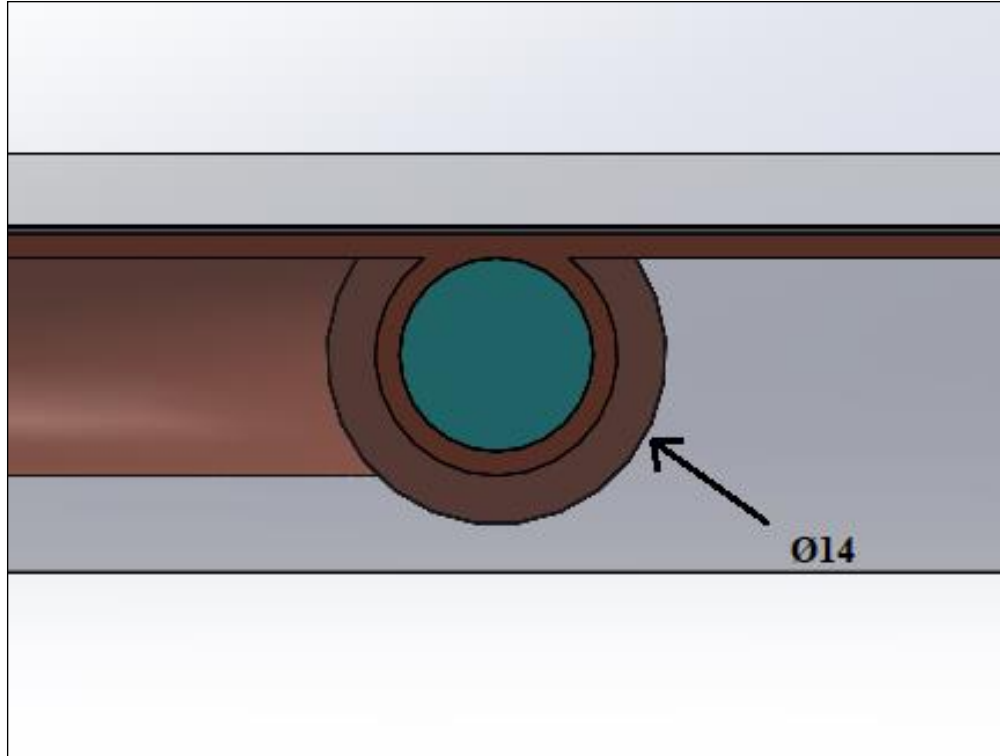
4.4. Sistem Modellemesi

Bu bölümde mevcut çalışma için hazırlanan PV/T modeli tanıtılmıştır. Bu çalışmada analiz etmek için modellemesi yapılan PV/T sistemin boyutları 675 mm x 380mm x 17.3 mm'dir. Absorber plaka da 675 mm x 380 mm x 0.7 mm kalınlığındadır. Serpantin malzemesi bakırdır ve kıvrımlı bir şekilde PV hücrelerinin altına yerleştirilmiştir. Borunun dış çapı 10 mm, iç çapı ise 8 mm'dir. Borunun toplam uzunluğu 280 cm'dir. Serpantin ve serpantin üzerindeki kanatçıkların yerleşimi Şekil 4.1'de görülebilir.

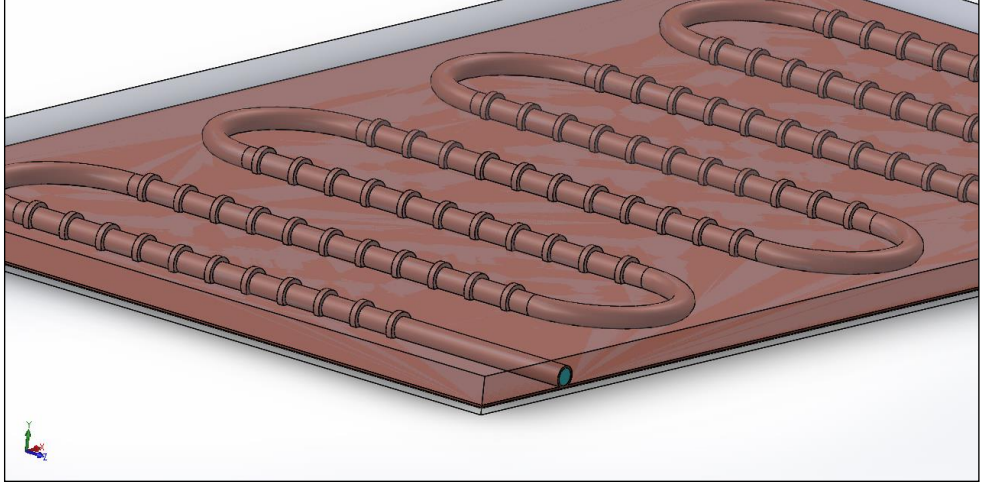


Şekil 4.1: Serpantin ölçüleri.

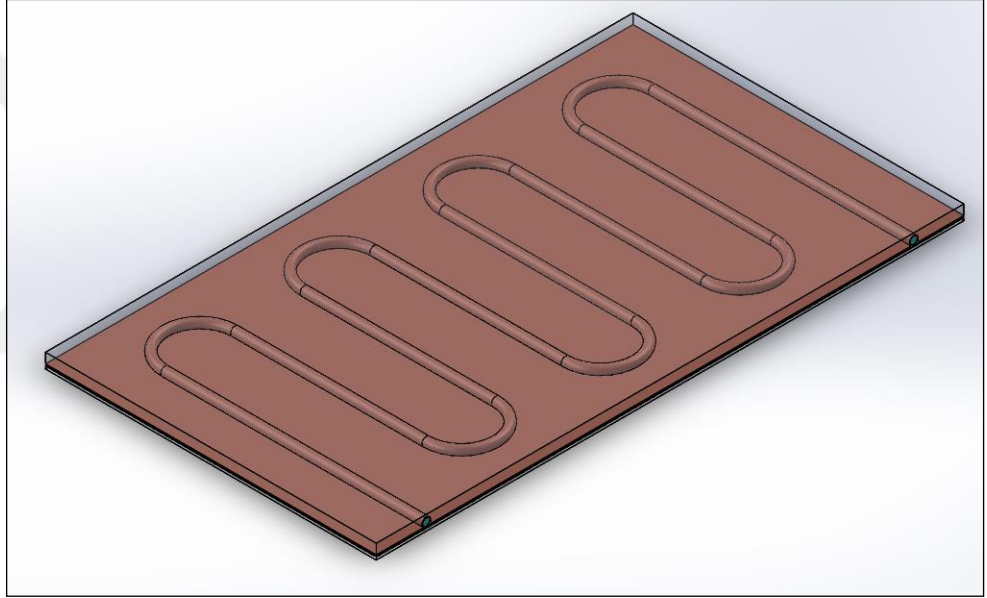
Bu çalışmada kanatçıklı ve düz olmak üzere iki farklı serpantin kullanılmaktadır. Kanatçıklı serpantinde kanatçıkların kalınlığı 3 mm, birbirine olan mesafesi ise 20 mm'dir. Kanatçıkların yerleştirilme doğrultusu akış doğrultusundadır. Kanatçıklar yarım ay şeklindedir ve 14 mm çapındadır. Kanatçıkların kesit görünümü Şekil 4.2'de görülebilir.



Şekil 4.2: Kanatçığın kesit görünümü.



Şekil 4.3: Kanatçıklı serpantinin izometrik görünümü.



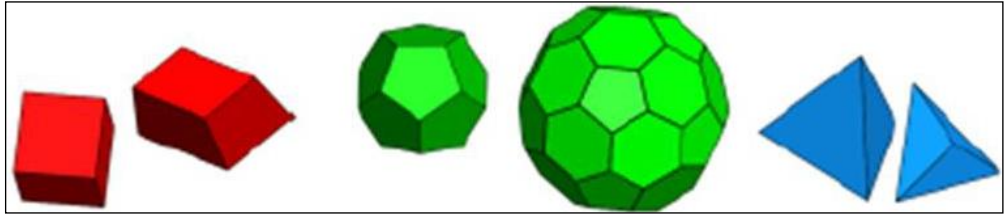
Şekil 4.4: Düz serpantinin izometrik görünümü.

4.5. Ağ Yapısının Oluşturulması

Sonlu hacimler metodunu kullanan hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılımları, akışkan modellemesinin çözümünde üç boyutlu akış çevresini küçük boyutlu üç boyutlu yapılara ayrıştırır. Ağ yapısı olarak adlandırılan bu işlem, akış çevresinin matematiksel olarak çözülebilmesi için ayrıştırılmış bir modunu ifade eder.

İlk olarak ağ yapısının türü belirlenmiş ve bunu belirlemede literatürdeki araştırmalardan faydalanılmıştır. Son dönemde hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılımları ile yapılan analizlerde farklı ağ yapısı türleri kullanılmaktadır. Üç boyutlu

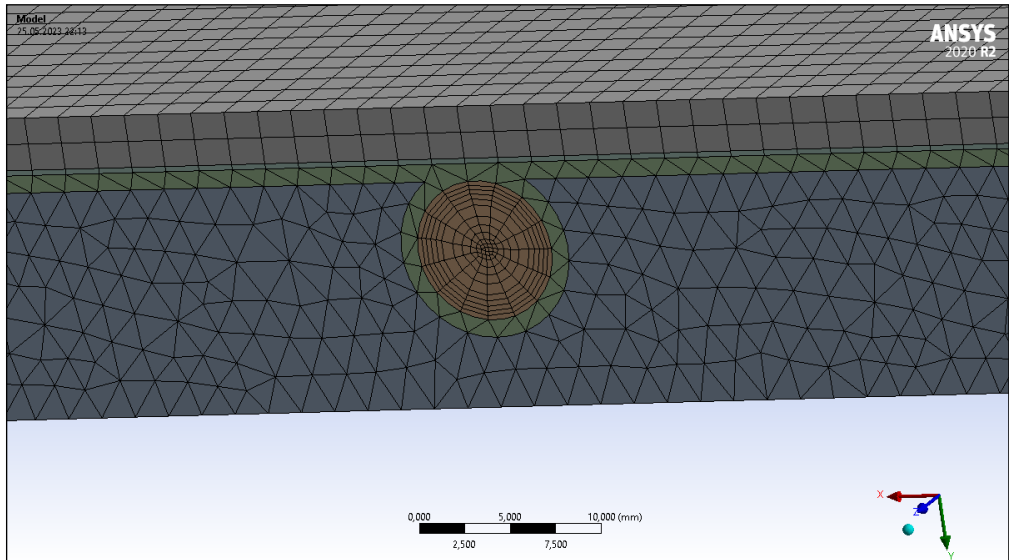
ağ yapısı türleri için literatürde tetrahedral, heksahedral ve polihedral ağ türlerine rastlanmaktadır. Şekil 4.5'te bu ağ yapısı türleri görülmektedir.



Şekil 4.5: Ağ Türleri (Kırmızı-Tetrahedral, Yeşil-Polihedral, Mavi-Hekzahedral).

Bu çalışmada farklı katmanlar için farklı ağ türleri kullanılmıştır. Katıları oluşturan yapılarda tetrahedral, zorlanmış havada ise heksahedral ağ yapısı kullanılmıştır. Çalışma sıvısının ve borunun ağ yapısında ise yine tetrahedral ağ yapısı kullanılmıştır.

Bu çalışmada iki farklı serpantin geometrisi (düz ve kanatçıklı) var olduğu için iki farklı ağ yapısı bulunmaktadır. Bu ağ yapılarından düz olanda 1507318 adet ağ elemanı varken, kanatçıklı olan ağ yapısında 2194180 adet ağ elemanı vardır. Şekil 4.6'da ağ yapısı gösterilmiştir.



Şekil 4.6: Ağ yapısı.

4.6. Fizik Modeli Seçimi

Çalışmanın içerdiği hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizleri, ANSYS'in FLUENT modülü ile gerçekleştirilmiştir. PV/T sistemlerin ısı performanslarını incelemek için zamandan bağımsız yani steady-state durum koşulları geçerli kılındı. Sıcaklığa bağlı enerji denklemleri aktif edildi ve sıkıştırılamaz akış (sabit yoğunluk) kabulü ile analizler gerçekleştirildi. Mevcut çalışmada SST k-epsilon türbülans modeli tercih edilmiştir. Nano akışkanların derişimi, literatürde en etkili derişim olduğundan kütlece %0,5' olarak belirlenmiştir [1].

Mevcut çalışmada kullanılacak olan çalışma akışkanlarını oluşturan nanoparçacıkların ve suyun malzeme özellikleri Tablo 4.1.'de verilmiştir.

Tablo 4.1: Kullanılan nanoparçacıkların ve suyun malzeme özellikleri.

Malzeme	ρ (kg/m ³)	k (W/m K)	C_p (kJ/kg K)
Su [45]	997	0.607	4.180
MWCNT [46]	1600	3000	0.796
Grafen Nanopelet [47]	2100	5000	0.710

Bu nanoparçacıkları içeren kütlece %0,5 derişimli nanoakışkanların termal özellikleri Tablo 4.2.'de gösterilmiştir.

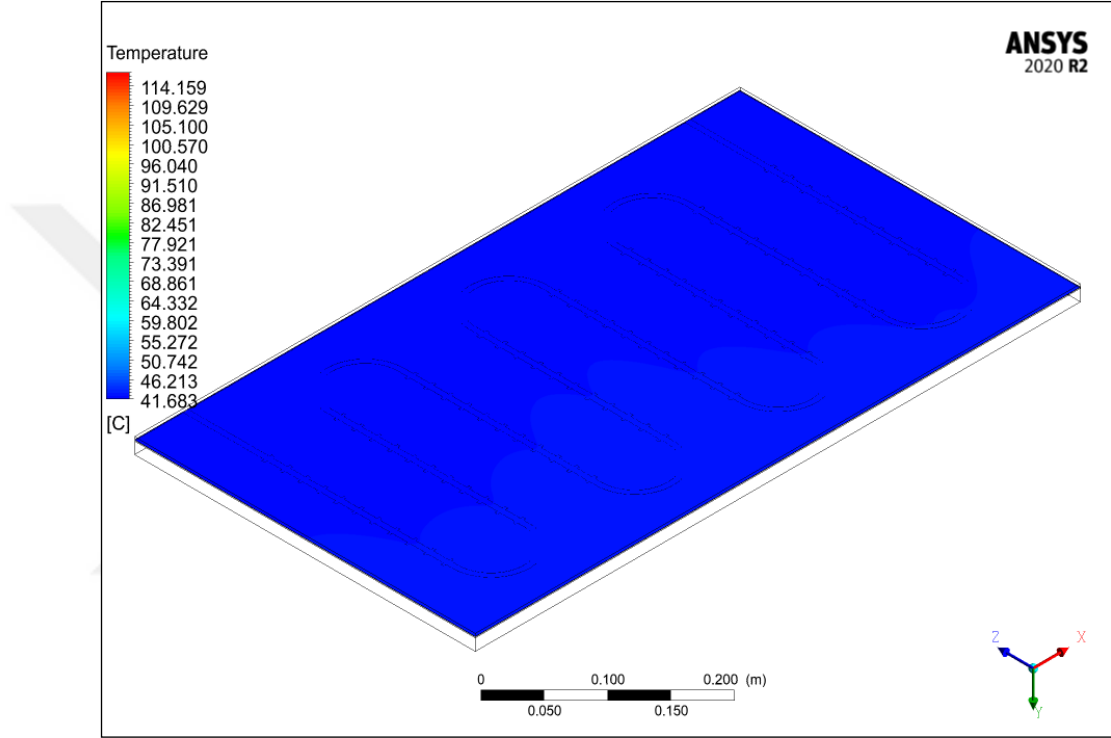
Tablo 4.2: Kullanılan nanoakışkanların ve suyun termal özellikleri.

Malzeme	ρ (kg/m ³)	k (W/m K)	C_p (kJ/kg K)
Su	997	0.607	4.180
MWCNT-Su (kütlece %0.5)	1185.3	1.4328	2.7538
Grafen Nanopelet -Su (kütlece %0.5)	1259.5	1.1755	2.8030

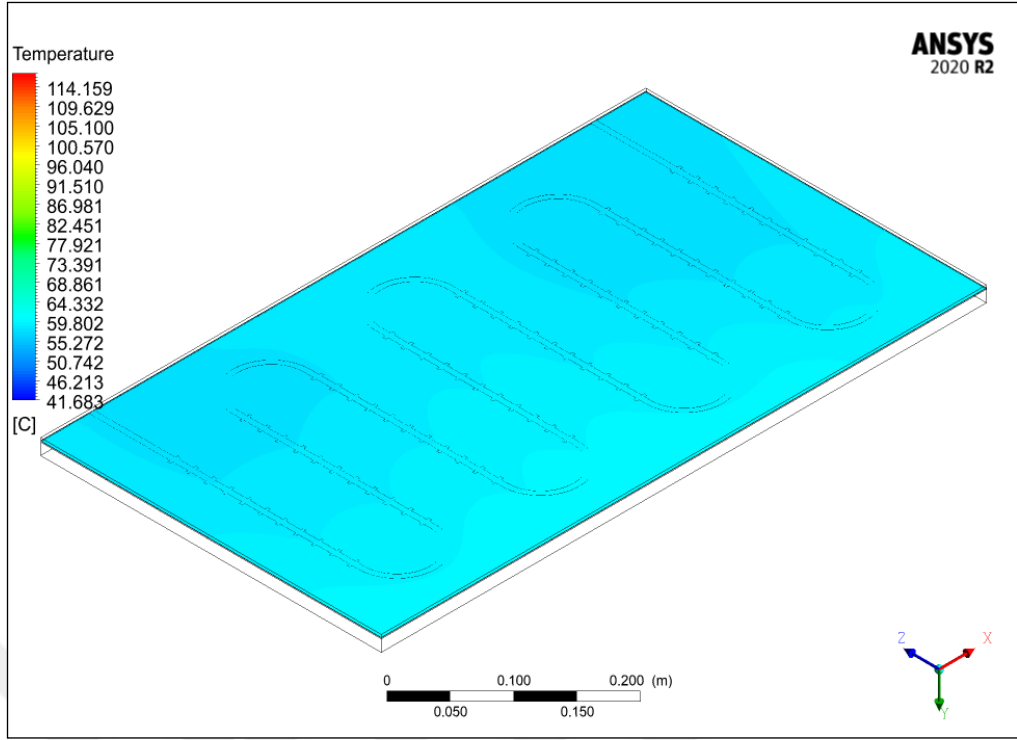
4.7. HAD Analizi Sonuçları

4.7.1. Çalışma Akışkanı Akışı Olmayan Sistem Sonuçları

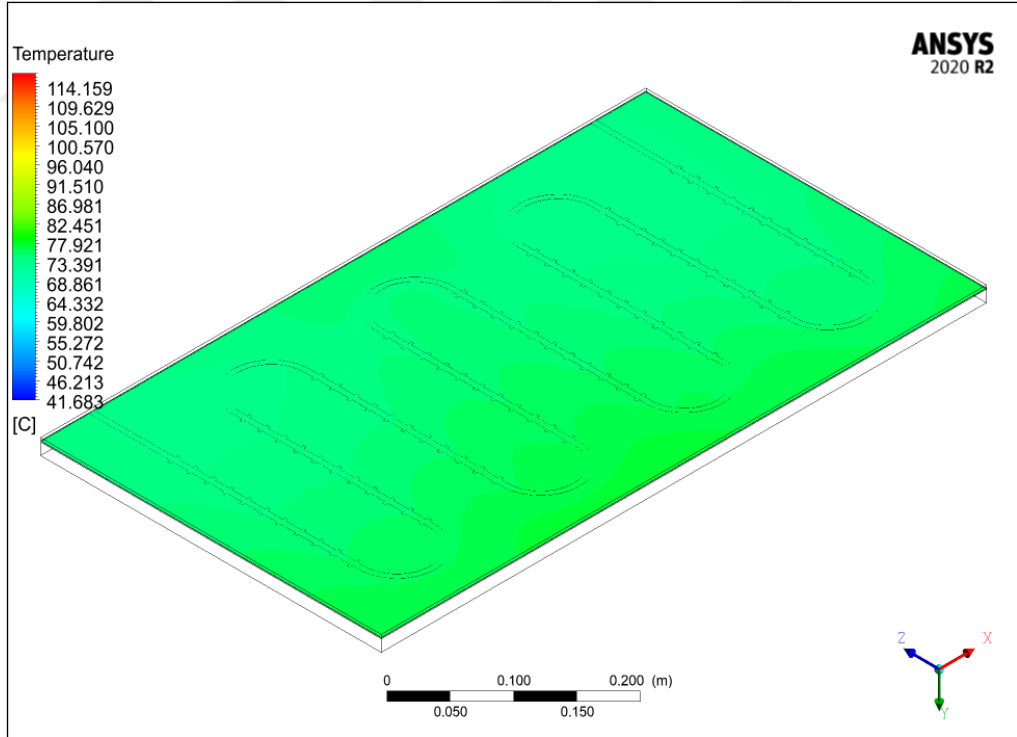
Bu kısımda herhangi bir çalışma akışkanı akışı olmadan yapılan deney sonuçları verilmiştir.



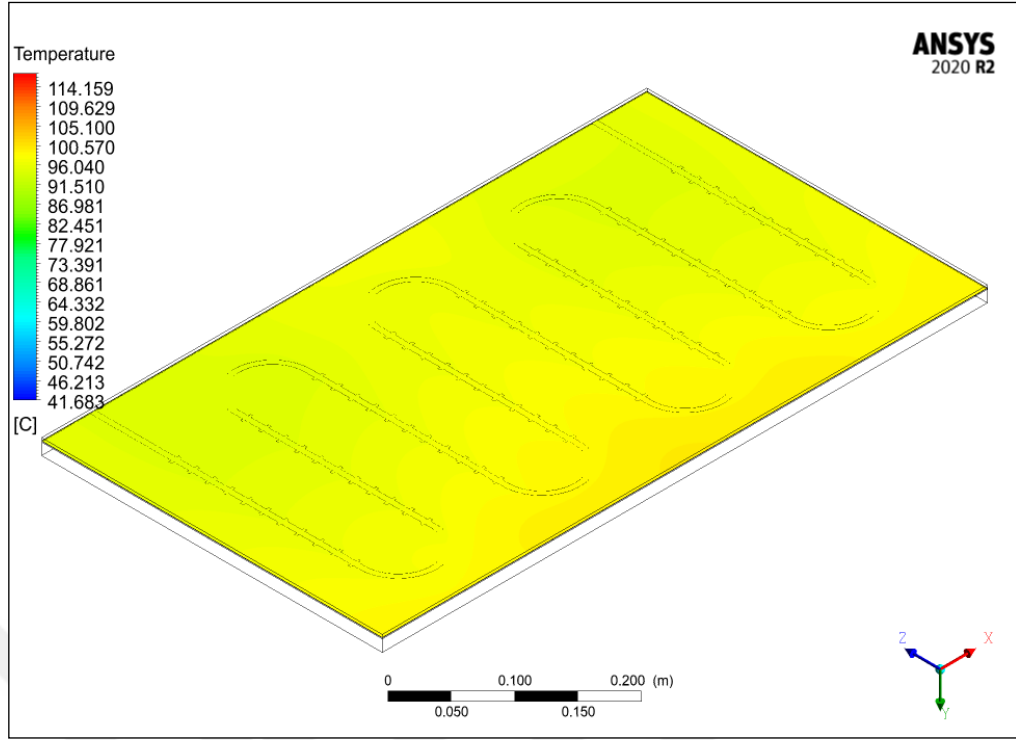
Şekil 4.7: 200 W/m²'de akış olmayan haldeki sıcaklık dağılımı.



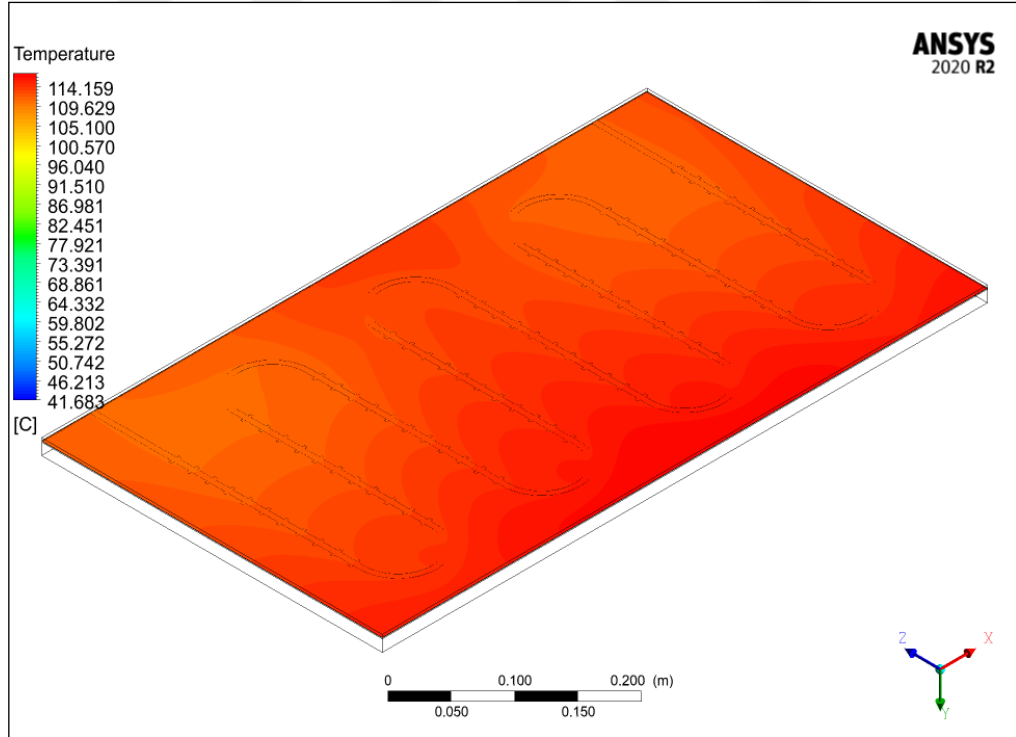
Şekil 4.8: 400 W/m²'de akış olmayan haldeki sıcaklık dağılımı.



Şekil 4.9: 600 W/m²'de akış olmayan haldeki sıcaklık dağılımı.



Şekil 4.10: 800 W/m²'de akış olmayan haldeki sıcaklık dağılımı.



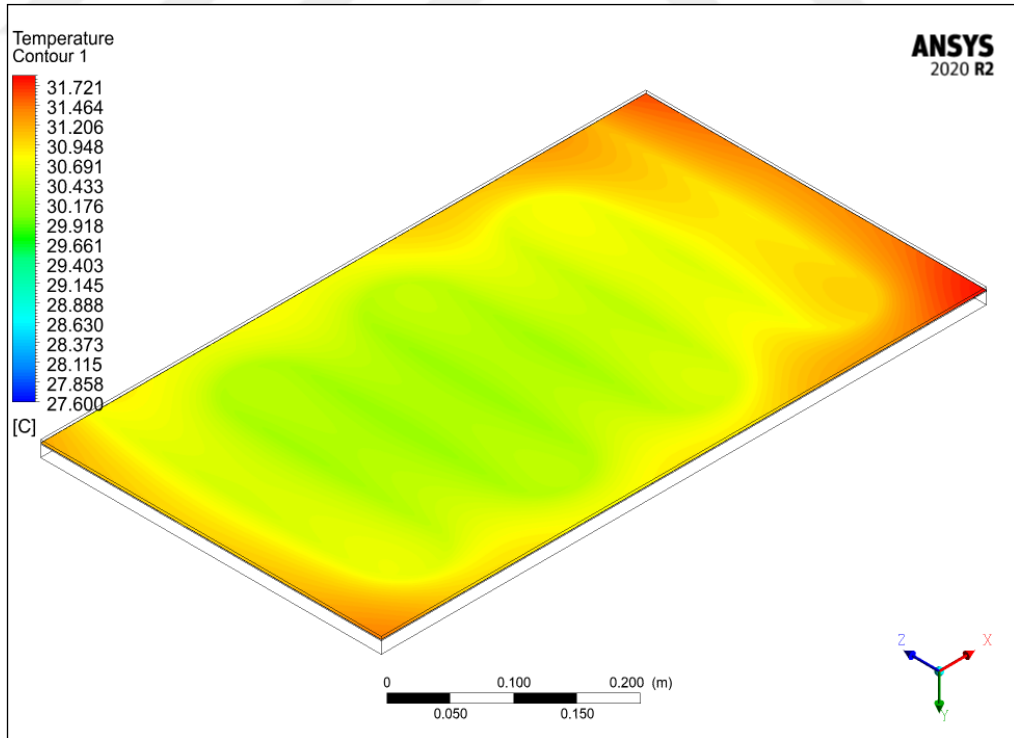
Şekil 4.11: 1000 W/m²'de akış olmayan haldeki sıcaklık dağılımı.

4.7.2. Düz Serpantinli Akış Modeli Sonuçları

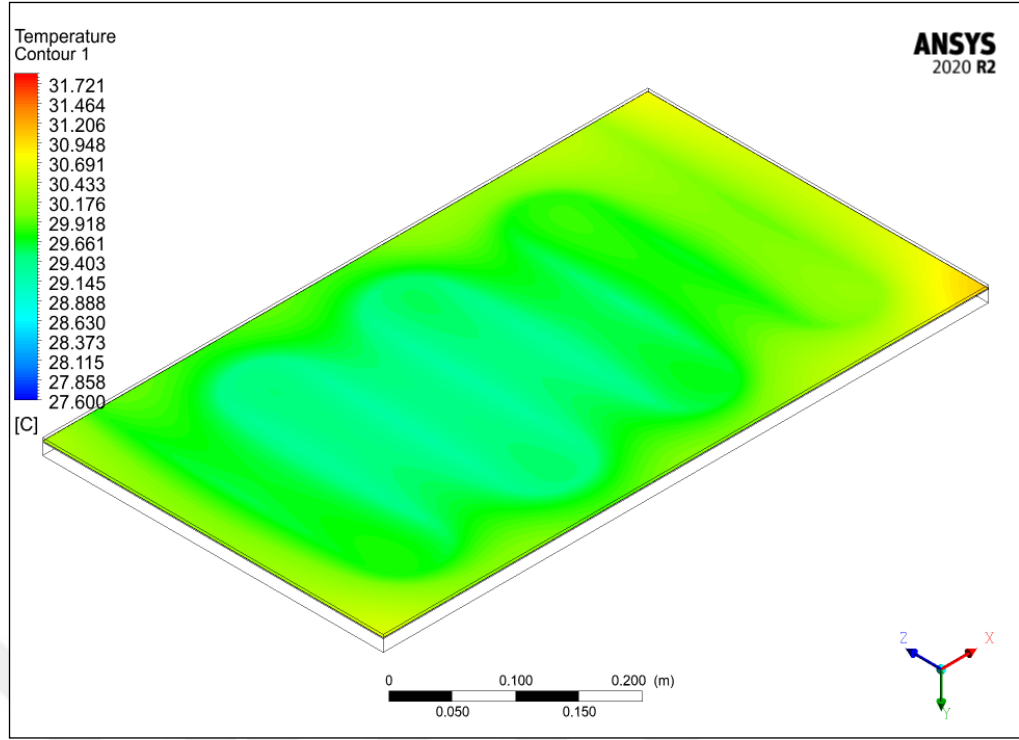
Mevcut çalışmada öncelikle düz serpantinli akış modeline dair sonuçlar verilmiş, düz serpantin ve zorlanmış havanın birlikte çalışması incelenmiştir. Burada çalışma akışkanı olarak su, MWCNT/su karışımı, grafen nanopelet/su karışımları kullanılmış ve bunlar serpantin içerisine 1 m/s, 3 m/s ve 5 m/s hızlarıyla gönderilmiştir. Zorlanmış hava hızı ise 5 m/s hızda sabit olarak belirlenmiştir. Yapılan analizlere ait sıcaklık kontürleri ve tablolar aşağıdaki gibidir.

4.7.2.1. 200 W/m² için Sonuçlar

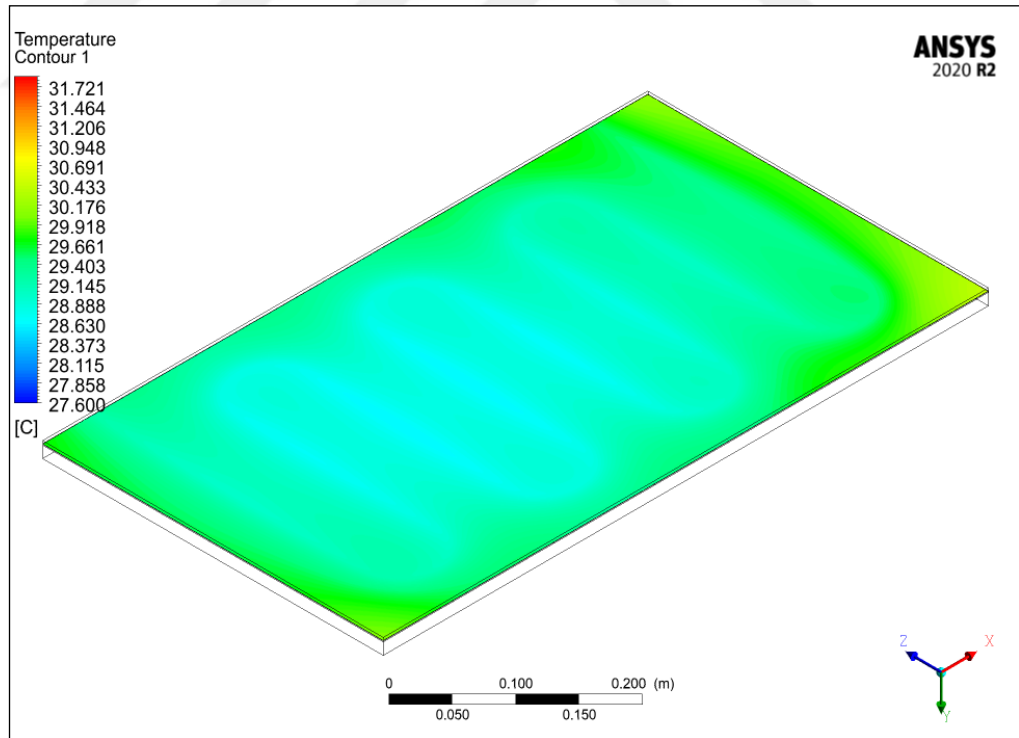
200W/m² güneş radyasyonu uygulanan düz serpantinli PV/T sistemin üzerindeki PV katmanının sıcaklık dağılımı Şekil 4.12, Şekil 4.13, Şekil 4.14, Şekil 4.15, Şekil 4.16, Şekil 4.17, Şekil 4.18, Şekil 4.19 ve Şekil 4.20’de gösterilmiştir. Buradaki sıcaklık dağılımına bakarak MWCNT/su karışımının diğer çalışma akışkanlarından daha iyi bir soğutma performansı gösterdiği görülebilir.



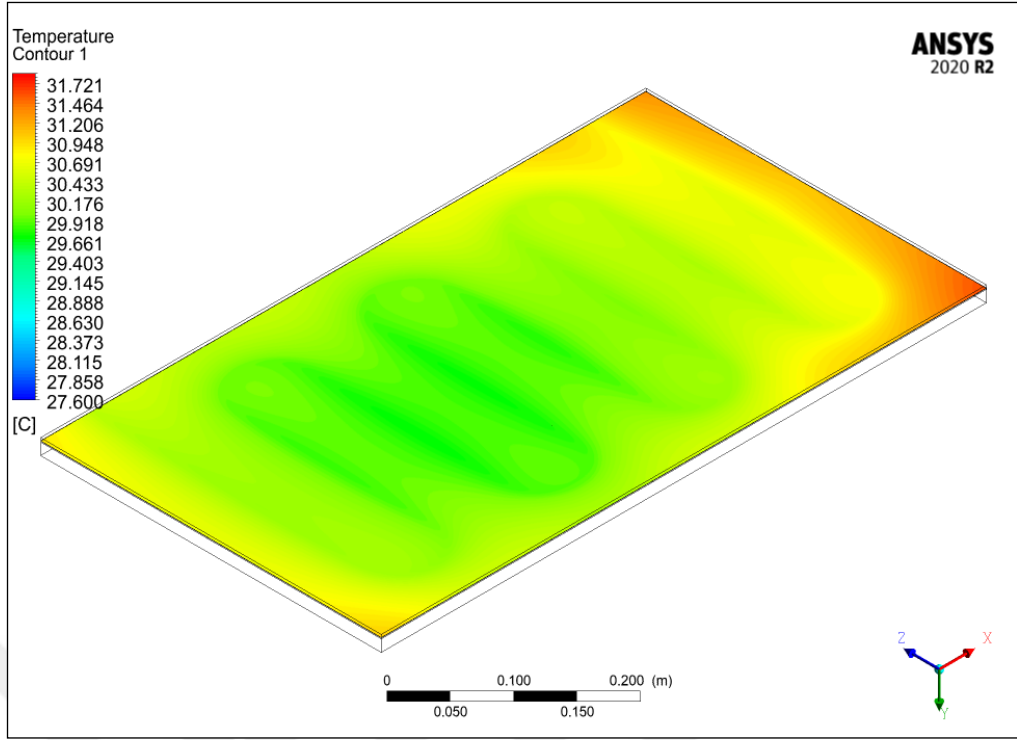
Şekil 4.12: Çalışma sıvısının su, hızının 1 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.



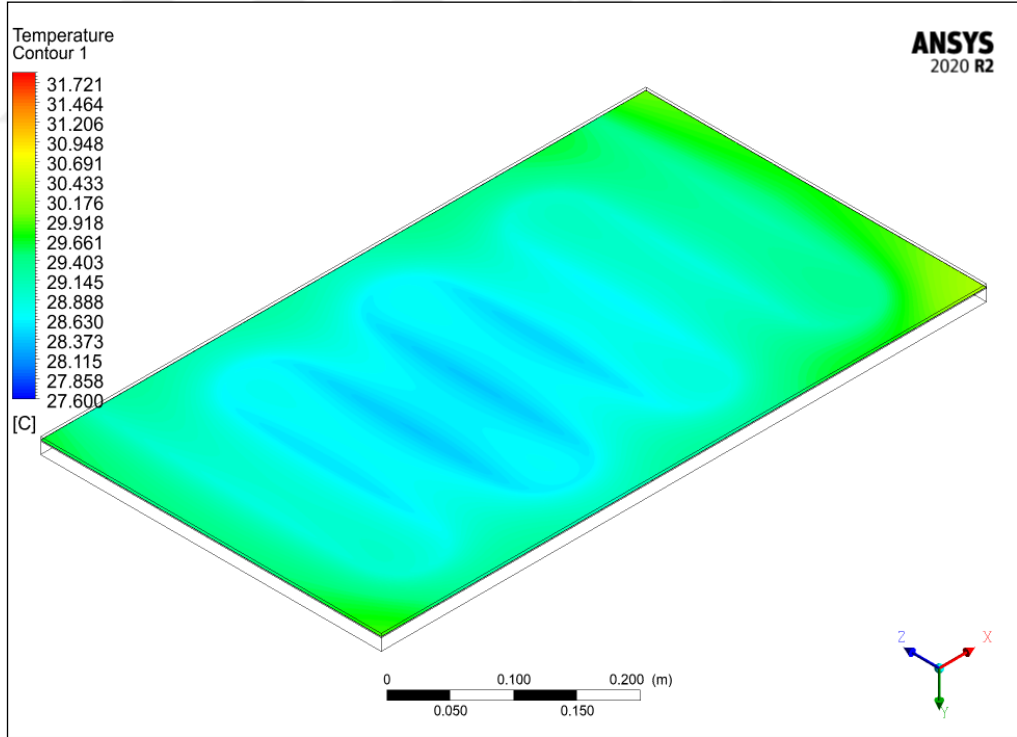
Şekil 4.13: Çalışma sıvısının grafen nanopelet/su, hızının 1 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.



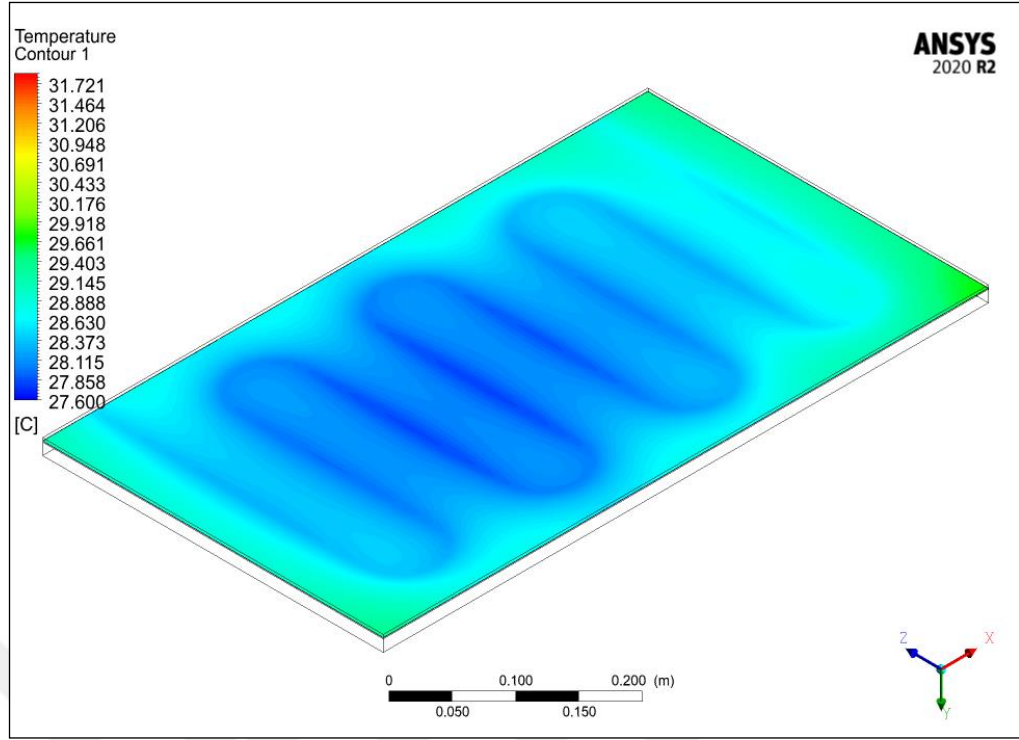
Şekil 4.14: Çalışma sıvısının MWCNT/su, hızının 1 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.



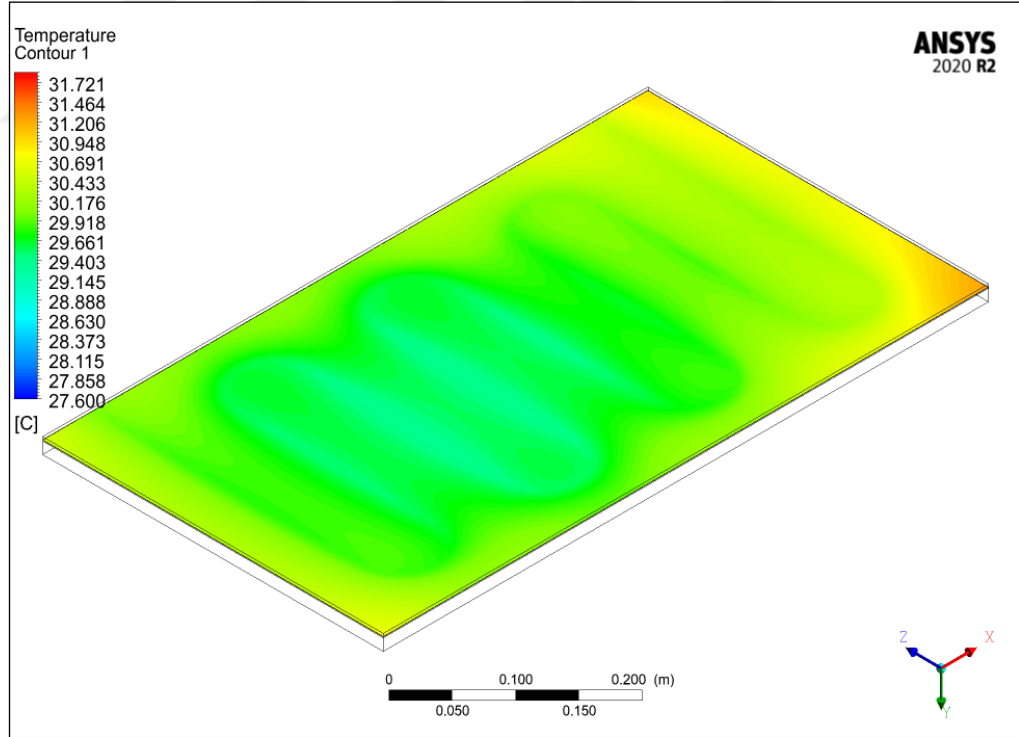
Şekil 4.15: Çalışma sıvısının su, hızının 3 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.



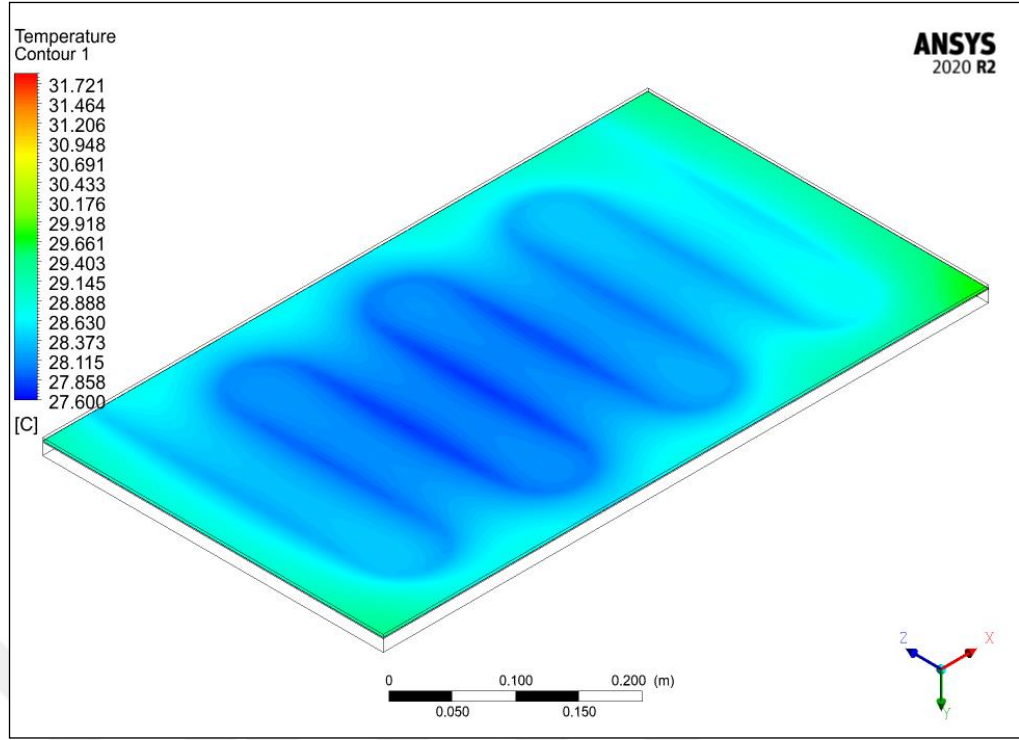
Şekil 4.16: Çalışma sıvısının grafen nanopelet/su, hızının 3 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.



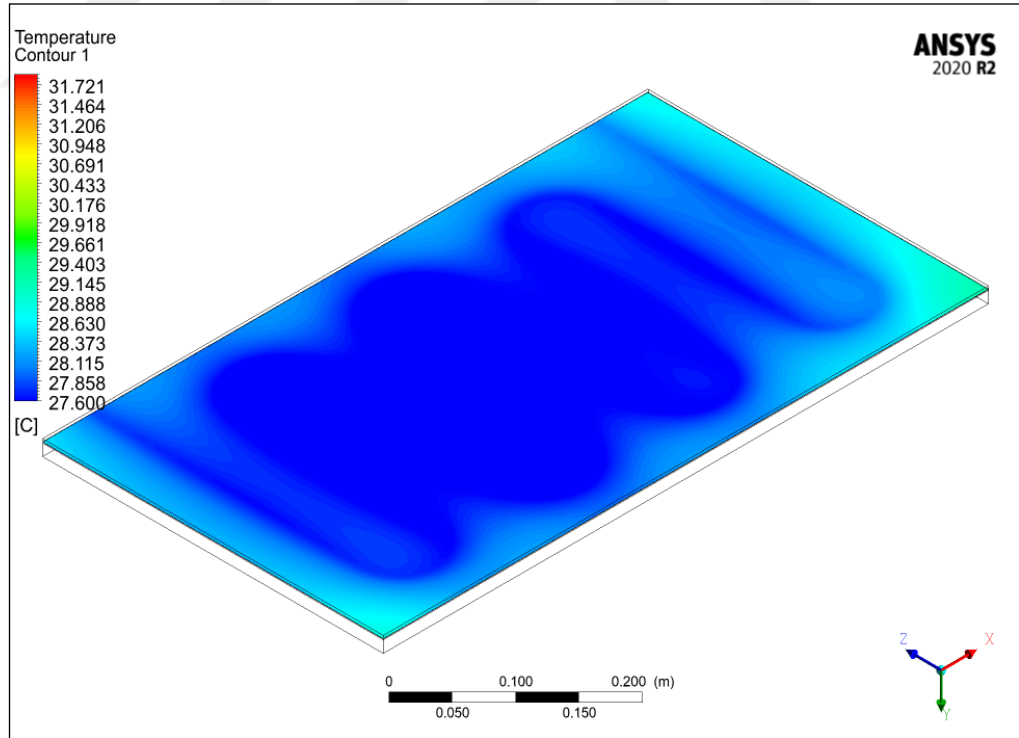
Şekil 4.17: Çalışma sıvısının MWCNT/su, hızının 3 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.



Şekil 4.18: Çalışma sıvısının su, hızının 5 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.



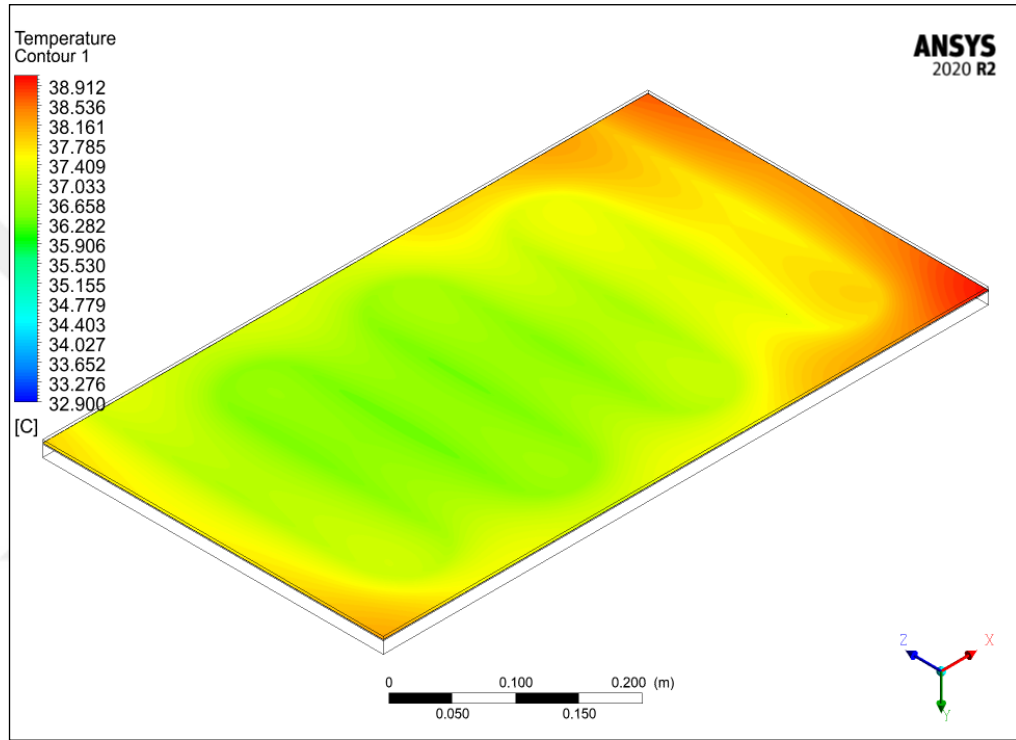
Şekil 4.19: Çalışma sıvısının grafen nanopelet/su, hızının 5 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.



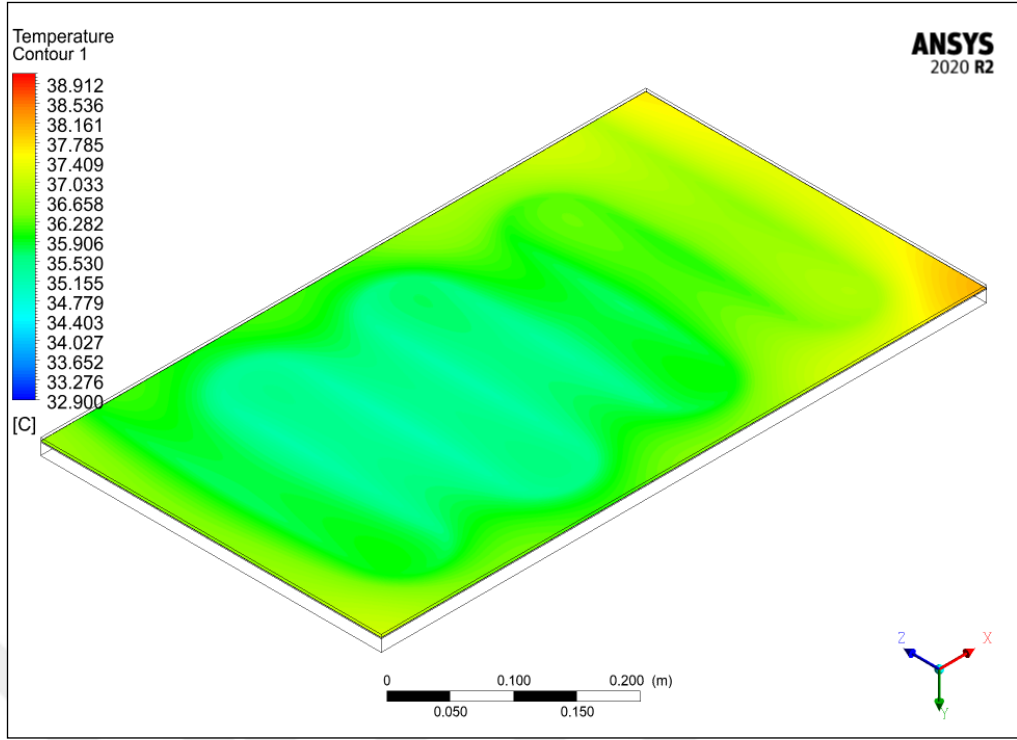
Şekil 4.20: Çalışma sıvısının MWCNT/su, hızının 5 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.

4.7.2.2. 400 W/m² için Sonuçlar

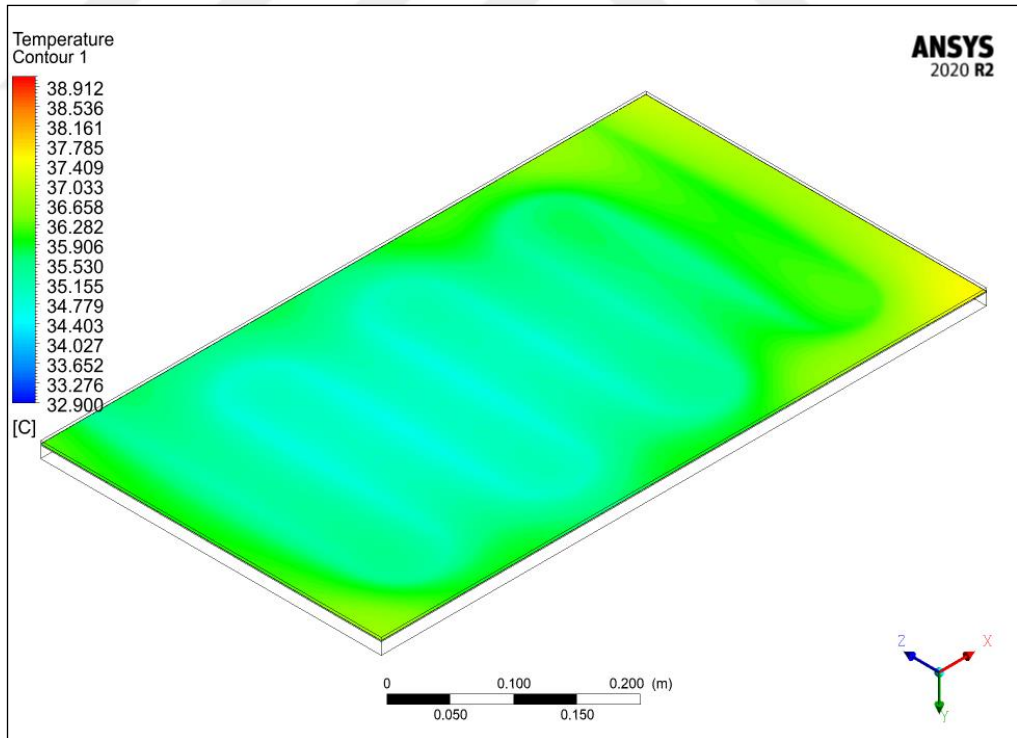
400W/m² güneş radyasyonu uygulanan düz serpantinli PV/T sistemin üzerindeki PV katmanının sıcaklık dağılımı Şekil 4.21, Şekil 4.22, Şekil 4.23, Şekil 4.24, Şekil 4.25, Şekil 4.26, Şekil 4.27, Şekil 4.28 ve Şekil 4.29’da gösterilmiştir. Buradaki sıcaklık dağılımına bakarak MWCNT/su karışımının diğer çalışma akışkanlarından daha iyi bir soğutma performansı gösterdiği görülebilir.



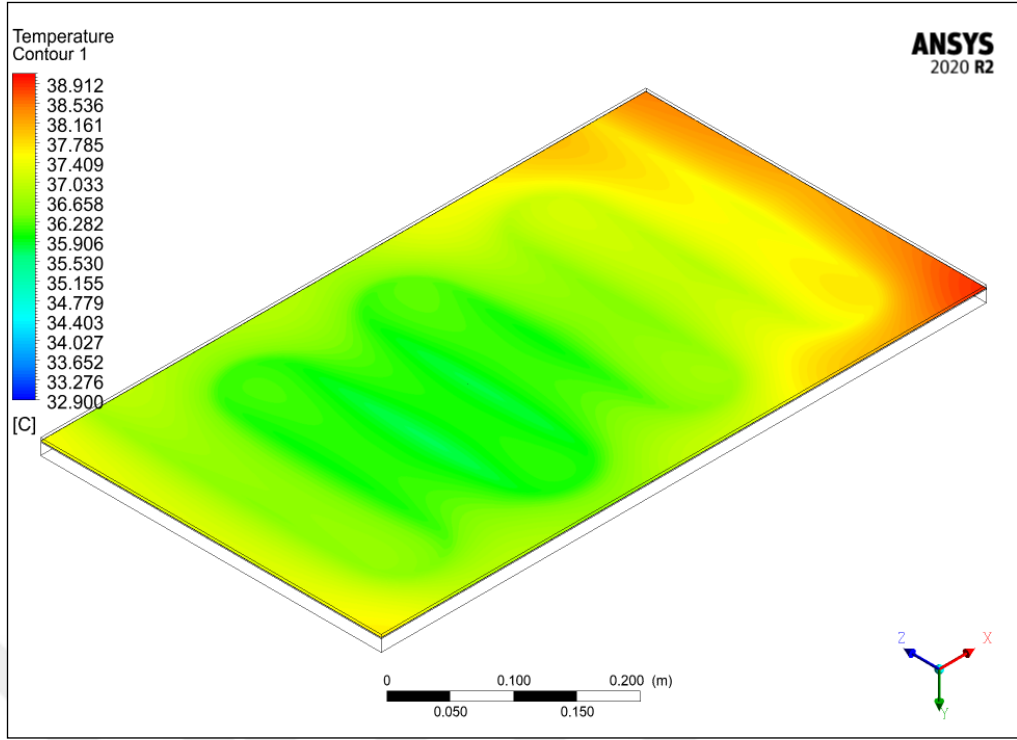
Şekil 4.21: Çalışma sıvısının su, hızının 1 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.



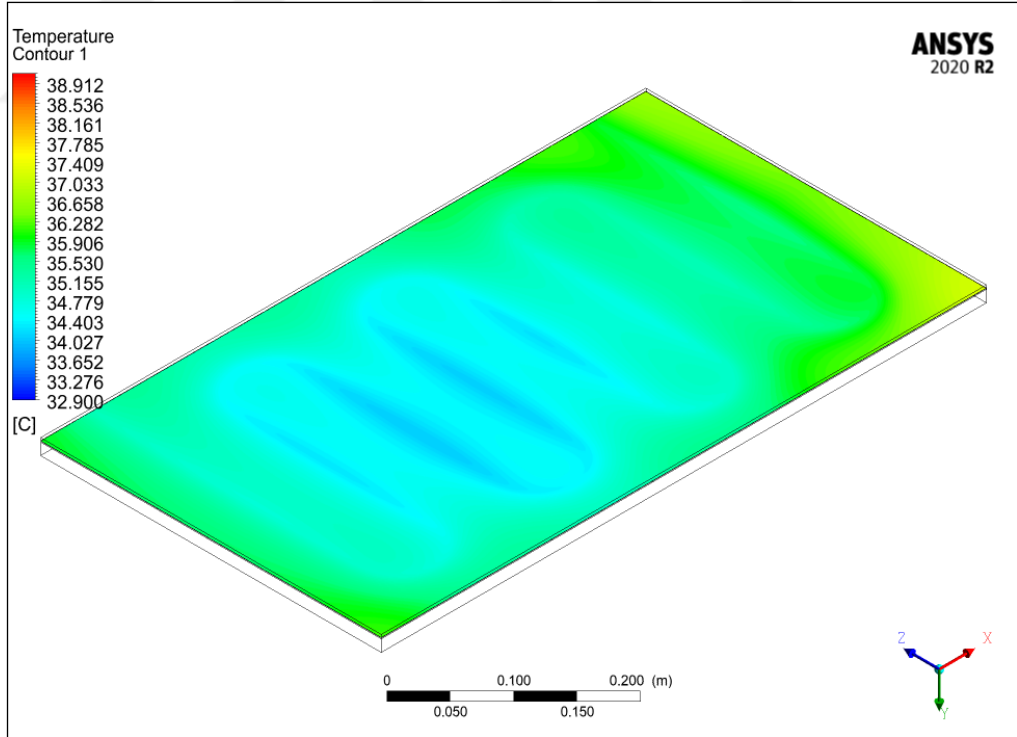
Şekil 4.22: Çalışma sıvısının grafen nanopelet/su, hızının 1 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.



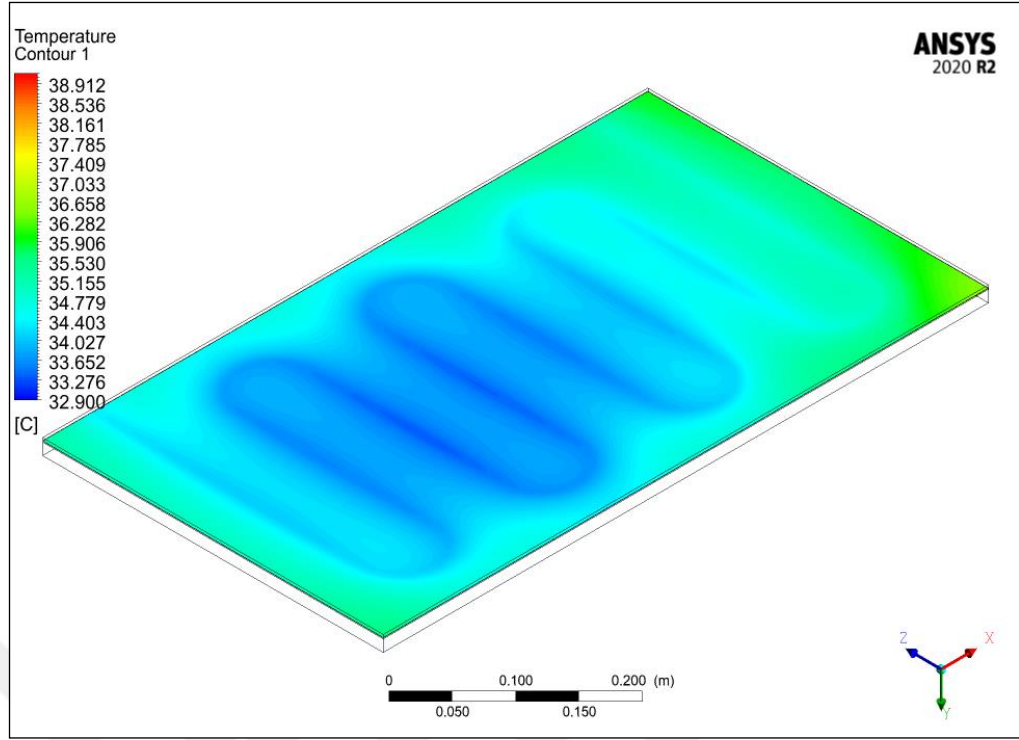
Şekil 4.23: Çalışma sıvısının MWCNT/su, hızının 1 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.



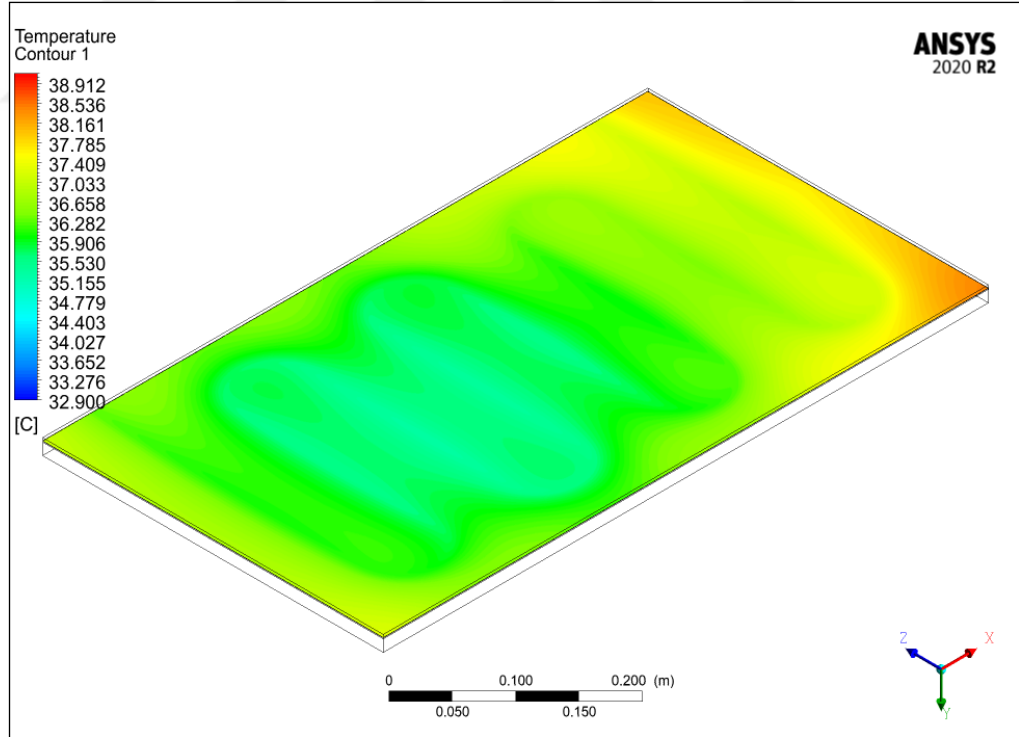
Şekil 4.24: Çalışma sıvısının su, hızının 3 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.



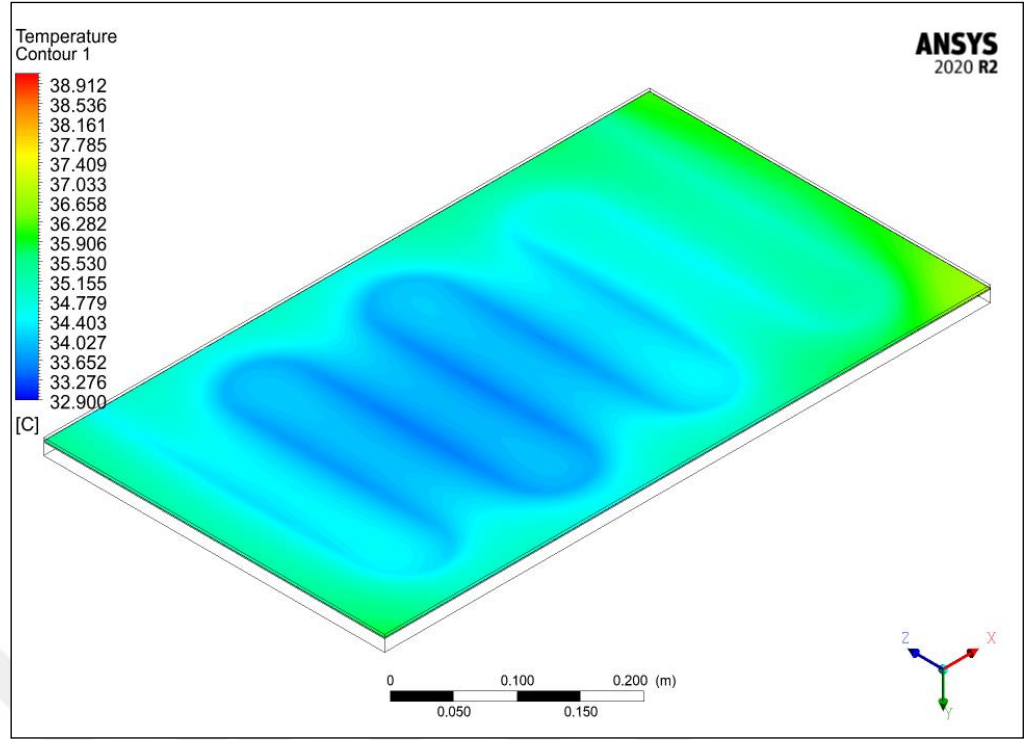
Şekil 4.25: Çalışma sıvısının grafen nanopelet/su, hızının 3 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.



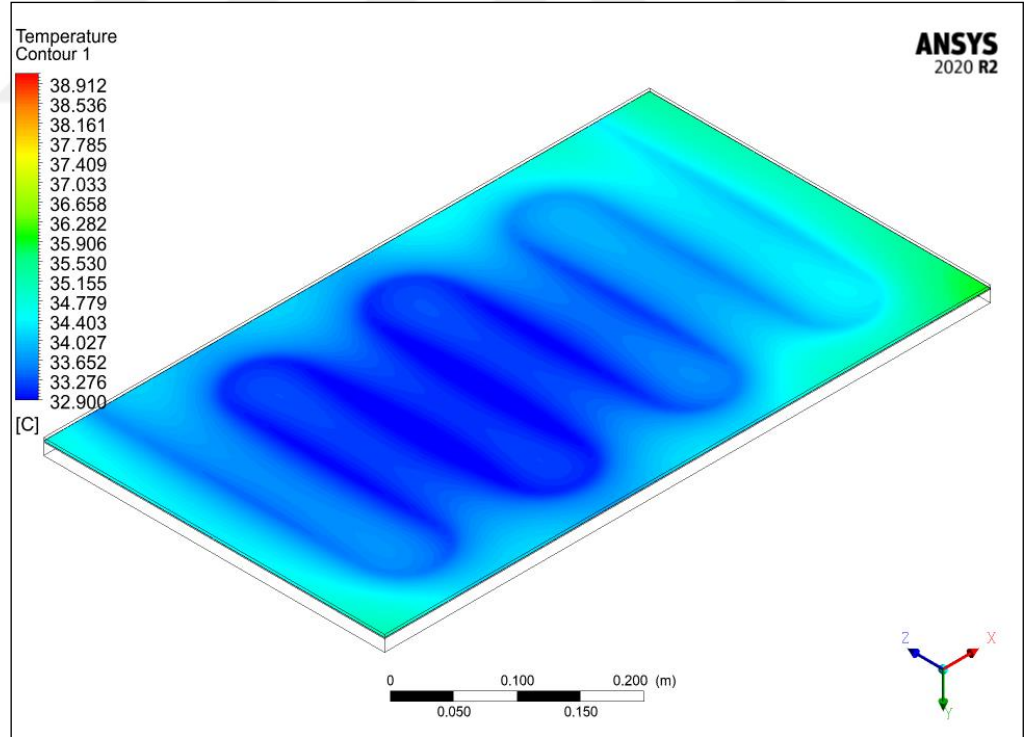
Şekil 4.26: Çalışma sıvısının MWCNT/su, hızının 3 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.



Şekil 4.27: Çalışma sıvısının su, hızının 5 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.



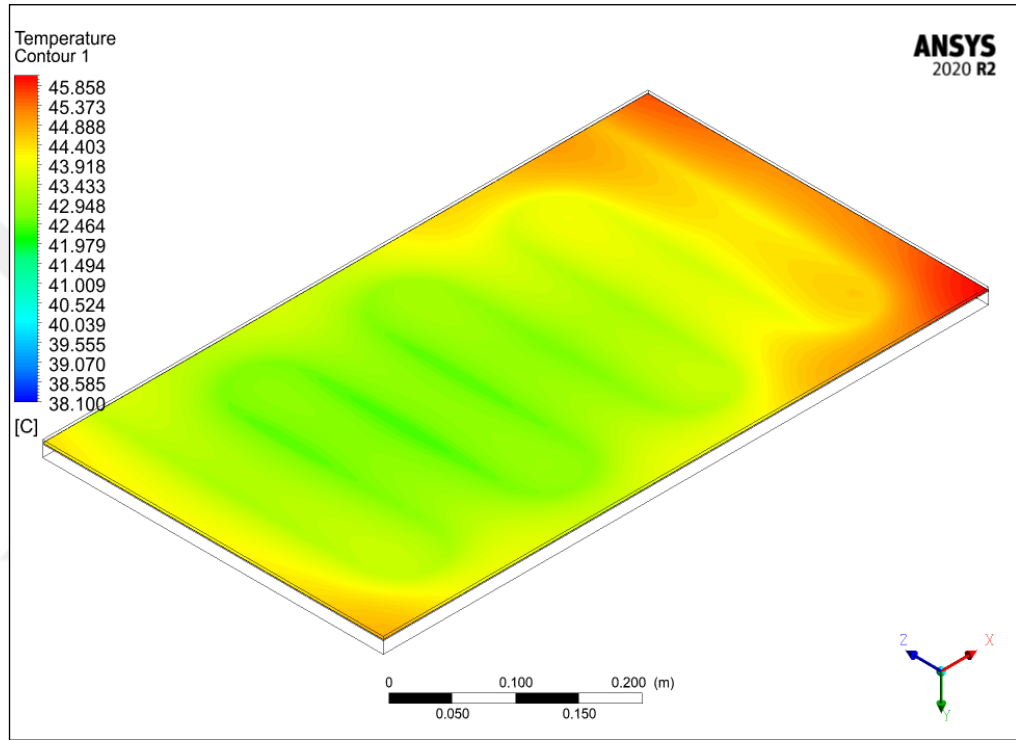
Şekil 4.28: Çalışma sıvısının grafen nanopelet/su, hızının 5 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.



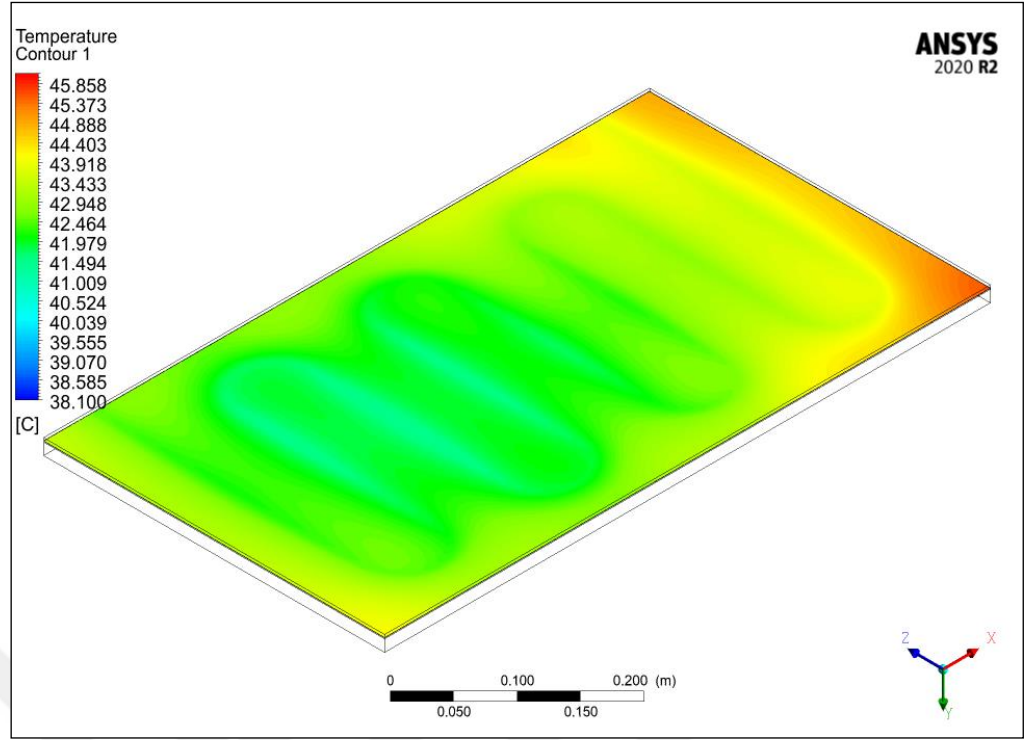
Şekil 4.29: Çalışma sıvısının MWCNT/su, hızının 5 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.

4.7.2.3. 600 W/m² için Sonuçlar

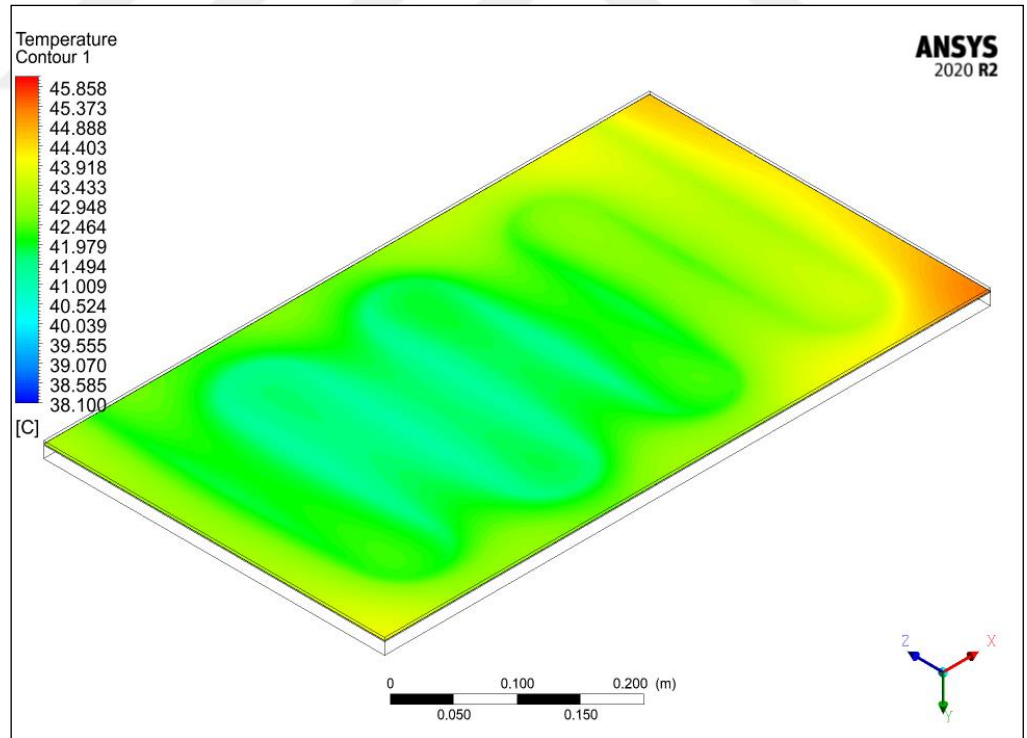
600W/m² güneş radyasyonu uygulanan düz serpantinli PV/T sistemin üzerindeki PV katmanının sıcaklık dağılımı Şekil 4.30, Şekil 4.31, Şekil 4.32, Şekil 4.33, Şekil 4.34, Şekil 4.35, Şekil 4.36, Şekil 4.37, ve Şekil 4.38’de gösterilmiştir. Buradaki sıcaklık dağılımına bakarak MWCNT/su karışımının diğer çalışma akışkanlarından daha iyi bir soğutma performansı gösterdiği görülebilir.



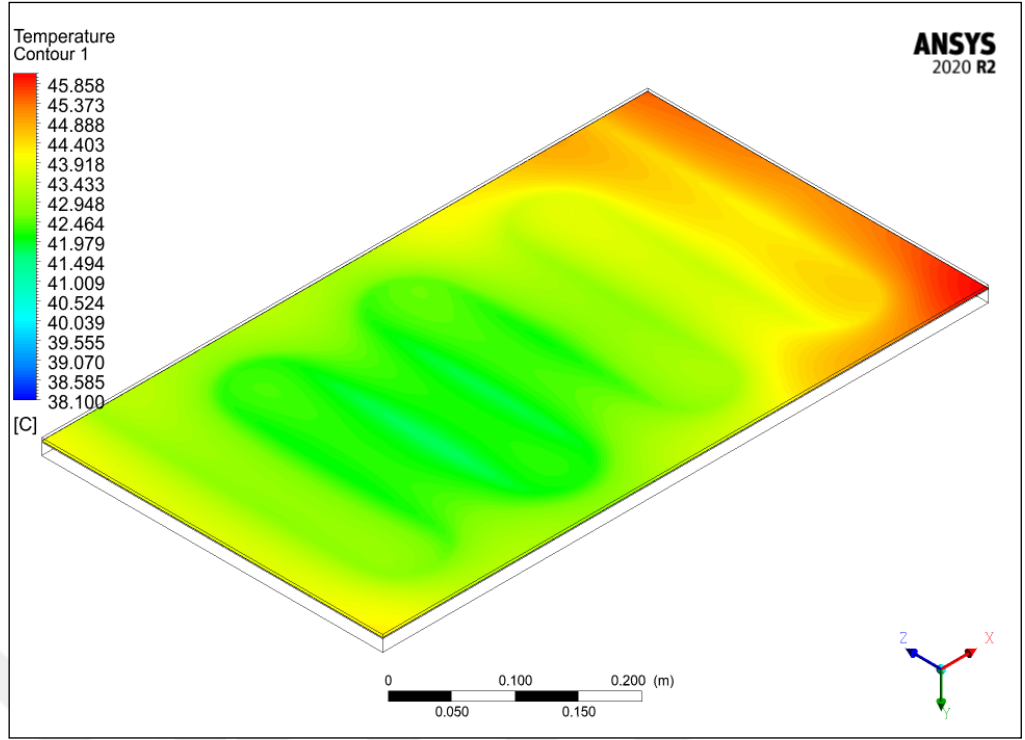
Şekil 4.30: Çalışma sıvısının su, hızının 1 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.



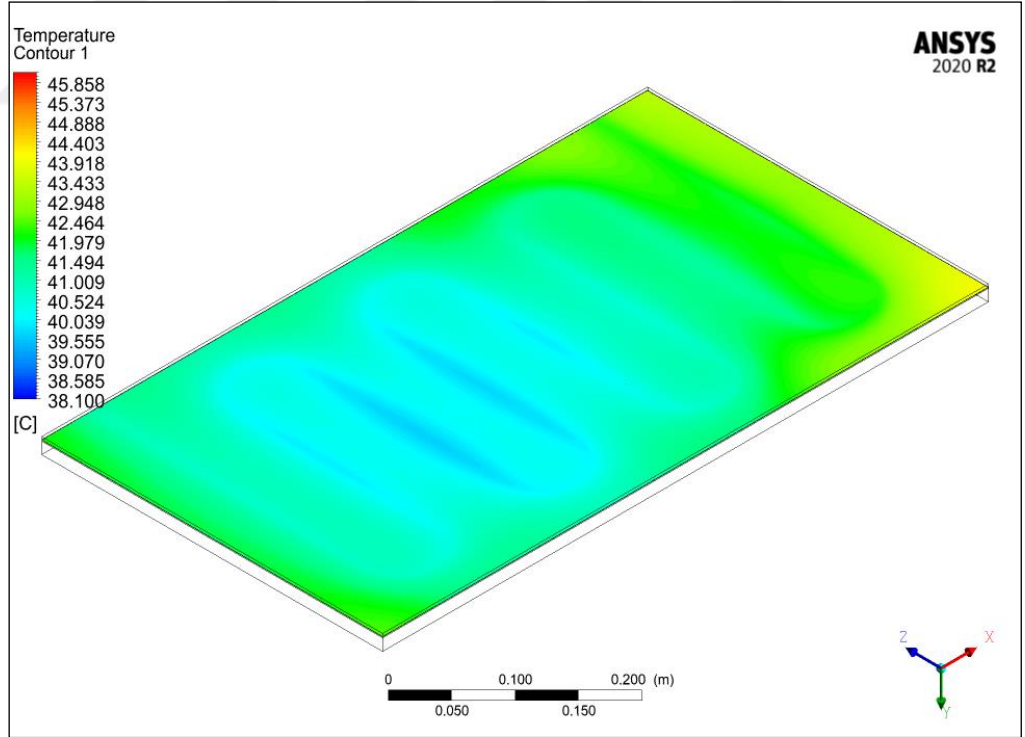
Şekil 4.31: Çalışma sıvısının grafen nanopelet/su, hızının 1 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.



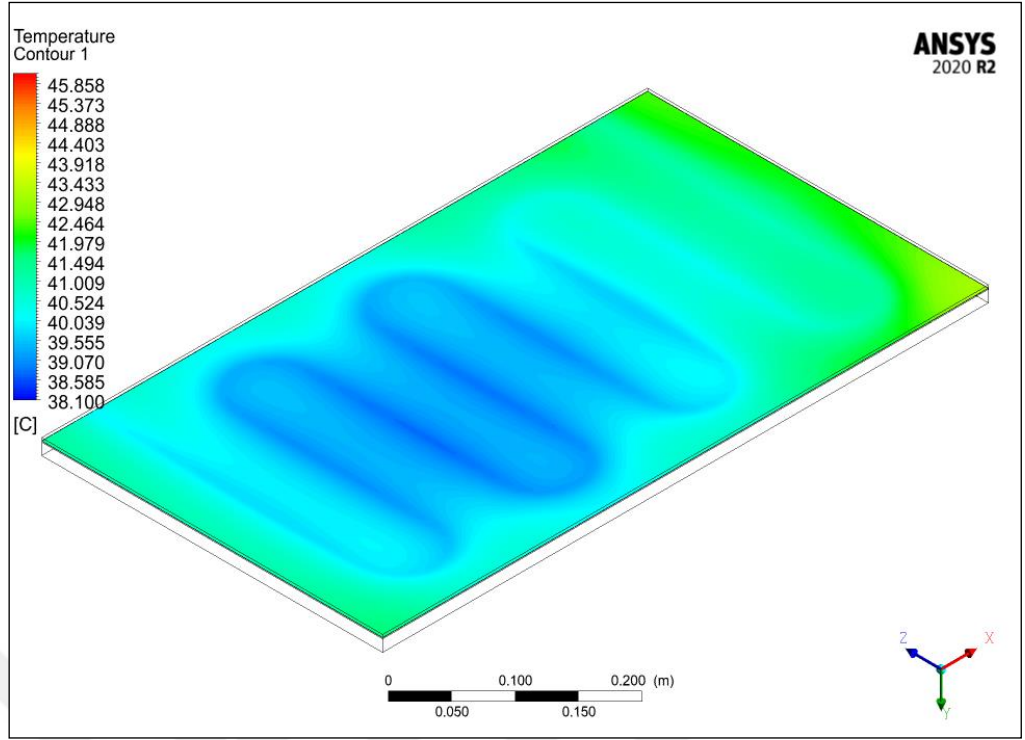
Şekil 4.32: Çalışma sıvısının MWCNT/su, hızının 1 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.



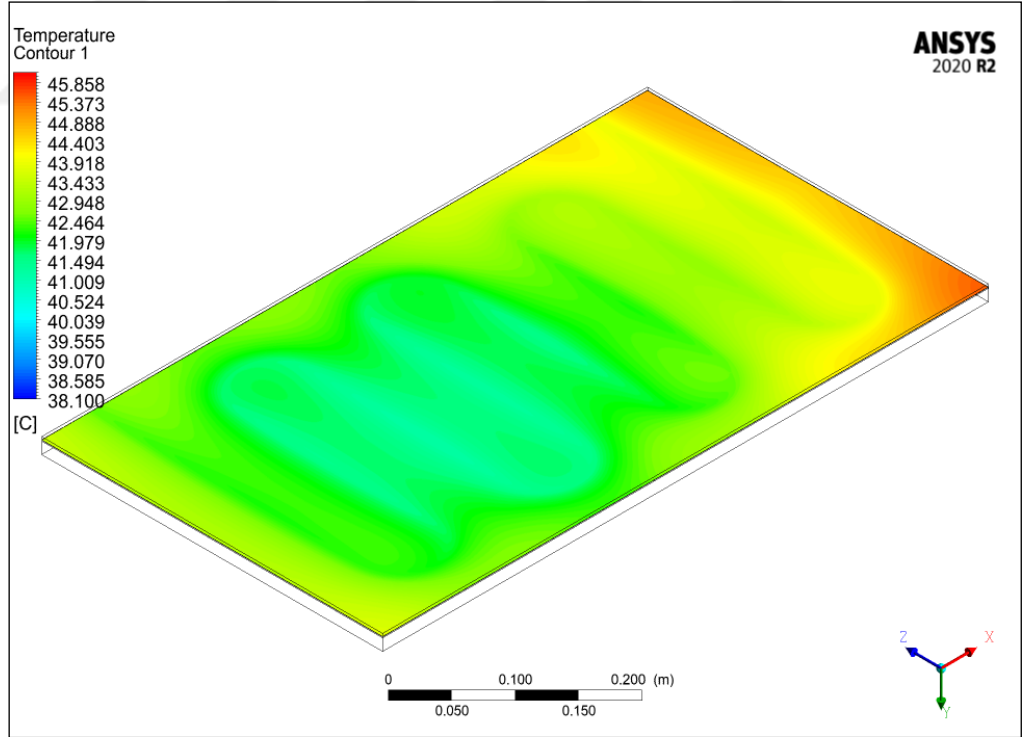
Şekil 4.33: Çalışma sıvısının su, hızının 3 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.



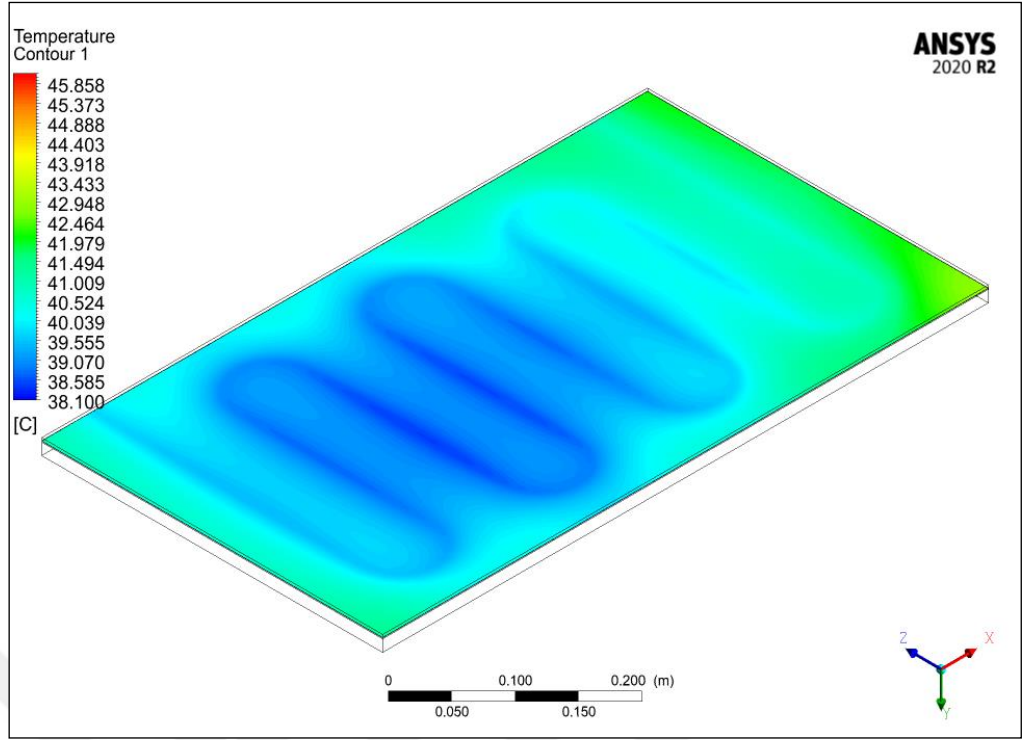
Şekil 4.34: Çalışma sıvısının grafen nanopelet/su, hızının 3 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.



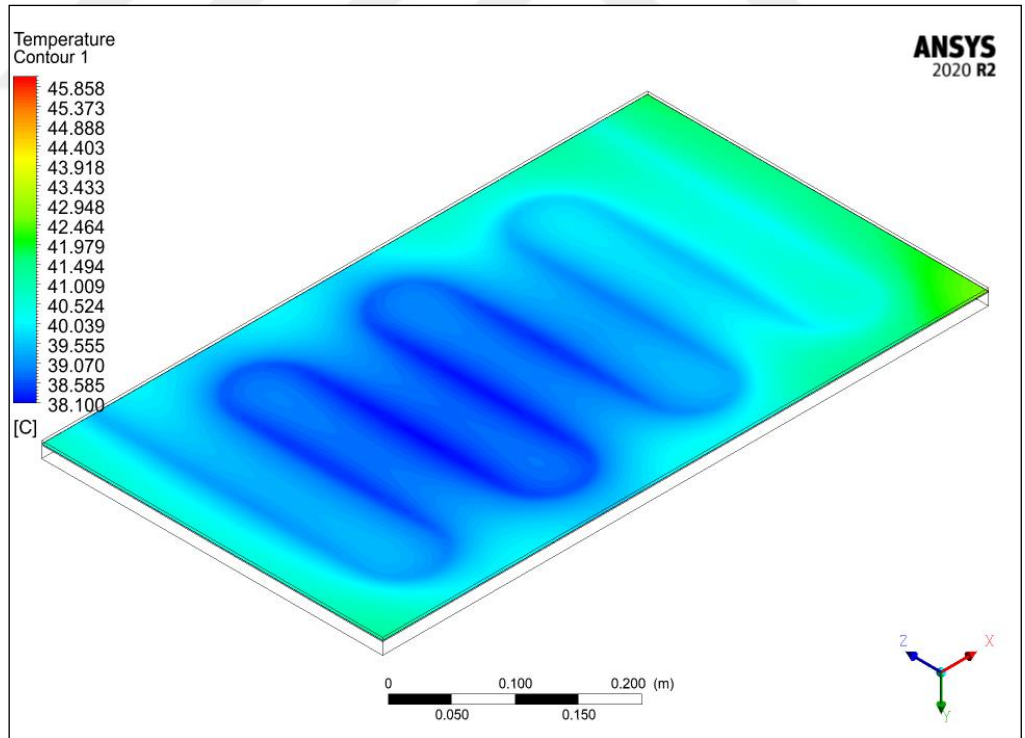
Şekil 4.35: Çalışma sıvısının MWCNT/su, hızının 3 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.



Şekil 4.36: Çalışma sıvısının su, hızının 5 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.



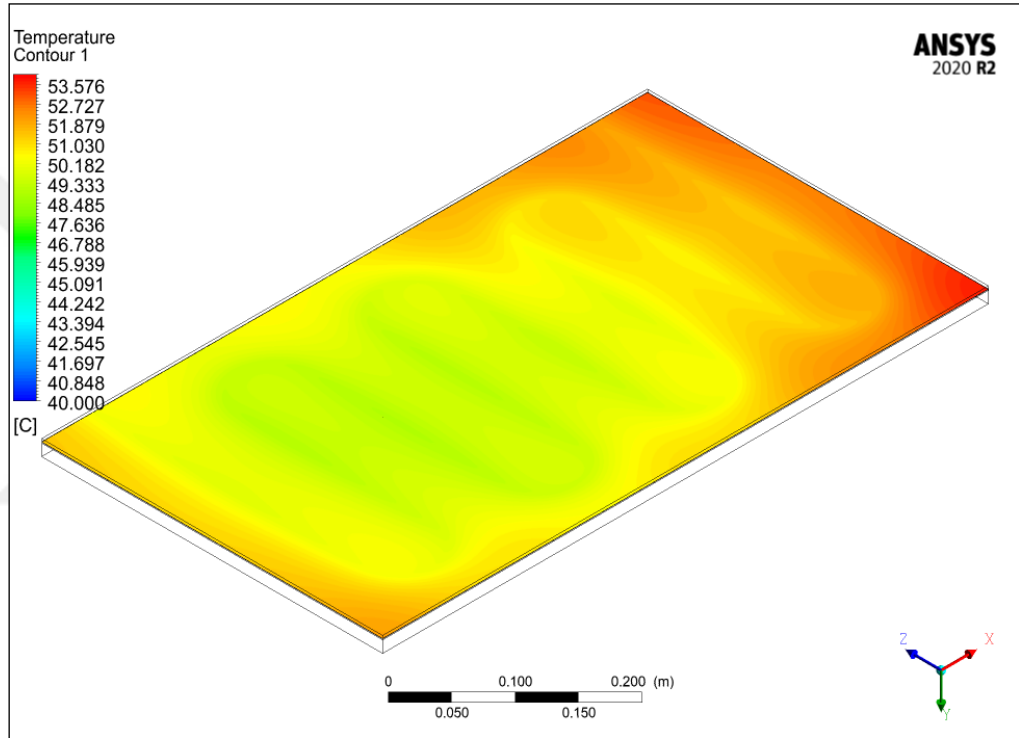
Şekil 4.37: Çalışma sıvısının grafen nanopelet/su, hızının 5 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.



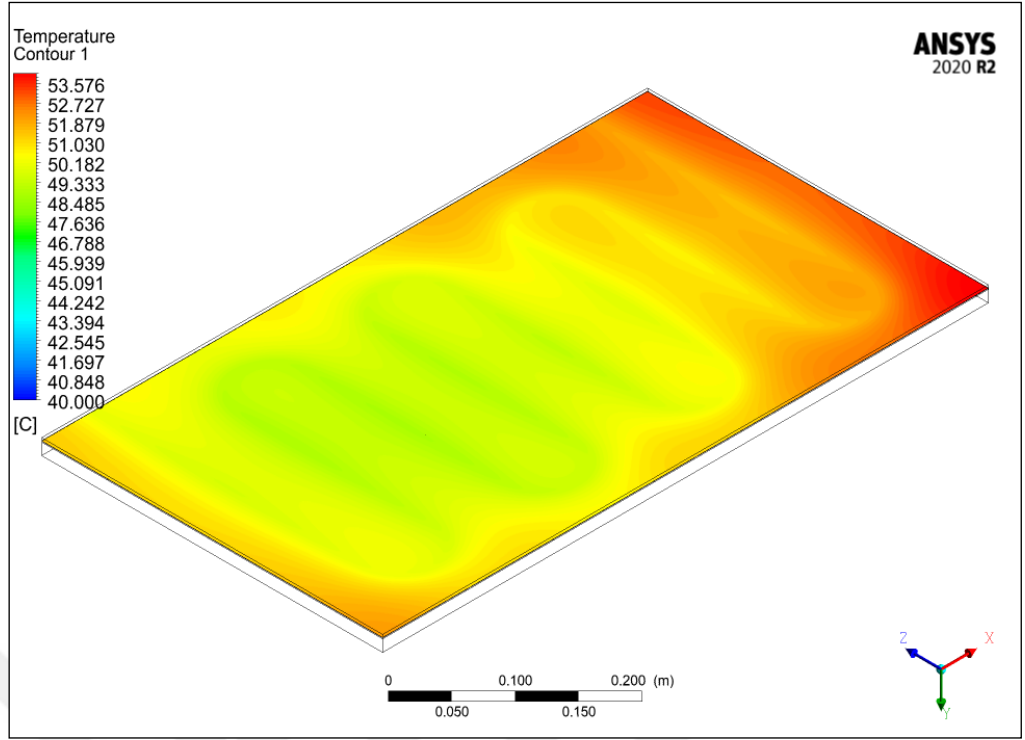
Şekil 4.38: Çalışma sıvısının MWCNT/su, hızının 5 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.

4.7.2.4. 800 W/m² için Sonuçlar

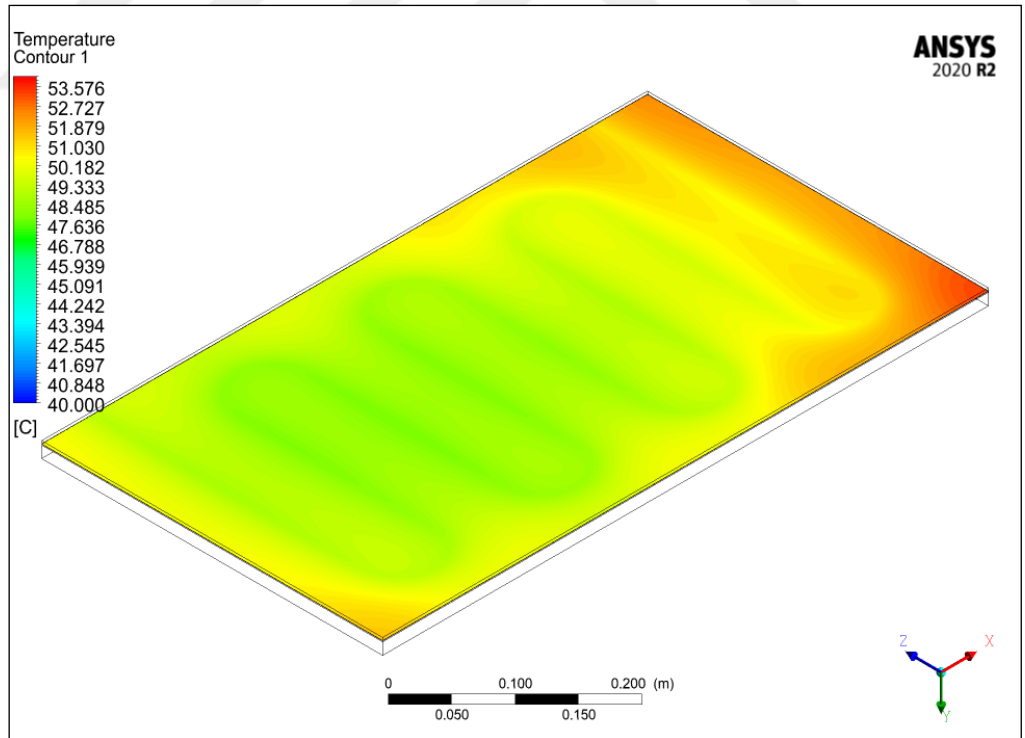
800W/m² güneş radyasyonu uygulanan düz serpantinli PV/T sistemin üzerindeki PV katmanının sıcaklık dağılımı Şekil 4.39, Şekil 4.40, Şekil 4.41, Şekil 4.42, Şekil 4.43, Şekil 4.44, Şekil 4.45, Şekil 4.46 ve Şekil 4.47’de gösterilmiştir. Buradaki sıcaklık dağılımına bakarak MWCNT/su karışımının diğer çalışma akışkanlarından daha iyi bir soğutma performansı gösterdiği görülebilir. Bunun yanında uygulanan güneş radyasyonu arttıkça yüzey sıcaklığının arttığı da gözlenebilir.



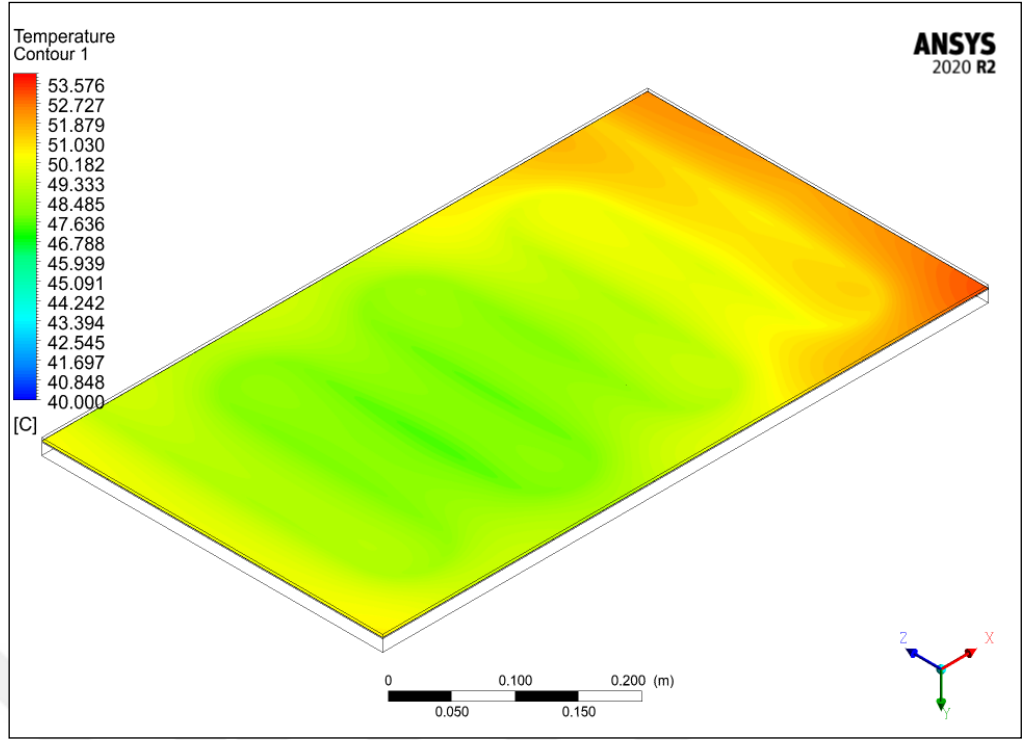
Şekil 4.39: Çalışma sıvısının su, hızının 1 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.



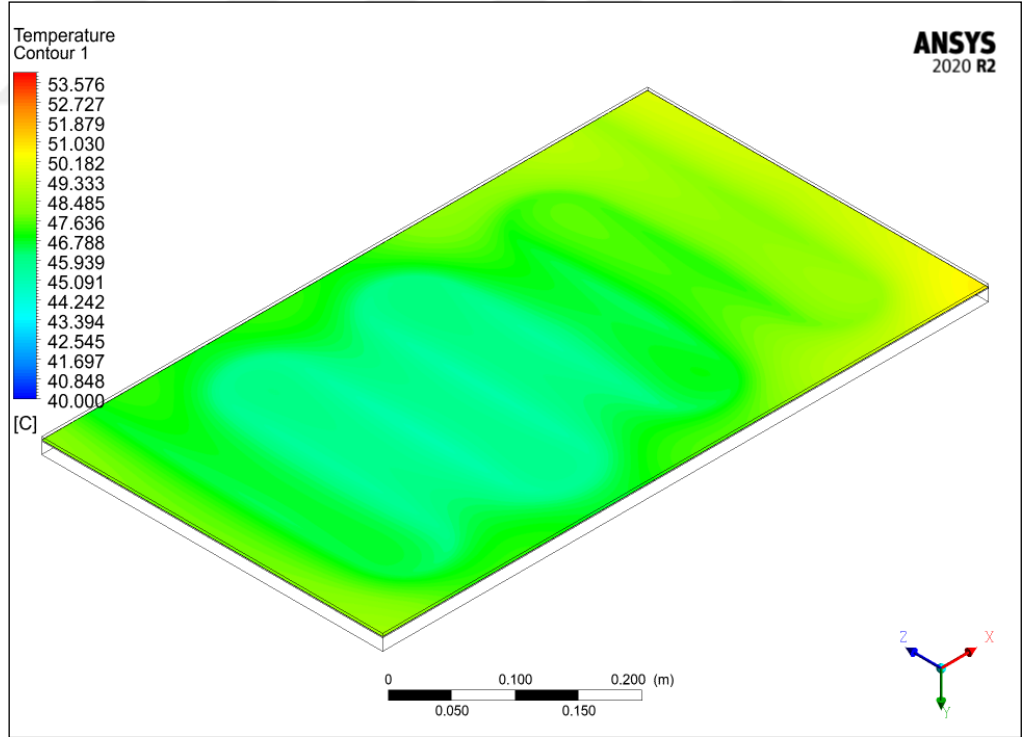
Şekil 4.40: Çalışma sıvısının grafen nanopelet/su, hızının 1 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.



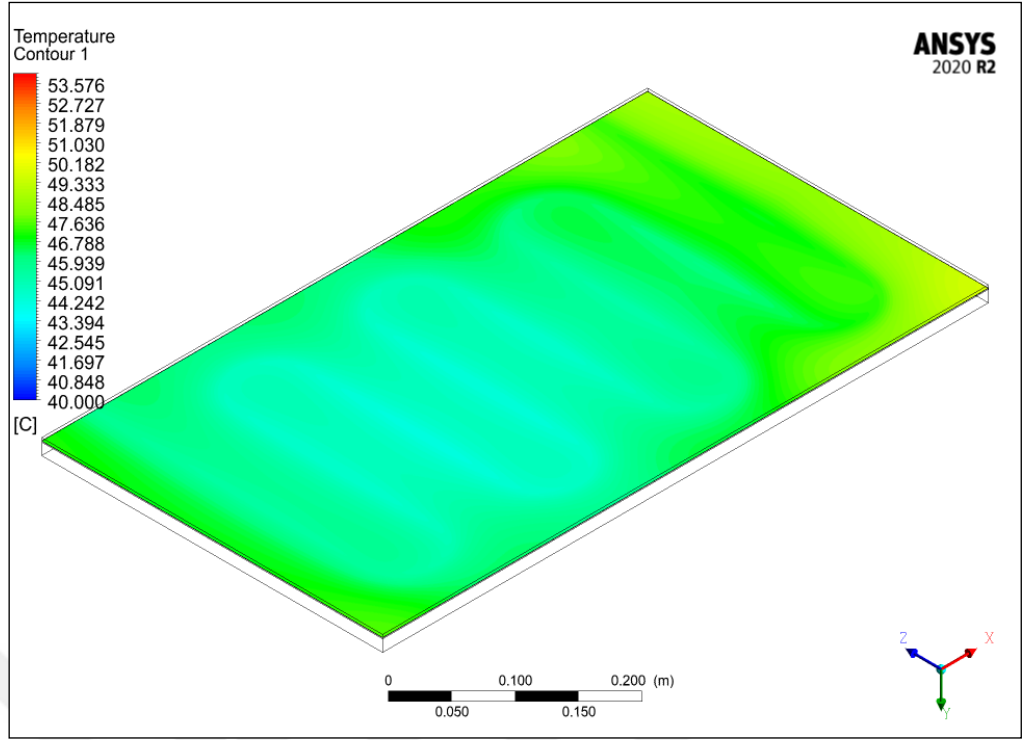
Şekil 4.41: Çalışma sıvısının MWCNT/su, hızının 1 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.



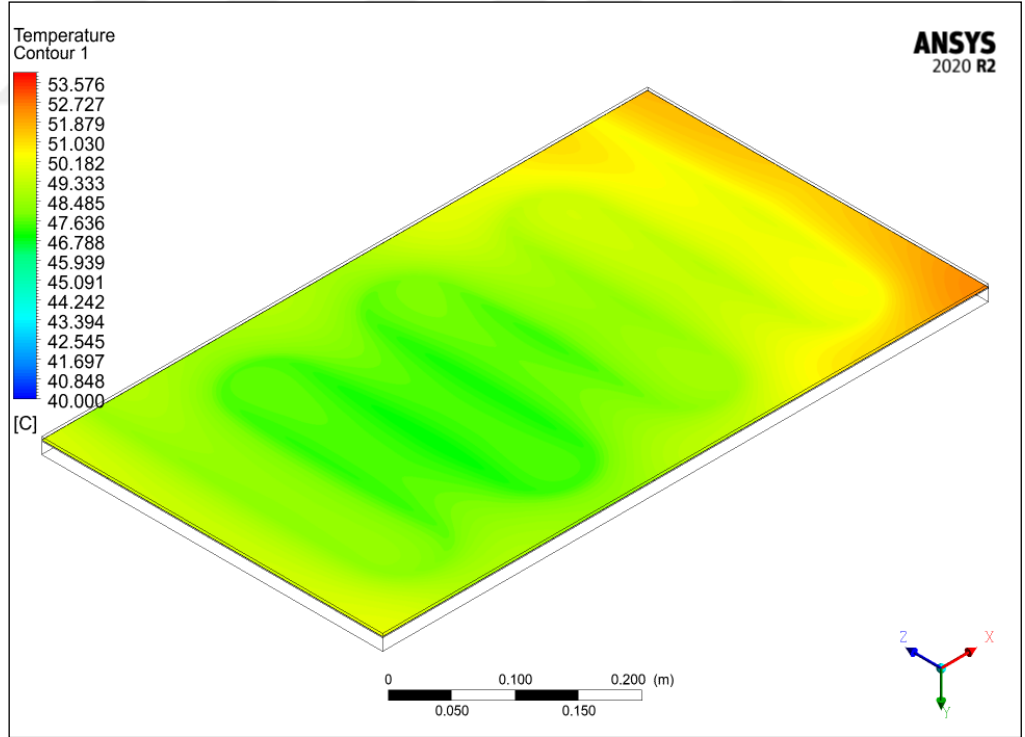
Şekil 4.42: Çalışma sıvısının su, hızının 3 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.



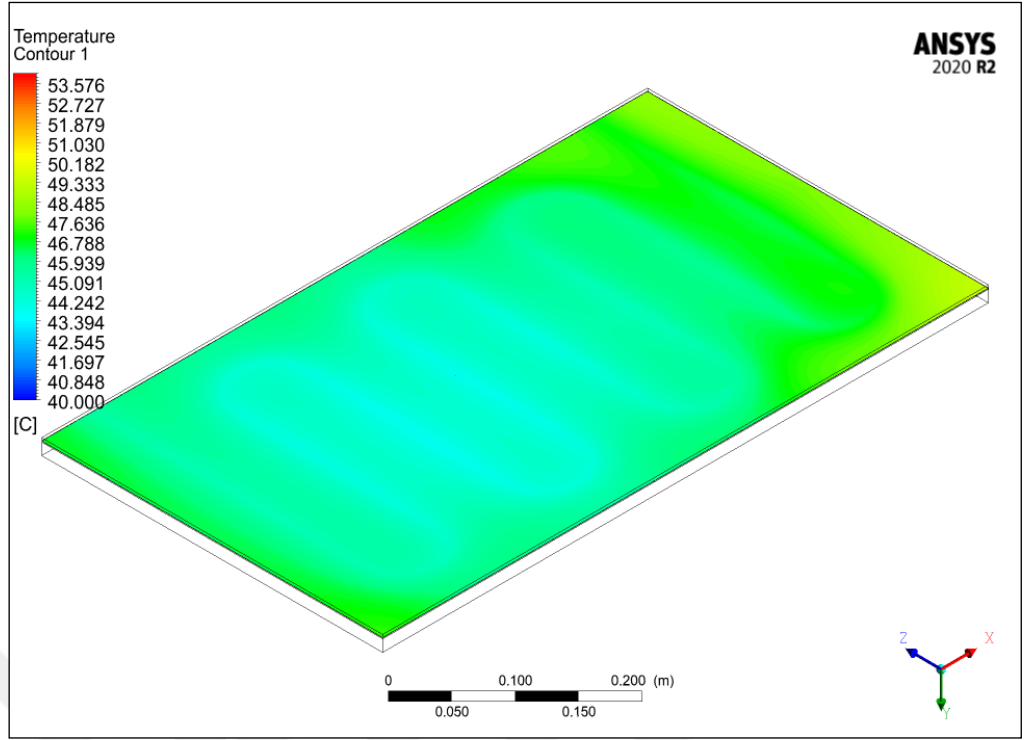
Şekil 4.43: Çalışma sıvısının grafen nanopelet/su, hızının 3 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.



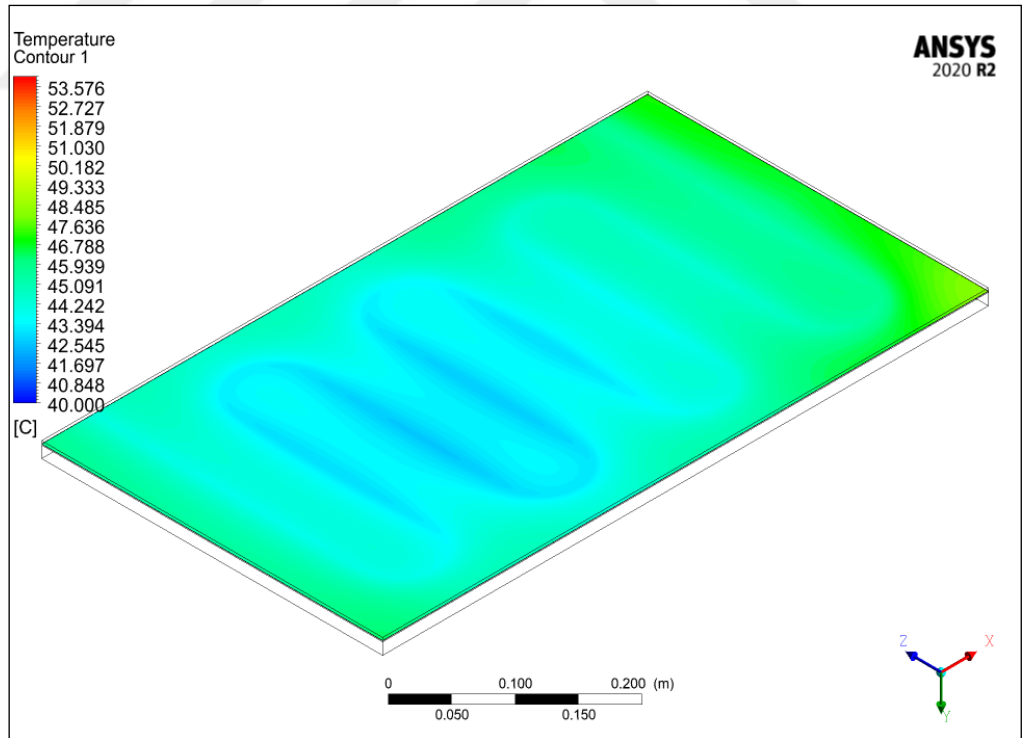
Şekil 4.44: Çalışma sıvısının MWCNT/su, hızının 3 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.



Şekil 4.45: Çalışma sıvısının su, hızının 5 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.



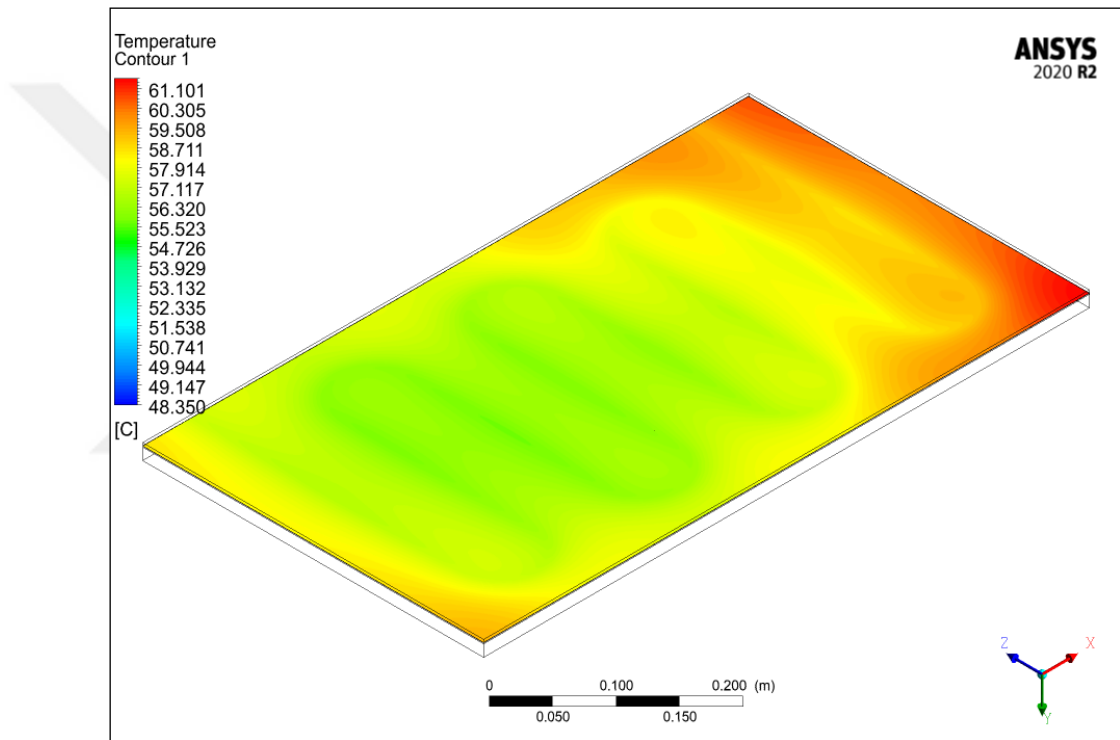
Şekil 4.46: Çalışma sıvısının grafen nanopelet/su, hızının 5 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.



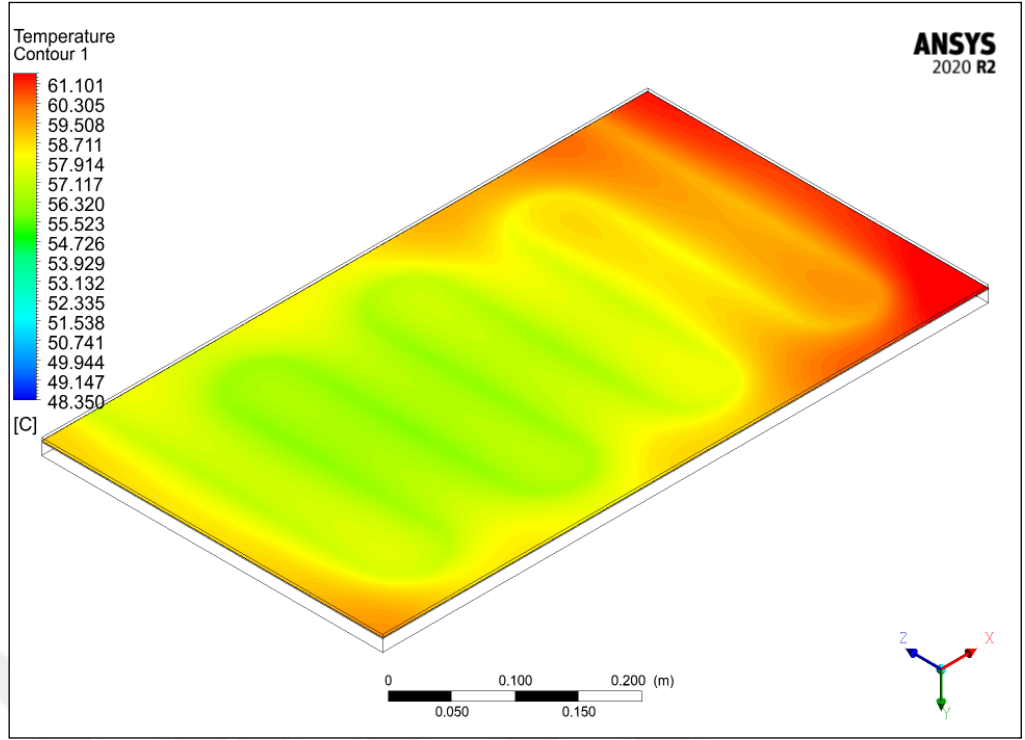
Şekil 4.47: Çalışma sıvısının MWCNT/su, hızının 5 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.

4.7.2.5. 1000 W/m² için Sonuçlar

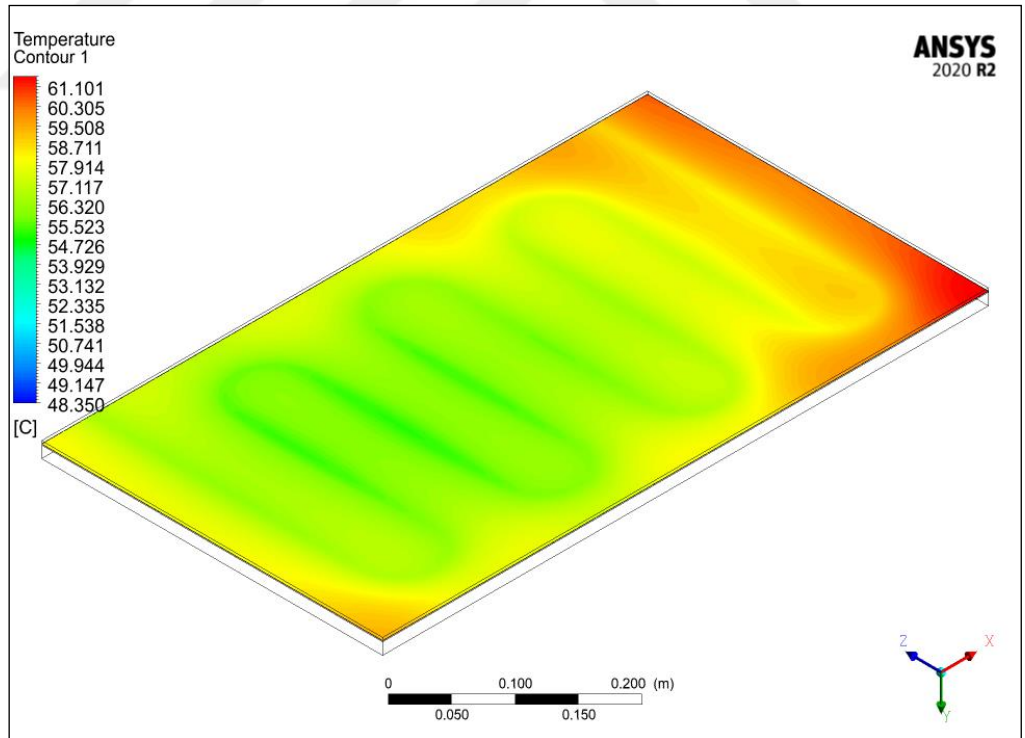
1000W/m² güneş radyasyonu uygulanan düz serpantinli PV/T sistemin üzerindeki PV katmanının sıcaklık dağılımı Şekil 4.48, Şekil 4.49, Şekil 4.50, Şekil 4.51, Şekil 4.52, Şekil 4.53, Şekil 4.54, Şekil 4.55 ve Şekil 4.56’da gösterilmiştir. Buradaki sıcaklık dağılımına bakarak MWCNT/su karışımının diğer çalışma akışkanlarından daha iyi bir soğutma performansı gösterdiği görülebilir. Burada 1000W/m² güneş radyasyonu uygulandığında sıcaklığın analiz koşullarında en yüksek seviyeye çıktığı da net olarak gözlemlenebilir.



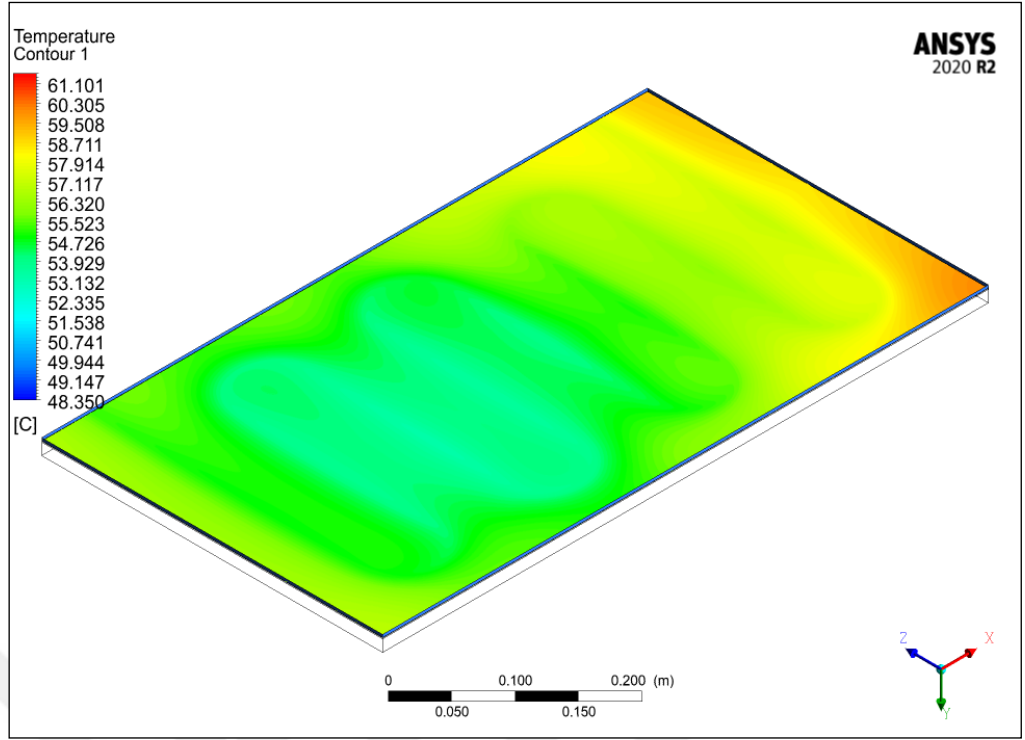
Şekil 4.48: Çalışma sıvısının su, hızının 1 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.



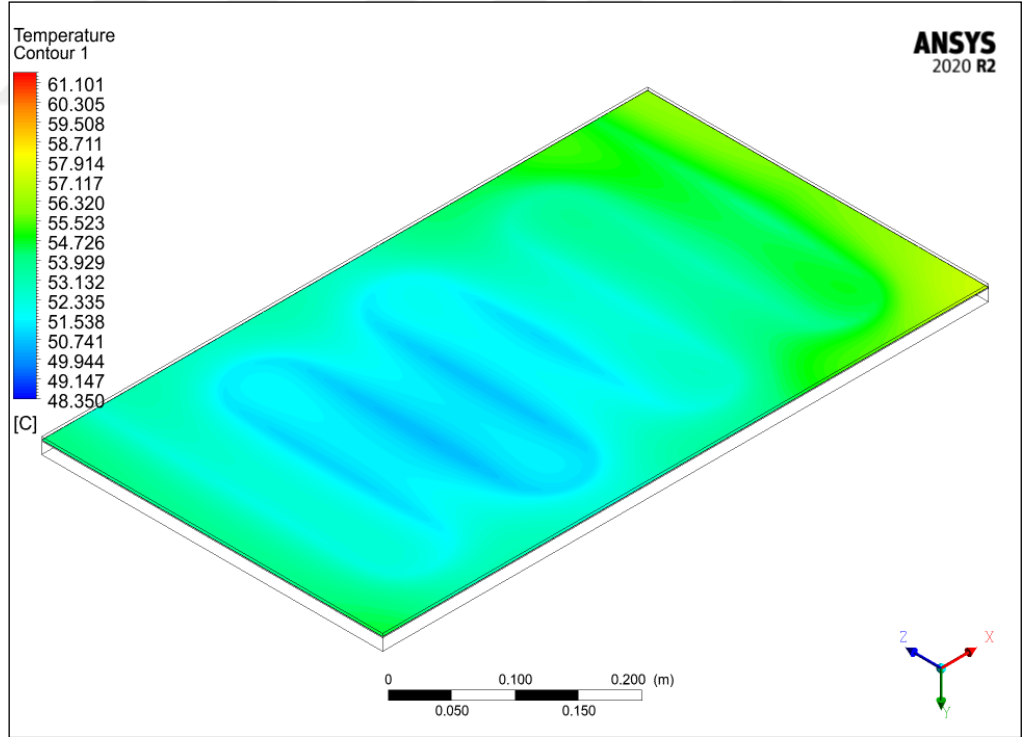
Şekil 4.49: Çalışma sıvısının grafen nanopelet/su, hızının 1 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.



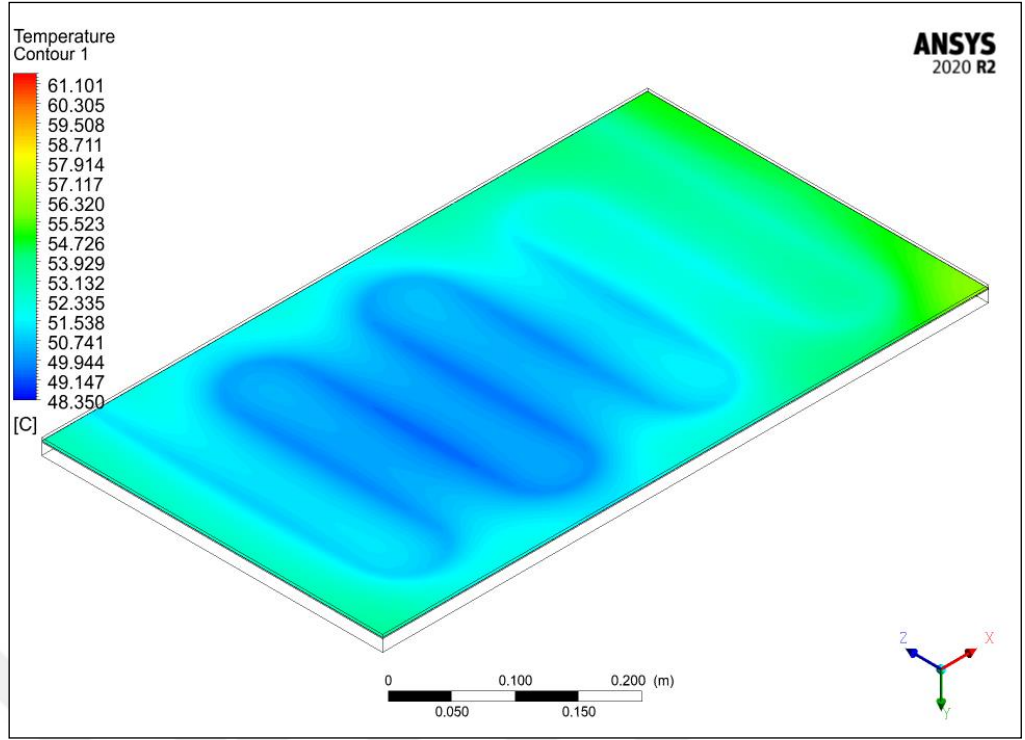
Şekil 4.50: Çalışma sıvısının MWCNT/su, hızının 1 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.



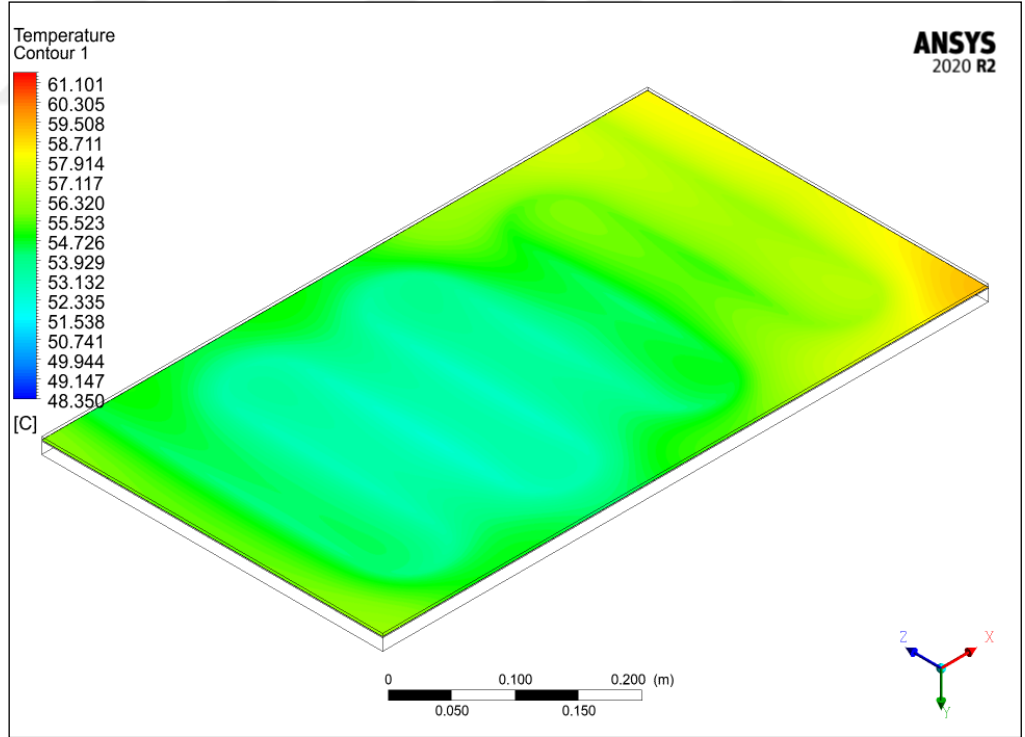
Şekil 4.51: Çalışma sıvısının su, hızının 3 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.



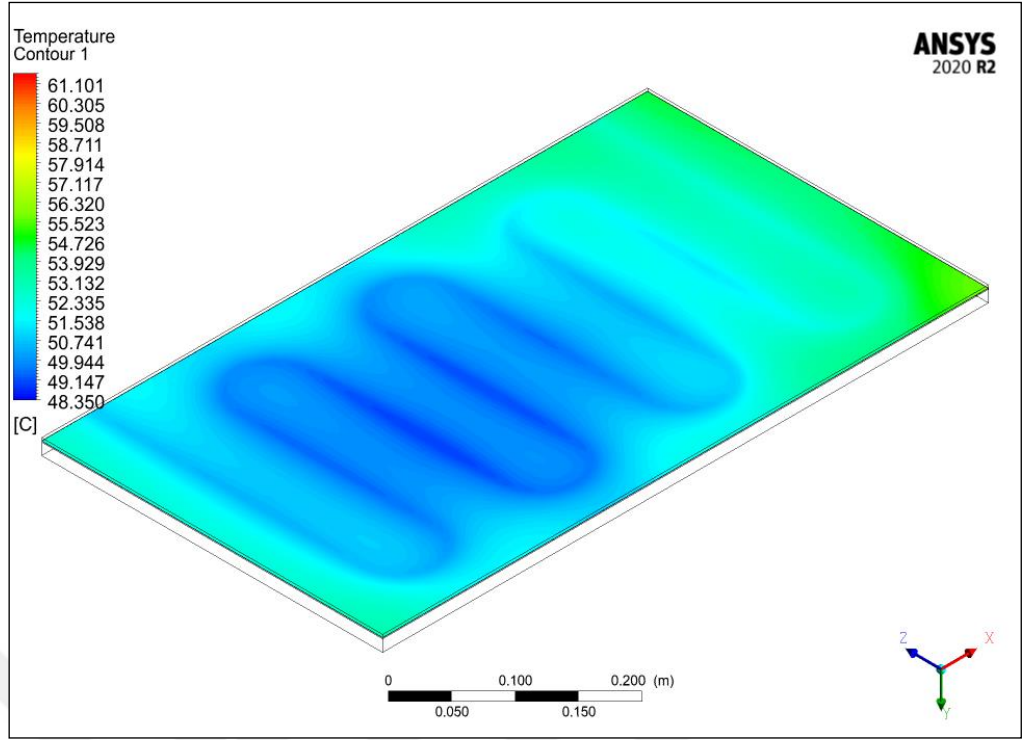
Şekil 4.52: Çalışma sıvısının grafen nanopelet/su, hızının 3 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.



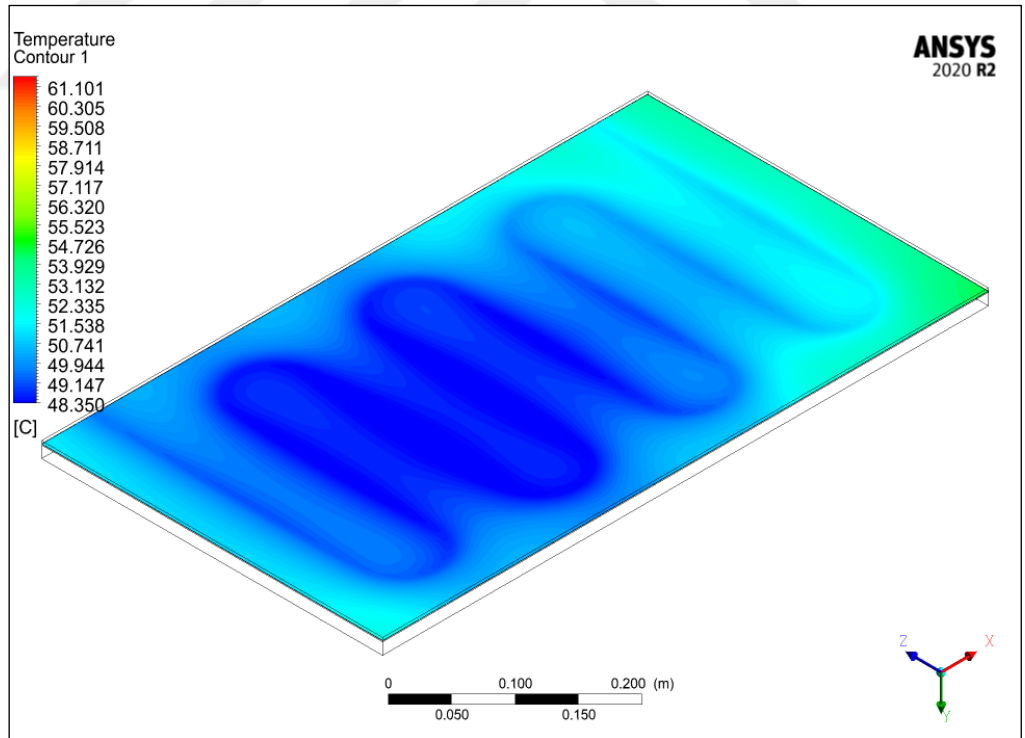
Şekil 4.53: Çalışma sıvısının MWCNT/su, hızının 3 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.



Şekil 4.54: Çalışma sıvısının su, hızının 5 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.



Şekil 4.55: Çalışma sıvısının grafen nanopelet/su, hızının 5 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.



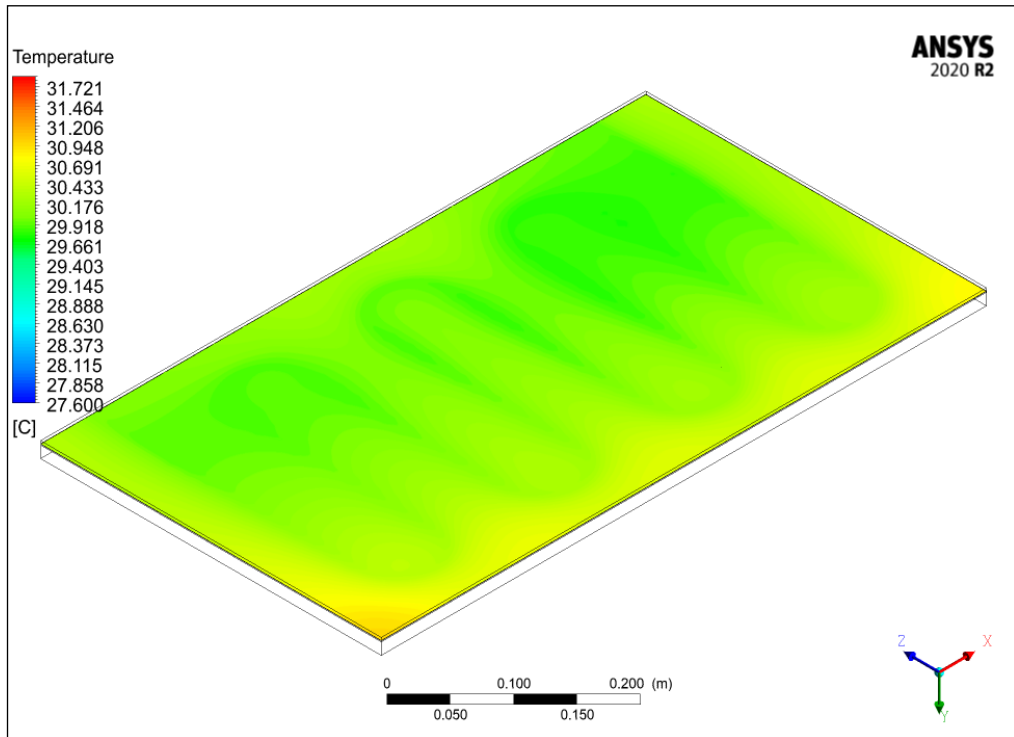
Şekil 4.56: Çalışma sıvısının MWCNT/su, hızının 5 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.

4.7.3. Kanatçıklı Serpantinli Akış Modeli Sonuçları

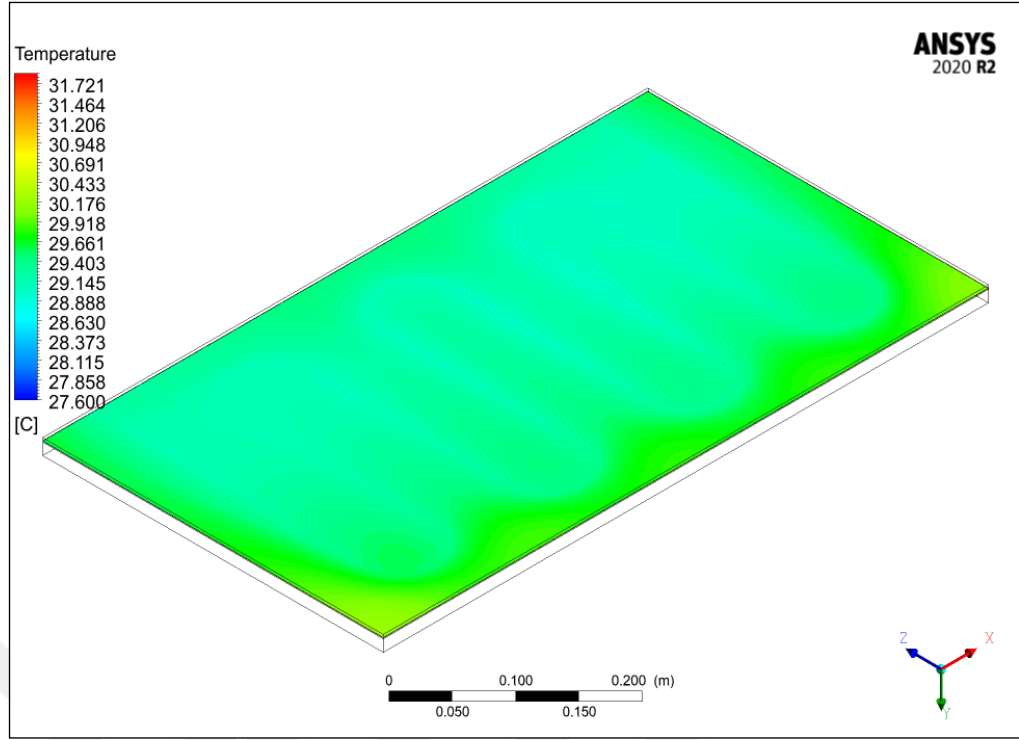
Mevcut çalışmada düz serpantinli akış modeline dair sonuçlardan sonra kanatçıklı serpantinli akış modeline dair sonuçlar verilmiş, kanatçıklı serpantin ve zorlanmış havanın birlikte çalışması incelenmiştir. Burada çalışma akışkanı olarak yine su, MWCNT/su karışımı, grafen nanopelet/su karışımları kullanılmış ve bunlar serpantin içerisine 1 m/s, 3 m/s ve 5 m/s hızlarıyla gönderilmiştir. Zorlanmış hava hızı ise 5 m/s hızda sabit olarak belirlenmiştir. Yapılan analizlere ait sıcaklık kontürleri ve tablolar aşağıdaki gibidir.

4.7.3.1. 200 W/m² için Sonuçlar

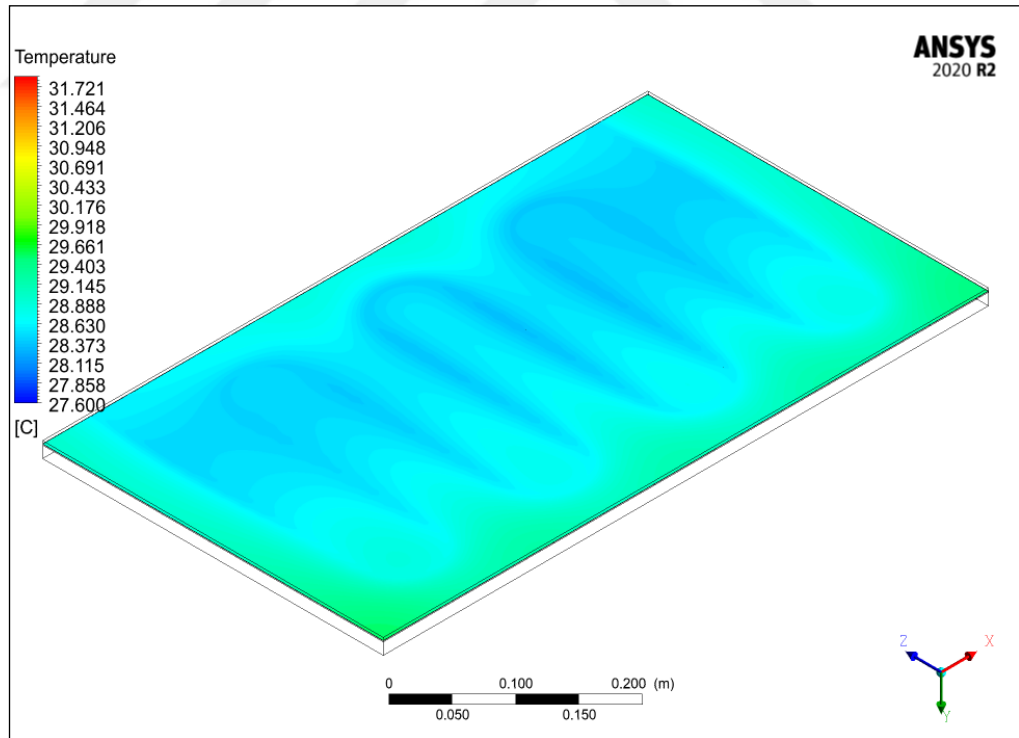
200W/m² güneş radyasyonu uygulanan kanatçıklı serpantinli PV/T sistemin üzerindeki PV katmanının sıcaklık dağılımı Şekil 4.57, Şekil 4.58, Şekil 4.59, Şekil 4.60, Şekil 4.61, Şekil 4.62, Şekil 4.63, Şekil 4.64 ve Şekil 4.65'te gösterilmiştir. Buradaki sıcaklık dağılımına bakarak MWCNT/su karışımının diğer çalışma akışkanlarından daha iyi bir soğutma performansı gösterdiği görülebilir.



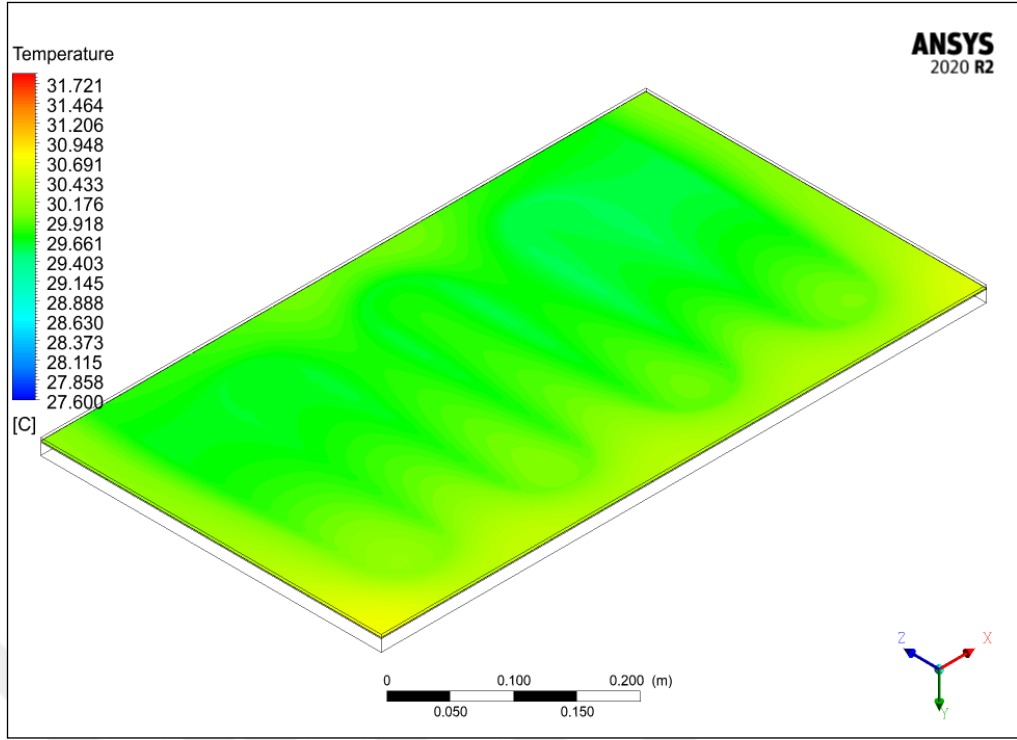
Şekil 4.57: Çalışma sıvısının su, hızının 1 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.



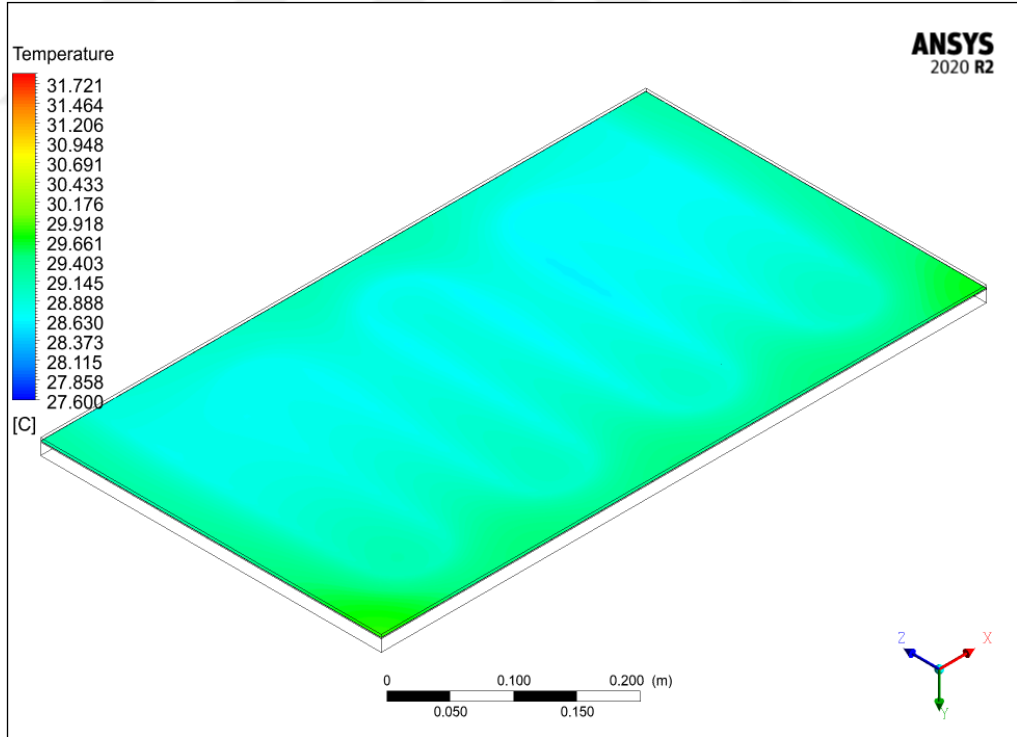
Şekil 4.58: Çalışma sıvısının grafen nanopelet/su, hızının 1 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.



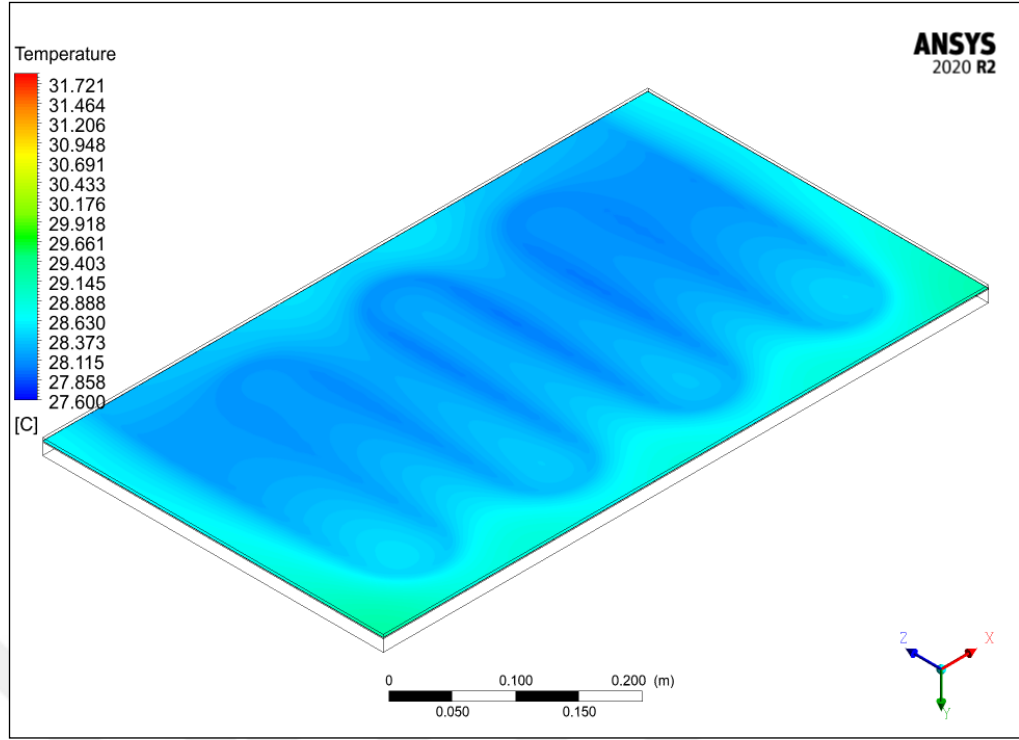
Şekil 4.59: Çalışma sıvısının MWCNT/su, hızının 1 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.



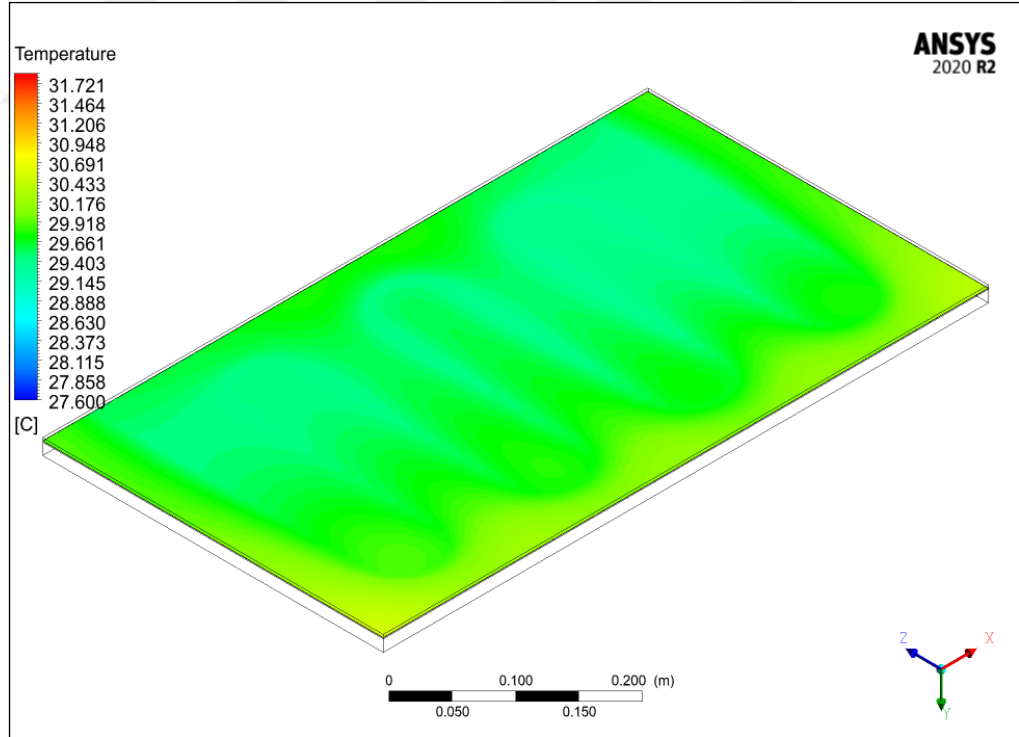
Şekil 4.60: Çalışma sıvısının su, hızının 3 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.



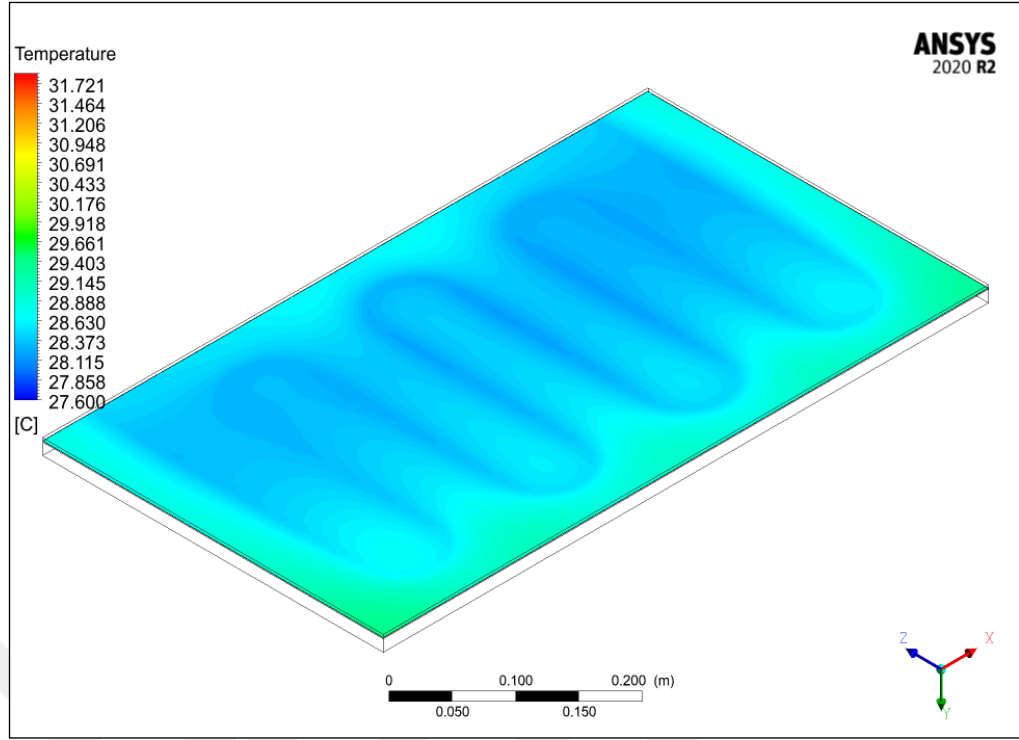
Şekil 4.61: Çalışma sıvısının grafen nanopelet/su, hızının 3 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.



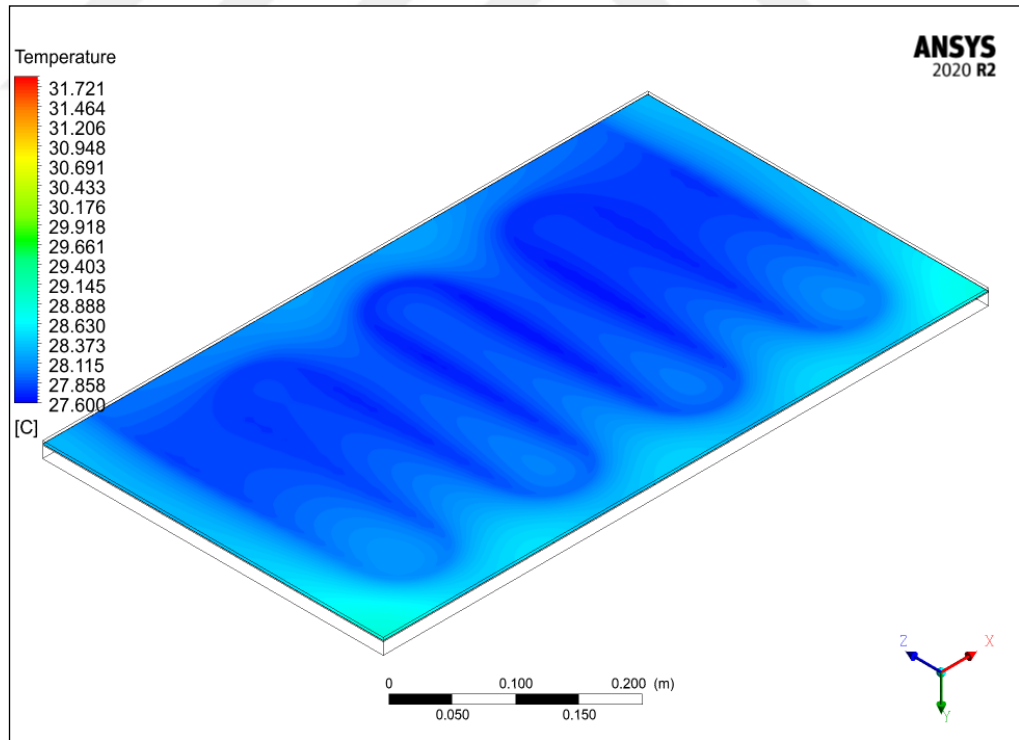
Şekil 4.62: Çalışma sıvısının MWCNT/su, hızının 3 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.



Şekil 4.63: Çalışma sıvısının su, hızının 5 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.



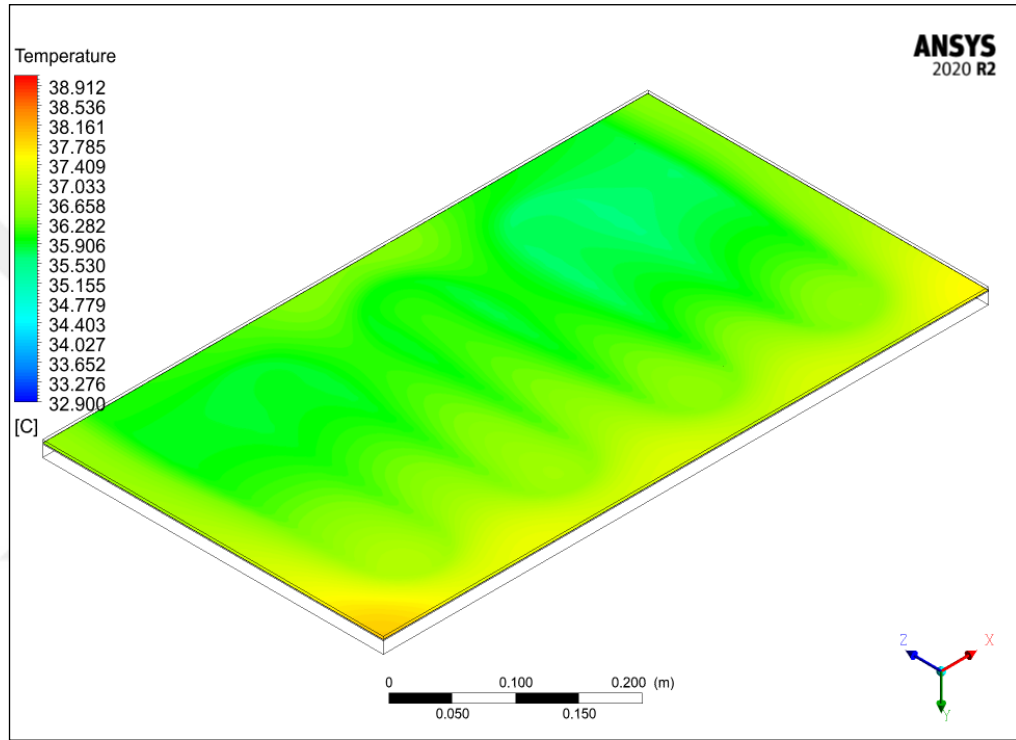
Şekil 4.64: Çalışma sıvısının grafen nanopelet/su, hızının 5 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.



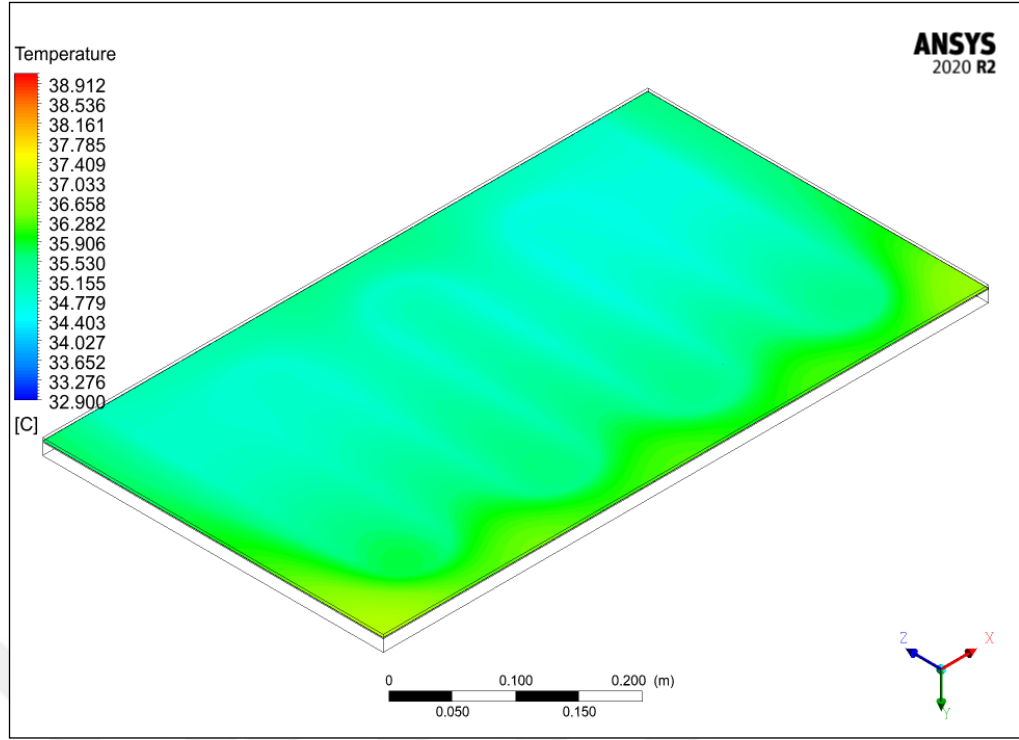
Şekil 4.65: Çalışma sıvısının MWCNT/su, hızının 5 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.

4.7.3.2. 400 W/m² için Sonuçlar

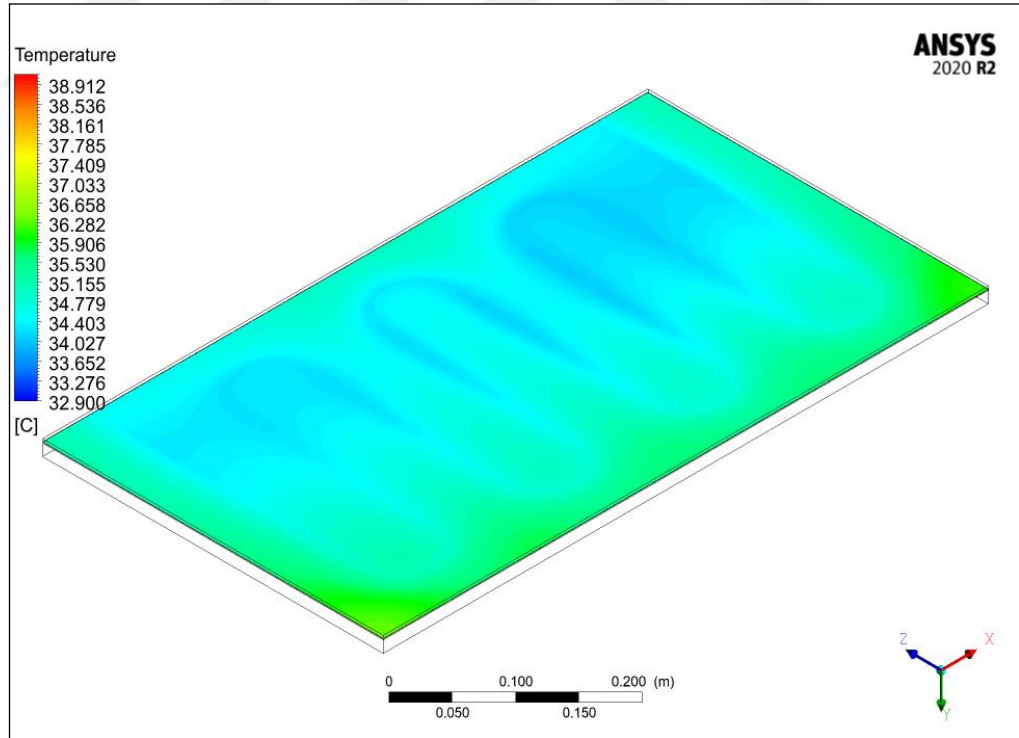
400W/m² güneş radyasyonu uygulanan kanatçıklı serpantinli PV/T sistemin üzerindeki PV katmanının sıcaklık dağılımı Şekil 4.66, Şekil 4.67, Şekil 4.68, Şekil 4.69, Şekil 4.70, Şekil 4.71, Şekil 4.72, Şekil 4.73 ve Şekil 4.74'te gösterilmiştir. Buradaki sıcaklık dağılımına bakarak MWCNT/su karışımının diğer çalışma akışkanlarından daha iyi bir soğutma performansı gösterdiği görülebilir.



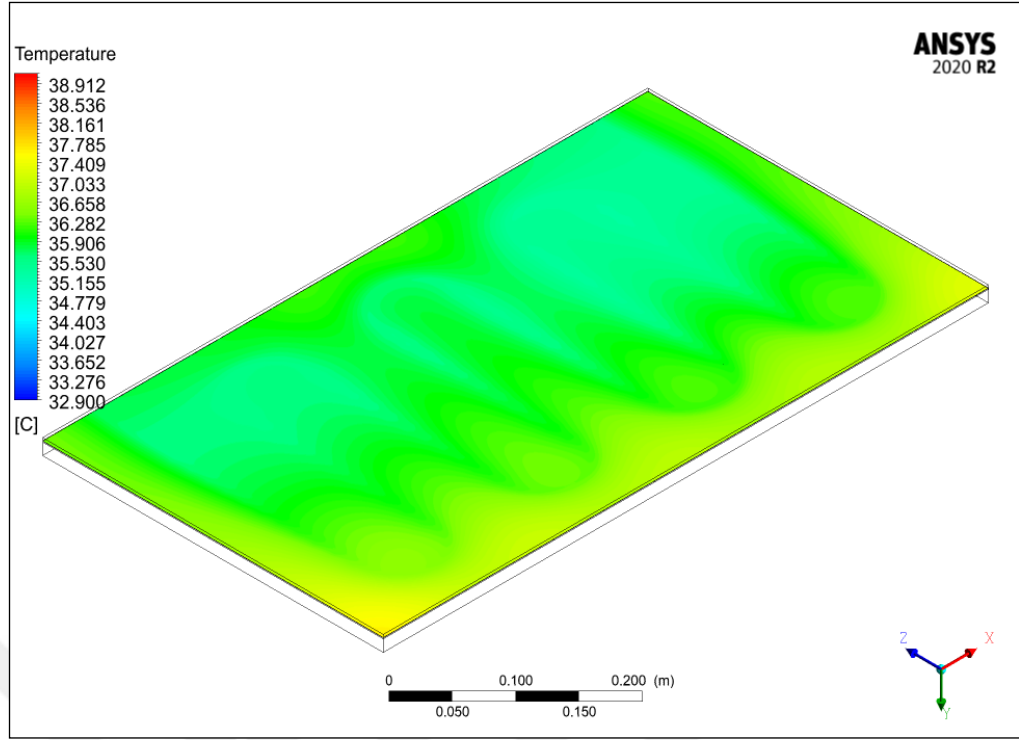
Şekil 4.66: Çalışma sıvısının su, hızının 1 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.



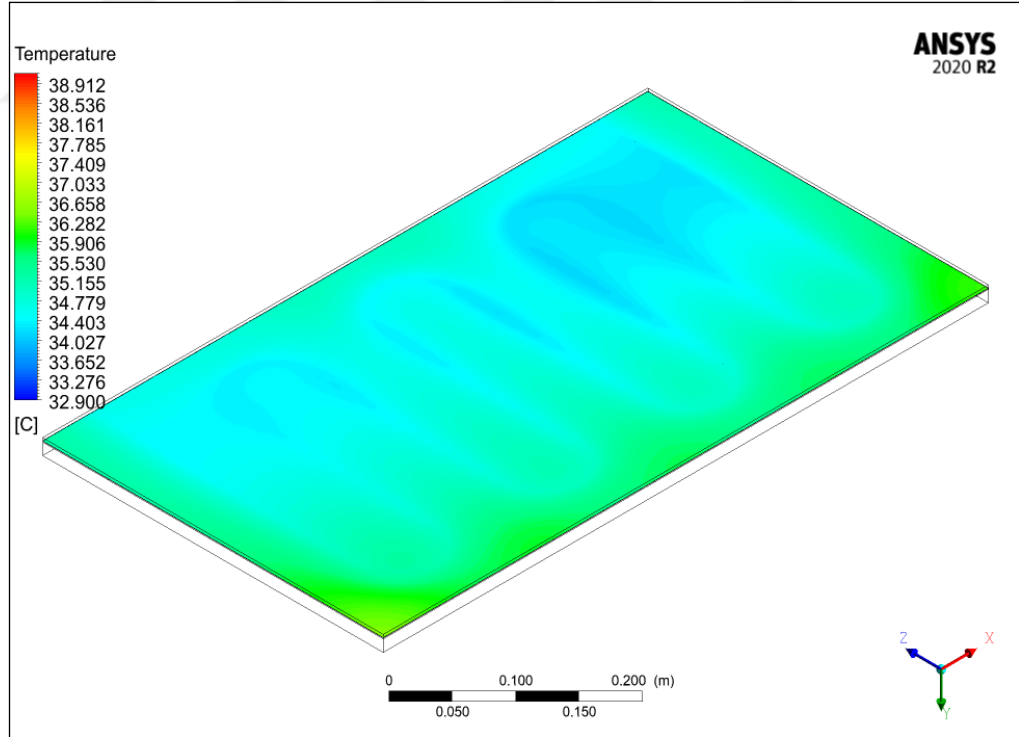
Şekil 4.67: Çalışma sıvısının grafen nanopelet/su, hızının 1 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.



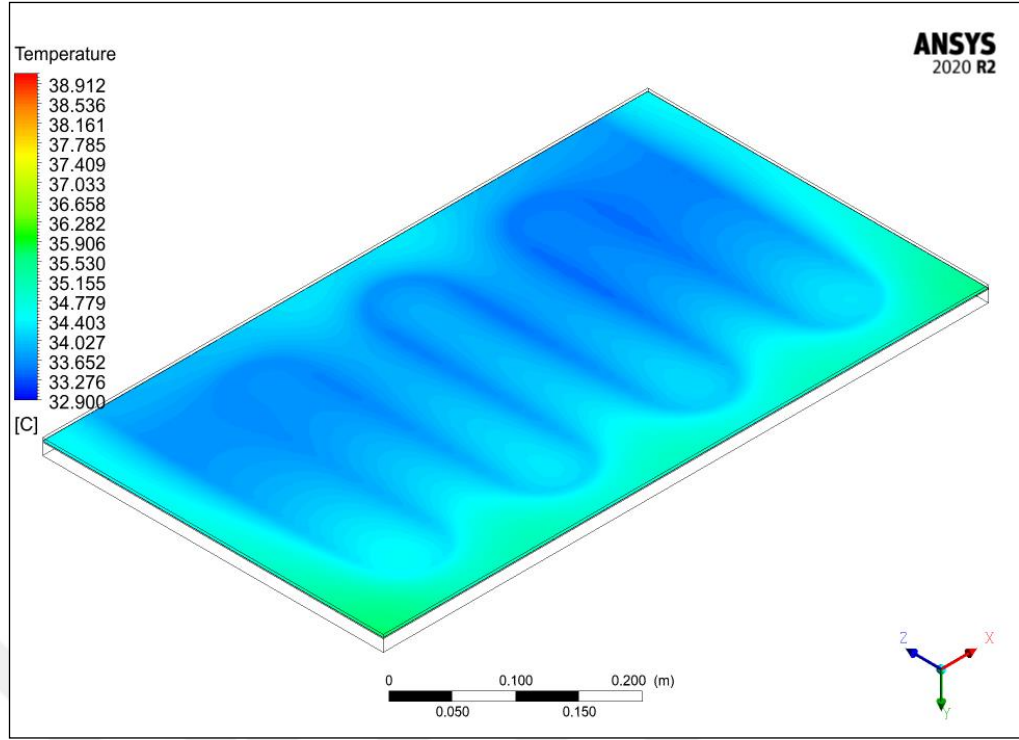
Şekil 4.68: Çalışma sıvısının MWCNT/su, hızının 1 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.



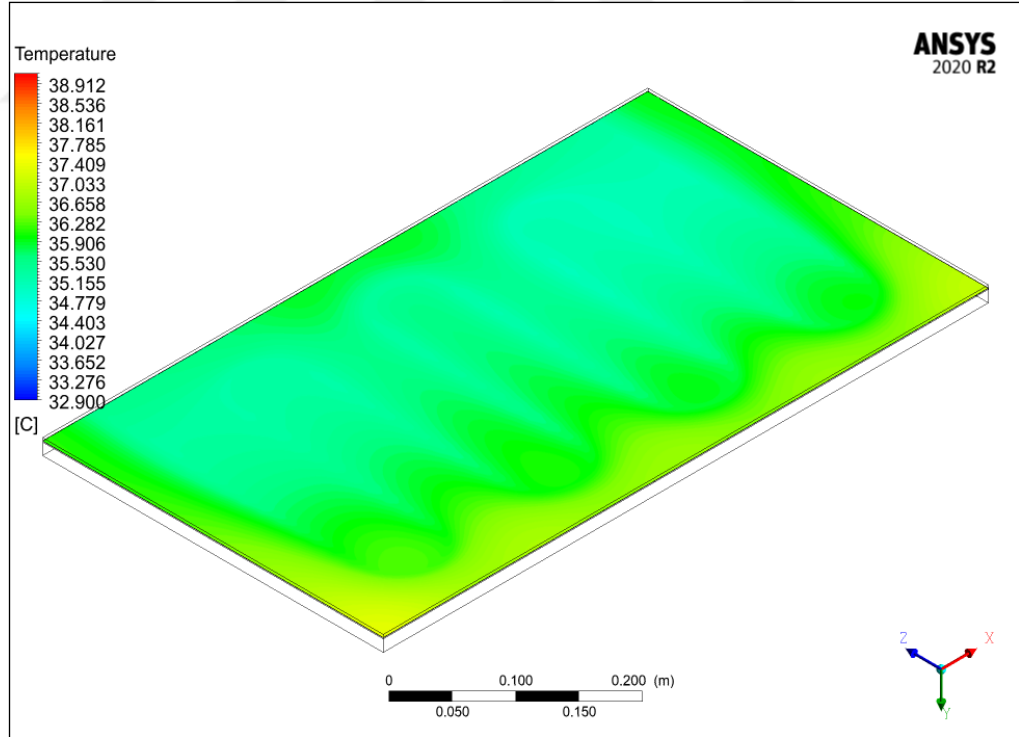
Şekil 4.69: Çalışma sıvısının su, hızının 3 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.



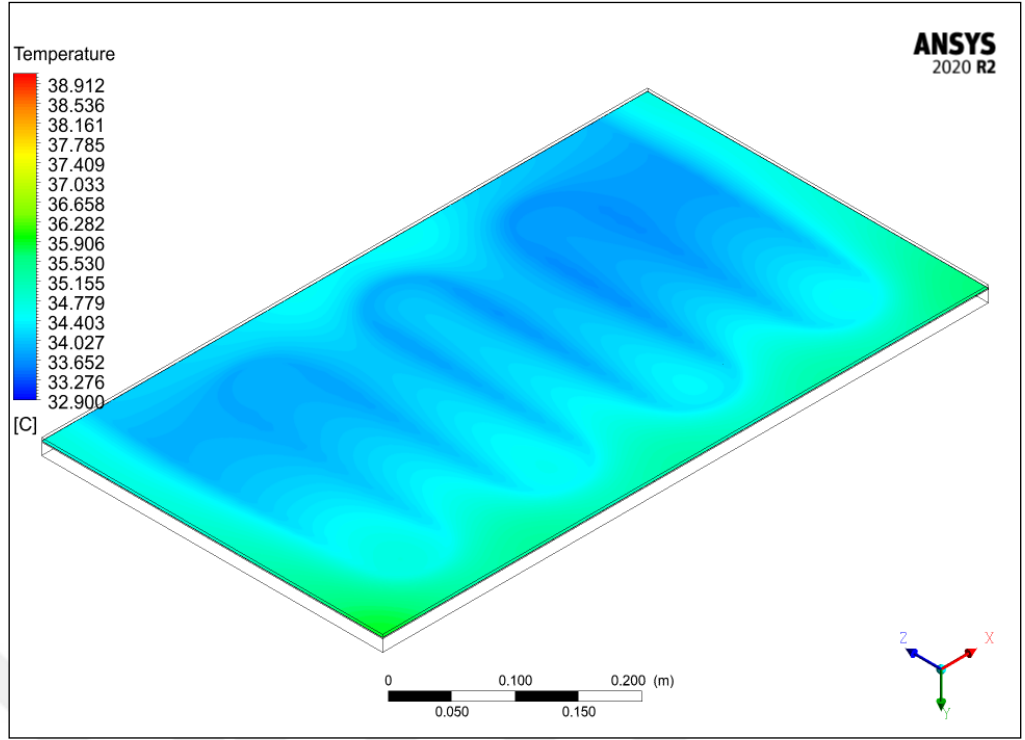
Şekil 4.70: Çalışma sıvısının grafen nanopelet/su, hızının 3 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.



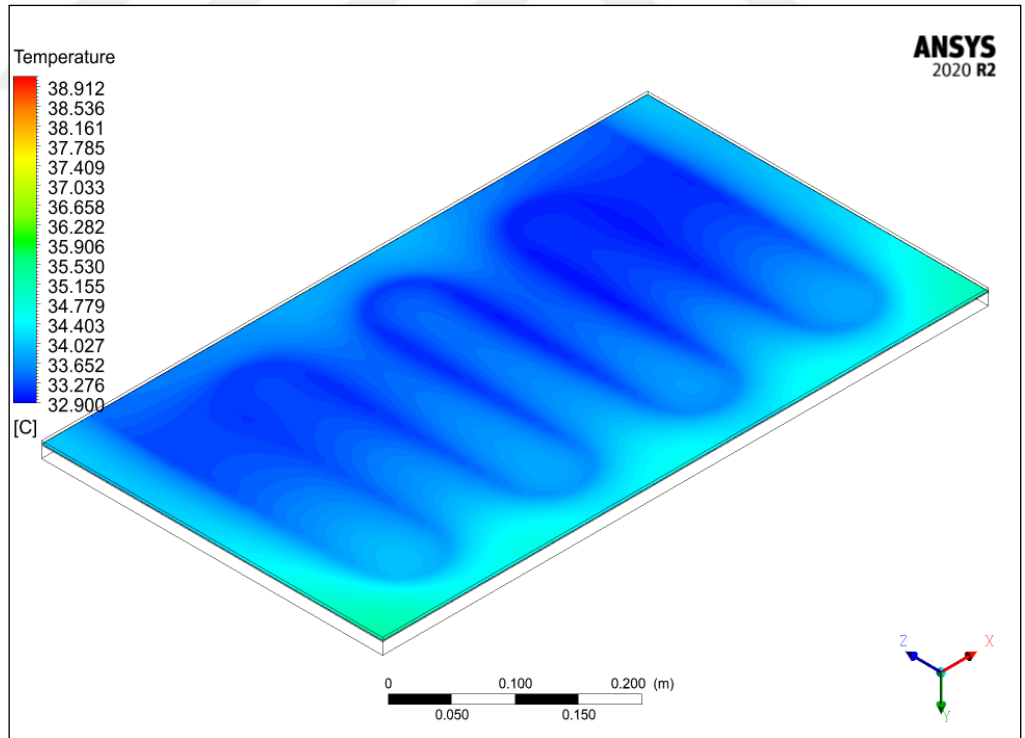
Şekil 4.71: Çalışma sıvısının MWCNT/su, hızının 3 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.



Şekil 4.72: Çalışma sıvısının su, hızının 5 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.



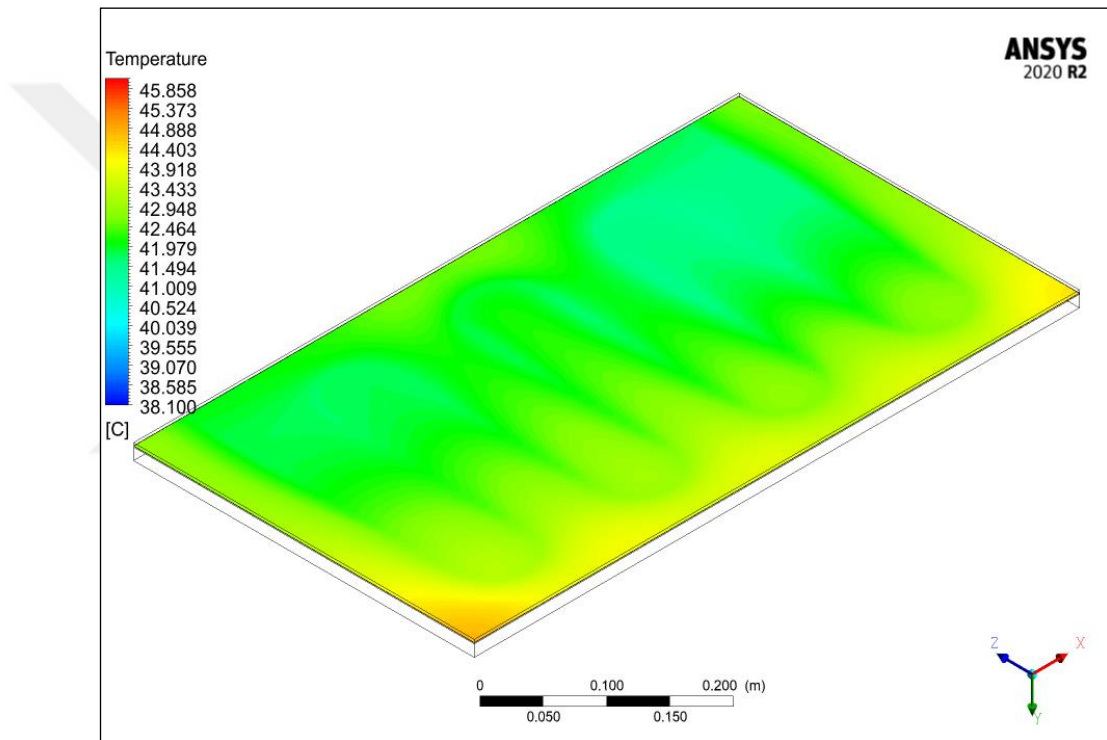
Şekil 4.73: Çalışma sıvısının grafen nanopelet/su, hızının 5 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.



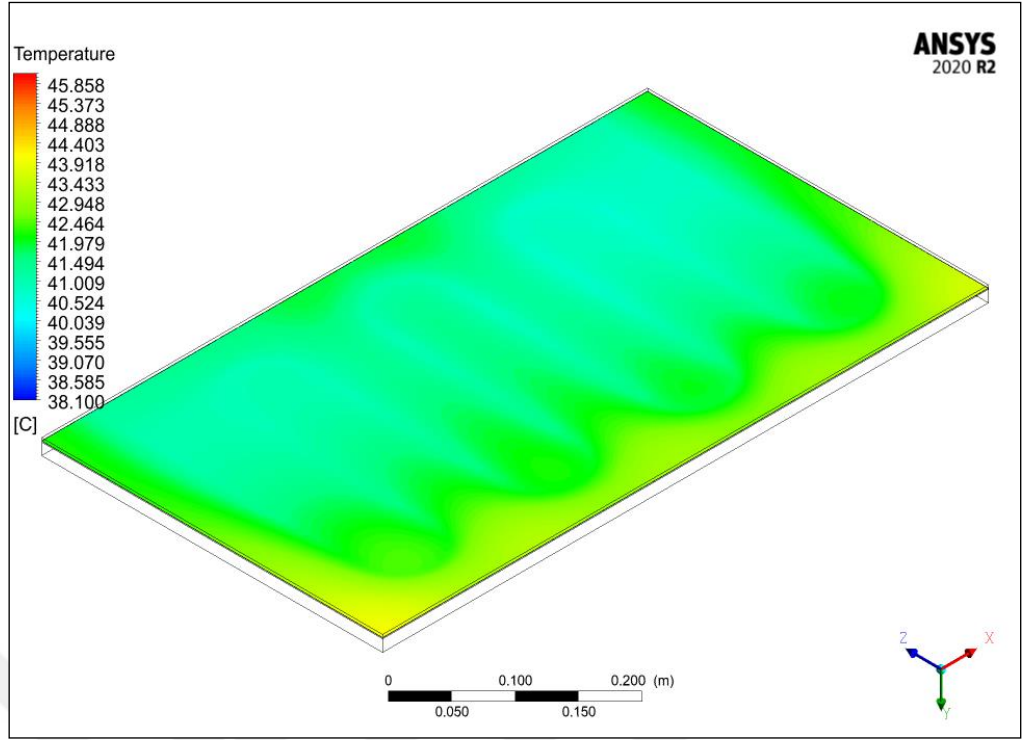
Şekil 4.74: Çalışma sıvısının MWCNT/su, hızının 5 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.

4.7.3.3. 600 W/m² için Sonuçlar

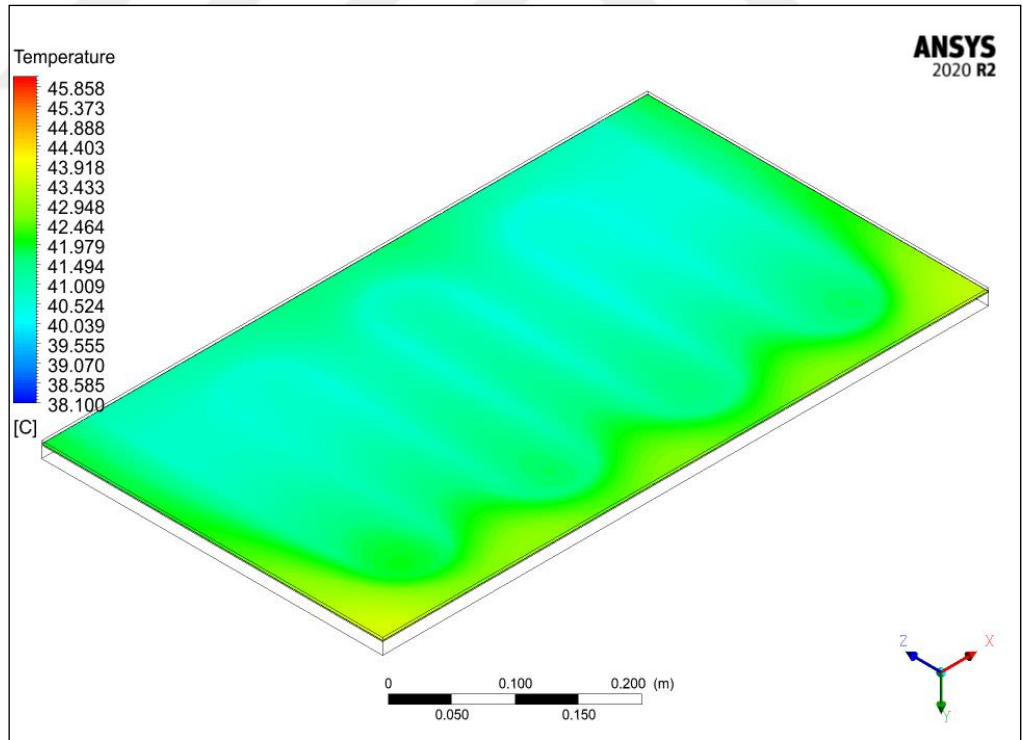
600W/m² güneş radyasyonu uygulanan kanatçıklı serpantinli PV/T sistemin üzerindeki PV katmanının sıcaklık dağılımı Şekil 4.75, Şekil 4.76, Şekil 4.77, Şekil 4.78, Şekil 4.79, Şekil 4.80, Şekil 4.81, Şekil 4.82 ve Şekil 4.83'te gösterilmiştir. Buradaki sıcaklık dağılımına bakarak MWCNT/su karışımının diğer çalışma akışkanlarından daha iyi bir soğutma performansı gösterdiği görülebilir. Bunun yanında uygulanan güneş radyasyonu arttıkça yüzey sıcaklığının arttığı da gözlemlenebilir.



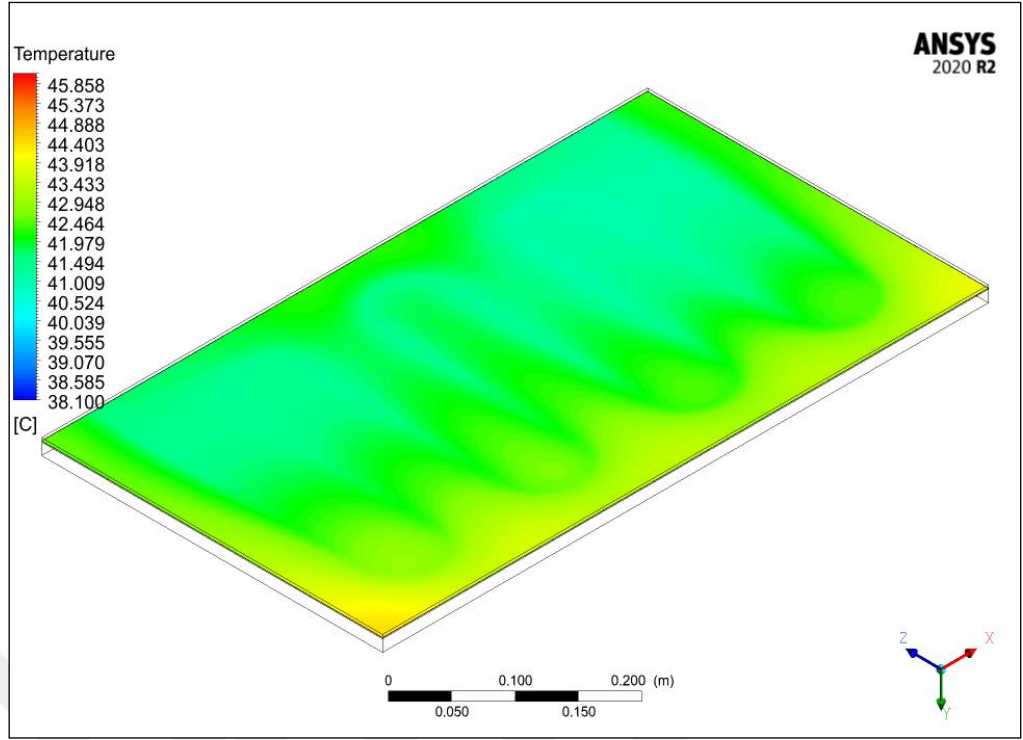
Şekil 4.75: Çalışma sıvısının su, hızının 1 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.



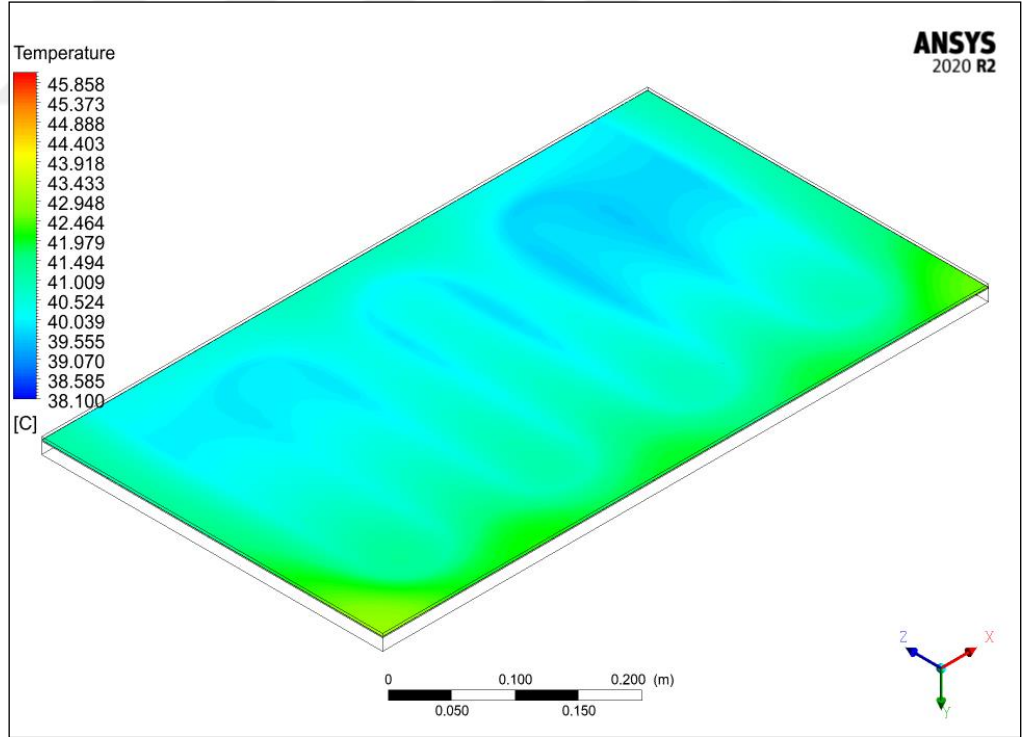
Şekil 4.76: Çalışma sıvısının grafen nanopelet/su, hızının 1 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.



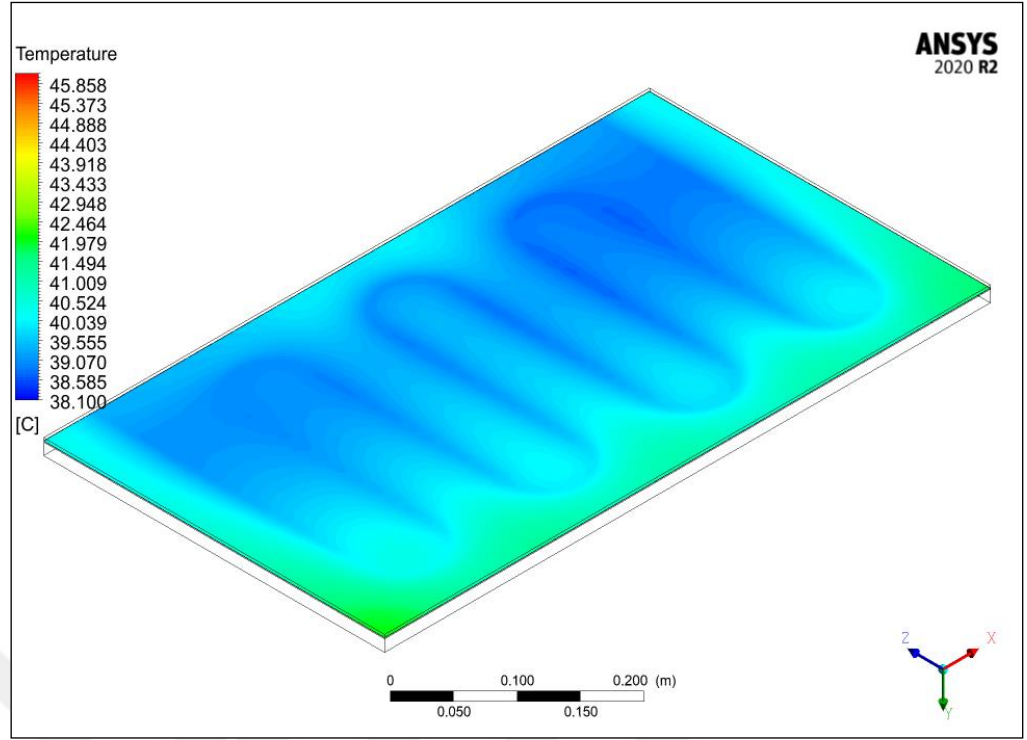
Şekil 4.77: Çalışma sıvısının MWCNT/su, hızının 1 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.



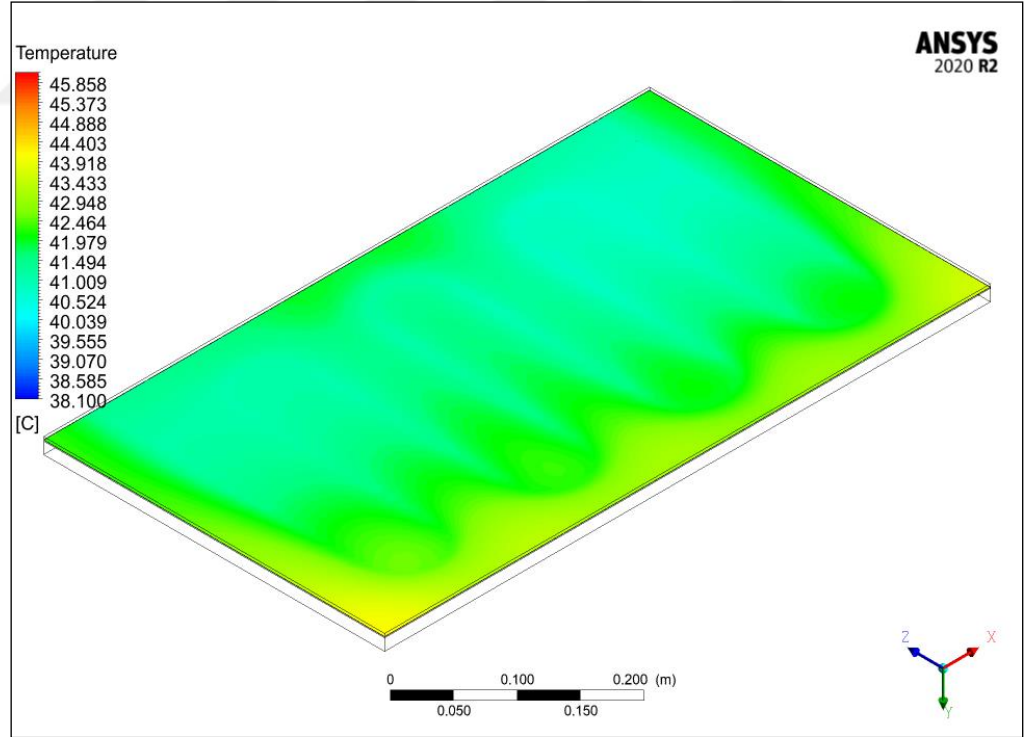
Şekil 4.78: Çalışma sıvısının su, hızının 3 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.



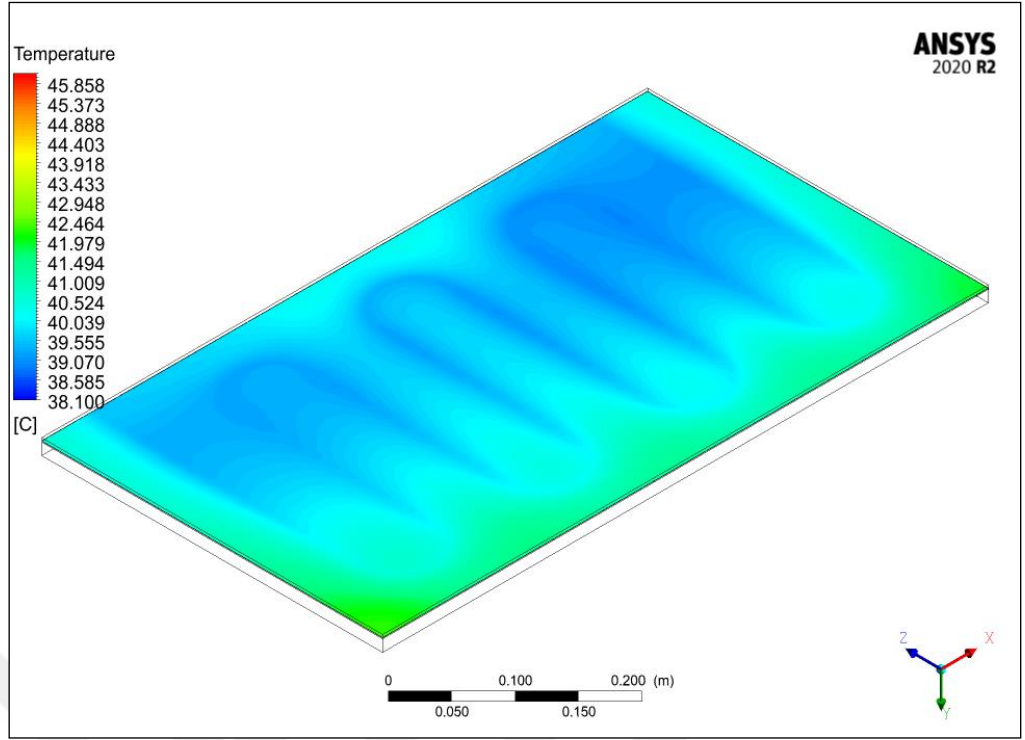
Şekil 4.79: Çalışma sıvısının grafen nanopelet/su, hızının 3 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.



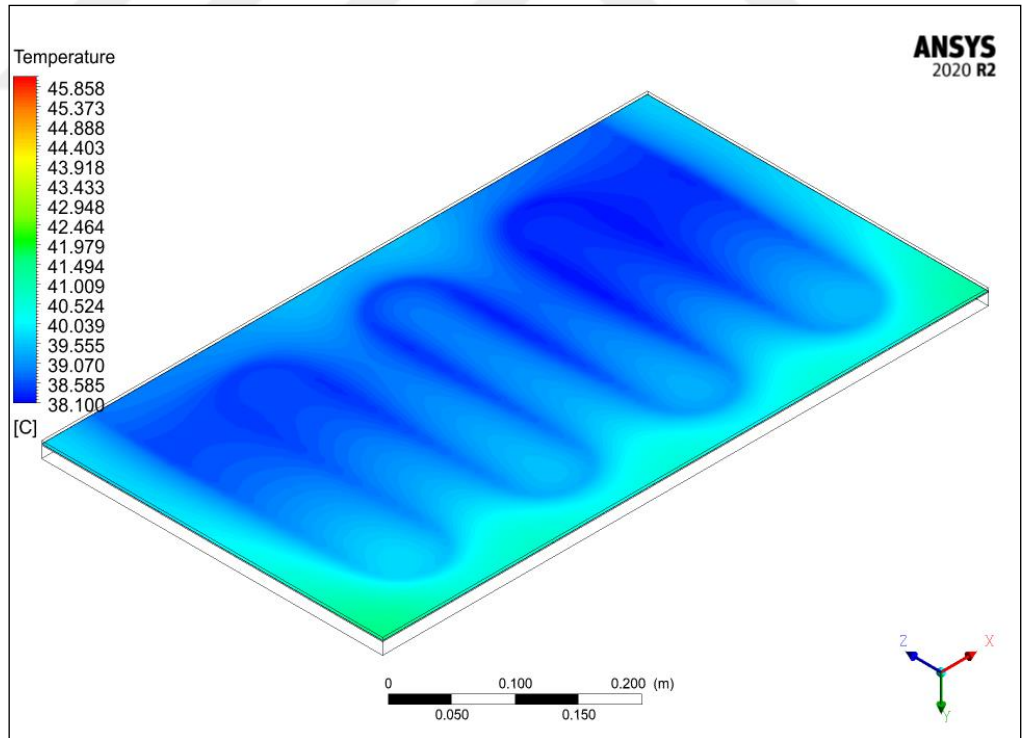
Şekil 4.80: Çalışma sıvısının MWCNT/su, hızının 3 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.



Şekil 4.81: Çalışma sıvısının su, hızının 5 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.



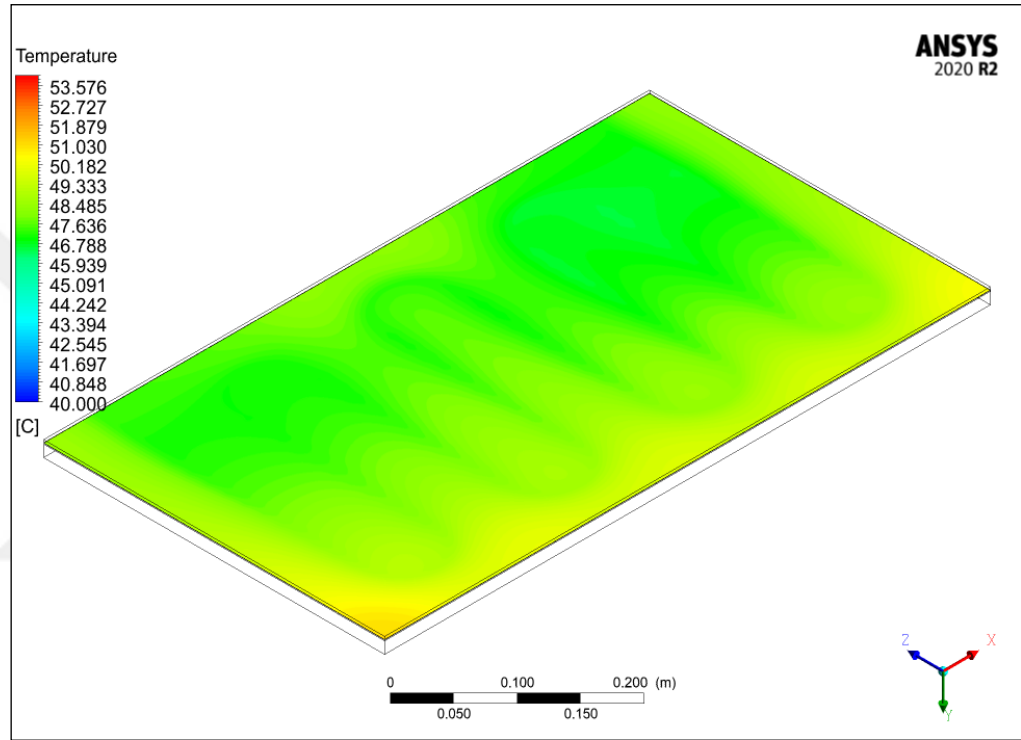
Şekil 4.82: Çalışma sıvısının grafen nanopelet/su, hızının 5 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.



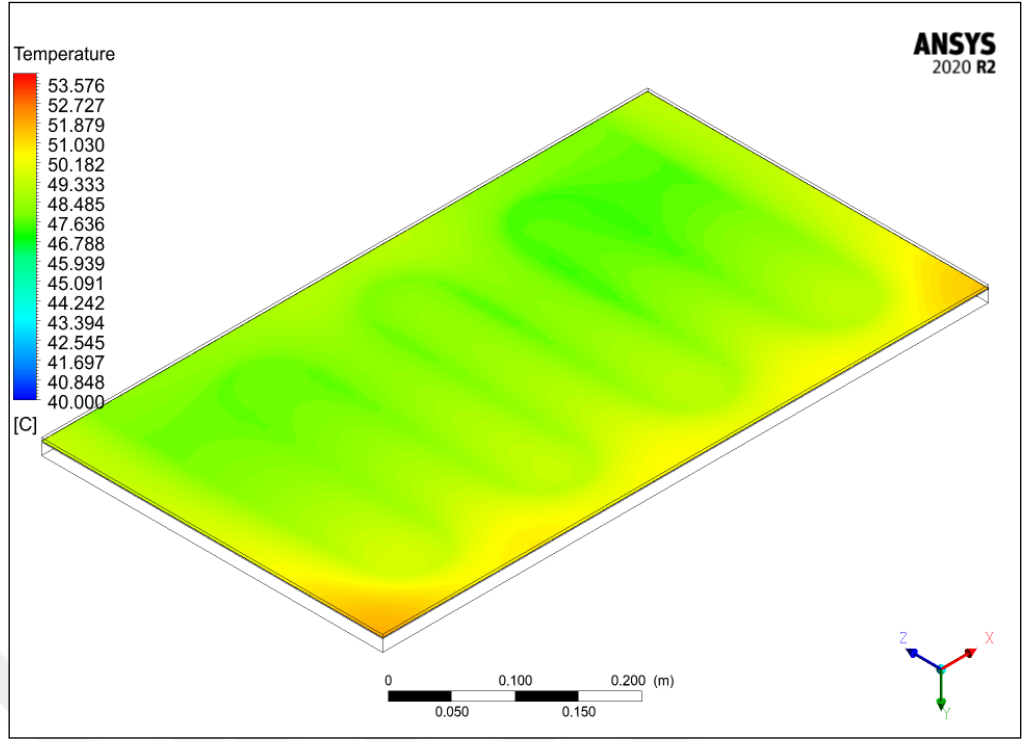
Şekil 4.83: Çalışma sıvısının MWCNT/su, hızının 5 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.

4.7.3.4. 800 W/m² için Sonuçlar

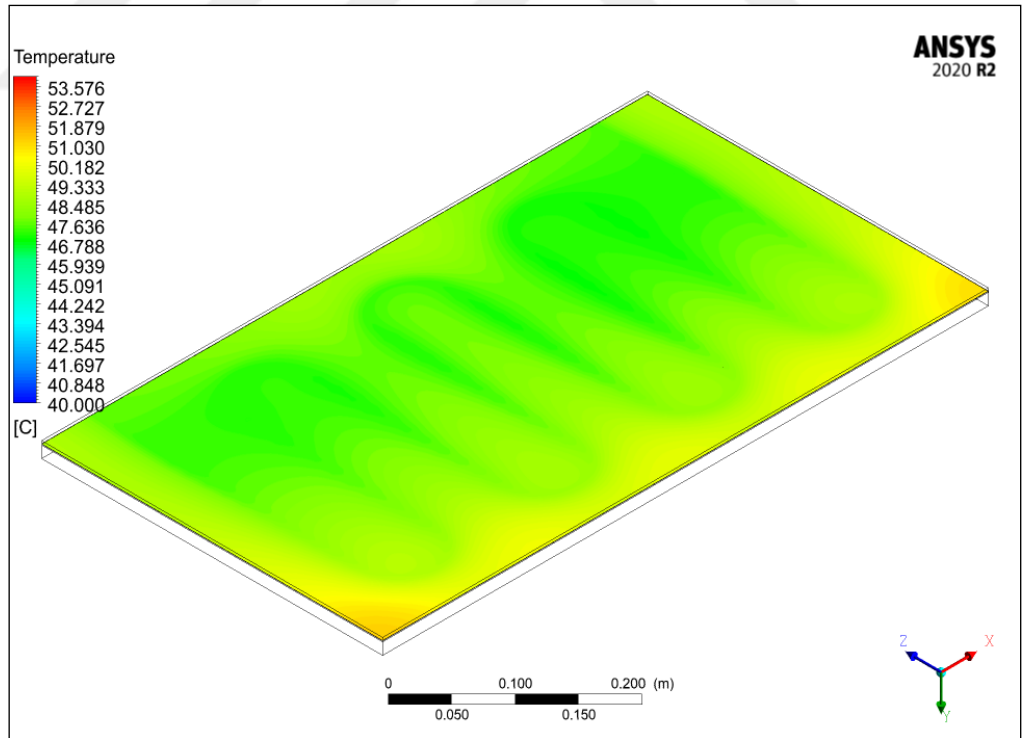
800W/m² güneş radyasyonu uygulanan kanatçıklı serpantinli PV/T sistemin üzerindeki PV katmanının sıcaklık dağılımı Şekil 4.84, Şekil 4.85, Şekil 4.86, Şekil 4.87, Şekil 4.88, Şekil 4.89, Şekil 4.90 ve Şekil 4.91 ve Şekil 4.92’de gösterilmiştir. Buradaki sıcaklık dağılımına bakarak MWCNT/su karışımının diğer çalışma akışkanlarından daha iyi bir soğutma performansı gösterdiği görülebilir.



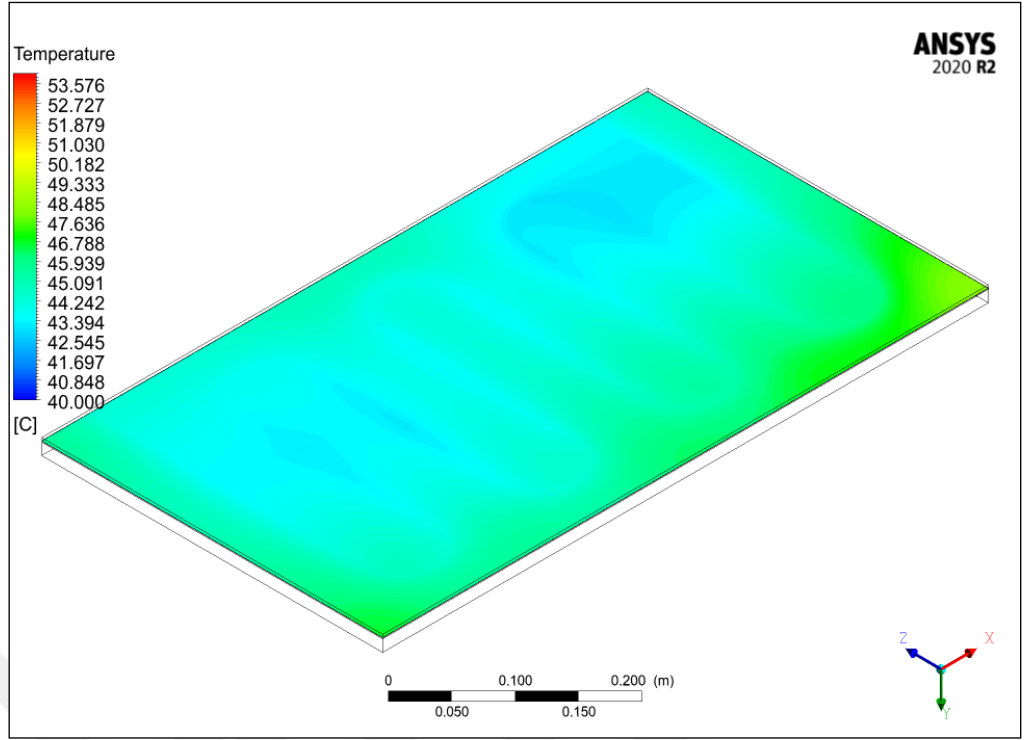
Şekil 4.84: Çalışma sıvısının su, hızının 1 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.



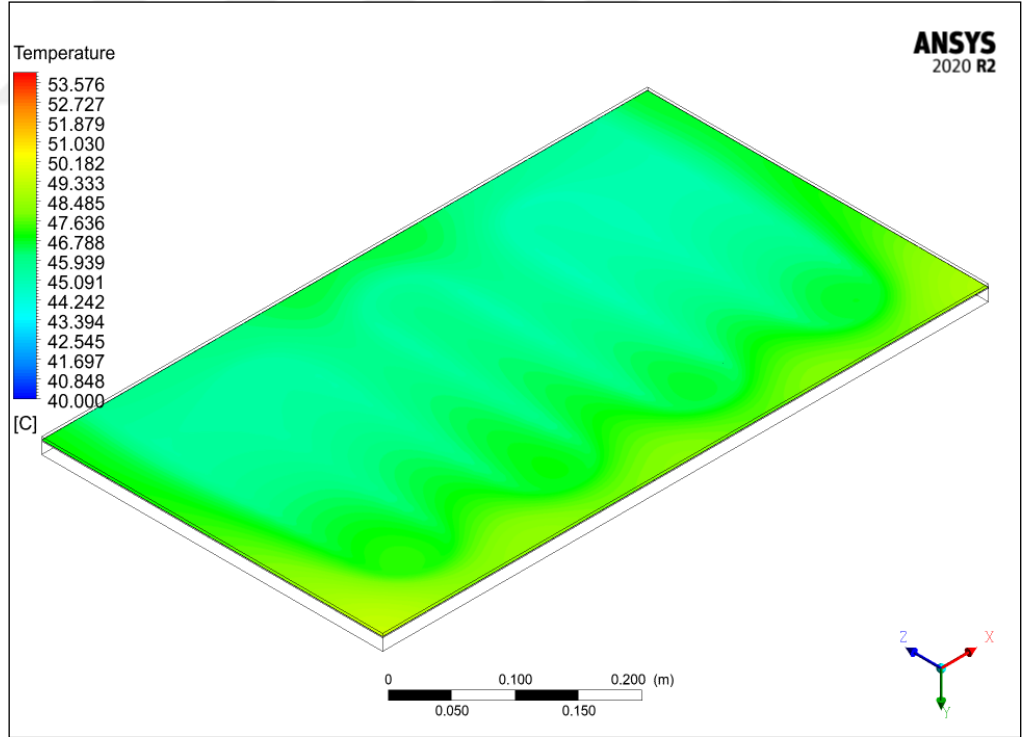
Şekil 4.85: Çalışma sıvısının grafen nanopelet/su, hızının 1 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.



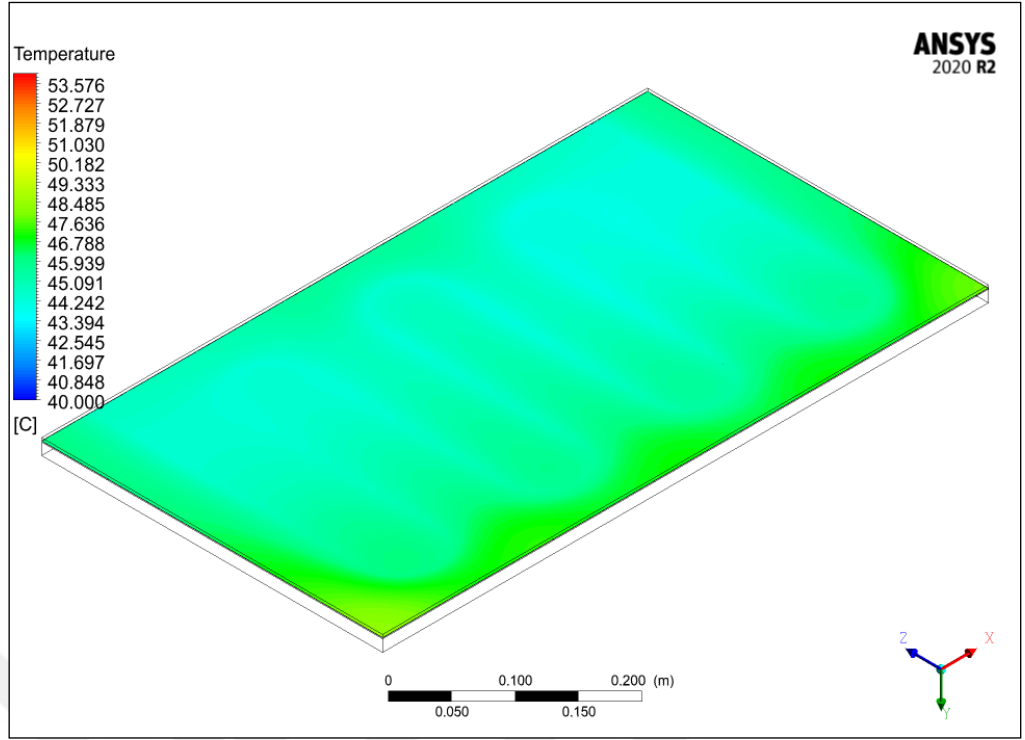
Şekil 4.86: Çalışma sıvısının MWCNT/su, hızının 1 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.



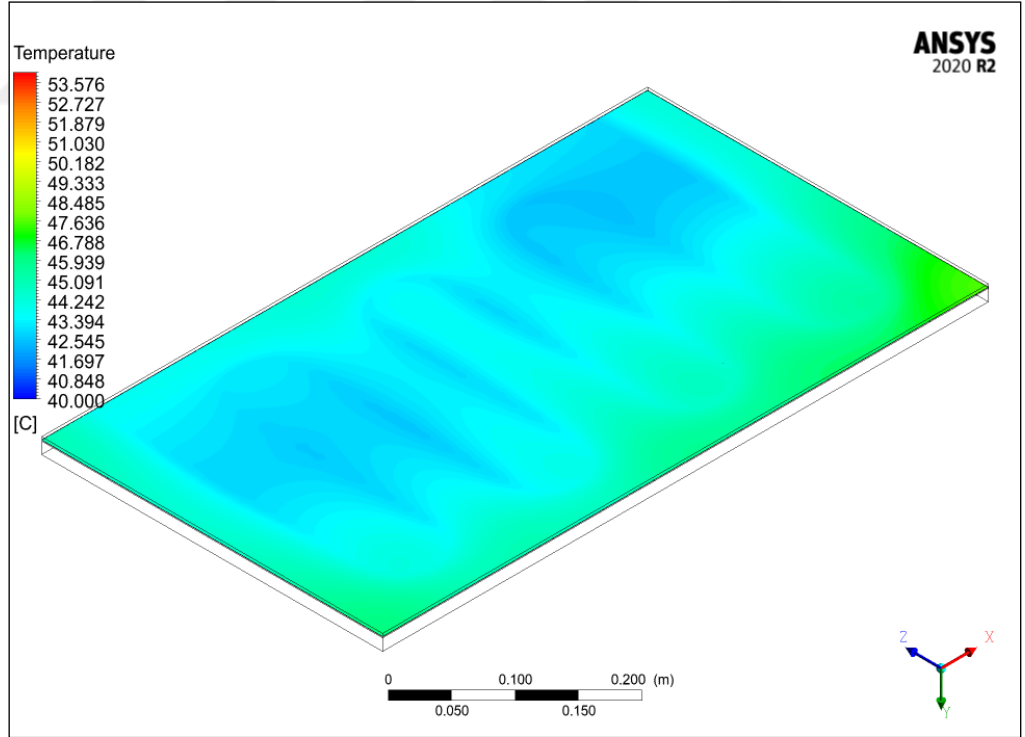
Şekil 4.87: Çalışma sıvısının su, hızının 3 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.



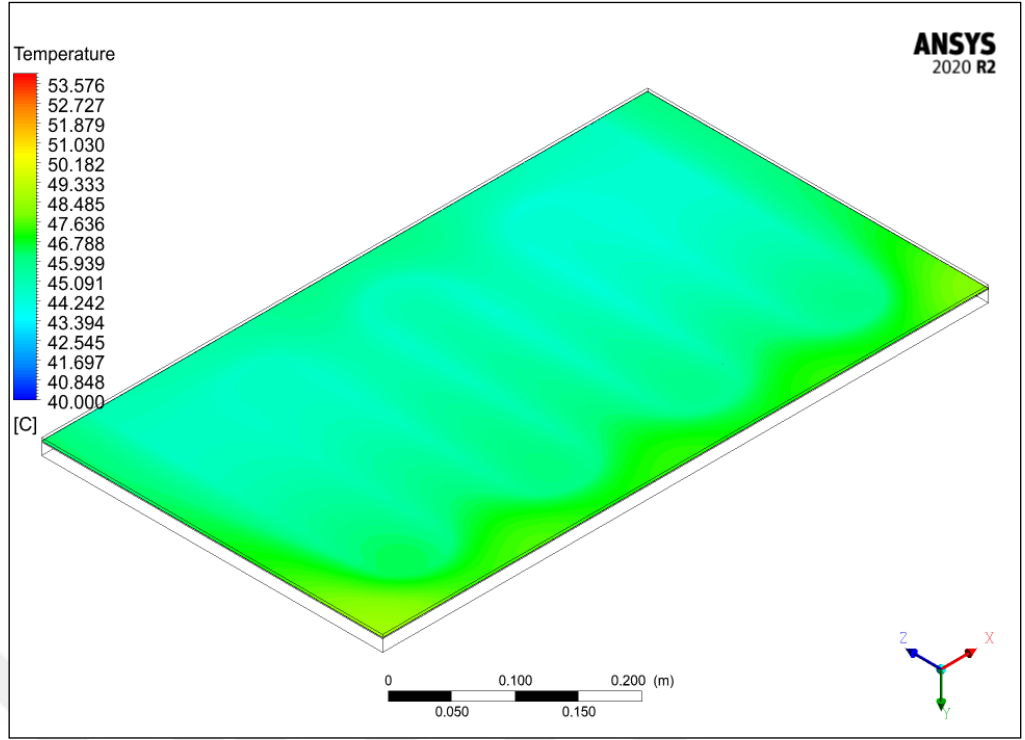
Şekil 4.88: Çalışma sıvısının grafen nanopelet/su, hızının 3 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.



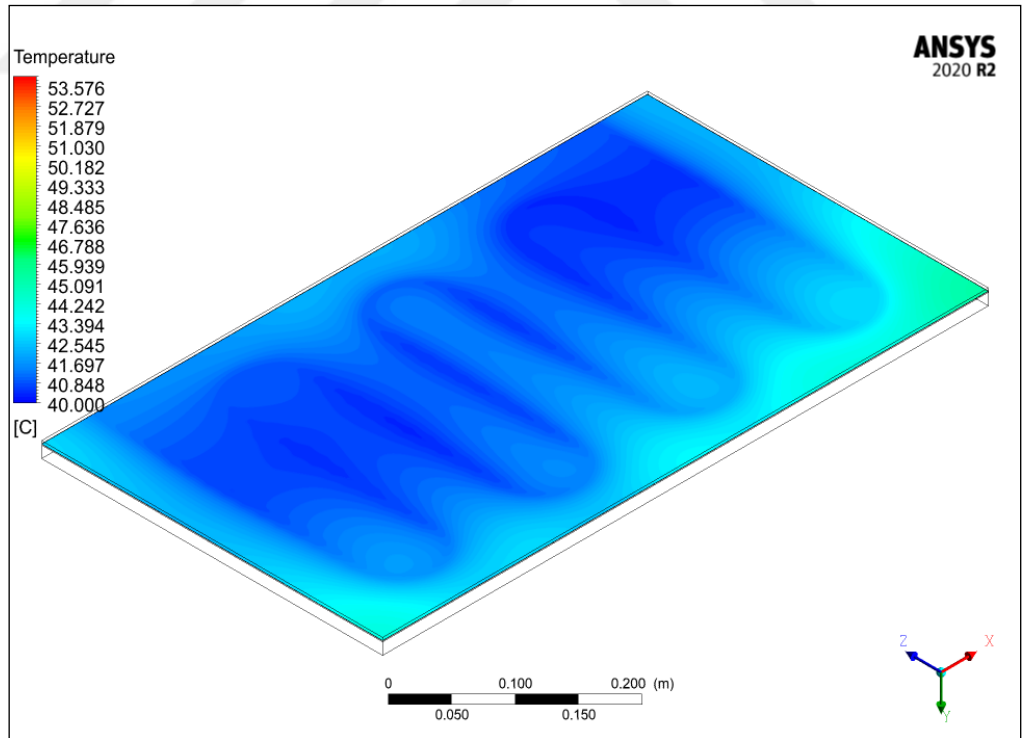
Şekil 4.89: Çalışma sıvısının MWCNT/su, hızının 3 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.



Şekil 4.90: Çalışma sıvısının su, hızının 5 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.



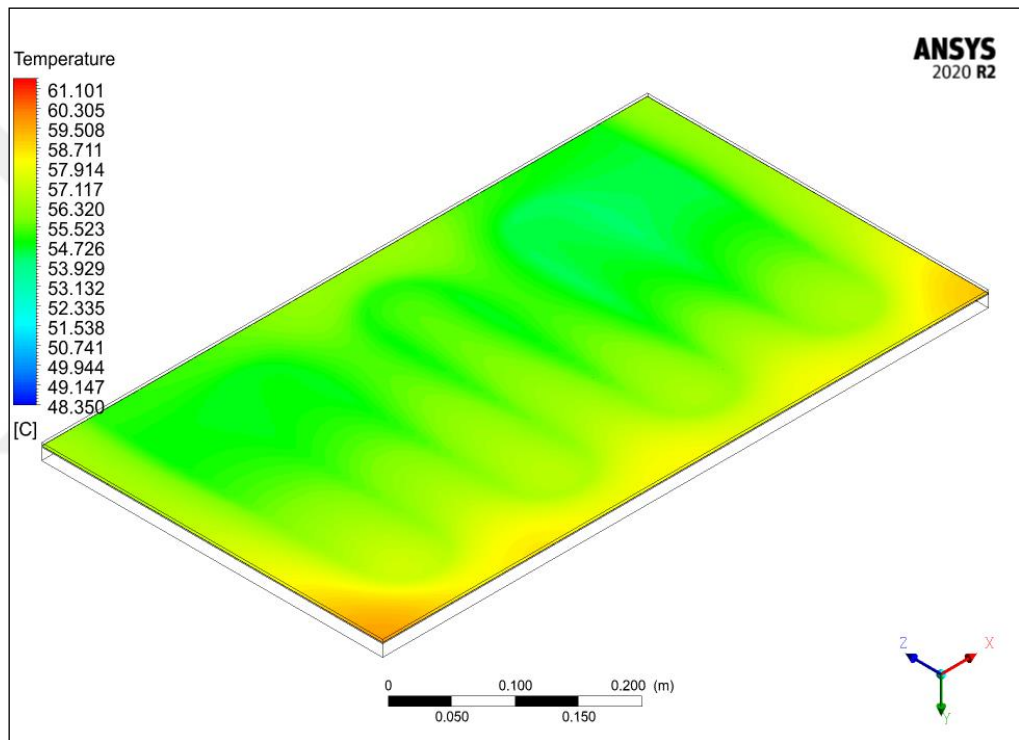
Şekil 4.91: Çalışma sıvısının grafen nanopelet/su, hızının 5 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.



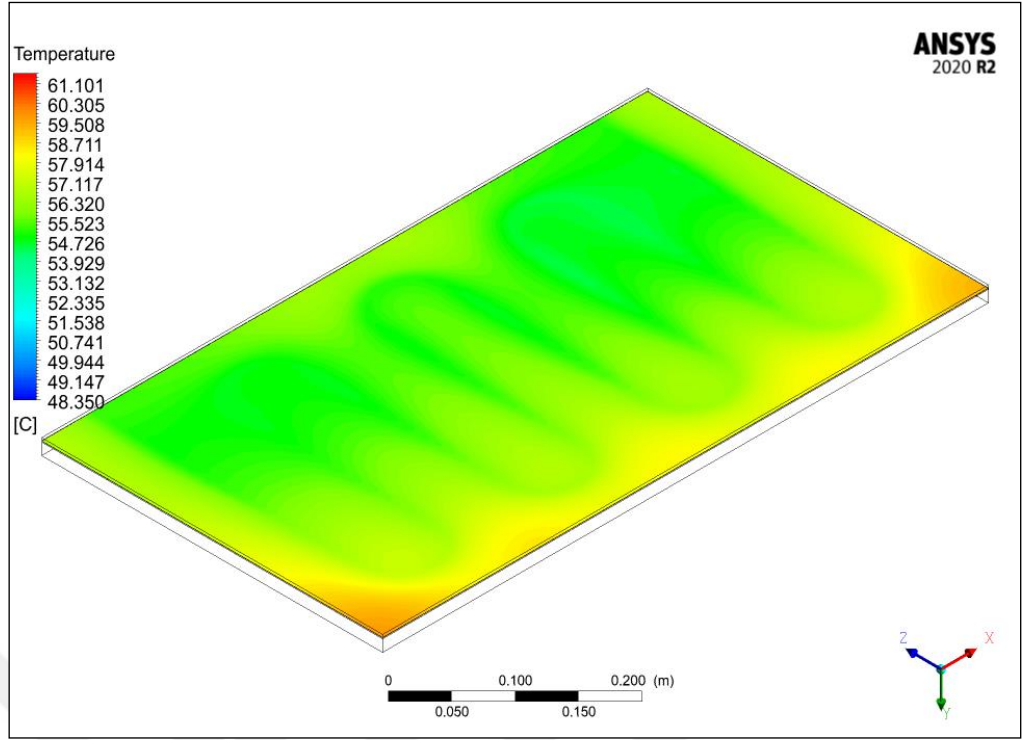
Şekil 4.92: Çalışma sıvısının MWCNT/su, hızının 5 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.

4.7.3.5. 1000 W/m² için Sonuçlar

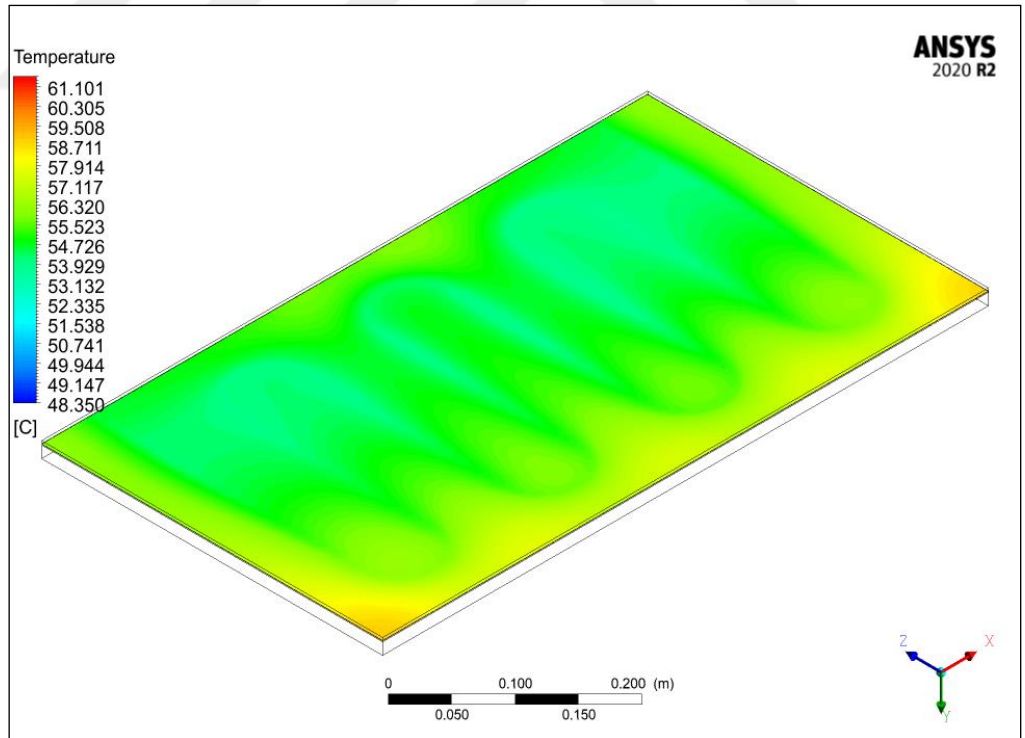
1000W/m² güneş radyasyonu uygulanan kanatçıklı serpantinli PV/T sistemin üzerindeki PV katmanının sıcaklık dağılımı Şekil 4.93, Şekil 4.94, Şekil 4.95, Şekil 4.96, Şekil 4.97, Şekil 4.98, Şekil 4.99 ve Şekil 4.100 ve Şekil 4.101’de gösterilmiştir. Buradaki sıcaklık dağılımına bakarak MWCNT/su karışımının diğer çalışma akışkanlarından daha iyi bir soğutma performansı gösterdiği görülebilir. Burada 1000W/m² güneş radyasyonu uygulandığında sıcaklığın analiz koşullarında en yüksek seviyeye çıktığı da net olarak gözlemlenebilir.



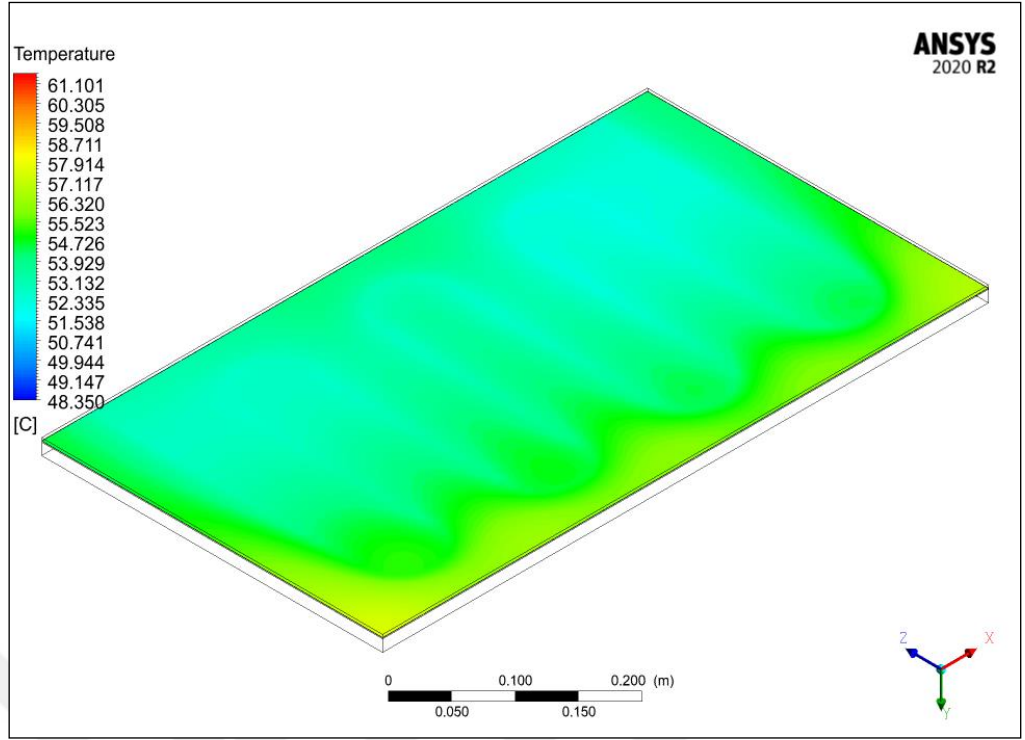
Şekil 4.93: Çalışma sıvısının su, hızının 1 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.



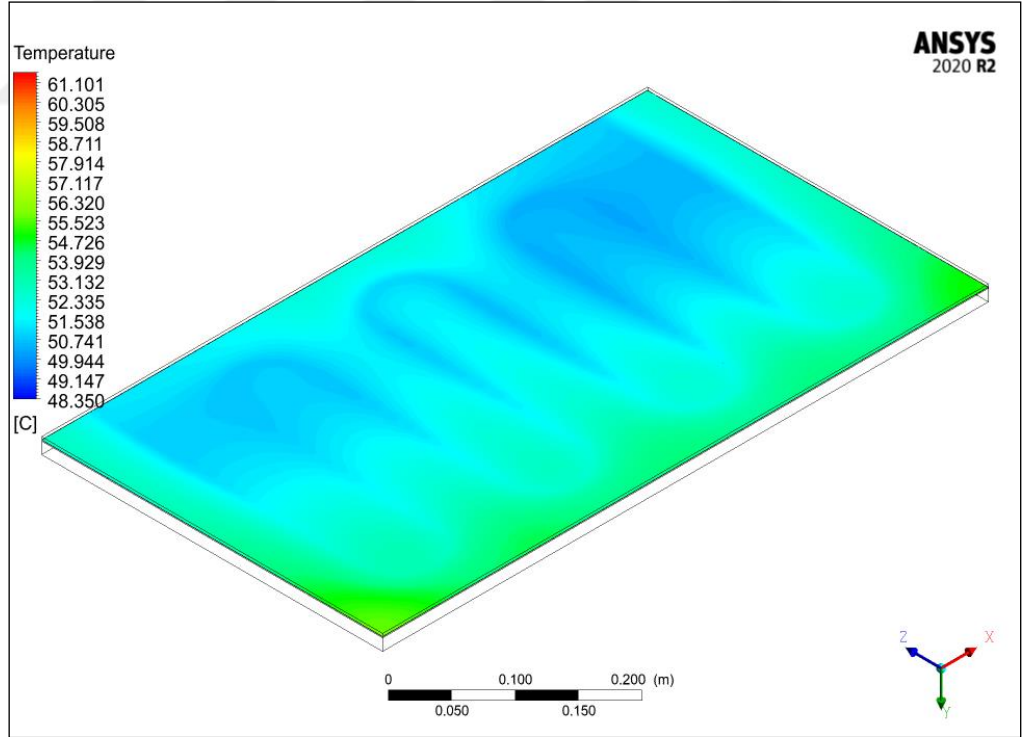
Şekil 4.94: Çalışma sıvısının grafen nanopelet/su, hızının 1 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.



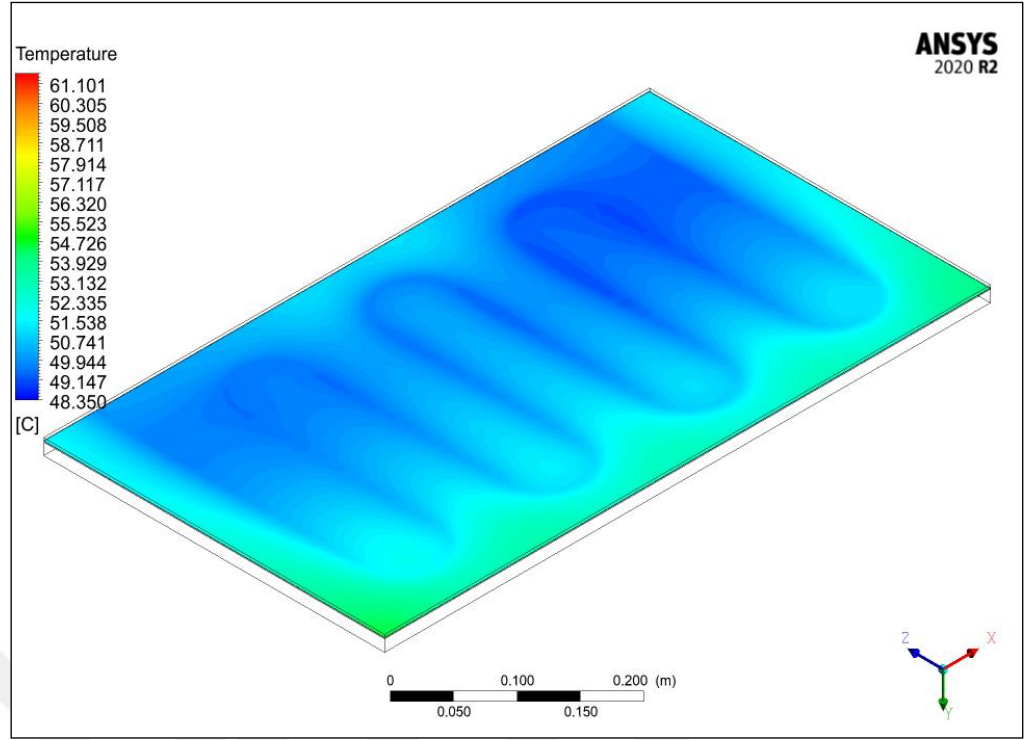
Şekil 4.95: Çalışma sıvısının MWCNT/su, hızının 1 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.



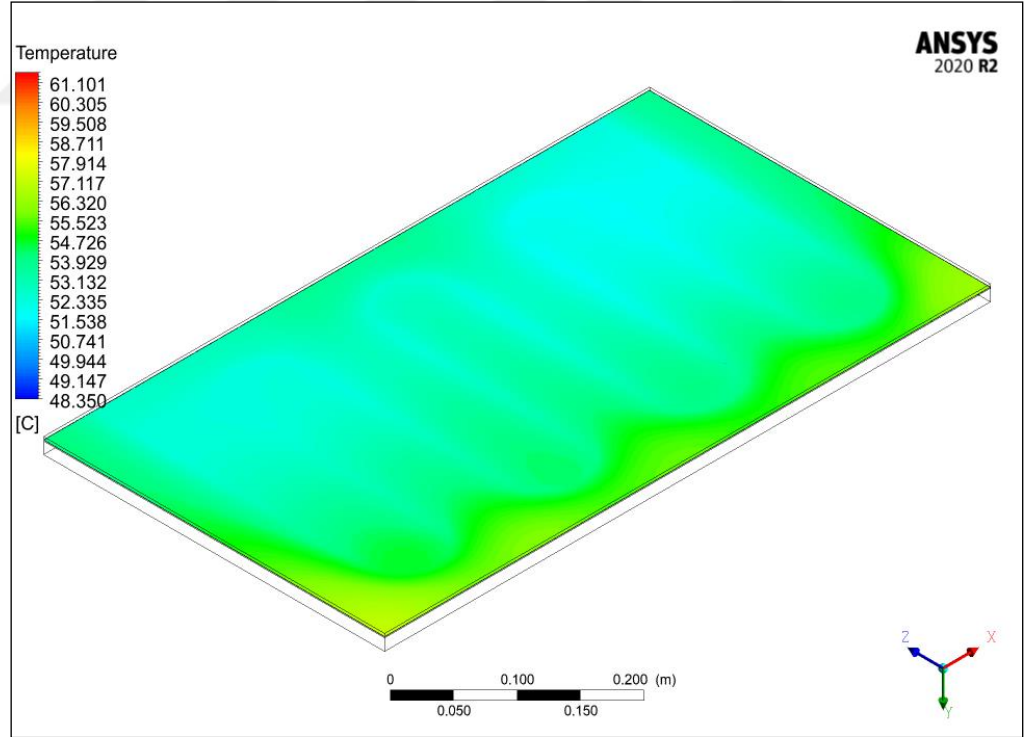
Şekil 4.96: Çalışma sıvısının su, hızının 3 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.



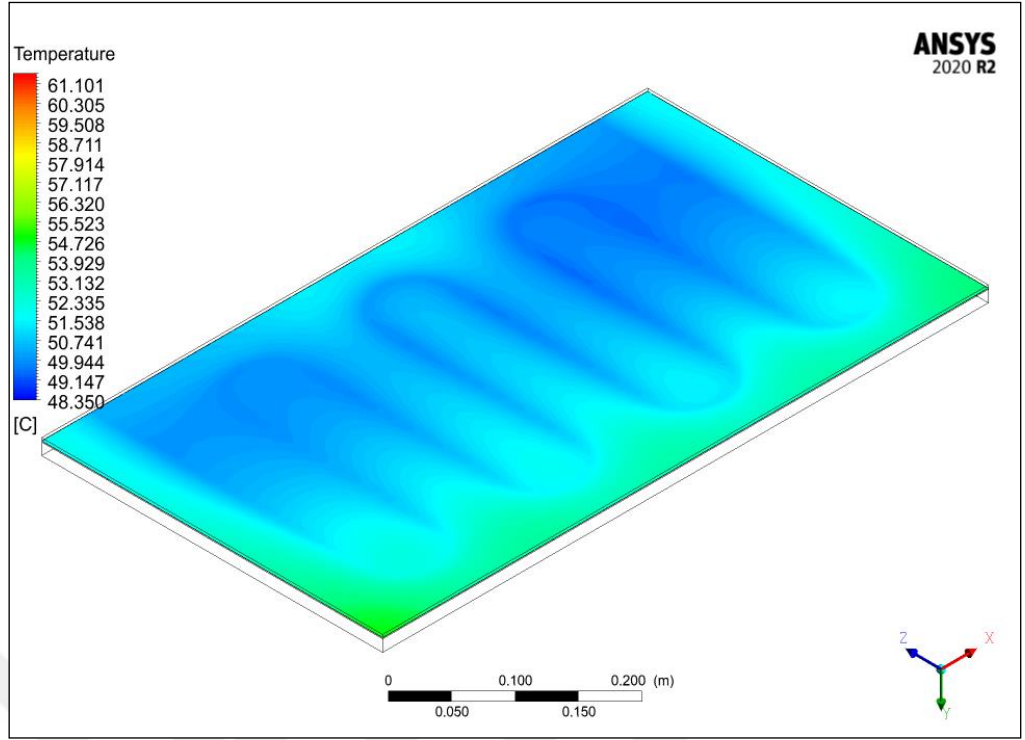
Şekil 4.97: Çalışma sıvısının grafen nanopelet/su, hızının 3 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.



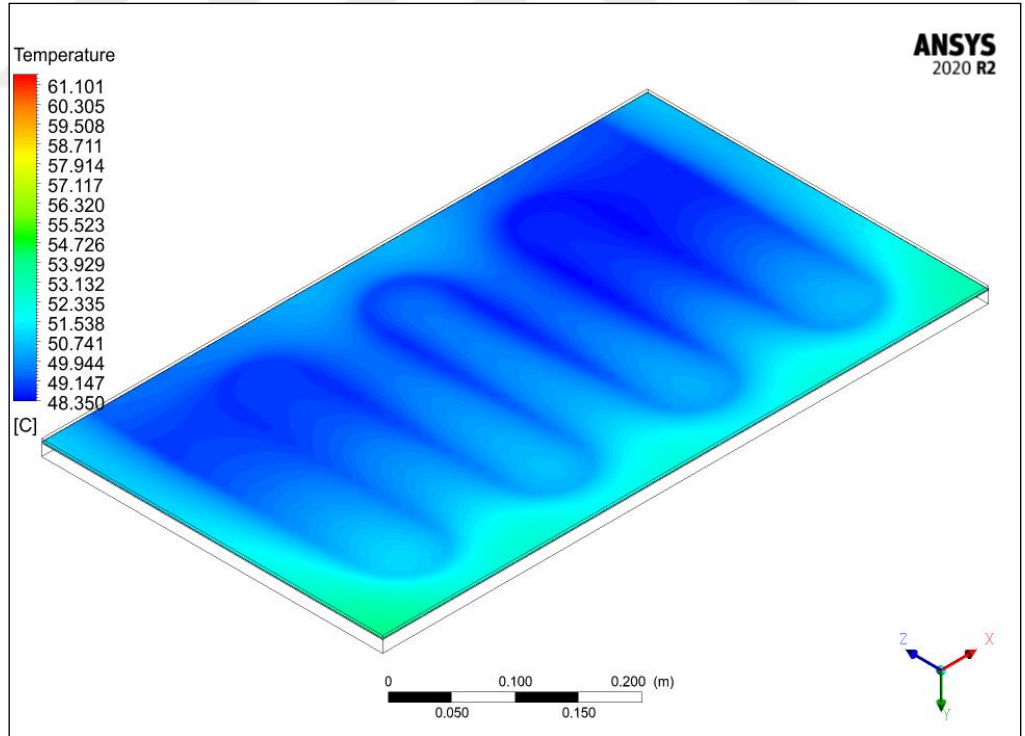
Şekil 4.98: Çalışma sıvısının MWCNT/su, hızının 3 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.



Şekil 4.99: Çalışma sıvısının su, hızının 5 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.

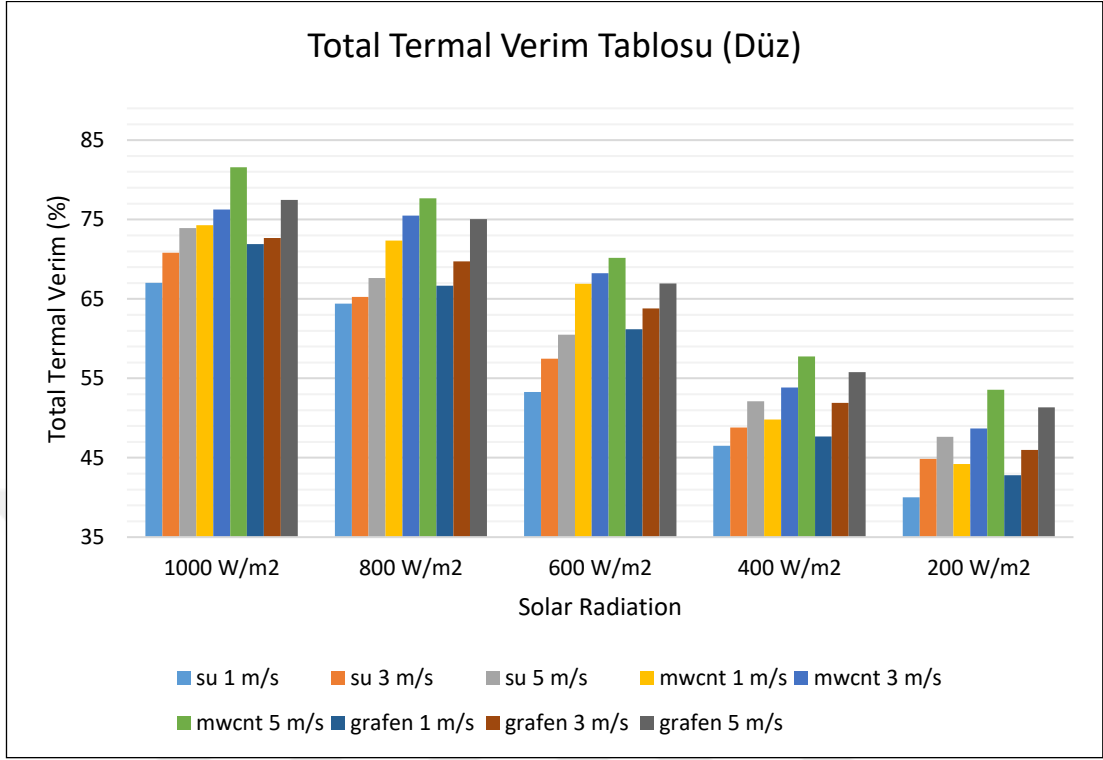


Şekil 4.100: Çalışma sıvısının grafen nanopelet/su, hızının 5 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.

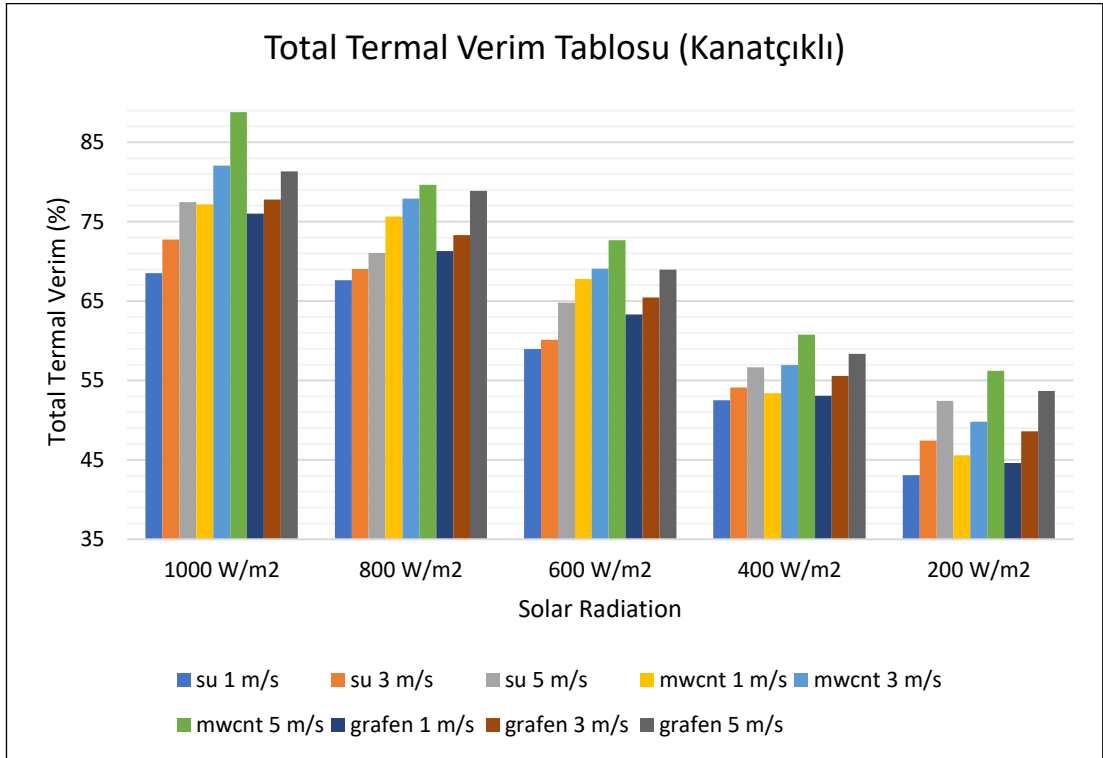


Şekil 4.101: Çalışma sıvısının MWCNT/su, hızının 5 m/s olduğu sıcaklık dağılımı.

4.7.4. Karşılaştırma



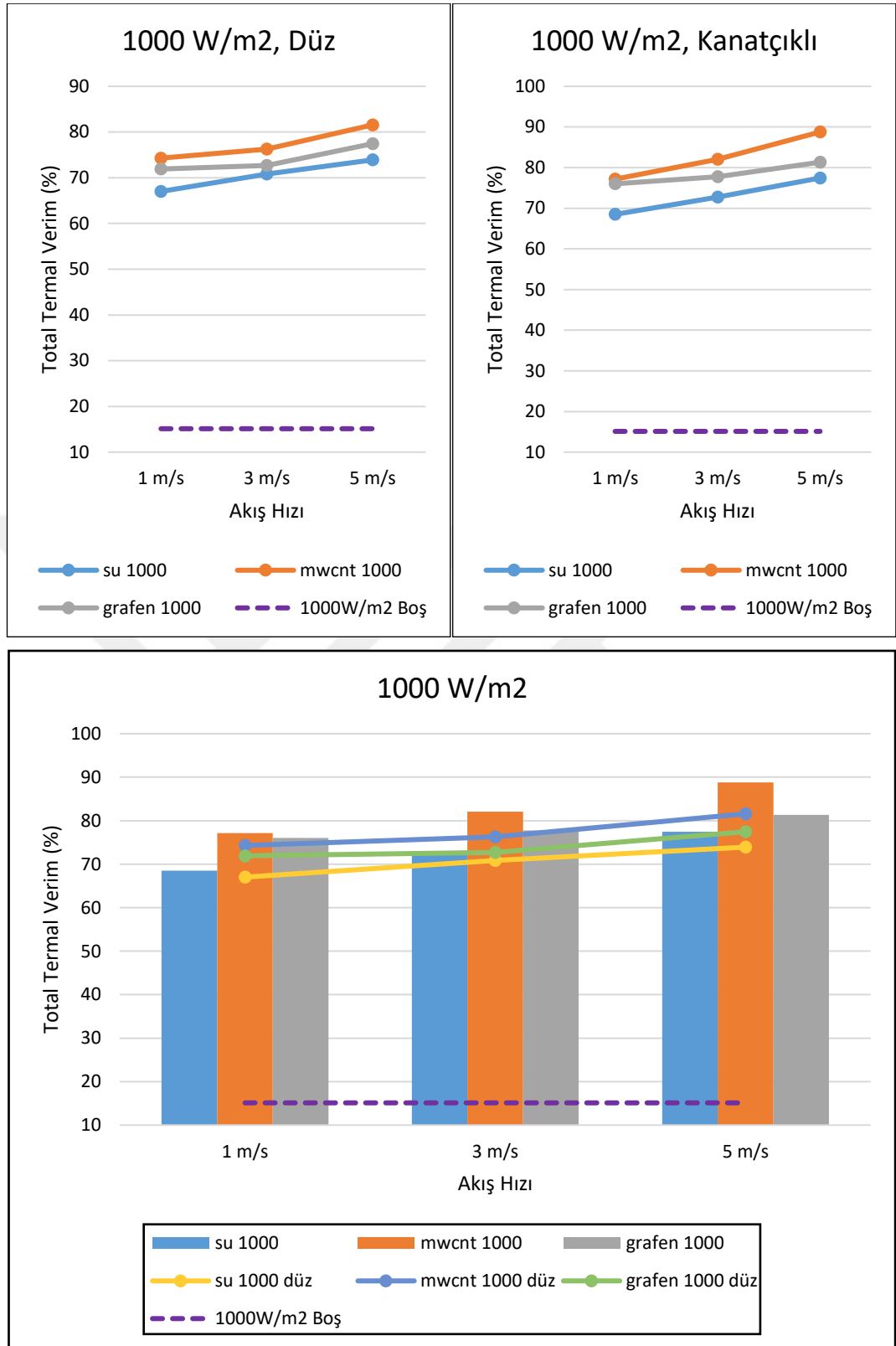
Şekil 4.102: Düz serpantin için total termal verim tablosu.



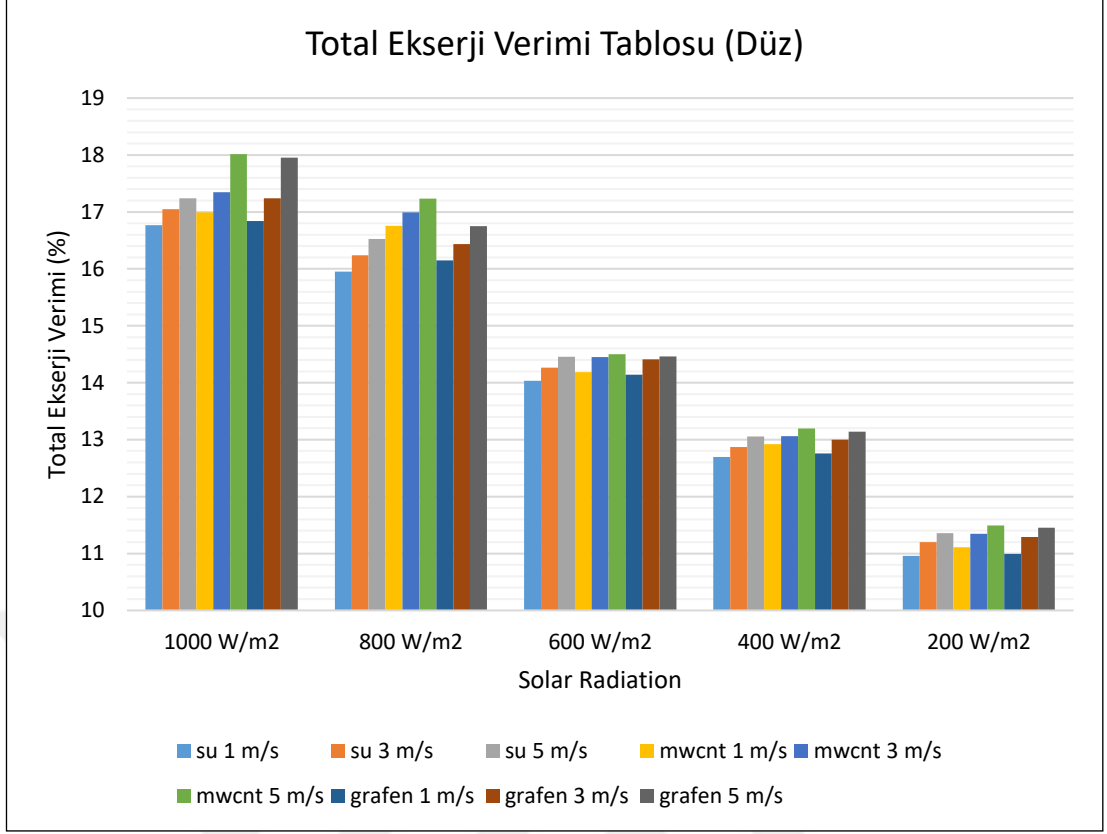
Şekil 4.103: Kanatçıklı serpantin için total termal verim tablosu.

Total termal verimin kanatçıkların etkisiyle ortalama %10 arttığı Şekil 4.102 ve Şekil 4.103 incelendiğinde görülebilir. Bunun dışında çalışma akışkanı olarak kullanılan nanoakışkanlar da suya göre termal verimi artırmıştır. Bu verimin artışında en etkili olan nanoakışkan MWCNT/su karışımı olarak görülmektedir. Hızların total termal verime etkisi ise azımsanmayacak ölçüdedir. Çalışma sıvısının hızı arttıkça total termal verim de artış göstermiştir.

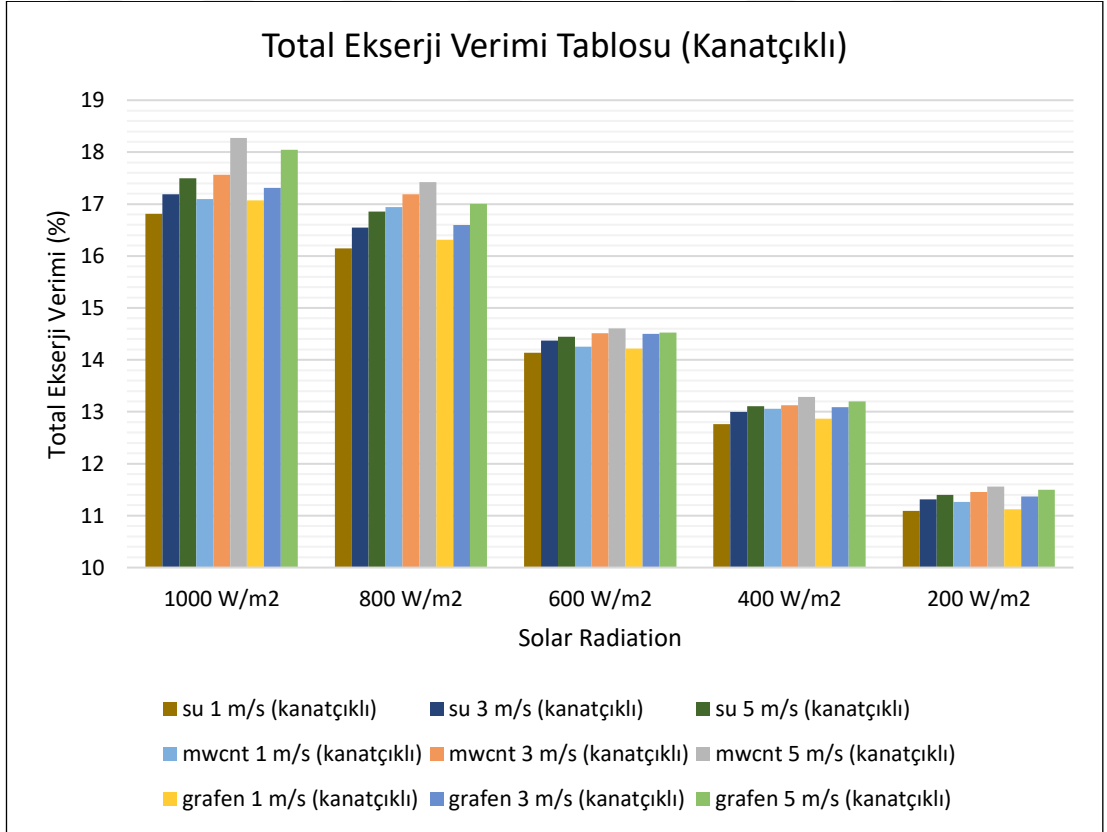
Şekil 4.104 incelendiğinde kanatçıklı serpantin kullanılan PV/T sisteminin aynı şartlardaki düz serpantin kullanılan PV/T sistemine göre total termal veriminde artış vardır. Sadece zorlanmış hava uygulanan (boş) PV/T sistemin total termal verimine göre çok büyük bir artış gerçekleşmiştir. Çalışma akışkanı hızının verimi artıran bir unsur olduğu yine bu grafikler incelendiğinde anlaşılabılır. Total termal verim için en etkili soğutucu akışkanın MWCNT/su karışımı olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 4.104: 1000W/m²'de termal verimlerin serpantin farkıyla karşılaştırıldığı grafik.



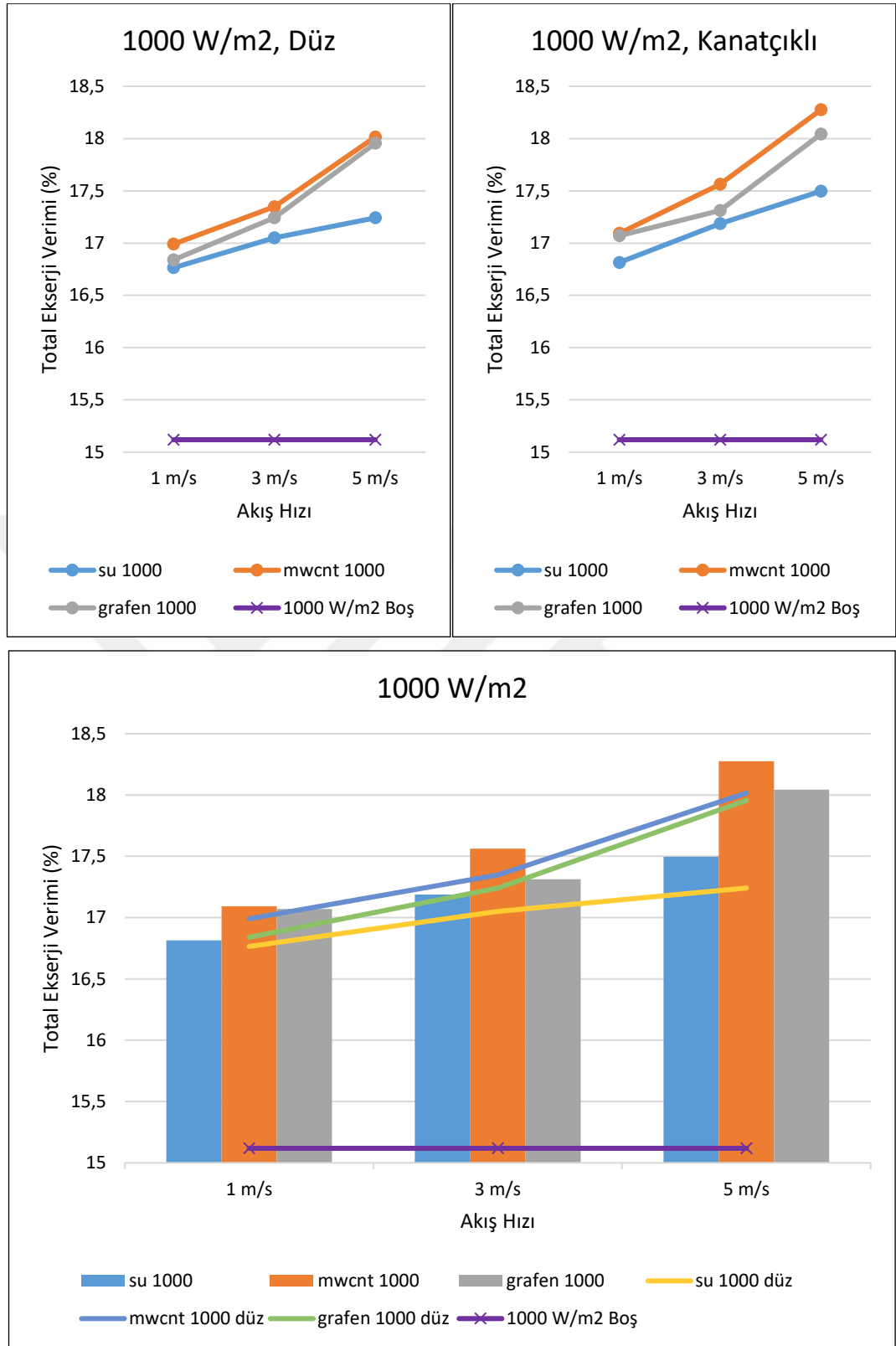
Şekil 4.105. Düz serpantin için Total ekserjetik verim tablosu.



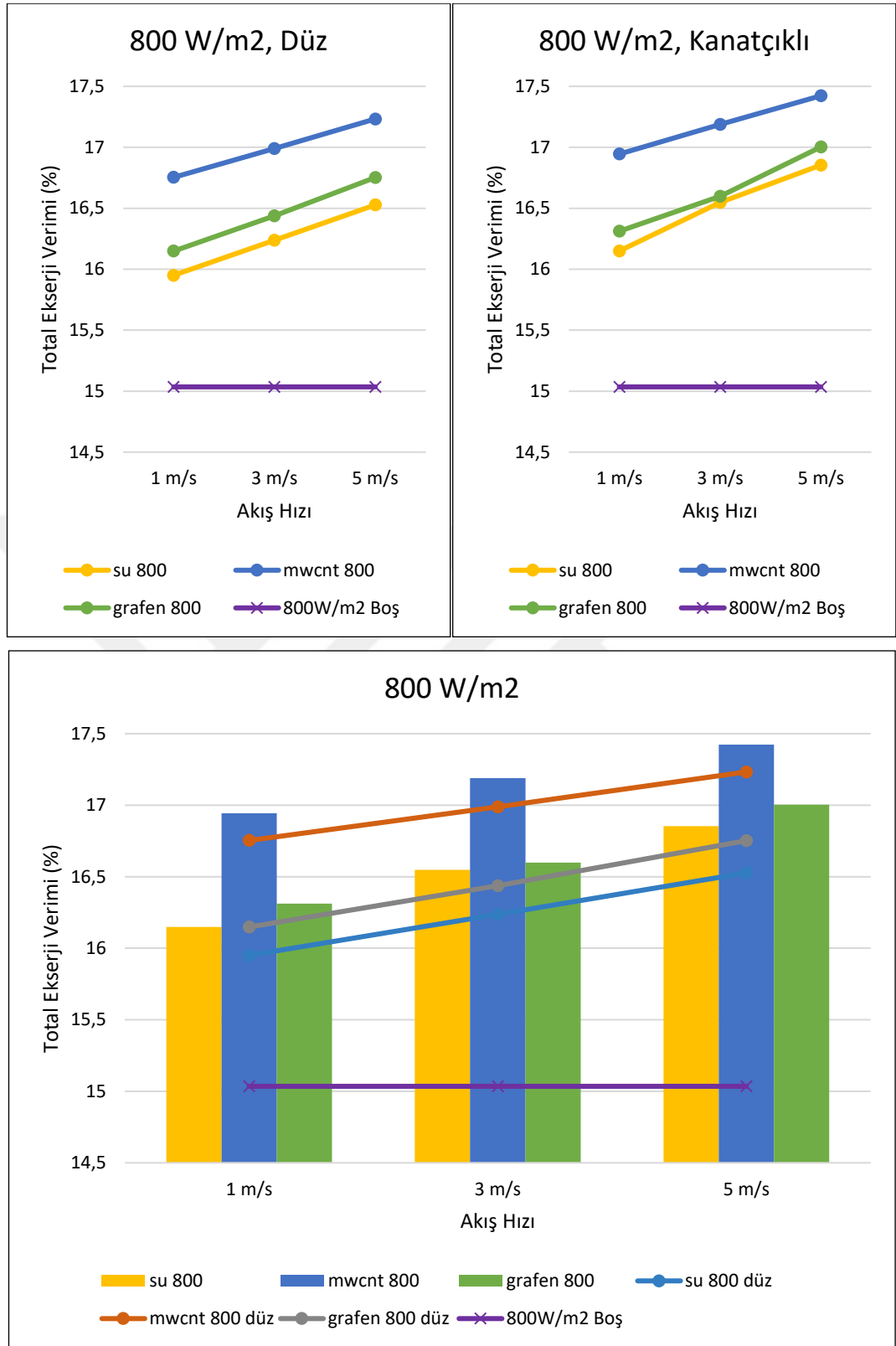
Şekil 4.106: Kanatçıklı serpantin için total ekserjetik verim tablosu.

Total ekserjetik verimin kanatçıkların etkisiyle ortalama %0,5 arttığı Şekil 4.105 ve Şekil 4.106'da görülebilir. Bunun dışında çalışma akışkanı olarak kullanılan nanoakışkanlar da suya göre bu verimi artırmıştır. Burada en etkili olan nanoakışkan MWCNT/su karışımı olarak görülmektedir. Hızların total ekserjetik verime etkisi ise doğru orantılıdır. Çalışma sıvısının hızı arttıkça total ekserjetik verim de artış göstermiştir.

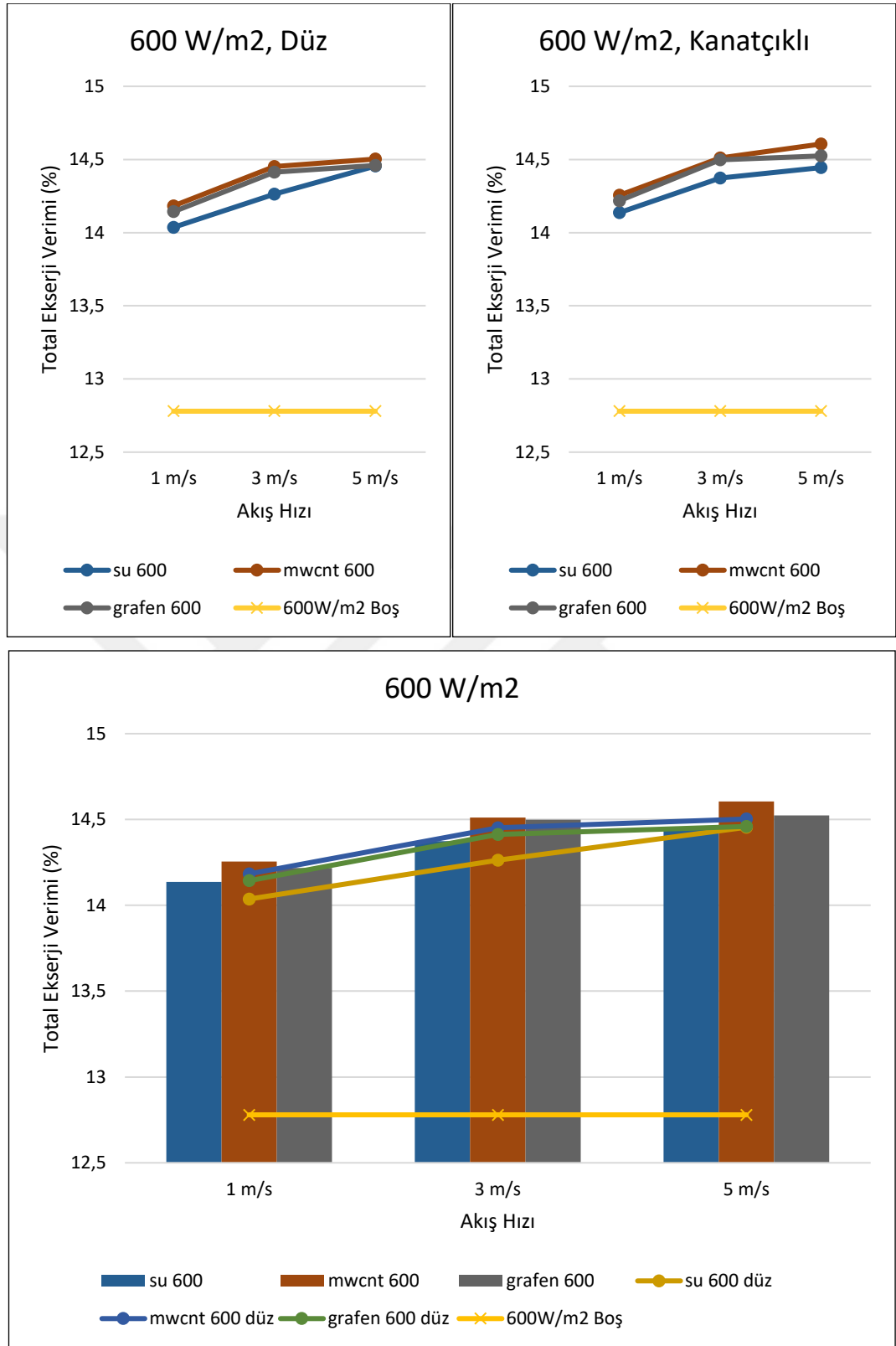




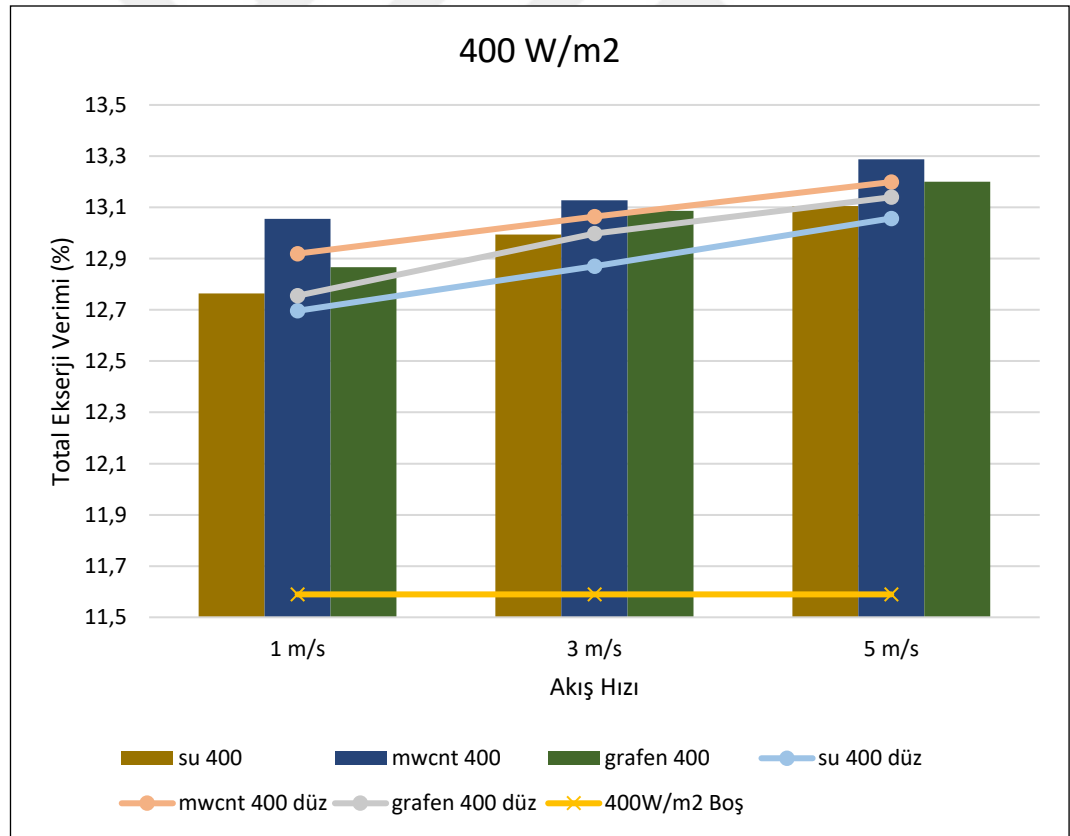
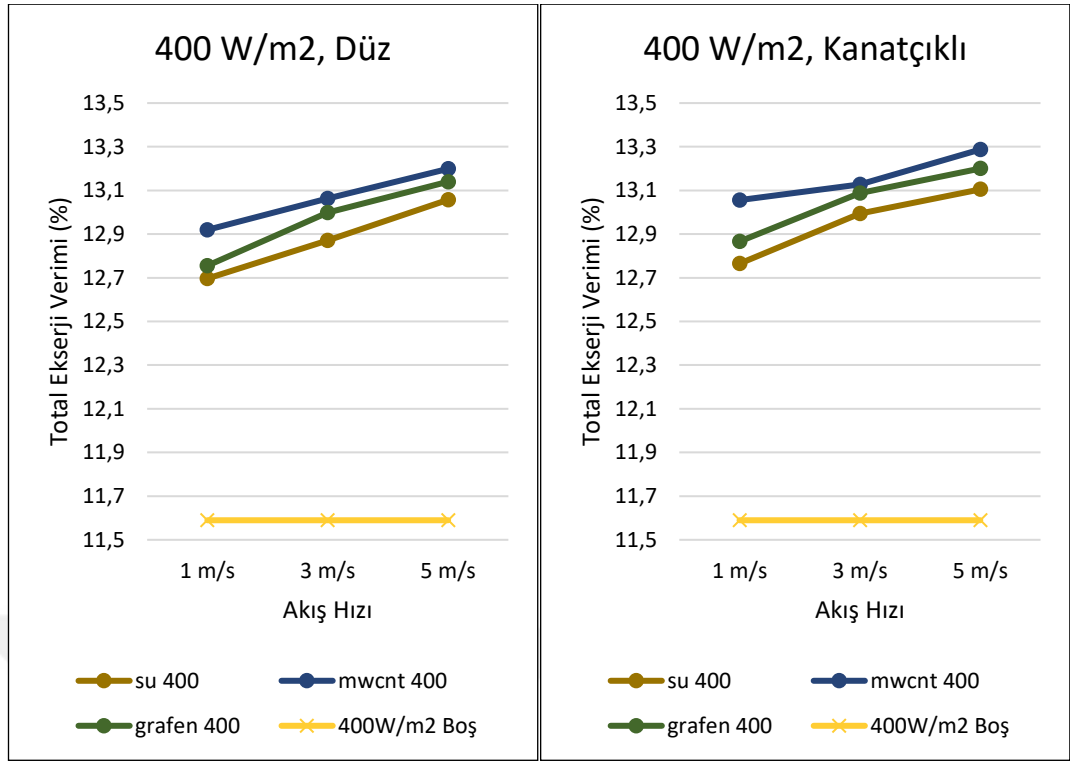
Şekil 4.107: 1000W/m²'de total ekserjetik verimlerin serpantin farkıyla karşılaştırıldığı grafik.



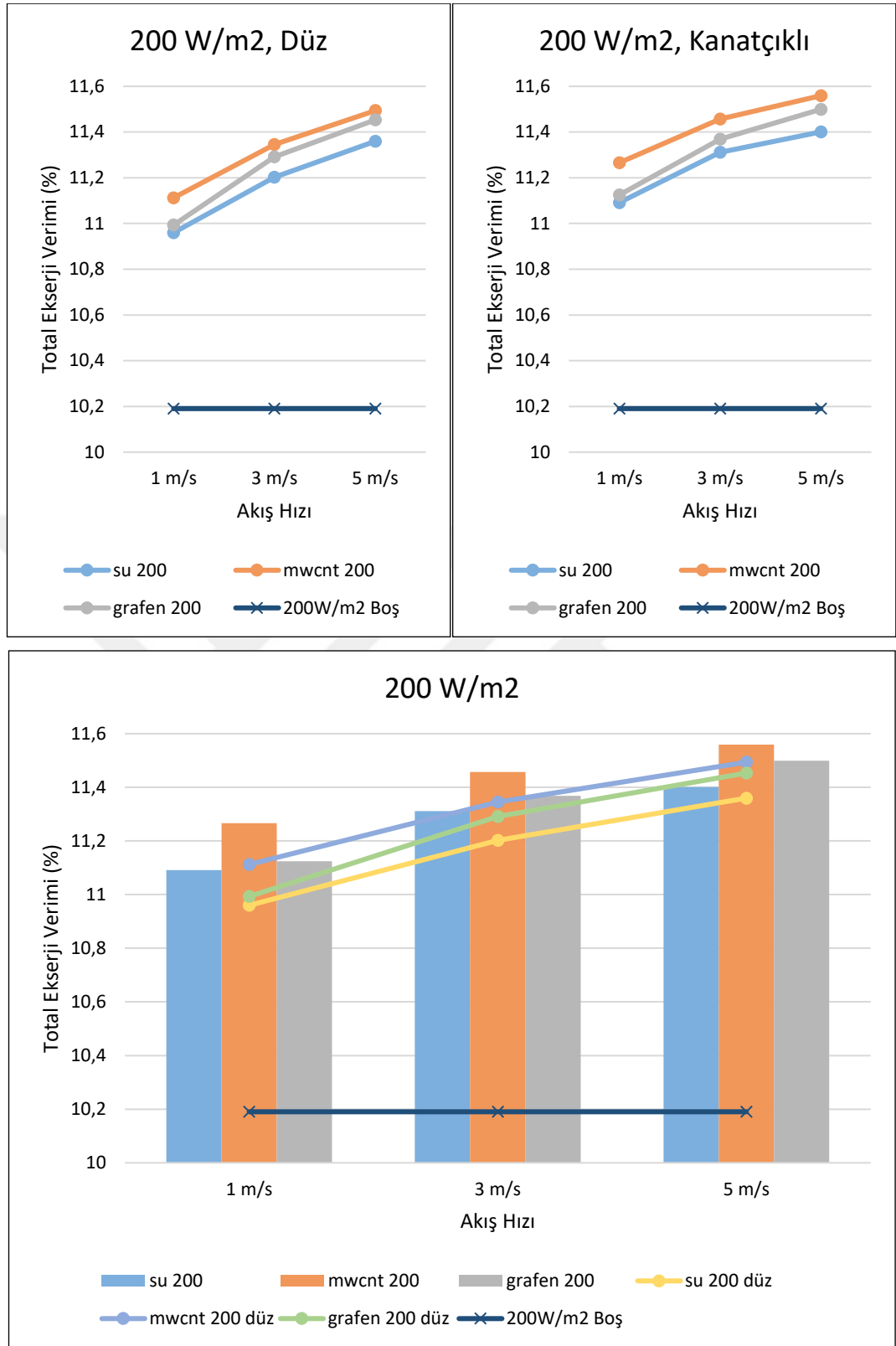
Şekil 4.108: 800W/m²'de total ekserjetik verimlerin serpantin farkıyla karşılaştırıldığı grafik.



Şekil 4.109: 600W/m²'de total ekserjetik verimlerin serpantin farkıyla karşılaştırıldığı grafik.



Şekil 4.110: 400W/m²'de total ekserjetik verimlerin serpantin farkıyla karşılaştırıldığı grafik.



Şekil 4.111: 200W/m²'de total ekserjetik verimlerin serpantin farkıyla karşılaştırıldığı grafik.

Şekil 4.107, Şekil 4.108, Şekil 4.109, Şekil 4.110 ve Şekil 4.111'den görüldüğü üzere kanatçıklı serpantin kullanılan PV/T sisteminin aynı şartlardaki düz serpantin

kullanılan PV/T sistemine göre total ekserjetik veriminde artış vardır. Bu grafikler incelendiğinde verimi artıran bir diğer unsurun çalışma akışkanı hızı olduğu da görülmektedir. Burada en etkili soğutucu akışkanın MWCNT/su karışımı olduğu gözlemlenmektedir.



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez kapsamında yapılan çalışmalarda PV/T sistemlerdeki verimi artırmaya yönelik bir tasarım yapılmış ve bu tasarımlar hesaplamalı akışkanlar dinamiği yaklaşımı ile yapılan analizlerle birlikte incelenmiştir. Analizler iki farklı PV/T modeli üzerinde hesaplamalı akışkanlar dinamiği yaklaşımını kullanan ANSYS FLUENT yazılımıyla gerçekleştirilmiştir.

İlk olarak bu çalışmada hangi çalışma akışkanlarının kullanılacağı literatür araştırmalarına göre belirlenmiş ve 4. bölümde verilen sınır şartları analize uygulanmıştır. PV/T modellerinde çalışma akışkanına paralel yönde, sabit hızda ve oda koşullarında zorlanmış hava da uygulanmış ve bu da analize aktarılmıştır.

Sonuçlar incelendiğinde kanatçıklı serpantin kullanan PV/T sistemi, diğerine göre total termal verimde ortalama %10, total ekserjetik verimde ise ortalama %0,5 artış elde etmiştir. Bunun yanı sıra MWCNT/su karışımı, grafen nanopelet/su karışımından ve sudan çalışma akışkanı olarak daha iyi bir performans göstermiştir. Çalışma akışkanlarının performans sıralaması yüksekten düşüğe sırasıyla; MWCNT/su karışımı, grafen nanopelet/su karışımı ve su olarak sıralanabilir. Burada MWCNT/su karışımı, grafen nanopelet/su karışımından termal verimde ortalama %5, ekserjetik verimde ortalama %0,4 daha iyi performans göstermiştir. Yüksek çalışma akışkanı hızlarında bu fark daha da belirgin hale gelmektedir.

Literatürde yapılan çalışmalar ağırlıklı olarak PV/T’lerde çalışma akışkanı olarak kullanılan nanoakışkanların karşılaştırılmasına dayalıdır. Bu tez kapsamında bir tasarım farkı ortaya koyup bunun olası etkilerini hesaplamalı akışkanlar dinamiği yaklaşımıyla analizler gerçekleştirilip, sonuçları karşılaştırıldı. Bu konuda daha girift tasarımlar yapıp analiz edilebilir. Bu analizler deneysel olarak incelenebilir. Nanoakışkan açısından daha fazla çalışma akışkanı ortaya çıkarılabilir. Bu tez kapsamında ise deneysel bir çalışma ile bu verim artışının doğrulaması yapılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Alous S.A.M., (2019) “Experimental Investigation of Using MWCNT and Graphene Nanoplatelets Water-Based Nanofluids as Coolants in PVT Systems”, Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi
- [2] Sachit F.A, Rosli M.A.M, Tamaldin N, Misha S, Abdullah A.L, (2018), “Nanofluids Used in Photovoltaic Thermal (PV/T) Systems: a Review”, *International Journal of Engineering and Technology* 7(3.20), 599–611.
- [3] Fudholi A, Razali N.F.M, Ruslan M.H, Sopian K, (2020), “Application of Nanofluids for Photovoltaic Thermal (PVT) Collectors: A Review”, *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 74, 35–44.
- [4] Esfe M.H, Kamyab M.H, Valadkhani M, (2020), “Application of nanofluids and fluids in photovoltaic thermal system: An updated review”, *Solar Energy*, 199, 796–818.
- [5] Y. Tong, J. Kim, H. Cho, (2015), “Effects of thermal performance of enclosed-type evacuated U-tube solar collector with multiwalled carbon nanotube/water nanofluid,” *Renewable Energy*, 83, 463–473.
- [6] Alsalam H.A.M, Lee J.H, Lee G.H, (2021), “Performance Evaluation of a Photovoltaic Thermal (PVT) System Using Nanofluids” *Energies*, 14, 301.
- [7] Qeays I.A, Yahya S.M, Arif M.S.B, Jamil A, (2020), “Nanofluids application in hybrid Photovoltaic Thermal System for Performance Enhancement: A review”, *Egyptian Informatics Journal*, 23, 427–436.
- [8] Farzanehnia A., Sardarabadi M, (2019), “Exergy in Photovoltaic/Thermal Nanofluid-Based Collector Systems”, *IntechOpen*.
- [9] Lee J.H, Hwang S.G, Lee G.H, (2019), “Efficiency Improvement of a Photovoltaic Thermal (PVT) System Using Nanofluids” *Energies*, 12, 3063.
- [10] Prasetyo S, Prabowo A.R, Arifin Z, (2022), “Investigation of Thermal Collector Nanofluids to Increase the Efficiency of Photovoltaic Solar Cells”, *International Journal of Heat and Technology*, 40, 415–422.
- [11] Saleh A.W, Danook S.H, Hussein A.M, (2020), “Increasing performance of (PVT) solar cells by using nanofluids: A Review”, *International Journal of Engineering Inventions*, 9, 26–29
- [12] Gundala S, Basha M.M, Madhurima V, Praveena N, Kumar S.V, (2021), “An Experimental Performance on Solar Photovoltaic Thermal Collector with Nanofluids for Sustainable Development”, *Journal of Nanomaterials*, 2021, 6.

- [13] Menni Y, Chamka A.J, Lorenzini G, Kaid N, Ameer H, Bensafi M, (2019), "Advances of Nanofluids in Solar Collectors - A Review of Numerical Studies", *Mathematical Modelling of Engineering Problems*, 6, 415–427.
- [14] Alktranee M, Bencs P, (2020), "Applications of Nanotechnology with Hybrid Photovoltaic/Thermal Systems: A Review", *Journal of Applied Engineering Science*, 19, 292–306.
- [15] Abdallah S.R, Saidani-Scott H, Abdellatif O.E, (2019), "Performance analysis for hybrid PV/T system using low concentration MWCNT (water-based) nanofluid", *Solar Energy*, 181, 108–115.
- [16] Özakin A.N, Kaya F, (2019), "Effect on the exergy of the PVT system of fins added to an air-cooled channel: A study on temperature and air velocity with ANSYS Fluent", *Solar Energy* 184, 561–569.
- [17] An W, Zhang J, Zhu T, Gao N, (2016), "Investigation on a spectral splitting photovoltaic/thermal hybrid system based on polypyrrole nanofluid: Preliminary test", *Renewable Energy*, 86, 633–642.
- [18] Chow T. T, (2010), "A review on photovoltaic/thermal hybrid solar technology", *Applied Energy*, 87, 365–379.
- [19] An, W., Zhang, J., Zhu, T., Gao, N., (2016), "Investigation on a spectral splitting photovoltaic/thermal hybrid system based on polypyrrole nanofluid: Preliminary test", *Renewable Energy*, 86, 633–642.
- [20] Mittelman, G., Kribus, A., Dayan, A., (2007), "Solar cooling with concentrating photovoltaic/thermal (CPVT) systems", *Energy Conversion And Management*, 48, 2481–2490.
- [21] Meneses-Rodríguez, D., Horley, P. P., Gonzalez-Hernandez, J., Vorobiev, Y. V, Gorley, P. N., (2005), "Photovoltaic solar cells performance at elevated temperatures", *Solar Energy*, 78, 243–250.
- [22] Kalogirou, S. A., (2013), "Solar Energy Engineering: Processes and Systems", Academic Press.
- [23] Lämmle, M., Oliva, A., Hermann, M., Kramer, K., Kramer, W., (2017), "PV/T collector technologies in solar thermal systems: A systematic assessment of electrical and thermal yields with the novel characteristic temperature approach", 155, 867–879.
- [24] Sridhara, V., Satapathy, L. N., (2011), "Al₂O₃-based nanofluids: a review", *Nanoscale Research Letters*, 6, 456.
- [25] Sardarabadi, M., Passandideh-Fard, M., Heris, S. Z., (2014), "Experimental investigation of the effects of silica/water nanofluid on PV/T (photovoltaic thermal units)", *Energy*, 66, 264–272.

- [26] Ghadiri, M., Sardarabadi, M., Pasandideh-fard, M., Moghadam, A. J., (2015), "Experimental investigation of a PVT system performance using nano ferrofluids", *Energy Conversion And Management*, 103, 468–476.
- [27] Sardarabadi, M., Passandideh-Fard, M., (2016), "Experimental and numerical study of metal-oxides/water nanofluids as coolant in photovoltaic thermal systems (PVT)", *Solar Energy Materials And Solar Cells*, 157, 533–542.
- [28] Al-Shamani, A. N., Sopian, K., Mat, S., Hasan, H. A., Abed, A. M., Ruslan, M. H., (2016), "Experimental studies of rectangular tube absorber photovoltaic thermal collector with various types of nanofluids under the tropical climate conditions", *Energy Conversion And Management*, 124, 528–542.
- [29] Al-Waeli, A. H. A., Sopian, K., Chaichan, M. T., Kazem, H. A., Hasan, H. A., Al-Shamani, A. N., (2017), "An experimental investigation of SiC nanofluid as a base-fluid for a photovoltaic thermal PV/T system", *Energy Conversion And Management*, 142, 547–558.
- [30] Al-Waeli, A. H. A., Chaichan, M. T., Kazem, H. A., Sopian, K., (2017), "Comparative study to use nano-(Al₂O₃, CuO, and SiC) with water to enhance photovoltaic thermal PV/T collectors", *Energy Conversion And Management*, 148, 963–973.
- [31] Ebaid, M. S. Y., Ghrair, A. M., Al-Busoul, M., (2018), "Experimental investigation of cooling photovoltaic (PV) panels using (TiO₂) nanofluid in waterpolyethylene glycol mixture and (Al₂O₃) nanofluid in watercetyltrimethylammonium bromide mixture", *Energy Conversion And Management*, 155, 324–343.
- [32] Hosseinzadeh, M., Salari, A., Sardarabadi, M., Passandideh-Fard, M., (2018), "Optimization and parametric analysis of a nanofluid based photovoltaic thermal system: 3D numerical model with experimental validation", *Energy Conversion And Management*, 160, 93–108.
- [33] Al-Waeli, A. H. A., Chaichan, M. T., Kazem, H. A., Sopian, K., Ibrahim, A., Mat, S., Ruslan, M. H., (2018), "Comparison study of indoor/outdoor experiments of a photovoltaic thermal PV/T system containing SiC nanofluid as a coolant", *Energy*, 151, 33–44.
- [34] Fayaz, H., Nasrin, R., Rahim, N. A., Hasanuzzaman, M., (2018), "Energy and exergy analysis of the PVT system: Effect of nanofluid flow rate", *Solar Energy*, 169, 217–230.
- [35] Nasrin, R., Rahim, N. A., Fayaz, H., Hasanuzzaman, M., (2018), "Water/MWCNT nanofluid based cooling system of PVT: Experimental and numerical research", *Renewable Energy*, 121, 286–300.
- [36] Abdallah, S. R., Saidani-Scott, H., Abdellatif, O. E., (2019), "Performance analysis for hybrid PV/T system using low concentration MWCNT (water-based) nanofluid", *Solar Energy*, 181, 108–115.

- [37] Versteeg H. K., Malalasekera W., (1995), “An Introduction to Computational Fluid Dynamics: the Finite Volume Method” Harlow, England: Pearson Education Ltd.
- [38] Cebeci T., Shao J. P., Kafyeke F., Laurendeau E., (1995), “Computational Fluid Dynamics for Engineers”, Horizon Publishing, Long Beach, California and Springer, New York.
- [39] Gökçe M.K., (2020), “Gemi Özitme Parametrelerinin Sayısal ve Deneysel Olarak Hesaplanması”, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi.
- [40] User Guide, (2019), Simcenter STAR-CCM+ Documentation Version 2019.3, Siemens PLM Software.
- [41] Hu, C., White, R. M., (1983), "Solar Cells: From Basic to Advanced Systems", McGraw-Hill, United States, 298.
- [42] Çengel, Y. A., Boles, M. A., (2015), "Thermodynamics: An Engineering Approach", 8th. Ed., McGraw-Hill Education.
- [43] Chow, T. T., Pei, G., Fong, K. F., Lin, Z., Chan, A. L. S., Ji, J., (2009), "Energy and exergy analysis of photovoltaic–thermal collector with and without glass cover", Applied Energy, 86, 310–316.
- [44] Jeter, S. M., (1981), "Maximum conversion efficiency for the utilization of direct solar radiation", Solar Energy, 26, 231–236.
- [45] Sengers, J. V, Watson, J. T. R., (1986), "Improved international formulations for the viscosity and thermal conductivity of water substance", Journal Of Physical And Chemical Reference Data, 15, 1291–1314.
- [46] Nasrin, R., Rahim, N. A., Fayaz, H., Hasanuzzaman, M., (2018), "Water/MWCNT nanofluid based cooling system of PVT: Experimental and numerical research", Renewable Energy, 121, 286–300.
- [47] Contreras, E. M. C., Oliveira, G. A., Bandarra Filho, E. P., (2019), "Experimental analysis of the thermohydraulic performance of graphene and silver nanofluids in automotive cooling systems", International Journal Of Heat And Mass Transfer, 132, 375–387.

ÖZGEÇMİŞ

Gökhan SEFER, 2018 yılında İstanbul Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünden mezun oldu. Daha sonra Virgo Fittings şirketinde Makine Mühendisi, Cengiz Makine şirketinde Mekanik Tasarım Mühendisi olarak görev yaptı. 2023 yılından itibaren Kale Arge şirketinde Mekanik Tasarım Mühendisi olarak görevine devam etmektedir. 2020 yılından bu yana Gebze Teknik Üniversitesi'nde yüksek lisans eğitimine devam etmektedir.



EKLER

Ek A: Tez Çalışması Kapsamında Yapılan Yayınlar

Sefer G., Karsli S., (2023), “PV/T Sistem Performansına Zorlanmış Hava/Nanoakışkan Çiftlerinin Etkisinin Sayısal Olarak İncelenmesi”, 7. Lisansüstü Araştırmalar Sempozyumu, Gebze Teknik Üniversitesi, Kocaeli, TÜRKİYE, 31 Mayıs-1 Haziran.

