



**TERMOELEKTRİK SOĞUTMA SİSTEMİNİN  
TERMAL PERFORMANSININ  
NANOAKIŞKANLARLA İYİLEŞTİRİLMESİ**

**Sevilay TAYGAR**

**Yüksek Lisans Tezi  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı  
Danışman: Doç. Dr. Eyüphan MANAY**

**2022**

**Her hakkı saklıdır.**



**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**TERMOELEKTRİK SOĞUTMA SİSTEMİNİN TERMAL PERFORMANSININ  
NANOAKIŞKANLARLA İYİLEŞTİRİLMESİ**

**Sevilay TAYGAR**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Eyüphan MANAY**

**Anabilim Dalı: Makine Mühendisliği**

**Erzurum**

**2022**

**Her hakkı saklıdır**

## **ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI**

Erzurum Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki tüm bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

15 / 09 / 2022

Sevilay TAYGAR

# ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

## TERMoeLEKTRİK SOĞUTMA SİSTEMİNİN TERMAL PERFORMANSININ NANOAKIŞKANLARLA İYİLEŞTİRİLMESİ

Sevilay TAYGAR

Erzurum Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Eyüphan MANAY

Teknolojide yaşanan ilerlemeler sayesinde mekanik, elektronik gibi alanlarda çeşitli cihazların kullanımı artmıştır. Bu cihazlarla birlikte cihazların çalışırken ısınması gibi problemleri de beraberinde getirmiştir. Termoelektrik eleman peltierde de durum böyledir. Peltier, çalışırken bir yüzü sıcak diğer yüzü soğuk olan termoelektrik elemandır. Sıcak yüzü için etkin soğutma yapılmazsa bu durum soğuk yüzeyi de etkiler hatta peltier bozulabilir. Bunun önüne geçmek için ve peltierin hazneyi ne kadar soğutabileceğini görmek için bir dizi deney gerçekleştirildi. Peltier soğutulmasında soğutucu akışkan olarak saf su ve SiO<sub>2</sub> kullanıldı. Nanoakışkan için kullanılan nanopartiküllerin oranları sırasıyla %0.25, %0,5 ve %1 olarak kararlaştırıldı. Nanoakışkanda değişen hacimsel oranlarla birlikte peltierin elektriksel gücü ve farklı hacimlerdeki soğutma haznesinde de deneyler gerçekleştirildi. Peltierin (termoelektrik eleman) elektriksel gücü 6V, 8V, 10V ve 12V olarak belirlendi. Nanoakışkan kütleli debisi için 6, 10 ve 14 g/s olarak belirlenirken soğutma haznesinin hacmi ise 38×30×13 cm ve 26×20×12 cm olarak kararlaştırıldı.

**2022, 177 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Isıl İletkenlik, Viskozite, SiO<sub>2</sub> Nanopartikül, Termofiziksel Özellikler, Soğutma Odası, Termoelektrik Soğutma, COP

## **ABSTRACT**

MS. Thesis

### **IMPROVEMENT OF THERMAL PERFORMANCE OF THERMOELECTRIC COOLING SYSTEM WITH NANOFLUIDS**

Sevilay TAYGAR

Erzurum Technical University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Assoc. Dr. Eyuphan MANAY

Thanks to the tools in technology, electronic consumables can be used. Along with these devices, it also brought problems such as heating of the devices while working. This is also the case with the thermoelectric element peltier. Peltier is a thermoelectric element that is hot on one side and cold on the other. If there is no effective cooling for the hot side, this will also affect the cold surface and even the peltier may deteriorate. To avoid this and to see how much the peltier could cool the chamber, a series of experiments were carried out. Pure water and SiO<sub>2</sub> were used as refrigerants in Peltier cooling. The proportions of nanoparticles used for nanofluid were determined as 0.25%, 0.5% and 1%, respectively. Experiments were also carried out in the electrical power of the peltier and the cooling chamber of different volumes, along with the varying volumetric ratios in the nanofluid. The electrical power of the Peltier (thermoelectric element) was determined as 6V, 8V, 10V and 12V. While the mass flow rate of nanofluid was determined as 6, 10 and 14 g/s, the volume of the cooling chamber was determined as 38×30×13 cm and 26×20×12 cm.

**2022, 177 page**

**Keywords:** Thermal Conductivity, Viscosity, SiO<sub>2</sub> Nanoparticle, Thermophysical Properties, Cooling Chamber, Thermoelectric Cooling, COP

## TEŞEKKÜR

Danıőmanım Doç. Dr. Eyüphan Manay'a yardımları, ilgileri, ayırmıő olduğu değerli vakti ve takıldığım verdiği tüm destekleri için, Doç. Dr. Faraz Afshari'ye ilgileri ve yardımları için, Arő. Gör. Makine Yüksek Mühendisi Emre Mandev'e deney sırasındaki yardımları, ilgileri, takıldığım her konuda bana yardımcı olduğu ve değerli vaktini bana ayırdığı için teőekkürlerimi sunuyorum.

ETÜ Fen Bilimleri Enstitü Sekreteri Muhammed Ali Güzeltepe'ye, ETÜ Fen Bilimleri Enstitüsü çalıőanlarından Őef Ersin Köroğlu'na özellikle tez düzenlenmesi konusundaki yardımları, ilgileri ve ayırmıő oldukları değerli vakitleri için teőekkürlerimi sunuyorum.

Son olarak her konuda desteklerini esirgemeyen, benimle birlikte uyuyup benimle birlikte hareket eden, değerli önerilerini benimle paylaőıp vakitlerini ayırdıkları için başta Peyzaj Mimarı ve Őehir Plancısı olan kardeőim Ümit Mehmet Taygar'a biricik annem Filiz Taygar'a ve sonsuz güven duyduğum babam Köksal Taygar'a sonsuz teőekkürlerimi sunuyorum.

**Sevilay TAYGAR**  
**Eylül 2022**

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>ÖZET</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	ii
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	iii
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	iv
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	vi
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	vii
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	xiii
<b>1. GİRİŞ</b> .....	1
1.1. Soğutma Üzerine .....	2
1.2. Isı Transferi .....	3
1.3. Isı Transferini Arttırma Metotları .....	4
1.3.1. Aktif metotlar .....	4
1.3.2. Pasif metotlar .....	5
1.4. Nanoakışkanlar.....	6
1.5. Nanoakışkanların Sınıflandırılması.....	10
1.6. Nanoakışkanların Hazırlanması .....	12
1.6.1. Tek adım yöntemi .....	12
1.6.2. İki adım yöntemi .....	12
1.7. Nanoakışkanların Kararlılığının Belirlenmesi.....	13
1.8. Nanoakışkanların Termofiziksel Özellikleri.....	15
1.8.1. Isı iletkenlik.....	15
1.8.2. Viskozite .....	15
1.8.3. Yoğunluk.....	21
1.8.4. Özgül ısı .....	21
1.8.5. Yüzey gerilimi.....	23
1.9. Nanoakışkanların Kullanım Alanları .....	24
1.10. Termoelektrik Eleman.....	25
1.10.1. Termoelektrik etkiler.....	25
1.11. Peltier Modül.....	29
1.12. Termoelektrik Elemanların Çalışma Prensibi (TEC).....	32

1.13. Termoelektrik Elemanlarda Kullanılan Malzemeler.....	33
1.14. Kullanım Alanları.....	39
1.15. Termoelektrik Soğutucuların Avantajları ve Dezavantajları .....	42
<b>2. KAYNAK ÖZETLERİ .....</b>	<b>43</b>
<b>3. MATERYAL ve YÖNTEM.....</b>	<b>60</b>
3.1. Deneysel Materyaller .....	61
3.2. Nanoakışkanın Hazırlanması ve Karakterizasyonu .....	72
3.3. Isı Transferi Hesapları.....	76
3.4. Belirsizlik Analizi .....	78
<b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....</b>	<b>79</b>
<b>5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....</b>	<b>165</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>168</b>

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
°	Derece
C	Celcius (Selsiyus)

### Kısaltmalar

COP	Soğutma Performansı
$c_p$	Özgül Isı
h	Taşıyım Katsayısı
I	Akım
k	İletim Katsayısı
l	Litre
L	Uzunluk (metre)
$\dot{m}$	Kütlesel Debi
ml	Mililitre
Nu	Nusselt Sayısı
Re	Reynolds Sayısı
T	Sıcaklık (°C)
TE	Termoelektrik Eleman
TEC	Termoelektrik Soğutma (Thermoelectric Cooling)
V	Volt
ZT	Liyakat Rakamı
$\mu$	Dinamik Viskozite
$\eta$	Verim
$\pi$	Peltier Sabiti
$\rho$	Yoğunluk
$\tau$	Thomson Katsayısı

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Temel akışkan içinde nanopartiküllerin absorpsiyon – ara yüz/sıvı katmanlaşmasının görünümü .....	7
Şekil 1.2. Nanopartikül etrafında oluşan absorpsiyon – ara yüz/sıvı katmanlaşma .....	8
Şekil 1.4. Isıl iletkenlikte nanoparçacık konsantrasyonunun etkisi .....	17
Şekil 1.5. Isıl iletkenlikte baz akışkanın etkisi .....	18
Şekil 1.6. Isıl iletkenlikte kümelenme etkisi .....	19
Şekil 1.7. Yoğunluğun hacimsel oranla değişimi. ....	21
Şekil 1.8. Seebeck voltajının ölçümü. ....	26
Şekil 1.9. Peltier etkisi şematik görünüm. ....	27
Şekil 1.10. Thomson etkisi .....	28
Şekil 1.11. "Platinyuma" Göre Seebeck Katsayıları .....	29
Şekil 1.12. Termoelektrik elemanın iç yapısı .....	30
Şekil 1.13. “p” ve “n” yarıiletken çifti. ....	30
Şekil 1.14. Esnek termoelektrik modüller. ....	31
Şekil 1.15. Çok katmanlı peltier modülü .....	31
Şekil 1.16. Termoelektrik elemanın çalışma prensibi (TEC) .....	33
Şekil 1.17. Yarı Heusler malzemeleri için ZT değerlerinin sıcaklıkla değişimi. ....	35
Şekil 1.18. Sıcaklığa bağlı liyakat rakamı (ZT). ....	36
Şekil 1.19. Poliimid üzerine basılmış esnek soğutucu. ....	38
Şekil 1.20. Esnek Termoelektrik Elemanların Elde Edilmesi. ....	38
Şekil 1.21. Termoelektrik modülün kullanım alanlarına örnekler .....	41
Şekil 2.1. Çalışmada kullanılan, literatürlerde geçen eşitliklerin grafikte gösterimi .....	44
Şekil 2.2. Sırasıyla; trapez kanal, sinüs kanal, düz kanal .....	45
Şekil 2.3. Deneydeki veriler için literatürde geçen denklemlerin ve deneysel verilerin gösterimi. ....	46
Şekil 2.4. Çalışmalarında kullandıkları mikrokanal .....	47
Şekil 2.5. Çalışmada geçen soğutucu tipi ile ekserji verimliliği. ....	48
Şekil 2.6. Çalışmada geçen soğutucu tipi ile ekserji ısısı arasındaki ilişki .....	49
Şekil 2.7. Ortalama sıcaklıkta çeşitli akışkanların reynolds sayıları .....	50
Şekil 2.8. Nusselt ve reynolds sayısının farklı nanoakışkanlar için grafiksel gösterimi. ....	50

Şekil 2.9. SiO <sub>2</sub> – su nanoakışkanın özellikleri ve ısı transferi etkinliği .....	51
Şekil 2.10. Termoelektrik soğutma ünitesinin şematik görünümü .....	58
Şekil 2.11. Yıllara göre termoelektrik elemanların kullanımı .....	58
Şekil 2.12. Termoelektrik elemanın malzeme içerikleri .....	58
Şekil 3.1. Deney düzeneği. ....	60
Şekil 3.2. Deney düzeneğinin şematik görünümü. ....	61
Şekil 3.3. Deneyde kullanılan termoelektrik eleman. ....	61
Şekil 3.4. Deneyde kullanılan fan. ....	62
Şekil 3.5. Deneyde kullanılan fan ve termoelektrik elemanın görünümü. ....	62
Şekil 3.6. Deneyde kullanılan ısı değiştirici. ....	63
Şekil 3.7. Pompanın iç görünümü. ....	64
Şekil 3.8. Kullanılan Pompa. ....	64
Şekil 3.9. Soğutma hazneleri. ....	64
Şekil 3.10. Besleme haznesi. ....	65
Şekil 3.11. Su banyosu. ....	66
Şekil 3.12. Serpantin. ....	66
Şekil 3.13. Veri kaydedici (data logger). ....	67
Şekil 3.14. Sırasıyla termoelektrik eleman ve pompa için kullanılan güç kaynakları. ....	68
Şekil 3.15. Fan için kullanılan güç kaynağı. ....	68
Şekil 3.16. Isıl çift (thermocouples). ....	69
Şekil 3.17. Isıl çiftlerin yerleşimi. ....	69
Şekil 3.18. Hassas terazi .....	70
Şekil 3.19. Ultrasonik homojenizatör .....	70
Şekil 3.20. Isıl iletkenlik ölçer. ....	71
Şekil 3.21. Viskozimetre. ....	72
Şekil 3.22. Su banyosu. ....	72
Şekil 3.23. Saf Su, %0,25, %0,5 ve %1,0 Nanopartikül Oranlarına Sahip Nanoakışkanların Sıcaklığa bağlı (a) Isıl İletkenlik ve (b) Dinamik Viskozite Değerleri. ....	75
Şekil 4.1. 6,24 L hacim ve %0 hacimsel oran için farklı gerilim değerlerinde soğutulan ortamın zamana bağlı sıcaklık değişimleri; (a) 6 g/s, (b) 10 g/s, (c) 14 g/s. ....	80
Şekil 4.2. 14,82 L hacim ve %0 hacimsel oran için farklı gerilim değerlerinde soğutulan ortamın zamana bağlı sıcaklık değişimleri; (a) 6 g/s, (b) 10 g/s, (c) 14 g/s. ....	82

<b>Şekil 4.3.</b> 6,24 L hacim ve %0 hacimsel oran için farklı kütleli debi değerlerinde soğutulan ortamın zamana bağlı sıcaklık değişimleri; (a) TE 6V, (b) TE 8V, (c) TE 10V (d) TE 12V.....	85
<b>Şekil 4.4.</b> 14,82 L hacim ve %0 hacimsel oran için farklı kütleli debi değerlerinde soğutulan ortamın zamana bağlı sıcaklık değişimleri; (a) TE 6V, (b) TE 8V, (c) TE 10V (d) TE 12V.....	87
<b>Şekil 4.5.</b> 6,24 L hacim ve %0,25 hacimsel oran için farklı gerilim değerlerinde soğutulan ortamın zamana bağlı sıcaklık değişimleri; (a) 6 g/s, (b) 10 g/s, (c) 14 g/s.....	88
<b>Şekil 4.6.</b> 14,82 L hacim ve %0,25 hacimsel oran için farklı gerilim değerlerinde soğutulan ortamın zamana bağlı sıcaklık değişimleri; (a) 6 g/s, (b) 10 g/s, (c) 14 g/s.....	90
<b>Şekil 4.7.</b> 6,24 L hacim ve %0,25 hacimsel oran için farklı kütleli debi değerlerinde soğutulan ortamın zamana bağlı sıcaklık değişimleri; (a) TE 6V, (b) TE 8V, (c) TE 10V (d) TE 12V.....	93
<b>Şekil 4.8.</b> 14,82 L hacim ve %0,25 hacimsel oran için farklı kütleli debi değerlerinde soğutulan ortamın zamana bağlı sıcaklık değişimleri; (a) TE 6V, (b) TE 8V, (c) TE 10V (d) TE 12V.....	95
<b>Şekil 4.9.</b> 6,24 L hacim ve %0,5 hacimsel oran için farklı gerilim değerlerinde soğutulan ortamın zamana bağlı sıcaklık değişimleri; (a) 6 g/s, (b) 10 g/s, (c) 14 g/s.....	96
<b>Şekil 4.10.</b> 14,82 L hacim ve %0,5 hacimsel oran için farklı gerilim değerlerinde soğutulan ortamın zamana bağlı sıcaklık değişimleri; (a) 6 g/s, (b) 10 g/s, (c) 14 g/s.....	98
<b>Şekil 4.11.</b> 6,24 L hacim ve %0,5 hacimsel oran için farklı kütleli debi değerlerinde soğutulan ortamın zamana bağlı sıcaklık değişimleri; (a) TE 6V, (b) TE 8V, (c) TE 10V (d) TE 12V.....	101
<b>Şekil 4.12.</b> 14,82 L hacim ve %0,5 hacimsel oran için farklı kütleli debi değerlerinde soğutulan ortamın zamana bağlı sıcaklık değişimleri; (a) TE 6V, (b) TE 8V, (c) TE 10V (d) TE 12V.....	103
<b>Şekil 4.13.</b> 6,24 L hacim ve %1,0 hacimsel oran için farklı gerilim değerlerinde soğutulan ortamın zamana bağlı sıcaklık değişimleri; (a) 6 g/s, (b) 10 g/s, (c) 14 g/s.....	104

<b>Şekil 4.14.</b> 14,82 L hacim ve %1,0 hacimsel oran için farklı gerilim değerlerinde soğutulan ortamın zamana bağlı sıcaklık değişimleri; (a) 6 g/s, (b) 10 g/s, (c) 14 g/s.....	106
<b>Şekil 4.15.</b> 6,24 L hacim ve %1,0 hacimsel oran için farklı kütleli debi değerlerinde soğutulan ortamın zamana bağlı sıcaklık değişimleri; (a) TE 6V, (b) TE 8V, (c) TE 10V (d) TE 12V. ....	109
<b>Şekil 4.16.</b> 14,82 L hacim ve %1,0 hacimsel oran için farklı kütleli debi değerlerinde soğutulan ortamın zamana bağlı sıcaklık değişimleri; (a) TE 6V, (b) TE 8V, (c) TE 10V (d) TE 12V. ....	111
<b>Şekil 4.17.</b> 6,24 L hacim ve TE 6V için farklı kütleli debilerde soğutulan ortamın zamana bağlı sıcaklık değişimleri (a) 6 g/s, (b) 10 g/s, (c) 14 g/s.....	113
<b>Şekil 4.18.</b> 14,82 L hacim ve TE 6V için farklı kütleli debilerde soğutulan ortamın zamana bağlı sıcaklık değişimleri (a) 6 g/s, (b) 10 g/s, (c) 14 g/s.....	115
<b>Şekil 4.19.</b> 6,24 L hacim ve TE 8V için farklı kütleli debilerde soğutulan ortamın zamana bağlı sıcaklık değişimleri (a) 6 g/s, (b) 10 g/s, (c) 14 g/s.....	117
<b>Şekil 4.20.</b> 14,82 L hacim ve TE 8V için farklı kütleli debilerde soğutulan ortamın zamana bağlı sıcaklık değişimleri (a) 6 g/s, (b) 10 g/s, (c) 14 g/s.....	119
<b>Şekil 4.21.</b> 6,24 L hacim ve TE 10V için farklı kütleli debilerde soğutulan ortamın zamana bağlı sıcaklık değişimleri (a) 6 g/s, (b) 10 g/s, (c) 14 g/s.....	121
<b>Şekil 4.22.</b> 14,82 L hacim ve TE 10V için farklı kütleli debilerde soğutulan ortamın zamana bağlı sıcaklık değişimleri (a) 6 g/s, (b) 10 g/s, (c) 14 g/s.....	123
<b>Şekil 4.23.</b> 6,24 L hacim ve TE 12V için farklı kütleli debilerde soğutulan ortamın zamana bağlı sıcaklık değişimleri (a) 6 g/s, (b) 10 g/s, (c) 14 g/s.....	125
<b>Şekil 4.24.</b> 14,82 L hacim ve TE 12V için farklı kütleli debilerde soğutulan ortamın zamana bağlı sıcaklık değişimleri (a) 6 g/s, (b) 10 g/s, (c) 14 g/s.....	127
<b>Şekil 4.25.</b> 6,24 L hacimde ortamdan çekilen enerjinin kütleli debiyle değişimi (a) %0 nanopartikül oranı, (b) %0,25 nanopartikül oranı, (c) %0,5 nanopartikül oranı, (d) %1,0 nanopartikül oranı. ....	130
<b>Şekil 4.26.</b> 14,82 L hacimde ortamdan çekilen enerjinin kütleli debiyle değişimi (a) %0 nanopartikül oranı, (b) %0,25 nanopartikül oranı, (c) %0,5 nanopartikül oranı, (d) %1,0 nanopartikül oranı. ....	132
<b>Şekil 4.27.</b> 6,24 L hacim için farklı nanopartikül oranlarında çekilen enerjinin değişen kütleli debilerle değişimi (a) TE 6V, (b) TE 8V, (c) TE 10V, (d) TE 12V. ....	134

<b>Şekil 4.28.</b> 14,82 L hacim için farklı nanopartikül oranlarında çekilen enerjinin değişen kütleli debilerle değişimi (a) TE 6V, (b) TE 8V, (c) TE 10V, (d) TE 12V. ....	136
<b>Şekil 4.29.</b> 6,24 L hacim için farklı nanopartikül oranlarında çekilen enerjinin değişen termoelektrik eleman değerleriyle değişimi (a) 6 g/s, (b) 10 g/s, (c) 14 g/s.....	137
<b>Şekil 4.30.</b> 14,82 L hacim için farklı nanopartikül oranlarında çekilen enerjinin değişen termoelektrik eleman değerleriyle değişimi (a) 6 g/s, (b) 10 g/s, (c) 14 g/s.....	139
<b>Şekil 4.31.</b> 6,24 L hacim için farklı kütleli debi değerlerinde çekilen enerjinin değişen termoelektrik eleman değerleriyle değişimi (a) saf su, (b) %0,25, (c) %0,5, (d) %1,0. ....	142
<b>Şekil 4.32.</b> 14,82 L hacim için farklı kütleli debi değerlerinde çekilen enerjinin değişen termoelektrik eleman değerleriyle değişimi (a) saf su, (b) %0,25, (c) %0,5, (d) %1,0. ....	144
<b>Şekil 4.33.</b> 6,24 L hacimde ortalama performans katsayısının farklı gerilim değerlerinde kütleli debiyle değişimi (a) saf su, (b) %0,25, (c) %0,5, (d) %1,0. ....	146
<b>Şekil 4.34.</b> 14,82 L hacimde ortalama performans katsayısının farklı gerilim değerlerinde kütleli debiyle değişimi (a) saf su, (b) %0,25, (c) %0,5, (d) %1,0.....	148
<b>Şekil 4.35.</b> 6,24 L hacimde ortalama performans katsayısının farklı nanopartikül oranlarında kütleli debiyle değişimi (a) TE 6V, (b) TE 8V, (c) TE 10V, (d) TE 12V. ....	150
<b>Şekil 4.36.</b> 14,82 L hacimde ortalama performans katsayısının farklı nanopartikül oranlarında kütleli debiyle değişimi (a) TE 6V, (b) TE 8V, (c) TE 10V, (d) TE 12V. ....	152
<b>Şekil 4.37.</b> 6,24 L hacimde ortalama performans katsayısının farklı nanopartikül oranlarında termoelektrik eleman gerilimlerinin değişimi (a) 6 g/s, (b) 10 g/s, (c) 14 g/s. ....	153
<b>Şekil 4.38.</b> 14,82 L hacimde ortalama performans katsayısının farklı nanopartikül oranlarında termoelektrik eleman gerilimlerinin değişimi (a) 6 g/s, (b) 10 g/s, (c) 14 g/s. ....	155

- Şekil 4.39.** 6,24 L hacimde ortalama performans katsayısının farklı kütleli debi değerlerinde gerilim değerleriyle değişimi (a) saf su, (b) %0,25, (c) %0,5, (d) %1,0..... 158
- Şekil 4.40.** 14,82 L hacimde ortalama performans katsayısının farklı kütleli debi değerlerinde gerilim değerleriyle değişimi (a) saf su, (b) %0,25, (c) %0,5, (d) %1,0..... 160
- Şekil 4.41.** 6,24 L hacim için Nusselt ve Reynolds sayılarının değişimi; (a) saf su, (b) %0,25, (c) %0,5, (d) %1,0. .... 162
- Şekil 4.42.** 14,82 L hacim için Nusselt ve Reynolds sayılarının değişimi; (a) saf su, (b) %0,25, (c) %0,5, (d) %1,0. .... 164



## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Aktif ve pasif metotlara bazı örnekler .....	5
Çizelge 1.2. Literatürde bazı nanoakışkanlar.....	11
Çizelge 1.3. Bazı hibrit nanoakışkanlar ve sentezlenme yöntemleri .....	13
Çizelge 1.4. Termal iletkenlik ölçüm yöntemleri .....	15
Çizelge 1.5. Nanoakışkanlar için kullanılan termal iletkenlik eşitlikler.....	16
Çizelge 1.6. Literatürde sıkça kullanılan dinamik viskozite eşitlikleri.....	20
Çizelge 1.7. Literatürdeki özgül ısı değeri için kullanılan bazı eşitlikler .....	22
Çizelge 1.8. Bazı nanopartiküllerin çeşitli özellikleri.....	24
Çizelge 1.9. Fermi seviyesinde $MgSiO_3$ , $MgGeO_3$ , $MgSnO_3$ malzemelerin oda sıcaklığındaki termoelektrik katsayıları.....	37
Çizelge 1.10. Bazı kompozit ince filmlerin termoelektrik özellikleri. ....	39
Çizelge 3.1. $SiO_2$ nanopartikülün özellikleri .....	74
Çizelge 3.2. Hazırlanan nanoakışkanlar için oranlar .....	74
Çizelge 3.3. Belirsizlik analizi sonuçları .....	78

### 1. GİRİŞ

İnsan hayatını kolaylaştıran birçok teknolojik gelişmeler yaşanmıştır. Bu gelişmelerde insanların hayatlarının kolaylaştırmanın yanı sıra artık zorunluluk olarak görülen durumlar da oluşmaktadır. İnsanlar günümüzde maliyetten, zamandan, alandan vb. tasarruf etmeye başlamışlardır. Bütün bunlar dikkate alındığında akademik çalışmalar ve araştırmalar da bu alanlarda gelişim göstermektedir.

Yaşam alanı için oluşturulmak istenen ısı konfor, yiyeceklerin daha uzun süre saklanması için buzdolabı/dondurucu, yazın serinlemek için kullanılan klimalar ve bunun gibi daha pek çok örnek hayatın vazgeçilmezi haline gelmiştir. Burada bilim insanların karşısına önemli parametre olarak ısı ve ısı transferi çıkmaktadır.

Soğutma sistemleri çeşitli soğutma elemanları kullanılarak yapılmıştır. Son zamanlarda soğutma elemanları teknolojinin gelişmesiyle birlikte gelişim gösterse de bazı çalışmalar için maliyet ve/veya çalışılan alanın kısıtlı olması gibi durumlardan dolayı yapılabilecek başka çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Buna iyi bir örnek olarak nanoakışkan kavramı ortaya çıkmıştır. Mandev (2017) yazmış olduğu yüksek lisans tezinde nanoakışkan kavramının ilk olarak Choi tarafından oluşturulmuş olduğunu belirtir. Nano boyuttaki partiküller kullanılan temel akışkan içine katılmasıyla ısı transfer alanında çeşitli gelişmeler yaşanmıştır. Bu çalışma için incelenen daha önceki çalışmalarda farklı ( $Fe_3O_4$ ,  $SiO_2$  vb.) nanopartiküller farklı baz akışkanlar (su, etilen glikol vb.) içinde karıştırılıp ısı iletkenliği, viskozitesi, basınç düşümü, oluşan sıcaklık farkındaki değişimler gibi daha pek çok parametrelerin araştırılmış olduğu görülmüştür. Bununla birlikte nanopartikül eklenmiş akışkanların bu değişimlerdeki büyük fark için çeşitli fiziksel teoriler açıklanmıştır (Özbaldan 2017).

- Akışkan içine eklenip stabilitesi sağlanan nanopartiküller kullanılan akışkanın yüzey alanını arttırırken ısı kapasitesinde de artış sağlar.
- Kullanılan akışkan içinde türbülanslı akış oluşmasını sağlar ve bu durum ısı transferini arttırır.

- Akışkan içindeki nanopartiküller arasında etkileşimler ve çarpışmalar ısı transferini arttırmada etkili olacaktır.
- İçine katılan akışkanın ısı kapasitesini arttıracaktır.

Gerçekleştirilen bu çalışmada, iş akışkanı olarak SiO<sub>2</sub> nanopartikülü eklenmiş su kullanılmıştır. Çalışmada 26×20×12 cm ve 38×30×13 cm boyutlarına sahip iki strafor kutu kullanılıp termoelektrik modül (peltier) ile soğutma sağlanmıştır. Peltier yapısı gereği bir yüzünün sıcak diğer yüzünün soğuk olmasından ötürü soğuk yüzeyi kutu içinde kullanılmıştır. Isınan diğer yüzün daha çok ısınıp zarar görmemesi ve daha etkili soğutma gerçekleşmesi için sıcak yüzeyinde saf su ve SiO<sub>2</sub> – saf su nanoakışkanı kullanılmıştır.

Deneyler 10 dakika süre ile gerçekleştirilmiştir. Kutu içi etkili soğutma sağlanabilmesi için peltier fan ile desteklenmiştir. Bu sebeple kutu içi homojen soğutma da hedeflenmiştir. İş akışkanına eklenen SiO<sub>2</sub> nanopartikülü %0,25, %0,5 ve %1 oranlarında toplam 200 ml ile çalışılmıştır. Serpantin içinde bulunduğu su banyosu sıcaklığı sabit tutulup 10 °C olarak belirlenmiştir. Akışkan debisi için belirlenmiş olan kütleli debiler sırasıyla 6 g/s, 10 g/s ve 14 g/s olarak belirlenmişken peltier için verilen voltaj değerleri 6V, 8V, 10V ve 12V olarak belirlenip çalışılmıştır. Çalışmalar önce saf suyla yapılmıştır. Böylece nanoakışkanla yapılmış olan diğer deneylerde karşılaştırmalar yapılabilmektedir.

### 1.1. Soğutma Üzerine

Isıtma, havalandırma ve iklimlendirme sistemleri insan konforu için optimum değerleri sunmalıdır. Özellikle soğutma sistemleri insan yaşam alanlarında kolaylık sağlaması çok önemlidir. Sıcak havalarda kullanılan klimalar, yiyeceklerin daha uzun süre saklanması için kullanılan buzdolapları ve dondurucular gibi elemanlar insan yaşamı için büyük kolaylıktır.

## 1. GİRİŞ

---

Soğutma işlemini ilk kez Çinlilerin kullandığını söyleyen Bulut (2017), insanlık tarihi boyunca Romalılar, Yunanlılar ve Mısırlıların da soğutma işlemlerini kullandığını belirtmiştir.

1900'lü yılların başlarında ilk buzdolapları yapılmıştır ve günümüze kadar büyük gelişim göstermiştir. İlk yapılan buzdolabında termostat olmaması büyük sorun olmuşken daha sonraları soğutucu gazlara olan ihtiyaç belirlemiştir. İlk kullanılan soğutucu gazlar ozon tabakasına zarar verdiği belirlenmiş ve günümüzde artık çevre dostu buzdolapları evlerdeki yerini almıştır.

Soğutma sistemleri farklı şekillerde sınıflandırılabilir. Buhar sıkıştırımlı mekanik soğutma, termoelektrik soğutma, vakumla soğutma, manyetik soğutma gibi birçok soğutma yöntemi vardır. Hepsinin birbirine göre avantaj ve dezavantajları vardır. Bazı yerlerde ortam şartları etkilidir, bazı yerlerde güç tüketme durumu önem kazanır ve bazı yerlerde ise termal etkinlik önemlidir (Bulut 2017; Shahjalal et al. 2021).

Günümüzde çevre dostu elemanlar, maliyet bakımından uygunluk ve etkili soğutma yapma hedefini gerçekleştirecek sistemler araştırılmaktadır. Ama hepsinde etkili olan mekanizma sıcaklık farkından dolayı ısı transferidir.

### 1.2. Isı Transferi

Isı için Çengel, daha yüksek sıcaklıktan daha düşük sıcaklığa transfer edilebilen enerji türü olduğunu kitabında yazmıştır. Bununla birlikte ısı transferinin çerçevelerinin termodinamik kanunlarla belirlendiğini de belirtmiştir. Isı transferi ise enerji aktarım hızı olarak tanımlanmıştır. Isı transferinde ise etkili olan mekanizmalar vardır (Çengel 2011). Bunlar:

- İletim
- Taşınım
- Işınımdır.

### 1.3. Isı Transferini Arttırma Metotları

Birçok alanda bilim insanları ısı transferi ve ısı transferini arttırmaya yönelik araştırmalar yaparlar. Isı transferini arttırmak için sistem üzerinde kanat/kanatçık, boru sistemleri, kullanılan kanal geometri şekilleri gibi yöntemler kullanılabilir.

Nanoakışkan uygulaması da ısı transferini arttırmada kullanılan yöntemlerden biridir. Baz akışkan içine eklenen nano boyuttaki katı partiküller uygun yöntemlerle homojen hale getirilerek nanoakışkan elde edilir. Birçok çalışmada akış içine nanopartiküllerin eklenmesiyle ısı transferinde önemli iyileştirmeler olduğu belirtilmiştir.

Nanopartiküllerin baz akışkan içinde homojen bir şekilde karıştırmamasından dolayı nanoakışkanın ısı transferini arttırmada üstün özelliklerinden faydalanılamamaktadır. Bundan dolayı ısı transferini arttırmada nanopartiküllerin baz akışkan içinde homojen bir şekilde karıştırlabilmesi için metotlar geliştirilmiştir. Bunlar aktif ve pasif metotlardır.

Aktif yöntemler, titreşim gibi mekanik işlemlerin yapılmasına dayanırken pasif yöntemler ise nanopartikülün yüzey alanını ve şeklini değiştirmeye, sıvının özelliklerinde iyileştirmeler yapılabilmeye dayanır. Pasif yöntemler daha pratik, kullanışlı olması gibi durumlardan dolayı araştırmacılar tarafından daha çok tercih sebebi olabilmektedir (Yıldız et al. 2021).

#### 1.3.1. Aktif metotlar

Isı transferinin gerçekteşiği akışkana verilen ek enerji uygulanmasıdır. Bunlar mekanik elemanlar kullanılarak akışın karıştırlması, titreşimler oluşturulması gibi örnekler sıralanabilir (Akçadırcı 2015; Özbaldan 2017).

### 1.3.2. Pasif metotlar

Pasif yöntemlerde akışkana ek enerji verilmeden ısı transferini arttırmaya çalışılır. Yapılan işlemlere örnek olarak ısı transfer yüzeyinin pürüzlü olması, yüzeyi genişletme, yüzeyi kaplama verilebilir (Akçadircı 2015; Özbaldan 2017).

Isı transferini arttırmak için son zamanlarda pasif yöntemler içinde temel akışkana nanopartiküller eklenerek deneyler yapılmıştır. Temel akışkan içine nanopartiküller katılmasının nedeni nanopartiküllerin temel akışkana göre daha fazla ısı iletimini sağlamasıdır (Özbaldan 2017). Ayrıca nanopartiküllerin akışkanın yüzey alanını büyütmesi ve serbest hareketleri sayesinde türbülanslı akışa neden olup ısı transferini arttırması da avantajlardandır. Çizelge 1.1’de aktif ve pasif metotlar için bazı örnekler sunulmuştur.

Bu çalışmada, hacim soğutulmasında kullanılan pasif metotlardan nanoakışkan kullanılmıştır. Kullanılan nanoakışkan için baz akışkan olan su içine SiO<sub>2</sub> nanopartikülü ilerde bilgisi verilen iki adım yöntemi kullanılarak karışımı sağlanmıştır.

**Çizelge 1.1.** Aktif ve pasif metotlara bazı örnekler (Anonim 2022a).

<b>Aktif Metotlar</b>	<b>Pasif Metotlar</b>
Mekanik Yardımcılar	İşlenmiş Yüzeyler
Yüzey Titreşimi	Pürüzlü Yüzeyler
Akışkan Titreşimi	Genişletilmiş Yüzeyler
Elektrostatik Alanlar	Bobinli Borular
Emme veya Enjeksiyon	Yüzey Gerilim Aygıtları
Jet Çarpması	Katkı Maddeleri

Yapılan bu çalışma Çizelge 1.1’de de görüldüğü üzere pasif metotlardan katkı maddeleri (nanopartikül) eklenmesiyle gerçekleştirilmiştir.

### 1.4. Nanoakışkanlar

Nanoakışkanlar, boyut olarak nm olan katı partiküller ile baz akışkan içerisine uygun yöntemler kullanılarak oluşturulan süspansiyondur. Geleneksel akışkanlara göre ısı transferinde çok daha iyi sonuçlar alınması bilim insanlarını bu alanda çalışmalar yapmaya yönlendirmiştir. Isı transferinde görülen bu artışın başlıca sebepleri;

- Partikül boyutu
- Partikül boyut dağılımı
- Nanopartiküllerin hacimsel dağılımı
- Sıcaklık
- Hem nanopartikülün hem de baz akışkanın ısı iletkenliği

önemli rol oynar (Dirlik 2018).

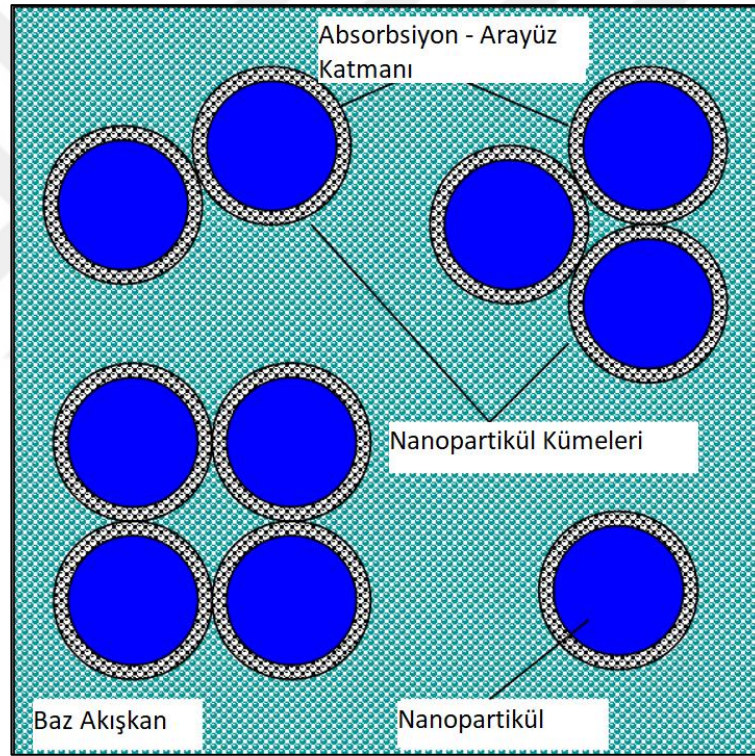
Li et al. (2021) çalışmalarında nanoakışkanların ısı transferini arttırmak için son yıllarda çok sayıda araştırmacının bu konu üzerinde çalıştığından bahseder. Makalelerinde Li ve Xuan (2002) araştırmacılarının ısı transfer mekanizmalarını statik ve dinamik şeklinde ikiye ayırarak incelediklerinden bahsederler. Statik mekanizma genel olarak nanoparçacıktan kaynaklandığını belirtmişlerdir. Statik mekanizmada nanoparçacıkların boyutu, partiküllerin akışkanın yüzeyine temasının termal iletkenliğin etkinliği önemlidir. Dinamik mekanizmada Brown kuvvetleri, akışkandaki moleküler arası kuvvetler, elektrostatik kuvvetler gibi etkiler önemlidir. Nanoparçacıkların gerçekleştirdiği Brownian hareketleri ve termal difüzyon gibi mikro boyuttaki etkiler nanoakışkanın ısı iletkenliğini artırır.

Statik mekanizma; Nanoparçacığın akışkan içinde hareketsizliği ve bunun üzerinden ısı transferine etkisi incelenir. Buna göre statik mekanizmada etkili olan nanopartiküldür. Absorbsiyon (emme) katmanı veya arayüz – sıvı katmanlaşması, nanopartikülün termal iletkenliği önemli rol oynamaktadır (Cui et al. 2014).

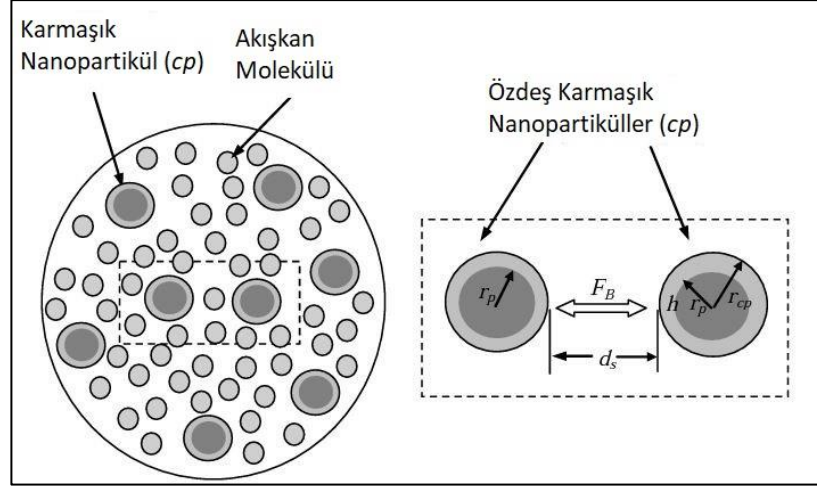
## 1. GİRİŞ

### a) Absorbsiyon (emme) katmanı veya ara yüz/sıvı katmanlaşması

Temel akışkan içindeki nanopartikül formları (dağılmış veya kümelenmiş) etrafını çevreleyen sıvı akışkanı emmesidir. Daha düzenli oluşumlar gözlenir. Şekil 1.1'de ve 1.2'de absorpsiyon- ara yüz/sıvı katmanlaşması için görsel paylaşılmıştır. İş akışkanının içindeki nanopartikülleri çevreleyen temel akışkan nanopartiküller üzerinde sıvı katman oluşturur. Oluşan bu katman ısı transferinde iyileştirici özelliğe sahiptir. Ancak nanopartikülü çevreleyerek katman oluşturan bu yapı hakkında ısıl özellik ve bu katmanın temel sıvı ve katı ile bağlantısı hakkında çok az şey bilinmektedir (Mandev 2017; Dirlik 2018).



**Şekil 1.1.** Temel akışkan içinde nanopartiküllerin absorpsiyon – ara yüz/sıvı katmanlaşmasının görünümü (Cui et al. 2014).



**Şekil 1.2.** Nanopartikül etrafında oluşan absorpsiyon – ara yüz/sıvı katmanlaşma (murshed and nieto de castro (2011)).

### b) Nanopartiküllerin termal iletkenliği

Statik mekanizmada diğer önemli bir madde ise nanopartiküllerin termal iletkenliğidir. Nanopartiküllerin sahip olduğu yüksek termal iletkenlik nanoakışkanda ısı transferini arttırmada önem kazanmaktadır.

Dinamik mekanizma; nanopartikülün akışkan içindeki hareketi ve bundan dolayı sağladığı ısı transferi üzerine olan mekanizmadır. Dinamik mekanizma, parçacıkların Brownian hareketleri, nanopartiküllerin kümelenmesi ve nanoparçacıklarda ısı transfer özellikleri olarak başlıklarda incelenebilir (Dirlik 2018; Li et al. 2021).

### a) Parçacıkların Brownian Hareketleri

Bu mekanizmada süspansiyon halinde hazırlanmış olan nanoakışkan içindeki nanopartiküllerin çarpışma ve titreşimlerinden oluşan rastgele hareketi olarak tanımlanabilir. Oluşan bu rastgele durumda parçacıklar doğrudan enerji taşımaktadır. (Mandev 2017; Dirlik 2018). Li et al. (2021) çalışmalarında nanoparçacığın Brownian hareketinin ısı iletkenliğinin artmasında önemli olduğunu belirtirler. Makalelerinde Azizian et al. (2012) yaptıkları çalışmalarında büyük nanopartikül boyutunda alümina nanoakışkanlarla ilgili deney yaptıklarını ve ısı iletkenliği etkileyen ana faktörün Brownian hareketleri olduğunu bulduklarını belirtmişlerdir.

### b) Nanopartikül kümelerinin etkileri

Nanoakışkan içindeki nanopartiküller küme formu oluşturabilir. Bu küme formları birleşerek zincirlerden oluşur. Bütün kümeleri kapsayan zincirler omurga olarak adlandırılır. Omurgaların termal iletkenlikte önemli olduğunu belirten Pang et al. (2014) deneysel olarak gerçekleştirdikleri çalışmalarında ısı iletim mekanizmalarını incelemişlerdir.

Bazı araştırmacılara göre Brownian hareketi aksine nanopartikül kümelemesinin daha önemli olduğunu belirtirler. Gao et al. (2009) nanopartiküllerin kümelenme ve ısı iletimiyle ilgili deneysel çalışma yürütmüşlerdir. Çalışmalarında herhangi bir mekanizmanın kanıtının zor olduğunu ama kümelenme etkisinin ısı iletiminde önemli faktör olduğunu belirtmişlerdir. Buna göre nanopartiküllerin kümelenmesi ısı transferini iyi yönde etkiler.

### c) Nanoparçacıklarda ısı transfer özellikleri

Li et al. (2021) çalışmalarında birçok kaynağı araştırarak nanoparçacıklarda ısı transfer özellikleriyle ilgili veriler elde etmişlerdir. Araştırmalarına göre sıcaklığın artmasıyla termal iletkenliğin arttığını ama ısı iletkenliğin sıcaklığa bağımlılığın hacim oranından daha düşük olabileceğini, araştırdıkları başka bir çalışmada ise ısı iletkenliğin sıcaklıkla ilgisi olmadığını belirten sonuca ulaştıklarını yazmışlardır.

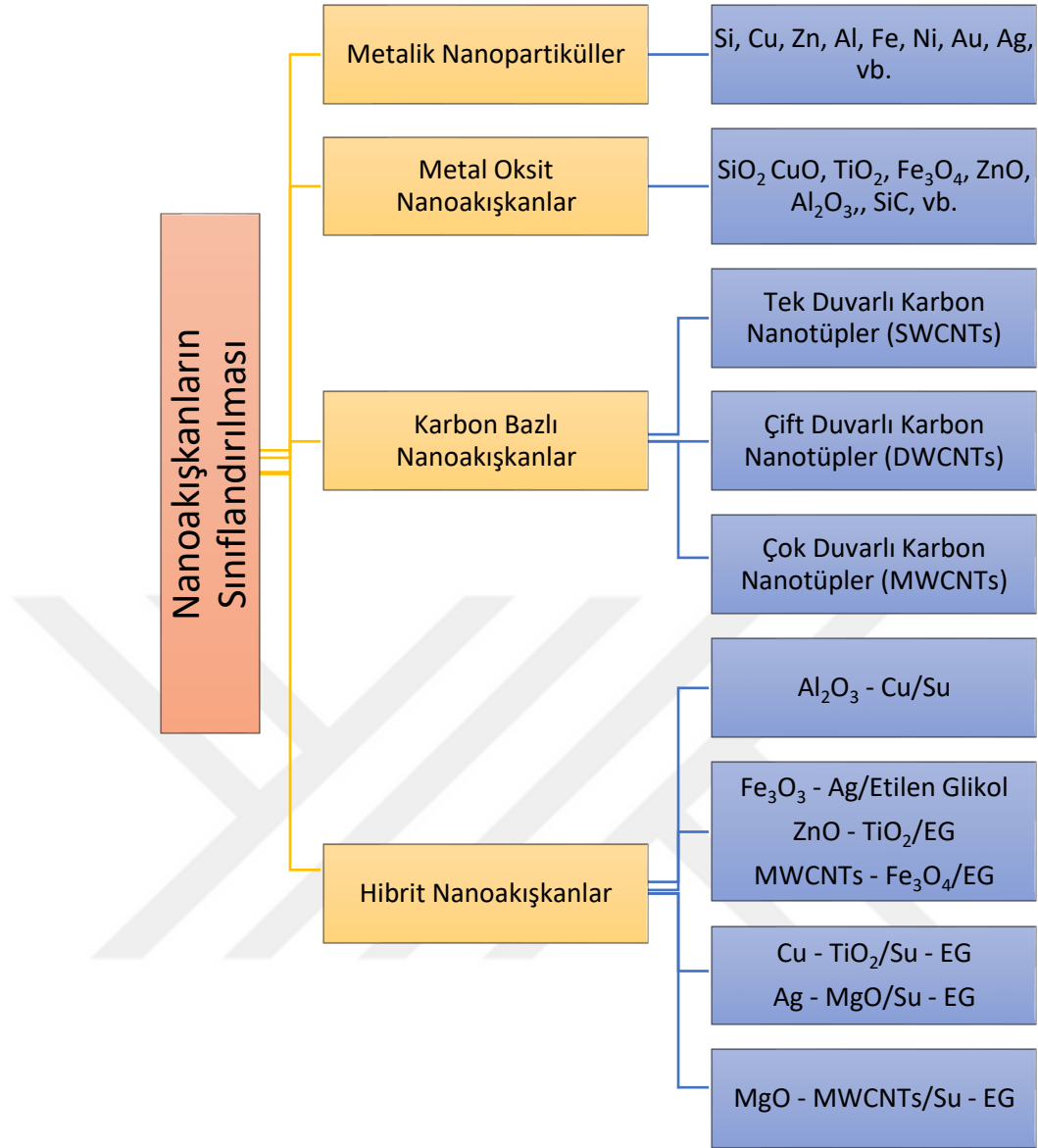
Isı transferini arttırmada statik ve dinamik mekanizmaların etkinliğinin yanı sıra nanoakışkanların özellikleri de ısı transferi açısından büyük önem arz etmektedir. Çalışmalarda kullanılan nanoakışkanın özelliklerini önceden bilmek çalışma sırasında karşılaşılabilecek sorunları da minimize edecektir. Ekstra maliyet veya pompalama gücü gibi durumlar nanoakışkanın özelliklerinden kaynaklanır. Aşağıda nanoakışkanların özellikleri ilgili bilgiler sunulmuştur (Akyürek 2014).

- Nanoakışkanların ısı iletkenliği yüksektir.
- Viskozite değerleri temel akışkana oranla daha fazladır.

- Nanopartiküller yapı itibarıyla küçük boyutlu oldukları için kütle bakımından da düşük değerdedirler. Baz akışkan içinde uzun süre çökelmeden kalabilirler.
- Nano boyutta oldukları için kullanılan cihazlarda tıkanma olmadan soğutma yapabilirler.
- Aşınma durumları çok azdır. Nano boyutta hareketten kaynaklı ivme az olduğundan erozyon ihtimalini azaltır.
- Hem maliyet hem de enerji tasarrufu sağlar. Kullanılan sistem cihazları daha küçük ve daha hafif olacaktır.
- Dezavantaj olarak pompalama gücünü azaltır.
- Nanoakışkanlar nükleer uygulamalarda, biyomedikal uygulamalarında, endüstriyel uygulamalarda ve daha pek çok yerde kullanımı gerçekleşir.

### 1.5. Nanoakışkanların Sınıflandırılması

Nanoakışkanların sınıflandırılması kullanılan nanopartikül ve temel akışkanın özelliklerine göre (nanopartikülün şekli, saflık oranı, boyutu vb., baz akışkanın viskozitesi, çalışma sıcaklığı vb.) olabileceği gibi nanoakışkanların türlerine göre de sınıflandırma yapılabilir (Bretado-de los Rios et al. 2021). Aşağıda Awias et al. 2021 tarafından partikül özelliklerine göre yapılan bir sınıflandırma verilmiştir. Ek olarak farklı son yıllarda çalışılan farklı hibrit nanoakışkanların gösterildiği bir çizelge de Çizelge 1.2'de sunulmuştur.



Şekil 1.3. Nanoakışkanların sınıflandırılması (Awais et al. 2021)

Çizelge 1.2. Literatürde bazı nanoakışkanlar (Bretado-de Los Rios et al. 2021)

Nanopartikül	Temel Akışkan	Hacim Oranı (%)	Nanoakışkan	Kaynak
$Al_2O_3 + MWCNT$	Su	0 - 1	Hibrit	Singh and Sarkar (2018)
$Al_2O_3 + Ag$				
$Al_2O_3 + Cu$				
$Al_2O_3 + TiO_2$				
$MWCNT + MgO$	Su/EG	0,015 - 0,96	Hibrit	Hemmat Esfe et al. (2018)
$CuO$	Su	0,05 - 0,3	Tek	Said et al. (2019)
$SiO_2$	Su	0,1 - 3	Tek	Ranjbarzadeh et al. (2019)

### 1.6. Nanoakışkanların Hazırlanması

Belirlenmiş miktarda nanopartiküllerin akışkan içinde homojene bir şekilde dağılmaması, kanal iç yüzeyinde birikmesi gibi durumların gerçekleşmesi mümkündür. Bu durumu ortadan kaldırmak veya en aza indirmek mümkündür. Literatürde bahsi geçen tek adım veya iki adım yöntemlerinden birini uygulamak gerekir.

#### 1.6.1. Tek adım yöntemi

Tek adım yönteminde temel akışkan ile nanopartiküllerin aynı anda sentezlenmesiyle elde edilir. Tek adım yönteminde kullanılan nanoparçacıkların oksitlenmesini engellemesi bu yöntemin avantajlarından biridir (Aglawe et al. 2021). Bu yöntem için nanopartiküllerin hazırlanmasında çeşitli metotlar kullanılabilir. Bunlar (Şahin 2018):

- Vakum buharlaştırma yöntemi
- Lazer ablasyon yöntemi
- Kimyasal ıslatma yöntemi

Tek adım yönteminde daha çok bakır, altın, gümüş gibi ısı iletkenliği yüksek ve hava temasıyla hızlı oksitlenme olan metal partiküller için uygulanır (Şahin 2018).

#### 1.6.2. İki adım yöntemi

İki adım yönteminde ise fiziksel, kimyasal ve mekanik yöntemlerle kuru toz haline getirilmiş nanopartiküller ilk aşamasını oluştururken temel akışkan içine ultrasonik karıştırıcılar ile karıştırılması ikinci aşamasını oluşturur. Bu işlemde metalik parçacıklardan ziyade oksit parçacıkların kullanımı için daha uygun olduğunu Aglawe et al. (2021) makalelerinde belirtmişlerdir.

İki adım yöntemi tek adım yöntemine göre daha yaygın kullanılır ama iki adım yönteminin stabilitesi ve nanopartikülün akışkan içinde homojen dağılması daha

## 1. GİRİŞ

zayıftır. Buna rağmen daha ekonomik olduğundan tercih sebebidir (Şahin 2018; Akyürek 2014). Çizelge 1.3’de bazı hibrit nanoakışkanların hazırlanmasında kullanılan adım yöntemleri paylaşılmıştır.

**Çizelge 1.3.** Bazı hibrit nanoakışkanlar ve sentezlenme yöntemleri (Sarkar et al. 2015)

Sentez Yöntemi	Baz Akışkan	Materyal	Kaynak
Tek Adım	Su	Gümüş/CNT	Munkhbayar et al. (2013)
İki Adım	Su	Cu/Cu <sub>2</sub> O	Nine et al. (2013)
İki Adım	Su	Gümüş/TiO <sub>2</sub>	Batmunkh et al. (2014)
İki Adım	Su	SiO <sub>2</sub> /CNT	Baghbanzadeha et al. (2012)

### 1.7. Nanoakışkanların Kararlılığının Belirlenmesi

Oluşturulan nanoakışkanda stabilitenin (kararlılığın) belirlenmesi önemlidir. Nanoakışkan kümeleşme, yerçekiminin etkisiyle çökme, Van Der Waals kuvvetlerinden dolayı topaklanma eğilimi gösterebilir. Bu durum ısı transferinin olumsuz yönde etkilenmesine neden olacaktır.

Nanoakışkan içine nanopartikülleri dağıtmak için yüzey aktif madde kullanılabilir. Ancak bu durumda yüksek çalışma sıcaklıklarında yüzey aktif maddenin köpük üretmesi söz konusu olabilir. Ayrıca nanoparçacık üzerine yapışmasından dolayı nanopartikül ile baz akışkan arasında termal direnci de arttırabilir.

Başka kullanılan yöntemde ise nanoparçacıkların yüzeyi modifiye edilebilir. Böylece daha kararlı nanoakışkan oluşturulabilir.

Sedimentasyon yöntemi stabilizeyi araştırmada kullanılabilen en basit yöntemdir. Bu yöntemde kamera ile nanoakışkanın olduğu kabın fotoğraf çekilir. Zaman geçtikçe nanoakışkanda çökme olduğu görülebilir. Ancak çökeltinin oluşmasını beklemek için aylara ihtiyaç olabilmektedir.

## 1. GİRİŞ

---

Zeta potansiyeli, nanopartiküller ve temel akışkan arasındaki elektrostatik itme kuvvetinin ölçüsüdür. Yüksek itme kuvveti (30mV) nanoakışkanın kararlılığında kıyaslama yapılabilmesine olanak tanır. Mükemmel kararlılık ise 60mV değerini geçebilir.

Nanoakışkanların pH değerleri için izoelektrik nokta nanoakışkanın kararlılığını kontrol etmek için referans değeri gösterir. İzoelektrik nokta, zeta potansiyel değeri sıfır olduğu noktadaki pH değerine denir. Bu noktadan itibaren kararlı nanoakışkan için pH değerinin  $\pm 2$ ' den daha fazla olması gerekmektedir. Literatürde pH değerin 6 civarında bulunduğu çalışmaların mevcut olduğunu Xian et al. (2018) çalışmalarında belirtmektedirler.

UV – vis – NIR spektrometresi ile Beer- Lambert yasasında geçtiği gibi nanoakışkanların absorpsiyonunu ölçme yöntemiyle nanoakışkanın kararlılığı için kullanılabilir. “Ultraviyole, görünür ışık ve yakın kızılötesi (UV – VIS – NIR) bölgede soğurma spektroskopisi bir ışın demetinin bir örnekten veya bir örnek yüzeyinden yansıtıldıktan sonraki azalmasını ölçmektir.” (Anonim 2022b). Işığın şiddetinin azalması absorpsiyonun arttığını göstermektedir.

Yüksek çözünürlüklü görüntüler elde etmek için transmisyon elektron mikroskobu (TEM) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) parçacıklar hakkında bilgi verebilir (Xian et al. 2018; Awais et al. 2021).

Ultrasonik homojenizatör kullanımı nanoakışkanlarda kararlılığı oluşturmada ve bu kararlılığın uzun süre korunmasında etkili yöntemlerden biri olabilir. Bu yöntemde yüksek frekanslı ses dalgaları kullanılır. Nanoakışkan içindeki parçacıkların homojen bir şekilde dağılması için uygulanır. Ultrasonik homojenizatör çok hızlı bir şekilde titreşen, kabarcıkların hızla oluşmasını sağlayan bir uç/prob içerir (Anonim 2022c; Anonim 2022d).

### 1.8. Nanoakışkanların Termofiziksel Özellikleri

Isı transfer uygulamalarında karşılaşılan ısı iletkenlik, viskozite, yoğunluk gibi termofiziksel özellikler gerçekleşen ısı transferinin büyüklüğü bakımından önemlidir. Birçok termofiziksel özelliklere etki eden parametrenin sıcaklık olduğu söylenebilir (Yıldız et al. 2021).

#### 1.8.1. Isıl iletkenlik

Isı transferini arttırmada önemli parametrelerden biri olan ısı iletkenlik, nanoakışkan içine eklenen nanopartiküllerin ısı iletkenlikleri baz akışkana göre daha yüksektir. Buna neden olarak gösterilecek başlıca sebepler; yüzey alanını artırarak ısı kapasiteyi arttırması, akış içinde hareketlerden dolayı türbülanslı akışa neden olması vb. sayılabilir (Akyürek 2014). Isıl iletkenlik değeri ölçülebilir. Bu çalışmada da ısı iletkenlik değerleri 20°C ile 60°C arasında 10°C'lik artışlarla ölçüm yapılmıştır. Literatür araştırmasında geçen çeşitli ısı iletkenlik ölçüm yöntemleri mevcuttur. Bu çalışmada geçici sıcak tel metodu kullanılmıştır. Bu metotta ölçüm için metalik bir tel kullanılır. Bu tel hem ısıtıcı hem de termometre görevinde kullanılır. Ani ve sabit bir elektrik akımına maruz bırakılan tel sayesinde akışkanın sıcaklık ve zaman tepkisinin ölçülmesine olanak tanır (Paul et al. 2010 ve Palacios et al. 2019). Çizelge 1.4'de termal iletkenlik için kullanılan ölçüm yöntemleri sunulmuştur.

**Çizelge 1.4.** Termal iletkenlik ölçüm yöntemleri (Palacios et al. 2019)

Termal İletkenlik Metotları	Kararlı Durum Yöntemleri	Korumalı Sıcak Plaka
	Geçici Yöntemler	Geçici Sıcak Tel
		Geçici Düzlem Kaynağı (TPS)
		Lazer Flaşı
		3 $\omega$ Yöntemi
		Modüle Edilmiş DSC
		Isıl Çift Metodu

## 1. GİRİŞ

Isıl iletkenlik değeri ölçülebildiği gibi literatürde geçen uygun formüllerle de hesaplanabilir (Yıldız et al. 2021). Şekil 1.5’de literatürde sıklıkla kullanılan eşitlikler paylaşılmıştır.

**Çizelge 1.5.** Nanoakışkanlar için kullanılan termal iletkenlik eşitlikler (Yıldız et al. 2021).

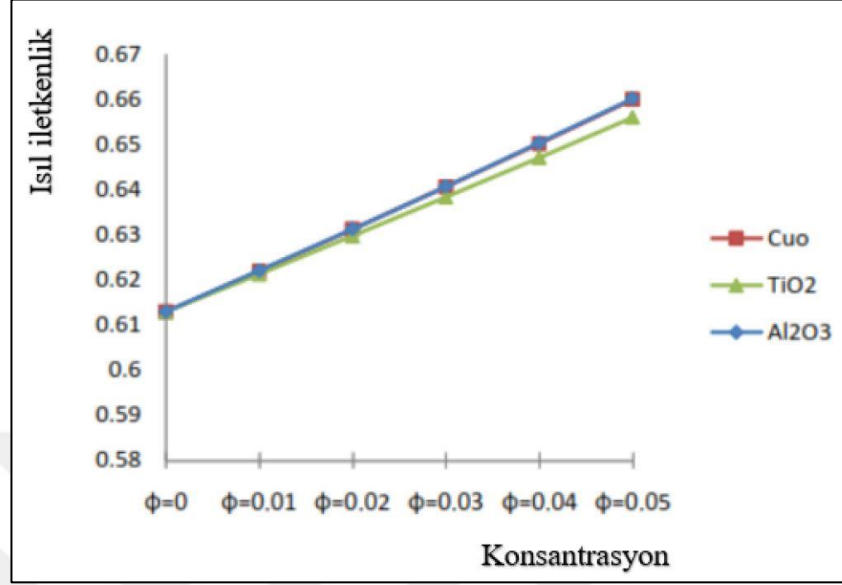
Modeller	Denklem
Maxwell (Maxwell 1873)	$\frac{k_{eff}}{k_f} = \frac{k_p + 2k_f + 2\phi(k_p - k_f)}{k_p + 2k_f - \phi(k_p - k_f)}$
Hamilton – Crosser (Hamilton and Crosser 1962)	$\frac{k_{eff}}{k_f} = \frac{k_p + (n-1)k_f - (n-1)\phi(k_f - k_p)}{k_p + (n-1)k_f + \phi(k_f - k_p)}$
Bruggeman Model (Bruggeman 1936; Hui et al. 1999)	$\frac{k_{eff}}{k_f} = \frac{1}{4} \left[ (3\phi - 1) \frac{k_p}{k_f} + (1 - 3\phi) \right] + \frac{k_f}{4} \sqrt{\Delta}$ $\Delta = \left[ (3\phi - 1)^2 \left( \frac{k_p}{k_f} \right)^2 + (2 - 3\phi)^2 + 2(2 + 9\phi - 9\phi^2) \left( \frac{k_p}{k_f} \right) \right]$
Wasp Model (Xuan and Li 2000)	$\frac{k_{eff}}{k_f} = \frac{k_p + 2k_f - 2\phi(k_f - k_p)}{k_p + 2k_f + \phi(k_f - k_p)}$

Nanoakışkanların ısıl iletkenliklerinin bağlı olduğu etkenler vardır. Bunlar (Mandev 2017; Akyürek 2014; Dağdeviren 2020; Yıldız et al. 2021):

- Nanoparçacık konsantrasyonu etkisi: nanoakışkanlar içinde artacak nanopartiküller akışın ısıl iletkenliğini artırır. Ancak nanopartiküllerin fazla oranlarda kullanımı sonucunda mikro kanalları tıkayabilir ve viskoziteyi arttırabilir. Bu durum kılcal borularda ve genişleme vanalarında ciddi sorunlara neden olabilir. Bunun için optimum değerleri bulmak gerekmektedir.

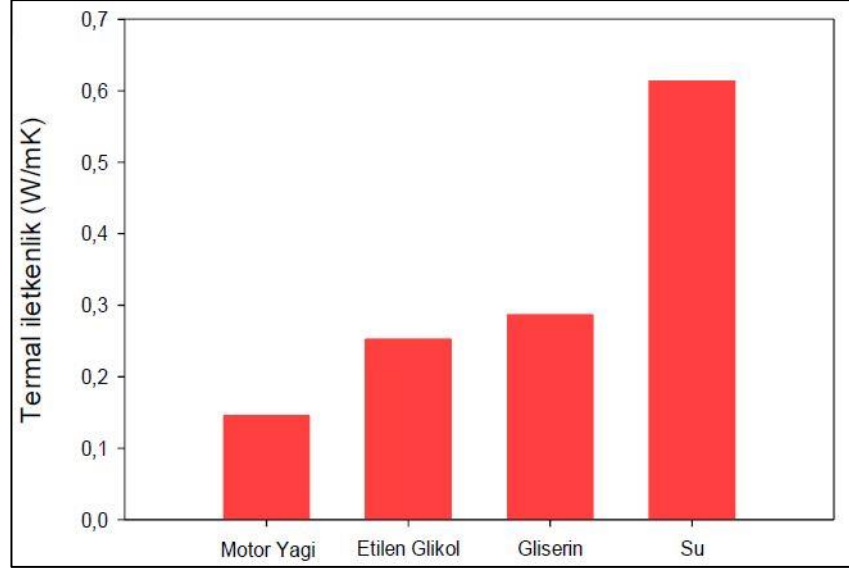
## 1. GİRİŞ

Dağdeviren (2020) çalışmasındaki ısı iletkenlikte nanoparçacık konsantrasyon etkisini gösteren grafik, Şekil 1.4’de sunulmuştur.



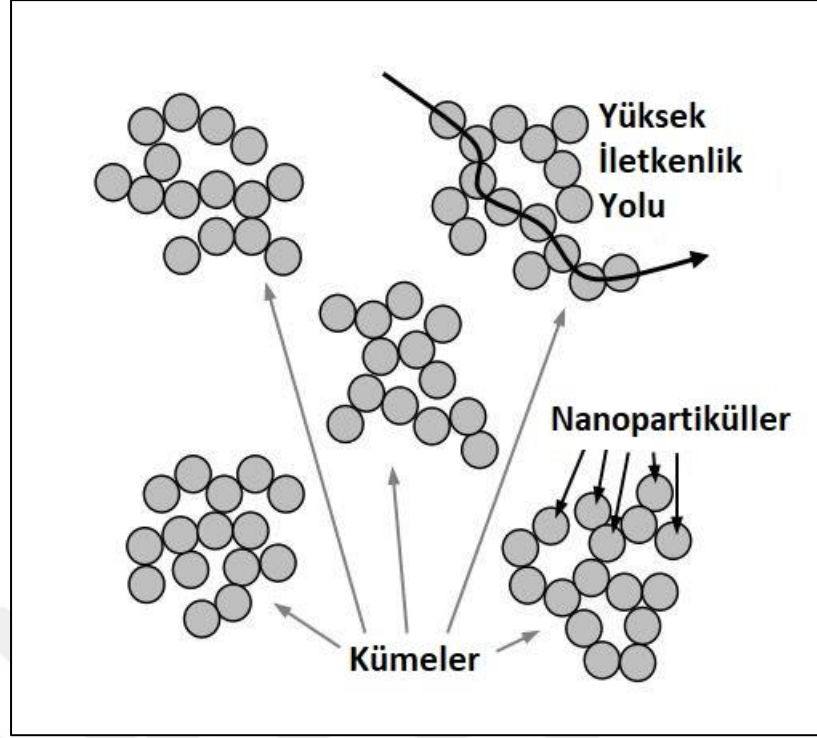
Şekil 1.4. Isıl iletkenlikte nanoparçacık konsantrasyonunun etkisi (Dağdeviren 2020)

- Nanoparçacık boyutu etkisi: Aynı hacim oranlarında farklı boyutlarda olan nanopartiküller baz akışkan ile karışımı sağlandığında partikül boyutu az olan nanoakışkanda ısı iletkenliklerin partikül boyutu büyük olan nanoakışkanlardan daha yüksek olduğu bilinmektedir. Burada ulaşılan sonuç küçük boyuta sahip nanopartiküllü nanoakışkanların ısı iletkenlikleri daha yüksek olacağından ısı transferi de daha yüksek olacaktır.
- Nanoakışkan sıcaklığının etkisi: nanoakışkanın sıcaklığının artmasıyla ısı iletkenlikte artış olduğu bilinmektedir. Burada sıcaklığın artmasıyla Brownian hareketi sayesinde ısı iletkenliğinin arttığına dair çalışmalar mevcuttur.
- Baz akışkanın etkisi: kullanılan baz akışkanın yüksek ısı iletkenliğinin olması hazırlanmış olan nanoakışkan için ısı iletkenliğinin düşmesine neden olabileceği görülmüştür. Dağdeviren (2020) çalışmasında elde ettiği ısı iletkenliğinin baz akışkan üzerindeki etkisini gösteren grafik Şekil 1.5’de sunulmuştur.



Şekil 1.5. Isıl iletkenlikte baz akışkanın etkisi (Dağdeviren 2020)

- Nanopartikülün etkisi: partikülün ısıl iletkenliğindeki artış nanoakışkan için de ısıl iletkenlikte artışın olabileceğini göstermektedir.
- Nanopartikülün şeklinin etkisi: yapılan çalışmalarda iki partikül şekli kullanılmaktadır. Bunlar küresel ve silindirik. Silindirik şekilli nanopartikülün ısıl iletkenliği daha yüksek olduğu varsayılabilir. Buna sebep olan durum ise boy-çap oranının küresel formdaki nanopartikülün oranından daha fazla olmasıdır.
- Kümelenme etkisi: nanoakışkan içinde nanopartiküllerin kümelenmesi literatürde sıkça belirtilmiştir. Nanopartiküllerin kümelenmesi ısının daha fazla iletilmesine neden olacağı bilinmektedir. Buna neden olarak ısı enerjisinin katı partiküllerde daha hızlı iletilmesidir. Özerinç (2010) çalışmasında nanoakışkanlarda kümelenme etkisini gösterdiği görsel Şekil 1.6'da sunulmuştur.



**Şekil 1.6.** Isıl iletkenlikte kümelenme etkisi (Özerinç 2010)

- Nanoakışkanın hazırlık tekniği etkisi: burada daha uzun süre kararlılık ve homojenlik sağlanırsa nanoakışkan yüksek ısıl iletkenliğini daha uzun koruyabilmektedir. Aksi takdirde kararlılık ve homojenlik uzun süre korunamazsa ısıl iletkenlik zaman içinde düşmeye başlayacaktır.

### 1.8.2. Viskozite

Pompalama gücü viskoziteye bağlı olduğundan kurulan soğutma sistemi için önemli parametredir. Nanoparçacıkların akışkana eklenmesi her durumda viskoziteyi arttıran bir durumdur. Sıcaklık, partikül boyut ve dağılımı, yüzey aktif madde, partikül hacimsel oranı gibi parametreler viskozite için önemli etkenlerdir.

Sıcaklık arttıkça sıcaklıkla doğru orantılı olan entropinin artması ve nanopartiküllerin daha fazla termal enerji kazanmasından dolayı nanopartiküller ve baz akışkan arasındaki etkileşimler azalır. Bu durum viskozitenin düşmesine neden olur.

## 1. GİRİŞ

Partikülün boyut etkisinde kullanılan aynı kütle için farklı boyutlarda ve daha küçük partikül kullanımı daha fazla parçacık olmasına neden olacaktır. Daha fazla partikül daha fazla yüzey alanı/hacim oranı demek olduğu için akış direncine ve viskozitenin artmasına neden olacaktır. Partikülün baz akışkan içinde dağılımı sabit hacim içinde daha geniş alanda olması partiküllerin daha fazla hareket alanı kazanmasına neden olacaktır. Bu durum akışın akmasını kolaylaştırır ve viskoziteyi düşürür.

Yüzey aktif maddenin eklenmesi viskozite üzerinde değişime neden olan diğer parametrelerden biridir.

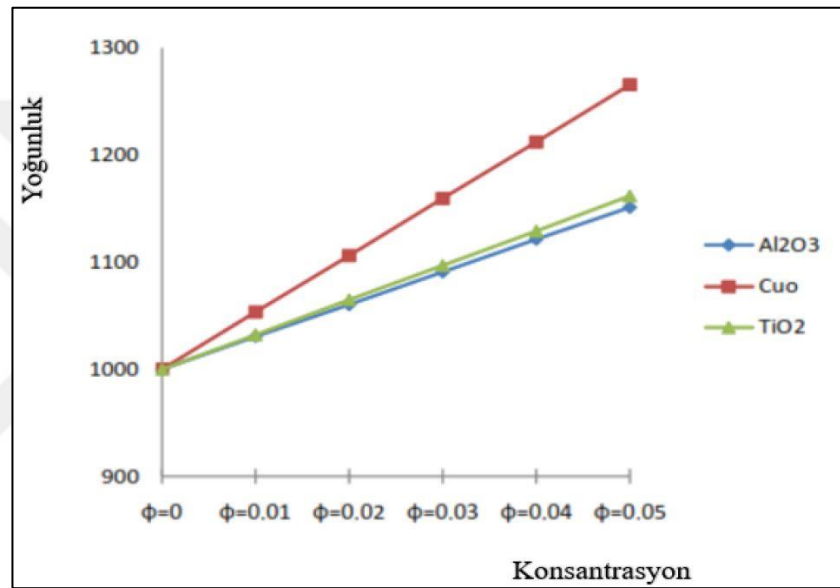
Nanoakışkan içinde eklenen nanopartiküllerin hacim oranları arttıkça akış için viskozite değerlerinde de artış gözlenebilir (Mandev 2017; Akyürek 2014; Dağdeviren 2020; Yıldız et al. 2021). Çizelge 1.6'da literatürde sıklıkla geçen dinamik viskozite eşitlikleri sunulmuştur.

**Çizelge 1.6.** Literatürde sıkça kullanılan dinamik viskozite eşitlikleri (Yıldız et al. 2021).

Modeller	Denklem
Einstein (Einstein 1906)	$\mu_{eff} = \mu_f (1 + 2.5\phi)$
Brinkman (Brinkman 1952)	$\frac{\mu_{eff}}{\mu_f} = \frac{\mu_f}{(1 - \phi)^{2.5}}$
Wang (Wang et al. 1999)	$\frac{\mu_{eff}}{\mu_f} = 1 + 7.3\phi + 123\phi^2$
Gherasim (Gherasim et al. 2009)	$\frac{\mu_{eff}}{\mu_f} = 0.904e^{14.8\phi}$
Pak and Cho (Pak and Cho 1998)	$\frac{\mu_{eff}}{\mu_f} = 1 + 39.11\phi + 533.9\phi^2$
De Bruijn (De Bruijn 1942)	$\frac{\mu_{eff}}{\mu_f} = 1 + 2.5\phi + 4.698\phi^2$
Maiga (Maiga et al. 2005)	$\frac{\mu_{eff}}{\mu_f} = 123\phi^2 + 7.3\phi + 1$
Mooney (Mooney 1951)	$\frac{\mu_{eff}}{\mu_f} = 1 + 2.5\phi + [3.125 + (2.5/\phi_{maks})]\phi^2$

### 1.8.3. Yoğunluk

Nanoakışkanlarda ısı transferini etkileyen diğer önemli unsurlardan biri de yoğunluktur. Eklenen nanopartikülün yoğunluğu nanoakışkanda değişim gösterir. Genel olarak temel akışkana nanoparçacıklar eklenirse özgül ısı azalır ve yoğunluk artar. Ayrıca sıcaklık arttıkça yoğunluk değeri de azalır (Dağdeviren 2020; Yıldız et al. 2021). Dağdeviren (2020) çalışmasında elde ettiği, yoğunluğun nanoakışkan içinde nanopartikülün değişen oranlardaki etkisi Şekil 1.7’de sunulmuştur.



Şekil 1.7. Yoğunluğun hacimsel oranla değişimi (Dağdeviren 2020)

### 1.8.4. Özgül ısı

Birim kütledeki maddenin sıcaklığını bir derece arttırmak için kullanılan enerjidir. Nanoakışkanda nanopartiküllerin hacimsel oranlarının artmasıyla özgül ısı değerinde düşme gözlenirken sıcaklığın artmasıyla özgül ısının arttığı gözlenebilir. Literatürdeki bilgilere göre nanopartikül nanoakışkan içine katıldığında bir miktar özgül ısıda düşüş olacağı öngörülebilir (Akyürek 2014; Dağdeviren 2020). Literatürde geçen özgül ısı ile ilgili birçok formül bulunmaktadır. Bazıları Şekil 1.7’de gösterilmiştir.

## 1. GİRİŞ

**Çizelge 1.7.** Literatürdeki özgül ısı değeri için kullanılan bazı eşitlikler (Guo 2020)

Referans	Formül
Pak and Cho (1998)	$C_{p,nf} = C_{p,p} \varphi + (1 - \varphi) C_{p,b}$
Xuan and Roetzel (2000)	$(\rho C_p)_{nf} = (1 - \varphi)(\rho C_p)_b + \varphi(\rho C_p)_p$
Vajjhan and Das (2009)	$C_{p,nf} / C_{p,b} = \frac{AT + BC_{p,p} / C_{p,b}}{C + \varphi}$
Pakdaman et al. (2012)	$C_{p,nf} = C_{p,b} [1 - (0.0128T + 1.8382)\varphi^{0.4779}]$ $\varphi \leq 0.4 \text{ wt\% } 313K \leq T \leq 343K$
Shin and Banerjee (2013)	$C_{p,nf} = \frac{\rho_p V_p C_{p,p} + \rho_c V_c C_{p,c} + \rho_b V_b C_{p,b}}{\rho_p V_p + \rho_c V_c + \rho_b V_b}$
Takabi and Salehi (2014)	$C_{p,nf} = \frac{(1 - \varphi_1 - \varphi_2)\rho_b C_{p,b} + \varphi_1 \rho_{p,1} C_{p,p1} + \varphi_2 \rho_{p,2} C_{p,p2}}{\rho_{nf}}$ $\rho_{nf} = \varphi_1 \rho_{p,1} + \varphi_2 \rho_{p,2} + (1 - \varphi_1 - \varphi_2)\rho_b$
Sekhar and Sharma (2015)	$C_{p,nf} / C_{p,b} = 0.8429 \left(1 + \frac{T}{50}\right)^{-0.3037} \left(1 + \frac{d_p}{50}\right)^{0.4167} \left(1 + \frac{\varphi}{100}\right)^{2.272}$ $0.01\% < \varphi < 4\%, 293K \leq T \leq 323K, 15nm < d_p < 50nm$

### 1.8.5. Yüzey gerilimi

Yüzey gerilimi, sıvı yüzeyinin 1 br<sup>2</sup> artması olarak tarif edilebilir. Sabit sıcaklık ve basınç şartları altında enerji uygulayarak gerçekleşen bu durum ısı transfer performansı açısından önemlidir. Yüzey gerilimi ısı transfer katsayısını arttıran bir kuvvettir (Yılmaz Aydın 2019).

Nanoakışkanlar için partikül oranının artması ve partikül boyutunun artması yüzey gerilimin artmasına neden olur. Bu duruma neden olan Wan der Walls kuvveti serbest enerjiyi arttırır bundan dolayı yüzey gerilimi artmış olur (Akyürek 2014).

Yüzey gerilimi üzerine yapılan çalışmalar vardır. Bunlardan biri Aslan ve Alyamaç Seydibeyoğlu (2022) yaptıkları çalışmadır. Çalışmalarında nanopartikül içeren nanoakışkanlar için çeşitli ölçümler yapmışlardır. Yüzey gerilimi ölçümü de bunlardan biridir. Yüzey gerilimi için malzemeleri hidrofobik ve hidrofil olarak ayırmışlar ve hidrofobik malzemeler ile baz akışkan arasında itme kuvvetlerinin artması sonucu ara yüz bölgesinde boşluklar artar ve yüzey gerilimi azalırken hidrofil malzemeler için durum tam tersi olduğunu belirtmişlerdir.

Çizelge 1.8'de literatürde görülen bazı nanopartiküllerin sahip olduğu boyut ve çeşitli termofiziksel özellikleri sunulmuştur.

## 1. GİRİŞ

**Çizelge 1.8.** Bazı nanopartiküllerin çeşitli özellikleri (Yıldız et al. 2021)

Nanopartikül	Partikül Boyutu (nm)	Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	Özgül Isı (J/kg×K)	Isıl İletkenlik (W/m×K)	Safılık (%)
<i>SiO<sub>2</sub></i>	55- 75	2220	745	1.4	98.5
<i>CuO</i>	77	6320	550.5	32.9	99.5
<i>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	28	5240	628	8.4	99.6
<i>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	4	3900	880	40	99.99
	78				99.5
	48				95
	136				99.95
<i>TiO<sub>2</sub></i>	28	3900	692	8.4	99.99
	45				99.99
	200				99.5

### 1.9. Nanoakışkanların Kullanım Alanları

Nanoakışkanların birçok kullanım alanı mevcuttur. Bunlardan bazıları (Akyürek 2014; Dirlik 2018; Dey and Sahu 2020):

- Isıtma, havalandırma, iklimlendirme sistemlerinde soğutma işlemleri için nanoakışkan kullanılarak ısı transferi yapılabilir.
- Mikro – mekanik cihazlarda klasik akışkanlar soğutma için yetersiz kalmaktadırlar. Nanopartiküller kullanılarak hazırlanan nanoakışkanlar kanallarda tıkanma gerçekleşmeden ısı transferi kabiliyetini arttıracaklardır.

- Ulaşımında kullanılan makine yağları, soğutucular gibi akışkanlar ısı transferinde yetersiz kalabilirler. Bu durum çalışan cihazların daha fazla yakıt tüketimine neden olabilir. Bunun için nanopartiküller eklenmiş nanoakışkanların kullanımı ısı transferini artırırken yakıt tüketiminden kaynaklı maliyeti de iyi yönden etkileyecektir.
- Tıbbi uygulamalarda vücut sıvısı ile vücut içine gönderilen nanopartiküller hem ilaçların vücut içine dağıtılmasında hem de görüntüleme kullanılabilir. Teknolojinin daha da gelişmesiyle nanopartiküllü nanoakışkanlar sayesinde tıp alanında gelişmeler sağlanarak birçok hastalık için umut vaat edecek uygulamalar olacaktır.
- Nükleer reaktör soğutmada kullanılabilir.
- Elektronik araçların soğutulmasında kullanılabilir.
- Otomotiv alanında radyatörlerin boyutlarını küçültmek için tercih edilebilir.
- Maden sektöründe derin yerlerde yapılan çalışmalarda ısınan cihaz ve/veya araçların soğutulması için uygulama alanı düşünülebilir.
- Güneş kolektörlerinde  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , Cu gibi nanoparçacıkları ve baz akışkan olarak su, etilen glikol kullanımıyla ilgili örnekler vardır.

### 1.10. Termoelektrik Eleman

Termoelektrik eleman veya diğer adıyla peltier modül, üzerinden akım geçtiğinde bir yüzü sıcak diğer yüzü ise soğuk olup elektrik enerjisini ısı enerjisine dönüşümünü sağlayan sistemdir.

Termoelektrik eleman son zamanlarda ısıtma ve soğutma alanlarında gerek alternatif olabileceği düşüncesiyle gerek sahip olduğu boyutlarından gerek diğer iklimlendirme elemanlarına göre daha ucuz olması sebeplerinden ötürü araştırmacılar tarafından tercih edilebiliyor.

Literatürde olan araştırmalara göre termoelektrik elemanın büyük hacimler için kullanımı uygun görülmemektedir. Büyük hacimlerin iklimlendirilmesinde

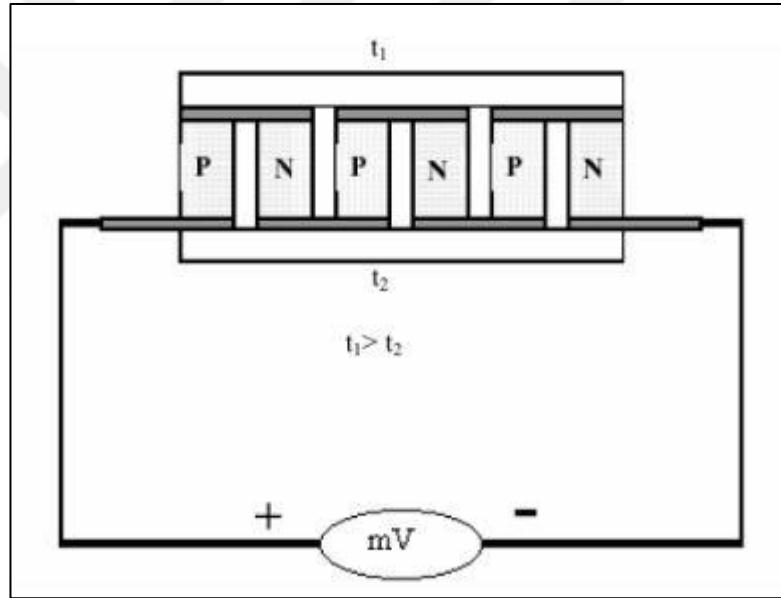
## 1. GİRİŞ

termoelektrik eleman yerine iklimlendirme cihazlarının (klima gibi) kullanımını maliyet açısından daha uygundur.

Gerçekleştirilen bu çalışmada iki farklı hacmin soğutulması termoelektrik eleman ile sağlanmıştır. Termoelektrik elemanın tercih edilme sebebi yukarıda açıklanan ve termoelektrik elemanın sahip olduğu tüm avantajlardandır.

### 1.10.1 Termoelektrik etkiler

Seebeck etkisi, Peltier Etkisi ve Thomson etkisi olmak üzere üç tane termoelektrik etkiler vardır.



**Şekil 1.8.** Seebeck voltajının ölçümü (Anonim 2022e).

Seebeck etkisi 1823 yılında Estonyalı bilim insanı Thomas Johann Seebeck'in keşfettiği ve iki farklı iletkenle halka oluşturup halkanın bağlantı uçlarından ısıttığında pusula iğnesinin sapmış olduğunu gözlemledi. Yani halka uçlarında oluşan sıcaklık farkı voltaja neden olmaktadır. Elde edilen voltajdan (gerilim) dolayı bu olay Seebeck gerilimi olarak adlandırılır. Seebeck gerilimi sıcaklık farkı ile doğru orantılıdır. Orantı sabitine Seebeck katsayısı denir. Şekil 1.8'de Seebeck voltajının ölçümü için temsili görsel paylaşılmıştır.

## 1. GİRİŞ

Devrede ölçülen voltaj için:

$$V = \alpha \Delta T \quad (1.10)$$

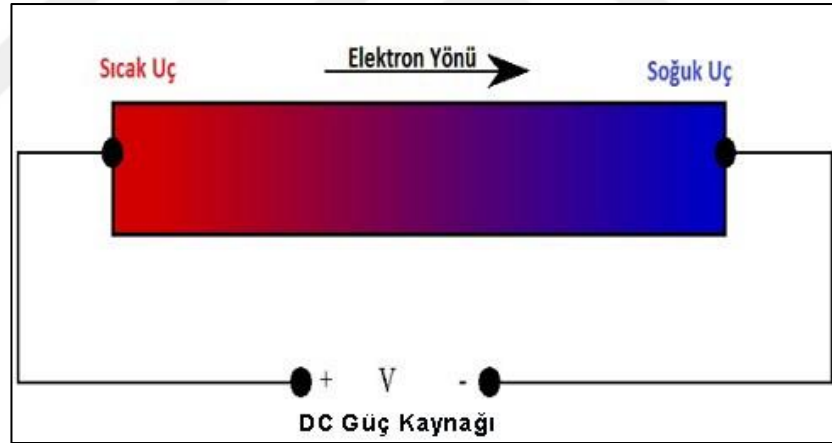
formülü uygulanır.

Burada:

$V$ : Devrede ölçülen volt değeridir. (V)

$\alpha$ : Seebeck katsayısıdır. (V/°C) Malzeme özeliğidir.

$\Delta T$ : Yarıiletkenler üzerindeki sıcaklık farkıdır. (°C)



Şekil 1.9. Peltier etkisi şematik görünümü (Anonim 2022f)

Fransız bilim insanı Jean Charles Athanase Peltier aynı sistemi Şekil 1.9'da gösterildiği gibi farklı çalıştırdı. Yaptığı, iki iletkenin halka oluşturup halkanın bağlantı uçlarından elektrik akımı verdiğinde uçlardan birinin ısındığını diğerinin ise soğuduğunu gözlemledi.

$$Q = \pi \times I \quad (1.11)$$

## 1. GİRİŞ

$$\pi = \alpha \times T$$

$Q$ : Birim zamanda transfer edilen ısı miktarı (W)

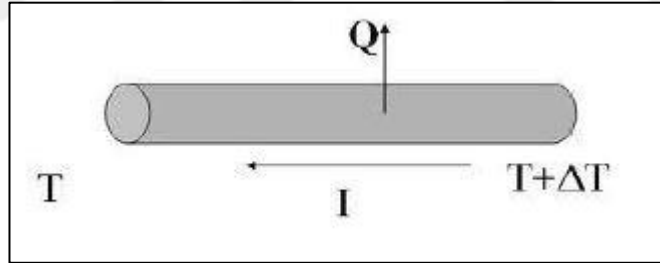
$I$ : Devre üzerinden geçen doğru akım (A)

$\pi$ : Peltier sabiti (V)

$\alpha$ : Seebeck katsayısı (V/°C)

$T$ : Mutlak sıcaklık

1950 yılında teknolojinin gelişmesiyle birlikte yarı iletken malzemeler yapıldı ve yarı iletken malzemelerin kullanılmasıyla günümüz modern peltier modülleri veya diğer adıyla termoelektrik eleman ticari olarak gelişim gösterdi (Anonim 2022g).



**Şekil 1.10.** Thomson etkisi (Şahin 2012)

1851 yılında William Thomson tarafından keşfedildi. Thomson etkisi, bir iletkende geçen akım, oluşan ısı ve artan sıcaklık farkı ile açıklanabilir. Isının artmasıyla Thomson katsayısı artarken akım ve sıcaklık farkının artması Thomson katsayısını azaltacaktır. Peltier etkisinin devamı olarak kabul edilir (Pourkiaei et al. 2019). Şekil 1.10'da Thomson etkisi şematik olarak gösterilmiştir.

$$Q = \tau \times \Delta T \times I \quad (1.12)$$

$Q$ : Thomson ısısı (W)

## 1. GİRİŞ

$\Delta T$ : İletkenin uçları arasındaki sıcaklık farkı ( $^{\circ}\text{C}$ )

$I$ : İletken üzerinden geçen akım şiddeti (A)

$\tau$ : Thomson katsayısı ( $\text{V}/^{\circ}\text{C}$ )

Seebeck ve peltier katsayılarını ölçmek için referans bir malzemeye ihtiyaç vardır. Bu yüzden kesin bir ölçüm metodu yoktur. Thomson katsayısı için ise tek malzemedan ölçülebilir. Şekil 1.11'de çeşitli malzemelerin Seebeck katsayıları sunulmuştur.

Metal	Seebeck Katsayısı ( $\mu\text{V}/\text{K}$ )
Antimon	47
Nikrom	25
Molibden	10
Kadmiyum	7.5
Tungsten	7.5
Altın	6.5
Gümüş	6.5
Bakır	6.5
Rodyum	6.0
Tantal	4.5
Kurşun	4.0
Alüminyum	3.5
Karbon	3.0
Civa	0.6
Platinyum	0
Sodyum	-2.0
Potasyum	-9.0
Nikel	-15
Konstantan	-35
Bizmut	-72

Şekil 1.11. "Platinyuma" Göre Seebeck Katsayıları (Şahin 2012)

### 1.11. Peltier Modül

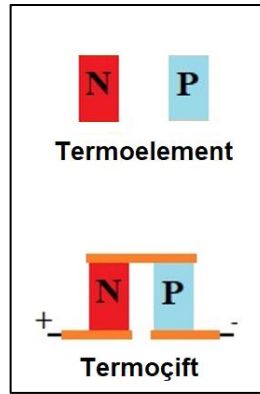
Elektrik enerjisiyle ısıtma ve soğutma yapan bu sistem yarıiletkenlerin gelişim göstermesine kadar minimum düzeyde kaldı. Teknolojinin gelişmesiyle yarıiletkenler de gelişim gösterdi ve termoelektrik elemanların kullanımları- diğer adıyla peltier – pratik, maliyet açısından uygunluk ve sahip olduğu boyutlardan dolayı günümüze kadar

## 1. GİRİŞ

kullanım alanları gelişerek arttı. Peltier modül veya termoelektrik eleman iki metal içerikli seramik yapılarının arasında “p” ve “n” olmak üzere ısıl çiftlerden oluşmaktadır. Isıl çiftler üzerinden geçen elektrik akımı peltierin (termoelektrik elemanın) seramik yüzeylerden birini ısıtırken diğerinin soğumasına neden olur. Şekil 1.12’de termoelektrik elemanın iç yapısına ait görsel sunulmuştur.



Şekil 1.12. Termoelektrik elemanın iç yapısı (Anonim 2022f)



Şekil 1.13. “p” ve “n” yarıiletken çifti (Anonim 2022h)

“p” ve “n” yarı iletken çiftleri iletkenle (bakır) birbirlerine elektriksel olarak seri, termal olarak paralel bağlanırlar (Şekil 1.13). Termoelektrik çiftler üzerinde yüksek ısı iletimi ve düşük elektrik iletimi sağlayan seramikler kullanılır. Seramikler aynı zamanda ısıl çiftler için mukavemet sağlarken bir arada kalmalarını da sağlar. Peltier etkisinin

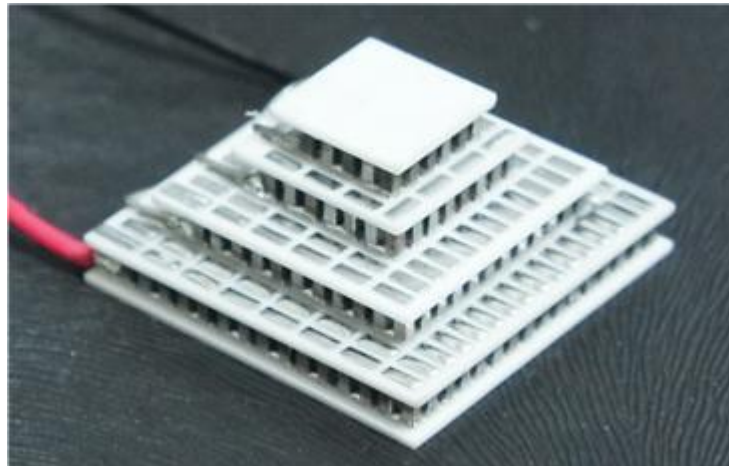
## 1. GİRİŞ

tersi olan Seebeck etkisi kullanıldığında yani uçlara elektrik akımı verilmeyip sıcaklık farkı uygulandığında elektrik akımı elde edilir. Yani termoelektrik eleman jeneratör olarak kullanılabilir. Ama bu durum verimde %10'a kadar düşüşe neden olduğu için pek tercih edilmez (Shilpa et al. 2022).



**Şekil 1.14.** Esnek termoelektrik modüller (Anonim 2022h)

Termoelektrik elemanlar soğutucular ve jeneratörler olmak üzere ikiye ayrılırlar. Her iki grup da birbirilerinin görevlerini üstlenebilirler. Peltier Seebeck etkisine göre çalışırsa termoelektrik cihazlar güç jeneratörü olarak çalışabilir. Aradaki fark ise jeneratörler imal edilme durumlarına göre yüksek sıcaklıklara dayanabilirler. Bu durum soğutucu olarak çalışan termoelektrik elemanlar için soruna neden olabilir (Şahin 2012). Termoelektrik elemanlar soğutma sistemlerinde tek olarak kullanılamazlar. Termoelektrik elemanın oluşturduğu ısıyı dağıtmak gerekir. Soğutma için kullanılan elemanlar (ısı değiştiriciler, kanat/kanatçık, fan vb.) edinilmelidir (Riffat and Ma 2003).



**Şekil 1.15.** Çok katmanlı peltier modülü (Şahin 2012)

Termoelektrik jeneratörlerin verimi hesaplanmasında;

$$\eta_{maks} = \frac{T_H - T_C}{T_H} \times \frac{\sqrt{1 + ZT} - 1}{\sqrt{1 + ZT} + \frac{T_C}{T_H}} \quad (1.13)$$

Termoelektrik soğutucuların performans katsayısı (COP) şöyle hesaplanır;

$$COP_{maks} = \frac{T_C}{T_H - T_C} \times \frac{\sqrt{1 + ZT} - \frac{T_C}{T_H}}{\sqrt{1 + ZT} + 1} \quad (1.14)$$

Burada  $T_H$  yüksek sıcaklığı,  $T_C$  düşük sıcaklığı ve  $ZT$  ise termoelektrik performansını belirlemede kullanılan malzemenin ısıyı absorbe eden veya etmeyen boyutsuz parametredir. Termoelektrik liyakat katsayısıdır (Pourkiaei et al. 2019). Seebeck katsayısı ile liyakat katsayısı arasındaki bağlantı (Ding et al. 2021);

$$ZT = \frac{\sigma S^2 T}{k} \quad (1.15)$$

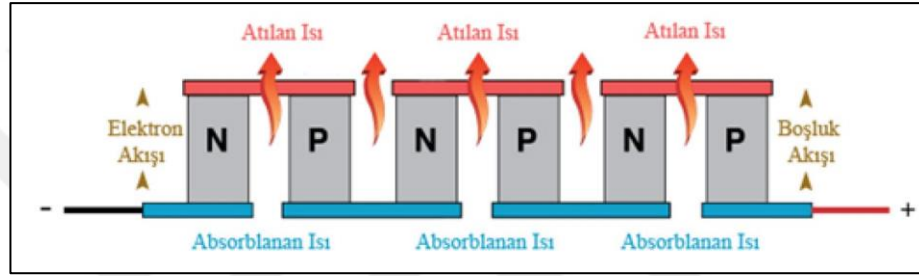
Formülde geçen  $\sigma$  elektriksel iletkenliğe,  $S$  Seebeck katsayısına,  $T$  sıcaklık değerine ve  $k$  ise termal iletkenliğe karşılıktır. Formülden de anlaşılacağı üzere, yüksek  $ZT$  (liyakat katsayısı) elde edilmesi düşük termal iletkenlik katsayısına ve yüksek Seebeck katsayısına bağlıdır.

### 1.12. Termoelektrik Elemanların Çalışma Prensibi (TEC)

Termoelektrik elemanlarda elde edilen soğutma, n ve p tipi yarı iletken malzemeler üzerinden akım geçirildiğinde gerçekleşir. Termoelektrik elemanın soğuk yüzeyini elde etmek için, n tipi yarı iletken malzeme üzerinden akım geçer burada ara bağlantı iletkenin sıcaklığı düşer. Bu durumda ortamdaki ısı emilimi gerçekleşir. Ortamdan absorbe edilen (emilen) ısıda elektronlar p tipi yarıiletken malzemedeki düşük

## 1. GİRİŞ

enerji seviyesinden ara bağlantı iletken malzeme vasıtasıyla n tipi yarıiletken malzemede daha yüksek enerji seviyesine geçtiğinde meydana gelir. Soğurulan ısı yarı iletken malzemeler aracılığıyla elektron taşınarak bir yüzeyden diğer yüzeye aktarılır. Sonra elektronlar p tipi yarıiletken malzemede daha düşük enerji seviyesine dönmesinde serbest bırakılır (Riffat and Ma 2003; Shilpa et al. 2022). Bu durum Şekil 1.16'da şematik olarak gösterilmiştir. Termoelektrik elemanın çalışma prensibi peltier etkisi iledir. Yani yarıiletken malzeme üzerinden akım geçirildiğinde sıcaklık farkı gözlenir. Seebeck etkisinde ise yarıiletken malzemeler üzerinde sıcaklık farkı oluşturularak voltaj elde edilir.



Şekil 1.16. Termoelektrik elemanın çalışma prensibi (TEC) (Şahin 2012)

### 1.13. Termoelektrik Elemanlarda Kullanılan Malzemeler

Termoelektrik elemanlarda performansın artması, daha düşük enerji ile daha yüksek verim elde edilebilmesi, daha ucuza maliyet gibi alanlarda gelişim gösterebilmek için teknolojidten yararlanılmaktadır. Termoelektrik elemanlarda kullanılan malzemeler termoelektrik elemanlar üzerinde çeşitli avantajlar sağlamaktadır. Düşük zehir oranına sahip ve düşük maliyete üretilebilen esnek termoelektrik elemanlar araştırmalarda kullanılabilir. Termoelektrik elemanlar için kullanılan malzemelerde net bir sınıflandırma yapılmamıştır. Onun yerine örnekler verilerek konu anlatılmaya çalışılmıştır. Termoelektrik elemanların gelişimi sahip olduğu verimlilikleriyle orantılıdır. Termoelektrik elemanlar için kullanılan yarıiletken malzemeler geliştikçe termoelektrik elemanlardaki verim de artmıştır. Yarıiletken malzemelerin en önemli özelliği yüksek Seebeck ve liyakat katsayısına (ZT) sahip olması gerekliliğidir.

Fonon-cam elektron-kristal (PGEC) malzemeleri olarak bilinen klatratlar ve skutteruditler termoelektrik elemanlarda kullanılan malzemeler arasındadır. Klatratlar

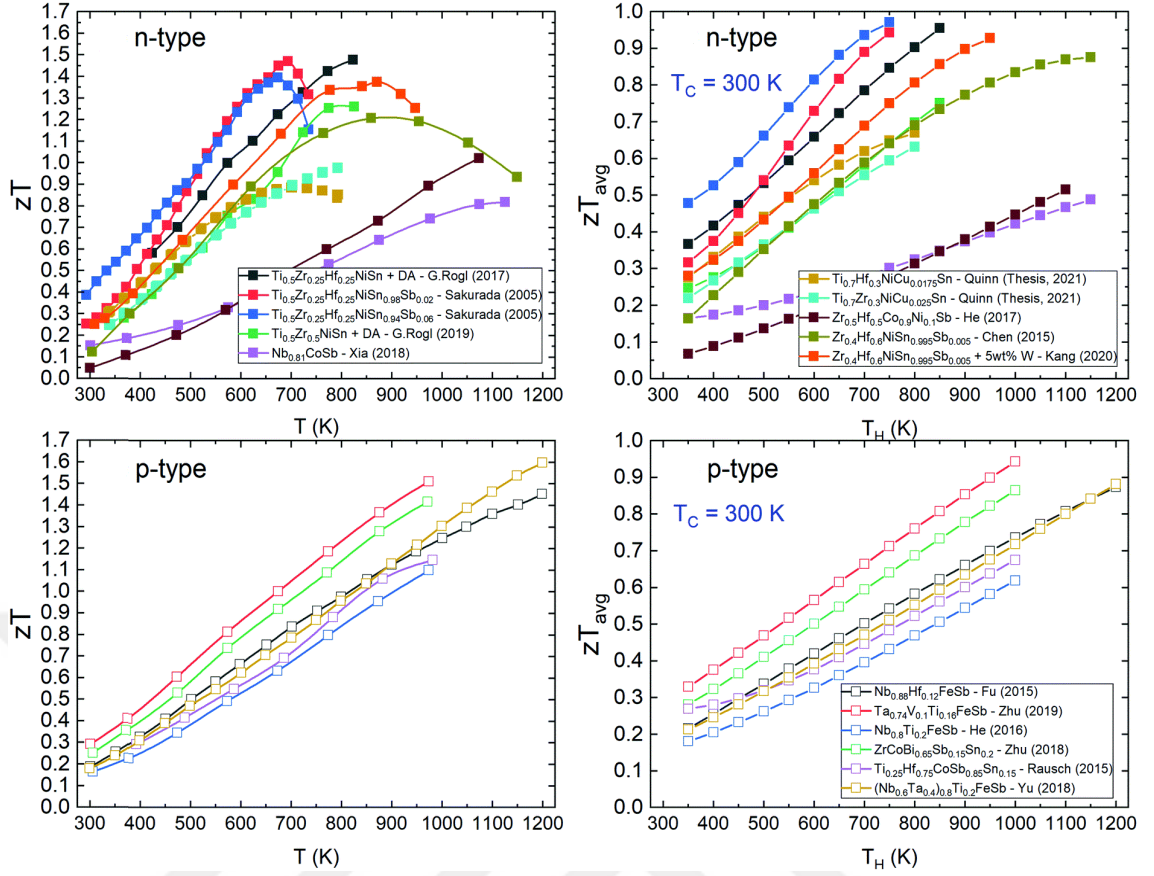
## 1. GİRİŞ

---

metal atomunu çevreleyerek kafesler oluşturan katılardır. Klatrat malzemelerin genel formülleri  $A_8E_{46}$ ,  $A_{24}E_{136}$  ve  $A_{30}E_{172}$  ( $A = Na, K$  veya  $Ba$  ve  $E = Al, Ga, In, Si, Ge$  veya  $Sn$ )'dir. Yarı iletken olan klatratlar için düşük termal iletkenlikler atom seviyesinde gerçekleşen fiziksel ve kimyasal etkileşimler sonucunda fonon modlarında sayıca azalmalar olur ve bu durumda ısı taşınımı kısıtlanır. Böylece termal iletkenlik azaltılmış ZT değeri arttırılmış olur. Yapılan birçok çalışmada  $ZT < 1$  sonucu elde edildiğini Elsheikh et al. (2014) makalelerinde belirtmişlerdir. Skutteruditler yapıları kübiktir. Genel formülleri  $MX_3$  ( $M$ , geçiş metalidir.  $Co, Rh$  veya  $Ir$  olabilir.  $X = P, As$  veya  $Sb$ )'dir.  $CoP_3, CoAs_3, CoSb_3, RhP_3, RhAs_3$  gibi örnekleri vardır. Skutteruditler yüksek ZT değeri için sahip olduğu temel şartları sağlar. Kovalent yapılar oluşturup boşluklara göreceli daha büyük atomları dahil edebilir. Klatratlardaki gibi boşluklara dahil ettiği atomlardan dolayı fiziksel ve kimyasal etkileşimler sonucunda termal iletkenlik düşecek ve buna bağlı olarak ZT değeri artacaktır (Nolas et al. 1999; Elsheikh et al. 2014).

Termoelektrik elemanlar için kullanılan diğer malzeme yarı Heusler malzemesidir. Genel formülleri  $XYZ$  ( $X$  için periyodik tablonun 3., 4. ve 5. gruplarındaki geçiş metalleri,  $Y$  için periyodik tablonun 8., 9. ve 10. gruplarındaki geçiş metalleri ve  $Z$  için ağır metallerdir.  $Sn, Sb, Ge, Pb$  veya  $Bi$ )'dir (Quinn and Bos 2021). Kübik formdaki Yarı Heusler alaşımları yüksek Seebeck katsayısına ve yüksek elektrik iletkenliğine sahiptir. Ayrıca zehirli alaşımları olmadığı için çevre dostudur. Maliyet açısından daha uygundur (Jaishi et al. 2021).

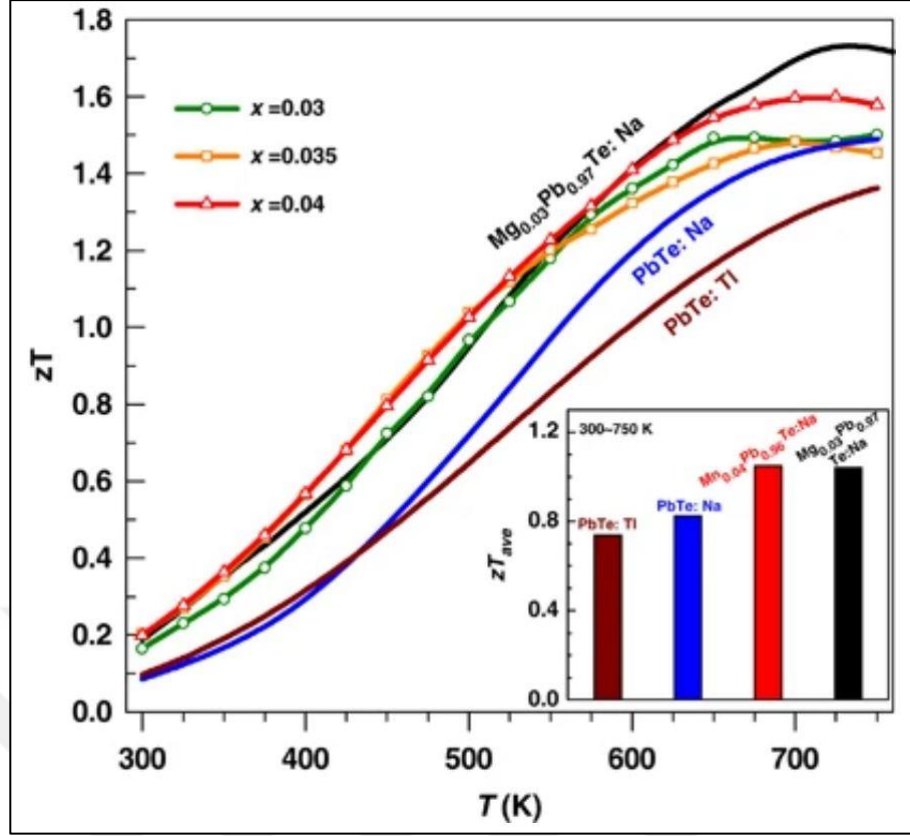
## 1. GİRİŞ



Şekil 1.17. Yarı Heusler malzemeleri için zt değerlerinin sıcaklıkla değişimi (Quinn and Bos 2021).

Şekil 1.17’de termoelektrik elemanlarda p ve n tipi için kullanılan Yarı Heusler malzemelerinin ZT değerlerinin sıcaklığa bağlı olarak değişimi gösterilmiştir. Dikkat edileceği üzere yaklaşık 800 K değerinden sonra n tipi için ZT değerlerinde azalmalar görülebilmektedir.

Termoelektrik elemanlar için inorganik malzemeler umut vadetmektedir. Son on yılda gelişim gösteren inorganik malzemeler yüksek ZT değerlerine sahiptir. Termoelektrik elemanlar için en yaygın kullanılan yarıiletkenlerden  $Bi_2Se_{0.3}Te_{2.7}$ ,  $Bi_{0.5}Sb_{1.5}Te_3$  ve  $Bi_2Te_3/Sb_2Te_3$  (BST)’dir (Pourkiaei et al. 2019).



Şekil 1.18. Sıcaklığa bağlı liyakat rakamı (ZT) (Pei et al. 2012)

Şekil 1.18’de sıcaklığa bağlı olarak gösterilen liyakat rakamı (ZT) değerleri sunulmuştur.

Termoelektrik eleman malzemeleri için ZT katsayısı yüksek bizmut (Bi), antimon (Sb), kurşun (Pb), tellurium (Te) ağır metalleri kullanılmaktadır. Ama bu metaller zehirleyicidir. Ayrıca 1000K gibi yüksek sıcaklıklarda kararsızdırlar. Bunun için metal oksitler iyi bir seçenek olabilir  $(\text{Ni}_{1-x}\text{M}_x)\text{Mn}_2\text{O}_4$  ( $\text{M}=\text{Zn}$  ve  $\text{Mg}$ ,  $x=0, 0.1$  ve  $0.2$ ). Metal oksitler daha önce kullanılmış olan ağır metaller gibi kararsızlık özelliği göstermezken çevre için de sorun oluşturmazlar (Elsheikh et al. 2014).

Metal oksitler termoelektrik elemanlar için kullanılan malzemeler arasında yüksek kararlılık, düşük maliyet ve daha az zehirleyici etkisi mevcuttur. Günümüzde p tipi için kobalt oksitler ve n tipi için kadmiyum oksitler ve kalay oksitler yaygın olarak kullanılmaktadır. Çizelge 1.9’de bazı metal oksitler için termoelektrik katsayıları paylaşılmıştır (Pourkiaei et al. 2019).

## 1. GİRİŞ

**Çizelge 1.9.** Fermi seviyesinde MgSiO<sub>3</sub>, MgGeO<sub>3</sub>, MgSnO<sub>3</sub> malzemelerin oda sıcaklığındaki termoelektrik katsayıları (Mahmood et al. 2019).

	$\sigma/\tau$ ( $\times 10^{19}/\Omega\text{ms}$ )	$k/\tau$ ( $\times 10^{14}\text{W/mKs}$ )	Seebeck Katsayısı ( $\mu\text{V/K}$ )	ZT
<b>MgSiO<sub>3</sub></b>	2.03	2.40	149	0.57
<b>MgGeO<sub>3</sub></b>	1.23	1.81	180	0.66
<b>MgSnO<sub>3</sub></b>	1.13	1.65	181	0.67

Bu malzemeler yüksek ZT değerine sahip olmakla birlikte sertlik ve kırılgenliklerinden dolayı kullanımı kısıtlamaktadır. Esnek, oda sıcaklığında yüksek ZT değerine sahipken düşük termal iletkenliğe sahip olması için çalışmalar yapılmaktadır.

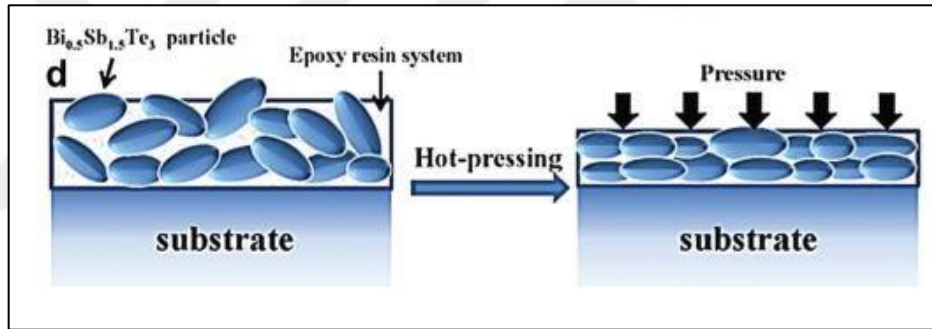
Grafen bunlardan biridir. Grafenin esnekliği ve elektriksel iletkenliği yüksek olması ama termal iletkenliğinin de yüksek olması ve dolayısıyla düşük ZT değerine sahip olmasından dolayı uygun kombinasyonlar oluşturulması büyük potansiyele sahip olduğunu gösterir. Grafen bazlı mevcut peltierlerin çoğu cam veya silikon substratlar üzerine üretilmiştir (Ding et al. 2021).

Esnek inorganik termoelektrik elemanlar düşük ısı iletkenliği, yüksek mukavemete sahiptirler. n tipi malzeme olarak Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> ve Ag<sub>2</sub>Se ve p tipi malzeme olarak Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>, SrTiO<sub>3</sub> poliimid (polyimide – PI) substratı üzerine basılmasıyla elde edilebilir (Chen et al. 2022). Literatürde p tipi Sb<sub>1.5</sub>Bi<sub>0.5</sub>Te<sub>3</sub> ve n-tipi Bi<sub>2</sub>Te<sub>2.7</sub>Se<sub>0.3</sub> yarıiletkenlerinin PI substratı üzerine basılıp elde edilmiş soğutucu vardır (Lu et al. 2014). Şekil 1.19’de poliimid substratı üzerine basılmış esnek minik bir soğutucu görülmektedir.



**Şekil 1.19.** Poliimid üzerine basılmış esnek soğutucu (Lu et al. 2014)

İnorganik malzemeli termoelektrik elemanların en büyük avantajlarından biri oda sıcaklıklarında ZT değerleri yüksek ve bükülebilirdir. Bu durum termoelektrik elemanlar için potansiyellerinin ne kadar yüksek olduğunu gösterir.



**Şekil 1.20.** Esnek termoelektrik elemanların elde edilmesi (Chen et al. 2022)

Termoelektrik elemanlar için kullanılan diğer bir malzeme ise polimerlerdir. Polimerlerin diğer pek çok malzemeye göre avantajları daha fazladır. Esnek, giyilebilir olması, zehirli içeriklerin olmaması, ucuza maliyet gibi özellikleri ile termoelektrik elemanların giyilebilir teknolojide kendisini gösterebilir.

Polimer malzemeler kompozit yapı kazandırıp özelliklerinde iyileştirmeler yapılabilir.

- Polimer – polimer kompozit
- Polimer – inorganik kompozit
- Polimer – nanokarbon kompozit

## 1. GİRİŞ

Hepsinde de etkili olan özellikler, düşük termal iletkenlik, daha yüksek Seebeck katsayısı, esneklik ve dayanıklılıktır. Çizelge 1.10'da çeşitli bazı kompozit ince filmlerin termoelektrik özellikleri hakkında bilgi verilmiştir.

**Çizelge 1.10.** Bazı kompozit ince filmlerin termoelektrik özellikleri (Prunet et al. 2021)

	$\sigma$	S	$\kappa$	ZT	Referans
PEDOT:PSS (p Tipi Polimer)	224	9	-	0.17	Bubnova et al. (2012)
poly(K <sub>x</sub> (Ni-ETT)) – elektrodepozisyon (n Tipi Polimer)	200	-130	344	0.30	Sun et al. (2016)
PANI + CNT'ler ve grafen	1000	130	0.3	0.05	Cho et al. (2015)
PANI + karbon dolgu maddeleri	12	40	0.2	0.007	Meng et al. (2010); Fang et al. (2017)

Termoelektrik elemanlar için kullanılan malzemelerle ilgili bilgiler verilmeye çalışılmıştır. Bu alandaki teknolojik gelişmeler göz önüne alındığında yapılan çalışmalar ve araştırmalar oldukça fazladır. Bu durum termoelektrik malzemelerin daha da gelişim göstereceğine dair en büyük kanıttır.

### 1.14. Kullanım Alanları

Termoelektrik elemanlar birçok alanda kullanılabilir. Günümüze yaklaştıkça kullanım alanları daha da artmaktadır. Teknolojinin gelişmesiyle termoelektrik

## 1. GİRİŞ

---

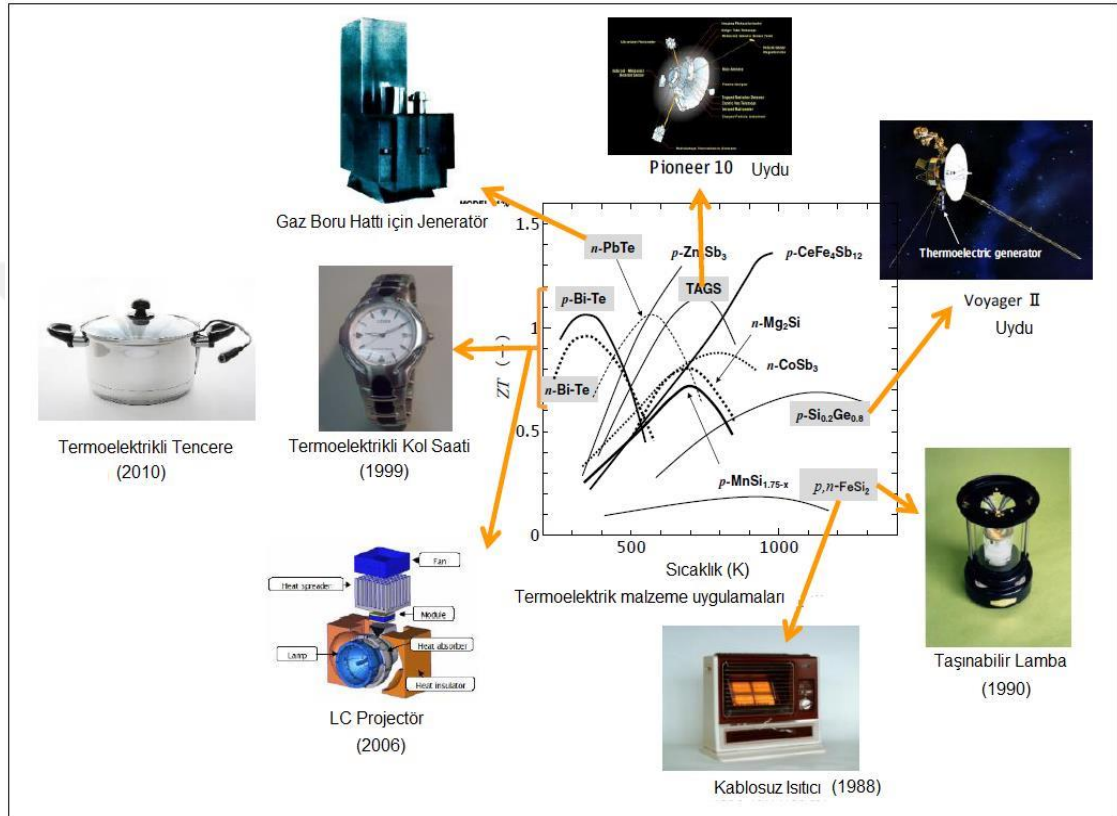
elemanlara duyulan ihtiyacın da arttığı bilinmektedir. Aşağıda ihtiyaç duyulan bazı alanlar listelenmeye çalışılmıştır (Shilpa et al. 2022; Anonim 2022e; Anonim 2022g).

1. Termoelektrik jeneratörler: Termoelektrik elemanların Seebeck etkisi ile oluşturulan sistemler,
  - Enerji santrallerinde atık ısıyı elektrik enerjisine çevirmede,
  - Araçlarda verimliliği arttırmak için egzoz çıkışı sıcak atık gazları kullanarak elektrik enerjisi elde etmede,
  - Uzay sondalarında kullanılabilir.
2. Otomobil soğutucuları: Araçlarda kullanılan ısıtma, soğutma, havalandırma işlemleri mekanik olarak çalışır. Termoelektrik elemanın kullanım avantajlarından (hareketli parça olmaması, sessiz çalışması ve bakım gerektirmemesi gibi) yararlanılarak bu işlemleri gerçekleştiren çeşitli firmalar vardır.
3. Elektronik devreler: Teknolojinin gelişimiyle elektronikte kullanılan cihazların ısı yayılımını artmıştır. Bu durum elektronik parçalarda verim düşüklüğüne neden olduğu için soğutma yapılması gerekmektedir. Termoelektrik eleman ile soğutma yapılabilen uygulamalar vardır.
4. Termoelektrik buzdolapları/soğutucular: Yiyeceklerin daha uzun süre saklanabilmesi için kullanılan kompresörlü soğutuculara alternatif olarak çevreyi kirletmeyen ve hareketli parçası olmayan termoelektrik soğutucular kullanılabilir.
5. Medikal uygulamalar: Aşı ve ilaçların uygun sıcaklıkta muhafaza edilebilmesi çok önemlidir. Genellikle sıvı nitrojen kullanılması uygulamada birçok sorunu meydana getirir. Bunun önüne geçmek için termoelektrik soğutucu iyi bir seçenek olabilir. Ayrıca omurilik hasarı olan bazı hastalar vücut ısısını kontrol etme sorunu yaşayabiliyorlar. Termoelektrik elemanların kullanımı ile yapay soğutma araçları geliştirilebilir.
6. Askeri alanlarda: Termoelektrik elemanların ısıtma ve soğutma özelliğinden yararlanarak giyilebilir teknoloji ile geliştirilip uygun giysiler üretilebilir.

## 1. GİRİŞ

7. Şarj: Cep telefonların şarj edilmesinde literatürde çeşitli araştırmaları olduğu bilinmektedir.

Bunların yanı sıra, lazerler, kızılötesi sensörler, mikroişlemci soğutucu, PCR cihazları için ısıtıcı ve soğutucu, laboratuvar ve bilimsel cihazlarda kullanımları vardır.



Şekil 1.21. Termoelektrik modülün kullanım alanlarına örnekler (Hacı ve Kahraman 2016).

### 1.15. Termoelektrik Soğutucuların Avantajları ve Dezavantajları

Termoelektrik elemanların sırasıyla avantajları ve dezavantajları verilmiştir (Şahin 2012; Shahjalal et al. 2021).

- Isı pompası veya kompresörlerde kullanılan soğutucu akışkan (kloroflorokarbon) ile kullanılmayıp sadece elektrik enerjisiyle çalışırlar. Bu da onların çevreci yapar.
- Yerçekimsiz gibi ortamlarda rahatlıkla çalıştıkları için uzay, havacılık alanlarında rahatlıkla kullanılabilir.
- Yapıları gereği bir yüzü sıcak, diğer yüzü soğuk oldukları için istenildiği durumlarda hem ısıtma hem de soğutma yapabilirler.
- Hareketli parçalar içermediklerinden dolayı ömürleri uzun sürelidir aynı zamanda bakım gerektirmezler. Ayrıca sessiz çalışıp gürültü kirliliğine sebep olmazlar.
- Boyutları küçük (4×4 cm gibi), sahip oldukları ağırlıkları hafiftir.
- Soğutma katsayıları (COP) düşüktür.
- Soğutma güçleri düşüktür.
- Uygulanan akımdan elde edilen ısı maliyetleri yüksektir.
- n ve p tipi için kullanılacak malzemenin yüksek elektriksel iletkenliğe ve düşük termal iletkenliğe sahip olması gerekir. Bu durum onları maliyetli yapabilir.

### 2. KAYNAK ÖZETLERİ

Nanoakışkanlı soğutma sistemleri ile ilgili literatürde birçok çalışma mevcuttur. Daha önce yapılmış olan çalışmalarda  $Fe_3O_4$ ,  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$  gibi nanopartiküller ve saf su, etilen glikol gibi baz akışkan kullanılarak yoğunluk, viskozite değerleri, ısı transferi soğutma miktarı gibi parametrelerin incelendiği görülmüştür.

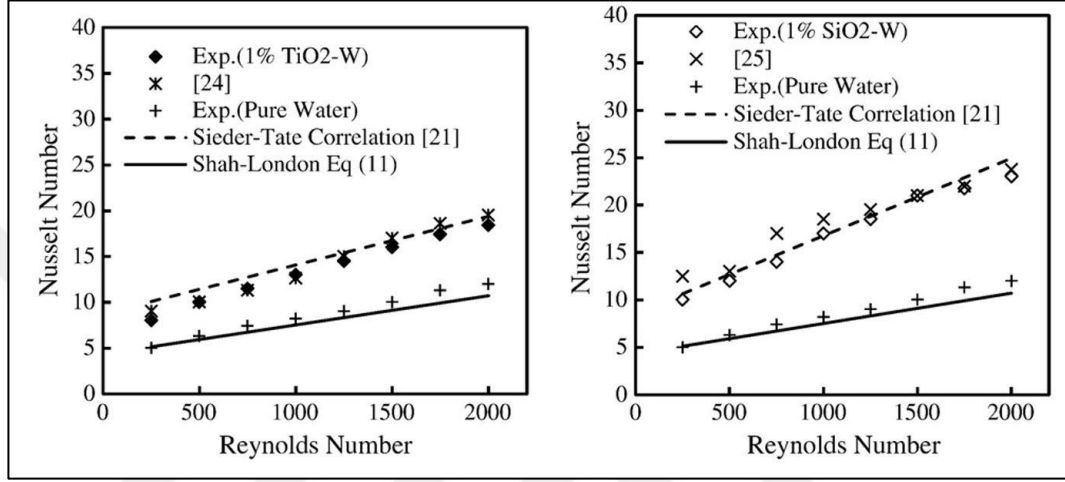
Termoelektrik eleman ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmaların günümüze yaklaştıkça daha da arttığı fark edilmiştir. Özellikle günlük yaşamda termoelektrik eleman kullanılarak soğutucu çanta gibi giyilebilen teknolojik gelişmelerin olması bu alanda daha fazla araştırma yapmak için araştırmacıları özendirilmektedir. Termoelektrik eleman kullanılarak soğutma ve ısıtma için kullanılabilen mobil kutular, araç içi soğutma için yapılan deneysel yöntemler bu alanda daha çok araştırma yapılması gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Yapılan literatür araştırmalarında, çalışmada kullanılan termoelektrik eleman ve  $SiO_2$  – saf su nanoakışkan çalışmaları incelenmiştir. Yapılan literatür taramalarında termoelektrik eleman kullanımında sıcak yüzeyinin soğutulması fan veya kanat/kanatçıklar ile sağlanmıştır. Termoelektrik elemanın sıcak yüzeyinin akış ile soğutulmasında ise su kullanımının yaygın olduğu görülmüştür. Termoelektrik eleman kullanılarak soğutma haznesi oluşturulan bu deneyde termoelektrik elemanın sıcak yüzeyinin soğutulmasında  $SiO_2$  nanoakışkanı kullanarak literatüre katkıda bulunmak istenilmiştir.

Ferrouillat et al. (2011) çalışmalarında sabit duvar sıcaklığı şartı altında akış rejiminin laminardan türbülanslı olarak değişiminin olduğu  $SiO_2/su$  nanoakışkanını kullandıkları deney düzeneği hazırlamışlardır. Bu deneyde Reynolds değerleri ve bu değerlere karşılık gelen Darcy, Nusselt değerleri gibi verileri grafiklerde göstermişlerdir. Yaptıkları deneyler sonucunda baz akışkan olarak suya göre kullandıkları  $SiO_2/su$  nanoakışkan ve  $SiO_2/su$  nanoakışkanının konsantrasyonunun artmasıyla ısı transferinin daha da belirgin olduğunu belirlemişlerdir. Performans Değerlendirme Kriteri olarak tanımladıkları küresel enerji bütçesinin deney için kullandıkları  $SiO_2/su$  nanoakışkan için uygun olmadığını belirtmişlerdir.

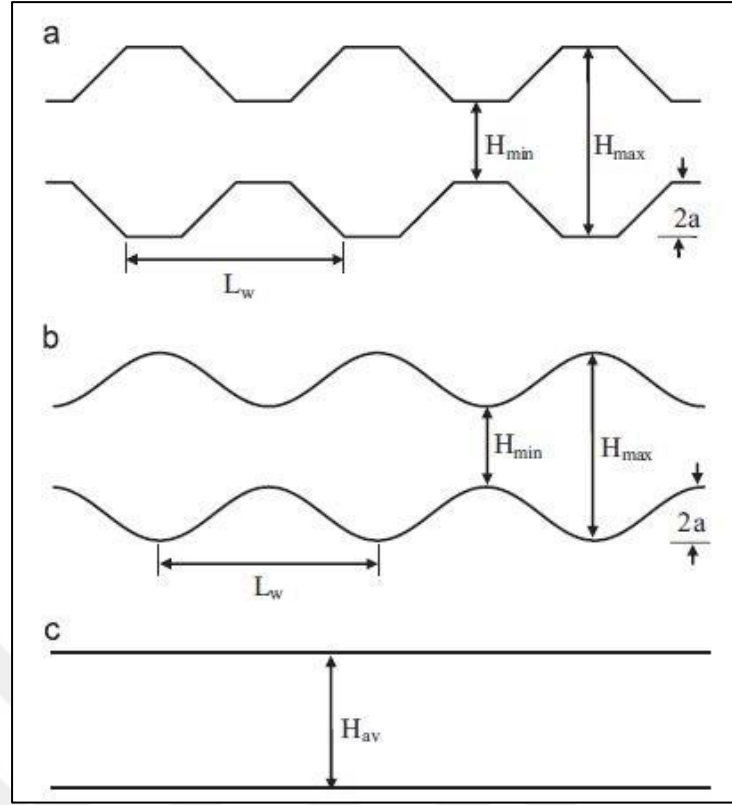
## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

Araba radyatörlerinde  $\text{SiO}_2$  ve  $\text{TiO}_2$  nanoakışkanları kullanılarak yapılan deneysel çalışmada Husseyin et al. (2014)  $\text{SiO}_2$  ve  $\text{TiO}_2$  nanoakışkanları kullanarak araba radyatörlerinde geleneksel akışkana göre soğutma gerçekleştirmeyi hedeflemişlerdir. Deneyde elde ettikleri Reynolds ve Nusselt değerlerini çeşitli eşitlikler kullanarak grafiklerde göstermişlerdir. Şekil 2.1’de elde ettikleri karşılaştırmalar verilmiştir. Nanoakışkan hacim oranlarını %1-2 aralığında tutmuşlardır.



**Şekil 2.1.** Çalışmada kullanılan, literatürlerde geçen eşitliklerin grafikte gösterimi (Husseyin et al. 2014).

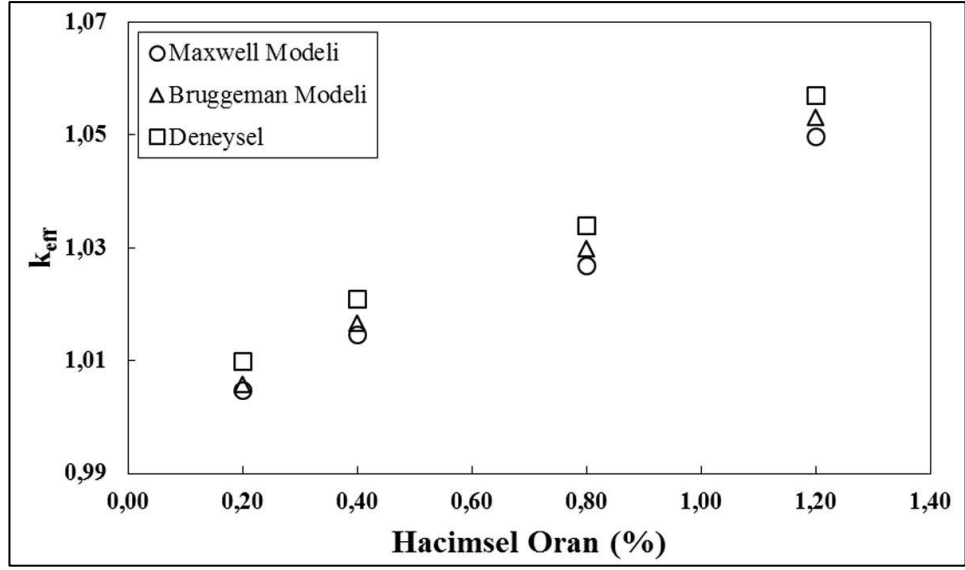
Başka bir çalışma kanal geometri şekilleri ile ilgilidir. Kanal şekli ile değişebilecek ısı transferi araştırılmıştır. Ahmed et al. (2015) çalışmalarında üç farklı kanal içinde ısı transferinin en iyi hangi kanalda yapılabileceğinin araştırılması amaçlanmıştır. İş akışkanı olarak  $\text{SiO}_2$ /su nanoakışkanı kullanılmıştır. Kanallar trapez kanal, sinüs kanal ve düz kanal olmak üzere farklı geometrilere sahip kanallar üzerinde çalışmışlardır. Şekil 2.2’de çalıştıkları kanallar gösterilmiştir. Deneysel çalışmanın yanı sıra sonlu hacimler yöntemi ile iteratif çözüm yapılmıştır. Her üç farklı geometriye sahip kanallardan en iyi ısı transferini gerçekleştiren trapez kanal olduğu sonucuna ulaşıldığı belirtilmiştir. Deneylerde  $\text{SiO}_2$ /su nanoakışkanının ısı transferindeki artış ve basınç düşüşünü de incelemişlerdir.



**Şekil 2.2.** Sırasıyla; trapez kanal, sinüs kanal, düz kanal (Ahmed et al. 2015)

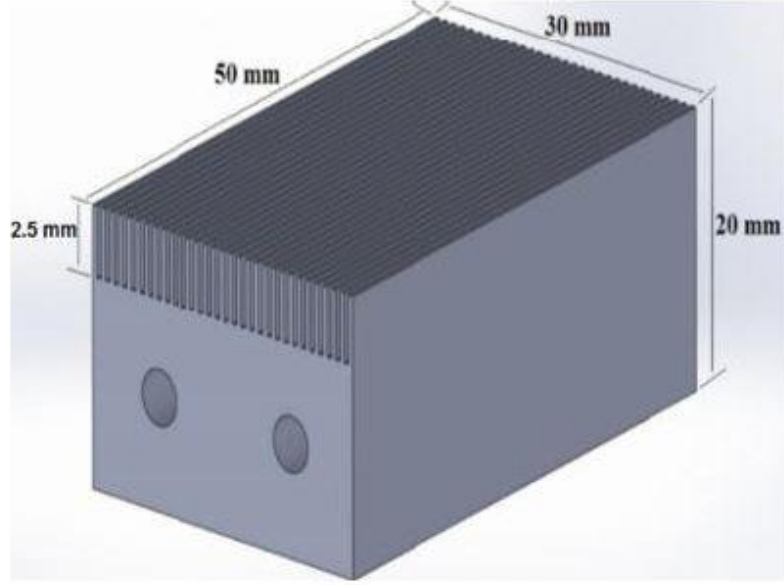
Literatür araştırmasında kanal şekil geometrisinin yanı sıra kanalın açısı da değiştirilerek ısı transferi incelenmiştir. Mandev (2017) yüksek lisans tezinde mikrokanallardaki ısı transferinin saf su ve saf su  $SiO_2$  karışımlarını deneysel olarak incelemiştir. Bu çalışmada mikro kanalın  $0^\circ$ ’ den  $90^\circ$ ’ ye kadar  $30^\circ$ ’lik artışlarla değişik oranlardaki nanoakışkanın karakterizasyonu belirlenmeye çalışmıştır. Yapılan çalışmaya göre  $20^\circ C - 60^\circ C$  sıcaklık değerleri arasında ısı iletkenlik ve viskozite değerleri ölçülmüştür. Mikro kanalın farklı eğimlerdeki açıları ve farklı oranlardaki nanoakışkanların Nusselt sayısı ile Reynolds sayısı arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Bu sonuca göre yüksek partikül oranı ile artan kanal açısı ısı transferini arttırmıştır.

Literatürde dairesel kanalda yapılan çalışmaya rastlanmıştır. Şahin vd (2019)  $SiO_2 - su$  nanoakışkanı kullanarak dairesel bir kanalda ısı transferi ve basınç düşümü ile ilgili çalışma yapmışlardır. Bu çalışmalarında %0,2, %0,4, %0,8, %1,2 hacimsel oranlar belirlenmişlerdir. Elde ettikleri ısı iletkenlik sonuçlarını Maxwell ve Bruggeman modelleri ile karşılaştırmışlardır. Şekil 2.3’de yaptıkları karşılaştırma sunulmuştur. Elde ettikleri sonuçlara göre  $SiO_2$  nanoakışkanının saf suya göre ısı transferinde minimum artışı %0,2 ve maksimum artışı ise %1,2 hacimsel oranlarda gözlemlemişlerdir.



Şekil 2.3. Deneysel veriler için literatürde geçen denklemlerin ve deneysel verilerin gösterimi (Şahin vd 2019).

Literatürde mikrokanalla ilgili çalışma da mevcuttur. Şahin vd (2019) 20×30×50 mm ebatlarında alüminyum blok üzerine açmış oldukları 2,5 mm yüksekliğinde ve 50 mm uzunluğunda paralel kanallar açmışlardır (Şekil 2.4). Bu blok içerisinde 400 mikro metre ve 500 mikro metre genişlikte mikro kanallar açmışlardır. Bu kanallar içerisinde saf su ve %1 oranında SiO<sub>2</sub> – saf su nanoakışkanları geçirmişlerdir. Reynolds sayısı 20-110 aralığında tutulup sabit yüzey akısı sınır şartı sağlanmıştır. Yapılan çalışmada viskozite, ısıl iletkenlik, farklı kanal genişliklerinin farklı oranlardaki nanoakışkanına göre Nusselt – Reynolds değerlerine ulaşılmıştır. Tüm veriler grafiklerde gösterilirken literatür araştırmasıyla elde etmiş oldukları bağıntıları ve deney sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Buna göre %1 oranındaki SiO<sub>2</sub> – saf su 400 mikro metre kanal genişliğinde Nusselt sayısı saf suya göre %22 arttığı gözlenmiştir. Ayrıca sıcaklık arttıkça saf su ve SiO<sub>2</sub> – saf su nanoakışkanının viskozite değerlerinde düşüş olduğunu belirlemişlerdir.



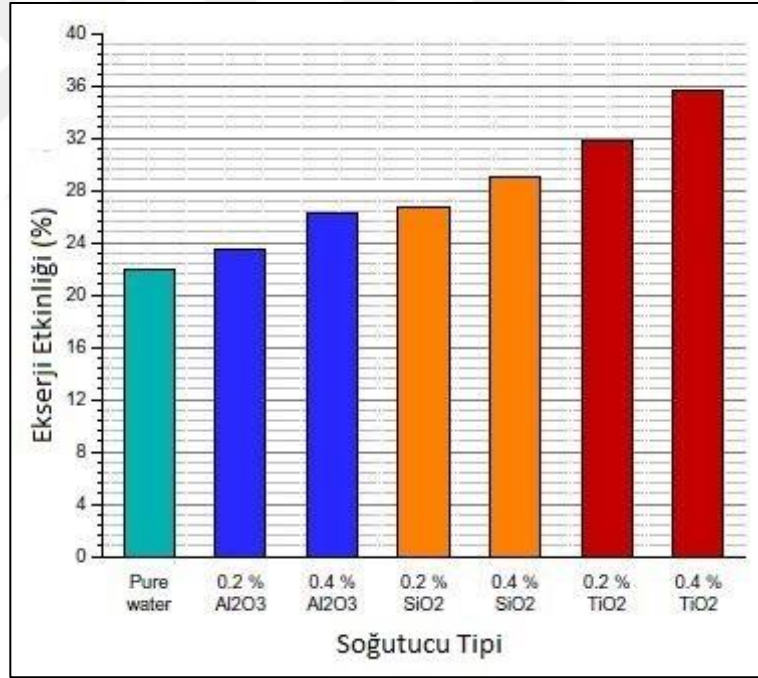
**Şekil 2.4.** Çalışmalarında kullandıkları mikrokanal (Şahin vd 2019)

Başka bir çalışma güneş kolektörlerinde ısı transferini incelemek için kullanılan iki farklı iş akışkanının karşılaştırmasıdır. Yan et al. (2017) çalışmalarında %1, %3 ve %5 SiO<sub>2</sub>/su nanoakışımı güneş kolektörleri tüpünün içindeki ısı transfer özelliklerini araştırmışlardır. Ayrıca iş akışkanının sıcaklık değişimi ve hız dağılımı da simülasyonla hesaplanmıştır. Deney İç Moğolistan'ın Hohhot Bölgesi'nde gerçekleştirilmiştir. Deneyde kolektörler içindeki SiO<sub>2</sub>/su ve damıtılmış su ile alınan veriler karşılaştırılmıştır. Buna göre deneylerde SiO<sub>2</sub>/su nanoakışkanının yığılması ve 20 gün sonra hız dağılımında az da olsa düşüş olmasına rağmen kolektörler içinde kullanılmış olan diğer akışkan suya göre ısı transferi özellikleri daha yüksek olduğu belirtilmiştir.

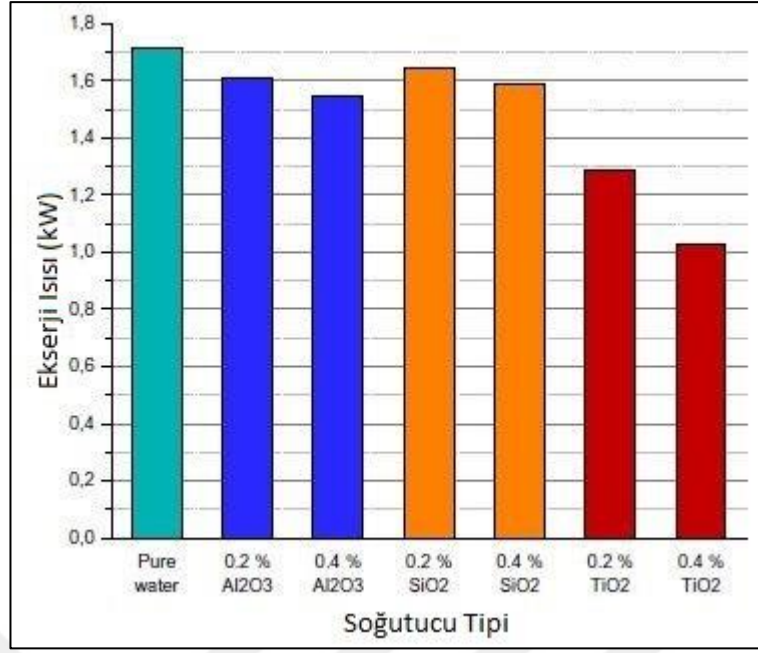
Araç radyatörleri için de yapılan çalışmalar vardır. Koçak Soylu (2018) otomotiv radyatörlerinde soğutma amaçlı nanoakışkan kullanmıştır. Çalışmasının diğer benzer çalışmalardan farkı, farklı hacimlerde gümüş katkılı olmasıdır. Çalıştığı nanoakışkanlar hacimsel oranlarıyla birlikte; TiO<sub>2</sub>, %0,1 Ag katkılı TiO<sub>2</sub>, %0,3 Ag katkılı TiO<sub>2</sub> ve %0,1 Cu katkılı TiO<sub>2</sub>'dir. Çalışmasında %0,3 Ag katkılı TiO<sub>2</sub> nanoakışkanın verimli olduğunu belirtmiştir. Baz akışkan olarak etilen glikol – su karışımını tercih etmiştir. Çalışmasında teorik ve günlük hayatta karşılaşılan durumlar için incelemeler gerçekleştirmiştir.

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

Dizel 4 zamanlı motorların radyatörlerinde nanoakışkanların kullanımı ile ilgili bir çalışma mevcuttur. Erkan et al. (2021) araba radyatörlerinde  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$  nanoakışkanlarını kullanarak dizel motorlarda ekserji analizi yapmışlardır. Dört zamanlı dizel motor radyatöründe geleneksel akışkan olan su ile nanoakışkanların karşılaştırmalarını yapmışlardır. Çalıştıkları oranlar %0,2 ve %0,4 olarak belirlenmişlerdir. Deney sonucunda en iyi ekserji verimini  $\text{TiO}_2$  ile elde ettiklerini belirtmişlerdir. Ayrıca çalışmada %0,2'den %0,4'e artışın olumlu olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca egzoz emisyon ve egzoz sıcaklıklarını da incelemişlerdir. Saf suya göre karşılaştırıldığında en düşük egzoz sıcaklığını  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – etilen glikol ile elde ettiklerini yine  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – etilen glikol ile en iyi emisyon değerlerini elde etmişlerdir. Çalışmalarında elde ettikleri; Şekil 2.5'de soğutucu tipine göre ekserji verimliliğini, Şekil 2.6'da soğutucu tipine göre ekserji ısısı arasındaki ilişkiyi gösteren grafikler sunulmuştur.

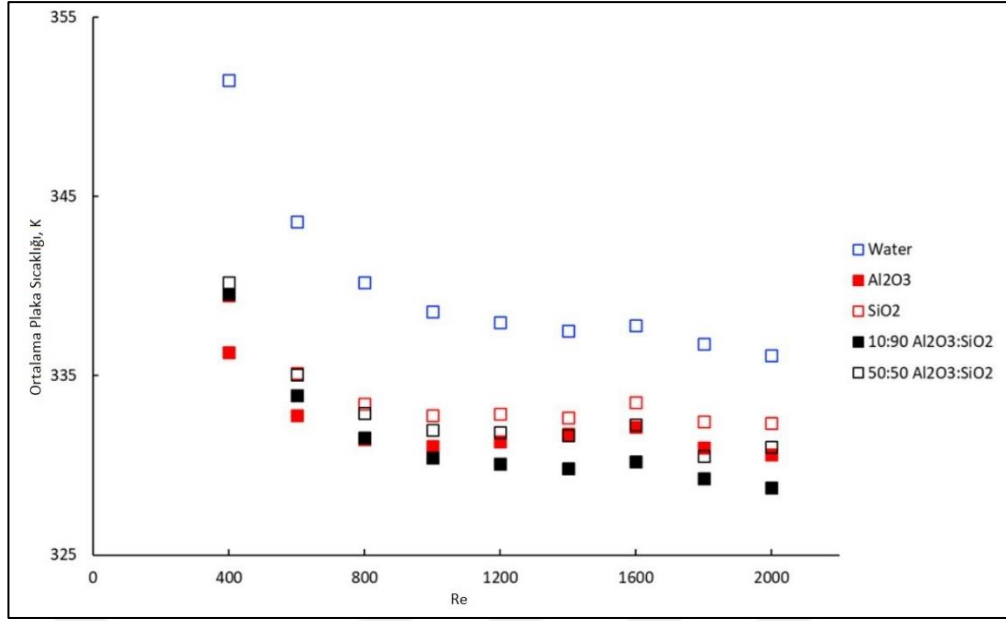


Şekil 2.5. Çalışmada geçen soğutucu tipi ile ekserji verimliliği (Erkan et al. 2021)



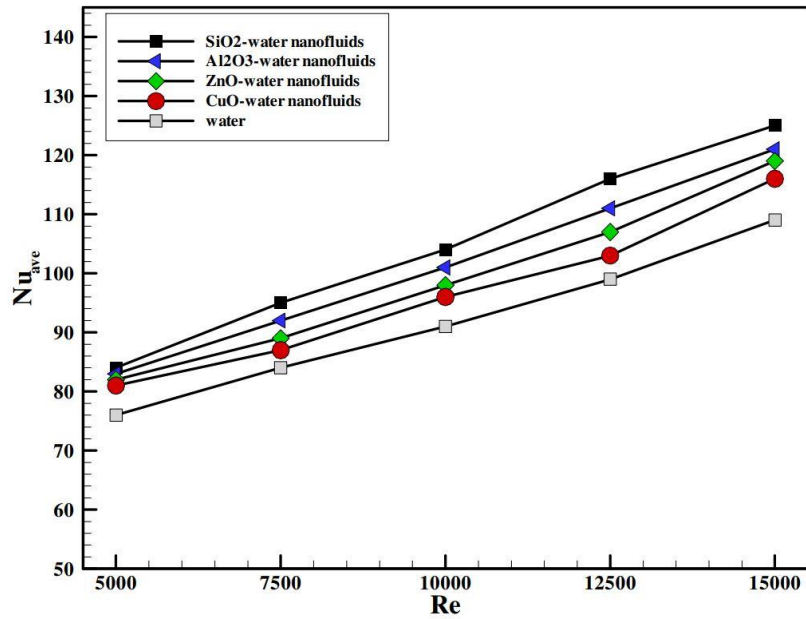
**Şekil 2.6.** Çalışmada geçen soğutucu tipi ile ekserji ısısı arasındaki ilişki (Erkan et al. 2021).

Araçlarda nanoakışkan ile yapılan teknolojik çalışmalardan başka bir tanesine örnek ise, Idris et al. (2021) çalışmalarında Proton Değişim Membran Yakıt Hücrelerinin soğutulması için su bazlı hibrit Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – SiO<sub>2</sub> nanoakışkanları kullanmışlardır. Proton Değişim Membran Yakıt Hücreleri teknolojinin gelişimiyle araçlarda kullanılıp kimyasal enerjiyi doğrudan ve verimli bir şekilde elektrik enerjisine dönüştüren sistemdir (Bıyıkoğlu 2003). Özellikle içten yanmalı motorlarda alternatif teknoloji olarak görülür. Çalışmalarında %0,5 hacimsel oranda tek Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, tek SiO<sub>2</sub>, 10:90 ve 50:50 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – SiO<sub>2</sub> oranları kullanılmıştır. Deneysel sonuçlara göre 10:90 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – SiO<sub>2</sub> nanoakışkanı diğer nanoakışkanlara kıyasla ısı transferi katsayısı daha yüksek olduğu belirtilmiştir.



Şekil 2.7. Ortalama sıcaklıkta çeşitli akışkanların reynolds sayıları (Idris et al. 2021)

Hasan et al. (2018) çalışmalarında CPU soğutmasında 4 farklı tip nanoakışkan kullanmışlardır. Bunlar;  $Al_2O_3$ ,  $CuO$ ,  $SiO_2$  ve  $ZnO$ 'tir. Temel akışkan olarak su kullanmışlardır. Hacim oranları %1,2,3,4 oranlarını tercih etmişlerdir. Çalışmalarında 5.000 – 15.000 Reynolds sayı aralığında çalışıp en yüksek Nusselt sayısının  $SiO_2$  nanoakışkanına ait olduğunu belirtmişlerdir.



Şekil 2.8. Nusselt ve reynolds sayısının farklı nanoakışkanlar için grafiksel gösterimi (Hasan et al. 2018).

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

Literatür araştırmalarında SiO<sub>2</sub> nanopartikülü farklı baz akışkanlar içinde karıştırılmıştır. Rejvani et al. (2019) SiO<sub>2</sub> /su nanoakışkanının özellikleri ve ısı transferi verimliliğiyle ilgili deneysel ve teorik çalışma yürütmüşlerdir. Bu bağlamda 25°C ile 50°C sıcaklıkları arasında ve %0 ile %1,5 farklı oranlardaki SiO<sub>2</sub> /su nanoakışkanının termal iletkenlik ve viskozite değerlerini araştırmışlardır. Deney boyunca elde ettikleri sonuçları SiO<sub>2</sub>/gliserin ve SiO<sub>2</sub>/etilen glikol ile karışlaştırmışlardır. Deneyler sonucunda elde ettikleri değerlere göre SiO<sub>2</sub> /su 30°C ‘den yüksek sıcaklıklarda %1’den düşük SiO<sub>2</sub> /su oranında termal iletkenlik bakımından boru akışkanlarında kullanılmasını önermemekteler. Hatta bazı durumlarda ekonomik olarak boru akışlarında sadece su kullanılmasını öneriyorlar.

Volume fraction vol., %	Density $\rho$ , kg/m <sup>3</sup>	Specific heat $c_p$ , J/kg K	Thermal conductivity $k$ , W/m K	Viscosity $\mu$ , mPa s	Mo, –	Mo Ratio	DVE	TCE	DVE/TCE
At 25°C									
0	997.5	4181.6	0.5995	0.86	2992.801	1	0	0	-
0.125	999.3	4177.3	0.6031	0.86	3008.146	1.005127	0	0.006005	0
0.25	1001	4173	0.6046	0.96	2864.253	0.957048	0.116279	0.008507	13.66849
0.5	1008	4164.4	0.6061	0.97	2869.08	0.958661	0.127907	0.011009	11.61822
0.75	1018.4	4155.8	0.6067	1.11	2715.073	0.907201	0.290698	0.01201	24.20462
1	1021.9	4147.3	0.6085	1.26	2568.442	0.858207	0.465116	0.015013	30.98191
1.25	1039.2	4138.6	0.6103	1.38	2497.421	0.834476	0.604651	0.018015	33.56374
1.5	1059.6	4130	0.6121	1.5	2442.222	0.816032	0.744186	0.021018	35.4079
At 30°C.									
0	995.6	4180.5	0.5995	0.76	3166.719	1	0	0	-
0.125	997.4	4176.2	0.6133	0.76	3218.932	1.016488	0	0.023019	0
0.25	999.1	4171.9	0.6142	0.84	3077.185	0.971727	0.105263	0.02452	4.292875
0.5	1006.1	4163.3	0.6172	0.84	3102.426	0.979697	0.105263	0.029525	3.565269
0.75	1016.6	4154.7	0.6178	0.98	2909.578	0.918799	0.289474	0.030525	9.483031
1	1020	4146.2	0.619	1.11	2753.187	0.869413	0.460526	0.032527	14.15823
1.25	1037.3	4137.6	0.621	1.22	2673.208	0.844157	0.605263	0.035863	16.87699
1.5	1057.7	4129	0.6245	1.33	2615.262	0.825859	0.75	0.041701	17.985

**Şekil 2.9.** SiO<sub>2</sub> – su nanoakışkanının özellikleri ve ısı transferi etkinliği (Rejvani et al. 2019).

Şekil 2.9’deki Mo Mouromtseff sayısıdır ve türbülanslı akışta boru akışının verimliliği için kullanılır. Mo oranı ( $Mo_{nf}/Mo_{bf}$ ) ısı transferinde nanoakışkanın yararlılığını gösterir. Buna göre oran 1’den büyükse o yararlılığın o denli büyük olduğu anlaşılır. Şekil 2.9’de görüleceği üzerine ısı iletkenlik ve viskozite değerleri de ele alınmıştır. Verilere göre akış için pompalama gücü ihmal edilemeyeceğinden bu çalışmada SiO<sub>2</sub> /su nanoakışkanı verimli bulunmamıştır.

Teknolojinin gelişmesiyle ve insanların ihtiyaçlarına cevap olabilmesi için SiO<sub>2</sub> nanopartikülü ve farklı baz akışkanlar kullanılarak yapılan deneylerdeki artış dikkate değerdir.

Termoelektrik elemanların kullanıldığı araştırmalar günümüze yaklaştıkça sayıları artmaktadır. Termoelektrik elemanın özelliklerini belirlemeye çalışıldığı araştırma literatürde mevcuttur. Termoelektrik elemanlarla ilgili çalışmaların büyük çoğunluğunu soğutma teması oluşturmaktadır. Ama bazı çalışmalarda termoelektrik elemanın hem soğutma hem de ısıtma özelliği de kullanılmaktadır.

Aydoğan (2006) çalışmasında peltierin teknik özelliklerini incelemiştir. Bu inceleme sonucunda peltierin en uygun çalışma koşullarını araştırmıştır. Çalışmasında LabView görsel grafik programından yararlanmıştır. Bu çalışmanın sonucunda peltierin sıcaklığının denetlenebilmesi, az yer kaplaması, arıza yapma ihtimalinin az olması, arıza yapsa dahi değiştirilebilmesi gibi avantajları olduğunu belirtmiştir

Başka bir çalışmada tank içindeki su sıcaklığı incelenmiştir. Chein and Chen (2005) çalışmalarında yalıtılmış su tankını soğutmak için termoelektrik soğutucu kullanmışlardır. Soğutucu besleme tankı ve soğutucu toplama tankını ayrı oluşturdukları düzenekte peltierin taban yüzeyinin boyutu ile mikrokanal ısı alıcısının taban boyutunu aynı seçmişlerdir. İş akışkanı olarak su kullandıkları deneyde etkili soğutma hedeflenmiştir. Tank içi, mikrokanal ısı alıcısının giriş ve çıkışı olmak üzere 3 adet ısılı çift (termokupl) kullanmışlardır. Zamana bağlı olarak elde ettikleri sıcaklık grafiklerini makalede paylaşmışlardır. Tank içindeki su sıcaklığı, soğutucu ısıl direnci ve termoelektrik soğutucunun akımı arasındaki ilişkiyi incelediklerini belirttikleri makalede her deneyin 3 saat sürdüğünü belirtmişlerdir.

Başka bir çalışmada termoelektrik eleman üzerine hem teorik hem de deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir. Cosnier et al. (2007) ince bakır yapraklar ve katlanmış alüminyum yapraklarla birleştirilmiş her iki yüzeyinde de ikişer tane termoelektrik modülü yerleştirilmiş ve hava akışı sağlanmış cihaz tasarlamışlardır. Termoelektrik modüller ısı eşanjörleri ile temas halinde olup sistemi hem teorik hem de deneysel olarak incelemişlerdir. Yoğunluğa bağlı olarak hava ve termoelektrik modülün ısıtma ve

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

---

soğutma sıcaklıkları belirlenmiştir. Ayrıca hem ısıtma hem de soğutma için sistemin COP değerleri araştırılmıştır. Son olarak deneysel çalışmalardan elde edilen verilerle teorik veriler karşılaştırılmış ve verilerin örtüştüğü görülmüştür.

Yapılan bir çalışmada termoelektrik elemanın verimli olmadığı fark edilmiştir. Kaya (2008) yapmış olduğu çalışmada peltieri kullanarak soğutma düzeneği kurmuştur. Peltierin sıcak yüzeyini alüminyum kanatçıklarla birleştirip fan desteğiyle sıcaklığın hızlı düşmesini sağlamıştır. Soğutucu haznedeki sıcaklığı ve çevre sıcaklığını ölçüp karşılaştırmıştır. Bu çalışmanın sonucu olarak peltierin çok verimli olmadığını ve boyut itibarıyla taşınması kolay olduğu için tercih sebebi olabileceğini belirtmiştir.

Güneş pilleri ve termoelektrik elemanın kullanımıyla ilgili bir çalışma yapılmıştır. Çalışmada Sungur (2008) Türkiye – Konya konumunda 20 Mayıs 2006 tarihinde açık havada gerçekleştirdiği deneyinde termoelektrik elemanı güneş pilleri ile bağlanmış taşınabilir soğutucu tasarlamıştır. 25°C'deki ortam sıcaklığında gerçekleştirdiği deneyinde zamana bağlı olarak sıcaklığın düştüğünü gözlemlemiştir. Çalışmada kurmuş olduğu düzeneğin kompleks yapıda olmadığını, güneş enerjisinden yararlandığı için çevre dostu olduğunu, ek maliyet gerektirmediğini ve taşınabilir olduğunu belirtmiştir.

Erkol ve Demirel (2012) tasarlamış oldukları düzenekte peltierin soğuk tarafı soğutulmak istenen hazneye yerleştirilebilecek şekilde oluşturmuşlardır. Alüminyum malzeme, peltierin soğuk kısmına yerleştirilip etkin bir soğutma yapmasını sağladı. Peltierin sıcak yüzeyine alüminyum soğutucu yerleştirdi. Çalışmada peltiere verilen gücün fazla olması sebebiyle alüminyum soğutucunun yetersiz kalabileceğini düşündü ve üzerine fan ekleyerek peltierin sıcak yüzü daha hızlı soğutulmaya çalışıldı. Bu çalışmada kurulan sistemin taşınabilir olması ve maliyeti avantaj olarak belirtilmiştir.

Bir çalışmada termoelektrik elemanın soğutma sistemlerinde alternatif bir seçenek olabileceği düşünülmüştür. Benziger et al. (2015) klimaların soğutucu akışkanla çalışmasının yüksek verime sahip olduğunu ancak çevre etkilerinden dolayı alternatif seçeneklerden birinin peltier olabileceğini makalede belirtmişlerdir. Soğutma sisteminin 3 ana bölümden oluştuğunu, bunların soğuk bölüm (buharlaştırıcı /

evaporatör), kompresör (sıkıştırıcı) ve sıcak bölüm (yoğusturucu / kondenser) olduğunu, bunların termoelektrik elemanın benzer parçalara sahip olabileceğini belirtmişlerdir. Bu durumda termoelektrik elemanın (soğutucu olarak kullanıldığı için Peltier etkisinden yararlanılarak) üzerinden geçen elektronlar sayesinde sıcaklık farkı elde edilmesiyle soğutucu yapılabileceğini makalede belirtmişlerdir. Detaylı literatür araştırmasını yaptıklarını belirtirken birçok araştırmacının termoelektrik teknolojisi hakkında çeşitli araştırmalar ve iyileştirmeler yaptıklarını yazmışlardır.

Şahin (2015) çalışmasında hibrit bir buzdolabı tasarlamıştır. İki aşamalı çalışmasında ilk aşamada yalnızca peltierli soğutma yaparken ikinci aşamasında peltierin yanında buzdolabının çalışmasını sağlamıştır. Peltierin sıcak yüzeyini alüminyum soğutucu blok yerleştirmiş ve soğutma sıvısı olarak su kullanmıştır. Çeşitli parametreleri ele alarak sistemin COP değerini araştırmıştır. Kullandığı buzdolabını üç farklı hacme bölerek farklı hacimlerin sıcaklığa etkisini ve COP değerini incelemiştir. Peltierin sıcak yüzeyi için kullanmış olduğu soğutma suyunun debisinin sıcaklık ve zamana bağlı değişimini araştırmıştır. Elde ettiği tüm durumlar için COP değerini hesaplamış ve optimum değeri bulmaya çalışmıştır. Buna göre 63 litrelik hacimde 8V TEC1-12703 peltier modülünde 0,2 COP değerini elde etmiştir. Tüm bunların yanında soğutma maliyet analizini de yapmıştır.

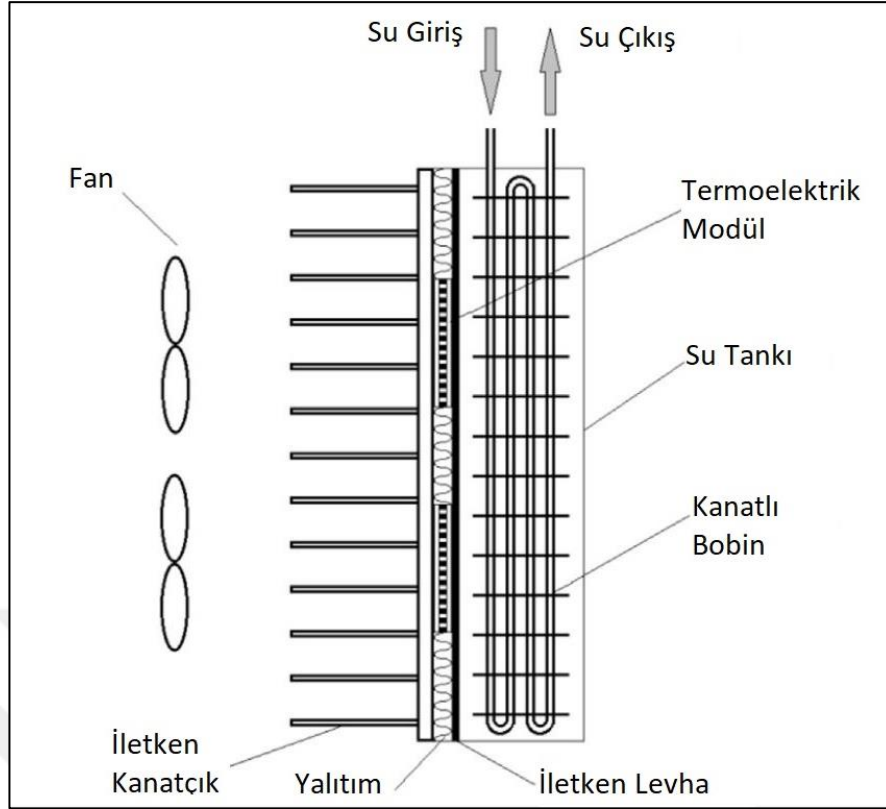
Şimşek (2015) yazmış olduğu yüksek lisans tezinde araç içini soğutabilecek peltierle çalışan klima tasarımını yapmıştır. Normalde araç klimasının çalışması durumunda motor performansının kötü yönde etkilendiğini belirttiği tezinde peltierli soğutma sisteminde mekanik aksamın olmadığı, yakıt tüketiminin olmadığı gibi avantajlardan bahsetmiştir. Tezinde 4 farklı deney gerçekleştirdiğini bunların üçünün başarısızlıkla sonuçlandığını son deneyinin ise başarılı olduğunu belirtmiştir. İlk deneyinde yalıtımının iyi olmaması nedenini göstermiştir. İkinci deneyinde soğutma için kullandığı metallerin ısısının soğutulmaya çalışılan kabinin ısınmasına neden olduğu, yalıtımın iyi yapılmaması ve verimi arttırmak için peltierin soğuk yüzeylerinin arasına bakır boruları eklediğini ama bunların verimli olmadığı sonucuna varmıştır. Üçüncü deneyinde ise kullandığı peltier sayısını arttırmış ama bunun için de verim alamadığını böylece peltier sayısının artması doğrudan doğruya sıcaklığın azalmasına neden olmadığını belirtmiştir. Son deneyinde kullandığı peltierleri tek sırada toplayıp

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

---

soğutucu kabini soğutup fan ile araç içine yönlendirmeye çalışmıştır. Soğutucu kabin içine ve dışına fanlar yerleştirip peltierin sıcak yüzeyleri üzerine alüminyum soğutucu ile desteklemiştir. Bunun sonucunda ortam sıcaklığını 9°C' ye kadar soğutmayı başarmıştır. Ama peltier için harcanan güç ile peltierin hassaslığından dolayı arızalanabilmesi bu durumun pek de verimli olmadığı sonucuna ulaşmıştır.

Yapılan bir çalışmada laboratuvar odasının termoelektrik eleman ile soğutulup soğutulamayacağı konu olmuştur. Tan and Zhao (2015) 1,2, 0,9 ve 1,9 m boyutlarına sahip toplam hacmi 2.1 m<sup>3</sup> olan bir laboratuvarı soğutmak için deney düzeneği kurmuşlardır. Odanın çeşitli yerlerine 36 tane ısı çiftler (termokupl) yerleştirip 1 günlük sıcaklık değişimini incelemiştirlerdir. Bu deneyde termoelektrik soğutma ünitesinde 15 tane termoelektrik modül kullanmışlardır. Termoelektrik modüller su tankı ile kanatlar arasına yerleştirmişlerdir. Şekil 2.10'da kullandıkları soğutma birimi ile ilgili görsel verilmiştir. Tan and Zhao (2015) bu çalışmada 2 mod kullanmıştır. Bir mod sadece termoelektrik soğutma ünitesiyle çalışırken diğer mod ise termoelektrik soğutma ünitesinin yanında faz değişim malzemeli termal depolama bölgesi de kullanılmıştır. Faz değişim malzemesi olarak istenilen fiziksel özellikleri sağladığı için organik parafin tercih edilmiştir. Mod 2 için hava kanalının içinde kanatlı iç boru ve bir dış borudan oluşmaktadır. Dış boru yalıtım malzemesi ile kaplanmıştır. Dış boru ile kanatlı iç boru arası faz değişim malzemesi olarak organik parafin kullanılmıştır. Deney düzeneğinde manuel olarak değiştirilebilir valfler kullanılmıştır. Gün içindeki sıcaklığa bağlı olarak mod 1 veya mod 2 kullanılmıştır. Bu sistem için COP değeri de araştırılmıştır. Hesaplanan COP değerine göre mod 2 kullanımıyla mod 1'e göre %56 oranında artış yaşanmıştır.



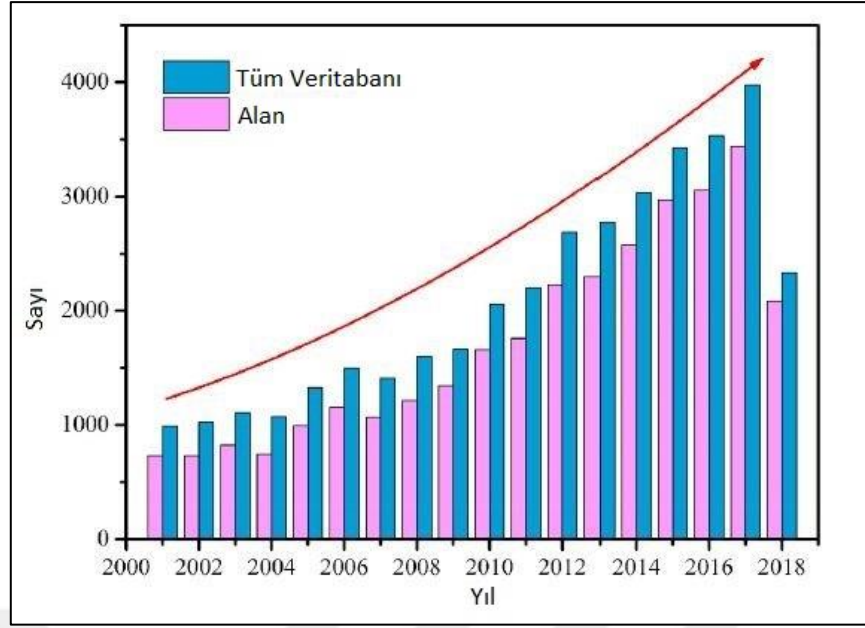
**Şekil 2.10.** Termoelektrik soğutma ünitesinin şematik görünümü (Tan and Zhao 2015)

Termoelektrik elemanın sadece soğutma için değil ısıtma için de kullanıldığına dair örnekler mevcuttur. Arı vd (2017) güneş enerjisinden güç alan bir piknik sepeti tasarlamışlardır. Bu sepeti soğutucu ve ısıtıcı olmak üzere iki bölüme ayırmışlardır. Güneş enerjisini güç kaynağı olarak bağladıkları peltier, soğutucu iki fan yardımıyla hem soğutma hem ısıtma işlemini gerçekleştirmiştir. Böylece insanların kullanımına sundukları taşınabilir hem soğutucu hem ısıtıcı sepet tasarlamışlardır.

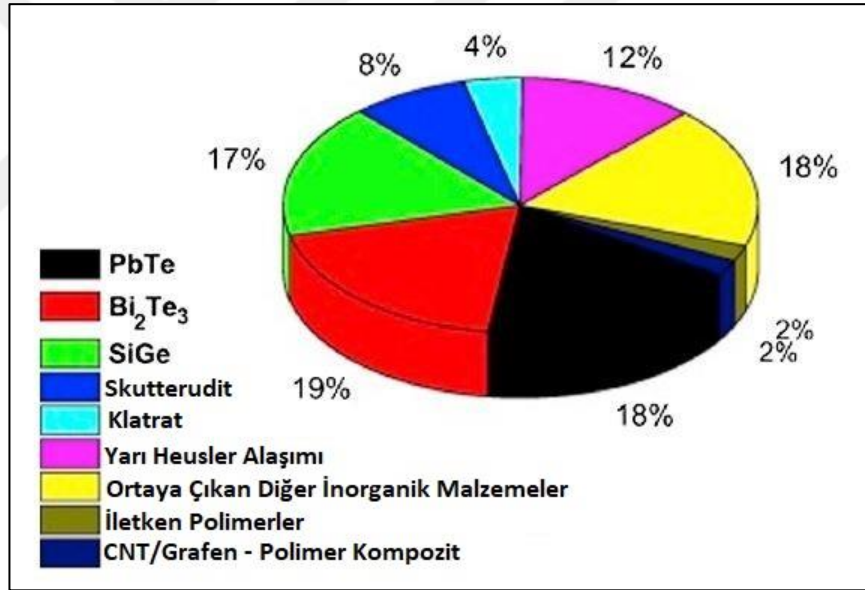
Afshari (2020) çalışmasında peltier kullanarak soğutma ve ısıtma kutuları tasarlamıştır. Tasarlamış olduğu bu kutuların sıcaklık değerlerini ve sistemin çalışması için verdiği gücü ölçmüştür. Bu verilerle sistemin COP değerini hesaplayan Afshari ilk 1 dakikada ısıtma için kurduğu sistemin COP değerinin soğutma sisteminden %233 daha fazla olduğunu hesaplamıştır. Deneyde elde ettiği verileri karşılaştırmalı grafiklerle makalesinde sunmuştur. Peltierin fazla ısınıp zarar görmesini engellemek için soğutma akışkanı olarak su kullanmıştır. Soğutma sistemi için 480 saniye (8 dk.) kullandığını belirten Afshari ısıtma sistemi için 210 saniye (3.5 dk.) kullandığını yazmıştır. Sebep olarak ısıtma sisteminde kullandığı peltierin fazla ısınıp zarar görmesinin önüne geçmek istediğini belirtmiştir.

Termoelektrik eleman giyilebilir teknolojiyle birleşirse insan konforu için araştırma alanı oluşturabilir. Gürlek ve Onat (2017) çalışmasında sıcak havalarda insan beden konforunu arttırmaya yönelik soğutucu deney düzeneği hazırlamışlardır. Hazırlamış oldukları deney düzeneğinde soğutma işlemi için peltier kullanıp Ansys Fluent programında analizini yapmışlardır. İş akışkanı olarak hava kullanılıp farklı hızlardaki değerler incelenmiştir. Üç farklı kanat modelini Ansys Fluent üzerinde incelemesini yapıp en uygun sonucu veren kanat modeli tercih edilmiştir. Yapmış oldukları incelemeler sonucunda çalışma akışkanının hızının 0,5 ve 1 m/s olarak belirlemişlerdir. Deney düzeneğine yerleştirmiş oldukları termokupllar (ısı çifti) sayesinde sıcaklıkları hava çıkışı ve kanatçıkların üzerindeki üç farklı noktaya yerleştirip değerleri incelemişlerdir. Yapılan çalışma sonucunda 7°'lik etkin soğutma sağlandığını ve bu değerın insan konforu açısından kabul edilebilir olduğunu belirtmişlerdir.

Cai et al. (2019) yaptıkları çalışmalarında termoelektrik elemanın çeşitli özelliklerini araştırıp kapsamlı bir inceleme gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında termoelektrik elemanın soğutma metodu, fiziksel parametreleri, temel modelleme teorileri ve daha pek çok başlık altında gerçekleştirdikleri araştırmalarını çeşitli grafiklerle de desteklemişlerdir. Çalışmalarında termoelektrik elemanın sıcak yüzü için çeşitli yöntemlerle (nanoakışkanlı akış, mikrokanallı ısı borusu gibi) soğutma yapıldığında performansının gelişebileceğini belirtirler. Çalışmalarında yıllara göre termoelektrik elemanın kullanımının arttığını gösteren grafiği ve termoelektrik elemanın malzeme içeriğini belirten grafiği paylaşmışlardır (Şekil 2.11 ve Şekil 2.12).



Şekil 2.11. Yıllara göre termoelektrik elemanların kullanımı (Cai et al. 2019)



Şekil 2.12. Termoelektrik elemanın malzeme içerikleri (Cai et al. 2019)

Afshari vd (2020) yapılan peltierli çalışmalarla ilgili kapsamlı literatür çalışması yapmışlardır. İlaç ve gıda malzemeleri için peltierli soğutma sisteminin uygulamaları araştırılmış ve gerekli karşılaştırmalar için literatür çalışmaları gözden geçirilmiştir. Soğutma katsayıları (COP) karşılaştırma yapılarak örneklendirilmeye çalışılmıştır.

Remeli et al. (2020) çalışmalarında peltier kullanarak mini soğutucu tasarlamışlardır. Yalıtılmış kutu içine peltierin soğuk yüzeyi yerleştirilmiştir. Soğuk ve

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

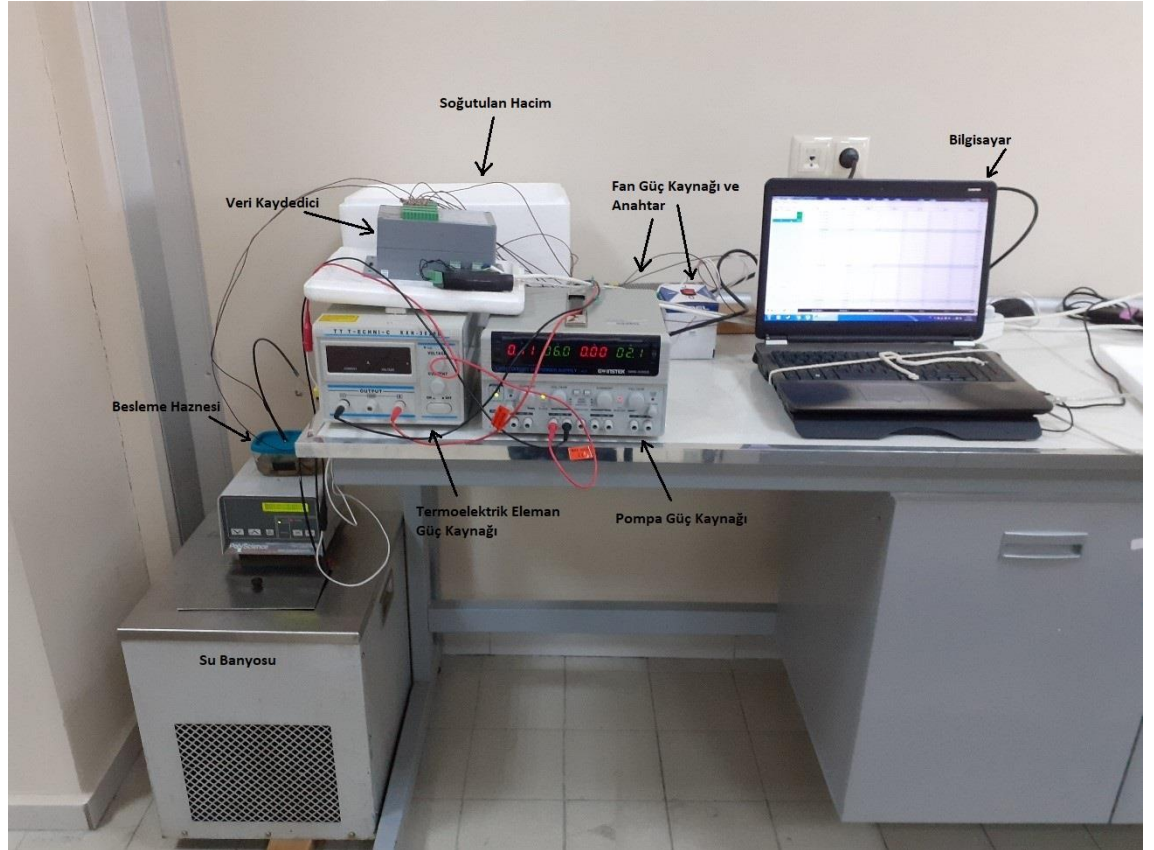
---

sıcak tarafına soğutucu kanallar yerleştirip fan ile işlemin etkisini arttırmak istenmiştir. Soğutucu kanalların biri kutu içindeki soğuk etkiyi arttırmak için konulmuşken diğeri çevreye sıcaklığı daha etkili atmak için konulduğu belirtilmiştir. Elde edilen grafiklerde sadece peltierin soğuk yüzey sıcaklığı değil sıcak yüzey sıcaklığının verileri de zamana bağlı değişimi gösterilmiştir. Elde ettikleri sonuçlara göre peltierin sıcak yüzeyinin sıcaklık değeri 44,91°C olarak ölçmüşlerdir. Teorik olarak belirlenmiş COP değerleri ile deneysel olarak elde ettikleri COP değerini karşılaştırılabilecek grafik makalede paylaşılmıştır.

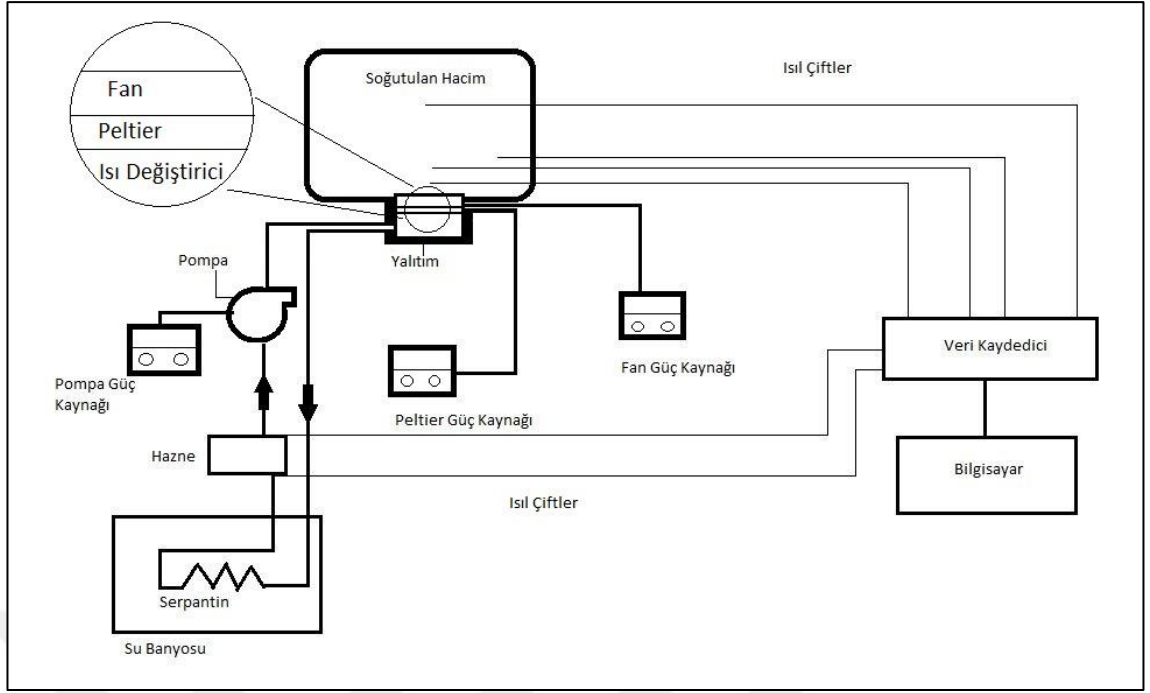
Afshari vd (2022) havadan havaya peltierli soğutma sistemi düzeneğini kurup sayısal analiz yapmışlardır. Isı değiştirici taban kalınlığı ve üzerinden geçen hava hızını dikkate alarak soğutma haznesinin içindeki sıcaklığın zamana bağlı değişimini incelemişlerdir. Ayrıca taban kalınlığı arttıkça -hava hızına bağlı olarak değişmekle birlikte- COP' de de azalma gözlenmiştir. Elde ettikleri sonuca göre ısı değiştiricisinin kalınlığını azaltıp hava hızı arttırıldığında toplam soğutma yükü de artacaktır.

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

Gerçekleştirilen bu çalışmada 26×20×12 cm ve 38×30×13 cm boyutlarında strafor kutu içi termoelektrik soğutucu eleman kullanılarak soğutulması amaçlanmıştır. Termoelektrik soğutucu için 6V, 8V, 10V ve 12V olarak belirlenen voltaj değerlerinde kutu içi sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Kutu içi soğutma fan ile desteklenmiştir. Termoelektrik soğutucu elemanın sıcak yüzeyini soğutmak için sırasıyla saf su ve %0,25, %0,5 ve %1 oranlarında SiO<sub>2</sub> – saf su kullanılmıştır. SiO<sub>2</sub> – saf su nanoakışkanın hazırlanmasında iki adım metodu kullanılmıştır. SiO<sub>2</sub> nanopartikülleri kuru toz olarak satın alınıp yapılan hesaplamalar ve hassas terazi ile ölçümler yapılarak ultrasonik homojenizatör yardımıyla belirli süre içinde karışımı sağlanmıştır. Su banyosunun sıcaklığı 10°C’de sabit tutulmuştur. Şekil 3.1’de deney düzeneğinin resmi, Şekil 3.2’de deney düzeneğinin şematik görünümü sunulmuştur.



Şekil 3.1. Deney düzeneği

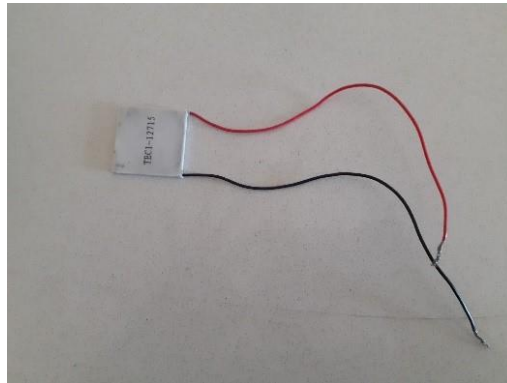


Şekil 3.2. Deney düzeneğinin şematik görünümü

#### 3.1. Deneysel Materyaller

- **Termoelektrik Soğutucu**

Deneyde kullanılan termoelektrik eleman TEC1-12715 ve boyutları 4×4×0,4 cm'dir. Çalışma gerilimi 0 ~ 15,2 doğru akım, çalışma akımı 0 ~ 10 amper aralığında çalışma sıcaklığı ise -30 ~ 70 °C aralığındadır (Anonim 2022j). Şekil 3.3'de deneyde kullanılan termoelektrik eleman gösterilmiştir.



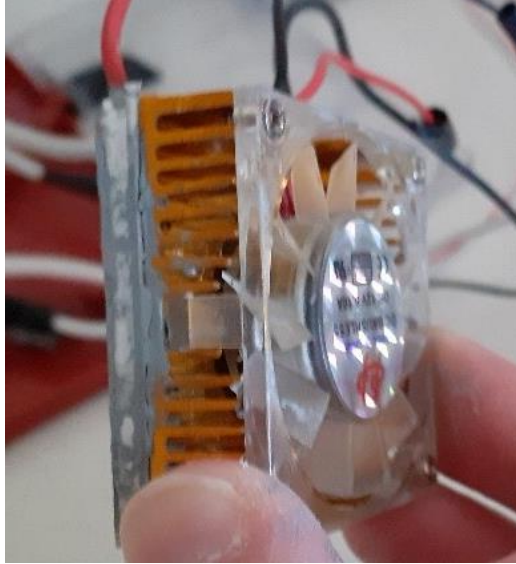
Şekil 3.3. Deneyde kullanılan termoelektrik eleman

- **Fan**

Doğru akımla ve maksimum 12V, 0,10A değerleriyle çalışan fan, kutu içinde etkin ve homojen soğutma sağlanabilmesi için kullanıldı. Deneyde termoelektrik elemanın ilk çalışmasından itibaren tüm deneylerde kapatılmadan çalıştırılmıştır. şekil 3.4'de deneyde kullanılan fan ve şekil 3.5'de soğutulan kutu için hazırlanan fan – iletken macun – termoelektrik eleman görünümü sunulmuştur.



**şekil 3.4.** Deneyde kullanılan fan



**şekil 3.5.** Deneyde kullanılan fan ve termoelektrik elemanın görünümü

- **Isı Değiştiricisi**

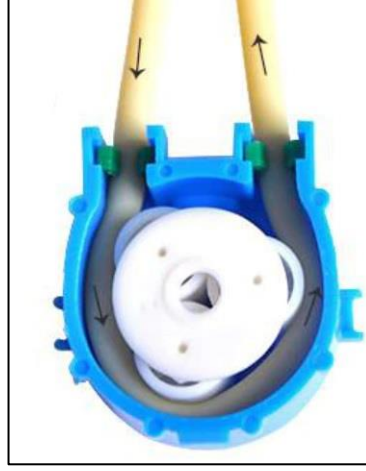
Deney sisteminde peltier modülünün sıcak yüzeyinin soğutulmasında 4×4×1,1 cm boyutlarında bir ısı değiştiricisi kullanılmıştır. Isı değiştiricisinin alüminyum malzemededen imal edilmiştir. Isı değiştiricisinin giriş hattında emme durumunda çalışan pompa bulunmaktadır. Çıkış hattı ise doğrudan nanoakışkan haznesine bağlanmaktadır. Sistemde fan, termoelektrik eleman ve ısı değiştiricisi (kutu içinden dışına doğru) arada iletken macun kullanılarak birbirlerine yapıştırılmıştır. Böylece ısınan termoelektrik elemanın yüzeyi için etkili soğutma yapılması sağlanmıştır. En dışında ise ısı transferini minimumda tutmak için yalıtkan ile kaplanmıştır. şekil 3.6'da deney için kullanılan ısı değiştiricisinin görseli sunulmuştur.



**şekil 3.6.** Deneyde kullanılan ısı değiştirici

- **Pompa**

Deneyde Kamoer – NKP – DCL – S10Y marka peristaltik pompa kullanılmıştır. 6V, 8,5V ve 11V değerlerinde çalıştırılmıştır. Doğru akımla çalışır ve maksimum çalışma voltajı 12V'tur. Saf su ve SiO<sub>2</sub> – saf su nanoakışkanı basılmıştır. şekil 3.7'de deneyde kullanılan pompanın i görüntüsü ve şekil 3.8'de deneyde kullanılan pompa sunulmuştur.

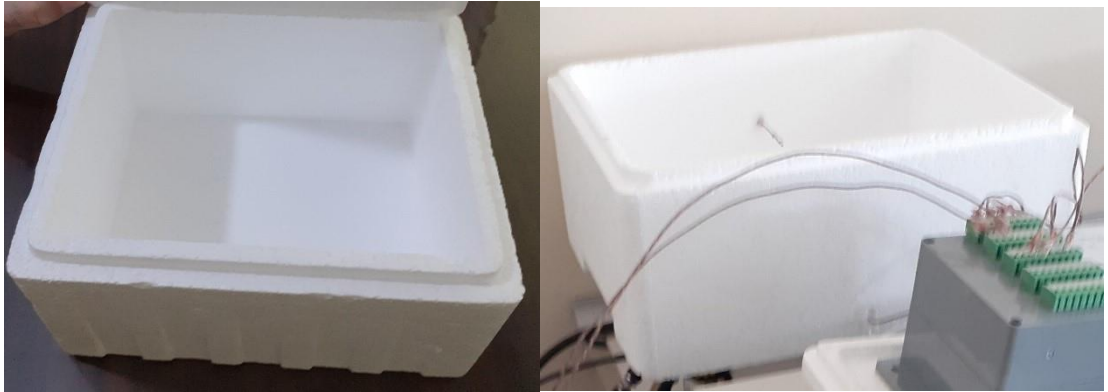


Şekil 3.7. Pompanın iç görünümü (Anonim 2022k)



Şekil 3.8. Kullanılan pompa

- **Kutu**



Şekil 3.9. Soğutma hazneleri

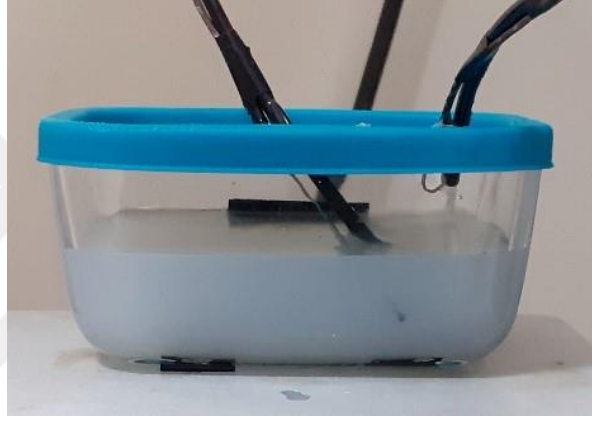
### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

---

Küçük kutunun boyutları 26×20×12 cm ve büyük kutunun boyutları 38×30×13 cm'dir. Soğutulan hacim olarak kullanılmıştır. Şekil 3.9'da deneyde soğutma hacmi için kullanılan kutular görseli paylaşılmıştır.

- **Besleme Haznesi**

Besleme haznesi çalışılan 200 ml için uygun boyuttadır. Burada pompa çıkış ve su banyosundan çıkış sıcaklıkları ölçülmüştür. Şekil 3.10'da deney için kullanılan besleme haznesi görseli sunulmuştur.



Şekil 3.10. Besleme haznesi

- **Su Banyosu**

PollyScience marka su banyosu kullanılmıştır. Kullanılan su banyosu içinde serpantin içinden geçen nanoakışkanın soğutulması amaçlanmıştır. Yaklaşık 15 litre kapasiteye sahip olup hem ısıtma hem de soğutma işlemlerini aynı anda uygulayarak banyo sıcaklığı sabit tutulmuştur. Banyo sıcaklık değeri 10°C'dir. Şekil 3.11'de deneyde kullanılan su banyosunun görseli sunulmuştur.



**Şekil 3.11.** Su banyosu

- **Serpantin**

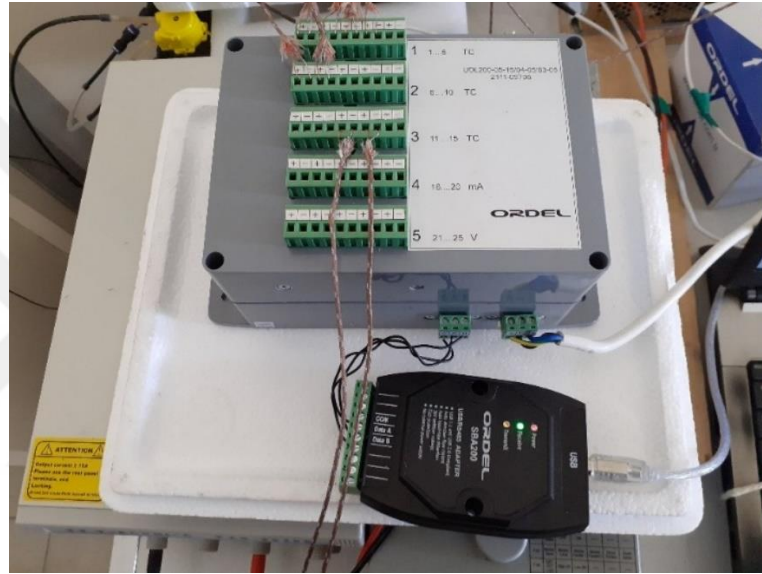
Çapı 3 mm olan bakır serpantin seçilmiştir. Su banyosu içine daldırılmış olan serpantinın içinden geçen nanoakışkanın sahip olduğu ısı enerjisi -sıcaklık farkı sayesinde- transferi sağlanmıştır. Şekil 3.12’de deneyde kullanılan serpantin görseli sunulmuştur.



**Şekil 3.12.** Serpantin

- **Veri Kaydedici (Data Logger)**

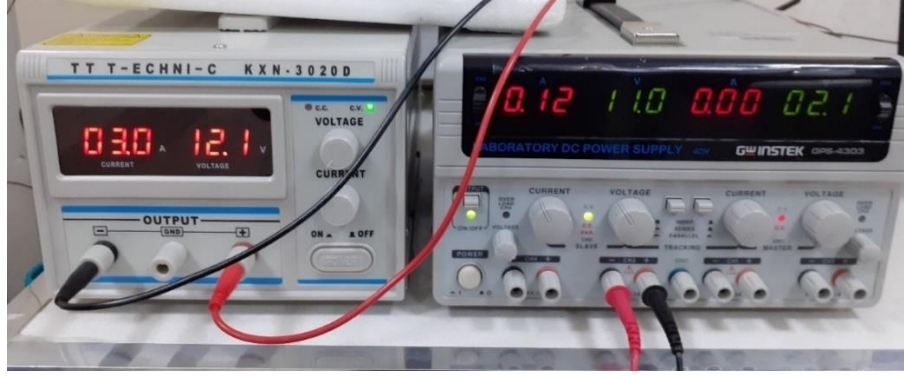
Veri kaydedici olarak ORDEL SBA 200 marka ve ORDEL marka veri toplayıcı platformu kullanılmıştır. İlk üç sırası için sıcaklık değerlerini, dördüncü sırası akım birimi olan amper değerlerini ve son sıra ise voltaj değerini toplayıp bilgisayar ortamına aktarılmasını sağlayan cihazdır. USB ile bilgisayara bağlanabilmektedir.  $\pm \%0,2$  doğruluk oranı ile çalışmaktadır (Anonim 2022i). Şekil 3.13’de deneyde veri kaydedici olarak kullanılan cihaz görseli sunulmuştur.



Şekil 3.13. Veri kaydedici (data logger)

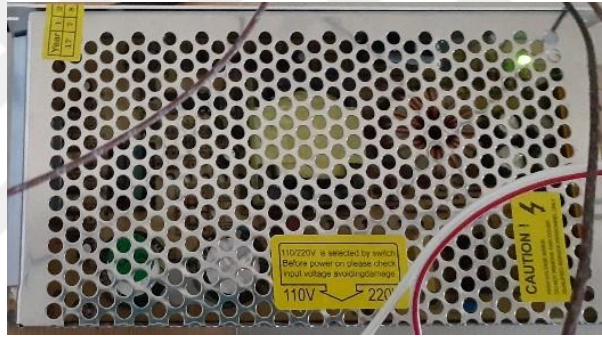
- **Güç Kaynakları**

Termoelektrik soğutucu eleman, pompa ve fan için kullanılan güç kaynakları Şekil 3.14 ve Şekil 3.15’de gösterilmiştir. Termoelektrik eleman için kullanılan güç kaynağı TT T-ECHNI-C KXN – 3020D. Gerilim çıkışı 0 ~ 30V akım çıkışı 0 ~ 20A’dır. Alternatif akımla 220V ile çalışır (Anonim 2022m) (Şekil 3.14 solda). Pompa için kullanılan güç kaynağı GW INSTEK GPS – 4303 markasıdır. 4 kanalı vardır. Çıkış voltaj değeri 30V ve güç değeri 180W’dır (Anonim 2022n) (Şekil 3.14 sağda).



Şekil 3.14. Sırasıyla termoelektrik eleman ve pompa için kullanılan güç kaynakları

Fan için kullanılan güç kaynağı dışarıdan mühaleye izin vermemektedir. Fanın çektiği gerilimve akım değerlerini karşılamaktadır. 110V ~ 220V değerlerinde çalışmaktadır (Şekil 3.15).



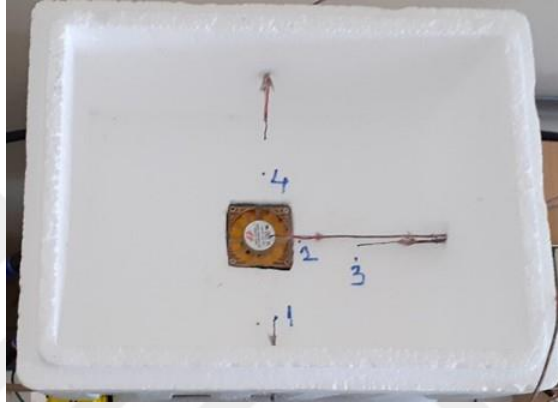
Şekil 3.15. Fan için kullanılan güç kaynağı

- **Isıl Çiftler (Thermocouples)**

Besleme haznesinde iki ve soğutulan kutularda dörder tane olmak üzere toplam on tane ısı çift kullanılmıştır. Kullanılan ısı çiftler “T” tipi bakır – konstantan fiberglass örgülüdür. -200°C ile 350°C arasında kullanım aralığı sağlar. Uluslararası alanda kırmızı ve mavi renklerden oluşmaktadır (Anonim 2022i). Isıl çiftlerin yerleşimi Şekil 3.17’de gösterilmiştir.



Şekil 3.16. Isıl çift (thermocouples)



Şekil 3.17. Isıl çiftlerin yerleşimi

- **Hassas Terazı**

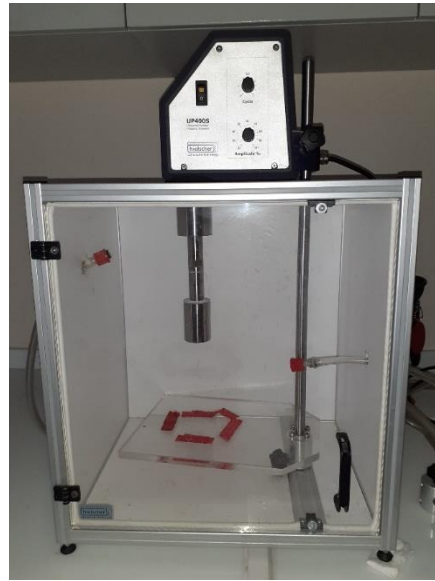
Kullanılan nanoakışkan için hazırlanan nanopartiküllerin kütlelerin ölçümleri yapılmıştır. AXIS ALN 220G modeli kullanılmıştır. Minimum 10 mg, maksimum 220 g ölçümü yapılabilmektedir.  $\pm 0,2$  mg doğruluğa sahiptir. Yüksek ölçüm hassasiyeti gerektiren yerlerde kullanılmaktadır. LCD ekranı ile kolay ve anlaşılabilir şekilde değerler okunmuştur (Anonim 2022o). Şekil 3.18’de deneyde kullanılan hassas terazi görseli sunulmuştur.



**Şekil 3.18.** Hassas terazi

- **Ultrasonik Homojenizatör**

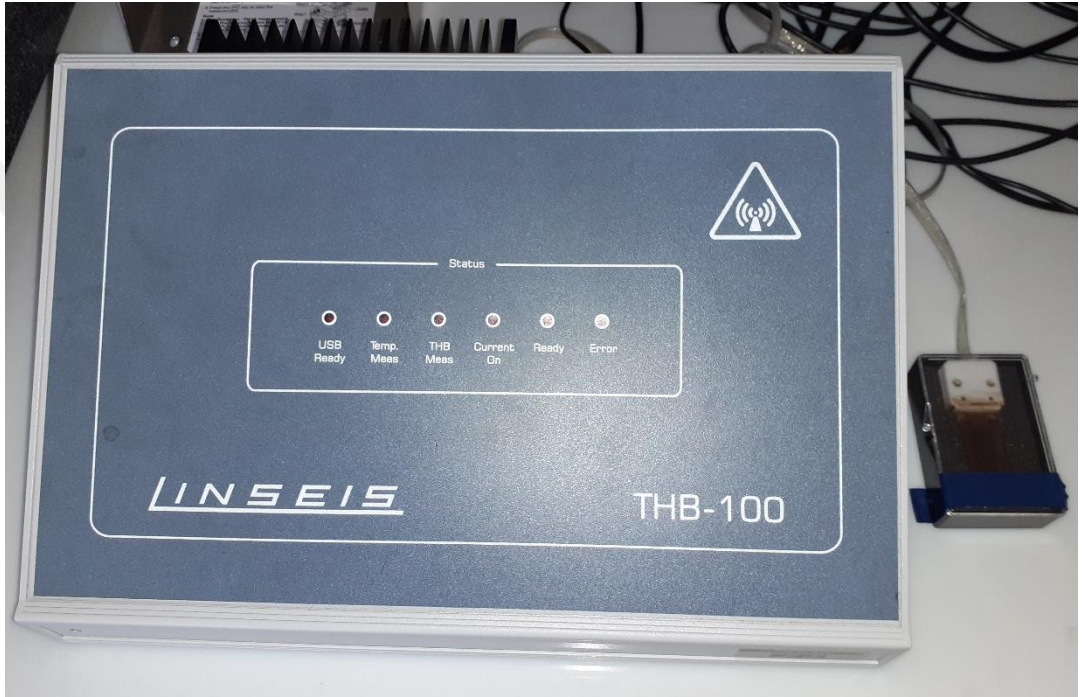
Gerekli ölçümlerden sonra nanopartiküllerin saf su ile homojen bir şekilde karışımını sağlayan cihazdır. Kullanılmasıyla hazırlanan nanoakışkanda çökme veya topaklanma olmadan kullanımı sağlamıştır. Yaklaşık 5 saat süre ile kullanılmıştır. Deneyde HIELSCHER UP400S marka ultrasonik homojenizatör kullanılmıştır. 5 ~ 4000 ml'lik hacimler için kullanılmaktadır (Anonim 2022p). Şekil 3.19'da deneyde kullanılan ultrasonik homojenizatör görseli sunulmuştur.



**Şekil 3.19.** Ultrasonik homojenizatör

- **Isıl İletkenlik Ölçer**

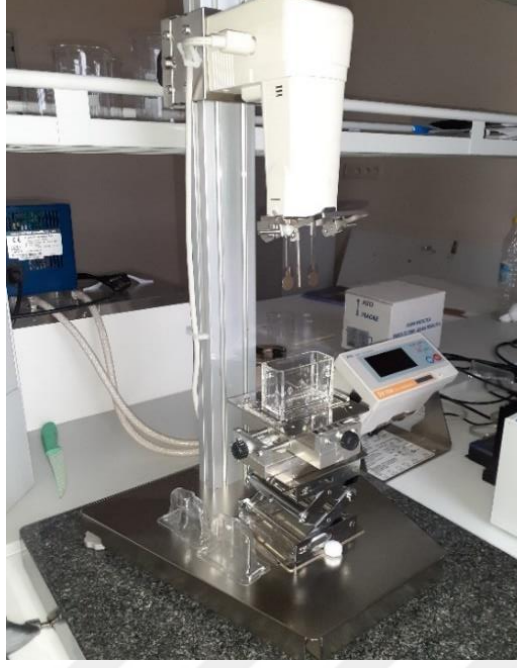
Isıl iletkenlik ölçümünde Linseis THB – 100 marka cihaz kullanılmıştır. Su banyosu kontrolünde 20°C- 60°C sıcaklıkları arasında 10°C'lik artışla sıcaklık değerlerine karşılık gelen termal iletkenlik değerleri ölçülmüş ve cihazın yazılımıyla bilgisayara aktarılmıştır. Kullanılan numuneler yaklaşık 100 ml'dir. Şekil 3.20'de ısıl iletkenlik ölçümü için kullanılan cihaz görseli sunulmuştur.



**Şekil 3.20.** Isıl iletkenlik ölçer

- **Viskozimetre**

Ölçümlerde A&D SV – 10 marka vibro viskozimetre kullanılmıştır. İki tane ince sensör plakaların, yaklaşık 50 ml hacmindeki numunenin içine daldırılıp sabit frekansta hareket ettirilip viskozite değerlerinin okunmasına dayalıdır (Anonymous 2022a). WiseCircu su banyosu 20°C- 60°C sıcaklık aralığında numunelerin tutulmasını sağlamış ve 10°C'lik artış sağlayıp değerlerin bu şekilde okunmasını sağlamıştır. Şekil 3.22'de viskozimetre ve Şekil 3.23'de kullanılan su banyosu ile ilgili görsel sunulmuştur.



Şekil 3.21. Viskozimetre



Şekil 3.22. Su banyosu

### 3.2. Nanoakışkanın Hazırlanması ve Karakterizasyonu

SiO<sub>2</sub> – saf su nanoakışkanı hazırlanması iki adım metodu ile yapılmıştır. İlk olarak kuru toz halinde satın alınan SiO<sub>2</sub> nanopartikülü belirtilen eşitlikler yardımıyla saf su içindeki hacimsel oranları belirlenmiştir. İstenilen hacimde (200 ml için) hacimsel oranlar belirlenip saf su ile gerekli yöntemler kullanılarak hazırlanmıştır. Aşağıda kullanılan eşitlikler verilmiştir.

$$\varphi = \frac{\rho_{nf} - \rho_b}{\rho_p - \rho_b} \quad (3.1)$$

Burada temel akışkan ve nanopartikül yoğunluğu bilinmektedir. Nanoakışkan yoğunluğu ( $\rho_{nf}$ ) eşitlik yardımıyla bulunabilir. Ayrıca  $\varphi$  hacimsel oranı (0,0025, 0,005, 0,01) verir.

$$\rho_{nf} = \frac{m_{nf}}{V_{nf}} \quad (3.2)$$

Formülde geçen  $m_{nf}$  nanoakışkan kütlesidir.  $V_{nf}$  ifadesi hacimdir. Burada  $m_{nf}$  hesaplanır.

$$c_m = \frac{m_p}{m_{nf}} = \varphi \frac{\rho_p}{\rho_{nf}} \quad (3.3)$$

Burada  $c_m$  nanoakışkanın kütle oranıdır. Partikül ve nanoakışkanın yoğunlukları bilindiği için nanopartikül kütlesi  $m_p$  kolayca bulunabilir. Baz akışkanın kütlesi ve hacmini belirlemek için;

$$m_b = m_{nf} - m_p \quad (3.4)$$

$$\rho_b = \frac{m_b}{V_b} \quad (3.5)$$

Nanoakışkanın ısı kapasitesini belirlemek için;

$$(\rho \times c_p)_{nf} = (1 - \varphi)(\rho \times c_p)_b + \varphi(\rho \times c_p)_p \quad (3.6)$$

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

Eşitlikleri kullanılmıştır. %0, %0,25, %0,5 ve %1 oranlarında kullanılan akışkanlar hacimsel nanopartikül oranları hesaplanmıştır. İlgili veriler Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2’de gösterilmiştir.

**Çizelge 3.1.** SiO<sub>2</sub> nanopartikülün özellikleri (Mandev 2017)

<b>Adı</b>	<i>Silikon Dioksit</i>
<b>Moleküler Formül</b>	<i>SiO<sub>2</sub></i>
<b>Moleküler Ağırlık (g/mol)</b>	<i>60.08</i>
<b>Yoğunluk (g/ml)</b>	<i>2,2 – 2,6 (25°C)</i>
<b>Bulk Yoğunluk (g/ml)</b>	<i>0,011</i>
<b>Partikül Boyutu (nm)</b>	<i>10 – 20</i>
<b>Renk</b>	<i>Beyaz</i>
<b>Safılık (%)</b>	<i>99,5</i>
<b>Kaynama Noktası (°C)</b>	<i>2230</i>
<b>Ergime Noktası (°C)</b>	<i>&gt;1600</i>

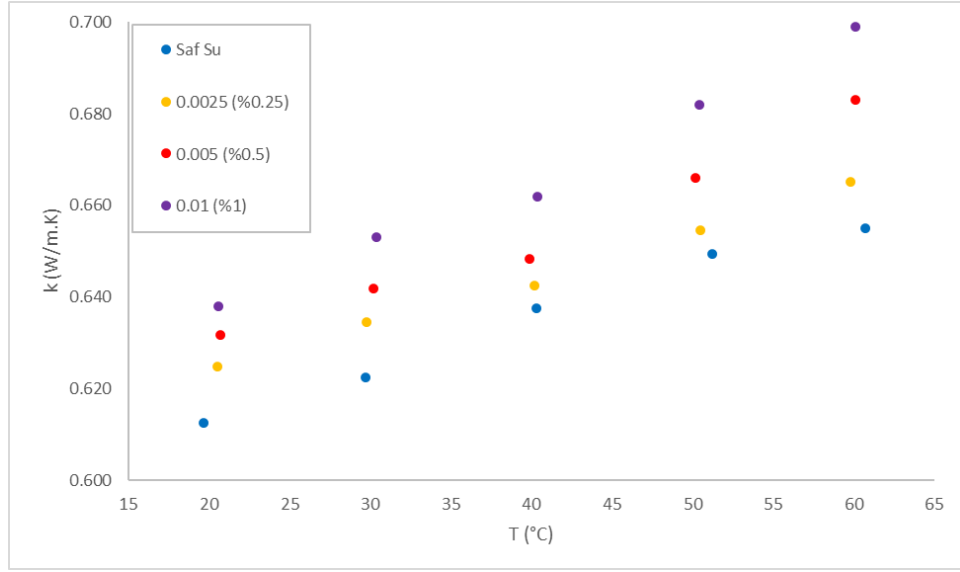
**Çizelge 3.2.** Hazırlanan nanoakışkanlar için oranlar (200 ml)

<b>Hacimsel Oran</b>	<b>Nanoakışkan Hacmi (ml)</b>	<b>Nanoakışkan Kütlesi (g)</b>	<b>Kütleli oran</b>	<b>SiO<sub>2</sub> Kütlesi (g)</b>	<b>Saf Su Kütlesi (g)</b>	<b>Saf Su Hacmi (ml)</b>
0	200	199,40	0	0	199,40	200,00
0,0025	200	200,15	0,0062	1,25	198,90	199,50
0,005	200	200,90	0,0124	2,50	198,40	199,00
0,01	200	202,41	0,0247	5,0	197,41	198,00

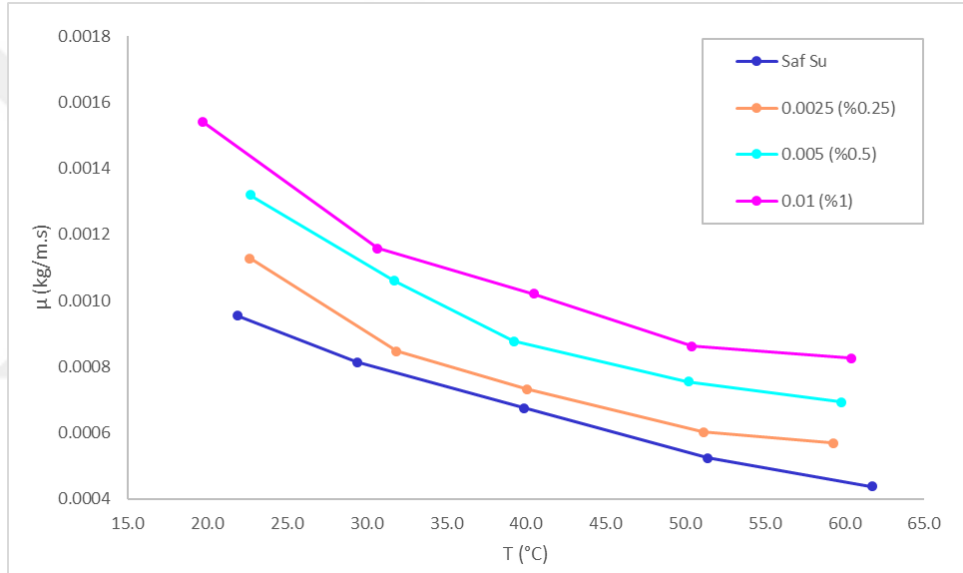
Yapılan hesaplamalar sonucu saf su ile hassas terazi yardımıyla ölçülüp konulan SiO<sub>2</sub> nanopartikülü kaba konulmuştur. Önce mekanik olarak karıştırılmıştır. Daha sonra ultrasonik homojenizatör yardımıyla homojenleştirme işlemine tabi tutulmuştur. Bu işlemler, hazırlanan diğer oranlar için de tekrarlanmıştır. Farklı oranlarda hazırlanan nanoakışkanda çökme, topaklanma gibi olumsuzluklar gerçekleşmemiştir.

Deneylerde kullanılan saf su ve farklı oranlarda (%0,25, %0,5, %1,0) nanopartikül içeren nanoakışkanların dinamik viskozite ve ısıl iletkenlik değerleri sıcaklığa karşı değerleri tespit edilmiştir. Şekil 3.20’de sıcaklığa bağlı olarak sırasıyla ısıl iletkenlik ve viskozite değerleri sunulmuştur.

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM



a



b

**Şekil 3.23.** Saf su, %0,25, %0,5 ve %1,0 nanopartikül oranlarına sahip nanoakışkanların sıcaklığa bağlı (a) ısı iletkenlik ve (b) dinamik viskozite değerleri.

Şekil 3.23’de ısı iletkenlik ve viskozite değerlerini gösteren grafikler sunulmuştur. Hem ısı iletkenlik hem de viskozite değerlerinde saf su en düşük değerlere sahipken artan nanopartikül oranlarından oluşan nanoakışkanlar en yüksek değerlere sahip olmuşlardır. Bu durum, nanopartiküllerin artmasıyla ısı iletkenliği arttırırken aynı zamanda viskoziteyi de arttırdığının göstergesidir.

#### 3.3. Isı Transferi Hesapları

Oluşturulmuş deney sisteminde ısı transferi, ikiye ayrılarak çözümlenmiştir. Birinci kısım için soğutma haznesinin içindeki havanın soğutulması olarak belirlenmiştir. Bunun için,

$$m = \rho V \quad (3.7)$$

Burada  $\rho$  akışkan (hava) yoğunluğunu,  $V$  soğutulan hacmi ve  $m$  ise havanın kütesini temsil etmektedir.

$$Q = mc_p \Delta T \quad (3.8)$$

Termoelektrik eleman ile soğutma haznesinden transfer edilen ısı yukarıda verilen (3.8) formülü yardımıyla hesaplanır.  $\Delta T$  ifadesinde  $(T_2 - T_1)$  ifadesidir ve deney başlangıcındaki sıcaklık ile deney sonundaki sıcaklık farkını ifade eder. Formülde geçen  $c_p$  ifadesi ise nanoakışkanın özgül ısısını temsil etmektedir. Nanoakışkan içindeki nanopartikül oranına göre değişiklik göstermiş ve hesaplamalarda buna dikkat edilmiştir. Sistemin COP değeri için sisteme verile toplam iş yükü hesaplanır;

$$W = \dot{W} \times t = V \times I \times t \quad (3.9)$$

$$W_{toplam} = W_{fan} + W_{peltier} + W_{pompa} \quad (3.10)$$

$$COP = \frac{Q}{W_{toplam}} \quad (3.11)$$

İkinci kısım için ısı değiştirici elemanın içindeki nanoakışkanın ısı transferi için aşağıdaki formül baz alınmıştır.

$$\dot{Q} = hA(T_s - T_\infty) \quad (3.12)$$

Burada  $A$  ifadesi ısı değiştiricisinin alanını temsil eder ve şöyle hesaplanır;

$$A = \pi DL \quad (3.13)$$

Burada  $D$  ısı değiştiricisinin içindeki akışın aktığı çapı temsil eder ve 0,7 cm olduğu belirlenmiştir,  $L$  ısı değiştiricisinin içinde akışın yol aldığı uzunluğu temsil eder ve 16 cm olduğu belirlenmiştir. Denklem (3.12)'den  $h$  ifadesi çekilip deneysel ortalama taşınım ısı transfer katsayısı elde edilmiş olur;

$$h = \frac{\dot{Q}}{A \left( T_s - \left( \frac{T_g + T_c}{2} \right) \right)} \quad (3.14)$$

Elde edilen taşınım katsayısı ile Nusselt sayısı hesaplanır.

$$Nu = \frac{h \times D}{k} \quad (3.15)$$

Reynolds sayısı hesabı için,

$$Re = \frac{\rho U_{ort} D}{\mu} \quad (3.16)$$

Bu denklemde ortalama hız kullanılmadığından ( $U_{ort}$ ) bu çalışma için kütleli debi ifadesi yardımıyla Reynolds sayısı hesaplanmıştır.

$$Re = \frac{4\dot{m}}{\pi D \mu} \quad (3.17)$$

Bu denklemde  $D$  ifadesi ısı değiştiricisinin içinde akışın aktığı çaptır ve değeri 0,007 m olarak belirlenmiştir.

### 3.4. Belirsizlik Analizi

Deneylerde yapılan çalışmalar için belirsizlikten kaynaklı hatalar olabilir. Bunları belirlemek adına yapılan hata analizinde bu durumu tespit etmek için Kline ve McClintock yöntemi uygulanmıştır.

$$w_R = \left[ \left( \frac{\partial R}{\partial x_1} w_1 \right)^2 + \left( \frac{\partial R}{\partial x_2} w_2 \right)^2 + \dots + \left( \frac{\partial R}{\partial x_n} w_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (3.16)$$

Güç kaynakları için belirsizlik analizi yapılmıştır. Eşitliklerdeki parametreler uygun kataloglardan belirlenip denklemlerde yerine yazıldığında aşağıdaki sonuçlar elde edilir (Çizelge 3.3).

**Çizelge 3.3.** Belirsizlik analizi sonuçları

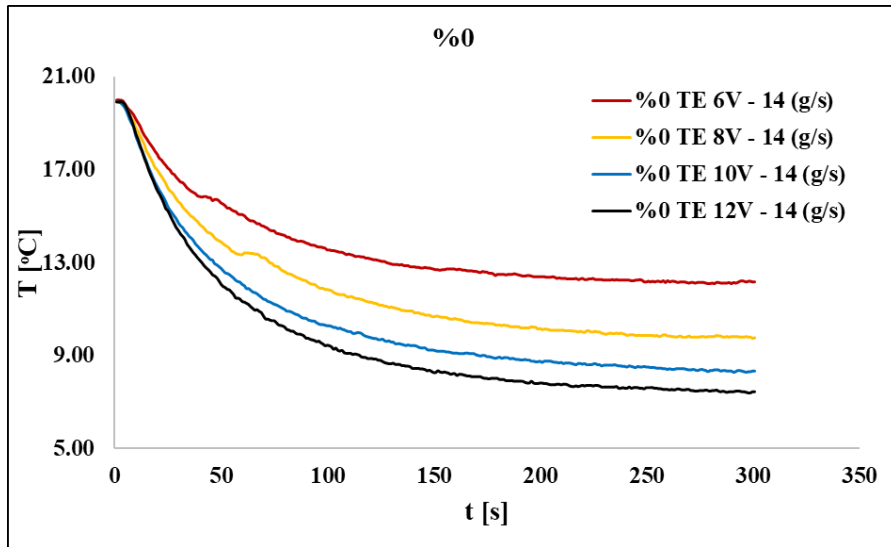
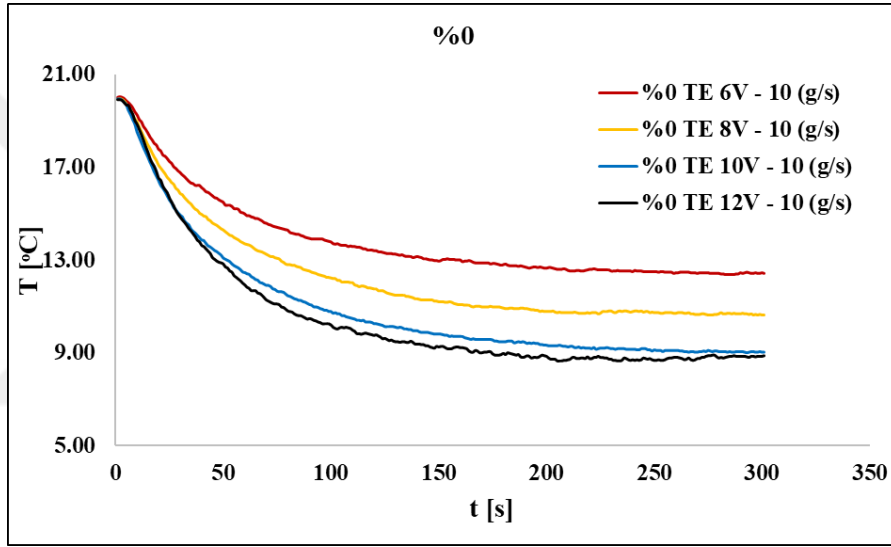
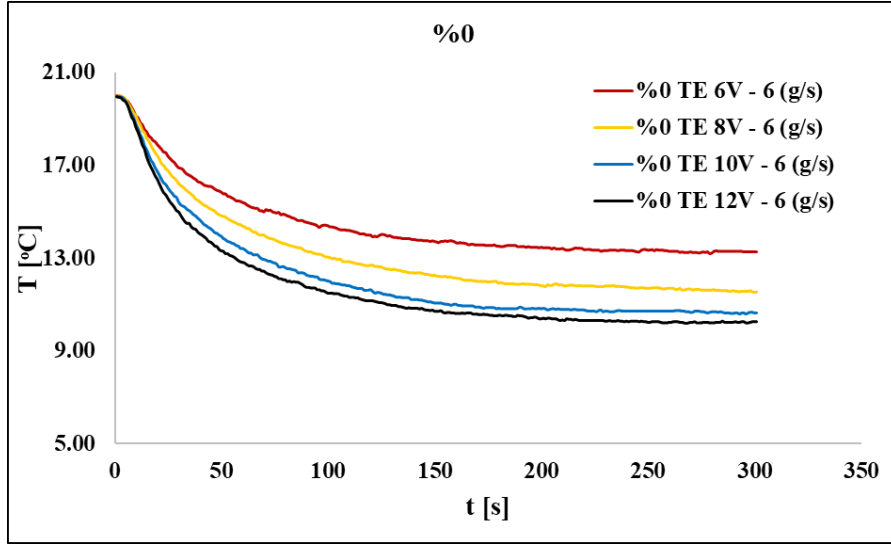
	Ölçülen		Hesaplanan
Fan	$V_F$	%0,01+3mV	%3,20
	$I_F$	%0,2+3mA	
Termoelektrik Eleman	$V_{TE}$	%0,01+2mV	%0,195
	$I_{TE}$	%0,2+3mA	
Pompa	$V_P$	%0,01+3mV	%2,70
	$I_P$	%0,2+3mA	
T	%0,4		-
L	%0,1		-

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Yapılan çalışmada 26×20×12 cm ve 38×30×13 cm boyutlarına sahip küçük ve büyük iki farklı hacme sahip kutuların soğutması amaçlanmıştır. Soğutma elemanı olarak kutu içinde termoelektrik eleman ile birlikte etkin ve kararlı soğutma sağlayabilmek için fan kullanılmıştır. Termoelektrik elemanın sıcak yüzeyini soğutmak için 4×4×1,1 cm boyutlarında ısı değiştiricisi kullanıp içinden farklı oranlarda (saf su, %0,25, %0,5 ve %1,0) nanopartikül içeren nanoakışkan kullanılmıştır. Nanoakışkan peristaltik pompa yardımıyla basılmıştır. Isı değiştiricisinden çıkan nanoakışkan, 10°C sıcaklıkta tutulan su banyosu ve içerisindeki serpantinden geçirilerek sıcaklığının düşmesi sağlanmıştır.

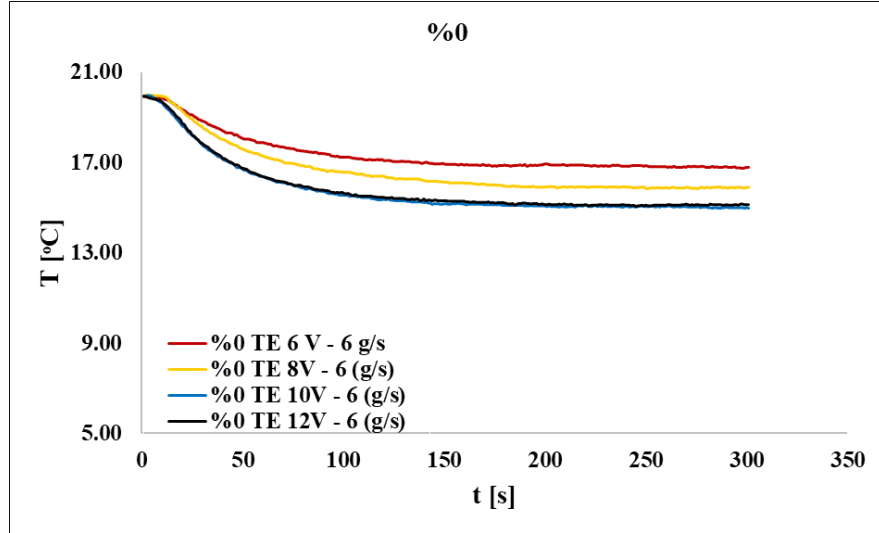
Termoelektrik eleman için kullanılan voltaj değerleri artırılarak termoelektrik elemanın sağlayacağı kutu içi sıcaklığı düşürmek amaçlanmıştır. Kutu dışında kalan termoelektrik elemanın sıcak yüzeyi nanoakışkan kullanılarak soğutulmuştur. (Sıcak yüzey soğutulmadığında termoelektrik eleman hasar görüp bozulacaktır.) Termoelektrik elemana artırılarak verilen voltaj değerleri, kutu içinin sıcaklığını düşürmekle birlikte termoelektrik elemanın sıcak yüzeyinin sıcaklığını da arttırmaktadır. Yani artan voltaj değerlerinde sıcaklık farkı artmaktadır. Kutu içi sıcaklığın zamana bağlı değişimi çeşitli grafiklerde aşağıda paylaşılmıştır.

Termoelektrik elemanın sıcak yüzeyinin soğutulması için nanoakışkanın farklı debilerde basılması sağlanmıştır. Bu durumda düşük ve yüksek debilerin sıcak yüzeyinin soğutması ve dolayısıyla kutu içindeki sıcaklığa etkisi de araştırılmıştır. Aşağıdaki grafiklerde termoelektrik eleman değerleri sabit tutulup değişen kütle debisine göre sıcaklık değişimleri zamana göre incelenmiş ve aynı işlem sabit kütleli debi değişen termoelektrik eleman voltaj değerleri için de yapılmıştır. Çalışılan deneyde sistemin COP değeri olarak bilinen soğutma performansı değerleri de çeşitli grafiklerde sunulmuştur. Aynı zamanda sistem için kullanılan toplam ısı enerjisi de aşağıda sunulmuştur. Bütün değerlerde değişen nanopartikül oranları da zamana göre değişimleri incelenmiştir.

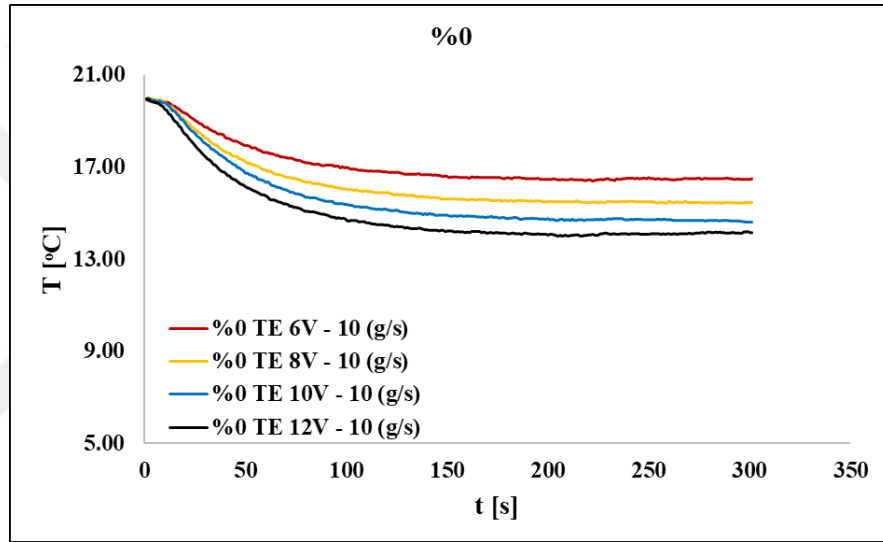


**Şekil 4.1.** 6,24 L hacim ve %0 hacimsel oran için farklı gerilim değerlerinde soğutulan ortamın zamana bağlı sıcaklık değişimleri; (a) 6 g/s, (b) 10 g/s, (c) 14 g/s.

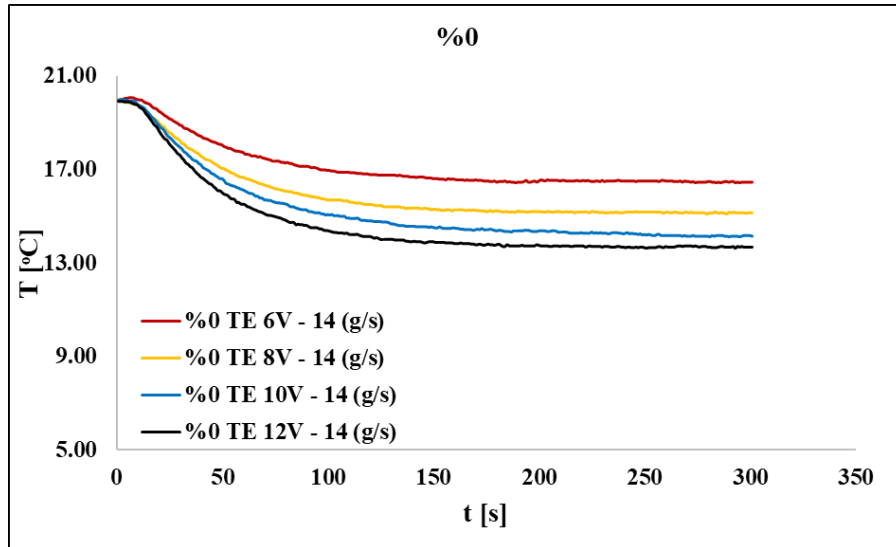
Şekil 4.1'de 6,24 l'lik hacimde saf su için değişen termoelektrik eleman değerlerinin değişen kütlesel debi değerlerine göre sıcaklıkların zamana göre değişimleri gösterilmiştir. Sıcaklık eğrileri incelendiğinde saf suya göre uygulanan termoelektrik eleman gerilim değerlerinin artmasıyla elde edilen sıcaklıkların azaldığı görülebilir. En az soğutma, termoelektrik elemanın 6V gerilimi ve 6 g/s kütlesel debisinde görülmüştür. Her üç grafik de incelenirse TE 10V ve TE 12V değerlerinin birbirine göre büyük bir fark oluşturmadığı görülebilir. TE 6V ve TE 8V değerleri incelendiğinde sıcaklık eğrileri arasındaki farkın belirgin olduğu görülecektir. Sıcaklık eğrileri yaklaşık 130. saniyeden sonra asimptotik özellik gösterip daha fazla sıcaklık düşüşü görülmemiştir. Elde edilen en düşük sıcaklık TE 12V ile 14 g/s kütlesel debi değerinde yaklaşık 7°C olduğu görülebilir. Grafikler dikkatle incelendiğinde artan kütlesel debi ve artan termoelektrik eleman gerilim değerlerinde en düşük sıcaklık elde edildiği görülebilir. Termoelektrik elemanın düşük gerilim değerleri ve kütlesel debinin düşük değerlerinde çalıŐılmasıyla elde edilecek sıcaklıkların daha yüksek olması fark edilecektir.



a



b



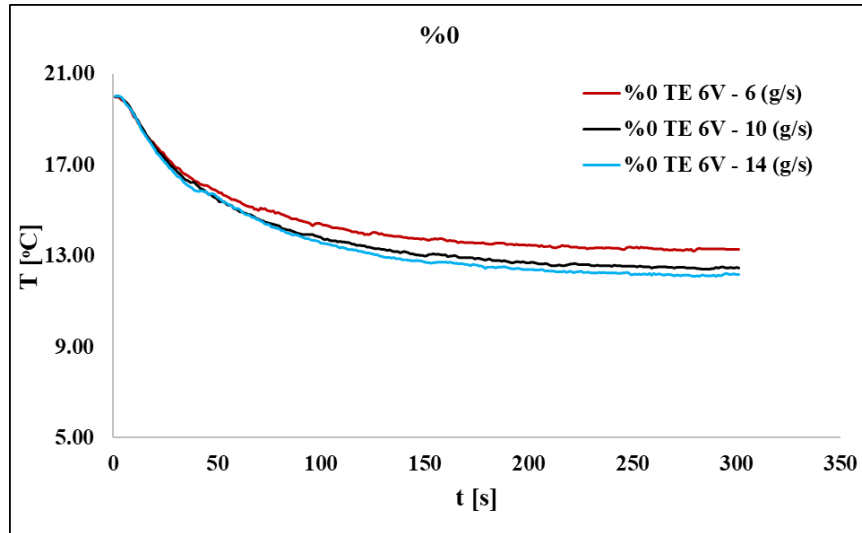
c

Şekil 4.2. 14,82 L hacim ve %0 hacimsel oran için farklı gerilim değerlerinde soğutulan ortamın zamana bağlı sıcaklık değişimleri; (a) 6 g/s, (b) 10 g/s, (c) 14 g/s.

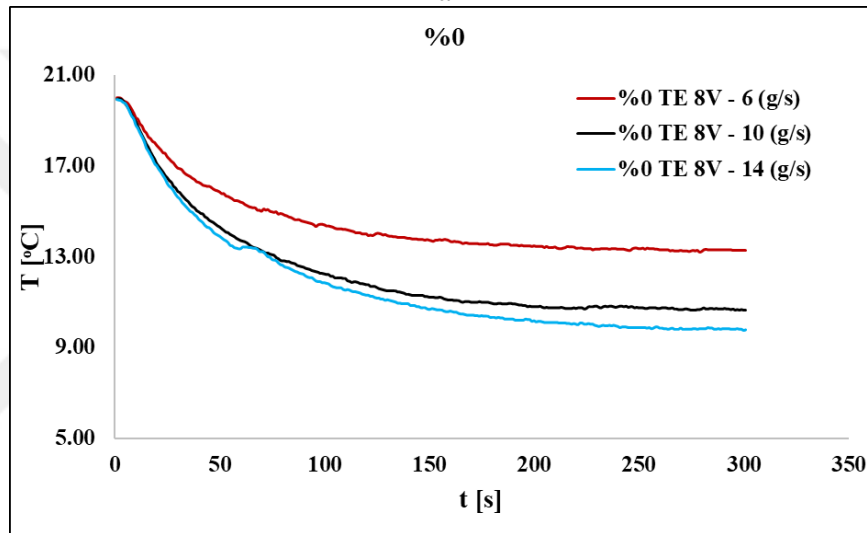
Őekil 4.2’de 14,82 l’lik hacimde saf su ile yapılan deneyde artan termoelektrik eleman gerilimleri ve artan kütlesel debi değerlerine göre zamanla deęiŐen sıcaklık eğrileri elde edilmiŐtir. Grafikler incelendiğinde termoelektrik eleman gerilim değerleri ve kütlesel debi değerleri arttıkça sıcaklık dűŐüŐü görülecektir. Her üç grafikte de sıcaklık eğrilerindeki sırasıyla birbirleri arasındaki en büyük fark TE 6V ile TE 8V arasında olduğu görülecektir. Aynı Őartlar altında en az fark ise TE 10V ile TE 12V arasında olduğu görülecektir. Grafiklerde görülen en düşük sıcaklık TE 12V ve 14 g/s değerlerinde yaklaşık 13°C olduğu fark edilebilir.

Őekil 4.1’de verilen 6,24 l’lik hacim için görülen sıcaklık eğrileri ile Őekil 4.2’de verilen sıcaklık eğrileri arasındaki fark görülecektir. Soęutulan hacim arttıkça eğrilerde görülen sıcaklık dűŐüŐlerinin az olduğu fark edilmelidir. Soęutma yapılan hacim ile elde edilen sıcaklıklar arasında doğrudan iliŐki olduğu be Őekilde fark edilmelidir.

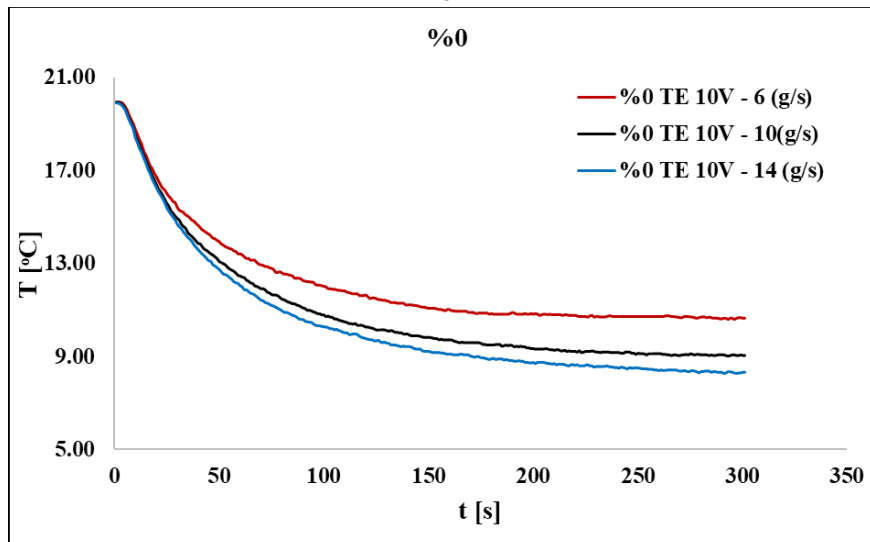
#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



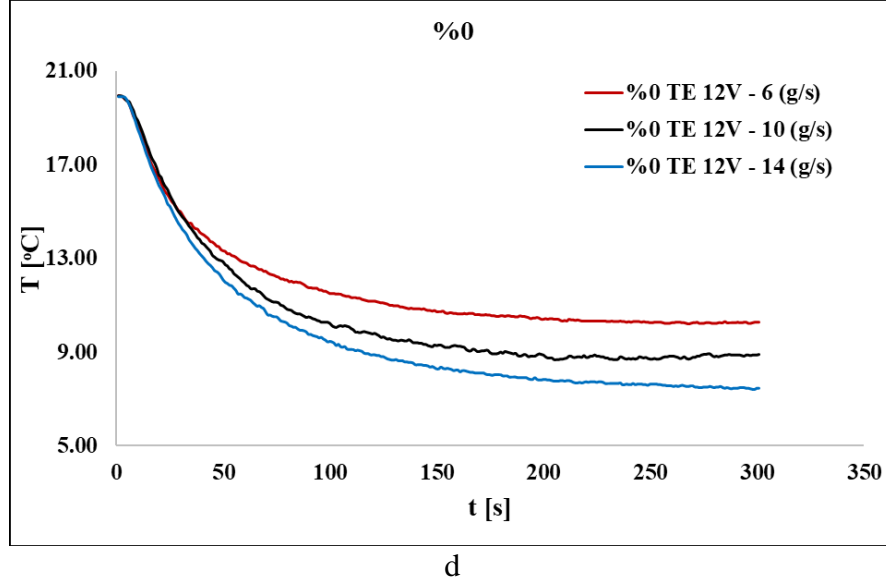
a



b



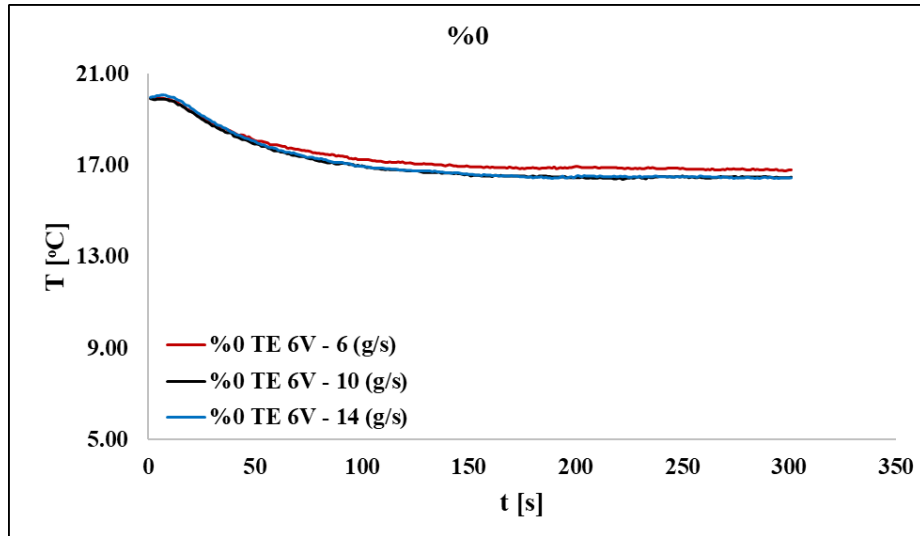
c



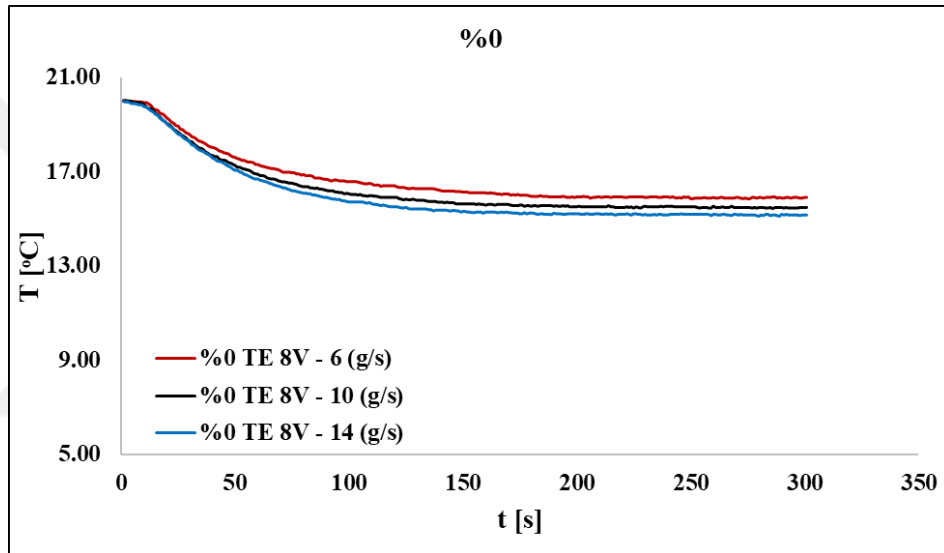
**Şekil 4.3.** 6,24 L hacim ve %0 hacimsel oran için farklı kütleli debi değerlerinde soğutulan ortamın zamana bağlı sıcaklık değişimleri; (a) TE 6V, (b) TE 8V, (c) TE 10V (d) TE 12V.

Şekil 4.3’de 6,24 l’lik hacmin saf su ile soğutulmasında görülen sıcaklık eğrilerini gösteren grafikler verilmiştir. Bu grafiklerde termoelektrik eleman gerilim değerleri sabit tutulup elde edilen sıcaklık düşüşlerinin kütleli debiye göre değişimleri gösterilmeye çalışılmıştır. Ayrıca grafikler birbiri arasında incelendiğinde termoelektrik gerilim değerlerinin artışıyla elde edilen sıcaklıklarda da düşüş olduğu rahatlıkla görülebilir. Grafiklere göre 6 g/s ile 10 g/s kütleli debilerde görülen sıcaklık eğrilerinin arasındaki fark görülebilir. Bu durum, termoelektrik elemanın sıcak yüzeyini soğutmak için kullanılan akışkanın debisinin artmasıyla etkin soğutmanın yapıldığını ve bu durumun soğutulan hacimde daha fazla sıcaklık düşüşünü sağladığını göstermektedir. Aynı durum kütleli debi 14 g/s olduğunda da görülecektir. Kütleli debi değerleri arttıkça termoelektrik elemanın sıcak yüzeyi daha iyi soğutulduğu ve daha fazla sıcaklık düşüşüne olanak tanıdığı fark edilmelidir.

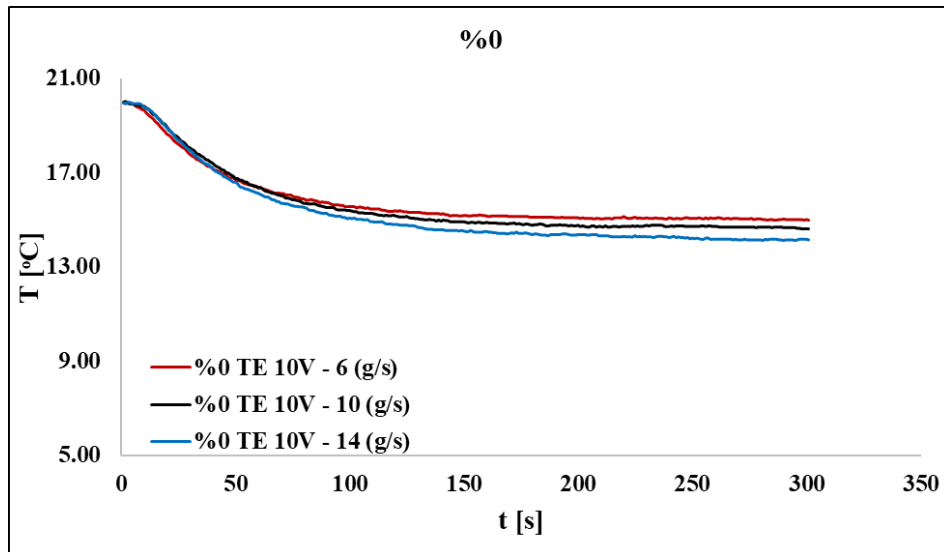
#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



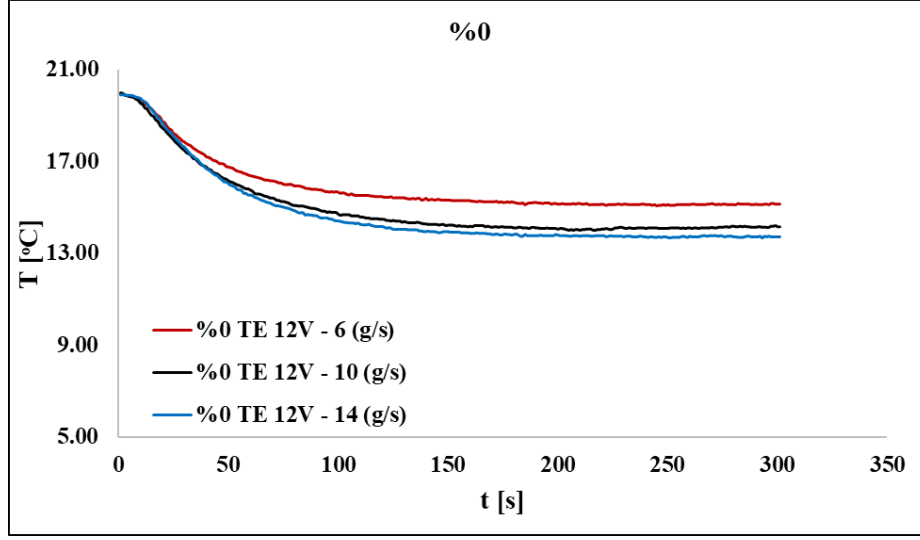
a



b



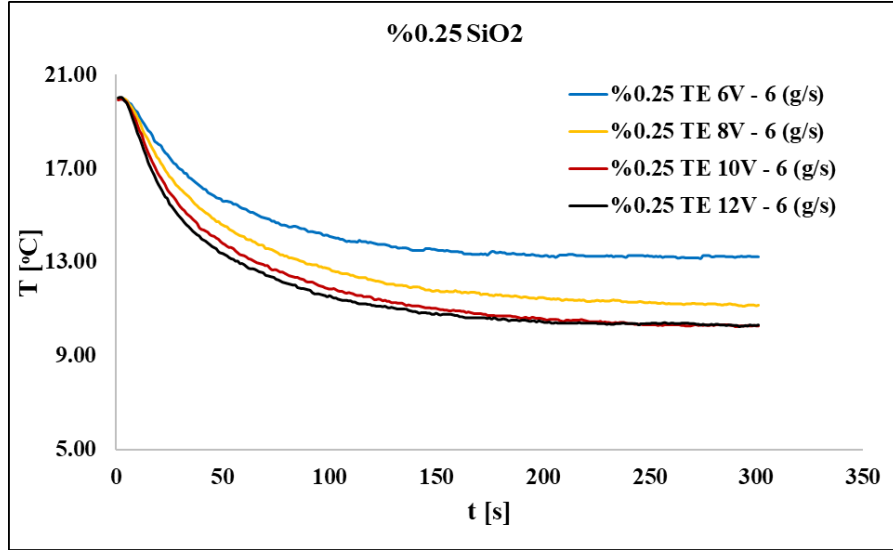
c



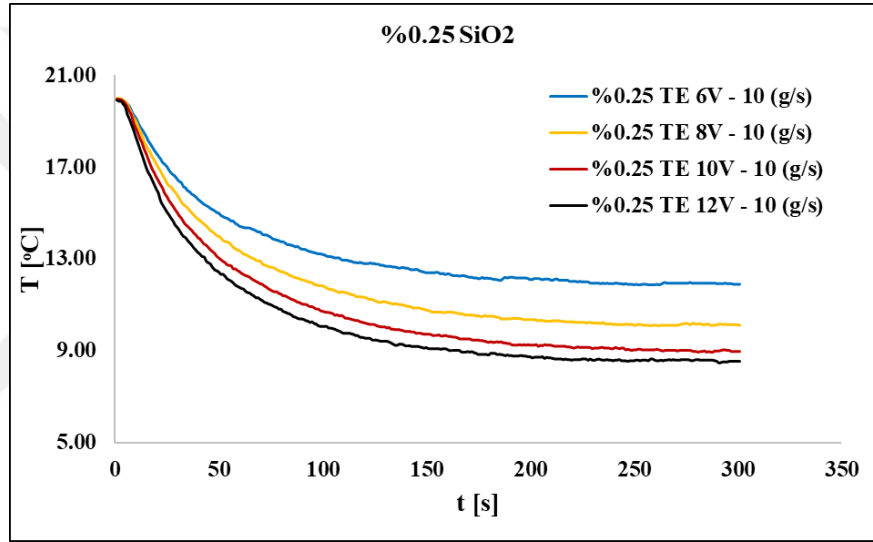
d

**Şekil 4.4.** 14,82 L hacim ve %0 hacimsel oran için farklı kütleli debi değerlerinde soğutulan ortamın zamana bağlı sıcaklık değişimleri; (a) TE 6V, (b) TE 8V, (c) TE 10V (d) TE 12V.

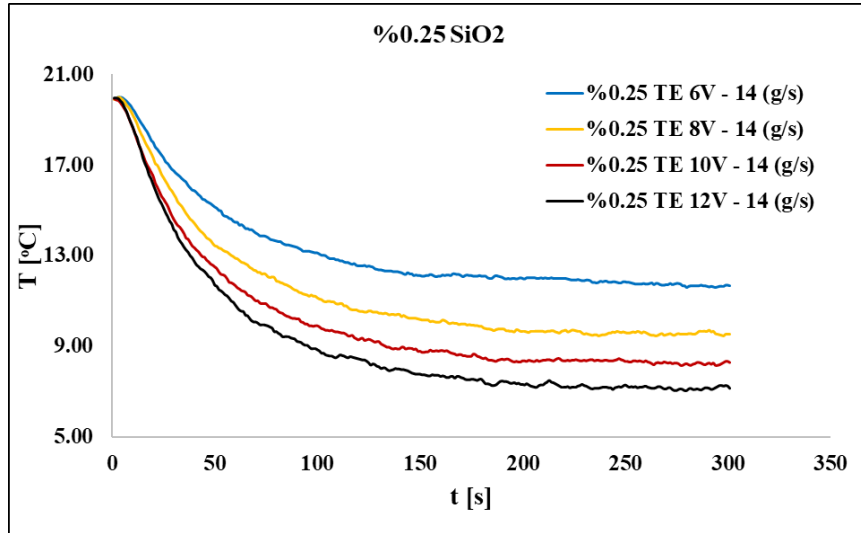
14,82 l soğutucu hacim için saf su kullanılarak elde edilmiş sıcaklıkların zamana göre değişimleri Şekil 4.4'de sunulmuştur. Şekil 4.2'de sabit kütleli debiler ve değişken termoelektrik elemanın sıcaklık eğrileri gösterilmişken Şekil 4.4'de termoelektrik eleman değerleri sabit tutulup kütleli debilerin değişimleri gösterilmiştir. Buna göre saf suda 14,82 l'lik hacmin soğutulmasında en düşük sıcaklık termoelektrik elemanın 12V olduğu ve kütleli debinin 14 g/s olduğu değerlerde yaklaşık 13°C olduğu belirlenmiştir. Grafikler dikkatle incelenirse termoelektrik elemanın gerilim değeri arttıkça sıcaklık eğrileri arasındaki nispeten artmıştır. Bu durum, soğutulan hacimde daha düşük sıcaklıklara inebileceğini gösterir. Ayrıca uygulanan kütleli debi değerlerinin termoelektrik elemanın 12V gerilim değerindeki etkisinin önemli olduğu görülebilir. Termoelektrik elemanın 6V gerilim değerinde görülen sıcaklık düşüşünün, termoelektrik elemanın gerilimi arttırdığındaki sıcaklık düşüşüne nazaran oldukça az olduğu görülebilir.



a



b

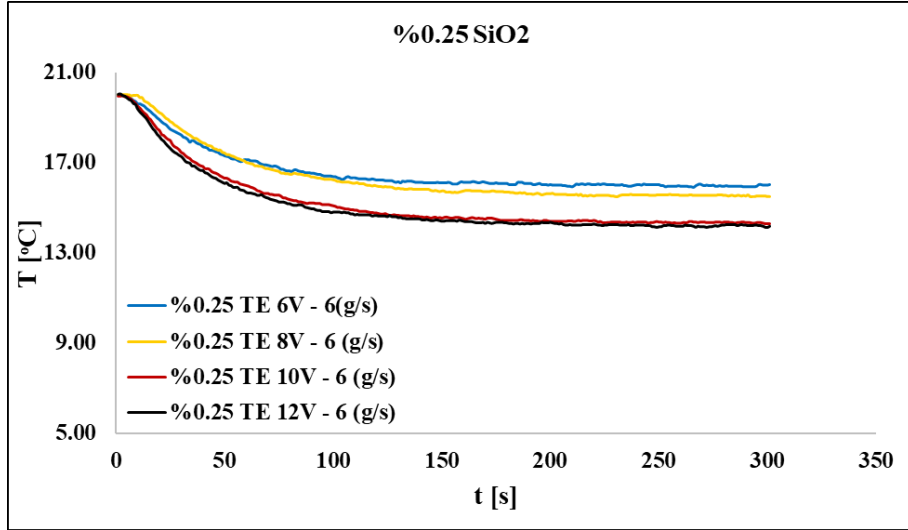


c

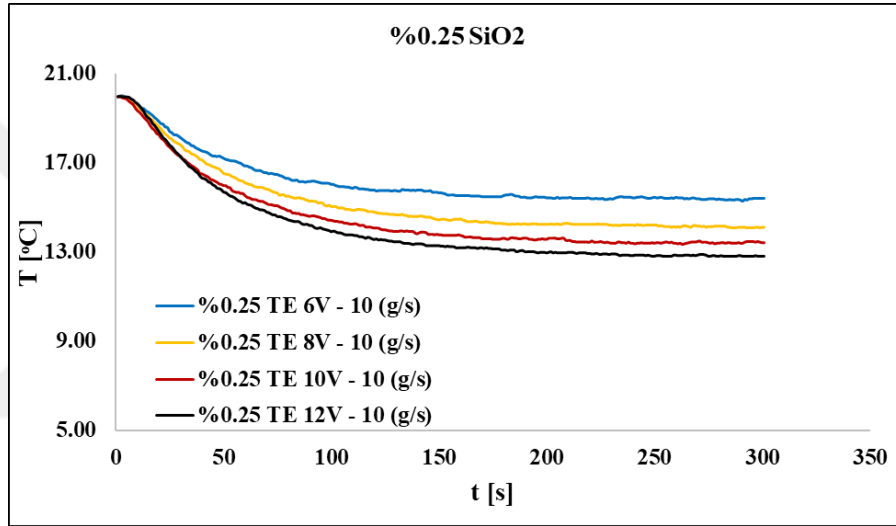
Şekil 4.5. 6,24 L hacim ve %0,25 hacimsel oran için farklı gerilim değerlerinde soğutulan ortamın zamana bağlı sıcaklık değişimleri; (a) 6 g/s, (b) 10 g/s, (c) 14 g/s.

Şekil 4.5’de nanopartikül oranı %0,25 olan nanoakışkanın farklı kütleli debilerde ve farklı termoelektrik eleman değerlerinde 6,24 l’lik hacim için soğutulmasının zamana bağlı değişimi gösterilmiştir. Grafiklerde kütleli debi değerleri sabit tutulup değişen termoelektrik eleman gerilim değerlerine göre oluşturulmuş sıcaklık eğrilerinde görülen düşüşler, yine diğerlerine en yüksek termoelektrik eleman gerilim değeri ve en yüksek kütleli debi değerinde en düşük sıcaklığın elde edildiği görülecektir. Termoelektrik eleman için uygulanan yüksek gerilim değeri ve termoelektrik elemanın sıcak yüzeyinin soğutulması için kullanılan yüksek kütleli debi etkisi bu grafiklerde görülecektir. Sıcaklık eğrilerine göre elde edilen en düşük sıcaklık TE 12V ile 14 g/s değerlerinde elde edildiği fark edilecektir.

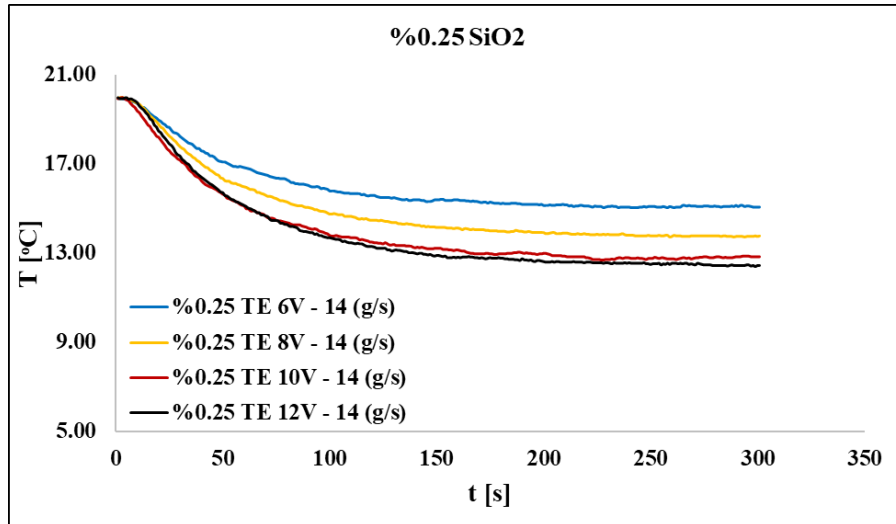
Aynı soğutma hacmine, aynı termoelektrik eleman gerilim değerlerine ve aynı kütleli debi değerlerine sahip ama %0,25 nanopartikül oranı ile oluşturulmuş nanoakışkanın sağladığı soğutma eğrileri ile Şekil 4.1’de verilen saf su için oluşturulmuş soğutma eğrileri karşılaştırılabilir. 6,24 l’lik soğutulan hacim için elde edilen sıcaklık eğrileri %0,25 nanopartikül eklenmiş nanoakışkanın sağladığı sıcaklık düşüşü saf suya göre nispeten daha fazladır.



a



b

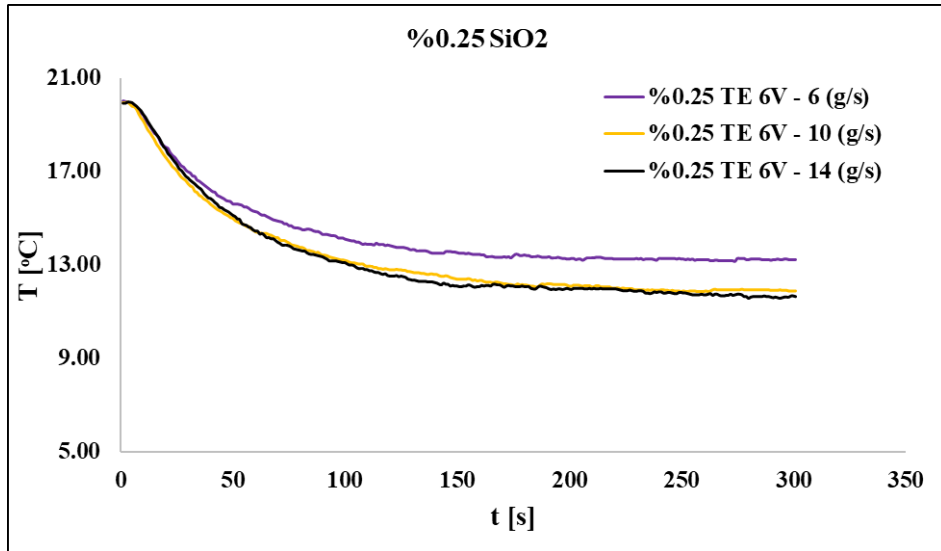


c

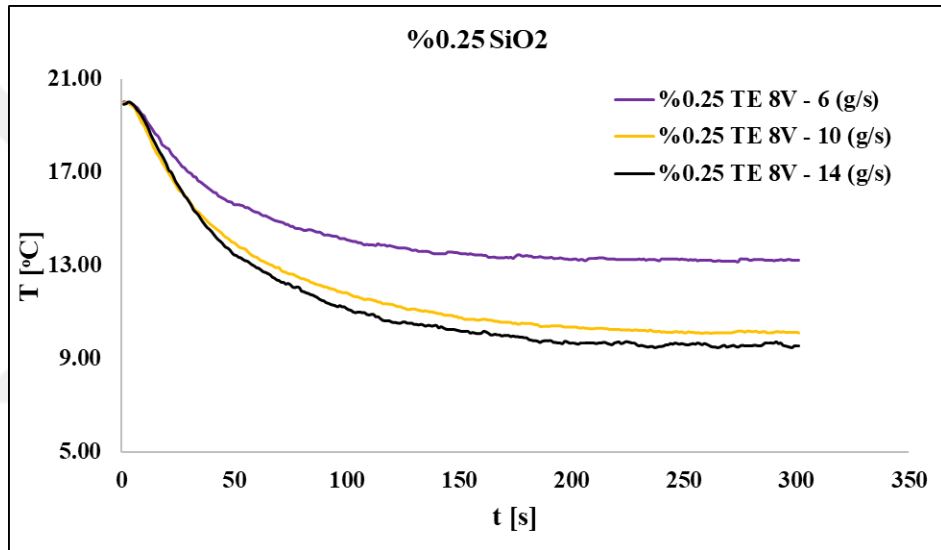
**Şekil 4.6.** 14,82 L hacim ve %0,25 hacimsel oran için farklı gerilim değerlerinde soğutulan ortamın zamana bağlı sıcaklık değişimleri; (a) 6 g/s, (b) 10 g/s, (c) 14 g/s.

Şekil 4.6'da 14,82 l'lik hacim için %0,25 nanopartikül oranına sahip nanoakışkanın soğutması sağlandığı ve sabit kütleli debilerin sabit tutulup, değişen termoelektrik eleman gerilimlerine göre oluşturulmuş sıcaklık eğrileri sunulmuştur. Grafikler dikkatle incelendiğinde aynı kütleli debi değerlerinde termoelektrik elemanın 10V ve 12V değerlerine sahip sıcaklık eğrileri arasındaki farkın en az olduğu görülecektir. Bu durumda, artan kütleli debi olmasına rağmen termoelektrik eleman değerlerinin artması bir değerden sonra etkili olmadığı söylenebilir. Sıcaklıkların yaklaşık 120. saniyeden sonra asimptotik eğri izlediği, sıcaklıklarda büyük düşüş olmadığı söylenebilir.

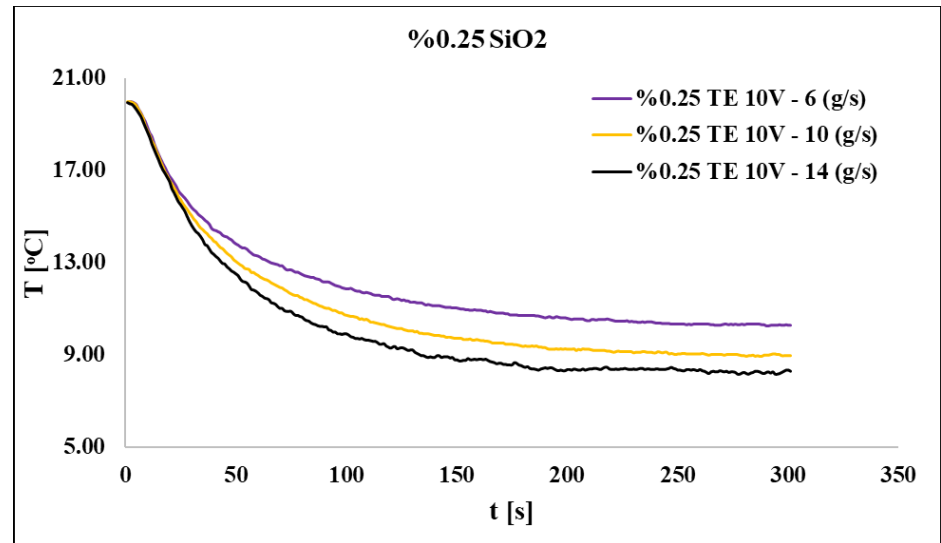
Şekil 4.2'de saf su için verilen aynı hacimde görülen sıcaklık eğrileri ile Şekil 4.6 karşılaştırıldığında nanopartikül eklenmiş akışkan için sıcaklık eğrilerin nispeten daha fazla düşüş olduğu görülecektir. Bu durum, nanopartikül eklenmiş iş akışkanı kullanılarak daha fazla düşüş yapılabileceğine iyi bir örnek olabilir. Şekil 4.2'de de ve Şekil 4.6'da bahsedildiği gibi sıcaklık eğrileri arasındaki en az farkın TE 10V ve TE 12V olduğu ortak özellik olarak görülebilir. Çalışılan aynı hacimde nanopartikül eklenmesi termoelektrik eleman gerilimlerindeki bu ortak özelliği değiştirmedeği söylenebilir. Bu durum sıcaklığın düşmesiyle ilgili olmayıp sadece iki gerilim değerinin sağladığı sıcaklık eğrileri arasındaki fark kastedilmektedir. Nanopartikül içeren akışkanda nispeten daha fazla sıcaklık düşüşü görülmelidir.



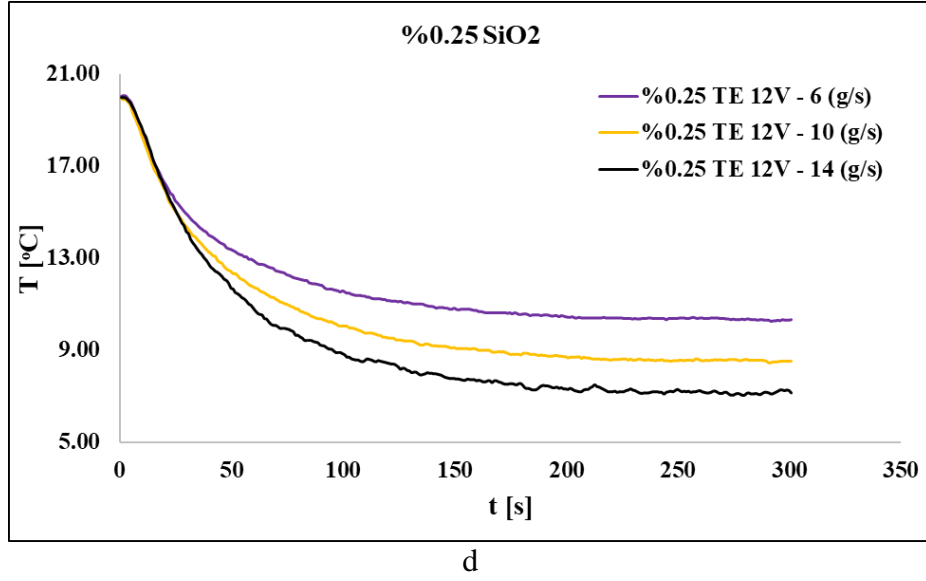
a



b



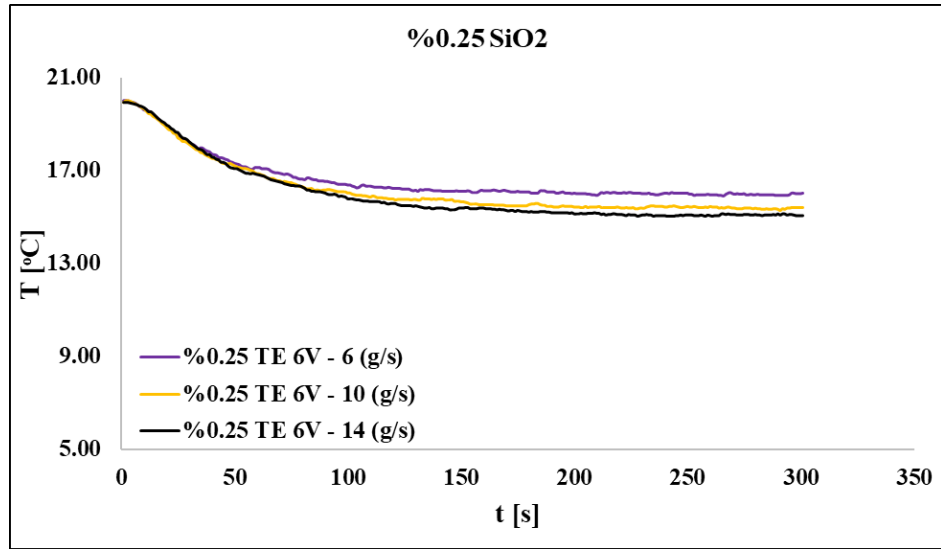
c



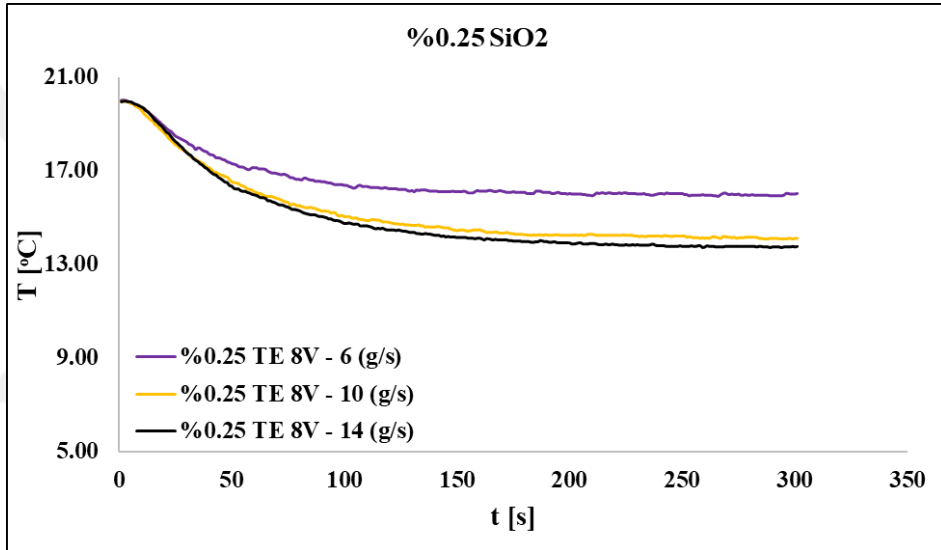
**Şekil 4.7.** 6,24 L hacim ve %0,25 hacimsel oran için farklı kütleli debilerde soğutulmuş ortamın zamana bağlı sıcaklık değişimleri; (a) TE 6V, (b) TE 8V, (c) TE 10V (d) TE 12V.

6,24 l'lik hacim için Şekil 4.5'de kütleli debiler sabit tutulup termoelektrik elemanın değişken gerilim değerlerinde kutu içi soğutulma sıcaklık eğrileri verilmişken Şekil 4.7'de termoelektrik elemanın gerilim değerleri sabit tutulup kütleli debiye göre değişiklik gösteren sıcaklık eğrilerinin zamana bağlı değişimleri gösterilmiştir. Grafiklerde kütleli debilere göre yaşanan sıcaklık düşüşleri belirlenmeye çalışılmıştır. Buna göre grafiklerdeki sıcaklık eğrilerine göre sırasıyla sıcaklık farkı en büyük TE 8V ve 6 g/s ile 10 g/s arasında olduğu görülmektedir. Sırasıyla sıcaklık eğrilerinde en düşük fark ise TE 12V olduğu durumda 14 g/s kütleli debisinde yaklaşık 7°C'ye ulaşıldığı görülmektedir.

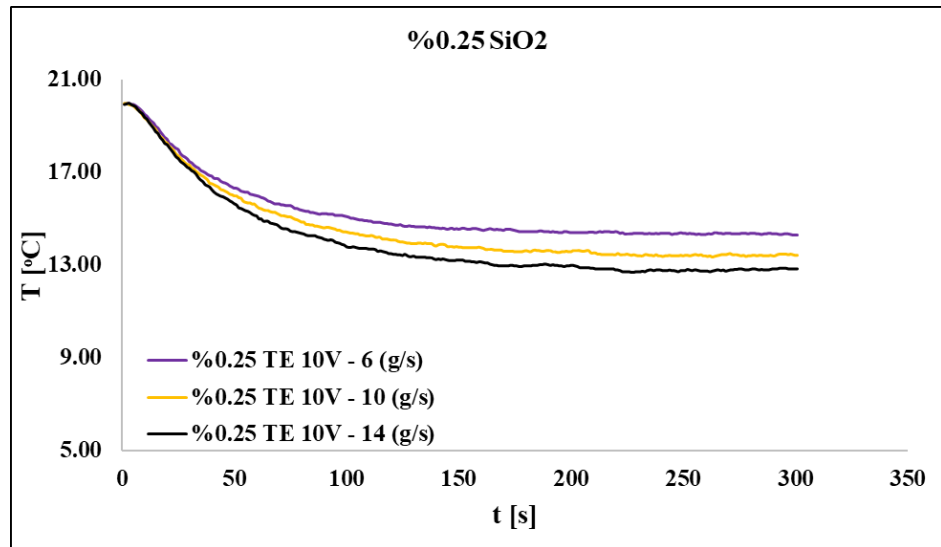
Şekil 4.3'deki aynı hacim için saf su soğutmayla sağlanan sıcaklık eğrileri ile Şekil 4.7 karşılaştırıldığında aynı termoelektrik eleman gerilim değerleri ve aynı kütleli debi değerlerinde sıcaklık düşüşü olduğu rahatlıkla söylenebilir. Nanopartikül eklenmiş iş akışkanı ile saf su karşılaştırıldığında nanopartikül içeren iş akışkanında nispeten daha fazla sıcaklık düşüşü olduğu söylenebilir.



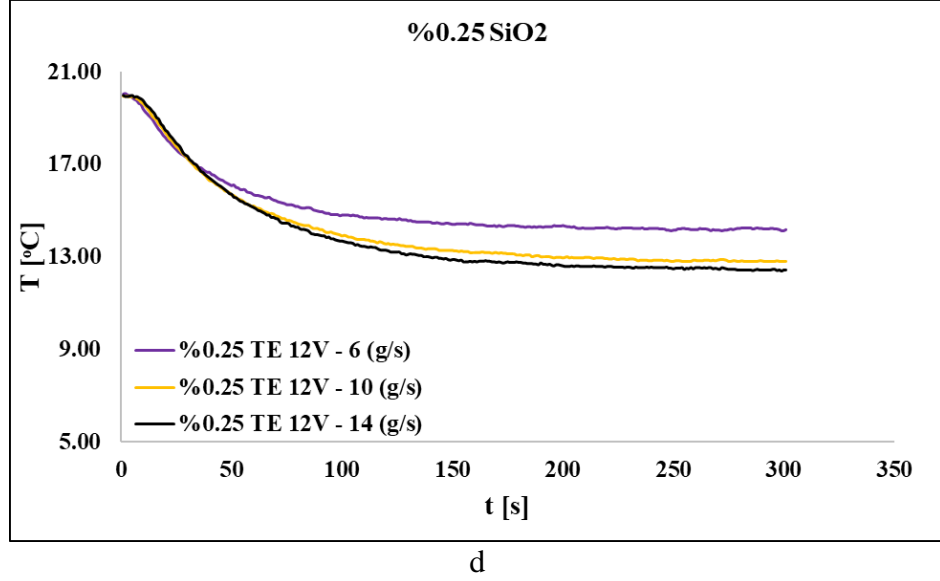
a



b



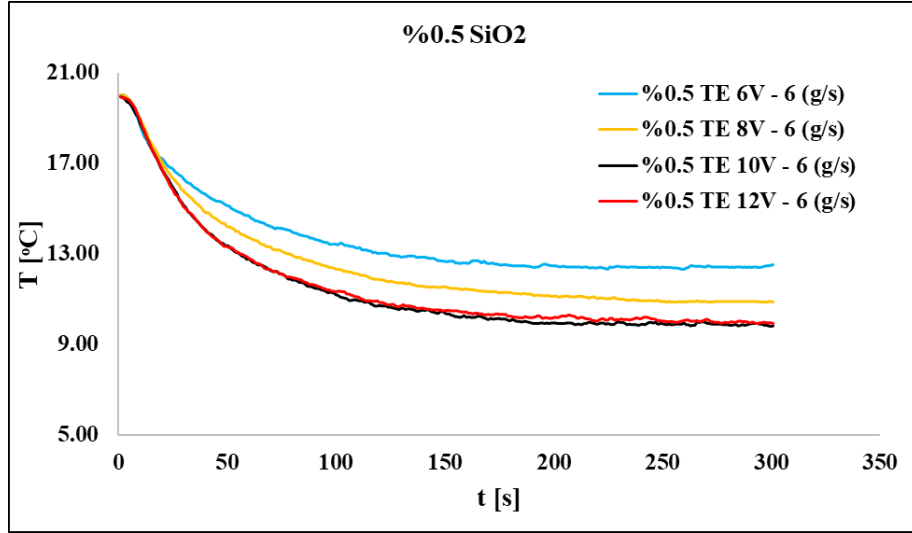
c



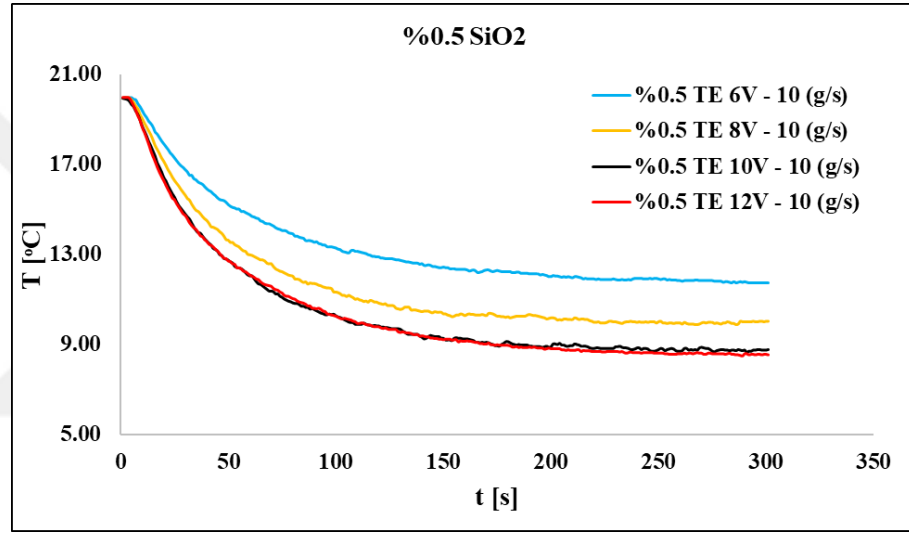
**Şekil 4.8.** 14,82 L hacim ve %0,25 hacimsel oran için farklı kütleli debi değerlerinde soğutulan ortamın zamana bağlı sıcaklık değişimleri; (a) TE 6V, (b) TE 8V, (c) TE 10V (d) TE 12V.

14,82 l'lik hacimde Şekil 4.6'daki grafiklerin sabit termoelektrik eleman gerilim değerleri ve değişken kütleli debilerine göre oluşturulmuş hali Şekil 4.8'dir. Bu grafiklerde sırasıyla sıcaklık farkının en yüksek olduğu sıcaklık eğrileri TE 8V iken 6 g/s ve 10 g/s olan eğrilerdir. Dikkat edilirse sırasıyla bu kadar büyük sıcaklık farkı başka sıcaklık eğrilerinde görülmemektedir ayrıca sıcaklık eğrileri birbirine oldukça yakındır. 14,82 l'lik hacim ve %0,25 nanopartikül içeren akışkan için en düşük sıcaklık TE 12V ve 14 g/s olduğu durumda yaklaşık 13°C olduğu fark edilebilir.

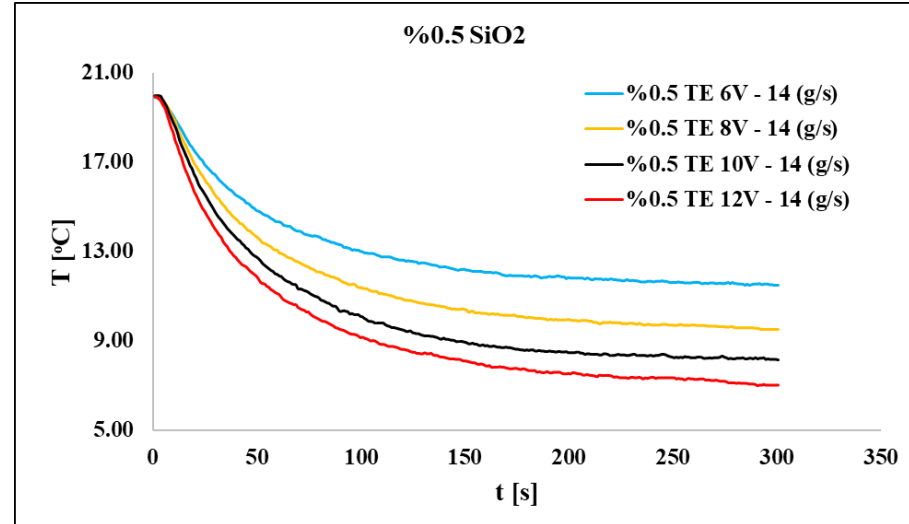
Şekil 4.4'de aynı hacim için saf su ile yapılan soğutmada elde edilen sıcaklık eğrileri ile Şekil 4.8'deki %0,25 nanopartikül içeren akışkan ile elde edilen sıcaklık eğrileri karşılaştırıldığında nanopartikül içeren akışkanın sağladığı sıcaklık düşüşleri nispeten daha fazla olduğu görülecektir. Bu durum nanopartikül içeren akışkanın ısı transferinde saf suya göre daha iyi sonuçlar elde edildiğine dair iyi bir örnektir.



a



b

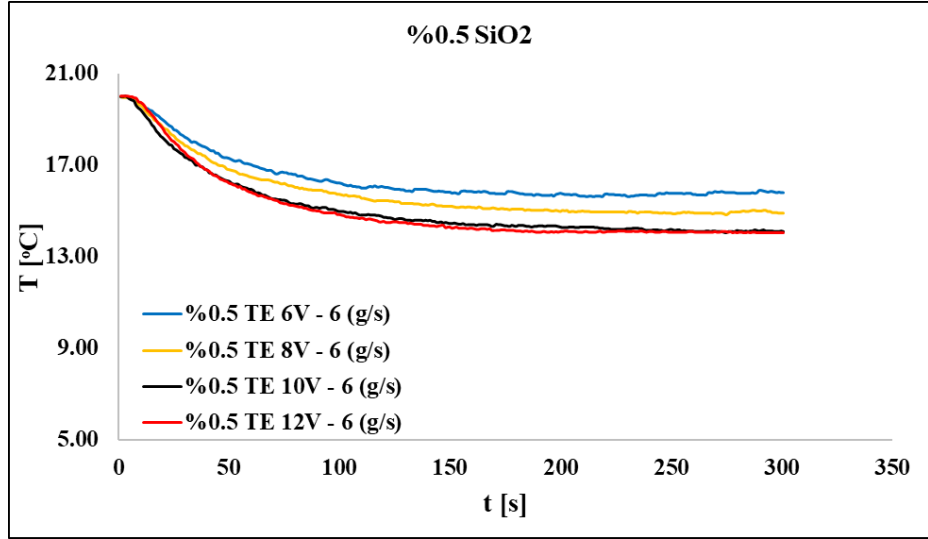


c

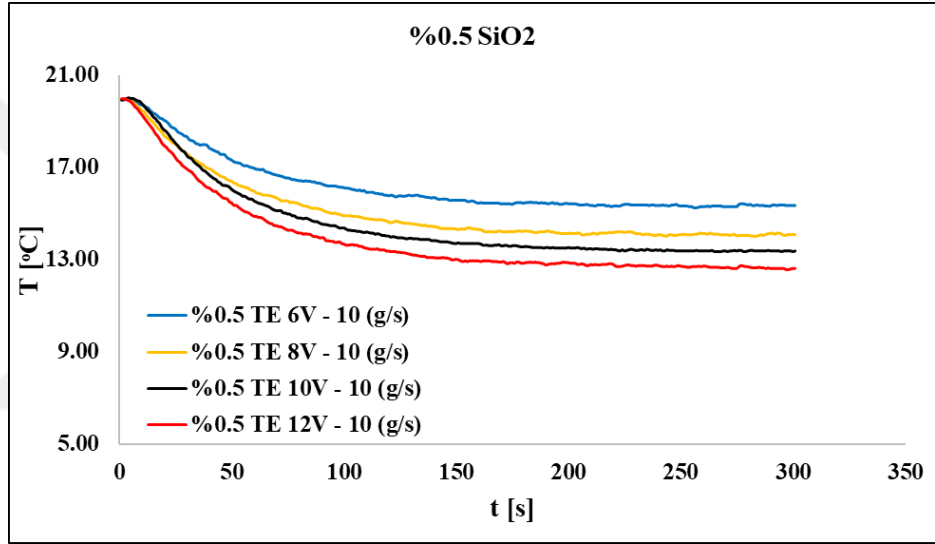
**Şekil 4.9.** 6,24 L hacim ve %0,5 hacimsel oran için farklı gerilim değerlerinde soğutulan ortamın zamana bağlı sıcaklık değişimleri; (a) 6 g/s, (b) 10 g/s, (c) 14 g/s.

Şekil 4.9'da %0,5 nanopartikül oranına sahip nanoakışkan kullanılarak 6,24 l'lik hacmin soğutulması ile ilgili grafikler sunulmuştur. Sabit kütleli debiler ile değişkenlik gösteren termoelektrik eleman gerilimi ile ilgili paylaşılan bu grafiklerde en düşük sıcaklık yaklaşık 6°C ile TE 12V ve 14 g/s değerlerinde görülmektedir. Termoelektrik eleman gerilim değerlerinde 10V ile 12V için oluşturulan sıcaklık eğrilerinde kütleli debinin 6 g/s ve 10 g/s değerlerinde fark görülmezken kütleli debinin 14 g/s olduğu sıcaklık eğrileri arasındaki farkın açıldığı görülecektir. Bu durum termoelektrik elemanın sıcak yüzeyinin soğutulması için kullanılan iş akışkanının debisi artmasıyla daha etkin soğutma yapılabilmesine olanak tanıdığına göstergesidir. Grafiklerdeki sıcaklık eğrileri termoelektrik elemanın gerilim değerlerinin artmasıyla daha da düşüş sağlandığı görülebilir.

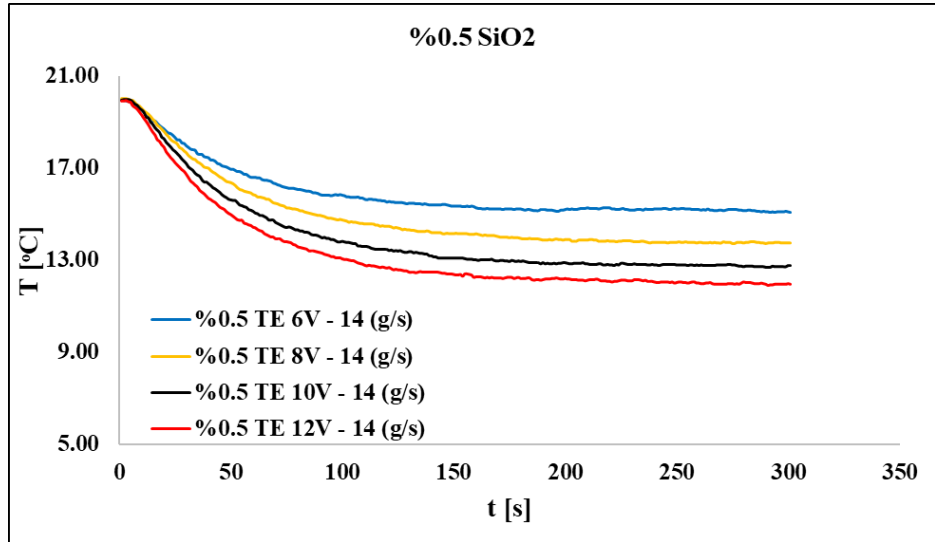
Sonuçlar, Şekil 4.1, Şekil 4.5 ve son olarak Şekil 4.9 incelendiğinde aynı soğutulan hacim için aynı termoelektrik eleman gerilim değerleri ve aynı kütleli debi değerlerinde sadece iş akışkanını içerisindeki artan nanopartikül oranına göre değerlendirildiğinde, akışkanın içeriğine eklenen nanopartikül miktarı arttıkça elde edilen sıcaklık değerlerindeki düşüşlerin daha fazla olduğu görülecektir. İş akışkanına eklenen nanopartikül miktarı arttıkça akışkanın ısı transferindeki artış olduğu rahatlıkla söylenebilir.



a



b

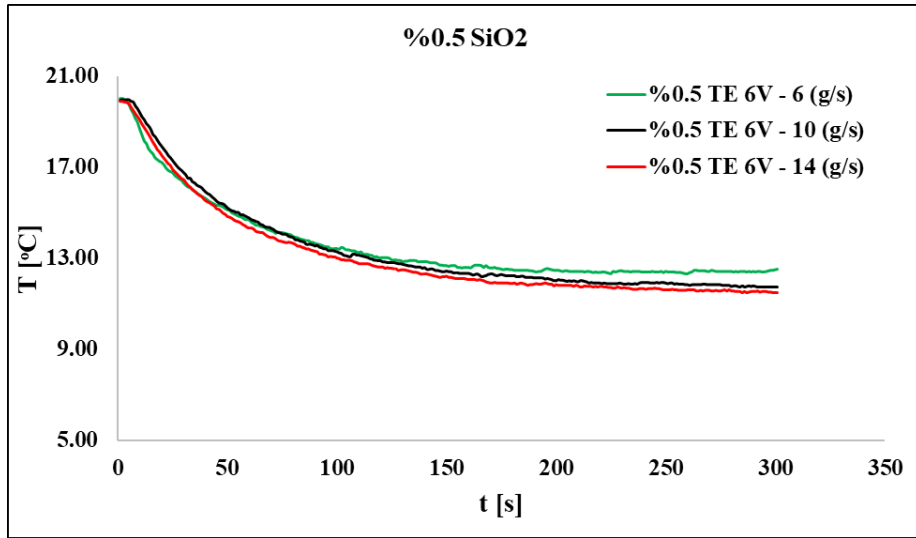


c

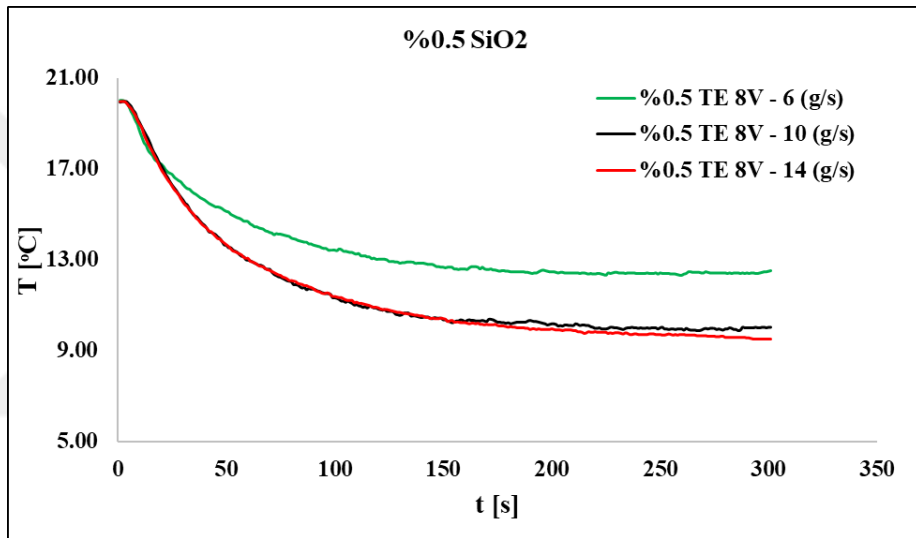
**Şekil 4.10.** 14,82 L hacim ve %0,5 hacimsel oran için farklı gerilim değerlerinde soğutulan ortamın zamana bağlı sıcaklık değişimleri; (a) 6 g/s, (b) 10 g/s, (c) 14 g/s.

Őekil 4.10'da %0,5 nanopartikül oranına sahip nanoakıŐkan ile sođutulmuŐ 14,82 l'lik hacmin sıcaklık verileri gürılmektedir. Sabit kütlesel debi değerlerinde ve deđerŐen termoelektrik eleman gerilim değerlerine göre oluŐturulmuŐ olan grafiklerde, yine en dűŐük sıcaklığı TE 12V ve 14 g/s değerlerinde olduğu kolaylıkla fark edilebilir. Sabit kütlesel debilerde artan gerilim değerlerine göre oluŐturulmuŐ sıcaklık eğrileri arasında gerilim değerleri arttıkça eğrilerde birbirine göre farkların oluŐtuđu gürülebilir. %0,5 nanopartikül iğereren 14,82 l'lik hacmin soğutulmasında 14 g/s kütlesel debide 6V ile 8V gerilim değerlerine sahip eğriler arasındaki fark sırasıyla oluŐturulmuŐ diğer eğriler arasındaki farktan daha fazla olduğu gürülebilir. Őekil 4.10'daki bütün grafiklerdeki aynı kütlesel debi değerlerinde termoelektrik eleman gerilim değerlerinin 6V ile 12V arasındaki farkın en büyük olduğu söylenecektir. Sıcaklıklarda yaklaşık 110. saniyeden sonra asimptotik eğriler gürülműŐ, sıcaklık dűŐűŐlerinde bariz bir farkın olmadığu fark edilecektir.

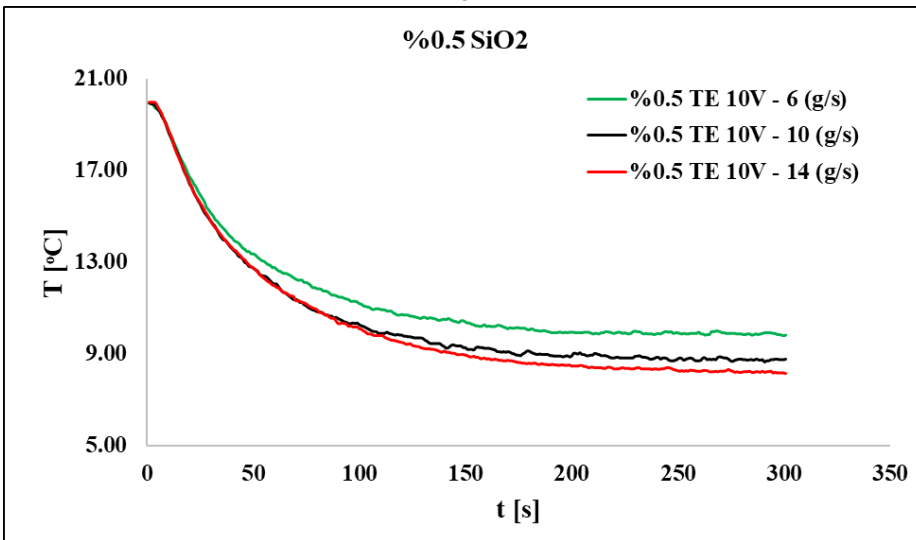
Őekil 4.2, Őekil 4.6 ve son olarak Őekil 4.10'daki grafikler birebir incelendiğinde aynı soğutulan hacim, aynı gerilim değerleri ve aynı kütlesel debilerde sadece nanopartikül miktarının artmasıyla daha fazla sıcaklık dűŐűŐleri olduğu gürülecektir. Bu durum nanopartikül oranları arttıkça ısı transferinde artıŐ olduğunu gösterir.



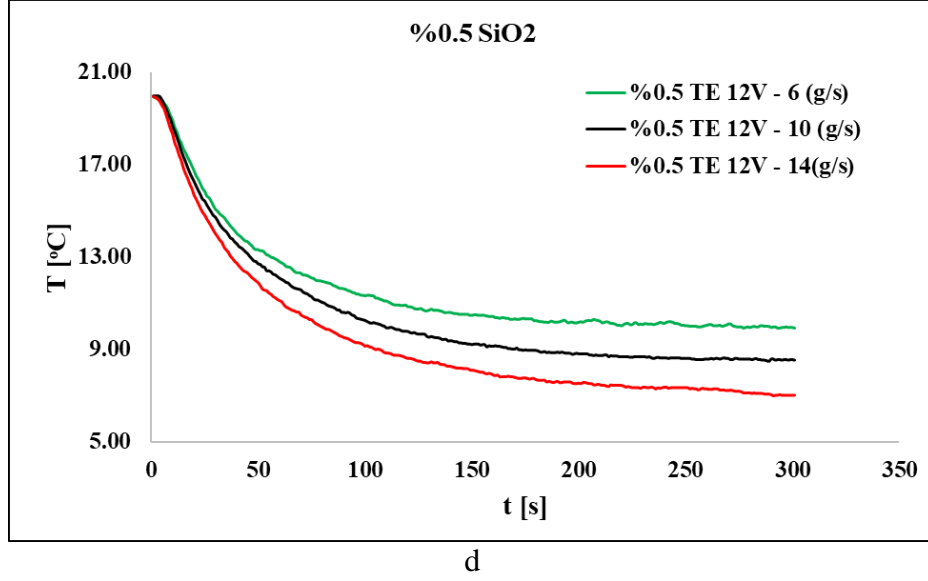
a



b



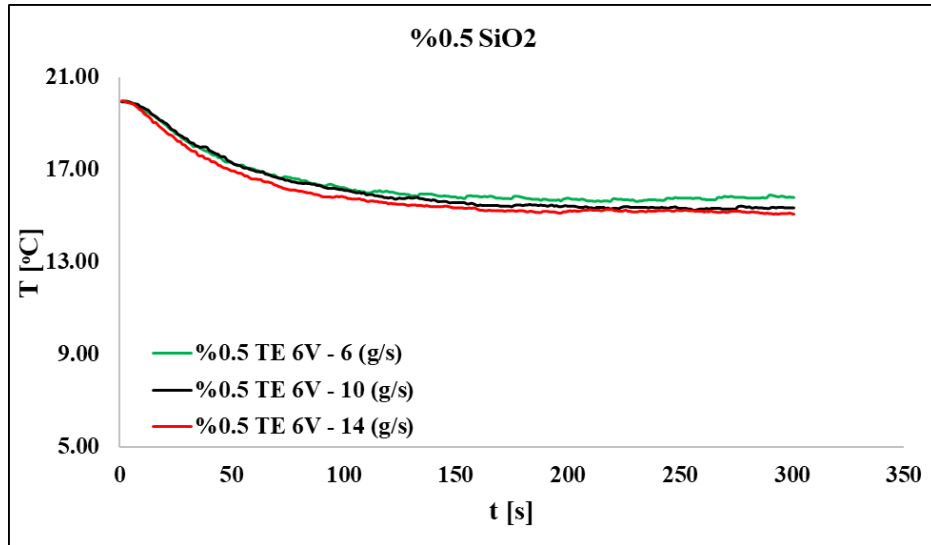
c



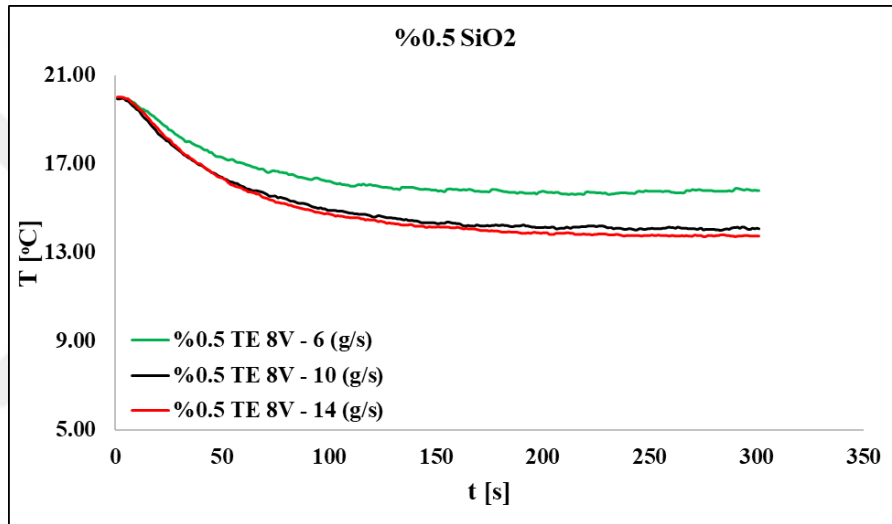
**Şekil 4.11.** 6,24 L hacim ve %0,5 hacimsel oran için farklı kütleli debi değerlerinde soğutulan ortamın zamana bağlı sıcaklık değişimleri; (a) TE 6V, (b) TE 8V, (c) TE 10V (d) TE 12V.

6,24 l'lik hacim için Şekil 4.9'da sabit kütleli debi ile değişen termoelektrik eleman gerilim değerlerinin Şekil 4.11'de sabit termoelektrik eleman gerilim değerleri ile değişkenlik gösteren kütleli debiler arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Şekil 4.11'de sıcaklıklarda gözlenen düşüşün sabit termoelektrik eleman gerilimindeki kütleli debinin etkisi rahatlıkla görülebilir. Buna göre sırasıyla sıcaklık eğrilerindeki en fazla fark TE 8V ve 6 g/s ile 10 g/s kütleli debileri arasında olduğu fark edilecektir. 6,24 l'lik hacmin soğutulmasında en düşük sıcaklığı sağlayan TE 12V ile 14g/s kütleli debisidir. Şekil 4.11'de grafikler karşılaştırmalı olarak incelendiğinde termoelektrik eleman gerilim değerleri arttıkça soğutulan hacimdeki sıcaklıklarda düşüş olduğu hemen fark edilecektir. Değişen kütleli debi değerlerinde debi arttıkça sıcaklık eğrilerinde de nispeten farkların açıldığı görülecektir. Oluşan en fazla fark gerilim değerinin 12V olduğu grafikte görülebilir.

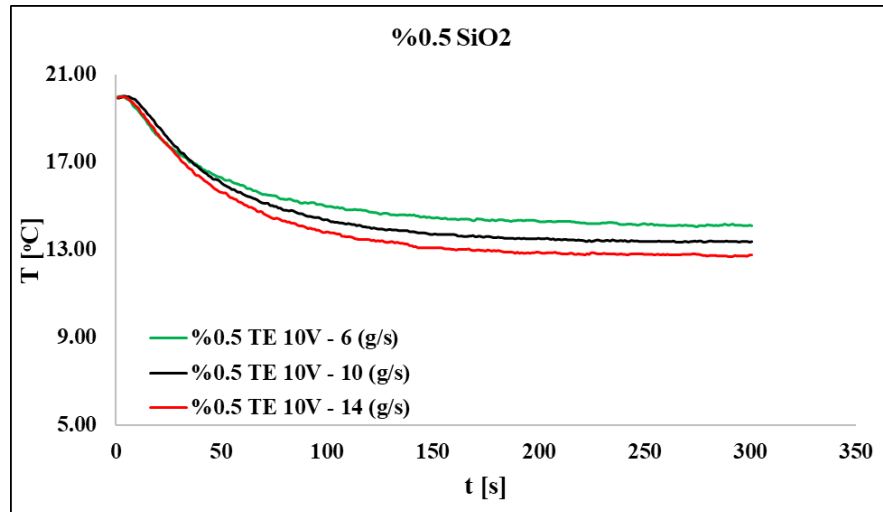
Şekil 4.3, Şekil 4.7 ve Şekil 4.11 incelendiğinde nanopartikül etkisi bu grafikte de görülecektir. Nanopartikül oranı arttıkça sıcaklıklarda da nispeten daha fazla düşüş olduğu fark edilmelidir.



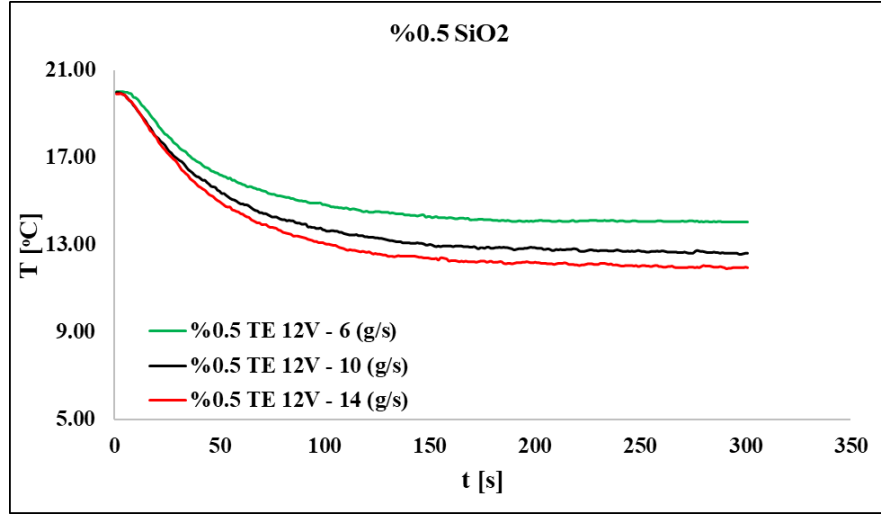
a



b



c

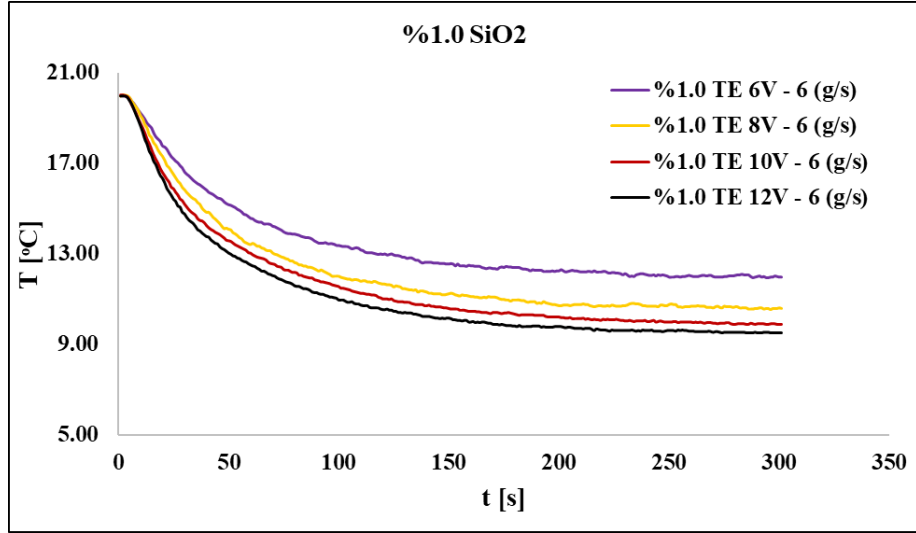


d

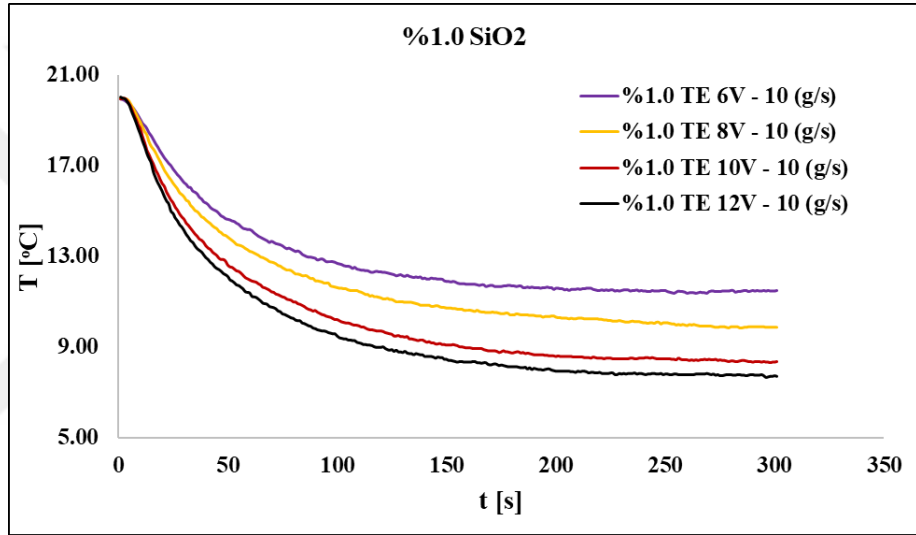
**Şekil 4.12.** 14,82 L hacim ve %0,5 hacimsel oran için farklı kütleli debi değerlerinde soğutulan ortamın zamana bağlı sıcaklık değişimleri; (a) TE 6V, (b) TE 8V, (c) TE 10V (d) TE 12V.

Şekil 4.10 değişken termoelektrik eleman gerilim değerleri ile sabit kütleli debiler arasındaki ilişkiyi gösterirken Şekil 4.12’de yine 14,82 l’lik hacimde sabit termoelektrik eleman gerilim değerleri ile değişen kütleli debiler arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Bunun sonucunda sırasıyla sıcaklık eğrileri arasındaki en büyük fark TE 8V olduğunda 6 g/s ile 10 g/s kütleli debilerinde görülmektedir. İkinci en büyük fark TE 12V olduğunda 6 g/s ile 10 g/s kütleli debilerinde olduğu fark edilecektir. %0,5 nanopartikül oranına sahip nanoakışkanda TE 6V olduğunda sıcaklık eğrilerinin birbirine oldukça yakın olduğu göze çarpmaktadır. Bunun nedeni olarak termoelektrik eleman için verilen aynı gerilim değerinde değişen kütleli debinin 14,82 l’lik hacmin soğutulmasında büyük bir farka neden olmadığıdır.

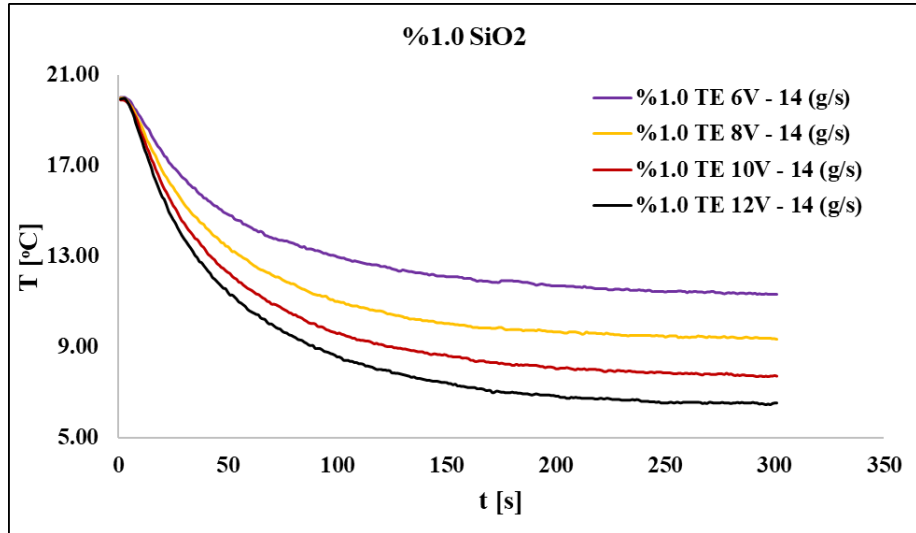
Şekil 4.4, Şekil 4.8 ve Şekil 4.12 incelendiğinde iş akışkanı içindeki nanopartikül miktarının artması, soğutulan hacmin sıcaklıklarında düşüşe neden olduğu söylenecektir.



a



b

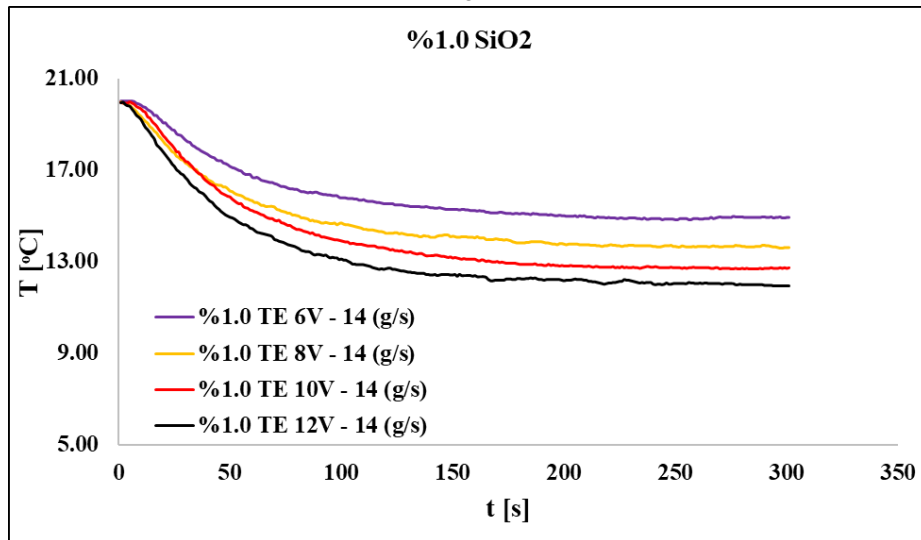
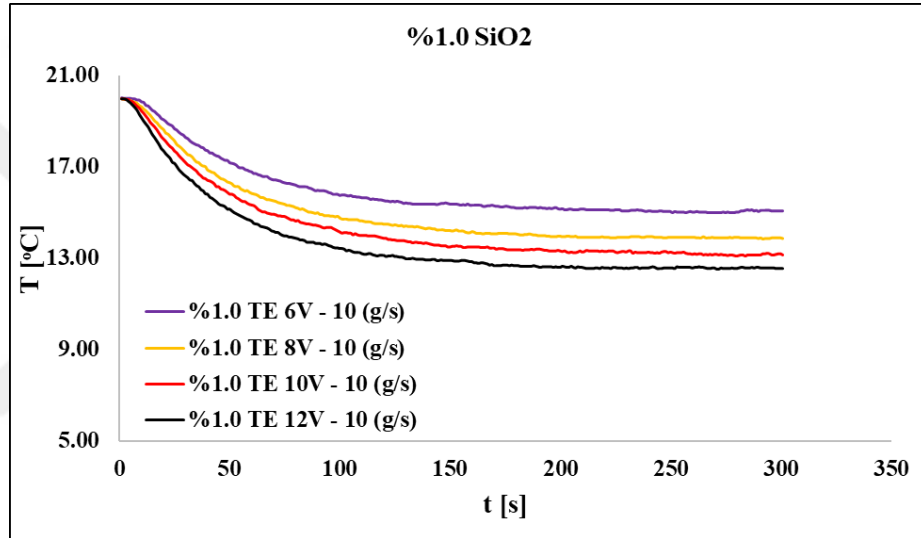
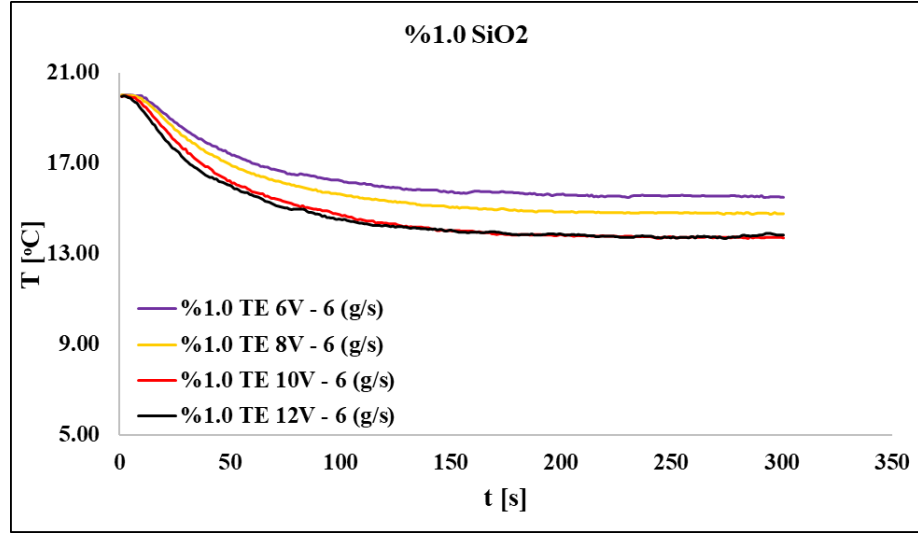


c

**Şekil 4.13.** 6,24 L hacim ve %1,0 hacimsel oran için farklı gerilim değerlerinde soğutulan ortamın zamana bağlı sıcaklık değişimleri; (a) 6 g/s, (b) 10 g/s, (c) 14 g/s.

Őekil 4.13'de 6,24 l'lik hacimde %1,0 oranında nanopartikül içeren nanoakıŐkan deęiŐen termoelektrik eleman gerilimleri ve sabit kütlesel debi deęerlerinde oluŐturulan sıcaklık eęrileri gürmektedir. Sabit kütlesel debi deęerlerine göre deęiŐen termoelektrik eleman gerilimleri sonucunda artan gerilim deęerlerinde, sıcaklıklarda net dűŐű gürmektedir. Őekil 4.13'de gürülen her grafikte kütlesel debinin artmasıyla sıcaklık eęrileri arasındaki farkın da açıldıęı gürülmelidir. Bu durum termoelektrik elemanın sıcak yüzeyinin etkin soęutulması, soęutulan hacmin i sıcaklıęında da olumlu bir Őekilde yansıyıp sıcaklık dűŐűŐlerini saęlamıŐtır. Sıcaklık eęrilerindeki en belirgin farklar kütlesel debinin 14 g/s olduęu bütün termoelektrik eleman gerilimleri olduęu sűylenebilir. Sıcaklıklar yaklaŐık 150. saniyeye kadar dűŐűŐ, 150 saniyeden sonra sıcaklık eęrileri asimptotik özellik gűsterip belirgin bir dűŐűŐ gürülmemiŐtir.

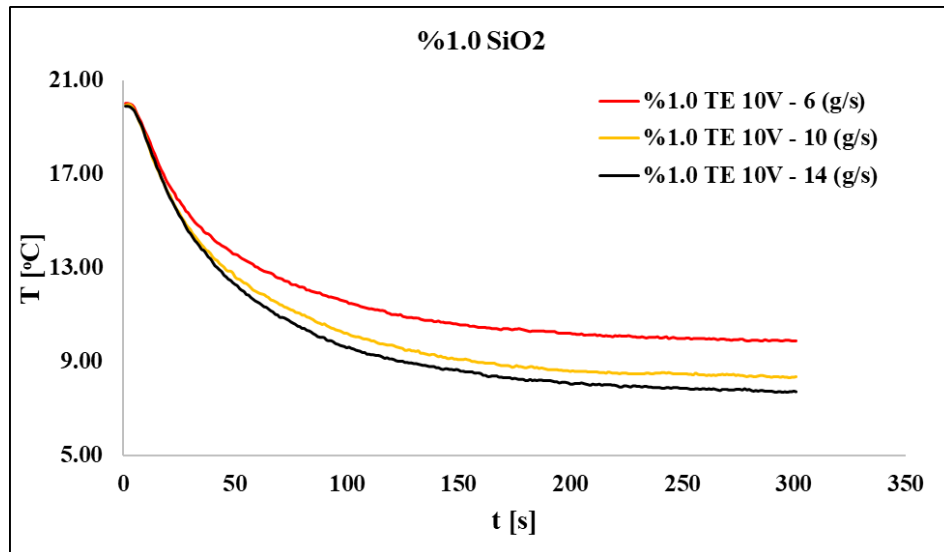
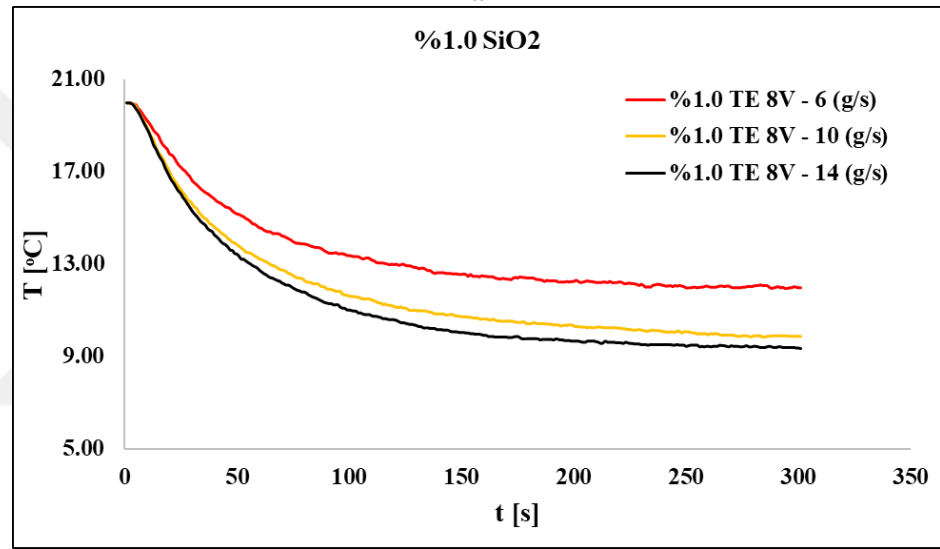
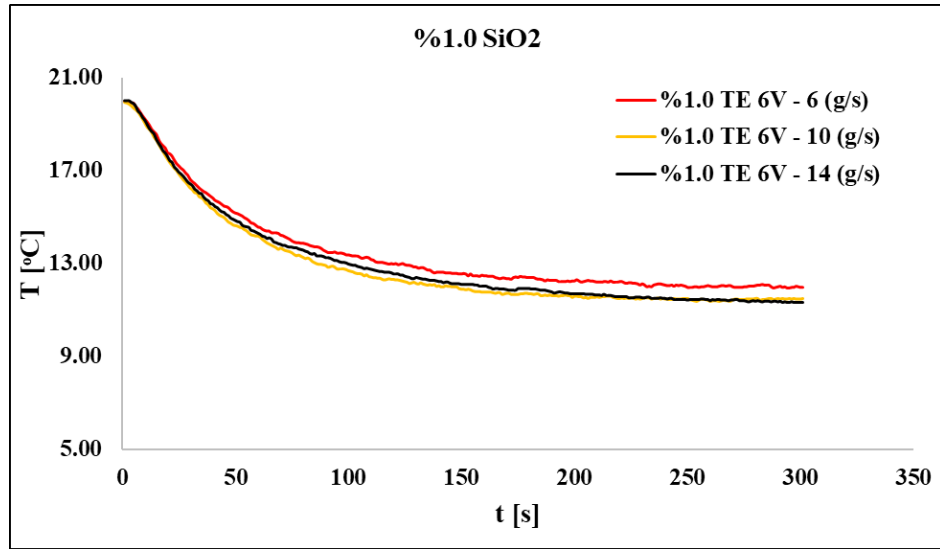
Aynı soğutma hacminde Őekil 4.1, Őekil 4.5, Őekil 4.9 ve Őekil 4.13 incelendiğinde nanopartikül oranlarının artmasıyla hacim içi soğutulmasında elde edilen sıcaklık dűŐűŐlerinin daha fazla olduğu sűyleneyecektir. Bahsi geçen diğer grafiklerde olduğu gibi bu grafiklerde de nanopartikül oranının artması ısı transferini arttırdığı belirlenebilir. Bu durum nanopartikül miktarının artmasıyla ısı iletkenliğin arttığını ve ısı transferinde artıŐın olduğu fark edilecektir.

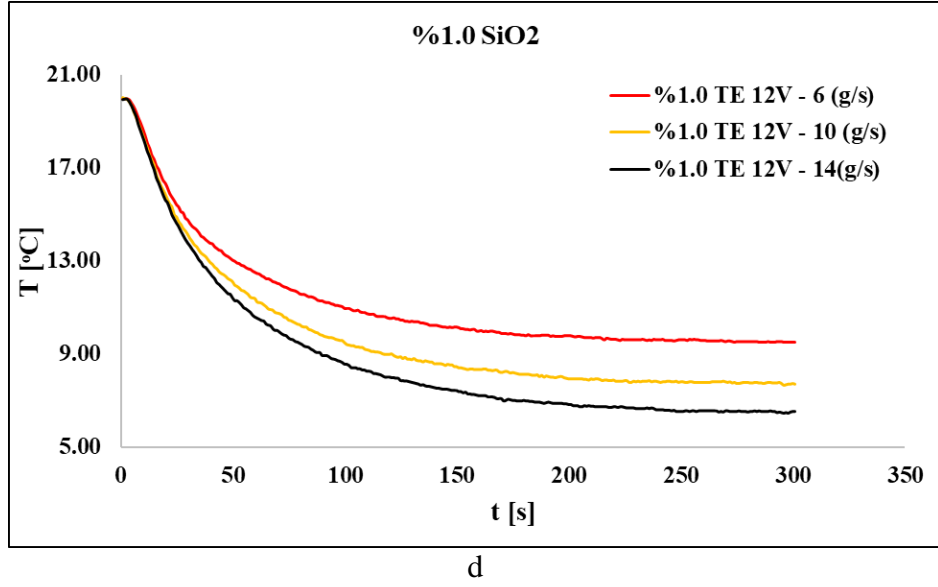


**Şekil 4.14.** 14,82 L hacim ve %1,0 hacimsel oran için farklı gerilim değerlerinde soğutulan ortamın zamana bağlı sıcaklık değişimleri; (a) 6 g/s, (b) 10 g/s, (c) 14 g/s.

Şekil 4.14’de 14,82 l’lik hacim için %1,0 oranında nanopartikül içeren nanoakışkan kullanılarak sıcaklık eğrileri elde edilmiştir. Sabit kütleli debi değerlerinde değişen termoelektrik eleman gerilim değerlerinde kütleli debi arttıkça sıcaklarda da daha fazla düşüşün olduğu görülebilir. Ayrıca termoelektrik eleman gerilim değerleri arttıkça sıcaklık eğrileri arasındaki farkın nispeten arttığı görülecektir. Ancak Şekil 4.14’de sunulan her üç grafikte de görülen ortak durum gerilim değerlerinin 10V ile 12V arasındaki sıcaklık eğrilerindeki artışın fazla olmadığı sezilebilir. Bu durumun soğutulan hacmin etkisinden kaynaklandığı söylenebilir. Soğutulan hacim arttıkça gerilim değerlerindeki artışın -kütleli debi artsa dahi- bir değerden sonra sıcaklık eğrilerinde büyük farka neden olmadığı söylenebilir. Sıcaklık eğrilerindeki sırasıyla en büyük farkı 8V gerilim değerinde olduğu söylenebilir. Grafiklerde termoelektrik elemanın sıcak yüzeyi için kullanılan nanoakışkan Şekil 4.13’de 6,24 l’lik hacim için gösterilen değerlere oranla daha yüksek değerde sıcaklıklar elde edilmiştir. Bunun sebebi olarak soğutulan hacmin artması söylenebilir. Bu durum termoelektrik elemanın soğutması gereken hacmin artması ve tek başına yetersiz olmasıdır.

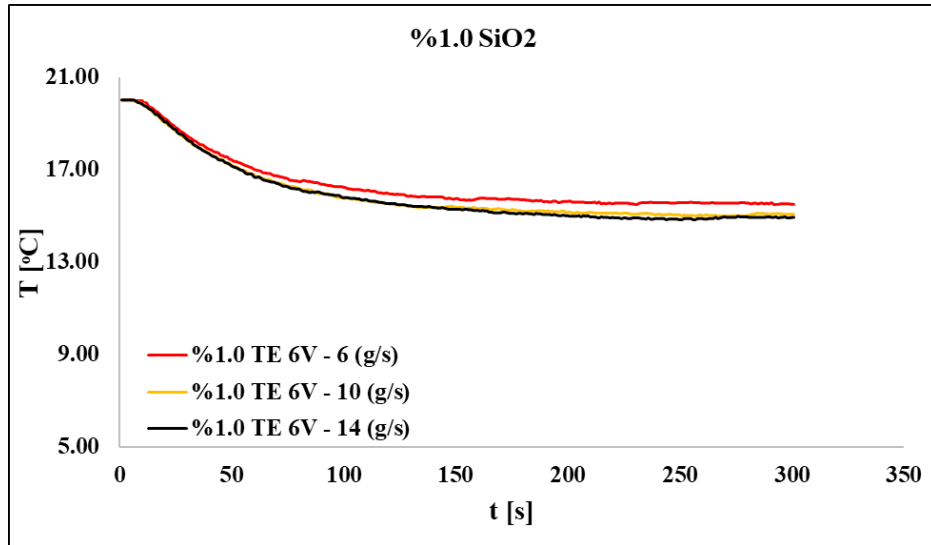
Şekil 4.2, Şekil 4. 6, Şekil 4.10 ve Şekil 4.14 incelendiğinde nanopartikül oranlarının artmasıyla soğutulan hacim için sıcaklık eğrilerinde düşüş olduğu görülecektir. Nanopartikül miktarının artması yine ısı transferinde artışa neden olduğunu söylemek mümkündür.



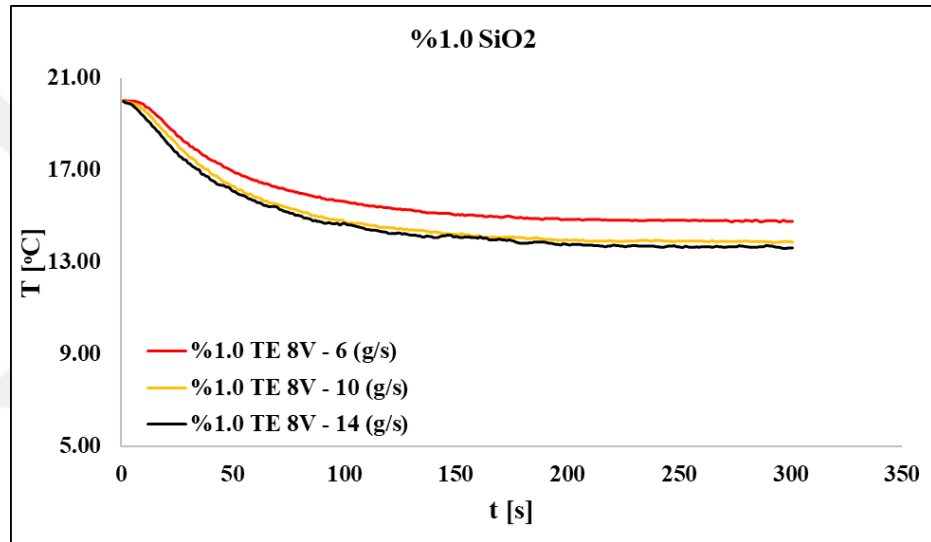


**Şekil 4.15.** 6,24 L hacim ve %1,0 hacimsel oran için farklı kütleli debi değerlerinde soğutulan ortamın zamana bağlı sıcaklık değişimleri; (a) TE 6V, (b) TE 8V, (c) TE 10V (d) TE 12V.

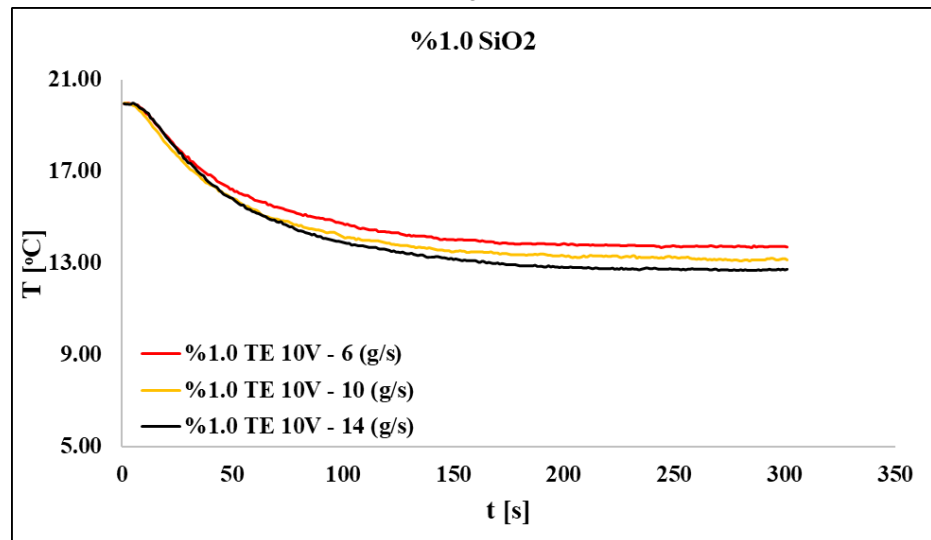
6,24 l hacimdeki Şekil 4.13'deki grafiğin termoelektrik eleman gerilim değerlerinin sabit tutulup değişen kütleli debilerdeki değerleri Şekil 4.15'de gösterilmiştir. Grafiklerde sıcaklık eğrilerindeki farkın artan termoelektrik eleman gerilim değerlerine ve artan kütleli debilere bağlı olduğu görülecektir. Artan termoelektrik eleman gerilim değerlerinde sıcaklıklarda düşüş olduğu hemen fark edilecektir. Artan kütleli debinin en az etkisi 6V gerilim değerinde görülürken en fazla etkisi 12V gerilim değerinde olduğu söylenebilir. Sırasıyla sıcaklık eğrileri arasındaki en fazla farkın 8V gerilim değerinde 6 g/s ile 10 g/s kütleli debide görülen sıcaklık eğrileri arasında olduğu söylenebilir. Şekil 4.15'de grafiklerde görülen en düşük sıcaklığı 12V gerilim değerinde 14 g/s kütleli debide olduğu hemen fark edilecektir. Sıcaklık eğrileri yine belirli bir süre sonra asimptotik özellik göstermiş bu değerden sonra büyük farklarla sıcaklık düşüşü görülmemiştir. Şekil 4.3, Şekil 4.7, Şekil 4.11 ve Şekil 4.15'de nanopartikül oranının artmasıyla ısı transferindeki artışın olduğu rahatlıkla söylenebilir.



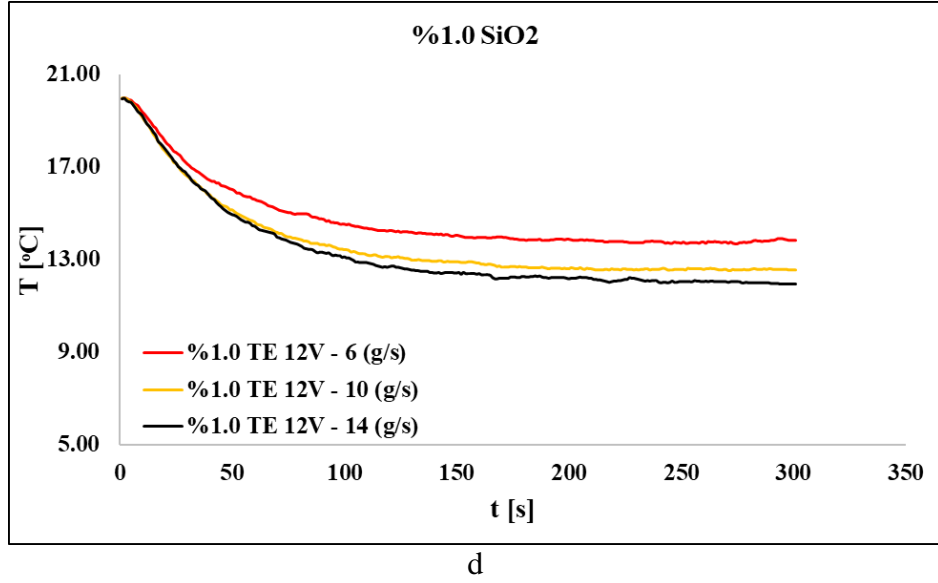
a



b



c



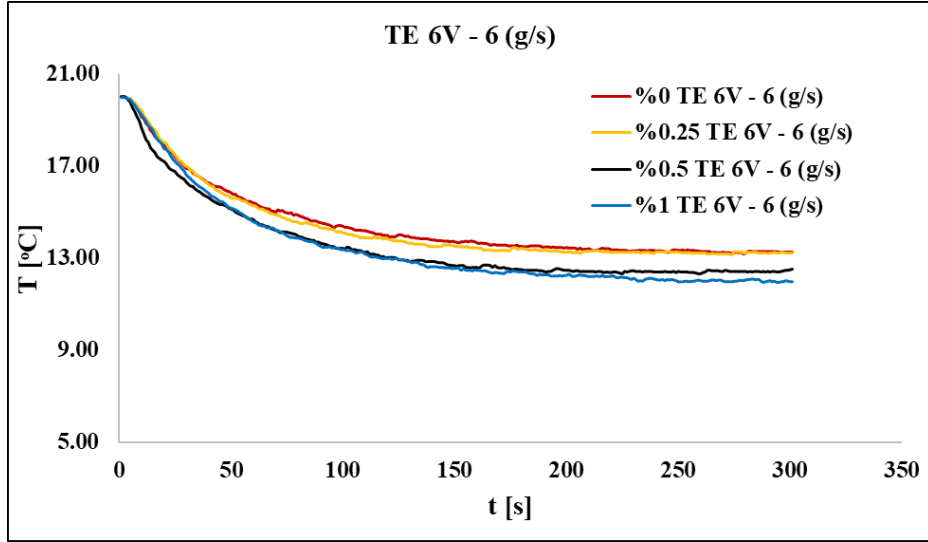
**Şekil 4.16.** 14,82 L hacim ve %1,0 hacimsel oran için farklı kütleli debi değerlerinde soğutulan ortamın zamana bağlı sıcaklık değişimleri; (a) TE 6V, (b) TE 8V, (c) TE 10V (d) TE 12V.

14,82 l hacimde Şekil 4.14'de grafikler sabit kütleli debiye bağlı olarak değişkenlik gösteren termoelektrik eleman gerilim değerlerini gösterilmişken Şekil 4.16'da ise termoelektrik eleman gerilim değerleri sabit tutup düşen sıcaklık eğrilerini gösteren grafikler sunulmuştur. Sıcaklık eğrilerindeki fark 6,24 l'lik hacimdeki sıcaklık eğrileri kadar büyük değildir. Sırasıyla en büyük sıcaklık farkının olduğu sıcaklık eğrileri TE 12V olduğu 6 g/s ile 10 g/s olan kütleli debiler arasında olduğu fark edilmiştir. 14,82 l'lik hacmin %1,0 nanopartikül içeren nanoakışkan ile soğutulmasında en düşük sıcaklık TE 12V ile 14 g/s kütleli debide ölçülürken en yüksek sıcaklık ise TE 6V ile 6 g/s'de olduğu belirlenmiştir. 6,24 l'lik soğutulan hacim için elde edilen sıcaklık eğrilerindeki büyük fark 14,82 l'lik soğutulan hacimde görülmemektedir. Bu durumun en basit nedeni, soğutulan hacmin artmasıdır. Deneyde kullanılan termoelektrik eleman sayısı artırıldığında veya -bu deneyde yapılamayan- gerilim değerlerinde daha fazla artışa gidilmesinde sıcaklıklarda daha fazla düşüşün olacağı öngörülmektedir. Şekil 4.4, Şekil 4.8, Şekil 4.12 ve Şekil 4.16'da nanopartikül miktarı arttıkça ısı transferinin arttığı ve sıcaklıklarda daha fazla düşüşün görüldüğü belirlenebilir.

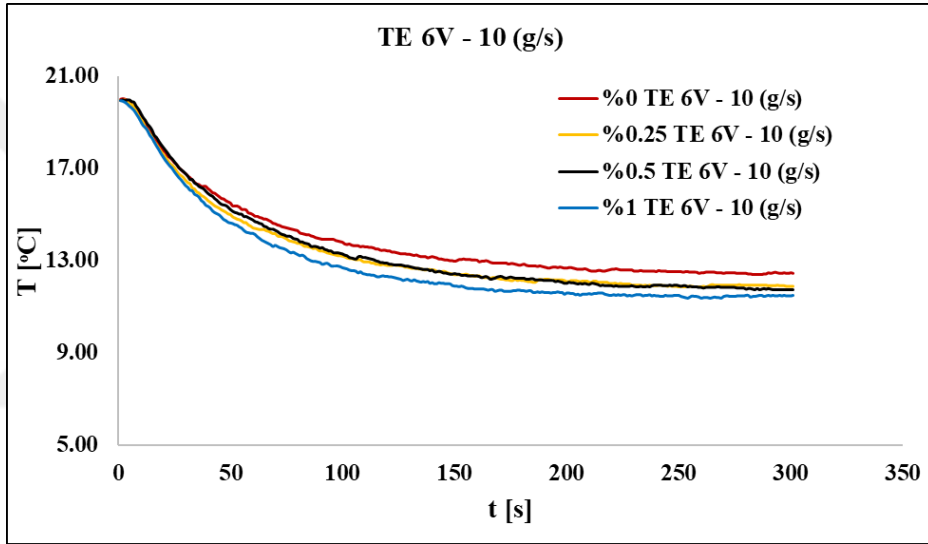
Yukarıda sunulan grafiklerde 6,24 l'lik hacmin boyutlarından dolayı daha düşük sıcaklıklara sahip olduğu bulunmuştur. 6,24 l'lik hacimde belirlenen en düşük sıcaklığın TE 12V ve 14 g/s değerlerinde %1,0 nanopartikül oranına sahip nanoakışkanlarda tespit edilmiştir. Farklı oranlarda nanopartikül içeren nanoakışkanlar termoelektrik elemanın sıcak yüzeyinin soğutulmasında kullanılsa da en fazla etkinin %0,25 oranında TE 8V ve 10 g/s kütleli debisinde olduğu fark edilmiştir. Diğer oranlarda sıcaklık düşüşü nispeten gerçekleşse de %0,25 oranındaki net ve kısa süredeki düşüş oldukça önemlidir.

Yukarıda sunulan grafiklerde 14,82 l'lik hacim için verilen sıcaklık eğrileri, 6,24 l'lik hacimdeki sıcaklık eğrileri kadar büyük düşüş göstermemiştir. Bu duruma neden olabilecek etkenler; kutu hacminin etkili olması, termoelektrik elemanın tek olmasından dolayı yetersizliği, termoelektrik elemanın sahip olduğu kapasite artırılarak gerilim değerleri artırılabilir ve böylece sıcaklıkta daha fazla düşme sağlanabilir.

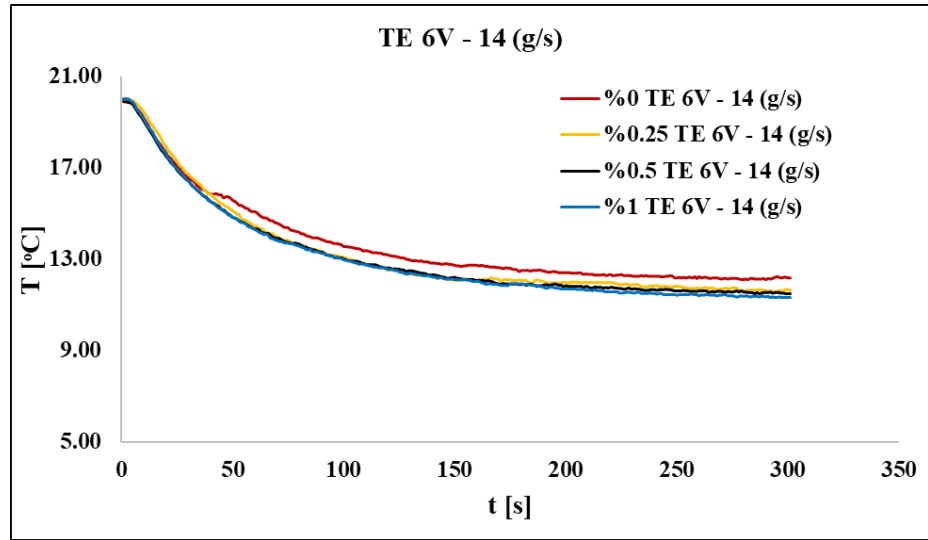
Yukarıda verilen hem 14,82 l'lik hacim hem de 6,24 l'lik hacim için sıcaklık eğrilerinin zamana göre değişimlerini gösteren grafiklerde nanopartikül oranlarına göre sınıflandırma yapıp termoelektrik eleman için uygulanan gerilim değerleri ve kütleli debi değerlerindeki ilişki gösterilmiştir. Aşağıdaki grafiklerde ise termoelektrik eleman ve kütleli debi sınıflandırmaları yapıp nanoakışkanın olduğu sıcaklık zaman eğrileri sunulmuştur.



a



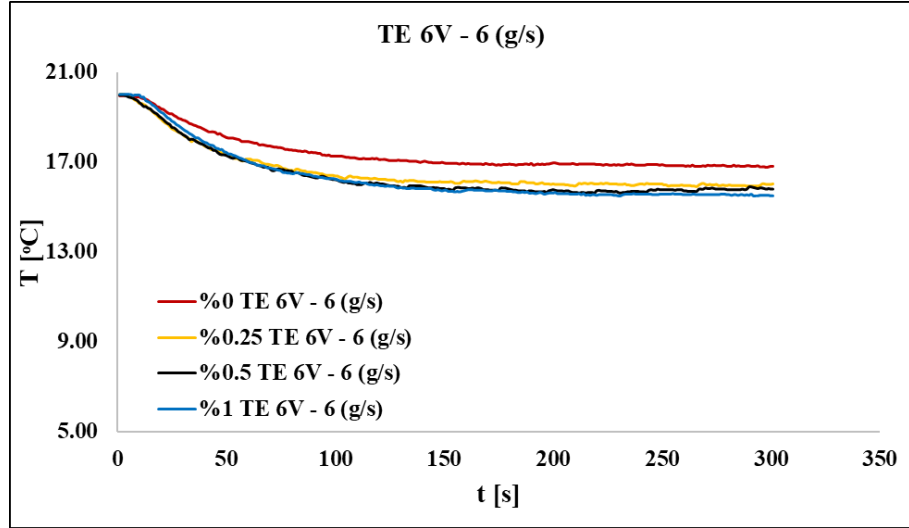
b



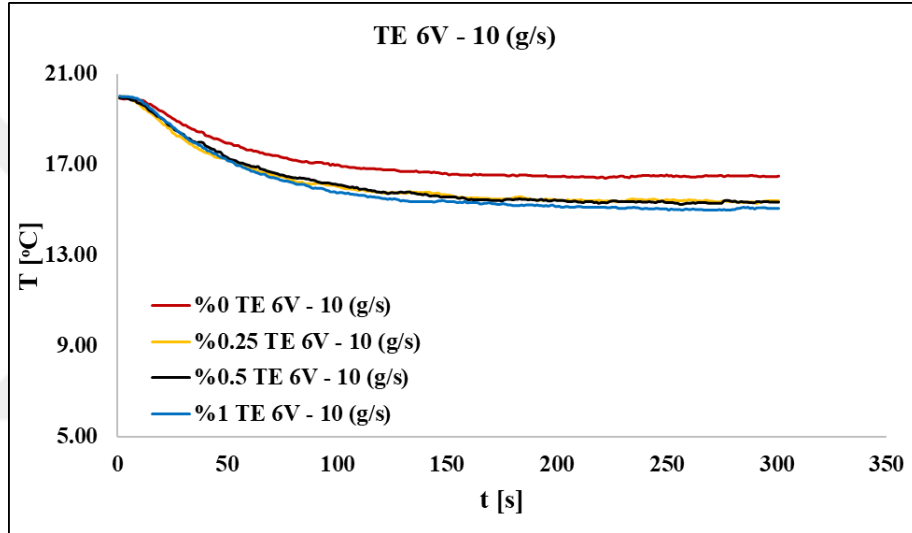
c

Şekil 4.17. 6,24 L hacim ve TE 6V için farklı kütledebilerde soğutulan ortamın zamana bağlı sıcaklık değişimleri (a) 6 g/s, (b) 10 g/s, (c) 14 g/s.

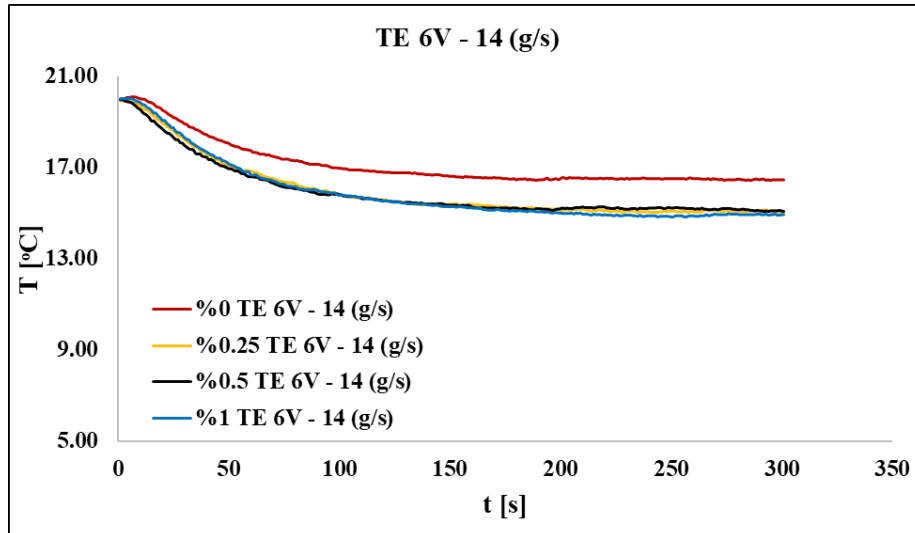
Şekil 4.17’de 6,24 l’lik hacim için elde edilen sıcaklık eğrileri sabit termoelektrik eleman gerilim değerleri, sabit kütlesel debi değerlerinde ve değişen nanopartikül oranlarına göre elde edilmiştir. Aynı gerilim değerlerinde ve aynı kütlesel debi değerlerinde değişen nanopartikül oranlarına göre yapılan bu sınıflandırmada nanopartikül etkinliği araştırılmıştır. Nanopartikül oranı artıkça soğutulan hacimde elde edilen sıcaklık eğrilerindeki fark oldukça azdır. Yine grafiklerden artan kütlesel debi değerlerine göre incelenecek olursa, kütlesel debi değerlerine göre de sıcaklık eğrileri arasındaki fark oldukça düşük olduğu söylenebilir. Termoelektrik eleman gerilim değerlerinin sabit tutulmasıyla görülen sıcaklık eğrilerinde elde edilen ortalama sıcaklık 13°C ile 11°C dolaylarında olduğu fark edilecektir. Nispeten en düşük sıcaklıkların 14 g/s kütlesel debide olduğu ve nispeten en yüksek sıcaklıkların ise 6 g/s kütlesel debide olduğu söylenebilir. Sıcaklık eğrileri yaklaşık 120. saniyeden sonra asimptotik özellik göstermiş, sıcaklık eğrilerinde daha fazla düşüş olmadığı görülmüştür.



a



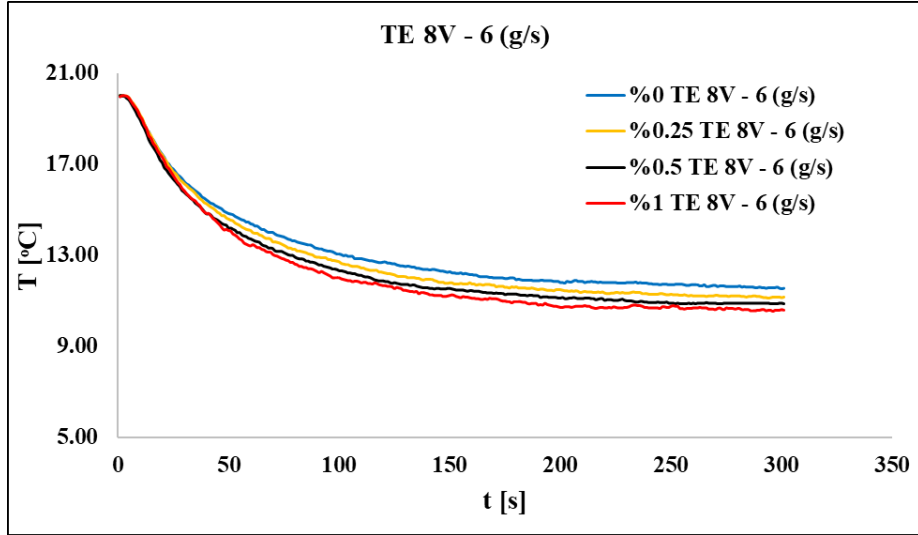
b



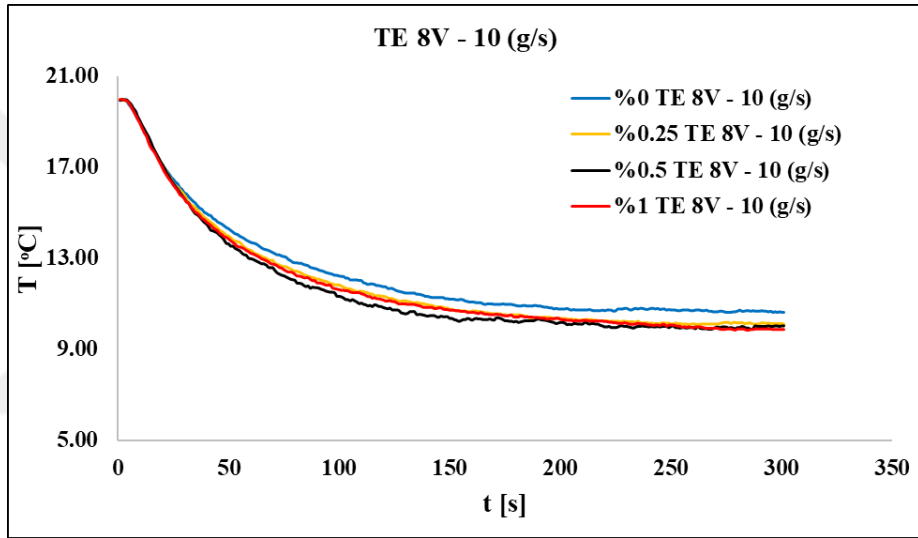
c

Şekil 4.18. 14,82 L hacim ve TE 6V için farklı kütleli debilerde soğutulan ortamın zamana bağlı sıcaklık değişimleri (a) 6 g/s, (b) 10 g/s, (c) 14 g/s.

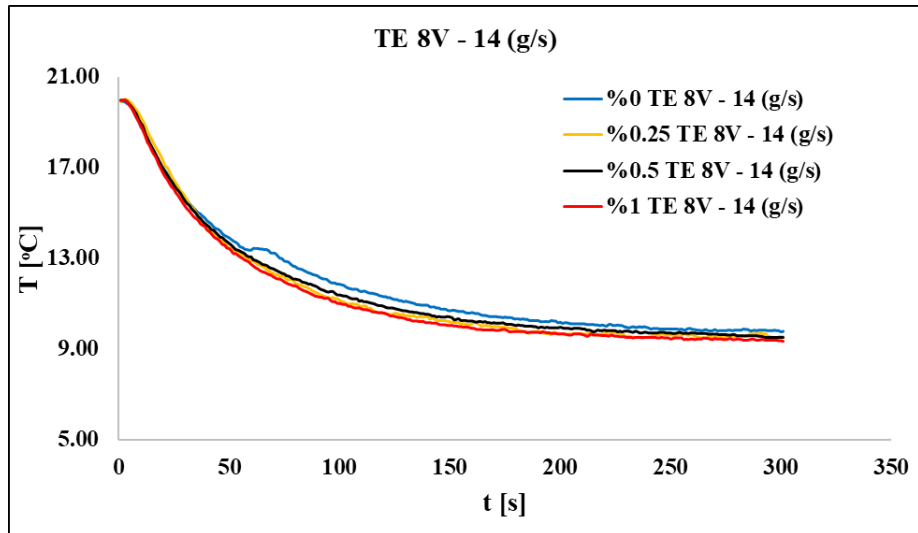
Őekil 4.18'de 14,82 l'lik hacmin soğutulmasında termoelektrik elemanın sabit 6V değerinde, sabit kütlesel debi ve değerşen nanopartikül oranlarına göre elde edilen sıcaklık eğrileri sunulmuŐtur. Őekil 4.18 incelendiğinde aynı termoelektrik eleman gerilimlerinde artan nanopartikül oranında sıcaklık dűŐüşünün olduğu belirlenebilir. 14,82 l'lik hacimde %0,25 nanopartikül oranına sahip iŐ akıŐkanını uygulandığında saf suya göre diğer nanoakıŐkanların sahip olduğu iŐ akıŐkanına göre oldukça baŐarılı soğutma gerçekteŐtirdiđi söylenebilir. Bu durumda artan soğutma hacimlerinde soğutma için saf su yerine belirli oranda nanopartikül oranına sahip nanoakıŐkan kullanımı doğru bir tercih olacaktır. Bu çalıŐmada belirli diye nitelendirilen nanopartikül oranı %0,25'dir. Diđer nanopartikül oranına sahip nanoakıŐkanlar, kendi aralarında büyük fark göstermemiŐtir. Kütlesel debinin artması tıpkı Őekil 4.17'de de olduğu gibi büyük bir farka neden olmamıŐtır. Őekil 4.18'de bütün grafikler için yaklaşık 100. saniyeden sonra sıcaklık eğrilerinde büyük dűŐüş görülmeyip eğrilerin asimptotik olduğu fark edilmiŐtir.



a



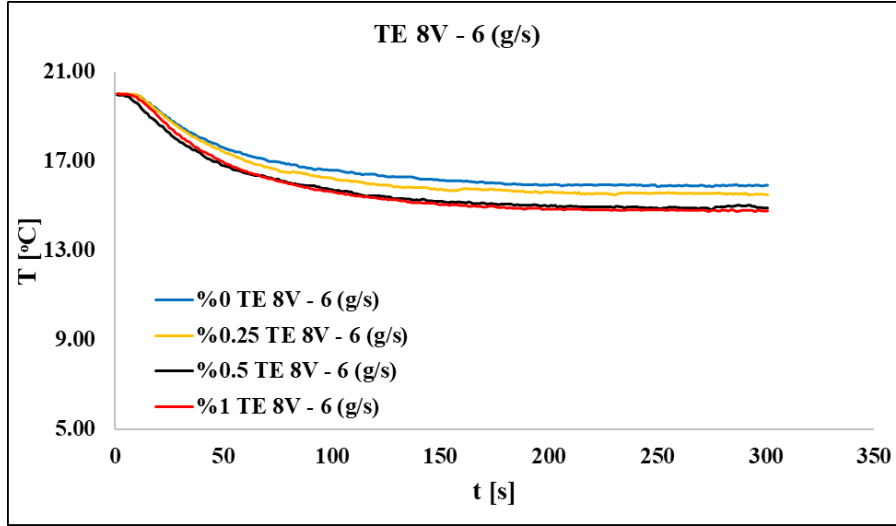
b



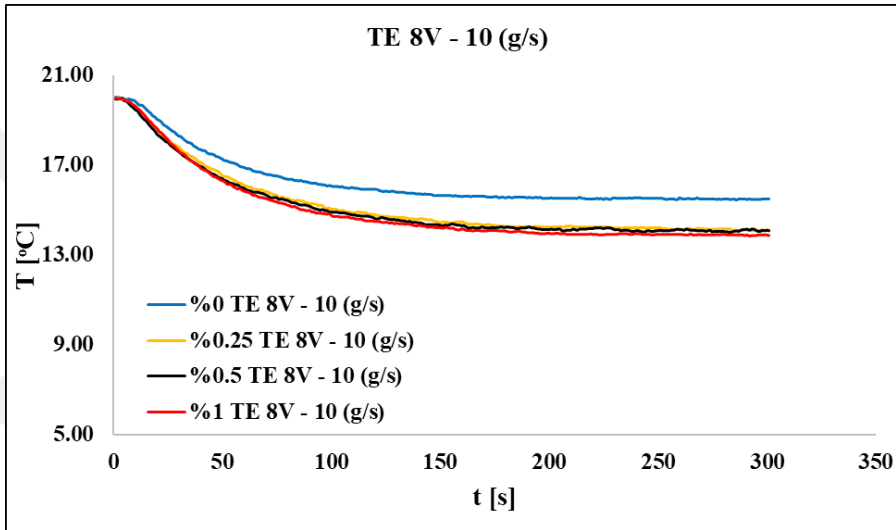
c

Şekil 4.19. 6,24 L hacim ve TE 8V için farklı kütleli debilerde soğutulan ortamın zamana bağlı sıcaklık değişimleri (a) 6 g/s, (b) 10 g/s, (c) 14 g/s.

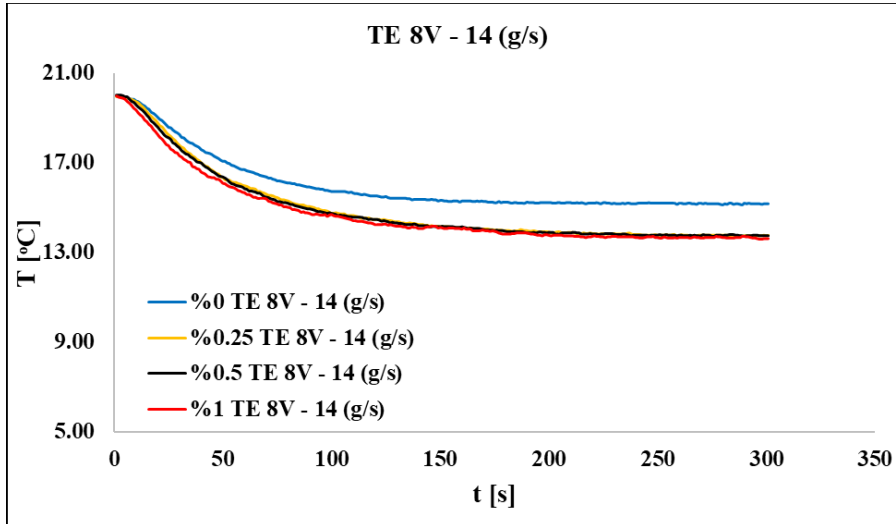
Őekil 4.19’da 6,24 l’lik hacim için termoelektrik elemanın sabit 8V değerindeki farklı nanopartikül oranındaki nanoakıŐkan ve sabit kütlesel debilerde elde edilen sıcaklık – zaman verilerinin grafikleri gösterilmiŐtir. Bu grafiklerde elde edilen sonuçlar Őekil 4.17’deki grafiklerle karŐılaŐtırılırsa sabit tutulan termoelektrik elemanın gerilim değerlerinde, deęiŐen kütlesel debi ve deęiŐen nanopartikül oranlarında görülen sıcaklıklardaki dűŐüŐ fark edilecektir. Soęutulan hacimde ortalama sıcaklık yaklaŐık olarak 11°C ile 9°C arasındadır. Sıcaklık eğrileri arasındaki fark burada da göze çarpmamaktadır. Bunun en önemli sebebi ise üç grafiğin aynı termoelektrik eleman değerinde gösterilmesidir. Termoelektrik eleman değerlerinin sabit tutulması ama deęiŐen kütlesel debi ve nanopartikül oranlarında sıcaklık eğrilerinde dűŐüŐ gözlemlenirken sıcaklık eğrilerinin birbirleri arasındaki fark nispeten çok az görölmektedir. Bu durum etkin soğutmanın termoelektrik eleman için uygulanan gerilim değerlerini ana etken yaparken deęiŐen kütlesel debi ve deęiŐen nanopartikül oranını daha az etkilediği söylenebilir. Grafiklerdeki sıcaklık eğrileri incelendiğinde sıcaklıklar yaklaŐık 150. saniyeden sonra asimptotik özellik göstermiŐ sıcaklıklarda büyük dűŐüŐ görölmemiŐtir.



a



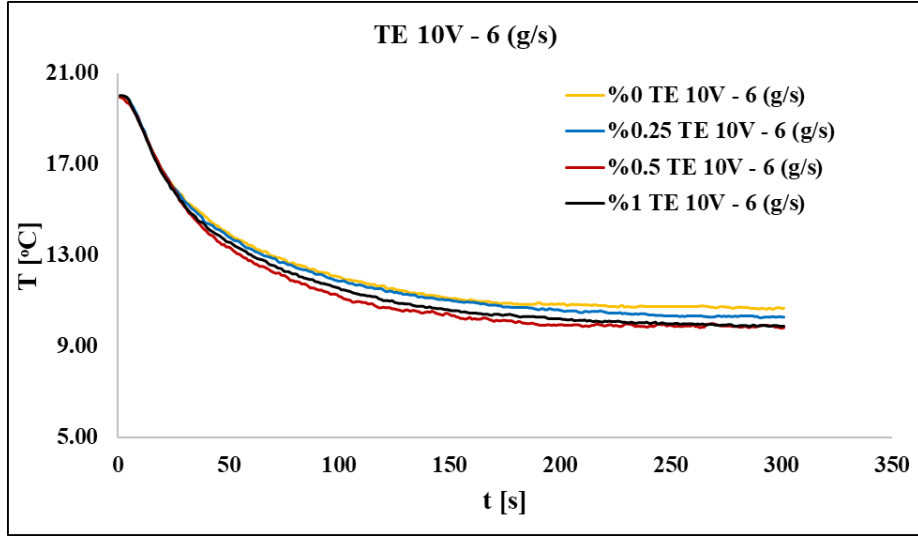
b



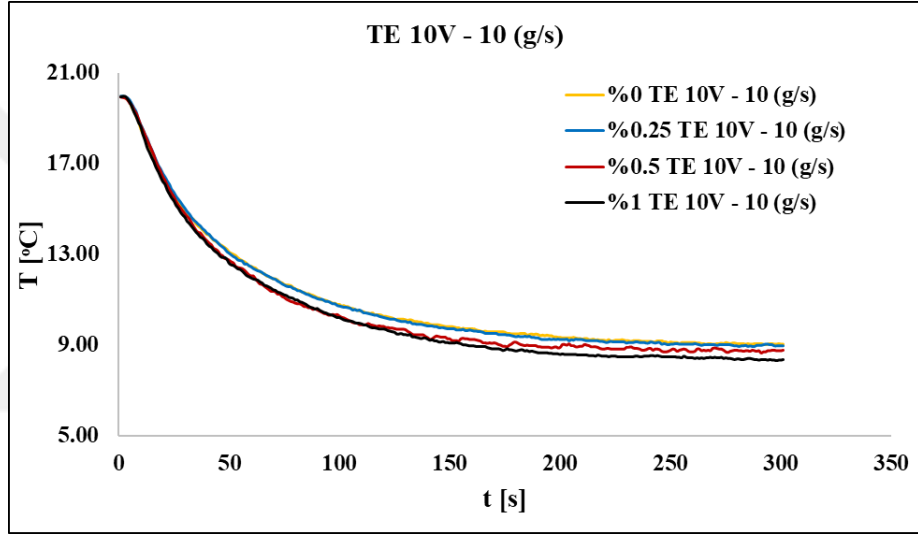
c

Şekil 4.20. 14,82 L hacim ve TE 8V için farklı kütleli debilerde soğutulan ortamın zamana bağlı sıcaklık değişimleri (a) 6 g/s, (b) 10 g/s, (c) 14 g/s.

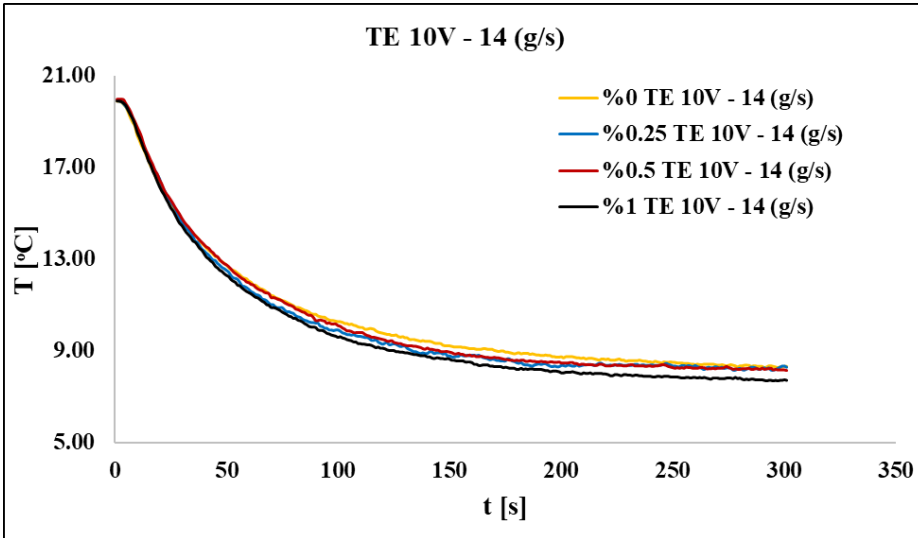
Şekil 4.20’de 14,82 l’lik hacmin soğutulmasında termoelektrik elemanın sabit 8V değerinde, sabit kütleli debinin ve değişen nanopartikül oranları için elde edilen sıcaklık – zaman grafikleri sunulmuştur. Grafiklere dikkat edilirse 6 g/s kütleli debide sıcaklık eğrileri arasındaki fark biraz daha belirgin olarak görülebilirken aynı durum kütleli debisi 10 g/s ve 14 g/s olan sıcaklık eğrilerindeki fark neredeyse hiç görülmez. Bu durumda çıkarılan sonuç nanopartikül oranı ve kütleli debinin soğutmadaki etkinliği tartışmalıdır. 10 g/s ve 14 g/s kütleli debilerdeki grafiklerde %0,25 nanopartikül oranının saf suya göre soğutmada etkili olduğu görülebilir. Diğer nanopartikül oranlarına sahip nanoakışkanlar ise %0,25 oranıyla büyük benzerlikler göstermektedir. Şekil 4.18 ve Şekil 4.20 ile karşılaştırıldığında sıcaklık eğrilerindeki düşüş hemen fark edilecektir. Durumun termoelektrik elemanın gerilim değerinin artmasıyla ilişkilendirilebilir. 14,82 l’lik hacmin soğutulmasında en düşük sıcaklık yaklaşık olarak 13°C’dir. Sıcaklık eğrileri yaklaşık 110. saniyeden sonra asimptotik özellik göstermiş sıcaklık düşüşünde büyük fark görülmemiştir.



a



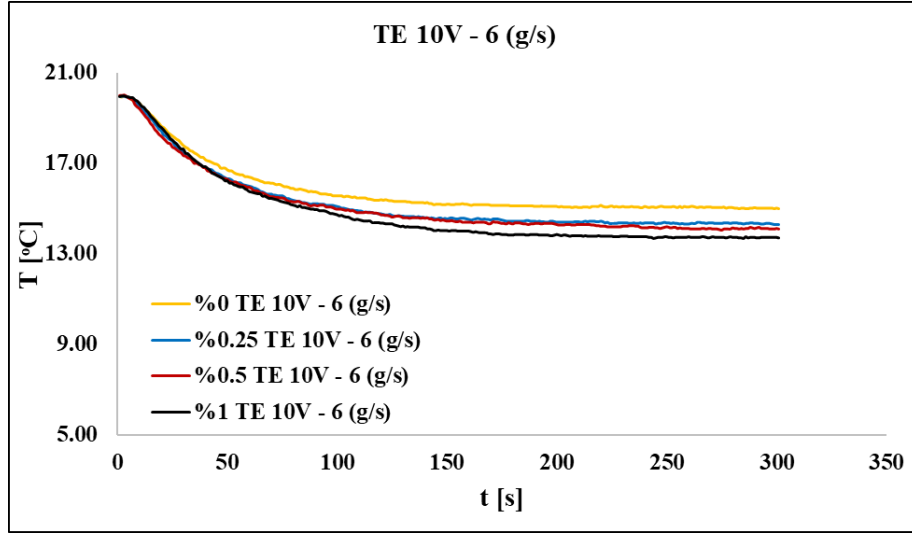
b



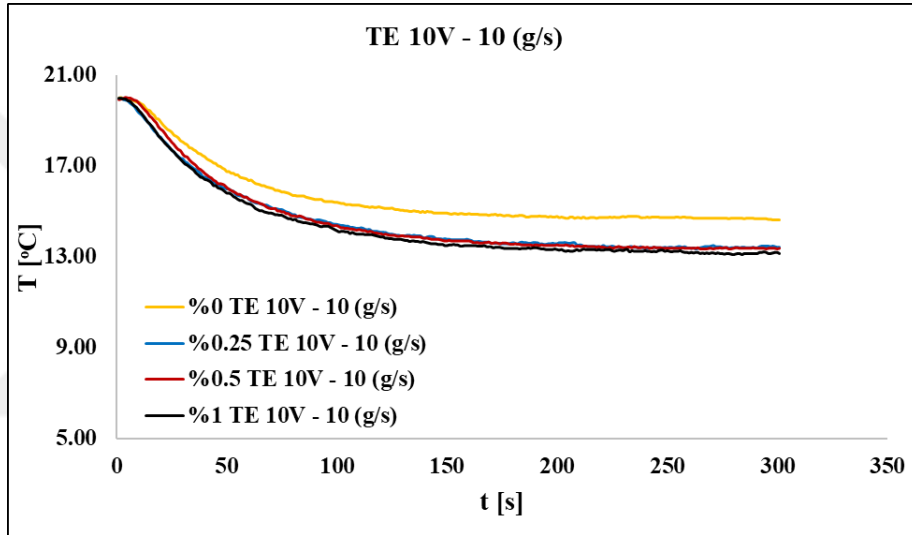
c

Şekil 4.21. 6,24 L hacim ve TE 10V için farklı kütleli debilerde soğutulan ortamın zamana bağlı sıcaklık değişimleri (a) 6 g/s, (b) 10 g/s, (c) 14 g/s.

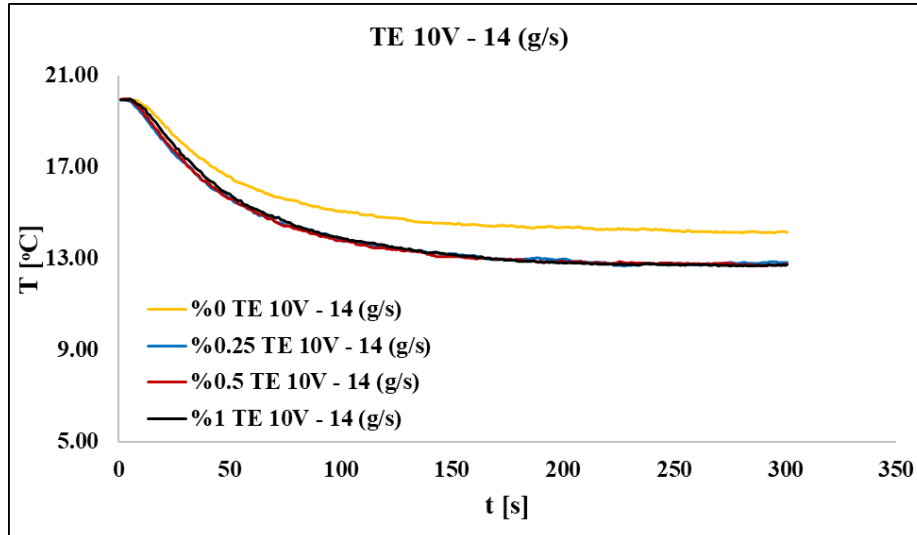
6,24 l'lik hacim için Şekil 4.21'de TE 10V değerlerinin sıcaklık zaman iliŐkisini nanopartikül oran farklılıkları ve sabit kütleli debiye göre değişimleri sunulmuştur. Sunulan diğer Őekillerdeki grafiklerde sıcaklık eğrilerindeki gibi Şekil 4.21'de de nanopartikül oranının ve kütleli debinin artması sonucu sıcaklık eğrilerinde birbirlerine göre büyük fark görülmemiştir. Şekil 4.17, Şekil 4.19 ve Şekil 4.21 incelendiğinde termoelektrik eleman gerilim değerlerinin artmasıyla sıcaklık eğrilerinde düşüş olduğu görülecektir. Ancak sıcaklık eğrileri daha önce de belirtildiği gibi birbirleri arasında büyük fark oluŐturmamaktadır. Şekil 4.20'de de belirtilen durum Şekil 4.21'de de aynen geçerlidir; termoelektrik eleman gerilimi ana etken olarak karŐımıza çıkmaktadır. 6,24 l'lik hacmin soğutulmasında elde edilen bu verilere göre en düşük sıcaklık yaklaşık olarak 9°C ile 7°C arasında olduğu fark edilmiştir. Sıcaklık eğrileri arasındaki fark burada da görülmemektedir. Daha önceki grafiklerde karşılaşılan bu durumun nedenlerinin aynı olduğu kabul edilmektedir. Kütleli debinin artmasıyla sıcaklıklardaki düşüş fark edilebilir. Kutu içi sıcaklık yaklaşık 110. saniyeden sonra sabit hale gelmiŐ, daha fazla düşüş görülmemiştir.



a



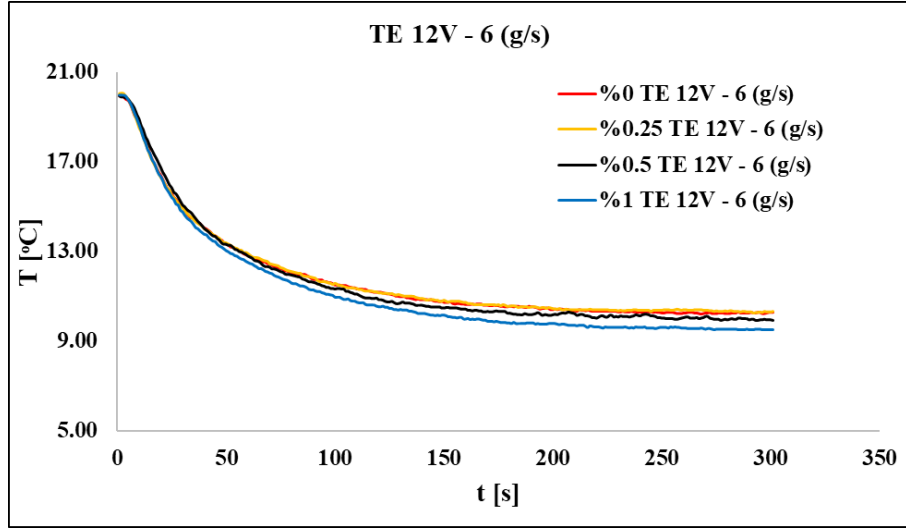
b



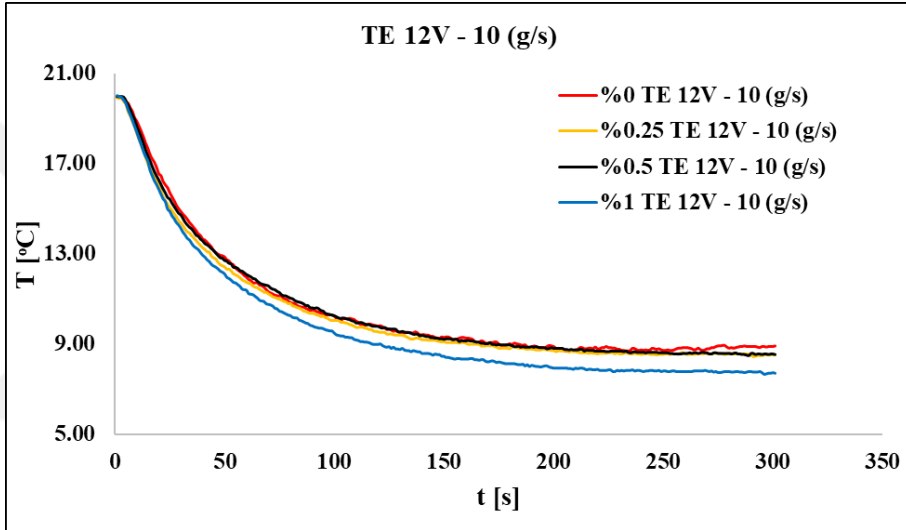
c

Şekil 4.22. 14,82 L hacim ve TE 10V için farklı kütleli debilerde soğutulan ortamın zamana bağlı sıcaklık değişimleri (a) 6 g/s, (b) 10 g/s, (c) 14 g/s.

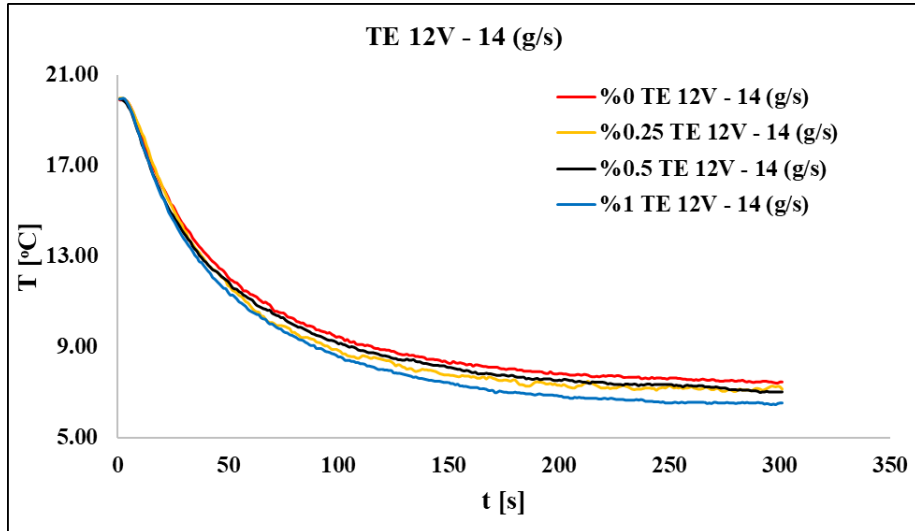
Şekil 4.22’de 14,82 l’lik hacmin soğutulmasıyla ilgili veriler grafikler halinde sunulmuştur. Sabit termoelektrik eleman gerilimi ve sabit kütleli debi değerlerinde değişen nanopartikül oranlarına göre oluşturulan sıcaklık eğrileri zamana göre değişimi gösterilmiştir. Şekil 4.18, Şekil 4.20 ve Şekil 4.22’de paylaşılan grafikler incelendiğinde termoelektrik eleman gerilim değerlerinin artmasıyla sıcaklık eğrilerinde de düşüşler görülmektedir. Aynı grafiklerde sıcaklık eğrileri birbirlerine göre büyük fark oluşturmamıştır. Sıcaklık eğrilerinde birbirleri arasındaki farklar bu grafiklerde de yok denecek kadar azdır. Ancak dikkat edilirse %0,25 nanopartikül oranına sahip nanoakışkanın saf suya göre sıcaklık eğrileri arasında fark olduğu söylenebilir. 14,82 l’lik hacim için paylaşılan daha önceki grafikler incelendiğinde sıcaklık düşüşleri olduğu fark edilebilir. Ancak belirgin farklılık söz konusu değildir. Buna sebep olan durum soğutulan hacmin büyük olmasından kaynaklanır. Sıcaklıklar ortalama 15 °C ile 13°C dolaylarındadır. TE 10V ve kütleli debiler dikkate alındığında kütleli debinin artmasıyla sıcaklıklarda nispeten düşüş olduğu görülebilir. Sıcaklık eğrileri yaklaşık 120. saniyeden sonra asimptotik özellik gösterip daha fazla sıcaklık düşüşünün olmadığı söylenebilir.



a



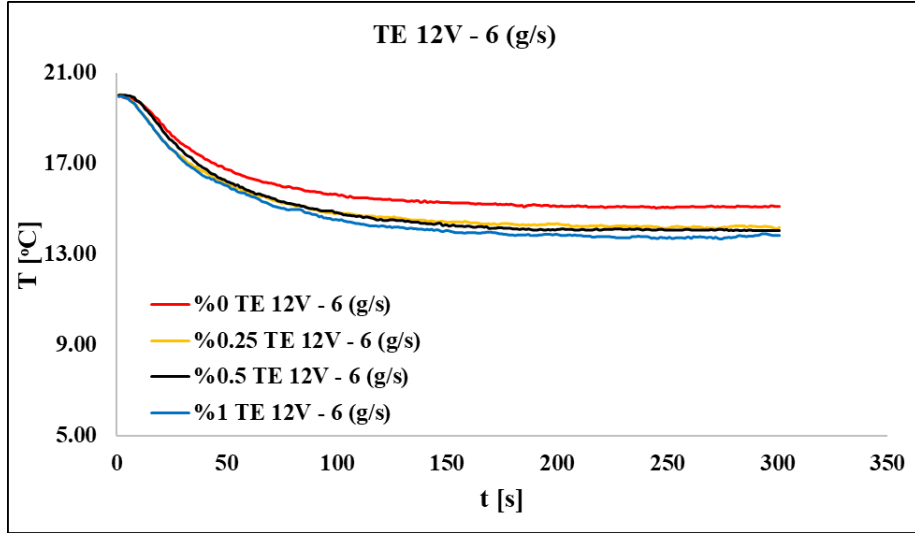
b



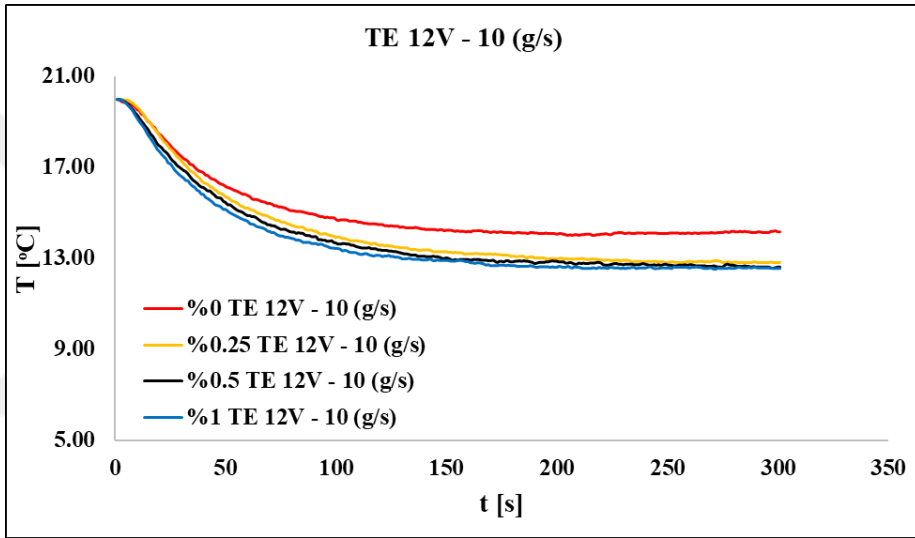
c

Şekil 4.23. 6,24 L hacim ve TE 12V için farklı kütleli debilerde soğutulan ortamın zamana bağlı sıcaklık değişimleri (a) 6 g/s, (b) 10 g/s, (c) 14 g/s.

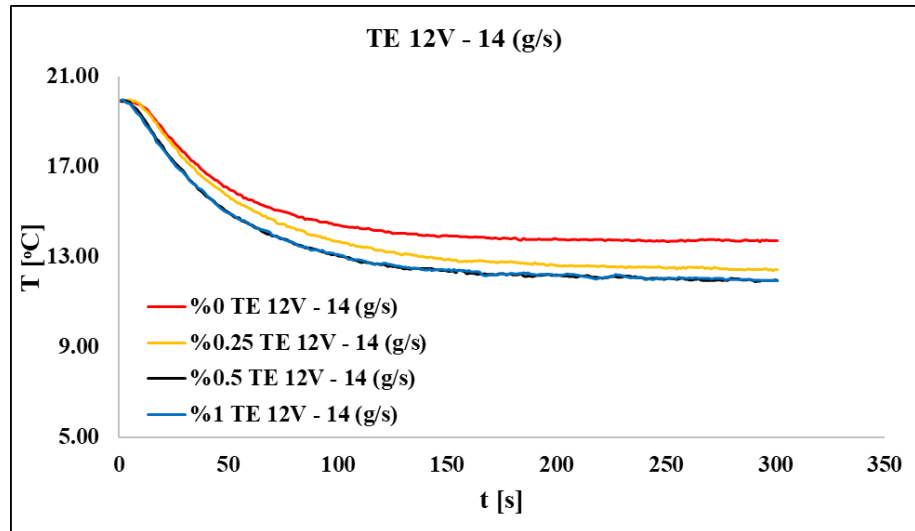
Şekil 4.23’de 6,24 l’lik hacmin soğutulmasıyla elde edilen sıcaklık – zaman grafikleri sunulmuştur. Şekil 4.23’de aynı TE 12V değerinde, sabit tutulan kütleli debi ve değişken nanopartikül oranına sahip nanoakışkan etkisi görülmektedir. Kütleli debinin artması daha önce sunulan diğer grafiklerdeki sıcaklık eğrilerine göre üç grafikte az da olsa farktan söz edilebilir ancak sıcaklık eğrileri arasındaki çok büyük fark yine de göze çarpmamaktadır. Soğutulan hacmin ortalama sıcaklığı kütleli debiye göre değişiklik gösterdiği söylenebilir. Şekil 4.17, Şekil 4.19, Şekil 4.21 ve Şekil 4.23’de sıcaklık eğrileri karşılaştırıldığında termoelektrik eleman gerilim değerlerinin artmasıyla sıcaklık eğrilerinde de büyük farklı düşüş görülmektedir. En düşük sıcaklık, 14 g/s kütleli debide %1,0 nanopartikül oranında sağlandığı görülebilir. Buna göre en düşük sıcaklık yaklaşık 11°C ile 7°C arasında olduğu fark edilecektir. Şekil 4.23’de grafikteki sıcaklık eğrileri yaklaşık 150. saniyeden sonra asimptotik özelliği göstermiş ve büyük sıcaklık düşüşleri görülmemiştir. Soğutulan hacminin küçük (6,24 l) olmasından dolayı 14,82 l’lik hacme göre daha fazla sıcaklık düşüşü olması olağan karşılanmaktadır.



a



b



c

Şekil 4.24. 14,82 L hacim ve TE 12V için farklı kütleli debilerde soğutulan ortamın zamana bağlı sıcaklık değişimleri (a) 6 g/s, (b) 10 g/s, (c) 14 g/s.

Şekil 4.24'de 14,82 l'lik hacmin soğutulmasıyla elde edilen sıcaklık – zaman eğrileri grafikler halinde sunulmuştur. Bu grafiklerde de %0,25 nanopartikül oranının saf suya göre etkisi fark edilmektedir. Soğutulan hacmin 6,24 l'lik hacme göre daha büyük olmasından dolayı sıcaklıklar ortalama olarak 15°C ile 12°C dolaylarındadır. Kutu içi en düşük sıcaklık 14 g/s kütleli debisinde yaklaşık olarak 12°C'dir.

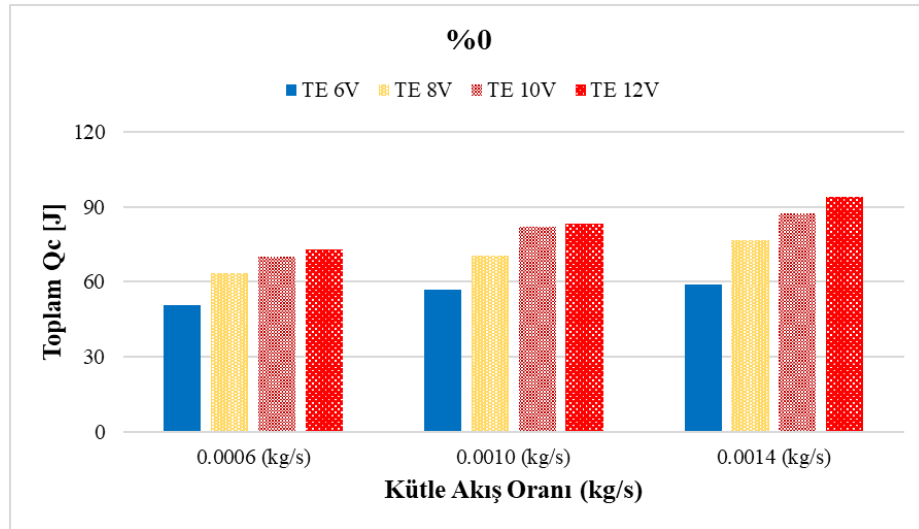
Verilen tüm grafikler dikkatlice incelendiğinde, bazı parametrelere dikkat edilmesi halinde soğutma değerlerinde etkili düşüşler elde edilebilir. Bu parametreler; soğutulan hacmin büyüklüğü, termoelektrik eleman için uygulanan voltaj değerleri, termoelektrik elemanın sıcak yüzeyinin soğutulmasında kullanılan elemanın uygunluğu (eğer etkili soğutma yapılamazsa sıcak yüzey soğuk yüzeyi de etkileyecektir.), -burada nanoakışkan kullanıldığından dolayı- uygun kütleli debinin seçimi gibi parametreler oldukça büyük öneme sahiptir.

Grafiklerde soğutulan hacim başta olmak üzere termoelektrik elemana verilen voltaj değerleri, kütleli debi ve son olarak kullanılan nanopartikül oranı önem sıralaması olarak belirlenebilir.

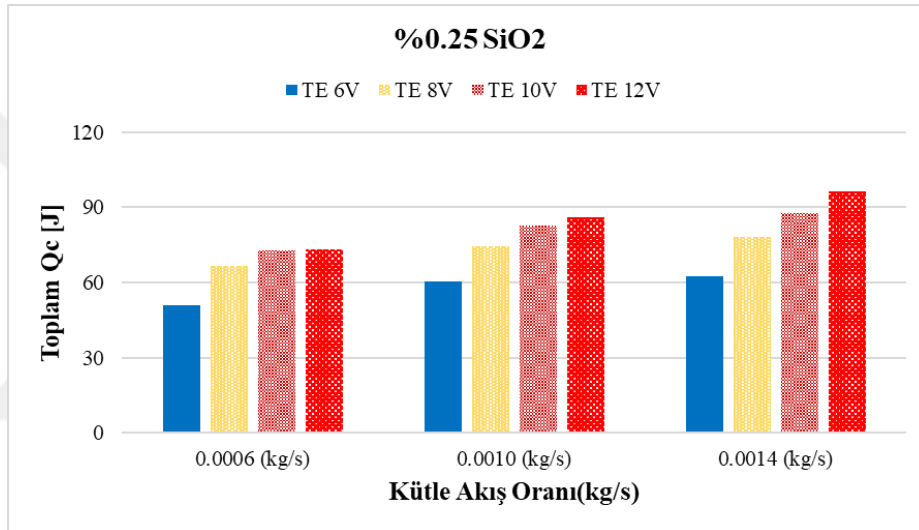
Nanopartikül oranının en büyük etki gösterdiği değer 14,82 l'lik hacimde %0,25 oranı göze çarpmaktadır. Buradan çıkarılan sonuç soğutmada kullanılan saf su %0,25 nanopartikül oranına sahip nanoakışkan kadar soğutma yapamamasıdır. Ayrıca nanoakışkan kullanımından kaynaklı sıcaklık eğrileri incelendiğinde büyük fark gözlenmemiştir.

Tüm sistem sadece sıcaklık – zaman eğrileri ile incelenmeyip aşağıda hem 14,82 l'lik soğutma hacmi hem de 6,24 l'lik soğutma hacmi için ortamdan çekilen toplam soğutma değerine bağlı kütleli debinin oranları ve ortalama soğutma performansına bağlı (COP) kütleli debi oranlarını gösteren grafikler sunulmuştur.

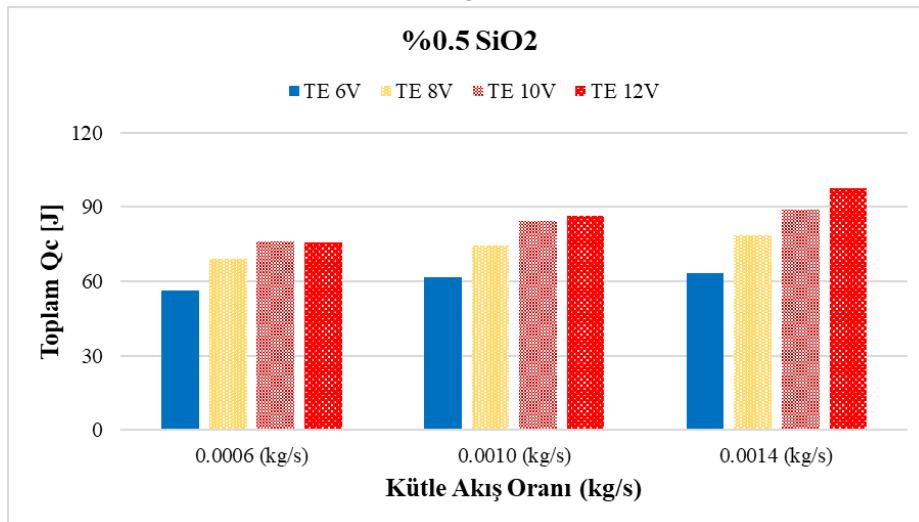
#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



a



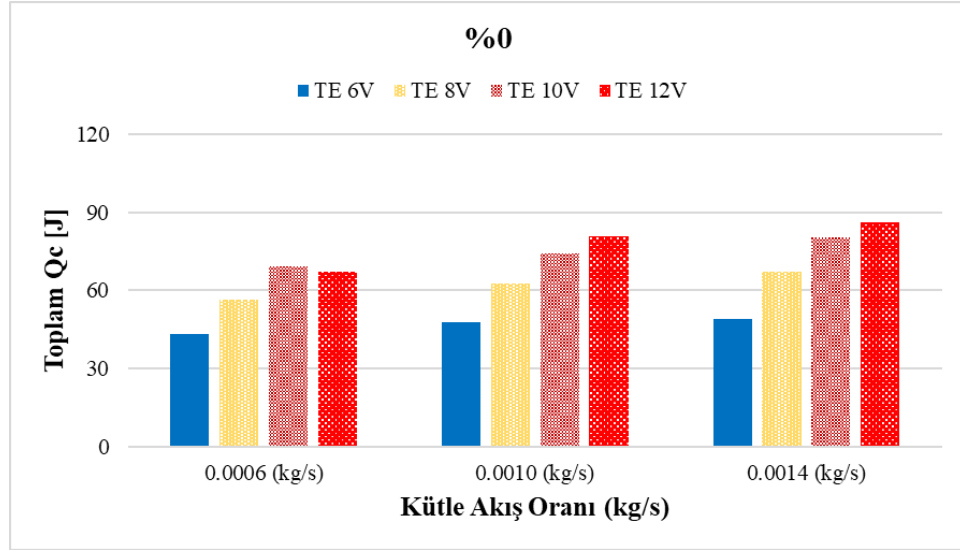
b



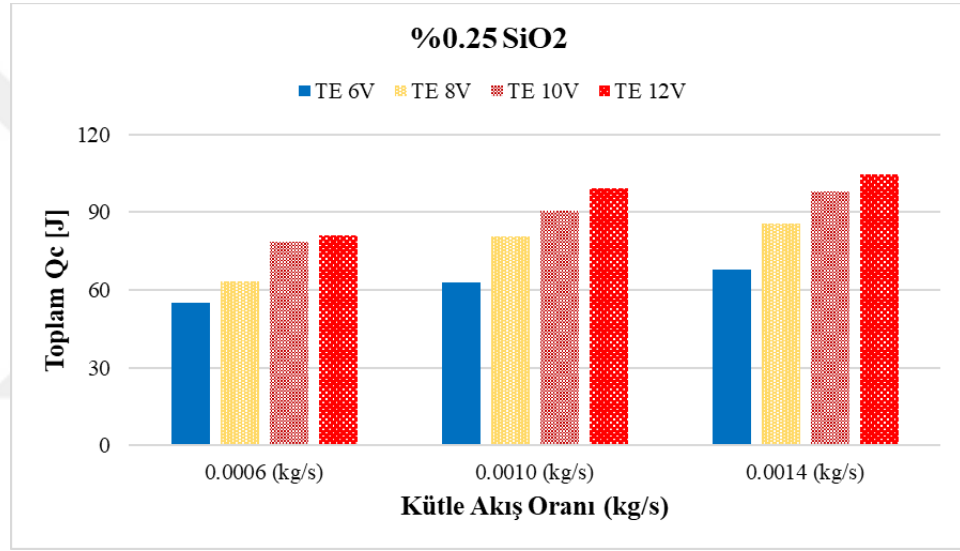
c



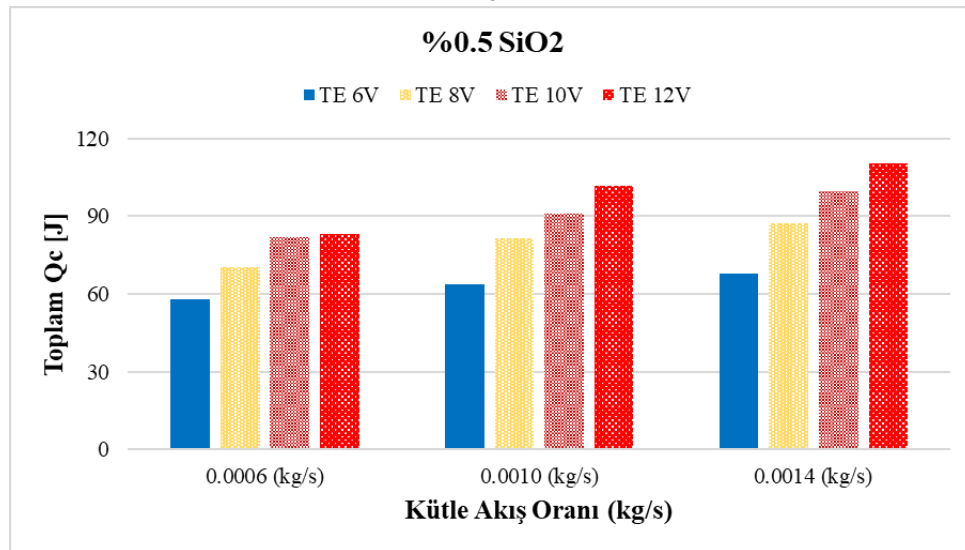
#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



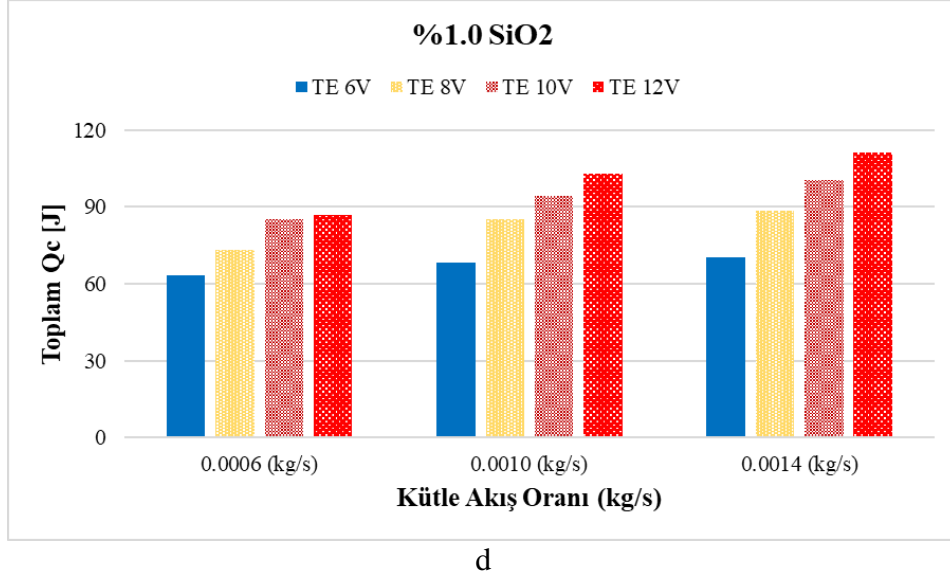
a



b



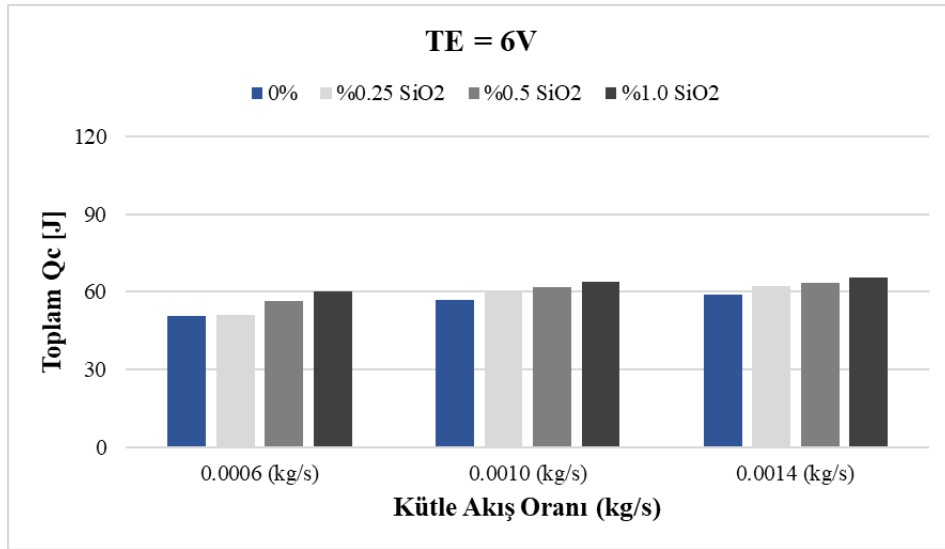
c



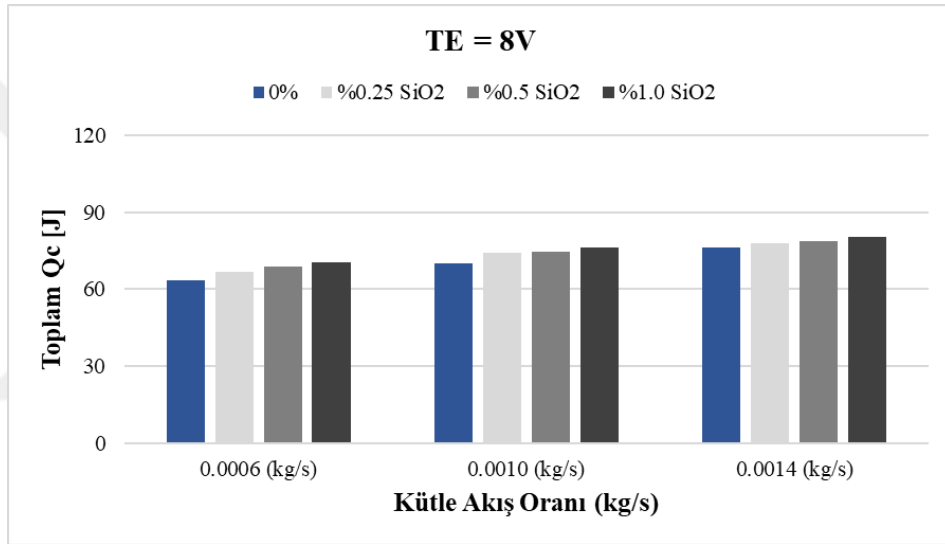
**Şekil 4.26.** 14,82 L hacimde ortamdan çekilen enerjinin kütsel debiyle değişimi (a) %0 nanopartikül oranı, (b) %0,25 nanopartikül oranı, (c) %0,5 nanopartikül oranı, (d) %1,0 nanopartikül oranı.

Şekil 4.26'da 14,82 l'lik hacmin soğutulması için kullanılan nanoakışkanın önemi rahatlıkla görülebilir. Grafiklerde, aynı gerilim değerlerinde ve aynı kütsel debi değerlerindeki iş akışkanı için saf su ve %1,0 nanopartikül oranına sahip nanoakışkan arasındaki bariz fark hemen göze çarpmaktadır. Grafikler tek incelendiğinde ise TE değerlerinin ve kütsel debinin artması bu durum üzerinde oldukça etkili olduğu görülebilir. Her nanopartikül miktarında gösterilen grafiklerde çekilen toplam enerjideki en düşük fark kütsel debinin 6 g/s olduğu durumda, en büyük fark ise 14 g/s olduğu söylenebilir. Termoelektrik elemanın sıcak yüzeyini soğutmak için uygulanan akışkan etkisi, soğutulan hacimde çekilen toplam enerji miktarında etkili olduğu görülmektedir. Grafiklere dikkat edilirse %0,5 ile %1,0 oranında nanoakışkanlarda çekilen toplam enerjinin yakın olduğu görülebilir. Bu durumun iş akışkanı içerisinde nanopartikül miktarının belirli seviyeden sonra artırılmasına gerek olmadığını göstermektedir.

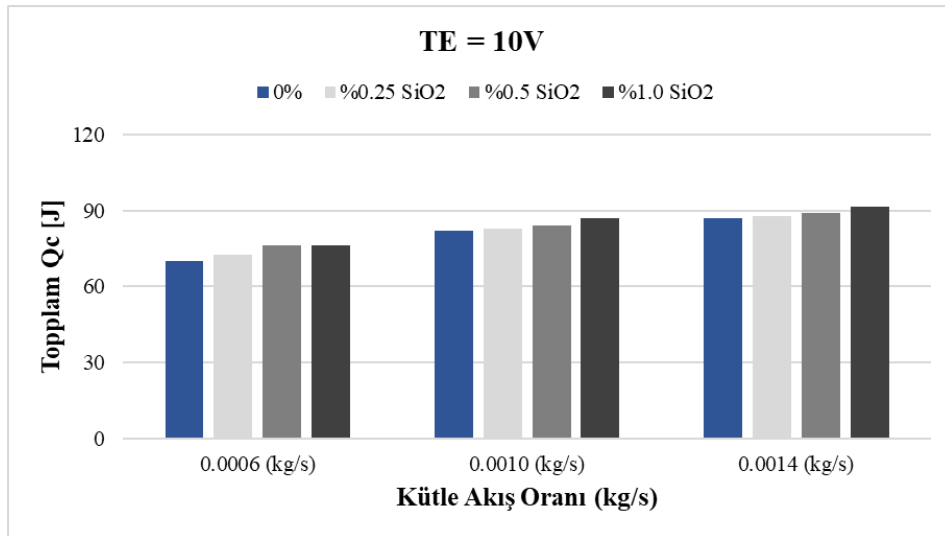
#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



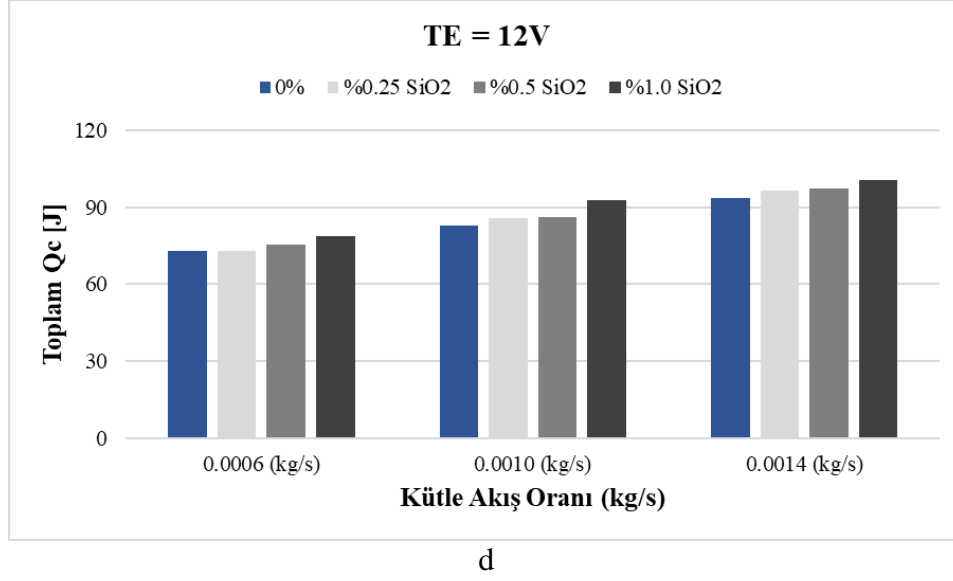
a



b

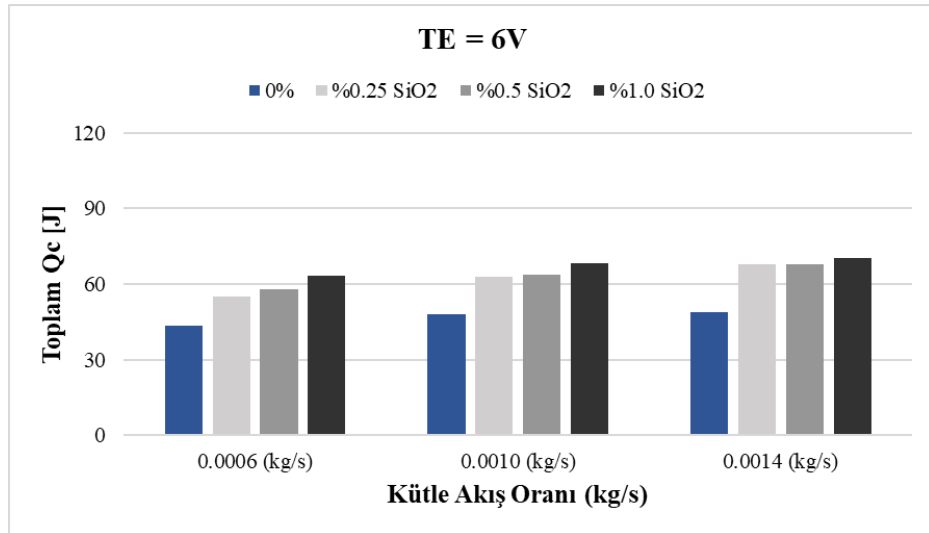


c

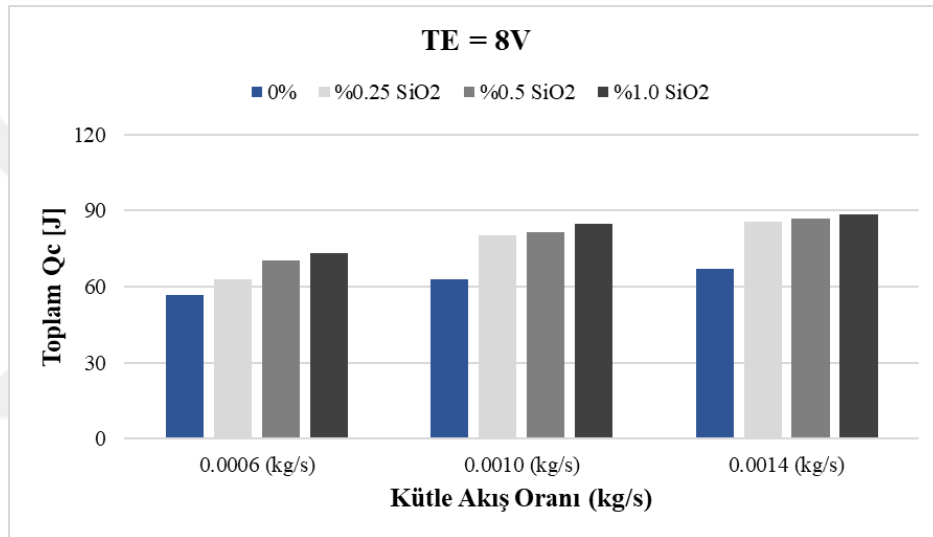


**Şekil 4.27.** 6,24 L hacim için farklı nanopartikül oranlarında çekilen enerjinin değişen kütleli debilerle değişimi (a) TE 6V, (b) TE 8V, (c) TE 10V, (d) TE 12V.

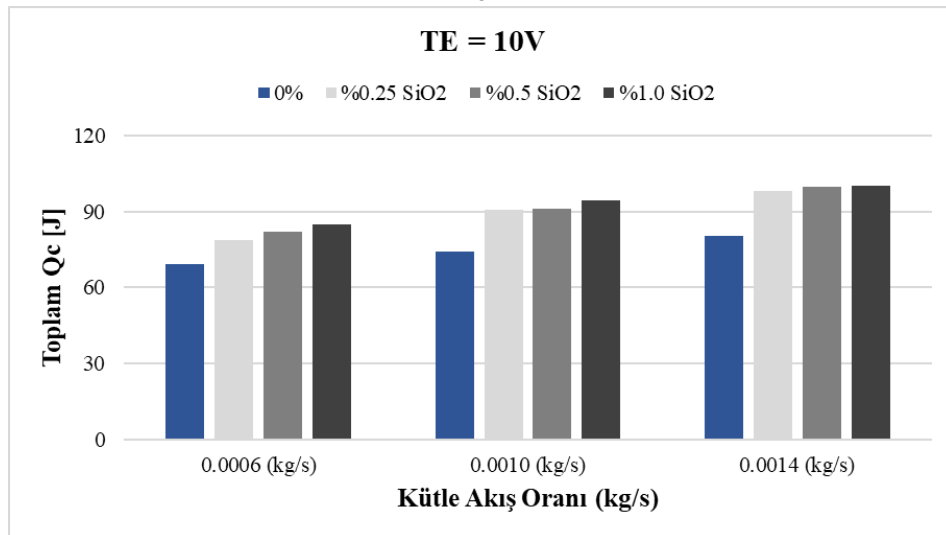
Şekil 4.27’de 6,24 l’lik hacim için ortamdan çekilen toplam enerjinin termoelektrik elemana uygulanan gerilim değerlerine göre oluşturulan grafiklerde, termoelektrik elemanın gerilim değerlerinin artmasıyla çekilen enerjinin arttığı görülebilir. Termoelektrik elemanın gerilim değerlerindeki artış ortamdan çekilen toplam enerjide de artışa neden olduğu görülebilir. Kullanılan iş akışkanında nanopartikül oranı arttıkça ortamdan çekilen enerjide de artış olduğu fark edilecektir. Kütleli debinin artmasıyla elde edilen sonuçlara göre, termoelektrik elemanın 6V ve 8V değerlerinde büyük fark oluşturmazken gerilim değerlerinin 10 V ve 12V olduğu durumlarda farklar görülebilir. Bu durum şöyle açıklanabilir; gerilim arttıkça yüzeyi soğutmak için uygulanması gereken kütleli debi miktarı artmalı bundan dolayı içerden çekilen toplam enerji miktarını da arttıracaktır.



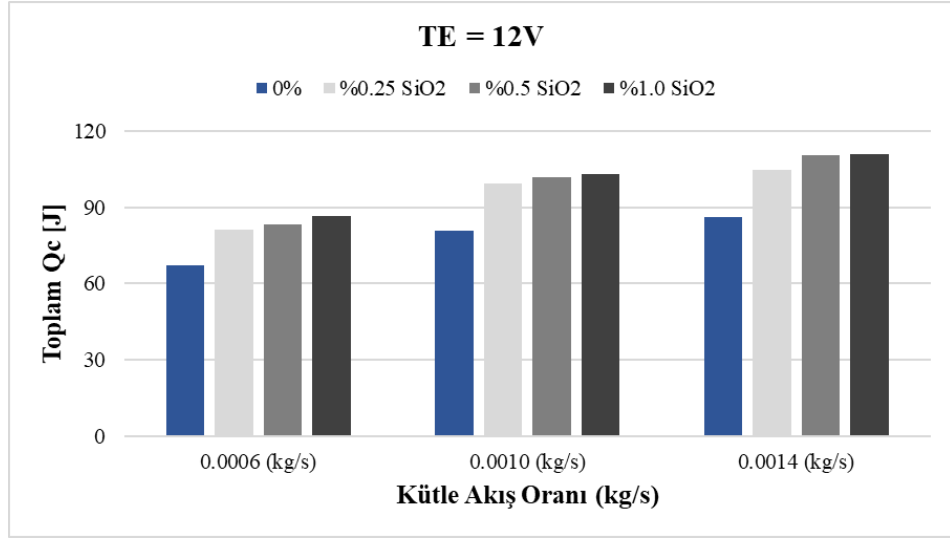
a



b



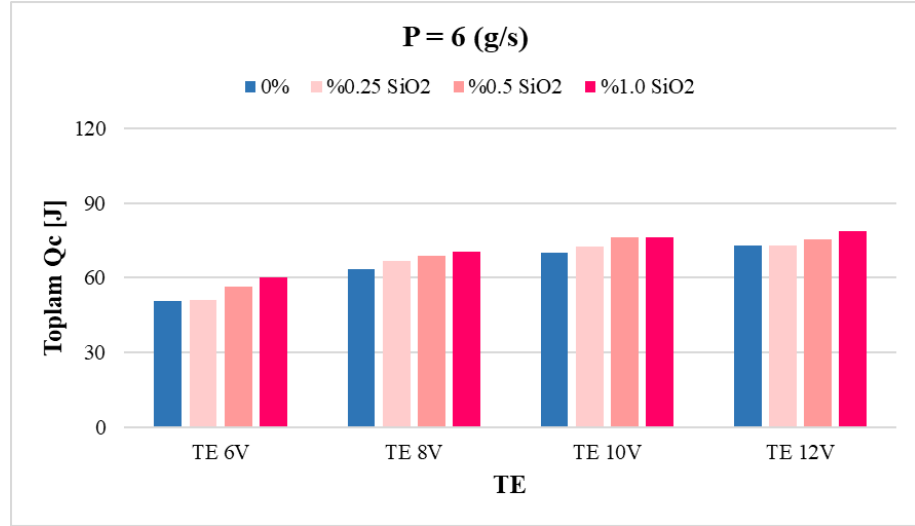
c



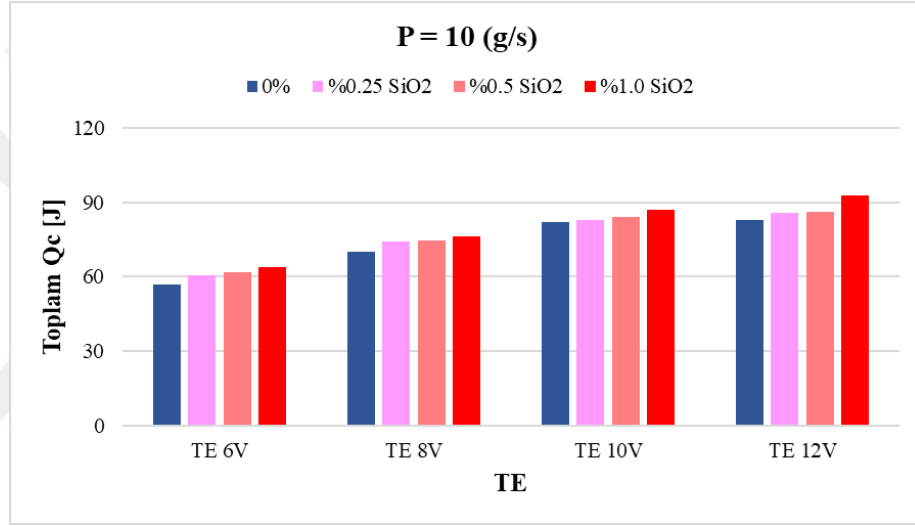
d

**Şekil 4.28.** 14,82 L hacim için farklı nanopartikül oranlarında çekilen enerjinin değişen kütleli debilerle değişimi (a) TE 6V, (b) TE 8V, (c) TE 10V, (d) TE 12V.

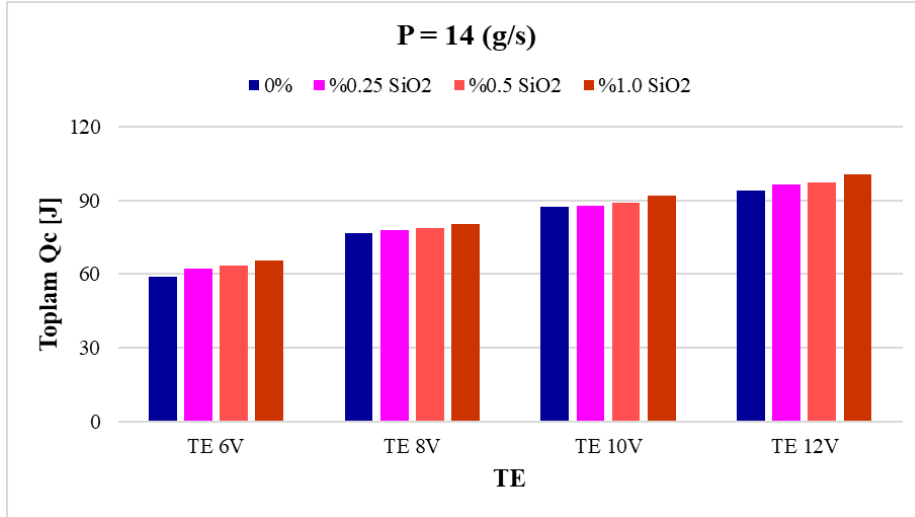
Şekil 4.28’de 14,82 l’lik hacim için termoelektrik eleman gerilim değerlerinin sabit tutulup aynı kütleli debide değişen nanopartikül oranlarına göre oluşturulmuş soğutulan hacim içinden çekilen toplam enerji değerleri görülmektedir. Termoelektrik eleman gerilim değerlerine göre grafikler incelendiğinde değer arttıkça soğutulan hacim içinden çekilen enerji miktarının arttığı görülebilir. Aynı grafiklerde iş akışkanının etkisi bariz bir şekilde görülmektedir. Kullanılan iş akışkanının içinde nanopartikül miktarı arttıkça çekilen toplam enerji miktarının arttığı görülecektir. Özellikle saf suya göre %0,25 nanopartikül miktarına sahip nanoakışkan diğer oranlara sahip nanoakışkanlarla kıyaslandığında oldukça yüksek değerlere sahip olduğu her üç grafikte de görülecektir. Soğutulan hacim içinden çekilen toplam enerji miktarı (%0,25 nanopartikül miktarına göre az farkla) saf suya göre en yüksek değeri veren %1,0 nanopartikül miktarına sahip nanoakışkan olmuştur. Kütleli debi değerleri termoelektrik elemanın gerilim değerlerinde 10V ile 12V arasında belirgin fark oluşturduğu görülecektir. Aynı durumla 6,24 l’lik hacimle de karşılaşılmıştır ve aynı geçerliliğin burada da olduğu kabul edilmiştir.



a



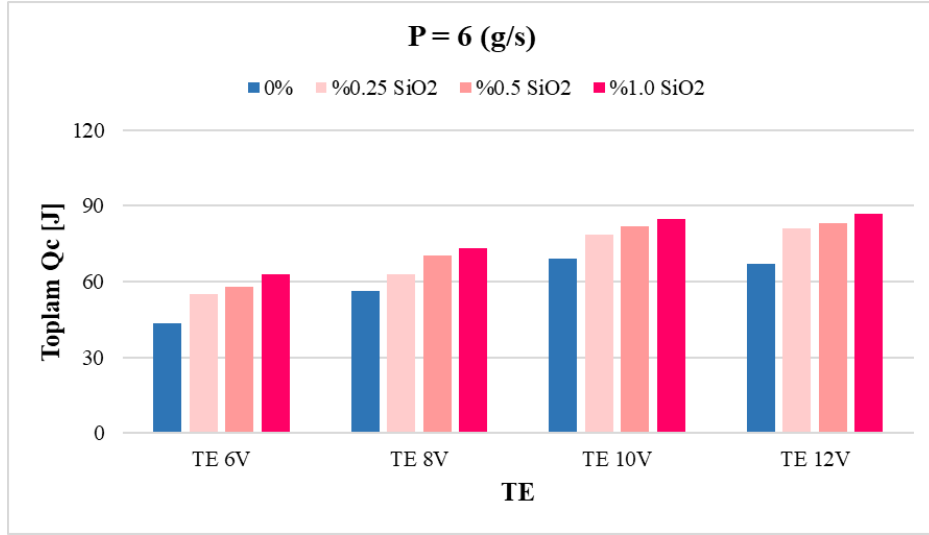
b



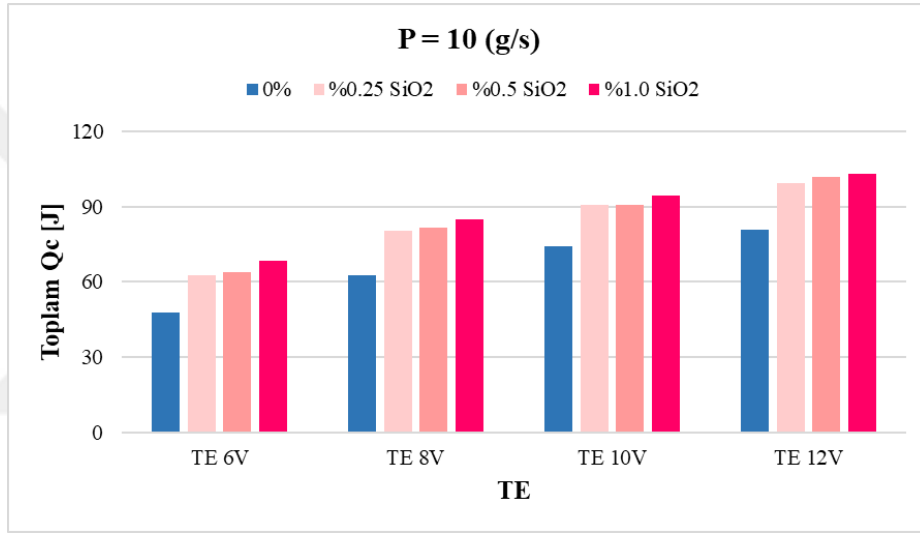
c

**Şekil 4.29.** 6,24 L hacim için farklı nanopartikül oranlarında çekilen enerjinin değişen termoelektrik eleman değerleriyle değişimi (a) 6 g/s, (b) 10 g/s, (c) 14 g/s.

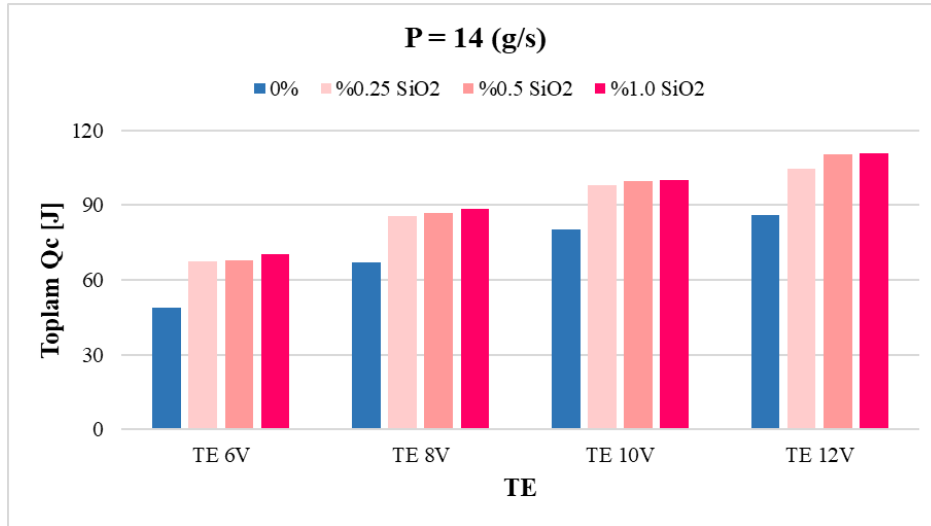
Şekil 4.29'de kütlesel debilere göre 6,24 l'lik hacim için toplam çekilen enerji miktarı grafiksel olarak sunulmuştur. Termoelektrik elemanın etkisi üç grafikte de artacak şekilde görölmektedir. Nanopartiköl oranlarının artması saf suya göre nispeten farklılıklar oluŐturmuŐtur. Kütlesel debinin artmasıyla çekilen enerji miktarının artması görölebilir ama esas etkenin kütlesel debi değil de termoelektrik eleman olduğu hemen fark edilecektir. Grafiklerdeki veriler incelendiğinde kütlesel debi etkisi fark edilmelidir. Özellikle 14 g/s kütlesel debi ile 6 g/s kütlesel debi için oluşturulmuş, soğutulan hacimden çekilen toplam enerji miktarları karşılaştırıldığında artış hemen fark edilecektir. Yüksek termoelektrik eleman gerilim değerlerinde kütlesel debinin de arttırılması çekilen toplam enerji miktarında da artış olduğunu gösterir. Nanopartiköl oranında artışın olması, soğutulan hacimde çekilen toplam enerji miktarını arttırdığı görölebilir. Ancak bu artış termoelektrik eleman gerilim değerleriyle karşılaştırıldığında sınırlı kaldığı görölecektir. Saf suya göre nanopartiköl oranı %1,0 olan iş akışkanında çekilen toplam enerji miktarının arttığı far edilecektir. 6,24 l'lik hacmin etkili soğutulmasında en etkili sebepten daha az etkisi olan sebebe göre sıralama yapılacak olursa; termoelektrik eleman için uygulanan gerilim değerleri, kütlesel debi değerleri ve farklı nanopartiköl oranlarına sahip nanoakışkanlar Şeklinde olmalıdır.



a



b

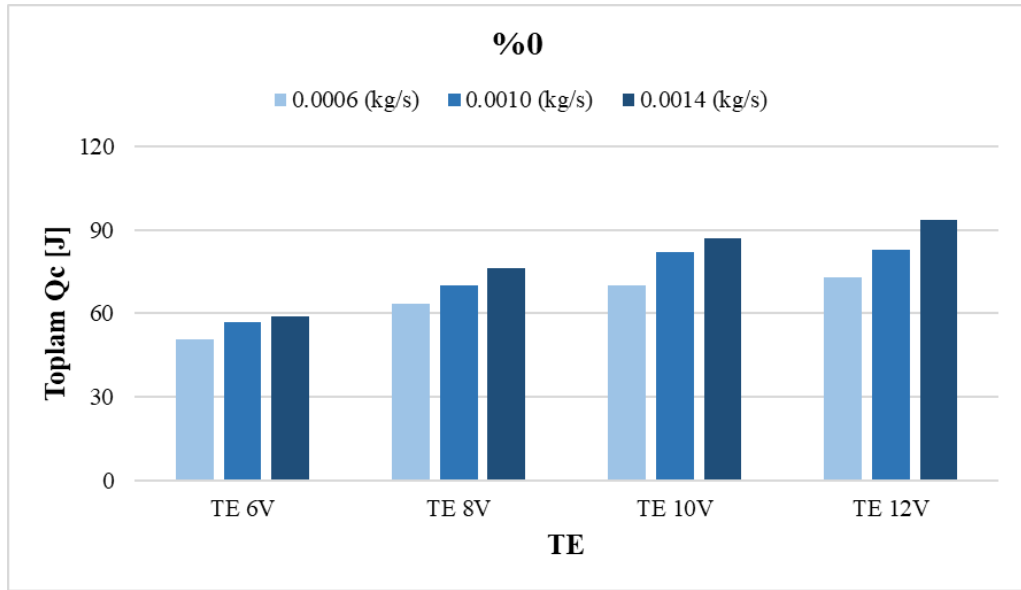


c

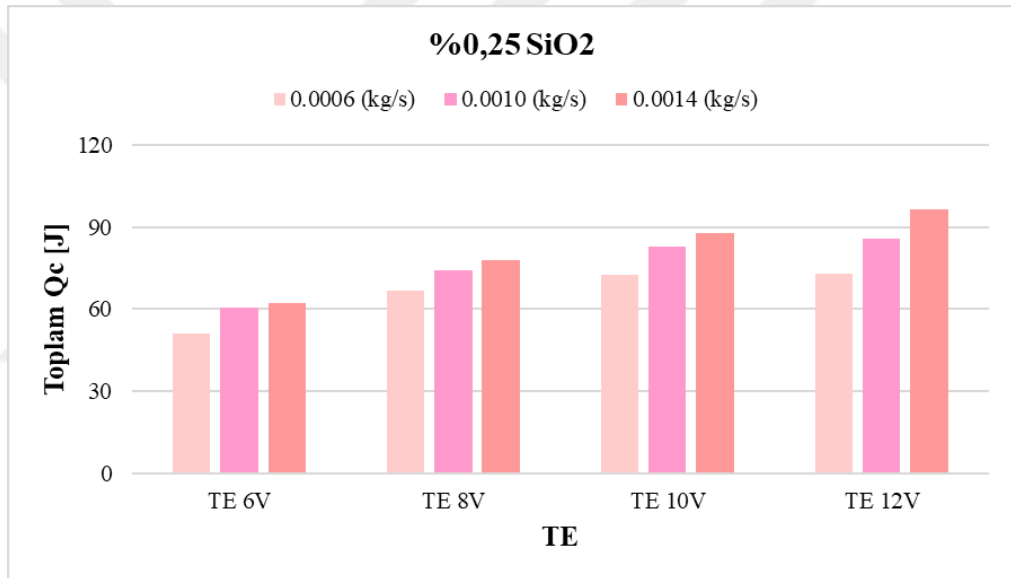
**Şekil 4.30.** 14,82 L hacim için farklı nanopartikül oranlarında çekilen enerjinin değişen termoelektrik eleman değerleriyle değişimi (a) 6 g/s, (b) 10 g/s, (c) 14 g/s.

Şekil 4.30'de 14,82 l'lik hacim için çekilen enerji miktarları kütleli debi değerine göre değişimleri grafiksel olarak gösterilmiştir. Termoelektrik eleman için uygulanan gerilim değerlerinin artışı burada da kendini bariz bir şekilde göstermektedir. TE değerleri arttıkça çekilen enerji miktarı da artmıştır. Kütleli debilere göre oluşturulmuş grafiklerde Şekil 4.29'deki grafiklerdeki gibi termoelektrik eleman gerilim değerlerinin artması, kütleli debi artışlarıyla desteklendiğinde çekilen enerji miktarındaki artışların olduğu görülmelidir. Her üç grafiğe de bakılıp karşılaştırma yapılacak olursa kütleli debinin etkisinin 14,82 l'lik hacimde biraz daha belirgin olduğu söylenecektir. Aynı zamanda saf su değerlerine göre %0,25 değerleri büyük bir artış göstermiştir. Şekil 4.29 ve Şekil 4.30 incelenirse saf su etkisi 6,24 l'lik hacimde biraz daha iyi olduğu söylenecektir. Ama farklı nanopartikül oranlarına sahip nanoakışkanların çekilen enerji miktarları karşılaştırıldığında 14,82 l'lik hacim için daha etkili olduğu görülecektir. Bu durum 6,24 l'lik hacmin soğutulmasında, soğutulması gereken hacmin daha küçük olması ve bunun için saf suyun bu nedenden dolayı etkili olmasıyla açıklanabilir. Ama her halükârda artan nanopartikül oranlarından dolayı nanoakışkanların saf suya göre soğutma yükünün artması her iki şekilde de görülmektedir.

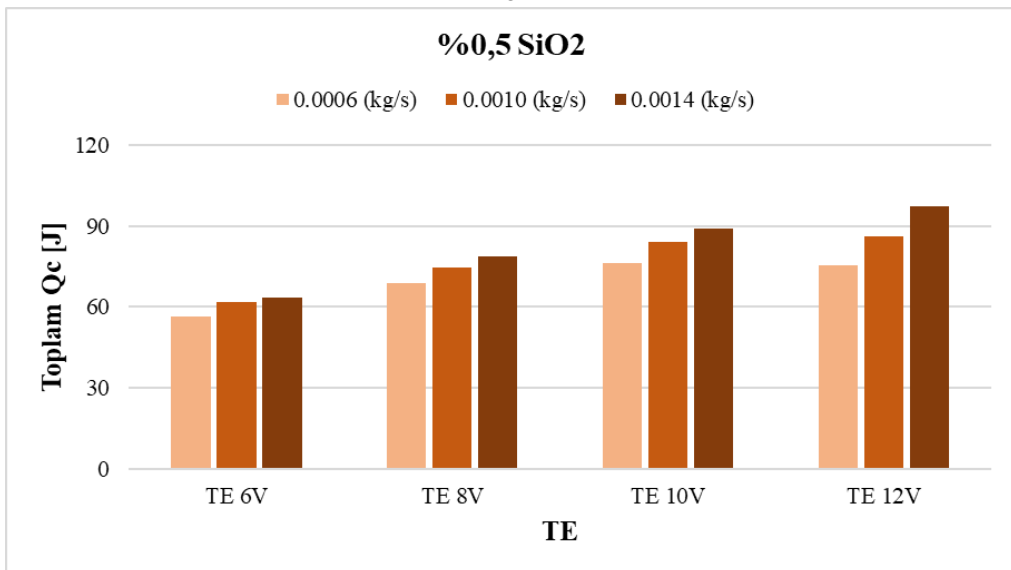
#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



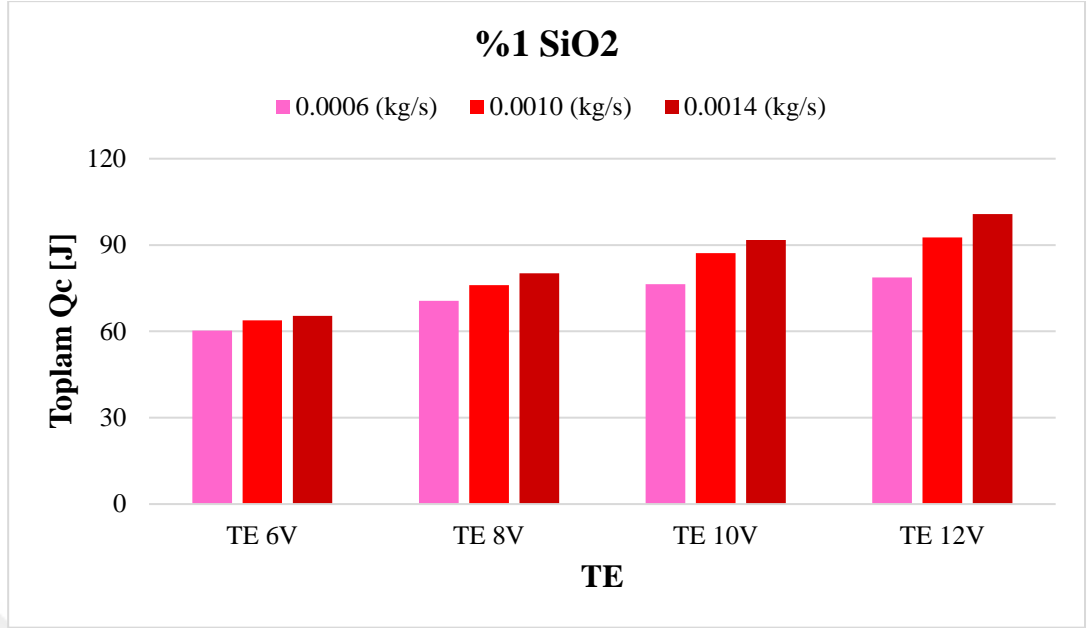
a



b



c

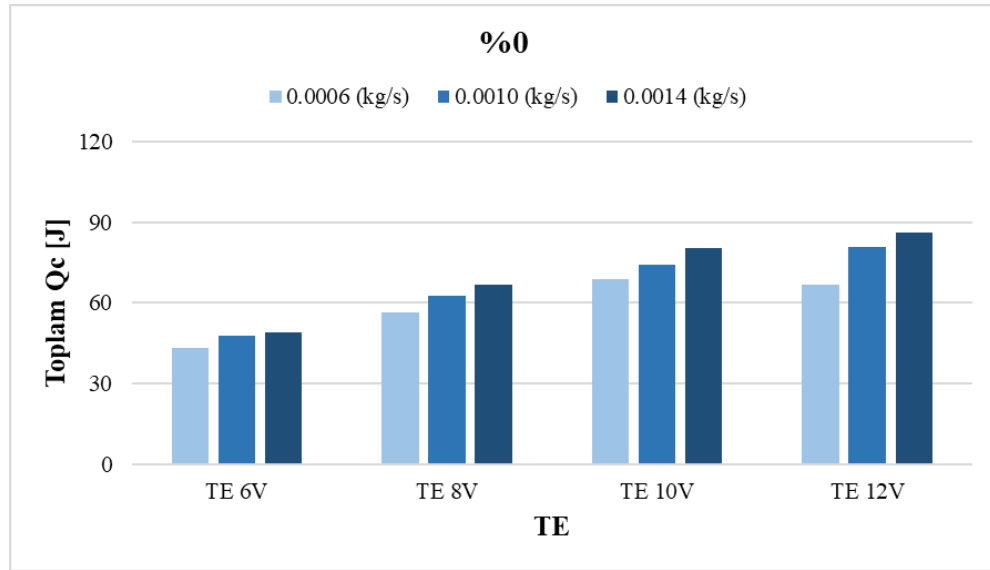


d

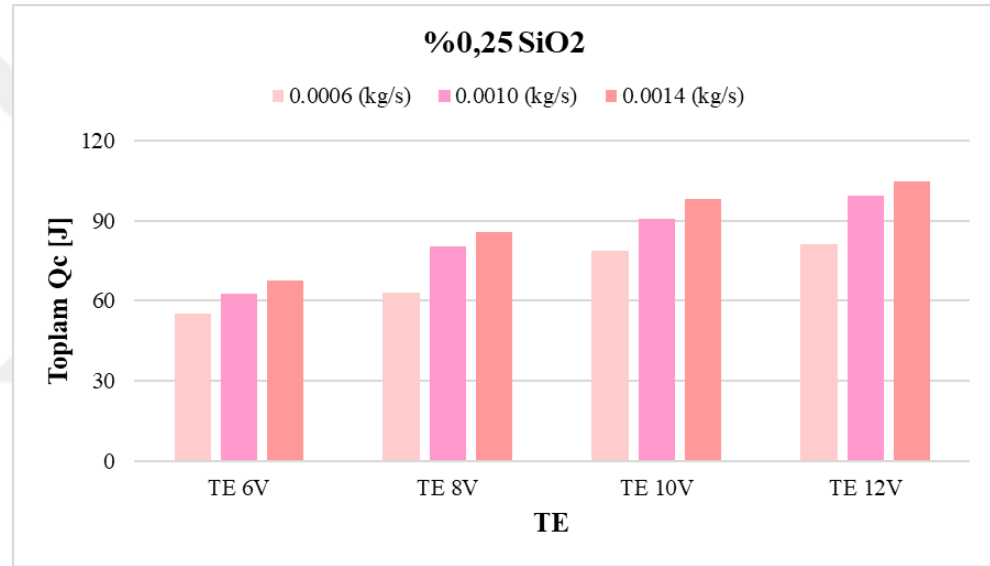
**Şekil 4.31.** 6,24 L hacim için farklı kütleli debi değerlerinde çekilen enerjinin değişen termoelektrik eleman değerleriyle değişimi (a) saf su, (b) %0,25, (c) %0,5, (d) %1,0.

Şekil 4.31’de 6,24 l’lik hacim için çekilen enerji miktarının termoelektrik elemanın değerlerine göre değişimleri gösterilmiştir. Buna göre diğer grafiklerde de olduğu gibi termoelektrik eleman değerleri arttıkça soğutma yükünün arttığı görülmektedir. Ayrıca dikkat edilirse saf su karşılaştırmalarında kütleli debinin artmasıyla da çekilen enerji miktarının arttığı görülebilir. Aynı durum elbette diğer nanoakışkanlar için de geçerlidir, ancak dikkat edilmesi istenen durum kütleli debinin faydalı olmasıyla ilgilidir. Kütleli debinin artması termoelektrik elemanın sıcak yüzeyinin soğutmasında başarılı olduğunun göstergesidir. İş akışkanına göre oluşturulan grafiklerde nanopartikül miktarının artmasıyla çekilen enerji miktarının artması görülmektedir. Özellikle saf su ile yapılan karşılaştırmalarda nanopartikül miktarı arttıkça soğutulan hacim içinden çekilen enerji miktarının artması uygulanan yöntemin başarılı olduğunu göstermektedir. Ancak dikkat edilmesi gereken nokta %0,5 ile %1,0 nanopartikül oranlarına sahip nanoakışkanların birbirlerine göre yakın değerlere sahip olduğu, büyük fark oluşturmadığı söylenebilir.

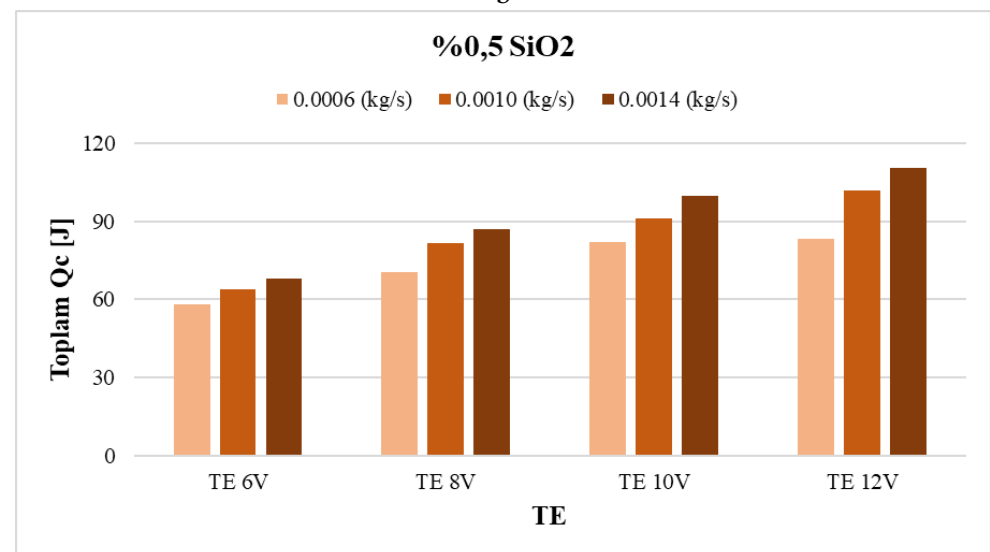
#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



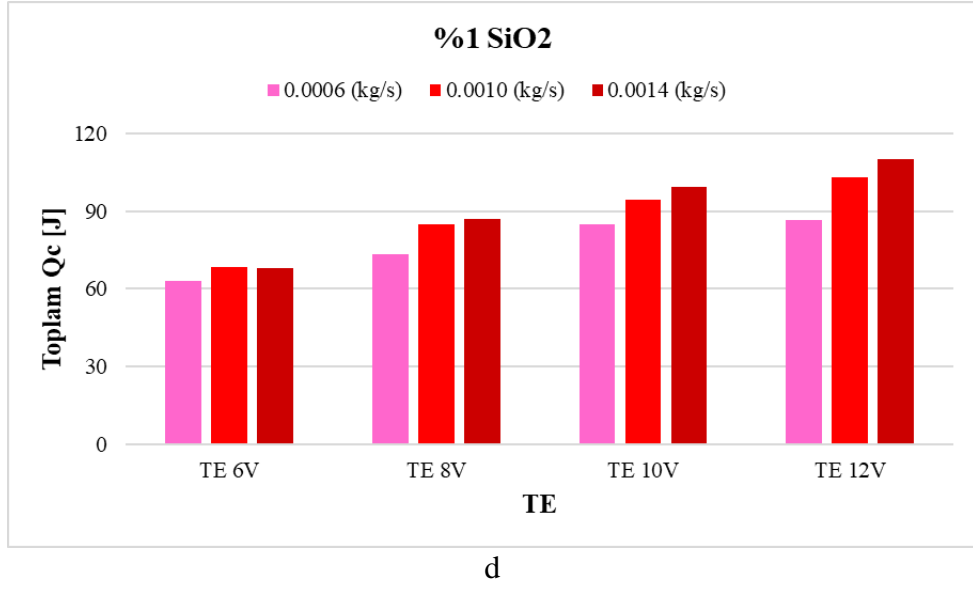
a



b



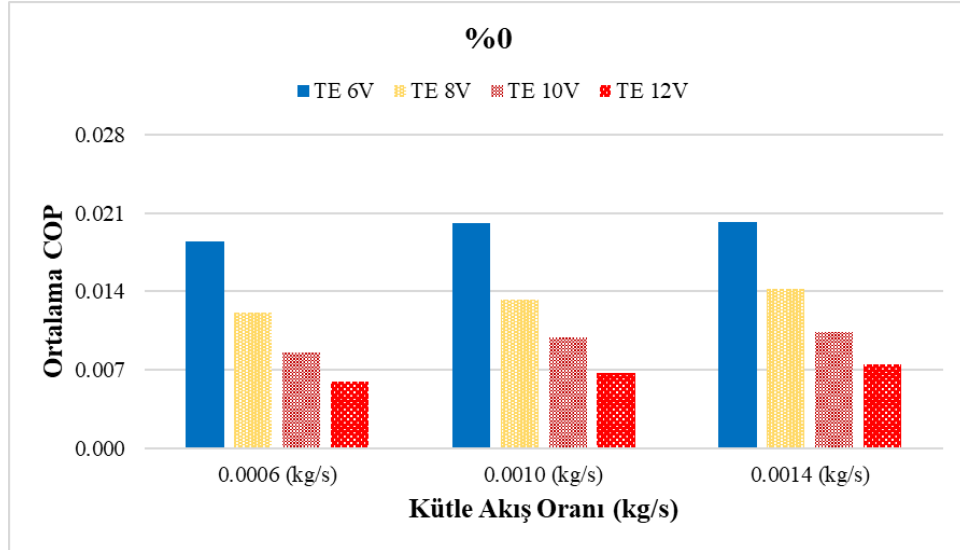
c



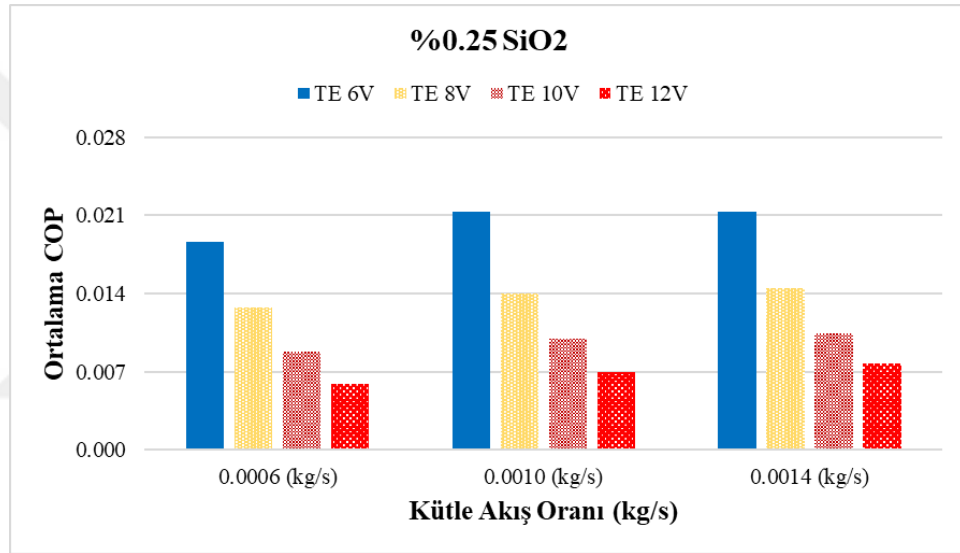
**Şekil 4.32.** 14,82 L hacim için farklı kütleli debi değerlerinde çekilen enerjinin değişen termoelektrik eleman değerleriyle değişimi (a) saf su, (b) %0,25, (c) %0,5, (d) %1,0.

Şekil 4.32’de 14,82 l’lik hacim için çekilen enerji miktarının termoelektrik eleman değerlerine göre elde edilen veriler, grafik halinde sunulmuştur. 14,82 l’lik hacim için sunulan grafiklerde toplam çekilen enerji miktarının nanopartikül oranlarına göre değişim gösteren bu verilere dikkat edilirse termoelektrik eleman değerleri büyük önem taşımaktadır. Bütün kütleli debilerde termoelektrik eleman değerlerinin artmasıyla toplam çekilen enerji miktarının arttığı rahatlıkla görülebilir. Saf suya göre karşılaştırmalar yapıldığında özellikle %0,25 nanopartikül oranına sahip nanoakışkanın sağladığı değerler diğer nanoakışkanlara göre oldukça yüksek olduğu söylenebilir. %0,5 ve %1,0 nanopartikül oranlarına sahip nanoakışkanlar incelendiğinde birbirine göre baskın özellikleri olmadığı söylenebilir. Dikkat edilirse çekilen toplam enerji miktarları birbirine göre oldukça yakın değerlerdedir. Ancak nanopartikül oranlarına göre oluşturulan nanoakışkanlarda, oranların artışına bağlı olarak saf suya göre toplam çekilen enerji miktarında artışlar görülmektedir. En yüksek değerler %1,0 nanopartikül oranına sahip nanoakışkanlarda elde edilmiştir. Kütleli debideki artış çekilen enerji miktarında artışa sebep olmuştur.

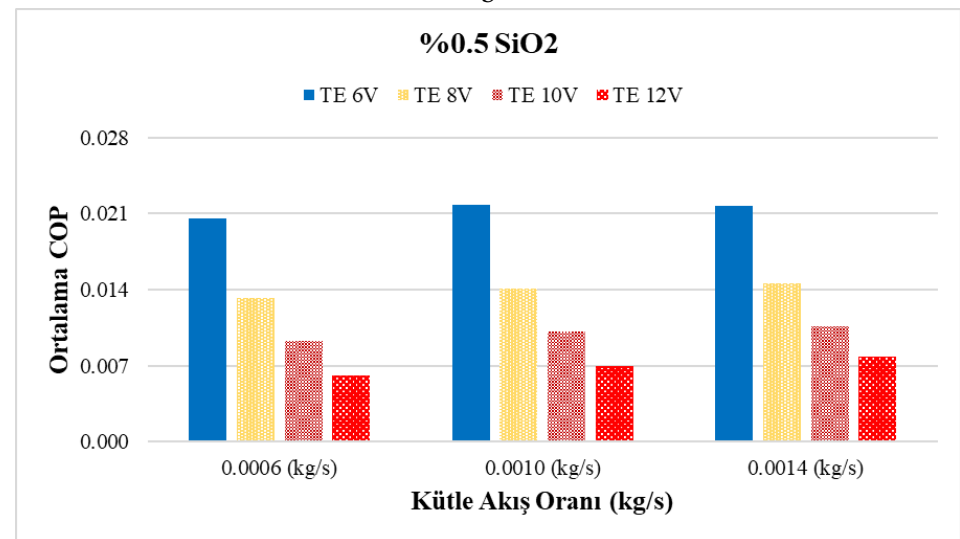
#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



a



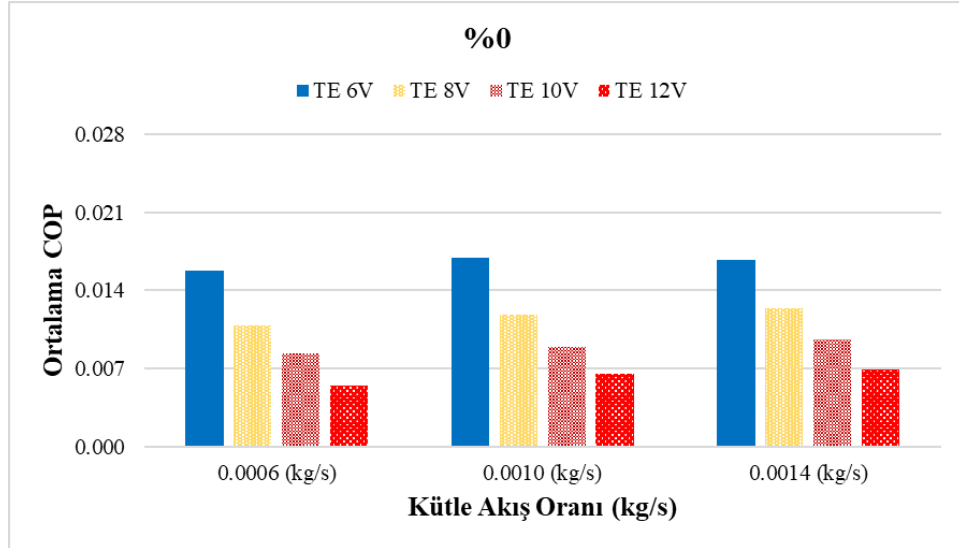
b



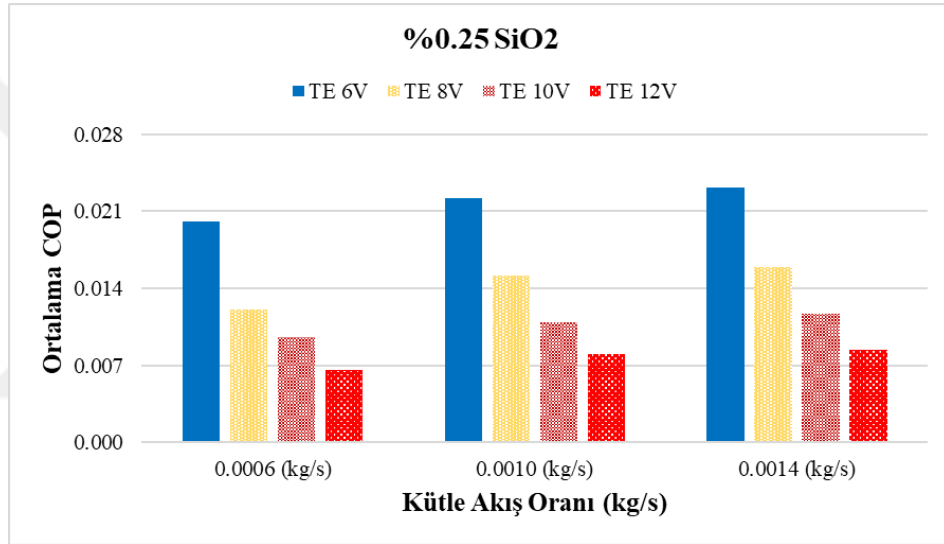
c



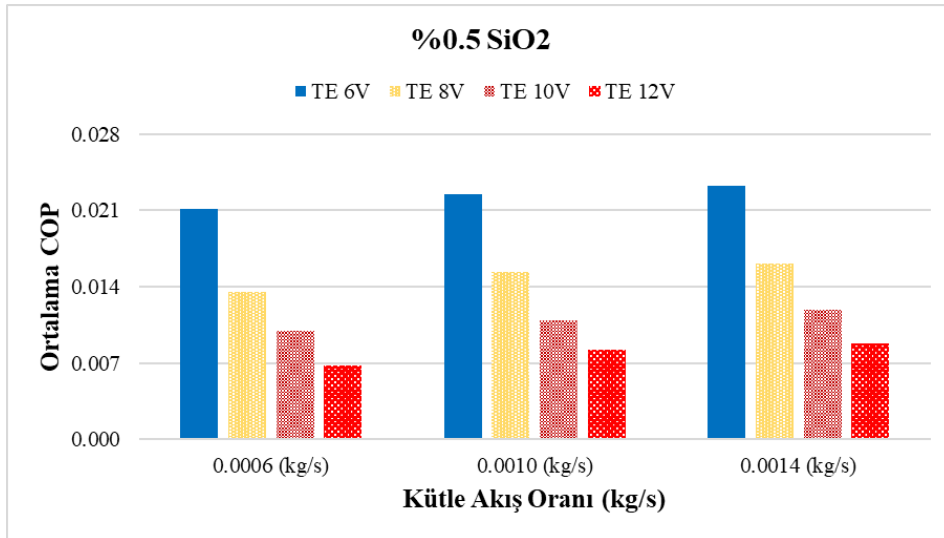
#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



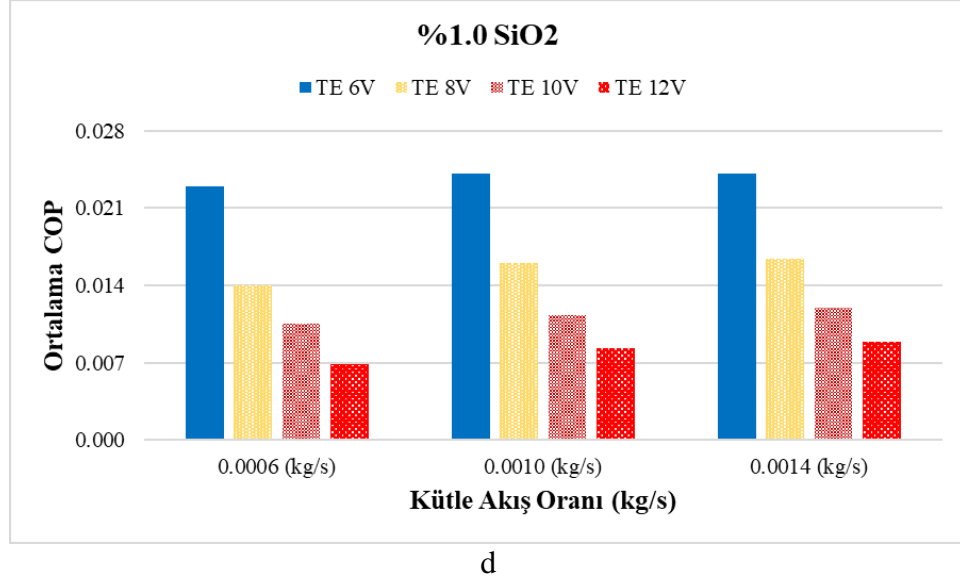
a



b



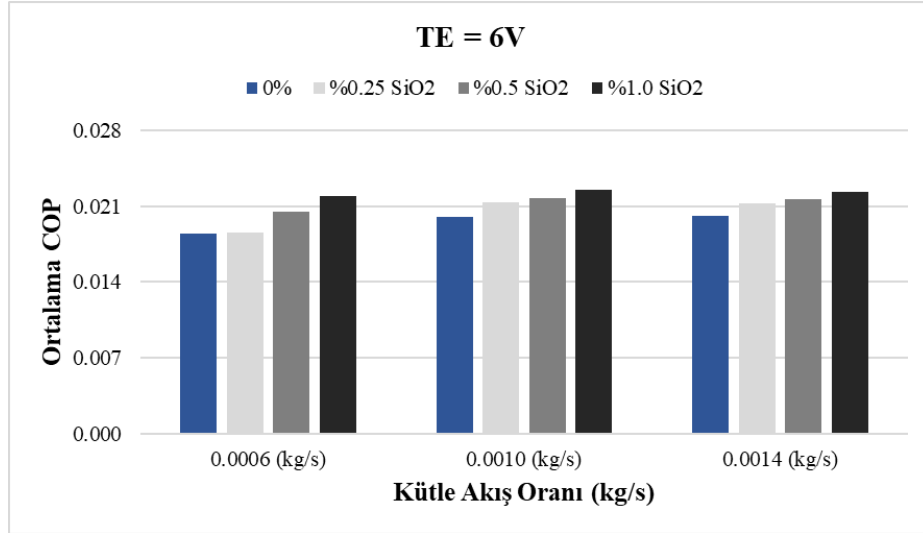
c



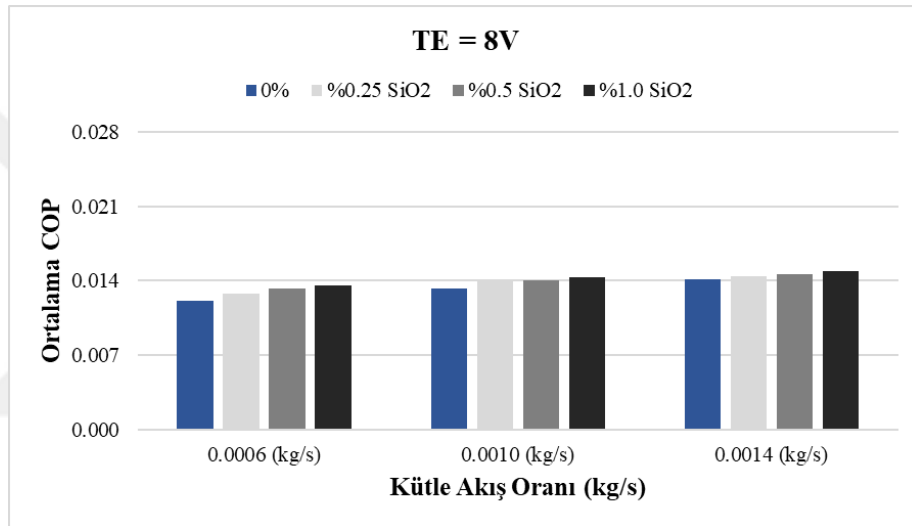
**Şekil 4.34.** 14,82 L hacimde ortalama performans katsayısının farklı gerilim değerlerinde kütsel debiyle değişimi (a) saf su, (b) %0,25, (c) %0,5, (d) %1,0.

Şekil 4.34'deki grafikler 14,82 l'lik hacim için COP değerleri kütle akış oranlarına göre oluşturulmuş ve termoelektrik elemanın değerlerine göre karşılaştırma yapılmıştır. Nanopartikül oranlarına bağlı nanoakışkanların etkileri grafiklerde görülebilir. Buna göre en yüksek COP değerleri %1,0 oranına sahip nanoakışkanlardır. Ancak dikkat edilirse %1,0 nanopartikül oranına sahip nanoakışkan ile %0,5 nanopartikül oranına sahip nanoakışkanın ortalama soğutma performansı üzerinde bariz fark oluşturmamıştır. Nanopartikül oranı, %0,5 ile %1,0 değerlerinde 14,82 l'lik hacmin soğutulmasında da (tıpkı 6,24 l'lik hacmin soğutulmasında görüldüğü gibi) miktarın artması soğutma performansı üzerinde belirgin rol oynamamıştır. Burada TE 6V olduğu değerlerdeki artışlar her dört grafikte de görülmektedir. 6,24 l'lik hacim için oluşturulmuş grafiklerde de bu durum görülmüştür. Bundan çıkarılacak sonuç; soğutma performansı dikkate alındığında verilen enerjinin, toplam çekilen enerjiden daha fazla olduğu söylenecektir. 14,82 l'lik hacim soğutulmasında COP değerlerinin nanopartikül oranlarına göre artış olduğu fark edilebilir.

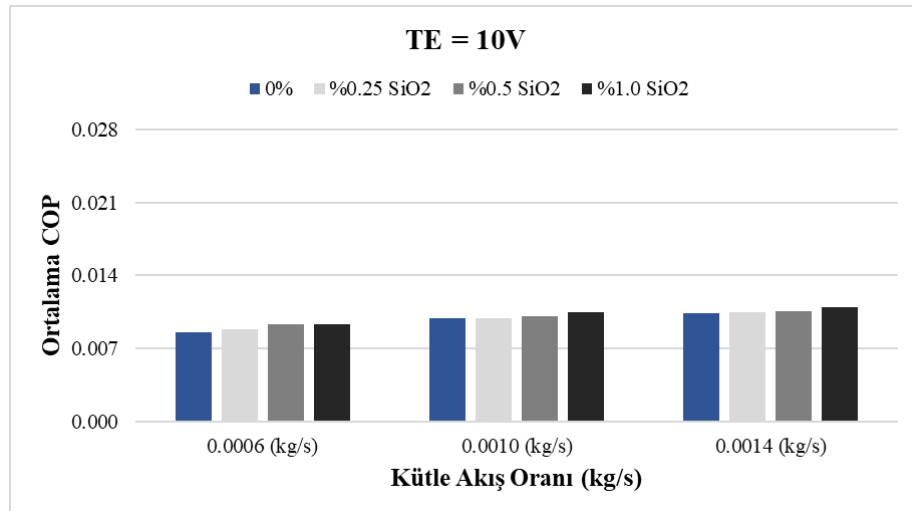
#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



a



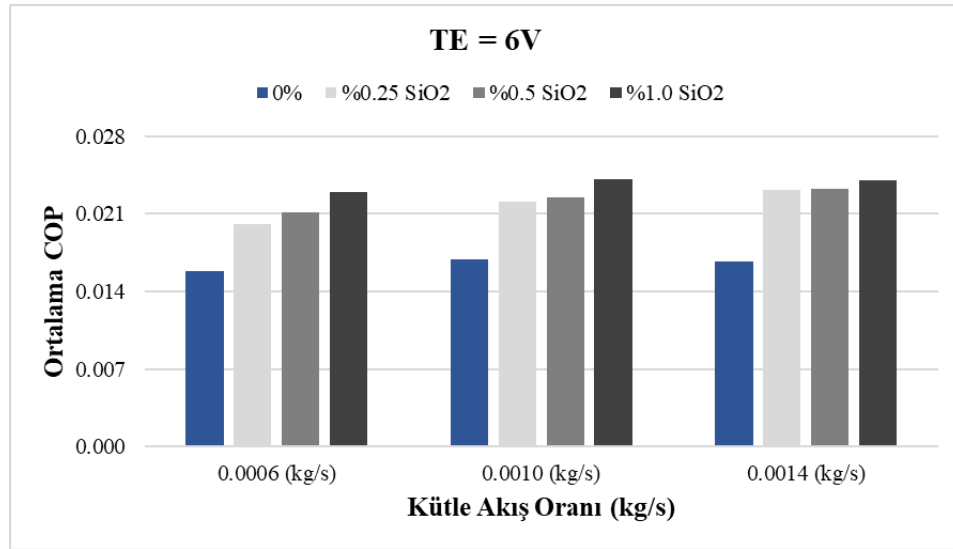
b



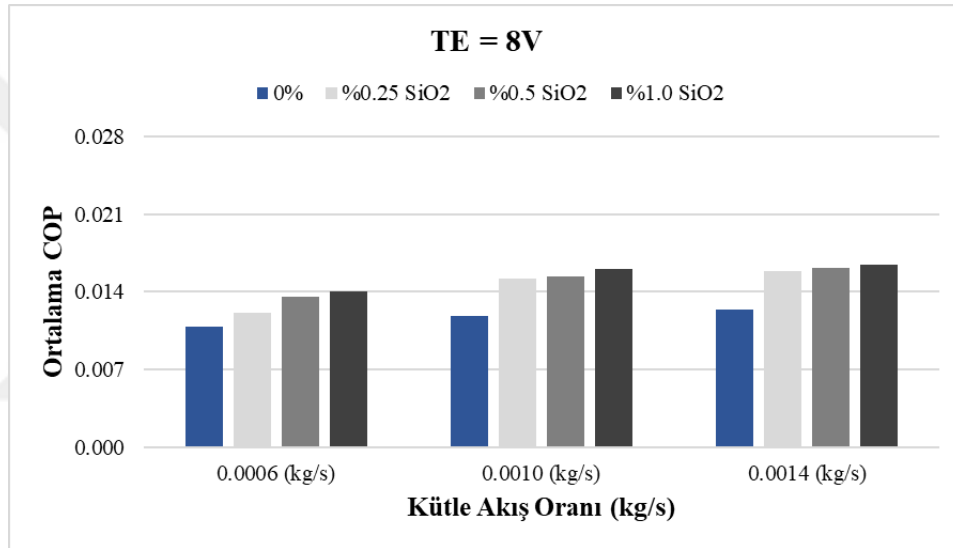
c



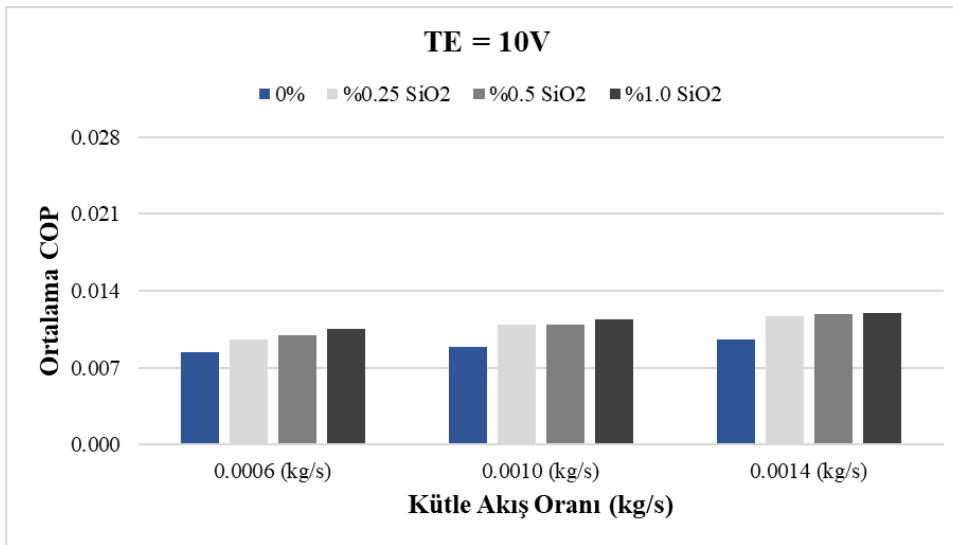
#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



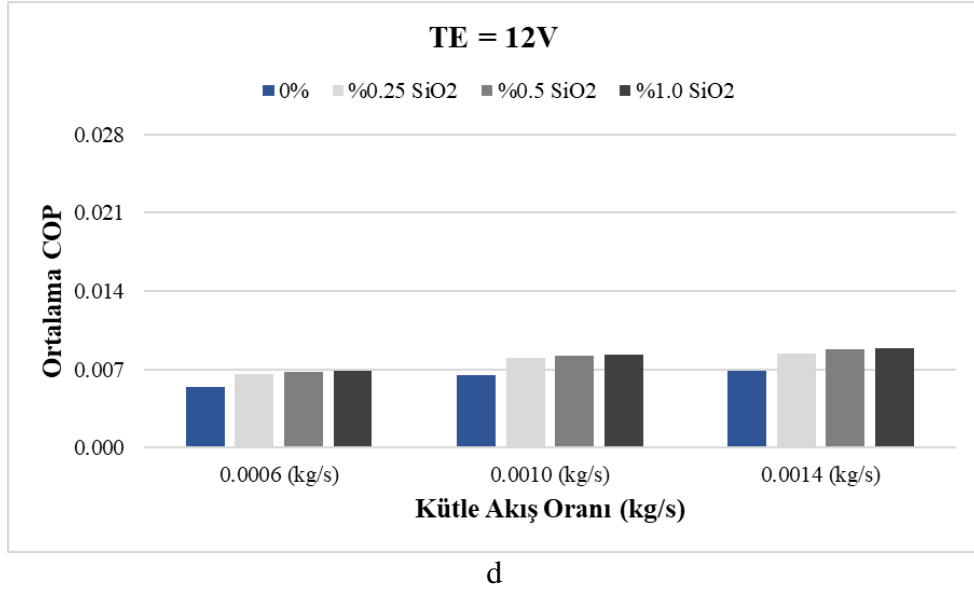
a



b

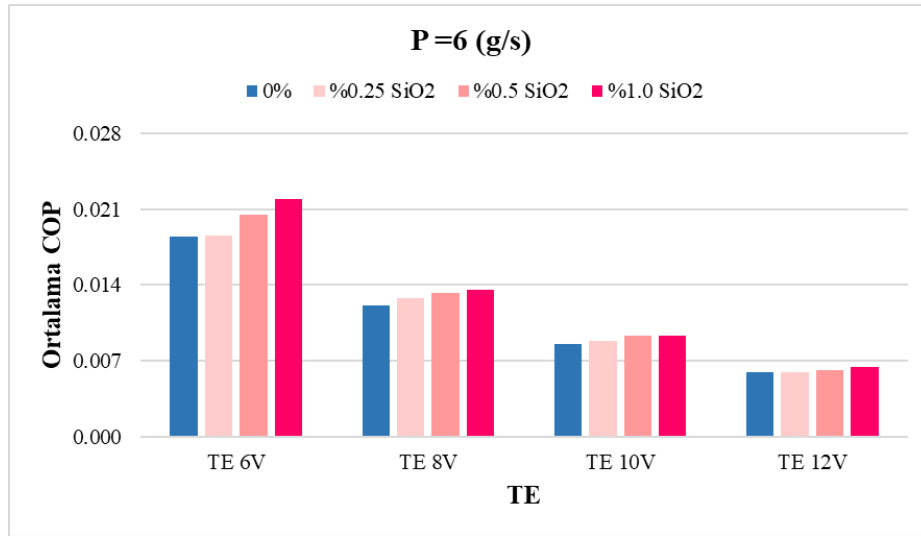


c

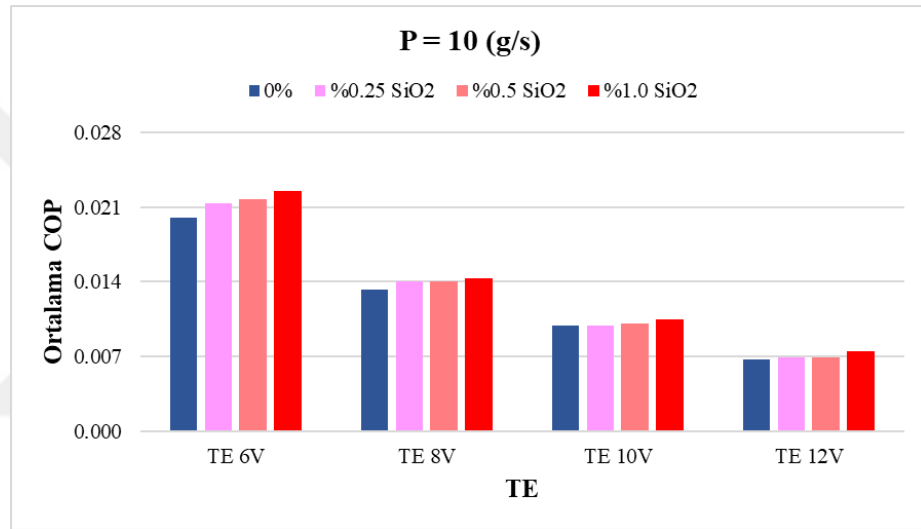


**Şekil 4.36.** 14,82 L hacimde ortalama performans katsayısının farklı nanopartikül oranlarında kütleli debiyle değişimi (a) TE 6V, (b) TE 8V, (c) TE 10V, (d) TE 12V.

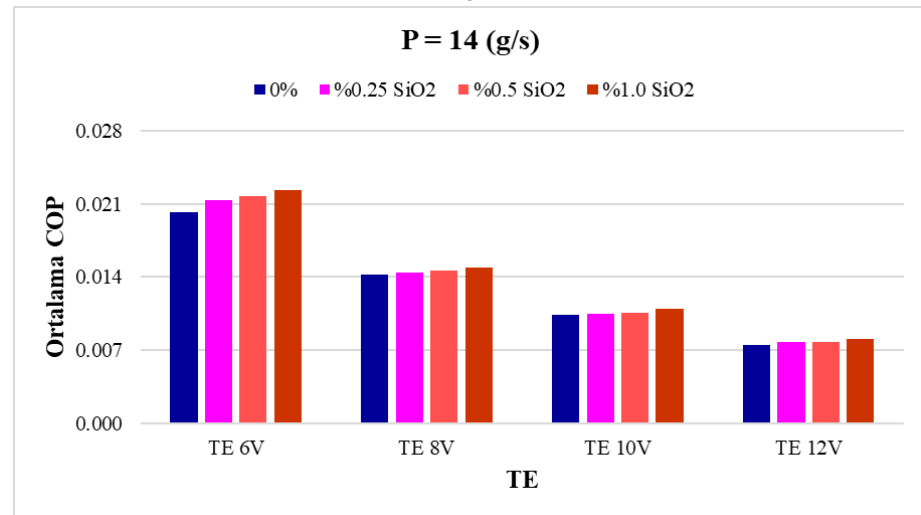
Şekil 4.36'de 14,82 l'lik hacim için ortalama COP değerleri grafiksel olarak sunulmuştur. Termoelektrik eleman gerilim değerlerine göre oluşturulmuş ortalama soğutma performansı değerleri, gerilim değeri arttıkça düşüş olduğu görülecektir. Buradaki düşüşler tıpkı 6,24 l'lik hacimdeki düşüşe neden olan etken geçerlidir. En yüksek COP değerleri TE 6V değerinde görülmüştür. Termoelektrik eleman gerilim değerlerinin artmasıyla soğutma yapılan hacmin içinden çekilen enerji miktarının, verilen enerji miktarından daha az olması bu durumu açıklamaktadır. Kütleli debi değerlerine göre her üç grafik de incelenirse soğutma performansı üzerinde kütleli debinin etkisinin olmadığı veya olsa bile fark edilemeyecek değerde olduğu görülebilir. Kütleli debinin etkisi pek fazla görülmemekle birlikte saf suya göre nanopartikül oranındaki değişimler incelendiğinde saf su ile %0,25 nanopartikül oranına sahip nanoakışkan karşılaştırıldığında her üç grafikte de bariz farklar görülebilir. %0,25 nanopartikül oranına sahip nanoakışkan ile diğer farklı oranlara sahip nanoakışkanlar karşılaştırıldığında aralarında büyük fark olmadığı görülecektir.



a



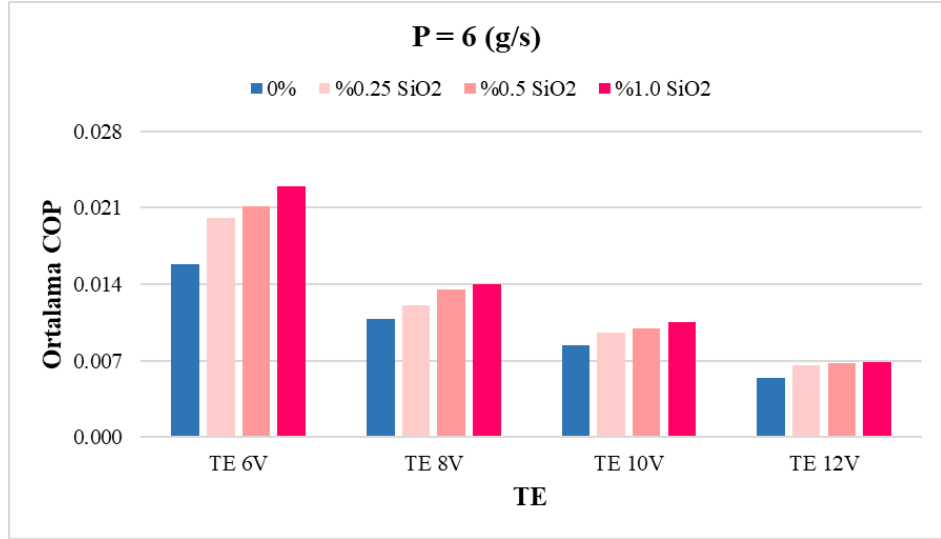
b



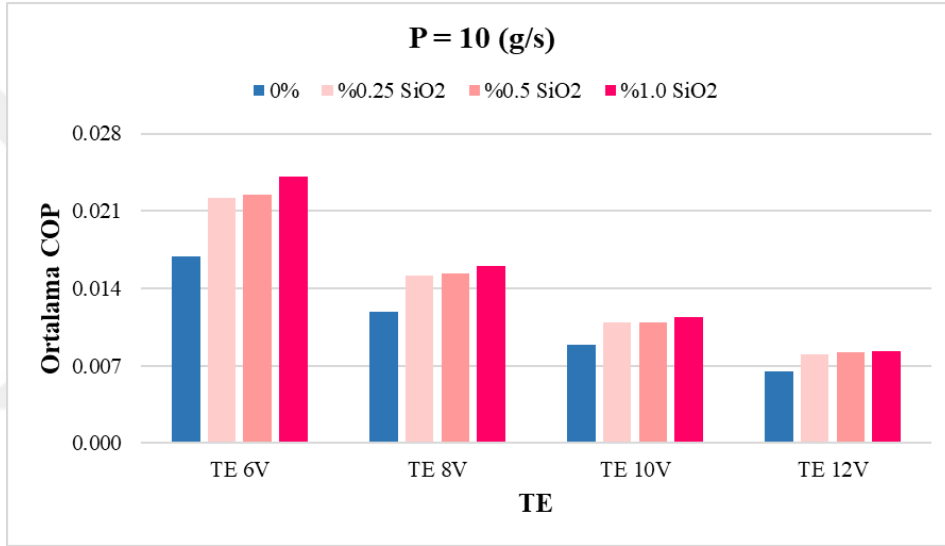
c

**Şekil 4.37.** 6,24 L hacimde ortalama performans katsayısının farklı nanopartikül oranlarında termoelektrik eleman gerilimlerinin değişimi (a) 6 g/s, (b) 10 g/s, (c) 14 g/s.

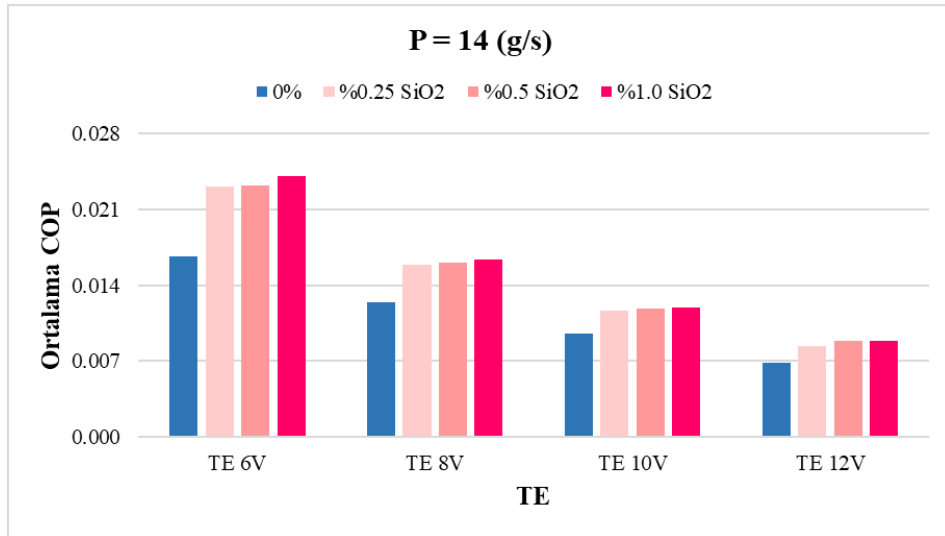
Şekil 4.37’de 6,24 l’lik hacim için ortalama COP değerleri sunulmuştur. Kütlesel debi değerlerine göre oluşturulmuş grafiklerde termoelektrik eleman etkisi her üç grafikte de bariz bir şekilde görülmektedir. Kütlesel debide özellikle 10 g/s ile 14 g/s değerlerinde birbirlerine göre yakın değerler aldığı görülebilir. Kütlesel debilere göre düzenlenmiş olan grafiklerde farklı nanopartikül oranlarına sahip nanoakışkanlara dikkat edilmelidir. Saf su ile nanopartikül içeren nanoakışkanlar karşılaştırıldığında saf suya göre bariz üstünlük elde edildiği görülebilirken nanopartikül oranlarının artışı sistemin soğutma performansı için birbirleri üzerinde baskın üstünlükleri olmadığı söylenebilir. Özellikle artan termoelektrik eleman gerilim değerlerinde, saf suya göre en baskın olan %1,0 nanopartikül oranına sahip nanoakışkandır. Ortalama COP değerleri artan kütlesel debilerle birlikte nispeten artış göstermiş ama artan TE değerleriyle büyük bir düşüş göstermiştir. Verilen termoelektrik eleman gerilimleri için uygulanan enerjinin soğutma hacmi içinden çekilen enerji miktarından daha fazla olmasından kaynaklıdır. Sistemin soğutma performansı, soğutulan hacmin içinden çekilen enerji miktarının verilen enerji miktarına oranı olarak bilindiğinden soğutma performansında düşüşlerin yaşanması görülmektedir.



a



b

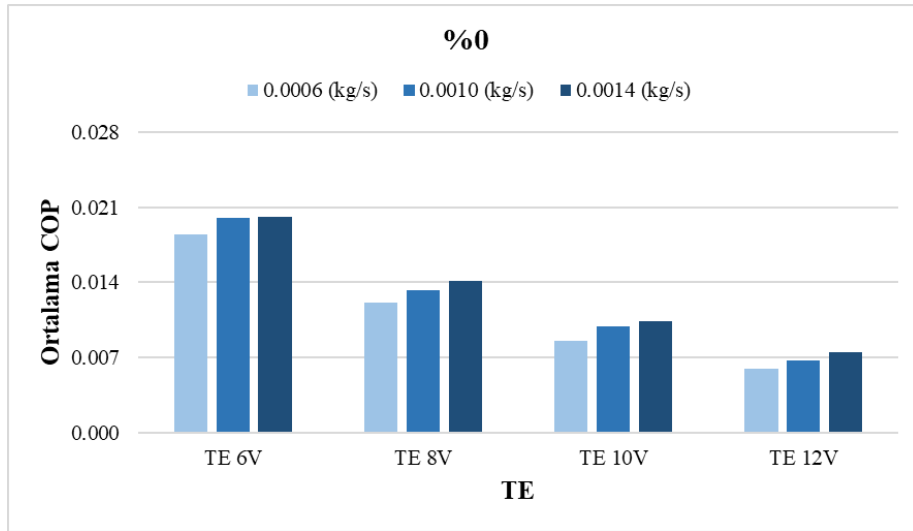


c

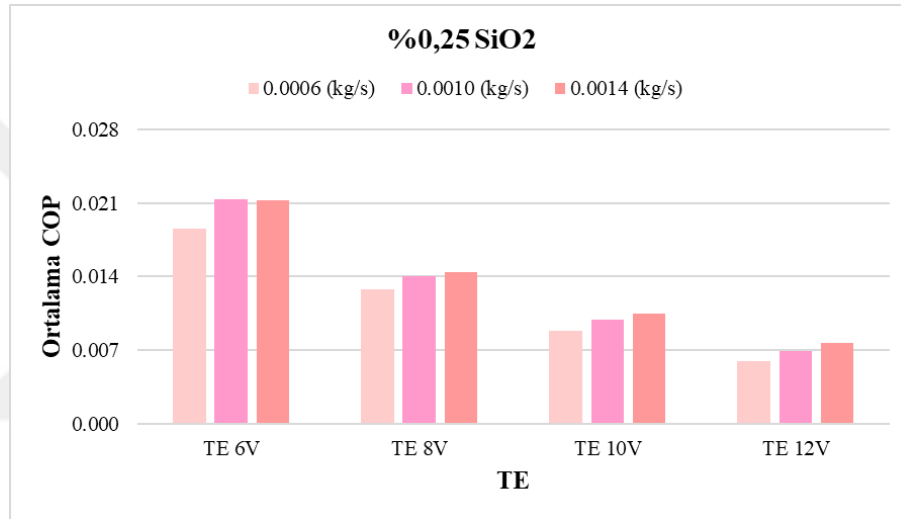
**Şekil 4.38.** 14,82 L hacimde ortalama performans katsayısının farklı nanopartikül oranlarında termoelektrik eleman gerilimlerinin değişimi (a) 6 g/s, (b) 10 g/s, (c) 14 g/s.

Şekil 4.38’de 14,82 l’lik hacmin soğutulmasında ortalama COP değerlerini veren grafik sunulmuştur. Her üç grafikte de tıpkı Şekil 4. 37’deki gibi termoelektrik eleman etkisi bariz bir şekilde görülmektedir. Kütleli debinin de artmasıyla COP değerlerinde artış görülebilir. Aynı termoelektrik eleman değerlerinde ve aynı nanopartikül oranı içeren nanoakışkanlar incelendiğinde grafik TE 6V değerlerinde görüldüğü üzere kütleli debinin artmasıyla ortalama COP değerlerindeki artış görülür. Aynı durum, aynı şartlar altında diğer termoelektrik eleman gerilim değerlerinde de görülebilir. Ancak aynı kütleli debi değerlerinde sistemin ortalama soğutma performans değerlerine bakılırsa, bu değerlerde düşüş olduğu görülecektir. Daha önceki grafiklerde de ifade edildiği gibi termoelektrik eleman gerilim değerleri arttıkça soğutulan hacmin içinden çekilen enerji miktarına göre daha yüksek enerji verildiğinin göstergesidir. Farklı nanopartikül oranlarına sahip nanoakışkanlarda, nanopartikül oranı artmasıyla COP değerlerinde artış görülebilir. Ancak burada grafikler dikkatle incelenirse yüksek termoelektrik değerlerinde bu durum fark edilemeyebilir. Burada en büyük fark saf suya göre karşılaştırmalardır. Bütün nanoakışkanlar saf suya göre COP değerlerinde artışa neden olmuşlardır. Ancak nanoakışkanlar kendi aralarında incelenecek olursa %0,25 nanopartikül içeren nanoakışkanın soğutma performansı üzerinde daha fazla etkili olduğu söylenebilir.

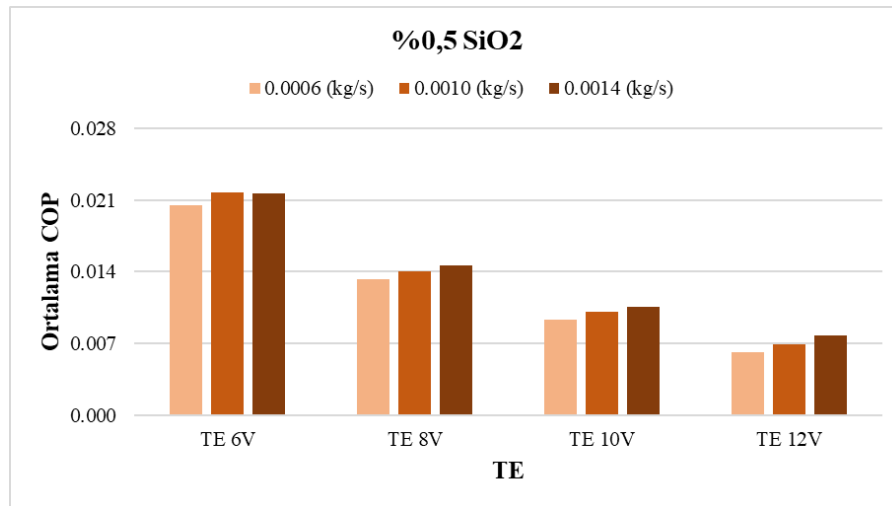
#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



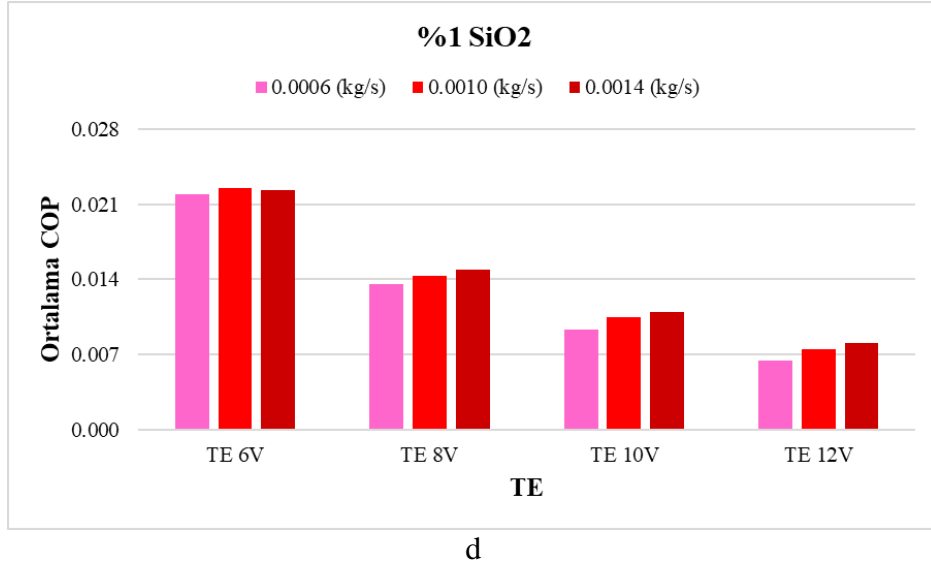
a



b



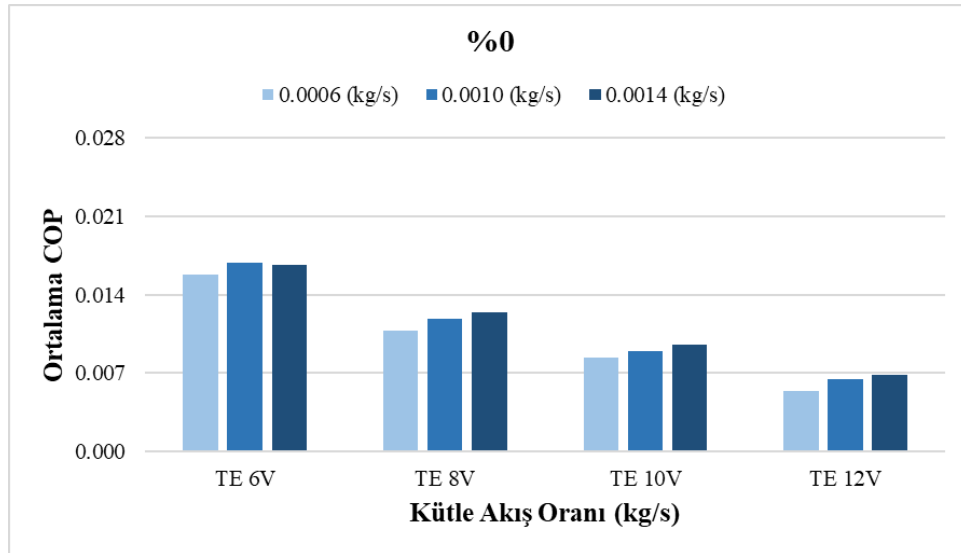
c



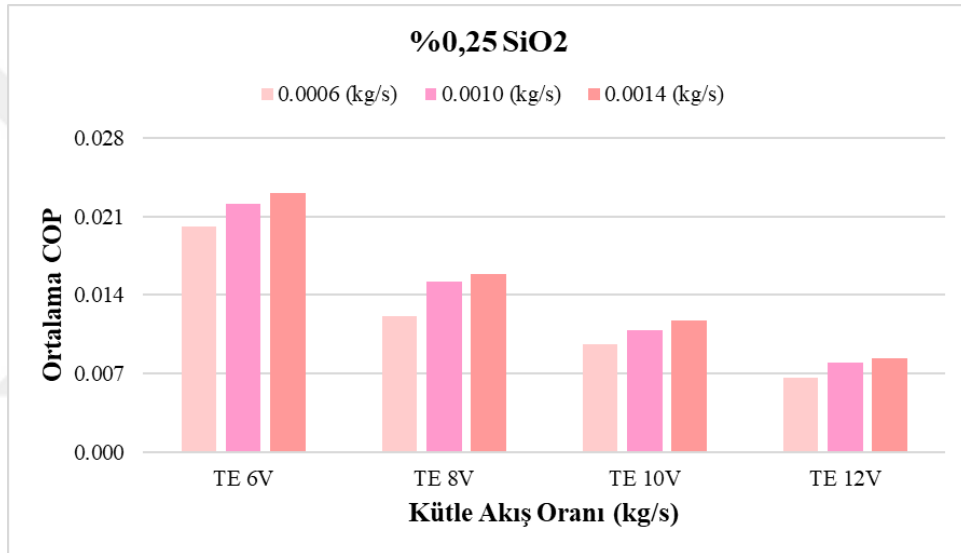
**Şekil 4.39.** 6,24 L hacimde ortalama performans katsayısının farklı kütleli debi değerlerinde gerilim değerleriyle değişimi (a) saf su, (b) %0,25, (c) %0,5, (d) %1,0.

Şekil 4.39’da 6,24 l’lik hacim için oluşturulmuş ortalama COP değerleri grafikler haline sunulmuştur. Daha önce ortalama COP değerleri için paylaşılan grafiklerdeki gibi termoelektrik eleman değerleri arttıkça COP değerlerinde azalma görülmektedir. Bu durumun sebebi diğer grafiklerde de açıklandığı gibi verilen enerji alınan enerjiden daha fazla olduğudur. Nanopartikül oranlarına göre oluşturulmuş iş akışkanının soğutma performansı üzerine etkisi görülebilir. Nanoakışkan kullanımı saf suya göre artış göstermiştir. Bu durum, termoelektrik elemanın sıcak yüzeyinin soğutulmasında nanoakışkan kullanımının isabetli bir karar olduğunu göstermektedir. Ancak dikkat edilirse aynı kütleli debi ve aynı termoelektrik eleman gerilimlerinde değerler yine de birbirine çok yakın seyretmektedir. Bu durumda 6,24 l’lik hacmin soğutulmasında nanoakışkan faktörünün büyük etkisi olmadığı söylenebilir. Bu grafiklerde kütleli debinin etkisi çok fazla görülmemiştir.

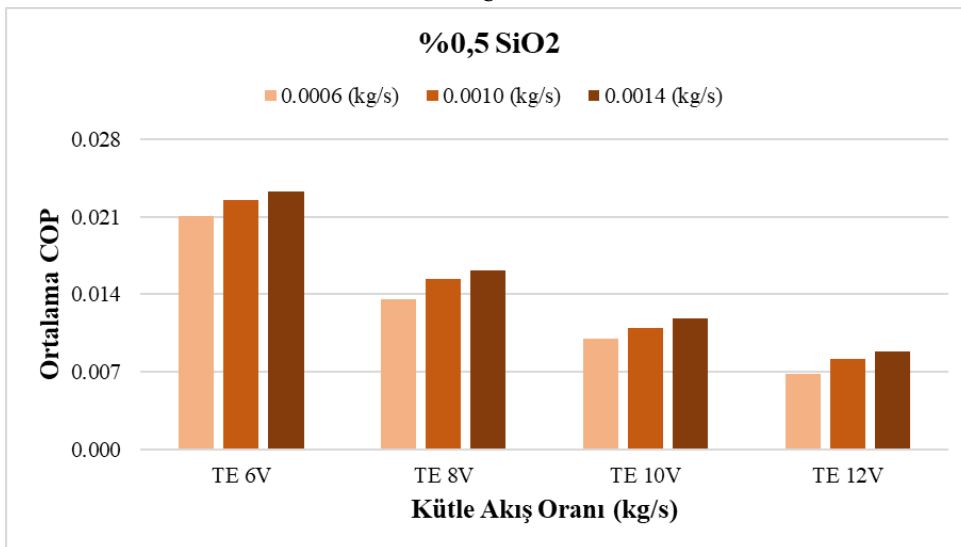
#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



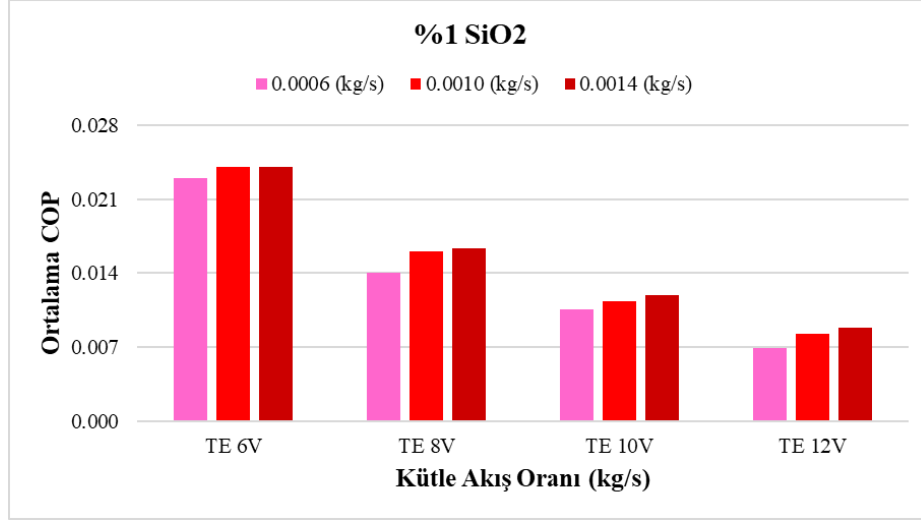
a



b



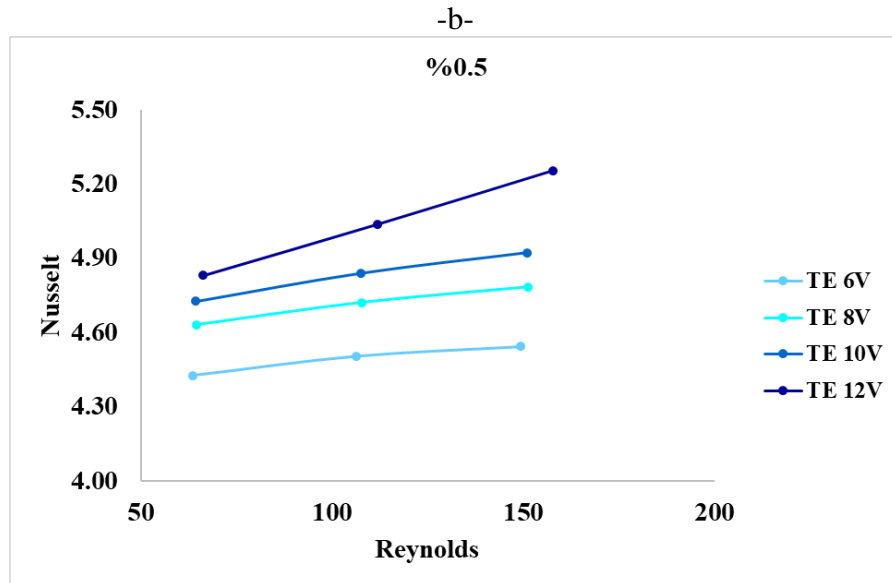
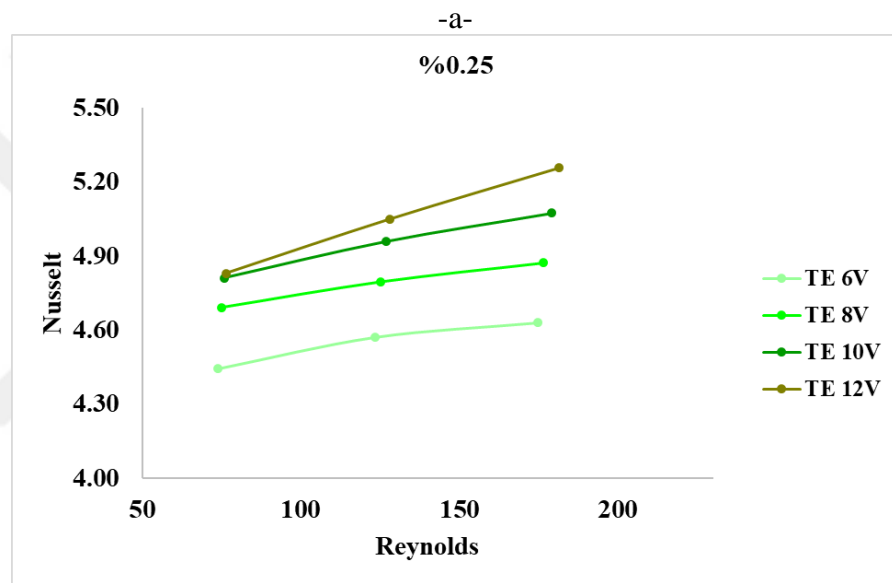
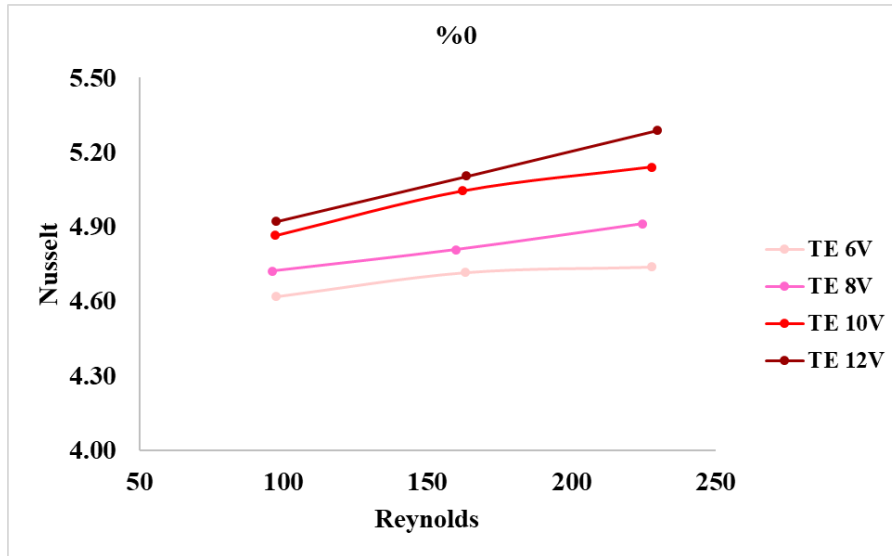
c



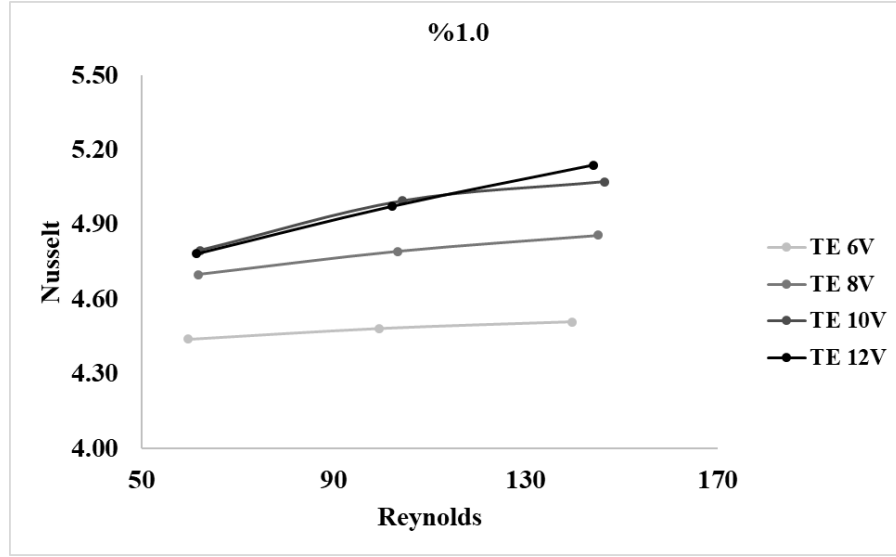
d

**Şekil 4.40.** 14,82 L hacimde ortalama performans katsayısının farklı kütleli debi değerlerinde gerilim değerleriyle değişimi (a) saf su, (b) %0,25, (c) %0,5, (d) %1,0.

Şekil 4.40'da 14,82 l'lik hacim için ortalama COP değerleri termoelektrik eleman değerlerine göre grafikler haline sunulmuştur. Termoelektrik eleman değerleri arttıkça ortalama COP değerlerinde belirgin bir azalma olduğu görülecektir. Dikkat edilmesi gereken nokta, nanoakışkana göre değişim gösteren COP değerleridir. Nanopartikül miktarına bağlı olarak değişim gösteren nanoakışkanlarda oran arttıkça COP değerlerinde artış olduğu rahat bir şekilde görülebilir. Özellikle saf su ve %1,0 oranları karşılaştırılırsa bu farkın ne denli fazla olduğu görülecektir. Bu durum 6,24 l'lik hacim için büyük fark oluşturmazken 14,82 l'lik hacimde fark oluşturmaması soğutulan hacmin büyüklüğü ile açıklanabilir. Soğutulan hacim arttıkça termoelektrik eleman için de soğutma yapılması için gereken hacim artacaktır. Bu durumda termoelektrik elemanın sıcak yüzeyinin soğutulması için kullanılan nanoakışkan kullanımı burada önem taşımaktadır. Nanopartikül oranı arttıkça COP değerlerinin artması bu nedendir.



-c-



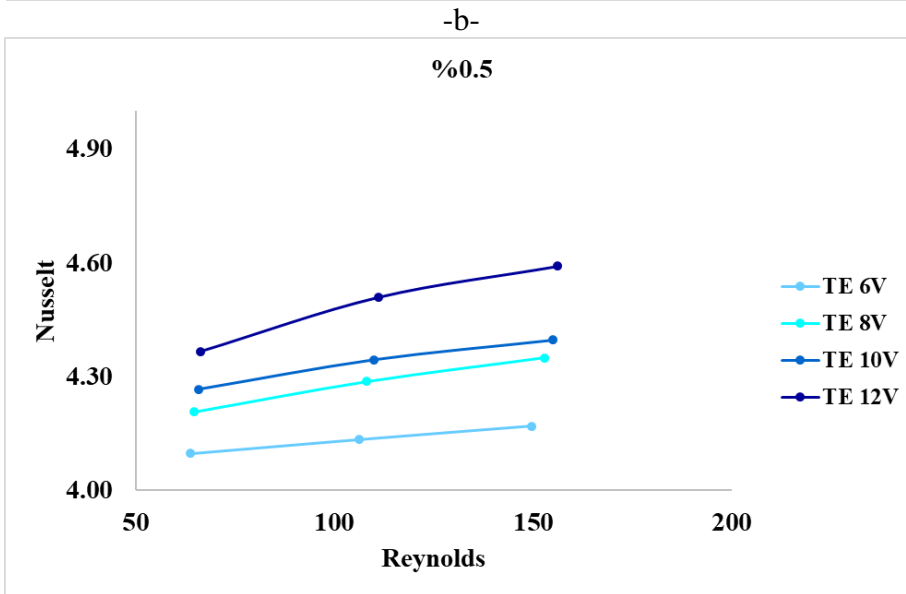
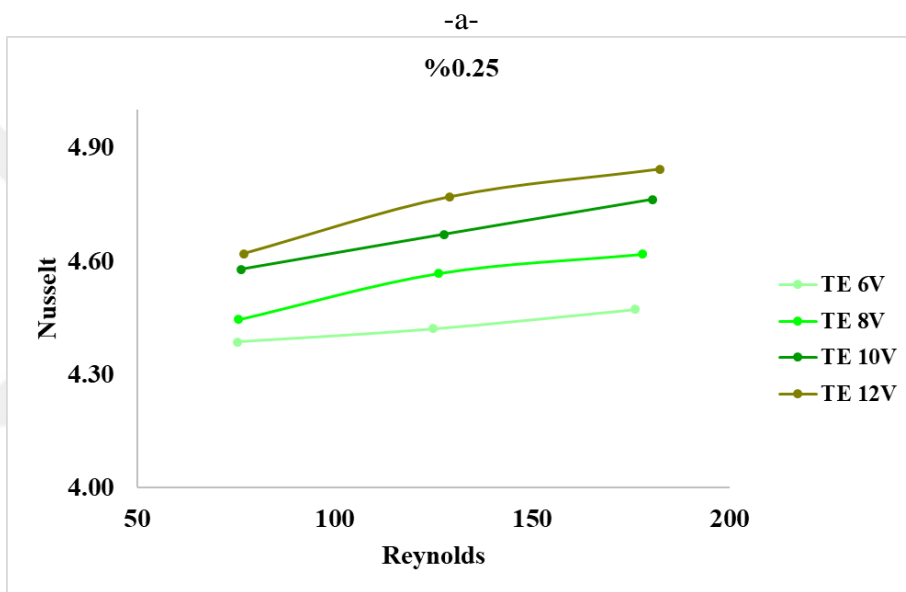
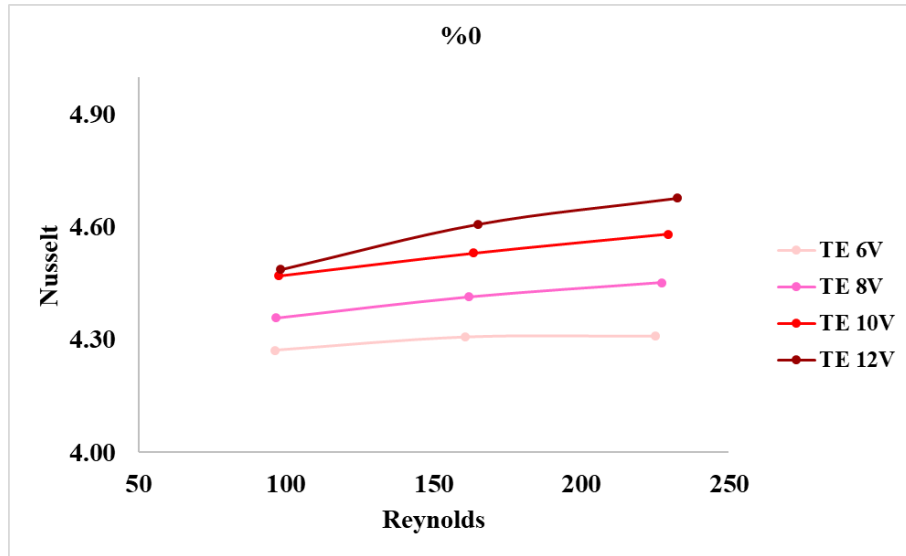
-d-

**Şekil 4.41.** 6,24 L hacim için Nusselt ve Reynolds sayılarının değişimi; (a) saf su, (b) %0,25, (c) %0,5, (d) %1,0.

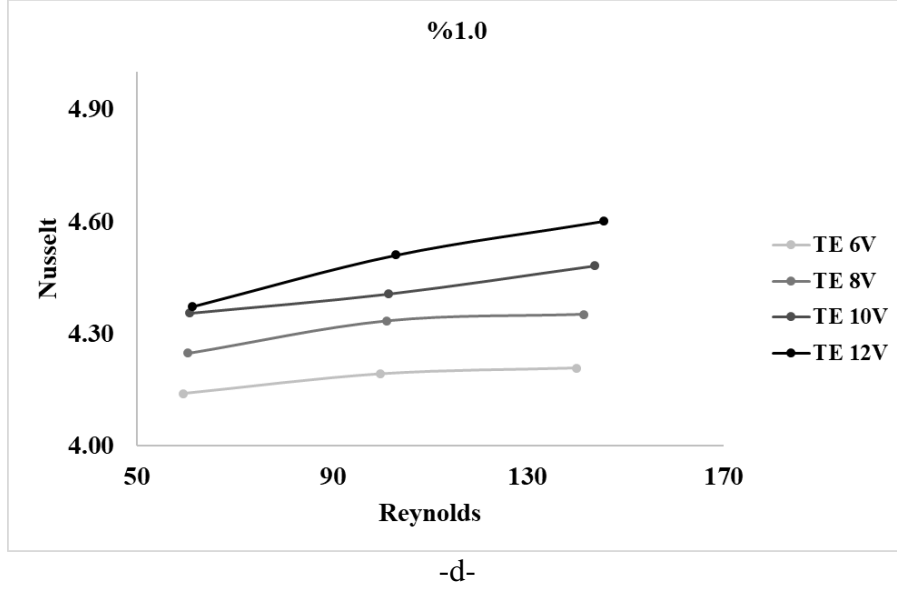
6,24 l'lik hacim için Şekil 4.41'de nanopartikül oranlarına göre nanoakışkanlar için Nusselt – Reynolds sayılarının değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren grafikler sunulmuştur. Bütün grafiklerde, dikkat edilirse TE 6V değeri en düşük değer olarak görülebilir. Grafikler tek olarak incelendiğinde termoelektrik elemana uygulanan gerilim değeri arttıkça sıcaklık artmış ve Reynolds – Nusselt arasındaki ilişkide de artış olmuştur.

Grafikler karşılaştırmalı olarak incelendiğinde Nusselt – Reynolds ilişki değerlerinde düşüş hemen göze çaracaktır. Bu durum nanopartikül artan oranına bağlı olarak nanoakışkan ile açıklanabilir. Nanopartikül oranı arttıkça bu düşüş görülmektedir. Ayrıca TE 6V değerinde bu durum daha belirgin olarak görülmektedir. Nusselt ve Reynolds sayılarında da düşüş görülebilir.

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



-c-



**Şekil 4.42.** 14,82 L hacim için Nusselt ve Reynolds sayılarının değişimi; (a) saf su, (b) %0,25, (c) %0,5, (d) %1,0.

Şekil 4.42’de 14,82 l’lik hacim için Nusselt – Reynolds sayıları arasındaki ilişkiyi gösteren grafikler sunulmuştur. Farklı nanopartikül oranlarına sahip nanoakışkanlar için oluşturulmuş olan grafiklerde TE 12V değerinde diğer değerlere göre daha yüksek Nusselt – Reynolds sayı değerleri elde edilmişken TE 6V değerinde en düşük Nusselt – Reynolds sayıları görülmüştür. Grafikler tek incelendiğinde %0,5 nanopartikül oranına sahip nanoakışkan ile %1,0 nanopartikül oranına sahip nanoakışkanın Reynolds sayılarında büyük değişim olmadığı ancak Nusselt sayılarında düşüş olduğu görülebilir. Bu durum nanoakışkanın taşınım ile ısı transferinde az da olsa düşüş olduğunu, ısı transferinin iletme yaklaşılabileceğini gösterir. Nanoakışkan içinde nanopartikül oranının artmasından dolayı bu durumun normal görüldüğü söylenebilir. Zira nanoakışkan içine eklenen nanopartikülün ısı transferini arttırmayı amaçladığı ortadadır. Şekil 4.41 ile grafikler karşılaştırıldığında ise görülen düşüklüğün sebebi soğutulan hacim ile ilgilidir.

### 5. SONUÇ ve ÖNERİLER

6,24 l'lik ve 14,82 l'lik hacimlere sahip iki hacmin soğutulması için termoelektrik eleman ve termoelektrik elemanı desteklemek için fan kullanılmıştır. Saf su ve çeşitli oranlarda SiO<sub>2</sub> – saf su nanoakışkanları kullanılarak termoelektrik elemanın sıcak yüzeyinin soğutulması amaçlanmıştır.

Yapılan çalışmalarda:

- Termoelektrik elemanı soğutmak için kullanılan SiO<sub>2</sub> – saf su nanoakışkanı iki adım metodu kullanılarak elde edilmiştir. SiO<sub>2</sub> nanopartikülleri saf su içine katılıp ultrasonik homojenizatör ile 5 saat karıştırılmıştır ve herhangi bir topaklanma, çökme gözlemlenmemiştir.
- Sabit başlangıç sıcaklıklarında deneyler gerçekleştirilmiştir.
- Kutu içinde (dışarıdan içeri doğru sıralandığında) ısı değiştirici – termoelektrik eleman – fan diziliminde dışarı aktarılacak ısı enerjisini minimumda tutmak için yalıtkanla kaplanmıştır.
- Saf suya göre SiO<sub>2</sub> – saf su nanoakışkanı ısı transferini gerçekleştirmede daha iyi sonuçlar ortaya çıkarmıştır.
- Nanoakışkan içine eklenen nanopartiküllerin artmasıyla viskozitenin artmasına neden olmuştur.
- Yapılan deneylerde iki farklı boyutta soğutma kutuları kullanıldığında termoelektrik elemanın 6,24 l'lik hacimdeki iç sıcaklıklarının göre 14,82 l'lik hacim için iç sıcaklıklarda daha yüksek değerler elde edildiği saptanmıştır.
- 6,24 l'lik hacim iç sıcaklıkları için nanopartikül oranı arttıkça iç sıcaklıklarda düşüş görülmüştür.
- 6,24 l'lik hacimde saf su kullanılmasında elde edilen en yüksek çekilen enerji %22,28 oranıyla termoelektrik elemanın 12V gerilim değerinde ve 14 g/s kütleli debide olduğu görülmüştür. Yine saf su değerlerinde en yüksek COP değeri %21,33 oranıyla aynı değerlerde elde edilmiştir.

- 6,24 l'lik hacimde kullanılan nanoakışkanlar için en yüksek çekilen enerji miktarını %24,17 ile TE 12V ve 14 g/s değerlerinde %0,25 nanopartikül oranının sağladığı tespit edilmiştir.
- 6,24 l'lik hacimde kullanılan nanoakışkanlar için en yüksek COP değerini %23,37 ile TE 12V ve 14 g/s değerlerinde %0,25 nanopartikül oranına sahip nanoakışkandan elde edildiği görülmüştür.
- 14,82 l'lik hacmin iç sıcaklıkları için saf suya göre en belirgin değer %0,25 nanopartikül oranında elde edilmiştir. Kullanılan diğer oranlardaki nanopartiküller, %0,25 oranıyla büyük benzerlik göstermektedir.
- 14,82 l'lik hacimde saf su kullanılmasıyla kutu içinden en yüksek çekilen enerji oranı %22,21 ile TE 12V ve 14 g/s değerlerinde olduğu görülmüştür.
- 14,82 l'lik hacimde saf su için elde edilen en yüksek COP değeri %21,74 ile TE 12V ve 14 g/s olduğu tespit edilmiştir.
- 14,82 l'lik hacimde kullanılan nanoakışkanlarda kutu içinden en yüksek çekilen enerji %26,37 değerinde TE 8V ve 14 g/s kütleli debide %0,25 nanopartikül oranına sahip nanoakışkanda elde edilmiştir.
- 14,82 l'lik hacimde en yüksek COP değerini %23,90 değerinde TE 8V ve 14 g/s kütleli debisinde %0,25 nanopartikül oranında olduğu görülmüştür.
- Hem 6,24 l'lik hacim için hem de 14,82 l'lik hacim için artan termoelektrik eleman değerlerinin soğutmada etkili olduğu görülmüştür.
- Kütleli debinin kutu içi soğutulmasında etkisi olduğu durumlar da görülmüştür.
- Kutu hacminin soğutulmasında en etkili olanlar sırasıyla; soğutulan kutunun hacmi, termoelektrik eleman (uygulanan gerilim ve termoelektrik eleman sayısı), nanoakışkan kütleli debisi ve son olarak nanopartikül oranı ile nanoakışkan olarak sıralanabilir.
- Termoelektrik eleman için uygulanan gerilim değerlerindeki artışın COP değerlerini düşürdüğü görülmüştür. Bunun sebebi, kutu içi soğutma uygulamak için verilen enerjinin soğutma için termoelektrik eleman

tarafından kutu içinden çekilen enerjiden büyük olmasıdır. Yani termoelektrik eleman yüksek değerler için verimli olmadığı söylenebilir.

- Küçük hacim ve büyük hacim soğutulmasında kullanılacak termoelektrik eleman sayısı arttırılabilir. Bu durumda istenilen sıcaklıklara düşme görülür ama oluşturulacak sistem verimli olmayabilir ve verim olarak sistemin ayrıca incelenmesi gerekmektedir.
- Teknolojinin gelişimiyle birlikte termoelektrik elemanlarda iyileşmeler ve verimim artması öngörülmektedir. İstenilen sıcaklıklarda termoelektrik eleman sayısına bağlı olarak kullanım alanları arttırılabilir.
- Yapılan çalışmada termoelektrik elemanın soğuttuğu hacim, termoelektrik eleman sayısı, termoelektrik eleman üzerinden geçen akım – voltaj değerleri, termoelektrik elemanın sıcak yüzeyinin etkin soğutulması, soğutma için kullanılan yöntem gibi parametreler önem arz etmektedir.

## KAYNAKLAR

- Afshari, F. 2020. Experimental study for comparing heating and cooling performance of thermoelectric peltier. *Politeknik Dergisi*, 23(3), 889-894.
- Afshari, F., Afshari, F., Ceylan, M., Ceviz, M. A. 2020. A review study on peltier cooling devices; applications and performance. *Proceedings on 3rd International Conference on Technology and Science*, 18-20 December, 1-5, Antalya, Türkiye.
- Afshari, F., Ceviz, M. A., Mandev, E., Yıldız, F. 2022. Effect of heat exchanger base thickness and cooling fan on cooling performance of Air-To-Air thermoelectric refrigerator; experimental and numerical study. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 52, 2213-1388.
- Aglawe, K. R., Yadav, R. K., Thool, S. B. 2021. Preparation, application and challenges of nanofluids in electronic cooling: A Systematic review. *Materials Today: Proceedings*. 43, 366 – 372.
- Ahmed, M. A., Yusoff, M. Z., Ng, K. C., Shuaib, N. H. 2015. Numerical and experimental investigations on the heat transfer enhancement in corrugated channels using SiO<sub>2</sub> – water nanofluid. *Case Studies in Thermal Engineering* 6, 77-92.
- Akçadırcı, E. 2015. Bir boru içerisine cidardan ayırık olarak yerleştirilmiş çeşitli tipteki şerit elemanların ısı transferi iyileştirmesine etkisinin deneysel olarak incelenmesi. *Proje, Erciyes Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi*, 44, Kayseri.
- Akyürek, E. F. 2014. Nanoakışkanların ve türbülatorlerin iç içe borulu ısı değiştirici ısı performansına etkilerinin incelenmesi. *Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı*, 137, Erzurum.
- Anonim, 2022a. Web Sitesi: <https://www.termodinamik.info/iki-fazli-akislarda-isi-transfer-iyilestirmesi-1>, Erişim Tarihi: 03.08.2022.
- Anonim, 2022b. Web Sitesi: <https://daytam.atauni.edu.tr/altyapi/malzeme-sentezi-ve-karakterizasyonu/ileri-spektroskopi-laboratuvari/uv-vis-nir-spektrometresi/>, Erişim Tarihi: 23.07.2022.
- Anonim, 2022c. Web Sitesi: <http://www.rotalab.com/tr/urunler/ornek-hazirlama-cihazlari/ultrasonik-homojenizator.html>, Erişim Tarihi: 10.09.2022.
- Anonim, 2022d. Web Sitesi: <https://daytam.atauni.edu.tr/altyapi/yasam-bilimleri/molekuler-biyoloji-laboratuvari/ultrasonik-homojenizator/>, Erişim Tarihi: 10.09.2022.
- Anonim, 2022e. Web Sitesi: <https://yasincapar.com/tr/termoelektrik-etki/>, Erişim Tarihi: 27.05.2022.

- Anonim, 2022f. Web Sitesi: <https://www.elektrikde.com/peltier-etkisi-termoelektrik-sogutucu-nedir/>, Erişim Tarihi: 20.05.2022.
- Anonim, 2022g. Web Sitesi: [https://tr.wikipedia.org/wiki/Termoelektrik\\_so%C4%9Futma](https://tr.wikipedia.org/wiki/Termoelektrik_so%C4%9Futma), Erişim Tarihi: 20.05.2022.
- Anonim, 2022h. Web Sitesi: <https://www.pau.edu.tr/termoelektrik/tr/sayfa/termoelektrik-modul>, Erişim Tarihi: 20.05.2022.
- Anonim, 2022i. Web Sitesi: <https://tr.wikipedia.org/wiki/Termokupl#:~:text=Termokupl%20veya%20%C4%B1s%C4%B1l%20C3%A7ift%20bir,birle%C5%9Fim%20noktas%C4%B1n%C4%B1n%20%C4%B1s%C4%B1nma%20miktar%C4%B1na%20ba%C4%9Fl%C4%B1d%C4%B1r.>, Erişim Tarihi: 21.05.2022.
- Anonim, 2022j. Web Sitesi: <https://www.hepsiburada.com/peltier-sogutucu-165w-tec1-12715-15v-10a-termoelektrik-sogutucu-pm-HB000007913Y>, Erişim Tarihi: 22.07.2022.
- Anonim, 2022k. Web Sitesi: <https://tr.aliexpress.com/item/32779758573.html>, Erişim Tarihi: 22.07.2022.
- Anonim, 2022l. Web Sitesi: [https://www.ordel.com.tr/pg\\_161\\_udl100](https://www.ordel.com.tr/pg_161_udl100), Erişim Tarihi: 22.07.2022.
- Anonim, 2022m. Web Sitesi: <https://www.hepsiburada.com/tt-technic-kxn-3020d-0-30v-0-20a-ayarli-guc-kaynagi-pm-HB00000P39OL>, Erişim Tarihi: 10.09.2022.
- Anonim, 2022n. Web Sitesi: <https://www.netes.com.tr/urun/gw-instek-gps-4303-cok-cikisli-dc-guc-kaynaklari>, Erişim Tarihi: 10.09.2022
- Anonim, 2022o. Web Sitesi: <https://www.blabmarket.com/urun/laboratuvar-analitik-terazi-axis-aln-220g-220g-x-0-0001g>, Erişim Tarihi: 22.07.2022.
- Anonim, 2022r. Web Sitesi: [https://www.aandd.jp/products/test\\_measuring/sv10/sv10.html](https://www.aandd.jp/products/test_measuring/sv10/sv10.html), Erişim Tarihi: 10.09.2022.
- Anonymous, 2022a. Web Sitesi: [https://www.hielscher.com/tr/400s\\_p.htm](https://www.hielscher.com/tr/400s_p.htm), Erişim Tarihi: 22.07.2022.
- Arı, M., Bilgin, G., Özcan, O. 2017. Alternatif enerji kaynaklarından güneş enerjisinin günlük hayatta kullanılabilirliği ve güneş enerjisi ile çalışan piknik sepeti tasarımı. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi Özel Sayı, 1, 163-17.
- Aslan, T. F., Alyamaç Seydibeyoğlu, E. 2022. Experimental investigation of thermophysical and rheological properties of water-based nanofluids containing graphene nanoplatelets with different specific surface areas. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 37(1), 389-398.

- Awais, M., Ullah, N., Ahmad, J., Sikandar, F., Ehsan, M. M., Salehin, S., Bhuiyan, A. A. 2021. Heat transfer and pressure drop performance of nanofluid: A State-of-the-Art Review. *International Journal of Thermofluids* 9, 100065.
- Aydoğan, B. 2006. LabView grsel grafik programı ile peltier yarıiletkenine enerji verildiğinde sıcaklık performansının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, 40, Denizli.
- Baghbanzadeh, M., Rashidi, A., Rashtchian, D., Lotfi, R., Amrollahi, A. 2012. Synthesis of Spherical silica/multiwall carbon nanotubes hybrid nanostructures and investigation of thermal conductivity of related nanofluids. *Thermochimica Acta*, 549, 87-94.
- Batmunkh, M., Tanshen, M. R., Nine, M. J., Myekhlai, M., Choi, H., Chung, H., Jeong, H. 2014. Thermal conductivity of TiO<sub>2</sub> nanoparticles based aqueous nanofluids with an addition of a modified silver particle. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 53(20), 8445 – 8451.
- Benziger, B., Nair, A. P., Balakrishnan, P. 2015. Review paper on thermoelectric air conditioner using peltier moduls. *International Academy of Science, Engineering and Technology*, 3(4), 49-56.
- Bıyıkğlu, A. 2003. Yakıt hcrelerinin tarihsel gelişimi, çalışma prensipleri ve bugnk durumu. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimler Dergisi*, 16(3), 523-542.
- Bretado-de los Rios, M., Rivera-Solorio, C. I., Nigam, K. D. P. 2021. An Overview of sustainability of heat exchangers and solar thermal applications with nanofluids: A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 142, 110855.
- Brinkman, H. C. 1952. The Viscosity of concentrated suspensions and solutions. *The Journal of Chemical Physics*, 20(4), 571-571.
- Bruggeman, D. A. G. 1936. Calculation of various physical constants of heterogenous substances II. dielectricity constants and conductivity of non regular multi crystal systems. *Annalen Der Physik*, 25(7), 645-672.
- Bubnova, O., Berggren, M., Crispin, X. 2012. Tuning the thermoelectric properties of conducting polymers in an electrochemical transistor. *Journal of the American Chemical Society*, 134(40), 16456-16459.
- Bubnova, O., Crispin, X. 2012. Towards polymer-based organic thermoelectric generators. *Energy and Environmental Science*, 5(11), 9345-9362.
- Bulut, H. 2017. Ders Notu. Soğutma ve klima tekniği. Harran Üniversitesi, Mhendislik Fakltesi, Makine Mhendisliği Blm, şanlıurfa, Trkiye.
- Cai, Y., Wang, Y., Liu, D., Zhao, F. Y., 2019. Thermoelectric cooling tecnology applied in the field of electronic devices: updated review on the parametric investigations and model developments. *Applied Thermal Engineering*, 148, 238-255.

- Chein, R., Chen, Y. 2005. Performances of thermoelectric cooler integrated with microchannel heat sinks. *International Journal of Refrigeration*, 28(6), 828-839.
- Chen, W. Y., Shi, X. L., Zou, J., Chen, Z. G. 2022. Thermoelectric coolers: progress, challenges, and opportunities. *Small Methods*, 2022, 6(2), 2101235.
- Cho, C., Stevens, B., Hsu, J. H., Bureau, R., Hagen, D. A., Regev, O., Yu, C., Grunlan, J.C. 2015. Completely organic multilayer thin film with thermoelectric power factor rivaling inorganic tellurides. *Advanced Materials*, 27(19), 2996-3001.
- Cosnier, M., Fraisse, G. Luo, L. 2007. An experimental and numerical study of a thermoelectric air-cooling and air-heating system. *International Journal of Refrigeration*, 31(6), 1051-1062.
- Cui, W., Shen, Z., Yang, J., Wu, S. 2014. Modified prediction model for thermal conductivity of spherical nanoparticle suspensions (nanofluids) by introducing static and dynamic mechanisms. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 53(46), 18071-18080.
- Çengel, Y.A. 2011. Isı ve kütle transferi/ Pratik bir yaklaşım. Güven Bilimsel Yayınları. Üçüncü Basım, 879, İzmir, Türkiye.
- Dağdeviren, A. 2020. Hibrit nanoakışkan içeren kare şeklindeki kapalı bir ortamda doğal taşınım ile ısı transferinin sayısal olarak incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, 68, Karabük.
- De Bruijn, H. 1942. The viscosity of suspensions of spherical particles. (the fundamental  $\eta$ -  $c$  and  $\phi$  relations). *Recueil des Travaux Chimiques des Pays-Bas*, 61(12), 863-874.
- Dey, D., Sahu, D. 2020. A Review on the application of the nanofluids. *Heat Transfer*. 50(2), 1113-1155.
- Dirlik, A. 2018. Nanoakışkanlarda doğal taşınım ile ısı transferinin sayısal olarak incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı, 57, İstanbul.
- Ding, J., Zhao, W., Jin, W., Di, C., Zhu, D. 2021. Advanced thermoelectric materials for flexible cooling application. *Advanced Functional Materials*. 31(20), 1113-1155.
- Einstein, A. 1906. A New determination of molecular dimensions. *Annalen der Physik*. 19, 289-306.
- Elsheikh, M. H., Shnawah, D. A., Sabri, M. F. M., Said, S. B. M., Hassan, M. H., Bashir, M. B. A., Mohamad, M. 2014. A Review on thermoelectric renewable energy: Principle parameters that affect their performance. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 30, 337-355.
- Erkan, A., Tüccar, G., Tosun, E., Özgür, T. 2021. Comparison of effects of nanofluid utilization ( $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ ,  $TiO_2$ ) with reference water in automotive radiators on exergetic properties of diesel engines. *SN Applied Sciences*, 3(365).

- Erkol, H.O., Demirel, H. 2012. Termoelektrik malzeme ile seygar su soğutucu uygulaması. TÜBAV Dergisi, 5(1), 16-20.
- Fang, H., Popere, B. C., Thomas, E. M., Mai, C. K., Chang, W. B., Bazan, G. C., Chabinye, M. L., Segalman, R. A. 2017. Large-Scale integration of flexible materials into rolled and corrugated thermoelectric modules. *Journal of Applied Polymer Science*, 134(3).
- Ferrouillat, S., Bontemps, A., Ribeiro, J. P., Gruss, J. A., Soriano, O. 2011. Hydraulic and heat transfer study of SiO<sub>2</sub>/Water nanofluids in horizontal tubes with imposed wall temperature boundary conditions. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 32(2), 424-439.
- Gao, J. W., Zheng, R. T., Ohtani, H., Zhu, D. S., Chen, G. 2009. Experimental investigation of heat conduction mechanisms in nanofluids. *Clue on Clustering. Nano Letters*, 9 (12), 4128-4132.
- Gherasim, I., Roy, G., Nguyen, C. T., Vo-Ngoc, D. 2009. Experimental investigation of nanofluids in confined laminar radial flows. *International Journal of Thermal Sciences*, 48(8), 1486-1493.
- Guo, Z. 2020. A Review on heat transfer enhancement with nanofluids. *Rutgers University In Journal of Enhanced Heat Transfer*, 27(1), 1-70.
- Gürlek, G., Onat, K. S. 2017. Termoelektrik modüllü küçük ölçekli taşınabilir iklimlendirme cihazı tasarımı. 1 st International Conference on Energy Systems Engineering (ICESS-1), 2-4 November, Karabük Üniversitesi, Karabük, Turkey.
- Hacı, M., Kahraman, Z. 2016. Termoelektrik sistemli yemek taşıma modülü tasarımı ve analizi. *Journal of FCE – Scientific Paper*, 4.
- Hamilton, R. L., Crosser, O. K. 1962. Thermal conductivity of heterogeneous two component systems. *Industrial & Engineering chemistry fundamentals*, 1(3), 187-191.
- Hasan, H. A., Alquziweeni, Z., Sopian, K., 2018. Heat transfer enhancement using nanofluids for cooling a central processing unit (CPU) system. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 51(2), 145-157.
- Hemmat, M., Kiannejad, Amiri, M., Alirezaie, A. 2018. Thermal conductivity of a hybrid nanofluid: A New economic strategy and model. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 134, 1113-1122.
- Hui, P. M., Zhang, X., Markworth, A. J., and Stroud, D. 1999. Thermal conductivity of graded composites: Numerical simulations and an effective medium approximation. *Journal of Materials Science*, 34(22), 5497-5503.
- Hussein, A. M., Bakar, R. A., Kadrigama, K., Sharma, K. V. 2014. Heat transfer enhancement using nanofluids in an automotive cooling system. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 53, 195-202.

- Idris, M. S., Zakaria, I. A., Hamzah, W. A. W. 2021. Heat transfer and pressure drop of water based hybrid  $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{SiO}_2$  nanofluids in cooling plate of PEMFC. *Journal of Advanced Research in Numerical Heat Transfer*, 4(1), 1-13.
- Jaishi, D. R., Sharma, N., Karki, B., Belbase, B. P., Adhikari, R. P., Ghimire, M. P. 2021. Electronic structure and thermoelectric properties of half-Heusler alloys NiTZ. *AIP Advances*, 11(2), 025304.
- Kaya, M. 2008. Termoelektrik soğutma sistemlerinin deneysel incelenmesi. *Machinery Makinatek Aylık İmalat ve Teknolojik Kültürü Dergisi*, (4), 126.
- Koçak Soylu, S. 2018. Otomobil radyatöründe  $\text{TiO}_2$  esaslı nanoakışkan kullanımının ısı transfer performansı üzerine etkisinin incelenmesi. Doktora Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 148, Antalya.
- Li, J., Zhang, X., Xu, B., Yuan, M. 2021. Nanofluid research and applications: A Review. *Internatinal Communications in Heat and Mass Transfer*, 127, 105543.
- Lu, Z., Layani, M., Zhao, X., Tan, L. P., Sun, T., Fan, S., Yan, Q., Magdassi, S., Hng, H. H. 2014. Fabrication of flexible thermoelectric thin film devices by inkjet printing. *Small*, 10(17), 3551-3554.
- Mahmood, Q., Yaseen, M., Haq, B., Laref, A., Nazir, A. 2019. The study of mechanical and thermoelectric behavior of  $\text{MgXO}_3$  (X=Si, Ge, Sn) for energy applications by DFT. *Chemical Physics*, 524, 106-112.
- Mandev, E. 2017. Mikrokanallarda nanoakışkanların karma taşınım ile ısı transferi karakteristiklerinin deneysel olarak incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Erzurum Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 165, Erzurum.
- Manay, E. 2014. Mikrokanallarda nanoakışkanların ısı transferi ve basınç düşümü karakteristiklerinin araştırılması. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 129, Erzurum.
- Maiga, S. E. B., Palm, S. J., Nguyen, C. T., Roy, G., Galanis, N. 2005. Heat transfer enhancement by using nanofluids in forced convection flows. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 26(4), 530-546.
- Maxwell, J. C. 1873. *A Treatise on electricity and magnetism* (Vol. 1). Oxford: Clarendon Press, <https://doi.org/10.1017/CBO9780511709333>.
- Meng, C., Liu, C., Fan, S. 2010. A Promising approach to enhanced thermoelectric properties using carbon nanotube networks. *Advanced Materials*, 22(4), 535-539.
- Mooney, M. 1951. The viscosity of a concentrated suspension of spherical particles. *Journal of Colloid Science*, 6(2), 162-170.
- Munkhbayar, B., Tanshen, M. R., Jeoun, J., Chung, H., Jeong, H. 2013. Surfactant-free dispersiyon of silver nanoparticles into MWCNT-Aqueous nanofluids prepared

- by one-step technique and their thermal characteristic. *Ceramics International*, 39(6), 6415-6425.
- Murshed, S. M. S., and Nieto de Castro, C. A. 2011 Contribution of brownian motion in thermal conductivity of nanofluids. *Proceedings of the World Congress on Engineering*, 6-8 July, Vol III, London, U.K.
- Nine, M. J., Munkbayar, B., Rahman, M. S., Chung, H., Jeong, H. 2013 highly productive synthesis process of well dispersed Cu<sub>2</sub>O and Cu/Cu<sub>2</sub>O nanoparticles and its thermal characterization. *Materials Chemistry and Physics*, 141(2-3), 636-642.
- Nolas, G. S., Morelli, D. T., Tritt, T. M. 1999. SKUTTERUDITES: A Phonon-glass-electron crystal approach to advanced thermoelectric energy conversion applications. *Annual Reviews Material Science*, 29(89), 116.
- Özerinç, S., 2010. Heat transfer enhancement with nanofluids. Master Thesis, Middle East Technical University School of Natural and Applied Sciences, Mechanical Engineering Department, 168, Ankara.
- Özbaldan, R. 2017. Manyetik nanoakışkanların sentezlenmesi ve termofiziksel özelliklerinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 69, Erzurum.
- Pak, B. C., Cho, Y. I. 1998. Hydrodynamic and heat transfer study of dispersed fluids with submicron metallic oxide particles. *Experimental Heat Transfer an International Journal*, 11(2), 151-170.
- Pakdaman, M.F., Akhavan-Behabadi, M.A. and Razi, P. 2012. An experimental investigation on thermo-physical properties and overall performance of MWCNT/heat transfer oil nanofluid flow inside vertical helically coiled tubes, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 40, 103-111.
- Palacios, A., Cong, L., Navarro, M. E., Ding, Y., Barreneche, C. 2019. Thermal conductivity measurement techniques for characterizing thermal energy storage materials – A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 108, 32-52.
- Pang, C., Jung, J. Y., Kang, Y. T. 2014. Aggregation based model for heat conduction mechanism in nanofluids. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 72, 392-399.
- Paul, G., Chopkar, M., Manna, I., Das, P. K. 2010. Techniques for measuring the thermal conductivity of nanofluids: A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(7), 1913-1924.
- Pei, Y., Wang, H., Gibbs, Z. M., LaLonde, A. D., Synder, G. J. 2012. Thermopower enhancement in Pb<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>Te Alloys and its effect on thermoelectric efficiency. *NPG Asia Materials*, 4, e28, doi:10.1038/am.2012.52.
- Pourkiaei, S. M., Ahmadi, M. H., Sadeghzade, M., Moosavi, S. Pourfayaz, F., Chen, L., Yazdi, M. A. P. 2019. Thermoelectric cooler and thermoelectric generator

- devices: A Review of present and potential applications, modeling and materials. *Energy*, 186, 115849.
- Prunet, G., Pawula, F., Fleury, G., Cloutet, E., Robinson, A.J., Hadziioannou, G., Pakdel, A., 2021. A Review on conductive polymers and their hybrids for flexible and wearable thermoelectric applications. *Materials Today Physics*, 18, 100402.
- Quinn, R. J., Bos, J. W. G. 2021. Advances in half-heusler alloys for thermoelectric power generation. *Materials Advances*, 2, 6246-6266.
- Ranjbarzadeh, R., Moradikazerouni, A., Bakhtiari, R., Asadi, A., Afrand, M. 2019. An experimental study on stability and thermal conductivity of Water/Silica nanofluid: Eco-Friendly Production of Nanoparticles. *Journal of Cleaner Production*, 206, 1089-1100.
- Rejvani, M., Alipour, A., Vahedi, S. M., Chamkha, A. J., Wongwises, S. 2019. Optimal characteristics and heat transfer efficiency of SiO<sub>2</sub>/water nanofluid for application of energy devices: A Comprehensive study. *International Journal of Wiley Energy Research*, 43(14), 8548-8571.
- Remeli, M. F., Bakaruddin, N. E., Shawal, S., Husin, H., Othman, M. F., Singh, B. 2020. Experimental study of a mini cooler by using peltier thermoelectric cell. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 5th International Conference on Mechanical Engineering Research, 30-31 July, Volume 788, Kuantan, Malaysia.
- Riffat, S. B., Ma, X. 2003. Thermoelectrics: A Review of present and potential applications. *Applied Thermal Engineering*, 23(8), 913-935.
- Said, Z., Rahman, S. M. A., Assad, M. E. H., Alami, A. H. 2019. Heat transfer enhancement and life cycle analysis of a shell-and-tube heat exchanger using stable CuO/Water nanofluid. *Sustain Energy Technol Assessments*, 31, 306-317.
- Sarkar, J., Ghosh, P., Adil, A. 2015. A Review on hybrid nanofluids: recent research, development and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 43, 164-177.
- Sekhar, Y. R. and Sharma, K. V. 2015. Study of viscosity and specific heat capacity characteristics of water-based Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanofluids at low particle concentrations, *Journal of Experimental Nanoscience*, 10(2), 86-102.
- Shahjalal, M., Shams, T., Islam, M. E., Alam, W., Modak, M., Hossain, S. B., Ramadesigan, V., Ahmed, M. R., Ahmed, H., Iqbal, A. 2021. A review of thermal management for li-ion batteries: prospects, challenges, and issues. *Journal of Energy Storage*, 39, 102518.
- Singh, S. K., Sarkar, J. 2018. Energy, exergy and economic assessments of shell and tube condenser using hbrid nanofluid as coolant. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 98, 41-48.

- Sun, Y., Qiu, L., Tang, L., Geng, H., Wang, H., Zhang, F., Huang, D., Xu, W., Yue, P., Guan, Y. S., Jiao, F., Sun, Y., Tang, D., Di, C., Yi, Y., Zhu, D. 2016. Flexible n-type high-performance thermoelectric thin films of Poly(nickel-ethylenetetrathiolate) prepared by an electrochemical method. *Advanced Materials*, 28(17), 3351-3358.
- Sungur, C. 2008. Güneş pilleri ile beslenen termoelektrik mobil soğutucunun tasarımı ve analizi. *Selçuk Teknik Dergisi*, 7(1-2008), 1-17.
- Shilpa, M. K., Raheman, M. A., Aabid, A., Baing, M., Veerasha, R. K., Kudva, N. 2022. A Systematic review of thermoelectric peltier devices: applications and limitations. *Fluid Dynamics & Materials Processing*, 1-21. doi: 10.32604/fdmp.2022.020351.
- Shin, D. and Banerjee, D. 2013. Enhanced specific heat capacity of nanomaterials synthesized by dispersing silica nanoparticles in eutectic mixtures, *Journal of Heat Transfer*, 135(3), 032801.
- Şahin, B., Bayramian, H., Mandev, E., Manay, E. 2019. Dairesel bir mikrokanalda  $SiO_2$  nanoakışkanların ısı transferi ve basınç düşümü karakteristiklerinin incelenmesi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 9(1), 446-457.
- Şahin, B., Özer, R. A., Ateş, İ., Manay, E. 2019. Mikrokanallı ısı alıcıda  $SiO_2$ - su nanoakışkanının karma taşınım özelliklerinin deneysel olarak incelenmesi. *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 10(1),169-180.
- Şahin, F., Namlı, L. 2018. Nanoakışkanlarda kararlılığın ısı transferini iyileştirme açısından önemi. *Ömer Halis Demir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(2), 880-898.
- Şahin, F. 2015. Buhar sıkıştırma ve termoelektrik teknolojilerinin kullanıldığı hibrit bir buzdolabında soğutma performansının incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı*, 57, Niğde.
- Şahin, T. 2012. Termoelektrik soğutucuların modellenmesi ve karakterizasyonu. *Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı*, 85, İstanbul.
- Şimşek, M. 2015. Peltier modül ile taşıt klima tasarımı. *Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı*, 45, Afyonkarahisar.
- Takabi, B. and Salehi, S. 2014. Augmentation of the heat transfer performance of a sinusoidal corrugated enclosure by employing hybrid nanofluid, *Advances in Mechanical Engineering*, 6, 147059.
- Tan, G., Zhao, D. 2015. Study of A Thermoelectric space cooling system integrated with phase change material. *Applied Thermal Engineering*, 86, 187-198.
- Vajjha, R. S. and Das, D. K. 2009 Specific heat measurement of three nanofluids and development of new correlations, *Journal of Heat Transfer*, 131(7), 071601.

- Wang, X., Xu, X., Choi, S. U. 1999. Thermal conductivity of nanoparticle-fluid mixture. *Journal of Thermophysics and Heat Transfer*, 13(4), 474-480.
- Xian, H. W., Sidik, N. A. C., Aid, S. R., Ken, T. L., Asako, Y. 2018. Review on preparation techniques, properties and performance of hybrid nanofluid in recent engineering applications. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 45(1), 1-13.
- Xuan, Y., and Li, Q. 2000. Heat transfer enhancement of nanofluids. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 21(1), 58-64.
- Xuan, Y. and Roetzel, W. 2000. Conceptions for heat transfer correlation of nanofluids, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 43(19), 3701-3707.
- Yan, S., Wang, F., Shi, Z. G., Tian, R. 2017. Heat transfer property of  $\text{SiO}_2$ /water nanofluid flow inside solar collector vacuum tubes. *Applied Thermal Engineering*, 118, 385-391.
- Yıldız, G., Ağbulut, Ü., Gürel, A. E. 2021. A Review of stability, thermophysical properties and impact of using nanofluids on the performance of refrigeration systems. *International Journal of Refrigeration*, 129, 342-364.
- Yılmaz Aydın, D. 2020. Dolomit ve boksit esaslı nanoakışkanların termofiziksel özelliklerinin belirlenmesi ve ısı sistemlerindeki performansa etkisi. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, 154, Ankara.