

T.C.
RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TERMOELEKTRİK SOĞUTUCULARDA NANOAKIŞKAN
KULLANIMININ SOĞUTMA GÜCÜ VE TEMEL PERFORMANS
PARAMETRELERİ ÜZERİNE ETKİSİ

Tamer GÜÇLÜ

TEZ DANIŞMANI

Dr. Öğr. Üyesi Erdem CÜCE

II. DANIŞMAN

Dr. Öğr. Üyesi Ayşe Pınar MERT CÜCE

JÜRİ ÜYELERİ

Prof. Dr. Adnan MİDİLLİ

Prof. Dr. Haydar KÜÇÜK

Prof. Dr. Hayati OLGUN

RİZE-2020

Her Hakkı Saklıdır

T.C.
RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TERMoeLEKTRİK SOĞUTUCULARDA NANOAKIŞKAN KULLANIMININ
SOĞUTMA GÜCÜ VE TEMEL PERFORMANS PARAMETRELERİ ÜZERİNE
ETKİSİ

Dr. Öğr. Üyesi Erdem CÜCE danışmanlığında, Tamer GÜÇLÜ tarafından hazırlanan bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulu kararı ile oluşturulan jüri tarafından 06/11/2020 tarihinde Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS** tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	Unvanı, Adı Soyadı	İmza
Başkan	: Prof. Dr. Adnan MİDİLLİ	
Üye	: Prof. Dr. Haydar KÜÇÜK	
Üye	: Prof. Dr. Hayati OLGUN	
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi Erdem CÜCE	
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi A. Pınar MERT CÜCE	

Prof. Dr. Murat TOMAKİN
ENSTİTÜ MÜDÜRÜ

ÖNSÖZ

Termoelektrik Soğutucularda Nanoakışkan Kullanımının Soğutma Gücü ve Temel Performans Parametreleri Üzerine Etkisi başlıklı tez çalışması, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi ve Bayburt Üniversitesi'nin sağlamış olduğu fiziki imkânlar sayesinde gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada termoelektrik soğutucularda nanoakışkan kullanımının soğutma gücü ve temel performans parametreleri üzerindeki etkileri araştırılmaktadır. Peltierin sıcak tarafından sudan havaya soğutma sistemi kullanılırken soğutma suyuna çeşitli nano partiküller farklı oranlarda ilave edilerek sıcak taraftan atılan ısı miktarının artırılması ve dolayısı ile soğutma gücünde iyileşmeler elde edilmesi amaçlanmaktadır. Söz konusu durum gerçekleştiğinde bir termoelektrik soğutucu istenilen sıcaklıklara daha erken düşecek yani daha az enerji tüketmiş olacağından bu çalışma enerji kaynaklarının verimli kullanılması açısından önem arz etmektedir.

Çalışmanın başlangıcında çalışma konusunu önererek başlayan ve bütün süreç boyunca her adımda bilgi, beceri ve tavsiyeleriyle yanımda olan tez danışmanım değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Erdem CÜCE' ye, yine çalışmam boyunca desteklerini sürekli hissettiğim ikinci danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Ayşe Pınar MERT CÜCE' ye teşekkürü borç bilirim.

Son olarak hayatım boyunca desteklerini hissettiğim değerli aile büyüklerim ve hayatımın her alanında olduğu gibi tez çalışmalarımı hazırlarken de her aşamada bana yardımcı olan kıymetli eşim Leyla GÜÇLÜ ve biricik kızım Elif GÜÇLÜ' ye sonsuz teşekkür ederim.

Tamer GÜÇLÜ

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Tarafımdan hazırlanan “Termoelektrik Soğutucularda Nanoakışkan Kullanımının Soğutma Gücü ve Temel Performans Parametreleri Üzerine Etkisi” başlıklı bu tezi, Yükseköğretim Kurulu Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesindeki hususlara uygun olarak hazırladığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal işlemi kabul ettiğimi beyan ederim. 28/11/2020

Tamer GÜÇLÜ

Uyarı: Bu tezde kullanılan özgün ve/veya başka kaynaklardan sunulan içeriğin kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

TERMoeLEKTRİK SOĞUTUCULARDA NANOAKIŞKAN KULLANIMININ SOĞUTMA GÜCÜ VE TEMEL PERFORMANS PARAMETRELERİ ÜZERİNE ETKİSİ

Tamer GÜÇLÜ

**Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi
Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Erdem CÜCE**

Termoelektrik soğutucular (TEC'ler), sürdürülebilir enerji dönüşümü sağlamasının yanı sıra, titreşimsiz ve gürültüsüz çalışması, hareketli parça içermemesi gibi çeşitli avantajlarından dolayı küresel ölçekte araştırmacılar tarafından ilgi duyulan bir konudur. TEC, iki seramik plaka arasında elektriksel olarak seri ve termal olarak paralel bağlanmış P tipi ve N tipi yarı iletken malzemelerden oluşur. TEC'ler, elektronik soğutmada uzay araştırmalarına kadar, mini buzdolapları, araç içi soğutucular, ilaç dolapları, giyilebilir teknolojiler gibi birçok uygulama alanına sahiptir. Bu çalışmada termoelektrik soğutucularda nanoakışkan kullanımının soğutma gücü ve temel performans parametreleri üzerindeki etkileri araştırılmaktadır. Bu amaçla, tasarlanan sistemde TEC'nin sıcak tarafına su soğutmalı bir blok yerleştirilmiş ve ısınan suyu soğutmak amacıyla sisteme sudan havaya bir ısı eşanjörü eklenmiştir. Sistemde çalışan suya kütlece % 0.1, 0.5 ve 1 oranlarında üç farklı nanopartikül (Al_2O_3 , TiO_2 ve SiO_2) ilave edilerek soğutucu kabinin iç ortamındaki sıcaklık farkları üç farklı dış ortam sıcaklığında (18, 24 ve 30 °C) test edilmektedir. Ayrıca dolabın yüklü durumdaki performansını ölçmek amacıyla dolap içerisine bir litre su bırakılarak testler tekrarlanmıştır. Su ile soğutmaya kıyasla iç ortam sıcaklık farkında en iyi iyileştirme yüksüz durum için %26 olarak 30 °C dış ortam koşullarında kütlece %1 karışım oranında hazırlanan Al_2O_3 -Su nanoakışkanı ile elde edilmiştir. Yüklü durumda ise su ile soğutmaya kıyasla soğutulan ürün sıcaklığında en yüksek sıcaklık farkı 18 °C dış ortam koşullarında %1 karışım oranında hazırlanan Al_2O_3 -Su nanoakışkanı ile %55.1 olarak gözlemlenmiştir.

2020, 70 Sayfa

Anahtar Kelimeler: Termoelektrik Soğutma, Nanoakışkan, Soğutma Gücü, Alan Soğutma

ABSTRACT

THE EFFECT OF THE USE OF NANOFLUID IN THERMOELECTRIC COOLERS ON COOLING POWER AND MAIN PERFORMANCE PARAMETERS

Tamer GÜÇLÜ

**Recep Tayyip Erdogan University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering
Master Thesis
Supervisor: Assist. Prof. Dr. Erdem CÜCE**

Thermoelectric coolers (TECs) are of interest to researchers because of their advantages such as providing sustainable energy conversion, vibration-free and noise-free operation, and no moving parts. TECs consist of P-type and N-type semiconductor materials that are electrically connected in series and thermally parallel between two ceramic plates. TECs have a wide range of applications from electronic cooling to space research, such as mini-refrigerators, in-car coolers, medicine cabinets, wearable technologies. In this study, impact of the use of nanofluids in thermoelectric coolers on cooling power and main performance parameters are investigated. For this purpose, a water cooled block is placed on the hot side of the TEC and a heat exchanger from water to air is added to the system in order to cool the heated water. Three different nanoparticles (Al_2O_3 , TiO_2 ve SiO_2) in 0.1, 0.5 and 1% by mass are added to the water running in the system and the temperature differences in the interior of the refrigerating cabinet are tested. In addition, in order to measure the performance of the cabinet in loaded condition, tests were repeated by placing a litre of water in the cabinet. Compared to cooling with pure water, the best improvement in indoor temperature difference was obtained with Al_2O_3 -Water nanofluid prepared at a mixture ratio of 1% by mass at 30 °C outdoor conditions as 26% for unload condition. In the loaded condition, compared to cooling with pure water, the highest temperature difference in the cooled product temperature was observed as 55.1% with Al_2O_3 -Water nanofluid prepared at a mixture rate of 1% at 18 °C outdoor conditions.

2020, 70 pages

Keywords: Thermoelectric Cooling, Nanofluid, Cooling Power, Space Cooling

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	I
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	II
ÖZET.....	III
ABSTRACT.....	IV
İÇİNDEKİLER	V
ŞEKİLLER DİZİNİ	VII
TABLolar DİZİNİ.....	IX
SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ	X
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş	1
1.2. Literatür Özeti.....	3
1.2.1. Termoelektrik Soğutucular	3
1.2.1.1. Termoelektrik Soğutucuların Çalışma Prensipleri.....	3
1.2.1.2. Termoelektrik Malzemeler	4
1.2.1.3. Termoelektrik Soğutucuların Modellenmesi	5
1.2.1.4. Termoelektrik Soğutucuların Uygulama Alanları	7
1.2.1.5. Termoelektrik Soğutucuların Avantajları ve Dezavantajları	13
1.2.2. Nanoakışkanlar	13
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	18
2.1. Materyal.....	18
2.1.1. Soğutucu Kabin.....	18
2.1.2. Termoelektrik Soğutucu	21
2.1.3. Kanatçıklar.....	21
2.1.4. Isı Değiştiricisi.....	22
2.1.5. Fanlar	22
2.1.6. Güç Kaynağı ve Veri Toplayıcı	22
2.1.7. Sıcaklık Sensörleri	22
2.1.8. Dolaşım Pompası	22
2.1.8. Nanopartiküller	23
2.1.9. Klima	23

2.1.10. Termal Macun.....	23
2.1.11. Termal Kamera	23
2.2. Yöntem.....	24
2.2.1. TEC Düzeneğinin Hazırlanması	24
2.2.2. Nanoakışkanların Hazırlanması	25
2.2.3. Deney Düzeneğinin Hazırlanması	27
2.2.4. Deneysel Prosedür	29
2.2.5. Kabuller	31
2.2.6. Hesaplamalarda Kullanılan Denklemler	31
2.2.7. Belirsizlik Analizi	33
3. BULGULAR.....	36
3.1. Yüksüz Durum Testleri.....	36
3.1.1. 18 °C Dış Ortam Koşulları.....	36
3.1.2. 24 °C Dış Ortam Koşulları.....	40
3.1.3. 30 °C Dış Ortam Koşulları.....	44
3.2. Yüklü Durum Testleri.....	47
3.2.1. 18 °C Dış Ortam Koşulları.....	47
3.2.2. 24 °C Dış Ortam Koşulları.....	49
3.2.3. 30 °C Dış Ortam Koşulları.....	51
4. TARTIŞMA ve SONUÇLAR.....	53
5. ÖNERİLER.....	63
KAYNAKLAR	64
ÖZGEÇMİŞ	70

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.	Bir termoelektrik modülün fiziksel modeli	4
Şekil 2.	Soğutucu kabin üretim aşamaları	19
Şekil 3.	Soğutucu kabin şematik diyagramı	20
Şekil 4.	Sistemde kullanılan TEC'nin teknik çizimi	21
Şekil 5.	TEC sistemi teknik çizimi	25
Şekil 6.	Sistemde kullanılan nanopartiküller	26
Şekil 7.	Sistemde ölçümlerin alındığı noktalar	27
Şekil 8.	Termoelektrik soğutucu deney düzeneği	29
Şekil 9.	Termoelektrik soğutucu sisteminin şematik diyagramı	29
Şekil 10.	Soğutma kabini sıcaklığı için zamana bağlı kararlı durum testleri	36
Şekil 11.	18 °C dış ortam sıcaklığında su ile gerçekleştirilen testlere ait veriler	37
Şekil 12.	18 °C dış ortam sıcaklığında su ile gerçekleştirilen testler için COP eğrisi ..	37
Şekil 13.	18 °C dış ortam sıcaklığında %0.1 SiO ₂ -Su nanoakışkanı ile gerçekleştirilen testler	38
Şekil 14.	18 °C dış ortam sıcaklığında %1 Al ₂ O ₃ -Su nanoakışkanı ile gerçekleştirilen testler	39
Şekil 15.	18 °C dış ortam sıcaklığında %1 Al ₂ O ₃ -Su nanoakışkanı ile gerçekleştirilen testler için COP eğrisi	39
Şekil 16.	24 °C dış ortam sıcaklığında su ile gerçekleştirilen testler	41
Şekil 17.	24 °C dış ortam sıcaklığında su ile gerçekleştirilen testler için COP eğrisi ..	41
Şekil 18.	24 °C dış ortam sıcaklığında %0.1 SiO ₂ -Su nanoakışkanı ile gerçekleştirilen testler	42
Şekil 19.	24 °C dış ortam sıcaklığında %1 Al ₂ O ₃ -Su nanoakışkanı ile gerçekleştirilen testler	42
Şekil 20.	24 °C dış ortam sıcaklığında %1 Al ₂ O ₃ -Su nanoakışkanı ile gerçekleştirilen testler için COP eğrisi	43
Şekil 21.	30 °C dış ortam sıcaklığında su ile gerçekleştirilen testler	44
Şekil 22.	30 °C dış ortam sıcaklığında su ile gerçekleştirilen testler için COP eğrisi ..	45
Şekil 23.	30 °C dış ortam sıcaklığında %0.1 SiO ₂ -Su nanoakışkanı ile gerçekleştirilen testler	45
Şekil 24.	30 °C dış ortam sıcaklığında %1 Al ₂ O ₃ -Su nanoakışkanı ile gerçekleştirilen testler	46
Şekil 25.	30 °C dış ortam sıcaklığında %1 Al ₂ O ₃ -Su nanoakışkanı ile gerçekleştirilen testler için COP eğrisi	47

Şekil 26.	18 °C dış ortam sıcaklığında yüklü durumda su ile gerçekleştirilen testler için COP eğrisi.....	48
Şekil 27.	18 °C dış ortam sıcaklığında yüklü durumda %1 Al ₂ O ₃ -Su nanoakışkanı ile gerçekleştirilen testler için COP eğrisi	49
Şekil 28.	24 °C dış ortam sıcaklığında yüklü durumda su ile gerçekleştirilen testler için COP eğrisi.....	50
Şekil 29.	24 °C dış ortam sıcaklığında yüklü durumda %1 Al ₂ O ₃ -Su nanoakışkanı ile gerçekleştirilen testler için COP eğrisi	51
Şekil 30.	30 °C dış ortam sıcaklığında yüklü durumda su ile gerçekleştirilen testler için COP eğrisi.....	52
Şekil 31.	30 °C dış ortam sıcaklığında yüklü durumda %1 Al ₂ O ₃ -Su nanoakışkanı ile gerçekleştirilen testler için COP eğrisi	52
Şekil 32.	% 0.1 Nanopartikül karışım oranı için farklı ortam sıcaklıklarında soğutucu kabin sıcaklık farklarının karşılaştırılması.....	54
Şekil 33.	% 0.5 Nanopartikül karışım oranı için farklı ortam sıcaklıklarında soğutucu kabin sıcaklık farklarının karşılaştırılması.....	55
Şekil 34.	% 1 Nanopartikül karışım oranı için farklı ortam sıcaklıklarında soğutucu kabin sıcaklık farklarının karşılaştırılması.....	55
Şekil 35.	% 0.1 Nanopartikül karışım oranında yüklü durum için farklı ortam sıcaklıklarında soğutulan ürün sıcaklık farklarının karşılaştırılması.	56
Şekil 36.	%0.5 Nanopartikül karışım oranında yüklü durum için farklı ortam sıcaklıklarında soğutulan ürün sıcaklık farklarının karşılaştırılması.	57
Şekil 37.	%1 Nanopartikül karışım oranında yüklü durum için farklı ortam sıcaklıklarında soğutulan ürün sıcaklık farklarının karşılaştırılması.	58
Şekil 38.	Aynı dış ortam koşullarında yüklü durum ve yüksüz durum karşılaştırılması	59
Şekil 39.	18 °C ortam koşullarında elektrik tüketim hızlarının karşılaştırılması	60
Şekil 40.	24 °C ortam koşullarında yüklü durumda elektrik tüketim hızlarının karşılaştırılması.....	60
Şekil 41.	Soğutucu dolabın çeşitli çalışma koşullarında termal kamera görüntüleri....	61

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1.	Yaygın olarak kullanılan termoelektrik soğutucu ürünleri.....	8
Tablo 2.	Nano partikül ilavesiyle termal iletkenlik değerlerindeki iyileşmeler.....	14
Tablo 3.	Sistemde kullanılan Peltier' e ait teknik bilgiler.....	21
Tablo 4.	Çalışmada kullanılan nanopartiküllerin özellikleri.....	23
Tablo 5.	Sistemde kullanılan ekipmanlar	24
Tablo 6.	18 °C dış ortam sıcaklığında yüksüz durumda yapılan testlerde soğutucu kabin ilk ve son sıcaklıklarına ait veriler	40
Tablo 7.	24 °C dış ortam sıcaklığında yüksüz durumda yapılan testlerde soğutucu kabin ilk ve son sıcaklıklarına ait veriler	43
Tablo 8.	30 °C dış ortam sıcaklığında yüksüz durumda yapılan testlerde soğutucu kabin ilk ve son sıcaklıklarına ait veriler	46
Tablo 9.	18 °C dış ortam sıcaklığında yüklü durumda yapılan testlerde soğutulan ürün ilk ve son sıcaklıklarına ait veriler	48
Tablo 10.	24 °C dış ortam sıcaklığında yüklü durumda yapılan testlerde soğutulan ürün ilk ve son sıcaklıklarına ait veriler	50
Tablo 11.	30 °C dış ortam sıcaklığında yüklü durumda yapılan testlerde soğutulan ürün ilk ve son sıcaklıklarına ait veriler	51

SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ

α_n	N-Tip Termoelementlerin Seebeck Katsayısı
α_p	P-Tip Termoelementlerin Seebeck Katsayısı
£	Pound
°C	Derece
A	Amper
AC	Alternatif Akım
cm	Santimetre
COP	Etkinlik Katsayısı
DC	Doğru Akım
I	Akım
I_{max}	Maksimum Akım
K	Kelvin
k	Termal İletkenlik Değeri
kg	Kilogram
kW	kilowatt
MDF	Orta Yoğunlukta Lif Levha
ml	Mililitre
mm	Milimetre
nm	Nanometre
PCM	Faz Dönüştürücü Malzeme
P_e	Elektriksel Güç
PV	Fotovoltaik
PVC	Poli Vinil Klorid
Q_c	Soğutma Gücü
Q_{cmax}	Maksimum Soğutma Gücü
Q_d	Fourier Isı Etkisi
Q_g	Peltierin Soğuk Tarafından Pompalanan Toplam Isı Miktarı
Q_j	Joule Isı Etkisi
R_e	Elektrodların Elektriksel Direnci
R_t	Termokapılların Elektriksel Direnci

sn	Saniye
T_c	Soğuk Yüzey Sıcaklığı
TEC	Termoelektrik Soğutucu
TEG	Termoelektrik Jeneratör
TEM	Transmisyon Elektron Mikroskobu
TEM	Termoelektrik Modül
T_h	Sıcak Yüzey Sıcaklığı
T_{ilk}	İlk Sıcaklık
T_{son}	Son Sıcaklık
V	Volt
V_{max}	Maksimum Voltaj
W	Watt
XPS	Ekstrüde Polistren Malzeme
ΔT	Sıcaklık Farkı
ΔT_{max}	Maksimum Sıcaklık Farkı

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Termoelektrik cihazlar, sürdürülebilir enerji dönüşümü sağlamasının yanı sıra, titreşimsiz ve gürültüsüz çalışması, hareketli parça içermemesi gibi avantajlarından dolayı küresel ölçekte araştırmacılar tarafından ilgi duyulan bir konudur (Cüce vd., 2020a). Genel olarak termoelektrik cihazlar, termoelektrik jeneratörler (TEG'ler) ve termoelektrik soğutucular (TEC'ler) olarak ikiye ayrılabilir. Bunlardan ilki olan TEG'ler, Seebeck etkisi ile ısıyı elektriğe dönüştürürler. Seebeck etkisi, iki farklı yarıiletken malzemenin birbirine seri olarak bağlanmasıyla oluşturulan devrede yüzeyler arasında sıcaklık farkı meydana getirilerek elektrik elde etme prensibidir (Güçlü vd., 2017a; Güçlü vd., 2017b). TEG'lerin aksine, TEC'ler bir ortamdan Peltier etkisi ile ısı çekilmesi olayıdır. Peltier etkisi, yukarıda belirtilen iki madde arasında bir devre oluşturulup elektrik akımı uygulandığında yüzeyler arasında sıcaklık farkı oluşması olarak ifade edilir (Huang vd., 2013). Bu cihazlar Peltier olarak da adlandırılmaktadır.

Literatürde açıkça belirtilmektedir ki hava, su veya sıvı soğutma gibi geleneksel soğutma uygulamaları teorik limitlerine hali hazırda ulaşmıştır. Bu durumun bir sonucu olarak, TEC'ler her geçen gün farklı sektörlerde alternatif bir soğutma teknolojisi olarak ilgi çekmeye devam etmektedir (Du ve Wen, 2011). TEC'lerin diğer soğutma teknolojilerine kıyasla çok çeşitli avantajları vardır. Örnek olarak, TEC'ler herhangi bir soğutucu gaz veya mekanik işlem içermez ve belirli bir soğutma kapasitesi veya boyutu için tasarlanabilir ve üretilebilirler. Sadelik, yüksek güvenilirlik, sessiz çalışma, kompakt yapı ve hafiflik, TEC'lerin diğer karakteristik özellikleridir. Bu avantajlar, TEC'lerin mikro elektronik sistemler, lazer diyotlar, telekomünikasyon, havacılık endüstrisi, süper iletken sistemler, gıda endüstrisi ve tıbbi cihazlar gibi çeşitli alanlarda yaygın olarak kullanılmasını sağlamaktadır. Diğer yandan yüksek sıcaklık uygulamalarında düşük etkinlik katsayısı (COP) değerleri TEC'lerin en önemli dezavantajı olarak kabul edilebilir (Yu ve Wang, 2009). Bu nedenle araştırmacılar özellikle son on yılda TEC'lerin verimini artırmaya yönelik araştırmalar yürütmektedirler.

Özellikle TEC'nin sıcak tarafının aşırı ısınması, soğuk tarafından elde edilecek soğutma gücünü oldukça etkilemektedir. Geleneksel TEC'lerde bu ısınmayı bertaraf

etmek amacıyla TEC'nin sıcak yüzeyine bir kanatçık ve kanatçığın üzerine küçük fan monte edilir. Bu yöntemle TEC'lerin verim değerlerinde önemli iyileştirmeler elde edilmiş olsa da halen daha geleneksel soğutma teknolojilerine kıyasla oldukça düşük verimlidir. Son yıllar da ise TEC'nin sıcak tarafından bir soğutucu akışkan dolaştırılarak bu yüzeyden daha fazla ısı atılmaya, dolayısıyla da soğuk taraftan daha fazla soğutma gücü elde edilmeye başlanmıştır. Bu sistemlerde su, yağ veya etilen/propilen glikol gibi geleneksel termal akışkanlar yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak bu malzemelerin termal performans değerleri katı malzemelerle rekabet edebilecek kadar iyi değildir ve bu nedenle araştırmacıların yukarıda belirtilen geleneksel sıvıların termofiziksel özelliklerini geliştirmek için yeni yollar aramaları gerekmektedir (Duangthongsuk ve Wongwises, 2010). Örneğin, ana akışkana katı nano parçacıklar eklemek, sıvıların termal özelliklerini iyileştirmenin en etkili yollarından biridir ve bugün birçok araştırmacı nanoakışkan adı verilen bu tekniğe odaklanmaktadır (Gupta vd., 2017). Nanoakışkanlar, su, kerosen, etilen glikol gibi geleneksel soğutucu akışkanlara göre daha yüksek termal iletkenlik değerlerine sahiptirler (Arthur ve Karim, 2016). Bu nedenle soğutucu akışkan olarak saf sıvı yerine nanoakışkan kullanımının sıcak taraftan daha iyi ısı atılmasını ve bu sayede sistemin soğutma gücünün artmasını sağlayacağı düşünülebilir. Ayrıca nanoakışkanların termal iletkenlik değerleri birbirinden farklı olduğundan sisteme uygun nanoakışkan seçimi de son derece önemlidir. Aynı nanoakışkan türü için karışımdaki yüzdesel oran da termal iletkenlik değerlerini etkilediğinden dikkate alınması gereken başka bir parametredir.

Bu çalışmada termoelektrik soğutucularda nanoakışkan kullanımının soğutma gücü ve temel performans parametreleri üzerindeki etkileri araştırılmaktadır. Bu amaçla yeni bir termoelektrik soğutma dolabı tasarlanmış ve üretilmiştir. TEC'nin sıcak tarafından sudan havaya soğutma sistemi kullanılırken soğutma suyuna çeşitli nanopartiküller farklı oranlarda ilave edilerek sıcak taraftan atılan ısı miktarının artırılması ve dolayısı ile soğutma gücünde iyileşmeler elde edilmesi amaçlanmaktadır. Söz konusu durum gerçekleştiğinde bir termoelektrik soğutucu istenilen sıcaklıklara daha erken sürelerde düşecek ve böylece birim zamanda daha az enerji tüketmiş olacağından bu çalışma enerji kaynaklarının verimli kullanılması açısından önem arz etmektedir. Yapılan çalışmada kullanılan nanoakışkanların tercih edilmesinde soğutma uygulamalarında sıklıkla kullanılıyor olmaları, tedarik kolaylığı, termal iletkenlik değerlerinin birbirleriyle karşılaştırılmaya elverişli olması ve literatürde termal özellikleri hakkında kesin bilgiler

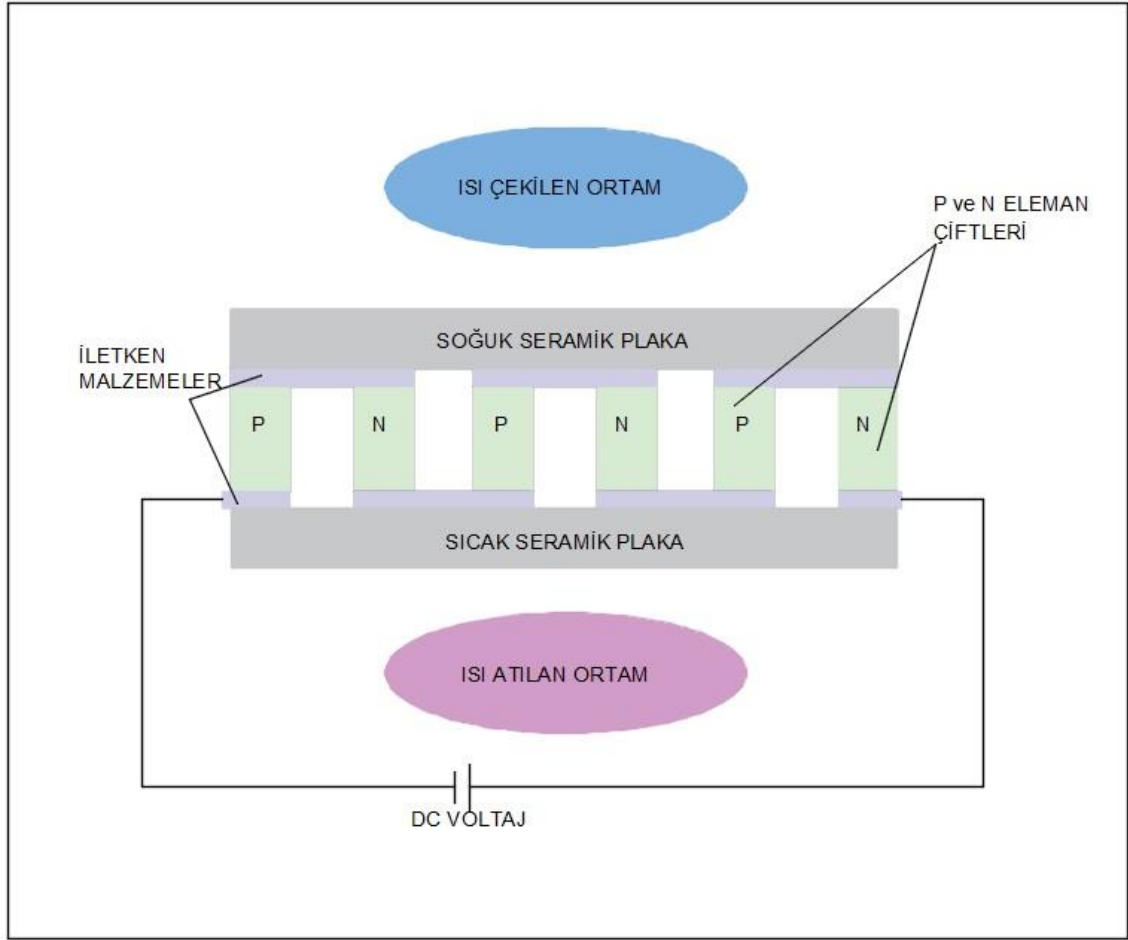
bulunmasının etkili olduğu söylenilebilir. Sistemde farklı nanoakışkanların etkisi, aynı nanoakışkanın farklı karışım oranlarının etkisi ve ek olarak sistemin çalıştığı ortam sıcaklığının etkisi ayrı ayrı incelenmiş ve karşılaştırılmıştır. Sistemde soğutma modülü olarak yalnızca termoelektrik soğutucu kullanılmıştır ve çalışmada özellikle taşınabilir soğutucu ürün modelleri hedef alınmıştır.

1.2. Literatür Özeti

1.2.1. Termoelektrik Soğutucular

1.2.1.1. Termoelektrik Soğutucuların Çalışma Prensibi

Tipik bir termoelektrik soğutucu, Şekil 1'de gösterildiği gibi, N tipi ve P tipi eleman çiftlerinden oluşur ve bunlar, iki seramik plaka arasına termal olarak paralel ve elektriksel olarak seri biçimde bağlanır (Cheng ve Huang, 2012). Bir tarafa akım uygulandığında, N-tipi yarı iletkenindeki elektronlar P-tipi yarı iletkenindeki oyuklara doğru hareketlilik kazanır. Söz konusu hareketler, beklendiği gibi akım yönüyle ilgilidir. Bu akımın bir sonucu olarak, ısı soğuk taraftan sıcak tarafa geçerek soğutma işlemi gerçekleştirilmiş olur (Zhu vd., 2013).



Şekil 1. Bir termoelektrik modülün fiziksel modeli

1.2.1.2. Termoelektrik Malzemeler

Yüksek Seebeck katsayısı, yüksek elektriksel iletkenlik ve düşük termal iletkenlik bir termoelektrik soğutucudan maksimum verim elde edilmesinde oldukça önemli parametrelerdir. Tüm bu parametreleri belirli bir durum için optimum seviyede tutmak zor olduğundan, araştırmacılar çoğu durumda en yüksek verim değerini elde etmek için bu parametreleri optimize etmeye çalışırlar. İyi bir termoelektrik malzemenin aynı zamanda yüksek bir Seebeck katsayısına, yüksek elektrik iletkenliğine ve düşük termal iletkenliğe sahip olması gerektiğinden, uygun termoelektrik malzemenin seçilmesi hayati önem taşır.

1960'lardan 1990'lara kadar, Bi_2Te_3 , PbTe , SiGe ve CoSb_3 (Bi_2Te_3 en yaygın kullanılan tiptir) gibi dökme alaşım malzemeler termoelektrik malzemeler olarak kullanılmıştır. Ancak, söz konusu dönem için ZT değerlerinde belirgin bir gelişme

olmamıştır. Ancak 1990'ların ortalarından sonra nano yapılı malzemeler kullanılmaya başlanmasıyla ZT değerlerinde önemli bir artış gözlenmiştir (Zhao ve Tan, 2014).

Alam ve Ramaskrishna (2013) hazırladıkları derleme makalede yığın termoelektrik malzemelerden nano termoelektrik malzemelere kadar ZT değerlerindeki gelişmeleri sınıflandırmışlardır. Yığın malzemelerin ZT değerlerinin oldukça düşük olduğu, ZT değerleri 0.75-0.86 aralığında olan Bi_2Te_3 ve PbTe nin en çok tercih edilen yığın malzemeler olduğu raporlanmıştır.

Zhao vd. (2009), yaptıkları deneysel çalışmada Bi_2Te_3 un ZT değerini 423 K sıcaklıkta 10 saatten 144 saate kadar tavlama yöntemiyle artırmayı başarmışlardır. Ayrıca tavlama sıcaklığı daha fazla artırıldığında ZT değerlerinin tekrar düşüşe geçtiği gözlenmiştir.

Takashiri vd. (2008), yaptıkları deneysel çalışmada nano kristal Bi_2Te_3 bazlı ince filmlerin tanecik boyutunun termoelektrik özellikler üzerine etkisini araştırmışlardır. 10, 27 ve 60 nm ortalama tane büyüklüklerine sahip numuneler hazırlamış, termal iletkenlik ve ZT değerlerini ölçmüşlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre, tanecik boyutu azaldıkça termal iletkenlik ve ZT değerleri de azalmaktadır.

Yin vd. (2017), oksit termoelektrik malzemeleri incelemişlerdir. Bu malzemelerin düşük maliyet, çevre dostu üretim, yüksek sıcaklıklarda kimyasal yapısını koruma gibi özelliklerine vurgu yapsalar da, ZT değerlerinin geleneksel termoelektrik malzemelere kıyasla daha düşük olduğunu belirtmişlerdir.

1.2.1.3. Termoelektrik Soğutucuların Modellenmesi

TEC'lerin genel olarak çalışma prensipleri ve işlevleri aynı olmasına rağmen, kullanım alanları ve soğutma yükleri arasındaki farklılıklar nedeniyle termoelektrik soğutucu tasarımında optimizasyon oldukça önemlidir (Lee, 2013). Literatürde tek kademeli TEC, çok kademeli TEC, dairesel TEC ve yamuk geometri TEC olmak üzere dört ana TEC modeli vardır.

Tek kademeli TEC'ler adından da anlaşılacağı gibi tek katmandan oluşan TEC'lerdir (Tan vd., 2017). Çok kademeli TEC'ler ise, TEC'nin sıcak yüzeyine diğerinin soğuk yüzeyi gelecek şekilde birden fazla TEC'nin birleştirilmesiyle elde edilir ve literatürde en fazla çalışılan modeldir (Yu vd., 2007; Xuan, 2003). Yamuk geometri ve dairesel modeller ise düşük verimleri nedeniyle uygulamada çok rastlanmayan

modellerdir (Manikandan ve Kaushik, 2015).

Sisteme uygulanan akım şiddeti, sıcak ve soğuk taraflar için ilk sıcaklık değerleri ve dış ortam sıcaklığı gibi çalışma koşullarının aynı olduğu düşünüldüğünde, çok kademeli TEC'ler tek kademelilere göre daha iyi performans gösterirler. Örneğin aynı şartlar altında çalıştırıldığında iki kademeli bir TEC tek kademeli olana göre iki katı performans gösterebilmektedir. Ancak kademe sayısı fazla artırıldığında elektrik yükü de artacağından verim değerleri tekrar düşmektedir (Nami vd., 2017). Dairesel ve yamuk geometri tipi TEC'lerin verimleri ise doğrusal olanlara kıyasla düşüktür (Lin ve Yu, 2016).

Putra vd. (2010), siğil, katarakt veya kanser gibi hastalıklı dokuların tedavisinde veya yerinden çıkarılmasında şiddetli ve kontrollü soğuktan yararlanma uygulamalarında kullanılan kriyoprobaların soğutulmasında 5-kademeli ve 6-kademeli TEC'lerin performansını farklı çalışma koşulları altında araştırmışlardır. Yaptıkları çalışmada en düşük soğuk yüzey sıcaklığını 5-kademeli TEC için 186.4 K, 6-kademeli TEC için 177.09 K olarak ölçmüşlerdir. Soğuk ve sıcak yüzeyler arasında en yüksek sıcaklık farkı ise 5-kademeli TEC için 90.41 K, 6-kademeli TEC için 99.87 K olarak rapor edilmiştir. Yapılan çalışmada ayrıca, kanatçık yerine su soğutmalı bir soğutucu blok kullanımının soğuk yüzey sıcaklığını daha fazla düşürebileceği gösterilmiştir.

Gao vd. (2017), 2-kademeli bir TEC modeli tasarlayarak akım süresi ve büyüklüğünün soğuk yüzey sıcaklığına etkisini araştırmışlardır. Sürekli akım uygulama, soğuk taraftaki ve sıcak taraftaki TEC'lere aralıklı akım gönderme durumlarını karşılaştırmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre, 2-kademeli bir TEC, tek kademeli olana oranla daha düşük soğuk taraf sıcaklığı sağlamaktadır. Ancak akım her iki taraftaki TEC'ye de sürekli gönderilmeyip soğuk taraftakine aralıklı olarak uygulandığında soğuk yüzey sıcaklığının arttığı gözlenmiştir.

Xuan vd. (2002), yaptıkları çalışmada piramit tip iki-kademe TEC ile kübik tip iki-kademeli TEC'yi aynı şartlar altında çalıştırarak kıyaslamışlardır. İki soğutucu modeli içinde optimum soğutma performansları birbirine yakın olarak bulunmuştur. Ayrıca iki durumda da, aynı şartlar altında çalıştırıldığında tek kademeli TEC'lere göre daha iyi performanslar elde edilmiştir.

Wang vd. (2014), iki kademeli bir TEC'yi, birbirine elektriksel olarak sırasıyla seri, paralel ve ayrı ayrı bağlayarak, optimum COP ve maksimum sıcaklık farkı bakımından bir performans analizi yapmışlardır. Bu amaçla üç boyutlu bir model tasarlanmış ve

optimizasyonlarda 30 termoeleman kullanılmıştır. Analizler sonucunda seri bağlı konfigürasyonun en iyi performansı gösterdiği gözlenmiştir. Ayrıca sıcak taraftaki TEC’de iki katı termoeleman kullanıldığında, sıcaklık farkının 70 K’ne kadar artırılabilceği görülmüştür.

Kim vd. (2014), gerçekleştirdikleri analitik çalışmada tek kademeli TEC, kübik-tip ve piramit-tip çok kademeli TEC’leri soğutma gücü bakımından kıyaslamışlardır. Üç sistem içinde sıcak taraf sıcaklığı sabit tutulduğunda, piramit-tip TEC, tek kademeli TEC’ye göre yaklaşık %10.48 daha yüksek soğutma gücü ortaya koymuştur.

Nemati vd. (2017), elektriksel olarak ayrı bağlanmış 2-kademeli bir TEC’nin soğutma performansını ve ekserji verimini akım şiddeti, elektrot sayısı ve elektrot uzunluğu gibi önemli geometrik parametreler üzerinden incelemişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre, birinci ve ikinci kademedeki elektrot sayısı arttıkça sistemin ekserji verimi de artmaktadır. Ayrıca optimum ekserji verimi ve minimum soğutma giderleri elde edilebilmesi için birinci ve ikinci kademedeki elektrot sayılarının birbirine yakın olmaları gerektiği belirtilmiştir.

1.2.1.4. Termoelektrik Soğutucuların Uygulama Alanları

Termoelektrik soğutucuların uygulama alanlarını temel olarak elektronik cihazların soğutulması, ortam soğutma ve buzdolabı uygulamaları olarak üç ana gruba ayırabiliriz (Riffat ve Ma, 2004).

Elektronik cihazların verimli bir şekilde kullanılmasında işlemci, ana kart gibi parçaların çalışma sıcaklıkları oldukça önemlidir. Bu parçaların aşırı ısınması hem verimi düşürdüğü hem de cihazın kullanım ömrünü azalttığı için ilave bir soğutma sistemiyle soğutulmaları gerekmektedir (Twaha vd., 2016). Hava, su ve sıvı soğutma teknolojileri elektronik cihaz soğutma uygulamalarında maksimum sınırlarına ulaştığından ve termoelektrik soğutma teknolojisi ile çok hassas sıcaklık kontrolleri yapmak mümkün olduğundan TEC’ler, elektronik cihaz soğutulması uygulamaları için iyi bir alternatif olarak kabul edilebilir (Chu, 2005).

Buhar sıkıştırırmalı ve absorpsiyonlu gibi geleneksel soğutucular yüksek COP değerlerine sahip olmaları, güvenli ve konforlu bir kullanım sağlamalarına rağmen, hareketli parçalar barındırmaları sebebiyle yüksek maliyetli periyodik bakımlar gerektirirler. Ayrıca gürültülü çalışırlar ve en önemlisi çevreye zararlı soğutucu

akışkanlar kullanırlar (Riffat vd., 2001). Artan çevre sorunları ve çevre bilinciyle, termoelektrik buzdolapları, hareketli parça ve herhangi bir zararlı akışkan içermemesi, sessiz ve titreşimsiz çalışması ve periyodik bakım gerektirmemesi gibi avantajları nedeniyle düşük COP değerlerine rağmen, iyi bir alternatif buzdolabı teknolojisi olarak kabul görmektedir (Min ve Rowe, 2006).

Termoelektrik soğutucular, bina ve ofisler gibi yüksek soğutma yüklerine sahip hacimler için ise geleneksel klima sistemlerine göre oldukça düşüktür. Bu durumun bir sonucu olarak, TEC'lerin kullanım alanı ortam soğutmadan ziyade, elektronik cihaz soğutma ve buzdolabı uygulamaları olarak göze çarpmaktadır (Shen vd., 2013).

Yaygın olarak kullanılan termoelektrik soğutucu ürünleri Riffat ve Ma (2003) tarafından Tablo 1'deki gibi özetlenmiştir.

Tablo 1. Yaygın olarak kullanılan termoelektrik soğutucu ürünleri (Riffat ve Ma, 2003)

Askeri/Havacılık	Elektronik cihaz soğutma, kişisel ekipman soğutma, taşınabilir buzdolapları, kızılötesi sensör soğutma, lazer diyotları soğutma
Tüketici Ürünleri	Araç içi buzdolapları, mobil ev buzdolapları, araç torpido soğutma, taşınabilir piknik soğutucuları, şarap/bira/fıçı soğutucuları, motosiklet kask soğutucuları, insülin soğutucuları
Laboratuvar ve Bilimsel Ekipman	Lazer diyot soğutucuları, elektrofotroz hücre soğutucuları, şartlandırma odaları, entegre devre soğutucuları, vidicon tüp soğutucuları, soğutma banyoları, tüp muhafaza soğutucuları
Endüstriyel Sıcaklık Kontrolü	NEMA muhafaza ürünleri, bilgisayarlarda ve robotikte mikroişlemci sıcaklık kontrolü, yazıcılarda ve fotokopi makinelerinde mürekkep sıcaklığı kontrolü
Diğer Çeşitli Alanlar İçin Ürünler	Oteller için mini buzdolapları, otomobil koltuk soğutucuları, uçak içme suyu soğutucuları, organ taşıma kutusu soğutucuları, taşınabilir ilaç soğutucuları, sıcak/soğuk terapi pedleri soğutucuları, medikal cihaz soğutucuları

Chein ve Huang (2004), elektronik cihazların soğutulması uygulamalarında TEC'lerin performansını belirlemek amacıyla bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. TEC'lerin verimliliğini ölçmede en önemli parametrelerin soğuk taraf sıcaklığı ve yüzeyler arasındaki sıcaklık farkı olduğu kabul edilerek bu iki değer üzerinden nümerik bir analiz yapılmış, soğuk taraf sıcaklığı ve sisteme uygulanan akım şiddeti değiştirilerek elde edilen sıcaklık farkları için soğutma gücü ve COP değerleri hesaplanmıştır. Nümerik analiz sonuçlarına göre, soğutma gücü ve COP soğuk yüzey sıcaklığının artmasıyla ve sıcaklık farkının azalmasıyla artar.

Chang vd. (2009), yürüttükleri deneysel çalışma ile hava soğutmalı bir TEC'nin elektronik cihazların soğutulması uygulamalarındaki performanslarını, ısı yükü ve akım yoğunluğu bakımından incelemişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre, 20 ila 100 W arasında enerji uygulanırken, 6-7 A akım şiddetiyle çalışan TEC'ler ideal soğutma performansı göstermektedir. Ayrıca, literatürdeki verilere göre sıvı-soğutmalı sistemler ile entegre bir TEC, geleneksel sistemlere kıyasla %40'lık daha yüksek COP değerlerine sahiptir. Sistemin kullandığı enerji miktarında küçük bir artışa neden olsa da, soğutma performansı açısından önemli bir katkı sağladığından sıvı-soğutmalı sistemlerle beraber kullanılması daha avantajlıdır.

Gould vd. (2011), çeşitli çalışma koşulları altında TEC'lerin mikroişlemci sıcaklıkları üzerindeki etkisini deneysel bir çalışma ile araştırmışlardır. Standart bir masaüstü bilgisayarda bir dizi farklı uygulamalar çalıştırılırken sisteme önce kanatçık ve fan içeren standart bir TEC, daha sonra su soğutmalı bir TEC sistemi eklenerek işlemci sıcaklığındaki değişimler raporlanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, su-soğutmalı TEC'ler, diğerlerine göre oldukça yüksek performans göstermiştir. Ayrıca TEC'ler, özellikle istenen sıcaklık aralığında çok hassas bir sıcaklık kontrolü ve süreklilik sağladığından işlemci gibi elektronik cihazların soğutulması uygulamalarında su, hava veya sıvı ile soğutma gibi geleneksel yöntemlere alternatif olabilecek verim değerlerine sahiptir. Çalışmada ayrıca sisteme entegre devrelerin oluşturduğu atık ısıdan bir TEG yardımıyla mili-watt veya mikro-watt aralığında bir elektrik enerjisi temini de sağlanmıştır. Elde edilen bu enerji küçük olmasına rağmen, gelecekte kullanılmak üzere kapasitörlerde veya süper kapasitörlerde saklanabilir, pilleri şarj edebilir veya bilgisayar sistemindeki diğer elektronik cihazlara güç sağlayabilir.

Jugsujinda vd. (2011), yürüttükleri deneysel çalışma ile termoelektrik

buzdolaplarının performanslarını incelemişlerdir. Bu amaçla, 21 litrelik bir soğutma kabini tasarlanıp üretilmiştir. Sistemde 40 W gücünde TEC kullanılırken iki yüzeyde de ısı dağıtımını artırmaya yönelik herhangi bir fan kullanılmıştır. 1 saatlik test periyodu sonunda soğuk yüzey sıcaklığı 30 °C den -4.2 °C ye kadar düşerken sıcak yüzey sıcaklığının 50 °C ye kadar çıktığı gözlemlenmiştir. Soğutucu kabin sıcaklığında ise 1 saatlik test periyodu sonunda 30 °C den 20 °C ye kadar bir düşüş gözlemlenmiş ve test süresi artırıldığında kabin sıcaklığının aynı hızla soğumaya devam etmediği görülmüştür. Ayrıca TEC için COP değeri 3, soğutucu kabin için ise COP değeri 0.65 olarak rapor edilmiştir.

Palaniappan ve Palanisamy (2013), ANSYS programında sonlu elemanlar yöntemiyle bir termoelektrik buzdolabının performansını analiz etmişlerdir. Analizlerde performanslarını karşılaştırmak amacıyla Bi-Te ve Pb-Te termoelektrik modülleri kullanılmıştır. Yapılan analizler sonucunda, aynı çalışma şartları altında Bi-Te kullanılan sistemin COP değeri Pb-TE kullanılan sisteme göre %13.4, ısı absorbe etme kapasitesi ise %28.42 daha yüksek olarak bulunmuştur. Sıcak ve soğuk yüzey sıcaklık farkı arttıkça, sisteme uygulanacak optimum akım ve voltaj değerlerinin de lineer olarak arttığı gözlemlenmiştir. Normal koşullar altında Bi-Te termoelektrik modülü belirgin bir şekilde daha iyi bir performans göstermesine rağmen, 400-600 K gibi çok yüksek sıcaklıklarda ZT değeri daha düşüktür.

Hermes ve Barbosa (2012), stirling, buhar sıkıştırma ve termoelektrik soğutma teknolojileri ile çalışan dört farklı küçük hacimli taşınabilir buzdolabının termodinamik performanslarını karşılaştırmak amacıyla deneysel bir çalışma yapmışlardır. Testler, nem ve sıcaklık kontrolü yapılan bir şartlandırma odasında gerçekleştirilmiştir. Enerji tüketimi, soğutma kapasitesi, iç ortam sıcaklığı, sıcak ve soğuk yüzey sıcaklıkları gibi temel parametreleri doğru olarak değerlendirmek amacıyla 21 °C ve 32 °C olmak üzere iki farklı ortam sıcaklığında ölçümler tekrarlanmıştır. Deneysel çalışma sonucunda termoelektrik soğutma sisteminin COP değeri beklenildiği gibi diğer sistemlerden düşük olarak bulunmuştur ancak özellikle küçük ölçekli taşınabilir buzdolapları için kompresör, genişleme valfi, çevreye zararlı soğutucu akışkan içermemesi ve düşük enerji tüketimi, hızlı tepki süresi ve hafiflik gibi avantajlarından dolayı tercih edilebilir olarak görülmüştür.

Irshad vd. (2015), bir termoelektrik hava kanalı sistemi tasarlayarak ürettikleri test evinde termoelektrik soğutucuların ortam soğutma uygulamalarında termal konfor ve

ekonomik performanslarını deneysel olarak incelemişlerdir. Sistem 2 amperden 7 ampere kadar 6 farklı akım değeriyle çalıştırılarak ölçümler alınmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, sisteme uygulanan akım şiddeti arttıkça iç ortam sıcaklığı azalmaya devam etmektedir. Test evinde bulunan deneklerin %80'i 6 amper giriş akım beslemesindeki test sonuçlarını hem nem oranı hem sıcaklık açısından uygun bulmuşlardır. Akımın daha fazla artırılmasının soğutma performansını olumsuz yönde etkilediği görülmüştür. Ayrıca böyle bir sistemin geri ödeme süresi de 6.4 yıl olarak hesaplanmıştır.

Shen vd. (2013), termoelektrik modülleri geleneksel hidronik paneller yerine radyant paneller olarak kullanan yeni bir termoelektrik radyant klima (TE-RAC) sistemi tasarlamışlardır. Bu yeni radyant sistem, Freon ve karmaşık su dağıtım boruları içermeme, rahat kurulum, sessiz ve güvenilir çalışma gibi birçok avantaja sahiptir. Giriş akımının yönü çevrilerek soğutma ve ısıtma modları arasında kolayca geçiş yapılabilir. Bütün bu avantajlarına rağmen, sistemin COP değeri geleneksel radyant klima ve klima sistemlerine göre daha düşük olarak bulunmuştur. Bu sonuç termoelektrik malzemenin ZT değerine bağlanmıştır ve ilerde daha yüksek ZT değerlerine sahip termoelektrik malzemelerin kullanılmaya başlanmasıyla geleneksel klima sistemleriyle rekabet edebilecek COP değerlerine ulaşılacağı rapor edilmiştir.

Gilott vd. (2009), binalardaki özellikle küçük ölçekli mekânların iklimlendirme uygulamaları için bir termoelektrik klima sistemi tasarlamışlardır. Optimum çalışma koşullarına ulaşmak için öncelikle teorik bir çalışma yürütülmüş daha sonra çalışma laboratuvar test ortamına taşınmıştır. Yapılan deneysel çalışmada, 8 adet modül için, her bir modülün 4.8 amper giriş akımı altında 0.46 COP ile 220 W'a kadar soğutma gücü ürettiği gözlenmiştir. Sistem bir fotovoltaiik (PV) panele bağlanarak da çalıştırılarak termoeconomik analizler gerçekleştirilmiştir. PV maliyetleri Watt başına 1.25 £ 'ya kadar veya daha düşük olduğunda PV paneli olmayan eşdeğer bir sistemle rekabet edebileceği gözlenmiştir.

Tan ve Zhao (2015), TEC'lerin ortam soğutma performanslarını değerlendirmek amacıyla faz dönüştürücü malzeme (PCM) ile entegre bir termoelektrik soğutma sistemi tasarlamışlardır. PCM aracılığıyla gece depolanan soğuk termal enerji gündüz saatlerinde TEC'nin sıcak yüzey sıcaklığını azaltmak amacıyla kullanılır ve böylece sistemin termal verimliliği artar. Test verilerine göre, PCM entegrasyonu ile sistemin COP değerinin %56 artırılacağı gözlenmiştir. Ayrıca sistemde kullanılan PCM türünün sistemin çalıştırılacağı ortamın hava koşullarına göre doğru seçimi de PCM'den maksimum

performans alma açısından önem arz etmektedir.

Han vd. (2014), bir termoelektrik vantilatör sistemi tasarlamışlardır. İlk olarak sistem için bir matematiksel model geliştirilmiş, daha sonra kurulan sistemle Çin'in Changsha şehrinde yaz ve kış aylarında farklı hava koşullarında sistemin performansını test etmek için bir dizi deney yürütülmüştür. Deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, maksimum COP, yaz modunda 4.78 ve kış modunda 4.16 olarak hesaplanmıştır. Termoelektrik vantilatörün temiz hava kullanımı ve egzoz havasından ısı geri kazanımı için yeterli enerji sağlayabildiği bulunmuştur. Termoelektrik vantilatörün ılıman hava koşulları için yeterli olduğu sonucuna varılmıştır. Ekserji analizine göre, en büyük ekserji tahribatı termoelektrik modüllerin (TEM) içindeki enerji transferi sürecinde meydana gelir.

Literatürde TEC'nin sıcak tarafından daha fazla ısı uzaklaştırmak ve böylece soğuk taraf sıcaklığının daha fazla düşmesini sağlamak amacıyla bu yüzeyde sıvı soğutmalı soğutucu blokların kullanıldığı çalışmalar da mevcuttur:

Dizaji vd. (2016), farklı iklim koşulları için yeni bir hava-su bazlı TEC sistemi (alternatif bir hava soğutma ünitesi olarak) yoluyla hava akışının soğutma fizibilitesini belirlemek için deneysel bir çalışma yürütmüşlerdir. Diğer sistemlerden farklı olarak, TEC'nin sıcak yüzey sıcaklığını düşük hızda bir su akış oranıyla kontrol ederek soğuk yüzey sıcaklığını önemli ölçüde düşürmeyi hedeflemişlerdir. Bulgular, termoelektrik sistemin soğuk tarafının, özellikle termoelektrik sıcak yüzeyinin su gibi bir akışkan ile soğutulması durumunda, uygulanabilir bir hava soğutma sistemi olarak hareket edebileceğini göstermiştir.

Hu vd. (2016), işlemcilerin soğutulması uygulamaları için su soğutmalı bir TEC sistemi tasarlamışlardır. İşlemci üzerindeki ısı birikimini engellemek ve enerji tasarrufu sağlamak amacıyla farklı çalışma koşulları altında hava hızını ve suyun kütleli debisini kontrol ederek TEC'nin performansı araştırılmıştır. Sıcaklık kontrolü olan ve olmayan TEC ve pasif su soğutması dâhil olmak üzere üç soğutma yönteminin dinamik performans karşılaştırmaları, farklı ortamlarda değişken çalışma koşulları altında incelenmiştir. Deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, optimum hava akış hızı 0.8 m/s, optimum su kütleli akış oranı 0.042 kg/s olarak bulunmuştur. Ayrıca sistemin maksimum COP değeri 0.65 olarak hesaplanmıştır.

Riffat ve Qiu (2005), sıcak tarafında su soğutmalı soğutucu blok entegre edilmiş bir Termoelektrik klima sistemi tasarlamışlardır. Yürüttükleri çalışma ile toplam ısı transfer

oranını ve toplam ısı direnci değerlerini araştırmış ve hava soğutmalı kanatçıklar ile karşılaştırmışlardır. Ayrıca optimum kanat açıklığı mesafesi, optimum kanat uzunluğu ve optimum sıvı akış hızı incelenmiştir. Simülasyon çalışmasından elde edilen sonuçlara göre, aynı çalışma koşulları altında toplam ısı aktarım hızı ve COP değeri, hava soğutmalı kanatçıklara kıyasla sırasıyla yaklaşık 20 ve 2 kat artırılabilir. Böyle bir sistem, yaz aylarında soğutma ve kış aylarında ısıtma amacıyla olmak üzere tüm yıl boyunca basitçe kurulabilir ve uygulanabilir.

1.2.1.5. Termoelektrik Soğutucuların Avantajları ve Dezavantajları

Termoelektrik soğutucuların başlıca avantajları şu şekilde sıralanabilir:

- Küçük hacimlerin soğutulması uygulamalarında idealdir
- Sessiz ve titreşimsiz çalışır
- Herhangi bir soğutucu akışkan içermediğinden çevre dostudur
- Sıcaklık kontrolünün önemli olduğu uygulamalar için idealdir, çok hassas sıcaklık kontrolü yapılabilir
- Hareketli herhangi bir parçası olmadığı için çok az bakım gerektirir
- Uzun ömürlüdür
- Dikey, yatay, yerçekimsiz her türlü ortamda çalışabilirler

Termoelektrik soğutucuların en önemli dezavantajları ise aşağıdaki gibidir:

- Soğutma performans katsayıları düşüktür
- Yüksek soğutma yükleri için uygun değildirler
- Yüksek maliyetlidirler

1.2.2. Nanoakışkanlar

Nanoakışkan, su, yağ veya etilen/propilen glikol gibi bir ana akışkan içerisinde nano boyutta katı parçacıkların süspansiyonlarına denir (Cüce vd., 2020b). Geleneksel soğutucu akışkanlara göre çok daha yüksek termal iletkenlik sağlarlar ve akış sırasında çok düşük bir basınç kaybına neden olurlar. Ayrıca doğru yöntemlerle elde edilmiş bir nanoakışkan, akış kanallarına da herhangi bir engel teşkil etmediğinden, özellikle son yıllarda araştırmacılar için ilgi çeken bir konudur (Esfe vd., 2015). Üstün kimyasal,

fiziksel ve mekanik özellikleri sayesinde, sağlık sektöründen uzay araştırmalarına kadar, güneş kremleri, kozmetik ürünleri, boyalar, ekranlar, piller, katalizörler, sensörler, soğutma teknolojileri, tarım, plastik ambalajlama, dayanıklı tekstil ürünleri, deterjanlar gibi birçok kullanım alanına sahiptirler (Angayarkanni ve Philip, 2015).

Bazı ana akışkanlara nano partikül ilave edilmesiyle termal iletkenlik değerlerinde elde edilen iyileştirmeler Toghraie (2016) tarafından Tablo 2’deki gibi özetlenmiştir.

Tablo 2. Nano partikül ilavesiyle termal iletkenlik değerlerindeki iyileşmeler (Toghraie vd., 2016)

Ana Akışkan	İlave Edilen Partikül	Maksimum İyileşme (%)
Su	Al ₂ O ₃	24
Su	TiO ₂	8
Etilen Glikol	Ag	18
Su	Fe ₃ O ₄	48
Su	CuO	37
Su	ZnO	21
Su	MgO	22
Etilen Glikol	ZnO	13

Nanoakışkanlar, termoelektrik soğutucuların verimini artırmak amacıyla da kullanılmaktadır:

Finn vd. (2011), farklı soğutma teknolojilerini karşılaştırmak için matematiksel ve sayısal bir simülasyon modeli oluşturmuşlardır. Elektronik cihazların soğutulması uygulamaları için nanoakışkan ile geliştirilmiş soğutma sıvısına sahip bir termoelektrik soğutucu modeli tasarlanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, TEC’nin sıcak tarafından nanoakışkan ile ısı alma prensibine dayanan bu sistem ile işlemci sıcaklıklarında geleneksel soğutma sistemlerine kıyasla 15.1 °C daha fazla soğuma elde edilebilir. Nanoakışkan entegreli TEC soğutma sisteminin kullanılması güç tüketimini neredeyse 10 katından fazla artırmasına rağmen, bu artış hem işlemci çalışma sıcaklığı hem de kullanılabilirlikte sağladığı önemli iyileşmeler nedeniyle tercih edilebilir bir teknoloji olarak göze çarpmaktadır.

Putra vd. (2011), işlemci soğutma uygulamalarında termoelektrik sisteme entegre ısı borulu bir soğutucu blok ile soğutucu akışkan olarak nanoakışkan kullanımının hacim

konsantrasyonu ve soğutucu sıcaklığı açısından etkilerini analiz etmişlerdir. Farklı hacim konsantrasyonlarında iş akışkanı olarak Al_2O_3 ve TiO_2 nanoakışkanlarını kullanmış ve sonuçları doğrudan hava soğutma sistemleri gibi diğer soğutma teknikleriyle karşılaştırmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre, nanoakışkanların iş akışkanı olarak kullanılmasının daha yüksek termal performans ve daha düşük işlemci sıcaklığı sağladığı gözlenmiştir. İşlemci sıcaklığındaki en büyük düşüş %1 hacim konsantrasyonunda Al_2O_3 -Su nanoakışkanı için 6 °C olarak elde edilmiştir.

Ahammed vd. (2016), elektronik cihazların soğutma uygulamaları için çok kanallı bir mini kanal ısı değiştiricisinde nanoakışkan ile entegre termoelektrik soğutma sistemlerinin termal performansını araştırmak için deneysel bir çalışma yürütmüşlerdir. TEC'nin sıcak tarafından ısıyı uzaklaştırmak için iş akışkanı olarak %0.1 ve %0.2 hacim konsantrasyonlarında Al_2O_3 -Su nanoakışkanı kullanılmıştır. Deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, %0.2 Al_2O_3 -Su nanoakışkanı kullanılarak sistemin COP değerinde %40 lık bir iyileşme sağlamak mümkündür. Sıcak ve soğuk yüzeyler arasındaki sıcaklık farkının aynı hacim konsantrasyonu ile yaklaşık %9.5 oranında azaltılabildiği ve bu azalmanın soğutma kapasitesinde önemli bir artış sağladığı gözlenmiştir. Soğutma sisteminin termal etkinliği, hacim konsantrasyonundaki nanopartikül oran artışıyla artar, bu da nanoakışkanların elektronik soğutma uygulamaları için umut verici bir soğutma teknolojisi olarak görülmesini sağlar.

Mohammadian ve Zhang (2014), termoelektrik soğutma uygulamalarında Al_2O_3 -Su nanoakışkanının COP değerleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Bu amaçla, TEC'nin her iki yüzeyine yerleştirilmiş iki mikro-kanal ısı değiştirici ile bir termoelektrik soğutma sistemi hazırlanmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, sıcak tarafta akışkana düşük hacimli nanopartikül eklenmesi, düşük Reynolds sayılarında termoelektrik modülün COP değerinde önemli bir artışa neden olur ve toplam entropi üretimini azaltır. Yüksek Reynolds sayılarında ise soğuk tarafta nanoakışkan kullanımı COP değerini artırır ve toplam entropi üretimini düşürür. Ayrıca nanopartikül boyutunun düşük Reynolds sayılarında bir etkisinin olmadığı, yüksek Reynolds sayılarında ise partikül boyutu arttıkça COP değerinin ve toplam entropi üretiminin azaldığı gözlenmiştir. Bununla birlikte sıcak taraftaki ısı değiştiricisinde tam tersi bir eğilim elde edilmiştir.

Nanoakışkanlar, termoelektrik soğutucular haricinde de yaygın olarak soğutma uygulamalarında kullanılırlar:

Khosravi vd. (2019), yürüttükleri deneysel çalışma ile bir hibrid grafen-platin nanoakışkanının konveksiyonla ısı transferini ve entropi oluşumunu araştırmışlardır. Çalışma sonucunda bir laminar akış rejimi için, konveksiyon ısı transfer katsayısının Reynolds sayısı ve partikül boyutunun artmasıyla arttığını gözlemlediler. Ayrıca, ısı yükünün artmasıyla, ısı transferinden dolayı entropi üretimi artarken, sürtünmeden kaynaklanan entropi üretimi azalmaktadır. Reynolds sayısının entropi üretim hızları üzerindeki etkisi parçacık fraksiyonunun etkisinden daha belirgindir.

Sardarabadi vd. (2019), kare şeklinde bir buharlaştırıcı ve bir kondenser içinde iki tüp kanalı içeren yeni bir termosifon tipinde nanotüp-su nanoakışkanlarının termal performansı ile ilgili bir araştırma yürütmüşlerdir. Çalışmada, potasyum persülfat ve sodyum persülfat kullanılarak, çok duvarlı karbon nanotüplerin termal performansı araştırılmıştır. Sonuçlara göre, termosifonda sodyum ile nanoakışkanların kullanımı daha iyi termal performans göstermektedir. Nanoakışkanların daha düşük termal direnç ve daha yüksek termal verime sahip olduğu kolayca anlaşılmaktadır. Deneysel sonuçlar ayrıca, termosifonun nano-sıvı kullanarak suya (70 W'a kadar) kıyasla daha yüksek giriş güçlerinde (90 W'a kadar) performans gösterebileceğini ortaya koymuştur.

Bahiraei vd. (2018), iki mikro akışkan bloğunda biyolojik yöntemle işlevselleştirilen grafen nanoakışkanının hidrotermal etkilerini araştırmışlardır. Çalışma, grafen konsantrasyonu ve akış hızındaki artışla birlikte soğutma gücünün arttığını ve ısıtma yüzeylerinin sıcaklığının azaldığını göstermektedir. Ayrıca, sıcaklık dağılımının homojenliği, konsantrasyon ve akış hızının artmasıyla artar. Nanoakışkanın maksimum konsantrasyonda kullanılması, pompalama gücü ve yüzey sıcaklığı önceliklerinin sırasıyla çok yüksek ve çok düşük olduğu durumlar hariç diğer tüm koşullar için önerilmektedir.

Izadkhah ve Heris (2019), ana akışkan ile Al_2O_3 nanoparçacıklarının farklı yüzdelere içeren çözeltilerin stabilite ve viskozitelerini moleküler dinamik simülasyon yöntemleri kullanarak araştırmışlardır. Nanoakışkanın temel sıvısı, su ve etilen glikol karışımının farklı yüzdelere oluşur. Ana akışkandaki yüksek su yüzdesine bağlı olarak, Al_2O_3 'ün stabilitesinin oldukça iyi olduğu bildirilmektedir. Bu yöntem kullanılarak nanoakışkan viskoziteleri konsantrasyon, sıcaklık ve ana akışkan yüzdesi gibi tüm koşullarda öngörülebilir. Elde edilen sonuçlar nanoakışkanların yapısal ve taşıma özelliklerinin sadece etilen glikol-su ana akışkanı ile hazırlanan nanoakışkanlarda değil, aynı zamanda diğer nanoakışkan tiplerinde de etkili bir termal iletkenlik referansı

sağlayabilir.

Samadzadeh vd. (2020), su bazlı nanoakışkanların doğal taşınım ile ısı transferleri üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla deneysel bir çalışma yürütmüşlerdir. Çalışmada, kapatma sistemlerinin en-boy oranı, üç farklı eğim ve çok duvarlı karbon nanotüplerin arap zankı içeren nano partikül konsantrasyonları gibi bazı önemli parametreler incelenmiştir. Deney sonuçlarından elde edilen bulgulara göre, suya eklenen nanoparçacıklar Nusselt sayısını azaltır. Ayrıca 0'dan 90'a yükselen eğim açısının nanoakışkanın doğal konveksiyon katsayısını azalttığı da gözlenmiştir.



2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, termoelektrik soğutucularda nanoakışkan kullanımının soğutma gücü ve temel performans parametreleri üzerindeki etkilerinin araştırılması amacıyla yeni bir termoelektrik soğutma kabini tasarlanmış, üretilmiş ve deneysel olarak analizleri gerçekleştirilmiştir.

Deneyler 20/11/2019-5/12/2019 tarihleri arasında, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Sıfır/Düşük Karbon Enerji Teknolojileri Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Söz konusu dönemde Rize’de hava koşulları iklim normallerinde 8-15 °C aralığında seyretmiştir. Laboratuvar koşulları ise klima yardımı ile deneylerin yürütüleceği sıcaklıklara ayarlanmıştır.

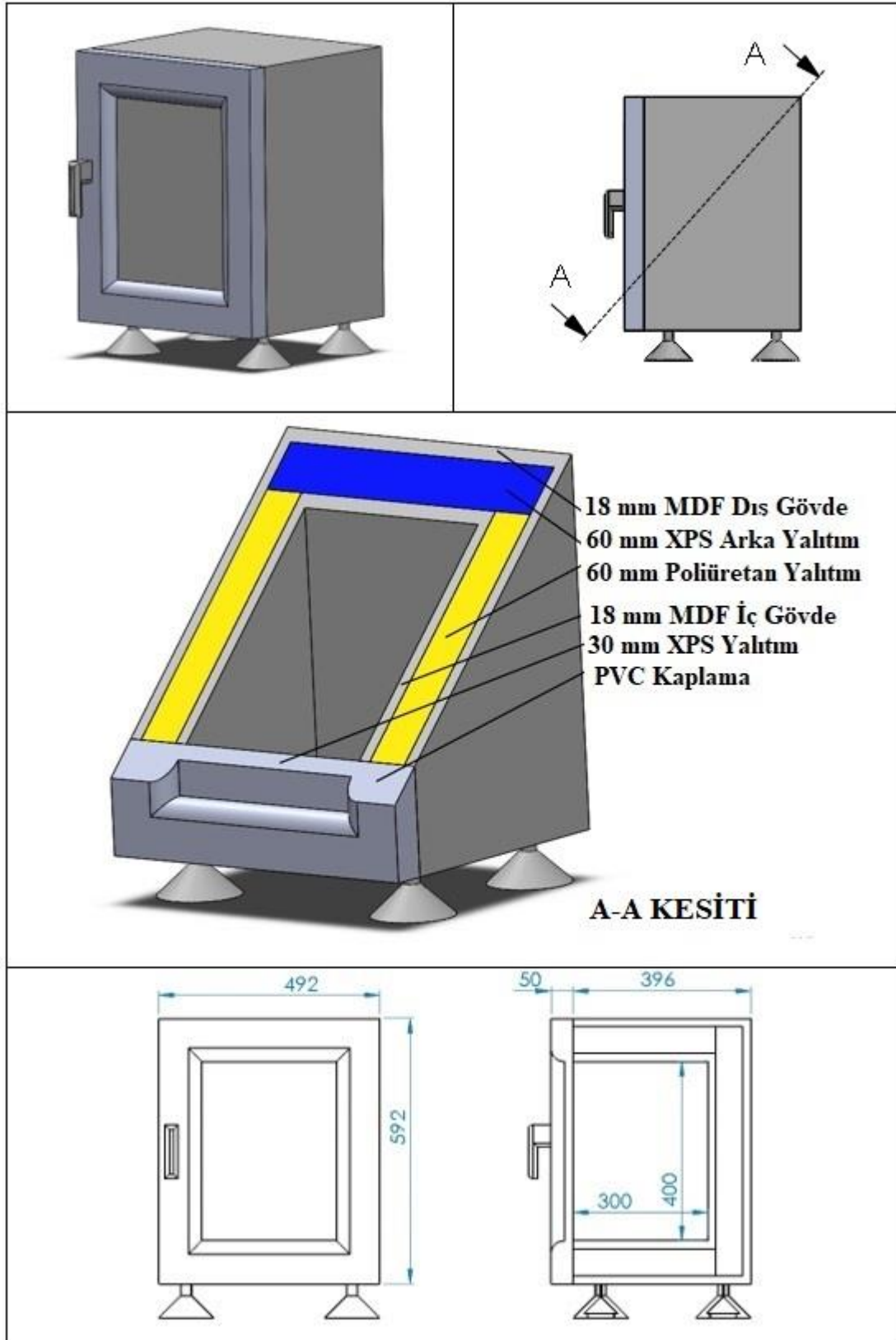
2.1. Materyal

2.1.1. Soğutucu Kabin

İlk olarak, 1.8 cm kalınlığında MDF malzeme kullanılarak 30 cm derinlik, 30 cm genişlik ve 40 cm yükseklikteki iç ölçülerine sahip bir dolap ve iç ölçüleri bu dolaptan her yönde altışar cm daha büyük olacak şekilde ikinci bir dolap üretilmiştir. MDF malzemelerin birleştirilmesinde yalıtkan tutkal kullanılmıştır. Büyük olan dolabın arka tarafı içerden 60 mm XPS ısı yalıtım malzemesi ile kaplandıktan sonra küçük dolap büyük dolabın içine kenarlara eşit uzaklıkta olacak şekilde yerleştirilmiştir. Daha sonra dolapların arasında dört tarafta oluşan 60 mm’lik boşluklar poliüretan köpük ısı yalıtım malzemesi ile boşluk kalmayacak şekilde doldurulmuştur. Ön cephede ise PVC malzemeden çerçeve kullanılmıştır. Bu yüzeyden oluşabilecek ısı geçişini en aza indirebilmek amacıyla cam yerine 30 mm XPS ısı yalıtım malzemesi kullanılarak sonuçta her tarafından yalıtılmış, 36 litre iç hacme sahip bir soğutucu kabin üretilmiştir. Ön kapak ile diğer yüzeylerdeki yalıtım kalınlığını eşitlemek ve kullanılan ısı yalıtım malzemelerine kıyasla oldukça yüksek ısıl iletkenlik değerlerine sahip PVC kısımdan oluşabilecek ısı köprülerini engellemek amacıyla ön kapak iç yüzeyden 30 mm XPS ısı yalıtım malzemesiyle kaplanmıştır. Soğutucu kabinin üretim aşamaları ve şematik açıklaması sırasıyla Şekil 2 ve Şekil 3’te gösterilmiştir.



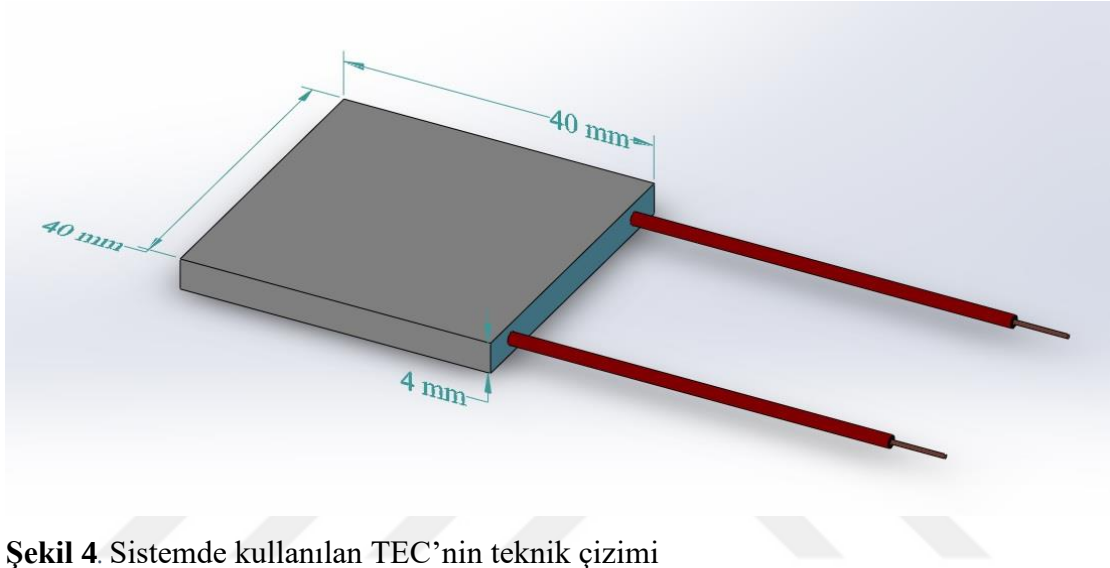
Şekil 2. Soğutucu kabin üretim aşamaları



Şekil 3. Soğutucu kabin şematik diyagramı

2.1.2. Termoelektrik Soğutucu

Sistemde 15 volt 10 amper gücünde, TEC1-12715 model tek kademeli bir TEC kullanılmıştır. 40 mm genişlik, 40 mm derinlik ve 4 mm yükseklik ölçülerine sahip TEC 127 adet eleman çiftinden oluşmaktadır. Sistemde kullanılan TEC'nin teknik çizimi şekil 4'te, TEC'ye ait teknik bilgiler Tablo 3'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Sistemde kullanılan TEC'nin teknik çizimi

Tablo 3. Sistemde kullanılan Peltier' e ait teknik bilgiler. (URL-1, 2020)

T_h (°C)	27	50
Maksimum Sıcaklık Farkı	70	79
Maksimum Voltaj	16	17,2
Maksimum Akım (Amper)	15	15
Maksimum Soğutma Gücü (Watt)	150,2	164,2
Direnç (Ohm)	0,80	0,88
Tolerans (%)	±10	±10

2.1.3. Kanatçıklar

Sistemde 810 ve 770 cm² yüzey alanlarına sahip iki adet alüminyum kanatçık kullanılmıştır. Ayrıca 40 mm boyutlarında küp şeklinde bir alüminyum külçe ve 40 mm genişlik, 80 mm uzunluk, 4mm kalınlığında su soğutmalı alüminyum blok kullanılmıştır.

2.1.4. Isı Değiştiricisi

Sistemde 25×22 mm çapraz geometrili ısı transfer katsayısını arttıran kanatçıklardan ve 5/16 in bakır borulardan üretilmiş, 1.4 m² yüzey alanına sahip hava soğutmalı ısı değiştiricisi kullanılmıştır.

2.1.5. Fanlar

Peltier sisteminde iki adet 12 volt 1 amper gücünde fan kullanılmıştır. Ayrıca ısı değiştiricisinin arka tarafında 50 W nominal güce sahip bir fan kullanılmıştır. Ancak deney sırasında wattmetre ile bu fanın ne kadar güç tükettiği bir saat boyunca düzenli olarak ölçölmüş ve anlık 32 W güç tükettiği gözlenmiştir.

2.1.6. Güç Kaynağı ve Veri Toplayıcı

Sistemde 0-30 V, 0-20 A aralığında çalışabilen ayarlı DC güç kaynağı kullanılmıştır. Ayrıca 8 kanal, üniversal girişli bir veri toplayıcı ve verilerin kaydedildiği bir bilgisayar kullanılmıştır.

2.1.7. Sıcaklık Sensörleri

Deneyssel analizlerde 8 adet K tipi sıcaklık sensörü gerekli ölçümleri almak amacıyla kullanılmıştır.

2.1.8. Dolaşım Pompası

Sistemde 12 V 0.15 A gücünde 280 litre/saat debiye sahip dalgıç tip fırçasız bir dolaşım pompası kullanılmıştır.

2.1.8. Nanopartiküller

Sistemde alüminyum oksit (Al_2O_3), titanyum dioksit (TiO_2) ve silikon dioksit (SiO_2) nanopartikülleri belirlenen oranlarda kullanılmıştır. Kullanılan nanopartiküller NanoGrafi firmasından hazır olarak satın alınmış ve nanoakışkanlar laboratuvarında üretilmiştir. Sistemde kullanılan nanopartiküllere ait özellikler Tablo 4’te gösterilmiştir.

Tablo 4. Çalışmada kullanılan nanopartiküllerin özellikleri

Partikül Adı	Partikül Boyutu (nm)	Faz	Yüzey Alanı (m^2/g)	Renk	Saflık (%)
Alüminyum Oksit	78	Gama	>20	Beyaz	99,55
Silikon Dioksit	55-75	Amorf	150-550	Beyaz	98,5
Titanyum Dioksit	38	Anataz	55	Beyaz	99,55

2.1.9. Klima

Test odasının sıcaklığını ayarlama da 24000 BTU gücünde bir elektrikli klima kullanılmıştır.

2.1.10. Termal Macun

Peltier sisteminin birleştirilmesinde 3.15 W/m-k termal iletkenlik değerine sahip altın alaşımlı termal macun kullanılmıştır.

2.1.11. Termal Kamera

Üretilen soğutma kabininden ısı kaybının olup olmadığını ölçmek amacıyla Flir marka E5-IX model termal kamera kullanılmıştır. Otomatik sıcak-soğuk nokta belirleme, 160 x 120 Piksel görüntü kalitesi ve $\pm 2\text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklık hassasiyetine sahiptir.

Sistemde kullanılan ekipmanları ve tedarik yerlerini özellikleri ile birlikte Tablo 5’

teki gibi özetleyebiliriz:

Tablo 5. Sistemde kullanılan ekipmanlar

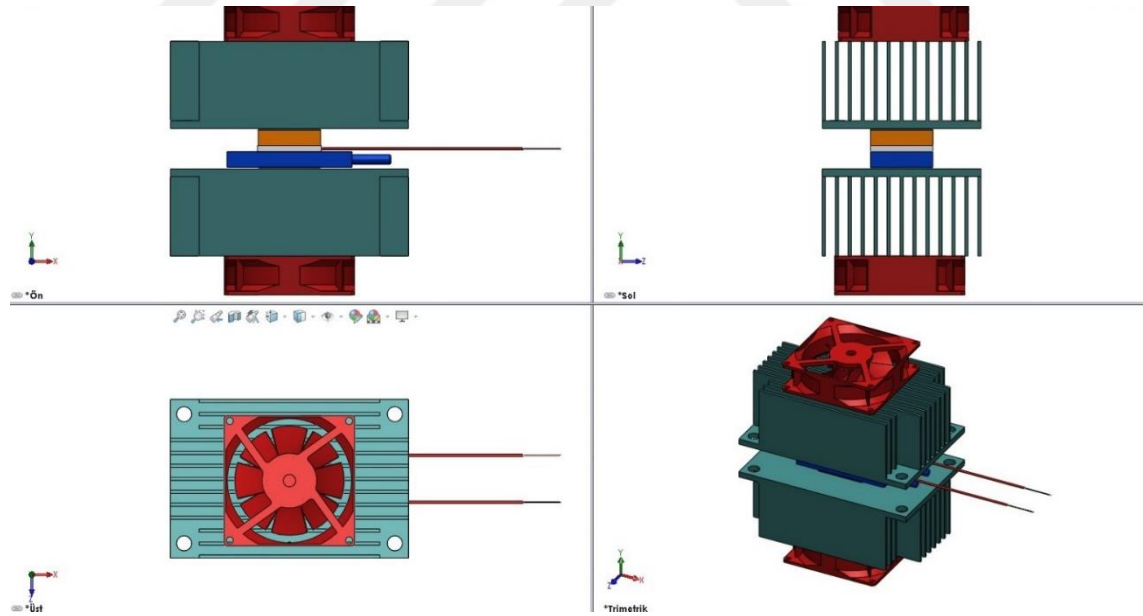
Ürün	Özellik	Tedarik
Termoelektrik Soğutucu	15 V 10 A	N11.com
Kanatçık	Alüminyum	Amazon.com
Isı Değiştiricisi	1/4 Hp, 1.4 m ² , Hava soğutmalı	N11.com
Fan	12 V 1 A DC akım	Direnç.net
Güç Kaynağı	0-30 V, 0-20 A, DC akım	Direnç.net
Nanopartiküller	Al ₂ O ₃ , TiO ₂ , SiO ₂	NanoGrafı
Sensörler	K Tipi, 9-15 V çalışma gerilimi	Amazon.com
Veri Toplayıcı	8 Kanal, Üniversal	Testo.com
Termal Macun	3.15 W/m-K, Altın Alaşımli	N11.com
Dolaşım Pompası	12 V, 0.15 A 280 litre/saat debi	N11.com
Termal Kamera	160X120 Piksel, ± 2 °C Sıcaklık Hassasiyeti	Direnç.net

2.2. Yöntem

2.2.1. TEC Düzeneginin Hazırlanması

TEC üzerindeki kırmızı ve siyah renkteki kabloların güç kaynağının artı ve eksi kutuplarında bağlandıkları yerlere göre, yani akımın uygulandığı yöne göre TEC'nin soğuk ve sıcak yüzeyleri değişmektedir. Bu nedenle ilk olarak hangi yüzeyin soğuk, hangi yüzeyin sıcak olacağına karar verilmiştir. Elektrik verildiğinde TEC'nin bir yüzeyi hızlı bir şekilde ve aşırı derecede soğurken diğer yüzey aynı şekilde ısınmaya başlar ve ısı yüzeyden dağıtılmaz ise çok kısa bir süre içerisinde yanar. Dolayısıyla yüzeylerden ısının iyi bir şekilde atılması son derece önemlidir. Bu amaçla termoelektrik soğutucular soğuk ve sıcak yüzeylerine birleştirilmiş çeşitli kanatçık veya soğutucu bloklar ile birlikte kullanılmaktadır. Aksi halde sistem çalışmayacaktır. Yapılan çalışmada kullanılan sistemde de ilk olarak soğuk yüzey altın alaşımli termal macunla kaplanarak bu yüzeye alüminyum külçe yapıştırılmıştır. Bu külçenin kullanılma amacı soğutucu kabine ön

kapağın ortasından yerleştirilecek olan termoelektrik soğutucu sisteminin XPS yalıtım elemanları içerisinde kalmamasıdır. Ardından alüminyum külçenin boşta kalan yüzeyi de termal macunla kaplanarak bu yüzeyle alüminyum kanatçık birleştirilmiştir. TEC'nin sıcak yüzeyine ise yine termal macun yardımıyla su soğutmalı alüminyum blok yapıştırılmıştır. Daha sonra bu bloğun diğer yüzeyine de aynı yöntemle bir alüminyum kanatçık yapıştırılmıştır. Alüminyum kanatçıklardan ısı atımını hızlandırmak amacıyla her iki kanatçığın üzerine 12 V, 1 A gücünde fanlar vidalar ile tutturulmuştur. Burada fan seçimi oldukça önemlidir. Kullanılan fan hem elektrik tüketeceğinden sisteme ekstra bir güç tüketimi yükleyecek hem de fan fazla büyük olduğunda kendisi ısınacağından özellikle soğuk taraftaki kanatçığın ısınmasına neden olacaktır. Fan çok küçük seçildiğinde ise kanatçıktan ısı dağılımını verimli bir şekilde sağlayamayacaktır. Sistemde ilk olarak 24 V, 1.8 A'lık fanlar denenmiş ancak daha küçük bir fanın yeterli olduğu gözlenmiştir. Oluşturulan sistem plastik kelepçeler yardımıyla iyice sıkıştırılarak montaj sırasında veya çalışma şartlarında birbirlerinden ayrılmaması sağlanmıştır. Oluşturulan TEC sistemi Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. TEC sistemi teknik çizimi

2.2.2. Nanoakışkanların Hazırlanması

Sistemde ana akışkan olarak su kullanılmış ve içerisine alüminyum oksit (Al_2O_3), titanyum dioksit (TiO_2) ve silikon dioksit (SiO_2) nanopartikülleri ayrı ayrı ilave edilerek

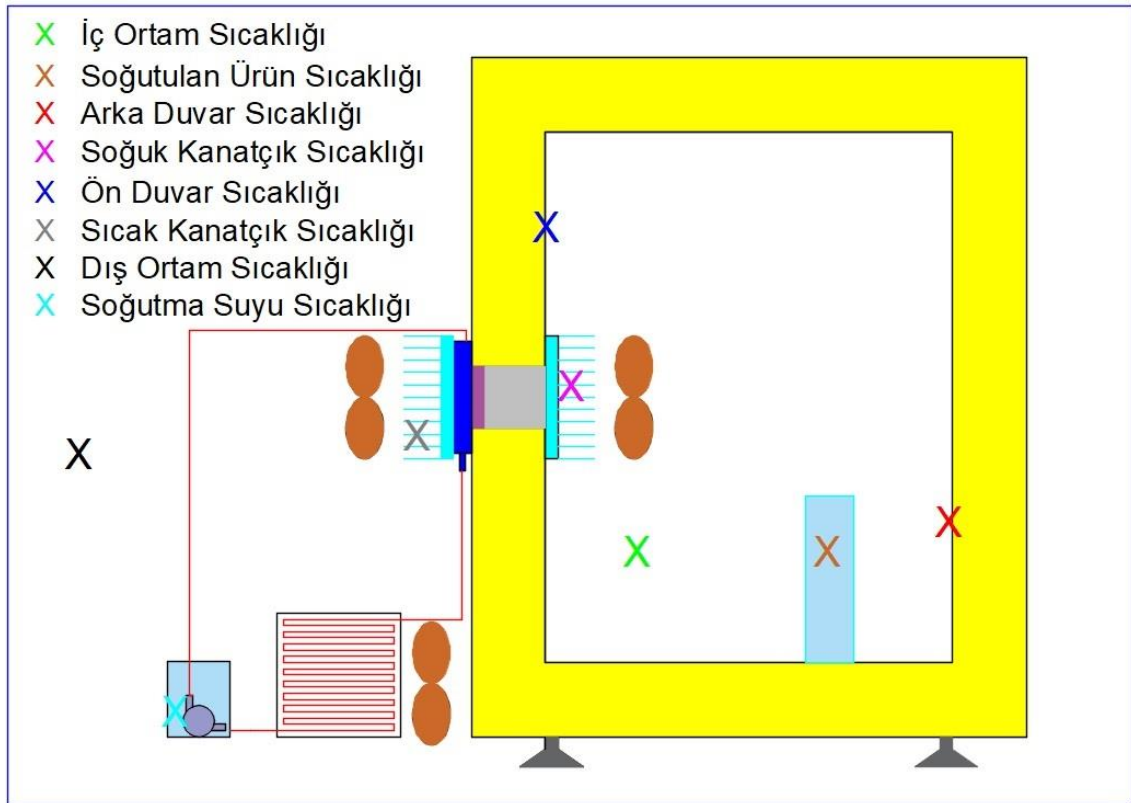
nanoakışkanlar hazırlanmıştır. 600 ml su içerisine nanopartiküller sırasıyla % 0.1, 0.5 ve 1 oranlarında hassas terazide ölçülerek ilave edilmiştir. Nanoakışkanların hazırlanmasında iki adım yöntemi kullanılmıştır. İki adım yöntemi, ana akışkan içerisine önceden hazırlanmış nanopartiküllerin ilave edilerek ve akışkan içerisinde çözünmeden asılı kalarak karışımının sağlanması yöntemidir (Budak Ziyadanoğulları ve Yücel, 2017). Burada dikkat edilmesi gereken husus nanopartiküllerin ana akışkan içerisinde iyi dağılması ve topaklanmamasıdır. Literatürdeki bilgilere dayanarak iki adım yöntemiyle elde edilen nanoakışkanların yapısını bozmadan günlerce koruyabildiği söylenebilir. (Wu vd. 2019; Sidik vd. 2014; Wei ve Xie 2012). Çalışmada ise ölçümler birer saat süreyle yapıldığından bu sürelerde nanoakışkanların yapısını koruduğu söylenebilir. Sistemde kullanılan nanopartiküller NanoGrafı firmasından hazır olarak satın alınmış ve nanoakışkanlar laboratuvarında üretilmiştir. Sistemde kullanılan nanopartiküller Şekil 6’da gösterilmiştir.



Şekil 6. Sistemde kullanılan nanopartiküller

2.2.3. Deney Düzenekinin Hazırlanması

İlk olarak, hazırlanan TEC sistemi soğutucu dolabın ön kapağına kapağın ortasından yerleştirilerek iyice sabitlenmiştir. Bu işlem için kapakta açılan delikten 5 adet K tipi sıcaklık sensörü de geçirilerek dolap içerisinde iç ortam, iç ön duvar, iç arka duvar, soğutulan ürün (su) ve soğuk kanatçık sıcaklıklarını ölçebilmek amacıyla uygun noktalara yerleştirilmiştir. Ölçüm alınan noktalar Şekil 7 üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 7. Sistemde ölçümlerin alındığı noktalar

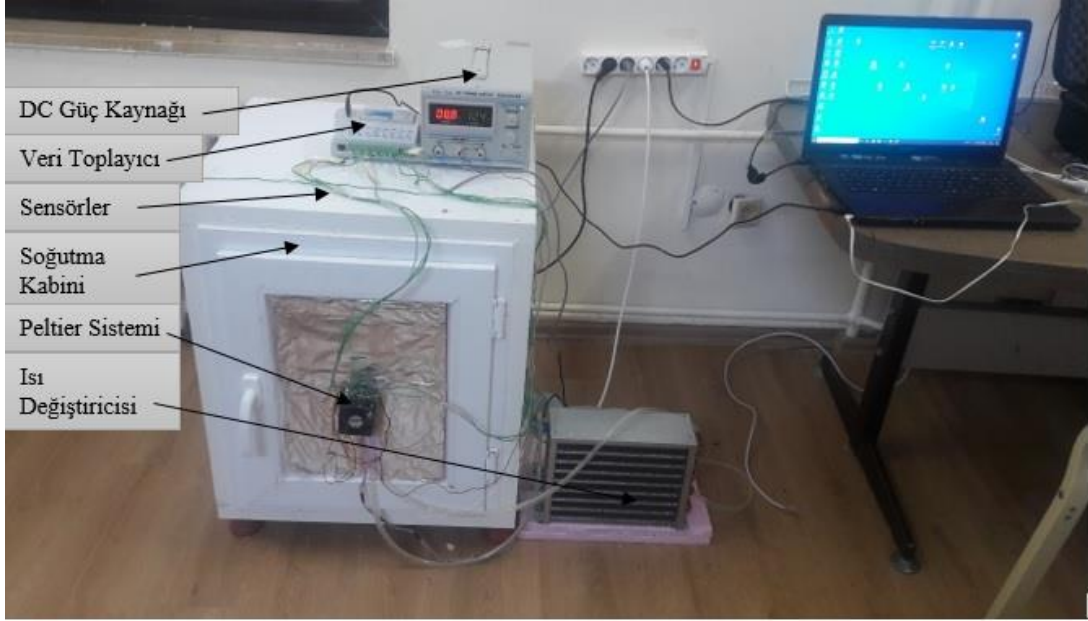
Sensörlerin uçları, belirtilen noktalarda doğru ölçümler alınabilmesi amacıyla diğer ortamlardan izole edilmiştir. Örneğin dolabın iç tarafından arka yüzey sıcaklığını ölçecek sensörün ucu bu bölgeye yapıştırıldıktan sonra boşta kalan kısmı XPS yalıtım malzemesiyle kaplanmıştır. TEC sistemini soğutucu kabine yerleştirdikten sonra bu bölgeden oluşabilecek ısı transferlerini engellemek amacıyla kanatçıklar sıcak silikonla XPS yalıtım malzemesine birleştirilmiştir.

Sistemde kullanılacak diğer 3 adet K tipi sıcaklık sensörü de sıcak kanatçık, dış ortam ve soğutma sıvısının sıcaklığını ölçmek amacıyla uygun yerlere yerleştirilerek

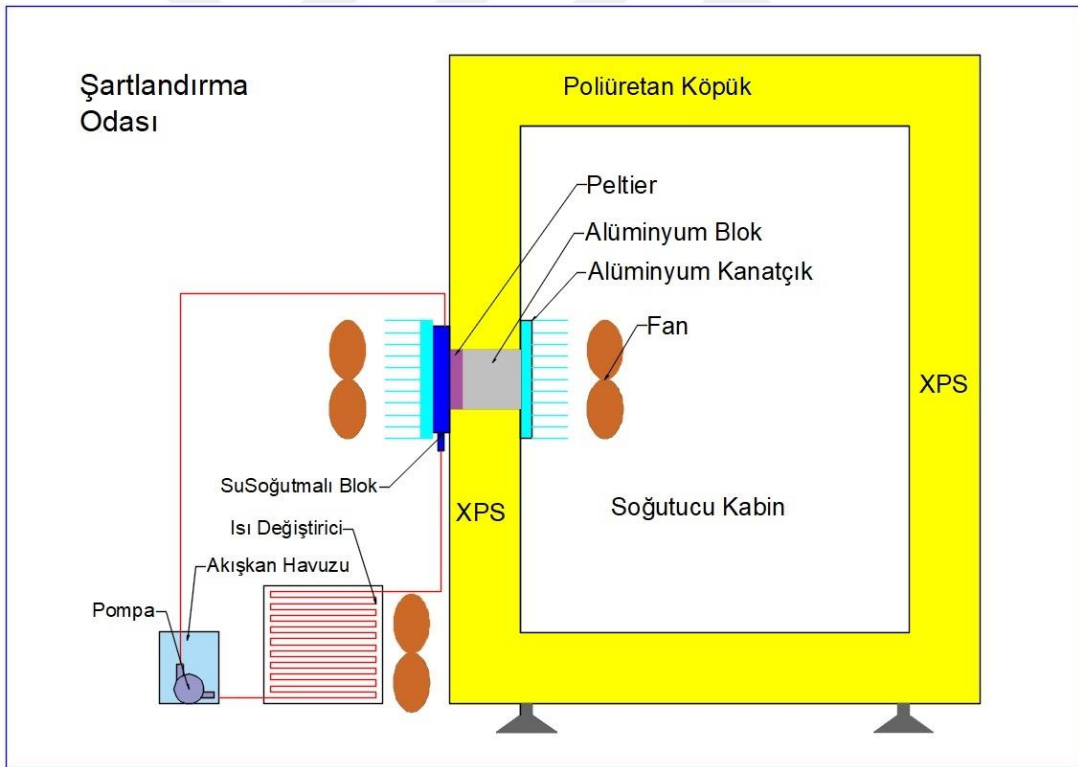
diğer uçları da veri toplayıcıya takılmıştır. Veri toplayıcıdan verilerin anlık olarak bilgisayara aktarılması için bilgisayara bağlanmıştır. Ölçümlerin kaydedilme periyodu 30 saniye olarak belirlenmiştir. Böylece deney süresi boyunca her 30 saniyede bir 8 adet sensörden alınan ölçümlerin veri toplayıcı yardımıyla bilgisayara kaydedilmesi sağlanmıştır.

Termoelektrik soğutucu ve kanatçıklar üzerindeki fanlar aynı güç kaynağına bağlanmıştır. Burada dikkat edilmesi gereken husus, TEC'nin güç kaynağına bağlantısıdır. Çünkü kabloların bağlandığı kutuplara göre Peltier' in ısınan ve soğuyan yüzeyleri değişecektir. Bu sebeple daha önceden belirlendiği gibi TEC üzerindeki siyah kablo artı, kırmızı kablo ise eksi kutba bağlanmıştır. Bu durum fanlar için önemli değildir. Uygulanacak akımın yönüne göre sadece fanın dönme yönü değişecektir.

Soğutucu kabinin hemen yanına konumlandırılan ısı değiştiricisi bir şeffaf hortumla TEC düzeneğindeki su soğutmalı bloğa bağlanmıştır. Su soğutmalı bloğun diğer ucu ise yine şeffaf hortum ile dolaşım pompasına bağlanmıştır. Isı değiştiricisinin diğer ucu da dolaşım pompasının içinde bulunduğu mini akışkan havuzuna bağlanmıştır. Böylece su soğutmalı bloktan ısı alarak ısı değiştiricisine gelen soğutucu akışkan fazla ısınıp ortama bırakarak akışkan havuzuna gidecek ve buradan dolaşım pompasıyla tekrardan su soğutmalı bloğa dönecek ve çevrimini tamamlayacaktır. Soğutucu akışkan sıcaklığı da dolaşım pompasının bulunduğu akışkan havuzunda ölçülmektedir. Dolaşım pompası da kanatçık üzerindeki fanlarla birlikte güç kaynağına bağlanmıştır. Isı değiştiricisinin arka kısmına ısı atımını hızlandırmak amacıyla bir fan yerleştirilmiştir. Deney düzeneği Şekil 8'de, şematik diyagramı ise Şekil 9'da gösterilmiştir.



Şekil 8. Termoelektrik soğutucu deney düzeneği



Şekil 9. Termoelektrik soğutucu sisteminin şematik diyagramı

2.2.4. DeneySEL Prosedür

DeneySEL çalışmalarda, test düzeneği, kullanılan donanım, çevre koşulları veya dış etkenler nedeniyle tekrarlayan testlerde farklı sonuçlar elde edilebilir. Bu nedenle

parametrik deneylere başlamadan önce sistemi aynı koşullarda birkaç kez çalıştırmak ve sonuçları tutarlılık açısından karşılaştırmak bilimsel ve gerçekçi bir yaklaşım için oldukça önemlidir. Bu amaçla, ilk olarak, belirli bir ortam sıcaklığı değeri için aynı koşullar altında 2000 saniye boyunca 3 kez tekrarlanan ölçümlerle kararlı durum testleri yapılmıştır. Deney düzeneğinin kararlı bir şekilde çalıştığına karar verildikten sonra testlere başlanmıştır.

Yürütülen çalışmada deneyler her soğutucu akışkan için, hem yüksüz durum hem de yüklü durum şartları altında gerçekleştirilmiştir. Yüksüz durum için bütün deneylerde soğutucu dolabın içerisi boş bırakılarak, test düzeneği, fanlar, pompa ve TEC eş zamanlı çalışacak şekilde başlatılmış, 1 saat boyunca ve 30 saniye aralıklarla ölçümler alınmıştır. Aynı deneyler, dolabın içerisine 1 litre su bırakılarak tekrarlanmış ve böylece yüklü durum testleri gerçekleştirilmiştir.

Deney düzeneğinin bulunduğu şartlandırma odası sıcaklığı bir klima yardımıyla 18, 24 ve 30 °C ye ayarlanarak üç farklı dış ortam sıcaklığında bütün testler yüklü ve yüksüz durumlar için tekrarlanmıştır. Deneyler sırasında şartlandırma odasında başka bir ısı üreticinin olmamasına dikkat edilmiştir.

Deneyler ilk olarak nanopartikül ilave edilmeden, soğutucu akışkan olarak 600 ml su kullanılarak hem yüklü durum için hem de yüksüz durum için gerçekleştirilmiş, elde edilen sonuçlar nanoakışkan kullanılan durumlarla kıyaslanmak üzere referans durum olarak kabul edilmiştir.

Daha sonra nanoakışkan kullanılan testlere geçilmiştir. İlk olarak 600 ml'lik soğutucu akışkanlara kütlece %0.1 oranlarında Al_2O_3 , SiO_2 ve TiO_2 nanopartikülleri ilave edilerek soğutucu akışkanlar hazırlanmış ve referans durum testleriyle aynı şartlar altında ve aynı sürelerde ölçümler gerçekleştirilmiştir. Aynı testler, %0.5 ve %1 karışım oranlarında hazırlanan nanoakışkanlar ile de üç farklı dış ortam sıcaklığı koşullarında tekrarlanmıştır.

Toplamda 3 farklı nanopartikül ile 3 farklı dış ortam sıcaklığında ve 3 farklı kütlece karışım oranında yüklü ve yüksüz durumlar için 54 saat ve referans durum için de 6 saat olmak üzere 60 saat süren deneyler gerçekleştirilmiştir.

2.2.5. Kabuller

Deneylerin yürütüldüğü tarih aralığında Rize ilinde ortalama sıcaklık 12 °C, ortalama nem %91, ortalama rüzgar 2 m/s, ve basınç atmosfer basıncına yakın olarak seyretmiştir.

Laboratuvar şartlarında ise sıcaklıklar klima yardımı ile 18, 24 ve 30 °C lere ayarlanarak testler yürütülmüştür. Ortamın nem ve basınç değerlerinde önemli bir değişiklik olmadığı kabul edilmiştir. Ayrıca laboratuvar şartlarında klimadan başka ısı kaynağı kullanılmamış, floresan ve bilgisayar fanı gibi cihazların yaydığı ısılar ihmal edilmiştir.

2.2.6. Hesaplamalarda Kullanılan Denklemler

Yapılan çalışmada her bir durum için soğutucu kabinin ilk ve son sıcaklıkları, soğutma gücü ve sistemin COP değerleri gözlemlenmiş ve karşılaştırılmıştır. İlk olarak Q_c ile gösterilen soğutma gücü aşağıda verilen denklem (1) ile hesaplanmıştır (Güçlü ve Cüce, 2019).

$$Q_c = (|\alpha_n| + |\alpha_p|) T_c I - \frac{1}{2} I^2 (R_e + R_t) - k(T_h - T_c) \quad (1)$$

Burada α_p ve α_n P ve N tipi eleman çiftlerinin Seebeck katsayılarıdır. R_e ve R_t elektrot ve ısıl çiftlerin elektriksel dirençlerini, I akımı, k termal iletkenlik değerini, T_c ve T_h ise sırasıyla soğuk yüzey ve sıcak yüzey sıcaklıklarını simgeler.

Seebeck katsayısı, ürüne ait teknik bilgileri içeren katalogda verilen maksimum voltaj değerinin katalogda o değere karşılık gelen sıcak yüzey sıcaklığına bölünmesiyle hesaplanır (Afzal vd., 2017).

$$(|\alpha_n| + |\alpha_p|) = \frac{V_{max}}{T_h} \quad (2)$$

Toplam elektriksel direnç değeri de yine katalog bilgilerinden okunarak kullanılır.

Termal iletkenlik değeri ise maksimum voltaj, akım ve sıcaklık farkı değerleri katalogdan

alınarak denklem (3)' e göre hesaplanır (Afzal vd., 2017):

$$\frac{1}{k} = \frac{V_{\max}}{I_{\max}} \times \frac{(T_h - \Delta T_{\max})}{(T_h - \Delta T_{\max})} \quad (3)$$

Sistemin etkinlik kat sayısı olarak bilinen COP değeri, soğutma gücünün sistemde harcanan elektriksel güce bölünmesiyle hesaplanır (Afzal vd., 2017).

$$\text{COP} = \frac{Q_c}{P_e} \quad (4)$$

$$P_e = VI \quad (5)$$

Denklem (1)' e göre soğutma gücü hesaplanırken üç ana parametre vardır. Bunlardan ilki, TEC'nin soğuk tarafından pompalanan ısı miktarını temsil eden Q_g değeridir ve bu değer Seebeck katsayısına, soğuk taraf sıcaklığına ve uygulanan akım şiddetine bağlıdır. İkincisi, akım ve elektriksel direnç değerleriyle orantılı olarak değişen ve Joule ısı etkisi olarak adlandırılan Q_j değeridir. Üçüncü parametre ise Fourier etkisi olarak bilinen Q_d değeridir ve termal iletkenlik ile Peltier' in sıcak ve soğuk yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkına bağlıdır.

Denklem (1)' den de anlaşılabileceği gibi Joule ısı etkisi ve Fourier etkisi ne kadar azaltılabilirse soğutma gücü, dolayısıyla da COP değeri o kadar artacaktır (Salah ve Abduhelwa, 2020; Nnanna vd., 2009; Chein ve Huang, 2004). Joule ısı etkisi ve Fourier etkisinin 0 olduğu durum, TEC için ideal çalışma koşullarını simgeler. Bir başka deyişle bu iki etki arttıkça sistem ideallikten uzaklaşır. TEC'nin çalışma sıcaklık aralığı düşünüldüğünde elektriksel direnç ve termal iletkenlik değerlerinde kayda değer bir değişiklik olmadığından, sistemin idealliginde kilit rol oynayan en önemli faktör Fourier etkisi yani yüzeyler arasındaki sıcaklık farkı değeridir. Eşitliğe göre TEC'nin yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkı arttıkça soğutma gücü ve buna bağlı olarak sistemin COP değeri düşer. Bu beklenen bir durumdur. Bizim için önemli olan, COP değerindeki ihmal edilebilir düşüşe rağmen aynı test süresinin sonunda soğutulmuş kabin sıcaklığında elde edilen iyileşme miktarıdır.

Ayrıca yüksek akım değerlerinde sıcaklık farkı artar ancak COP değerleri düşer. Bu nedenle yüksek sıcaklık farklarının gerekli olduğu uygulamalarda sisteme yüksek akım

uygulanmalıdır (Chen vd., 2020).

Yapılan çalışmada bütün deneylerde sisteme 12 V gerilim uygulanmış ve sistemin çektiği akım değeri gözlemlenmiştir.

2.2.7. Belirsizlik Analizi

Deneysel çalışmalarda araştırmacı ne kadar profesyonel ve dikkatli olursa olsun, aynı şartlar altında yaptığı deneylerde dahi aynı sonuçları alması neredeyse imkânsızdır. Çünkü deney sırasında öngörülebilir veya öngörülemez çok küçük de olsa hataların meydana gelmesi kuvvetle muhtemeldir. Bu hatalar deneyi yapan kişiden kaynaklanacağı gibi, deneyde kullanılan ölçü araçları ve teçhizattan da kaynaklanabilir. Cihaz ve teçhizatlardan kaynaklanan bu hataların sebeplerini cihazların doğru kalibre edilememesi, çalışma aralıklarındaki sınırlı hassasiyetler veya deneylerin yürütüldüğü ortam koşulları olarak sıralayabiliriz. Belirsizlik analizi de bize sonuçların hassasiyeti için bir aralık belirlemeye yarayan yöntemsel bir yaklaşımdır.

Coleman ve Steele (2018)' e göre n adet bağımsız değişken için Toplam belirsizlik:

$$W_Q = \left[\left(\frac{\partial Q}{\partial x_1} \times W_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial x_2} \times W_2 \right)^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial x_n} \times W_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (6)$$

Formülüne göre hesaplanır.

Burada Q ölçülecek boyut, X ölçümü etkileyen değişken ve W bağımsız değişkenin belirsizliğini gösterir (Doğru vd., 2002).

Belirsizlik analizi yapılırken gözlenen durumda:

$$T_h = 21.6 \text{ }^\circ\text{C}, T_c = -4.4 \text{ }^\circ\text{C} \text{ dir.}$$

$$Q_c = (|\alpha_n| + |\alpha_p|)T_c I - \frac{1}{2}I^2(R_e + R_t) - k(T_h - T_c) = (|\alpha_n| + |\alpha_p|)T_c I - \frac{1}{2}I^2(R_e + R_t) - kT_h + kT_c \quad (1)$$

$$Q_c = (0.05)(-4.4)(10.9) - \frac{1}{2}(10.9)^2(0.8) - (1.32)(21.6 - (-4.4)) = 84.242$$

Isıl çiftlerin belirsizliği: ± 0.05 °C

Akım belirsizliği: ± 0.1 A

Voltaj belirsizliği: ± 0.1 V

Isıl çiftlerin belirsizliği, akım belirsizliği ve voltaj belirsizliği ürüne ait katalog verilerinden okunur.

$$(|\alpha_n| + |\alpha_p|) = \frac{V_{\max}}{T_h} = 0.05$$

12 V sabit gerilim uygulandığında, akım değeri 10.9 A olarak ölçülmüştür.

Katalog verilerine göre toplam elektriksel direnç:

$$(R_e + R_t) = 0.8$$

$$\frac{1}{k} = \frac{V_{\max}}{I_{\max}} \times \frac{(T_h - \Delta T_{\max})}{(T_h - \Delta T_{\max})} \text{ Olduğundan;}$$

$k = 1.32$ olarak bulunmuştur

Gerekli tüm değerler bilindiğinde, belirli bir durum için belirsizlik analizi yapmak kolaydır:

$$\frac{\partial Q_c}{\partial T_c} = (|\alpha_n| + |\alpha_p|)I + k = 0.05(10.9) + 1.32 = 1.865 \quad (6)$$

$$\frac{\partial Q_c}{\partial I} = (|\alpha_n| + |\alpha_p|)T_c - I(R_e + R_t) = 0.05(-4.4) - (10.9)(0.8) = -8.94 \quad (7)$$

$$\frac{\partial Q_c}{\partial T_h} = -k = -1.32 \quad (8)$$

$$W_{Q_c} = \left[\left(\frac{\partial Q}{\partial T_c} \times 0.05 \right)^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial I} \times 0.1 \right)^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial T_h} \times 0.05 \right)^2 \right]^{1/2} = [(1.865 \times 0.05)^2 +$$

$$(-8,94 \times 0.1)^2 + (-1.32 \times 0.05)^2]^{1/2} = 0.901269972 \quad (9)$$

$$\frac{W_{Q_c}}{Q_c} = \frac{0.901269972}{84.242} \times 100 = \%1.07 \quad (10)$$

$$P_e = VI = 12(10.9) = 130.8 \text{ W}$$

$$\frac{\partial P_e}{\partial V} = I = 10.9 \quad (11)$$

$$\frac{\partial P_e}{\partial I} = V = 12 \quad (12)$$

$$W_{P_e} = \left[\left(\frac{\partial P_e}{\partial V} \times 0.1 \right)^2 + \left(\frac{\partial P_e}{\partial I} \times 0.1 \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} = [(10.9 \times 0.1)^2 + (12 \times 0.1)^2]^{\frac{1}{2}} \\ = 1.621141573 \quad (13)$$

$$\frac{W_{P_e}}{P_e} = \frac{1.621141573}{130.8} \times 100 = \%1.24$$

$$COP = \frac{Q_c}{P_e} = \frac{84.242}{130.8} = 0.64$$

$$\frac{\partial COP}{\partial Q_c} = \frac{1}{P_e} = \frac{1}{130.8} = 0.0076452599 \quad (14)$$

$$\frac{\partial COP}{\partial P_e} = -\frac{Q_c}{P_e^2} = -\frac{84.242}{(130.8)^2} = -0.0049239449 \quad (15)$$

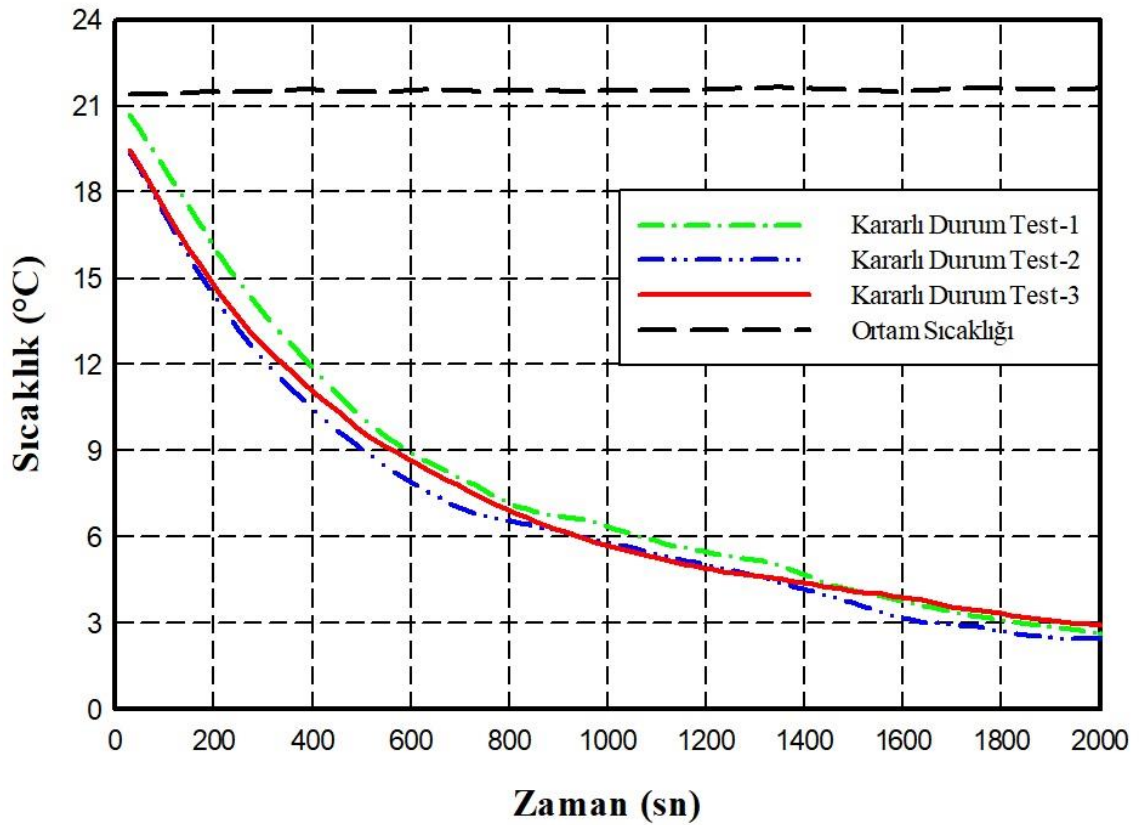
$$W_{COP} = \left[\left(\frac{\partial COP}{\partial Q_c} \times 0.901269972 \right)^2 + \left(\frac{\partial COP}{\partial P_e} \times 1.621141573 \right)^2 \right]^{1/2} = \\ [(0.0076452599 \times 0.901269972)^2 + (-0.0049239449 \times 1.621141573)^2]^{1/2} \quad (16)$$

$$\frac{W_{COP}}{COP} = \%1.65$$

Kabul edilebilir en kötü durum için toplam belirsizlik %1.65 olarak bulunmuştur.

3. BULGULAR

Deneylere kararlı durum testleri ile başlanmıştır. Belirli bir dış ortam sıcaklık değeri için aynı koşullar altında 2000 saniye süreyle ve 3 defa tekrarlanan deneylerde soğutucu kabin sıcaklığı gözlemlenmiştir. Deneyler sonucunda Şekil 10'da da görüldüğü gibi sistem kararlı bir şekilde çalışmaktadır. Kararlı durum testleri yüksüz durum için yapılmış ve soğutucu akışkan olarak su kullanılmıştır.



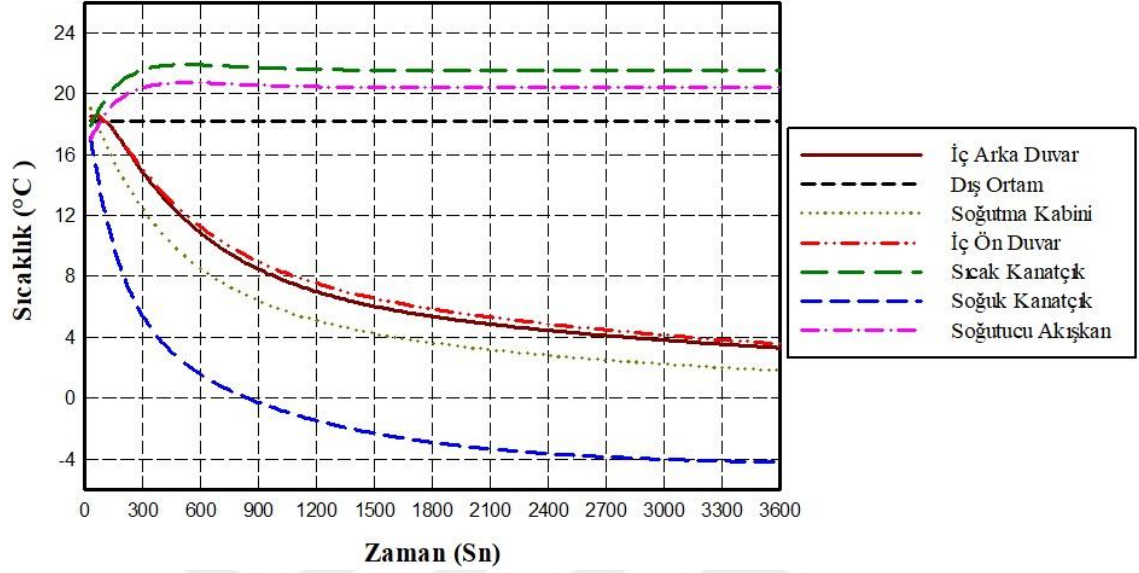
Şekil 10. Soğutma kabini sıcaklığı için zamana bağlı kararlı durum testleri

3.1. Yüksüz Durum Testleri

3.1.1. 18 °C Dış Ortam Koşulları

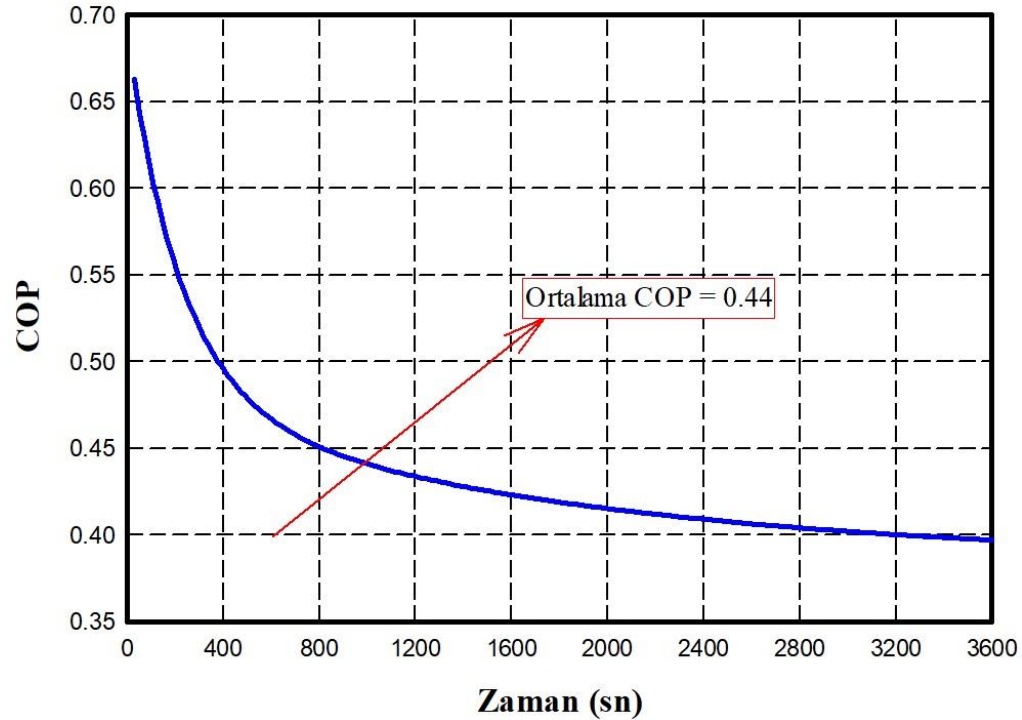
Yüksüz durum testlerine 18 °C dış ortam koşullarında başlanmıştır. İlk olarak soğutucu akışkan olarak su kullanılmış ve soğutma kabini sıcaklığının bir saatlik süre sonunda 18.4 °C den 1.7 °C ye düştüğü gözlenmiştir. Soğuk kanatçık sıcaklığı ise -4.4 °C ye düşmüştür. Sistemde dolaşan soğutma suyu sıcaklığı ise akışkan havuzunda en yüksek

20.8 °C olarak ölçülmüştür. 18 °C dış ortam sıcaklığında su ile gerçekleştirilen deneye ait veriler Şekil 11’ de gösterilmiştir.



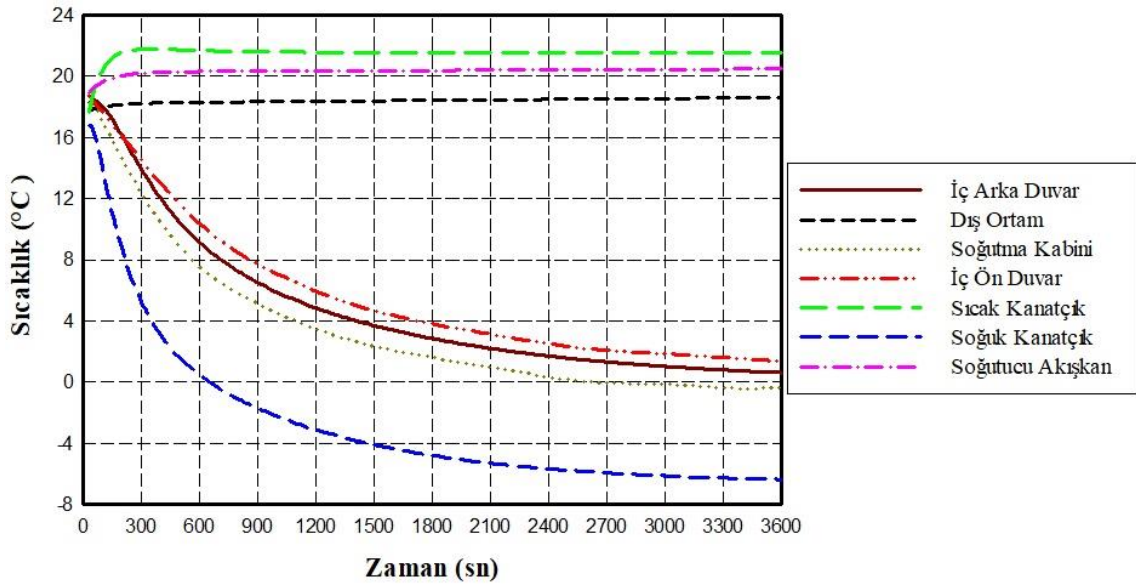
Şekil 11. 18 °C dış ortam sıcaklığında su ile gerçekleştirilen testlere ait veriler

Söz konusu durum için 3600 saniyelik süre sonunda ortalama COP değeri 0.44 olarak hesaplanmıştır. COP-zaman grafiği Şekil 12’de gösterilmiştir.

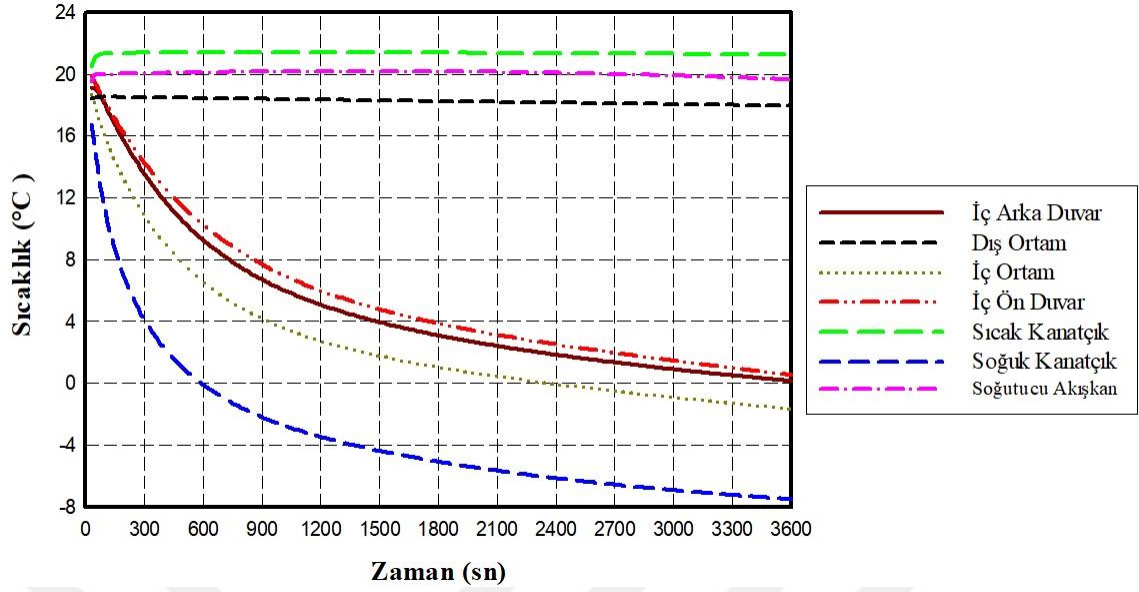


Şekil 12. 18 °C dış ortam sıcaklığında su ile gerçekleştirilen testler için COP eğrisi

Testler, kütlece %0.1, 0.5 ve 1 karışım oranlarında hazırlanan nanoakışkanlarla tekrarlanmıştır. Soğutucu kabinin ilk ve son sıcaklıkları arasındaki farklar yani ΔT 'ler dikkate alındığında, bütün nanoakışkan kullanılan durumların saf su ile yapılan deneylere göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Ancak kullanılan nanoakışkan türü ve kütlece karışım oranına göre de ΔT değerleri arasındaki farkların değiştiği saptanmıştır. Buna göre, referans duruma kıyasla ΔT değerinde en az artış %0.1 karışım oranında SiO_2 -Su nanoakışkanı ile elde edilmiştir. Referans durum için 17.1°C olarak ölçülen ΔT , %0.1 karışım oranında SiO_2 -Su nanoakışkanı için 18.4°C olarak ölçülmüştür. En yüksek artış ise %1 karışım oranında Al_2O_3 nanopartikülleri ile hazırlanan karışımla elde edilmiştir. Söz konusu durumda ΔT 20.4°C olarak ölçülmüştür. Bu iki durum için elde edilen veriler Şekil 13 ve 14'te gösterilmiştir.

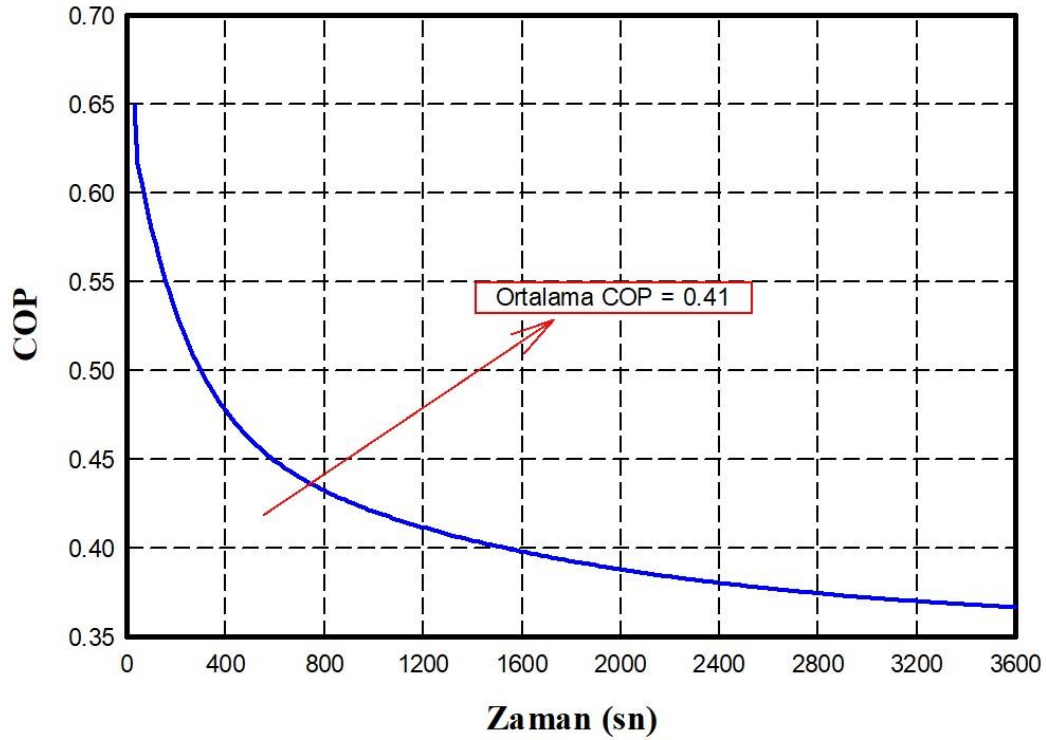


Şekil 13. 18°C dış ortam sıcaklığında %0.1 SiO_2 -Su nanoakışkanı ile gerçekleştirilen testler



Şekil 14. 18 °C dış ortam sıcaklığında %1 Al₂O₃-Su nanoakışkanı ile gerçekleştirilen testler

Bu koşullarda yapılan testlerde COP değerlerinde en büyük düşüş ise beklendiği gibi %1 Al₂O₃-Su nanoakışkanı kullanılan durumda gözlemlenmiştir. Söz konusu durumda 3600 saniyelik süre sonunda ortalama COP değeri 0.41 olarak hesaplanmış ve Şekil 15'te gösterilmiştir.



Şekil 15. 18 °C dış ortam sıcaklığında %1 Al₂O₃-Su nanoakışkanı ile gerçekleştirilen testler

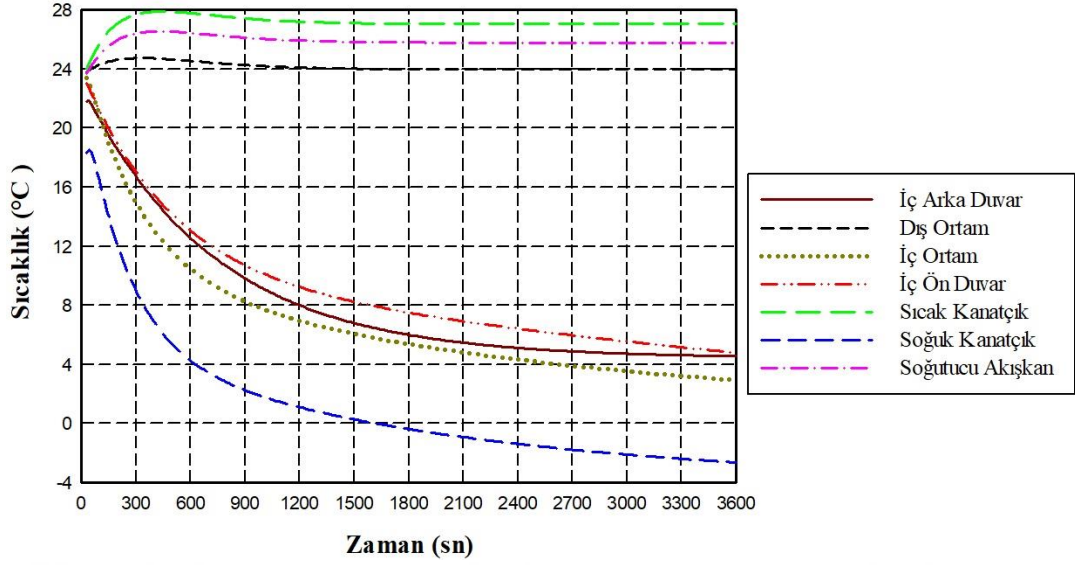
testler için COP eğrisi
18 °C dış ortam sıcaklığında yüksüz durumda yapılan testlerde soğutucu kabin ilk ve son sıcaklıklarına ait veriler Tablo 6’da gösterilmiştir.

Tablo 6. 18 °C dış ortam sıcaklığında yüksüz durumda yapılan testlerde soğutucu kabin ilk ve son sıcaklıklarına ait veriler

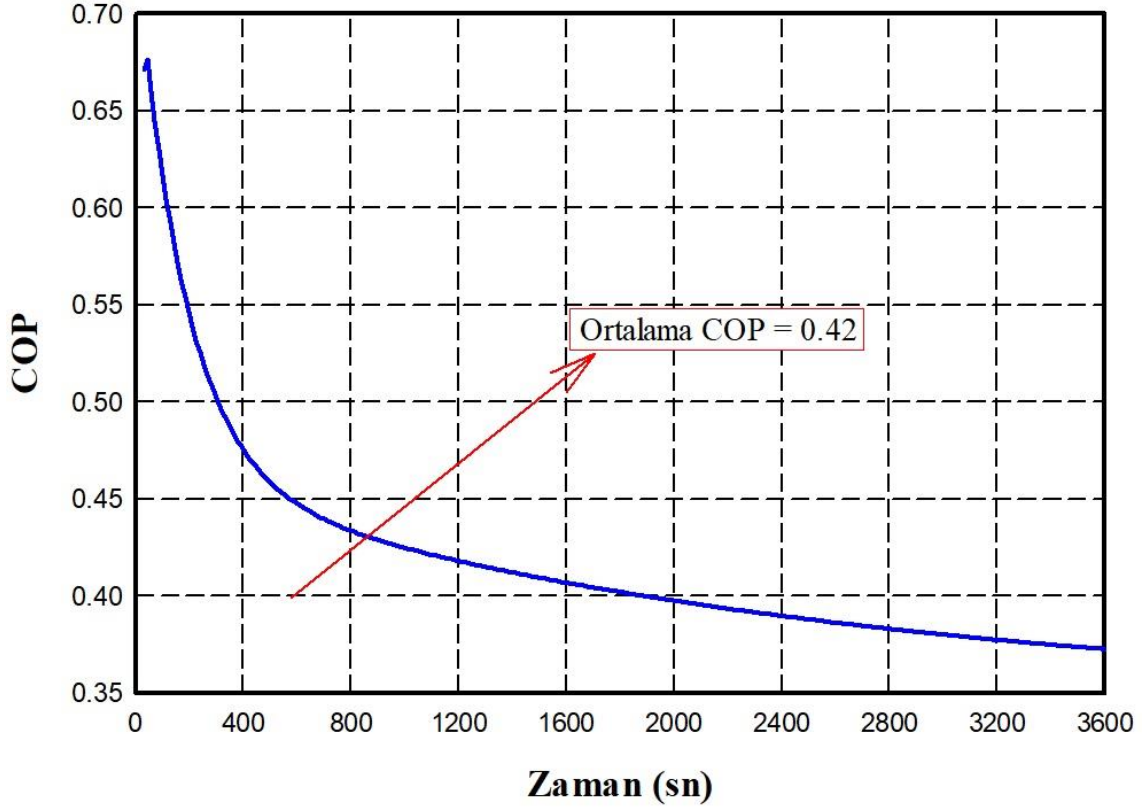
Soğutucu Akışkan	Su			Al ₂ O ₃			TiO ₂			SiO ₂		
	(%)	T _{ilk}	T _{son}	ΔT	T _{ilk}	T _{son}	ΔT	T _{ilk}	T _{son}	ΔT	T _{ilk}	T _{son}
0,1	18,4	1,3	17,1	18,1	-0,8	18,9	18	-0,5	18,5	18	-0,4	18,4
0,5	18,4	1,3	17,1	18,2	-1,2	19,4	18,2	-0,7	18,9	18,3	-0,5	18,8
1	18,4	1,3	17,1	18,5	-1,9	20,4	17,7	-2	19,7	17,8	-1,6	19,4

3.1.2. 24 °C Dış Ortam Koşulları

24 °C dış ortam koşulları testlerine de referans durum olan nanopartikül ilavesiz su soğutucu akışkanı ile başlanmıştır. Yine 3600 saniye süre ile gerçekleştirilen testlerde soğutucu kabin sıcaklığının 23.4 °C den 3.9 °C ye düştüğü gözlenmiştir. Soğuk kanatçık sıcaklığı ise en düşük -2.5 °C olarak ölçülmüştür. Sistemin ortalama COP değeri 0.42 olarak hesaplanmıştır. 24 °C dış ortam sıcaklığında su ile gerçekleştirilen deneye ait veriler Şekil 16’da, COP eğrisi Şekil 17’de gösterilmiştir.



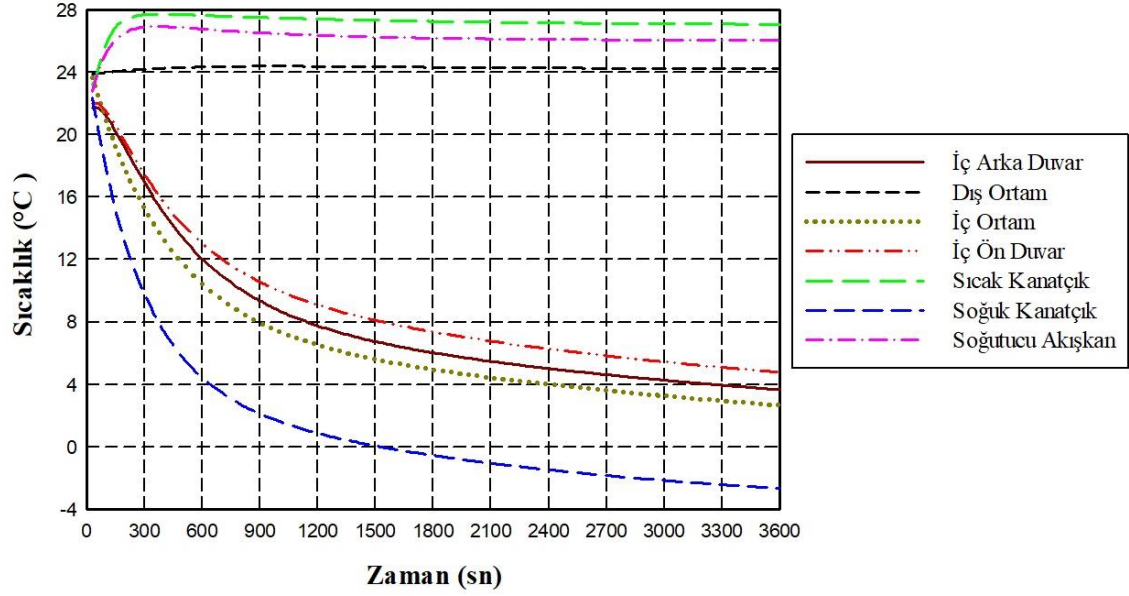
Şekil 16. 24 °C dış ortam sıcaklığında su ile gerçekleştirilen testler



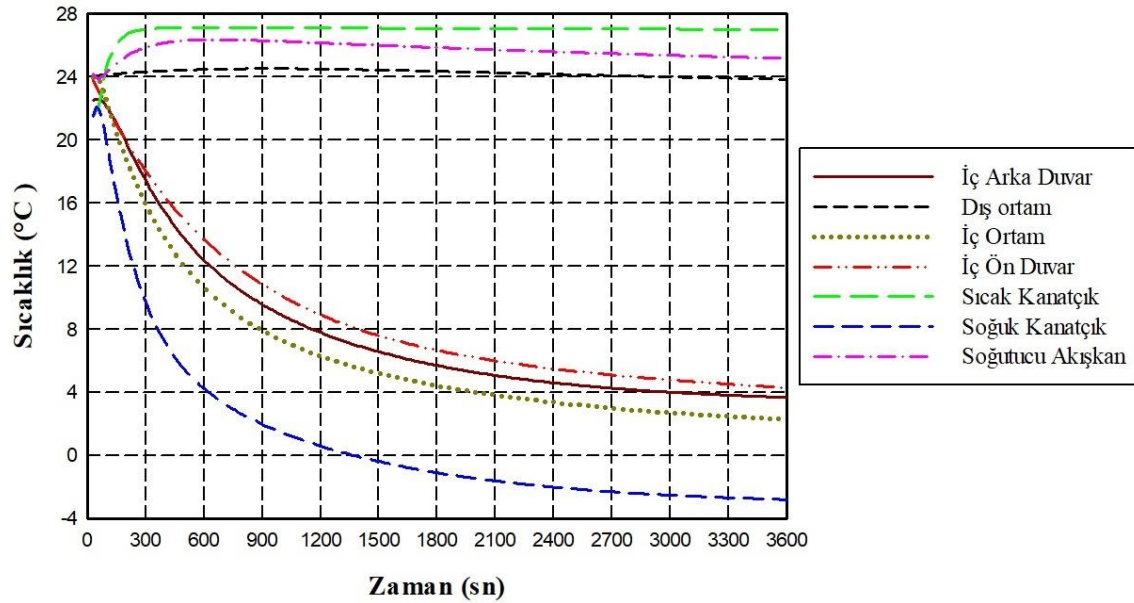
Şekil 17. 24 °C dış ortam sıcaklığında su ile gerçekleştirilen testler için COP eğrisi

Aynı şartlar altında nanoakışkanlar ile yapılan testlerde her bir nanoakışkanlı durumun referans duruma göre ΔT 'ler üzerinde önemli iyileşmeler sağladığı görülmüştür. Buna göre nanoakışkan kullanılan durumlar arasında en küçük ΔT , %0.1 karışım oranında SiO_2 -Su nanoakışkanı için 21.2 °C olarak ölçülmüştür. En yüksek artış ise %1 karışım oranında Al_2O_3 nanopartikülleri ile hazırlanan karışımla elde edilmiştir. Söz konusu

durumda ΔT 22.2 °C olarak ölçülmüştür. Bu iki durum için elde edilen veriler Şekil 18 ve 19’da gösterilmiştir.

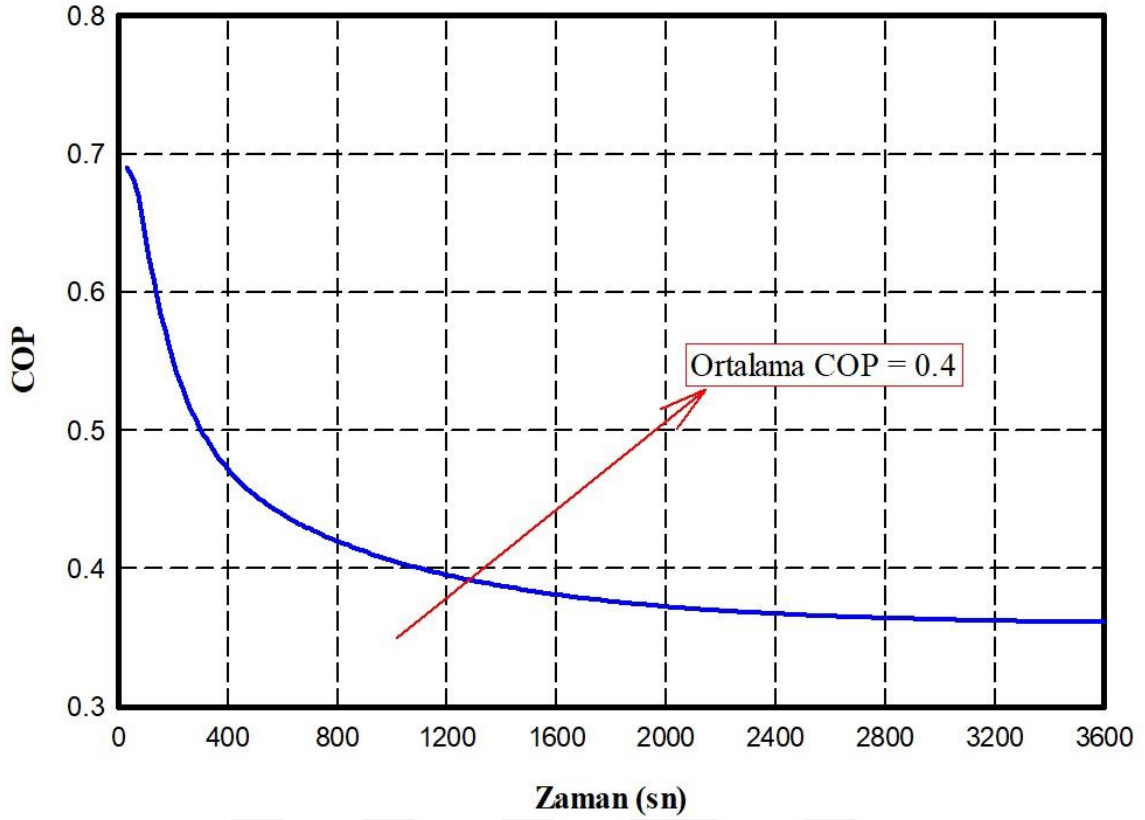


Şekil 18. 24 °C dış ortam sıcaklığında %0.1 SiO₂-Su nanoakışkanı ile gerçekleştirilen testler



Şekil 19. 24 °C dış ortam sıcaklığında %1 Al₂O₃-Su nanoakışkanı ile gerçekleştirilen testler

%1 karışım oranıyla hazırlanan Al₂O₃-Su nanoakışkanı ile hazırlanan sistemde ortalama COP değeri ise 0.40 olarak bulunmuş ve Şekil 20’de gösterilmiştir.



Şekil 20. 24 °C dış ortam sıcaklığında %1 Al₂O₃-Su nanoakışkanı ile gerçekleştirilen testler için COP eğrisi

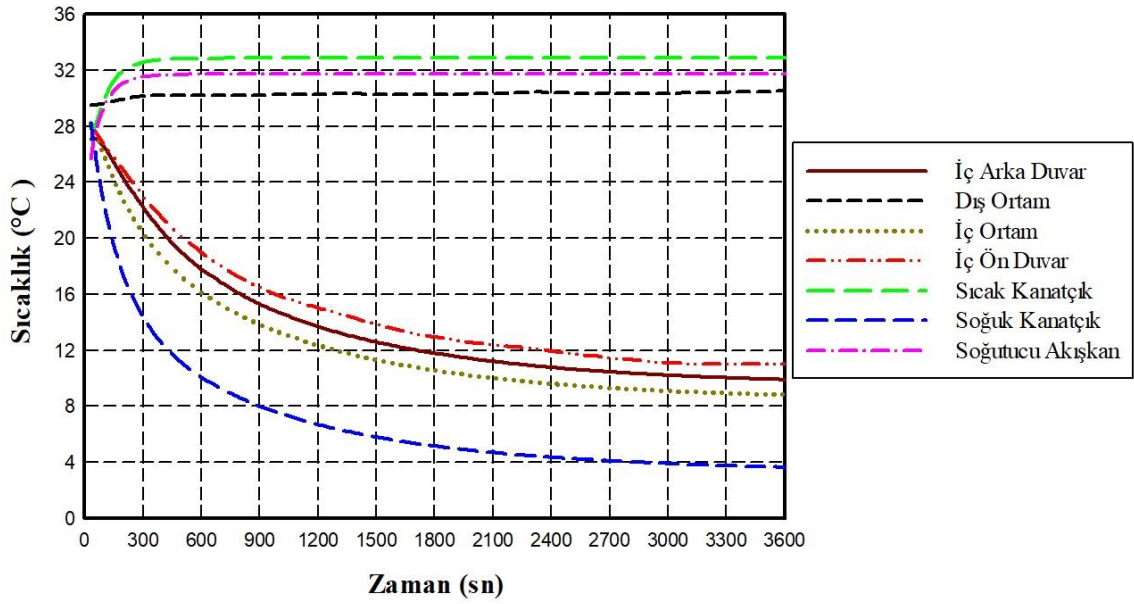
24 °C dış ortam sıcaklığında yüksüz durumda yapılan testlerde soğutucu kabin ilk ve son sıcaklıklarına ait veriler Tablo 7’de gösterilmiştir.

Tablo 7. 24 °C dış ortam sıcaklığında yüksüz durumda yapılan testlerde soğutucu kabin ilk ve son sıcaklıklarına ait veriler

Soğutucu Akışkan (%)	Su			Al ₂ O ₃			TiO ₂			SiO ₂		
	T _{ilk}	T _{son}	ΔT _{su}	T _{ilk}	T _{son}	ΔT	T _{ilk}	T _{son}	ΔT	T _{ilk}	T _{son}	ΔT
0,1	23,4	3,9	19,5	24,1	1,9	22,2	23,7	2,3	21,4	23,7	2,5	21,2
0,5	23,4	3,9	19,5	24	1,5	22,5	23,7	1,5	22,2	23,7	1,9	21,8
1	23,4	3,9	19,5	24	1,2	22,8	23,9	1,4	22,5	23,9	1,6	22,3

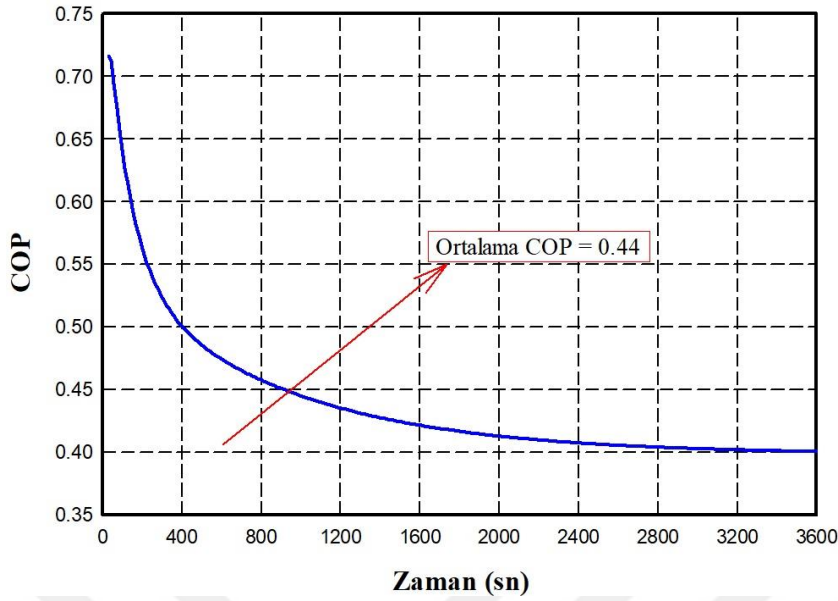
3.1.3. 30 °C Dış Ortam Koşulları

30 °C dış ortam koşullarında nanopartikül ilavesiz su soğutucu akışkanı ile yapılan testlerde soğutucu kabin iç sıcaklığının 28.2 °C den 9.8 °C ye düştüğü gözlenmiştir. Soğuk kanatçık sıcaklığı ise en düşük 3.9 °C olarak ölçülmüştür. Şekil 21’de görüldüğü gibi soğutucu akışkan sıcaklığı ile sıcak kanatçık sıcaklığı birbirine oldukça yakın seyretmiştir.



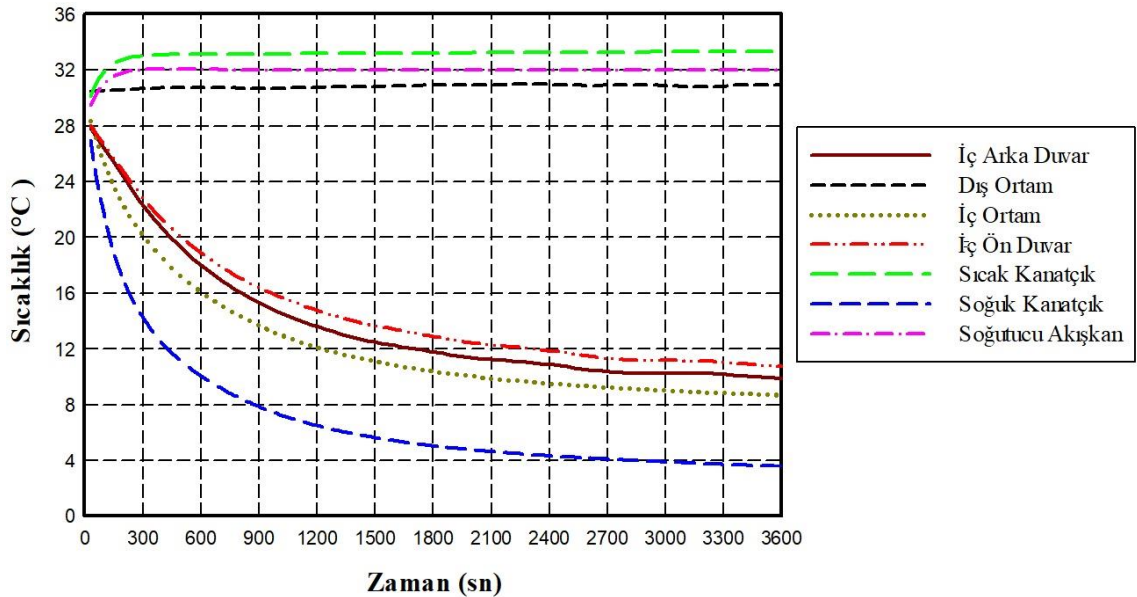
Şekil 21. 30 °C dış ortam sıcaklığında su ile gerçekleştirilen testler

Söz konusu şartlar altında çalışan sistemin ortalama COP değeri Şekil 22’de gösterildiği gibi 0.44 olarak bulunmuştur.



Şekil 22. 30 °C dış ortam sıcaklığında su ile gerçekleştirilen testler için COP eğrisi

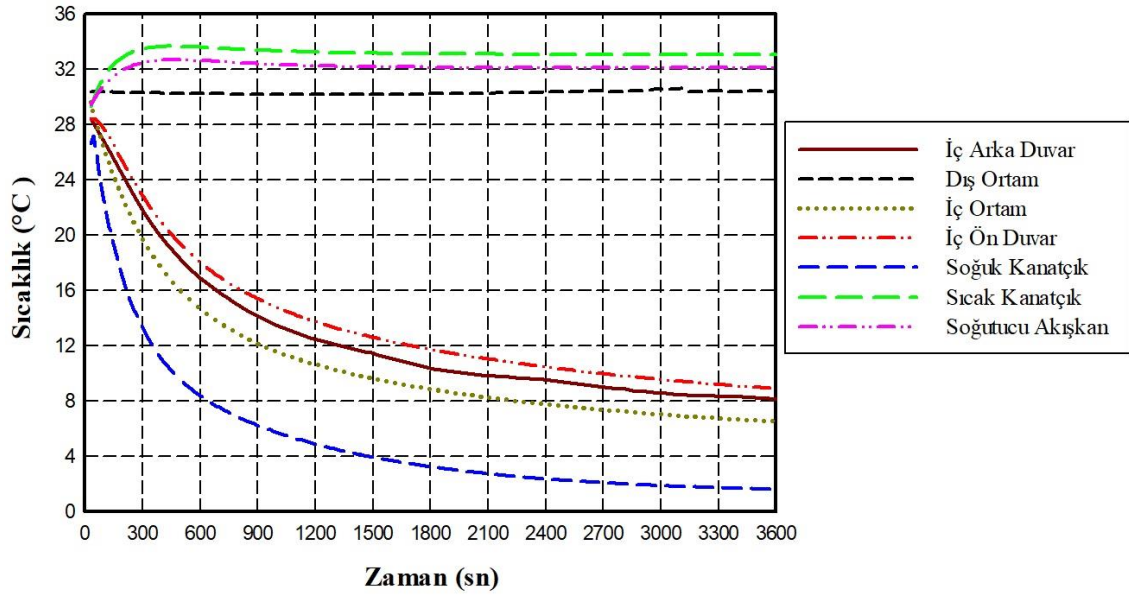
Aynı dış ortam koşullarında nanoakışkanlar ile yapılan testlerde yine %0.1 karışım oranında SiO₂-Su nanoakışkanı kullanılan durumda soğutucu kabin sıcaklığında referans duruma göre en yakın sonuçlar elde edilmiştir. Soğuk kanatçık sıcaklığı bu durum için Şekil 23'te gösterildiği gibi en düşük 3.5 °C olarak ölçülmüştür.



Şekil 23. 30 °C dış ortam sıcaklığında %0.1 SiO₂-Su nanoakışkanı ile gerçekleştirilen testler

Soğutucu kabin sıcaklık farkında referans duruma göre en yüksek artış ise Şekil 24'te gösterildiği gibi %1 Al₂O₃-Su nanoakışkanı kullanılan durumda elde edilmiştir. Bu

durumda soğuk kanatçık sıcaklığı 1.5 °C ye kadar düşmüştür.



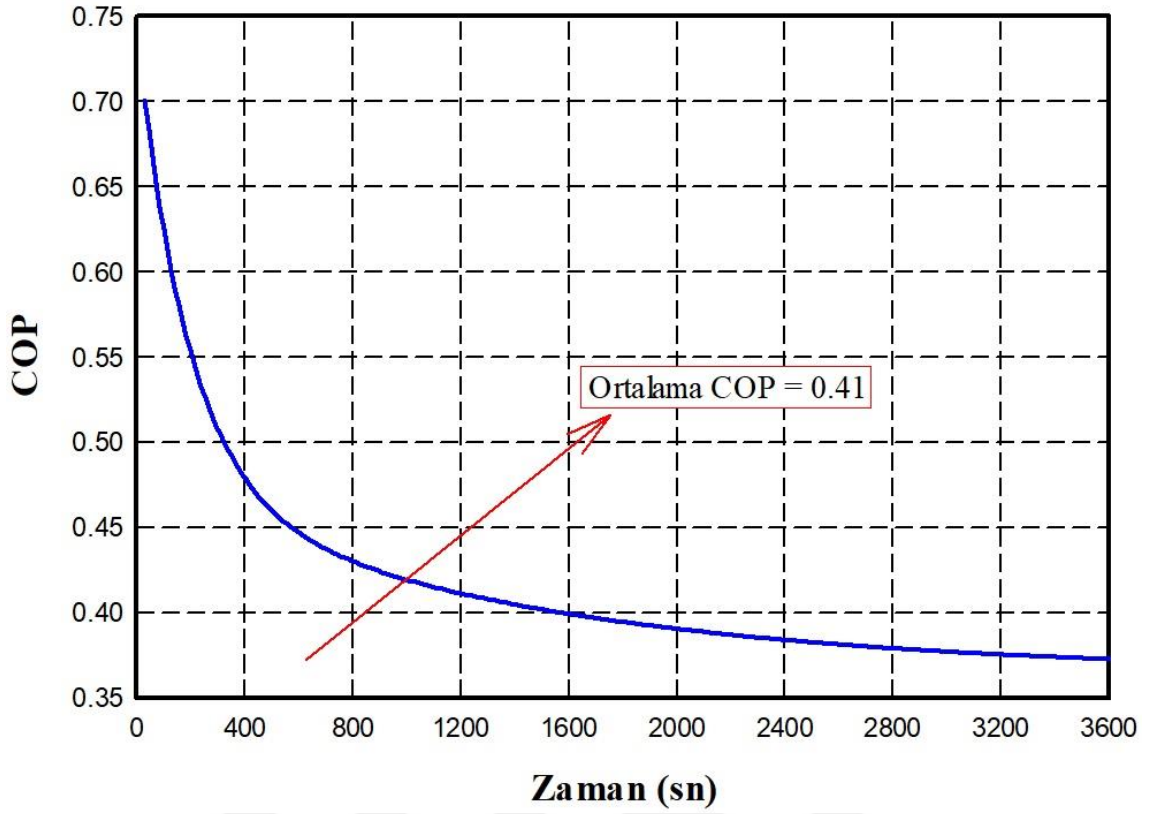
Şekil 24. 30 °C dış ortam sıcaklığında %1 Al₂O₃-Su nanoakışkanı ile gerçekleştirilen testler

30 °C dış ortam koşullarında gerçekleştirilen bütün testlere ait sonuçlar Tablo 8’de gösterilmiştir.

Tablo 8. 30 °C dış ortam sıcaklığında yüksüz durumda yapılan testlerde soğutucu kabin ilk ve son sıcaklıklarına ait veriler

Soğutucu Akışkan (%)	Su			Al ₂ O ₃			TiO ₂			SiO ₂		
	T _{ilk}	T _{son}	ΔT	T _{ilk}	T _{son}	ΔT	T _{ilk}	T _{son}	ΔT	T _{ilk}	T _{son}	ΔT
0,1	28,2	9,8	18,4	29,5	8,2	21,3	28,4	8	20,4	28,5	8,6	19,9
0,5	28,2	9,8	18,4	28,9	6,3	22,6	28,8	7,2	21,6	28,9	7,5	21,4
1	28,2	9,8	18,4	29,6	6,4	23,2	29,2	6,4	22,8	29,3	6,7	22,6

Bu şartlar altında yapılan testlerde en düşük COP değeri beklendiği gibi %1 karışım oranında Al₂O₃-Su nanoakışkanı kullanılan durum için 0.41 olarak elde edilmiş ve Şekil 25’te gösterilmiştir.



Şekil 25. 30 °C dış ortam sıcaklığında %1 Al₂O₃-Su nanoakışkanı ile gerçekleştirilen testler için COP eğrisi

3.2. Yüklü Durum Testleri

3.2.1. 18 °C Dış Ortam Koşulları

Soğutucu kabin içerisine iki adet 500 ml'lik pet şişede toplam 1 litrelik su bırakılarak bu ürünlerin kabin içerisindeki ilk ve son sıcaklık farkları takip edilmiştir. Soğutulan suyun sıcaklığı şişenin kapağından açılan delikten su içerisine bırakılan termokapıl yardımıyla ölçülmüştür. Yine ilk olarak nanopartikül ilave edilmeden su ile testler yapılmış ve sonuçlar referans durum olarak kullanılmıştır.

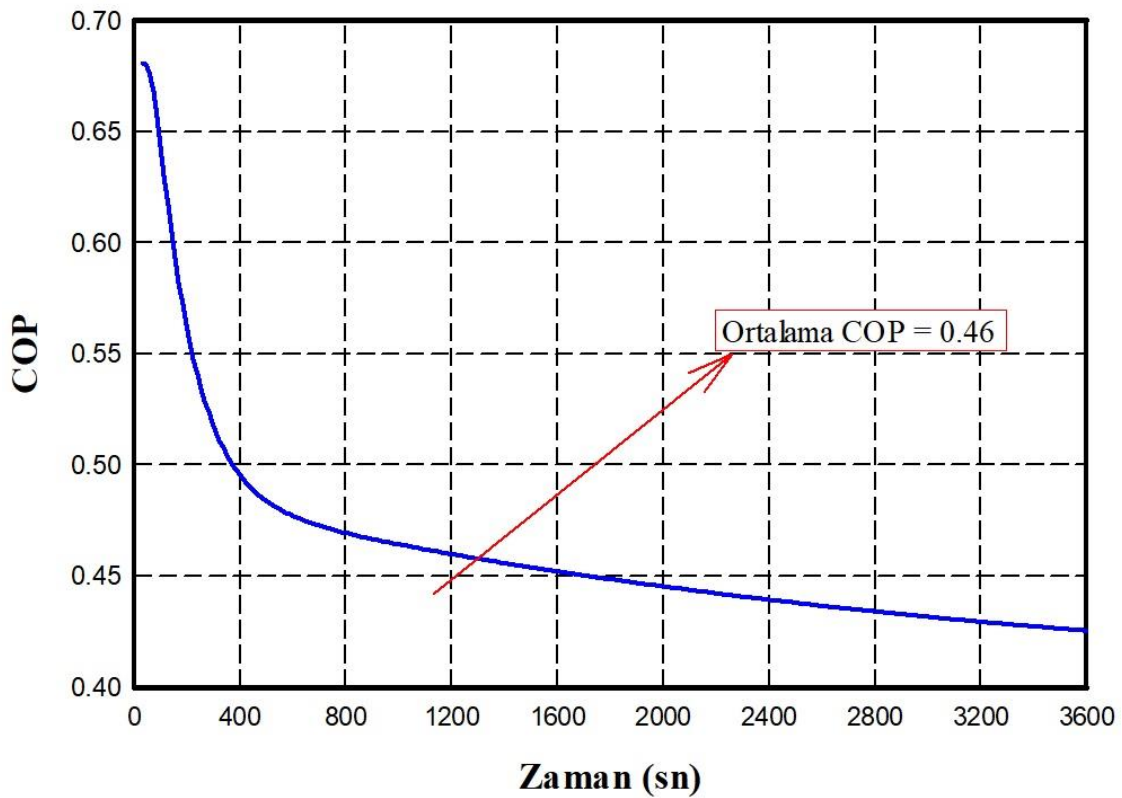
18 °C dış ortam koşullarında su ile yapılan testlerde dolap içerisinde soğumaya bırakılan suyun 16.5 °C den 11.6 °C ye düştüğü tespit edilmiştir. Tablo 9'da gösterildiği gibi yüklü durumda da nanoakışkan kullanılan durumlarda daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Ancak elde edilen sonuçların birbirine daha yakın olduğu görülmüştür. Bu durumun kabindeki soğutulacak ürün miktarı ve soğutma süresi ile alakalı olduğu düşünülmektedir. Yine de soğutucu akışkandaki nanopartikül oranı arttıkça elde edilen

sonuçların daha iyi olduğu ve soğutulan ürün sıcaklıklarında en yüksek sıcaklık farkının Al_2O_3 nanopartikülleri ile elde edildiği gözlenmiştir.

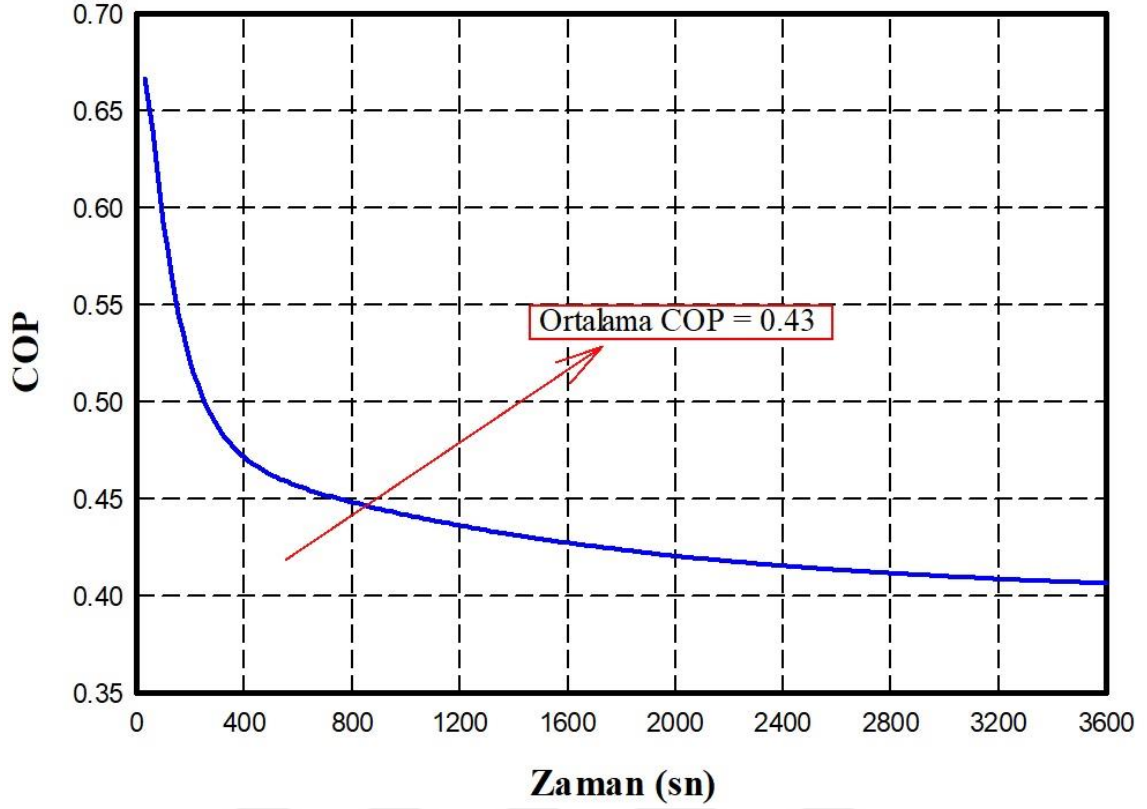
Tablo 9. 18 °C dış ortam sıcaklığında yüklü durumda yapılan testlerde soğutulan ürün ilk ve son sıcaklıklarına ait veriler

Soğutucu Akışkan (%)	Su			Al_2O_3			TiO_2			SiO_2		
	T_{ilk}	T_{son}	ΔT	T_{ilk}	T_{son}	ΔT	T_{ilk}	T_{son}	ΔT	T_{ilk}	T_{son}	ΔT
0,1	16,5	11,6	4,9	16,5	9,9	6,6	16,3	9,8	6,5	16,5	9,9	6,6
0,5	16,5	11,6	4,9	16,7	9,6	7,1	16,6	9,9	6,7	16,7	10	6,7
1	16,5	11,6	4,9	16,5	8,9	7,6	16,2	9	7,2	16,6	9,5	7,1

Söz konusu şartlar altında en yüksek COP değeri nanopartikül ilavesiz su ile yapılan testlerde 0.46, en düşük COP değeri ise %1 Al_2O_3 -Su nanoakışkanı için 0.43 olarak hesaplanmış ve Şekil 26 ile 27’de gösterilmiştir.



Şekil 26. 18 °C dış ortam sıcaklığında yüklü durumda su ile gerçekleştirilen testler için COP eğrisi



Şekil 27. 18 °C dış ortam sıcaklığında yüklü durumda %1 Al₂O₃-Su nanoakışkanı ile gerçekleştirilen testler için COP eğrisi

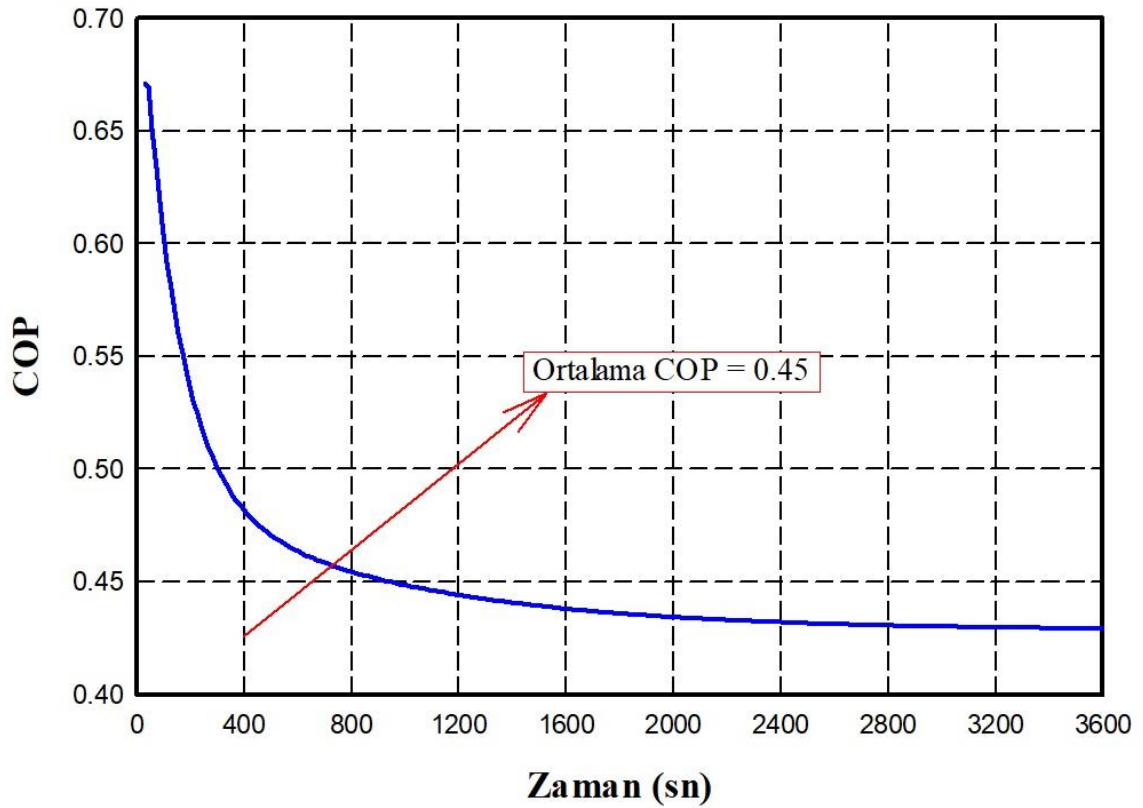
3.2.2. 24 °C Dış Ortam Koşulları

24 °C dış ortam koşullarında yapılan testlerde soğutulan ürün için elde edilen sıcaklık değerleri Tablo 10'da gösterilmiştir. Nanoakışkanlar arasında özellikle düşük karışım oranlarında sonuçların birbirine oldukça yakın olduğu gözlenmiştir. Karışımlardaki nanopartikül miktarı arttıkça partikül türünün soğutma üzerindeki etkisi de artmaktadır. En yüksek sıcaklık farkları her durumda Al₂O₃ nanopartikülleri ile elde edilmiştir. Her oranda nanoakışkan kullanılan testlerde referans duruma göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

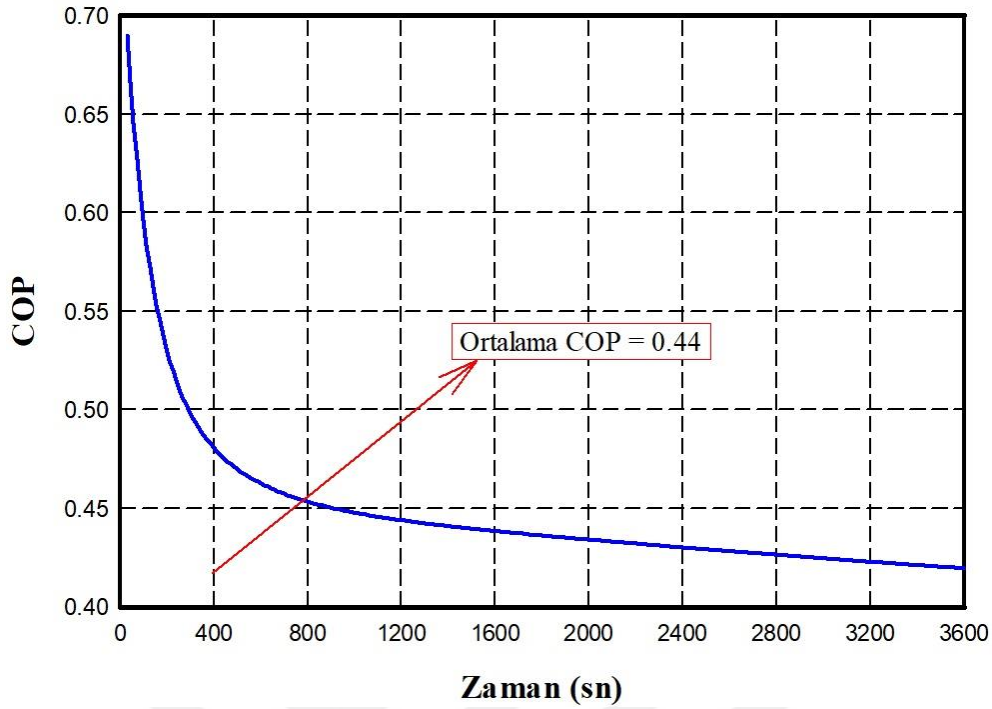
Tablo 10. 24 °C dış ortam sıcaklığında yüklü durumda yapılan testlerde soğutulan ürün ilk ve son sıcaklıklarına ait veriler

Soğutucu Akışkan	Su			Al ₂ O ₃			TiO ₂			SiO ₂		
(%)	T _{ilk}	T _{son}	ΔT	T _{ilk}	T _{son}	ΔT	T _{ilk}	T _{son}	ΔT	T _{ilk}	T _{son}	ΔT
0,1	16,5	11,7	4,8	16,4	10,9	5,5	16,8	11,5	5,3	16,3	11	5,3
0,5	16,5	11,7	4,8	16,7	10,7	6	16,9	11,2	5,7	16,8	11,3	5,5
1	16,5	11,7	4,8	16,6	10,2	6,4	16,8	11	5,8	17	11,4	5,6

Testlerde elde edilen COP değerleri ise birbirlerine oldukça yakındır. En yüksek COP değeri su ile yapılan testlerde 0.45 olarak elde edilmiştir. En düşük COP değeri %1 Al₂O₃-Su nanoakışkanı için 0.44 olarak hesaplanmış ve ilgili değerler Şekil 28 ile 29’da gösterilmiştir.



Şekil 28. 24 °C dış ortam sıcaklığında yüklü durumda su ile gerçekleştirilen testler için COP eğrisi



Şekil 29. 24 °C dış ortam sıcaklığında yüklü durumda %1 Al_2O_3 -Su nanoakışkanı ile gerçekleştirilen testler için COP eğrisi

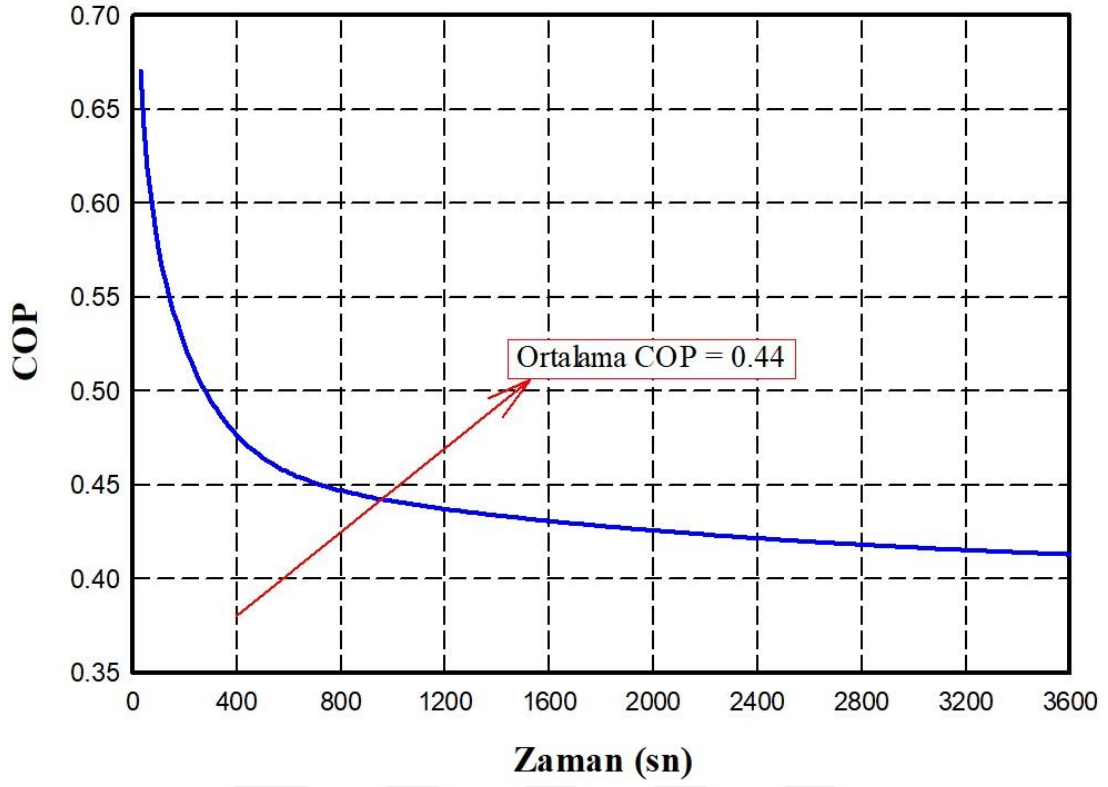
3.2.3. 30 °C Dış Ortam Koşulları

30 °C dış ortam koşullarında yüklü durumda yapılan testlerde soğutulan ürüne ait veriler Tablo 11’de gösterilmiştir. Kabin içerisindeki su için en yüksek sıcaklık farkı Al_2O_3 -Su nanoakışkanı ile 7 °C olarak gözlenmiştir.

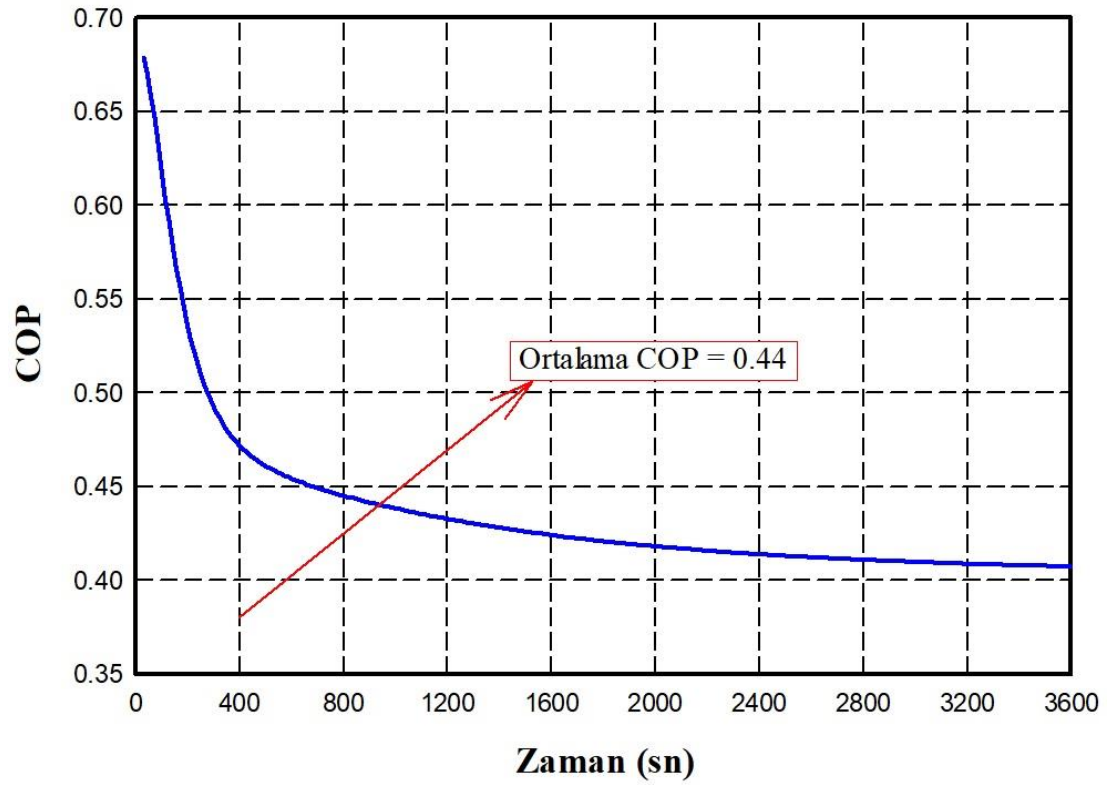
Tablo 11. 30 °C dış ortam sıcaklığında yüklü durumda yapılan testlerde soğutulan ürün ilk ve son sıcaklıklarına ait veriler

Soğutucu Akışkan (%)	Su			Al_2O_3			TiO_2			SiO_2		
	T_{ilk}	T_{son}	ΔT	T_{ilk}	T_{son}	ΔT	T_{ilk}	T_{son}	ΔT	T_{ilk}	T_{son}	ΔT
0,1	18,4	13,5	4,9	25,3	19	5,9	25,2	19,6	5,6	25,2	20	5,2
0,5	18,4	13,5	4,9	25,3	18,7	6,4	25,1	19,2	5,9	25,6	19,8	5,8
1	18,4	13,5	4,9	25,2	18,1	7	25,2	18,4	6,8	25,4	19	6,4

Ayrıca şekil 30 ve 31’de görüldüğü gibi ortalama COP değerleri arasında belirgin bir değişim gözlemlenmemiştir.



Şekil 30. 30 °C dış ortam sıcaklığında yüklü durumda su ile gerçekleştirilen testler için COP eğrisi

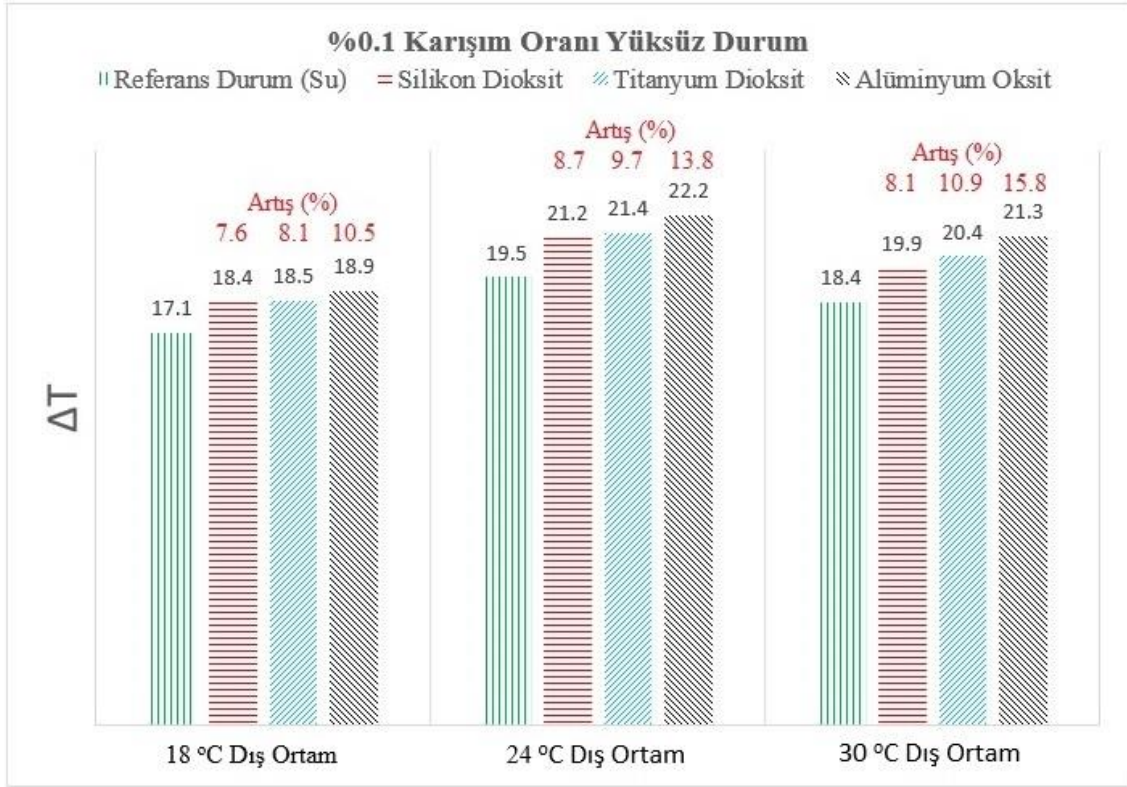


Şekil 31. 30 °C dış ortam sıcaklığında yüklü durumda %1 Al₂O₃-Su nanoakışkanı ile gerçekleştirilen testler için COP eğrisi

4. TARTIŞMA ve SONUÇLAR

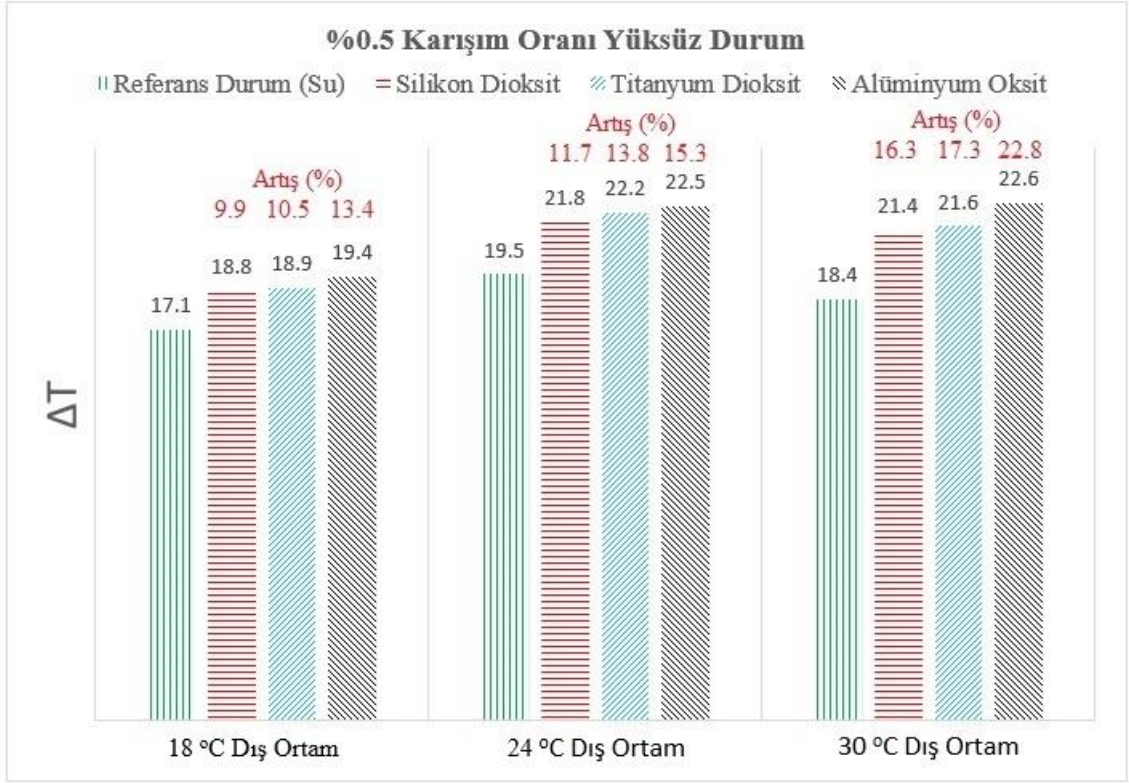
Bir termoelektrik soğutma dolabının temel soğutma performansını artırmak amacıyla, Peltier'in sıcak tarafından daha fazla ısı atımını temel prensip olarak kabul eden ve bunu sağlamak amacıyla bu yüzeyde su soğutmalı bir blok kullanılan ve soğutma suyuna çeşitli nanopartiküller ilave edilerek ısı aktarımındaki iyileşmelerin gözlemlendiği bir sistem tasarlanmıştır. Al_2O_3 , TiO_2 ve SiO_2 nanopartikülleri ile kütlece üç farklı karışım oranlarında nanoakışkanlar hazırlanmıştır. Gerçekçi bir yaklaşım olması amacıyla üç farklı dış ortam sıcaklık değerlerinde birer saat süreyle yüklü durum ve yüksüz durumlar için testler gerçekleştirilmiş ve sonuçlar referans durum olarak kabul edilen nanopartikül ilavesiz su ile yapılan testlerle karşılaştırılmıştır. Her durumda nanoakışkan kullanılan testlerin referans durumlara göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Bununla birlikte nanoakışkanlar arasında alüminyum oksit nanopartikülleri ile hazırlanan nanoakışkanların diğer nanoakışkanlardan daha yüksek iyileşmeler ortaya koyduğu saptanmıştır. Titanyum dioksit ile silikon dioksit nanopartikülleri ile hazırlanan nanoakışkanlar birbirlerine yakın sonuçlar verse de titanyum dioksitin biraz daha verimli olduğu görülmüştür. Ayrıca her durumda karışımdaki nanopartikül oranı arttıkça sistemden elde edilen verimin de arttığı tespit edilmiştir. Bu sonuçlar ilgili nanopartiküllerin literatürde belirtilen ısı iletim kapasiteleri ile oldukça uyumludur (Sharma vd., 2016). Nanoakışkan kullanılan durumlarda soğutma kabini ve soğutulan ürün sıcaklıklarında elde edilen önemli iyileşmelere rağmen, sistemlerin COP değerleri referans duruma göre önemli bir değişiklik göstermemektedir. Yine de grafikler dikkatli incelendiğinde test periyodunun başlarında COP değerlerinin daha yüksek ve zamanla üstel bir düşüşün yaşandığı fark edilmektedir. Bu durum Peltier etkisinin bir sonucudur. Sıcak ve soğuk kanatçık sıcaklıkları arasındaki sıcaklık farkı nanoakışkan kullanımı ile arttığından, COP değerlerinde düşüşler yaşanmaktadır. Bu sonuç ta beklenen ve literatür ile uyumlu bir sonuçtur. Sistemlerden elde edilen COP değerleri Peltier şirketinin sağladığı ürün bilgi formundaki COP değerlerine çok yakın olarak bulunmuştur (URL-1, 2020).

İlk olarak kütlece %0.1 karışım oranında yüksüz durumda yapılan testlerde soğutma kabini sıcaklık farkında en yüksek iyileşme, 30 °C dış ortam koşullarında Al_2O_3 -Su nanoakışkanı ile %15.8 olarak elde edilmiştir. Söz konusu şartlarda yapılan testlerde elde edilen iyileşmeler Şekil 32'de gösterilmiştir.

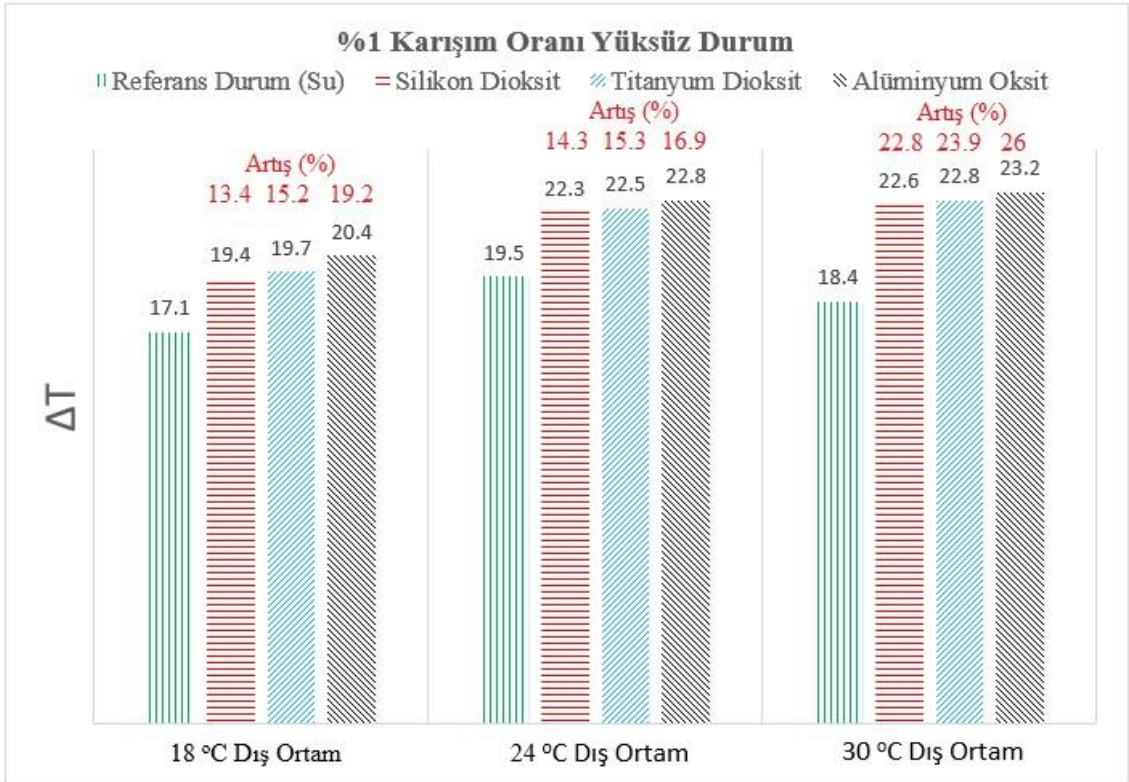


Şekil 32. % 0.1 Nanopartikül karışım oranı için farklı ortam sıcaklıklarında soğutucu kabin sıcaklık farklarının karşılaştırılması.

Yüksüz durumda nanopartikül oranı %0.1 den %0.5 e artırıldığında ΔT değerlerinin her üç nanoakışkan için de arttığı gözlenmiştir. Şekil 33'te görüldüğü gibi referans duruma göre en büyük artış 30 °C dış ortam koşullarında %22.8 olarak Al_2O_3 -Su nanoakışkanıyla elde edilmiştir. En düşük artış ise 18 °C dış ortam koşullarında SiO_2 -Su nanoakışkanıyla %9.9 olarak elde edilmiştir. Nanopartikül oranı %1 e çıkarıldığında ise referans duruma göre ΔT değerleri daha da artmıştır. Şekil 34'te gösterildiği gibi en yüksek artış 30 °C dış ortam koşullarında %26 olarak Al_2O_3 -Su nanoakışkanıyla elde edilmiştir. Bu değer yüksüz durum koşullarında elde edilen en iyi değerdir. En düşük artış ise yine 18 °C dış ortam koşullarında SiO_2 -Su nanoakışkanıyla %13.4 olarak elde edilmiştir.



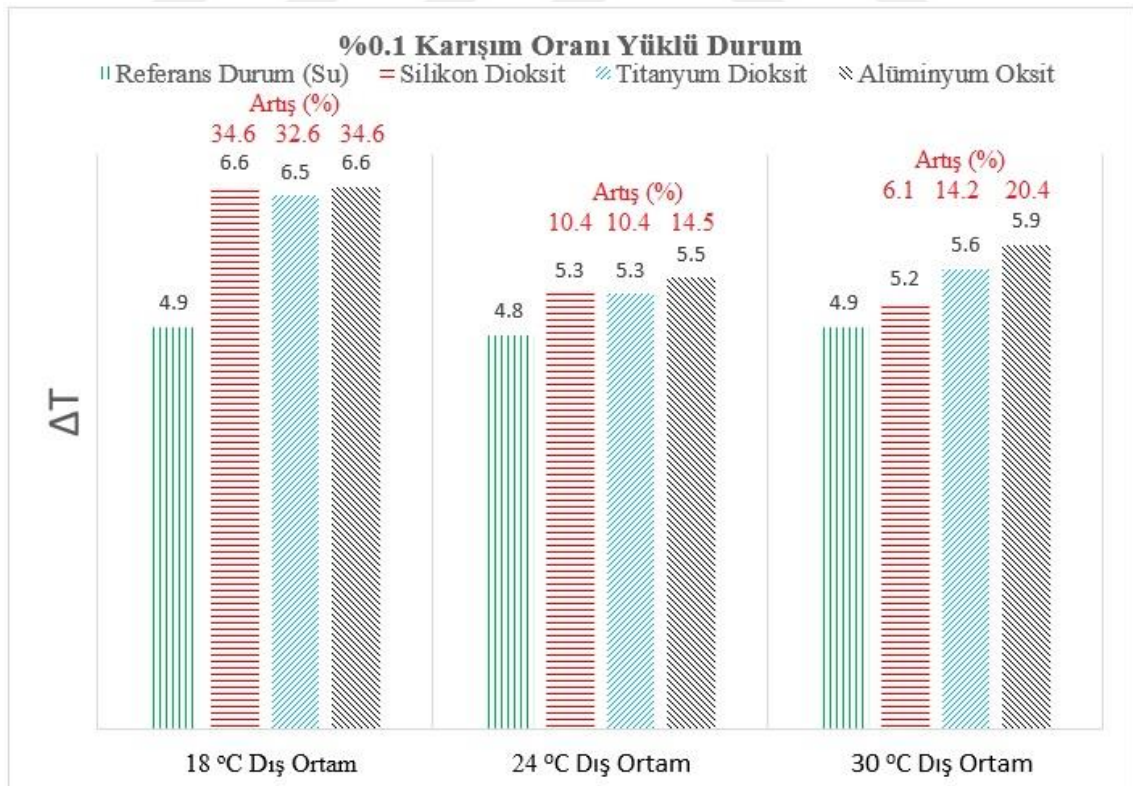
Şekil 33. % 0.5 Nanopartikül karışım oranı için farklı ortam sıcaklıklarında soğutucu kabin sıcaklık farklarının karşılaştırılması.



Şekil 34. % 1 Nanopartikül karışım oranı için farklı ortam sıcaklıklarında soğutucu kabin sıcaklık farklarının karşılaştırılması.

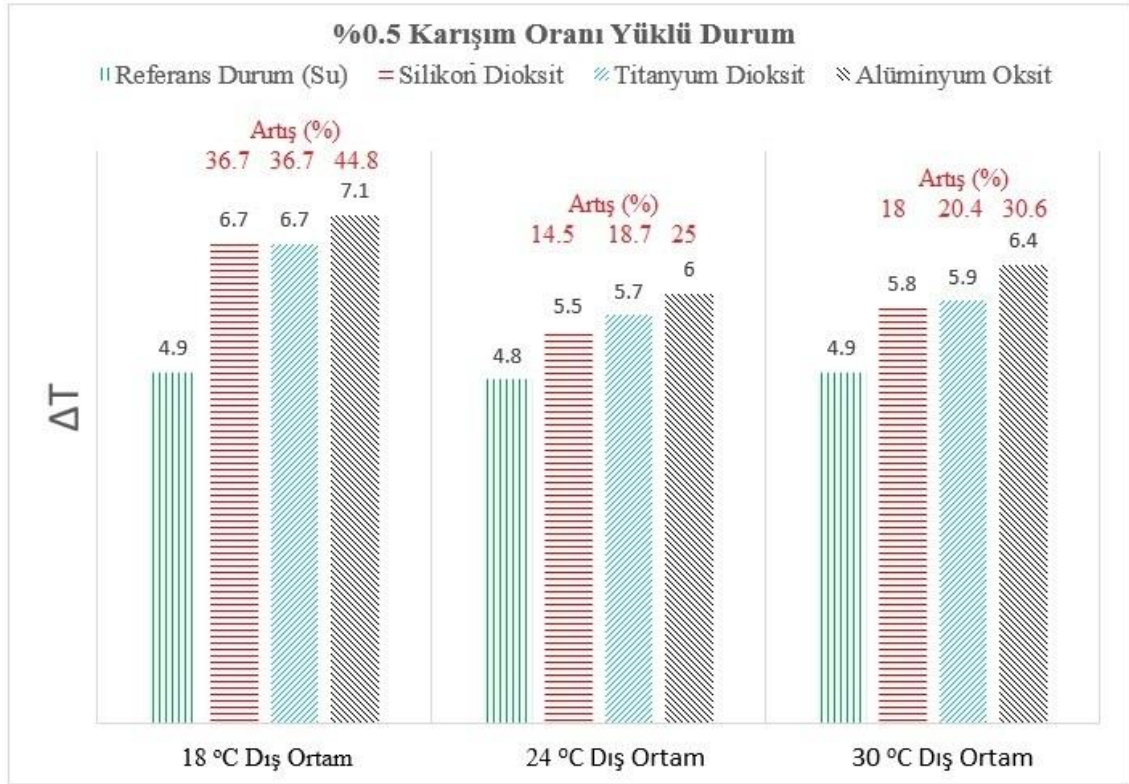
Yüksüz durum testlerinin ardından dolaba 1 litre su bırakılarak soğutulan ürün sıcaklığındaki değişimlerin incelendiği yüklü durum testlerinde de nanoakışkan kullanımının soğutucu dolap performansını artırdığı gözlenmiştir.

İlk olarak %0.1 karışım oranında yapılan testler referans durumla karşılaştırıldığında en iyi sonuçların 18 °C dış ortam koşullarında elde edildiği görülmüştür. Bu durum diğer karışım oranlarında da benzer şekilde gözlenmiştir. Testler sırasında dolap içerisine soğumaya bırakılan ürünlerin ilk sıcaklıkları testlerin yapıldığı dış ortam sıcaklıklarına yakın olarak ayarlanıp sonra testlere başlandığından en iyi sonuçların en düşük sıcaklıklarda testlere başlanan 18 °C dış ortam koşullarında elde edilmesi beklenen bir sonuçtur. Şekil 35'te gösterildiği gibi %0.1 karışım oranında yüklü durumda yapılan testlerde soğutulan ürün ilk ve son sıcaklık farkı için referans duruma göre en yüksek artış 18 °C dış ortam koşullarında Al₂O₃-Su ve SiO₂-Su nanoakışkanıyla %34.6 olarak elde edilmiştir. Aynı dış ortam koşullarında TiO₂-Su nanoakışkanıyla elde edilen sonuçların da diğerlerine oldukça yakın olduğu görülmüştür. En düşük artış ise 30 °C dış ortam koşullarında %6.1 olarak SiO₂-Su nanoakışkanıyla elde edilmiştir.

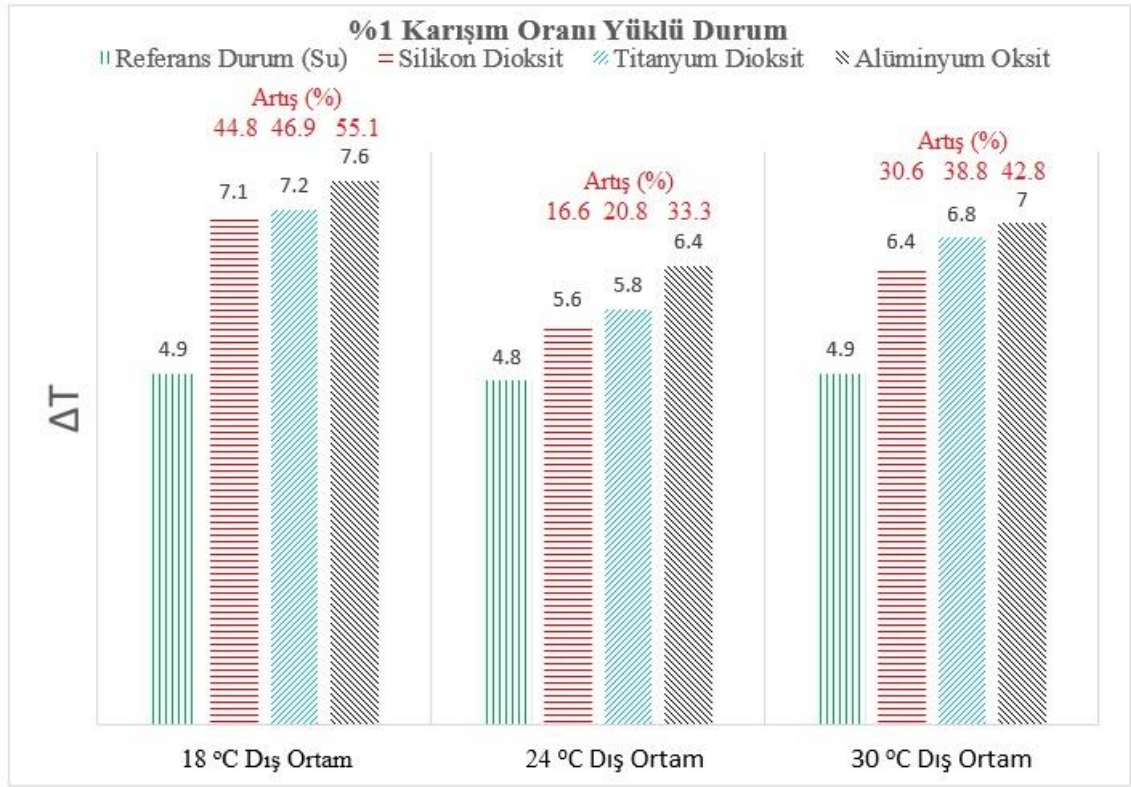


Şekil 35. % 0.1 Nanopartikül karışım oranında yüklü durum için farklı ortam sıcaklıklarında soğutulan ürün sıcaklık farklarının karşılaştırılması.

Yüksüz durum testlerinde olduğu gibi yüklü durum testlerinde de nanopartikül oranı arttıkça soğutucu dolap performansının arttığı gözlenmiştir. Hem %0.5 hem de %1 karışım oranlarında soğutulan ürün sıcaklık farkında en yüksek artışlar 18 °C dış ortam koşullarında Al₂O₃-Su nanoakışkanıyla sırasıyla %44.8 ve %55.1 olarak elde edilmiş, sonuçlar şekil 36 ile 37’de gösterilmiştir.

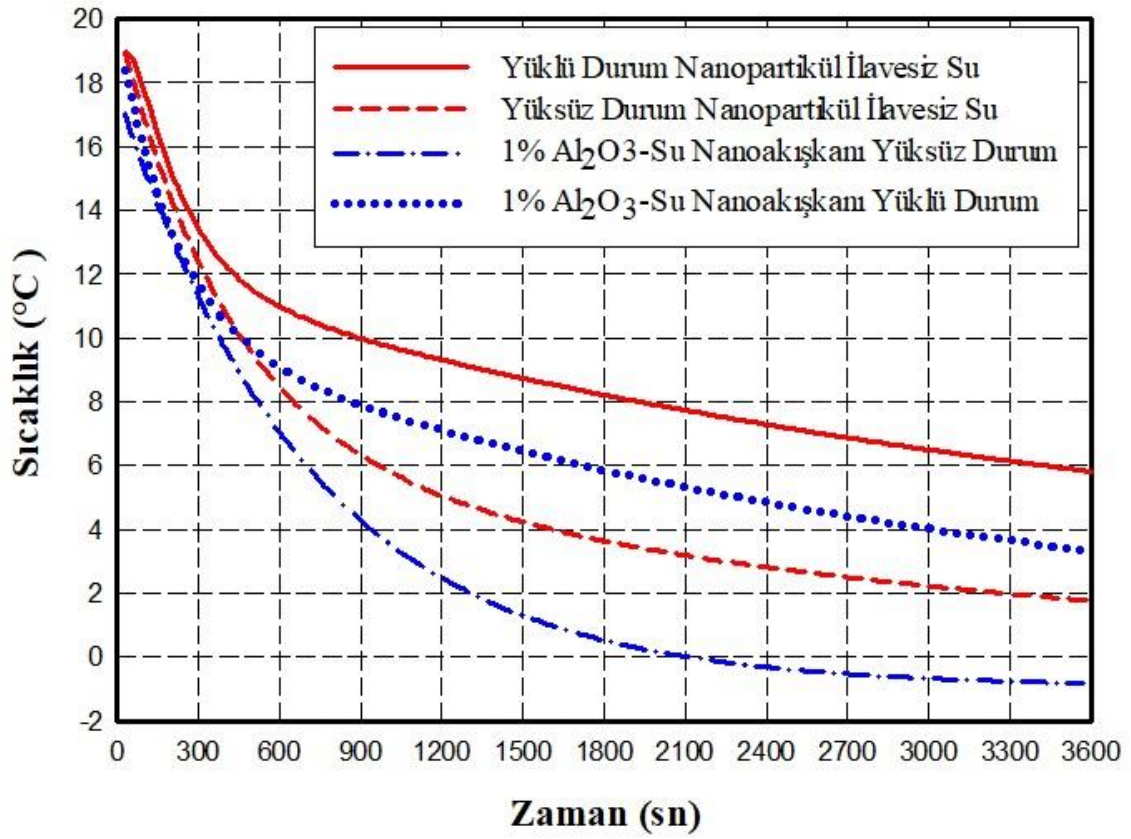


Şekil 36. %0.5 Nanopartikül karışım oranında yüklü durum için farklı ortam sıcaklıklarında soğutulan ürün sıcaklık farklarının karşılaştırılması.



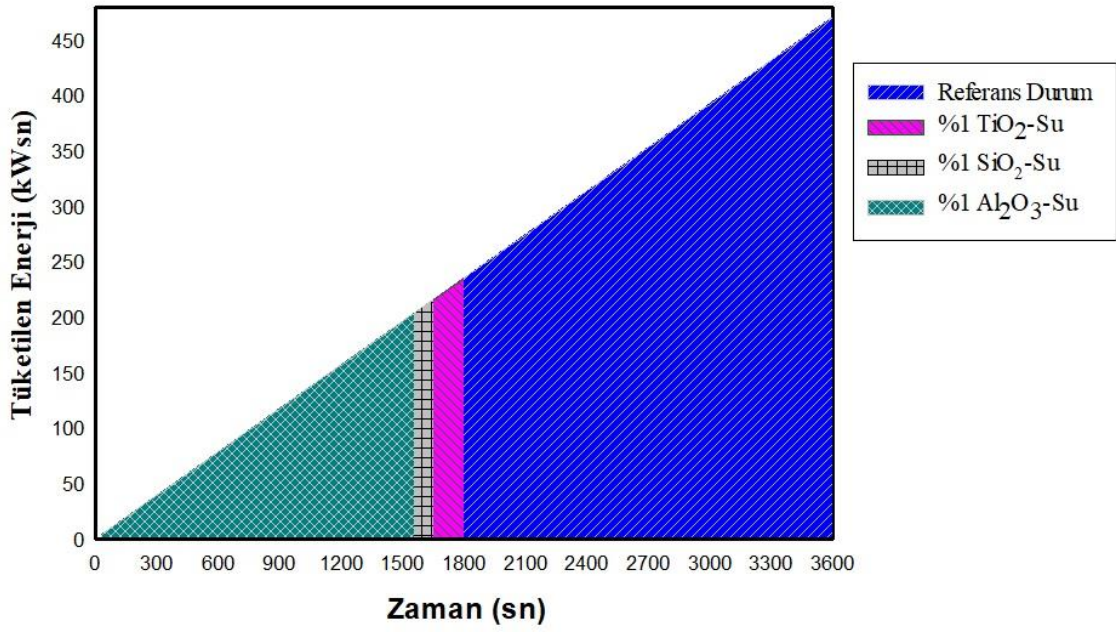
Şekil 37. %1 Nanopartikül karışım oranında yüklü durum için farklı ortam sıcaklıklarında soğutulan ürün sıcaklık farklarının karşılaştırılması.

Yüklü ve yüksüz durumlar için soğutucu dolap sıcaklıkları aynı koşullar altında kıyaslandığında yüksüz durum şartlarında dolap sıcaklıklarının hem su hem de nanoakışkan kullanılan durumlarda Şekil 38’de gösterildiği gibi daha fazla düştüğü gözlenmiştir. Bunun sebebi kabin içerisine bırakılan ürünün soğumaya karşı ekstra bir sıcaklık direnci göstermesidir.



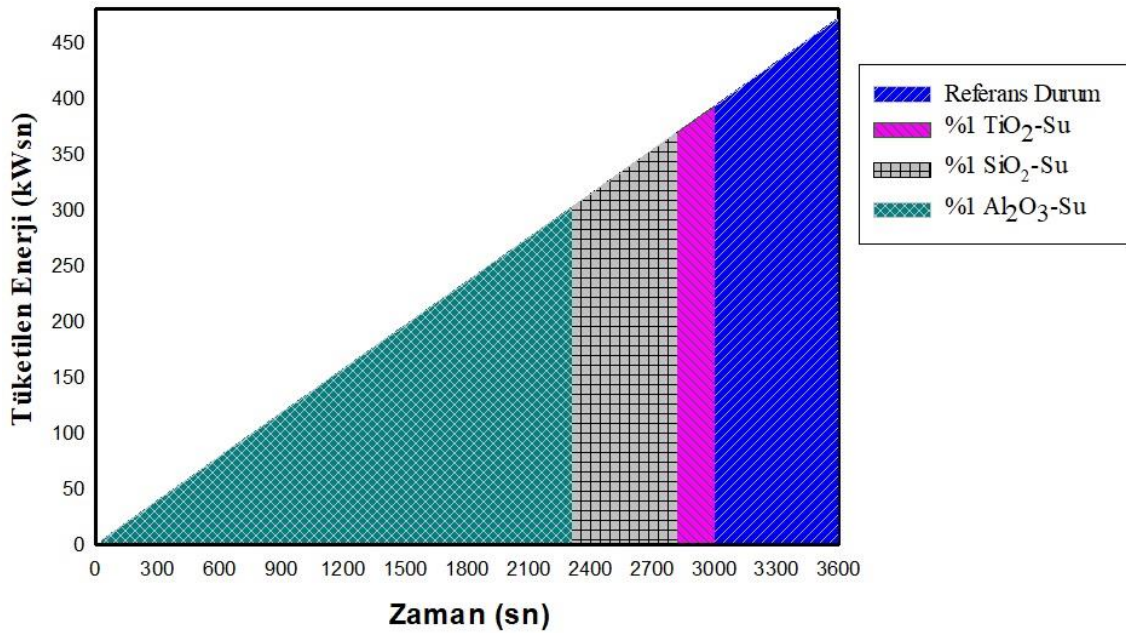
Şekil 38. Aynı dış ortam koşullarında yüklü durum ve yüksüz durum karşılaştırılması

Sistemin tükettiği elektriksel yüke karşılık soğutma hızlarını karşılaştıracak olursak, nanoakışkan kullanılan durumlarda soğutucu kabin sıcaklığı istenilen değerlere daha erken sürelerde düştüğünden daha az enerji tüketmektedir. Örneğin 18 °C dış ortam koşullarında yüksüz referans durumda 3600 saniye süre sonunda soğutucu kabin sıcaklığı 1.7 °C olarak ölçülmüştür. Aynı şartlar altında %1 karışım oranında Al₂O₃-Su nanoakışkan kullanılan durumda ise aynı sıcaklık değeri 1560 saniye sonunda elde edilmiştir. Şekil 39’da gösterildiği gibi bu soğutma işlemi için referans durumda 471.6 kWsn enerji gerekirken, söz konusu nanoakışkanın kullanıldığı durumda bu değer 204.4 kWsn dir. Bu durum özellikle sürekli çalışmayan, ancak hızlı bir şekilde ürün soğutmak istenilen uygulamalarda (piknik tipi buzdolapları, araç torpido soğutucuları, organ ve ilaç taşıma kutuları gibi) enerji kaynaklarının verimli kullanılması açısından önemli avantajlar sağlamaktadır.



Şekil 39. 18 °C ortam koşullarında elektrik tüketim hızlarının karşılaştırılması

Yüklü durumda da soğutulan ürün sıcaklıklarında referans durumunda 3600 saniye sonunda elde edilen sıcaklık değerine nanoakışkan kullanılan durumlarda daha erken sürelerde ulaşılmıştır. Şekil 40' ta gösterildiği gibi 24 °C dış ortam koşullarında referans durumunda 3600 saniye sonunda elde edilen 11.7 °C soğutulan ürün sıcaklığına en erken %1 karışım oranında Al₂O₃-Su nanoakışkanı ile 2310 saniye sonunda ulaşılmıştır.



Şekil 40. 24 °C ortam koşullarında yüklü durumda elektrik tüketim hızlarının karşılaştırılması

Son olarak soğutucu dolabın üretim aşamalarında yapılmış olabilecek hatalar sonucu herhangi bir yerinde ısı kaçağı olup olmadığı termal kamera yardımıyla kontrol edilmiş ve Şekil 41’de gösterilmiştir.



Şekil 41. Soğutucu dolabın çeşitli çalışma koşullarında termal kamera görüntüleri

Sonuç olarak tasarlanıp üretilen ve testleri tamamlanan sistemden elde edilen veriler aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir:

- 18 °C dış ortam koşullarında yüksüz durumda gerçekleştirilen testlerde referans duruma göre soğutucu dolap sıcaklık farkında en yüksek iyileşmeler %0.1, 0.5 ve 1 karışım oranları için Al_2O_3 -Su nanoakışkanıyla sırasıyla %10.5, 13.4 ve 19.2 olarak bulunmuştur.
- 24 °C dış ortam koşullarında yüksüz durumda gerçekleştirilen testlerde referans duruma göre soğutucu dolap sıcaklık farkında en yüksek iyileşmeler %0.1, 0.5 ve 1 karışım oranları için Al_2O_3 -Su nanoakışkanıyla sırasıyla %13.8, 15.3 ve 16.9 olarak bulunmuştur.
- 30 °C dış ortam koşullarında yüksüz durumda gerçekleştirilen testlerde referans duruma göre soğutucu dolap sıcaklık farkında en yüksek iyileşmeler %0.1, 0.5 ve 1 karışım oranları için Al_2O_3 -Su nanoakışkanıyla sırasıyla %15.8, 22.8 ve 26 olarak bulunmuştur.

- 18 °C dış ortam koşullarında yüklü durumda gerçekleştirilen testlerde referans duruma göre soğutulan ürün sıcaklık farkında en yüksek iyileşmeler %0.1, 0.5 ve 1 karışım oranları için Al_2O_3 -Su nanoakışkanıyla sırasıyla %34.6, 44.8 ve 55.1 olarak bulunmuştur.
- 24 °C dış ortam koşullarında yüklü durumda gerçekleştirilen testlerde referans duruma göre soğutulan ürün sıcaklık farkında en yüksek iyileşmeler %0.1, 0.5 ve 1 karışım oranları için Al_2O_3 -Su nanoakışkanıyla sırasıyla %14.5, 25 ve 33.3 olarak bulunmuştur.
- 30 °C dış ortam koşullarında yüklü durumda gerçekleştirilen testlerde referans duruma göre soğutulan ürün sıcaklık farkında en yüksek iyileşmeler %0.1, 0.5 ve 1 karışım oranları için Al_2O_3 -Su nanoakışkanıyla sırasıyla %20.4, 30.6 ve 42.8 olarak bulunmuştur.
- 18 °C dış ortam koşullarında yüksüz durumda referans durum için 0.44 olarak hesaplanan COP değerinin aynı şartlarda en düşük Al_2O_3 -Su nanoakışkanı için 0.41'e düştüğü görülmüştür.
- 24 °C dış ortam koşullarında yüksüz durumda referans durum için 0.42 olarak hesaplanan COP değerinin aynı şartlarda en düşük Al_2O_3 -Su nanoakışkanı için 0.4'e düştüğü görülmüştür.
- 30 °C dış ortam koşullarında yüksüz durumda referans durum için 0.44 olarak hesaplanan COP değerinin aynı şartlarda en düşük Al_2O_3 -Su nanoakışkanı için 0.41'e düştüğü görülmüştür.
- 18 °C dış ortam koşullarında yüklü durumda referans durum için 0.46 olarak hesaplanan COP değerinin aynı şartlarda en düşük Al_2O_3 -Su nanoakışkanı için 0.43'e düştüğü görülmüştür.
- 24 °C dış ortam koşullarında yüklü durumda referans durum için 0.45 olarak hesaplanan COP değerinin aynı şartlarda en düşük Al_2O_3 -Su nanoakışkanı için 0.44'e düştüğü görülmüştür.
- 30 °C dış ortam koşullarında yüklü durumda referans durum için 0.44 olarak hesaplanan COP değerinin aynı şartlarda en düşük Al_2O_3 -Su nanoakışkanı için değişmediği görülmüştür.

5. ÖNERİLER

- Termoelektrik soğutma sistemlerinde verimi artırmak amacıyla Peltier'in sıcak tarafından daha fazla ısı atılması hedef olarak belirlenebilir.
- Peltier'in sıcak tarafından daha fazla ısı atımı amacıyla bu yüzeye sıvı soğutmalı bir sistem entegre edilebilir.
- Sıvı soğutmalı sistem kullanıldığı durumda saf sıvı yerine içerisine nanoakışkan kullanımının ısı aktarımını artıracığı düşünülebilir.
- Nanoakışkan kullanılması durumunda doğru nanoakışkanın seçimi konusunda çalışmalar yapılabilir.
- Nanoakışkan seçimine karar verilmesi durumunda kullanılan nanopartikül miktarının ısı aktarımı üzerindeki etkisi göz önünde bulundurulmalıdır.

KAYNAKLAR

- Afzal, A., Samee, M. and Razak, A. (2017). Experimental thermal investigation of CuO-W nanofluid in circular minichannel. *Amse Journals-Amse Iieta Publication*, 86(2), 335-344.
- Ahammed, N., Asirvatham, L.G. and Wongwises, S. (2016). Thermoelectric cooling of electronic devices with nanofluid in a multiport minichannel heat exchanger. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 74, 81-90.
- Alam, H. and Ramakrishna, S. (2013). A review on the enhancement of figure of merit from bulk to nano-thermoelectric materials. *Nano Energy*, 2(2), 190-212.
- Angayarkanni, S.A. and Philip, J. (2015). Review on thermal properties of nanofluids: Recent developments. *Advances in Colloid and Interface Science*, 225, 146-176.
- Arthur, O. and Karim, MA. (2016). An investigation into the thermophysical and rheological properties of nanofluids for solar thermal applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, 739-755.
- Bahiraee, M. Heshmatian, S. and Keshavarzi, M. (2018). Multi-attribute optimization of a novel micro liquid block working with green graphene nanofluid regarding preferences of decision maker. *Applied Thermal Engineering*, 143, 11-21.
- Chang, Y.W., Chang, C.C., Ke, M.T. and Chen, S.L. (2009). Thermoelectric air-cooling module for electronic devices. *Applied Thermal Engineering*, 29, 2731-2737
- Chein, R. and Huang, G. (2004). Thermoelectric cooler application in electronic cooling. *Applied Thermal Engineering*, 24(14-15), 2207-2217.
- Chen, L., Meng, F., Xie, Z., Ding, Z., Xia, S. and Feng, H. (2020). Thermodynamic modeling and analysis of an air-cooled small space thermoelectric cooler. *The European Physical Journal Plus*, 135(1), 80-98.
- Chen, W., Liao, C. and Hung, C. (2012). A numerical study on the performance of miniature thermoelectric cooler affected by Thomson effect. *Applied Energy*, 89(1), 464-473.
- Cheng, CH. and Huang, SY. (2012). Development of a non-uniform-current model for predicting transient thermal behavior of thermoelectric coolers. *Applied Energy*, 100, 326-335.
- Chu, R. C. (2005). The challenges of electronic cooling: Past, current and future. *Electronic Packaging*, 126(4), 491-500.
- Coleman, HW. and Steele, WG. (2018). Experimentation, Validation and Uncertainty Analysis for Engineers. Books.google.com, 365p.
- Cuce, E., Cuce, P.M., Guclu, T. and Besir, A.B. (2020). On the use of nanofluids in solar

- energy applications. *Journal of Thermal Science*, 29, 1-22.
- Cuce, E., Guclu, T. and Cuce, P.M. (2020). Improving thermal performance of thermoelectric coolers (TECs) through a nanofluid driven water to air heat exchanger design: An experimental research. *Energy Conversion and Management*, 214, 112893.
- Dizaji, H.S., Jafarmadar, S., Khalilarya, S. and Moosavi, A. (2016). An exhaustive experimental study of a novel air-water based thermoelectric cooling unit. *Applied Energy*, 181, 357-366.
- Doğru, M., Midilli, A. and Howarth, C. R. (2002). Gasification of sewage sludge using a throated downdraft gasifier and uncertainty analysis. *Fuel Processing Technology*, 75(1), 55-82.
- Du, CY. and Wen, CD. (2011). Experimental investigation and numerical analysis for one-stage thermoelectric cooler considering Thomson effect. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 54(23), 4875-4884.
- Duangthongsuk, W. and Wongwises, S. (2010). An experimental study on the heat transfer performance and pressure drop of TiO₂-water nanofluids flowing under a turbulent flow regime. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 53, 334–344.
- Esfe, M.H., Naderi, A., Akbari, M., Afrand, M. and Karimipour, A. (2015). Evaluation of thermal conductivity of COOH-functionalized MWCNTs/water via temperature and solid volume fraction by using experimental data and ANN methods. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 121, 1273-1278.
- Finn, J., Ewing, D.J., Ma, L. and Wanger, J. (2011). Nanofluid augmented coolant rail thermoelectric cooling of electronic systems—Modeling and analysis. *American Control Conference*, USA, 29 June-1 July, 3077-3083.
- Gao, Y.W., Lv, H., Wang, X.D. and Yan, W.M. (2017). Enhanced Peltier cooling of two-stage thermoelectric cooler via pulse currents. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 114, 656-663.
- Gilott, M., Jiang, L. and Riffat, S. (2010). An investigation of thermoelectric cooling devices for small-scale space conditioning applications in buildings. *International Journal of Energy Research*, 34(9), 776-786.
- Gould, C.A., Shamma, N.Y.A., Grainger, S. and Taylor, I. (2011). Thermoelectric cooling of microelectronic circuits and waste heat electrical power generation in a desktop personal computer. *Materials Science and Engineering: B*, 176(4), 316-325.
- Guclu, T. and Cuce, E. (2019). Thermoelectric coolers (TECs): From theory to practice. *Journal of Electronic Materials*, 48(1), 211-230.
- Guclu, T., Cuce, E. and Besir, AB. (2017). A systematic overview of thermoelectric coolers (TECs). *International Conference on Advanced Engineering Technologies*,

Bayburt, 21-23 September.

- Guclu, T., Cuce, P.M., Besir, A.B. and Cuce, E. (2017). Thermoelectric coolers (TECs) for potential air-conditioning applications in buildings. *First International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies*, Tokat, 2-4 November, 256-263.
- Gupta, M., Singh V., Kumar, R. and Said, Z. (2017). A review on thermophysical properties of nanofluids and heat transfer applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 74, 638–670.
- Han, T., Gong, G., Liu, Z. and Zhang, L. (2014). Optimum design and experimental study of a thermoelectric ventilator. *Applied Thermal Engineering*, 67(1-2), 529-539.
- Hermes, C.J.L. and Barbosa, J.R. (2012). Thermodynamic comparison of Peltier, Stirling, and vapor compression portable coolers. *Applied Energy*, 91(1), 51-58.
- Hu, H.M., Ge, T.S., Dai, Y.J. and Wang, R.Z. (2016). Experimental study on water-cooled thermoelectric cooler for CPU under severe environment. *International Journal of Refrigeration*, 62, 30-38.
- Huang, YX., Wang, XD., Cheng, CH. And Lin, DTW. (2013). Geometry optimization of thermoelectric coolers using simplified conjugate-gradient method. *Energy*, 59, 689-697.
- Irshad, K., Habib, K., Basrawi, F., Thirumalaiswamy, N., Saidur, R. and Saha, B.B. (2015). Thermal comfort study of a building equipped with thermoelectric air duct system for tropical climate. *Applied Thermal Engineering*. 91, 1141-1155.
- Izadkhah, M.S. and Heris, S.Z. (2019). Influence of Al_2O_3 nanoparticles on the stability and viscosity of nanofluids. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 138, 623-631.
- Jugsujinda, S., Vora-ud, A. and Seetawan, T. (2011). Analyzing of thermoelectric refrigerator performance. *Procedia Engineering*, 8, 154-159.
- Khosravi, R., Rabiei, S., Bahiraei, M. and Teymourtash, A.R. (2019). Predicting entropy generation of a hybrid nanofluid containing graphene–platinum nanoparticles through a microchannel liquid block using neural networks. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 109, 104351.
- Kim, D., Lim, C. and Kim, Y. (2014). An analytical study on the performance characteristics of a multi-stage thermoelectric cooling system. *Energy Production and Management in the 21st Century*, 190, 1237-1244.
- Lee, H. (2013). Optimal design of thermoelectric devices with dimensional analysis. *Applied Energy*, 106, 79-88.
- Lin, S. and Yu, J. (2016). Optimization of a trapezoid-type two –stage peltier couples for thermoelectric cooling applications. *International Journal of Refrigeration*, 65, 103-110.

- Manikandan, S. and Kaushik, S.C. (2015). Energy and exergy analysis of annular thermoelectric cooler. *Energy Conversion and Management*, 106, 804-814.
- Min, G. and Rowe, D. M. (2006). Experimental evaluation of prototype thermoelectric domestic-refrigerators. *Applied Energy*, 83(2), 133-152.
- Mohammadian, S.K. and Zhang, Y. (2014). Analysis of nanofluid effects on thermoelectric cooling by micro-pin-fin heat exchangers. *Applied Thermal Engineering*, 70(1), 282-290.
- Nami, H., Nemati, A., Yari, M. and Ranjbar, F. (2017). A comprehensive thermodynamic and exergoeconomic comparison between single-and two-stage thermoelectric cooler and heater. *Applied Thermal Engineering*, 124, 756-766.
- Nemati, A., Nami, H., Yari, M and Ranjbar, F. (2017). Effect of geometry and applied currents on the exergy and exergoeconomic performance of a two-stage cascaded thermoelectric cooler. *International Journal of Refrigeration*, 17, 30353.
- Nnanna, AGA., Rutherford, W., Elomar, W. And Sankowski, B. (2009). Assessment of thermoelectric module with nanofluid heat exchanger. *Applied Thermal Engineering*, 29(2), 491–500.
- Palaniappan, S. and Palanisamy, B. (2013). Finite element analysis of thermoelectric refrigeration system. *Procedia Engineering*, 64, 1056-1061.
- Putra, N., Ardiyansah, Sukyono, W., Johansen, D. and Iskandar, F.N. (2010). The characterization of a cascade thermoelectric cooler in a cryosurgery device. *Cryogenics*, 50(10-11), 759-764.
- Putra, N., Yanuar and Iskandar, F.N. (2011). Application of nanofluids to a heat pipe liquid-block and the thermoelectric cooling of electronic equipment. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 35(7), 1274-1281.
- Riffat, S. B., Omer, S. A. and Ma, X. (2001). A novel thermoelectric refrigeration system employing heat pipes and a phase change material: an experimental investigation. *Renewable Energy*, 23(2), 313-323.
- Riffat, S.B. and Ma, X. (2003). Thermoelectrics: a review of present and potential applications. *Applied Thermal Engineering*, 23(8), 913-935.
- Riffat, S.B. and Ma, X. (2004). Improving the coefficient of performance of thermoelectric cooling systems: a review. *International Journal of Energy Research*, 28, 753-768.
- Riffat, S.B. and Qiu, G.Q. (2005). Design and characterization of a cylindrical, water-cooled heat sink for thermoelectric air-conditioners. *International Journal of Energy Research*, 30(2), 67-80.
- Salah, WA., and Abuhelwa, M. (2020). Review of thermoelectric cooling devices recent applications. *Journal of Engineering and Science Technologies*, 15(1), 455–476.

- Samadzadeh, A., Heris, S.Z., Hashim, I. and Mahian, O. (2020). An experimental investigation on natural convection of non-covalently functionalized MWCNTs nanofluids: Effects of aspect ratio and inclination angle. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 111, 104473.
- Sardarabadi, H., Heris, S.Z., Ahmadpour, A. and Fard, M.P. (2019). Experimental investigation of a novel type of two-phase closed thermosyphon filled with functionalized carbon nanotubes/water nanofluids for electronic cooling application. *Energy Conversion and Management*, 188, 321-332.
- Sharma, A.K., Tiwari, A.K. and Dixit, A.R. (2016). Characterization of TiO₂, Al₂O₃ and SiO₂ nanoparticle based cutting fluids. *ScienceDirect*, 3, 1890-1898.
- Shen, L., Xiao, F., Chen, H. and Wang, S. (2013). Investigation of a novel thermoelectric radiant air-conditioning system. *Energy and Buildings*, 59, 123-132.
- Sidik, N., Mohammed, H., Alawi, O. and Samion, S. (2014). A review on preparation methods and challenges of nanofluids. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 54, 115-125.
- Takashiri, M., Miyazaki, K., Tanaka, S., Kurosaki, J., Nagai, D and Tsukamoto, H. (2008). Effect of grain size on thermoelectric properties of n-type nanocrystalline bismuth-telluride based thin films. *Journal of Applied Physics*, 104, 84302.
- Tan, G. and Zhao, D. (2015). Study of a thermoelectric space cooling system integrated with phase change material. *Applied Thermal Engineering*, 86, 187-198.
- Tan, H., Fu, H. and Yu, J. (2017). Evaluating optimal cooling temperature of a single-stage thermoelectric cooler using thermodynamic second law. *Applied Thermal Engineering*, 123, 845-851.
- Toghraie, D., Chaharsoghi, V.A. and Afrand, M. (2016). Measurement of thermal conductivity of ZnO-TiO₂/EG hybrid nanofluid. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 125, 527-535.
- Twaha, S., Zhu, J., Yan, Y. and Li, B. (2016). A comprehensive review of thermoelectric technology: Materials, applications, modelling and performance improvement. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 65, 698-726.
- URL-1, (2020). <http://www.thermonamic.com/TEC1-12715-English.PDF> (8 Eylül 2020)
- Wang, X.D., Wang, Q.H. and Xu, J.L. (2014). Performance analysis of two-stage TECs (thermoelectric coolers) using a three-dimensional heat-electricity coupled model. *Energy*, 65(1), 419-429.
- Wei, Y. and Xie, H. (2012). A review on nanofluids: preparation, stability mechanisms, and Applications. *Journal of Nanomaterials*, 2012, 1–17.
- Wu, D., Zhu, H., Wang, L. and Liua, L. (2019). Critical issues in nanofluids preparation, characterization and thermal conductivity. *Current Nanoscience*, 5, 103–112.

- Xuan, X.C. (2003). Investigation of thermal contact effect on thermoelectric coolers. *Energy Conversion and Management*, 44(3), 399-410.
- Xuan, X.C., Ng, K.C., Yap, C. and Chua, H.t. (2002). Optimization of two-stage thermoelectric coolers with two design configurations. *Energy Conversion and Management*, 43(15), 2041-2052.
- Yin, Y., Tudu, B. and Tiwari, A. (2017). Recent advances in oxide thermoelectric materials and modules. *Vacuum*, 146, 356-374.
- Yu, J. and Wang, B. (2009). Enhancing the maximum coefficient of performance of thermoelectric cooling modules using internally cascaded thermoelectric couples. *International Journal of Refrigeration*, 32(1), 32-39.
- Yu, J., Zhao, H. and Xie, K. (2007). Analysis of optimum configuration of two-stage thermoelectric modules. *Cryogenics*, 47(2), 89-93.
- Zhao, D. and Tan, G. (2014). A review of thermoelectric cooling: Materials, modeling and applications. *Applied Thermal Engineering*, 66(1-2), 15-24.
- Zhao, L.D., Zhang, B.P., Liu, W.S., Zhang, H.L. and Li, J.F. (2009). Effects of annealing on electrical properties of n-type Bi₂Te₃ fabricated by mechanical alloying and spark plasma sintering. *Journal of Alloys and Compounds*, 467(1-2), 91-97.
- Zhu, W. Deng, Y., Wang, Y. and Wang, A. (2013). Finite element analysis of miniature thermoelectric coolers with high cooling performance and short response time. *Microelectronics Journal*, 44(9), 860-868.
- Ziyadanoğulları, B.Z. and Yücel, H. L. (2017). Al₂O₃-Su Nanoakışkanı ile İle Isı Transferinin iyileştirilmesi. *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, 7(2), 253-260.

ÖZGEÇMİŞ

Tamer GÜÇLÜ, 22/05/1989 tarihinde Bayburt'ta doğdu. İlköğretimini Bayburt Veyselefendi İlkokulunda ve ortaöğretimini Bayburt Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2008 yılında kaydolduğu Erciyes Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden 2013 yılında mezun oldu. 2013-2016 yılları arasında bir doğalgaz firmasında proje mühendisi olarak görev aldı. 2016 yılından beri Bayburt Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır. 2019 yılında Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda başladığı yüksek lisans eğitimine halen devam etmektedir. Tamer GÜÇLÜ, evli ve bir çocuk babasıdır, orta seviyede İngilizce bilmektedir.