



**T.C.**

**HİTİT ÜNİVERSİTESİ**

**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SU VE SiC-SU NANO AKIŞKANLARI İLE SOĞUTULAN  
CPU ISI ALICISININ ISIL PERFORMANSININ DENEYSEL  
OLARAK İNCELENMESİ**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Furkan GÜLER**

**Çorum - 2023**

**AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SU VE SiC-SU NANO AKIŞKANLARI İLE SOĞUTULAN CPU ISI  
ALICISININ ISIL PERFORMANSININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

**Furkan GÜLER**

**Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Yüksek Lisans Tezi**

**TEZ DANIŐMANI**

**Prof. Dr. Sinan ÇALIŞKAN**

**Çorum 2023**

Furkan GÜLER tarafından hazırlanan “Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Su ve SiC-Su Nano Akışkanları ile Soğutulan CPU Isı Alıcısının Isıl Performansının Deneysel Olarak İncelenmesi” adlı tez çalışması 13/04/2023 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği ile Hitit Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. İrfan KURTBAŞ

.....

Prof. Dr. Sinan ÇALIŞKAN

.....

Prof. Dr. Ayla DOĞAN

.....

Hitit Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunun .../.../..... tarih ve ..... sayılı kararı ile .....'ın ..... Anabilim Dalında Yüksek Lisans/Doktora derecesi alması onanmıştır.

(İmza)

Prof. Dr. Muhammed Asif YOLDAŞ

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdür V.

## TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını beyan ederim.

(İmza)

Furkan GÜLER





# AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SU VE SiC-SU NANO AKIŞKANLARI İLE SOĞUTULAN CPU ISI ALICISININ ISIL PERFORMANSININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Furkan GÜLER

ORCID:0000-0001-9584-7893

HİTİT ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

Yüksek Lisans Tezi

Ocak 2023

## ÖZET

Elektronik bileşenler, azaltılmış kullanım ömrü/verimlilik gibi ana dezavantajlardan ve kaçınılmaz yüksek sıcaklıklar nedeniyle artan ısıl etkilerden önemli derece etkilenmektedir. Bu nedenle, bu sorunları çözmek için, sıcaklık artışını kontrol etmek, biriken ısıyı toplamak ve yüksek güçlü elektronik bileşenlerin performansını artırmak için verimli ve güvenilir soğutma yöntemleri kullanmak önemli bir konudur. Bu çalışmada, bir merkezi işlem biriminin (CPU) soğutulması nanoakışkan tabanlı bir mini kanallı ısı alıcının yardımıyla incelenmiştir. Isı akısı (6000, 7000, 8000 ve 9000 W/m<sup>2</sup>), nano-akışkan yüzde kütleli fraksiyon oranı (%0,2 ve %0,4) ve soğutucu akışkanın debisi (60, 75, 85 ve 105 ml/dak) değişken parametreler olarak incelenmiştir. CPU yüzey sıcaklığı, ısıl direnç ve ısıl verim gibi parametreler incelenmiştir. Deneysel veriler, uygulanan 9000 W/m<sup>2</sup>'lik bir ısı akısında ve 60 ml/dak'lık bir akış debisinde, maksimum CPU sıcaklığı 41,4°C olarak elde edilmiştir. CPU yüzey sıcaklıkları %0,2 SiC/saf su ve %0,2 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/saf su için; sırasıyla 2 ve 3 °C ve %0,4 SiC/saf su ve %0,4 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/saf su için sırasıyla; 4 ve 5°C azalmıştır. Fan ve sıvı soğutma olduğu durumda, %0,2 SiC/saf su, %0,2 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/saf su, %0,4 SiC/saf su ve %0,4 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/saf su soğutucu akışkan ısıl verimleri, saf suyun ısıl verimine göre sırasıyla; %20,7, %35,5, %42 ve %48,1 arttığı görülmüştür. %0,4 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/saf suyun ortalama ısıl direnç (R<sub>th</sub>) değerleri, akış debisinin 60 ml/dak'dan 105 ml/dak'ya artmasıyla, saf suyun ısıl direncine göre, sırasıyla %13,15, %20,27, %27,61 ve %36,42 oranında azalmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Nano akışkan, Isı alıcısı , Isı transferi, CPU

# EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE THERMAL PERFORMANCE OF CPU HEAT SINK COOLED WITH $Al_2O_3$ -WATER AND SiC-SU NANO FLUID

Furkan GÜLER

ORCID: 0000-0001-9584-7893

HITIT UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL

Master of Science Thesis

January 2023

## ABSTRACT

Electronic components suffer from the main drawback of reduced lifetime/efficiency and an increase of thermal destruction because of unavoidable high temperatures. Therefore, to resolve these problems, employing efficient and reliable cooling methods is an important issue to control the temperature rise, collect the accumulated heat, and improve the performance of high-power electronic components. In this study, the cooling of an electronic central processing unit (CPU) with the aid of a nanofluid-based mini-channel heat sink was studied. Heat flux (6000, 7000, 8000 and 9000 W/m<sup>2</sup>), nanofluid mass fraction, (0.2% and 0.4%) and coolant flow rate (60, 75, 85 and 105 ml/min) are variable analyzed as parameters. Several important parameters were investigated, such as CPU surface temperature, thermal resistance, and thermal efficiency. Experimental data are obtained at an applied heat flux of 9000 W/m<sup>2</sup> and a flow rate of 60 ml/min, with a maximum CPU temperature of 41.4°C. CPU surface temperatures for 0.2% SiC/pure water and 0.2%  $Al_2O_3$ /pure water; for 2 and 3 °C and 0.4% SiC/pure water and 0.4%  $Al_2O_3$ /pure water, respectively; 4 and 5°C decreased. In the case of fan and liquid cooling, the thermal efficiency of 0.2% SiC/pure water, 0.2%  $Al_2O_3$ /pure water, 0.4% SiC/pure water and 0.4%  $Al_2O_3$ /pure water refrigerant, respectively, according to the thermal efficiency of pure water; 20.7%, 35.5%, 42% and 48.1% increased. Average thermal resistance (R<sub>th</sub>) values of 0.4%  $Al_2O_3$ /pure water decreased by 13.15%, 20.27%, 27.61% and 36.42%, respectively, with the increase of flow rate from 60 ml/min to 105 ml/min, according to the thermal resistance of pure water.

**Key words:** nanofluid, heat sink, heat transfer, CPU

## TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca bana daima zaman ayırmayı ihmal etmeyen, bilgi ve tecrübelerini benden esirgemeyen, değerli görüş ve destekleriyle bana her türlü katkıyı sağlayan ve yardımcı olan değerli danışmanım Sayın Prof. Dr. Sinan ÇALIŞKAN'a ve yardımlarından dolayı Sayın Prof. Dr. Seyfi POLAT, Doç. Dr. Erol Alver, Öğr. Gör. Dr. Emir Avcıoğlu, Arş. Gör. Hayati TÖRE, Arş. Gör. Selçuk KIZILCAOĞLU ve Makine Yüksek Mühendisi Uğur Recep ŞAHİN'e teşekkürlerimi borç bilirim.

Tez savunma jürimde bulunan değerli hocalarım Sayın Prof. Dr. İrfan KURTBAŞ ve Akdeniz Üniversitesi'nden Sayın Prof. Dr. Ayla DOĞAN' a sonsuz teşekkür ederim.

Yalnızca yüksek lisans tezimin hazırlanması aşamasında değil, her zaman yanımda olan ve beni destekleyen ailem ile arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Furkan GÜLER

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET .....	iv
ABSTRACT .....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
TABLolar DİZİNİ.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xi
RESİMLER DİZİNİ .....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	xiv
GİRİŞ.....	1

### 1. BÖLÜM

#### LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

### 2. BÖLÜM

#### MATERYAL VE METOT

2.1. Deney Düzeneginin Tanıtılması .....	15
2.1.1. Test bölümü .....	16
2.1.2. Isıtma Yüzeyini Gerdirme Mekanizması .....	18
2.1.3. Doğru akım (DC) güç kaynağı.....	19
2.1.4. Termal kamera .....	19
2.1.5. Fan .....	20
2.1.6. Isıl çiftler .....	20
2.1.7. Ultrasonik debimetre.....	21
2.2. Nano Akışkan Hazırlama.....	22
2.3. Veri Analizi.....	26
2.3. Deneysel Belirsizlikler .....	28

### 3. BÖLÜM

#### BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Deneysel Sonuçlar .....	29
3.1.1. Sıcaklık dağılımları.....	29
3.1.2. CPU yüzey sıcaklığı .....	31
3.1.3. Isıl direnç .....	37
3.1.4. Isıl verim .....	43
3.1.5. CPU yüzey sıcaklığı değişimi.....	49
3.1.5. CPU yüzey sıcaklığı üç boyutlu değişimi.....	52
<b>SONUÇ/SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>55</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>56</b>
<b>EKLER .....</b>	<b>60</b>
<b>EK-1 Deney Matrisi .....</b>	<b>61</b>
<b>EK-2 Sıcaklık Dağılımı .....</b>	<b>66</b>
<b>ÖZ GEÇMİŞ.....</b>	<b>92</b>

## TABLolar DİZİNİ

<b>Tablo</b>	<b>Sayfa</b>
<b>Tablo 2.1.</b> Deneyde kullanılan akışkanların özellikleri .....	<b>23</b>
<b>Tablo 2.2.</b> Precisa xb 220 a tex analitik terazi özellikleri .....	<b>23</b>
<b>Tablo 2.3.</b> Mtops ms300hs ısıtıcılı manyetik karıştırıcı .....	<b>24</b>
<b>Tablo 2.4.</b> Sonica 3300 ep s3 ultrasonik temizleyici .....	<b>25</b>
<b>Tablo 2.5.</b> Ölçülen büyüklüklerdeki belirsizlikler .....	<b>28</b>



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Deney düzeneği şematik görünümü .....	16
Şekil 2.2. Test bölümü şematik görünümü .....	17
Şekil 3.1. Sıvı soğutma için, CPU yüzey sıcaklığının akışkan debisi ile değişimi; (a) $q=6000W/m^2$ (b) $q=7000W/m^2$ , (c) $q=8000W/m^2$ ve (d) $q=9000W/m^2$ .....	31
Şekil 3.2. Fan ve sıvı soğutma için, CPU yüzey sıcaklığının akışkan debisi ile değişimi; (a) $q=6000W/m^2$ (b) $q=7000W/m^2$ , (c) $q=8000W/m^2$ ve (d) $q=9000W/m^2$ .....	36
Şekil 3.3. Sıvı soğutma için, ısıl direncin akışkan debisi ile değişimi; (a) $q=6000W/m^2$ (b) $q=7000W/m^2$ , (c) $q=8000W/m^2$ ve (d) $q=9000W/m^2$ .....	39
Şekil 3.4. Fan ve sıvı soğutma için, ısıl direncin akışkan debisi ile değişimi; (a) $q=6000W/m^2$ (b) $q=7000W/m^2$ , (c) $q=8000W/m^2$ ve (d) $q=9000W/m^2$ .....	42
Şekil 3.5. Sıvı soğutma için, ısıl verimin akışkan debisi ile değişimi; (a) $q=6000W/m^2$ (b) $q=7000W/m^2$ , (c) $q=8000W/m^2$ ve (d) $q=9000W/m^2$ .....	45
Şekil 3.6. Fan ve sıvı soğutma için, ısıl verimin akışkan debisi ile değişimi; (a) $q=6000W/m^2$ (b) $q=7000W/m^2$ , (c) $q=8000W/m^2$ ve (d) $q=9000W/m^2$ .....	48
Şekil 3.7. Fan ve sıvı soğutma durumunda CPU yüzey sıcaklığı değişimi ( $q=9000W/m^2, \dot{m}=105ml/dak$ ) .....	51
Şekil 3.8. Sıvı soğutma durumunda CPU yüzey sıcaklığı üç boyutlu değişimi ( $q=9000W/m^2, \dot{m}=105ml/dak$ ) .....	54

## RESİMLER DİZİNİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Deney düzeneği genel görünüm .....	15
Resim 2.2. Test bölümü genel görünüşü.....	18
Resim 2.3. Folyo gerdirme sistemi.....	18
Resim 2.4. DC güç kaynağı.....	19
Resim 2.5. DC güç kaynağına elektrik bağlantı elemanları.....	19
Resim 2.6. Termal kamera.....	20
Resim 2.7. Alüminyum bloğun soğutulması için tercih edilen fan.....	20
Resim 2.8. Dijital termometre.....	20
Resim 2.9. K tipi ısı çifti.....	21
Resim 2.10. Ultrasonik debimetre TUFF-2000H.....	22
Resim 2.11. Nano akışkanlar ve yüzdece derişimleri .....	22
Resim 2.12. Sonica ultrasonic banyoda nano akışkanların görüntüsü .....	23
Resim 2.13. Precisa xb 220 a tex analitik terazi.....	24
Resim 2.14. Mtops ms300hs ısıtıcılı manyetik karıştırıcı .....	25
Resim 2.15. İnhibitör madde kullanılmadığında oluşan Nano-akışkan .....	25
Resim 2.16. İnhibitör madde Sodyum Dedosil Sülfat kullanıldığında oluşan nano-akışkan ...	26
Resim 2.17. Sonica 3300 ep s3 ultrasonik temizleyici.....	26
Resim 3.1. CPU sıcaklık kontürleri ( $q=6000W/m^2$ , $\dot{m}=60ml/dak$ ).....	31



## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

$A$	Alan [ $m^2$ ]
$C_a$	Akışkan özgül ısısı [ $J/kgK$ ]
$C_{ba}$	Saf su özgül ısısı [ $J/kgK$ ]
$C_{na}$	Nano-akışkan özgül ısısı [ $J/kgK$ ]
$C_{np}$	Nano-parçacık özgül ısı kapasitesi [ $J/kgK$ ]
$D_h$	Hidrolik çap [ $m$ ]
$\dot{E}_{HF}$	GPU yüzeyine etki eden güç değeri [ $W$ ]
$\dot{E}_p$	Fark basınç enerji oranı [ $W$ ]
$\dot{E}_{küttele,g}$	Giren kütleinin enerji oranı [ $W$ ]
$\dot{E}_{küttele,\zeta}$	Çıkan kütleinin enerji oranı [ $W$ ]
$\dot{E}_{pompa}$	Pompanın tükettiği enerji oranı [ $W$ ]
$\dot{E}_{sürtünme}$	Akışkan sürtünmesi ile oluşan kayıp değeri [ $W$ ]
$\dot{E}_{kayıp}$	Diğer tüm kayıplar [ $W$ ]
$h$	Isı taşınım katsayısı [ $W/m^2K$ ]
$k_a$	Akışkan ısı iletim katsayısı [ $W/mK$ ]
$k_{wa}$	Saf su ısı iletim katsayısı [ $W/mK$ ]
$k_{na}$	Nano-akışkan ısı iletim katsayısı [ $W/mK$ ]
$k_{np}$	Nano-parçacık ısı iletim katsayısı [ $W/mK$ ]
$\dot{m}$	Akışkanın kütleli debisi [ $ml/dak$ ]
$I$	Akım [Amper]
$\eta_p$	Pompa verimi [%]
$\eta_{th}$	Isıl verim [%]
$P$	Basınç [Pa]

$\varphi$	Yüzde hacim fraksiyonu [%]
$R_{th}$	Isıl direnç[°C/W]
$Re$	Reynolds değeri
$S$	Belirsizlik analiz fonksiyonu [%]
$T_{yüzey}$	Ortalama GPU yüzey sıcaklığı [°C]
$T_{a,g}$	Akışkan giriş sıcaklığı [°C]
$T_{a,ç}$	Akışkan çıkış sıcaklığı [°C]
$T_{çevre}$	Çevre sıcaklığı [°C]
$\Delta P$	Basınç düşüşü [Pa]
$\nu$	Kinematik Viskozite [m <sup>2</sup> /s]
$V$	Gerilim [Volt]
$v_{rep}$	Deneysel tekrar belirsizliği
$v_{eqp}$	Deneysel ekipman belirsizliği
$\rho_a$	Akışkan yoğunluğu [kg/m <sup>3</sup> ]
$\rho_{ba}$	Saf su yoğunluğu [kg/m <sup>3</sup> ]
$\rho_{na}$	Nano-akışkan yoğunluğu [kg/m <sup>3</sup> ]
$\rho_{np}$	Nano-parçacık yoğunluğu [kg/m <sup>3</sup> ]
$\mu_a$	Akışkan dinamik viskozite değeri [Pa.s]
$\mu_{na}$	Nano-akışkan dinamik viskozite değeri [Pa.s]

### Kısaltmalar

a	Akışkan
ba	Baz Akışkan
CPU	Merkezî işlem birimi (Central Process Unit)
GPU	Grafik işleme birimi (Graphics Process Unit)
HF	Isıl güç

g	Giriş
na	Nano-akışkan
np	Nano-parçacık
ç	Çıkış
q	Isı akısı
th	Termal/Isıl



## GİRİŞ

Uzay, havacılık, otomotiv, akıllı sistemler vb. sürekli yenilenen ve gelişen alanlarda kullanılan süper bilgisayarların ve bünyesinde bulunan işlemci sistemlerinde oluşan veya biriken ısı enerjisi miktarı sürekli artmaktadır. Bu ısı enerjisinin elektronik bileşenlerden veya bulunduğu ortamdan uzaklaştırılması cihaz ömrü ve performansı açısından büyük önem teşkil etmektedir. Bu kapsamda ortaya çıkan ısı enerjisinin uzaklaştırılması adına aktif ve pasif soğutma olmak üzere iki farklı yöntem kullanılmaktadır.

Pasif soğutma, elektronik bileşenlerin olması istenen çalışma sıcaklıklarını korumak ve bileşenlerin kullanım ömrünü uzatmak adına ısı alıcılar, ısı dağıtıcılar ya da ısı boruları kullanılan bir yöntemdir. Pasif soğutma yöntemi, dışarıdan herhangi bir etkiye ihtiyaç duymamasından dolayı maliyetler açısından son derece uygun bir çözümdür. Aktif soğutma yöntemi ise, elektronik bileşenlerin bünyesinde bulunan ısı enerjisinin herhangi bir dış etkiye (hava ve sıvı soğutma uygulamaları vb.) maruz bırakılarak uzaklaştırılmasını sağlayan bir yöntem olarak bilinmektedir. Bu nedenle uygulama alanına göre maliyet artışlarının görülmesi dezavantaj olarak görülmektedir.

İki yöntem kıyaslandığında maliyetler açısından pasif yöntemler avantajlı olarak görülse de uygulamanın yapılacağı alan veya cihaza göre aktif yöntemin kullanımı ısının uzaklaştırılmasında daha verimli bir yöntem olarak görülmektedir. Bu sebeple ele alınan ısı probleminin iyi bir şekilde incelenmesi ve doğru soğutma yönteminin belirlenmesi son derece önem arz etmektedir.

Elektronik bileşen işlemcilerinde (CPU) tercih edilen hava ve sıvı soğutucular, benzer bir ilkeyle çalışır ve temelde aynı şeyi yaparlar. Her iki yöntem de CPU'da oluşan ısıyı emer ve daha düşük sıcaklığa sahip dış ortama iletir. Gerçekleştirilen işlemi özetlemek gerekirse, işlemcide oluşan ısı enerjisi CPU'da bulunan Entegre Isı Yayıcı (IHS) adı verilen metal kapağına iletilir. Ardından CPU soğutucusunun taban plakasına aktarılır. Bu işlem sonrasında ısı, sıvı veya ısı borusu yoluyla soğutucudan uzağa ve sonunda bilgisayardan uzağa bir fan yardımı ile uzaklaştırılarak ısı transferi sağlanmış olur.

Gerçekleştirilen çalışmada, bu alanda literatür araştırması yapılmış olup ısı transfer performansını arttırmak için yapılan çalışmalarda nano-akışkan, CPU ve alüminyum blok performansı incelenmiştir. Malzeme özelliğine, nano-akışkanın yüzde kütleli karışım oranına, nano-akışkanın bileşik olarak değişiminin ısı transferine olan etkisi termal direnç, enerji verimliliği, ısı akısı ve ortam sıcaklığı gibi parametrelerle incelenmiş olup çalışmada kullanılan giriş parametrelerinin etkisi deneysel olarak incelenmiştir.

## 1. BÖLÜM

### LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Elektronik donanımlarda ki geliştirme, ömür boyu ve performans iyileştirmesi için verimli termal yönetim yöntemleri sağlama konusunda ciddi bir zorlukla birlikte gelir. Bu çalışmada, bir elektronik yonga setinin nano-akışkan tabanlı mini kanallı bir soğutucu yardımıyla soğutulması incelenmiştir. Sırasıyla (6000:10000 W / m<sup>2</sup>), (% 0:1) ve (100:300 ml / dak) aralığında değişen ısı akısı, nano-akışkan kütle oranı ve soğutucu akış hızının etkileri incelenmiştir. Ortalama ısıl direnç (R<sub>th</sub>) azalması sırasıyla; 6000, 8000 ve 10.000 W/m<sup>2</sup> durumlarında 100 ml/dak ile karşılaştırıldığında 200 ml/dak akış hızına sahip su temelli soğutucu kullanılarak %14.81, %19.64 ve %21.21 olarak bulunmuştur(Mohammadi vd., 2020).

Büyük miktarda üretilen ısı ile birlikte elektronik bileşenlerde yüksek işlem hızına ulaşılması, bu ısı ısı alıcısı tarafından giderilir. Üretilen aşırı ısı için mini kanallı sıvı soğutmalı bir ısı alıcısı kullanılır. Bu çalışmanın amacı, serpantin mini kanallı ısı alıcısı verimliliğini artırmak ve eşit sıcaklık dağılımı sağlamaktır. Bunu başarmak için, çift çıkış, farklı geriye doğru açılara sahip ikincil akış kanalı (45°, 53°, 61°) ve son olarak ikincil akışın farklı hatve mesafelerinde (5d, 6d ve 7d) iğne kanatlı kombinasyonu gibi çeşitli değişkenler incelenmiştir. Sayısal sonuçları çıkarmak için Ansys Fluent 2020 R2 yazılımı kullanılmıştır. Sayısal sonuçları doğrulamak için iki model üretildi ve deneysel olarak test edildi, yani Temel model ve uygun değer model (model F). Doğrulama sonuçları iyi bir anlaşma gösterdi (Hayder Mohammed Al-Hasani & Basim Freegah, 2022).

Sonuçlar, bir çift çıkışlı serpantin mini kanallı ısı alıcısı kullanımının genel performansta 1,47' ye kadar bir artışa ve daha düşük bir maksimum taban sıcaklığına yol açtığını göstermektedir. Genel performansta %8,7' lik bir artış ve daha da düşük bir taban sıcaklığı ile, 53°' lik ikincil akış geri açısı (model C) diğer iki açıdan daha iyi performans gösterir. Bununla birlikte, ikincil akışı pim kanadıyla birleştirmek, ısı alıcıyı hem termal hem de hidrolik olarak geliştirir. F modeli, Temel moda kıyasla 1,79 ve %9,64 Nusselt sayısı ile maksimum performansı gösterir.

Elektronik cihazların performansları sırasında artan sıcaklıkları performanslarının düşmesine neden olur ve artan termal hasar nedeniyle kullanım ömürlerini kısaltır, bu çok minyatür elektronik bileşenlerde yüksek derecede öneme sahip olduğunu belirtilmiştir. Geleneksel ve mikro/nano pürüzlendirilmiş alüminyum ısı alıcıların performansı, bir Core i7-1068NG7 işlemciye eşdeğer ısı akılarını üreten bir baskılı devre kartının (PCB) termal yönetimi için analiz edilmiştir. Zorunlu hava konveksiyon koşullarında ve 8000, 10.000 ve 12.000 W/m<sup>2</sup> lik ısı akıları altında, pürüzlendirilmiş ısı alıcılarıyla soğutulan PCB'lerin sıcaklığının, sırasıyla 9,2°C, 11°C ve 12,8°C olan etkileyici değerleriyle, geleneksel ısı alıcılarıyla soğutulanlardan daha düşük olduğu görülmüştür (Attar vd., 2020).

Elektronik pazarındaki mevcut soğutma modüllerinin ısı transfer performansını iyileştirmektir. Bu amaçla, geleneksel ısı alıcılı ısı borusu konfigürasyonunu değiştirerek, ısı yönetimi için sıvı bazlı bir ısı alıcı yeni bir tasarımı sunulmuştur. Bu tasarımda, 50 ml/dak ile 200 ml/dak arasında değişen akış hızlarına sahip saf su,  $4000\text{W/m}^2$ - $12.000\text{W/m}^2$  ısı akışlarının uygulandığı bir baskılı devre kartına bağlı bir soğutucudan geçer. Sıvı bazlı ısı alıcının performansını daha da artırmak için, saf su, MWCNT/su nano-akışkanın (%0.15 ve %0.3) iki kütle fraksiyonu ile değiştirilir. Yeni tasarımın performansını geleneksel soğutucu ile karşılaştırmak için birkaç önemli parametre incelenmiştir (Taheri vd., 2020).

Bu makale, bir faz değişim materyali (PCM) ve bir nan/faz değişim materyalinin (nano-PCM) bir elektronik yonga setinin termal performansı üzerindeki etkileri için deneysel bir araştırma sunmaktadır. PCM olarak Parafin mumu kullanan bir termal depolama sistemi, bir soğutucu ile entegre edilmiştir. Ek olarak, PCM, çok duvarlı karbon nanotüpler (MWCNT'ler) ile karıştırılarak nano-PCM olarak modifiye edilmiştir. Çeşitli miktarlarda PCM'nin, PCM'deki MWCNT konsantrasyonlarının ve farklı güç seviyelerinin üç farklı ısı alıcı modül modları (PCM' siz, PCM ile doldurulmuş ve nano-PCM ile doldurulmuş) üzerindeki etkileri pasif ve aktif işletimde incelenmiştir. Nano-PCM modülü, PCM' ye kıyasla soğutma süresini %6' ya kadar azaltarak sistemin termal yönetimini geliştirebilir olduğu kanıtlanmıştır. Aralıklı ısıtma altında, daha fazla açma ve kapama döngüsü kullanmak, yonga seti tepe sıcaklığının düşmesine neden olmuştur. PCM ve nano-PCM kullanmak, çalışma süresini artırır ve aralıklı kullanımda yonga setinin en yüksek sıcaklığını düşürmüştür (Farzanehnia vd., 2019).

Elektronik bileşenlerin termal kontrolü, performansları ile uyumlu bir sıcaklık aralığında kullanılmalarını sağlamayı amaçlanmıştır. Elektronik cihazlar için soğutma sistemi olarak faz değişim malzemelerinin (PCM' ler) davranışının deneysel çalışması sunulmuştur. Sistem sıcaklığındaki artışı kontrol etmek için dört farklı yapılandırma kullanılmıştır: saf PCM, silikon matriste PCM, grafit matriste PCM ve kanat sistemindeki saf PCM. Sonuç olarak, PCM' nin dâhil edilmesinin bileşen sıcaklığını düşürdüğünü ve ısı alıcısının kritik süresinin iki katını uzattığını göstermiştir. PCM ile doldurulan Grafit matrisin kullanımı, silikon matrisine göre sistem termal performansında daha fazla gelişme göstermiştir. Aynı zamanda, bakırın aynı fraksiyonu için, PCM'ye uygun aralıklarla uzun bakır kanatların dâhil edilmesinin, PCM'ye ısı dağılımını artırarak bileşen sıcaklığının kritik sınırın altında daha uzun süre kalmasına yol açtığı bulunmuştur. Dolayısıyla bu çalışma, PCM ile uzun, iyi aralıklı kanatların kombinasyonunun, elektronik cihazların termal kontrolü için etkili bir araç sunduğunu gösterilmiştir (Gharbi vd., 2015).

Doğal konveksiyon rejimi altında plaka kanatçıkların ve plakalı kübik pin kanatlı ısı alıcılarının konvektif ısı transfer katsayısını ve ısıl performansını ölçmek için deneysel araştırma yapılmıştır. Araştırma, Rayleigh sayısı  $8 \times 10^6$  ile  $9,5 \times 10^6$  arasında ve giriş ısısı 10 W ile 120 W arasında yapılmıştır. Kanatçık aralığı ve kanat sayıları sırasıyla 5–12 mm ve 5–9 mm arasında değişmektedir. Sonuç olarak plaka kübik pin kanatlı ısı alıcıların, plaka kanatlı ısı alıcılarla

karşılaştırıldığında daha düşük termal dirence ve daha yüksek ısı transferine sahip olduğunu gösterilmiştir. Yeni tasarlanmış ısı alıcılarının ısı transferini iyileştirme, normal pin kanatlara kıyasla yaklaşık %10–41,6 daha yüksek olduğu görülmüştür. İncelenen tüm ısı alıcılarında artan kanat boşlukları daha düşük termal dirence neden olmuştur. Ancak kanat sayılarının artması daha iyi ısı transferine neden olmamıştır. En iyi soğutma bloğu tasarımı, 7 kanatlı ve 8,5 mm kanat aralıklı, kübik, pimli kanatlı bir ısı alıcısı olarak bulunmuştur. Ortalama Nusselt sayısını, kanatçık sayısının, kanatçık aralığının yükseklik oranına ve Rayleigh (ve dolayısıyla Grashof) sayısının bir fonksiyonu olarak ilişkilendirmek için deneysel sorgular geliştirilmiştir (Haghighi vd., 2018).

Düzgün olmayan gözenekli yapı, çalışma akışkanını ısıtma yüzeyine doğru etkili bir şekilde zorlayabilir ve ısı transfer performansında kayda değer bir artışa neden olabilmektedir. Soğuk plakanın alt kısmındaki dikme çapının 0,3 mm'den 0,6 mm'ye daha da artırılmasıyla, artırılmış kanatçık verimliliğine sahip tasarım, tüm test örnekleri arasında en iyi performansı gösterir, en düşük termal direnç yaklaşık 0,0118 K/W' a ulaşır. 6 LPM akış hızı. Yine de, artırılmış kanatçık verimliliğine sahip bu tek tip olmayan gözenekli yapı, tamamen operasyonel aralıkta diğer tüm yapılardan daha iyi performans göstermiştir. Artırılmış kanatçık verimliliği ile önerilen tek tip olmayan gözenekli yapı, mevcut çalışmaların çoğundan daha iyi performans göstermiştir (Tseng vd., 2019)

Bu araştırma, elektronik işlemcilerin soğutulması için yeni bir spiral sıvı bloğun etkinliğini incelemek için gerçekleştirilmiştir. Soğutma verimliliğini artırmak için, grafen nanoplateletlere sahip biyolojik olarak üretilmiş bir nano-akışkan düşünülmüştür. Sayısal analizler, farklı Reynolds sayıları (Re) ve pompalama güçleri için %0 ile %0.1 arasında değişen farklı konsantrasyonlar da gerçekleştirilmiştir. Ayrıca spiral sıvı bloğun performansı serpantin ve taban plakası sıvı blokları ile karşılaştırılmıştır (Bahiraei & Mazaheri, 2021).

Teknolojinin gelişmesiyle beraber verimi düşük olan sistemlerin yerini daha modern, daha verimli ve daha kullanışlı sistemler almıştır. Fakat teknolojinin gelişmesiyle ortaya çıkarılan sistemlerde ısınma problemleri önemli bir problem haline gelmiştir. Özellikle geliştirilen elektronik sistemlerin boyutlarının düşürülmesiyle ürünler için birim hacim başına düşen ısı miktarı olumsuz sonuçlara neden olmuştur (Bezaatpour & Goharkhah, 2020).

Sistem üzerinde ısı dağılımı uygun olmazsa, cihaz veriminde düşme meydana geldiği görülmüştür. Elektronik cihazlar için büyük bir öneme sahip olan işlemciler, bilgisayar sistemlerinin kontrol merkezidir. Bu sistemlerin verimlerinin artırılması için daha yüksek performans kriterine sahip mikrobilgisayar işlemci çipleri bütünleşmiştir (Bi vd., 2013).

İşlemciler de yüksek verim ve performans kriterlerinde olmasına rağmen, çalışma şartlarında ortaya çıkan yüksek sıcaklık değerlerinden dolayı sistemin çalışma ömrü ve verimi buna bağlı olarak düştüğü görülmüştür. Bu nedenlerle bilgisayarlarda kullanılan işlemcilerin üzerinde

oluşan fazla ısının sistem dışına atılan ısının arttırılması konusunda çalışılmıştır (Sun & Liu, 2017).

Günümüzde gelişen teknoloji; iş istasyonları, oyun bilgisayarları, kuantum bilgisayarlar, telefonlar, tabletler vb. gibi birçok teknolojik ürünün ortak sorunu işlemcilerde ki ısının tamamen atılamaması sonucunda ortaya çıkan verim ve performans kaybı olmuştur (Anbumeenakshi & Thansekhar, 2017).

Bunun önüne geçilmesi için mineral yağdan pasif soğutmaya kadar işlemci soğutmanın birçok yolu vardır ancak en popüler çözümler hava veya sıvı işlemci soğutucularıdır. Bu soğutucular, masaüstü bilgisayarlardan taşınabilir sistemlere kadar her türlü kullanım durumu için çok sayıda özellik ve seçenek sunmuştur (Ho vd., 2020).

Gelişen teknolojinin getirdiği yüksek performans sebebi ile yüksek sıcaklıklara çıkan işlemcilerin soğutma sistemlerinin de geliştirilmesi amaçlanmıştır (Chamanroy & Khoshvaght-Aliabadi, 2019).

Bu çalışmada, akış, ısı transferi ve gerilme özelliklerini simüle etmek için yüksek sıcaklıklı ana akış kademeli kanal ve kanat ön kenar katı bölgesi ile birleştirilmiş üç boyutlu bir girdaplı soğutma modeli oluşturulmuştur. Sıvı yapılu kuplaj modeli, harici ana akım, katı kanatların ve girdaplı soğutma havasının etkileşimini analiz etmek için kullanılmıştır. Gaz türbini kanadının çalışması için en faydalı olan uygun değer yüksekliği keşfetmek için altı farklı girdap odası yüksekliği seçilmiştir. Kapsamlı ısı transfer faktörü, girdaplı soğutma genel performansını değerlendirmek için tanıtılmıştır. Girdap odası yüksekliği 19 mm olduğunda, daha yüksek ısı transfer kapasitesine ve daha düşük akış direncine sahiptir ve kapsamlı ısı transfer faktörü en yüksek değere getirilmiştir. Reynolds sayısının ısı transfer performansı üzerinde güçlü bir etkisi olduğu görülmüştür. Yüksek aerodinamik kayıpları önlemek için Reynolds sayısı uygun şekilde seçilmesi gerektiği vurgulanmıştır (Li vd., 2021).

Elektronik ekipmanın küçük fiziksel boyutu, hava soğutma sistemlerini kurmak için alan sınırlaması ve tek bir çipten üretilen yüksek ısı akışı, yüksek performanslı sıvı soğutma sistemleri ve mini dikdörtgen gibi daha verimli ısı yayma ekipmanına büyük ilgi uyandırmıştır. Fin ısı alıcıların nano sıvıların CPU soğutması için ısı alıcı performansına etkisi deneysel ve sayısal olarak araştırılmıştır (Al-rashed vd., 2016).

Nano sıvılar ile soğutulan CPU'nun ısı transfer özelliklerini incelemek için ilgili deneysel sistem kurulmuş ve deneysel sistemin güvenilirliği araştırılmıştır. TiO<sub>2</sub>-su nanosıvılar ile soğutulan CPU'nun ısı transferi ve akış özellikleri deneysel olarak incelenmiştir. Yarı küresel çıkıntı düzenleme modlarının (hızlı ve kademeli düzenleme) CPU'nun ısı transferini arttırması üzerindeki etkileri tartışılmıştır. Hızlı düzenleme ve kademeli düzenlemeye sahip nano akışkanlar tarafından soğutulan CPU'nun yüzey sıcaklıklarının, temel akışkan ile karşılaştırıldığında en iyi ihtimalle sırasıyla %10,5 ve %12,5 oranında azaltılabileceği bulunmuştur. Ayrıca nanopartikül kütle fraksiyonlarının (x = %0.1, %0.2, %0.3, %0.4 ve %0.5)



ve Reynolds sayılarının ( $Re = 98, 185, 274, 323, 365, 400, 478$  ve  $548$ ) üzerindeki etkileri termo-hidrolik performanslar analiz edilmiştir (Qi vd., 2018).

Yüksek ısı üreten mikroişlemcilerin etkili termal yönetimi için, düz plakalı bir soğutucu ile birlikte  $0,2$  mm,  $0,5$  mm,  $1,0$  mm ve  $1,5$  mm kanat aralıklarına sahip beş farklı ısı alıcısı incelenmiştir. Mikroişlemci ısı, soğutucu olarak suyla ısıtılmış bir bakır blokla simüle edilmiştir.  $325$  W'lık bir ısıtıcı gücünde,  $40,5^{\circ}\text{C}$ ' lik en düşük ısı alıcı taban sıcaklığı,  $0,2$  mm kanat aralıklı bir soğutucu kullanılarak elde edilmiştir; bu,  $44^{\circ}\text{C}$ ' lik en iyi rapor edilen taban sıcaklığından yaklaşık %9 daha düşük bulunmuştur. Isı alıcılarının taban sıcaklığının ve ısıl direncinin kanatçık aralığını azaltarak ve soğutucuda dolaşan suyun hacimsel akış hızını artırarak düştüğü bulunmuştur (Ayub vd., 2014).

Giderek daha fazla ısı dağılımına sahip yeni bileşenlerin önsözyle, yeni ısı alıcı felsefesine duyulan dürtü, günümüz dünyasında gerçek bir meydan okuma haline geliyor. Yeni çözümler, alan ve maliyet kısıtlamalarını korurken muazzam ısı yayılımıyla baş edebilmelidir. Kanatlı (plaka ve pimli) ısı alıcılar, günümüzün mühendislik arenasında artan uygulamalarla ve araştırmacıların konsantrasyonunu çekerek bu zorlukların üstesinden gelmektedir. Farklı soğutucu tasarımlarının, sınırlayıcı faktörlerin, etkililiğin, çeşitli tekniklerin sınırlamalarının ve yenilikçi ısı alıcılar alanındaki son gelişmelerin eleştirel bir incelemesini ele almıştır (Khattak & Muhammad, 2019).

Nano akışkan, ısı transfer oranını artırma yöntemlerinden biri olarak kullanılmıştır. Oksit, karbür ve nitrür gibi farklı nano akışkanlar kullanılan makalede, su ve motor yağı gibi farklı temel akışkanlar ile alüminyum oksitler yoluyla ısı transferinin artırılması tartışılmıştır. Ayrıca viskozite, ısıl iletkenlik ve soğutma etkisi gibi akışkan özelliklerine katkılarıyla nano akışkan sistemleri hakkında da tartışılmıştır. Eşanjör borusunun farklı büküm açısı, nano akışkanların kütle oranı ve nano parçacıkların boyutu Taguchi tekniği ile optimize edilmiştir. Sonuç olarak  $\text{Al}_2\text{O}_3$  tabanlı nano akışkan kullanılarak ısı transferinde  $30$  J' lük artış sağlamıştır. Isı transfer sonuçları nano akışkanların kullanıldığı ve kullanılmadığı şekilde karşılaştırılmıştır. Isı transferi süreç parametreleri optimize edilmiştir. Taguchi yöntemi. Optimum ısı transferi  $35$  derecelik büküm açısında, %0.50 kütle fraksiyonlarında ve  $50$  nm nano parçacık boyutunda elde edilmiştir. Isı eşanjöründe bükümlü açı, ısı transferine %85.46 etki yapmıştır (Alamanda vd., 2021).

CFD simülasyon sonuçlarına göre, bu yeni tasarımı kullanan CPU soğutucusunun CPU'ları etkili bir şekilde soğutabilmesi beklenmiştir. Tüm ısı boruları iki kanatlı soğutucu ile birlikte iyi performans göstermiştir. Fiziksel deneylerin sonuçları, toplam termal önerilen soğutucunun direnci  $0,11$  ile  $0,19^{\circ}\text{C}/\text{W}$  arasında, gürültü seviyesi değerleri ise  $21.5$ - $36.3$  dBA arasında olduğu görülmüştür. Gerçek CPU yerine kullanılan ısıtıcının bağlantı sıcaklık değerleri  $130$  W ısı yükünde  $55$ - $45.2^{\circ}\text{C}$  olarak okunmuştur. Tüm sonuçlar yeni soğutucunun kanatlı yüzey alanı, ısı borusu sayısı ve soğutucuya rağmen geleneksel soğutuculardan daha üstün olduğunu

görülmüştür. Yeni tasarım, gelişmiş soğutma kapasitesi, sınırlı boyut, düşük maliyet ve düşük gürültü seviyesi gibi tüm gereksinimleri karşılamıştır (Choi vd., 2012).

Mini/mikro kanallı ısı alıcılar şu anda çeşitli termal ve enerji uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Kompaktlık, hafiflik ve daha yüksek ısı transfer performansının avantajlarını daha da geliştirmek için bu tür bir ısı alıcısının performansı, birçok yeni çalışma alanı ve nano/mikrokapsüllenmiş faz değişimini tanıtmıştır. Üretim süreçleri ve geometrik tasarımları, termal ve hidrodinamik performansı kapsayan konular farklı çalışma sıvıları ve bunların tipik ve potansiyel uygulamaları. Daha sonra, deneysel ve sayısal simülasyon çalışmalarından mini/mikro kanallarda kullanılan nano/mikro kapsüllü faz değiştirici karışım (N/MPCS) kullanılmıştır. Baz akışkan, çekirdek ve kabuk malzemeleri ve karışımın termofiziksel özelliklerine yerleştirilmiştir. Daha sonra, içinde N/MPCS akan mini/mikro kanallı ısı alıcıların yerel, ortalama ve genel ısı transferi ve hidrodinamik özellikleri, farklı akış koşulları, test bölümünün malzemesi ve boyutu ve bu karışımın bileşimi ve fraksiyonu dikkate alınarak incelenmiş ve analiz edilmiştir. Bu araştırma alanında önerilen ısı transferi ve basınç düşüşü korelasyonları değerlendirilmiştir. Mini/mikro kanallardaki N/MPCS, gizli ısı nedeniyle baz akışkandan daha yüksek etkili özgül ısı ve ısı transfer katsayısı sağlayabilmiştir. N/MPCS'nin ısı transfer performansı, baz akışkanın ısıl iletkenliği, kanal boyutları, miktarı gibi çeşitli parametrelere bağlı olduğu görülmüştür. Kullanılan özgül ısı ve parçacık kütle konsantrasyonu ve geliştirme, basınç düşüşü ve viskozitedeki artıştan dolayı N/MPCS' nin yüksek pompalama gücü ile kısmen dengelenmiştir. Çalışma akışkanı olarak N/MPCS' li kompakt ısı eşanjörlerinin tasarımı için faydalı deneysel ısı transferi korelasyonları önermiştir (Chai vd., 2018).

CuO (bakır oksit) olarak nano-partiküller kullanılmıştır. Termal iletkenlik, CuO nano-parçacıkları hazırlamış, ardından nano-akışkan hazırlığı yapmıştır. Bu çalışmada tamamen baz akışkan, sodyum dodesil sülfat olarak damıtılmış su ile Bakır oksit nano-akışkanı kullanılmıştır. Yüzey aktif madde olarak ve nano akışkanın birim zaman başına ısı transfer miktarının yüzde artışı X-Ray kırınımı (XRD) tarafından bulunan baz akışkan ve numune boyutundan daha yüksek olduğu görülmüştür. Sonuç olarak 0.1 kütle fraksiyonunda, nano-akışkanın baz akışkana göre daha yüksek termal iletkenliği nedeniyle ısıyı aktarma oranında verimin %13.6 arttığı bulunmuştur(Reddy vd., 2020).

Belirli bir uygulama için kompozit PCM'nin faz değişim özellikleri, parafin mumu ve vazelin oranları değiştirilerek ayarlanmıştır. Nano-kapsüllü kompozit faz değişim malzemesi (NECPCM) nano-akışkanı, 150-200 ml/dak aralığındaki düşük akış hızlarında deiyonize su ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nano-akışkanına kıyasla daha düşük termal direnç gösterdi ve bu da taban duvar sıcaklığında 2,7 °C maksimum azaldığı görülmüştür. Basınç düşüşü ve pompalama gücü, her iki nano-akışkan için hacimsel akış oranlarıyla birlikte artmıştır. NECPCM nano-akışkan ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nano-akışkan için pompalama gücündeki maksimum yüzde artışı, deiyonize suya kıyasla sırasıyla %18 ve %25 olarak bulunmuştur. Daha yüksek parçacık konsantrasyonu nedeniyle viskozite NECPCM nano-akışkan için daha yüksek olmasına rağmen, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nano-akışkan için

sürtünme faktörü NECPCM nano-akışkanına kıyasla daha iyi olduğu görülmüştür. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nano-akışkan ve NECPCM nano-akışkan için maksimum ısı transferi artışı, 500 ml/dak ve 150 ml/dak akış hızlarına karşılık gelen sırasıyla %10 ve %28 olmuştur. NECPCM nano-akışkanın daha yüksek ısı transfer kapasitesi, PCM'nin gizli erime ısısının katkıda bulunduğu gelişmiş ısı kapasitesinden kaynaklanmıştır. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nano-akışkan için elde edilen maksimum Liyakat Figürü (FOM), 500 ml/dak'lık bir akış hızına karşılık gelen %5 olarak bulunmuştur. Bununla birlikte, NECPCM nano-akışkan için FOM, 150 ml/dk'lık düşük akış hızında %24' e kadar artmıştır. Bu, düşük akış hızlarında NECPCM nano-akışkan ile daha az pompalama gücü ile daha yüksek ısı transferi geliştirmesinin mümkün olduğunu gösterilmiştir. NECPCM nano-akışkanı, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nano-akışkan ve deiyonize su ile karşılaştırıldığında mini kanallı ısı alıcıda üstün soğutma performansı sergilemiştir (Jitheesh vd., 2021).

Seyreltik metal oksit süspansiyonlarının D.I su (Deiyonize su) akışındaki konvektif ısı transfer performansları 3 mm hidrolik çapa sahip bir VUV (Vakum Ultraviyole) yüzey ayarlı mini kanal aracılığıyla bu çalışmada sayısallaştırılmıştır. Deney, ilk olarak, işlem görmemiş PDMS kaplamalı bir kanal üzerinde gerçekleştirilmiştir.  $86.2 \pm 2.7^\circ$  temas açısı ve ardından  $2.7 \pm 2.1^\circ$  temas açısına sahip VUV ile işlenmiş bir PDMS kanalı ile test kanalında saçak analizi yapmak için müdahaleci olmayan bir ölçüm tekniği olan Mach-Zehnder interferometrisi kullanılmıştır. Mini kanallardaki ısı transfer katsayılarını ölçmek için Modifiye Naylor-Duarte yöntemi kullanıldı. Alümina ve silika nano-akışkanlar kullanılarak yapılan deneyler, her iki kanalda da D.I su ile karşılaştırılmıştır. Deneyler, üç farklı ısı girişinde (5 W, 10 W ve 15 W) ve diğer üç Reynolds sayısında (294, 591 ve 855) gerçekleştirilmiştir.  $Re = 294$  ve 5 W ısı girdisinde, en yüksek hacim oranı VUV ile işlenmiş mini kanaldaki alümina nano-akışkan, işlenmemiş mini kanaldaki aynı şarja kıyasla ısı transfer oranlarında  $5.92 \pm 1.9$ 'luk bir artış kaydedilmiştir. VUV ile muamele edilmiş mini kanallardaki aynı akış koşulları için, hacimce %0.02 alümina nano-akışkan, D.I suya göre ısı transfer oranlarında  $20.11 \pm 3.4$ 'lük bir artış kaydetmiştir. Hacimce %0.02 silika nano-akışkanlar için  $6.11 \pm 2.7$  idi. 5 W ve  $Re = 294$ 'te VUV ile muamele edilmiş mini kanalda, sınır tabaka kalınlığı, muamele edilmemiş kanala kıyasla hacimce %0.02 alümina nano-akışkan için  $9.64 \pm 1.6$ 'lık bir azalma gösterdi. Ancak  $Re = 855$ ' te, yüzey ayarlı mini kanaldaki tüm test sıvıları için ısı transferindeki yüzde artış %1,74 ile sınırlandırılmıştır. Daha düşük Reynolds sayısında ( $Re=294$ ) VUV ile işlem görmüş mini kanaldaki ısı transferinin, işlem görmemiş mini kanala göre daha üstün olduğu bulunmuştur. Sonuçlar, her iki mini kanalda da belirli bir konsantrasyonda alümina nano-akışkanların silika nano-akışkanlardan önemli ölçüde daha iyi performans göstermiştir (Mohan vd., 2021).

N-Eicosane nano-partikülleri ve saf su faz değişimi malzemesi ve taban sıvısı olarak kabul edilmiştir. Mini kanallı ısı alıcısındaki sıvı akışı ve konveksiyonlu ısı transferi, farklı parametre aralıklarında incelenmiştir: Volumetrik akış hızı,  $q' = 600 \text{ cm}^3 \text{ min}^{-1}$  ila  $600 \text{ cm}^3 \text{ dakika}$  arasında değişmiştir.  $q_h'' = 3,2 \text{ W/cm}^2$ ,  $3.95 \text{ W/cm}^2$  ve  $4.78 \text{ W/cm}^2$  ve N-Eicosan nano-parçacıklarının kütle fraksiyonu,  $q_h'' = 3,2 \text{ W}$  dâhil alt duvarı ve N-eicosan nano-parçacıklarının kütle fraksiyonu,  $\% \Omega_{PCM} = \%0-10$ ' u değiştirmiştir. Bu parametrelerin sürtünme faktörü

üzerindeki etkileri, duvar sıcaklığı, ısı transfer etkinliği, Nusselt sayısı, liyakat figürü, performans katsayısı ve termal dirençler incelenmiştir. Düşük hacimsel akış hızı ve  $3.20 \text{ W/cm}^2$ ,  $3.95 \text{ W/cm}^2$  ve  $4.78 \text{ W/cm}^2$  'nin ısı akışının, Kütle fraksiyonunun daha büyük değerlerine sahip N-Eicosan nano-partiküllerini kullanması sonucuna varılmıştır. Düşük ısı akışı değeri için, konvektif ısı transfer etkinliğinin değeri, Reynolds sayısının çoğu değer için birliğinden daha büyük olduğu görülmüştür. 1.098 olan maksimum olan Reynolds sayısındaki maksimum rakam,  $4.78 \text{ W/cm}^2$  'nin ısı akışı ve % 2' lik kütle fraksiyonunda elde edilebilmiştir. Liyakat endeksi rakamı, N-Eicosane parçacıklarının kütle fraksiyonunun,  $3.20 \text{ W/cm}^2$  'nin ısı akışı için %2 ila %10 oranında arttırılması ile yaklaşık %44 oranında azalmıştır. N-Eicosane nano-partiküllerinin %2' sinin konsantrasyonuyla kullanılması, saf su durumuna göre daha düşük termal dirençlerle sonuçlanmıştır. N-Eicosan Nano-parçacıklarının çeşitli kütle fraksiyonları için termal dirençler arasındaki fark, ısı akışı arttıkça azalmıştır (Ho vd., 2021).

Elektronik ortamdan ısı yayılımı için mini kanallı bir ısı alıcının dairesel yapısında  $\text{Al}_2\text{O}_3$  nano-parçacıklarının kullanımına ilişkin deneysel bir değerlendirme yapılmıştır. Merkezi İşlem Birimi (CPU) gibi bileşenleri deneylerde çeşitli hidrolik kanal çapları ve farklı soğutucu akış hızları değerleri için hazırlanmıştır. Elde edilen veriler üzerinde hidro-termal analiz, ana sonuç olarak bulgular, kanal çapının azaltılmasının ve çalışma sıvısı olarak  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -suyun akış hızının arttırılmasının, soğutucuların soğutma performansını iyileştirmede etkili yaklaşımlar olduğunu gösterilmiştir. En iyi performans tasarımına ulaşmak için kanal boyutu, nano-akışkan hacim akış hızları ve kanal sayılarının basınç düşüşü ve ısı transferi üzerindeki karmaşık etkisi nedeniyle Merkezi Kompozit Tasarıma (CCD) dayalı Tepki Yüzey Metodolojisi (RSM) kullanılarak bir optimizasyon çalışması yapılmıştır (Ghasemi vd., 2021).

Nano ölçekte soğuk ve sıcak akışkanlar arasındaki konvektif ısı transferini geliştirmek, mikro/nano elektronik cihazların ısı yayma kapasitesini geliştirmek için çok önemlidir. Burada, moleküler dinamik simülasyonu kullanılarak periyodik dikdörtgen ve üçgen kanatlı nano ısı alıcısında ısı transfer karakteristiklerini simüle etmek için tasarımı değiştirilmiş edilmiş bir termal pompa yöntemi uygulanmıştır. Nano ölçekte hem soğuk hem de sıcak taraflar için duvar-akışkan ara yüzeyinde sıcaklık sıçraması ve hız kayması gözlemlenmiştir. Kanatçıkların, akışkanların sıcaklık gelişimini arttırdığı ve nano ısı eşanjörlerinin ısı transfer özelliklerini iyileştirdiği bulunmuştur. Isı transfer alanlarının genişlemesi nedeniyle kanatların boyutsuz periyot uzunluğunun düşülmesiyle taşınım ile ısı transferi artar. Periyodik dikdörtgen kanatlı nano ısı alıcılarının ısı transfer performansı üçgen kanatlılardan daha üstün olduğu görülmüştür. Sonuç olarak kanatlı nano ısı alıcısında ısı transfer performansını arttırmak için daha fazla duvara yakın akışkan atomunun "Fonon Köprüsü" gibi davrandığını göstermiştir. Bununla birlikte kanatçıkların neden olduğu ısı transfer alanlarının genişlemesi, nano ısı alıcılarının ısı transferine katılmak için düşük potansiyel bölgelerde daha fazla duvara yakın akışkan atomlarının toplanmasını kolaylaştırmıştır (Wang vd., 2021).

Mini kanal ve nano-akışkanın benimsenmesi, ısı transfer kapasitesini geliştirmek için potansiyel teknolojilerdir. Bu çalışma, eşdeğer çapı 1,59 mm olan tırtıklı kanatlara sahip bir mini kanal içinde su bazlı ZnO nano-akışkanın akış ve termal performansını deneysel olarak araştırılmıştır. %40-60 kütle fraksiyonuna sahip su karışımı, baz akışkan olarak görev yapmıştır. Hacimce %0,75 ve hacimce %1,5 hacimsel konsantrasyona sahip nano-akışkanlar hazırlanmıştır. Viskozite, yoğunluk ve termal iletkenliğin termo-fiziksel özellikleri ölçülmüştür. Nano-partiküllerin eklenmesinin termal iletkenliği ortalama %4,2 artırabilmesine rağmen, viskozitenin de %18,9'a kadar önemli ölçüde arttığını görülmüştür. Ölçülen yoğunluk ve termal iletkenlik, mevcut formülasyonlarla doğru bir şekilde tahmin edilebilmiştir. Tüm korelasyonlar viskoziteyi hafife aldığından, üretilen nano-akışkan için %0,1'lik küçük bir Ortalama Mutlak Bağlı Sapma (MARD) ile yeni bir tane önerilmiştir. Nusselt sayısı, viskozitedeki önemli artıştan dolayı sırasıyla %31,2 ve %47,3 sürtünme faktörü artışı ile hacimce %0,75 ve %1,5 nano-akışkan için ortalama %10,6 ve %13,2 aynı pompalama gücü altında 0,2-1,09' luk nispeten küçük ısı transfer katsayısı geliştirme oranı sağladığı görülmüştür (Wen, Zhu, & Lu, 2021).

Soğutucu cihazları, etkin ısı transfer kabiliyetinde ve merkezi sistemdeki akış düzenlerinde hayati bir rol oynar. Merkezi işlem birimleri (CPU'lar) bu ısı alıcılar, çevredeki sıvıya maruz kalan yüzey alanını arttırmak için ve yüzeyin belirli bir sıcaklık aralığında olmasını gerektiren uygulamalarda kullanılır. Bunun için ısı alıcıları yüzeye (bir mikroişlemci çipi) takılarak elde edilir ve ısı yüzeyden çevredeki akışkan ile havaya aktarılmıştır. Al<sub>2</sub>O<sub>24</sub> alaşımlarından oluşan soğutucu ve %20, %30 ve %40 bakır bileşimlerinin varyasyonunun incelenmiştir. Sonuç olarak daha yüksek sıvı hızında ısı alıcısının yüzey sıcaklığındaki ısı transfer oranında azalma görülmüştür. Düşük hızlar nedeniyle elektronik cihazlarda önemli miktarda ısı transfer hızı artırılabilecektir. Isı alıcısı konumunun orta bölümünde, soğutucu akışkanın giriş ve çıkış bölümlerine kıyasla 6 m/s akışkan hızı ile maksimum sıcaklığın 340 K' ye ulaşmıştır. Soğutucunun daha düşük basıncı, ısı alıcısının konumunun orta bölümünde 100 Mpa 'da elde edilir iken daha yüksek basınç, 12 m/s akışkan hızı ile giriş bölümü 500 MPa ile elde edilmiştir. Al<sub>2</sub>O<sub>24</sub> alaşımlarının bakır bileşimi kombinasyonu ile hata yüzdeleri, önceki referanslarla iyi bir uyum içinde olduğu görülmüştür (Hanumanthrapa vd., 2020).

Nano-akışkan ve mini kanal, ısı transfer performansını artırmak amaçlanmıştır. 1,22 mm ve 1,42 mm hidrolik çaplara sahip iki çok noktalı mini kanal içinde etilen glikol su nano-akışkanı. Ortalama çapı 30 nm olan ZnO nano-partiküller %40-60 EG/su çözeltisine dağıtılarak %0.75 ve %1.5 hacim konsantrasyonuna sahip nano-akışkanlar elde edildi. Çeşitli çalışma koşulları altında ısı transferi ve akış performansı, hem deneyler hem de CFD simülasyonu ile tanımlanmıştır. Deneysel olarak, Nusselt sayılarının sırasıyla %0.75 ve %1.5 konsantrasyonlu nano-akışkanlar için ortalama %6.7 ve %9.8 oranında iyileştiğini ortaya koymuştur. Bununla birlikte, sürtünme faktörleri de buna karşılık olarak %4,6 ve %8,6 oranında büyütülür, bu da 0,94 ile 1,31 arasında değişen ve ortalama 1,05 ve 1,07 olan çeşitli bir termal performans faktörü ile sonuçlanmıştır (Wen, Lu, vd., 2021).

ZnO/su nano-akışkanının iki çok noktalı mini kanalda termal ve akış özellikleri deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Hacimsel konsantrasyonları %0,75 ve %1,5 olan nano-akışkanlar kullanılmıştır. Deneysel olarak, konsantrasyon, Reynolds sayısı (100–3750) ve kanal boyutunun (1,22 ve 1.42 mm) performans üzerindeki etkileri belirlenmiştir. Nusselt sayı tahmini için yeni bir Genetik Algoritma ile optimize edilmiş Geri Yayılım-Yapay Sinir Ağı (GA ile optimize edilmiş BP-ANN) önerildi. Sayısal olarak, farklı türbülans modelleri ile tek fazlı ve karışım modeli kullanılarak performans değerlendirilmiştir. Sonuçlar, nano-akışkanların suya göre daha iyi ısı transfer performansı ve daha yüksek basınç düşüşü gösterdiğini ortaya koymaktadır. Ek olarak, daha yüksek bir konsantrasyonda laminar/türbülanslı geçiş bölgesinde iyileşme daha belirgin olduğu görülmüştür. Termal performans faktörü için, geliştirme yalnızca akış geçişinden sonra daha yüksek Reynolds sayılarında görülmüştür. En dikkat çekici geliştirmeler, sırasıyla 1600 ve 1430 Reynolds numaralarındaki iki kanal için yaklaşık 1,3 ve 1,48' dir. Geliştirilen GA için optimize edilmiş BP-ANN, %2,70' lik bir Ortalama Mutlak Görelî Sapma (MARD) ile son derece yüksek bir tahmin doğruluğu göstermiştir. Sayısal olarak, Lam-Bremhorst modeliyle birleştirilen tek fazlı model, karışım modelinden %9,0' lık bir MARD' lı mini kanalda nano-akışkan için daha iyi simülasyon sonuçlarına ulaşılmıştır (Wen, Zhu, Jiao, vd., 2021).

Bu makale, bir elektronik yonga seti olarak bir baskılı devre kartının (PCB) termal yönetimini, sıvı akışı ve nano-gelişmiş faz değişim malzemeleri (NPCM'ler) kullanan bir mini kanallı ısı alıcısı yardımıyla değerlendirmeyi amaçlamıştır. Isı akıları (4, 7 ve 10 kW/m<sup>2</sup>), akış hızları (50, 80 ve 110 ml/dak), PCM türleri (parafin 56–58°C ve 46–48°C) gibi çeşitli parametrelerin etkileri ) ve NPCM tipleri (TiO<sub>2</sub>-PCM ve Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-PCM) ısı alıcının geçici sıcaklık, ısı direnç ve ısı etkinliği hakkında açıklanmıştır. Akış hızı olarak 50 ml/dk' nın başarılı bir şekilde gösterilmesinden sonra, eşzamanlı sıvı akışı (50 ml/dak) ve PCM (parafin 56–58°C) ve PCM (parafin 46) ile soğutucu durumunda PCB sıcaklığı –48°C), su bazlı soğutucuya göre sırasıyla 6,5 ve 9,5°C azalmıştır. Sonuçlar, TiO<sub>2</sub> ve Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nano-parçacıklarının saf parafine dağıtılmasıyla, PCB'nin kararlı durum sıcaklığının azaldığını ve saf parafine kıyasla soğutucu soğutma yeteneğinin arttığını göstermiştir. Farklı soğutma sistemlerinde en yüksek sıcaklık düşüşü (17,9-13,2°C) ve minimum termal direnç (2,62–3,03 °C/W ) TiO<sub>2</sub>-PCM (ağırlıkça %4) ve Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> ile PCM (ağırlıkça %8) soğutucu durumunda görülmüştür(Najafi vd., 2021).

Mevcut araştırma, yeni tasarlanmış beşgen, üçgen kesitlere sahip eğik kanatlı bir mikro kanallı ısı alıcının (MCHS) ısı transferi ve akış özelliklerini karşılaştırmaktadır. Kullanılan çalışma sıvıları CuO/Su (%0,3), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Su (%0,3) nano-akışkanlar ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CuO/Su (%0,3) Hibrit nano-akışkandır. Soğutucu 80 × 48 mm<sup>2</sup>'lik bir kesit alanı kullanılmıştır. Deneysel çalışmada kütle akış hızı, 50 kW/m<sup>2</sup> lik sabit bir ısı akısı ile 0,1 ila 0,5 LPM arasında değiştirilerek gerçekleştirilmiştir. Deneysel sonuçlar, eğik kanatlı beşgen mikro kanalda üretilen ikincil akışa atfedilebilecek hibrit nano-akışkanlar kullanan üçgen kanallı ısı alıcısı ile karşılaştırıldığında, beşgen kanal için ısı transfer hızının ve basınç düşüşünün sırasıyla %12.3 ve %16.5 arttığını

ortaya koyulmuştur. Hibrit soğutuculu nano-akışkan ile CuO/Su ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Su nano-akışkanları ile karşılaştırıldığında, beşgen mikro kanallı ısı alıcısı ile ısı transfer hızı sırasıyla %4,2 ve %5,5 arttı. Beşgen mikro kanallı ısı alıcı için Performans Değerlendirme Kriterinin, hibrit nano-akışkan kullanan üçgen mikro kanallı ısı alıcıdan %21,12 daha yüksek olduğu bulunmuştur. Hibrit nano-akışkanlı beşgen kanallı soğutucu için diğer kombinasyonlara göre ısıl direncin daha az olduğu ve gereken pompalama gücünün yüksek olduğu görülmüştür (Vinoth & Sachuthananthan, 2021).

Bu çalışmada, soğutucu olarak su, nano-akışkan ve ferro-akışkan ile kompakt bir soğutucu termo-elektrik soğutma modülünün termal performansı deneysel olarak incelenmiştir. TiO<sub>2</sub> nano-akışkan ve Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> ferro- akışkan, sırasıyla %0,005 ve %0,015 konsantrasyonlarında test edilmiştir. Sahte pil takımı, sabit bir sıcaklıkta suyla doldurulmuş ve bir ısı yükü olarak temsil edilmiştir. Sonuçlar, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> ferro-akışkanın TiO<sub>2</sub> nano-akışkan ve sudan sırasıyla %11,17 ve %12,57 daha yüksek bir maksimum ısı transfer hızı gösterdiğini ortaya koymuştur. %0,015 konsantrasyona sahip TiO<sub>2</sub> nano-akışkan ve Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> ferro- akışkan, termo-elektrik soğutucunun (TEC) Fourier etkisinin katkısını azaltarak Peltier etkisini arttırmış ve TEC soğutma modülünün sıcaklık farkını sırasıyla %4,6 ve %9,6 oranında azaltmıştır. Soğutucunun termal direncini sırasıyla %7 ve %14 azaltmıştır. Daha da önemlisi, soğutucu olarak %0,015 konsantrasyona sahip nano-akışkanların ve ferro-akışkanların kullanılması, su ile karşılaştırıldığında basınç düşüşünü sırasıyla 0,5 kPa ve 2,7 kPa kadar önemli ölçüde artırdığı görülmüştür (Wiriyasart vd., 2021).

Nanoteknoloji alanındaki muazzam doğaçlamalarla, Nano akışkandaki bir ısı transferi muhteşem bir fenomen haline gelir ve termal iletkenlik ölçümleri, akışkanlardaki geleneksel ısı transfer mekanizmasından daha çekici bir kavramdır. Geleneksel modelle açıklanamayan Nano-akışkanlardaki ısıl iletkenliğin ustaca geliştirilmesi. Nano-partiküller bir sıvı içinde süspanse edildiğinde, çok düşük konsantrasyonda termodinamik özellikleri ve ısı transfer performansını artırabilmiştir. Bu derleme makalesinde, Nano akışkanları sentezlemek için çeşitli yöntemleri ve termo fiziksel özelliklerini ve uygulamaları tartışılmıştır (Shilpi vd., 2020).

Bu sayısal çalışmanın amacı, sıvı soğutmalı mikro kanallı bir soğutucudan akan hibrit bir nano-akışkanın birinci yasa ve ikinci yasa performanslarını değerlendirmiştir. Su bazlı hibrit nano-akışkan, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> ve karbon nano-tüpler (CNT'ler) nano-parçacıklarından oluşturulmuştur. Soğutucu, akış alanının, soğutucunun altına yerleştirilmiş bir işlemciden ısı kazanması için bir mikro kanal konfigürasyonu içermiştir. Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> konsantrasyonunun (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>), CNT konsantrasyonunun (CNT) ve Reynolds sayısının (Re) konvektif ısı transfer katsayısı, CPU yüzey sıcaklığı, termal direnç, pompalama gücü ve ısı transferinden kaynaklanan entropi üretim hızı üzerindeki etkileri ve sıvı sürtünmesi incelenmiştir. Sonuçlar, daha yüksek Re, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> ve CNT değerleri için daha yüksek konvektif ısı transfer katsayısı, pompalama gücü ve sürtünme entropi üretim hızı değerleri göstermiştir. Reynolds sayısı, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> ve CNT'yi artırarak, CPU yüzey sıcaklığı ve termal direnci azalmış ve CPU yüzeyindeki sıcaklık dağılımı daha düzgün

hale gelmiştir. Çalışılan soğutucunun maksimum performansını elde etmek için düşük  $Fe_3O_4$  ve CNT'li hibrit nano-akışkan uygulanması önerilmiş, yüksek  $Fe_3O_4$  ve CNT'li nano-akışkan uygulaması ile minimum entropi üretimi sağlanmıştır (Shahsavar vd., 2021).

Bu çalışma, düz dikdörtgen kesitli bir kanal üzerinde çalışarak ısı transferinin iyileştirilmesi için bir çözüm sağlamak için sayısal bir çalışma ile eşlik edilmiştir. Seçilen kanal, dairesel ve geçiş geometrisi ile çukur çıkıntı şeklinde bozulma ile ve bozulma olmadan kullanılmıştır. Isı akışı bir sınır koşulu olarak uygulanırken, akış davranışını ve ısı taşıma kapasitesini belirlemek için temel akışkan olarak su kullanılmıştır. Ayrıca, aynı sınır koşulu kullanılarak kanallara sırasıyla %0,10, %0,15 ve %0,20 konsantrasyonlu bakır oksit nano-parçacıkları eklenmiştir. Akış koşulları, tam gelişmiş akış ile laminer rejim göz önüne alındığında Reynolds sayısı 100 ile 900 arasında değişim göstermiştir. Reynolds sayıları için etkili olduğu ve ısı transferini %0.2 CuO konsantrasyonu için %10,5 ve nano-partiküller olmadan %8.2 iyileştirdiği gözlemlenmiştir. Bozulma kanalı aracılığıyla, %0,2 nano katkı maddeleri için %8,8 ve nano-parçacıklar olmadan %6,8 iyileştirme ile ara Reynolds sayılarında performansı artırılmıştır. TPF, %0 nano katkı maddesi konsantrasyonuna referansla dairesel ve geçiş kanalının  $Re = 100$ 'de Termal Performans faktörü 'nün (TPF) yüksek performans göstermiştir. Yüksek hızlarda hem Nusselt sayısı hem de sürtünme faktörü için şekil etkisi öne çıkmıştır. %0,2 CuO konsantrasyonuna sahip dairesel çukur çıkıntılı kanal için Nusselt sayısında maksimum %10 iyileşme görülmektedir. Ayrıca dairesel çukur-çıkıntılı kanalda yüksek Reynolds sayısında girdapların oluşumu gözlenirken, kanalın uzak kenarlarından sıcaklığı yükselterek taban sıcaklığının düşürülmesine katkıda bulunmuş, ancak çukurlar arasındaki devridaim yüksek sıcaklık gradyanına katkıda bulunmuştur. Bu sebeple Stanton sayısı için %0 konsantrasyonda dairesel çukur, açık çukura kıyasla ortalama %3 daha az olduğu görülmüştür (Khan vd., 2021).

Isı transferi ekipmanında ılımlılığın temel amacı, canlılık ve sermaye maliyetinden yararlanmıştır. Soğutma sisteminin termal performansı temel olarak ısı alıcının performansına bağlı olduğu görülmüştür. Çapraz akışlı ısı eşanjöründe, gövde borulu eşanjör, spiral eşanjör ve plakalı eşanjör ile karşılaştırıldığında daha yüksek bir ısı transferi oranı ile daha verimli çalışmıştır. Farklı tipteki ısı eşanjörlerinde ısı transfer hızının artırılmasına yönelik bir yöntem, düz akışkanlar yerine nano-akışkanların kullanılmasıyla mümkün olduğu görülmüştür. Çeşitli araştırmalar, örneğin  $Al_2O_3$ ,  $TiO_2$  ve  $SiO_2$  gibi  $X_2O_3$  tipi oksitlerin su içinde süspanse edilmesiyle elde edilen nano-akışkanların kullanılması yoluyla bir ısı eşanjörü tarafından ısı transferinde iyileştirmeler ortaya çıkarmıştır. Çapraz akışlı ısı eşanjörü çoğunlukla büyük kantinler, hastaneler, gıda endüstrilerinde sağlıklı standartlar için kullanılmıştır (Jamuna Rani vd., 2021).

Araştırmacılar, pompalama gücünü artırmaya gerek kalmadan sistemin ısı transfer özelliklerini geliştirmenin yollarını aramışlardır. Tüpte sarmal tip kullanılması, laminer akışı türbülanslı akışa çevirerek ısı transfer özelliklerini önemli ölçüde artırabilmiştir. Sunulan çalışma, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği prosedürlerinin sarmal ekin dâhil edilmesiyle



borudaki ısı transferinin arttırılmasını araştırmaktadır. Tüpün CAD modeli, CATIA V5 yazılımında geliştirilmiş ve daha fazla analiz için ANSYS CFX yazılımına aktarılmıştır. Analiz için kullanılan turbülans modeli, basınç gradyanlı çok çeşitli sınır tabaka akışları için k-omega 'nın doğru seğıildiği görülmüştür. Analizde kullanılan nano-akışkanlar, % 1 ve % 2 hacim fraksiyonlu CuO/su kullanılmıştır. Her durum için sıcaklık, hız profili ve ısı transfer katsayısı belirlenmiş ve su ile karşılaştırma yapılmıştır. Sonuçlar, sarmal bobin ekinin akış tipini değiştirdiğini (laminerden alkantılıya) ve ısı transfer oranını arttırdığını göstermiştir. CuO/su nano-akışkan kullanımı, daha yüksek Reynolds sayısında Nusselt sayısını %11,1 oranında arttırmış ve daha düşük Reynolds sayısı için Nusselt sayısını %18,03 oranında arttırmıştır (Agarwal vd., 2021).

CPU soğutma performansını iyileştirmek için, soğutma ortamı olarak hacim konsantrasyonu %9 olan TiO<sub>2</sub>/su nano-akışkanları kullanılmıştır. Nano-akışkan giriş ve çıkış konumları soğutma performansı üzerinde çok önemli bir etkiye sahip olduğundan, soğutma özelliğini daha da optimize etmek için nano-akışkan giriş ve çıkış konumlarının (üst ve iki taraf) CPU soğutma performansı üzerindeki etkisi, iki fazlı bir kafes ile sayısal ve deneysel olarak incelenmiştir. Boltzmann modeli ve deneysel bir yöntem sırasıyla sayısal simülasyon sonuçları ile deneysel sonuçlarla iyi uyum sağlamıştır. Sonuçlar, nano-akışkanların, aynı çalışma koşulları altında suya kıyasla CPU'nun ortalama sıcaklığını etkili bir şekilde 4,54°C azaltabileceğini göstermiştir. Girişi ve ıkışi üstte olan CPU, her iki taraftakine kıyasla ortalama sıcaklığı en fazla 8,49 °C azaltabilmiş ve giriş ve ıkış CPU' nun üstünde olduğunda CPU sıcaklık dağılımı daha düzgün olduğu görülmüştür. Üstteki giriş ve ıkış CPU soğutması için daha uygun bir seğıim olduğu görülmüştür (T. Chen vd., 2021).

Kompozit dağılmış hibrit nano-akışkanın termal-hidrolik davranışını değerlendirmek için mini kanallı ısı alıcısında deneysel bir araştırma yapılmıştır. İndirgenmiş grafen oksit-çinko oksit (rGO-ZnO) nano-kompozit parçacıkları sentezlenmiş ve %0,01 hacim konsantrasyonuna sahip hibrit nano-akışkan hazırlamak için su içinde dağıtılmıştır. Farklı Reynolds sayısının (50–600), hacimsel akış hızının (0,1–0,5 lpm), ısı akısının (33,33–66,67 W/cm<sup>2</sup>), kanal en boy oranının (2,5–5; karşılık gelen hidrolik çap: 1,14–1,33 mm) ısı transferi, basınç düşüşü ve bunların göreceli performans özellikleri detaylı olarak incelenmiştir. Kanal en/boy oranındaki 5'ten 2,5'e azalma (1,33'ten 1,11 mm'ye hidrolik çap), 0,5 lpm'lik bir akış hızında konvektif ısı transfer katsayısını %47,2 arttırmıştır. Isı transfer katsayısı, ısı akışındaki 33,33 W/cm<sup>2</sup>'den 66.67 W/cm<sup>2</sup>'ye artışla birlikte, yaklaşık %17,41 oranında önemli ölçüde artmış ve ısı akısının sürtünme faktörü üzerindeki etkisi, Reynolds sayı aralığı boyunca önemli olmadığı görülmüştür. Performans değerlendirme kriterleri, tüm kanal görünüm oranları ve ısı akıları için akış hızı ile azalan-artan-azalan bir trende sahip olduğu saptanmıştır. Tüm ısı akısı ve kanal en-boy oranı kombinasyonlarında liyakat rakamı için en uygun bir akış hızı gözlemlenmiştir. Başarı rakamı, 3,75' lik bir kanal en-boy oranı (yani, 1,26 mm' lik hidrolik çap) ve 66,67 W/cm<sup>2</sup> lik ısı akışı için maksimum 1,39' luk bir değer ile bulunabilmiştir (Kumar vd., 2021).

## 2. BÖLÜM

### MATERYAL VE YÖNTEM

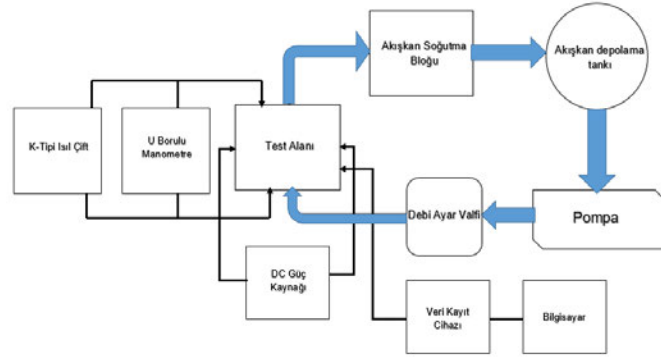
CPU soğutma sisteminin deney tasarımı yapılmış ve deneyler, Hitit Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Enerji Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Belirtilen deney düzeneği, deney seti ve kullanılan akışkanların hazırlanma süreci bu bölümde detaylı olarak anlatılmıştır.

#### 2.1. Deney Düzeneğinin Tanıtılması

Çalışma kapsamında Resim 2.1' de görseli ve Şekil 2.1' de şematik görünümü verilen deney düzeneği, test alanı, DC güç kaynağı, standart tip sıvı hazneli sahip akışkan pompası, bakır borular, ultrasonik debimetre (TUFF-2000H) ve debi ayar valfinden oluşmaktadır. Gerçekleştirilen deneylerde akışkan debisi değeri için 3 farklı ölçüm yapılmış olup ortalama debi değeri üzerinden deneyler gerçekleştirilmiştir. Ultrasonik debi ölçümü için 2 prob arası ultrasonik dalga boru özellikleri gereği "W" dalga okuma yöntemi seçilmiştir. Çalışma kapsamında literatür incelenmiş olup en çok kullanılan üç farklı akışkan üzerinde durulmuştur. Saf suyun dışında alüminyum oksit-saf su ve silisyumkarbür-saf su nano akışkanları tercih edilmiş ve çalışmada dört farklı (60ml/dk, 75ml/dk, 85ml/dk ve 105ml/dk) akışkan debisi değeri kullanılmıştır. Standart sıvı hazneli pompa, günümüzde elektronik bileşenlerin akışkan ile soğutulmasında kullanılan, kurulumu ve kullanımı kolay bir sıvı soğutma bileşenidir. DC güç kaynağı sisteme gerçek ortam şartının sağlanması için amper ve voltajın ayarlanması ile bağlı olduğu yüzeye istenilen Watt değerinde sabit ısı akısı vererek yüzey sıcaklığının ayarlanmasında kullanılmıştır. Bu çalışmada dört farklı ısı akısı ( $6000\text{W}/\text{m}^2$ ,  $7000\text{W}/\text{m}^2$ ,  $8000\text{W}/\text{m}^2$  ve  $9000\text{W}/\text{m}^2$ ) tercih edilmiştir.



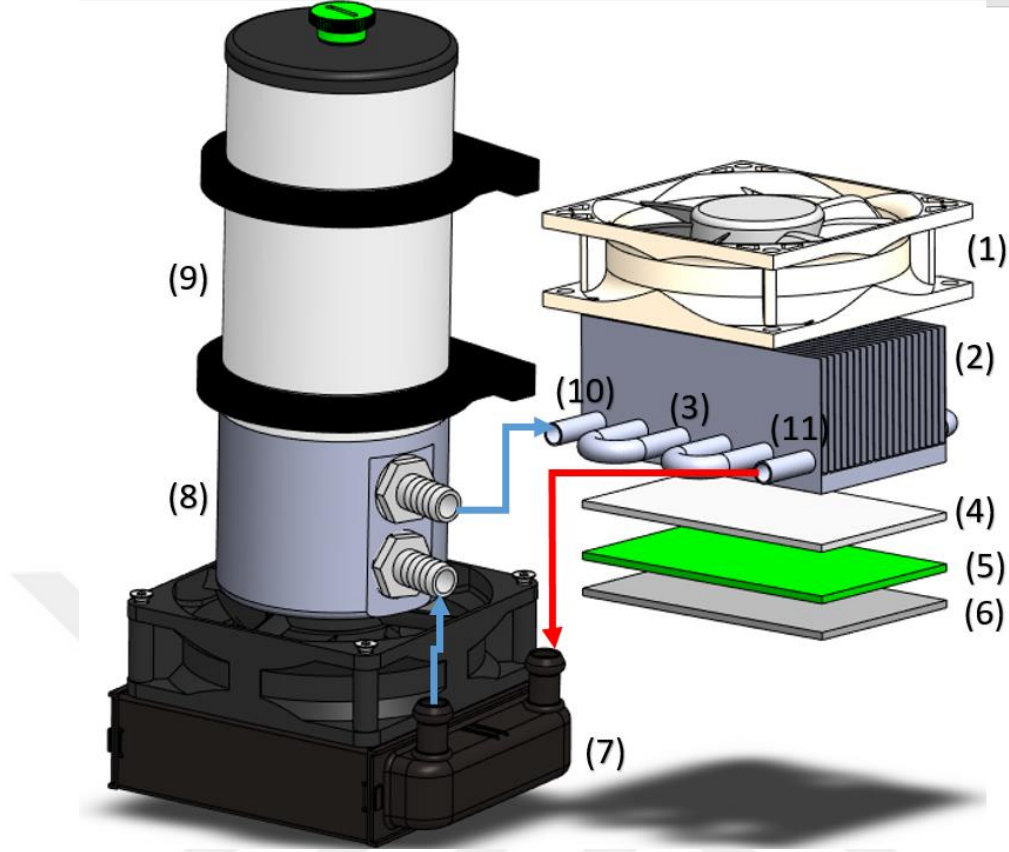
Resim 2.1. Deney düzeneği genel görünüm



**Şekil 2.1.** Deney düzeneği şematik görünümü

### 2.1.1. Test bölümü

Resim 2.2’de gösterilen deney test alanında bulunan ve işlemci yüzeyi olarak kabul edilmiş test yüzeyinden ısının uzaklaştırılmasını sağlamak için 83 mm x 55 mm x 36 mm ölçülerine sahip alüminyum ısı alıcı bloğu tasarlanmıştır. Bloğun taban kalınlığı 5 mm, kanatçık kalınlığı 3 mm ve blok boyunca eşit mesafe ve blok üzerinde 20 adet kanatçık bulunmaktadır. Bununla birlikte kanatçıklara dik olarak yerleştirilen ve içinden iç çap 3 mm, dış çap 5 mm, giriş-çıkışta 150 mm ve geçiş kısmında 100 mm bakır boru kullanıldı. Alüminyum ısı alıcısının dışında kalan bakır boru yalıtılmıştır. Ayrıca akışkanın giriş çıkış sıcaklığının belirlenebilmesi için K-Tipi ısı çifti kullanılmıştır. Çalışmada basınç farkının ölçülmesi için U-borulu manometre kullanılmıştır. DC güç kaynağı ile ısıtılan yüzeyin sıcaklık değerinin doğru ölçülebilmesi için emisivite değeri 0,82 olan ve kalınlığı 0,02 mm çelik folyo kullanılmıştır.



1. Fan	2. Isı alıcısı	3. Yalıtılmış bakır boru	4. Termal macun
5. CPU	6. Paslanmaz çelik folyo	7. Sıvı soğutma bloğu	8. Pompa
9. Akışkan depolama tankı	10. Soğuk akışkan girişi	11. Sıcak akışkan çıkışı	

**Şekil 2.2.** Test bölümü şematik görünümü



**Resim 2.2.** Test bölümü genel görünüşü

### **2.1.2 Isıtma yüzeyini gerdirme mekanizması**

Isıtma yüzeyini gerdirme mekanizmasına ait görsel Resim 2.3' de gösterilmiştir. Deneyleerin gerçekleştirileceği ısıtma yüzeyinin uygulamaya uygun bir şekilde hazırlanmış olması çalışmanın daha doğru olmasını ve daha net sonuçların alınması için son derece önemlidir. Paslanmaz çelik folyodan oluşturulan ısıtma yüzeyinde ısıdan kaynaklı uzama ve genleşme meydana gelmektedir. Belirtilen uzama ve genleşme, ısıtma yüzeyinin mevcut gerginliğinin zamanla kaybolmasına neden olmaktadır. Doğru sonuçları elde etmek için, ısıtma yüzeyinin gerginliğini sabit tutmak amacıyla bir gerdirme mekanizması imal edilmiştir.



**Resim 2.3.** Folyo gerdirme sistemi

### 2.1.3. Doğru akım (DC) güç kaynağı

Çalışma kapsamında uygulamanın gerçekleştirdiği ısıtma yüzeyine sabit ısı akısı uygulamak için, Resim 2.4' de belirtilen 0-6 Volt ve 0-110 Amper aralığında çalışabilen DC güç kaynağı kullanılmıştır.



**Resim 2.4.** DC güç kaynağı

Resim 2.5' de görüldüğü gibi, DC güç kaynağı ısıtma yüzeyine, test bölümünde yer alan bakır pabuçlar ile altı farklı noktadan bağlanmıştır. Bu şekilde ısıtma yüzeyine farklı akım ve voltaj değerlerinde güç verilmesi sağlanmıştır.



**Resim 2.5.** DC güç kaynağına elektrik bağlantı elemanları

### 2.1.4. Termal kamera

Kullanılan deney sisteminde bulunan ısıtma yüzeyi üzerindeki sıcaklık dağılımlarının belirlenmesinde Resim 2.6' da görülen Cat marka Cat60 model termal kamera kullanılmıştır. Paslanmaz çelik folyo üzerindeki sıcaklık dağılımına bağlı termal görüntüler, termal kameranın test bölümünün alt tarafına z yönüne dik bir şekilde yerleştirilmesiyle elde edilmiştir. Kamera AGEMA Researcher yazılımı ve bilgisayarlı termografi sistemi sayesinde, sıcaklıkları  $-20^{\circ}\text{C}$ ' den  $1000^{\circ}\text{C}$ ' ye kadar yaklaşık  $\pm \%2$  hassasiyetle ölçebilmektedir. Kullandığımız termal kamera sisteminde, 7,5 ile 13 mikrometre arasında 320x240 piksel soğutulmamış odaksal yüzey belirleyici bulunmaktadır. Görüş alanı  $25^{\circ} \times 18,8^{\circ}/0,4$  m ve anlık görüş alanı 1,3 m-rad ve termal hassasiyet  $0,09^{\circ}\text{C} - 30^{\circ}\text{C}$  arasındadır. Termal kamera ile elde



edilen görüntüler bilgisayar yardımı ile FLIR-Tool programı kullanılarak daha sonra analiz edilmek üzere görüntülenmiş ve kaydedilmiştir.



**Resim 2.6.** Termal kamera

### 2.1.5. Fan

Deney sistemine hava, Resim 2.7’de görülen devri sabit 2,2 m/s hızında, üç fazlı standart bilgisayar fanı vasıtasıyla sağlanmıştır. Fan ile dikdörtgen kanala hava taşıyan boru arasındaki bağlantı gerçekleştirilmiştir. Fan çıkışı soğutma bloğuna bağlanmıştır.



**Resim 2.7.** Alüminyum bloğun soğutulması için tercih edilen fan

### 2.1.6. Isıl çiftler

Test bölgesinde akışkanın giriş ve çıkışındaki sıcaklıklar K tipi ısıl çift kullanılarak dijital termometre kullanılarak ölçülmüştür.



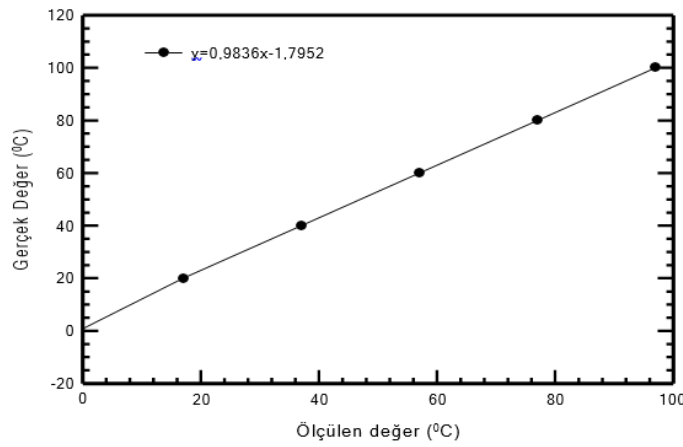
**Resim 2.8.** Dijital termometre

Dijital termometre ve K tipi ısıl çiftler Resim 2.8 ve Resim 2.9’ da gösterilmiştir.



**Resim 2.9.** K tipi ısıl çift

Ölçüm işleminden önce elde edilen değerlerin doğru olması için, ısıl çiftler kalibre edilmiştir.



**Şekil 2.2.** Isıl çiftlerin kalibrasyon eğrisi

### 2.1.7. Ultrasonik debiölçer

Ultrasonik Debimetre TUFF-2000H, kapalı borulardaki sıvı akışını ölçebilen invazif olmayan bir cihazdır. +/-%1 ölçüm doğruluğuna ve +/-%0,2 tekrarlanabilirliğe sahiptir. TUFF 2000H, debiyi, toplam debiyi ve diğer parametreleri gerçek zamanlı olarak göstermektedir. Deneyleerde ise çıkış bölgesinde boru boyu ve boru malizemesi gibi yaklaşık 70 (yetmiş) parametre girildikten sonra iki prob arası minimum mesafe belirlenir. Bu mesafe proplar arası ultrasonik dalga iletimi için minimum mesafedir. İki prob eş yönlü olarak boruya bağlanarak ölçümler gerçekleştirilmektedir.

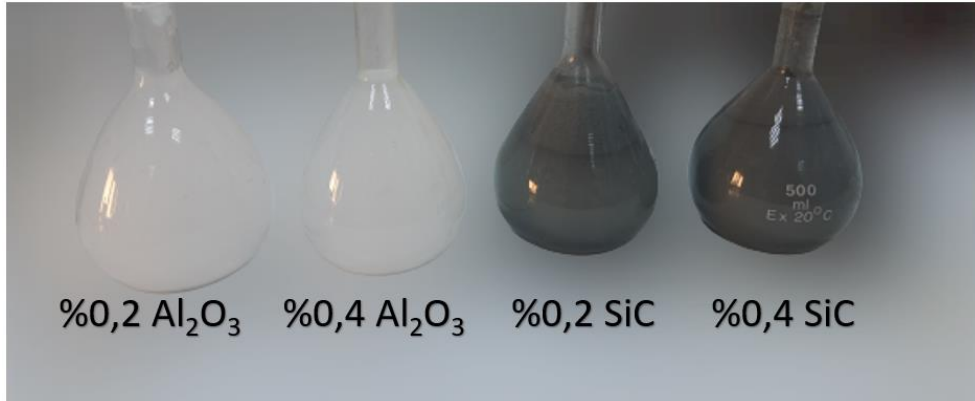




**Resim 2.10.** Ultrasonik debimetre TUFF-2000H

## 2.2. Nano Akışkan Hazırlama

Bu çalışmada Resim 2.13' de görülen Precisa XB 220 A TEX Analitik Terazi ile 500ml saf suya 1gr nano-partikül eklenerek Resim 2.17' de görülen SONICA 3300 EP S3 Ultrasonik temizleyici ile 400 W 5 saat boyunca 40 kHz frekansta nano akışkan elde edilmiştir. Resim 2.14' de görülen anyonik inhibitör kullanılmadan önceki nano akışkan hazırlanmasında çökelmeden dolayı homojen bir akışkan elde edilemediği için nano-partikülün suya tutunmasını sağlamak ve daha homojen bir karışım elde etmek amacıyla tüm karışımın kütlece %1 'i kadar Sodyum Dedosil Sülfat olan anyonik inhibitör Resim 2.16' da görüldüğü gibi eklenmiştir. Resim 2.14' te Mtops MS300HS Isıtıcılı Manyetik Karıştırıcı 1500 rpm hızında 3 saat manyetik karıştırıcı ile fiziksel olarak karıştırılmıştır. Böylece çökeltme süresi 4 haftaya kadar yükselmesi sağlanmıştır. İşlemler sonucunda %0,2 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Saf Su, %0,4 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Saf Su, %0,2 SiC/Saf Su ve %0,4 SiC/Saf Su nano-akışkanları kullanıma hazır hale getirilmiştir.



**Resim 2.11.** Nano akışkanlar ve yüzdece derişimleri

**Tablo 2.1.** Deneyde Kullanılan Akışkanların Özellikleri Deneyde Kullanılan Akışkanların Özellikleri

Akışkanlar	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	k (W/mK)	Cp (J/kgK)
SiC nanopartikül	3220	37	750
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> nanopartikül	3950	40	765
Saf Su	993	0,6285	4180



**Resim 2.12.** Sonica ultrasonic banyoda nano akışkanların görüntüsü

**Table 2.2.** Precisa xb 220 a tex analitik terazi özellikleri

<b>Kapasite:</b>	220 gr
<b>Hassasiyet:</b>	0.1 mg
<b>Kefe Çapı:</b>	80 mm
<b>Kalibrasyon:</b>	Otomatik



**Resim 2.13.** Precisa xb 220 a tex analitik terazi

**Table 2.3.** Mtops ms300hs ısıtıcı manyetik karıştırıcı

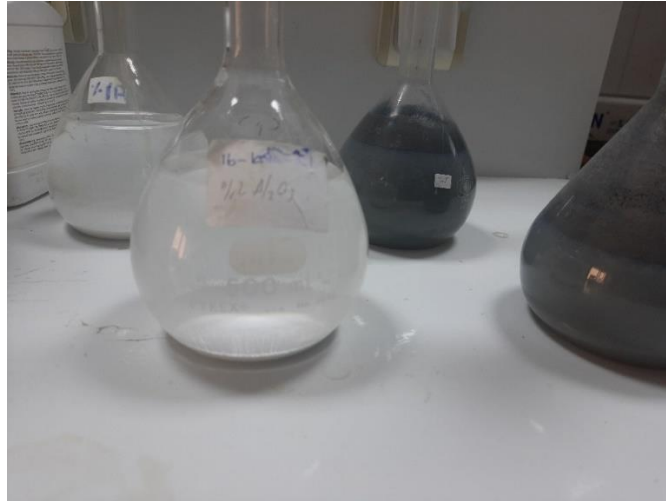
<b>Sıcaklık Göstergesi</b>	Ayarlanabilir
<b>Sıcaklık Kontrolü</b>	Elektronik Enerji Regülatörü
<b>Isıtıcı Güç</b>	680 W
<b>Karıştırma Hızı</b>	100... 1500 rpm
<b>Karıştırma Hız Göstergesi</b>	Ayarlanabilir
<b>Karıştırma Kapasitesi</b>	5 L (H2O)
<b>Hız Kontrolü</b>	Geri bildirim Kontrolü
<b>Isıtıcı Tabla</b>	Seramik Kaplı Alüminyum
<b>Tabla Ölçüleri</b>	180 x 180 mm
<b>Karıştırıcı Ölçüleri</b>	200 x 310 x 107 mm
<b>Güç</b>	220 Volt 50/60 Hz
<b>Ağırlık</b>	2.9 kg



**Resim 2.14.** Mtops ms300hs ısıtıcılı manyetik karıştırıcı

**Table 2.4.** Sonica 3300 ep s3 ultrasonik temizleyici özellikleri

<b>Ana hat gerilimi</b>	230/240V~50/60Hz
<b>Ana giriş gücü/tüketimi</b>	200 W
<b>Isıtmalı ana giriş gücü</b>	500 W
<b>Tepe HF Ultrason Gücü</b>	400 W
<b>Depo kapasitesi [L]</b>	9,5
<b>Ağırlık [kg]</b>	6



**Resim 2.15.** İnhibitör madde kullanılmadığında oluşan nano-akışkan



**Resim 2.16.** İnhibitör madde sodyum dedosil sülfat kullanıldığında oluşan nano-akışkan



**Resim 2.17.** Sonica 3300 ep s3 ultrasonik temizleyici

### 2.3. Veri Analizi

Yönetim denklemleri (enerji açısından) ve çalışılan parametreler (termal direnç), nano akışkan özellikleri ve termal verimlilik) açıklanmıştır. Tüm sistemi tek bir kontrol hacmi olarak kabul ederek ve kararlı durum koşulu varsayarak, birinci yasa şu şekilde yazılır:

$$\dot{E}_{HF} + \dot{E}_{k\ddot{u}tle,g} + \dot{E}_{pompa} = \dot{E}_{k\ddot{u}tle,\ddot{c}} + \dot{E}_{s\ddot{u}rt\ddot{u}nme} + \dot{E}_{kayıp} \quad (1)$$

Burada  $\dot{E}_{HF}$  EC 'nin enerji oranı,  $\dot{E}_{k\ddot{u}tle,g}$  (kütle girişi) ve  $\dot{E}_{k\ddot{u}tle,\ddot{c}}$  (kütle çıkışı), sırasıyla giriş ve çıkış bölümlerindeki soğutucunun enerji oranıdır. Ayrıca,  $\dot{E}_{pompa}$  pompa tarafından tüketilen

enerji oranıdır. Bununla birlikte  $\dot{E}_{sürtünme}$  akışkan sürtünmesi ile oluşan kayıp değerdir ihmal edilmiştir ve  $\dot{E}_{kayıp}$  çevreye kaybedilen enerji oranıdır. Soğutucu boyunca akışkan akış enerjisi değişim oranı aşağıdaki şekilde verilmiştir:

$$\dot{E}_{th} = \dot{m} C_{p,a} (T_{a,\zeta} - T_{a,g}) \quad (2)$$

Burada  $\dot{E}_{th}$ , termal enerji (öz ısı) hesaplanırken  $\dot{m}$  soğutucunun kütleli debisidir.  $C_{p,a}$  Akışkanın özgül ısı kapasitesidir.  $T_{a,g}$  ve  $T_{a,\zeta}$  sırasıyla girişteki ve çıkıştaki soğutma akışkanı sıcaklıklarıdır.

Sardarabadi M., ve arkadaşları tarafından EC 'ye sağlanan ısı akısı ve tüketilen pompa gücü şu şekilde hesaplanır:

$$\dot{E}_{HF} = \frac{V \cdot I}{A} \quad (3)$$

$$\dot{E}_{pompa} = \rho \frac{\dot{m} \Delta P}{\rho_{na} \eta_p} \quad (4)$$

Burada  $\Delta P$ , soğutma parçasındaki basınç düşüşünü,  $\rho_{na}$  ise soğutma sıvısının yoğunluğu ve  $\eta_p$  pompa verimliliğidir. Termal enerji verimliliği, Khaleduzzaman S. S. ve arkadaşları tarafından sunulan aşağıdaki denklemle elde edilir:

$$\eta_{th} = \frac{\dot{E}_{th}}{\dot{E}_{HF}} \quad (5)$$

Sardarabadi M. ve ark. Tarafından nano-akışkanlar için yoğunluk ve ısı kapasitesi aşağıdaki ilişkiler göre hesaplanır:

$$C_{na} = \frac{\rho_{na} C_{np} \varphi + \rho_{ba} C_{ba} (1 - \varphi)}{\rho_{ba}} \quad (6)$$

Nano-akışkan yoğunluğu hesaplanırken  $n_p$ , nano-parçacık ve  $ba$ , baz sıvı içindir. SiC ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nano-parçacıklarının ve suyun özellikleri için, Kahveci M. ve arkadaşları ile Çiftçi E. ve arkadaşları tarafından sunulan değerler sırasıyla bu çalışmada kullanılmıştır:

$$\rho_{na} = \rho_{np}(\varphi) + \rho_{ba}(1 - \varphi) \quad (7)$$

Termal direnç, hava ve sıvı soğutmalı parçaların performanslarını değerlendirmek için kullanılan farklı bir temel ısı karakteristiğidir. Bu değer daha düşük termal direnç değeri ile daha yüksek soğutma verimliliği gösterdiğini belirtmek için kullanılır. Denklemler yardımıyla (8) ve (9), sırasıyla elde edilen sıvı bazlı ve hava bazlı modüllerin ısı direnci hesaplanması ile elde edilir:

$$R_{th} = \frac{T_{yüzey} - T_{a,g}}{A \dot{E}_{HF}} \quad (8)$$

$$R_{th} = \frac{T_{yüzey} - T_{çevre}}{A \dot{E}_{HF}} \quad (9)$$

#### 2.4. Deneysel Belirsizlikler

Farzanehnia A. ve ark. Belirsizlik analizi hesaplamasının detayları önceki araştırmalarda sunulmuştur. Bu çalışmada, bir parametrenin belirsizliğini değerlendirmek için aşağıda verilen eşitlik kullanılmıştır. Denklem (10)'a dayanarak, toplam belirsizlik ( $v$ ), tekrar belirsizliği ( $v_{rep}$ ) ve ekipman belirsizliği ( $v_{eqp}$ ) kullanılarak elde edilebilir:

$$v = \sqrt{(v_{rep})^2 + (v_{eqp})^2} \quad (10)$$

Sardarabadi M. ve ark. 'S' ve 'n' bağımsız lineer parametrenin bir fonksiyonu olduğunu kabul edilirse; budurumda  $S = S(v_1, v_2, v_3 \dots v_n)$  fonksiyonunun belirsizliği şu şekilde elde edilebilir:

$$S = \sqrt{\left(\frac{\partial S}{\partial v_1} \delta v_1\right)^2 + \left(\frac{\partial S}{\partial v_2} \delta v_2\right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial S}{\partial v_n} \delta v_n\right)^2} \quad (11)$$

Burada  $\delta v_i$ ,  $v_i$  parametresinin belirsizliğidir ve  $\frac{\partial S}{\partial v_i}$ ,  $v_i$  parametresine karşılık gelen S'nin kısmi türevidir. Ölçme araçlarının toplam belirsizliği ve doğruluğu ile hesaplanabilir. Tüm parametreler için maksimum mutlak belirsizliğin %5' in altında olması bu çalışmada yapılan deneylerin güvenilirliğini göstermektedir. Bu tez çalışmasında ölçülen maksimum mutlak belirsizlik %1,92' dir.

**Tablo 2.5.** Ölçülen büyüklüklerdeki belirsizlikler

Değişkenler	Belirsizlik (%)
Sıcaklık, T	±1
Basınç, P	±0,025
Voltaj, V	±1
Akım, I	±0,1

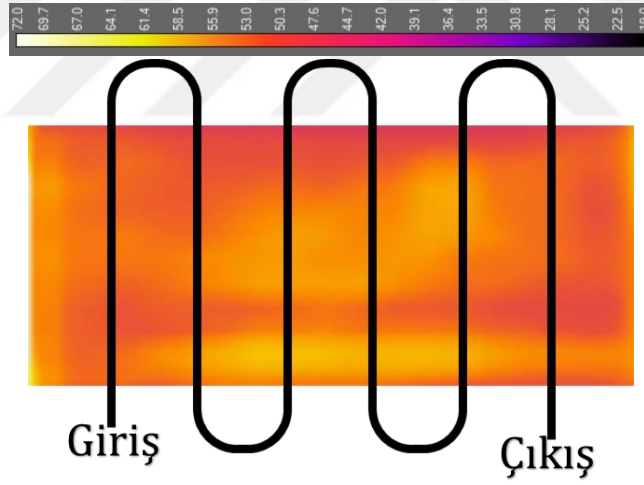
## 3. BÖLÜM

### BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 3.1. Deneysel Sonuçlar

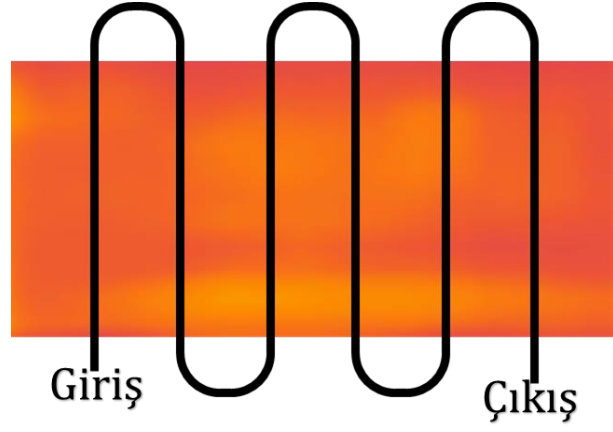
##### 3.1.1. Sıcaklık Dağılımları

Bu deneysel çalışmada CPU yüzeyinin farklı ısı akımlarındaki sıcaklık değişimleri ve bu değişimlere bağlı olarak saf su, %0,2 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/saf su, %0,4 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/saf su, %0,2 SiC/saf su ve %0,4 SiC/saf su için farklı akış debilerinde incelenmiştir. Test alanında kullanılan alüminyum blok malzemesi içinden kanatçıklara dik olarak geçen bakır borunun dış çapı 5mm ve iç çapı 3mm'dir. Farklı debilerde sisteme verilen nanoakışkan yüzey sıcaklık dağılımları Resim 3.1' de gösterilmiş ve bunun yanı sıra diğer sıcaklık dağılım görüntüleri Ek-2' de verilmiştir. Tüm şekillerin yüzey sıcaklıkları Flir-Tools programı kullanılarak yüzey sıcaklık dağılımları elde edilmiştir. SigmaPlot 14.0 grafik programı ile Şekil 3.1-3.4 grafiklerinde akışkan debisinin CPU yüzey sıcaklıklarına etkisi verilmiştir. Farklı debilerin kullanılmasında temel amaç debilerin etkisinin nanoakışkanlar arasındaki ısı transfer kat sayısında ki artış miktarının ısı transferini artırılmasıdır. Tüm grafiklerden görüldüğü gibi nano akışkan konsantrasyonunun artmasıyla yüzey üzerinde sıcaklıkların azaldığı görülmüştür.

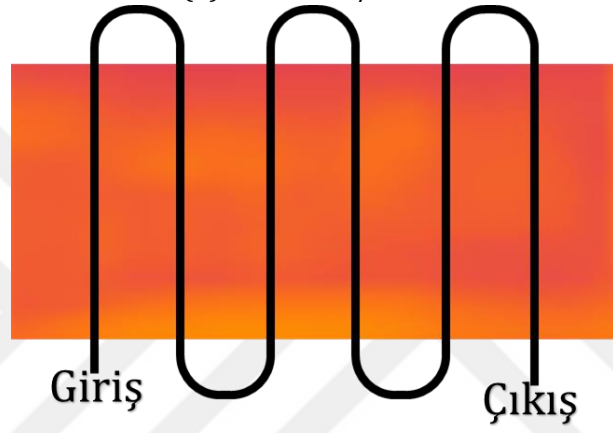


(a) Saf su

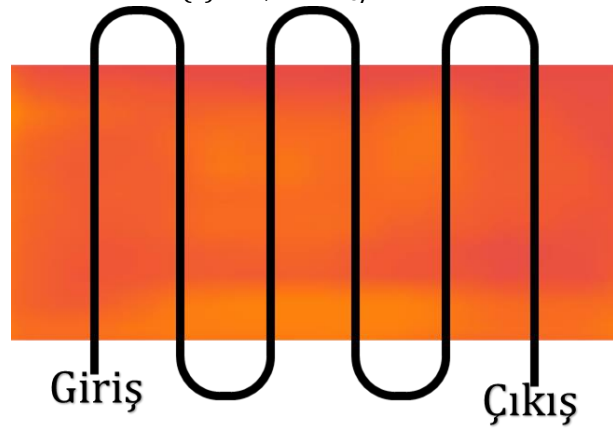




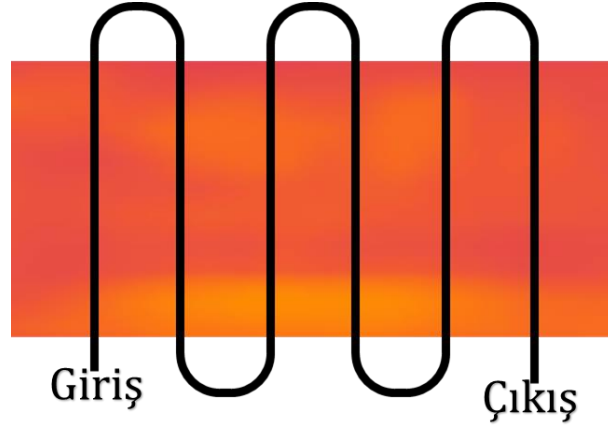
(b) %0,2  $\text{Al}_2\text{O}_3$ /Saf su



(c) %0,4  $\text{Al}_2\text{O}_3$ /Saf su



(d) %0,2 SiC/Saf su

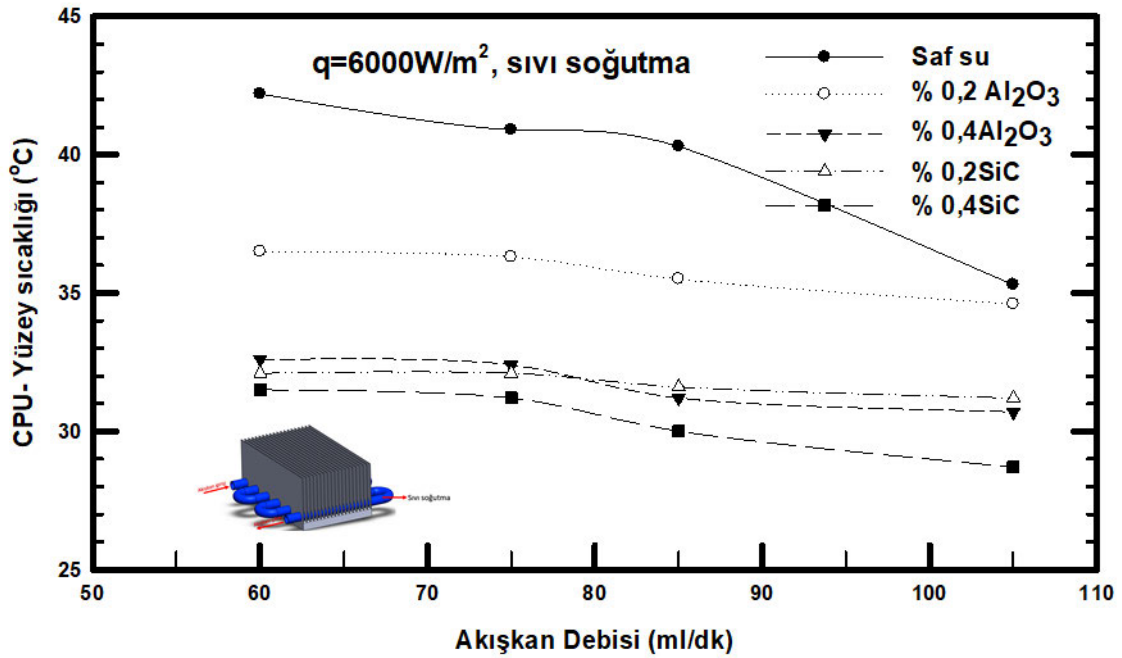


(e) %0,4 SiC/Saf su

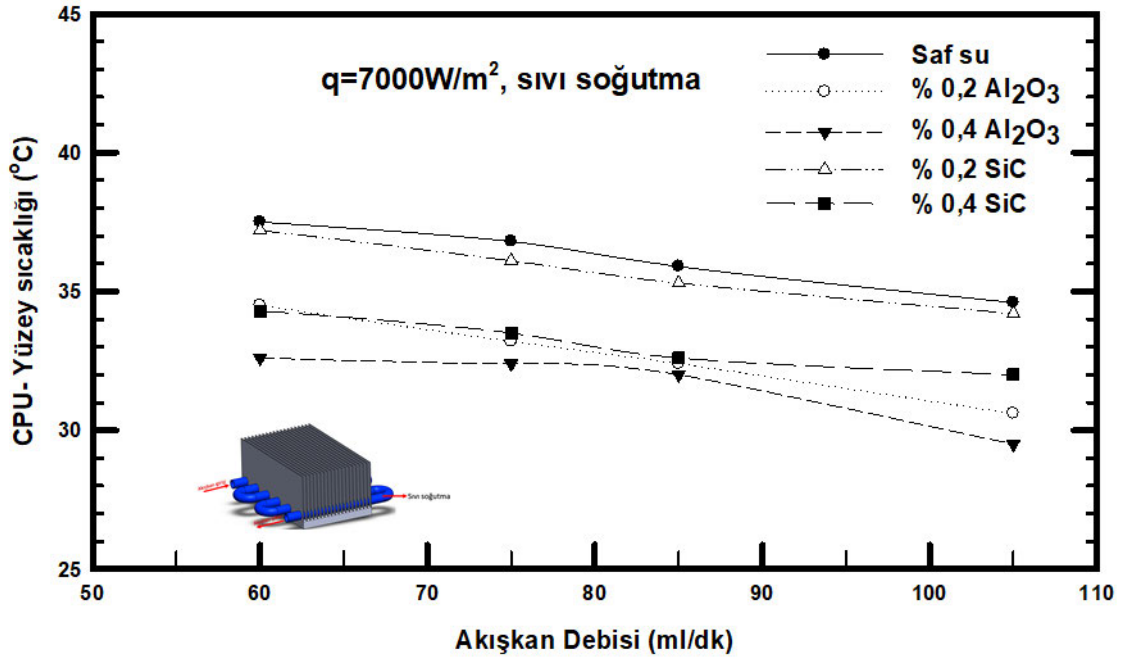
**Resim 3.1.** CPU sıcaklık kontürleri ( $q=6000\text{W/m}^2$ ,  $\dot{m}=60\text{ml/dak}$ )

### 3.1.2. CPU yüzey sıcaklığı

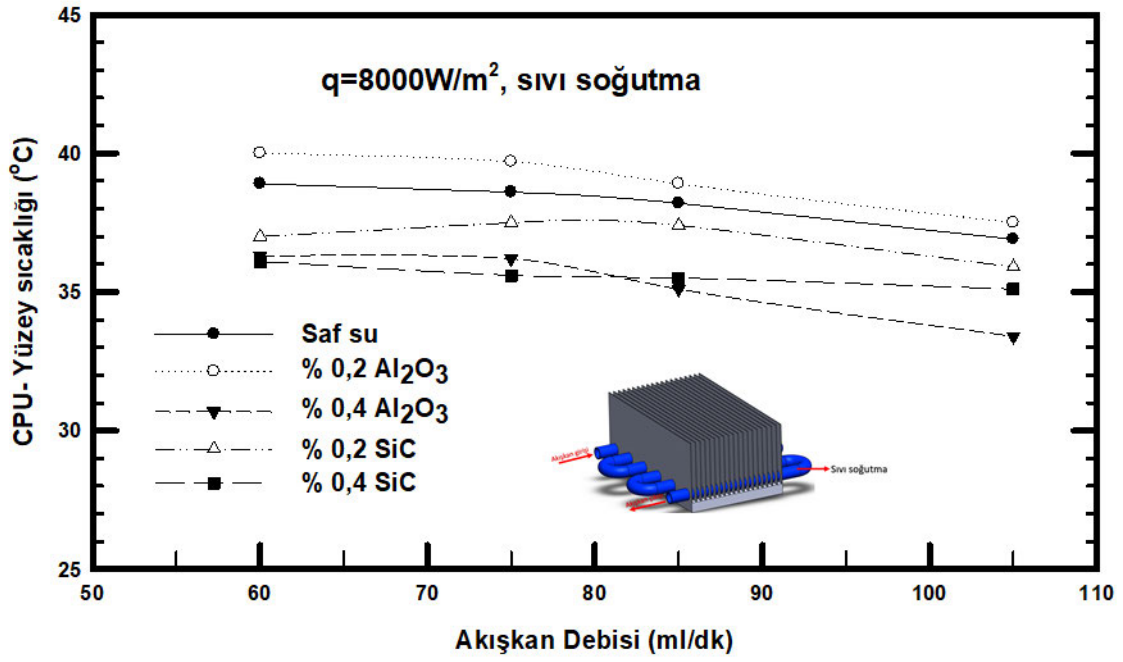
Bu bölümde çalışmada kullanılan ısı alıcı bloğunun alt yüzeyi CPU yüzeyi olarak görüntülenmiştir. CPU yüzeyinde termal kamera ile alınan görüntülerin ortalaması alınarak SigmaPlot 14.0 programı ile grafikler farklı akış debisi, ısı akısı, farklı soğutucu akışkan ve 3 farklı soğutma biçiminde (1- fan soğutma, 2- sıvı soğutma ve 3- fan+sıvı soğutma) incelenmiştir.



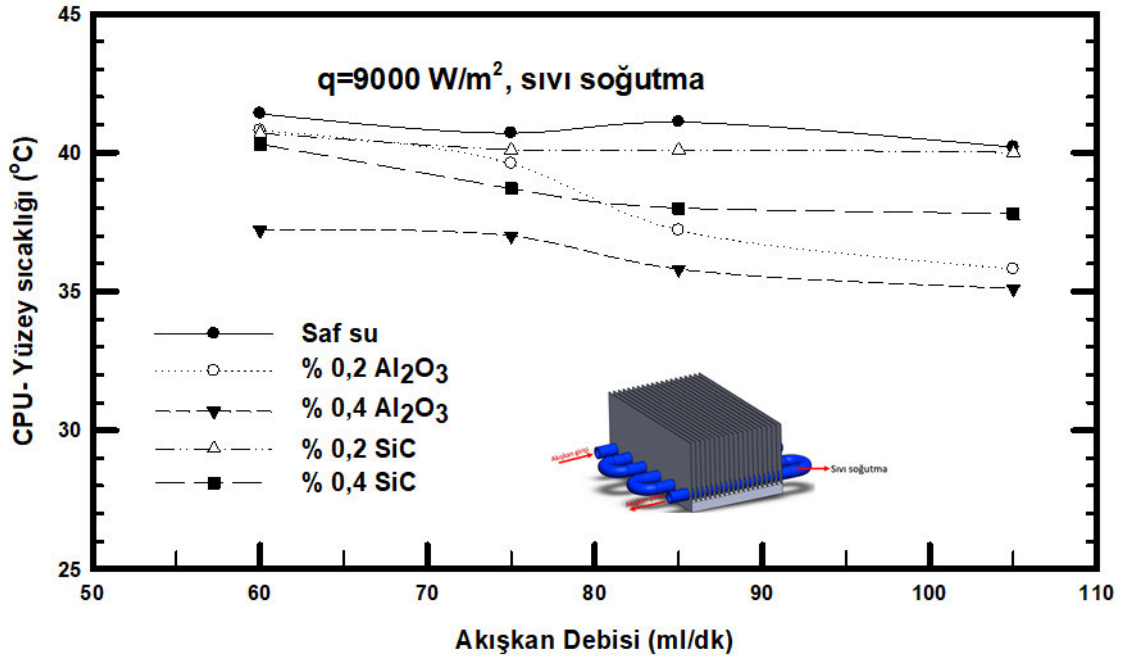
(a)



(b)



(c)



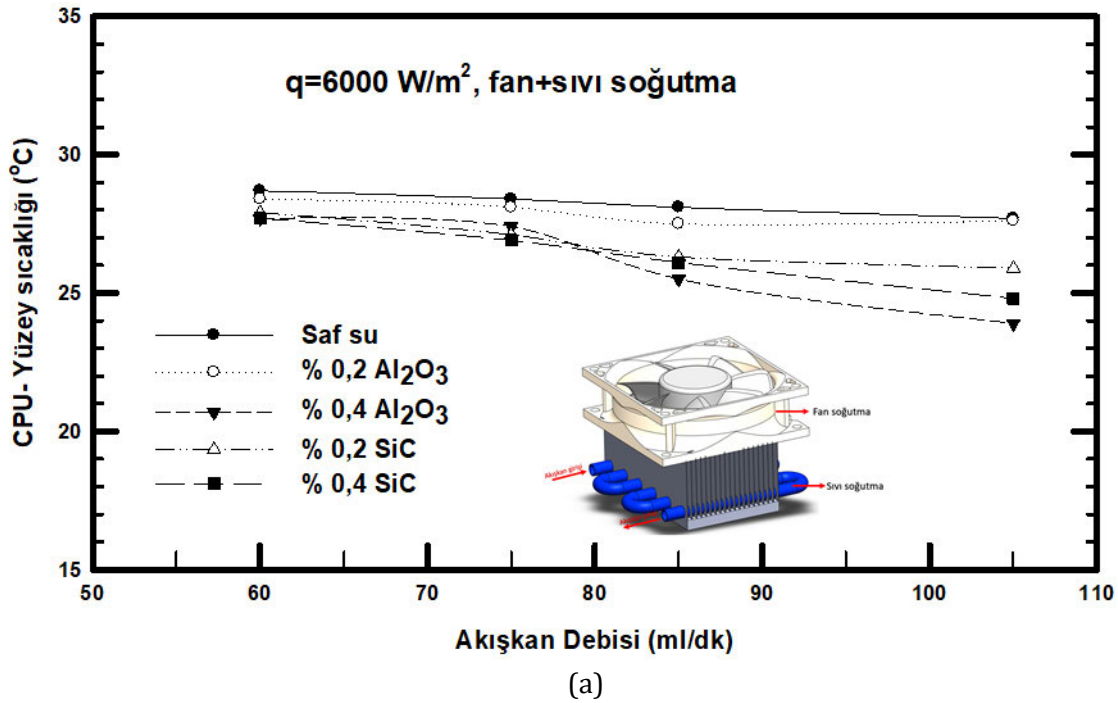
(d)

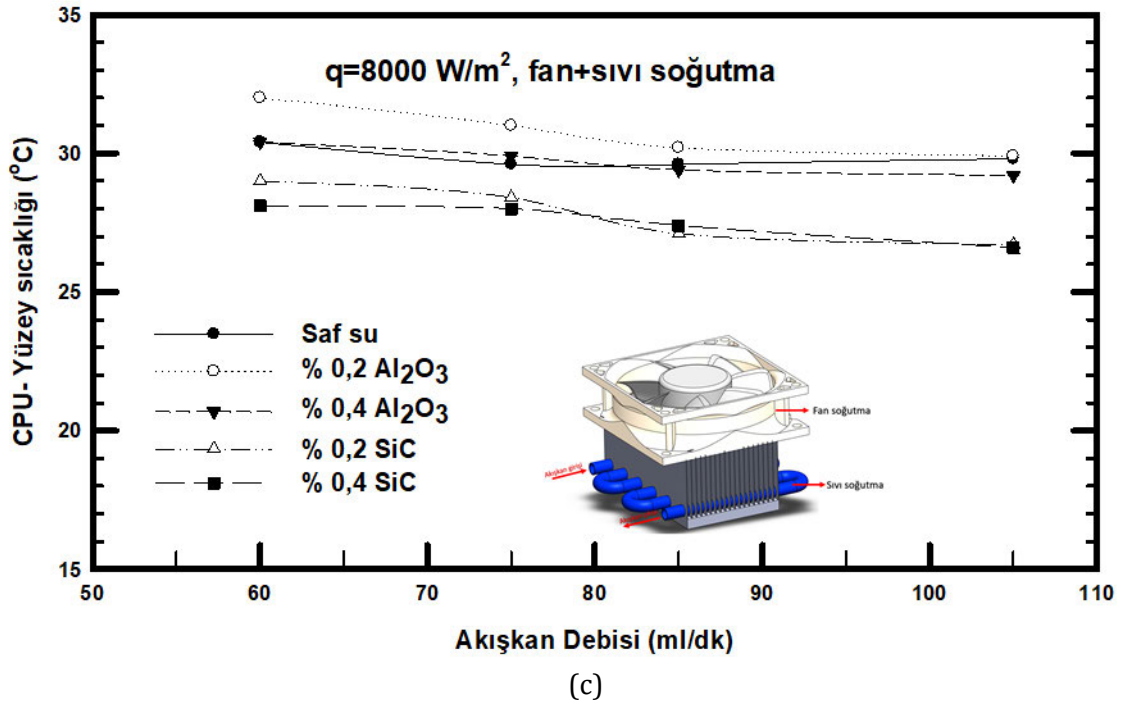
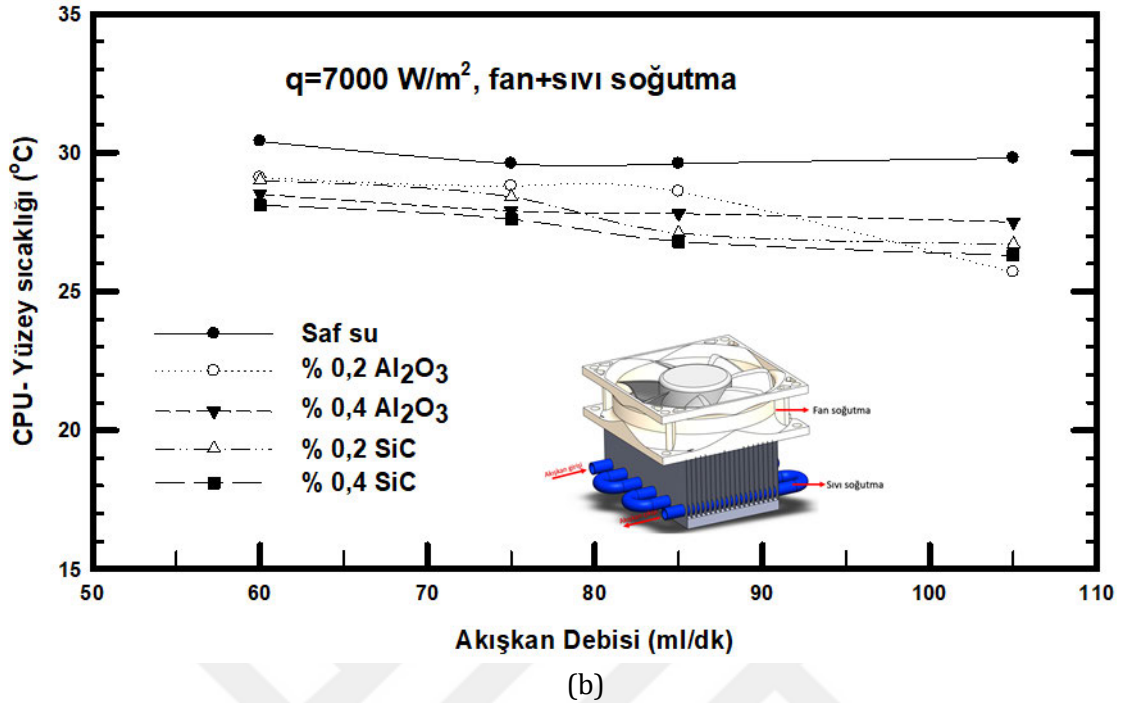
**Şekil 3.1.** Sıvı soğutma için, CPU yüzey sıcaklığının akışkan debisi ile değişimi- **(a)**  $q=6000\text{W/m}^2$ , **(b)**  $q=7000\text{W/m}^2$ , **(c)**  $q=8000\text{W/m}^2$  ve **(d)**  $q=9000\text{W/m}^2$

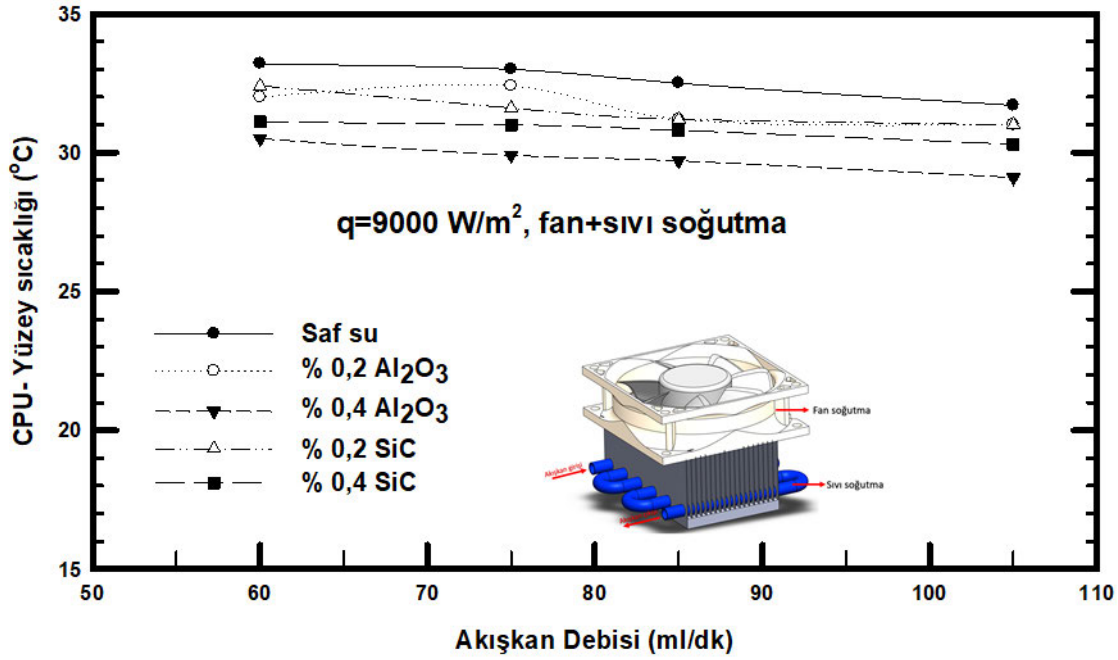
Şekil 3.1'de, sıvı soğutma durumunda CPU yüzey sıcaklığının akışkan debisine göre değişimi gösterilmektedir. Sabit ısı akılarında Şekil 3.1.'de beş farklı konfigürasyonda hazırlanmış olan soğutma sıvısı kullanılmıştır. Şekil 3.1.(a)'da, soğutma sıvısı olarak saf su kullanıldığı durumda elde edilen yüzey sıcaklığı diğer nanoakışkan kullanılan deneylerde daha düşük yüzey sıcakları elde edildiği görülmüştür. En düşük yüzey sıcaklığı değerleri %0,4SiC/saf su kullanıldığında ve en yüksek yüzey sıcaklığı saf su kullanıldığı durumda elde edilmiştir. Bunun yanı sıra CPU yüzey sıcaklığı  $42,1^\circ\text{C}$  'den  $35,2^\circ\text{C}$  'ye yaklaşık %16'lık maksimum değişim ile yüzey sıcaklığının azalma eğiliminde olduğu görülmüştür.

Şekil 3.1.(b)'de, en düşük yüzey sıcaklığı değerleri %0,4Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/saf su nanoakışkanı kullanıldığında ve en yüksek yüzey sıcaklığı saf su kullanıldığı durumda elde edilmiştir. Bunun yanı sıra CPU yüzey sıcaklığı  $38^\circ\text{C}$  'den  $29,6^\circ\text{C}$  'ye yaklaşık %22'lik maksimum değişim ile yüzey sıcaklığının azalma eğiliminde olduğu açıkça görülmüştür. Şekil 3.1.(c)'de %0,2Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/saf su elde edilen yüzey sıcaklığına kıyasla nanoakışkan kullanılan diğer deneylerde daha düşük yüzey sıcakları elde edildiği görülmüştür. En düşük yüzey sıcaklığı değerleri %0,4Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/saf su nanoakışkanı kullanıldığında ve en yüksek yüzey sıcaklığı %0,2Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/saf su kullanıldığı durumda elde edilmiştir. Ayrıca Şekil 3.1. (c)'de, 85ml/dak üzerinde %0,4Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/saf su metal partiküllü bir nanoakışkan olduğundan dolayı ısı akısının artışı partikülün ısınmasından dolayıdır. Isı akısıyla birlikte debi artışı olduğunda %0,4Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/saf su nanoakışkanı ısındıktan sonra ısıyı yeterince yüzeyden uzaklaştıramadığından dolayı yüzey sıcaklığı yükseldiği

görülmektedir. Bunun yanı sıra CPU yüzey sıcaklığı 40°C 'den 33,1°C 'ye yaklaşık %17 'lik maksimum değişim ile yüzey sıcaklığının azalma eğiliminde olduğu görülmektedir. Şekil 3.1.(d)'de, saf suda elde edilen yüzey sıcaklığı diğer nanoakışkan kullanılan durumla karşılaştırıldığında, daha düşük yüzey sıcakları elde edildiği görülmüştür. En düşük yüzey sıcaklığı değerleri %0,4Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/saf su nanoakışkanı kullanıldığında ve en yüksek yüzey sıcaklığı saf su kullanıldığı durumda elde edilmiştir. Ayrıca Şekil 3.1.(d)'de, %0,2Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/saf su 75ml/dak üzerindeki debide metal partiküllü bir nanoakışkan olduğundan dolayı ısı akısının artışı partikülün ısınması ve buda yüzey üzerinde yeterince ısı transferini engellediğini göstermektedir. CPU yüzey sıcaklığı 41,5°C'den 35,2°C'ye yaklaşık %15 'lik maksimum değişim ile yüzey sıcaklığının azalma eğiliminde olduğu açıkça görülmüştür.







(d)

**Şekil 3.2.** Fan ve sıvı soğutma için, CPU yüzey sıcaklığının akışkan debisi ile değişimi- **(a)**  $q=6000\text{W/m}^2$ , **(b)**  $q=7000\text{W/m}^2$ , **(c)**  $q=8000\text{W/m}^2$  ve **(d)**  $q=9000\text{W/m}^2$

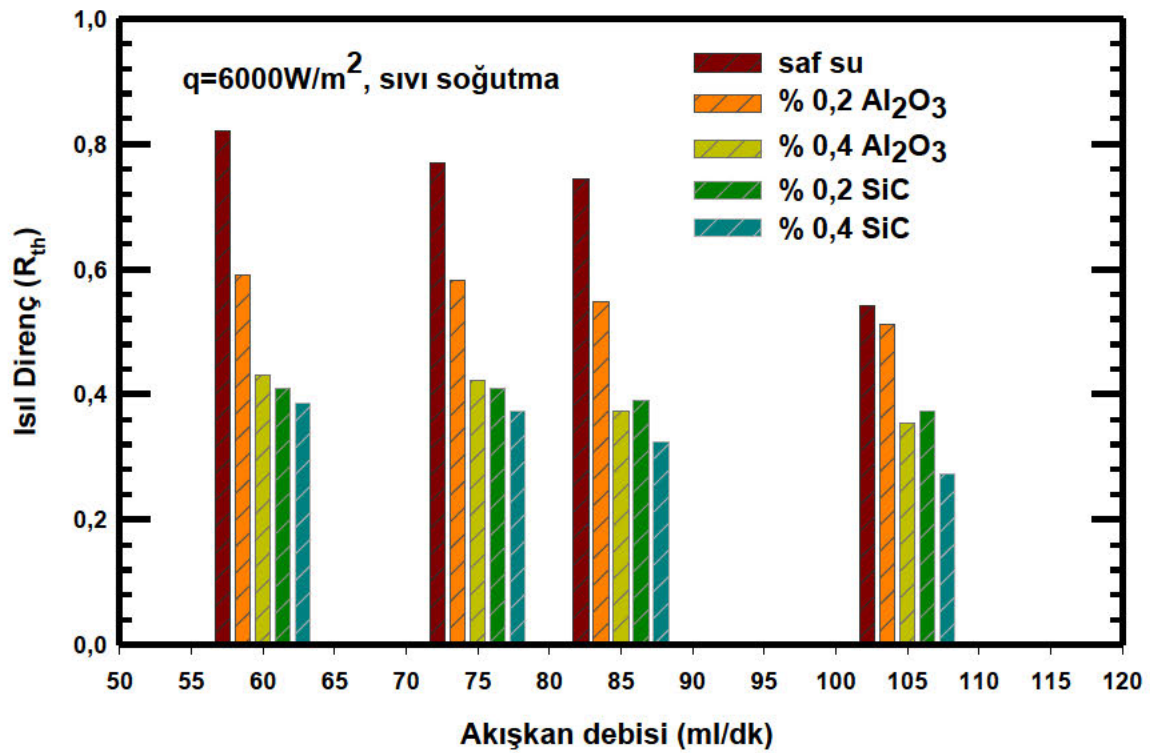
Şekil 3.2’de, fan ve sıvı soğutma olduğu durumda CPU yüzey sıcaklığının akışkan debisine göre değişimi görülmektedir. Şekil 3.2.(a)’da, saf suda elde edilen yüzey sıcaklığına kıyasla nanoakışkan kullanılan deneylerde daha düşük yüzey sıcakları elde edildiği görülmüştür. En düşük yüzey sıcaklığı değerleri %0,4 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/saf su nanoakışkanını kullanıldığında ve en yüksek yüzey sıcaklığı saf su kullanıldığı durumda elde edilmiştir. Ayrıca Şekil 3.2.(a)’da, 75ml/dak debi üzerinde yüzey sıcaklığının azalmasının sebebi nanoakışkanının düşük debilerde absorbe ettiği ısıyı taşıyamamasıdır. Bunun yanı sıra CPU yüzey sıcaklığı 29°C ‘den 23,4°C ‘ye yaklaşık %18 ‘lik maksimum değişim ile yüzey sıcaklığının azalma eğiliminde olduğu görülmüştür.

Şekil 3.2.(b)’de, saf suda elde edilen yüzey sıcaklığına kıyasla nanoakışkan kullanılan deneylerde daha düşük yüzey sıcakları elde edildiği görülmüştür. En düşük yüzey sıcaklığı değerleri %0,2 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/saf su nanoakışkanını kullanıldığında ve en yüksek yüzey sıcaklığı saf su kullanıldığı durumda elde edilmiştir. CPU yüzey sıcaklığı 30,8°C ‘den 25,5°C’ ye yaklaşık %17’ lik maksimum değişim ile yüzey sıcaklığının azalma eğiliminde olduğu görülmüştür. Şekil 3.2.(c)’de, incelendiğinde saf su elde edilen yüzey sıcaklığına kıyasla SiC/saf su nanoakışkan kullanılan diğer deneylerde daha düşük yüzey sıcakları elde edildiği görülmüştür. En düşük yüzey sıcaklığı değerleri %0,4 SiC/Saf su nanoakışkanını kullanıldığında görülmesine rağmen ve en yüksek yüzey sıcaklığı %0,2 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/saf su kullanıldığı durumda elde edilmiştir. Ayrıca Şekil 3.2.(c)’ de, 85 ml/dak üzerinde SiC/saf su nanoakışkanının kütle fraksiyonundaki değişimin yüzey sıcaklığına bir etkisi olmamıştır. Fakat CPU yüzey sıcaklığı 32,2°C’ den 26,4°C’ ye yaklaşık



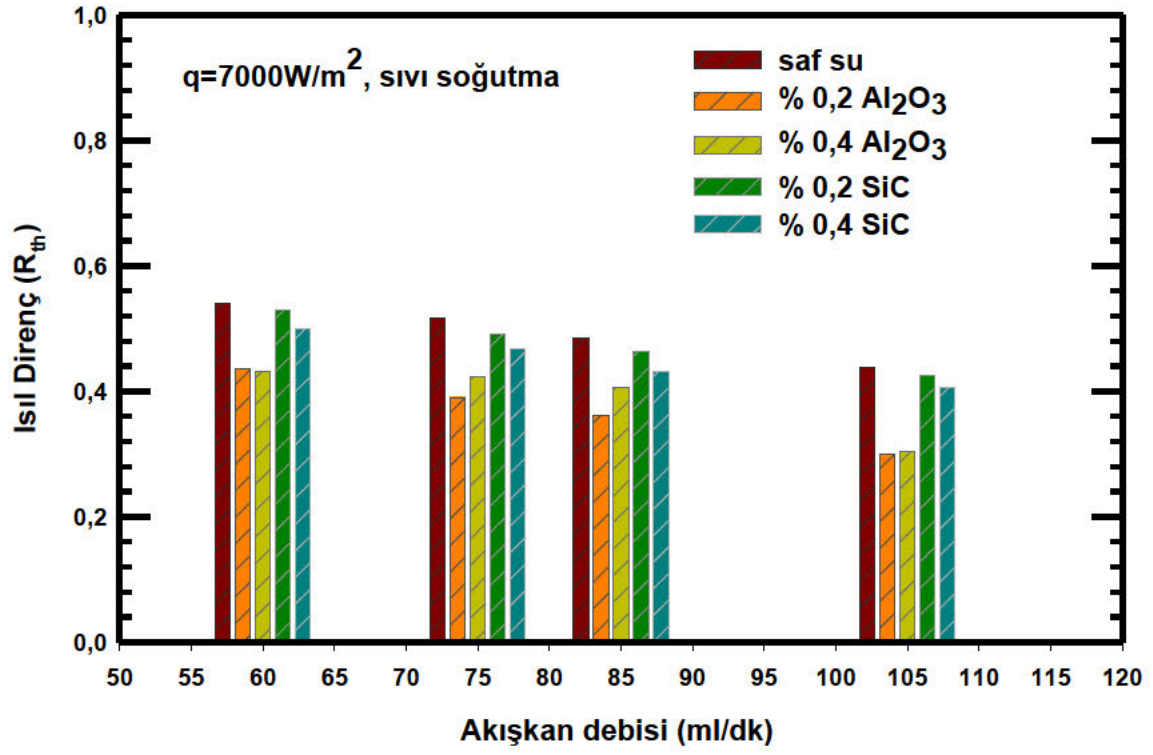
%18' lik maksimum değişim ile yüzey sıcaklığının azalma eğiliminde olduğu görölmektedir. Şekil 3.2.(d), saf suda elde edilen yüzey sıcaklığına kıyasla nanoakışkan kullanılan deneylerde daha düşük yüzey sıcakları elde edildiği görölmüştür. En düşük yüzey sıcaklığı değerleri %0,4Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/saf su kullanıldığında ve en yüksek yüzey sıcaklığı saf su kullanıldığı durumda elde edilmiştir. CPU yüzey sıcaklığı 33,5°C' den 29°C' ye yaklaşık %13 lük maksimum değişim ile yüzey sıcaklığının azalma eğiliminde olduğu görölmüştür. Sonuç olarak, CPU yüzey sıcaklıkları değişimleri fan ve sıvı soğutma ile sıvı soğutma durumu için en iyi sonuçlar 105ml/dak debide %0,4 kütle fraksiyonunda ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/saf su kullanıldığı durumda elde edilmiştir.

### 3.1.3. Isıl direnç

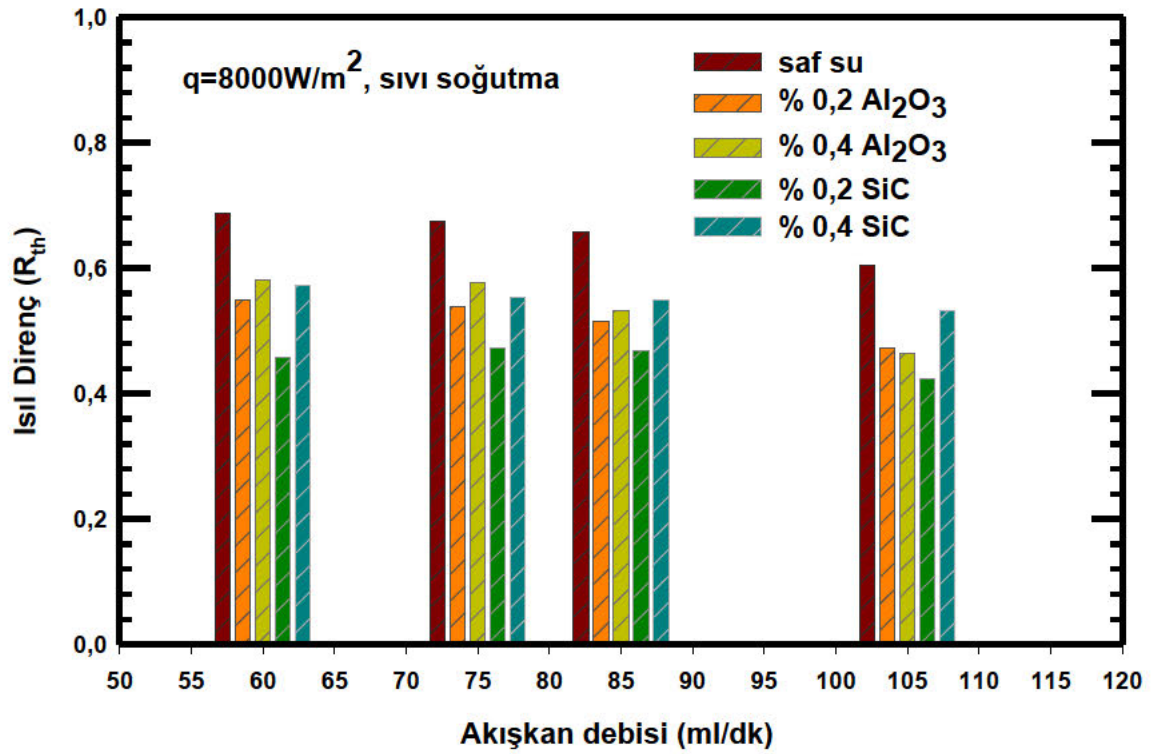


(a)

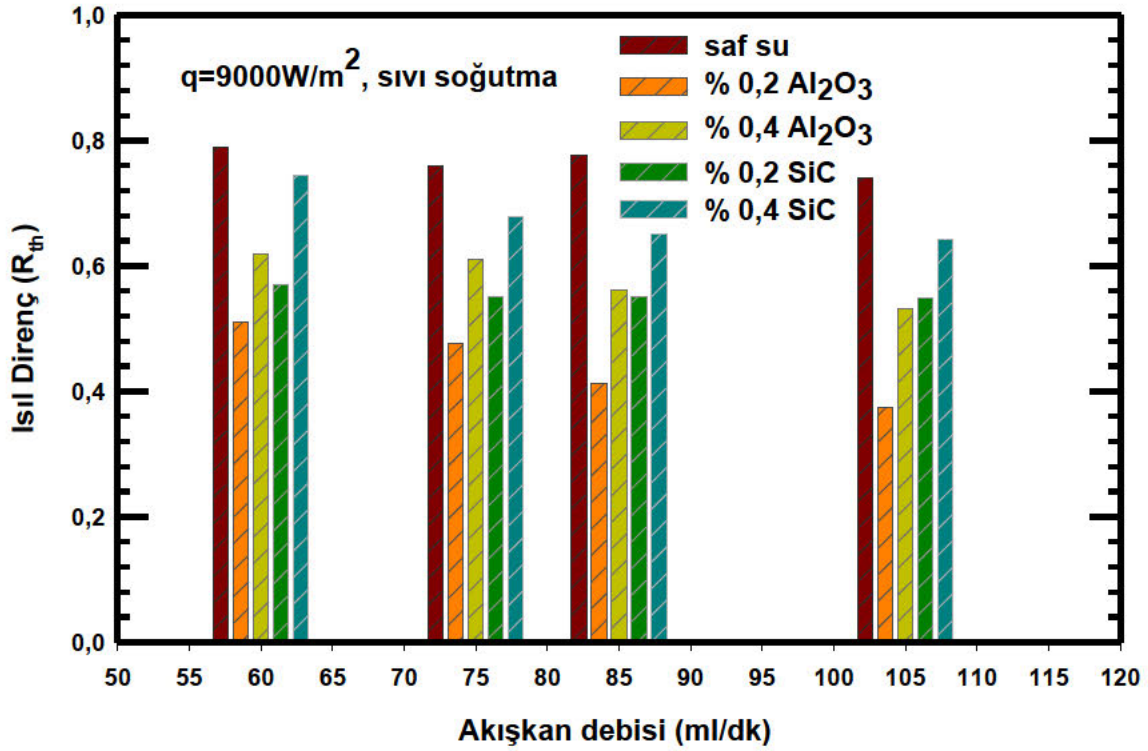




(b)



(c)



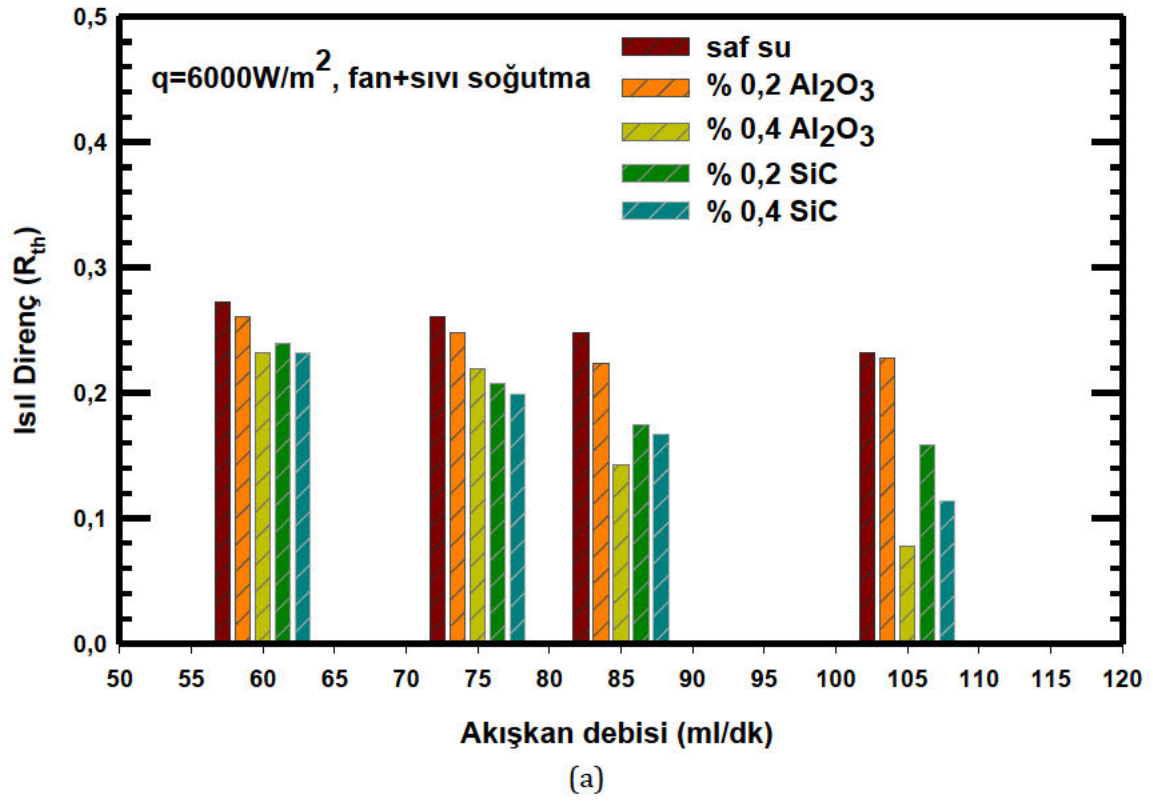
(d)

Şekil 3.3. Sıvı soğutma için, ısıl direncin akışkan debisi ile değişimi (a)  $q=6000\text{W/m}^2$  (b)  $q=7000\text{W/m}^2$ , (c)  $q=8000\text{W/m}^2$  ve (d)  $q=9000\text{W/m}^2$

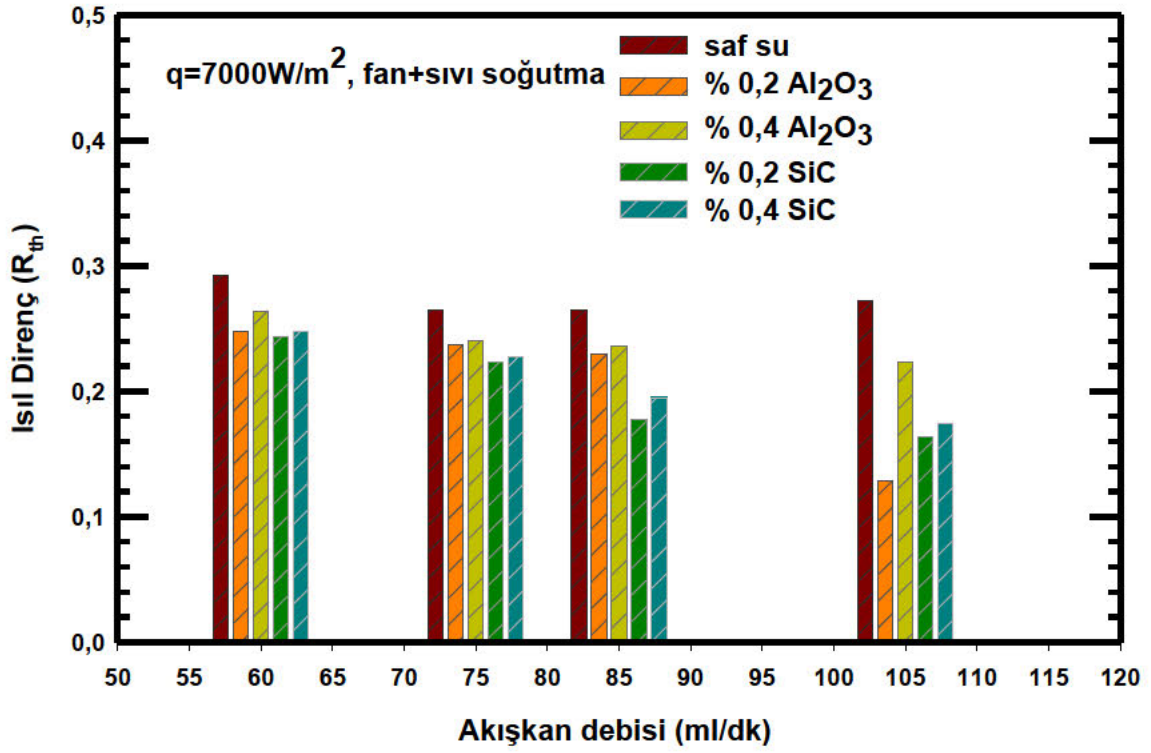
Şekil 3.3' de sıvı soğutma durumunda ısıl direncin akışkan debisine göre farklı ısı akışı değişimleri verilmiştir. Şekil 3.3.(a)' da, saf suyun ısıl direncinin nano akışkan kullanıldığı durumda daha düşük olduğu görülmektedir. En düşük ısıl direnç değerleri 0,28 ile %0,4 SiC/saf su kullanıldığında ve en yüksek ısıl direncin ise 0,82 ile saf su kullanıldığı durumda elde edilmiştir. Bu durumda ısıl direncin yaklaşık %65'lik maksimum değişim ile azalma eğiliminde olduğu görülmüştür. Ayrıca %0,4Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/saf su akışkanı 85ml/dak ve üzerinde %0,2 SiC/saf su akışkanına göre ısıl direncinde azalma görülmektedir. Akışkan debisinin artmasıyla ısıl direncin azaldığı görülmektedir. Şekil 3.3.(b)'de, 7000W/m<sup>2</sup> ısı akısında, ısıl direncin akışkan değişimine göre değişimi verilmiştir. En düşük ısıl direnç değerleri 0,30 değeri ile %0,2 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/saf su kullanıldığı durumda ve en yüksek ısıl direncin 0,56 değeri ile saf su kullanıldığı durumda elde edilmiştir. Bu durumda ısıl direncin yaklaşık %46'lık maksimum değişim ile azalma eğiliminde olduğu görülmüştür. Ayrıca Şekil 3.3.(b)' de, %0,2 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/saf su, akışkan debisinin 75 ml/dak ve altındaki debide metal partiküllü bir nanoakışkan olduğundan dolayı ısı akısının artışı partikülün ısınması ve ısı transferini engellediğini göstermektedir.

Şekil 3.3.(c)' de, 8000W/m<sup>2</sup> ısı akısında, ısıl direncin akışkan değişimine göre değişimi verilmiştir. En düşük ısıl direnç değerleri 0,43 ile %0,2 SiC/saf su kullanıldığında ve en yüksek ısıl direncin 0,68 değeri ile saf su kullanıldığı durumda elde edilmiştir. Bu durumda ısıl direncin yaklaşık %36'lık maksimum değişim ile azalma eğiliminde olduğu açıkça görülmüştür. Ayrıca

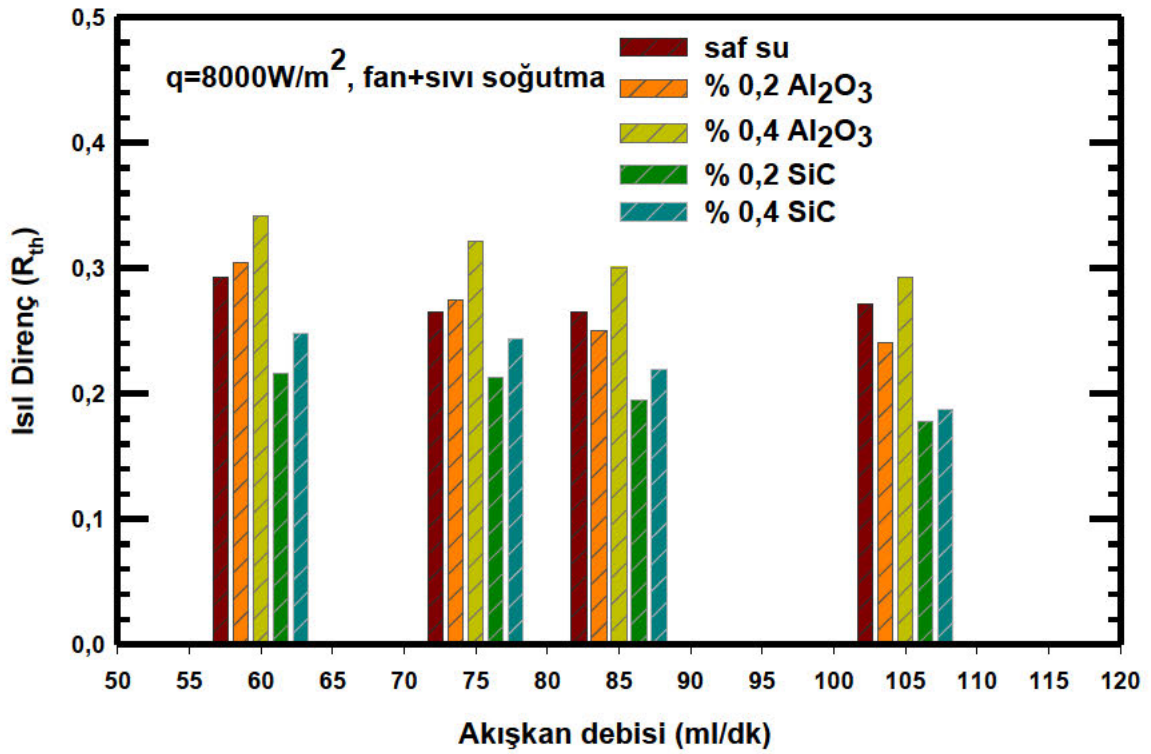
%0,2 SiC/saf su akışkanı farklı debilerde  $8000 \text{ W/m}^2$  ısı akısında en düşük ısı dirence sahip nanoakışkanıdır. Bunun başlıca sebebi metal partiküllü olmaması ve %0,2' lik derişimin diğerlerine göre ısı verimi olumsuz yönde etkilememesinden kaynaklanmaktadır. Şekil 3.3.(d),  $9000 \text{ W/m}^2$  ısı akısında, ısı direncin akışkan değişimine göre değişimi verilmiştir. En düşük ısı direnç değerleri 0,38 ile %0,2  $\text{Al}_2\text{O}_3$ /saf su kullanıldığında ve en yüksek ısı direncin 0,79 ile saf su kullanıldığı durumda elde edilmiştir. Bu durumda ısı direncin yaklaşık %51' lik maksimum değişim ile azalma eğiliminde olduğu açıkça görülmüştür. Ayrıca Şekil 3.3.(d), diğerlerine göre düşük ısı dirence sahip olmasının nedeni %0,2  $\text{Al}_2\text{O}_3$ /saf su metal partiküllü bir nanoakışkan olduğundan dolayı ısı direncin azalması ve bununla birlikte %0,2' lik derişimin diğerlerine göre ısı verimi olumsuz yönde etkilemediği görülmüştür.



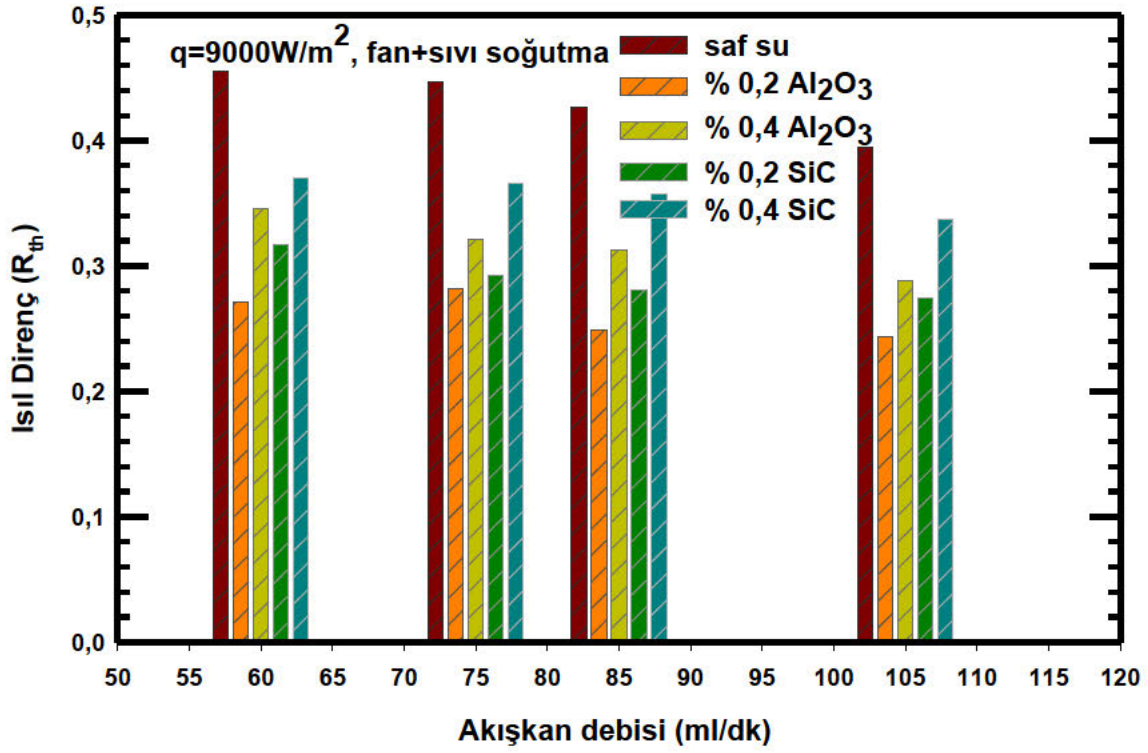




(b)



(c)



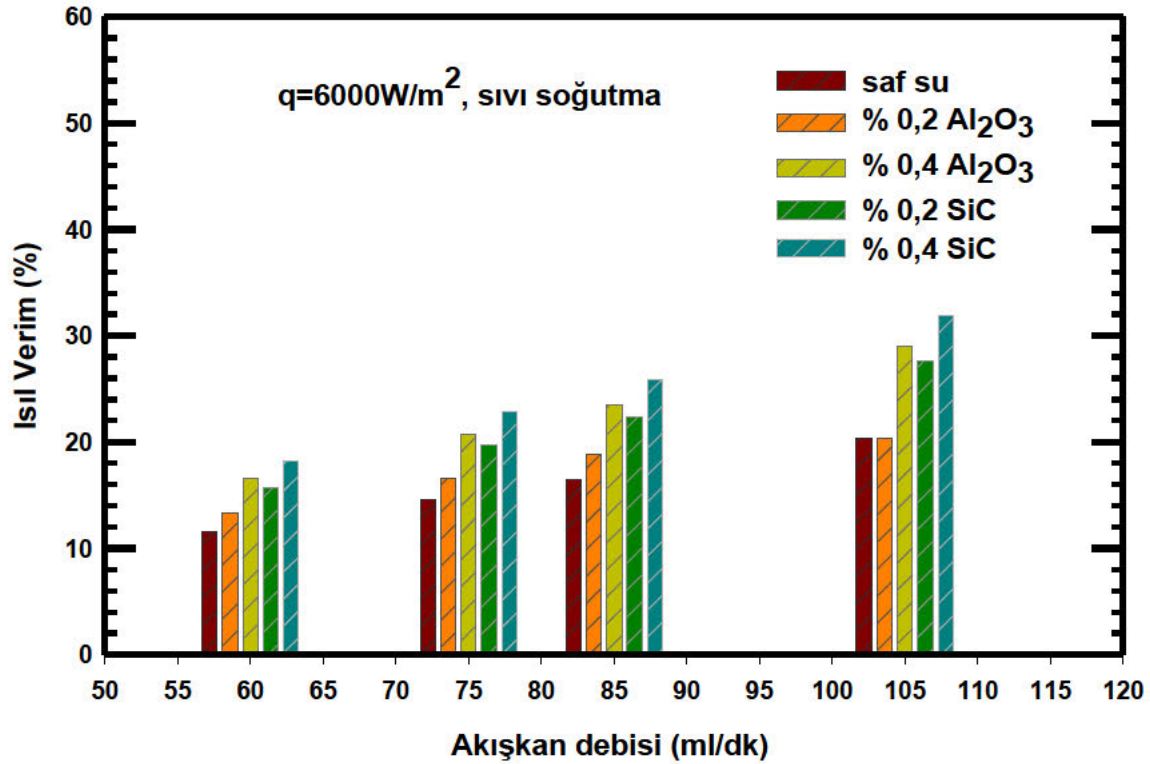
(d)

**Şekil 3.4.** Fan ve sıvı soğutma için, ısıl direncin akışkan debisi ile değişimi **(a)**  $q=6000\text{W/m}^2$  **(b)**  $q=7000\text{W/m}^2$ , **(c)**  $q=8000\text{W/m}^2$  ve **(d)**  $q=9000\text{W/m}^2$

Şekil 3.4' de fan ve sıvı soğutma durumunda ısıl direncin farklı ısı akısı şartlarında akışkan debisine göre değişimi görülmektedir. Şekil 3.4 (a)'da,  $6000\text{W/m}^2$  ısı akısında, fan ve sıvı soğutma olduğu durumda ısıl direncin akışkan değişimine göre değişimi verilmiştir. En düşük ısıl direnç değerleri 0,075 değeri ile %0,4 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/saf su kullanıldığında ve en yüksek ısıl direncin 0,35 değeri ile saf su kullanıldığı durumda elde edilmiştir. Bu durumda ısıl direncin yaklaşık %78'lik maksimum değişim ile azalma eğiliminde olduğu açıkça görülmüştür. ısıl direncin sıvı soğutma durumuna göre düşmesinin başlıca sebebi fan etkisidir. Ayrıca %0,4 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/saf su akışkanı 85 ml/dak altında %0,2 SiC/saf su akışkanına göre ısıl direncinde artış görülmektedir. Bunun başlıca sebebi nanoakışkanın düşük debilerde absorbe ettiği ısıyı üzerinden atamamasından kaynaklanmaktadır. Şekil 3.4(b)'de,  $7000\text{W/m}^2$  ısı akısında, fan ve sıvı soğutma olduğu durumda ısıl direncin akışkan değişimine göre değişimi verilmiştir. En düşük ısıl direnç değerleri 0,15 ile %0,2 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/saf su kullanıldığında ve en yüksek ısıl direncin 0,29 ile saf su kullanıldığı durumda elde edilmiştir. Bu durumda ısıl direncin yaklaşık %48' lik maksimum değişim ile azalma eğiliminde olduğu açıkça görülmüştür. Ayrıca %0,2 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/saf su ve akışkan debisinin 85 ml/dak ve altındaki debide metal partiküllü bir nanoakışkan olduğundan dolayı ısı akısının artışı partikülün ısınması ve görevini yerine getirmesini engellediğini göstermektedir öte yandan aynı ısı akısında akışkan debisi 85 ml/dak üzerinde iken %0,2 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/saf su ısılandıktan sonra ısıyı atabildiği görülmektedir.

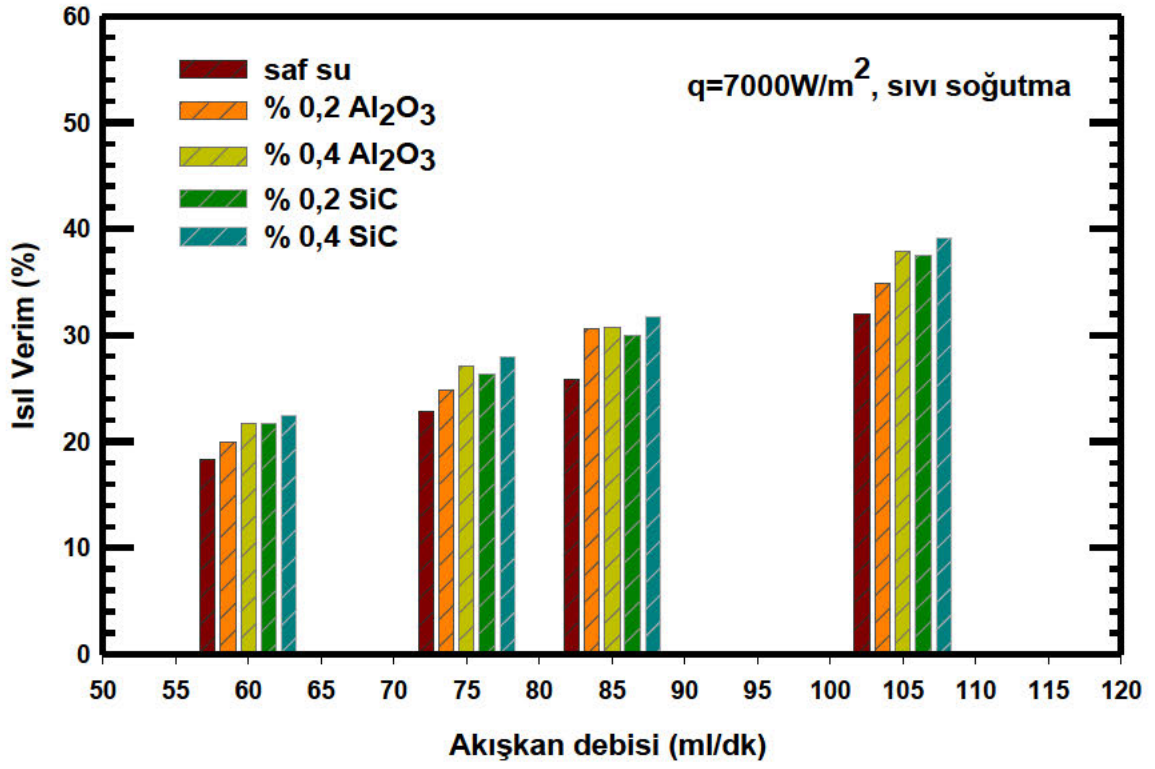
Şekil 3.4.(c)'de,  $8000\text{W/m}^2$  ısı akısında, fan ve sıvı soğutma olduğu durumda ısıl direncin akışkan değişimine göre değişimi verilmiştir. En düşük ısıl direnç değerleri 0,15 ile %0,2 SiC/saf su kullanıldığında ve en yüksek ısıl direncin 0,36 ile %0,4  $\text{Al}_2\text{O}_3$ /saf su kullanıldığı durumda elde edilmiştir. Bu durumda ısıl direncin yaklaşık %58' lik maksimum değişim ile azalma eğiliminde olduğu açıkça görülmüştür. Ayrıca %0,4  $\text{Al}_2\text{O}_3$ /saf su nanoakışkanın saf sudan yüksek ısıl dirence sahip olmasının sebebi metal partiküllü olması ve %0,4' lük derişimin diğerlerine göre ısıl verimi olumsuz yönde etkilemesinden kaynaklanmaktadır. Şekil 3.4(d)' de,  $9000\text{W/m}^2$  ısı akısında, fan ve sıvı soğutma olduğu durumda ısıl direncin akışkan değişimine göre değişimi verilmiştir. En düşük ısıl direnç değerleri 0,28 değeri ile %0,2  $\text{Al}_2\text{O}_3$ /saf su kullanıldığında ve en yüksek ısıl direncin 0,49 değeri ile saf su kullanıldığı durumda elde edilmiştir. Yüzdece ısıl direncin değişimleri fan ve sıvı soğutma ile sıvı soğutma durumu için en iyi sonuçlar 105 ml/dak debide %0,4 kütle fraksiyonunda ve  $\text{Al}_2\text{O}_3$ /saf su kullanılan deneylerde elde edilmiştir.

### 3.1.4 Isıl verim

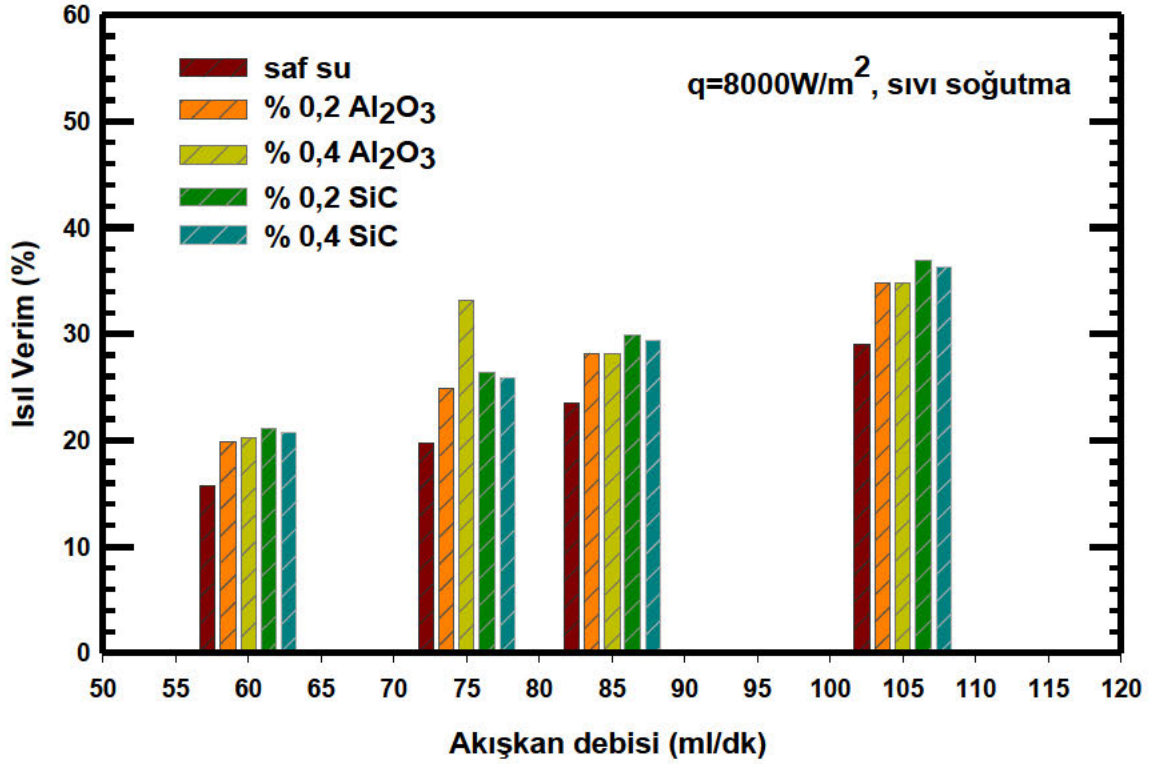


(a)

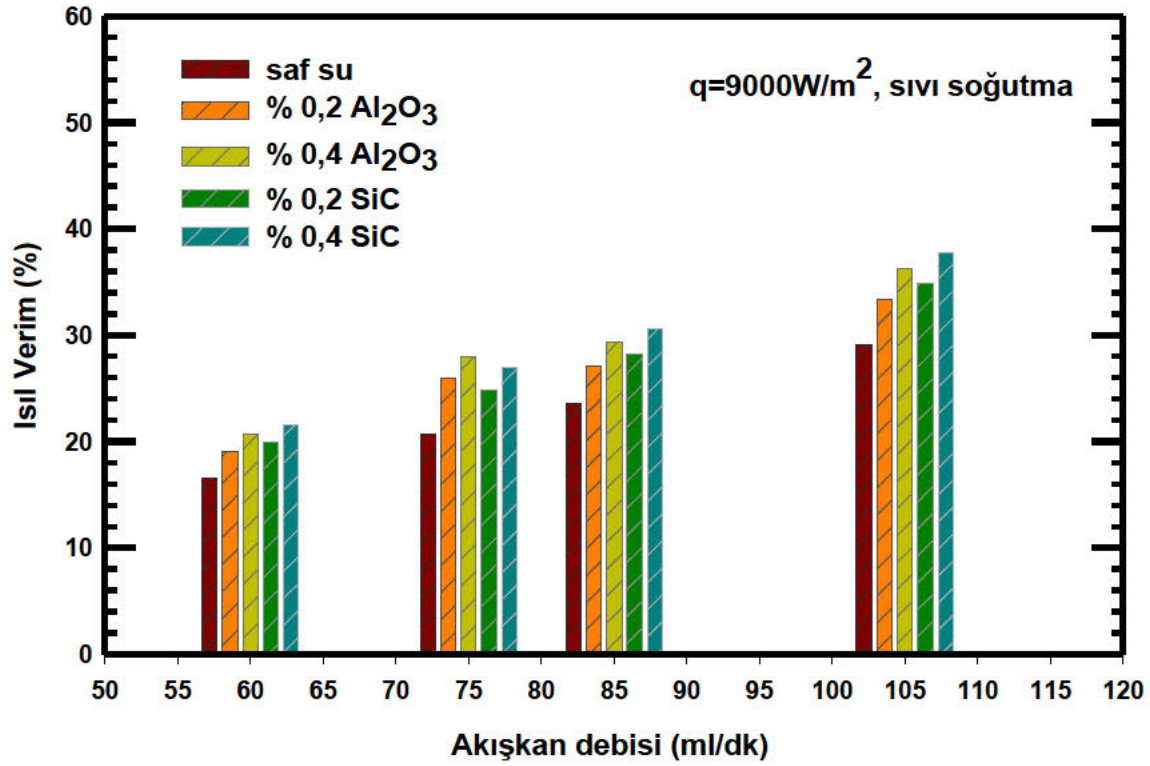




(b)



(c)



(d)

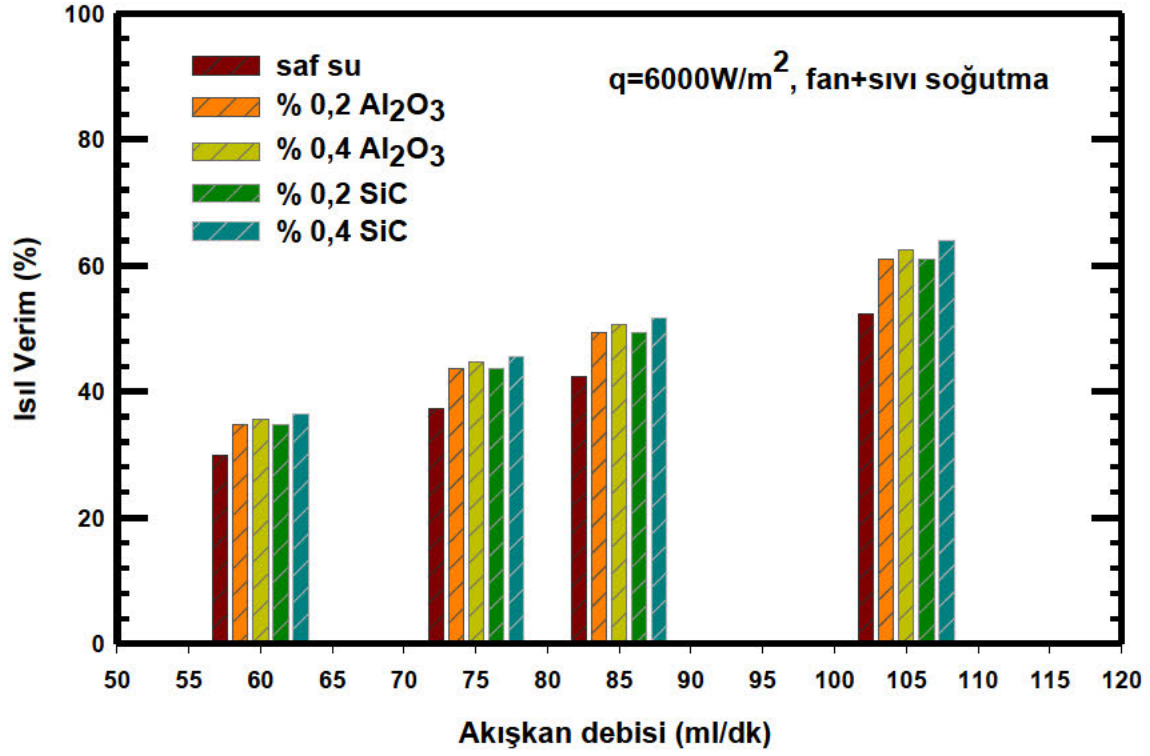
Şekil 3.5. Sıvı soğutma için, ısı verimin akışkan debisi ile değişimi (a)  $q=6000\text{W/m}^2$  (b)  $q=7000\text{W/m}^2$ , (c)  $q=8000\text{W/m}^2$  ve (d)  $q=9000\text{W/m}^2$

Şekil 3.5' de sıvı soğutma olduğu durumda ısı verim akışkan debisine göre farklı ısı akısı şartları altında değişimi verilmiştir. Şekil 3.5.(a)'da,  $6000\text{W/m}^2$  ısı akısında, sıvı soğutma olduğu durumda ısı verimin akışkan debisine göre değişimi verilmiştir. En yüksek ısı verim değerleri %32 değeri ile %0,4 SiC/saf su kullanıldığında ve en düşük ısı verimin %12 ile saf su kullanıldığı durumda elde edilmiştir. Bu durumda ısı verimin yaklaşık %62' lik maksimum değişim ile artış eğiliminde olduğu görülmektedir. Ayrıca %0,2  $\text{Al}_2\text{O}_3$ /saf su akışkanı ve saf suyun debisinin 105 ml/dak' da ısı verim değerlerinin değişmediği görülmüştür. Bunun başlıca sebebi yüksek debide nanoakışkanının ısı verimde değişim sağlamayacak seviyede olan kütle fraksiyonudur.

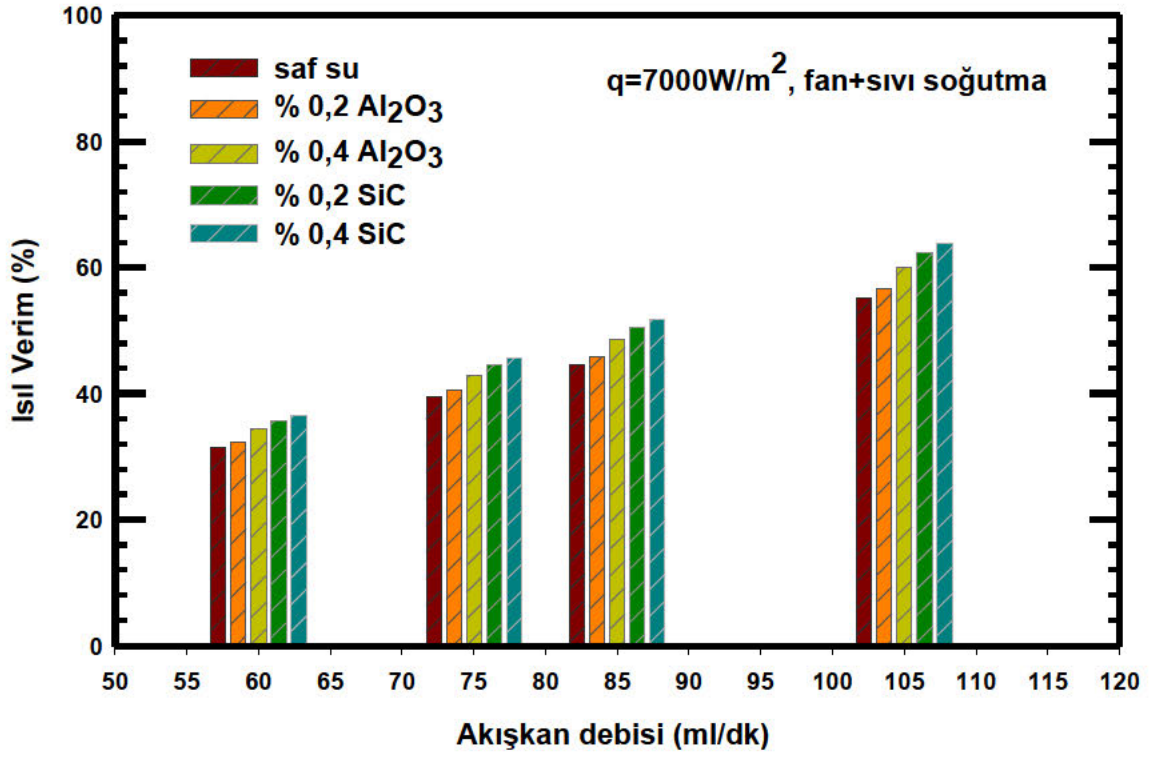
Şekil 3.5.(b)'de,  $7000\text{W/m}^2$  ısı akısında, sıvı soğutma olduğu durumda ısı verimin akışkan debisine göre değişimi verilmiştir. En yüksek ısı verim değerleri %39 değeri ile %0,2 SiC/saf su kullanıldığında ve en düşük ısı verimin %18 ile saf su kullanıldığı durumda elde edilmiştir. Bu durumda ısı verimin yaklaşık %53' lük maksimum değişim ile artış eğiliminde olmuştur. Ayrıca %0,4  $\text{Al}_2\text{O}_3$ /saf su 105 ml/dak debide metal oksit partiküllü bir nanoakışkan olduğundan dolayı ısı akısı sabitken ısı verimin artışı debinin yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Şekil 3.5(c)'de,  $8000\text{W/m}^2$  ısı akısında, sıvı soğutma olduğu durumda ısı verimin akışkan debisine göre değişimi verilmiştir. En yüksek ısı verim değerleri %37 ile %0,2 SiC/saf su kullanıldığında ve en düşük ısı verimin %16 ile saf su kullanıldığı durumda elde



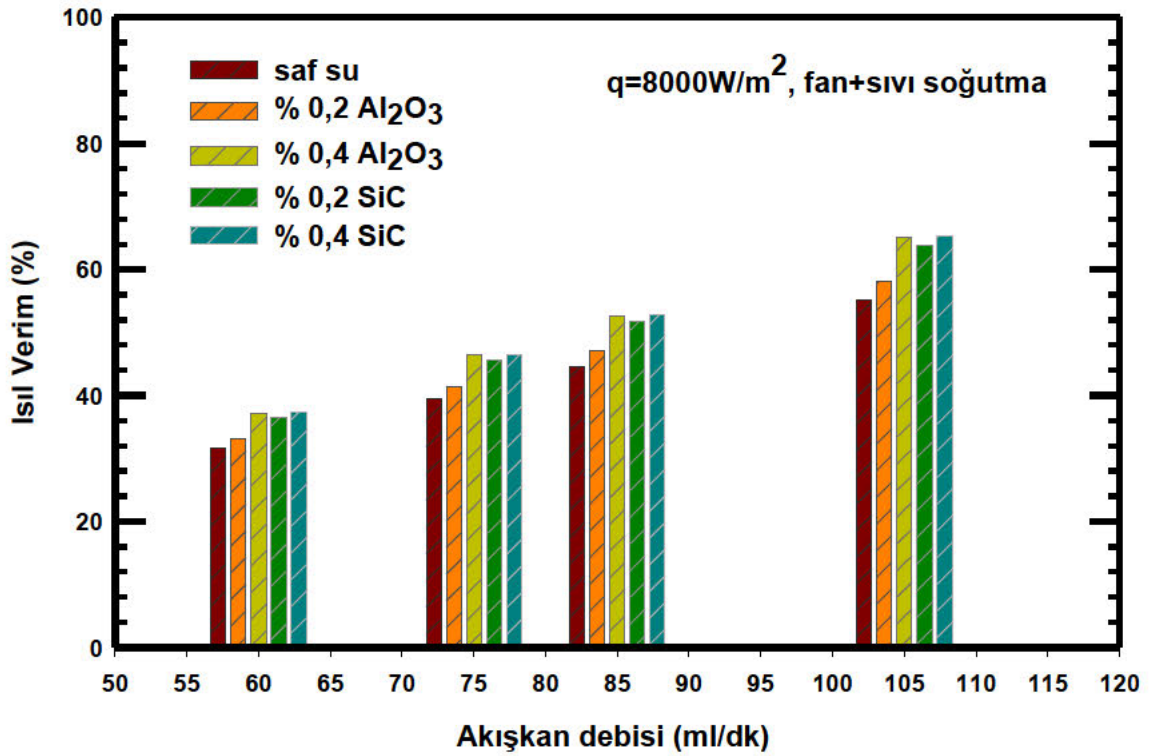
edilmiştir. Bu durumda ısı verimin yaklaşık %56'lık maksimum değişim sağlanmıştır. Ayrıca 75ml/dak debide %0,4 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/saf su nanoakışkanın en yüksek ısı verime sahiptir. Şekil 3.5(d), 9000W/m<sup>2</sup> ısı akısında, sıvı soğutma olduğu durumda ısı verimin akışkan debisine göre değişimi verilmiştir. En yüksek ısı verim değerleri %38 ile %0,4 SiC/saf su kullanıldığında ve en düşük ısı verimin %16 ile saf su kullanıldığı durumda elde edilmiştir.



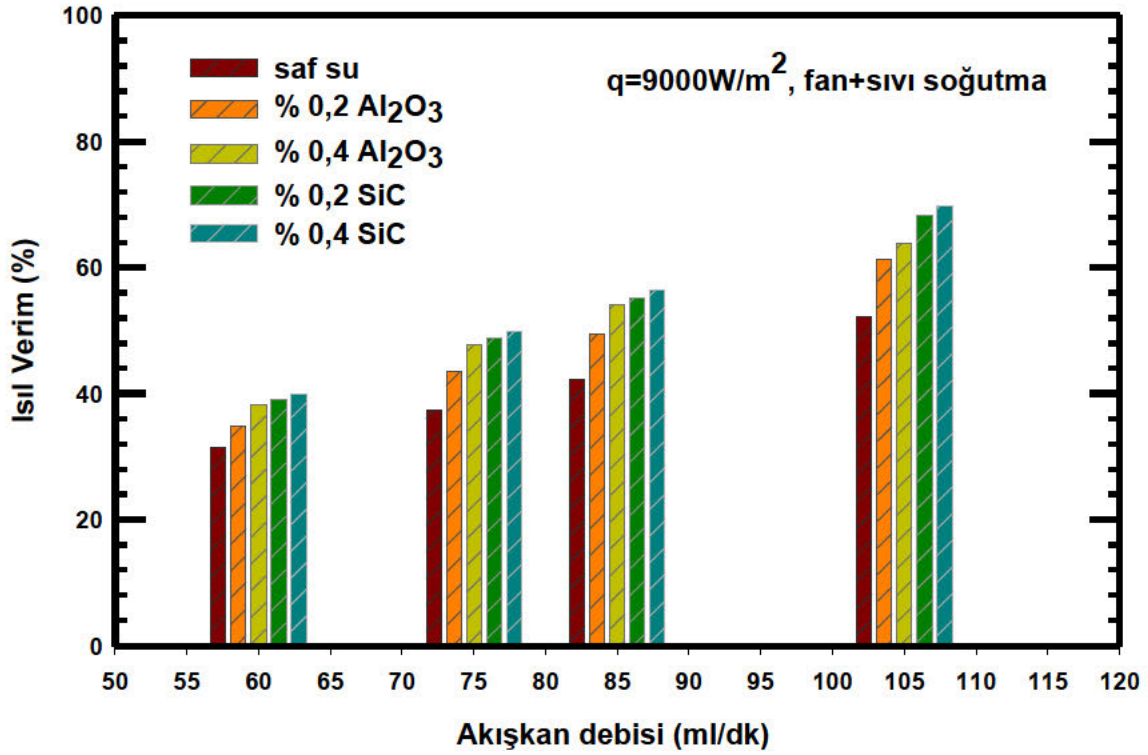
(a)



(b)



(c)



(d)

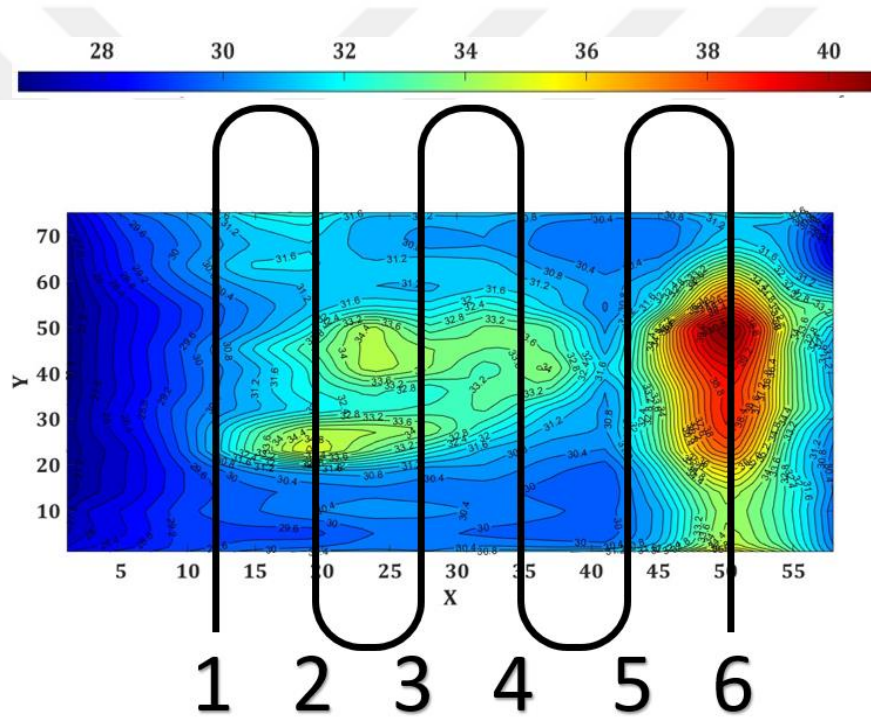
Şekil 3.6. Fan ve sıvı soğutma için, ısı verimin akışkan debisi ile değişimi (a)  $q=6000\text{W/m}^2$  (b)  $q=7000\text{W/m}^2$ , (c)  $q=8000\text{W/m}^2$  ve (d)  $q=9000\text{W/m}^2$

Şekil 3.6'da, fan ve sıvı soğutma olduğu durumunda, ısı verimin farklı akışkan debisi ile değişimi verilmiştir. Şekil 3.6(a)' da,  $6000\text{W/m}^2$  ısı akısında, fan ve sıvı soğutmanın birlikte olduğu durumda ısı verimin akışkan debisine göre değişimi verilmiştir. En yüksek ısı verim değerleri %62 ile %0,4 SiC/saf su kullanıldığında ve en düşük ısı verimin %25 ile saf su kullanıldığı durumda elde edilmiştir. %0,4 SiC/saf su karışımının ısı verimi saf suyun ısı veriminden %59 daha büyüktür. Şekil 3.6(b)' de,  $7000\text{W/m}^2$  ısı akısında, fan ve sıvı soğutmanın birlikte olduğu durumda ısı verimin akışkan debisine göre değişimi verilmiştir. En yüksek ısı verim değerleri %62 ile %0,4 SiC/saf su kullanıldığında ve en düşük ısı verimin %26 ile saf su kullanıldığı durumda elde edilmiştir. Bu durumda ısı verimin yaklaşık %58' lük maksimum değişim ile artış eğiliminde olduğu açıkça görülmektedir. Ayrıca 75ml/dak ve üzerindeki debilerde %0,4  $\text{Al}_2\text{O}_3$ /saf su akışkanının %0,4 SiC/saf su akışkanı ile aynı ısı verimi sağladığı açıkça görülmektedir. Bunun sebebi SiC/saf su nano akışkanına göre daha yoğun olmasından kaynaklanmaktadır. Şekil 3.5(c)' de,  $8000\text{W/m}^2$  ısı akısında, fan ve sıvı soğutmanın birlikte olduğu durumda ısı verimin akışkan debisine göre değişimi verilmiştir. En yüksek ısı verim değerleri %63 ile %0,2 SiC/saf su kullanıldığında ve en düşük ısı verimin %26 ile saf su kullanıldığı durumda elde edilmiştir. Bu durumda ısı verimin yaklaşık %56' lık maksimum değişim ile artış eğiliminde olduğu açıkça görülmektedir.

Şekil 3.5(d)' de,  $9000\text{W/m}^2$  ısı akısında, fan ve sıvı soğutmanın birlikte olduğu durumda ısı verimin akışkan debisine göre değişimi verilmiştir. En yüksek ısı verim değerleri %65 ile %0,4 SiC/saf su kullanıldığında ve en düşük ısı verimin %25 ile saf su kullanıldığı durumda elde edilmiştir. Bu durumda ısı verimin yaklaşık %61' lik maksimum değişim ile artış eğiliminde olduğu açıkça görülmektedir. Yüzdece ısı verim değişimleri fan ve sıvı soğutma ile sıvı soğutma durumu için en iyi sonuçlar 105 ml/dak debide %0,4 kütle fraksiyonunda ve SiC/saf su kullanılan deneylerde elde edilmiştir.

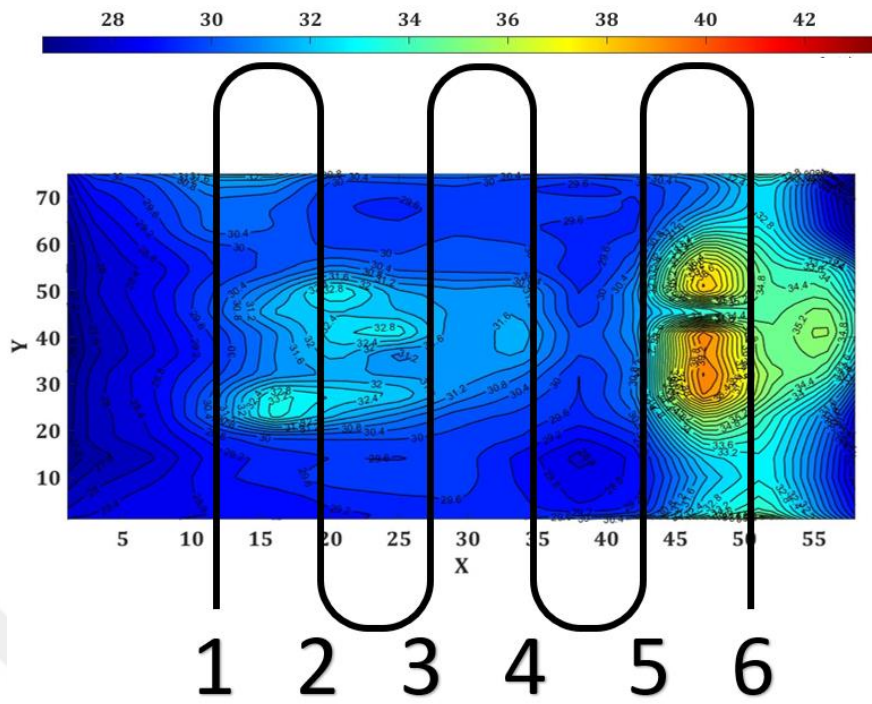
### 3.1.5 CPU yüzeyi altındaki sıcaklık değişimler

Matlab R2022b ile hazırlanmış olan CPU yüzeyi altındaki sıcaklık değişimleri Şekil 3.7' de verilmiştir. Şekil 3.7' de fan ve sıvı soğutmanın birlikte olduğu,  $9000\text{W/m}^2$  ısı akısında ve 105 ml/dk akışkan debisi için beş farklı akışkan konfigürasyonu için hazırlanmıştır.

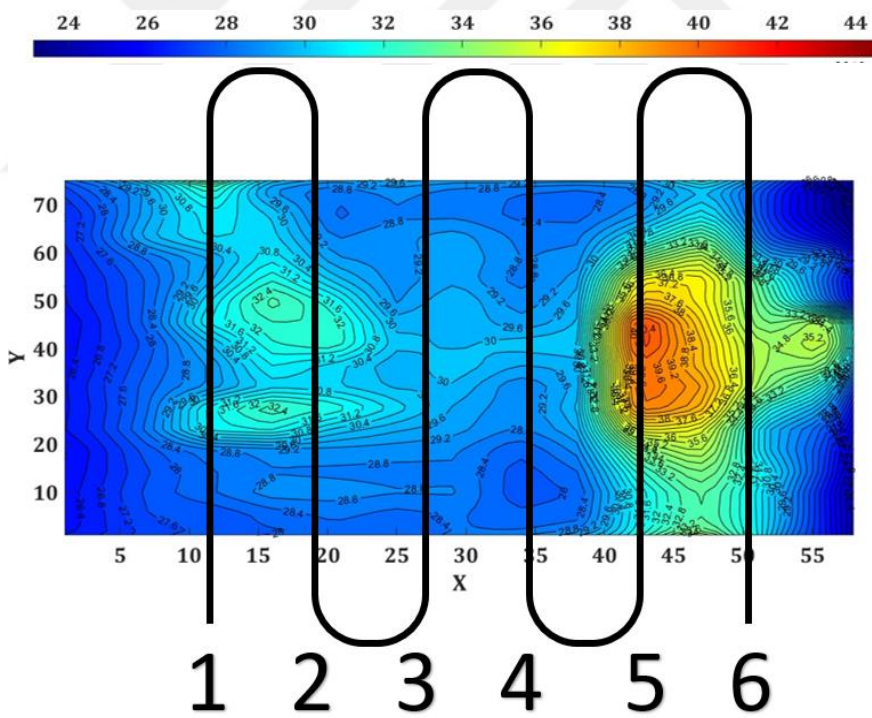


(a)Saf su

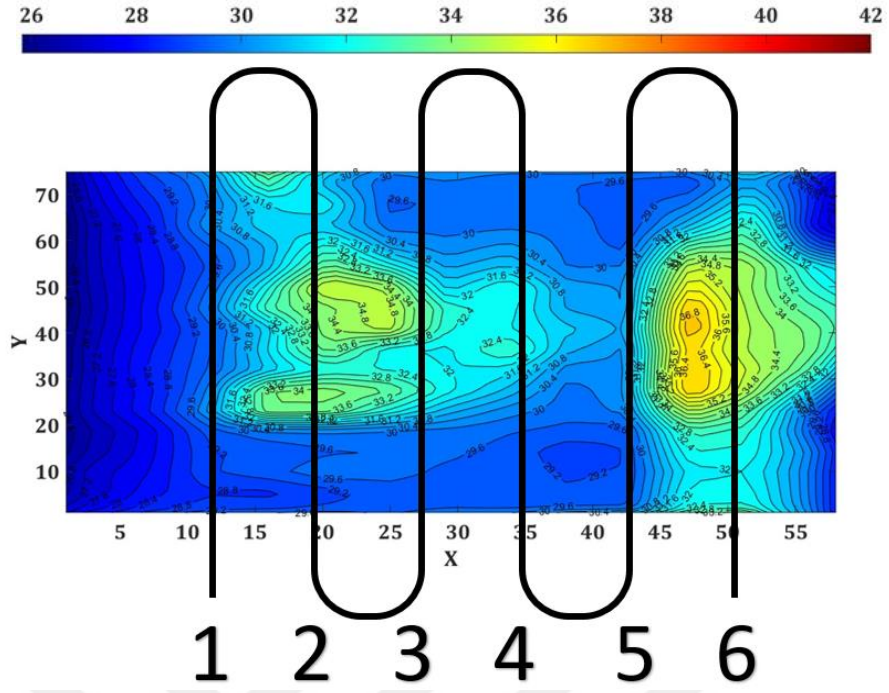




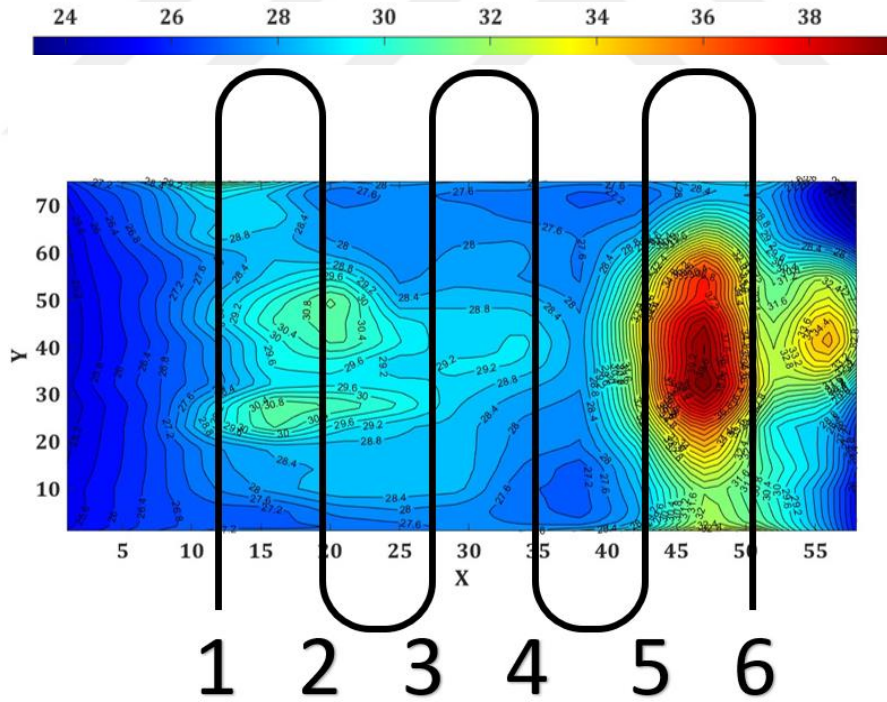
(b) %0,2SiC/Saf su



(c) %0,4SiC/Saf su



(d) %0,2Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Saf su



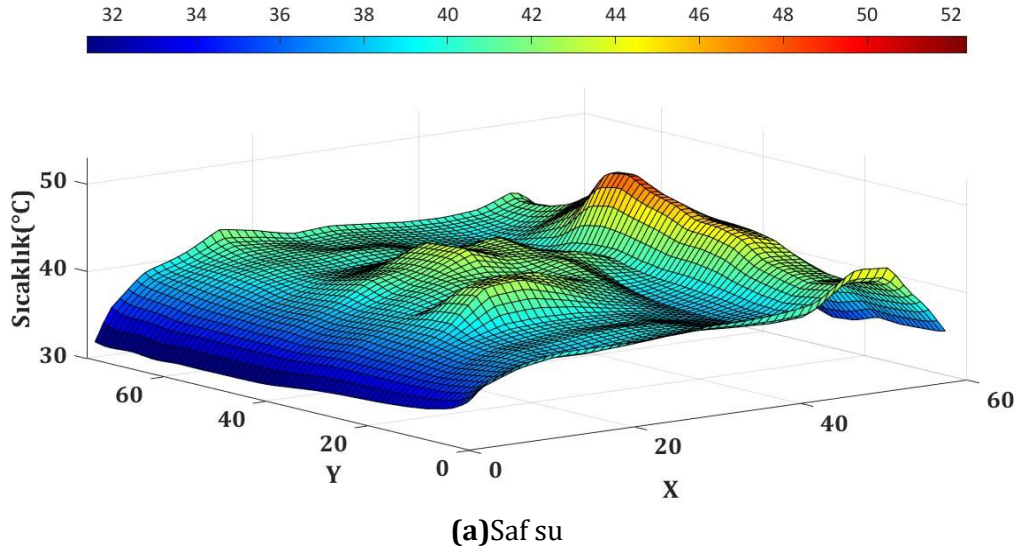
(e) %0,4Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Saf su

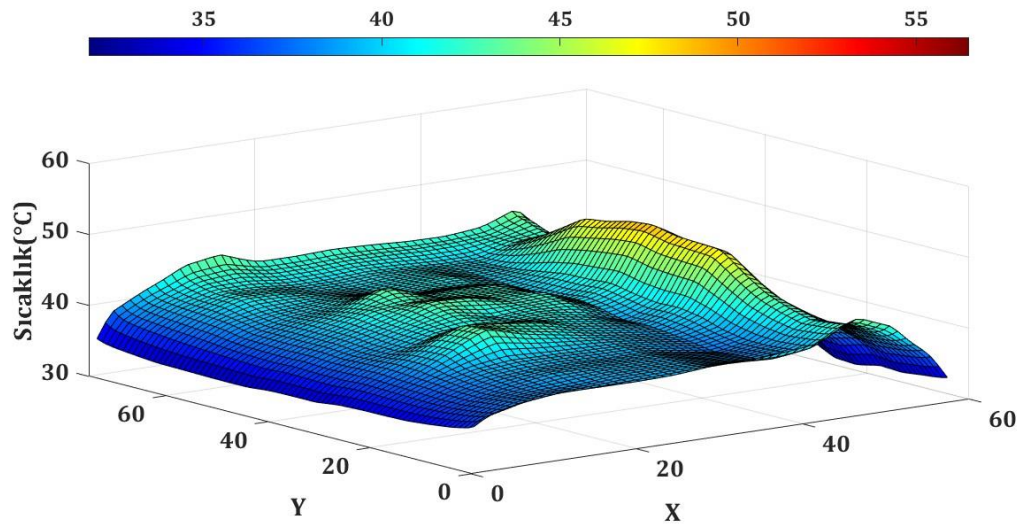
Şekil 3.7. Fan ve sıvı soğutma durumunda CPU yüzeyi altındaki sıcaklık değişimleri  
( $q=9000\text{W}/\text{m}^2$ ,  $\dot{m}=105\text{ml}/\text{dak}$ )

Şekil 3.7’de 1-6 olduğu kısımlar CPU yüzeyine yakın bölgedeki bakır boruların geçiş noktalarını göstermektedir. 1 nolu kısım soğutma sıvısının giriş kısmını 6 numaralı kısım ise çıkış kısmını göstermektedir. Tüm şekillerde görüldüğü gibi en yüksek sıcaklık değişimi soğutma sıvısının çıkış kısmı olan 5-6 boru demetleri arasında meydana gelmiştir. Bu durum soğutma kanalına giren akışkanın sıcaklığının artması ve buna bağlı olarak çıkışta yüzey üzerindeki ısıyı yeterince uzaklaştıramamasından kaynaklanmaktadır. En düşük yüzey sıcaklığı değerleri %0,4 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/saf su kullanıldığında ve en yüksek yüzey sıcaklığı saf su kullanıldığı durumda elde edilmiştir. Bunun yanı sıra CPU yüzeyi altındaki sıcaklık değişimleri 33,5°C’ den 29°C’ ye yaklaşık %13’ lük maksimum değişim ile yüzey sıcaklığının azalma eğiliminde olduğu görülmüştür.

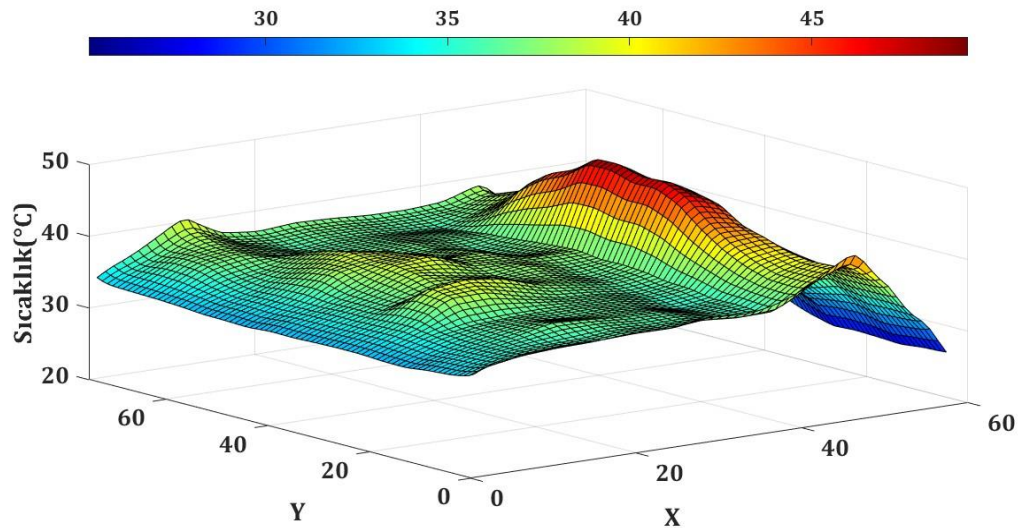
### 3.1.6 CPU yüzey sıcaklığı üç boyutlu değişimi

Matlab R2022b ile hazırlanmış olan CPU yüzey sıcaklığı üç boyutlu değişimi Şekil 3.8’ de verilmiştir. Şekil 3.8’ de sıvı soğutma, 9000 W/m<sup>2</sup> ısı akısında ve 105 ml/dk akış debisinde beş farklı akışkan konfigürasyonu için hazırlanmıştır.



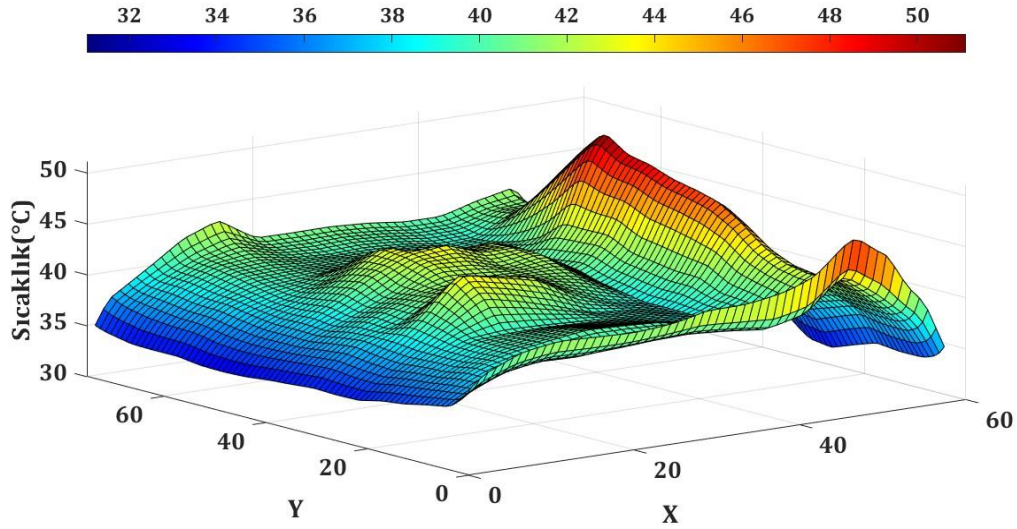


**(b)** %0,2SiC/Saf su

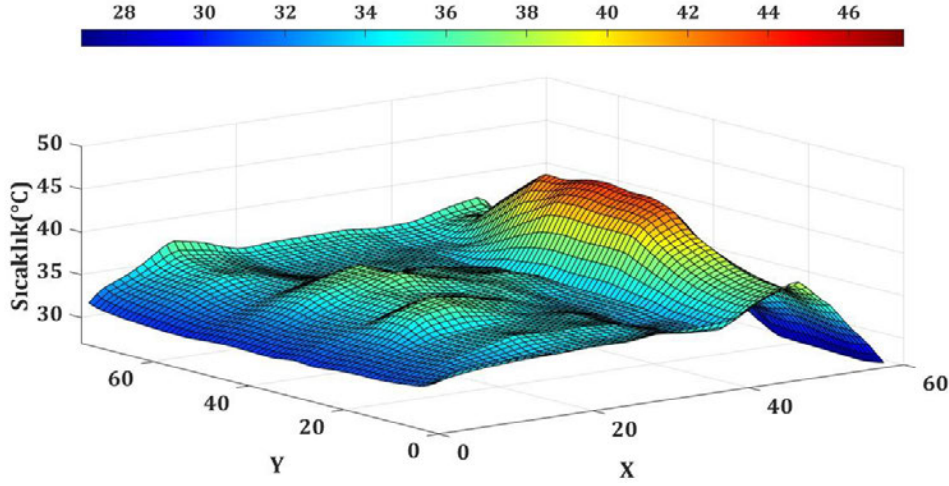


**(c)** %0,4SiC/Saf su





(d) %0,2Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Saf su



(e) %0,4Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Saf su

**Şekil 3.8.** Sıvı soğutma durumunda CPU yüzey sıcaklığı üç boyutlu değişimi ( $q=9000\text{W}/\text{m}^2, \dot{m}=105\text{ml}/\text{dak}$ ).

Şekil 3.8' de görüldüğü gibi en yüksek sıcaklık değişiminin olduğu  $X=50$  ve  $Y=50$  konumunda olduğu görülmektedir. Bu konum iki boyutlu olarak Şekil 3.7' de 6. kısım olarak belirtilmektedir. Bunun sebebi soğutma kanalına giren akışkanın sıcaklığının artması ve buna bağlı olarak çıkışta yüzey üzerindeki ısıyı yeterince uzaklaştırılamamasından kaynaklanmaktadır. Buna rağmen Şekil 3.8' de CPU yüzey sıcaklığı üç boyutlu değişiminde kıyaslanmış olan nanoakışkan kullanılan deneylerde daha düşük yüzey sıcaklıkları elde edildiği görülmüştür. En düşük yüzey sıcaklığı değerleri %0,4 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/saf su kullanıldığında ve en yüksek yüzey sıcaklığı saf su kullanıldığı durumda elde edilmiştir. Şekil 3.8'de CPU yüzey sıcaklığı 41,5°C' den 35,2°C' ye yaklaşık %15' lik maksimum değişim ile yüzey sıcaklığının azalma eğiliminde olduğu görülmektedir.

## SONUÇ VE ÖNERİLER

Isı enerjisinin uzaklaştırılması adına aktif ve pasif soğutma olmak üzere iki farklı yöntem kullanılmaktadır. Pasif soğutma, elektronik bileşenlerin olması istenen çalışma sıcaklıklarını korumak ve bileşenlerin kullanım ömrünü uzatmak adına ısı alıcılar, ısı dağıtıcılar ya da ısı boruları kullanılan bir yöntemdir. Pasif soğutma yöntemi, dışarıdan herhangi bir etkiye ihtiyaç duymamasından dolayı maliyetler açısından son derece uygun bir çözümdür. Aktif soğutma yöntemi ise, elektronik bileşenlerin bünyesinde bulunan ısı enerjisinin herhangi bir dış etkiye (hava ve sıvı soğutma uygulamaları vb.) maruz bırakılarak uzaklaştırılmasını sağlayan bir yöntem olarak bilinmektedir.

Yapılan bu tez çalışmasında aktif soğutma yöntemi, sıvı soğutma ve fan ile sıvı soğutma birlikte incelenmiştir. Dört farklı ısı akısı (6000, 7000, 8000 9000 W/m<sup>2</sup>), 4 farklı nano-akışkan yüzde kütle fraksiyon oranı (%0, %0,2 ve %0,4) ve 4 farklı soğutucu akışkan debisi (60, 75, 85 105 ml/dak) değişimlerine bağlı olarak, CPU yüzey sıcaklığı, ısıl direnç ve ısıl verim değişimleri incelenmiştir.

9000 W/m<sup>2</sup>' lik bir ısı akısında ve 60 ml/dak lık bir akış hızında, en yüksek ve en düşük CPU yüzey sıcaklığı sırasıyla 42,1 °C ve 23,4°C olarak elde edilmiştir. Nano akışkan kullanılması durumunda, soğutucu akışkan debisinin 60 ve 105 ml/dak 'ya artmasıyla CPU yüzey sıcaklıkları sırasıyla, %0,2 SiC/saf su ve %0,2 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/saf su için; yaklaşık 2-3°C ve %0,4 SiC/saf su ve %0,4 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/ saf su için; 2-5°C arasında azalmıştır. CPU yüzey sıcaklığı, ısıl direnç ve ısıl verim için en iyi sonuçlar %0,4 kütle fraksiyonunda ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/saf su kullanımında ve 105ml/dak' lık akış debisinde elde edilmiştir.

- Elde edilen sonuçlara göre fan ve sıvı soğutmanın birlikte kullanıldığı soğutma yönteminin ısıl verim anlamında sadece sıvı soğutmanın kullanıldığı deneylere göre daha olumlu sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu sonuçlar özellikle birim alan başına çok fazla ısı enerjisi üreten elektronik bileşenlerin soğutulması adına hava ve sıvı soğutmanın birlikte kullanıldığı disiplinlerin öneminin daha da artacağını göstermektedir.

## KAYNAKÇA

- Agarwal, A., Marumo, R., & Letsatsi, M. T. (2021). Numerical analysis of tube flow with helical insert using nano fluid to enhance heat transfer. *Materials Today: Proceedings*, 47, 5093–5097. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.05.281>
- Al-Hasani, HM ve Freegah, B. (2022). İkincil akış açısının ve pim kanadının çift çıkışlı serpantin mini kanallı ısı alıcının hidro-termal değerlendirmesine etkisi. *Mühendislikte Sonuçlar*, 16, 100670. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100670>.
- Al-rashed, M. H., Dzido, G., Korpy, M., Smo, J., & Wójcik, J. (2016). Microelectronics Reliability Investigation on the CPU nano fluid cooling. 63, 159–165. <https://doi.org/10.1016/j.microrel.2016.06.016>
- Alamanda, K. C., Nilapparai, S., Naveen, V., Prasad, Y. S., Subbiah, R., & Marichamy, S. (2021). Optimization and improvement of heat transfer through aluminium oxide based nano fluid. *Materials Today: Proceedings*, 45, 2198–2201. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.10.110>
- Anbumeenakshi, C., & Thansekhar, M. R. (2017). On the effectiveness of a nanofluid cooled microchannel heat sink under non-uniform heating condition. *Applied Thermal Engineering*, 113, 1437–1443. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.11.144>
- Attar, M. R., Mohammadi, M., Taheri, A., Hosseinpour, S., Passandideh-Fard, M., Haddad Sabzevar, M., & Davoodi, A. (2020). Heat transfer enhancement of conventional aluminum heat sinks with an innovative, cost-effective, and simple chemical roughening method. *Thermal Science and Engineering Progress*, 20(October), 100742. <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2020.100742>
- Ayub, S., Ali, W., & Maryam, A. (2014). Water cooled minichannel heat sinks for microprocessor cooling : Effect of fin spacing. 64, 76–82. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2013.12.007>
- Bahiraei, M., & Mazaheri, N. (2021). Application of an ecofriendly nanofluid containing graphene nanoplatelets inside a novel spiral liquid block for cooling of electronic processors. *Çinde Energy (C. 218)*. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119395>
- Bezaatpour, M., & Goharkhah, M. (2020). Convective heat transfer enhancement in a double pipe mini heat exchanger by magnetic field induced swirling flow. *Applied Thermal Engineering*, 167(December 2019), 114801. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.114801>
- Bi, C., Tang, G. H., & Tao, W. Q. (2013). Heat transfer enhancement in mini-channel heat sinks with dimples and cylindrical grooves. *Applied Thermal Engineering*, 55(1–2), 121–132. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2013.03.007>
- Chai, L., Shaukat, R., Wang, L., & Wang, H. S. (2018). A review on heat transfer and hydrodynamic characteristics of nano/microencapsulated phase change slurry (N/MPCS) in mini/microchannel heat sinks. *Applied Thermal Engineering*, 135(January), 334–349. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.02.068>
- Chamanroy, Z., & Khoshvaght-Aliabadi, M. (2019). Analysis of straight and wavy miniature heat sinks equipped with straight and wavy pin-fins. *International Journal of Thermal Sciences*, 146(November 2018), 106071. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2019.106071>
- Chen, T., Qi, C., Tang, J., Wang, G., & Yan, Y. (2021). Numerical and experimental study on optimization of CPU system cooled by nanofluids. *Case Studies in Thermal Engineering*, 24(December 2020), 100848. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2021.100848>
- Choi, J., Jeong, M., Yoo, J., & Seo, M. (2012). A new CPU cooler design based on an active cooling heatsink combined with heat pipes. *Applied Thermal Engineering*, 44, 50–56. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2012.03.027>

Çiftçi, ERDEM, Sözen, ADNAN ve Karaman, E. (2016). TiO<sub>2</sub> İçeren Nanoakışkan Kullanımının Isı Borusu Performansına Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi, sayfa: 367-376. *Politeknik Dergisi*, 19 (3), 367-376

Farzanehnia, A., Khatibi, M., & Sardarabadi, M. (2019). Experimental investigation of multiwall carbon nanotube / paraffin based heat sink for electronic device thermal management. *Energy Conversion and Management*, 179(September 2018), 314–325. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.10.037>

Gharbi, S., Harmand, S., & Ben, S. (2015). Experimental comparison between different configurations of PCM based heat sinks for cooling electronic components. *Applied Thermal Engineering*, 87, 454–462. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2015.05.024>

Ghasemi, S. E., Ranjbar, A. A., Hoseini, M. J., & Mohsenian, S. (2021). Design optimization and experimental investigation of CPU heat sink cooled by alumina-water nanofluid. *Journal of Materials Research and Technology*, 15, 2276–2286. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.09.021>

Haghighi, S. S., Goshayeshi, H. R., & Reza, M. (2018). International Journal of Heat and Mass Transfer Natural convection heat transfer enhancement in new designs of plate-fin based heat sinks. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 125, 640–647. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.04.122>

Hanumanthappa, R., Dassappa, S., G K, A., & Deepak Kumar, T. (2020). Experimental investigation on heat sink made of Al2024 with copper composites. *Materials Today: Proceedings*, 42, 487–492. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.10.283>

Ho, C. J., Hsu, S. T., Jang, J. H., Hosseini, S. F., & Yan, W. M. (2020). Experimental study on thermal performance of water-based nano-PCM emulsion flow in multichannel heat sinks with parallel and divergent rectangular mini-channels. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 146. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2019.118861>

Ho, C. J., Hsu, S. T., Yang, T. F., Chen, B. L., Rashidi, S., & Yan, W. M. (2021). Cooling performance of mini-channel heat sink with water-based nano-PCM emulsion-An experimental study. *International Journal of Thermal Sciences*, 164(December 2020). <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2021.106903>

Jamuna Rani, G., Sai Rani, G., & Praveen, A. (2021). Nano fluids effect on crossflow heat exchanger characteristics - Review. *Materials Today: Proceedings*, 44, 527–531. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.10.210>

Jitheesh, E. V., Joseph, M., & Sajith, V. (2021). Comparison of metal oxide and composite phase change material based nanofluids as coolants in mini channel heat sink. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 127, 105541. <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2021.105541>

Kahveci, M., & Tarkan, K. O. C. A. (2021). Plaka Tip Isı Değiştiricide Grafit/Saf Su Nanoakışkan Kullanımının Isıl Performansa Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (25), 400-405.

Khaleduzzaman, S. S., Sohel, M. R., Saidur, R., Mahbubul, I. M., Shahrul, I. M., Akash, B. A., & Selvaraj, J. (2014). Energy and exergy analysis of alumina–water nanofluid for an electronic liquid cooling system. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 57, 118-127. <http://dx.doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2014.07.015>

Khan, M. Z. U., Akbar, B., Sajjad, R., Rajput, U. A., Mastoi, S., Uddin, E., Hussain, A., Younis, M. Y., García Márquez, F. P., & Akram, N. (2021). Investigation of heat transfer in dimple-protrusion micro-channel heat sinks using copper oxide nano-additives. *Case Studies in Thermal Engineering*, 28(August). <https://doi.org/10.1016/j.csite.2021.101374>

Khattak, Z., & Muhammad, H. (2019). International Journal of Heat and Mass Transfer Air cooled heat sink geometries subjected to forced flow : A critical review. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 130, 141–161. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.08.048>

- Kumar, V., Sarkar, J., & Yan, W. M. (2021). Thermal-hydraulic behavior of lotus like structured rGO-ZnO composite dispersed hybrid nanofluid in mini channel heat sink. *International Journal of Thermal Sciences*, 164(January), 106886. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2021.106886>
- Li, Y., Gong, L., Ding, B., Xu, M., & Joshi, Y. (2021). Thermal management of power electronics with liquid cooled metal foam heat sink. *International Journal of Thermal Sciences*, 163(January 2020), 106796. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2020.106796>
- Mohammadi, M., Taheri, A., Passandideh-Fard, M., & Sardarabadi, M. (2020). Electronic chipset thermal management using a nanofluid-based mini-channel heat sink: An experimental study. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 118(September), 104836. <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2020.104836>
- Mohan, M., Thomas, S., & Sobhan, C. B. (2021). Convective heat transfer estimation of dilute metal oxide nanofluids in VUV surface tuned minichannel using Mach-Zehnder interferometry. *Applied Thermal Engineering*, 196(May), 117259. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2021.117259>
- Najafi, F., Ramezani, D., Sheykh, S., Aldaghi, A., Taheri, A., Sardarabadi, M., & Passandideh-Fard, M. (2021). Fabrication and experimental characterization of a modified heat-sink based on a semi-active/passive cooling strategy with fluid flow and nano-enhanced phase change material. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 126(June), 105371. <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2021.105371>
- Qi, C., Zhao, N., Cui, X., Chen, T., & Hu, J. (2018). International Journal of Heat and Mass Transfer Effects of half spherical bulges on heat transfer characteristics of CPU cooled by TiO<sub>2</sub>-water nanofluids. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 123, 320–330. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.02.086>
- Reddy, N. R., Abhilash, P., & Rahul, M. (2020). Enhancement of heat transfer in radiator using copper oxide nano fluids. *Materials Today: Proceedings*, 39, 643–648. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.134>
- Sardarabadi, M., Hosseinzadeh, M., Kazemian, A., & Passandideh-Fard, M. (2017). Experimental investigation of the effects of using metal-oxides/water nanofluids on a photovoltaic thermal system (PVT) from energy and exergy viewpoints. *Energy*, 138, 682–695. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2017.07.046>
- Shahsavari, A., Jafari, M., Talebizadehsardari, P., & Toghraie, D. (2021). Hydrothermal and entropy generation specifications of a hybrid ferronanofluid in microchannel heat sink embedded in CPUs. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 32, 27–38. <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2020.08.053>
- Shilpi, Vasishth, A., & Aggarwal, N. (2020). Heat transfer model to study nano fluids & its application. *Materials Today: Proceedings*, 37(Part 2), 3074–3076. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.014>
- Sun, B., & Liu, H. (2017). Flow and heat transfer characteristics of nanofluids in a liquid-cooled CPU heat radiator. *Applied Thermal Engineering*, 115, 435–443. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.12.108>
- Taheri, A., Ghasemian, M., & Mohammadi, M. (2020). A new design of liquid-cooled heat sink by altering the heat sink heat pipe application : Experimental approach and prediction via artificial neural network. *Energy Conversion and Management*, 206(January), 112485. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.112485>
- Tseng, P. H., Tsai, K. T., Chen, A. L., & Wang, C. C. (2019). Performance of novel liquid-cooled porous heat sink via 3-D laser additive manufacturing. *Çinde International Journal of Heat and Mass Transfer (C)*, 137, ss. 558–564). <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2019.03.116>
- Vinoth, R., & Sachuthanathan, B. (2021). Flow and heat transfer behavior of hybrid nanofluid through microchannel with two different channels. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 123, 105194. <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2021.105194>

Wang, M., Sun, H., & Cheng, L. (2021). Enhanced heat transfer characteristics of nano heat exchanger with periodic fins: A molecular dynamics study. *Journal of Molecular Liquids*, 341, 116908. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.116908>

Wen, T., Lu, L., Zhang, S., & Zhong, H. (2021). Experimental study and CFD modelling on the thermal and flow behavior of EG/water ZnO nanofluid in multiport mini channels. *Applied Thermal Engineering*, 182(August 2020), 116089. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2020.116089>

Wen, T., Zhu, G., Jiao, K., & Lu, L. (2021). Experimental study on the thermal and flow characteristics of ZnO/water nanofluid in mini-channels integrated with GA-optimized ANN prediction and CFD simulation. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 178, 121617. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2021.121617>

Wen, T., Zhu, G., & Lu, L. (2021). Experimental and artificial neural network based study on the heat transfer and flow performance of ZnO-EG/water nanofluid in a mini-channel with serrated fins. *International Journal of Thermal Sciences*, 170(June), 107149. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2021.107149>

Wiriyasart, S., Suksusron, P., Hommalee, C., Siricharoenpanich, A., & Naphon, P. (2021). Heat transfer enhancement of thermoelectric cooling module with nanofluid and ferrofluid as base fluids. *Case Studies in Thermal Engineering*, 24(December 2020), 100877. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2021.100877>

ZİYADANOĞULLARI, N. B. (2017). Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Su Nanoakışkanı İle Isı Transferinin İyileştirilmesi. *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, 7(2/2), 253-260.

## EKLER



### EK-1-Deney Matrisi

Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%0,2 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /saf su	6000 W/m <sup>2</sup>	60 ml/dak
			75 ml/dak
			85 ml/dak
			105 ml/dak
		7000 W/m <sup>2</sup>	60 ml/dak
			75 ml/dak
			85 ml/dak
			105 ml/dak
		8000 W/m <sup>2</sup>	60 ml/dak
			75 ml/dak
			85 ml/dak
			105 ml/dak
	9000 W/m <sup>2</sup>	60 ml/dak	
		75 ml/dak	
		85 ml/dak	
		105 ml/dak	
%0,4 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /saf su	6000 W/m <sup>2</sup>	60 ml/dak	
		75 ml/dak	
		85 ml/dak	
		105 ml/dak	
	7000 W/m <sup>2</sup>	60 ml/dak	
		75 ml/dak	
		85 ml/dak	
		105 ml/dak	
	8000 W/m <sup>2</sup>	60 ml/dak	
		75 ml/dak	
		85 ml/dak	
		105 ml/dak	
9000 W/m <sup>2</sup>	60 ml/dak		
	75 ml/dak		
	85 ml/dak		
	105 ml/dak		



**EK-1 Deneş Matrisi (Devamı)**

Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fan+%0,2 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /saf su	6000 W/m <sup>2</sup>	60 ml/dak
			75 ml/dak
			85 ml/dak
			105 ml/dak
		7000 W/m <sup>2</sup>	60 ml/dak
			75 ml/dak
			85 ml/dak
			105 ml/dak
		8000 W/m <sup>2</sup>	60 ml/dak
			75 ml/dak
			85 ml/dak
			105 ml/dak
	9000 W/m <sup>2</sup>	60 ml/dak	
		75 ml/dak	
		85 ml/dak	
		105 ml/dak	
Fan+%0,4 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /saf su	6000 W/m <sup>2</sup>	60 ml/dak	
		75 ml/dak	
		85 ml/dak	
		105 ml/dak	
	7000 W/m <sup>2</sup>	60 ml/dak	
		75 ml/dak	
		85 ml/dak	
		105 ml/dak	
	8000 W/m <sup>2</sup>	60 ml/dak	
		75 ml/dak	
		85 ml/dak	
		105 ml/dak	
9000 W/m <sup>2</sup>	60 ml/dak		
	75 ml/dak		
	85 ml/dak		
	105 ml/dak		

**EK-1 Deneý Matrisi (Devamı)**

SiC	Fan+%0,2 SiC/saf su	6000 W/m <sup>2</sup>	60 ml/dak
			75 ml/dak
			85 ml/dak
			105 ml/dak
		7000 W/m <sup>2</sup>	60 ml/dak
			75 ml/dak
			85 ml/dak
			105 ml/dak
		8000 W/m <sup>2</sup>	60 ml/dak
			75 ml/dak
			85 ml/dak
			105 ml/dak
	9000 W/m <sup>2</sup>	60 ml/dak	
		75 ml/dak	
		85 ml/dak	
		105 ml/dak	
Fan+%0,4 SiC/saf su	6000 W/m <sup>2</sup>	60 ml/dak	
		75 ml/dak	
		85 ml/dak	
		105 ml/dak	
	7000 W/m <sup>2</sup>	60 ml/dak	
		75 ml/dak	
		85 ml/dak	
		105 ml/dak	
	8000 W/m <sup>2</sup>	60 ml/dak	
		75 ml/dak	
		85 ml/dak	
		105 ml/dak	
9000 W/m <sup>2</sup>	60 ml/dak		
	75 ml/dak		
	85 ml/dak		
	105 ml/dak		

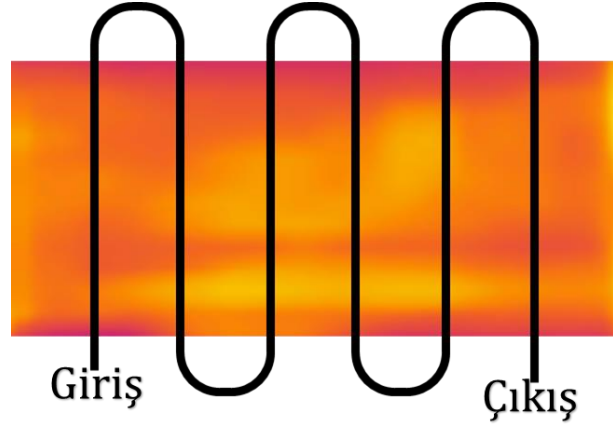
**EK-1 Deneý Matrisi (Devamı)**

SiC	%0,2 SiC/saf su	6000 W/m <sup>2</sup>	60 ml/dak
			75 ml/dak
			85 ml/dak
			105 ml/dak
		7000 W/m <sup>2</sup>	60 ml/dak
			75 ml/dak
			85 ml/dak
			105 ml/dak
		8000 W/m <sup>2</sup>	60 ml/dak
			75 ml/dak
			85 ml/dak
			105 ml/dak
	9000 W/m <sup>2</sup>	60 ml/dak	
		75 ml/dak	
		85 ml/dak	
		105 ml/dak	
%0,4 SiC/saf su	6000 W/m <sup>2</sup>	60 ml/dak	
		75 ml/dak	
		85 ml/dak	
		105 ml/dak	
	7000 W/m <sup>2</sup>	60 ml/dak	
		75 ml/dak	
		85 ml/dak	
		105 ml/dak	
	8000 W/m <sup>2</sup>	60 ml/dak	
		75 ml/dak	
		85 ml/dak	
		105 ml/dak	
9000 W/m <sup>2</sup>	60 ml/dak		
	75 ml/dak		
	85 ml/dak		
	105 ml/dak		

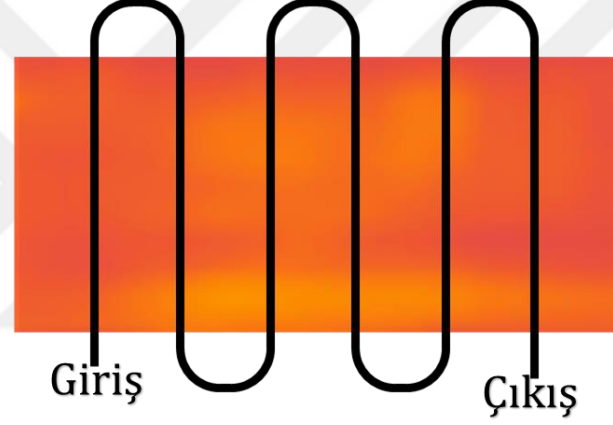
**EK-1 Deney Matrisi (Devamı)**

-	Fan+saf su	6000 W/m <sup>2</sup>	60 ml/dak
			75 ml/dak
			85 ml/dak
			105 ml/dak
		7000 W/m <sup>2</sup>	60 ml/dak
			75 ml/dak
			85 ml/dak
			105 ml/dak
		8000 W/m <sup>2</sup>	60 ml/dak
			75 ml/dak
			85 ml/dak
			105 ml/dak
		9000 W/m <sup>2</sup>	60 ml/dak
			75 ml/dak
			85 ml/dak
			105 ml/dak
-	Saf su	6000 W/m <sup>2</sup>	60 ml/dak
			75 ml/dak
			85 ml/dak
			105 ml/dak
		7000 W/m <sup>2</sup>	60 ml/dak
			75 ml/dak
			85 ml/dak
			105 ml/dak
		8000 W/m <sup>2</sup>	60 ml/dak
			75 ml/dak
			85 ml/dak
			105 ml/dak
		9000 W/m <sup>2</sup>	60 ml/dak
			75 ml/dak
			85 ml/dak
			105 ml/dak

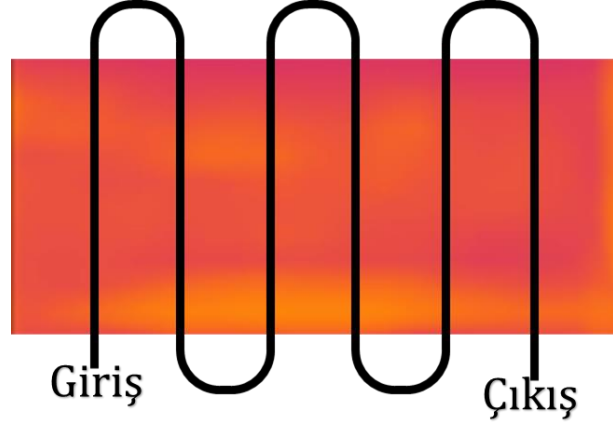
## EK-2 Sıcaklık Dağılımları



(a) Saf su

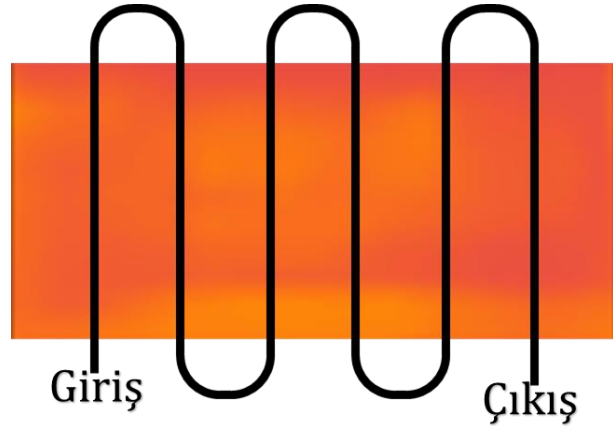


(b) %0,2 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Saf su

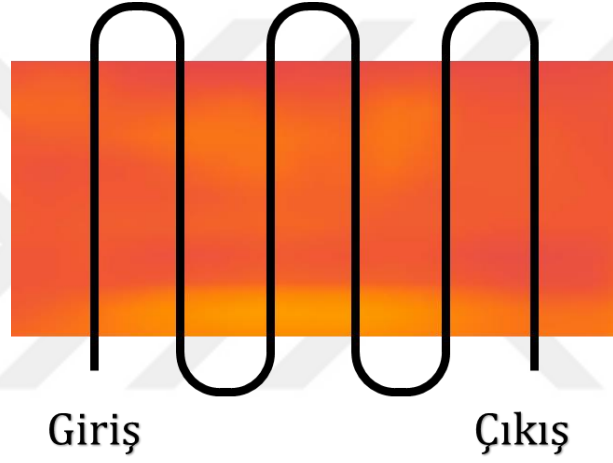


(c) %0,4 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Saf su

## EK-2 Sıcaklık Dağılımları (Devamı)

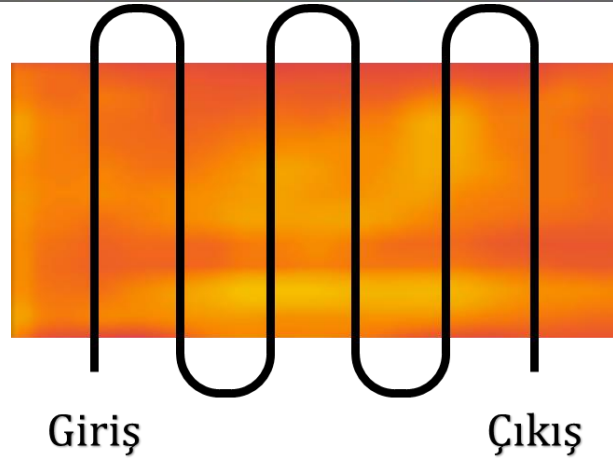


(d) %0,2 SiC/Saf su



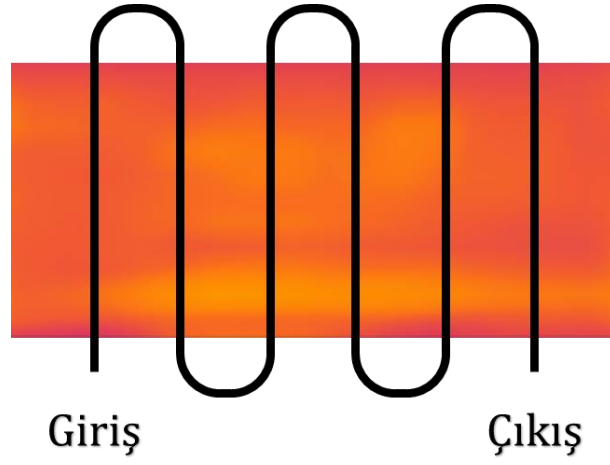
(e) %0,4 SiC/Saf su

CPU sıcaklık kontürleri ( $q=6000\text{W/m}^2$ ,  $\dot{m}=75\text{ml/dak}$ )

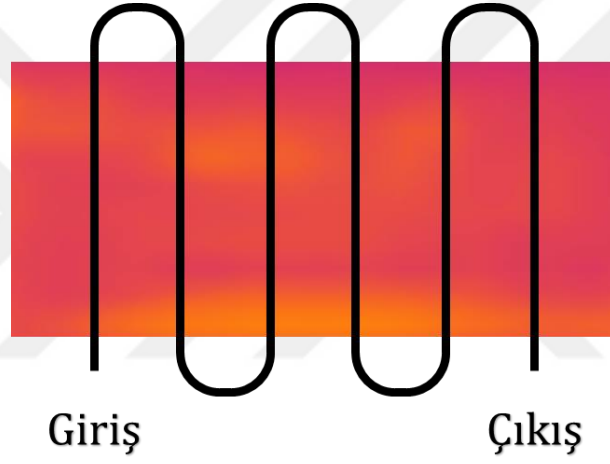


(a) Saf su

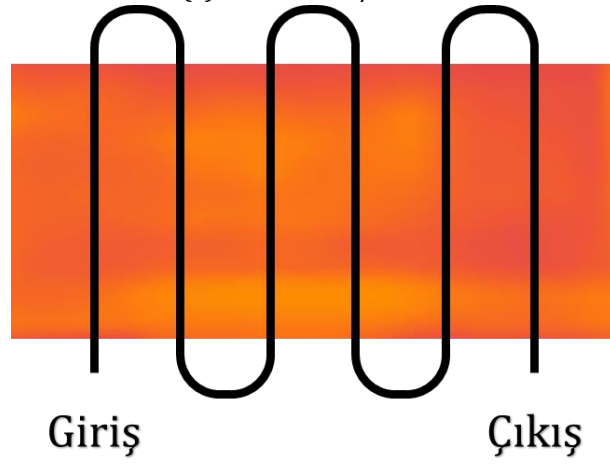
EK-2 Sıcaklık Dağılımları (Devamı)



(b) %0,2 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Saf su

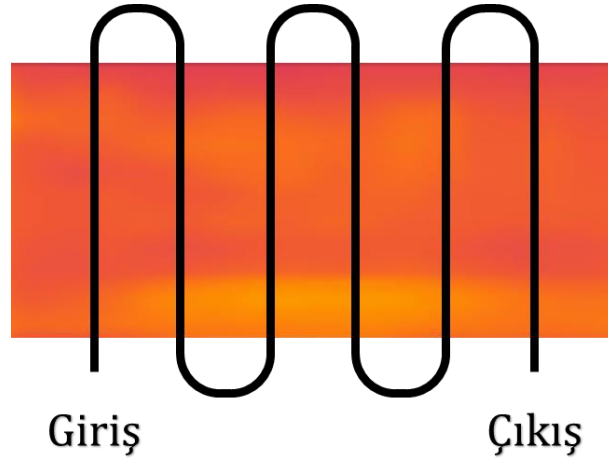


(c) %0,4 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Saf su

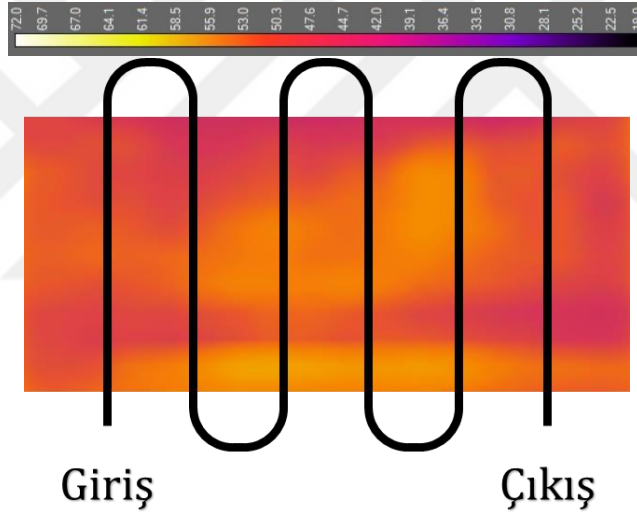


(d) %0,2 SiC/Saf su

## EK-2 Sıcaklık Dağılımları (Devamı)



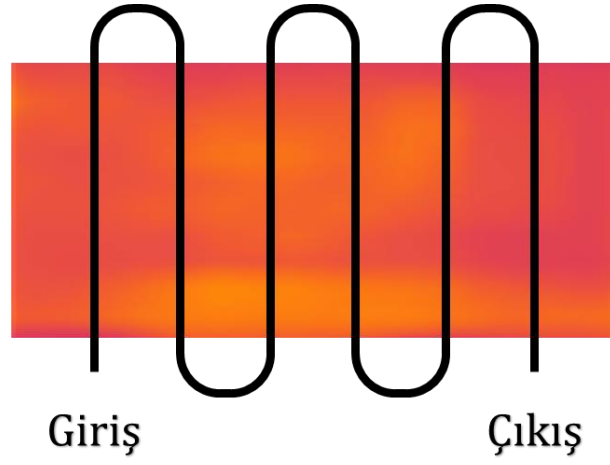
(e) %0,4 SiC/Saf su  
CPU sıcaklık kontürleri ( $q=6000\text{W/m}^2$ ,  $\dot{m}=85\text{ml/dak}$ )



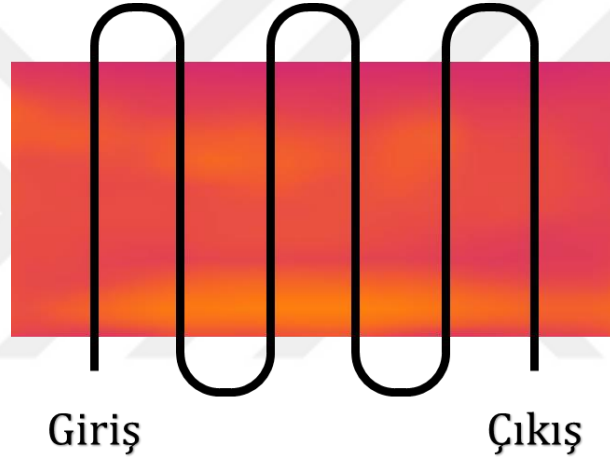
(a) Saf su



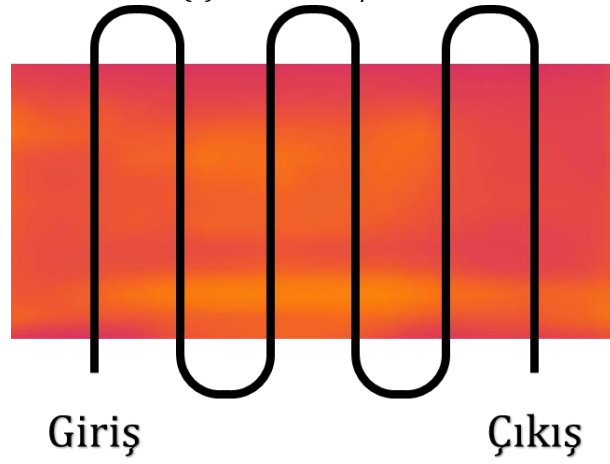
EK-2 Sıcaklık Dağılımları (Devamı)



(b) %0,2  $Al_2O_3$ /Saf su

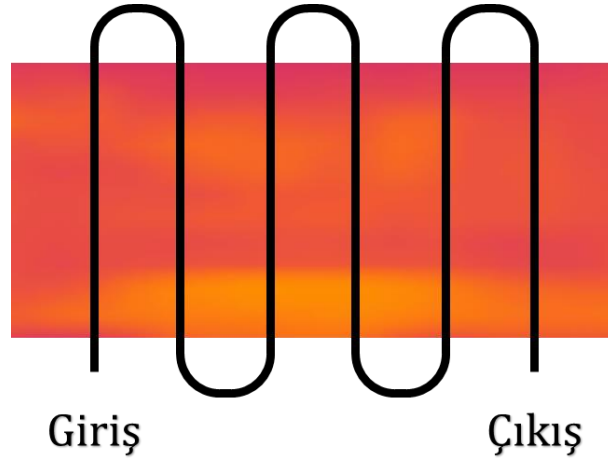


(c) %0,4  $Al_2O_3$ /Saf su

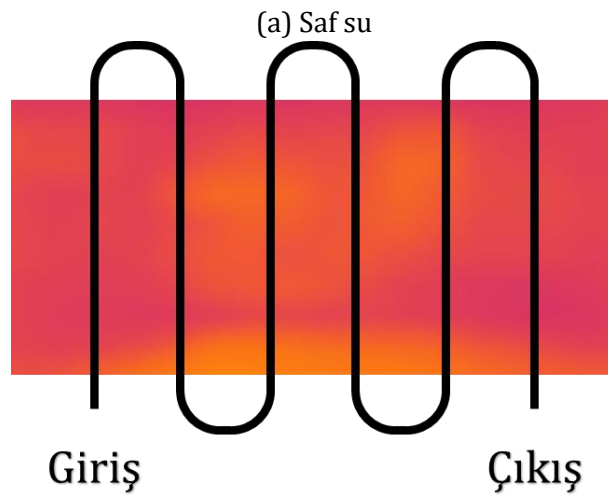
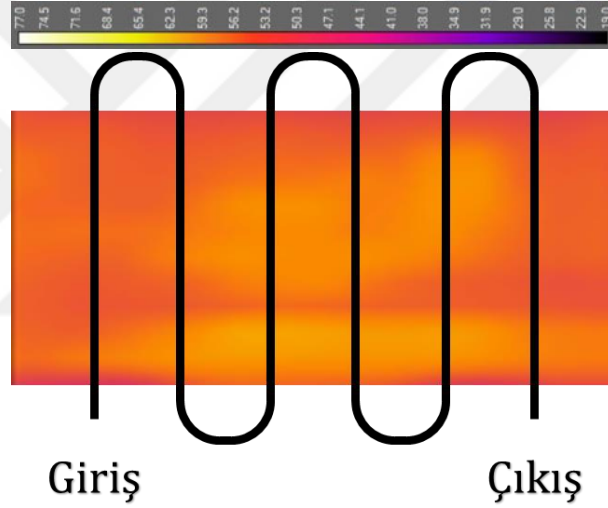


(d) %0,2 SiC/Saf su

## EK-2 Sıcaklık Dağılımları (Devamı)

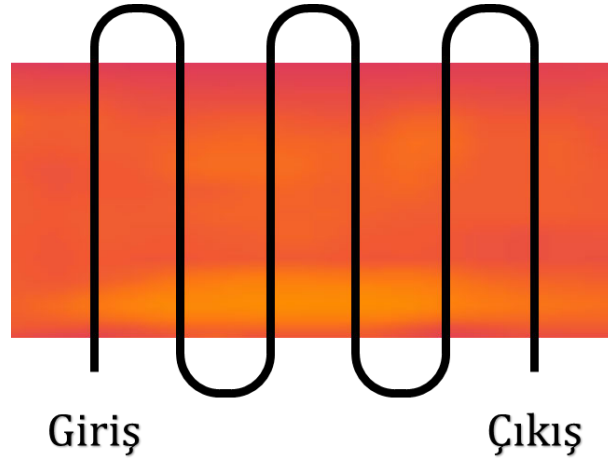


(e) %0,4 SiC/Saf su  
CPU sıcaklık kontürleri ( $q=6000\text{W/m}^2$ ,  $\dot{m}=105\text{ml/dak}$ )

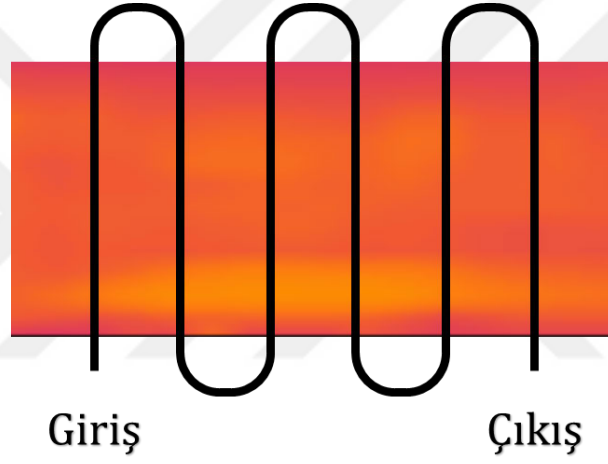


(a) Saf su  
(b) %0,2 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Saf su

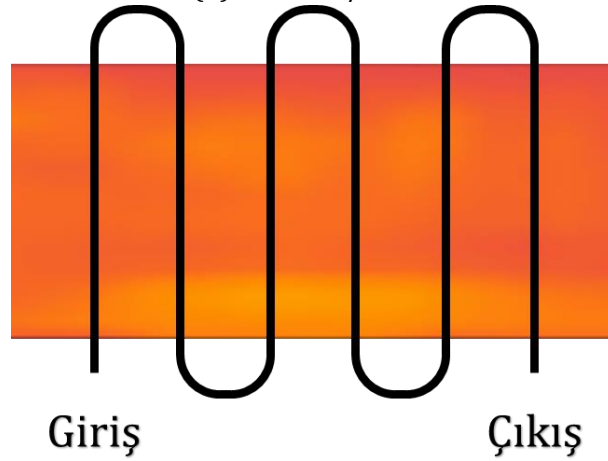
## EK-2 Sıcaklık Dağılımları (Devamı)



(c) %0,4 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Saf su



(d) %0,2 SiC/Saf su

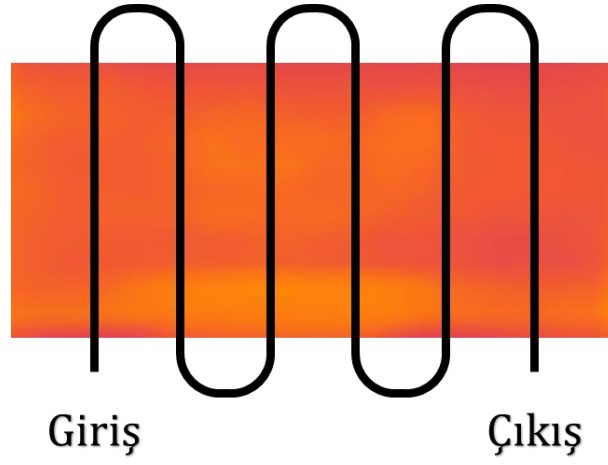


(e) %0,4 SiC/Saf su

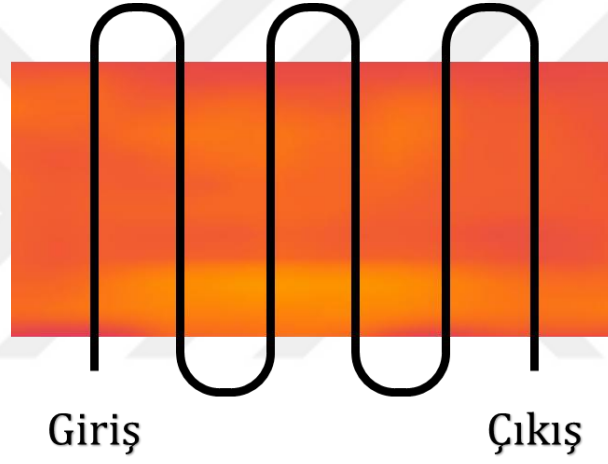
CPU sıcaklık kontürleri ( $q=7000\text{W/m}^2$ ,  $\dot{m}=60\text{ml/dak}$ )



## EK-2 Sıcaklık Dağılımları (Devamı)

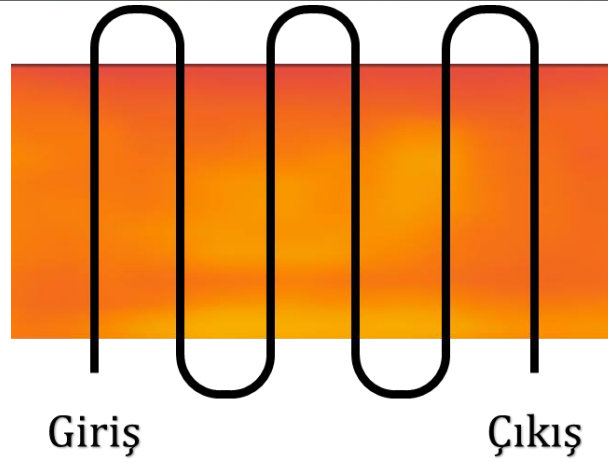
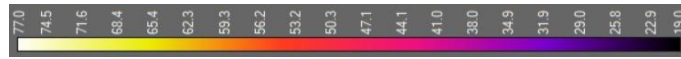


(d) %0,2 SiC/Saf su



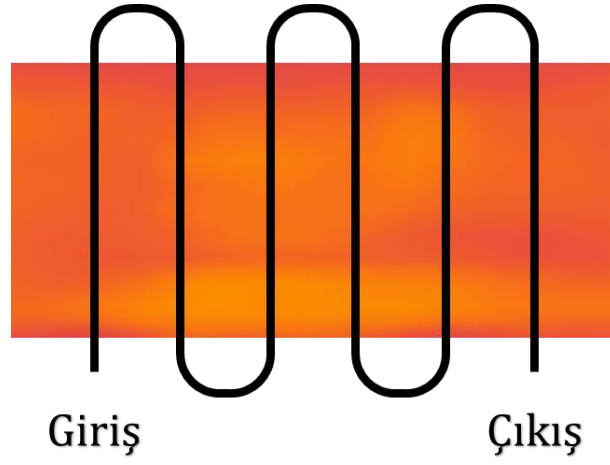
(e) %0,4 SiC/Saf su

CPU sıcaklık kontürleri ( $q=7000\text{W/m}^2$ ,  $\dot{m}=75\text{ml/dak}$ )

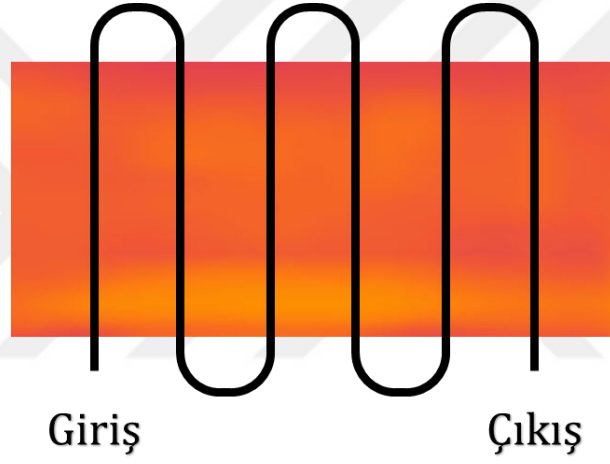


(a) Saf su

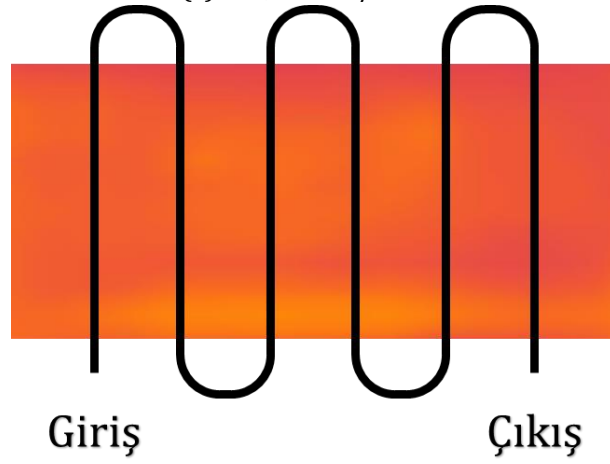
EK-2 Sıcaklık Dağılımları (Devamı)



(b) %0,2 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Saf su

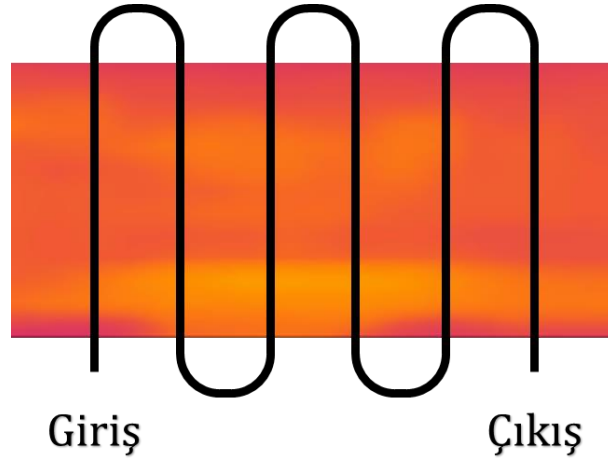


(c) %0,4 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Saf su



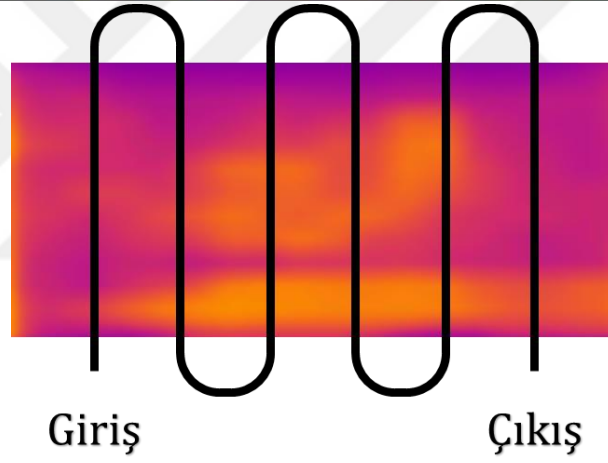
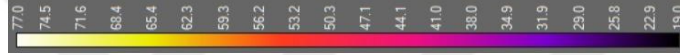
(d) %0,2 SiC/Saf su

## EK-2 Sıcaklık Dağılımları (Devamı)

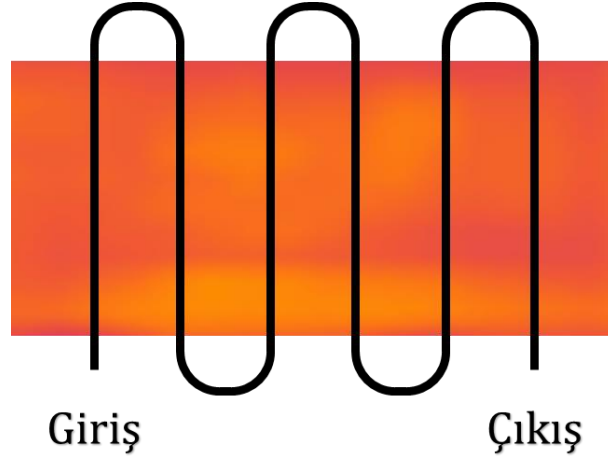


(e) %0,4 SiC/Saf su

CPU sıcaklık kontürleri ( $q=7000\text{W/m}^2$ ,  $\dot{m}=85\text{ml/dak}$ )

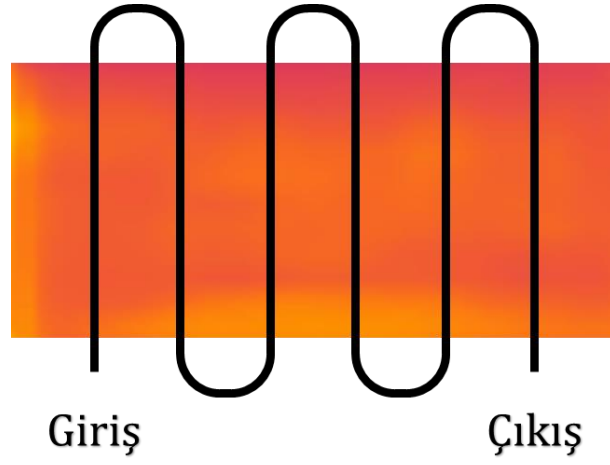


(a) Saf su

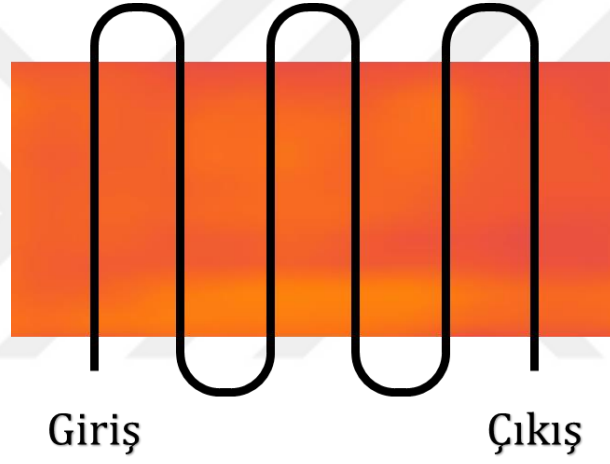


(b) %0,2 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Saf su

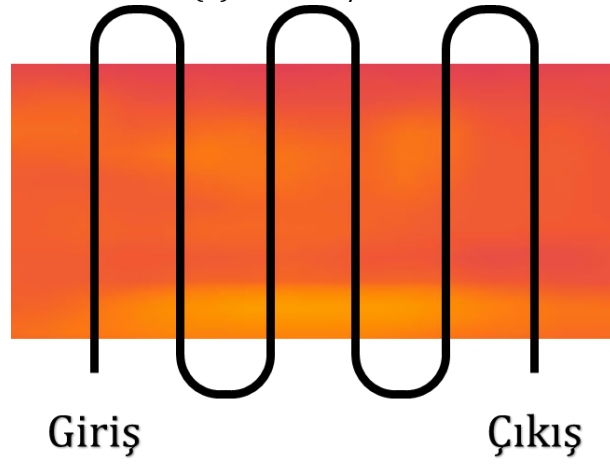
EK-2 Sıcaklık Dağılımları (Devamı)



(c) %0,4 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Saf su



(d) %0,2 SiC/Saf su

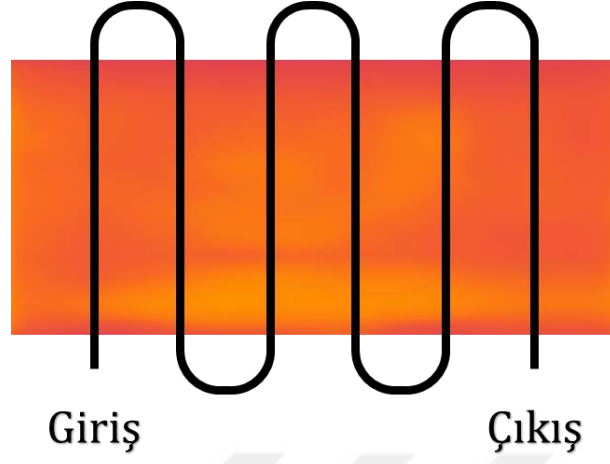


(e) %0,4 SiC/Saf su

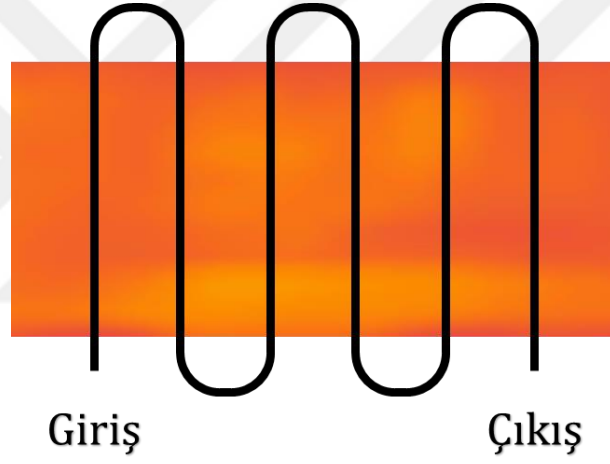
CPU sıcaklık kontürleri ( $q=7000\text{W/m}^2$ ,  $\dot{m}=105\text{ml/dak}$ )



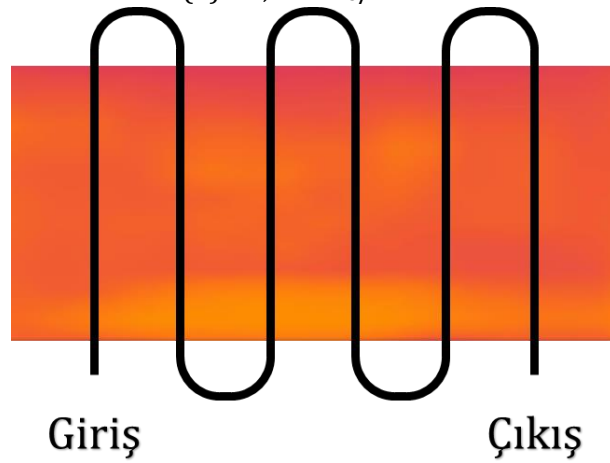
## EK-2 Sıcaklık Dağılımları (Devamı)



(a) Saf su

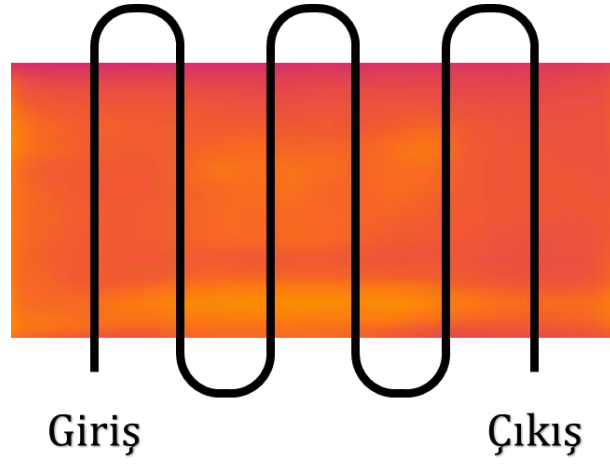


(b) %0,2  $\text{Al}_2\text{O}_3$ /Saf su

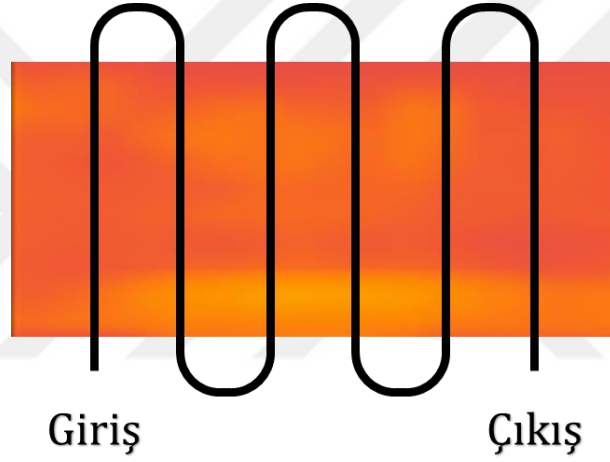


(c) %0,4  $\text{Al}_2\text{O}_3$ /Saf su

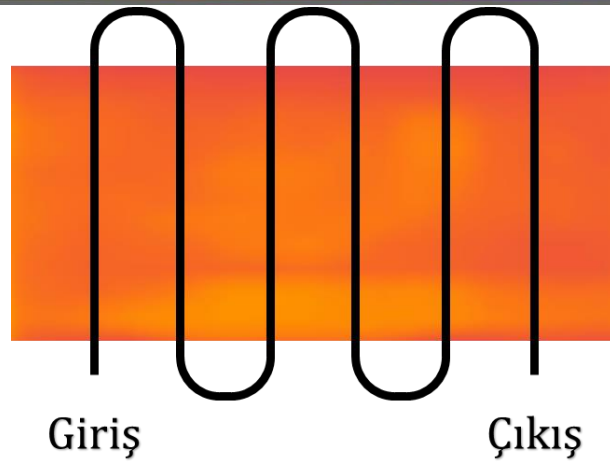
## EK-2 Sıcaklık Dağılımları (Devamı)



(d) %0,2 SiC/Saf su

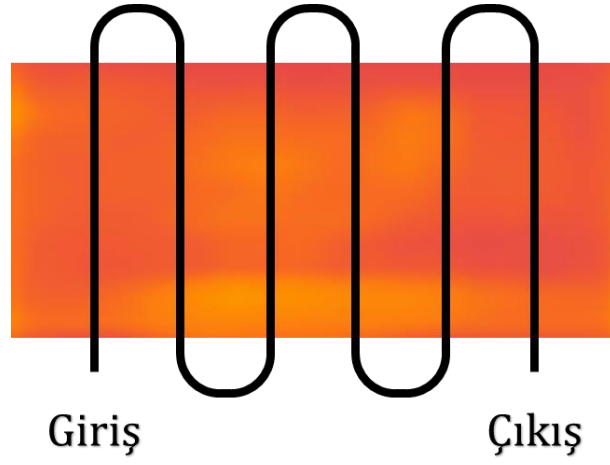


(e) %0,4 SiC/Saf su

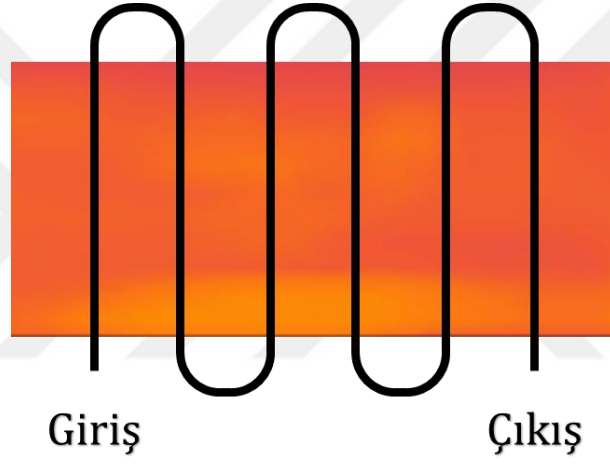


(a) Saf su

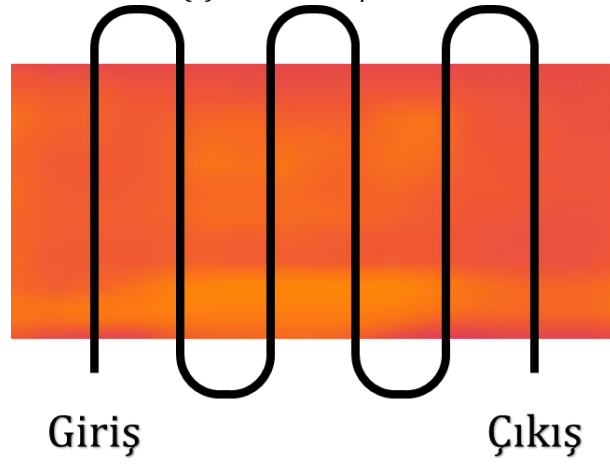
EK-2 Sıcaklık Dağılımları (Devamı)



(b) %0,2 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Saf su

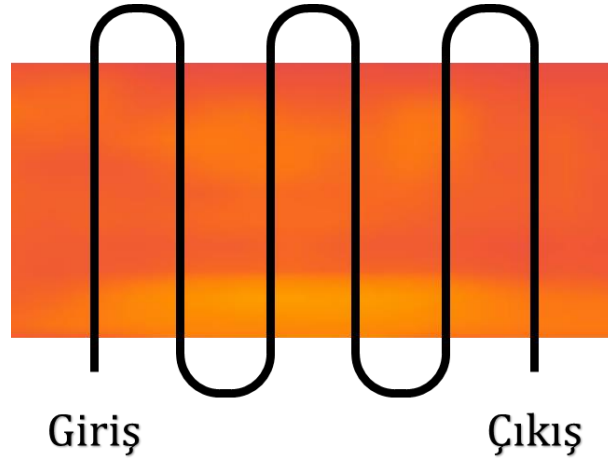


(c) %0,4 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Saf su

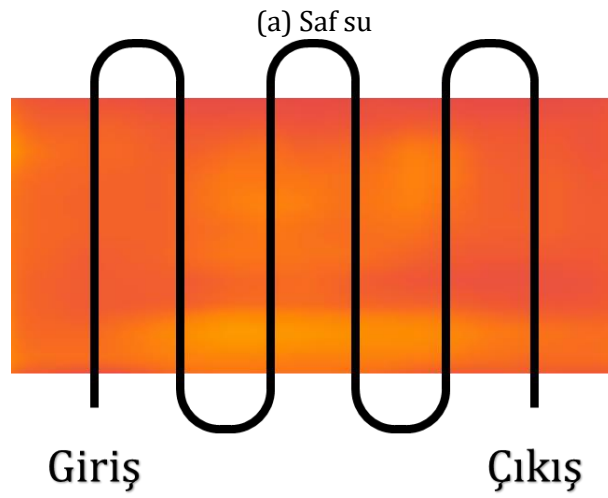
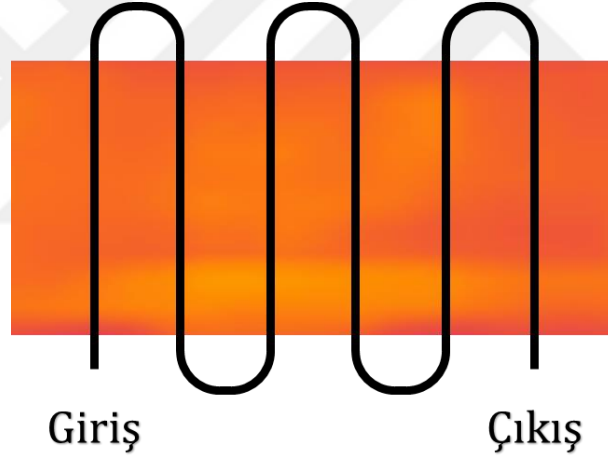


(d) %0,2 SiC/Saf su

## EK-2 Sıcaklık Dağılımları (Devamı)

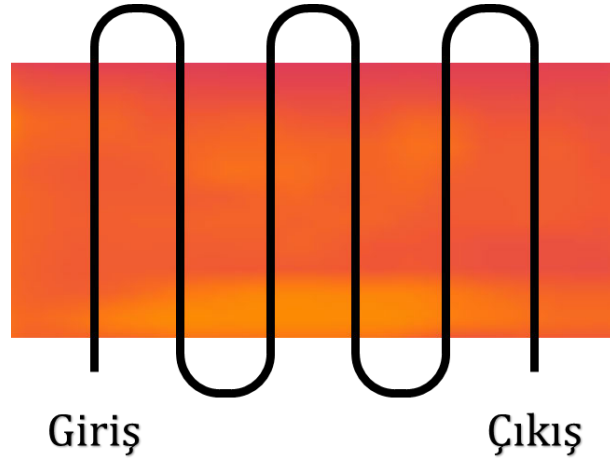


(e) %0,4 SiC/Saf su  
CPU sıcaklık kontürleri ( $q=8000\text{W/m}^2$ ,  $\dot{m}=75\text{ml/dak}$ )

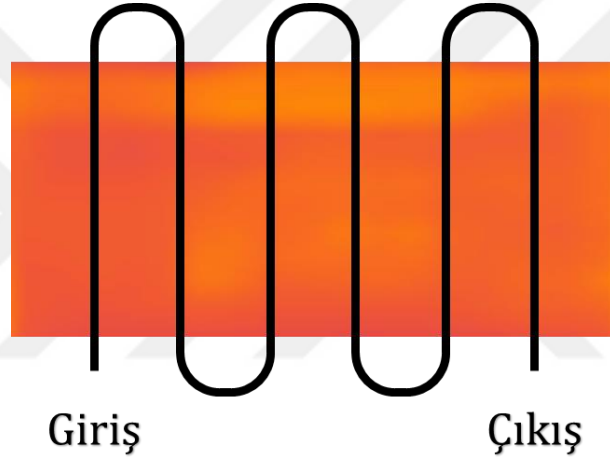


(b) %0,2 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Saf su

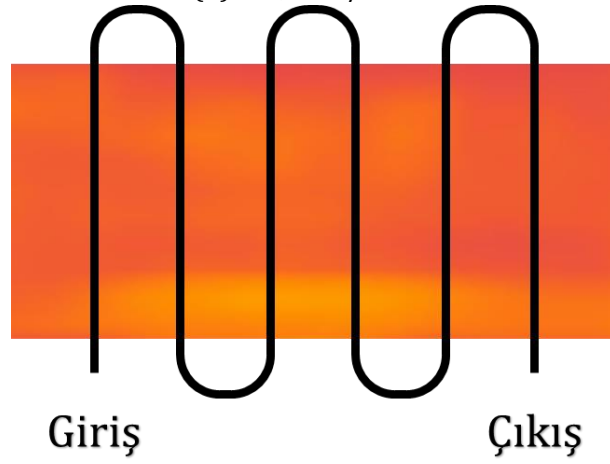
EK-2 Sıcaklık Dağılımları (Devamı)



(c) %0,4 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Saf su



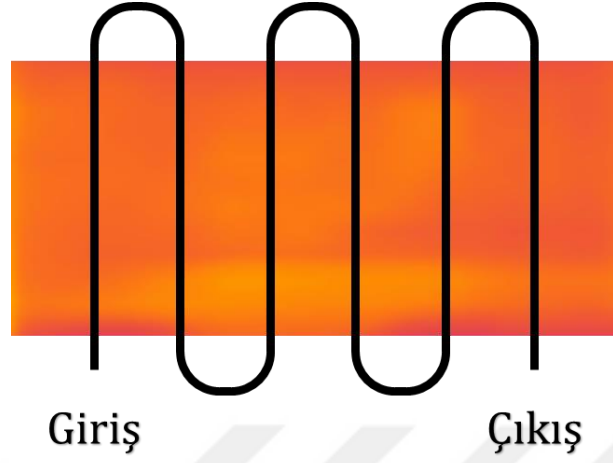
(d) %0,2 SiC/Saf su



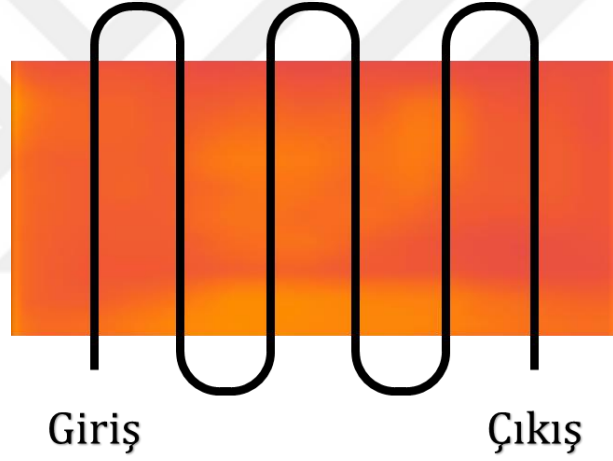
(e) %0,4 SiC/Saf su

CPU sıcaklık kontürleri ( $q=8000\text{W/m}^2$ ,  $\dot{m}=85\text{ml/dak}$ )

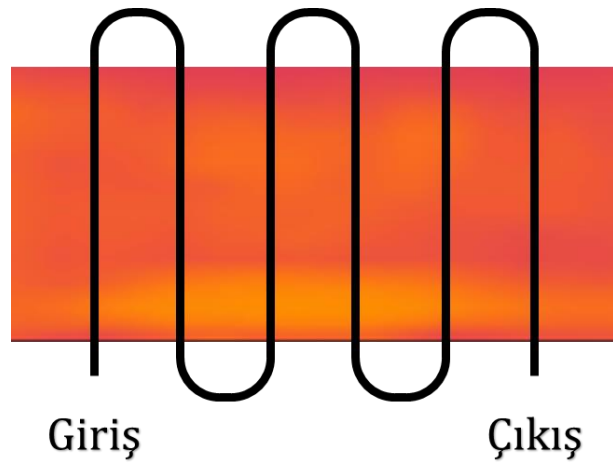
## EK-2 Sıcaklık Dağılımları (Devamı)



(a) Saf su

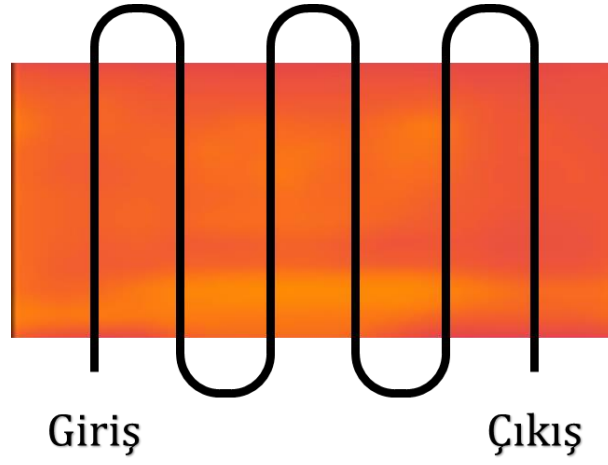


(b) %0,2  $Al_2O_3$ /Saf su

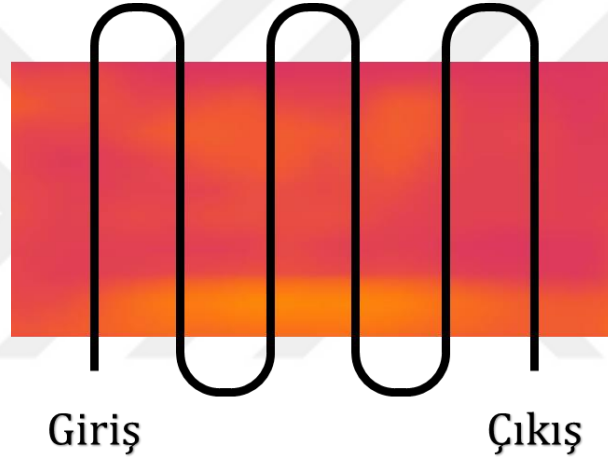


(c) %0,4  $Al_2O_3$ /Saf su

## EK-2 Sıcaklık Dağılımları (Devamı)

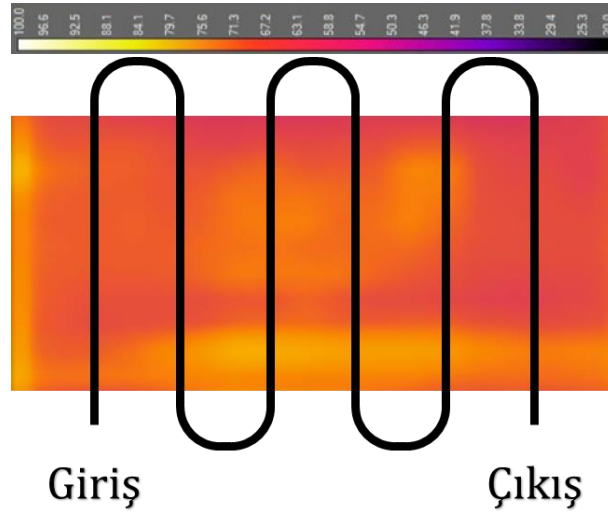


(d) %0,2 SiC/Saf su



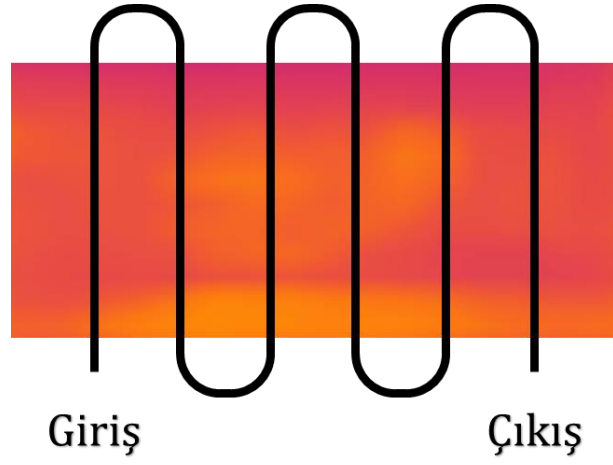
(e) %0,4 SiC/Saf su

CPU sıcaklık kontürleri ( $q=8000\text{W/m}^2$ ,  $\dot{m}=105\text{ml/dak}$ )

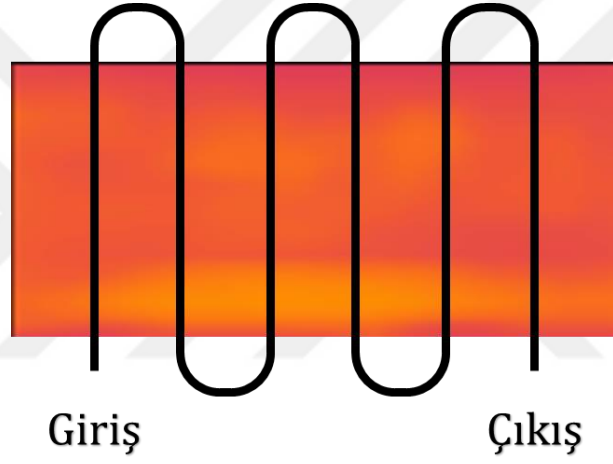


(a) Saf su

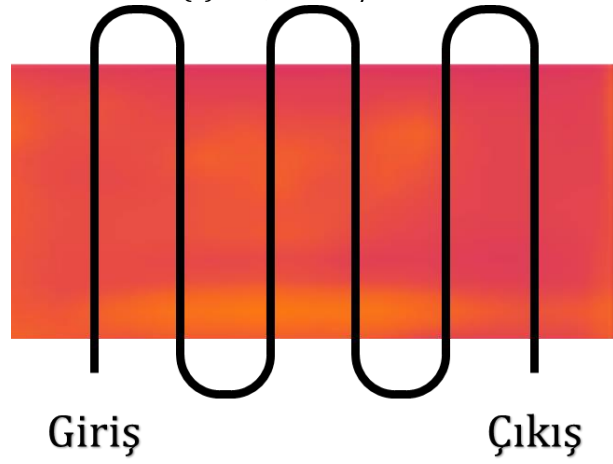
EK-2 Sıcaklık Dağılımları (Devamı)



(b) %0,2 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Saf su



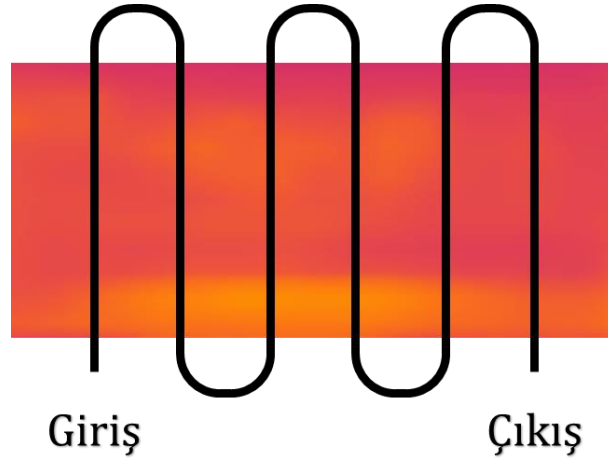
(c) %0,4 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Saf su



(d) %0,2 SiC/Saf su

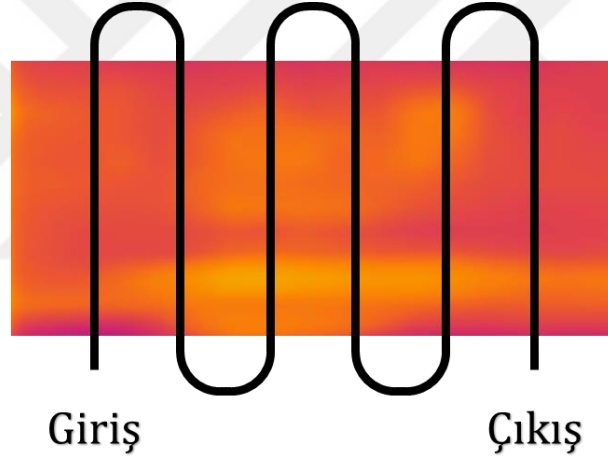


## EK-2 Sıcaklık Dağılımları (Devamı)

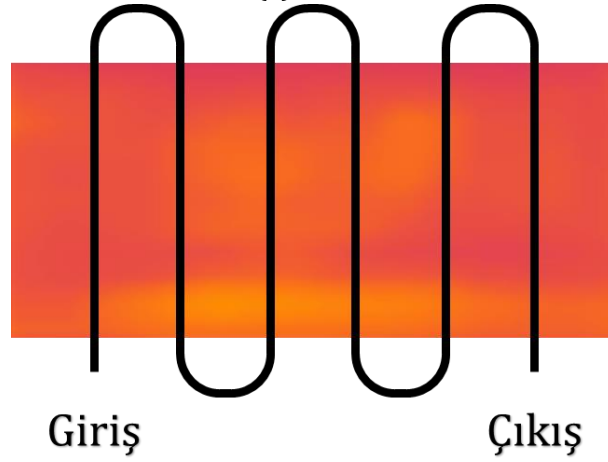


(e) %0,4 SiC/Saf su

CPU sıcaklık kontürleri ( $q=9000\text{W/m}^2$ ,  $\dot{m}=60\text{ml/dak}$ )

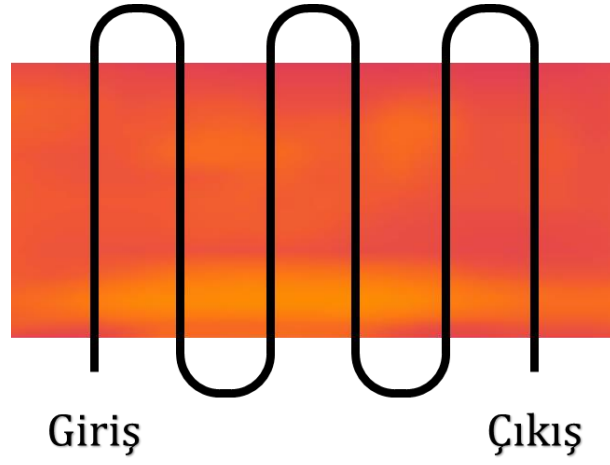


(a) Saf su

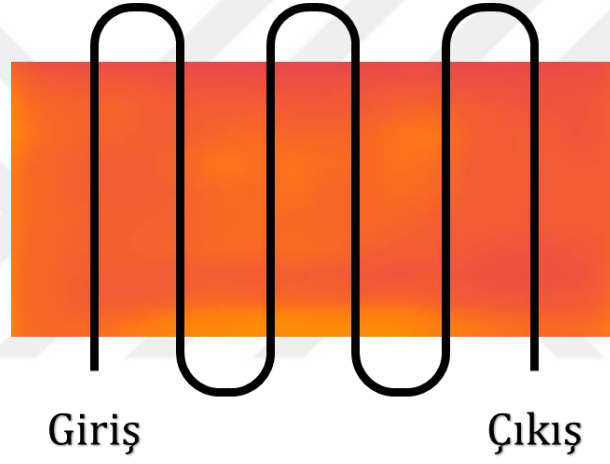


(b) %0,2 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Saf su

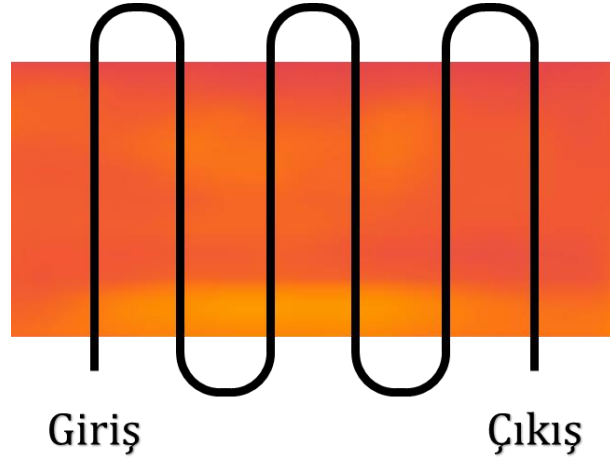
EK-2 Sıcaklık Dağılımları (Devamı)



(c) %0,4 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Saf su



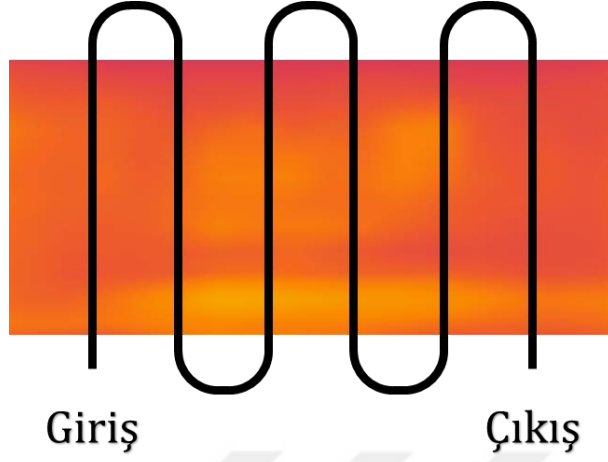
(d) %0,2 SiC/Saf su



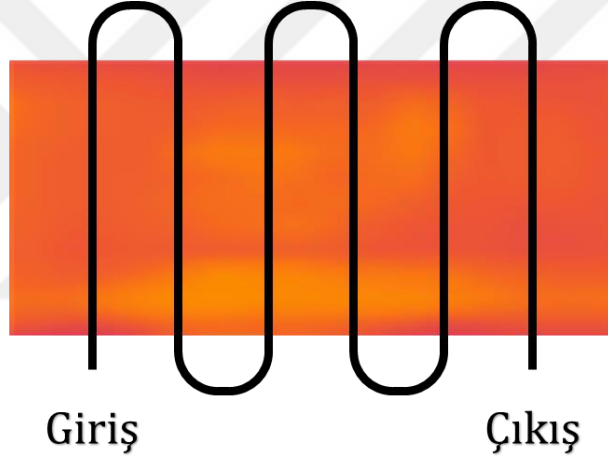
(e) %0,4 SiC/Saf su

CPU sıcaklık kontürleri ( $q=9000\text{W/m}^2$ ,  $\dot{m}=75\text{ml/dak}$ )

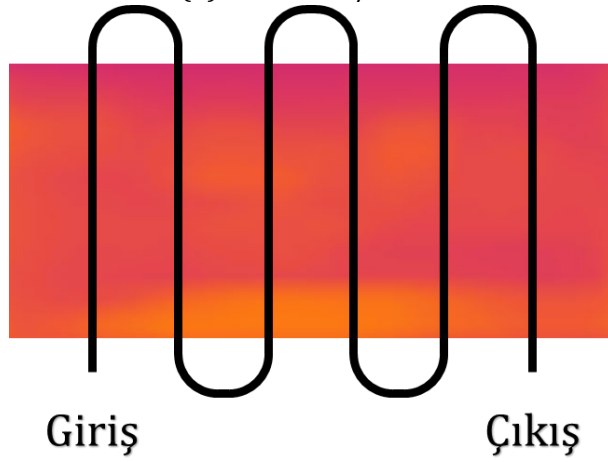
## EK-2 Sıcaklık Dağılımları (Devamı)



(a) Saf su

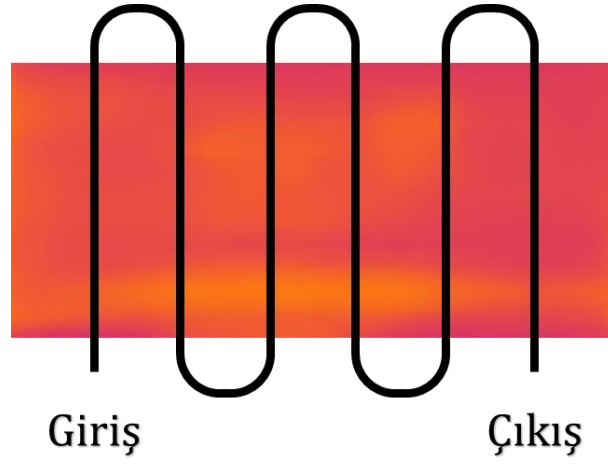


(b) %0,2 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Saf su

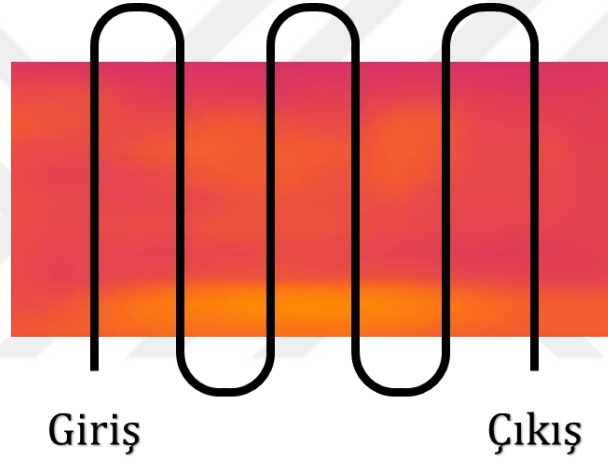


(c) %0,4 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Saf su

## EK-2 Sıcaklık Dağılımları (Devamı)

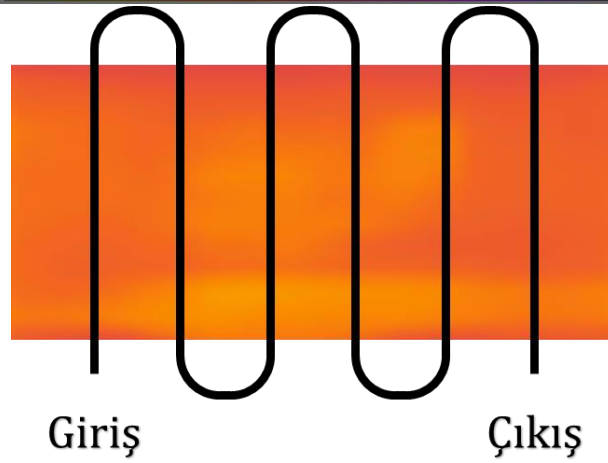


(d) %0,2 SiC/Saf su



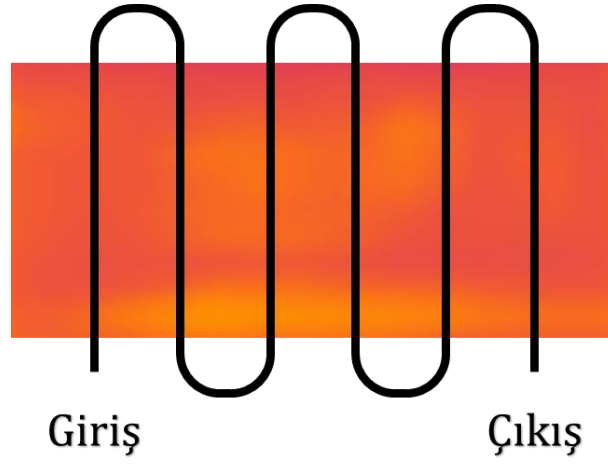
(e) %0,4 SiC/Saf su

CPU sıcaklık kontürleri ( $q=9000\text{W/m}^2$ ,  $\dot{m}=85\text{ml/dak}$ )

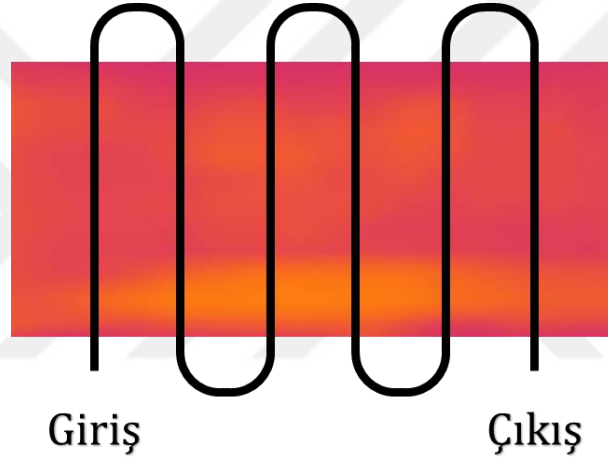


(a) Saf su

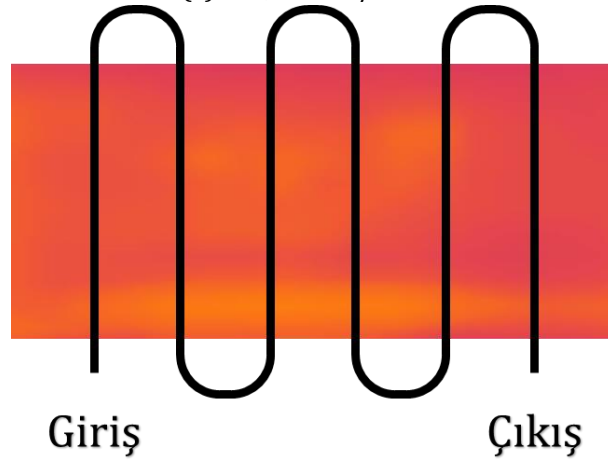
EK-2 Sıcaklık Dağılımları (Devamı)



(b) %0,2 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Saf su

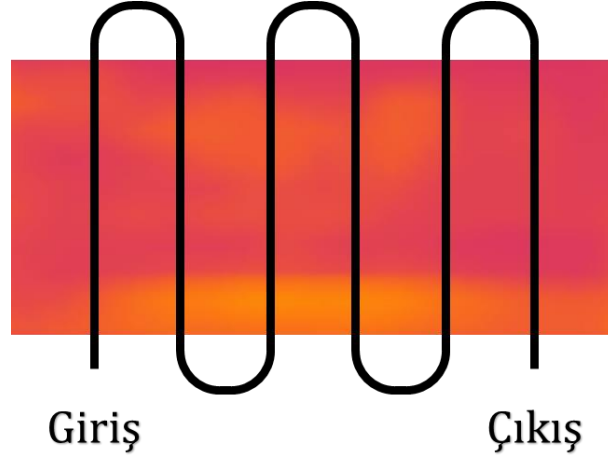


(c) %0,4 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Saf su



(d) %0,2 SiC/Saf su

## EK-2 Sıcaklık Dağılımları (Devamı)



(e) %0,4 SiC/Saf su  
CPU sıcaklık kontürleri ( $q=9000\text{W/m}^2$ ,  $\dot{m}=105\text{ml/dak}$ )

## ÖZ GEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı : GÜLER, Furkan  
Doğum tarihi ve yeri : [REDACTED]  
Medeni hali : Bekar  
Telefon : [REDACTED]  
[REDACTED] [REDACTED]

### Eğitim

Derece	Mezuniyet tarihi	Eğitim
Lise	2015	Sivas Özel Batı Anadolu Koleji
Lisans	2019	Hitit Üniversitesi Mühendislik Fakültesi (Makine Mühendisliği)
Lisans	2022	Anadolu Üniversitesi İşletme Fakültesi (Havacılık Yönetimi)



