

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ELEKTRONİK SİSTEMLERİN NANOAKIŞKAN
İLE SOĞUTULMASI**

Emre ELBASAN

Eylül, 2016
İZMİR

ELEKTRONİK SİSTEMLERİN NANOAKIŞKAN İLE SOĞUTULMASI

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Enerji Programı

Emre ELBASAN

Eylül, 2016

İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

EMRE ELBASAN, tarafından DOÇ. DR. ALPASLAN TURGUT yönetiminde hazırlanan “ELEKTRONİK SİSTEMLERİN NANOAKIŞKAN İLE SOĞUTULMASI” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



Doç. Dr. Alpaslan TURGUT

Yönetici



Yrd. Doç. Dr. Ziya Haktan Kereci

Jüri Üyesi



Yrd. Doç. Dr. Mehmet Akif Gıran

Jüri Üyesi



Prof. Dr. Ayşe OKUR

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Yüksek lisansa başladığım ilk günden beri bana her konuda yardımcı olan, bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan ve bu çalışmanın tamamlanmasında ilgi ve desteğini benden esirgemeyen değerli hocam Doç. Dr. Alpaslan TURGUT' a teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalarım sırasında bana yardımlarda bulunan, sevgili arkadaşlarım Hakan ÖZDENİZ, Serkan DOĞANAY, Ali MACİT ve Onur ŞAMDAN' a teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak bu günlere gelmemi sağlayan ve hayatımın her alanında sevgi ve desteklerini hissettiğim aileme teşekkürlerimi sunarım.

Emre ELBASAN

ELEKTRONİK SİSTEMLERİN NANOAKIŞKANLAR İLE SOĞUTULMASI

ÖZ

Elektronik sistemlerin transistör yoğunlukları her geçen gün artmaktadır. Artan transistör yoğunluğu çiplerin daha fazla güç tüketerek daha fazla ısınmalarına neden olmaktadır. Oluşan bu ısının çip üzerinden uzaklaştırılması için çeşitli soğutma sistemleri geliştirilmiştir. Bunlar içinde en etkili soğutma sistemlerinden biri sıvı soğutma sistemleridir. Genel olarak; pompa, ısı değiştirici ve mikro kanallara sahip temas yüzeyinden oluşan bu kapalı devre sıvı soğutma sistemlerinde çip üzerindeki ısı zorlanmış taşınım ile ısı değiştiriciye aktarılmaktadır. Bu sistemin ısıl performansı ısı transfer akışkanı olarak nanoakışkan kullanılmasıyla daha da arttırılabilir. Bu çalışmada, elektronik sistemler için kullanılan sıvı soğutmalı bir sistemin ısıl performansının değişimi, su yerine nanoakışkan kullanımı durumunda, deneysel olarak incelenmiştir. Çalışma kapsamında, saf su ile yüzde 1 hacimsel konsantrasyona alümina-su nanoakışkan kullanılmıştır. Sonuç olarak, saf su yerine nanoakışkan kullanımı sistemin etkinlik katsayısını yüzde 8,25 arttırmıştır.

Anahtar kelimeler: Zorlanmış taşınım, nanoakışkan, elektronik sistemlerin soğutulması, mikrokanal

ELECTRONICS COOLING WITH NANOFLUIDS

ABSTRACT

The transistor density of electronic systems is getting increase day by day. Increasing transistor density leads to more warming of the chip due to consuming more power. Various type of cooling systems have been developed for dissipation of the heat from the chip. Liquid cooling systems is one of the most effective among these. Generally; pumps, heat exchangers and micro channel with the closed circuit consisting of the contact surfaces is transferred to the heat exchanger with forced convection heat on-chip liquid cooling systems. The performance of this system can be increased by the use of nanofluid as the heat transfer fluid. Therefore, this study aims to experiment the effect of using nanofluid instead of water on thermal performance of a liquid cooling system for electronics. The experiments were carried out with de-ionized water and 1 percent volumetric particle concentration of alumina-water nanofluid. As a result, it is found that the effectiveness of the system is enhanced by increase 8.25 percent of using nanofluid.

Keywords: Forced convection, nanofluid, electronics cooling, microchannel

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ.....	ix

BÖLÜM BİR - GİRİŞ..... 1

1.1 Elektronik Sistemlerin Soğutulması.....	1
1.1.1 Hava Soğutmalı Sistem.....	2
1.1.2 Sıvı Soğutmalı Sistem.....	3
1.2 Nanoakışkanlar.....	4
1.3 Elektronik Sistemlerin Soğutulmasında Nanoakışkan Kullanımı.....	5
1.4 Çalışmanın Amacı.....	14

BÖLÜM İKİ – MATERYAL VE METOT..... 16

2.1 Nanoakışkanın Hazırlanması	16
2.2 Deney Düzenekleri.....	17
2.2.1 Sabit Debili Sistem.....	17
2.2.2 Değişken Debili Sistem.....	18

BÖLÜM ÜÇ - BULGULAR VE TARTIŞMA..... 22

3.1 Sabit Debili Sistem ile Yapılan Deneylerin Sonuçları 22

3.2 Değişken Debili Sistem ile Yapılan Deneylerin Sonuçları 23

BÖLÜM DÖRT - SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME 31

KAYNAKLAR 32



ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 Yıllara göre üretilen işlemcilerin transistör sayıları	1
Şekil 1.2 Hava soğutmalı sistem	2
Şekil 1.3 Sıvı soğutmalı sistem	3
Şekil 1.4 Nanoakışkanlarda kullanılan nanopartiküllerin ısı iletkenliği	4
Şekil 1.5 Yıllara göre nanoakışkanlarla ilgili yayınlanan çalışmalar	6
Şekil 1.6 Yıllara göre nanoakışkanların elektronik sistemlerin soğutulmasında kullanımıyla ilgili yapılan çalışma sayıları	14
Şekil 2.1 Nanoakışkanın seyreltilmesi ve ses dalgalarıyla karıştırılması	16
Şekil 2.2 Sabit debili deney düzeneğinin şematik gösterimi.....	17
Şekil 2.3 Değişken debili soğutma sisteminin bileşenleri.....	18
Şekil 2.4 Soğutma bloğu	19
Şekil 2.5 Deney düzeneğinin şematik gösterimi	20
Şekil 3.1 Soğutucu blok ile ısıtıcı yüzey arasındaki sıcaklığın zamana bağlı değişimi	22
Şekil 3.2 T_1 Isıl çiftinden ölçülen değerlerin zamana bağlı değişimi.....	23
Şekil 3.3 T_1 Maksimum değerlerinin hacimsel debiyle değişimi.....	24
Şekil 3.4 $\Delta T_{Kazanılan}$ değerlerin hacimsel debiyle değişimi	25
Şekil 3.5 Etkinlik katsayısının hacimsel debiyle değişimi	26
Şekil 3.6 Hesaplanan hA değerlerinin hacimsel debi ile değişimi	28
Şekil 3.7 Pompa elektrik tüketiminin hacimsel debiye bağlı değişimi	29
Şekil 3.8 ΔT Kazanılan değerlerinin karşılaştırılması	30

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 1.1 Literatürde yapılan çalışmaların özetler	12
Tablo 2.1 Isıl çift konumları.....	20
Tablo 3.1 T_1 maksimum değerler	24
Tablo 3.2 Su ve Al_2O_3 termofiziksel özellikleri	27

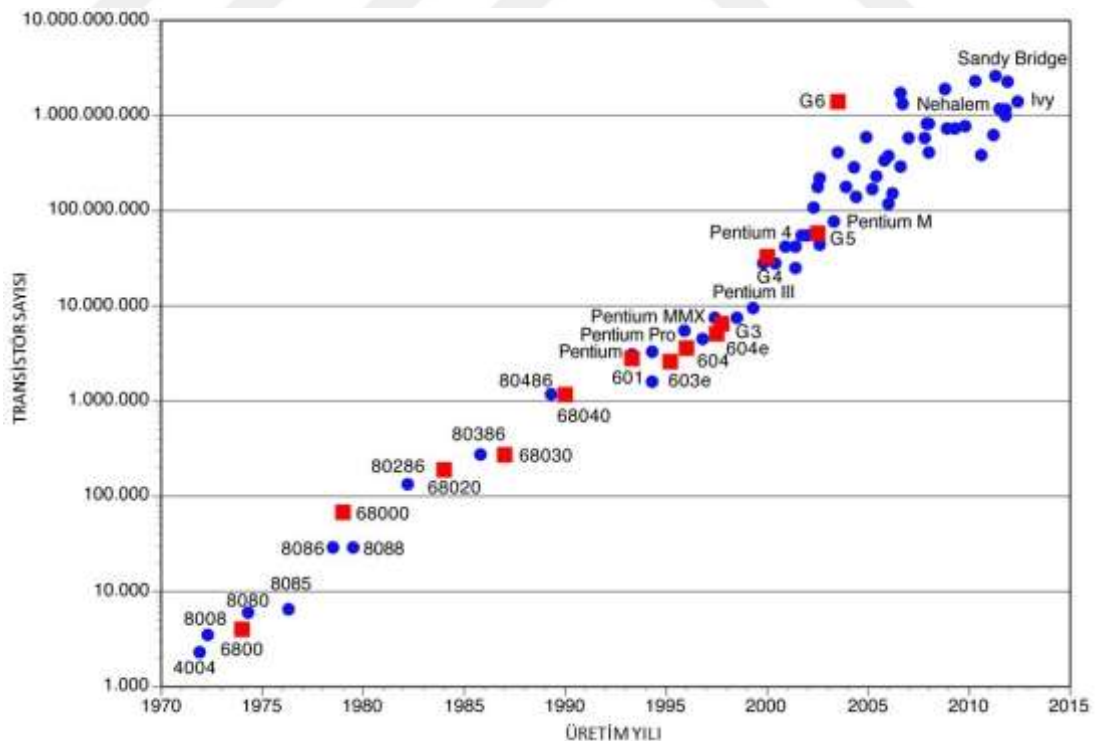


BÖLÜM BİR

GİRİŞ

1.1 Elektronik Sistemlerin Soğutulması

Günümüzde elektronik cihazları hayatın her alanında görmek mümkündür. Artık herkesin cebinde bir akıllı telefon, evinde kişisel bilgisayar, dizüstü bilgisayar, tablet gibi elektronik cihazlar vardır. Teknoloji ilerledikçe elektronik cihazlar tarafından işlenen veriler ve bu verilerin karmaşıklığı artmaktadır. İşlemci teknolojisinin gelişmesi karmaşık verileri işleyebilmemiz için çok önemlidir. İşlemciler transistör adını verdiğimiz yarı iletken elemanların birleştirilmesi ile oluşmaktadır. Intel tarafından 1971 yılında 2300 transistörden oluşan ilk mikroişlemci INTEL 4004 üretilmiştir (El-Aawar, 2015). Günümüzde modern işlemciler milyarlarca transistör içermektedir. Intel şirketinin kurucularından Gordon Moore, her iki yılda bir işlemcilerin içindeki transistör sayısının iki katına çıkacağını öngörmüştür (Moore, 1965).



Şekil 1.1 Yıllara göre üretilen işlemcilerin transistör sayıları (Czerniak, 2015)

Şekil 1.1’ de yıllara göre işlemcilerin içerdikleri transistör sayıları görülmektedir. Transistör yoğunluğunun artması; üretim sürecinde transistörlerde oluşan hatalar yüzünden kaçak akımların meydana gelmesi ve iletkenin direncinden dolayı ısınmaya sebep olur. Oluşan ısının işlemci üzerinden uzaklaştırılması gereklidir, aksi halde transistörlerin yapısı değişip işlemci kullanılmaz hale gelebilir. Oluşan ısının işlemci üzerinden uzaklaştırılması için çeşitli soğutma sistemleri geliştirilmiştir. Hava soğutmalı sistem ve sıvı soğutmalı sistem en yaygın kullanılan soğutma sistemleridir.

1.1.1 Hava Soğutmalı Sistem

Havayla soğutma, işlemci üzerinde alüminyum veya bakır soğutucu blok, onun üzerinde de fanın bulunduğu soğutma düzeneğidir. Günümüzde kullanılan en yaygın soğutma türüdür fakat işlemcilerin her geçen gün daha fazla soğumaya ihtiyaç duyması, yeni soğutma sistemlerinin gelişmesine neden olmuştur. Havayla soğutmada soğutucu blok (heatsink) ısıyı emer. Fan, bir taraftan bu ısıyı soğutucudaki kanatçıklar sayesinde işlemciden uzaklaştırırken diğer taraftan da soğutucuya doğru soğuk havayı gönderir. Şekil 1.2’ de hava soğutmalı sistem görülmektedir.



Şekil 1.2 Hava soğutmalı sistem (İntel, 2016)

1.1.2 Sıvı Soğutmalı Sistem

Sıvı soğutmalı sistemlerde akışkan olarak genellikle su kullanılır. Bu sistemler işlemci üzerindeki ısıyı suya aktarıldığı ve suyun ısısının da radyatör-fan düzeneği vasıtasıyla dağıtıldığı sistemdir. Suyu soğutma sistemi, hava soğutmalı sistemden daha az gürültü üretir fakat ona göre daha pahalıdır.

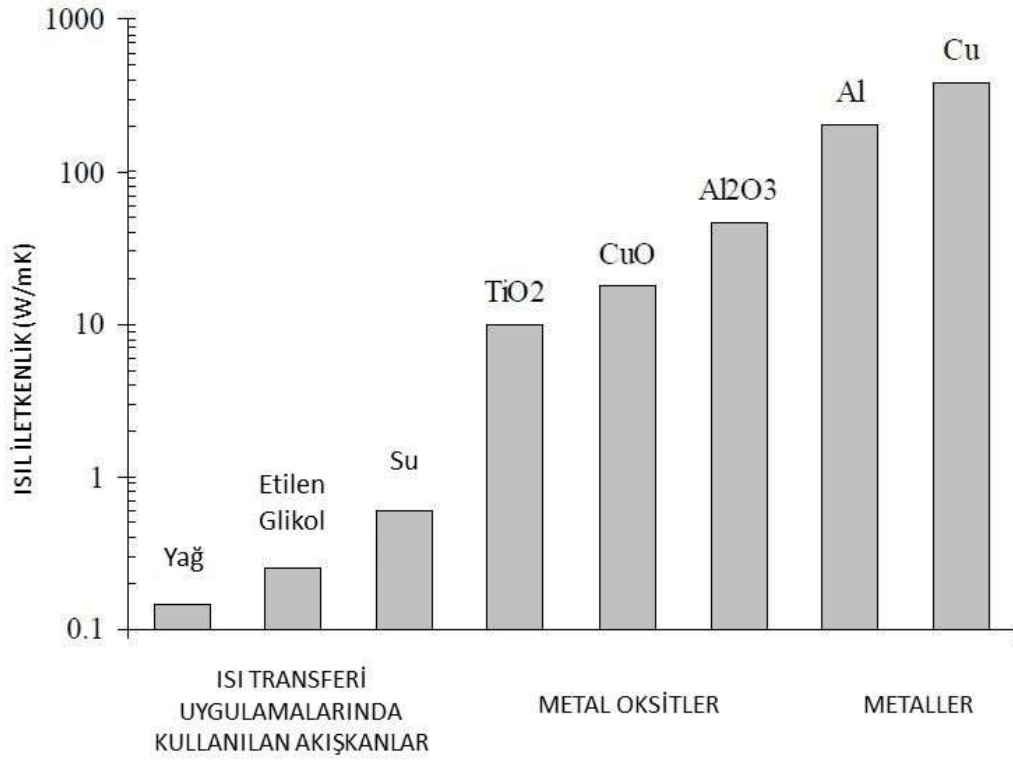
Suyun ısı iletkenliği, havaya göre çok yüksektir. Suyu soğutmalı sistemde soğutma bloğu, işlemci üzerinde bulunur ve işlemci ısını alıp içinden geçen suya aktarır. Su, bir boru sistemi ile radyatöre gönderilir. Su, radyatörün kanatları aracılığıyla ısıyı havaya aktarır. Radyatör kanatları ne kadar inceyse radyatörün yüzeyi de o kadar geniş olur. Böylelikle soğutma daha etkili olur. Radyatörün önüne yerleştirilen büyük ve düşük devirli bir fan soğutmayı artırır. Soğutulan su radyatörden soğutma bloğuna geri döner (Zeydin, 2005). Şekil 1.3’ te sıvı soğutmalı sistem görülmektedir.



Şekil 1.3 Sıvı soğutmalı sistem (Coolermaster, 2016)

1.2 Nanoakışkanlar

Nanoakışkanlar, içerisinde 100 nanometreden küçük parçacıkların su, etilen glikol gibi geleneksel akışkanların içinde hapsolmasıyla elde edilmektedir. Yıllar boyunca birçok endüstriyel alanda daha iyi ısı transferi sağlamak için çeşitli uygulamalar geliştirilmiş, fakat geleneksel akışkanların düşük ısı iletim katsayı değerleri yüzünden ısı transferindeki artış belirli bir noktada sınırlandırılmıştır. Geleneksel akışkanlara oranla daha yüksek ısı taşınım katsayısı değerlerine sahip nanoakışkanlar, ısı transferinin çok önemli olduğu güç santrallerinden elektronik cihazların soğutulmasına kadar birçok uygulama alanında ısı transfer artışında ümit verici değerler göstermektedir.



Şekil 1.4 Nanoakışkanlarda kullanılan nanopartiküllerin ısı iletkenliği (Turgut, 2010)

Şekil 1.4’ te görüldüğü gibi katıların ısı iletkenlikleri sıvılara göre çok yüksektir. Sıvıların içine katı partiküller eklenerek ısı iletkenlikleri artırılabilir fakat geçmişte mikrometre boyutunda partiküller kullanıldığı için bunun uygulanmasında birçok sorunla karşılaşılmıştır. Bu sorunlardan bazıları; partiküllerin baz akışkan içinde

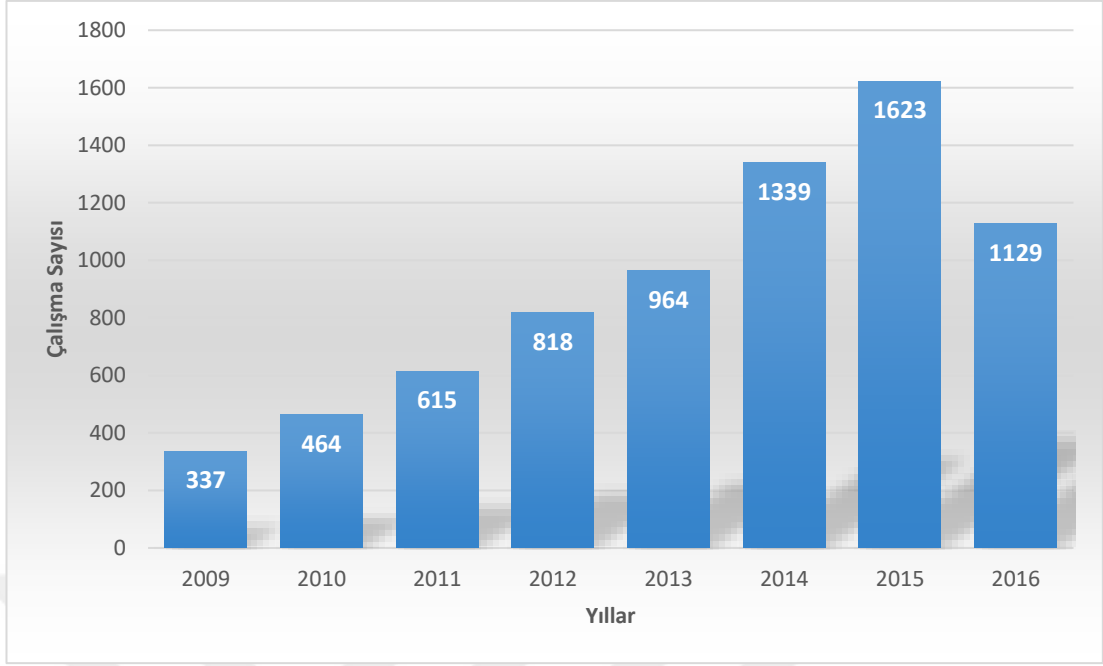
homojen dağılmaması, çökelme oluşması ve topaklanmadır. Nanoteknolojinin gelişmesiyle nano boyutta partiküller üretilmektedir. Nanopartiküller baz akışkanın içinde homojen bir şekilde dağılmakta ve çökelmeye sebep olmamaktadır. Bu sayede nanoakışkanlar mikro kanallar gibi küçük sistemlerde de kullanılabilir ve sistemde herhangi bir aşınma ya da tıkanıklığa yol açmazlar.

Nanoakışkanlar çok farklı uygulama alanlarına sahiptir; örneğin fotovoltaiik güneş panellerinin veriminin arttırılmasında (Mahian, 2013), otomotiv sektöründe soğutma sistemlerinde (Leong, 2010), elektronik sistemlerin soğutulmasında (Khanfer, 2003), ısı değıştiricilerinde ısı transferi akışkanı olarak (Duangthongsuk, 2009), ısı borularında (Naphon, 2008), nükleer reaktörlerde soğutucu akışkan olarak (Buongiorno, 2008), ev tipi buzdolaplarında (Bi, 2008), binaların ısıtılıp soğutulmasında (Kulkarni, 2009) kullanılır.

1.3 Elektronik Sistemlerin Soğutulmasında Nanoakışkan Kullanımı

Nanoakışkanlar ile ilk kez 1995 yılında Choi çalışmıştır ve nanoakışkan tanımını literatüre kazandırmıştır. Choi çalışmasında nanoakışkanların geleneksel soğutma sıvılarına göre daha iyi ısıl iletkenliğe sahip olduğundan, umut vaat edeceğini ve gelecekte kullanılabilecek ısı transferi akışkanı olabileceğini belirtmiştir (Choi, 1995).

Birçok çalışmanın sonucunda nanopartiküllerin baz akışkanın ısıl iletkenliğini arttırdığı ile ilgili sonuçlara bağlı olarak, popüler bir araştırma konusu haline gelmiş ve nanoakışkanlar üzerine yapılan çalışmalar Şekil 1.5' te görüldüğü gibi her geçen yıl artmıştır.



Şekil 1.5 Yıllara göre nanoakışkanlarla ilgili yayınlanan çalışmalar (Web of Science, Eylül 2016)

Nguyen ve diğer. (2007) işlemci ya da herhangi bir elektronik bileşenin soğutulmasında kullanılan, Swiftech (A.B.D.) üretimi, kapalı devre zorlanmış taşınım yapan sıvı soğutma sistemine, 36 ve 47 nanometre Al_2O_3 tanecikleri içeren %1, %3,1 ve %6,8 konsantrasyonlarında Al_2O_3 -Su nanoakışkanı ekleyerek ısı transferindeki değişimi deneysel olarak incelemişlerdir. Sistemin kütleli debisi 0,02 kg/s-0,08 kg/s arasında değişmektedir. Isıtıcı olarak 100 W kartuş ısıtıcı kullanmışlardır. Soğutucu blok, radyatör giriş çıkışlarına ve ısıtılan bloğa K - tipi ısı çiftleri yerleştirilerek ölçümler yapmışlardır. Nanopartikül konsantrasyonu arttıkça ısıtılan bloğun yüzey sıcaklığının azaldığını, ısı transferi ve Nusselt sayısının arttığını gözlemlemişlerdir. 0.06 kg/s kütleli debide blok merkez sıcaklığı su ve %1, %3,1, %6,8 hacimsel konsantrasyondaki nanoakışkanlar için sırasıyla; 40,9 °C, 39,3 °C 38,7 °C ve 37,3 °C' dir. %6,8 hacimsel nanopartikül konsantrasyonunda ısı transferinde %40' a varan iyileşme hesaplanmıştır. Deneyler sonucunda 36 nm nanopartiküller içeren nanoakışkanın 47 nm nanopartiküller içeren nanoakışkana göre ısı transferini arttırdığını ve kütleli debi arttıkça merkez sıcaklığının düştüğünü gözlemlemişlerdir.

Roberts ve Walker (2010) piyasada satılan sıvı soğutma sisteminde %0,1, %0,5 ve %1,5 oranlarında 10, 20-30 ve 150 nanometre partiküller içeren Al_2O_3 -Su

nanoakışkanı kullanarak, soğutma performansına etkilerini incelemiştir. Soğutma sistemi olarak ThermalTake Bigwater 760is kullanılmıştır. Bu sistem; işlemci üzerindeki ısıнын aktarıldığı sıvı soğutma bloğu, pompa, ısı değiştirici, rezervuar ve fanndan oluşur. Isıtıcı olarak 2 adet 10 W silikon şerit direnç kullanılmıştır. Sürekli bir ısı akışı sağlayabilmek için bu ısıtıcılar peltier ile desteklenmiştir. Isı değiştiricinin çıkış sıcaklığı, soğutma bloğu giriş, çıkış sıcaklıkları ısıtıcının alt ve üst sıcaklıkları ısı çiftleri ile ölçülerek saf su ile nanoakışkan eklendiğinde oluşan farklar incelenmiştir. Isı değiştirici ile pompa arasına debimetre bağlanarak akışkanın debisi gözlemlenmiştir. Debinin 0,596 - 27,58 ml/dak arasında değiştiği ölçülmüştür. Basınç kaybı Poiseuille kanununa göre hesaplanmıştır. Deneyler sonucunda nanoakışkanların pompalama gücünde önemli bir artışa neden olmadığını ve nanopartikül konsantrasyonu arttıkça ısı transferinin arttığını görmüşlerdir. Araştırmacılar 20-30 nanometre partiküller içeren nanoakışkanın ısı transferini suya göre %20 oranında arttırdığını ve hacimsel debi arttıkça sıcaklık kazancının azaldığını tespit etmişlerdir. Düşük hacimsel debilerde nanoakışkanların etkilerinin daha rahat görüldüğünü belirtmişlerdir.

Mikroişlemcilerin her geçen gün daha fazla elektrik tüketmeleri ve ısınmaları sonucu geleneksel soğutma sistemleri yetersiz kalmaktadır. Putra ve diğer (2011) çalışmalarında mikroişlemci soğutmasında kullanılan hava soğutma, su soğutma ve nanoakışkan eklenmiş su soğutma sistemlerini karşılaştırmışlardır. Sistemde %0,5 ve %1 hacimsel konsantrasyonlarda 13 nanometrelik Al_2O_3 ve 21 nanometrelik TiO_2 nanopartikülleri içeren nanoakışkanlar kullanılmıştır. Sıvı soğutma sisteminin hava soğutma sistemine göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Sıvı soğutma sisteminde Al_2O_3 -Su nanoakışkanı kullanılması, TiO_2 -Su nanoakışkanı kullanılmasına göre mikroişlemci sıcaklığını daha düşük seviyede tuttuğunu tespit etmişlerdir. Merkez sıcaklığını, %0,5 ve %1 hacimsel konsantrasyonlarda Al_2O_3 -Su nanoakışkanı kullanıldığında sırasıyla 38,5 °C ve 37,3 °C, TiO_2 -Su nanoakışkanı kullanıldığında sırasıyla 38,3 °C ve 39,2 °C ölçmüşlerdir. Hacimsel konsantrasyon arttıkça ısı transferinin arttığı ve pompalama gücünde önemli bir artış olmadığını gözlemlemişlerdir.

Rafati ve diğer (2012) çalışmalarında piyasada satılan Gigabyte 3D Galaxy II sıvı soğutma sistemine nanoakışkan ekleyerek ısıl performansa etkilerini gözlemlemişlerdir. %75 saf su ve %25 etilen glikolden oluşan baz akışkanın içine %0,5, %1,0 ve %1,5 hacimsel konsantrasyonlarda 14 nanometre SiO_2 nanopartikülleri; %0,25, %0,5 ve %1 hacimsel konsantrasyonlarda 21 nanometre TiO_2 nanopartikülleri ve %0,5, %0,75 ve %1 hacimsel konsantrasyonlarda 40 nanometre Al_2O_3 nanopartikülleri ekleyerek 9 farklı nanoakışkan üretmişlerdir. Pompa 3 kademedan oluşmakta ve 0,5, 0,75, 1 l/dak hacimsel debiler üretmektedir. Isıtıcı olarak 4 çekirdekli AMD Phenom II X4 965 işlemcisini kullanmışlardır. Bütün nanoakışkanların baz akışkana göre ısı transferini iyileştirdiğini tespit etmişlerdir. Hacimsel konsantrasyon ve hacimsel debi arttıkça ısı taşınım katsayısının arttığı ve merkez sıcaklığının düştüğünü gözlemlemişlerdir. Aynı hacimsel konsantrasyonda en iyi sonuçları Al_2O_3 nanopartikülleri içeren nanoakışkanın gösterdiğini tespit etmişlerdir.

Selvakumar ve Suresh (2012) çalışmalarında piyasada bulunan EK-Supreme firması tarafından üretilmiş mini kanallardan oluşan soğutma bloğunu kullanmışlardır. %0,1 ve %0,2 hacimsel konsantrasyonlarda 27-37 nanometre CuO nanopartiküller içeren nanoakışkan sisteme eklenerek ısıl performansa etkileri deneysel olarak incelemişlerdir. Hacimsel debi 0,79-2,45 l/dak arasında değişmektedir. Isıtıcı olarak 150 W'lık kartuş ısıtıcı kullanmışlardır. %0,2'lik hacimsel konsantrasyona sahip nanoakışkanın baz akışkana göre merkez sıcaklığını 1,15 °C azalttığı ve ısı transferini %29,63 iyileştirdiği tespit edilmiştir. Hacimsel debi arttıkça ısı transferinin arttığı ve merkez sıcaklığının azaldığı görülmüştür. Sistemde %0,2 hacimsel konsantrasyona sahip nanoakışkan kullanımının pompalama gücünü %15,11 arttırdığı hesaplanmıştır.

Ijam ve Saidur (2012) mikrokanallı sistemlerde nanoakışkan kullanımının etkilerini sayısal olarak incelemişlerdir. Hesaplamalarda baz akışkanın saf su olduğu; %0,8, %1,6, %2,4, %3,2 ve %4 hacimsel konsantrasyonlara sahip SiC ve TiO_2 nanopartikülleri içeren nanoakışkanlar kullanılmıştır. Sistemin kütleli debisi 0,37932 - 0,40531 kg/s arasında değişmektedir. Her iki nanoakışkan da baz akışkana göre ısı transferini arttırmaktadır. TiO_2 nanopartikülleri içeren nanoakışkan SiC

nanopartikülleri içeren nanoakışkana göre daha iyi sonuçlar elde etmektedir. Akış hızı ve hacimsel konsantrasyon arttıkça ısı transferinin arttığı görülmüştür. SiC nanopartikülleri içeren nanoakışkanın ısı transferini %7,25-%12,43 arasında iyileştirdiği, TiO₂ nanopartikülleri içeren nanoakışkanının ısı transferini %7,63-%12,77 arasında iyileştirdiğini hesaplamışlardır. 2 m/s akış hızında %4 hacimsel konsantrasyonda SiC nanopartiküllerine sahip nanoakışkanın pompalama gücü 0,28 W hesaplanırken aynı hızda ve hacimsel konsantrasyonda TiO₂ nanopartikülleri içeren nanoakışkanın pompalama gücü 0,29 W hesaplanmıştır. Akış hızı 6 m/s' ye çıktığında pompalama gücü sırasıyla 5,39 W ve 5,64 W olarak hesaplanmıştır.

Yu ve Liu (2013) çalışmalarında pompa, rezervuar, boru ve ısı değiştiricisinden oluşan sistemde, akışkan olarak nanoakışkan kullanımının etkilerini gözlemlemişlerdir. Akışkanın geçtiği 1,09 mm iç çapa sahip 306 mm uzunluğundaki çelik boruya 6,5 kW/m² ' lik ısı enerjisi uygulamışlardır. Sistemde %1, %2, %3,5, %5 hacimsel konsantrasyona sahip Al₂O₃-Su nanoakışkanları ile %0,65 ve %1,3 hacimsel konsantrasyonlarına sahip Al₂O₃-PAO (polialfaolefin) nanoakışkanlarını kullanmışlardır. Hacimsel debi 20 – 100 ml/dak arasında değişmektedir. Çelik borunun sıcaklığını ölçmek için boru yüzeyine 6 adet T-tipi ısı çift yerleştirmişlerdir. Baz akışkanına nanopartikül ilave edilmesi ısı transferini iyileştirmektedir. Hacimsel debi arttıkça ısı transferi artmakta ve boru yüzey sıcaklığı düşmektedir. Baz akışkan olarak saf su kullanımının polialfaolefine göre daha iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

Khaleduzzaman ve diğer. (2014) dikdörtgen mikrokanallardan oluşan soğutucuda 13 nanometre nanopartikül boyutuna sahip %0,10 - %0,25 arası hacimsel konsantrasyonda ve 0,375 - 1,0 l/dak arası değişen hacimsel debilerle Al₂O₃-Su nanoakışkanının etkilerini incelemişlerdir. Isıtıcı olarak 2 adet 100W kartuş ısıtıcı kullanmışlardır. Deney sonuçlarına bakıldığında hacimsel konsantrasyon arttıkça nanoakışkanın termal iletkenliği, enerji verimi, viskozitesi ve yoğunluğu artarken özgül iletkenliği azaldığı gözlemlenmiştir. %0,25 hacimsel konsantrasyonda ve 1 l/dak debide çıkış ekserjisi %60,86 iyileştiği tespit edilmiştir. Akış hızı ve hacimsel

konsantrasyon arttıkça basınç kaybı ve pompalama gücünün arttığını gözlemlemişlerdir. Hacimsel debi arttıkça enerji verimi azalmaktadır.

Selvakumar ve Suresh (2014) mikrokanallı sıvı soğutma sisteminde; %70 saf su ve %30 etilen glikol içeren baz akışkana sahip, %0,1 hacimsel konsantrasyonda 43 nanometre Al_2O_3 nanopartikülleri içeren nanoakışkan ile aynı hacimsel konsantrasyonda 36 nanometre CuO nanopartikülleri içeren nanoakışkan ekleyip ısı performans etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Sistemin hacimsel debisi 0,78 – 2,12 l/dak arasındadır. Araştırmacılar Al_2O_3 nanopartikülleri içeren nanoakışkanın ve CuO nanopartikülleri içeren nanoakışkanın ısı transferini sırasıyla %11,94 ve %19,89 iyileştirdiğini tespit etmişlerdir. Nanoakışkan kullanımı basınç kaybını %5 arttırmıştır. Akış hızı arttıkça ısı transferi artmaktadır yüzey sıcaklığı azalmaktadır.

Elektronik sistemlerin nanoakışkanlarla soğutulmasıyla ilgili yapılan çalışmalardan biri de Sohel ve diğer. (2015) yaptığı çalışmadır. Bu çalışmada araştırmacılar, piyasada bulunan mikro kanallı soğutma bloğu içeren XSPC X20 750 model sıvı soğutma sisteminde %0,1, %0,15, %0,2 ve %0,25 hacimsel konsantrasyonlarda 13 nanometre partiküller içeren Al_2O_3 -Su nanoakışkanı kullanılarak ısı performans etkilerini incelemişlerdir. Isıtıcı olarak 2 adet 200 W kartuş ısıtıcı kullanmışlardır. Mikro kanallı soğutma bloğunun giriş çıkışlarına, ısı değiştiricinin giriş çıkışlarına ve ısıtılan bloğa ısı çiftleri yerleştirilerek sıcaklık ölçümleri yapmışlar logaritmik ortalama sıcaklık farkı yöntemi kullanılarak ısı transferini hesaplamışlardır. Soğutma sisteminde nanoakışkan kullanımı az da olsa pompalama gücünü arttırdığını görmüşlerdir. Bütün hacimsel debilerde nanoakışkanlar baz akışkana göre ısı transferini arttırmaktadır. Nanoakışkanın baz akışkana göre ısı transferini %18 iyileştirdiğini ve %0,25 hacimsel konsantrasyonda merkez sıcaklığını %15,72 azalttığını gözlemlemişlerdir. Hacimsel debi arttıkça merkez sıcaklığı düşmekte, ısı transferi artmaktadır. Nanopartikül konsantrasyonu arttıkça ısı transferi artmaktadır.

Ahammed ve diğer. (2016) çalışmalarında mini kanallı soğutma bloğu içeren sıvı soğutma sistemine 43-50 nanometre nanopartiküller içeren %0,1 ve %0,2 hacimsel konsantrasyonlarında Al_2O_3 -Su nanoakışkanı kullanılarak sisteme olan etkilerini

araştırmışlardır. Isıtıcı 400 W gücündedir. Sistemde nanoakışkan kullanımının merkez sıcaklığını düşürdüğü gözlemlenmiştir. Hacimsel konsantrasyon arttıkça ısı transferi iyileşmektedir. %0,2 hacimsel konsantrasyonda Nusselt sayısı %23,92 artmaktadır.

Elektronik sistemlerin nanoakışkanlarla soğutulmasıyla ilgili yapılan çalışmalarda genel olarak saf su, etilen glikol ve polialfaolefin baz akışkanlarının içine Al_2O_3 , TiO_2 , CuO , SiO_2 , SiC nanopartikülleri eklenmiştir. İncelediğimiz çoğu çalışmada nanoakışkanlar pompalama gücüne etki etmeden ısı transferini iyileştirmiştir. Tablo 1.1’ de literatürde elektronik sistemlerin nanoakışkanlar ile soğutulmasıyla ilgili yapılan çalışmaların özetleri verilmiştir.

Tablo 1.1 Literatürde yapılan çalışmaların özetleri

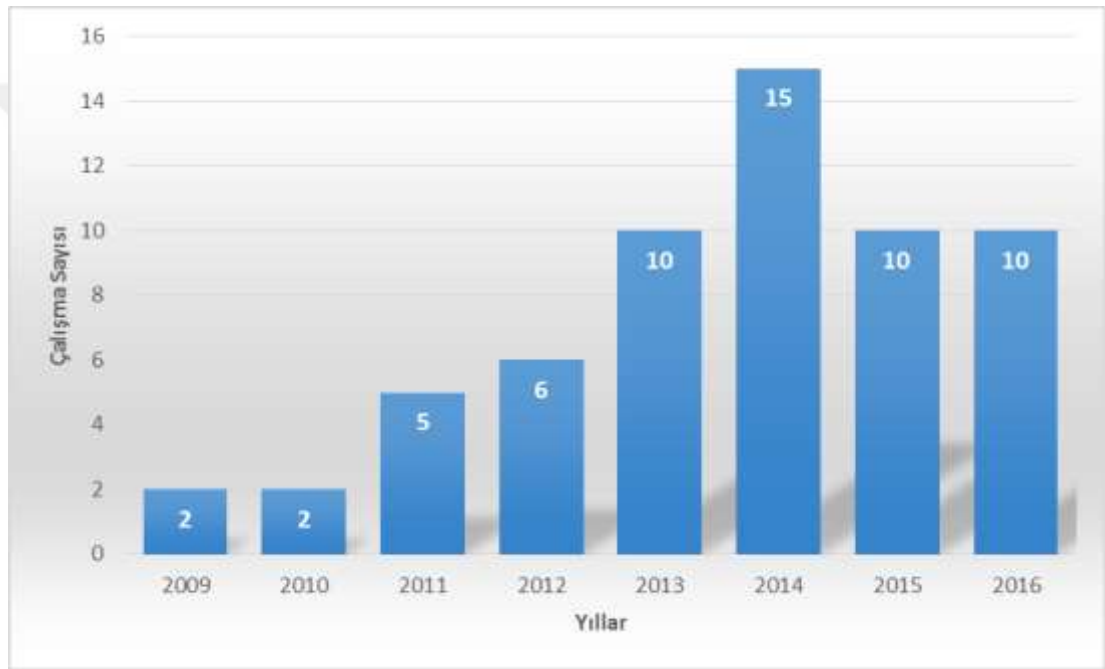
Araştırmacılar	Parçacık	Baz Akışkan	Konsantrasyon	Sistem	Debi	Bulgular
Nguyen vd. (2007)	Al ₂ O ₃ 36 nm, 47 nm	Saf su	Hacimsel olarak %1, %3,1, %6,8	Swiftech paket sistem sıvı soğutucu, 100 W kartuş ısıtıcı	Kütlesel 0,02 kg/s-0,08 kg/s arası	%6,8 hacimsel konsantrasyonda nanoakışkan kullanımı baz akışkana göre ısı transferini %40 arttırmıştır. Kütlesel debi arttıkça ısı taşınım katsayısı artmakta , merkez sıcaklık düşmektedir. 36 nm partikül içeren nanoakışkan 47 nm partikül içeren nanoakışkana göre daha iyi sonuçlar vermektedir.
Roberts ve Walker (2010)	Al ₂ O ₃ 10 nm, 20-30 nm 150 nm	Saf su	Hacimsel olarak %0,1, %0,5, %1,5	Thermaltake Bigwater 760is paket sistem sıvı soğutucu, 2 x 10 W silikon şerit ısıtıcı	Hacimsel 0,596 ml/dak- 27,58 ml/dak arası	20-30 nm parçacık içeren nanoakışkan ısı transferini % 20 arttırmıştır. Hacimsel debi arttıkça nanoakışkan ile baz akışkan arasındaki fark ve ısı transferi azalmaktadır.
Putra vd. (2011)	Al ₂ O ₃ 13 nm, TiO ₂ 21 nm	Saf su	Hacimsel olarak %0,5, %1	Isı borulu soğutucu blok, CPU 110W- 140W	Bilgi yok	Nanoakışkanlar baz akışkana göre merkez sıcaklığını düşürmektedir. Al ₂ O ₃ , TiO ₂ ’ ye göre daha iyi sonuçlar vermektedir. Hacimsel konsantrasyon arttıkça ısı transferi artmaktadır.
Rafati vd. (2012)	SiO ₂ 14 nm, TiO ₂ 21 nm, Al ₂ O ₃ 40 nm	%75 Saf su, %25 Etilen glikol	Hacimsel olarak SiO ₂ %0,5, %1,0, %1,5, TiO ₂ %0,25, %0,5, %1, Al ₂ O ₃ %0,5, %0,75, %1	Gigabyte 3D Galaxy II paket sistem sıvı soğutucu, Phenom II X4 965 CPU	Hacimsel 0,5 l/dak, 0,75 l/dak 1 l/dak	Nanoakışkanlar baz akışkana göre daha iyi sonuçlar vermektedir. Hacimsel konsantrasyon ve debi arttıkça ısı taşınım katsayısı artmaktadır. Aynı hacimsel konsantrasyonda en iyi sonuçları Al ₂ O ₃ göstermektedir.
Selvakumar ve Suresh (2012)	CuO 27-37 nm	Saf su	Hacimsel olarak %0,1, %0,2	EK-Supreme soğutucu blok, 150 W kartuş ısıtıcı	Hacimsel 0,79 l/dak- 2,45 l/dak arası	%0,2’ lik hacimsel konsantrasyona sahip nanoakışkan baz akışkana göre ısı transferini %29,63 iyileştirmiştir. Merkez sıcaklığı 1,15 °C azalmıştır. Hacimsel debi arttıkça ısı transferi artmakta merkez sıcaklığı azalmaktadır.

Tablo 1.1 Literatürde yapılan çalışmaların özetleri (devamı)

Ijam ve Saidur (2012)	SiC TiO ₂	Saf su	Hacimsel olarak %0,8, %1,6, %2,4, %3,2, %4	Mini kanallı soğutucu blok (sayısal analiz)	Kütleli 0,37932 kg/s- 0,40531 kg/s arası	Her iki nanoakışkan da baz akışkana göre ısı transferini arttırmaktadır. TiO ₂ , SiC'a göre daha iyi sonuçlar elde etmektedir. Akış hızı ve hacimsel konsantrasyon arttıkça ısı transferi artmaktadır.
Yu ve Liu (2013)	Al ₂ O ₃ 40 nm	Saf su, PAO	Hacimsel olarak Al ₂ O ₃ -Su %1, %2, %3,5, %5 Al ₂ O ₃ -PAO %0,65, %1,3	Akışkanın geçtiği 1,09 mm iç çapa sahip 306 mm uzunluğundaki çelik boru ısıtılıyor, 6,5 kW/m ²	Hacimsel 20 ml/dak-100 ml/dak arası	Baz akışkanın içerisine naopartikül ilavesi ısı transferini iyileştirmektedir. Hacimsel debi arttıkça ısı transferi artmaktadır.
Khaleduzzaman vd. (2014)	Al ₂ O ₃ 13 nm	Saf su	Hacimsel olarak %0,1, %0,15, %0,2, %0,25	Mikrokanallı soğutma bloğu, 2 X 100 W kartuş ısıtıcı	Hacimsel 0,375 l/dak- 1 l/dak arası	%0,25 hacimsel konsantrasyonda ve 1 l/dak debide çıkış ekserjisi %60,86 iyileşmektedir. Akış hızı ve hacimsel konsantrasyon arttıkça basınç kaybı ve pompalama gücü de artmaktadır.
Selvakumar ve Suresh (2014)	Al ₂ O ₃ 43 nm, CuO 36 nm	%70 Saf su, %30 Etilen glikol	Hacimsel olarak %0,1	Mikrokanallı soğutma bloğu, 150 W	Hacimsel 0,78 l/dak-2,12 l/dak arası	Al ₂ O ₃ nanoakışkan CuO nanoakışkan ısı transferini sırasıyla %11,94 ve %19,89 iyileştirmiştir. Nanoakışkan kullanımı basınç kaybını %5 arttırmıştır. Akış hızı arttıkça ısı transferi artmaktadır.
Sohel vd. (2015)	Al ₂ O ₃ 13 nm	Saf su	Hacimsel olarak %0,1, %0,15, %0,2, %0,25	XSPC X20 750 Paket sistem sıvı soğutucu, 2 X 200 W kartuş ısıtıcı	Hacimsel 0,5 l/dak- 1,25 l/dak arası	Nanoakışkan baz akışkana göre ısı transferini %18 iyileştirmektedir. %0,25 hacimsel konsantrasyonda merkez sıcaklığı %15,72 azalmaktadır. Hacimsel debi arttıkça merkez sıcaklığı düşmekte, ısı transferi artmaktadır.
Ahammed vd. (2016)	Al ₂ O ₃ 43-50 nm	Saf su	Hacimsel olarak %0,1, %0,2	Minikanallı soğutma bloğu, 400 W	Bilgi yok	Nanoakışkan kullanımı merkez sıcaklığını düşürmektedir. Hacimsel konsantrasyon arttıkça ısı transferi iyileşmektedir. %0,2 hacimsel konsantrasyonda Nusselt sayısı %23,92 artmaktadır.

1.4 Çalışmanın Amacı

Nanoakışkanlar hakkında bu güne kadar 8042 adet çalışma yapılmıştır ve bu konuda yapılan çalışma sayısı her geçen gün artmaktadır (Web of Science, Eylül 2016). 8042 adet çalışmanın içinden nanoakışkanların elektronik soğutma sistemlerinde kullanımını içeren 65 adet çalışma vardır. Şekil 1.6’ da nanoakışkanların elektronik soğutma sistemlerinde kullanımın konu edildiği çalışma sayılarının yıllara göre değişimi görülmektedir.



Şekil 1.6 Yıllara göre nanoakışkanların elektronik sistemlerin soğutulmasında kullanımıyla ilgili yapılan çalışma sayıları (Web of Science, Eylül 2016)

Piyasada paket sistem olarak bulunan sıvı soğutma sistemlerinde nanonanoakışkan kullanımının etkilerini deneysel olarak araştıran 4 adet, piyasada bulunan soğutma bloklarını kullanarak farklı sistemler oluşturan ve nanoakışkanın etkilerini deneysel olarak inceleyen 5 adet çalışma vardır.

Soğutucu yüzey ile ısıtıcı arasındaki sıcaklığın, hacimsel debi ile değişimi; çalışmalar arasında farklılıklar göstermektedir. Bir çalışmada merkez sıcaklığı hacimsel debideki artış ile azalırken, başka bir çalışmada ise artmaktadır. Çalışma

sayısının yetersizliği ve çalışmaların sonuçları arasındaki çelişkiler sebebiyle, bu çalışmada piyasada bulunan ve farklı hacimsel debilerde çalışmamızı sağlayan ve elektronik ekipmanların soğutulmasında kullanılan sistemlerle, nanoakışkan kullanımının ve hacimsel debi değişiminin sistemin ısıl davranışına olan etkileri incelenmiştir.



BÖLÜM İKİ

MATERYAL VE METOT

2.1 Nanoakışkanın Hazırlanması

Nanoakışkan üretimleri genel olarak, bir veya iki basamaklı olmak üzere iki yöntemle gerçekleştirilir. Bir basamaklı yöntemin temel amacı kullanılan akışkanın içerisinde nanopartikül üretimidir. İki basamaklı yöntemde ise piyasada satılan nano boyutlu tozlar, baz akışkana uygun hacimsel oranlarda karıştırılarak nanoakışkanlar elde edilir. İki basamaklı yöntemde parçaların homojen bir şekilde dağılımı ve baz akışkan içinde asılı kalabilmeleri için; ultrasonik karıştırma, yüzey aktifleştirici kullanımı ve pH kontrolü olmak üzere 3 yöntem kullanılır. Bir basamaklı yöntem metalik partiküllerde iyi sonuçlar verirken iki basamaklı yöntem metal oksitlerde daha iyi sonuçlar verir.

Deneylerde kullanılan nanoakışkan, Nanostructured & Amorphous Materials, Inc. (A.B.D.) firmasından sağlanan kütlege %20 (hacimce %6,33) konsantrasyona sahip 10 nm partiküller içeren nanoakışkanın, saf su ile seyreltilmesinden elde edilmiştir. Şekil 2.1’ de görüldüğü gibi seyreltilen nanoakışkan Misonix 3000, ultrasonik karıştırıcıyla 70 W gücünde ses dalgalarıyla 2 dakika karıştırılmıştır.



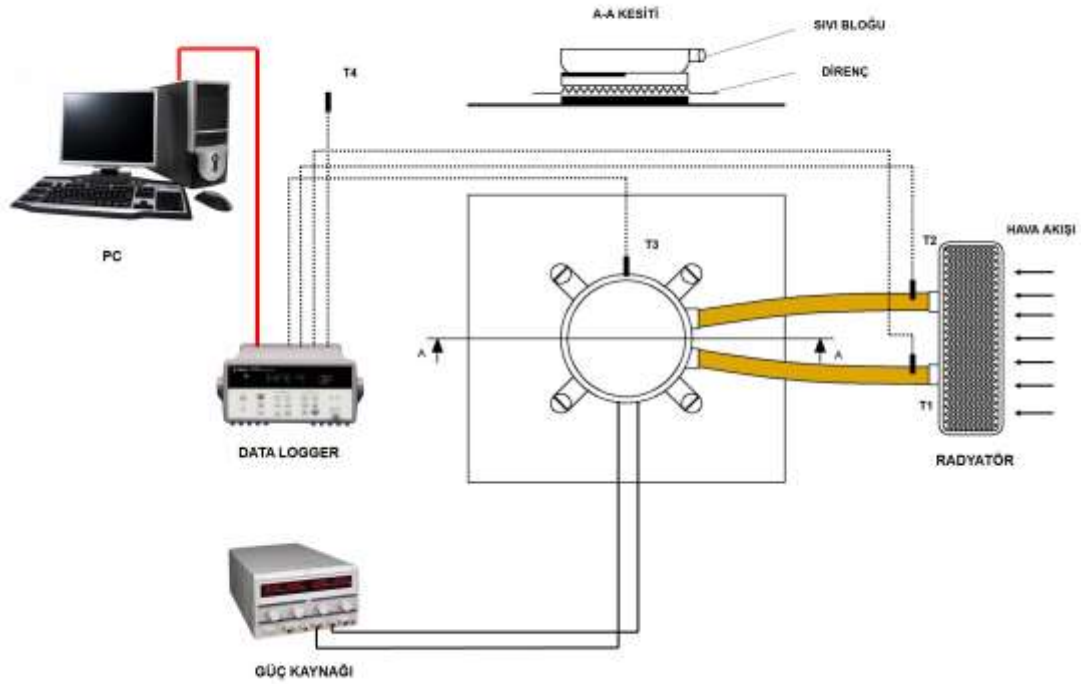
Şekil 2.1 Nanoakışkanın seyreltilmesi ve ses dalgalarıyla karıştırılması

2.2 Deney Düzenekleri

Deneyler iki farklı sistem ile yapılmıştır. Bunlardan ilki sabit debili sistem ikincisi ise değışken debili sistemdir. İki sistemde de saf suya göre nanoakışkanın yarattığı etkiler incelenmiştir.

2.2.1 Sabit Debili Sistem

İlk deneylerde piyasada bulunan kapalı sistem, bakım gerektirmeyen sıvı soğutma sistemi CoolerMaster Seidon 120 M kullanılmıştır. Bu sistemde soğutma bloğu ile pompa birleşik yapıdadır. Pompa maksimum 1,8W'lık g c kullanarak, akışkanın sistemde 1 lt/dak'lık hacimsel debiyle dolaşmasını sağlamaktadır. Akışkan, bloktan radyatöre gönderilerek soğuma işlemi sağlanmaktadır. İşlemci yerine ısı kaynağı olarak 1,77 Ω /m dirence sahip direnç teli kullanılmıştır.



Şekil 2.2 Sabit debili deney düzeneğinin şematik gösterimi

Isıtıcı doğru akım üreten güç kaynağına bağlanarak (GW, GPC-3030D) 60W'lık elektrik gücü uygulanmıştır. Şekil 2.2' de görüldüğü gibi K- tipi ısıl çiftler (Omega Engineering, A.B.D.), radyatör giriş ve çıkışlarına sırasıyla T_1 ve T_2 , ısıtıcıyla soğutma bloğu arasına T_3 ve ortam sıcaklığını ölçmek için T_4 olacak şekilde konumlandırılmıştır. Isıl çiftlerin kalibrasyonu, 10-70 °C sıcaklık aralığında, sabit sıcaklıklı su banyosu kullanılarak yapılmıştır. Ölçüm hassasiyetinin $\pm 0,1$ °C olduğu saptanmıştır. Isıl çiftler veri kaydedicisine (HP34970A, 0,01 °C çözünürlük) bağlanmıştır. Ortam sıcaklığı 19 °C de oluşan veriler kaydedilmeye başlandıktan 60 saniye sonra ısıtıcıya güç uygulanmıştır. Saf su ve %1 hacimsel konsantrasyona sahip 10 nm boyutlu taneciklere sahip nanoakışkan deneylerinden sonra sistemin temizliği ve akışkanın doldurulup boşaltılması gibi zorluklar göz önüne alınarak, rezervuara sahip yeni sisteme geçilmiştir.

2.2.2 Değişken Debili Sistem



Şekil 2.3 Değişken debili soğutma sisteminin bileşenleri

İkinci deneysel sistem olarak, sıvı soğutma sistemi olarak piyasada bulunan Alphacool Nexxxos Cool Answer 120 D5/ST kiti kullanılmıştır. Bu kitin içerisinde Şekil 2.3' de görüldüğü gibi Alphacool Nexxxos Xp3 bakır su bloğu, rezervuar,

Alphacool VPP655 solo pompa, Alphacool Nexxxos ST30 radyatör, Alphacool NB-eLoop 1200 rpm 120 mm fan, 10 mm iç çapa sahip silikon hortum, montaj aparatları ve soğutma sıvısı bulunmaktadır.

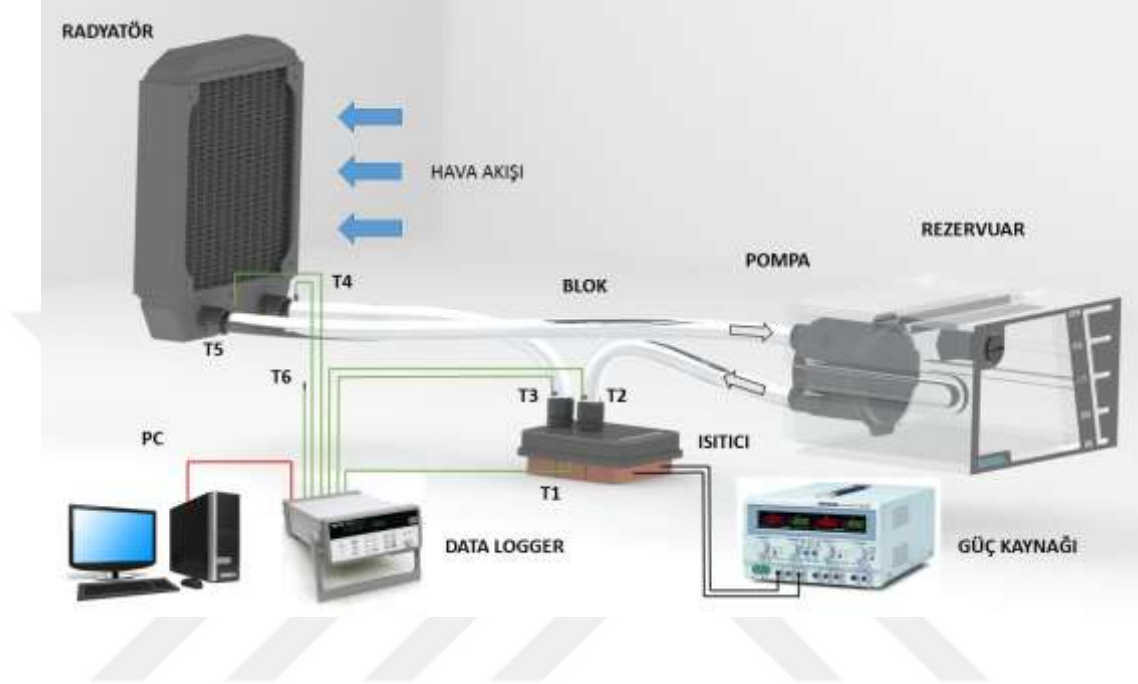
Alphacool Nexxxos Xp3 bakır soğutma bloğu 63 mm * 73 mm * 14 mm ölçülerinde, Şekil 2.4' te görüldüğü gibi içerisinde ısının daha hızlı yayılabilmesi için 2,5 mm yüksekliğinde 0,5 mm² pinler bulunmaktadır. Bloğun giriş ve çıkış noktaları 6,35 mm çapındadır, ayrıca Alphacool bloğun giriş noktasında akışkanın homojen bir şekilde dağılması için enjeksiyon sistemi kullanmıştır.



Şekil 2.4 Soğutma bloğu

O ring conta ile rezervuar üzerine monte edilen Alphacool VPP655 pompa, 5 kademedir oluşmaktadır ve maksimum debisi saatte 1500 litre, maksimum basma yüksekliği 3,7 m'dir. Kitin içerisinde bulunan radyatör 157 mm * 124 mm * 30 mm ölçülerine sahip, Alphacool Nexxxos ST30 modelidir. Radyatörün kasası çelikten, soğutma kanalları ve lameller ise bakırdan imal edilmiştir.

Sistemin soğutma gücü bir önceki sisteme göre daha fazla olduğundan; ısıtıcı olarak $6,8 \Omega$ dirence sahip 3 adet 50 W'lık alüminyum direnç kullanılarak toplam 150 W ısıtma gücü elde edilmiştir. Isı kayıplarını önlemek için ısıtıcının altına ateş tuğlası konulmuştur ve etrafı taş yünü ile kaplanmıştır.



Şekil 2.5 Deney düzeneğinin şematik gösterimi

Şekil 2.5' te görüldüğü gibi rezervuardan çıkan akışkan, soğutma bloğunda ısıyı emerek radyatöre ilerler. Radyatörde soğutulan akışkan tekrar rezervuara döner bu sayede soğutma döngüsü sağlanmış olur.

Tablo 2.1 Isıl çift konumları

Isıl çift	Konum
T ₁	Isıtıcı Yüzeyi
T ₂	Soğutma Bloğu Giriş
T ₃	Soğutma Bloğu Çıkış
T ₄	Radyatör Giriş
T ₅	Radyatör Çıkış
T ₆	Ortam

Tablo 2.1’ de K-tipi ısıtıcı çiftlerin konumları gösterilmiştir. Isıtıcı çiftlerin kalibrasyonu önceki sistemle aynı şekilde, 10-70 °C sıcaklık aralığında sabit sıcaklıklı su banyosuyla yapılmıştır. Isıtıcı çiftler veri kaydedicisine (HP34970A, 0,01 °C çözünürlük) bağlanmıştır. Veriler kaydedilmeye başlandıktan 5 dakika sonra ısıtıcıya güç uygulanmıştır.

İlk deneyler saf suyla yapılmıştır. 60 ml/dak 120 ml/dak ve 180 ml/dak’lık hacimsel debilerde saf su ile 3’er set deneyler yapılmıştır. Daha sonra sisteme nanoakışkan konularak deneyler tekrarlanmıştır. Pompanın elektrik tüketimi akım sensörü (ACS 712) ile ölçülmüştür.

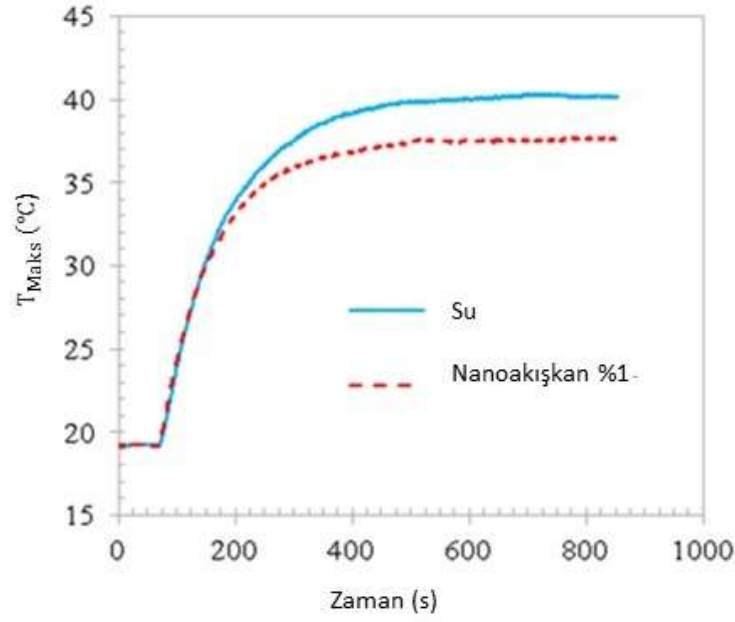


BÖLÜM ÜÇ

BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1 Sabit Debili Sistem ile Yapılan Deneylerin Sonuçları

Soğutucu yüzey ile ısıtıcı arasında bulunan ısıl çift, (ilk sistemde T_3 , ikinci sistemde T_1) sistemin performansının değerlendirilmesinde en önemli veridir.

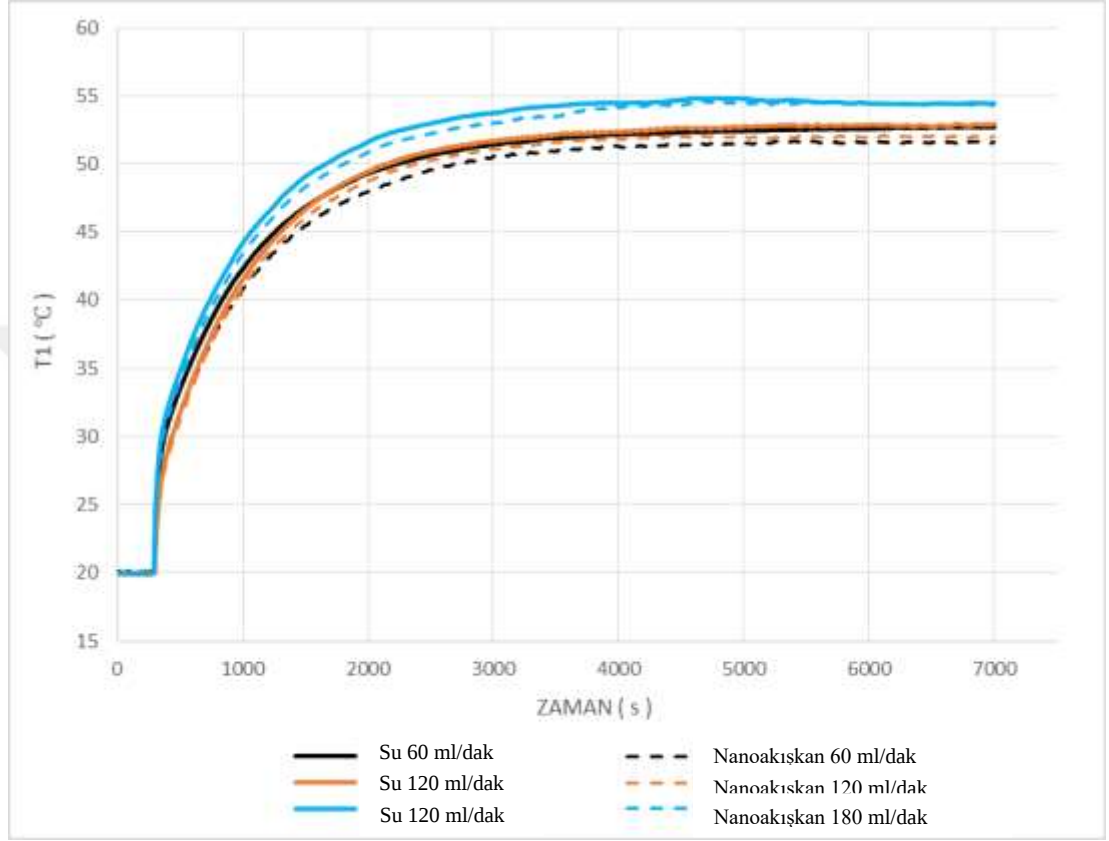


Şekil 3.1 Soğutucu blok ile ısıtıcı yüzey arasındaki sıcaklığın zamana bağlı değişimi

Şekil 3.1’ de görüldüğü gibi Saf su ve nanoakışkan 160. saniyeye kadar benzer bir performans sergilemiştir. 160. saniyeden sonra nanoakışkan ile yapılan testlerde daha düşük sıcaklıklar elde edilmiştir. Soğutucu akışkan olarak saf su kullanıldığında soğutma bloğu ile ısıtıcı arasında ulaşılan maksimum sıcaklık 40,2 °C iken aynı koşullarda sistemde nanoakışkan kullanıldığında ulaşılan maksimum sıcaklık 37,5 °C olmuştur. Soğutma sıvısı olarak, nanoakışkan kullanımı merkez sıcaklığını 2,7 °C azaltmıştır. Bu da soğutma performansında %6,7 iyileşme olduğu anlamına gelmektedir. Sisteme akışkanın doldurulması ve temizlenmesi zor olduğundan dolayı doldurma boşaltma işlemini kolaylaştırması açısından rezervuara sahip sisteme geçilmiştir.

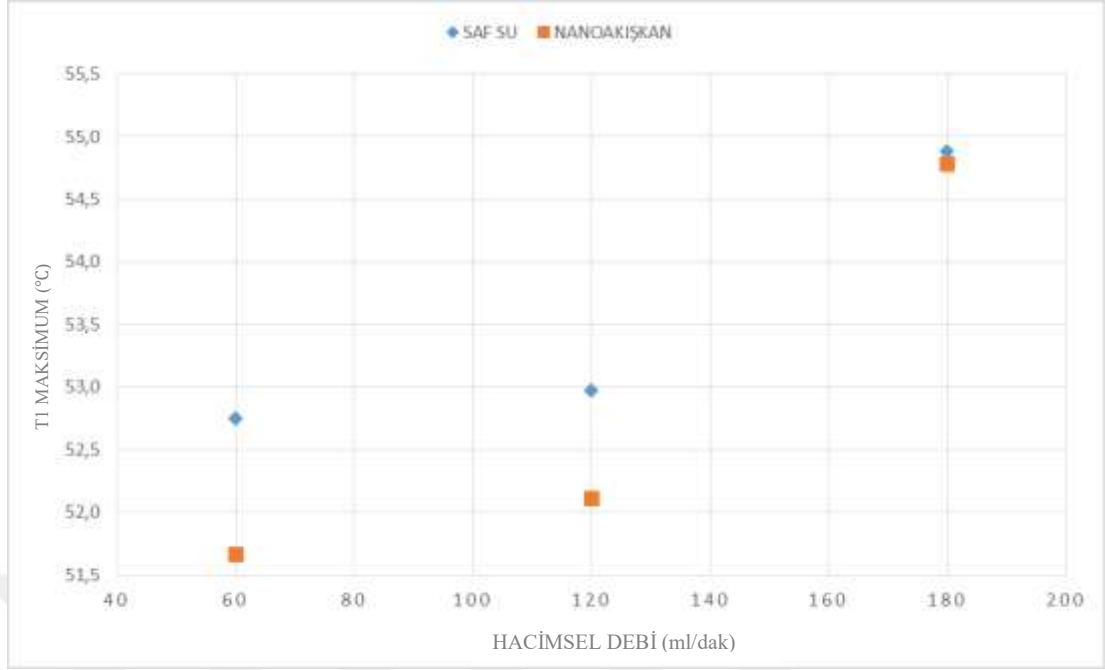
3.2 Değişken Debili Sistem ile Yapılan Deneylerin Sonuçları

Bu sistem pompa hızının ayarlanabilmesi açısından farklı hacimsel debilerde deneyler yapmamıza olanak sağlamıştır.



Şekil 3.2 T_1 ısı çiftinden ölçülen değerlerin zamana bağlı değişimi

Sistemde nanoakışkan kullanımının oluşturduğu etkiyi gözleyebilmek için, ısıtıcı ile soğutma bloğu arasında yer alan T_1 ısı çifti değerlendirilmiştir. Şekil 3.2’ de görüldüğü gibi nanoakışkan ve hacimsel debilerin farkı 400. saniyeden sonra; başka bir değişle ısıtıcıya güç verildikten 100 saniye sonra görülmeye başlanmıştır. Hacimsel debi arttıkça T_1 sıcaklığı artmaktadır. Sistemde soğutucu akışkan olarak nanoakışkan kullanımı tüm hacimsel debilerde T_1 sıcaklığını azaltmıştır.



Şekil 3.3 T_1 Maksimum değerlerinin hacimsel debiyle değişimi

T_1 ısıtıcı çiftinden ölçülen sistemdeki akışkanın maksimum değerlerinin hacimsel debi ile değişimi Şekil 3.3’de verilmiştir. Hacimsel debi arttıkça saf su ile nanoakışkan arasındaki fark azalmaktadır.

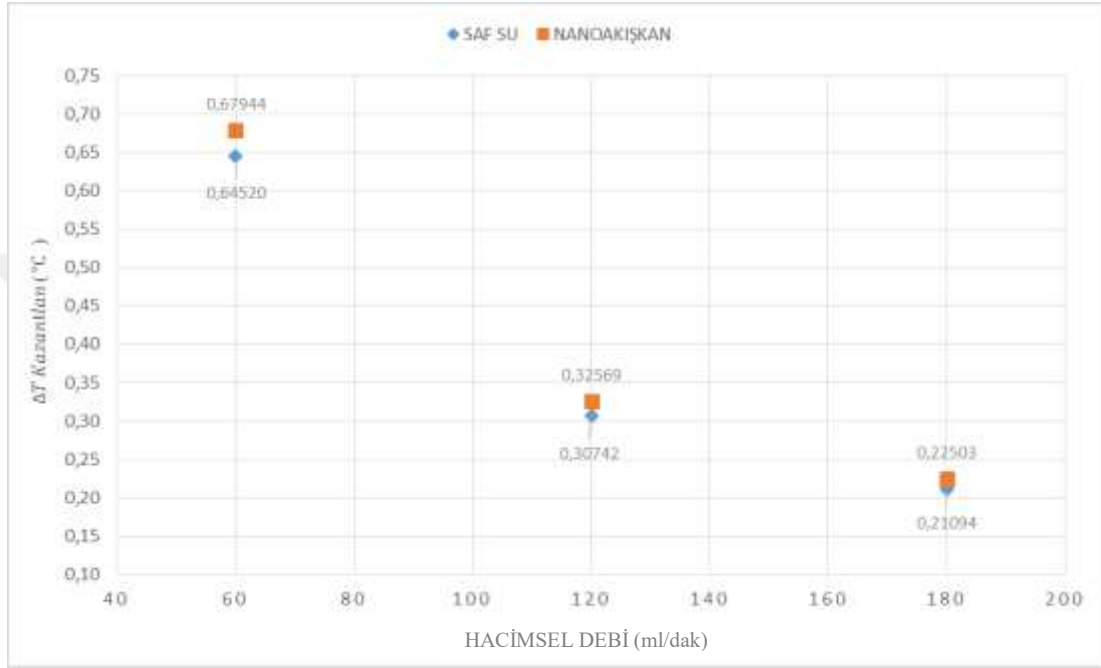
Tablo 3.1 T_1 maksimum değerler

Hacimsel Debi		
	Su	Nanoakışkan
60 ml/dak	52,75 °C	51,67 °C
120 ml/dak	52,98 °C	52,11 °C
180 ml/dak	54,88 °C	54,78 °C

Tablo 3.1’de görüldüğü gibi nanoakışkan ile saf su arasında; 60 ml/dak, 120 ml/dak, 180 ml/dak debilerinde sırasıyla 1,08 °C, 0,87 °C ve 0,1 °C ‘lık farklar oluşmaktadır. Elde edilen değerlere bakıldığında hacimsel debi arttıkça nanoakışkan ile saf su arasındaki sıcaklık farkının azaldığı görülmektedir.

Akışkana aktarılan enerjiyi daha iyi görebilmemiz için, akışkanın soğutma bloğuna giriş sıcaklığı (T_2) ile soğutma bloğundan çıkış sıcaklığı (T_3) arasındaki farkı gösteren, $\Delta T_{\text{Kazanılan}}$ değeri kullanılmıştır.

$$\Delta T_{\text{Kazanılan}} = T_3 - T_2 \quad (3.1)$$



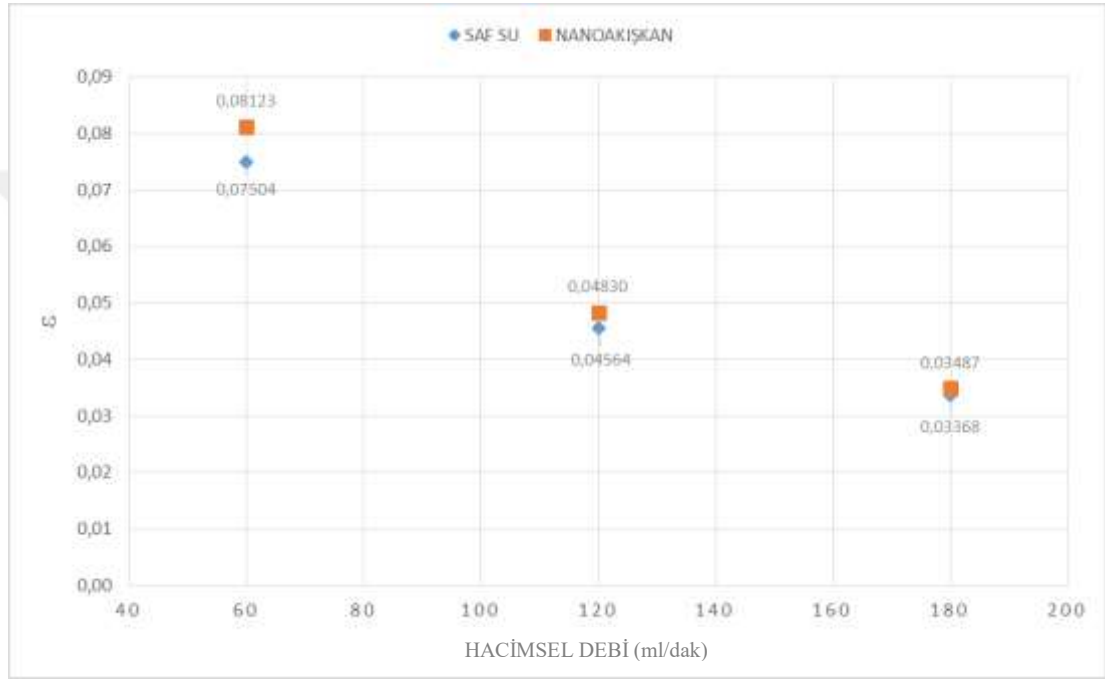
Şekil 3.4 $\Delta T_{\text{Kazanılan}}$ değerlerin hacimsel debiyle değişimi

T_3 ve T_2 değerlerinin farkları alınıp Şekil 3.4’ te verilmiştir. Akışkanın bloğa giriş ve çıkış sıcaklıkları arasındaki fark, hacimsel debi arttıkça azalmaktadır. Hacimsel debinin artması saf su ile nanoakışkan arasındaki farkı da azaltmaktadır. Sonuçlar Şekil 3.3 doğrultusunda beklenildiği gibi merkez sıcaklığının yüksek olduğu yerlerde $\Delta T_{\text{Kazanılan}}$ düşük, merkez sıcaklığının düşük olduğu yerlerde $\Delta T_{\text{Kazanılan}}$ yüksektir.

Taylor ve diğer. (2013) nanoakışkan kullanımı durumunda, ısı transferindeki değişimin daha iyi şekilde anlaşılabilmesi için boyutsuz bir parametre tanımlanmasının daha doğru olduğunu belirtmişlerdir. Denklem 3.2’ de bu sistem için boyutsuz parametre olan etkinlik katsayısı tanımlanmıştır.

$$\varepsilon = \frac{T_3 - T_2}{T_1 - T_2} \quad (3.2)$$

Bu denklem akışkanın soğutucu bloktan geçerken yaptığı ısı transferinin, akışkanın bloktan geçerken yapabileceği maksimum ısı transferine oranını verir. Etkinlik katsayısının maksimum değeri 1’dir ve merkez sıcaklığıyla ters orantılı olması beklenmektedir.



Şekil 3.5 Etkinlik katsayısının hacimsel debiyle değişimi

Şekil 3.5’te görüldüğü gibi etkinlik değeri hacimsel debi arttıkça azalmaktadır, akışkanın hızı arttıkça çekilen ısı enerjisi azalmaktadır. Sisteme; saf su yerine, %1 hacimsel konsantrasyonda nanoakışkan ilavesi etkinliği 60 ml/dak, 120 ml/dak, 180 ml/dak hacimsel debide sırasıyla % 8,25, %5,83 ve %3,53 arttırmıştır.

Soğutma bloğu bölgesinde soğutucu akışkanın çektiği ısı enerjisini aşağıdaki denklem ile hesaplayabiliriz (Sohel ve diğerleri, 2015).

$$q_{akışkan} = \rho \dot{V} C_p (T_3 - T_2) \quad (3.3)$$

Denklemden ρ , akışkanın yoğunluğu, $\dot{V}$, hacimsel debi, C_p , akışkanın özgül ısı, T_3 , akışkanın soğutma bloğuna giriş sıcaklığı ve T_2 , akışkanın soğutma bloğundan çıkış sıcaklığıdır. Akışkanın çektiği ısı enerjisini, taşıma yapılan ısı transferine eşitleyip ısı taşınım katsayısı ve alanı çekersek;

$$hA = \frac{\rho \dot{V} C_p (T_3 - T_2)}{\Delta T_{LMTD}} \quad (3.4)$$

Bloğun içerisindeki pimlerin alanı sabit olduğu için bu sistemden elde edilen değerler için karşılaştırma yapılabilir. Denklem 3.4' te yer alan ΔT_{LMTD} değeri aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(T_1 - T_2) - (T_1 - T_3)}{\ln\left(\frac{T_1 - T_2}{T_1 - T_3}\right)} \quad (3.5)$$

Tablo 3.2 Su ve Al_2O_3 termofiziksel özellikleri

	Su	Al_2O_3	%1 Nanoakışkan
Yoğunluk (kg/m^3)	996,54	3989,22	1026,47
Özgül ısı ($J/kg \cdot ^\circ C$)	4177,78	778,92	4143,79

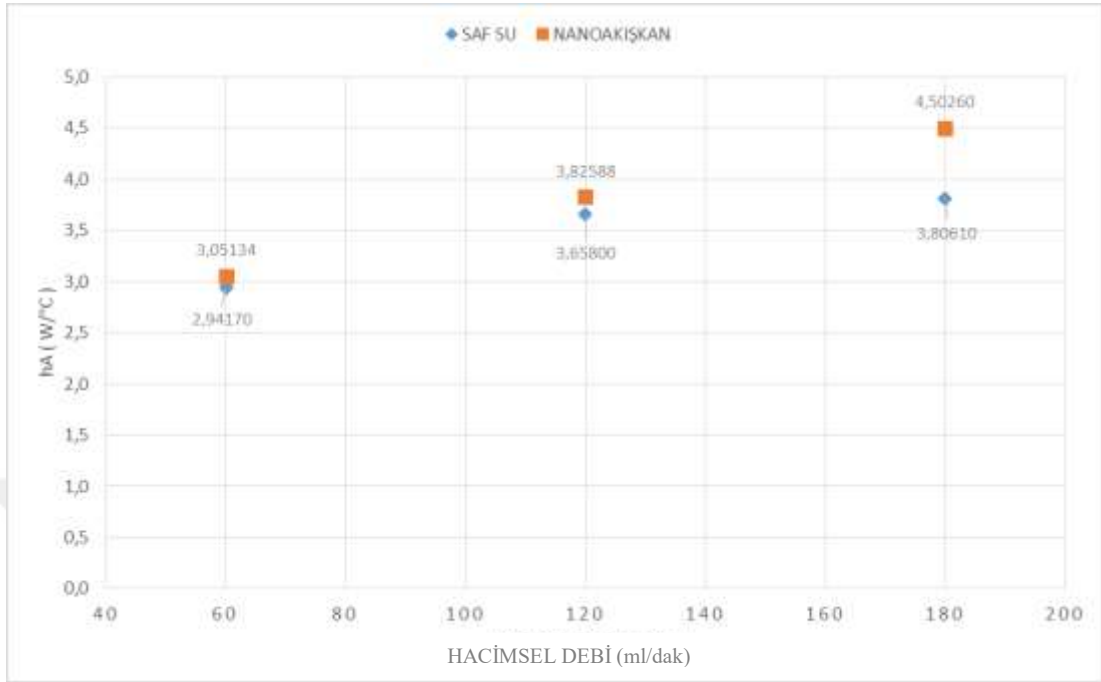
Tablo 3.2'de verilen su ve Al_2O_3 nanopartiküllerinin termofiziksel özellikleri verilmiştir. %1 hacimsel konsantrasyonda nanopartikül içeren nanoakışkan için denklem 3.3' te verilen, yoğunluk (ρ) ve özgül ısı değerleri (C_p) değerleri Tablo 3.2' den yararlanılarak aşağıdaki denklemlerle hesaplanır (Mital, 2013).

$$\rho_{nanoakışkan} = (1 - \phi) \rho_{su} + \phi \rho_{nanopartikül} \quad (3.5)$$

$$C_{nanoakışkan} = (1 - \phi) C_{su} + \phi C_{nanopartikül} \quad (3.6)$$

Tablo 3.2' deki su ve Al_2O_3 değerleri denklem 3.5 ve denklem 3.6' da yerine konulduğunda %1 nanoakışkan değerleri elde edilir.

Hesaplanan tüm değerler denklem 3.4'te yerine koyulup hA değerleri hesaplanır.

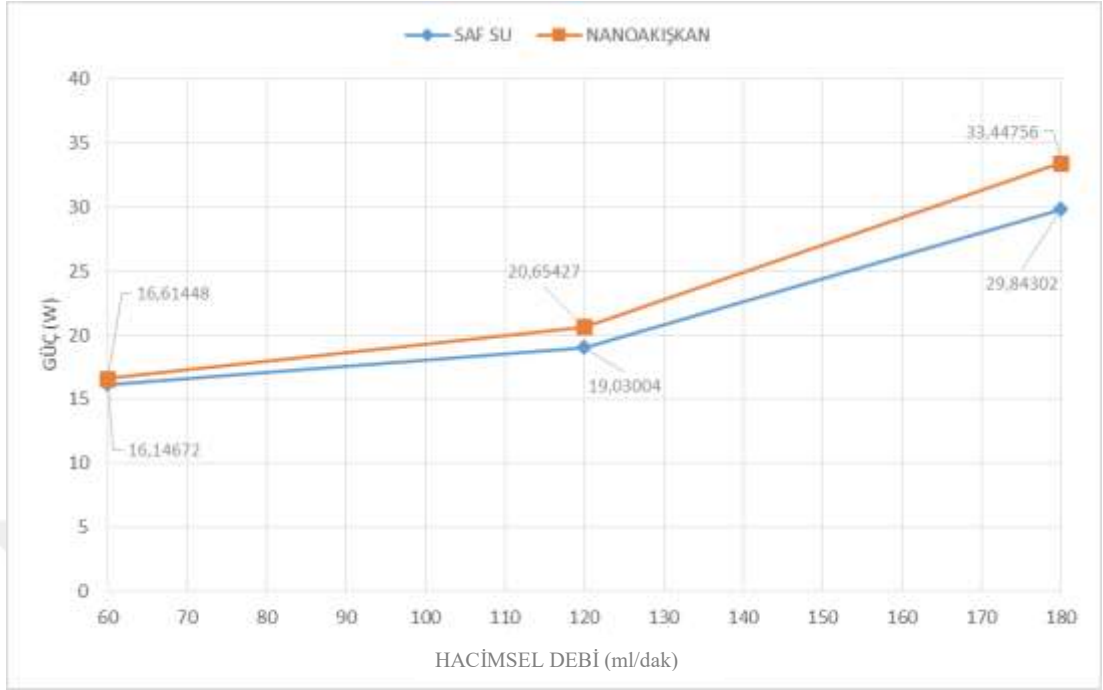


Şekil 3.6 Hesaplanan hA değerlerinin hacimsel debi ile değişimi

$T_3 - T_2$ değerinin azalması ve sisteme verilen ısı enerjisinin sabit olması taşınım katsayısının artmasına neden olmaktadır. Şekil 3.6' da hacimsel debi arttıkça taşınım katsayısı artmaktadır. 180 ml/dak hacimsel debide taşınım katsayısı %18,3 iyileşme görülmüştür.

Testler sırasında pompaya 12 V gerilim uygulanmıştır ve pompanın çektiği akımı ölçmek için, pompa güç girişine ACS 712 akım sensörü bağlanmıştır. Bu sensör veri kaydedicisine bağlanarak yaptığı ölçümler kaydedilmiştir. ACS 712 akım sensöründen ölçülen her 0,185 V' luk değişim 1 amperlik akım şiddetine denktir. Bu bilgiler doğrultusunda pompanın tükettiği elektrik gücü aşağıdaki eşitlikle hesaplanır.

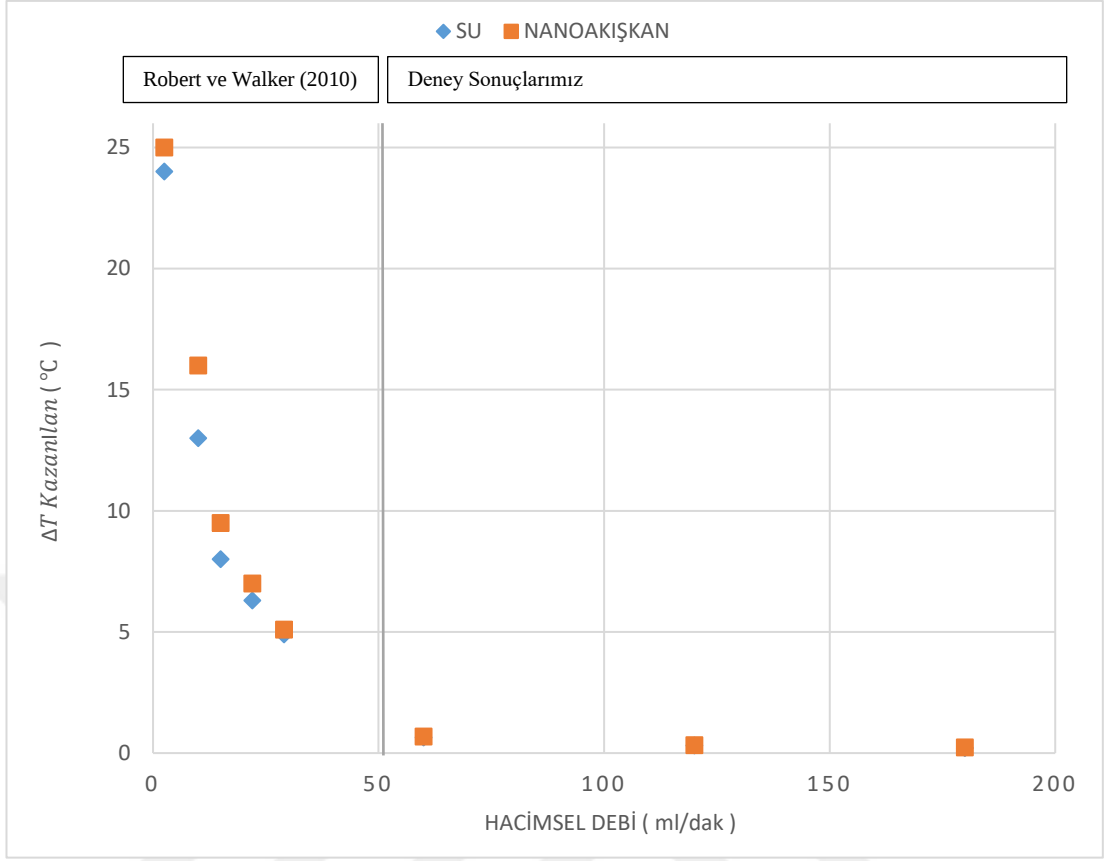
$$P=V \left(\frac{V_{\text{Ölçülen}}-2.5}{0.185} \right) \quad (3.7)$$



Şekil 3.7 Pompa elektrik tüketiminin hacimsel debiye bağlı değişimi

Şekil 3.7’ de sistemde soğutucu akışkan olarak nanoakışkan kullanımının pompalama gücünde oluşturduğu değişim görülmektedir. Hacimsel debi 60 ml/dak iken nanoakışkan pompanın elektrik tüketiminde %2,9’luk bir artışa sebep olurken, hacimsel debi 120 ml/dak yükseldiğinde pompanın elektrik tüketimi %8,54 ve 180 ml/dak yükseldiğinde pompanın elektrik tüketimi %12,1 artmıştır.

Literatürdeki çalışmalara baktığımızda; Roberts ve Walker (2010)’ın çalışması farklı güçlerde olsa da bu çalışmada bulduğumuz sonuçlarla belirli bir uyum göstermektedir. Şekil 3.8’ de $\Delta T_{\text{Kazanılan}}$ değerlerinin karşılaştırması verilmiştir. %1’ lik hacimsel konsantrasyona sahip nanoakışkan ile saf su arasındaki fark hacimsel debi arttıkça azalmaktadır.



Şekil 3.8 $\Delta T_{Kazanılan}$ değerlerinin karşılaştırılması

BÖLÜM DÖRT

SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Yapılan deneylerden elde edilen verilere değerlendirildiğinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

Her iki akışkanda da hacimsel debi arttıkça merkez sıcaklığı artmıştır. 1 lt/dak hacimsel debiye sahip ilk sistemde saf su kullanıldığında, maksimum merkez sıcaklığı 40,2 °C ölçülürken ikinci sistemde; 60 ml/dak, 120 ml/dak, 180 ml/dak debilerinde sırasıyla 52,75 °C, 52,98 °C ve 54,88 °C 'lik merkez sıcaklıkları ölçülmüştür. Soğutucu akışkan olarak sistemlerde nanoakışkan kullanıldığında ilk sistemde 37,5°C merkez sıcaklığı ölçülürken, ikinci sistemde sırasıyla 51,67 °C, 52,11 °C ve 54,78 °C ' lik merkez sıcaklıkları ölçülmüştür.

Hacimsel debi arttıkça nanoakışkan ile saf su arasında merkez noktadaki sıcaklık farkı azalmaktadır. Saf su ile nanoakışkan arasında 60 ml/dak, 120 ml/dak, 180 ml/dak debilerinde sırasıyla 1,08 °C, 0,87 °C ve 0,1 °C 'lik farklar oluşmaktadır.

Akışkanın soğutma bloğuna giriş sıcaklığı (T_2) ile soğutma bloğundan çıkış sıcaklığı (T_3) arasındaki farkı gösteren, $\Delta T_{\text{Kazanılan}}$ değeri hacimsel debi arttıkça azalmaktadır. Nanoakışkan kullanımı $\Delta T_{\text{Kazanılan}}$ değerini arttırmıştır.

Soğutucu bloğun etkinlik katsayısına baktığımızda; sistemde; saf su yerine, %1 hacimsel konsantrasyonda nanoakışkan kullanımı, etkinliği 60 ml/dak, 120 ml/dak, 180 ml/dak hacimsel debilerde, sırasıyla % 8,25, %5,83 ve %3,53 arttırmıştır.

$\Delta T_{\text{Kazanılan}}$ değeri azaldığından, ısı taşınım katsayısı artmaktadır. Sistemde nanoakışkan kullanımı ısı taşınım katsayısını 180 ml/dak hacimsel debide %18,3 arttırmıştır.

Sistemde nanoakışkan kullanımı, pompanın elektrik tüketimini hacimsel debi 60 ml/dak iken %2,9 120 ml/dak iken %8,54 ve 180 ml/dak iken %12,1 artmıştır.

KAYNAKLAR

- Ahammed, N., Asirvatham, L. G. ve Wongwises, S. (2016). Thermoelectric cooling of electronic devices with nanofluid in a multiport minichannel heat exchanger. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 74, 81-90.
- Bi, S. S., Shi, L. ve Zhang, L. L. (2008). Application of nanoparticles in domestic refrigerators. *Applied Thermal Engineering*, 28 (14), 1834-1843.
- Buongiorno, J., Hu, L. W., Kim, S. J., Hannink, R., Truong, B. A. O. ve Forrest, E. (2008). Nanofluids for enhanced economics and safety of nuclear reactors: an evaluation of the potential features, issues, and research gaps. *Nuclear Technology*, 162 (1), 80-91.
- Choi, S. U. S. (1998). Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles, developments and applications of Non-Newtonian flows. *D. A. Signer and H. P. Wang*, Eds. New York, USA: ASME.
- Czerniak, M. (2015). *What lies beneath? 50 years of enabling Moore's Law*. 24 Ağustos 2016, <http://electroi.com/blog/2015/11/what-lies-beneath-50-years-of-enabling-moores-law/>
- Duangthongsuk, W. ve Wongwises, S. (2009). Heat transfer enhancement and pressure drop characteristics of TiO₂-water nanofluid in a double-tube counter flow heat exchanger. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 52 (7), 2059-2067.
- El-Aawar, H. (2015). Increasing the transistor count by constructing a two-layer crystal square on a single chip. *International Journal of Computer Science ve Information Technology (IJCSIT)*, 7 (3), 97-105.

- Ijam, A. ve Saidur, R. (2012). Nanofluid as a coolant for electronic devices (cooling of electronic devices). *Applied Thermal Engineering*, 32, 76-82.
- Khaleduzzaman, S. S., Sohel, M. R., Saidur, R., Mahbubul, I. M., Shahrul I. M., Akash, B.A. ve 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.
- Khanafer, K., Vafai, K. ve Lightstone, M. (2003). Buoyancy-driven heat transfer enhancement in a two-dimensional enclosure utilizing nanofluids. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 46 (19), 3639-3653.
- Kulkarni, D. P., Das, D. K. ve Vajjha, R. S. (2009). Application of nanofluids in heating buildings and reducing pollution. *Applied Energy*, 86 (12), 2566-2573
- Leong, K. Y., Saidur, R., Kazi, S. N. ve Mamun, A. H. (2010). Performance investigation of an automotive car radiator operated with nanofluid-based coolants (nanofluid as a coolant in a radiator). *Applied Thermal Engineering*, 30 (17), 2685-2692.
- Mahian, O., Kianifar, A., Kalogirou, S. A., Pop, I. ve Wongwises, S. (2013). A review of the applications of nanofluids in solar energy. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 57 (2), 582-594.
- Mital, M. (2013). Semi-analytical investigation of electronics cooling using developing nanofluid flow in rectangular microchannels. *Applied Thermal Engineering*, 52(2), 321-327.
- Moore, G. E. (1965). Cramming more components onto integrated circuits. *Electronics Journal*, 38 (8).

- Naphon, P., Assadamongkol, P. ve Borirak, T. (2008). Experimental investigation of titanium nanofluids on the heat pipe thermal efficiency. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 35 (10), 1316-1319.
- Nguyen, C. T., Roy, G., Gauthier, C. ve Galanis, N. (2006). Heat transfer enhancement using Al₂O₃-water nanofluid for an electronic liquid cooling system. *Applied Thermal Engineering*, 27, 1501-1506.
- Putra, N. ve Iskandar, F. N. (2011). Application of nanofluids to a heat pipe liquid-block and the thermoelectric cooling of electronic equipment. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 35, 1274-1281.
- Rafati, M., Hamidi, A. A. ve Niaser, M. S. (2012). Application of nanofluids in computer cooling systems (heat transfer performance of nanofluids). *Applied Thermal Engineering*, 45, 9-14.
- Roberts, N. A. ve Walker, D. G. (2010). Convective performance of nanofluids in commercial electronics cooling systems. *Applied Thermal Engineering*, 30, 2499-2504.
- Selvakumar, P. ve Suresh, S. (2012). Convective performance of CuO/water nanofluid in an electronic heat sink. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 40, 57-63.
- Selvakumar, P. ve Suresh, S. (2014). Thermal performance of ethylene glycol based nanofluids in an electronic heat sink. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 14(3), 2325-2333.
- Sohel, M. R., Saidur, R., Khaleduzzaman, S. S. ve Ibrahim, T. A. (2015). Cooling performance investigation of electronics cooling system using Al₂O₃-H₂O nanofluid. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 65, 89-93.

Turgut. A. (2010). *Investigation of thermophysical properties of nanofluids*. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.

Yu, L., ve Liu, D. (2013). Study of the thermal effectiveness of laminar forced convection of nanofluids for liquid cooling applications. *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology*, 3(10), 1693-1704.

Zeydin. P. (2005). *Bilgisayar donanımı* (1. Baskı). İstanbul: Türkmen Kitabevi.

