

## Bir Nanoakışkanın Farklı pH Değerlerindeki Isı Transfer Katsayılarının Belirlenmesi ve Karar Ağacı Algoritması ile Modellenmesi

Mehmet DAŞ, Ahmet Beyzade DEMİRPOLAT\* 

Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi İliç Dursun Yıldırım Meslek Yüksekokulu  
24700 İliç, ERZINCAN,

Geliş / Received: 11/04/2019, Kabul / Accepted: 11/07/2019

### Öz

Boru içi akışlarda ısı transferini artırarak enerjiyi daha faydalı bir şekilde kullanabilmek önemlidir. Çünkü teknolojik gelişmelerle birlikte sanayi sektöründe artan bir enerji talebi mevcuttur. Bu nedenle araştırmacılar son yıllarda yeni nesil ısı transfer akışkanları üzerinde çalışmaktadırlar. Çalışmamızda, CuO (bakır oksit) nanopartikül üretimi yapıldı. Üretilen malzemenin nano malzeme özelliğine sahip olduğunu gösteren taramalı elektron mikroskopu (TEM) görüntü analizi ve X ışını kırınım yöntemi analizi (XRD) analizleri yapılmıştır. CuO nanopartiküllerle beraber saf su, etanol ve etilen glikol malzemeleri kullanılarak bir nanoakışkan elde edilmiştir. Elde edilen nanoakışkanın farklı pH değerlerinde ısı transfer katsayıları belirlenmiştir. Ayrıca farklı pH değerlerinde ısı transfer katsayıları ile Reynolds sayısı arasındaki ilişkiyi incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalarda Re değeri 887 ve 2290 iken ısı transfer katsayısı değeri sırasıyla 349,821 (W/m<sup>2</sup>°C) ve 374,253 (W/m<sup>2</sup>°C) olarak hesaplanmıştır. pH değeri 7.84 ve 9.95 iken ısı transfer katsayısı değeri sırasıyla 349,821 (W/m<sup>2</sup>°C) ve 374,253 (W/m<sup>2</sup>°C) olarak hesaplanmıştır. Deneysel çalışmalar ile hesaplanan ısı transfer katsayıları için karar ağacı (KA) algoritmaları kullanılarak tahminsel modeller elde edilmiştir. Elde edilen modellerin geçerliliğini belirlemek için, ortalama karesel hata (MSE), kök ortalama karesel hata (RMSE), ortalama mutlak yüzde hata (MAPE) analizleri yapılmıştır. Sonuç olarak pH değerleri arttıkça da nanoakışkanın ısı transfer katsayısı değerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Farklı Reynolds değerlerinde elde edilen nanoakışkanın ısı transfer katsayısı, Saf suya ait ısı transfer katsayısından yaklaşık %13.3 oranında daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Hesaplamalı zeka yöntemi olan KA algoritmasının nanoakışkanların termofiziksel özelliğini tahminlemesinde 0.891 MAPE değerine göre başarılı olduğu gösterilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Nanoakışkan, Nanomalzeme, Isı transfer katsayısı, Karar ağacı

## Determination of Heat Transfer Coefficients at Different pH Values of a Nanofluids and Modeling with Decision Tree Algorithm

### Abstract

It is important to be able to use the energy in a more beneficial way by increasing the heat transfer in the in-pipe flows. Because, with the technological developments, there is an increasing energy demand in the industry sector. For this reason, researchers have been working on new generation heat transfer fluids in recent years. In our study, nanoparticle production of CuO (copper oxide) was performed. Scanner electron microscope (SEM) image analysis and X-ray diffraction method analysis (XRD) analysis were performed to show that the material produced has the properties of nano material. A nanofluid was obtained using pure water, ethanol and ethylene glycol materials with CuO nanoparticles. Heat transfer coefficients were determined at different pH values of the obtained nanofluid. In the experimental studies, the Re value was 887 and 2290, whereas the heat transfer coefficient value was 349,821 (W/m<sup>2</sup> ° C) and 374,253 (W/m<sup>2</sup>°C), respectively. The pH value was 7.84 and 9.95, while the heat transfer coefficient was 349,821 (W/m<sup>2</sup>°C) and 374,253 (W/m<sup>2</sup>°C), respectively. Predictive models were obtained by using decision tress (DT) algorithms for heat transfer coefficients calculated by experimental studies. In order to determine the validity of the obtained models, mean square error (MSE), root mean square error (RMSE) and mean absolute percentage error (MAPE) analysis were performed. As a result, it was observed that the heat transfer

coefficient value of the nanofluid decreased as the pH values increased. It was calculated that the heat transfer coefficient of the nanofluid obtained at different Reynolds values was 13.3% higher than the heat transfer coefficient of pure water. It has been shown that the KA algorithm, which is a computational intelligence method, was successful in estimating the thermophysical properties of nanofluids according to the value of 0.891 MAPE.

**Keywords:** Nano fluid, Nano material, Heat transfer coefficient, Decision tree

## 1. Giriş

Boru içi akışlarda ısı transferini artırarak enerjiyi daha faydalı bir şekilde kullanabilmek günümüzde önem arz etmektedir. Çünkü teknolojik gelişmelerle birlikte sanayi sektöründe her geçen gün artan bir enerji talebi mevcuttur. Bu sebeple son yıllarda araştırmacılar yeni nesil ısı transfer akışkanları üzerinde çalışmaktadırlar (Maxwell, 1881). Günümüzde nanoteknolojik gelişmeler, nanometre boyutlarında partikül üretimine olanak sağladığından akışkan içine partiküllerin katılması gündeme gelmiştir. Özellikle metalik nanopartiküllerin üretiminde kullanılan teknikler; mikroemülsiyon tekniği, gaz fazı üretim tekniği olan asal gaz yoğunlaştırma, kimyasal buhar yoğunlaştırma ve hidrojen redüksiyonu tekniğini söyleyebiliriz (Gürmen, 2008). Üretilen bu nanopartiküller (1-100 nm boyutlu) ile geleneksel ısı transfer akışkanları olan su, sentetik yağ ve etilen glikol gibi bazı temel akışkanları belirli hacimsel ve kütesel oranlarda karıştırılarak yeni akışkanlar elde edilebilmektedir. Bu akışkanlar nanoakışkan olarak adlandırılmaktadır. Nanoakışkan terimini nanoparçacıkların süspanse edildiği akışkan olarak çalışmasında ilk kullanan Choi (1995), küçük hacimsel oranlarda (% 1 den daha az) nanopartikül eklenmesi durumunda baz alınan akışkanın ısı iletkenliğinin yaklaşık olarak iki katına çıktığını gözlemlemiştir.

Nanoakışkanların gelişmiş ısı iletkenlikleri, yüksek soğutma oranları, düşük pompalama gücü, daha küçük ve hafif soğutma sistemleri, düşük sürtünme katsayısı ve geliştirilmiş aşınma direnci gibi birçok fayda sağlamaktadır. Son zamanlarda sürtünme ile ilgili yapılan çalışmalar, nanopartikül (MoS<sub>2</sub>, CuO, TiO<sub>2</sub>, elmas, vs.) katkılı yağlama yağlarının yük-taşıma kapasitesi, aşınma önleyici ve sürtünme azaltıcı özelliklerini geliştirdiğini göstermiştir (Xu, 1996; Verma, 2007). Bu özellikler nanoakışkanları; imalat,

ulaşım, enerji, ve elektronik dahil, v.b. sanayideki birçok soğutma yağlama uygulamalarında cazip hale getirmiştir. Isı transferini iyileştirmeye yardımcı olan nanopartiküllerin; nanoakışkanın karakteristiği üzerindeki etkisinde, nanoakışkanların hazırlanmasının, nanoakışkanların termofiziksel özelliklerinin ve ısı transferi ölçüm tekniklerinin doğru bir şekilde uygulanması oldukça önemlidir.

Literatürde nanoakışkanların termofiziksel özellikleriyle ilgili birçok değerli çalışma mevcuttur. Fotukian ve vd. (2010), CuO/su (hacimsel olarak % 0.24 den az) türbülans taşınım ısı transfer katsayısı ve basınç kaybı deneysel olarak incelenmiştir. Isı transfer katsayısındaki artma ortalama % 25 ile basınç kaybındaki %20 azalma elde etmişlerdir. Çalışmada, nanopartiküllerin cidara vurup, ısı enerjisini absorbe edip, cidar sıcaklığını düşürerek, geri gelip nanoakışkanla karışmasının ısı performansı arttıracığı düşünülmüştür. Bu çalışmalar Tablo 1 de verilmiştir. Wang ve vd. (1999), mekanik karıştırma yöntemiyle hazırladıkları % 5 oranındaki Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (28 nm) – distile su nanoakışkanının da etkili viskozitenin % 86'a arttığını gözlemlemişlerdir. Diğer taraftan, Pak ve Cho (1998), elektrostatik iteleme ve düzenlenmiş pH yöntemiyle % 10 oranlı Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (13 nm) – su ve TiO<sub>2</sub> (27 nm) – su nanoakışkanlarının ikisinde de suya göre birkaç kat fazla viskozite elde etmişlerdir. Weerapun ve arkadaşları (2010), yatay borudan akan TiO<sub>2</sub>/su nanoakışkanının türbülanslı akış rejimindeki sürtünme faktörü ve ısı transfer katsayısını tespit etmişlerdir. Isı transfer katsayısı % 1.0 hacim oranında suya göre % 26 daha fazla, aynı koşullarda % 2.0 hacim oranında temel akışkandan % 14 daha az olduğunu belirtmişlerdir.

Nanoakışkanlarda ısı transfer katsayısı iyileştirmesi hakkında literatürde birçok faydalı çalışma mevcuttur. Tablo 1 de nanoakışkanlarda

ısı transferi üzerine yapılan deneysel çalışmalar verilmiştir. Bu çalışmalar temel akışkan, nanopartikül cinsi, partikül boyutu, nanoakışkandaki partikül hacimsel oranı, nanoakışkanın içerisinde bulunduğu boru

özellikleri, akış rejimi ve ısı transferi iyileştirme sonucu olarak sınıflandırılmıştır.

**Tablo 1.** Nanoakışkanların taşınım ısı transferi ile ilgili yapılan deneysel çalışmaların özeti

Yazar	Temel akışkan	Partikül	Partikül boyutu	Hacimsel oran(%)	Boru Özellikleri	Akış rejimi, <i>Re</i>	Sonuç
Pak ve Cho(1998)	Su	g-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> TiO <sub>2</sub>	13nm 27nm	1-3 1-3	1.066cm çap 480cm uzunluk boru	Re=104- 105(türbülans)	Artan oran ve <i>Re</i> sayısı ile <i>Nu</i> sayısı artmıştır.
Eastman ve ark.(2001)	Su	CuO	<100nm	0.9	Bakır boru	Türbülans	Taşınım ısı transfer katsayısı temel akışkana kıyasla >%15 artmıştır
Xuan ve Li(2000)	Su	Cu	<100nm	0.3.0.5.0.8.1. 1.2. 1.5. 2	10mm çap 800cm uzunluk Pirinç boru	Re=10000-25000 (türbülans)	Artan akış hızı ve oran ile taşınım ısı transfer katsayısı da artmıştır.
Xuan ve Li (2003)	Su	Cu	26nm	0.5. 1. 1.5. 2	D=1.29mm hidrolik	Re=200-2000 (laminar)	%2 oranda <i>Nu</i> sayısında %39 artış sağlanmıştır.
Zhou vd.(2010)	Aseton	Cu	80- 100nm	0.0-4.0g/l	16 mm çap 200 mm uzunluk bakır boru	Liminar	Taşınım ısı transfer katsayısı Cu partikül artışıyla artmıştır.
Williams vd. (2008)	Su	ZrO <sub>2</sub>	46nm	0.9-3.6 0.2-0.9	1.27cm çap 1.65 mm uzunluk boru	9000< <i>Re</i> <63000	Önemli ölçüde ısı transfer artışı gözlemlenmiştir.
Fakoor vd. (2012)	Yağ	CNT	5-20 2-6nm 1-10µm	0.1.0.2.0.4 % ağırlıkça	Helisel boru	Liminar	Temel akışkana göre daha yüksek <i>Nu</i> , artan <i>Re</i> sayısı ve oranla artış gözlenmiştir.
Sajadi ve Kazemi (2011)	Su	TiO <sub>2</sub>	30nm	0.05.0.1.0.15. 0.20. 0.25	Bakır boru	Re=5000-30000	Artan oranla ısı transferinde artış, yüksek basınç düşüşü

Nanoakışkanların ısı iletkenliği çeşitli parametrelere bağlıdır. Bunlar nanoakışkanın viskozitesi, temel akışkanın ısı iletkenliği, katı partikülün özellikleri (yoğunluğu, özgül ısısı gibi) ve nanopartikülün hacimsel boyutlarının oranıdır. Bu özelliklerin yanı sıra nanoakışkanın ısı iletkenliği nanopartikül kümesinin topaklanma yüzde içeriği ve dönme yarıçapıyla bağlantılı olarak da değişim göstermektedir. Akışkana süspansiyon edilmiş nanopartiküllerin dönme yarıçapı küçüldükçe nanoakışkanların ısı iletkenliği o oranda büyür. Nedeni küçük kümeler birim zamanda daha hızlı ve daha uzağa hareket edebilirler ve nanoakışkan içerisinde daha fazla enerji taşınımına sebep olurlar (Xuan vd., 2003). Temel akışkana göre katı metallerin ısı iletkenliği daha yüksek olduğu için akışkanın içerisine katılan küçük katı metaller, ısı iletkenliği arttırmaktadır (Gonçalves vd. 2009).

Son zamanlarda, hemen hemen her alanda hesaplamalı zeka yöntemleri kullanılmıştır. Tasarım, inovasyon, üretim ve gelişim gibi

özellikler için farklı yöntemlerde öngörücü bir model elde etmek önemlidir. Literatürde, destek vektör regresyonu (DVR), çok katmanlı algılayıcı (MLP), yapay sinir ağı (YSA), karar ağacı (KA) gaussian radyal tabanlı fonksiyon (GA-RBF) ve destek vektör makinesi (DVM) kullanılarak çeşitli nanoakışkanların termodinamik özelliklerinin tahminsel bir modelinin oluşturulması için farklı çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar Tablo 2'de gösterilmektedir.

**Tablo 2.** Literatürde nanoakışkanların termofiziksel özelliklerinin tahmin edici modelleri

Nanoakışkan	Termofiziksel Özellik	Veri Sayısı	Metot	Hata Analizi	Hata Analizi Sonucu	Referans
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , CuO, TiO <sub>2</sub> ve SiO <sub>2</sub>	Isı transferi katsayısı	274	DVR	RMSE	1.11	Alade ve diğ. 2018
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , TiO <sub>2</sub> , SiO <sub>2</sub> ve CuO-su	Viskozite	3144	MLP	RMSE	0.1	Hemmati-Sarapardeh ve diğ. 2018
TiO <sub>2</sub> /SAE 50 nano-lubricant	Viskozite	174	GA-RBF	RMSE	0.58	Esfe ve diğ. 2018
CuO-su, etanol ve etilen glikol	Viskozite	420	KA	RMSE	0.143	Demirpolat ve Daş 2019
MWCNTs/ su	Viskozite	268	YSA	MSE	0.28	Afrand ve diğ. 2016
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /EG	Isı transferi katsayısı	154	DVM	MSE	8.6x 10 <sup>-5</sup>	Ahmadi ve diğ. 2019
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /su	Isı transferi katsayısı	84	MLP	RMSE	0.348	Ahmadi ve diğ. 2018

Tablo 2, nano-akışkan tipini, termofiziksel özellikleri, veri sayısını, tahmin yöntemini, hata analizi tipini ve hata analizinin sonuçlarını göstermektedir. Çalışmamızda nano-akışkanların ısı transfer katsayısını tahmin etmek için kullanılan karar ağacı algoritmasının MAPE hata analizi sonucu (0.891), Tablo 2'deki çalışmaların hata analizi sonuçlarına yakındır. Genel olarak hata analiz sonucu 1 den küçük olan tahminsel modelleme çalışmaları, başarılı olarak değerlendirilebilmektedir (Ramsay, 2004). Bu çalışmada, CuO nano partikül üretimi yapılmış olup daha sonra üretilen partiküllerin SEM görüntü analizi ve X ışını kırınım yöntemi analizi (XRD) analizlerin sonucunda nano partikül üretiminin başarılı olduğu görülmüştür. Üretilen Nano partiküllerle beraber Saf Su, Etanol ve Etilen Glikol malzemeleri kullanılarak nanoakışkanlar elde edilmiş ve akışkanlar deney düzeneğinden geçirilerek ısı transfer katsayılarını belirlemek için deneyler yapılmıştır. Tüm deneylerde Reynolds sayısı 846 ile 2292 arasında değişmektedir. CuO için elde edilen ısı taşınım

katsayısı için hesapsal zeka yöntemi olan karar ağacı (KA) algoritması kullanılarak tahminsel bir model oluşturulmuştur. Elde edilen tahminsel modelin hata analizleri yapılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada laboratuvar ortamında üretilen bir nano akışkanın farklı pH larda ısı transfer katsayıları hesaplanmıştır. Hesaplanan ısı transfer katsayıları için KA kullanarak tahminsel bir model geliştirilmiştir.

### 2.1. CuO Nanoakışkan Üretimi

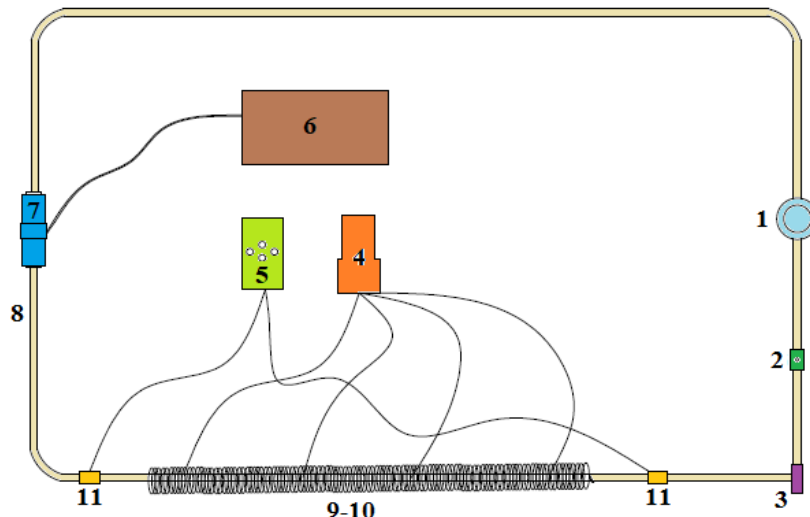
Nanomaterial üretiminde, maddenin çözünmeyen bir forma dönüştürülmesi veya maddenin içindeki çözünürlüğünün azaltılması için çözücünün bileşiminin değiştirilmesi metodu olan Kimyasal Karışım metodu kullanılmıştır (Suresh, 2013). CuO nano partikül üretimi için CuO partikül üretimi 3,633 gram (0,02 mol) Bakır Asetat 100 ml etanol içerisinde ultrasonik banyoda 30 dakika çözülmüş olup daha sonra oluşan karışım ile 200 ml saf su içerisinde 8 gram (0,2 mol) NaOH (Sodyum Hidroksit) 30 dakika ultrasonik

banyoda çözündürüldükten sonra oluşan karışımlar birleştirilerek balıklı karıştırıcıda 1 saat süre boyunca karıştırılmıştır. Karışımı değişik pH oranlarında elde etmek için 10 ml lik beherle karışıma amonyak eklenerek farklı pH oranlarında karışımlar elde edilmiştir. Karışım hazırlandıktan sonra 20 saat çökmeye bırakılmıştır. Bekleme işlemi bitince Süzgeç kâğıdı konularak hunilerde filitreleme işlemi yapılmış ve malzeme 50 °C de kurutma işlemine tabi tutulmuş olup en son olarak oluşan malzeme 1 saat süre boyunca 450 °C de ısıl işlem görmüştür.

Nanoakışkan üretimi için , literatürde en çok kullanılan İki Adım metodu uygulanmıştır (Liu ve diğ., 2005). İki Adım metodunda ilk önce kimyasal veya fiziksel metodlar kullanılarak nanopartiküller, nano fiberler, nanotüpler ve diğer nanomateryaller kuru toz olarak partiküller halinde üretilmiştir. İkinci aşama olarak nano boyuttaki bu tozlar; su ve baz alınan akışkan içerisinde dağıtılmıştır. Bu karışım içerisinde partikülleri stabil hale getirerek homojen dağılım elde etmek için ultrasonik karıştırma işlemi yapılmıştır (Çiftçi, 2009). Nano partikül üretimi yapıldıktan sonra Nanoakışkan üretimi için Kullanılan malzemeler; %57,1 Saf Su, %28,6

Etilen Glikol, %14,3 Ethanol ve üretilen nano malzemelerden % 0,1 oranında oluşan karışıma nano partikül katıldıktan sonra 45 dakika ultrasonik karıştırıcıda karıştırılan karışım ilave 15 dakika balıklı karıştırıcıda karıştırılarak nanoakışkan deney düzeneğinde kullanılmaya hazır hale gelmiştir. Farklı pH lardaki CuO nanoakışkan üretiminden önce nano partiküller için belirlenen pH değerleri değişiklik göstermektedir. Bunun nedeni nano akışkan üretilirken farklı malzemeler kullanıldığı için üretilen akışkanın içeriğinin değişmesidir. Üretilen Nanoakışkanın yoğunluğu belirlendikten sonra pH ölçüm cihazında üretilen nanoakışkanların pH'ı belirlenir.

Deneysel üretilen nanoakışkanlar için 846 ile 2292 değerleri arasında 5 farklı Reynolds değerleri için deneyimizde akışkanın 5 dakika aralıklarla giriş,çıkış sıcaklığı ve boru yüzeyinden 4 farklı noktadan ölçülen sıcaklık değerleri sıcaklıklar stabil duruma gelene kadar Thermo Couplelar yardımıyla ölçülmüştür. Elde edilen verilerle ısı iletim katsayısı ve ısı transfer katsayıları hesaplanmıştır. Isı transfer katsayısı hesabı için kullanılan deney düzeneği Şekil 1.'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Deney Düzeneği

1-Akışkan haznesi, 2-Debi ayar vanası, 3-Akışkan pompası, 4-Isıl çift ekranı, 5-Akışkan termometresi, 6-Elektronik debi ölçüm cihazı, 7- Debi ölçüm sensörü, 8- Plastik boru, 9- Isı bantı, 10- Bakır boru 11- T Bağlantı

Şekil 1 de görüldüğü gibi akışkan haznesinde bulunan nanoakışkan debi ayar vanasıyla debisi

ayarlandıktan sonra pompa yardımıyla ısı bantlı bakır boruya gönderilmiştir. Bakır borudan

Laminar akışta geçen nanoakışkanın termocouplelar yardımıyla borunun yüzeyindeki 4 ayrı noktadan sıcaklık ölçümleri alınmıştır. Nanoakışkanın bakır boruya giriş ve çıkış sıcaklıkları akışkan termometresi yardımıyla ölçülmüştür. Nano akışkanın debi ölçüm cihazı yardımı ile hacimsel debisi belirlenmiştir.

## 2.2. TEM ve XRD analizleri

Taramalı Elektron Mikroskopunda (TEM) görüntünün elde edilme aşamaları şu şekilde sıralanmakta; yüksek voltaj ile hızlandırılmış elektronların numune üzerine odaklanması daha sonra bu elektron demetinin numune yüzeyinde taratılması sırasında elektron ve numune atomları arasında oluşan çeşitli etkileşimler sonucunda meydana gelen etkilerin uygun algılayıcılarda toplanması ve sinyal güçlendiricilerinden geçirildikten sonra bir katot ışınları tüpünün ekranına aktarılmasıyla görüntü elde edilir. Modern sistemlerde bu algılayıcılardan gelen sinyaller dijital sinyallere çevrilip bilgisayar monitörüne verilmektedir. Gerek ayırım gücü (resolution), gerek odak derinliği (depth of focus) gerekse görüntü ve analizi birleştirebilme özelliği, taramalı elektron mikroskopunun kullanım alanını genişletmektedir (Gil vd., 2018).

X-ışını Kırınım yöntemi (XRD), her bir kristalin fazın kendine özgü atomik dizilimlerine bağlı olarak X-ışınları karakteristik bir düzen içerisinde kırması esasına dayanır. Her bir kristalin faz için bu kırınım profilleri bir nevi parmak izi gibi o kristali tanımlar. X-ışını kırınım analiz metodu, analiz sırasında numuneyi tahrip etmez ve çok az miktardaki numunelerin dahi (sıvı, toz, kristal ve ince film halindeki) analizlerinin yapılmasını sağlar. X-ışını kırınım cihazıyla kayaçların, kristalin malzemelerin, ince filmlerin ve polimerlerin nitel ve nicel incelemeleri yapılabilir (Jothibas vd., 2018).

## 2.3. Isı Transferi Katsayılarının Belirlenmesi

Sıcaklık farkının bulunduğu bütün ortamlarda ve ortamlar arasında ısı transferi muhakkak meydana gelir. Hareketsiz bir katı veya bir akışkanın bulunduğu ortam içinde, sıcaklık farkından dolayı gerçekleşen ısı transferi adlandırılırken, iletim terimi kullanılır. Bunun yanısıra, bir yüzey

ile hareket halindeki bir akışkan farklı sıcaklıklarda ise, aralarında gerçekleşen ısı transferi, taşınım terimi olarak anılır (Çengel,2010).

Deneysel çalışmalardaki nanoakışkanın ısı taşınım katsayısı hesaplamalarında Eşitlik 1 kullanılmıştır.

$$Q = hA(T_w - T_f) \quad (1)$$

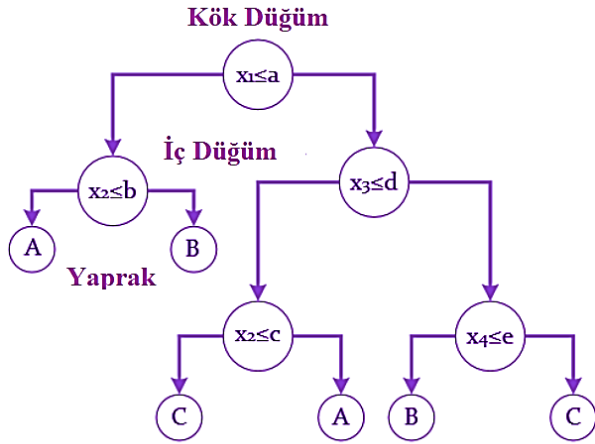
Burada Q duvarla hareketli sıvı arasındaki ısı transferidir. A ise katı-sıvı arasındaki ortak yüzey alanıdır.  $T_w$  yüzey sıcaklık ortalaması,  $T_f$  ise sıvının giriş ve çıkış sıcaklığı ortalamasıdır (Çengel,2010).

## 2.4. Verilerin Karar Ağacı Algoritması ile Modellenmesi

Karar ağacı (KA) algoritması, literatürde son yıllarda yaygın olarak kullanılan bir sınıflandırma ve kalıp tanımlama algoritmasıdır. Bu yöntemin yaygın olarak kullanılmasının en önemli nedeni, ağaç yapılarını oluşturmak için kullanılan kuralların anlaşılabilir ve basit olmasıdır (Safavian, 1991). Bir karar ağacının temel yapısı, Şekil 2'de gösterildiği gibi, düğüm, dal ve yaprak adı verilen üç temel bölümden oluşur. Bu ağaç yapısında, her bir nitelik (Hava hızı, Sıcaklık vb.) Bir düğüm ile temsil edilir. Dallar ve yapraklar ağaç yapısının diğer unsurlarıdır. Ağacın son kısmına ve ağacın üst kısmına kök denir. Kökler ve yapraklar arasındaki kısımlar dallar olarak ifade edilir (Pal, 2003). Başka bir deyişle, bir ağaç yapısı; veri, iç düğümler (dallar) ve son düğümler (yapraklar) içeren bir kök düğümü. Eğitim verilerinin öznitelik bilgilerini kullanarak bir karar ağacı yapısının oluşturulmasında temel ilke, veriler hakkında bir dizi soru olarak ifade edilebilir ve en kısa sürede elde edilen cevaplara göre sonuçlandırılarak sonuçlandırılabilir. Bu şekilde karar ağacı, soruların cevaplarını toplar ve karar kuralları oluşturur. Ağacın ilk düğümü olan kök düğümü, verilerin ve ağacın yapısının sınıflandırılması için sorular sormaya başlar ve bu işlem dalsız veya düğümsüz dallar bulunana kadar devam eder (Pal, 2003).

Şekil 2, üç sınıfın dört boyutlu özellik değerlerinden oluşan basit bir karar ağaç yapısını gösterir. Şekilde xi özellik değerleri; A, b, c, d ve e değerleri, dallanma ve A, B ve C sınıfı etiketleri

için eşik değerlerini temsil eder (Alic ve diğ. 2019).



Şekil 2. Dört boyutlu özellik alanı olan üç sınıftan oluşan KA yapısı

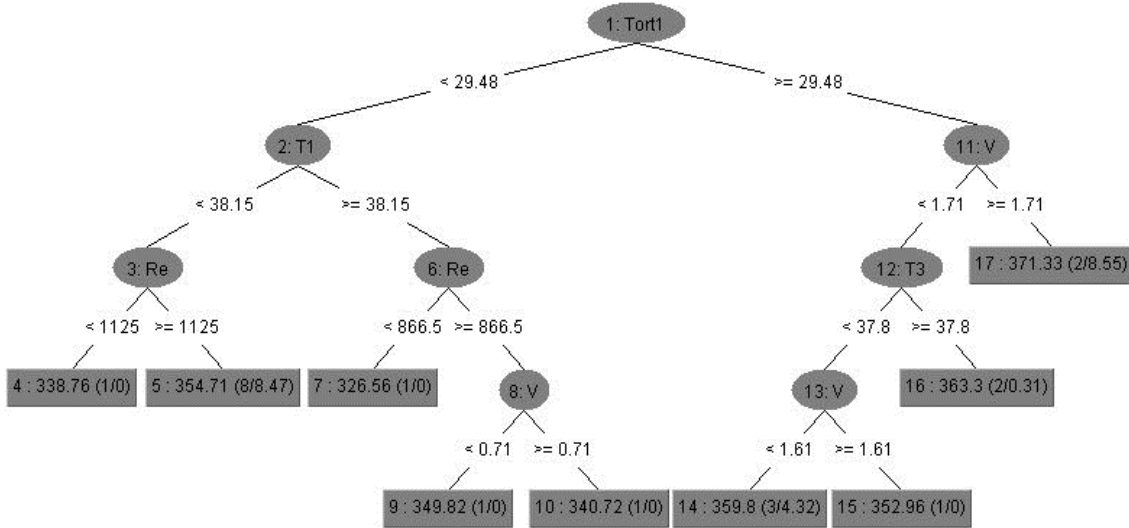
Karar ağacı algoritmasında tahminsel modeli oluşturmak için deneylerde kullanılan akışkana ait Reynolds sayısı (Re), akışkan hızı (V), akışkanın boruya giriş sıcaklığı ( $T_g$ ), çıkış sıcaklığı ( $T_c$ ), giriş ve çıkış sıcaklığı ortalaması ( $T_{ort1}$ ), boru yüzey yüzey sıcaklıkları ( $T_{1,2,3,4}$ ) ve

yüzey sıcaklıkları ortalaması ( $T_{ort2}$ ) giriş bilgisi olarak alınmıştır. Çıkış bilgisi olarak akışkanın ısı transfer katsayısı (h) kullanılmıştır

Nanoakışkanın h değerlerini tahmin etmek için kullanılan KA algoritması MATLAB 2018b yazılımı kullanılarak uygulanmıştır. MATLAB yazılımında KA metodu için MSP algoritması kullanılmıştır.

Şekil 3, karar ağacı algoritması tarafından h değerlerini tahmin etmek için kullanılan ağaç yapısını göstermektedir. Şekil 3'te, ısı transfer katsayısı (h), karar ağacındaki  $T_{ort1}$ , T1, V, T3 ve Re değerlerine bağlı olarak ağaç dallarındaki kurallara göre hesaplanmıştır.

Şekil 3'te, ortalama sıcaklık ( $T_{ort1}$ ) parametresi ağacın kök kısmını oluşturur. T1 ve V iç düğümü, Re ve T3 dalları oluşturur. 4,5,7,9,10,14,15,16 ve 17 numaralı kısım ise yaprakları oluşturur. KA algoritması, veriler dallardaki kararlarla ayrılana ve yaprak değerlerine ulaşana kadar kurallar uygulamaya devam eder. KA algoritması kuralları ve kökleri rastgele ayarlar.



Şekil 3. Ağaç Yapısı

KA ile elde edilen tahminsel modelin doğruluğunu belirlemek için MSE, RMSE ve MAPE analizleri yapılmıştır. Hata analizleri Tablo 3.'de gösterilmiştir

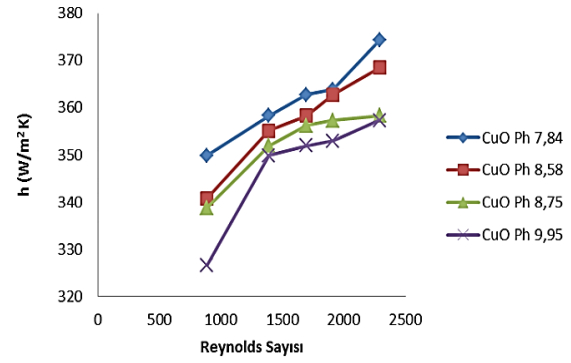
**Tablo 3.** Hata analizleri, formülleri ve parametreleri

Hata Analizi	Formülü	Parametreler
MSE	$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - A_i)^2$	P: Tahmin Değeri A: Gerçek Değer n: Toplam Hata Değeri
RMSE	$\sqrt{\frac{(P_1 - A_1)^2 + \dots + (P_n - A_n)^2}{n}}$	P: Tahmin Değeri A: Gerçek Değer n: Toplam Hata Değeri
MAPE	$\sum_{p=1}^P \left  \frac{d_p - z_p}{d_p} \right  \times \frac{100}{P}$	d: Tahmin Değeri z: Gerçek Değer P: Toplam Tahmin değerler

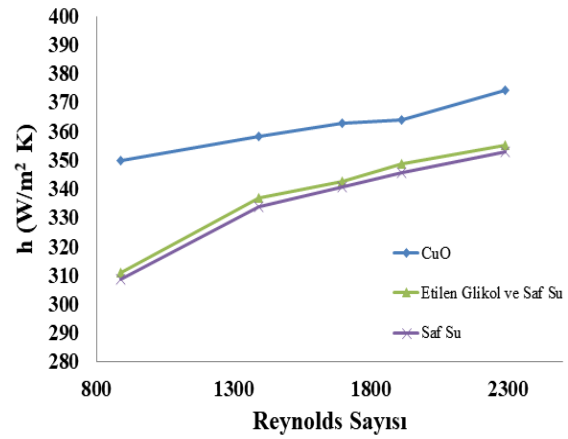
### 3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada üretilen nanomalzemeler kullanılarak elde edilen nanoakışkanlar için çeşitli pH lardaki CuO nanoakışkanlarının ısı transfer katsayısının, Reynolds sayısı 800 ile 2300 arasında arttığı görülmektedir. Şekil 4 incelendiğinde pH ile ısı transfer katsayısının arasında ters orantı olduğu görülmektedir. Nedeni ise nanomalzemeler üretilirken pH seviyelerini yükseltmek için kullanılan akışkanın; % 25'i NH<sub>3</sub> ve %75'i su olduğundan akışkanın özgül ısısının CuO nanoakışkanın dan daha düşük olmasıdır.

Şekil 5'de %33 Etilen Glikol- %67 Saf su karışımı, Saf su ve üretilen nano akışkanın ısı transfer katsayısının Reynold sayısına göre değişimi gösterilmiştir. Isı transfer katsayısı için saf suya göre ortalama CuO' da %13.3 oranında iyileşme görülmektedir.



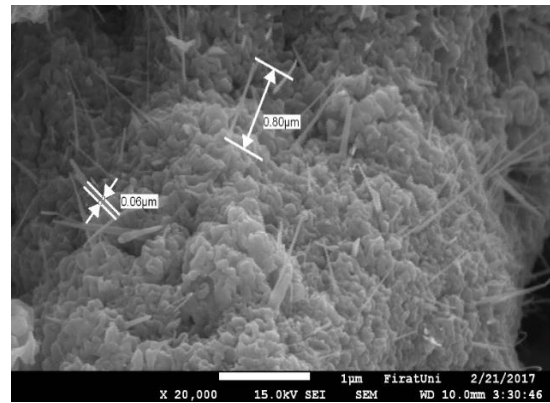
**Şekil 4.** CuO pH değerleri kıyası için ısı transfer katsayısının Reynolds sayısına göre değişimi



**Şekil 5.** Akışkanların ısı transfer katsayılarının Reynolds sayısına göre değişiminin kıyaslanması

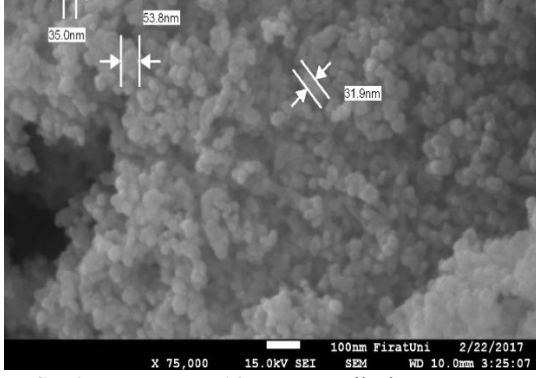
### 3.1 Malzemelerin SEM Görüntüleri

SEM görüntü cihazı ile görüntülenen farklı pH lardaki nano partikül görüntüleri sırasıyla Şekil 6-9.'da gösterilmiştir.

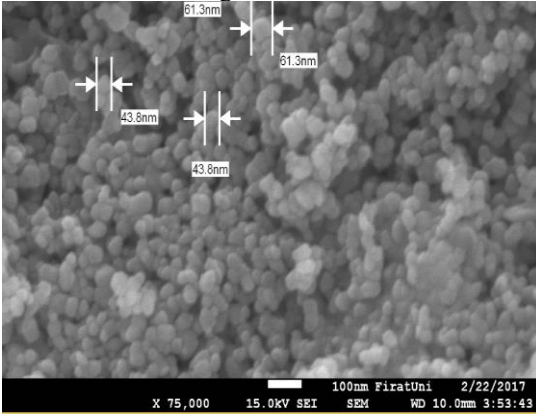


**Şekil 6.** CuO pH 7 nano partikülünün TEM görüntüsü

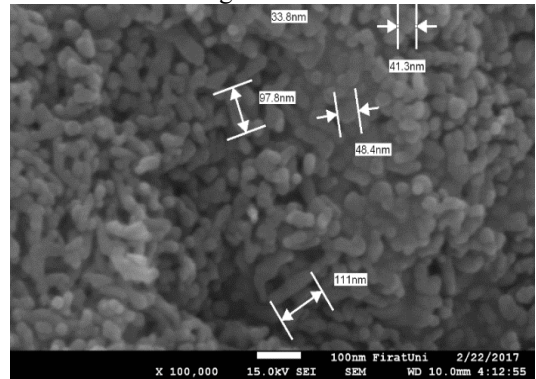




Şekil 7. CuO pH 10 nano partikülünün TEM görüntüsü



Şekil 8. CuO pH 12 nano partikülünün TEM görüntüsü

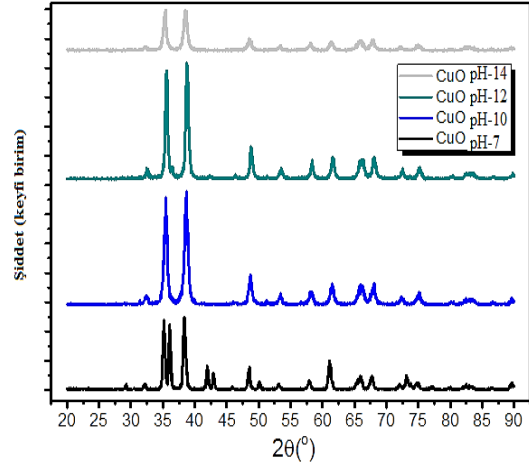


Şekil 9. CuO pH 14 nano partikülünün TEM görüntüsü

Boyutları 100 nm'ye eşit veya daha az olan tozlar olarak tanımlanan nanoparçacıklar, nano ölçekli malzemelerin ve dolayısıyla nanoteknolojinin temelini oluşturur (Miller, 2004). Şekil 5-8 deki SEM analiz görüntülerine göre çeşitli pH larda üretilen CuO nano partiküllerinin morfolojik yapıları ve boyutları incelendiğinde nano partikülleri içerisinde mikron boyutu 100 nm ye eşit ve küçük partikül görüntüsü elde edildiğinden üretimde başarılı olunduğu görülmüştür (Miller, 2004).

### 3.2 Malzemelerin XRD Analiz Sonuçları

XRD cihazı ile incelenen farklı pH lardaki nano partiküllerin analiz sonuçları Şekil 10.'da gösterilmiştir.



Şekil 10. XRD (X-ışını Kırınım) CuO nano partiküllerinin analizi sonuçları

Şekil 10.'da gösterilen XRD analizinin sonucunda elde edilen desen, kristallerin monoklinik bir yapıya sahip tek fazlı CuO yapıya sahip olduğunu göstermiş olup ortalama kristal boyutu (D), en yoğun kırınım pikinden (002) den hesaplanmıştır. Toz örneklerin ya da ince filmlerin X-ışını kırınım deseni elde edildikten sonra yapılan kalitatif analizlerde, ICDD kartlarında bulunan yaklaşık 200000 civarında madde ile karşılaştırma yapılarak fazlar belirlenmektedir. XRD deseni literatürde ICDD referans kartı No: 045-0937 ile eşleşmiştir (Martin, 1991). Başka saf olmayan zirveler tespit edilmemiş ve XRD analiz sonuçlarının neticesinde CuO nano tozunun sentezi nano partikül üretimin başarılı olduğunu göstermiştir.

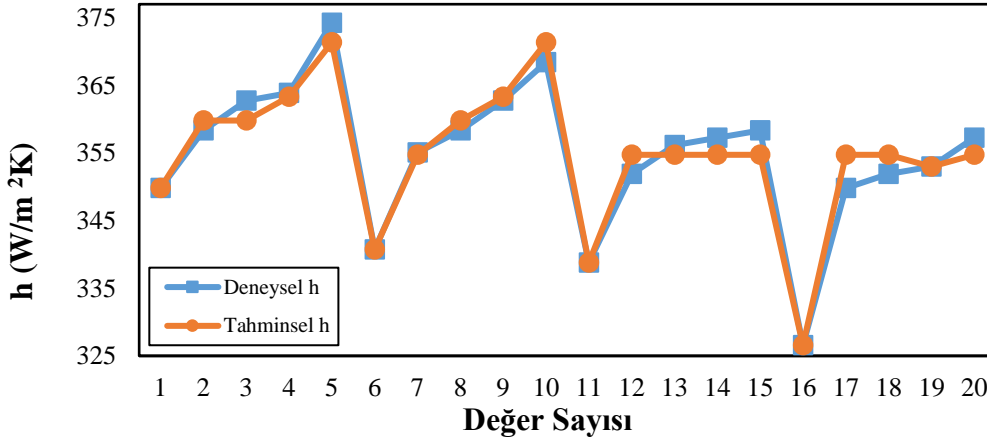
CuO nanoakışkanın ısı taşınım katsayıları için oluşturulan KA tahminsen model için hata analiz sonuçları Tablo 4.'de gösterilmiştir.

Tablo 4. KA Hata Oranları

KA hata oranları	
MSE	1.029
RMSE	1.971
MAPE	0.891

Şekil 11.'de deneysel ve tahminsel ısı taşınım katsayıları gösterilmiştir. Şekil 10.'a göre KA

algoritması kullanılarak tahmin edilen  $h$  değerleri, deneysel verilerle elde edilen  $h$  değerlerine yakındır. En iyi tahmin 16. değerde, en kötü tahmin ise 17. değerde gerçekleşmiştir.



Şekil 11. KA kullanılarak elde edilen tahminsel  $h$  değerleri ve deneysel olarak hesaplanan  $h$

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada, CuO nano partikül üretimi yapıldıktan sonra üretilen partiküllerin TEM görüntü analizi ve XRD analizleri yapılarak nano partikül üretimin başarılı olduğu Şekil 6-10 incelendiğinde görülmüştür. Üretilen Nano partiküllerle beraber Saf Su, Etanol ve Etilen Glikol malzemeleri kullanılarak üretilen

nanoakışkanlar deney düzeneğinden geçirilerek elde edilen değerlerle ısı transfer katsayıları hesaplanmıştır. Tablo 5'de pH ve Reynolds değerleri değişimi ile ısı transfer katsayısı değişimi gösterilmiştir. Yapılan hesaplamalar doğrultusunda pH değerleri arttıkça nanoakışkanın ısı transfer katsayısının azaldığı, Saf su ve Etilen Glikol-Saf su karışımına göre ısı transfer katsayısının arttığı gözlemlenmiştir.

Tablo 5. Akışkanların Reynolds sayısına göre ısı transfer değerleri

Re	CuO 7.84(pH)	CuO 8.58(pH)	CuO 8.75(pH)	CuO 9.95(pH)	%33 Etilen Glikol + %67 Saf Su	Saf Su
	$h$ (W/m <sup>2</sup> °C)	$h$ (W/m <sup>2</sup> °C)	$h$ (W/m <sup>2</sup> °C)	$h$ (W/m <sup>2</sup> °C)	$h$ (W/m <sup>2</sup> °C)	$h$ (W/m <sup>2</sup> °C)
887	349.821	340.722	338.764	326.565	311.054	308.612
1391	358.328	355.090	351.910	349.821	336.827	333.965
1695	362.738	358.328	356.163	351.910	342.702	340.722
1912	363.857	362.738	357.242	352.963	348.786	345.717
2290	374.253	368.406	358.328	357.242	355.089	352.963

KA algoritması kullanılarak oluşturulan tahminsel modeli ile tahmin edilen  $h$  ve gerçekte ölçülen  $h$  değerleri Şekil 11'de görüldüğü gibi birbirine benzerlik göstermektedir. Nanoakışkanlara ait  $h$  değerleri tahminsel model için KA'nın hata analiz sonuçlarına (Tablo 4) göre başarılı bir modelleme olduğu sonucuna varılmıştır. Farklı termofiziksel özelliklere sahip nanoakışkanlar kullanılarak daha fazla veri elde edilebilir ve elde edilen bu veriler kullanılarak

farklı hesapsal zeka yöntemleri yardımıyla daha az hatalı tahminsel modeller elde edilebilir.

#### 5. Kaynaklar

Afrand, M. A. Nadooshan, A. Hassani, M. Yarmand, H. and Dahari. M., 2016 Predicting the viscosity of multi-walled carbon nanotubes/water nanofluid by developing an optimal artificial

- neural network based on experimental data, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol.77, pp.49-53.
- Ahmadi M. H., M. Ahmadi, A. Nazari M. A., Mahian O. and Ghasempour, R., 2019 A proposed model to predict thermal conductivity ratio of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/EG nanofluid by applying least squares support vector machine (LSSVM) and genetic algorithm as a connectionist approach, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, vol.135(1), pp.271-281.
- Ahmadi, M. H., Tatar, A., Seifaddini P., et al. 2018. Thermal conductivity and dynamic viscosity modeling of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/water nanofluid by applying various connectionist approaches, *Numerical Heat Transfer, Part A: Applications*, vol.74(6), pp.1301-1322.
- Alade, I. O., Oyehan, T. A. et. al. 2018. Modeling thermal conductivity enhancement of metal and metallic oxide nanofluids using support vector regression, *Advanced Powder Technology*, vol.29(1), pp.157-167.
- Alic, E. Das, M. Kaska, O. 2019. Heat Flux Estimation at Pool Boiling Processes with Computational Intelligence Methods. *Processes* 2019, 7, 293.
- Choi, S.U.S., 1995. Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles, *The Proceedings of the 1995 ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition*, San Francisco, USA, ASME, FED 231/MD 66, 99–105.
- Çengel Yunus A., 2010. Isı Ve Kütle Transferi Pratik bir Yaklaşım 3. Basım, 467- 468.
- Çifci H., 2014. Küresel Yüzeylerde Nanoakışkanlarda Kaynama Isı Transferinin Deneysel Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi.
- Demirpolat, A.B. Das, M., 2019 Prediction of Viscosity Values of Nanofluids at Different pH Values by Alternating Decision Tree and Multilayer Perceptron Methods, *Appl. Sci.* vol.9, 1288.
- Eastman, J. A., Choi, S. U. S., Li, S., Yu, W., Thompson, L. J., 2001. Anomalously Increased Effective Thermal Conductivity of Ethylene Glycol-Based Nanofluids Containing Copper Nanoparticles, *Applied Physics Letters*, 78, 718–720.
- Esfe, M. H. A. Tatar, Ahangar M.R.H. and Rostamian, H., 2018. A comparison of performance of several artificial intelligence methods for predicting the dynamic viscosity of TiO<sub>2</sub>/SAE 50 nano-lubricant, *Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures*, vol. 96, pp. 85-93.
- Fakoor, Pakdaman M., Akhavan-Behabadi M.A., Razi, P., 2012. An experimental investigation on thermo-physical properties and over all performance of MWCNT/ heat transfer oil nanofluid flow inside vertical helically coiled tubes, *Exp Therm Fluid Sci* 40(0), 103–11.
- Fotukian, S.M., Esfahany, M.N., 2010. Experimental study of turbulent convective heat transfer and pressure drop of dilute CuO/water nanofluid inside a circular tube, *Int. Commun. Heat Mass Trans*, 37, 214-219.
- Gil, E. et. al. 2018. XPS and SEM analysis of the surface of gas atomized powder precursor of ODS ferritic steels obtained through the STARS route, *Applied Surface Science*, vol. 427: pp.182-191.
- Gonçalves, J. S. V., Santos, S. H. and Leal, L. S. Santos Junior, M. R. M. C. Santos, E. Longo and Matos, J. M. E. 2009. Experimental variables in the synthesis of anatase phase TiO<sub>2</sub> nanoparticles, 11th International Conference on Advanced Materials, Rio de Janeiro Brazil.
- Gürmen, S. Ebin, B., 2008. Nanopartiküller ve Üretim Yöntemleri-1, *Metalurji Dergisi*, 150, 31-38.
- Hemmati-Sarapardeh, A., Varamesh, A., Husein, M. M. and Karan, K., 2018. On the evaluation of the viscosity of nanofluid systems: Modeling and data assessment, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol.81, pp.313-329.
- Jothibas, M., Manoharan, C., Jeyakumar, S. J., Praveen, P., Punithavathy, I. K., & Richard, J. P. (2018). Synthesis and enhanced photocatalytic property of Ni doped ZnS nanoparticles. *Solar Energy*, 159, 434-443.
- Liu, M., Lin, M., Huang, I., Wang, C., 2005. Enhancement of thermal conductivity with carbon

- nanotube for nanofluids, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 32, 1202–1210.
- Martin, K., McCarthy, G., 1991. North Dakota State Univ., Fargo, ND, USA., ICDD Grant-in-Aid.
- Maxwell J. C., *A Treatise on Electricity and Magnetism*, 1881. Second ed., Clarendon Press, Oxford, UK.
- Miller, J. C. Serrato, R. et.al., 2004. *The Handbook of Nanotechnology*, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- Pak, B.C., Cho, Y.I., 1998. Hydrodynamic and heat transfer study of dispersed fluids with submicron metallic oxide particles, *Exp. Heat Transf Int. J.*, 11(2), 151–170.
- Pal, M., Mather, P.M., 2003. An assessment of the effectiveness of decision tree methods for land cover classification, *Remote Sensing of Environment*, vol.86, pp.554-565.
- Ramsay, J. O. 2004. Functional data analysis. *Encyclopedia of Statistical Sciences*, 4.
- Safavian, S.R., Landgrebe, D., 1991. A survey of decision tree classifier methodology, *IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics*, vol. 21, pp.660-674.
- Sajadi, A. R., Kazemi, M. H., 2011. Investigation of turbulent convective heat transfer and pressure drop of TiO<sub>2</sub>/water nanofluid in circular tube. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 38(10), 1474-1478.
- Suresh, R., Ponnuswamy, V., Mariappan, R., 2013. Effect of annealing temperature on the microstructural, optical and electrical properties of CeO<sub>2</sub> nanoparticles by chemical precipitation method. *Applied Surface Science*, 273, 457-464.
- Verma P., Chaturvedi P., Rawat J.S.B.S., 2007. Elimination of current non-uniformity in carbon nanotube field emitters, *J Mater Sci: Mater Electron*, 18, 677–80.
- Wang, X., Xu, X., Choi, S.U.S., 1999. Thermal conductivity of nanoparticle-fluid mixture. *J. Thermophys Heat. Transf*, 13(4), 474–480.
- Weerapun, D., Somchai, W., 2009. Measurement of temperature dependent thermal conductivity and viscosity of TiO<sub>2</sub> water nanofluids, *Exp. Therm. Fluid Sci.*, 33(4), 706–714.
- Williams, W., Buongiorno, J., Hu, L.W., 2008. Experimental investigation of turbulent convective heat transfer and pressure loss of alumina/water and zirconia/ water nanoparticle colloids (nanofluids) in horizontal tubes, *J. Heat Trans*, 130, 042412.
- Xu J.F., Zhang J.R., Du Y.W., 1996. Ultrasonic velocity and attenuation in nano-structured Zn materials, *Mater Lett*; 29, 131–4.
- Xuan Y., Li Q., 2000. Heat transfer enhancement of nanofluids, *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 21(1), 58–64.
- Xuan Y., Li Q., Hu W., 2003. Aggregation Structure and Thermal Conductivity of Nanofluids, *AIChE Journal*, Cilt 49, No 4, 1038-1043.
- Xuan Y., Li Q., Hu W., 2003. Aggregation Structure and Thermal Conductivity of Nanofluids. *AIChE Journal*, Cilt 49, No 4, 1038-1043.
- Zhou, L., P, Wang, B.X., Peng, X., F, Du, X-Z, Yang, Y.P., 2010. On the specific heat capacity of CuO nanofluid. *Adv Mech Eng*, 172085, 1–4.