

PAPER DETAILS

TITLE: Cuo ve Zno İçeren Nanoakiskanların Termofiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi ve Yapay Sinir Ağı ile Modellenmesi

AUTHORS: Ahmet Beyzade DEMIRPOLAT, Mehmet DAS

PAGES: 225-238

ORIGINAL PDF URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/1024294>



CuO ve ZnO İçeren Nanoakışkanların Termofiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi ve Yapay Sinir Ağı İle Modellenmesi

Ahmet Beyzade DEMİRPOLAT*

ahmetbdemirpolat@gmail.com ORCID: 0000-0003-2533-3381, Tel: (424) 248 4701 (10 hat)

Mehmet DAŞ

Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 60250, Tokat
mehmet.das@gop.edu.tr ORCID: 0000-0002-4143-9226, Tel: (446) 711 21 00 (38014)

Geliş: 17.04.2019, Revizyon: 23.06.2019, Kabul Tarihi: 29.07.2019

Öz

Günlük yaşamsal döngü için gerekli bir faktör olan enerjiye talep sürekli olarak artarken enerji kaynakları da hızlı bir şekilde tükenmektedir. Bu doğrultuda mevcut enerji dönüşüm sistemlerinin yeniden gözden geçirilip var olan sınırlı enerji kaynaklarından daha çok yararlanabilmek için yeni yöntemler geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Boru içi akışlarda ısı transferini artırarak enerjiyi daha faydalı bir şekilde kullanabilmek günümüzde önem arz etmektedir. Çalışmamızda, CuO ve ZnO nanopartiküllerle beraber saf su, etanol ve etilen glikol malzemeleri kullanılarak üretilen nanoakışkanlar deney düzeneğinden geçirilerek ısı iletim katsayıları (k) ve ısı taşınım katsayıları (h) belirlenmiştir. Reynolds sayısı 1600 civarında olan deneysel ölçümlerde saf suya göre ısı transferinde ZnO' da %16.5 ve CuO' da %13.3 değerinde ortalama iyileşme sağlanmıştır. Nanoakışkanların ısı transfer katsayılarının farklı pH değerleri ve Reynolds sayısı değerleri arasındaki ilişki gösterilmiştir. CuO ve ZnO bazlı nanoakışkanların h değerleri için yapay sinir ağı kullanılarak tahminsel modeller oluşturulmuştur. Elde edilen modellerin doğruluk oranı karşılaştırılmıştır. ZnO bazlı nanoakışkanın tahminsel modeli CuO ya göre %40 daha başarılı olduğu gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Nanopartikül, nanoakışkan, termofiziksel özellikler, yapay sinir ağı

* Yazışmaların yapılacağı yazar

Giriş

Nanopartiküller nanoakışkan içerisindeki enerji taşınımını artırır. Bunun sebebi iki bakış açısıyla açıklanabilir. Birincisi süspanse edilen nanopartiküller akışkanın bileşimini değiştirir ve temel akışkanı süspansiyona dönüştürür. Bu nedenle enerji taşıma proseslerini etkilerler. İkincisi süspanse edilmiş partiküllerin rastgele hareketleridir. Nanopartiküllerle sıvı moleküller arasındaki ara yüzeysel etkileşim, akışkanın içinde enerji taşınımını artırır. Isı iletiminin yükselmesiyle beraber artan çalkantı şiddeti ve geniş yüzey alanı daha fazla ısı transferine olanak sağlar (Şahin, 2010).

Isı transferini iyileştirmeye yardımcı olan nanopartiküllerin; nanoakışkanın karakteristiği üzerindeki etkisi, nanoakışkanların hazırlanmasının, nanoakışkanların termofiziksel özelliklerinin ve ısı transferi ölçüm tekniklerinin bilinmesi oldukça önemlidir. Bunlardan ilki nanoakışkanın hazırlanması aşamasıdır. Nanoakışkanın hazırlanması için iki yöntem vardır. Birincisi tek adım metodu, ikincisi iki adım metodudur. Nanomalzemenin üretimi ve ana akışkan içerisinde dağılımıyla beraber gerçekleşen yöntem tek adım metodu denir. Bu metodu kullanarak daha homojen yapıda ve stabil durumda nanoakışkanlar üretilebilmektedir. İki adım metoduna göre topaklanma yüzdesi daha azdır. Tek adım metodu uygulama yönünden kısıtlı bir alana sahiptir. Nanopartikül üretim maliyetleri yüksektir ve kullanılabilecek malzeme cinsi çeşidi azdır. Nanoakışkan üretiminde en fazla tercih edilen yöntem İki adım metodudur. İlk olarak kimyasal veya fiziksel metodlarla nanopartiküller, nano fiberler, nanotüpler ve diğer nanomateriyaller kuru toz halinde elde edilir. Bu nano boyuttaki partiküllerin su, temel akışkanı içinde dağılımı sağlanır. Nanoakışkan üretiminin yapılabilmesi için partiküllerin stabil duruma gelmesi ve homojen dağılımlı bir yapıya kavuşması gerekmektedir. Bu durumları elde edebilmek için partikülleri çeşitli işlemlere tabi tutmak gerekir; magnetik karıştırma, ultrasonik karıştırma, yüksek parçalayıcı karıştırma

teknikleri kullanılabilir. Nanopartiküller yüksek yüzey alanı ve yüzey aktivitesi sebebiyle topaklanma yönelimi gösterir. Bu nedenle stabiliteyi yükseltmek ve homojen yapıyı elde edebilmek için en ideal teknik yüzey aktif madde (surfaktif) kullanımıdır. Fakat surfaktifler yüksek sıcaklıklarda etkisini yitirebilmektedirler (Çifci, 2014).

Zhu ve diğerleri (2004) tek adım yöntemiyle $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ve $\text{NaH}_2\text{PO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ile topaklanmamış ve kararlı Cu nanoakışkanını elde etmişlerdir. % 0.3 hacimsel oranlı Cu ve etilen glikol ile hazırlanan nanoakışkanın ısı iletkenliğinde % 40 iyileşme Eastman ve diğerleri (2001) tarafından ölçülmüştür. Cahng ve Lo (2005), TiO_2 , CuO ve Cu gibi çeşitli nanopartikül içeren nanoakışkan üretebilmek için kullanılan bir diğer tek adım metodunun toz altı nanopartikül sentezinde kullanmışlardır. Bu yöntemle nanopartiküller, katının elektrottan alınan ısı ile ısıtılması sonucu üretilmekte ve sonrasında vakum odasında sıvı hale yoğuşturulmasıyla nanoakışkan üretilmiştir. Wen ve Ding (2004), γ - Al_2O_3 ile deiyonize su nanoakışkanını iki adım metoduyla hazırlarken dağıtıcı olarak sodyum dodikilbenzen sülfonat kullanmışlardır. Liu ve arkadaşları (2005), karbon nanotüp ve sentetik motor yağı ile farklı oranlarda nanoakışkanın kararlılığı için N-hidroksisüksinimid kullanarak ultrasonik titreşimlerle iki adım yöntemiyle hazırlamışlardır.

Nanoakışkanların termofiziksel özellikleri ısı transfer uygulamaları için çok önemlidir. Termofiziksel özellikler farklı parametreler içerir. Bunlar; spesifik ısı kapasitesi, viskozite, ısı iletkenlik ve ısı transfer katsayısıdır. Nanoakışkanlar için en iyi ısı transferi, taşınım katsayısı ile analiz edilir (Kumar, 2005). Nanoakışkanların viskozitesi endüstriyel çalışmalarda boru içi akış rejini ve pompalama gücü bakımından belirleyici bir parametredir. Nanoakışkanın viskozite özelliği hakkında teorik ve deneysel çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Tavman ve Turgut (2010), farklı hacimsel oran ve sıcaklıklarda SiO_2 - H_2O , TiO_2 - H_2O ve Al_2O_3 - H_2O nanoakışkanlarının viskozitelerinin

değişimlerini incelemişlerdir. Artan hacimsel oran ile viskozitede de artış gözlemlenmiştir. $\text{TiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ nanoakışkanında artan sıcaklıkla viskozitenin azaldığı, su ile benzer sonuçlar elde etmişlerdir. Nguyen ve arkadaşları (2007), partikül boyutunun viskozite üzerindeki etkisini alüminyum-su nanoakışkanında çalışmışlardır. Çalışmalarında % 4'lük hacimsel oranda 36 ve 47 nm boyutlu partiküller için aynı sonuçlar elde etmişlerdir. Hacimsel oran arttıkça büyük boyutlu partiküllü akışkanın viskozitesinin küçük boyutlu olana göre daha fazla olduğunu belirtmişlerdir. Duangthongsuk ve Wongwises (2009), TiO_2 – su nanoakışkanı için 15 – 53°C sıcaklık aralığında % 0.2 – 2.0'e artan hacimsel oranda, viskozitede % 4 – 15 artış tespit etmişlerdir.

Akışkanın ısı iletkenliği, ısı transferi performansını yükseltmede mühim bir değişkendir. Katı metaller, akışkanlara göre ısı iletkenlikleri daha yüksek olduğundan, nanopartikül olarak katıldığı akışkanın ısı iletkenliğini ve ısı transferi verimini yükseltmektedir (Şahin, 2010). Partiküllerin ve temel akışkanın ısı iletkenliği, nanoakışkanların ısı iletkenliğini etkilemekte ve nanopartiküllerin akışkan içerisindeki hacimsel oranının artmasıyla beraber ısı iletkenlik yükselmektedir. Xie ve arkadaşları (2001), partikül boyutu 26 ile 600 nm arasında değişen, oksit olmayan seramik nanopartiküllü nanoakışkanı (SiC) ayrıca Xie ve diğerleri (2002), partikül boyutu 1.2 ile 302 nm arasında olan Al_2O_3 nanoakışkanı üreterek partikül boyutunun ısı iletkenliğe etkisini gözlemlenmiştir. Patel ve diğerleri (2010), farklı nanopartiküller (Al_2O_3 , CuO, Cu, Al), farklı temel akışkanlar (motor yağı, etilen glikol, su), farklı partikül boyutları (11, 31, 45, 80, 150 nm), farklı hacimsel oranlarda (%0.5, %1, %2, %3) ve farklı sıcaklıklarda (20, 30, 40, 50°C) yaptıkları deneylerde düşük hacimsel oranlarda lineer olmayan trendle beraber daha yüksek ısı iletkenlik elde etmişlerdir. Dolayısıyla sıcaklığın ısı iletkenlik üzerinde direkt olarak etkisi olmamakla beraber genel olarak artan bir eğilim trendinde olduğunu göstermektedir. Kang ve diğerleri (2006), 30 ve 50 nm çaplarında elmas

nanopartikülleriyle %1.2 hacimsel oranlı etilen glikolle hazırladıkları nanoakışkanın ısı iletkenliğinde %75 artış gözlemlenmiştir. Duangthongsuk ve Wongwises (2010), yatay borudan akan TiO_2/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.

Nanoakışkanların termofiziksel özelliklerini belirlemede yapay sinir ağı (YSA) yöntemi giderek önem kazanmıştır. Deneysel veriler ile hesaplanan bu termofiziksel özellikler, YSA ile tahminsel modeller oluşturularak kolaylıkla belirlenebilmektedir. Literatürde nanoakışkan özelliklerinin YSA ile tahminlenmesi ile alakalı çeşitli çalışmalar mevcuttur. Uysal ve Korkmaz (2010), Dikdörtgen kesitli minikanalda Ag-MgO/su hibrit nanoakışkan akışının taşınımıyla ısı transferi ve entropi üretimi karakteristikleri sayısal olarak incelemişlerdir. Reynolds sayısı 200 ile 2000 aralığında çalışmışlardır. Ag-MgO/su hibrit nanoakışkan akışının entropi üretiminin tahmin edilmesi için Yapay Sinir Ağları kullanmışlardır. Kılıç ve diğerleri (2018), çalışmalarında nanoakışkanlar ve darbeli jetler kullanarak, ısıtılmış bir yüzeyden ısı transferinin ve akışkan akışının sayısal olarak araştırılmasını incelemişlerdir. Elde edilen değerler ile YSA'da tahminsel bir model oluşturmuşlardır. Afrand ve diğerleri (2016) çalışmalarında deneysel verileri kullanarak çok duvarlı karbon nanotüpler / su nano sıvısının viskozitesini optimal bir sinir ağı ile hesaplamışlardır. ANN, öngörücü modelde katı hacim kesir ve sıcaklık değerlerini girdi değişkenleri olarak ve viskozite değerlerini çıktı değişkenleri olarak kullanmışlardır. Modelin doğruluğu için MAPE ve MSE hata analizi kullanmışlardır. 0.28 MSE ve 0.910 MAPE hata analizi sonuçlarına göre başarılı bir model elde etmişlerdir. Karimi ve arkadaşları (2011), 8 farklı nano-akışkan viskozitesini tahmin etmek için genetik algoritmaya (GA) dayanan doğru ve etkili bir YSA kullanmışlardır. Sinir ağı parametrelerini optimize etmek için genetik

algoritma (GA) kullanmışlardır. Sonuçlar ayrıca GANN modelinin %39 doğruluk oranı ile nanoakışkanların viskozitesini öngörmeye geleneksel sinir ağlarından daha iyi performans gösterdiğini göstermiştir. Ansari ve diğerleri (2018), yaptıkları çalışmada, geri besleme yayılımı YSA kullanarak çeşitli nanoakışkanların nispi viskozitesi için bir tahmin modeli geliştirmiştir. Kullandıkları tahminsel modelde, önerilen ağı eğitmek, test etmek ve doğrulamak için toplam 1620 deneysel veri kullanmışlardır. Geliştirdikleri ağı girdi değişkenleri olarak nano-akışkan sıcaklığını, kesme hızı değerlerini, nanoparçacık büyüklüğünü, parçacık yapısını (nanoparçacık yoğunluğu) ve parçacık yoğunluğunu seçmişlerdir. Sonuç olarak, önerdikleri ağı, genel ortalama kare hatası (MSE) 0.00901 olan viskoziteyi doğru bir şekilde tahmin edebildiğini göstermişlerdir. Demirpolat ve Das, CuO bazlı nanoakışkan üreterek farklı pH değerlerinde nanoakışkanın viskozite değerlerini incelemişlerdir. Deneysel yöntemlerle hesapladıkları nanoakışkanın viskozite değerleri tahmini için YSA, ve karar ağacı (KA) algoritması kullanmışlardır. Kullandıkları YSA ve KA algoritmaları viskozite değerlerini başarılı bir şekilde tahmin etmiştir (Demirpolat, 2019). Bu çalışmada farklı nanopartiküller katılarak üretilen nanoakışkanların termofiziksel özellikleri karşılaştırılmıştır. Farklı Reynolds sayısı değerlerinde ve farklı pH değerlerinde hesaplanan termofiziksel özellikler incelenmiştir. Deneysel verilerle hesaplanan h değerleri için YSA kullanılarak tahminsel modeller oluşturulmuştur. Oluşturulan tahminsel modellerin doğruluğunu belirlemek için mean absolute error (MAE) ve root mean square error (RMSE) hata analizleri yapılmıştır.

Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada, farklı pH değerlerinde bir nanoakışkanın üretilmesinden sonra ısı transfer katsayıları hesaplanmıştır. Tahmini ısı transfer katsayıları için YSA kullanılarak bir tahmine dayalı model geliştirilmiştir.

CuO ve ZnO nano partikül üretimi

Nanomaterial üretimi için maddenin çözünmeyen bir forma dönüştürülmesi veya maddenin içindeki çözünürlüğünün azaltılması için çözücünün bileşiminin değiştirilmesi metodu olan Kimyasal Karışım metodu kullanılmıştır (Suresh, 2013). ZnO ve CuO nanopartikül üretimi için malzemeler aşağıda verilen oranlarda hazırlanmıştır. ZnO ve CuO nanopartikül üretimi için kullanılan malzemeler ve kullanım ölçüleri Tablo 1 de verilmiştir.

Tablo 1. Nanopartikül üretimi için kullanılan malzemeler

Malzeme	Ölçüsü	Üretimi için kullanılan Nano partikül
Çinko asetat (Zn (CH ₃ CO ₂))	4.39 gr (0.02 mol)	ZnO
Bakır asetat (Cu (CH ₃ CO ₂))	4.39 gr (0.02 mol)	CuO
Etanol (C ₂ H ₅ OH)	100 ml	ZnO, CuO
Saf Su	200 ml	ZnO, CuO
Sodyum Hidroksit (NaOH)	8 gr (0.2 mol)	ZnO, CuO

ZnO nanopartikül üretimi için önce 4.39 gram (0.02 mol) çinko asetat 100 ml ethanol içerisinde ultrasonik banyoda 30 dakika çözündürülmüştür. Daha sonra 200 ml saf su içerisinde 8 gram (0.2 mol) NaOH (sodyum hidroksit) 30 dakika ultrasonik banyoda çözündürülmüştür. Hazırlanan bu karışımlar birleştirilmiş ve balıklı karıştırıcıda 1 saat karıştırılmıştır. Daha sonra karışımın pH'ını 7-10-12-14 oranlarında elde etmek için 10 ml'lik beherlerle karışıma amonyak eklenmiş ve verilen pH oranları elde edilmiştir. Karışım hazırlandıktan sonra 20 saat çökelmeye bırakılmıştır. Bekleme işlemi bitince süzgeç kağıdı konularak hunilerde filtreleme işlemi yapıldıktan sonra, malzeme 50°C' de kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Son olarak 1 saat 450°C' de malzeme ısı işlem gördükten sonra nano malzeme üretimi gerçekleştirilmiştir. CuO nanopartikül üretimi için önce 4.39 gram (0.02 mol) bakır asetat 100 ml ethanol içerisinde ultrasonik banyoda 30 dakika çözündürülmüştür. Sonra 200 ml saf su içerisinde 8 gram (0.2 mol) NaOH (sodyum hidroksit) 30 dakika ultrasonik banyoda çözündürülmüştür. Hazırlanan bu

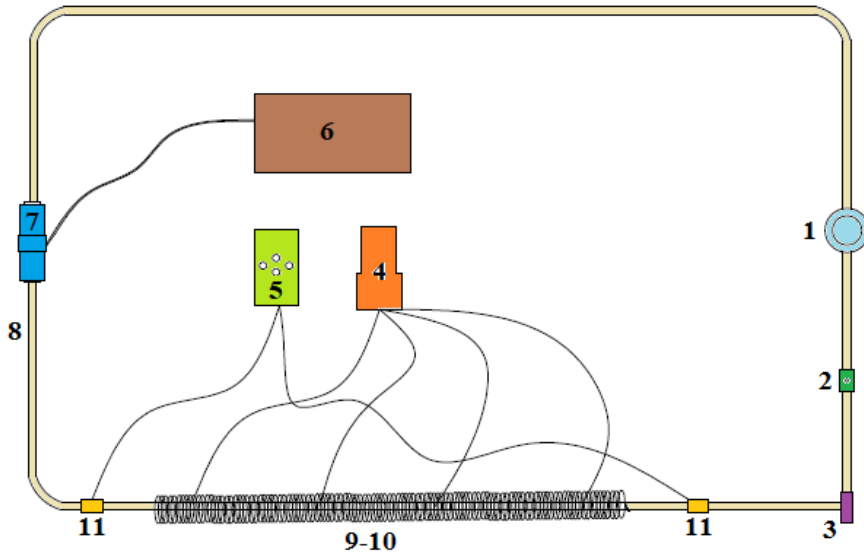
karışımlar birleştirilmiş ve balıklı karıştırıcıda 1 saat karıştırılmıştır. Daha sonra karışımın pH'ını 7-10-12-14 oranlarında elde etmek için 10 ml lik beherlerle karışıma amonyak eklenmiş ve verilen pH oranları elde edilmiştir. Karışım hazırlandıktan sonra 20 saat çökmeye bırakılmıştır. Bekleme işlemi bitince süzgeç kağıdı konularak hunilerde filtreleme işlemi yapıldıktan sonra, malzeme 50°C' de kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Son olarak fırında 450°C' de 1 saat sürüyle malzeme ısıtma işlemi gördükten sonra nano malzeme üretimi gerçekleştirilmiştir.

CuO ve ZnO bazlı nano akışkan üretimi

Nanoakışkan üretimi için , literatürde yaygın olarak kullanılan İki Adım metodu uygulanmıştır (Liu ve diğ., 2005).

Nanoakışkan üretimi için kullanılan malzemeler; %57.1 saf su, %28.6 etilen glikol ve %14.3 etanol karışımına üretilen nanomalzemelerden % 0.1 oranında katıldıktan sonra oluşan karışım 45 dakika ultrasonik karıştırıcıda karıştırılmıştır. Daha sonra karışım 15 dakikada balıklı

karıştırıcıda karıştırılarak nanoakışkan elde edildi. Karışım deney düzeneğinde kullanılmaya hazır hale gelmiştir. Üretilen nanoakışkanın yoğunluğu belirlendikten sonra pH ölçüm cihazında akışkanların pH' ları belirlenmiştir. Deneyler öncelikle %100 saf su için yapılmıştır. Daha sonra %33.3 etilen glikol ve %66.7' si saf su olan karışım için deneyler tekrarlanmıştır. En son olarak etilen glikol-saf su karışımına nano partiküllerin katılması ile hazırlanan nanoakışkanlar için deneyler yapılmıştır. Tüm deneyler 846 ile 2292 arasında değişen 5 farklı Reynolds sayısı için gerçekleştirilmiştir. Deneyimizde ısıtma çiftleri yardımıyla ve sürekli rejim şartlarında akışkanın 5 dakika aralıklarla giriş, çıkış sıcaklığı ve borunun 4 farklı noktasında yüzey sıcaklıkları ölçülmüştür. Deneylerde kullanılan ısıtma çiftleri, RISEPRO marka 4 kanallı K tipi ısıtma çiftleridir. Elde edilen bu verilerden nano akışkanların 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 bandı, 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 ısıtma çiftleri

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.

SEM Analizi

SEM (Scanning Electron Microscope) cihazı malzemenin partikül boyutunu, iç yapısını ve morfolojik özelliklerini ayrıntılı bir şekilde inceleme olanağı sağlar. SEM analizine göre incelenen malzemenin boyutu 100 nm den daha küçük olması durumunda, incelenen malzeme nano malzeme olarak kabul edilir (Miller, 2004). Bu çalışmada kullanılan SEM cihazının modeli JEOL JSM-7001F dir. Modern sistemlerde bu algılayıcılardan gelen sinyaller dijital sinyallere çevrilip bilgisayar monitörüne verilmektedir. Gerek ayırım gücü, gerek odak derinliği, gerekse görüntü ve analizi birleştirebilme özelliği, taramalı elektron mikroskobunun kullanım alanını genişletmektedir (Gil vd., 2018).

Nanoakışkanlarda Isı Transferi

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 yanı sıra, bir yüzey ile hareket halindeki bir akışkan farklı sıcaklıklarda ise, aralarında gerçekleşen ısı transferi, taşınım terimi olarak anılır. Sonlu sıcaklığa sahip bütün yüzeyler elektromanyetik dalgalar şeklinde enerji yayarlar. Farklı sıcaklıktaki iki yüzey arasında, birbirlerini görmeye engel bir ortam bulunmuyorsa meydana gelen ısı alış verişine ışıınım denir (Patel, 2018).

Eğer akışkan hareketi önemsizse, ortamdaki ışıınım ısı transferi de ihmal edildiğinde yukarıdaki eşitlik geçerlidir. Eşitlikteki efektif ısıl iletkenliktir. Efektif ısıl iletkenlik ortamının gözenekliliği veya hacim fraksiyonu ile değişir. Bu özelliklerin yanı sıra katı ve sıvının ısıl iletkenliğine de bağlıdır. Farklı araştırmacılar tarafından gerçekleştirilen deneysel çalışmalar hem laminar hem de türbülanslı akış koşullarında nanoakışkanın ısı transfer katsayısındaki artışın ısıl iletkenlikten daha fazla olduğunu göstermiştir.

Taşınımın temel yasası Fourier'in iletim yasası teklif edilmeden önce Newton tarafından ilan edilmiştir ve Newton'un soğuma yasası olarak adlandırılmıştır.

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

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 (Patel, 2018).

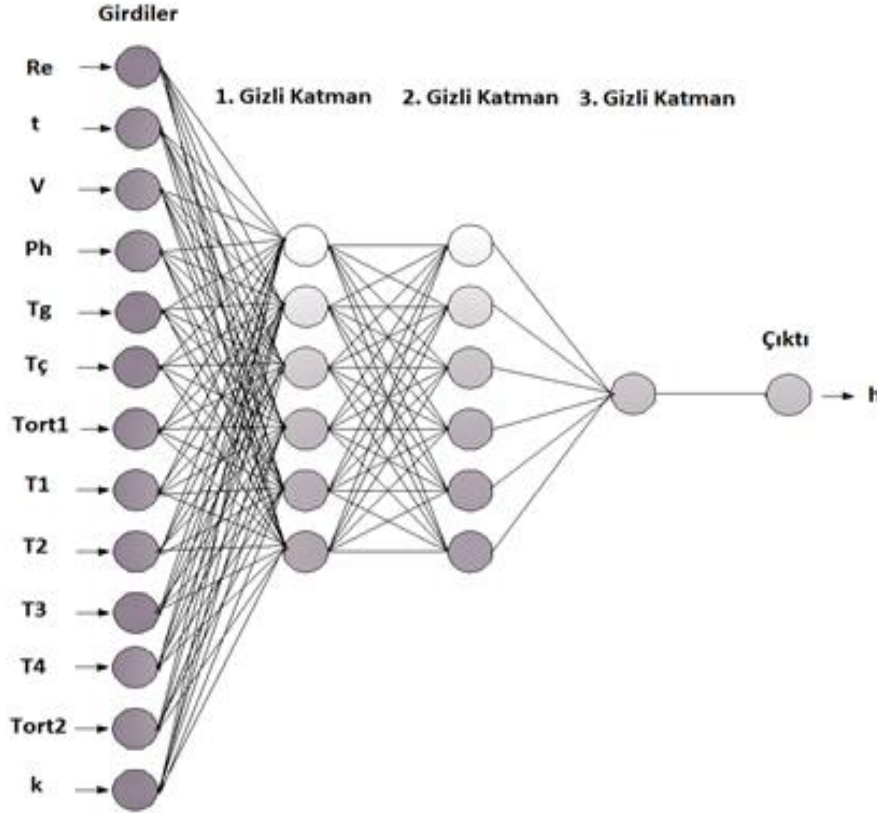
Dairesel borularda; Laminar akış ve sabit yüzey ısı akısının (q_s =sabit) olduğu tam gelişmiş akış durumlarında Nusselt sayısı bir sabittir; Reynolds veya Prandtl sayılarına bağlı değildir (Patel, 2018).

$$Nu = \frac{hD}{k} = 4.36 \quad (2)$$

Verilerin Yapay Sinir Ağları İle Modellenmesi

Yapay sinir ağları ya da kısaca YSA; insan beyninin çalışma sisteminin yapay olarak benzetimi çabalarının bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır. YSA, belirli değerlere dayanarak, girdi alanında olan noktaları çıktı alanında olan eş noktalara belli bir fonksiyonla bağlamaktadır (Findik vd, 2010). Yapay sinir ağları, örüntü tanıma, tahmin etme, sınıflandırma vb. geniş uygulama alanına sahiptir. Yapay sinir ağları, insanlara benzer olarak örnekler ile öğrenirler. Bu nedenle veri seti, eğitim ve test kümesi olarak iki kısma ayrılır (Martin vd, 1991).

Sistemde, yapay sinir ağları on üç giriş ve bir çıkış olarak modellenmiştir. Deneylerde kullanılan akışkana ait Reynolds sayısı (Re), süre (t), akışkan hızı (V), hidrojen gücü değeri (pH), akışkanın boruya giriş sıcaklığı (T_g), çıkış sıcaklığı (T_ç), giriş ve çıkış sıcaklığı ortalaması (T_{ort1}), boru yüzey sıcaklıkları (T_{1,2,3,4}), yüzey sıcaklıkları ortalaması (T_{ort2}) ve akışkanın ısı iletim katsayısı (k) giriş bilgisi olarak alınmıştır. Çıkış bilgisi olarak akışkanın ısı taşınım katsayısı (h) kullanılmıştır. Toplam olarak 5 katmandan oluşan modelin girdi katmanı 13 girdi için 13 nöron, birinci gizli katman 6 nöron, ikinci gizli katman 6 nöron, üçüncü gizli katman için 1 nöron ve çıktı katmanı ise sadece tek bir nöron içermektedir. Oluşturulan YSA modelinin yapısı Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. YSA model yapısı

Isı taşınım değerlerinin yapay sinir ağı ile modellenmesinde MATLAB 2016a yazılımı kullanılmıştır. Bilgi kümesinde 220 adet giriş ve çıkış bilgisi bulunmaktadır. Bu bilgilerden 150 tanesi eğitim işleminde kullanılmıştır. 70 tanesi ise test işleminde kullanılmıştır.

YSA ile elde edilen tahminsel modelin doğruluğunu belirlemek MAE ve RMSE analizleri yapılmıştır. Hata analizleri Tablo 2.'de gösterilmiştir (Alic, 2019).

Tablo 2. Hata analizleri, formülleri ve parametreleri

Hata Analizi	Formülü	Parametreler
MAE	$\frac{ P_1 - A_1 + \dots + P_n - A_n }{n}$	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

Isı taşınım katsayısı değerleri tahmini için kullanılan YSA modelinin parametreleri ve yapısı Tablo 3.'te gösterilmiştir.

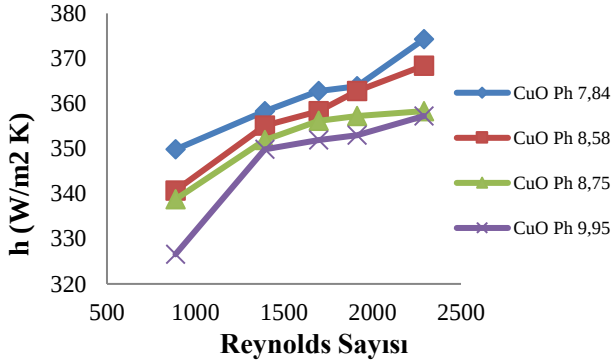
Tablo 3. YSA Yapısı ve Parametreleri

Gizli Katman Sayısı	3
Gizli Katmanlardaki Nöron Sayısı	6-6-1
Ağırlık Değerleri	Random
Aktivasyon Fonksyonu	Logsig
Transfer Fonksyonu	Tangent Sigmoid Transfer
Öğrenme Fonksyonu	Feed-Forward Backpropagation

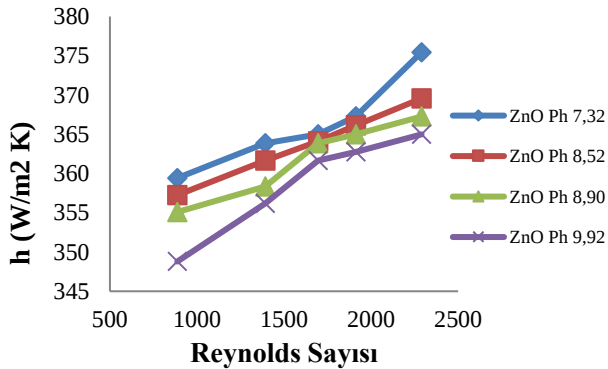
Bulgular ve Tartışma

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 3-4

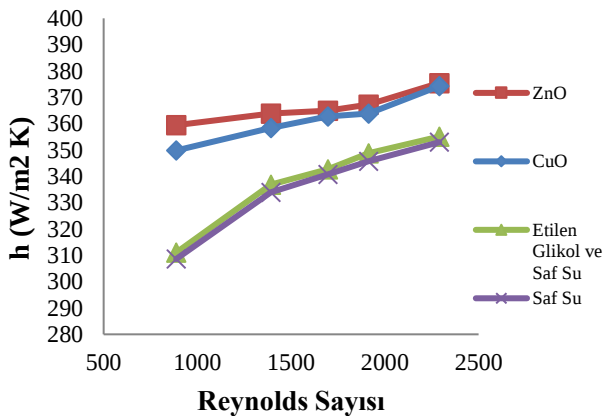
incelendiğinde pH ile ısı transfer katsayısının arasında ters orantı olduğu görülmektedir. Nedeni ise nanomalzemeler üretilirken pH seviyelerini yükseltmek için kullanılan akışkanın; % 25'i NH_3 ve %75'i su olduğundan akışkanın özgül ısısının CuO ve ZnO nanoakışkanların özgül ısısından daha düşük olmasıdır.



Şekil 3. CuO pH değerleri kıyası için ısı transfer katsayısının Reynolds sayısına göre değişimi



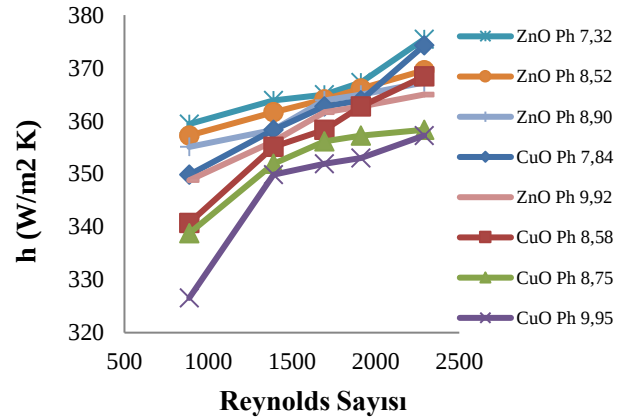
Şekil 4. ZnO pH değerleri kıyası için ısı transfer katsayısının Reynolds sayısına göre değişimi



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

Şekil 5 incelendiğinde ısı transfer katsayısının Reynolds sayısı 1600 civarında ZnO' da en yüksek olduğu daha sonra CuO geldiği görülmektedir. Saf suya göre ortalama ZnO' da %16.5 oranında CuO' da %13.3 oranında iyileşme görülmektedir.

Şekil 6 da ZnO ve CuO bazlı nano akışkanların farklı pH değerlerindeki ısı transfer katsayılarının Reynolds sayısına göre değişimleri gösterilmiştir.



Şekil 6. ZnO ve CuO bazlı nanoakışkanların pH ve Reynolds sayılarına göre ısı transfer katsayılarının değişimi

Şekil 6'ya göre en yüksek ısı transfer katsayısı değeri ZnO bazlı nanoakışkanın 7.32 pH değerinde hesaplanmıştır.

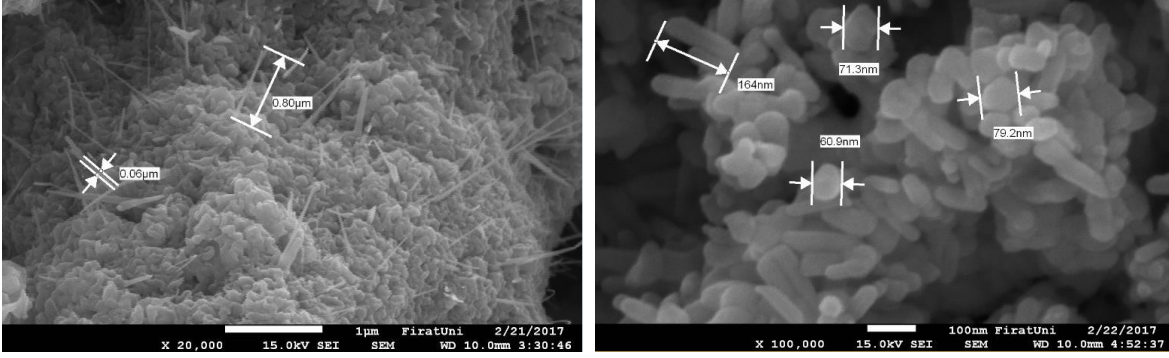
Tablo 4.' de CuO, ZnO ve Etilenglikol-Su nun sıcaklığa göre viskozite değişimleri verilmiştir. Bu değerler viskozite metre ile farklı sıcaklıklarda ölçülmüştür. Ölçülen sıcaklık değerleri Tablo 4.'de verilmiştir.

Tablo 4. Viskozite Değerleri

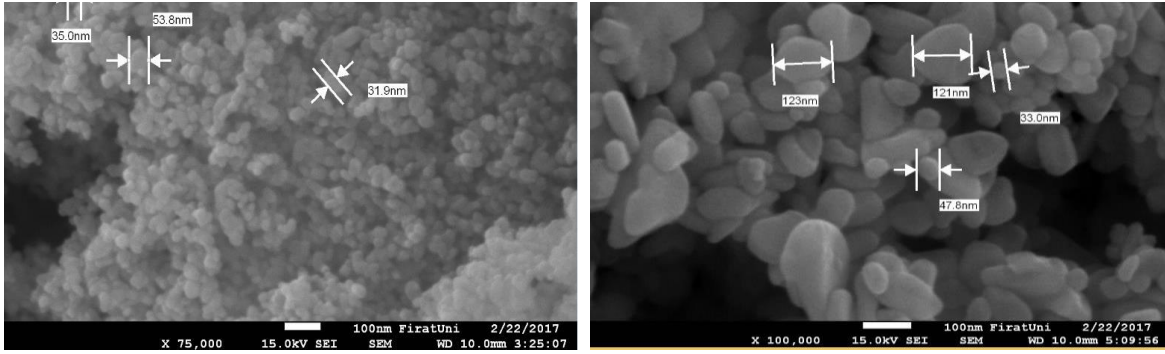
T (°C)	CuO (Ph8.75)	ZnO (Ph8.90)	%33 Etilenglikol + %67 Saf Su
20	0.0037	0.0033	0.0029
30	0.00305	0.00294	0.00245
40	0.00247	0.00225	0.00191
50	0.00206	0.00192	0.00161
60	0.00168	0.00152	0.00132

Malzemelerin SEM Görüntüleri

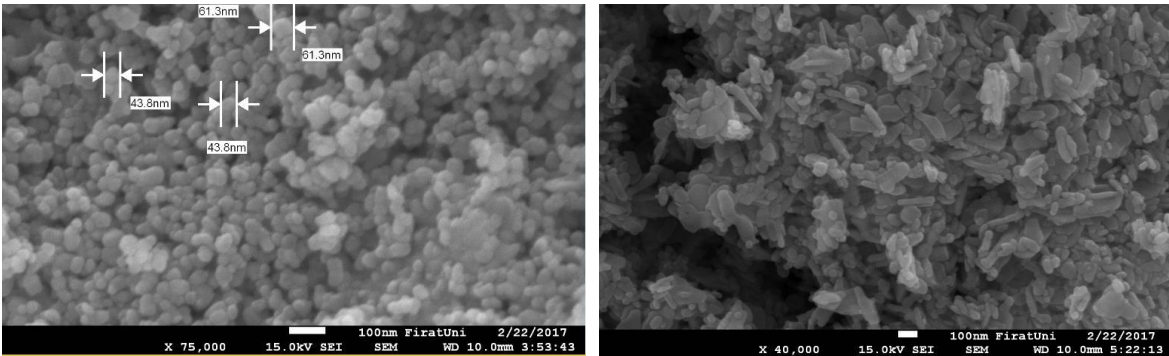
SEM görüntü cihazı ile görüntülenen farklı pH lardaki nano partikül görüntüleri sırasıyla Şekil 7-10 da gösterilmiştir.



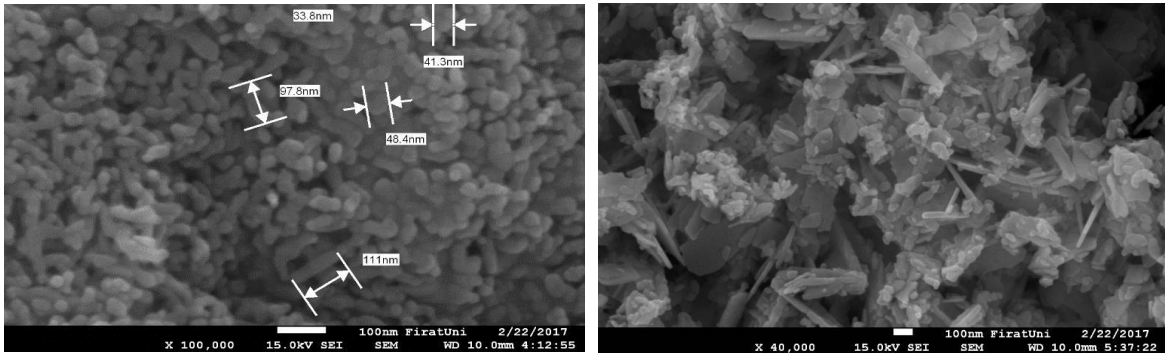
Şekil 7. CuO ve ZnO pH 7 nano partiküllerinin SEM görüntüleri



Şekil 8. CuO ve ZnO pH 10 nano partiküllerinin SEM görüntüleri



Şekil 9. CuO ve ZnO pH 12 nano partiküllerinin SEM görüntüleri



Şekil 10. CuO ve ZnO pH 14 nano partiküllerinin SEM görüntüleri

Şekil 7-10 daki SEM analiz görüntülerine göre çeşitli pH larda üretilen CuO ve ZnO nano partiküllerinin morfolojik yapıları ve boyutları incelendiğinde nano partiküllerin üretiminde başarılı olduğu görülmüştür.

Boyutları 100 nm'ye eşit veya daha az olan tozlar olarak tanımlanan nanoparçacıklar, nano ölçekli malzemelerin ve dolayısıyla nanoteknolojinin temelini oluşturur (Miller, 2004).

Farklı kristalit boyutuna sahip CuO ve ZnO nano-akışkanları (164, 60.9, 33,47.8, 121 ve 123 nm), farklı çözücü kullanılarak kimyasal yolla hazırlanmıştır. SEM görüntüsü, 164 nm kristalit boyutundaki parçacıkların çubuk şeklinde olduğunu, 60.9 nm kristalit boyutunun eliptik şekil parçacıkları olduğunu göstermektedir. 33 ve 47.8 nm büyüklüğünde parçacıklar neredeyse küresel topaklardır, oysa 121 ve 123 nm kristalit büyüklüğündeki parçacıklar hem küresel hem de uzun çubuk şeklindeki parçacıkların karışık şeklini gösterir. Morfolojideki değişiklik, CuO ve ZnO nanopartikülleri üretmek için reaksiyonda kullanılan solventlerin farklı reaksiyon hızlarından kaynaklanmaktadır (Kılıç, 2018).

Malzemelerimizin morfolojik yapısı, yani nano-akışkanları hazırlamak için ürettiğimiz nanoparçacıkların boyutu, nano-akışkanların ısı transferi, ısı iletimi, viskozite ve birçok termo fiziksel özellik üzerinde etkilidir. Ürettiğimiz CuO ve ZnO nanopartiküllerinin morfolojisindeki değişim, pH değerinden kaynaklanmaktadır. PH değeri arttığında, ısı transferi azalır ve pH değeri azaldığında yuvarlak taneler bir çubuk şekline dönüşür.

PH ve Reynolds değerlerine göre ZnO ve CuO içeren nanoakışkanların ısı transferindeki değişim Tablo 5-6.'da gösterilmektedir.

Tablo 5. CuO Nanoakışkanının Reynolds sayısına göre ısı transfer değerleri

Re	CuO	CuO	CuO	CuO
	7.84(pH)	8.58(pH)	8.75(pH)	9.95(pH)
	h (W/m ² K)	h (W/m ² K)	h (W/m ² K)	h (W/m ² K)
887	349.821	340.722	338.764	326.565
1391	358.328	355.090	351.910	349.821
1695	362.738	358.328	356.163	351.910
1912	363.857	362.738	357.242	352.963
2290	374.253	368.406	358.328	357.242

Tablo 6. ZnO Nanoakışkanının Reynolds sayısına göre ısı transfer değerleri

Re	ZnO	ZnO	ZnO	ZnO
	7.32(pH)	8.52(pH)	8.90(pH)	9.92(pH)
	h (W/m ² K)	h (W/m ² K)	h (W/m ² K)	h (W/m ² K)
885	359.420	357.241	355.089	348.786
1385	363.857	361.625	358.328	356.163
1614	364.983	364.082	363.857	361.625
1957	367.257	366.117	364.984	362.738
2240	375.445	369.561	367.258	364.984

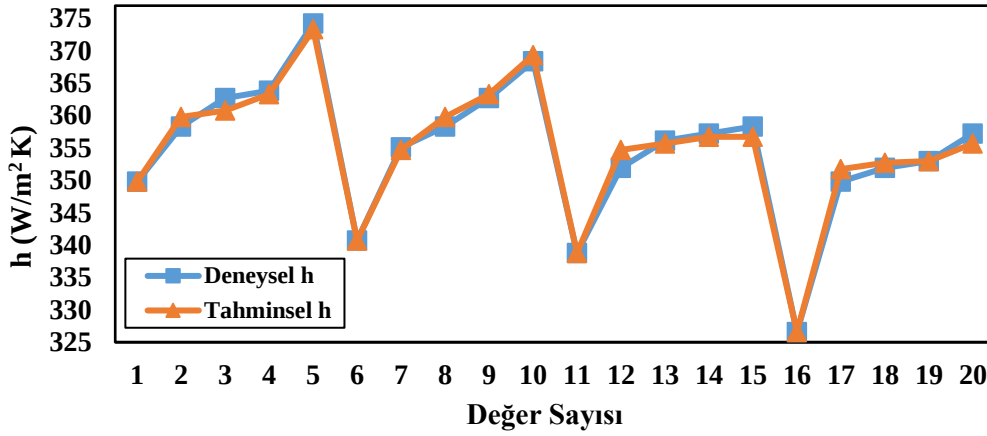
Tablo 5-6.'ya göre Reynolds değeri arttıkça ısı transferi artmış ve pH değeri arttıkça ısı transferi azalmıştır.

CuO ve ZnO nanoakışkanın h değerleri için oluşturulan YSA tahminsel model için hata analiz sonuçları Tablo 7.'de gösterilmiştir.

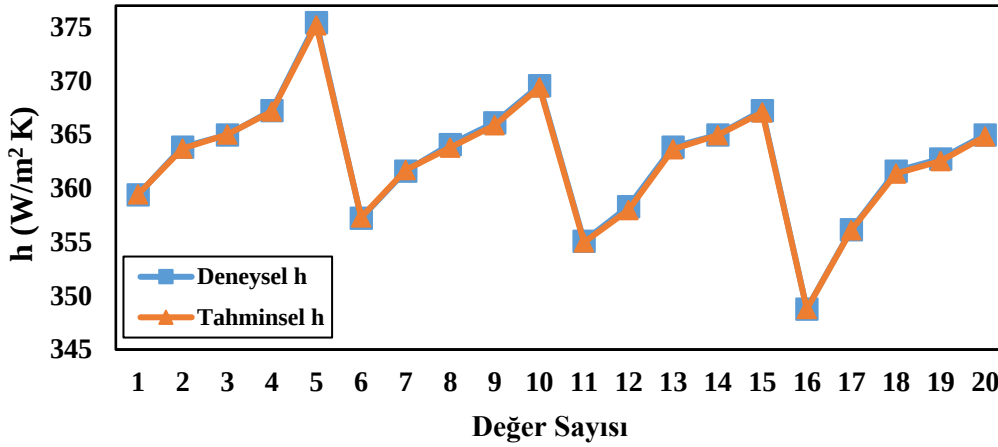
Tablo 7. YSA Hata Oranları

CuO	
MAE	0.3566
RMSE	0.4305
ZnO	
MAE	0.1463
RMSE	0.174

Şekil 11-12.'de deneysel ve tahminsel ısı taşınım katsayıları gösterilmiştir. Şekil 10.'a göre YSA 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. YSA kullanılarak elde edilen CuO nanoakışkanının tahminsel ve deneysel olarak elde edilen h değerleri



Şekil 12. YSA kullanılarak elde edilen ZnO nanoakışkanının tahminsel ve deneysel olarak elde edilen h değerleri

Sonuçlar

Bu çalışmada, CuO ve ZnO nano partikül üretimi yapıldıktan sonra üretilen partiküllerin SEM görüntü analizleri yapılarak nano partikül üretiminin başarılı olduğu Şekil 7-10 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. ve 6.'da pH ve Reynolds değerleri değişimi ile ısı transfer katsayısı değişimi gösterilmiştir. Yapılan hesaplamalar doğrultusunda ZnO içerikli nanoakışkanın pH değeri arttıkça ısı transferi %3.1 oranında

azalmıştır. CuO içerikli nanoakışkanın pH değeri arttıkça ısı transferi %6,6 oranında azalmıştır. YSA algoritması kullanılarak oluşturulan tahminsel modeli ile tahmin edilen h ve gerçekte ölçülen h değerleri Şekil 11-12'de görüldüğü gibi birbirine benzerlik göstermektedir. Nanoakışkanlara ait h değerleri tahminsel model için YSA'nın hata analiz sonuçlarına (Tablo 7) 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.

Kaynaklar

- Afrand, M., Nadooshan, A. A., Hassani, M., Yarmand, H., 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*, 77, 49-53.
- Alic, E., Das, M., Kaska, O., (2019). Heat Flux Estimation at Pool Boiling Processes with Computational Intelligence Methods. *Processes*, 7, 293.
- Ansari, H. R., Zarei, M. J., Sabbaghi, S., and Keshavarz, P., (2018). A new comprehensive model for relative viscosity of various nanofluids using feed-forward back-propagation MLP neural networks. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 91, 158-164.
- Chang, H., Tsung, T. T., Chen, L. C., Yang, Y. C., Lin, H. M., Lin, C. K., Jwo, C. S., (2005). Nanoparticle Suspension Preparation Using the Arc Spray Nanoparticle Synthesis System Combined with Ultrasonic Vibration and Rotating Electrode, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 26, 552–558.
- 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. *Applied Sciences*, 9(7), 1288.
- Duangthongsuk, W., Wongwises, S., (2010). An experimental study on the heat transfer performance and pressure drop of TiO₂-water nanofluids flowing under a turbulent flow regime, *Int. J. Heat Mass Trans*, 53, 334-344.
- Eastman, J. A., Choi, S. U. S., Li, S., Yu, W., Thompson, L. J., (2001). Anomalous Increased Effective Thermal Conductivity of Ethylene Glycol-Based Nanofluids Containing Copper Nanoparticles, *Applied Physics Letters*, 78, 718–720.
- Findik T., Taşdemir Ş. and Şahin. I., (2010). The use of artificial neural network for prediction of grain size of 17-4 pH stainless steel powders. *Sci. Research and Essays*, 5, 11, 1274-1283.
- 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.
- Kang H.U., Kim S.H., Oh J.M., (2006). Estimation of thermal conductivity of nanofluid using experimental effective particle volume. *Exp Heat Transfer*, 19(3), 181–91.
- Karimi, H., Yousefi, F., and Rahimi, M. R., (2011). Correlation of viscosity in nanofluids using genetic algorithm-neural network (GA-NN). *Heat and mass transfer*. 47(11), 1417-1425.
- Kılıç, M., Yavuz, M., Yılmaz, İ. H., (2018). Numerical investigation of combined effect of nanofluids and impinging jets on heated surface. *International Advanced Researches and Engineering Journal*, 2(1), 14-19.
- Kumar, V., Tiwari, A. K., Ghosh, S. K., (2015). Application of nanofluids in plate heat exchanger: a review. *Energy conversion and management*, 105, 1017-1036.
- 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.
- Lo, C.-H., Tsung, T.-T., Chen, L.-C., Su, C.-H., Lin, H.-M., (2005). Fabrication of Copper Oxide Nanofluid Using Submerged Arc Nanoparticle Synthesis System (SANSS), *Journal of Nanoparticle Research*, 7, 313–320.
- Lo, C.-H., Tsung, T.-T., and Chen, L.-C., (2005). Shaped-Cntrolled Synthesis of Cu-Based Nanofluid Using Submerged Arc Nanoparticle Synthesis System (SANSS), *Journal of Crystal Growth*, 277, 636–642.
- Martin, K., McCarthy, G., (1991). North Dakota State Univ., Fargo, ND, USA., ICDD Grant-in-Aid.
- Miller J. C., Serrato, R. J. M., (2004). Represas - Cardenas and G. Kundahl. *The Handbook of Nanotechnology*, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- Nguyen, C.T., Desgranges F., Gilles R., Nicolas G., Thierry M., Boucher S., (2007). Temperature and particle-size dependent viscosity data for water-based nanofluids–hysteresis phenomenon, *Int. J. Heat Fluid Flow*, 28(6), 1492–1506.
- Patel, H. E., Sundararajan, T., Das S. K., (2010). An experimental investigation into the thermal conductivity enhancement in oxide and metallic nanofluids, *Journal of Nanoparticle Research*, 12(3), 1015-1031.
- Patel, J., & Parekh, K., (2018). Effect of Size and Morphology on Stability and Thermal Conductivity of ZnO Nanofluid. *Journal of Nanofluids*, 7(2), 284-291.

- Suresh, R., Ponnuswamy, V., Mariappan, R., (2013). Effect of annealing temperature on the microstructural, optical and electrical properties of CeO₂ nanoparticles by chemical precipitation method. *Applied Surface Science*, 273, 457-464.
- Şahin, B., (2010). Nanokışkanların Isı Transferi ve Akış Karakteristiklerinin İncelenmesi, TÜBİTAK Proje No: 105M292, Erzurum.
- Şahin, B., Çomaklı, K., Çomaklı, Ö., Yılmaz, M., Karşlı, S., Özyurt, Ö., Karagöz, Ş., Kaya, M., (2010). Nanokışkanların Isı Transferi ve Akış Karakteristiklerinin İncelenmesi”, Tübitak, Proje No: 105M292.
- Tavman, I., Turgut, A., (2010). An investigation on thermal conductivity and viscosity of water based nanofluids, *Microfluidics Based Microsystems NATO Science for Peace and Security Series A: Chemistry and Biology*, 139-162.
- Uysal, C., Korkmaz, M. E., (2018). Estimation of entropy generation for Ag-MgO/water hybrid nanofluid flow through rectangular minichannel by using artificial neural network. *Politeknik Dergisi*, ISSN: 2147-9429.
- Weerapun, D., Somchai, W., (2009). Measurement of temperaturedependent thermal conductivity and viscosity of TiO₂ water nanofluids, *Exp. Therm. Fluid Sci.*, 33(4), 706–714.
- Wen, D., Ding, Y., (2004). Experimental investigation into convective heat transfer of nanofluids at the entrance region under laminar flow conditions, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 47, 5181–5188.
- Xie H, Wang J, Xi T, Liu Y., (2001). Study on the thermal conductivity of SiC nanofluids. *J Chin Ceram Soc*, 29(4), 361–364.
- Xie H.Q., Wang J.C., Xi T.G., Liu Y., Ai F., Wu Q.R., (2002). Thermal conductivity enhancement of suspensions containing nanosized alumina particles, *J Appl Phys*, 91, 4568–4572.
- Zhu, H., Lin, Y., Yin, Y., (2004). A novel one-step chemical method for preparation of copper nanofluids, *Journal of Colloid and Interface Science*, 277, 100–103.

Determination of Thermophysical Properties of Nanofluids containing CuO and ZnO and Modeling with Artificial Neural Network

Extended Abstract

While the demand for energy, which is a necessary factor for the daily vital cycle, is constantly increasing, energy resources are rapidly exhausted. In this respect, it is of great importance to revise existing energy conversion systems and to develop new methods in order to benefit from the limited energy resources. Nowadays it is important to use the energy more efficiently by increasing the heat transfer in the in-pipe flows.

Nanoparticles increase the energy transport in the nanofluids. This can be explained by two points of view. First, the suspended nanoparticles change the composition of the fluid and convert the basic fluid into suspension. Therefore, they affect the energy transport processes. The latter are random movements of suspended particles. The interfacial interaction between the nanoparticles and the liquid molecules increases the energy transport in the fluid. Increased turbulence and large surface area allow for more heat transfer with increased heat conduction.

Nanoparticles that help improve heat transfer; It is very important to know the effect of nanofluids on the characteristics of nanofluids, the preparation of nanofluids, the thermophysical properties of nanofluids and heat transfer measurement techniques.

The thermophysical properties of nanofluids are very important for heat transfer applications. The thermophysical properties contain different parameters. These; specific heat capacity, viscosity, thermal conductivity and heat transfer coefficient.

Artificial neural network (ANN) method has become increasingly important in determining the thermophysical properties of nanofluids. These thermophysical properties, which are calculated by experimental data, can be easily determined by creating predictive models with ANN.

In this study, thermophysical properties of nanofluids produced by different nanoparticles were compared. The thermophysical properties calculated at different Reynolds number and different pH values were investigated. Estimated models were created by using ANN for experimentally calculated h values. Mean absolute error (MAE) and root mean square error

(RMSE) error analyzes were performed to determine the accuracy of the predicted models.

As a result, the heat transfer coefficients were calculated by using the nanoparticles produced by using Pure Water, Ethanol and Ethylene Glycol materials together with the produced nanoparticles. Table 4 and 5 show the change of pH and Reynolds values with the change of heat transfer coefficient. As the Reynolds number increased in accordance with the calculations, the heat transfer coefficient of nanofluids increased. It has been observed that the heat transfer coefficient of nanofluids decreases when pH values are increased.

Table 4. Heat transfer values of CuO Nanofluids according to Re and pH number

Re	CuO 7.84(pH) h (W/m ² K)	CuO 8.58(pH) h (W/m ² K)	CuO 8.75(pH) h (W/m ² K)	CuO 9.95(pH) h (W/m ² K)
887	349.821	340.722	338.764	326.565
1391	358.328	355.090	351.910	349.821
1695	362.738	358.328	356.163	351.910
1912	363.857	362.738	357.242	352.963
2290	374.253	368.406	358.328	357.242

Table 5. Heat transfer values of ZnO Nanofluids according to Re and pH number

Re	ZnO 7.32(pH) h (W/m ² K)	ZnO 8.52(pH) h (W/m ² K)	ZnO 8.90(pH) h (W/m ² K)	ZnO 9.92(pH) h (W/m ² K)
885	359.420	357.241	355.089	348.786
1385	363.857	361.625	358.328	356.163
1614	364.983	364.082	363.857	361.625
1957	367.257	366.117	364.984	362.738
2240	375.445	369.561	367.258	364.984

In the experimental measurements with the Reynolds number around 1600, the average heat transfer was 16.5% in ZnO and 13.3% in CuO compared to pure water. The relationship between different pH values and Reynolds number values of heat transfer coefficients of nanofluids were shown. For h values of CuO and ZnO based nanofluids, predictive models were created by using artificial neural network. The accuracy rate of the obtained models was compared. The predictive model of CuO-based nanofluids was shown to be 40% more successful than ZnO.

Keywords: Nanoparticle, nanofluids, thermophysical properties, artificial neural network