

## Enerji Depolamalı Bir Boruda Nanoakışkan Kullanımının Isıl Performansa Etkisinin Sayısal Olarak İncelenmesi

Eda Bakır<sup>1\*</sup>, Erdem Işık<sup>2</sup>, Aynur Uçar<sup>3</sup>, Fatih Bayrak<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Munzur Üniversitesi, Tunceli Meslek Yüksekokulu, Makine Programı, Tunceli, Türkiye

<sup>2</sup> Munzur Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Tunceli, Türkiye

<sup>3</sup> Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye

<sup>4</sup> Siirt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 56100, Siirt, Türkiye

\*edabakir@munzur.edu.tr , erdem@munzur.edu.tr , auçar@firat.edu.tr , fatih.byrc@gmail.com 

Makale gönderme tarihi:26.08.2021, Makale kabul tarihi: 04.10.2021

### Öz

Teknolojideki gelişmeler göz önüne alındığında, yüksek verimli elektronik cihazlardan beklenen verimlilik ve güvenilirliğe ulaşmak için iyi bir termal performansa sahip yeni yaklaşımlar ve soğutuculara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada aynı hidrolik çapa, kanal uzunluğuna ve kesit geometrisine sahip alüminyum boru kullanılmıştır. Sistemin ısı transfer hızını arttırmak için; boru içerisinde su, %1 ve %2 derişimlerine sahip Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/su nanoakışkanları, boru dış yüzeyinde ise 5mm kalınlığında RT25HC faz değiştiren maddesi (FDM) kullanılmıştır. Alüminyum boru içerisinde geçiren akışkanlar dört farklı hız ve dört farklı Reynolds sayısında ANSYS 20.2 paket programı kullanılarak analiz edilmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre her bir akışkan için kütleli erime oranı ve Nusselt sayısı hesaplanmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlar incelendiğinde en iyi Nusselt ve sıvı oranına Reynolds 1500 ve %2 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/su'da ulaşılmıştır. Tüm soğutucu akışkanlar için akışkan hızının artmasıyla soğutucu akışkanların kütleli erime oranının ve Nusselt sayısının arttığı sonucuna ulaşılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Nanoakışkan, faz değiştiren madde (FDM), sayısal analiz, ısı transferi

## Numerical Investigation of the Effect of Using Nanofluids on Thermal Performance in an Energy Storage Pipe

### Abstract

Considering the advances in technology, new approaches and heatsinks with good thermal performance are needed to achieve the efficiency and reliability expected from high-efficiency electronic devices. In this numerical study, an aluminum pipe with the same hydraulic diameter, channel length and cross-section geometry were used. To increase the heat transfer rate of the system; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/water nanofluids with water, 1% and 2% concentrations were used in the pipe, and a 5mm thick RT25HC phase change material (PCM) was used on the outer surface of the pipe. The fluids passed through the aluminum pipe were analyzed using the ANSYS 20.2 package program at four different speeds and four different Reynolds numbers.

According to the results obtained, the mass melting ratio and Nusselt number were calculated for each fluid. When the results obtained from the study were examined, it was seen that the best Nusselt and liquid fraction was Reynolds 1500 and 2% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/water. For all refrigerants, it was concluded that the mass melting rate of the refrigerants and the Nusselt number increased with the increase of the fluid velocity.

**Keywords:** Nanofluid, phase change materials (PCM), numerical analysis, heat transfer

### GİRİŞ

Gün geçtikçe artan insan nüfusu ile beraber teknolojik gelişmelerinde artması ve değişimi, günlük yaşantımızın önemli bir yerini kapsayan enerji ve enerjiye duyulan ihtiyacında paralel olarak artış

göstermektedir. Bu sebeple, azalmaya başlayan enerji kaynaklarının tasarruflu ve verimli bir şekilde kullanılması gerekmektedir (Bakır vd., Işık vd., İşkan vd. 2021). Gelişmiş ülkelerin az enerji ile hem doğayı

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.987436

koruma hem de yüksek verimlilik elde etme çalışmalarına verdiği değer de gün geçtikçe artmaktadır. Ülkemizde de bu yönde yapılan çalışmalar önem kazanmakta ve her geçen gün yeni projelere adım atılmaktadır.

Sistem verimliliği göz önünde bulundurulduğunda; elektronik soğutma, ısı eşanjörleri ve çeşitli enerji sistemlerindeki termal yönetim büyük önem taşımaktadır. Elektronik cihazların ve enerji sistemlerinin sınırlı bir hacimde ürettikleri atık ısı, sistemin optimum sıcaklık seviyesini belirli bir süre sonra geçmektedir. Bu sıcaklık değeri sistem performansını negatif yönde etkilemektedir. Negatif etkinin pozitif dönüşmesi için yüksek sıcaklıkların sistem sınırları içerisinde verimli ve hızlı bir şekilde uzaklaştırılması ayrıca güvenilir çalışma koşullarına tekrardan getirilmesi gerekmektedir. Enerji sistemlerinde kullanılan su, nanoakışkan ve FDM'lerin ısı transferine olan etkisi ile ilgili literatüre ait bazı çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Derouich vd. (2018), farklı eğimlerde salınan kare silindirden, sıcaklık farklılığından kaynaklı ısı transfer karakteristiklerini ve akışta meydana gelen fiziksel ve termodinamik davranışları incelemek için sayısal bir inceleme yapmışlardır. Salınım açısı 0 ile  $\pi/2$  arasında değiştirilmiştir. Silindirin yan uzunluğu ile kanal yüksekliği arasındaki oranın etkileri, Reynolds sayısı (Re), salınım genliği, salınım frekansı ve ısı geçiş karakteristikleri incelenmiştir. Sonuçlarda, çalışılan değerler artırıldığı zaman ısı transfer oranlarının önemli ölçüde arttığını göstermektedir. Hassani vd. (2018), kanatçık konfigürasyonunun nanoakışkan soğutmalı elektronik ısı emicisinin taşıma özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Deneyde akışkan olarak %0.5 ve %1 hacimli konsantrasyonlarda  $Al_2O_3$  nanoparçacıkları ile su kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre kesilen kanatçıkların kullanılması ile yüzey ve çıkış soğutma suyu sıcaklığındaki artıştan dolayı azalma meydana gelmiş ve daha iyi bir ısı transfer sürecine neden olduğunu göstermiştir. Nnanna vd. (2009) nanoakışkan bazlı ısı eşanjörü kullanarak bir termoelektrik modülün ısı verimini araştırmışlardır. Çalışılan sistemde soğutucu olarak bir termoelektrik modül ve  $Al_2O_3$ /su nanoakışkanı, çip (chip-mikroişlemci) olarak ısı kaynağı kullanılmıştır. Çalışmada; nanoakışkan, saf su ile karşılaştırılmış, termoelektrik modülün sıcak ve soğuk taraf arasındaki sıcaklık farkının, nanoakışkan

için yaklaşık sıfır, su için bu değer daha büyük olduğu görülmüştür. Başka bir deyişle ısı transfer akışkanı olarak kullanılan nanoakışkanın, suya göre daha iyi bir ısı transfer hızı sağladığını belirtmişlerdir.

Saqr vd. (2014) yaptıkları sayısal çalışmada ısı transferi ve entropi üzerinde dönmeli jetlerin akış yoğunluğuna bağlı olarak etkilerini incelemişlerdir. Bu çalışmada izotermal olmayan boru akışlarının sayısal simülasyonları yapılmıştır. Dönme sayısının viskoz yayılımı artırması nedeniyle entropi düzeyini artırdığı gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlar boru akışlarında dönmeli akış ısı transferini artırdığını ve basıncın düştüğünü ortaya koymuştur. Chatterjee vd. (2014) Cu-H<sub>2</sub>O nanosivisinin kare bir muhafaza içinde dönen dairesel bir silindir ile konvektif taşınmasını sayısal olarak incelenmişlerdir. Simülasyonlar, Richardson sayısı  $1 \leq Ri \leq 10$ , boyutsuz dönme hızı  $0 \leq \Omega \leq 5$  ve nanopartikül konsantrasyonu  $0 \leq \phi \leq 0.20$  için Grashof sayısı  $Gr=104$  olarak sabit tutularak yapılmıştır. Isı transferinin büyük ölçüde silindirin dönme hızına, karışık konvektif mukavemete ve nanopartikül konsantrasyonuna bağlı olduğu gözlemlenmiştir. Piratheepan ve Anderson (2014) yaptıkları çalışmada, duvar üzerinde karbon nanotüplere dayanan bir nanoakışkan formülüne edilmiş ve ısı transfer özellikleri deneysel olarak düz bir tüpteki türbülanslı akışa göre karşılaştırılmıştır. Deneysel; nanoakışkan kullanımının, pompalama gücünde bir artışa ayrıca gözlemlenen konvektif ısı transferi hızında bir azalmaya neden olduğunu göstermiştir. Bu türbülanslı akışlardaki çok yönlü karbon nanotüp nanoakışkanlarının aslında ısı transfer hızını arttırmak yerine azalttığını ve dolayısıyla zorunlu türbülanslı akışlarda uygun bir ısı transfer ortamı sağlamadığını göstermiştir. Lo vd. (2018) çalışmalarını bir çift dairesel rijit silindir ele alıp, akış hacmi içerisinde belirli bir yönde hareket ettirip, akış hacmi içerisinde meydana gelen ısı transferini ve akış olaylarını sayısal yöntemler kullanarak incelemişlerdir. Re sayısı,  $1 \leq Re \leq 5000$  aralığında altı farklı değerde tutulmuş ve Prandtl sayısını (Pr) 0.7 olarak alınmıştır. Belirlenen parametrelerde, her bir düzlemde silindir yüzeyine ait duvarlarda, yerel ve ortalama Nusselt sayısı (Nu), silindirler arasında oluşan akış rejimleri ve mesafeye bağlı olarak ısı transferi üzerinde etkisini araştırmışlardır. Silindirler arasındaki mesafenin azalması ile meydana gelen ısı transfer oranının ve akışta meydana gelen türbülansın arttığı sonucuna ulaşmışlardır. Ahmed vd. (2015) çalışmalarında,

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.987436

dönmeli ve dönmeli olmayan akışın türbülanslı akış ile karşılaştırılmasını incelemişlerdir. Çalışmada SST türbülans modeli kullanılmıştır. Re sayısı 23.000 olarak alınmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre aynı Re sayısında maksimum hızda dönmeli jetlerin dönmeli olmayan jetlere göre daha fazla yüzeye etki ettiği görülmüştür. Bunun sonucunda radyal hızı daha fazla etkilediği ve ısı transferi yüzey alanının daha fazla olduğu görülmüştür. Won ve Ligrani (2004) yaptığı çalışmada, yüzey üzerindeki Nu sayısı ve akış rejimini araştırmışlardır. Dört farklı en-boy oranına sahip kanallara engeller yerleştirerek deneysel çalışma gerçekleştirmişlerdir. Engeller; akış hacminin yatay yüzeyine 45° açı ve engellerin kendi içerisinde 90° açı yapacak şekilde yerleştirilmiştir. Çalışmada, Re sayısı  $480 \leq Re \leq 18300$  aralığında değişken olarak ele alınmıştır. Karşılaştırmalarda akış karakteristiklerinde önemli farklılıklar görülmüş ve özellikle engellerin sınırlarındaki akışkan hareketinden dolayı Nu sayısında artış yaşandığını göstermişlerdir.

Keshavarz Moraveji vd. (2013) çalışmalarında tabanı 20x20 mm olan mini kanallı bir ısı emici modelleyip, analizini yapmışlardır. Bu amaçla, TiO<sub>2</sub> ve SiC içeren her iki tür nanopartikül için beş giriş hızında %0.8, %1.6, %2.4, %3.2 ve %4 olmak üzere beş nanopartikül hacim fraksiyonu kullanılmıştır. Ayrıca, bir nanopartikül hacim fraksiyonunun konvektif ısı transfer katsayısına etkisi farklı Reynolds sayılarında araştırılmıştır. Analiz sonuçlarına ek olarak Nusselt sayısı ve sürtünme faktörü için korelasyonlu denklemler elde edilmiş ve doğrulukları kabul edilebilir düzeyde bulmuşlardır. Azari vd. (2013) çalışmalarında, düz dairesel bir boruda Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub> ve SiO<sub>2</sub> nanoparçacıkları içeren su bazlı nanoakışkanların ısı transferini ve basınç düşümünü incelemişlerdir. Sistem şartları olarak laminar akış ve sabit ısı akışı olarak, sistemi deneysel olarak incelemişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve TiO<sub>2</sub> nanoparçacıkları suya eklenmesinin ısı transferini olumlu yönde etkilediği gözlemlenmiştir. Heris vd. (2006), çalışmalarında, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve CuO nanoparçacıklarını, farklı derişimlerde temel akışkan olan su ile karıştırarak sırasıyla %0.2, %1, %2, %2.5, %3 derişimindeki Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/su, CuO/su karışımlarını elde edip dairesel bir borudaki akışını, laminar akış şartlarında ve sabit cidar sıcaklığı sınır şartları altında deneysel olarak incelenmiştir. Nanoparçacık derişiminin artması ve Peclet sayısının artmasının ısı transferini olumlu yönde etkilediği yapılan deneyler

sonucunda gözlemlenmiştir. Mohammadpourfard vd. (2016) yaptıkları çalışmada, sayısal analiz yöntemiyle düzgün olmayan enine manyetik alanlarda nanoakışkan kullanarak dönmeli jetlerin özelliklerini incelemişlerdir. Su ve %1 konsantrelili nanoakışkan (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) kullanılmıştır. Dönmeli jetlerin sayısal analiz sonuçlarına göre akışın türbülans yoğunluğu, manyetik alan, kritik ısı akısının ve ısı transferinin arttığı gözlemlenmiştir. Bu gözlemlere dayanarak dönmeli jetlerin manyetik alan etkisini ve ısı transfer oranını artırdığı açıkça görülmüştür. Selimefendigil ve Öztop (2020) çalışmalarında, dönen bir silindirin etkisi altında olan kare boşluklu bir faz değişim malzemesinin karışık konveksiyonu sayısal olarak incelemişlerdir. Dikey duvarlar sabit sıcaklıkta tutulurken, yatay duvarlar adyabatik alınmıştır. Silindirin farklı dikey konumları için ortalama ısı transferinin en yüksek değeri, silindirin açılal dönme hızına bağlı olduğu görülmüştür. Ortalama Nusselt sayısı, büyük bir silindir kullanıldığında, daha küçük olana kıyasla silindirin saat yönünde dönüşü için %10 artışı ve sabit silindir konfigürasyonu için %19,8 olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışmanın amacı, enerji sektörü ve elektronik cihazların çalışırken ürettikleri yüksek ısının minimize edilmesi için yapılan sayısal bir analizdir. Ele alınan çalışma ile sektördeki enerji verimliliğinin artırılmasına katkı sağlayacaktır. Bu çalışmanın bulguları, nanoakışkanların ve FDM'lerin sektörde etkin bir şekilde kullanılmasına ve yatırımcılara bu malzemeler hakkında yol gösterici olacaktır.

## MATERYAL VE METOT

Akışkanlar mekaniği ile ilgili problemler mühendislikte sayısal ve deneysel metot olmak üzere iki farklı şekilde çözülmektedir. Yaptığımız bu çalışmada akış davranışlarının diferansiyel denklemler yardımıyla sayısal olarak çözümleme yapan bir Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yazılımı olan ANSYS 20.2 kullanılmıştır.

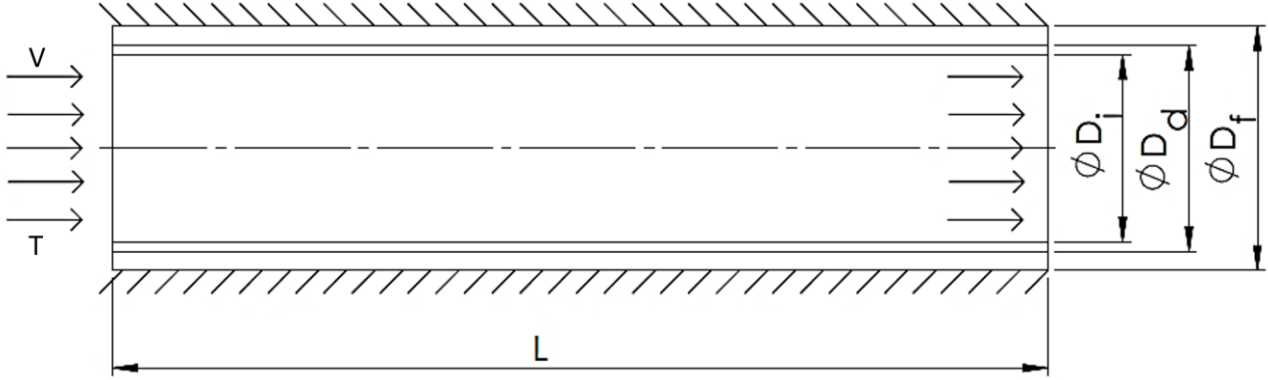
### Sayısal analiz ve eşitlikler

Sayısal çalışmada aynı hidrolik çapa ve kanal uzunluğuna sahip aynı kesit geometrisi kullanılmıştır. Dairesel kesit geometrisine sahip kanalın uzunluğu  $L=250$  mm, çapı  $D_i=50$ mm,  $D_d=55$ mm,  $D_f=65$ mm'dir. Dairesel boruyu saran faz değiştiren maddenin çapı ise 25 mm'dir. Dairesel kesit geometrisine sahip kanalın fiziksel modellemesi Şekil 1'de verilmiştir. Kanalın giriş bölgesinde

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.987436

üniform hız tanımlanırken akışkanın giriş sıcaklığı 50 °C ve ortam sıcaklığı 20°C kabul edilmiştir. Sınır şartı olarak; laminar akış ve zorlanmış taşınım modele uygulanmıştır. Sistem, tek faz homojen model yöntemi kullanılarak sayısal olarak incelenmiştir.

Çalışmada kullanılan nanoparçacık Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'ün ve suyun termofiziksel özellikleri Tablo 1'de, boru etrafını saran RT25HC faz değiştiren maddesinin termofiziksel özellikleri Tablo 2'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Dairesel kesit geometrisine sahip kanalın geometrik yapısı

Tablo 1. Nanoparçacık ve suyun termofiziksel özellikleri (Gkoutas vd. 2020)

| Özellikler                           | Su                    | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |
|--------------------------------------|-----------------------|--------------------------------|
| $\rho$ Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> ) | 997.1                 | 3970                           |
| $\mu$ Viskosite (Pa.s)               | 0.85x10 <sup>-3</sup> |                                |
| $C_p$ Özgül ısı (J/(kg.K))           | 4179                  | 765                            |
| $k$ Isı iletkenliği(W/(m.K))         | 0.613                 | 40                             |

Tablo Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı.. RT25HC ve alüminyumun termofiziksel özellikleri (Elsheniti vd. 2020)

|            | Özgül ısı<br>(J/kg.K) | Isı iletkenliği<br>(W/m.K) | Yoğunluk<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Viskosite<br>(Pa.s)   | Gizli Isı<br>(J/kg) | Termal<br>genleşme<br>katsayısı<br>(1/K) | Erime<br>Sıcaklığı<br>(°C) |
|------------|-----------------------|----------------------------|----------------------------------|-----------------------|---------------------|--|----------------------------|
| FDM (katı) | 1800                  | 0.19                       | 785                              | 1.798x10 <sup>5</sup> | 232.000             | 0.001                                    | 25                         |
| FDM (sıvı) | 2400                  | 0.18                       | 785                              | 0.001798              | -                   | -  | -                          |
| Alüminyum  | 903                   | 211                        | 2675                             | -                     | -                   | -  | -                          |

Temel akışkanın ve nanoparçacıkların termal dengede ve aynı hızda hareket ettikleri kabul edilmektedir. Bu nedenle, temel akışkanlar için kullanılan enerji, momentum ve kütle korunumu denklemleri, tek faz modeller için kullanılmaktadır. (Xuan vd. 2000). Kurucu denklemler;

Kütlenin Korunumu Denklemi:

$$\nabla \cdot (\rho_{nf} v) = 0 \quad (1)$$

Momentumun Korunumu Denklemi:

$$\rho_{nf} (v \cdot \nabla v) = -\nabla P + \mu_{eff} \nabla^2 v \quad (2)$$

Enerjinin Korunumu Denklemi:

$$\nabla \cdot (\rho_{nf} v c_{p,nf} T) = \nabla \cdot (k_{eff} \nabla T) \quad (3)$$

Sayısal çalışmada oluşturulan geometri de mesh bağımsızlık çalışması yapılmıştır. Elde edilen verilere göre 902383 mesh sayısından sonra anlamlı bir değişim olmadığı için, bir sonraki değer olan 912087 mesh sayısı ile çalışmalara devam edilmiştir.

Verilerin alınması anında Reynolds sayısı, Nusselt sayısı, Peclet sayısı gibi boyutsuz sayılar kullanılmıştır. Nusselt sayısını hesaplamak için Shah London denkleminde yararlanılmıştır.

Shah London Denklemi (Hussein vd. 2014) ;

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.987436

$$Nu_{ort} = 1.953 \left( Re_{D_h} Pr \frac{D_h}{L} \right)^{(1/3)} \quad (4)$$

için;

$$(Re Pr D_h/L) \geq 33.33 \quad (5)$$

$$Nu_{ort} = 4.364 + 0.0722 \left( Re_{D_h} Pr \frac{D_h}{L} \right)^{(1/3)} \quad (6)$$

için;

$$(Re Pr D_h/L) < 33.33 \quad (7)$$

Peclet sayısı, ortalama ısı transfer katsayısı, Reynolds sayısı, Prandtl sayısı, ısı taşınım katsayısı ve Nusselt sayısı sırasıyla aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$Re_{nf} = \frac{\rho_{nf} \cdot \bar{U} \cdot D_h}{\mu_{nf}} \quad (8)$$

$$Pr_{nf} = \frac{c_{p_{nf}} \cdot \mu_{nf}}{k_{nf}} \quad (9)$$

$$h_{ort} = \frac{q}{(T_w - T_b)} \quad (10)$$

Denklemden  $h$  ortalama ısı taşınım katsayısıdır.  $T_w$  yüzeyin cidar sıcaklığı,  $T_b$  ortalama akışkan sıcaklığıdır. Ortalama akışkan sıcaklığı aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$T_b = \frac{T_g + T_c}{2} \quad (11)$$

$T_g$  akışkanın giriş sıcaklığı,  $T_c$  akışkanın çıkış sıcaklığıdır.

$$Nu = \frac{h \cdot D_h}{k} \quad (12)$$

Çalışmanın sayısal modellemesinde; FDM'nin sıvı fazı, üç boyutlu, kararsız, laminar ve sıkıştırılmaz olarak kabul edilir. Hesaplama alanındaki ısı transferleri, katı faz ve sıvı fazdaki iletimin etkisi ile gerçekleşir. Faz değişimi sırasında FDM hacmindeki değişiklik dikkate alınmaz. FDM eritmeyi simüle etmek için süreklilik, momentum ve enerji denklemleri aşağıdaki gibi sağlanır (Kok 2020).

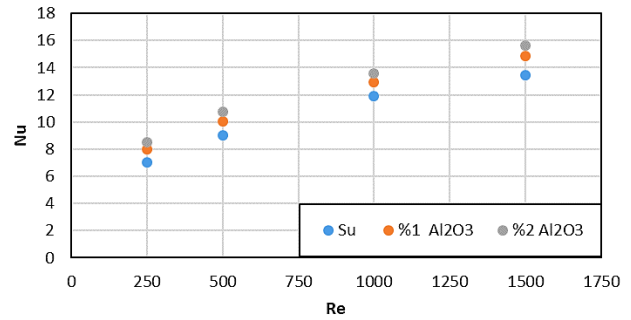
$$\frac{\partial}{\partial t} \rho + \nabla \cdot (\rho \vec{u}) = 0 \quad (13)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \vec{u}) + \nabla \cdot (\rho \vec{u} \vec{u}) = \mu \nabla^2 \vec{u} - \nabla p + \rho \vec{g} + \vec{S} \quad (14)$$

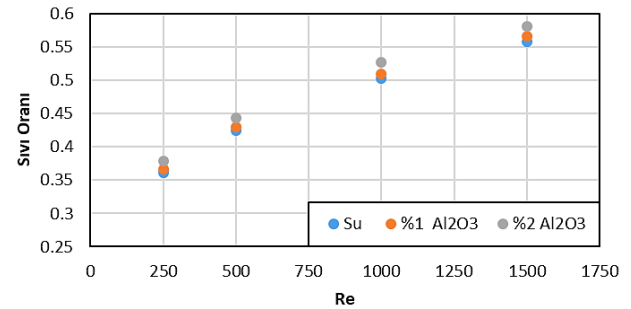
$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho h) + \nabla \cdot (\rho \vec{u} L H) = \nabla \cdot (k \nabla T) \quad (15)$$

## TARTIŞMA VE SONUÇ

Geometride laminar akış ele alınarak 250, 500, 1000, 1500 Reynolds sayılarında su, %1 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/su, %2 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/su kullanılarak sistem üzerine etkileri incelenmiş ve birbirleri arasında kıyaslama yapılmıştır. Farklı Reynolds sayılarında ve farklı akışkanlar için elde edilen sayısal sonuçlar için Nusselt sayısı değişimi Şekil 2'de gösterilmiştir. Grafikte görüldüğü üzere 250, 500, 1000, 1500 Reynolds sayılarında ki en yüksek Nusselt değerine Reynolds 1500 sayısında ve %2 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/su nanoakışkan tipinde ulaşıldığı görülmektedir.



Şekil 2. Farklı akışkanlar için Reynolds sayısına bağlı olarak Nusselt sayısının değişimi



Şekil 3. Su ve nanoakışkanların Reynolds'a göre sıvı oranı

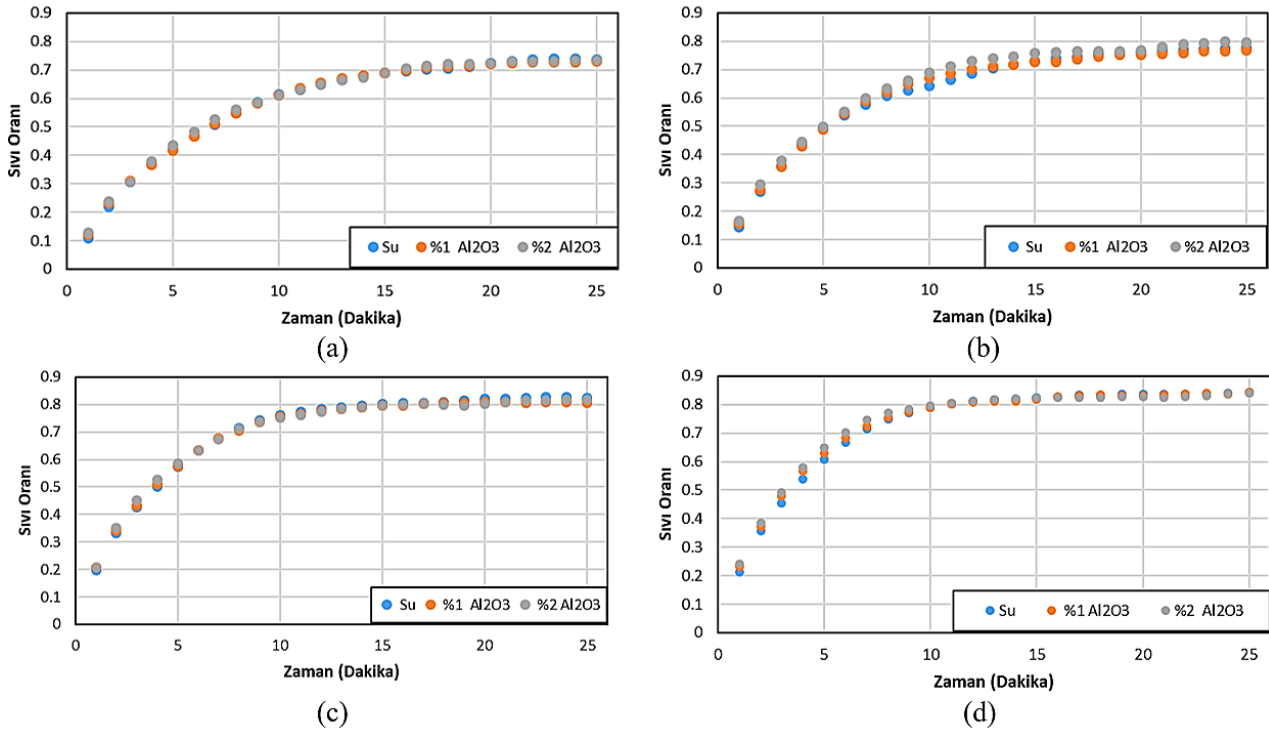
250, 500, 1000 ve 1500 değerlerindeki farklı Reynolds sayılarında boru içerisinden geçirilen su, %1 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/su ve %2 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/su nanoakışkanlarının sıvı oranına etkileri Şekil 3'de gösterilmiştir. En iyi sıvı oranı tüm akışkanlar için 1500 Reynolds sayısında görülmüştür. Akışkan olarak ise %2 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/su için en iyi sıvı oranına ulaşıldığı görülmüştür. Reynolds sayısı 1500 için sıvı oranları incelendiğinde kararlı hale geçmeden önce su için sıvı oranı % 55.833, %1

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.987436

$Al_2O_3$ /su sıvı oranı % 56.636, %2  $Al_2O_3$ /su için sıvı oranı % 58.0897 olduğu gözlemlenmiştir.

Şekil 4'de 250, 500, 1000 ve 1500 Reynolds sayılarındaki akışkanların zamana bağlı sıvı oranlarının değişimi gösterilmiştir. Şekil 4 (a) sıvı oranlarını en düşük çıktığı durum olmuştur. Son zaman adımı kararlı duruma gelen akışkanların sıvı oranları su için %73.0429, %1  $Al_2O_3$ /su için %73.4654, %2  $Al_2O_3$ /su içinse %73.6565 olduğu görülmüştür. Şekil 4 (b)'de erime oranı zamana bağlı en iyi %2  $Al_2O_3$ /su de görülmüştür. Yirmi beşinci dakikada kararlı duruma geldiğinde tüm akışkanların erime oranlarını verecek olursak su için %77.6735, %1  $Al_2O_3$ /su için %76.8643, %2  $Al_2O_3$ /su içinse %79.6182'dir. Şekil 4 (c)'de  $Al_2O_3$ /su nanoakışkanının, %1 ve %2 hacimsel derişimlerinde nanoparçacık

içeren nanoakışkanlarının sayısal sonuçları su ile karşılaştırılmıştır. En iyi sonuç %2  $Al_2O_3$ /su da elde edilmiştir. Erime oranlarına incelendiğinde su için % 80.6244, %1  $Al_2O_3$ /su için % 81.6996, %2  $Al_2O_3$ /su için ise % 82.4657'dir. Re 1500 için zamana bağlı olarak akışkanların sıvı oranını ne kadar etkilediği Şekil 4 (d)'de verilmiştir. Grafikten de anlaşılacağı üzere sıvı oranı zamana bağlı olarak arttığı ve en iyi erime halinin %2  $Al_2O_3$ /su derişimindeki nanoakışkan için gerçekleştiği görülmüştür. En iyi erimenin %2  $Al_2O_3$ /su derişimindeki nanoakışkan da gerçekleşmesinin sebebi, diğer akışkanlara göre ısı iletim katsayısının yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Nicel olarak erime oranlarını ifade edecek olursak su için % 83.2412, %1  $Al_2O_3$ /su için % 84.09508, %2  $Al_2O_3$ /su için ise % 84.8648'dir.



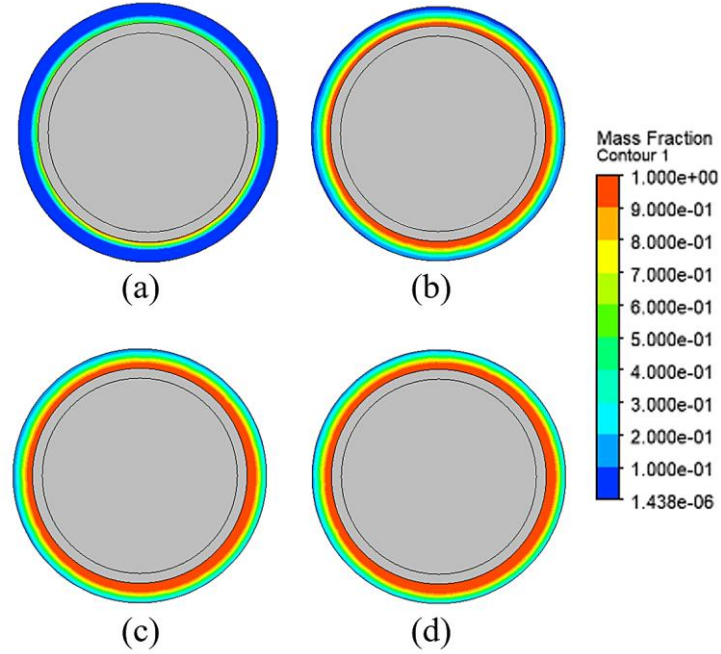
Şekil 4. Su ve nanoakışkanların zamana bağlı sıvı oranı (a) Re 250 (b) Re 500 (c) 1000 (d) 1500

Sıvı oranlarının en yüksek elde edildiği durum olan Reynolds 1500 ve %2  $Al_2O_3$ /su için sıvı oranlarının eş eğrileri Şekil 5'de verilmiştir. Borunun önünden kesit görünümü alınmış olup farklı zamanlarda sürenin artmasına bağlı olarak sıvı oranının da arttığı görülmüştür. Zaman bakılacak olursa birinci dakika da boru etrafının mavi renk olması FDM'nin katı halde olduğunu erime oranının

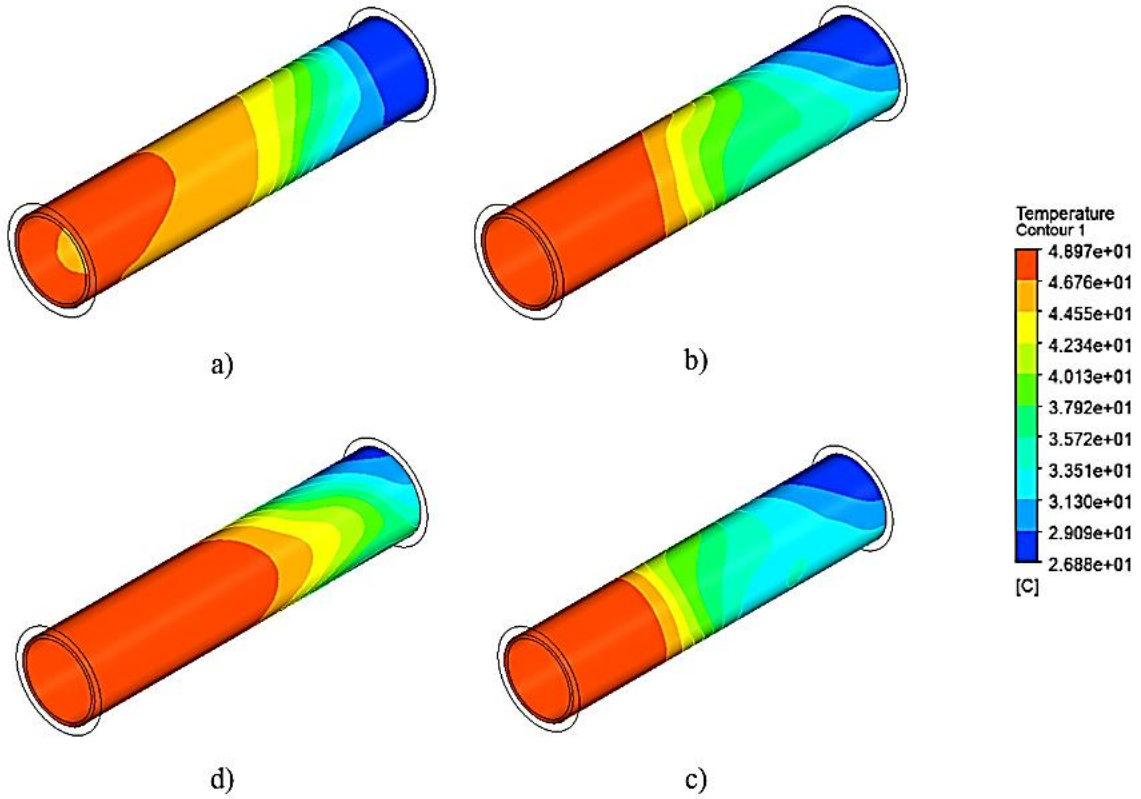
görülmediği anlaşılabilir. Yirmi beşinci dakika da ise oluşan kırmızı renk FDM'nin eridiği anlamına gelmektedir. Reynolds 1500 ve %2  $Al_2O_3$ /su göz önünde bulundurularak zamana bağlı sıcaklık eş eğrileri Şekil 6'da verilmiştir. Tam boru profilinden verilen sıcaklık eş eğrilerini boruda sıcaklık dağılımını net bir şekilde gösterilmektedir. Sıcaklığa bağlı olarak ısı transferinin arttığı, boru girişinde ki

Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.987436

sıcaklık ile boru çıkışında ki sıcaklığın farkı açıkça belli olmaktadır. FDM'ler ısıyı depoladığından giriş ve sıcaklık farkını açıklamaktadır.



Şekil 5. Re 1500 de %2 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/su için sıvı erime görünümü a) 1. Dakika b) 9.dakika c) 18.dakika d) 25.dakika



Şekil 6. Re 1500 de %2 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/su için sıcaklık görünümü a) 1. Dakika b) 9.dakika c) 18.dakika d) 25.dakika

## SONUÇLAR

Bu çalışmada, nanoakışkanların ve suyun farklı Reynolds sayılarındaki Nusselt sayısı değerleri ile FDM'nin sıvı oranı incelenmiştir. Elde edilen sayısal veriler aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- Nusselt sayısının Reynolds sayısına göre kıyaslaması yapıldığında, 1500 Reynolds sayısı değerinde Nusselt sayıları sırasıyla su için 13.4653, %1 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/su nanoakışkanı için 14.858 ve %2 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/su nanoakışkanında ise Nusselt sayısı 15.6618 bulunmuştur. En yüksek değer %2 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/su'da görülürken suyun Nusselt sayısı akışkan tipleri içinde en az değere sahip olup %16.32 arttığı sonucuna ulaşılmıştır.
- Farklı Reynolds sayılarında yapılan bu işlemlerde görüldüğü üzere Reynolds sayısı azaldıkça FDM'nin üzerine olan etkinin azaldığı tespit edilmiştir.

- 250, 500, 1000 ve 1500 Reynolds sayısı değerleri için en iyi erime oran değeri %2 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/su için gerçekleşmiştir. Bu Reynolds sayılarında %2 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/su ile suyun erime oranlarındaki artış aralığı %0.61-%1.94'tür.
- FDM de oluşan erime zamana bağlı olarak arttığı ve bir süre sonra kararlı hale geldiği için sıvı oranında belirgin bir değişiklik olmadığı gözlemlenmiştir.

## Semboller ve Kısaltmalar

|       |                                     |
|-------|-------------------------------------|
| $C_p$ | özgül ısı (J/(kg.K))                |
| $D_d$ | dış çap (mm)                        |
| $D_f$ | faz değiştiren malzemenin çapı (mm) |
| $D_h$ | hidrolik çap (mm)                   |
| $D_i$ | iç çap (mm)                         |
| $k$   | ısı iletkenliği (W/(m.K))           |
| $L$   | uzunluk (mm)                        |
| $n_f$ | Nanoakışkan                         |
| $T$   | sıcaklık (°C)                       |



Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.987436

|          |                                 |
|----------|---------------------------------|
| $\rho$   | yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )   |
| $\mu$    | viskozite (Pa.s)                |
| $\Omega$ | boyutsuz dönme hızı             |
| $\Phi$   | nanopartikül konsantrasyonu     |
| FDM      | Faz Değiştiren Malzeme          |
| Gr       | Grashof sayısı                  |
| HAD      | Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği |
| Nu       | Nusselt sayısı                  |
| Pr       | Prandtl sayısı                  |
| Re       | Reynolds sayısı                 |
| Ri       | Richardson sayısı               |

### ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazar/Yazarlar bu makale ile ilgili herhangi bir çıkar çatışması bildirmemektedir.

### ARAŞTIRMA VE YAYIN ETİĞİ BEYANI

Yazar/Yazarlar bu çalışmanın araştırma ve yayın etiğine uygun olduğunu beyan eder.

### KAYNAKLAR

- Ahmed, Zahir U., Yasir M. Al-Abdeli, and Miccal T. Matthews. 2015. "The Effect of Inflow Conditions on the Development of Non-Swirling versus Swirling Impinging Turbulent Jets." *Computers and Fluids* 118:255–73. doi: 10.1016/j.compfluid.2015.06.024.
- Azari, Ahmad, Mansour Kalbasi, Masoud Derakhshandeh, and Masoud Rahimi. 2013. "An Experimental Study on Nanofluids Convective Heat Transfer through a Straight Tube under Constant Heat Flux." *Chinese Journal of Chemical Engineering* 21(10):1082–88. doi: 10.1016/S1004-9541(13)60618-7.
- Bakır, Eda, Fatih Bayrak, and Hakan Öztop. 2021. "Experimental Analysis of PV/T Collectors Assisted with PCM for Off-Grid Domestic Applications." *European Journal of Science and Technology* (23):627–36. doi: 10.31590/ejosat.841922.
- Chatterjee, Dipankar, Satish Kumar Gupta, and Bittagopal Mondal. 2014. "Mixed Convective Transport in a Lid-Driven Cavity Containing a Nanofluid and a Rotating Circular Cylinder at the Center." *International Communications in Heat and Mass Transfer* 56:71–78. doi: 10.1016/j.icheatmasstransfer.2014.06.002.
- Derouich, Y., Z. Nasri, S. Abide, and A. H. Laatar. 2018. "Inclination Effects on Heat Transfer by an Oscillating Square Cylinder in Channel Flow." *International Journal of Heat and Mass Transfer* 125:1105–20. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.04.103.
- Elsheniti, Mahmoud B., Moataz A. Hemedah, M. M. Sorour, and Wael M. El-Maghlany. 2020. "Novel Enhanced Conduction Model for Predicting Performance of a PV Panel Cooled by PCM." *Energy Conversion and Management* 205(January):112456. doi: 10.1016/j.enconman.2019.112456.

- Gkoutas, Apostolos A., Lefteris Th. Benos, Konstantinos Stefanos Nikas, and Ioannis E. Sarris. 2020. "Heat Transfer Improvement by an Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Water Nanofluid Coolant in Printed-Circuit Heat Exchangers of Supercritical CO<sub>2</sub> Brayton Cycle." *Thermal Science and Engineering Progress* 20(May):100694. doi: 10.1016/j.tsep.2020.100694.
- Hassani, S. M., M. Khoshvaght-Aliabadi, and S. H. Mazloumi. 2018. "Influence of Chevron Fin Interruption on Thermo-Fluidic Transport Characteristics of Nanofluid-Cooled Electronic Heat Sink." *Chemical Engineering Science* 191:436–47. doi: 10.1016/j.ces.2018.07.010.
- Heris, S. Zeinali, S. Gh Etemad, and M. Nasr Esfahany. 2006. "Experimental Investigation of Oxide Nanofluids Laminar Flow Convective Heat Transfer." *International Communications in Heat and Mass Transfer* 33(4):529–35. doi: 10.1016/j.icheatmasstransfer.2006.01.005.
- Hussein, Adnan M., R. A. Bakar, and K. Kadrigama. 2014. "Study of Forced Convection Nanofluid Heat Transfer in the Automotive Cooling System." *Case Studies in Thermal Engineering* 2:50–61. doi: 10.1016/j.csite.2013.12.001.
- Işık, E. & Tuğan, V.(2021). Dairesel Bir Boruda Kullanılan Boyuna Dalgalı Kanatçıkların Isı Transferine Etkisinin Sayısal Olarak İncelenmesi . *International Journal of Pure and Applied Sciences*, 7(1), 19-26. doi:10.29132/ijpas.907077
- İşkan, Ü., Direk, M., Yüksel, F. & Soyulu, E. (2021). Otomobil İklimlendirme Sistemlerinde Farklı Soğutucu Akışkan Kullanılmasında Kompresörün Hacimsel Verim Analizi. *International Journal of Pure and Applied Sciences*, (1),41-50. doi:10.29132/ijpas.881952
- Keshavarz Moraveji, Mostafa, Reza Mohammadi Ardehali, and Ali İjam. 2013. "CFD Investigation of Nanofluid Effects (Cooling Performance and Pressure Drop) in Mini-Channel Heat Sink." *International Communications in Heat and Mass Transfer* 40(1):58–66. doi: 10.1016/j.icheatmasstransfer.2012.10.021.
- Kok, Besir. 2020. "Examining Effects of Special Heat Transfer Fins Designed for the Melting Process of PCM and Nano-PCM." *Applied Thermal Engineering* 170(August 2019). doi: 10.1016/j.applthermaleng.2020.114989.
- Lo, D. C., C. P. Lee, and I. F. Lin. 2018. "An Efficient Immersed Boundary Method for Fluid Flow Simulations with Moving Boundaries." *Applied Mathematics and Computation* 328:312–37. doi: 10.1016/j.amc.2018.01.022.
- Mohammadpourfard, M., H. Aminfar, and M. Karimi.

Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.987436

2016. "Numerical Investigation of Non-Uniform Transverse Magnetic Field Effects on the Swirling Flow Boiling of Magnetic Nanofluid in Annuli." *International Communications in Heat and Mass Transfer* 75:240–52. doi: 10.1016/j.icheatmasstransfer.2016.04.019.
- Nnanna, A. G. Agw., William Rutherford, Wessam Elomar, and Brian Sankowski. 2009. "Assessment of Thermoelectric Module with Nanofluid Heat Exchanger." *Applied Thermal Engineering* 29(2–3):491–500. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2008.03.007.
- Pirathepan, M., and T. N. Anderson. 2014. "An Experimental Investigation of Turbulent Forced Convection Heat Transfer by a Multi-Walled Carbon-Nanotube Nanofluid." *International Communications in Heat and Mass Transfer* 57:286–90. doi: 10.1016/j.icheatmasstransfer.2014.08.010.
- Saqr, Khalid M., and Mazlan A. Wahid. 2014. "Effects of Swirl Intensity on Heat Transfer and Entropy Generation in Turbulent Decaying Swirl Flow." *Applied Thermal Engineering* 70(1):486–93. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2014.05.059.
- Selimefendigil, Fatih, and Hakan F. Öztop. 2020. "Mixed Convection in a PCM Filled Cavity under the Influence of a Rotating Cylinder." *Solar Energy* 200(June 2019):61–75. doi: 10.1016/j.solener.2019.05.062.
- Won, S. Y., and P. M. Ligrani. 2004. "Comparisons of Flow Structure and Local Nusselt Numbers in Channels with Parallel- and Crossed-Rib Turbulators." *International Journal of Heat and Mass Transfer* 47(8–9):1573–86. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2003.10.026.
- Xuan, Yimin, and Qiang Li. 2000. "Heat Transfer Enhancement of Nanofluids." *International Journal of Heat and Fluid Flow* 21(1):58–64. doi: 10.1016/S0142-727X(99)00067-3.