



## Isı Değiştirici Uygulamasında Farklı Tiplerde Nanoakışkan Kullanımı Üzerine Sayısal Bir Çalışma

Onurhan YAĞLIOĞLU<sup>1</sup>, Elif Nur EREN<sup>1</sup> ve Mustafa AKKAYA<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Türkiye

\*([mustafa.akkaya@cbu.edu.tr](mailto:mustafa.akkaya@cbu.edu.tr)) Başlıca yazarın mail adresi

**Özet** – Son dönemlerde enerji verimliliği üzerine birçok araştırma yapılmıştır. Bu çalışmada ısı değiştiricilerde ısı transfer verimini arttırmak için geleneksel çalışma sıvılarının yanı sıra ısı iletkenliği yüksek olan nanoakışkanlar üzerinde durulmuştur. Saf suyun içerisine %1 ve %2 kütle fraksiyonunda indirgenmiş grafen oksit (rGO), titanyum dioksit (TiO<sub>2</sub>) ve silisyum oksit (SiO<sub>2</sub>) nanoparçacıkları katılanmıştır. Sayısal hesaplamalar ve Ansys Fluent mühendislik simülasyon yazılımı üzerinden analizler yapılmıştır. Çalışma sıvısı olarak hazırlanan nanoakışkanlar kanatlı borulu tipindeki ısı değiştiricisinde kullanılmıştır. Bu bağlamda, ısı değiştiricisinden geçen nanoakışkanın, dolaşım sırasında ısını ortama ne kadar hızlı ve çok iletildiğinin analizi yapılmıştır. Böylece, ısı transferini iyileştirerek enerjinin daha verimli kullanılması sağlanacaktır. Reynolds sayısı, rGO için %2 kütle fraksiyonunda 4888.38, TiO<sub>2</sub> için %2 kütle fraksiyonunda 5070.21 olarak hesaplanmıştır.

*Anahtar Kelimeler* – Enerji Verimliliği, Nanoakışkan, rGO, TiO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub>.

### I. GİRİŞ

Endüstriyel sistemlerde enerji verimliliğini sağlayabilmek için kaynakların verimli bir şekilde kullanılması gerekmektedir. Bu sistemlerin performansını arttırmak için ısıtma ve soğutma endüstrisinin etkisi oldukça fazladır. Bu endüstriyel sistemlerde ana etmen ısı değiştiricilerin termal özelliklerinin iyileştirilmesidir. Termal özelliklerin iyileştirilmesi için ısı transfer katsayısı yüksek olan çalışma sıvıları son yıllarda tercih edilmektedir [1]. Geleneksel çalışma sıvılarının yanı sıra, baz sıvısına karıştırılan ısı iletkenliği yüksek katı parçacıklar katılarak nanoakışkanlar elde edilmektedir [2,3]. Katı nanoparçacıkların su, yağ, etilen ve glikol gibi sıvılara süspansiyon edilmesiyle ısı transferi arttırılmaktadır. Böylece, nanoakışkanların kullanıldığı sistemler daha verimli sistemler olmaktadır [4]. Toghraie vd. çalışmalarında su bazlı manyetik nanoakışkanın dinamik viskozitesini deneysel olarak belirlenmesini gerçekleştirmişlerdir. Süspansiyon içerisinde katı

hacim fraksiyonu arttıkça dinamik viskozite artmıştır [5]. Luo vd. endüstrideki yüksek enerji tüketimine dikkat çekmişlerdir. Bu çalışmalarında da yeni soğutma sıvısı olarak SiC/MO kullanarak ısı transfer performansını iyileştirmişlerdir. Simülasyon sonuçlarına göre 100 W değerinde ısı transfer katsayısının %11,3 arttığını bildirmişlerdir [6]. Ajeeb vd. farklı derişimlerde hazırlanmış oldukları nanoakışkanları plakalı ısı eşanjöründe çalışma sıvısı olarak kullanmışlardır. Süspansiyon içerisinde katı partikül olarak Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kullanmışlardır. %0,2 hacim fraksiyonunda %7,5 kadar viskozitenin arttığını bildirmişlerdir. Termal iletkenliğinde saf çalışma sıvısına göre %9,1 kadar arttığı raporlanmıştır [7].

Bu çalışmada sistem olarak kanatlı borulu ısı değiştirici tercih edilmiştir. Isı değiştiricisi içerisinde çalışma sıvısı olarak nanoakışkan kullanılmıştır. rGO, TiO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub> nanoparçacıkları saf suyun içerisine %1 ve %2 kütle fraksiyonlarında süspansiyon edilmiştir. Ansys Fluent mühendislik

simülasyon yazılımı ile SolidWorks mühendislik çizim programı üzerinden çizilen ısı değiştiricinin sayısal analizi yapılmıştır.

## II. MATERYAL VE YÖNTEM

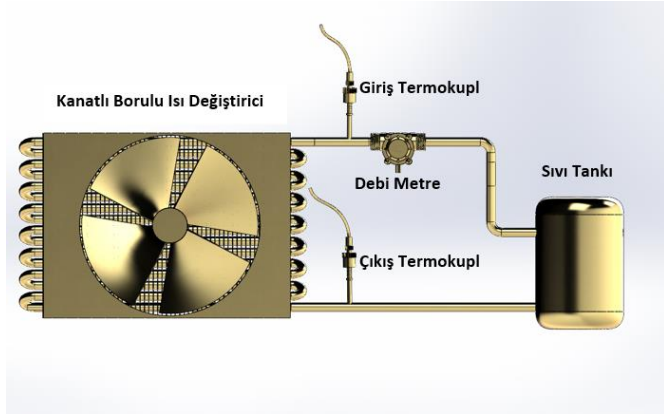
### A. Nanopartiküllerin Analizi ve Deney Düzenegi Tasarımı

Nanoakışkan içerisinde kullanılacak nanopartiküllerin termofiziksel özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Ansys Fluent üzerinden analizler yapılırken bu özellikler kullanılmıştır.

Tablo 1. Nanopartiküllerin özellikleri [8,9]

Özellikler	rGO	TiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>
Yoğunluk(kg/m <sup>3</sup> )	1910	3800	2500
Isı iletkenlik katsayısı (W/m.K)	1000	11.7	1.4
Özgül ısı (J/kg.K)	710	689.3	730

Şekil 1'de deneysel çalışmaların yapılması için hazırlanan deney düzeneginin şematik diyagramı verilmiştir. Deney düzenegi kanatlı borulu ısı değiştirici, giriş ve çıkış sıcaklığını ölçen termokupl, akışkanın debisini ölçen debimetre ve sıvı tanktan oluşmaktadır. Sıvı tankın içerisinde akışkanı ısıtmak için elektrikli ısıtıcı ve akışkanı taşımak için dalgıç pompa mevcuttur.

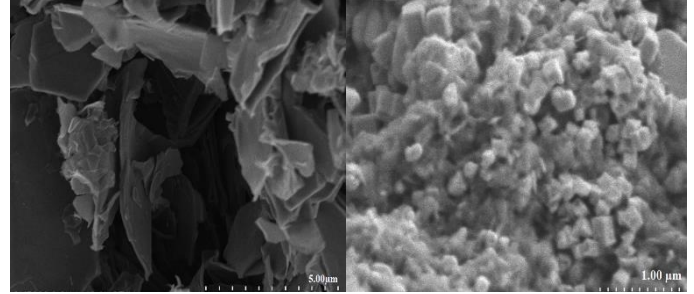


Şekil 1. Şematik diyagram

Analizler için farklı kütle fraksiyonlarında hazırlanan rGO nanoakışkanları Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Farklı kütle fraksiyonlarındaki nanoakışkanlar rGO ve TiO<sub>2</sub> için SEM görüntüsü Şekil 3'te verilmiştir. Nanoparçacık görüntülerinin literatür ile uyumlu olduğu görülmektedir [10,11].



Şekil 3. rGO ve TiO<sub>2</sub> nanoparçacıklarının SEM görüntüleri

### B. Termofiziksel Hesaplamalar

Yoğunluk hesaplaması için Pak ve Cho korelasyon denklemi kullanılmıştır.  $\rho_{nf}$  nanoakışkanın yoğunluğu,  $\phi$  nanoparçacığın yüzdesel kütleli fraksiyonu,  $\rho_{dw}$  saf suyun yoğunluğu ve  $\rho_{np}$  nanoparçacığın yoğunluğudur [12].

$$\rho_{nf} = (1 - \phi)\rho_{dw} + \phi\rho_{np}$$

Özgül ısı hesaplamasında  $c_{p,nf}$  nanoakışkanın özgül ısısı,  $c_{p,dw}$  saf suyun özgül ısısı ve  $c_{p,np}$  nanoparçacığın özgül ısısıdır [13].

$$c_{p,nf} = (1 - \phi)c_{p,dw} + \phi c_{p,np}$$

Nanoakışkanın ısı iletkenlik katsayısı hesabı için Maxwell korelasyonu kullanılmıştır.  $k_{nf}$  nanoakışkanın ısı iletkenlik katsayısı,  $k_{dw}$  saf suyun ısı iletkenlik katsayısı,  $k_{np}$  nanoparçacığın ısı iletkenlik katsayısıdır [14].

$$\frac{k_{nf}}{k_{dw}} = \frac{k_{np} + 2k_{dw} + 2\phi(k_{np} - k_{dw})}{k_{np} + 2k_{dw} - \phi(k_{np} - k_{dw})}$$

Nanoakışkanın viskozitesinin hesabında  $\mu_{nf}$  nanoakışkanın viskozitesi,  $\mu_{dw}$  saf suyun viskozitesidir [15].

$$\mu_{nf} = \mu_{dw}(1 + 2.5\phi)$$

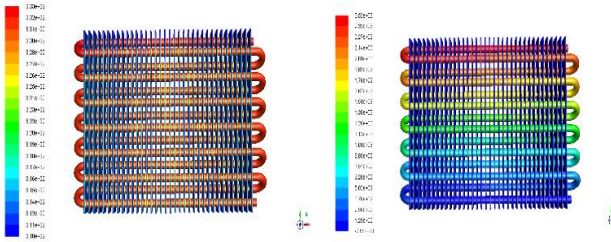
Reynolds hesabı için  $\rho_{nf}$  nanoakışkanın yoğunluğu,  $v$  nanoakışkanın hızı,  $D_h$  ısı değiştirici borusunun çapı ve  $\mu_{nf}$  nanoakışkanın viskozitesidir [16].

$$Re = \frac{\rho_{nf} \times v \times D_h}{\mu_{nf}}$$

### III. SONUÇLAR

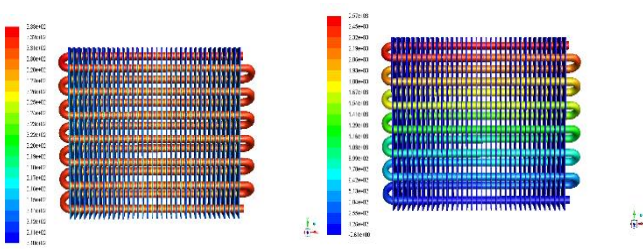
rGO için %1 kütle fraksiyonunda Reynolds sayısı 5012.089, %2 kütle fraksiyonunda ise 4888.38 olarak hesaplanmıştır. Nanoakışkanın %1 ile %2 kütle fraksiyonu arasında Reynolds sayısında azalma gözlemlenmiştir. SiO<sub>2</sub> için %1 kütle fraksiyonunda Reynolds sayısı 5041.16, %2 kütle fraksiyonunda ise 4945.14 olarak hesaplanmıştır. İki farklı kütle fraksiyonu arasında azalma gözlemlenmiştir. TiO<sub>2</sub> için %1 kütle fraksiyonunda Reynolds sayısı 5056.04, %2 kütle fraksiyonunda ise 5070.21 olarak hesaplanmıştır. Burada kullanılan nanoparçacığın diğerlerine göre Reynolds sayısının düşmesi değil aksine yükselmesi söz konusudur.

Analiz sonuçlarına göre çalışma sıvısı olarak nanoakışkan kullanımıyla çıkış sıcaklığında düşüş görülmüştür. %1 rGO kütle fraksiyonu için Şekil 4'te analizler verilmiştir. Sıcaklık değeri 310.08 K'dir.



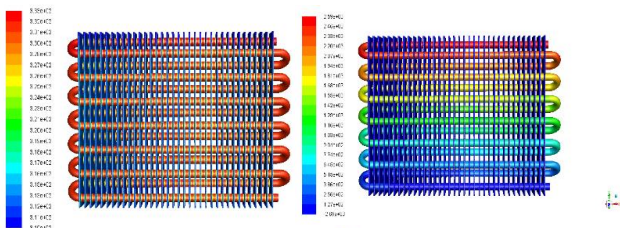
Şekil 4. rGO (%1)

Şekil 5'te rGO'nun %2 kütle fraksiyonu için analiz sonuçları verilmiştir. Sıcaklık değeri 310.133K 'dir.



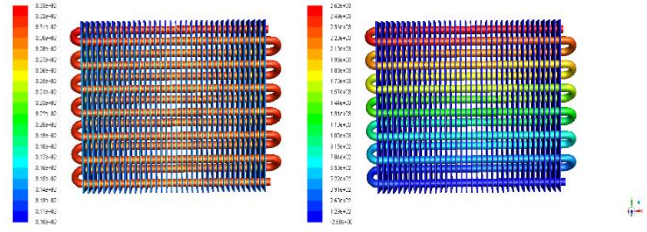
Şekil 5. rGO (%2)

TiO<sub>2</sub> için %1 kütle fraksiyonu analizi Şekil 6'da verilmiştir. Buradaki sıcaklık değeri 309.976 K'dir.



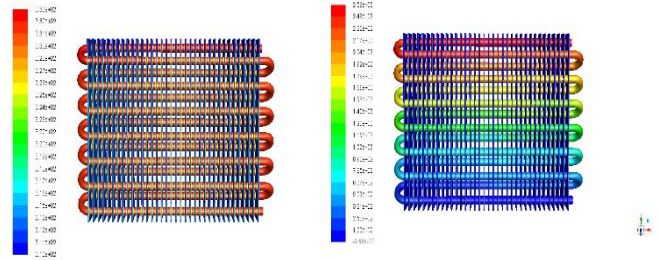
Şekil 6. TiO<sub>2</sub> (%1)

%2 TiO<sub>2</sub> kütle fraksiyonundaki analiz Şekil 7'de verilmiştir. Analiz sonucunda sıcaklık değeri 310.253 K'dir.



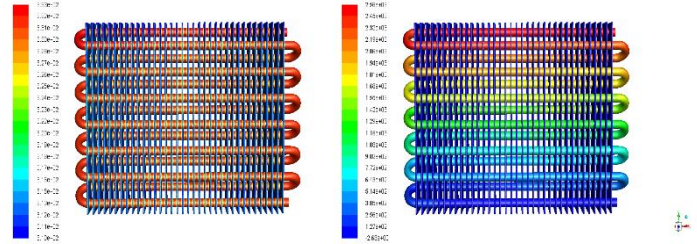
Şekil 7. TiO<sub>2</sub> (%2)

%1 SiO<sub>2</sub> kütle fraksiyonu için Şekil 8'deki sıcaklık değerleri 310.037 K'dir.



Şekil 8. SiO<sub>2</sub> (%1)

%2 SiO<sub>2</sub> kütle fraksiyonu için Şekil 9'daki sıcaklık değeri 310.027 K 'dir.



Şekil 9. SiO<sub>2</sub> (%2)

### IV. TARTIŞMA

Bu çalışmada amacımız çalışma sıvısını geleneksel yöntemlerden farklı şekilde nanoakışkan kullanarak ısı transferini iyileştirmektir. Odaklandığımız kısım ise çıkış sıcaklığının giriş sıcaklığına göre düşüş sağlamasıdır. Yaptığımız sayısal hesaplamalar ve analizlere göre giren sıcaklık ile çıkan sıcaklık arasında ortalama 23K fark vardır. Kullanılan rGO, TiO<sub>2</sub> ve SiO<sub>2</sub> nanopartikülleri sistem için uygundur. Sayısal olarak gerçekleştirilen ve nanoakışkan hazırlanarak analiz edildiği bu çalışma, deney düzeneği üzerinde analizler yapılarak geliştirilecektir.

### TEŞEKKÜR

Desteklerinden dolayı Türkiye Teknoloji Takımı Vakfı'na teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

- [1] Soltanimehr, M., & Afrand, M. (2016). Thermal conductivity enhancement of COOH-functionalized MWCNTs/ethylene glycol–water nanofluid for application in heating and cooling systems. *Applied Thermal Engineering*, 105, 716-723.
- [2] Elif, Ö., Dilki, S., (2023). Borulu Bir Isı Değiştiricide Kullanılan Nanoakışkanların Isıl ve Hidrolik Performansa Olan Etkisinin Sayısal Olarak İncelenmesi. *Politeknik Dergisi* (Erken Görünüm)
- [3] Chen, L., Yokel, R. A., Hennig, B., & Toborek, M. (2008). Manufactured aluminum oxide nanoparticles decrease expression of tight junction proteins in brain vasculature. *Journal of Neuroimmune Pharmacology*, 3, 286-295.
- [4] Çotur, Y., & Koca, T. (2022). Grafit içeren nanoakışkan kullanılarak ısı değiştiricilerinin performanslarının iyileştirilmesi. *Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 9(18), 591-599.
- [5] Toghraie, D., Alempour, S. M., & Afrand, M. (2016). Experimental determination of viscosity of water based magnetite nanofluid for application in heating and cooling systems. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 417, 243-248.
- [6] Luo, Q., Wang, C., & Wu, C. (2023). Study on heat transfer performance of immersion system based on SiC/white mineral oil composite nanofluids. *International Journal of Thermal Sciences*, 187, 108203.
- [7] Ajeeb, W., da Silva, R. R. T., & Murshed, S. S. (2023). Experimental investigation of heat transfer performance of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanofluids in a compact plate heat exchanger. *Applied Thermal Engineering*, 218, 119321.
- [8] Özgen, F., & Kamacı, G., (2019). Nanoakışkanların Kare Kesit Kanaldaki Laminer Akışının Isı Transferi Üzerindeki Etkileri. II. *Uluslararası Battalgazi Multidisipliner Çalışmalar Kongresi 15-16-17 Mart*, 325.
- [9] Sundar, L. S., Said, Z., Saleh, B., Singh, M. K., & Sousa, A. C. (2020). Combination of Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub> deposited rGO hybrid nanofluids and longitudinal strip inserts: thermal properties, heat transfer, friction factor, and thermal performance evaluations. *Thermal Science and Engineering Progress*, 20, 100695.
- [10] Sharma, N., Sharma, V., Jain, Y., Kumari, M., Gupta, R., Sharma, S. K., & Sachdev, K. (2017). Synthesis and characterization of graphene oxide (GO) and reduced graphene oxide (rGO) for gas sensing application. In *Macromolecular Symposia* (Vol. 376, No. 1, p. 1700006).
- [11] Akkaya, M., Menlik, T., Sözen, A., & Gürü, M. (2020). Experimental investigation of nanolubricant usage in a cooling system at different nanoparticle concentrations. *Heat Transfer Research*, 51(10).
- [12] Pak, B.C., Cho, Y.I., (1998). “Hydrodynamic and heat transfer study of dispersed fluids with submicron metallic oxide particles”, *Experimental Heat Transfer*:11(2);151-170
- [13] O’Hanley, H., Buongiorno, J., McKrell, T., Hu, L.W., (2012) “Measurement and model validation of nanofluid specific heat capacity with differential scanning calorimetry”, *Advances in Mechanical Engineering* 4;181079.
- [14] Maxwell, J. C., (1881). “A treatise on electricity and magnetism”, Clarendon Press,
- [15] Çiftçi, E. (2020). Investigation of the thermophysical properties of AlN+ ZnO/deionized water hybrid nanofluid. *International Journal of Energy Studies*, 5(2), 57-69.
- [16] Martin, K., & Boran, K. (2021). Isı Borulu Havadan Havaya Isı Değiştiricisinde CuO+Fe/Saf Su ve CuO/Saf Su Nano Akışkanlarının Kullanımının Isıl Performansa Etkisinin İncelenmesi. *Politeknik Dergisi*, 24(3), 763-770.