

Isı Borularında Nanoakışkan Uygulamaları

Hakan DUMRUL^{1*}

¹Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Şırnak Üniversitesi, Şırnak, Türkiye

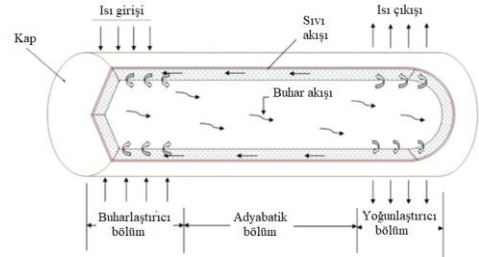
*(hakandumrul@sirnak.edu.tr)

Özet –Nanoakışkanlar, farklı tipteki ısı borularının ısı transfer performansını etkili bir şekilde artırabilir. Farklı nanopartiküller, konsantrasyonlar, paketleme oranları, eğim açıları ve ısıl yükler gibi önemli değişkenlerin ısı borusu performansı üzerindeki etkisi bu çalışmada anlatılmıştır. Çalışmalar, daha verimli kullanım için belirli bir nanopartikül konsantrasyonu olduğunu belirtmektedir. Yüksek nanopartikül konsantrasyonu, esas olarak dinamik viskozitedeki artış ve partikül topaklanma olasılığı nedeniyle daha yüksek ısıl dirence yol açmaktadır. Nanoakışkan kullanımı ile ısı borularının ısı transfer performansındaki artışın, gelişmiş Brownian hareketi, geliştirilmiş yüzey ıslanabilirliği, artan çekirdeklenme bölgeleri ve nanoakışkanların yüksek ısıl iletkenliğinden kaynaklanmaktadır.

Anahtar Kelimeler –Nanoakışkan, Isı Borusu, Isı Transfer Performansı, Isı Transfer Mekanizması, Isıl Direnç

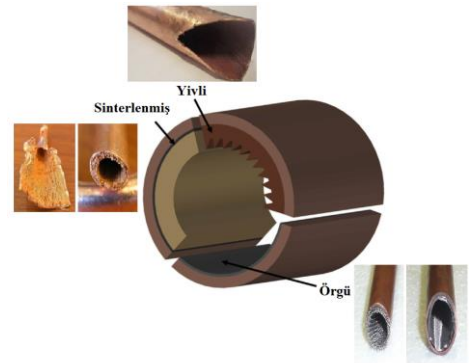
I. GİRİŞ

Isı boruları, çoğu durumda herhangi bir harici enerji tüketmeyen pasif cihazlardır. Gaugler 1942’de ısı borusu konseptini önerdi, ancak 1960’ların başına kadar Grover ısı borusunu bağımsız olarak icat edip test etti ve ısı borusunun herhangi bir metalden çok daha fazla ısıl iletkenliğe sahip olduğunu göstermiştir [1], [2]. Basit yapısı, ekonomik oluşu ve iyi ısı transfer performansı nedeniyle, ısı boruları, soğutma elektronik ekipmanları, otomotiv radyatörleri, uydu ekipmanlarının soğutulması, soğutma ve iklimlendirme sistemleri, desalinasyon sistemleri ve sistem verimliliğini artırmak için yenilenebilir enerji sistemleri gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılır [3]–[11]. Isı borusu evaporatör bölümü, adyabatik bölüm ve kondenser bölümü olmak üzere üç kısımdan oluşmaktadır [12]. Çalışma akışkanı, buharlaştırıcı bölümünde ısıyı, basınç farkı etkisi altında yoğunlaştırıcıda yayılan su buharını üretmek için absorbe eder, yoğunlaştırıcıda ısıyı serbest bırakır ve yoğunlaşmış sıvıya dönüşür ve yoğunlaşmış sıvı kılcal çekme kuvvetiyle buharlaştırıcıya geri döner [13]. Isı borularının genel yapısı Şekil 1’de gösterilmiştir [14].



Şekil 1. Isı borusunun yapısı [14].

Isı boruları, borulardaki çalışma sıvısının farklı akış biçimlerine göre, termosifon ısı borusu, titreşimli ısı borusu ve fitil ısı borusu (örgü fitil ısı borusu, sinterlemiş fitil ısı borusu ve yivli ısı borusu) olarak sınıflandırılabilir [15]. Farklı fitil yapılarının gösterimi Şekil 2’de verilmiştir.

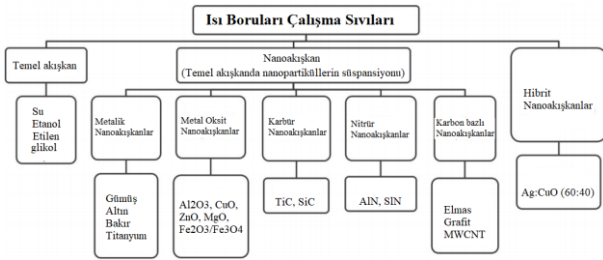


Şekil 2. Farklı fitil yapıları [14], [16], [17].

Kapalı döngü bir ısı eşanjörü olarak ısı borusunun ana çalışma modu, çalışma sıvısının faz geçişine bağlıdır, bu nedenle uygun çalışma sıvısının seçilmesi, ısı borusu tasarımının en kritik kısımlarından biridir [18], [19]. Isı borularında çalışma sıvısı olarak farklı temel akışkanlar ve nanoakışkanlar kullanılmaktadır. Nanoakışkanlar, temel akışkan ile karşılaştırıldığında benzersiz termofiziksel özelliklere sahip akışkanlardır; nanoakışkanların kullanımı viskoziteyi artırır, ancak düşük konsantrasyonlu nanoakışkanların kullanımı temel akışkanın ısı transfer performansını iyileştirir [20], [21]. Son yıllarda, nanoakışkanların ısı borularında uygulanması önemli bir araştırma konusu haline gelmiştir. Bu çalışmada farklı nanopartiküller, konsantrasyonlar, paketleme oranları, eğim açıları ve ısı yükler gibi önemli değişkenlerin ısı borusu performansı üzerindeki etkisi açıklanmıştır.

II. ÇALIŞMA SIVISI OLARAK NANOAKIŞKANLAR

Isı borusunun içini dolduran ve gerekli vakumu oluşturduktan sonra sızdırmaz hale getirilen bir sıvı, çalışma sıvısı olarak bilinir. Çalışma sıvısının birincil ihtiyacı, buharlaşma gizli ısısını buharlaştırıcı bölümünden emip, yoğunlaştırıcı bölümünde yoğuşmanın gizli ısısını olarak atmaktır. Çalışma sıvısı basınç farkından dolayı evaporatör bölümünden yoğunlaştırıcı bölümüne gaz fazında hareket eder ve kılcallık hareketi ile fitil yapısı sayesinde sıvı halde geri döner. Isı borusunda yaygın olarak kullanılan çalışma sıvısı türleri Şekil 3'te verilmiştir [14].



Şekil 2. Isı borularında kullanılan çeşitli çalışma sıvıları [14].

Geleneksel bir sıvı içinde kararlı ve homojen bir şekilde metalik veya metalik olmayan nanopartiküllerle süspansiyon edilen bir akışkan nanoakışkan olarak adlandırılır [22]. Nanopartiküller, farklı konsantrasyon oranlarında farklı temel akışkanlarla karıştırılabilir. Bu nedenle, nanopartiküller kullanılarak ısı borusunun ısı

performansının artırılması esas olarak nanopartiküllerin ve temel akışkanın türü, nanopartiküllerin boyutu, şekli ve konsantrasyonu gibi parametrelere bağlıdır [23]. Saf sıvılarla karşılaştırıldığında, nanoakışkanların ısı özellikleri, onları ısı transfer akışkanı olarak ısı borularının geliştirilmesinde uygun bir seçenek haline getirir. Günümüzde nanoakışkan ısı boruları günlük hayatımızda ve endüstriyel üretimimizde yaygın olarak uygulanmaktadır [24]–[26]. Literatürde nanoakışkanları kullanarak daha yüksek ısı transfer özelliklerine sahip ısı borularını tasarlamak için birçok sayıda deneysel ve sayısal çalışma yapılmış ve aşağıda örneklendirilmiştir.

Reji vd. yaptıkları çalışmada, 40 ila 200 W arasında farklı ısı girişi ile deiyonize su ve Al_2O_3 nanoakışkan kullanarak termosifon tip ısı borusunun ısı transfer özelliklerini test etmişler ve deneysel sonuçların nanoakışkanın ısı borusu performansını %41 artırdığını belirtmişlerdir [27]. Khajehpour vd. çalışmalarında, su bazlı SiO_2 nanoakışkanlarının L şeklindeki bir termosifon tip ısı borusunun ısı direnci üzerindeki etkisini nanopartiküllerin boyutu- konsantrasyonu ve ısı borularının eğim açılarına göre incelemişlerdir. Sonuçlar, nanopartiküllerin boyutu 11–14 nm, ısı girişi 10 W, kütlece %0,5 konsantrasyondaki nanoakışkan ve ısı borusunun eğim açısı 90° olduğunda ısı direncinin maksimum azalmasının %24'e kadar çıktığını göstermiştir [28]. Sarafraz vd. çalışmalarında, termosifon tip ısı borusunda ısı transfer katsayısını, ısı direnci ve ısı özellikleri incelemek için zirkonyum-aseton nanoakışkanını kullanmışlar. Sonuçlar, nanoakışkanın ısı borusunun toplam ısı direncini azalttığını ve ısı transfer katsayısını iyileştirdiğini ortaya koymuştur. Isı transfer katsayısının %65 eğim açısında ve %60 doluluk oranında maksimuma ulaştığı belirtilmiştir [29]. Gupta vd. yaptıkları çalışmada farklı güç girişlerine sahip sulu TiO_2 nanoakışkanı kullanarak örgü fitil ısı borusunun ısı transfer özelliklerini deneysel olarak incelemişlerdir. Hacimce %1.0 nanoakışkan kullanılan ısı borusunun ısı direncinin suya kıyasla maksimum %17,2 oranında azaldığını, ısı veriminin ise %13,4 oranında arttığını bulmuşlardır [30]. Zufar vd., hibrit nanoakışkanları kullanarak titreşimli ısı borusunun ısı transfer özelliklerini incelemişler. Hibrit nanoakışkanlar, su ile karşılaştırıldığında, başlatma titreşimlerini daha hızlı ve daha az ısıtma gücüyle gerçekleştirme

yeteneğine sahip olduğunu belirtmişlerdir. SiO₂-CuO hibrit nanoakışkanı kullanıldığında ısı dirençte %57'lik bir azalış, Al₂O₃-CuO hibrit nanoakışkanı kullanıldığında ise %34'lük azalış elde etmişlerdir [31].

III. NANOAKIŞKAN BAZLI ISI BORULARINDA ISI TRANSFER MEKANİZMALARI

Nanoakışkan bir katı-sıvı karışımıdır ve onu tek fazlı bir sıvı olarak ele almak tek taraflıdır, bu nedenle nanoakışkanın ısı borularının ısı transfer performansını iyileştirme mekanizması daha karmaşıktır. Nanoakışkanların ısı borularına uygulanması, ısı borularının ısı transfer performansını önemli ölçüde artırabilir. Isı borularında performansı artıran nanoakışkanların ısı transfer mekanizması temel olarak Tablo 1'de gösterildiği gibidir [32].

Tablo 1. Nanoakışkan bazlı ısı borularında ısı transfer mekanizmaları [32].

No	1	2	3	4	5	6	7
Isı transfer mekanizması	Termofiziksel özelliklerin artırılması	Temel akışkan içinde nanopartikül Brownian hareketi	Isı transfer yüzeyinde nanopartikül birikimi	Nanopartikül termoforezi	Nanopartikül sinerjisi	Difüzyonfrez	Arayüz katmanı
Mekanizma terminolojisi (M _x)	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅	M ₆	M ₇
Nanoakışkanlar kullanan ısı borularının performans artışının nedenleri	(1) Asılı nanoparçacıklar, temel akışkanın ısı iletkenliğini artırır	(1) Temel akışkanın hareketli molekülleri ile çarpışma nedeniyle nanopartiküllerin rastgele hareketi, temel akışkan boyunca ısı transfer oranının artmasına neden olur.	(1) Küçük boyutlu buhar kabarcıklarının oluşumunu destekleyen ve radyal ısı transferine karşı ısı direnci azaltan çok sayıda nano ölçekli çekirdeklenme bölgesi oluşturur	(1) Sıcaklık gradyanının etkisi altında nanoparçacıkların hareketi, ısı borusu uzunluğu boyunca ısı transferini artırır	(1) Temel akışkanda (hibrit nanoakışkanlar) asılı duran farklı türden nanoparçacıklar, termofiziksel özelliklerde ve kararlılıkta sinerjistik bir gelişme sağlar.	(1) Konsantrasyon gradyanının etkisi altındaki nanopartikül hareketi, nanopartikül aglomerasiyonunu eğilimini azaltır ve çalışma sıvısının boyunca ısı transferini artırır.	(1) Nanopartiküller, bir sıvı film oluşturmak için temel akışkana eklenir ve sıvı filmdeki sıvı moleküller, temel akışkanın ısı iletkenliğini artıran ve ısı transfer performansını iyileştiren düzenli bir

							şekilde düzenlenir.
	(2) Asılı nanoparçacıklar, temel akışkanın özgül ısısını artırır	(2) Nanoparçacıklar Brownian hareketine maruz kalır ve çekirdek kaynaması sırasında çalışma sıvısında oluşan buhar kabarcıkların 1 bombalar ve sonunda radyal ısı transferine karşı ısı direnci azalır.	(2) Buharlaştırıcı iç yüzeyindeki nanoparçacık birikimi, ısı transfer alanının kullanılabilirliğinin artmasına ve ısı transfer oranının artmasına neden olur.				
	(3) Asılı nanopartiküller, temel akışkanın ısı transfer katsayısını artırır	(3) Nanoakışkanların boyut, konsantrasyon ve sıcaklığa bağlı iletkenliğini açıklar	(3) Isı borusunun fitil yapılarının kılcal hareketini geliştirir ve yoğunlaştırıcıdan buharlaştırıcı bölümüne çalışma sıvısı akışını destekler				
	(4) Asılı nanopartiküller, temel akışkanın yüzey						

	gerilimini azaltır						
--	-----------------------	--	--	--	--	--	--

IV. SONUÇLAR

Bu çalışmada nanoakışkanların, farklı tipteki ısı borularının ısı transfer performansına etkisi incelenmiştir. Nanoakışkanların ısı transfer mekanizmasındaki etkinliği farklı mekanizma terminolojileri ile açıklanmıştır. Literatürdeki araştırmaların çoğunda, nanoakışkanlarla doldurulmuş ısı borularının ısıl performansının arttığı belirtilmiştir. Nanoakışkanların ısı borularında çalışma sıvısı olarak uygulanması, ortalama çalışma sıcaklığını önemli ölçüde düşürür ve ısı transfer kapasitesini artırır. Nanoakışkanın dinamik viskozitesi, ısıl sabiti ve yüzey birikiminin etkisini dikkate almak için optimal bir nanopartikül konsantrasyonu olmalıdır. Özellikle nanopartiküller fitil yüzeyinde birikerek ince bir kaplama oluşturur, bu da yüzeyin ıslanabilirliğini ve kılcal kuvvetin artmasına neden olur. Ancak bazı nanoakışkanların kullanımında bu kaplama etkisi ısı borusunun ısıl özelliklerinde negatif bir etkiye sebep olabilir. Sonuç olarak ısı transfer mekanizmaları ısı borusunun tasarımına, çalışma sıvısı ve çalışma koşullarına bağlı olarak değişmektedir.

KAYNAKLAR

[1] A. Faghri, "Review and advances in heat pipe science and technology," *J. Heat Transfer*, vol. 134, no. 12, 2012.

[2] Z. Li et al., "Operation analysis, response and performance evaluation of a pulsating heat pipe for low temperature heat recovery," *Energy Convers. Manag.*, vol. 222, p. 113230, 2020.

[3] P. Ramkumar, M. Sivasubramanian, P. Raveendiran, and P. R. Kanna, "An experimental inquisition of waste heat recovery in electronic component system using concentric tube heat pipe heat exchanger with different working fluids under gravity assistance," *Microprocess. Microsyst.*, vol. 83, p. 104033, 2021.

[4] M. A. Hayat, H. M. Ali, M. M. Janjua, W. Pao, C. Li, and M. Alizadeh, "Phase change material/heat pipe and Copper foam-based heat sinks for thermal management of electronic systems," *J. Energy Storage*, vol. 32, p. 101971, 2020.

[5] M. A. Abdelkareem et al., "Battery thermal management systems based on nanofluids for electric vehicles," *J. Energy Storage*, vol. 50, p. 104385, 2022.

[6] J. Lee, D. Kim, J. Mun, and S. Kim, "Heat-transfer characteristics of a cryogenic loop heat pipe for space applications," *Energies*, vol. 13, no. 7, p. 1616, 2020.

[7] P. R. Mashaei and M. Shahryari, "Effect of nanofluid on thermal performance of heat pipe with two evaporators;

application to satellite equipment cooling," *Acta Astronaut.*, vol. 111, pp. 345–355, 2015.

[8] A. A. Eidan, M. J. Alshukri, M. Al-fahham, A. AlSahlani, and D. M. Abdulridha, "Optimizing the performance of the air conditioning system using an innovative heat pipe heat exchanger," *Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 26, p. 101075, 2021.

[9] S. Nakkaew et al., "Application of the heat pipe to enhance the performance of the vapor compression refrigeration system," *Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 15, p. 100531, 2019.

[10] H. K. S. Abad, M. Ghiasi, S. J. Mamouri, and M. B. Shafii, "A novel integrated solar desalination system with a pulsating heat pipe," *Desalination*, vol. 311, pp. 206–210, 2013.

[11] R. Senthil et al., "A holistic review on the integration of heat pipes in solar thermal and photovoltaic systems," *Sol. Energy*, vol. 227, pp. 577–605, 2021.

[12] C. W. Chan, E. Siqueiros, J. Ling-Chin, M. Royapoor, and A. P. Roskilly, "Heat utilisation technologies: A critical review of heat pipes," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 50, pp. 615–627, 2015.

[13] S.-F. Li and Z. Liu, "Parametric study of rotating heat pipe performance: A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 117, p. 109482, 2020.

[14] R. K. Bumataria, N. K. Chavda, and H. Panchal, "Current research aspects in mono and hybrid nanofluid based heat pipe technologies," *Heliyon*, vol. 5, no. 5, p. e01627, 2019.

[15] M. A. Nazari, M. H. Ahmadi, R. Ghasempour, and M. B. Shafii, "How to improve the thermal performance of pulsating heat pipes: A review on working fluid," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 91, pp. 630–638, 2018.

[16] B. C. Nookaraju et al., "Experimental and transient thermal analysis of screen mesh wick heat pipe," *Mater. Today Proc.*, vol. 46, pp. 9920–9926, 2021.

[17] Nemec P., "Gravity in heat pipe technology.," in *Gravity - Geoscience Applications, Industrial Technology and Quantum Aspect*, 2017.

[18] Z.-H. Liu, Y.-Y. Li, and R. Bao, "Thermal performance of inclined grooved heat pipes using nanofluids," *Int. J. Therm. Sci.*, vol. 49, no. 9, pp. 1680–1687, 2010.

[19] G. Spinato, N. Borhani, and J. R. Thome, "Understanding the self-sustained oscillating two-phase flow motion in a closed loop pulsating heat pipe," *Energy*, vol. 90, pp. 889–899, 2015.

[20] F. S. Alkasmoul, M. Asaker, A. Almogbel, and A. AlSuwailem, "Combined effect of thermal and hydraulic performance of different nanofluids on their cooling efficiency in microchannel heat sink," *Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 30, p. 101776, 2022.

[21] W. Ajeeb, R. R. S. T. da Silva, and S. M. S. Murshed, "Experimental investigation of heat transfer performance of Al₂O₃ nanofluids in a compact plate heat exchanger," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 218, p. 119321, 2023.

[22] R. Hajian, M. Layeghi, and K. A. Sani, "Experimental study of nanofluid effects on the thermal performance

- with response time of heat pipe,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 56, pp. 63–68, 2012.
- [23] N. K. Chvda, “Review of modeling the performance of heat pipes using artificial neural network,” *Int. J. Artif. Intell. Knowl. Discov.*, vol. 7, no. 3, pp. 7–12, 2017.
- [24] J. Qu, C. Wang, X. Li, and H. Wang, “Heat transfer performance of flexible oscillating heat pipes for electric/hybrid-electric vehicle battery thermal management,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 135, pp. 1–9, 2018.
- [25] M. A. Nazari et al., “A review on pulsating heat pipes: from solar to cryogenic applications,” *Appl. Energy*, vol. 222, pp. 475–484, 2018.
- [26] N. Putra and F. N. Iskandar, “Application of nanofluids to a heat pipe liquid-block and the thermoelectric cooling of electronic equipment,” *Exp. Therm. Fluid Sci.*, vol. 35, no. 7, pp. 1274–1281, 2011.
- [27] A. K. Reji, G. Kumaresan, A. Sarathi, A. G. P. Saiganesh, R. S. Kumar, and M. M. Shelton, “Performance analysis of thermosyphon heat pipe using aluminum oxide nanofluid under various angles of inclination,” *Mater. Today Proc.*, vol. 45, pp. 1211–1216, 2021.
- [28] E. Khajepour, A. R. Noghrehabadi, A. E. Nasab, and S. M. H. Nabavi, “Experimental investigation of the effect of nanofluids on the thermal resistance of a thermosiphon L-shape heat pipe at different angles,” *Int. Commun. Heat Mass Transf.*, vol. 113, p. 104549, 2020.
- [29] M. M. Sarafraz, O. Pourmehran, B. Yang, and M. Arjomandi, “Assessment of the thermal performance of a thermosyphon heat pipe using zirconia-acetone nanofluids,” *Renew. Energy*, vol. 136, pp. 884–895, 2019.
- [30] N. K. Gupta, A. K. Tiwari, and S. K. Ghosh, “Experimental study of thermal performance of nanofluid-filled and nanoparticles-coated mesh wick heat pipes,” *J. Heat Transfer*, vol. 140, no. 10, 2018.
- [31] M. Zufar, P. Gunnasegaran, H. M. Kumar, and K. C. Ng, “Numerical and experimental investigations of hybrid nanofluids on pulsating heat pipe performance,” *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 146, p. 118887, 2020.
- [32] H. Pandey and N. K. Gupta, “A descriptive review of the thermal transport mechanisms in mono and hybrid nanofluid-filled heat pipes and current developments,” *Therm. Sci. Eng. Prog.*, p. 101281, 2022.