

# MİKROKANALLARDA NANOAKIŞKANLARIN KULLANIMI

**Eyüphan Manay\***

Bayburt Üniversitesi,  
Makine Mühendisliği Bölümü,  
69000, Bayburt  
emanay@bayburt.edu.tr

**Bayram Şahin**

Doç. Dr., Atatürk Üniversitesi,  
Makine Mühendisliği Bölümü,  
25040, Erzurum  
bsahin@atauni.edu.tr

**Eda Feyza Akyürek**

Gümüşhane Üniversitesi,  
Makine Mühendisliği Bölümü,  
29000, Gümüşhane  
eda-feyza@hotmail.com

**Ömer Çomaklı**

Prof. Dr., Atatürk Üniversitesi,  
Makine Mühendisliği Bölümü,  
25040, Erzurum  
ocomakli@atauni.edu.tr

## ÖZET

Üretim teknolojisindeki gelişmeler, ısı değiştiricilerinin mini ve mikro boyutlarda daha yüksek hassasiyetlerde üretilmelerine olanak sağlamaktadır. Belirli geometrilerde mikro boyutlarda üretilen kanalların kullanımı özellikle son yirmi yıl içerisinde oldukça yaygınlaşmıştır. Daha küçük bir yüzey alanında yüksek miktarda ve etkili ısı transferi gerçekleştirmeleri nedeniyle mikrokanallar özellikle soğutma sistemlerinde yoğun bir şekilde kullanılmakta ve performanslarının artırılmasına yönelik çalışmalar yoğun bir şekilde devam etmektedir. Mikrokanalların yüzey alanı hacim oranı ilişkisinden dolayı büyük kanallara (mini ve makrokanallar) göre daha yüksek ısı transferi sağladığı bilinmektedir. Kanal boyutlarını küçültmenin yanında mevcut kanallardan daha etkili ısı transferi elde etmenin bir yolu da kanal içinde dolaşan ısı transferi akışkanının ısı özelliklerinin iyileştirilmesidir. Geleneksel ısı transferi akışkanının içerisinde yüksek ısı iletkenliğe sahip nano boyuttaki partiküllerin katılmasıyla elde edilen yeni nesil ısı transferi akışkanlarına “nanoakışkan” ismi verilmektedir. Akışkan içerisine kararlı ve homojen olarak süspansiyon edilen partiküller kanallarda tıkanmaya neden olmayacak ve ayrıca hem ısı iletkenliklerinin yüksek olması hem de kanal cidarlarıyla etkileşiminden göreceli türbülans oluşturmaları mikrokanalların performanslarını artıracaktır. Böylelikle özellikle ısı üreten bileşenlere sahip elektronik cihazların geleneksel soğutma yöntemlerine göre daha sessiz ve etkili soğutulması gerçekleştirilecektir.

**Anahtar Kelimeler:** Mikrokanal, nanoakışkan, ısı transferinin iyileştirilmesi

## The Use of Nanofluids in Microchannels

### ABSTRACT

Improvements in production technology enable heat exchangers to be manufactured in mini and micro dimensions with higher sensitivity. The use of microchannels, which can be manufactured in specific geometries, has been accelerated especially in last two decades. Because microchannels achieve high rate and efficient heat transfer on a smaller surface area, they are intensively used in cooling systems, and, studies devoted to the performance enhancement of microchannels proceed intensively. Due to the relation of surface area volume ratio, it is known that microchannels provide higher heat transfer with regard to bigger channels (mini and macrochannels). Besides reducing the dimensions of the channel, another way of providing higher heat transfer from available channels is to improve the thermal properties of the fluid. New generation heat transfer fluids obtained by adding particles in nano dimension with high thermal conductivity into conventional heat transfer fluids are defined as “nanofluid”. The particles suspended in stable and homogeneously into the fluid do not cause obstruction of the channels and furthermore because of the fact that both the thermal conductivities of the nanofluids are high and they create relative turbulence by the interaction with channel walls increase the performance of the microchannels. Hereby, more effective and silent cooling of electronic devices, which have heat generating components, with respect to conventional cooling methods will be realized.

**Keywords :** Microchannel, nanofluid, heat transfer enhancement

\* İletişim yazarı

Geliş tarihi : 18.12.2011  
Kabul tarihi : 07.05.2012

Manay, E., Şahin, B., Akyürek, E.F., Çomaklı, Ö. 2012. “Mikrokanallarda Nanoakışkanların Kullanımı,” TMMOB MMO Mühendis ve Makina Dergisi, cilt 53, sayı 627, s. 38-42.

## 1. GİRİŞ

### 1.1 Mikrokanal Nedir?

Hidrolik çapı 0-100  $\mu\text{m}$  arasında değişen kanallar mikrokanal olarak adlandırılmaktadır. Literatürde mikrokanallardaki akış ve ısı transferiyle ilgili çok sayıda deneysel ve sayısal çalışma mevcuttur. Ancak mikrokanallarla ilgili bilinen ilk çalışma Poiseuille tarafından yapılmıştır. Poiseuille çalışmasında mikrokanallardaki akış olaylarını analiz etmeye çalışmıştır

Tablo 1. Kanalların Sınıflandırılması

Kanal Adı	Canay [1]	Kandlık ve Grande [2]
Mikro- ölçekli kanallar	$1 \mu\text{m} < D_h < 100 \mu\text{m}$	$10 \mu\text{m} < D_h < 200 \mu\text{m}$
Mini-ölçekli kanallar	$100 \mu\text{m} < D_h < 1\text{mm}$	$200 \mu\text{m} < D_h < 3\text{mm}$
Makro-ölçekli (Geniş) kanallar	$1\text{mm} < D_h$	$3\text{mm} < D_h$

[1]. Kanalların hidrolik çapa göre sınıflandırılmaları Canay [1] ve Kandlık ve Grande [2] tarafından yapılmış olup Tablo 1'de sunulmuştur.

### 1.2 Mikrokanalların Endüstriyel Uygulamaları

Mikroelektromekanik sistemlerin (MEMS) başlıca ilgi ve uygulama alanlarından biri olan elektronik bileşenlerin soğutulması oldukça önemlidir. MEMS'ler çalışırken çok büyük değerlerde ısı ortaya çıkmaktadır. Mevcut soğutucular yeterli soğutma kapasitesine sahip olmadığı için MEMS teknolojisinde kullanılamamaktadır. Mikro boyuttaki kanallar küçük boyut ve ağırlıkları, dolaşan akışkan miktarının düşük olması ve yüksek ısı akıları nedeniyle MEMS teknolojisinde yoğun olarak kullanılmaktadır. Ancak, mikrokanalların MEMS teknolojisinde kullanımını cazip kılan avantajlarının yanı sıra küçük hidrolik çap, basınç düşümü, çift fazlı akışlarda kaviteasyon ve akış analizi için kullanılacak teorilerin belirsizliği gibi birtakım dezavantajları da söz konusudur.

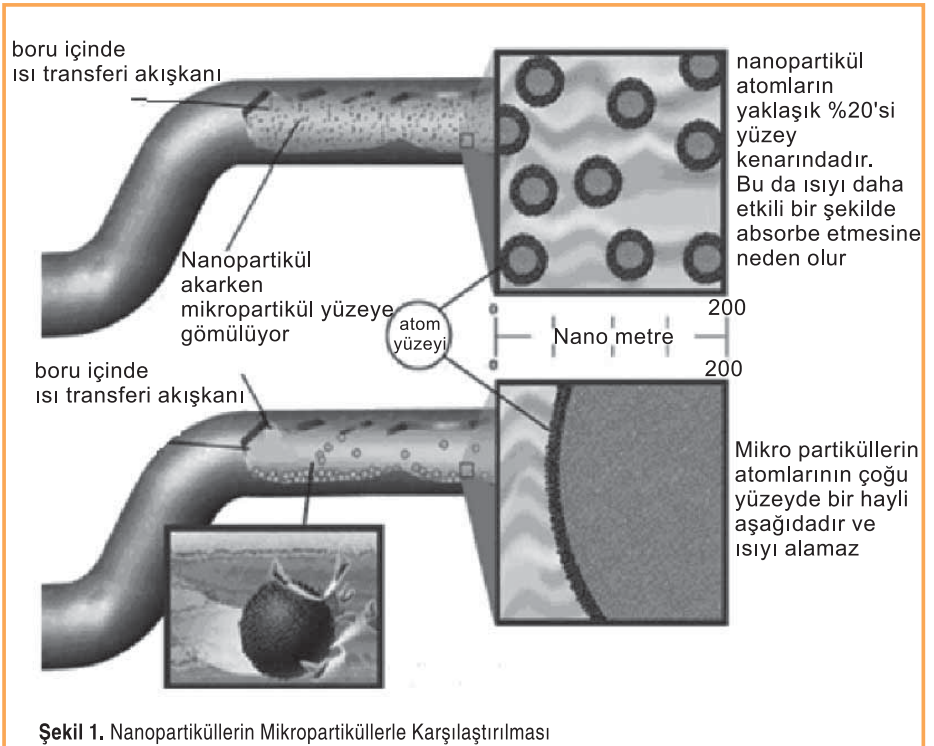
Isınma probleminin ortaya çıktığı önemli endüstriyel uygulamalardan birisi de elektronik cihazların yarı iletken bileşenleridir. Özellikle yüksek hızda çalışan bilgisayar ve elektronik işlemeye sahip ekipmanlara ihtiyaç duyulması, bu sistemlerin ısınma problemini de beraberinde getirmektedir. Özellikle yüksek hızlı bilgisayarlarda işlemcide ortaya çıkan yüksek eklem sıcaklıkları

bilgisayarların performansını ve işlemcinin ömrünü önemli ölçüde etkilemektedir. Araştırmalarda elektronik cihazlarda bozulmaya etki eden en önemli parametrenin %55'lik bir etkiyle eklem sıcaklığının olduğu bildirilmiştir. Toz, rutubet ve nem gibi etkenlerin bozulmaya etkisi sıcaklık kadar yüksek değildir. MEMS teknolojisinde mikro ölçekteki kanalların kullanımı sadece ısı değiştiricileriyle sınırlı değildir. Mikrokanallar havacılık, gıda, kimya, eczacılık, otomotiv, tıp endüstrisi alanlarında yaygın bir biçimde kullanılmaktadır.

### 1.3 Nanoakışkan Nedir?

Konvansiyonel ısı değiştiricilerde ısı transferi performansları düşük olan su, etilen glikol ve motor yağı gibi geleneksel ısı transferi akışkanları kullanılmaktadır. Bu akışkanların ısı değiştiricilerinde kullanılmaları daha küçük boyutlarda ısı değiştiricilerinin tasarımı ve üretimini güçleştirmektedir. Isı değiştiricilerinde kullanılan geleneksel ısı transferi akışkanlarının ısı iletkenliklerini artırmak için katı partiküller ile süspansiyonlar oluşturulmuştur. Bu yöntemin temel dayanağı, klasik ısı transferi akışkanlarından daha yüksek ısı iletkenliğe sahip partiküllerin toplamda süspansiyonun ısı iletkenliğini artırmasıdır. Şekil 1'de mikropartiküllerle nanopartiküllerin kanal içerisindeki dağılımları gösterilmektedir [3].

Pasif ısı transferi iyileştirme yöntemlerinden biri olan ve katı partiküllerle oluşturulan süspansiyonların kullanımlarıyla ısı



Şekil 1. Nanopartiküllerin Mikropartiküllerle Karşılaştırılması





dirençler hem teorik hem de deneysel olarak tüm durumlar için elde edilmiştir. Mikrokanallı ısı değiştirici performansının nanoakışkan kullanımıyla su kullanıldığı duruma göre arttığı, performanstaki bu artışa akışkanın ısıl iletkenliğindeki artışın ve nanopartiküllerin ısıl yayılım etkisinin neden olduğu belirtilmiştir.

Kayma ve kaymama şartlarına göre dikdörtgen kesitli mikro kanallarda nanoakışkan kullanımının ısı transferi iyileştirmesi üzerine etkileri Akbarinia vd. [12] tarafından incelenmiştir. Artan giriş hızı ve nanopartikül hacimsel oranının nanoakışkanların kullanıldığı mikro kanallarda ısı transferi üzerinde etkilerini belirlemek üzere yapılan çalışmada giriş hızı ve kinematik viskozite baz alınarak üç farklı durum oluşturulmuştur.  $Al_2O_3$ -Su nanoakışkanına ait boyutsuz sıcaklık dağılımları, hız ve boyutsuz hız dağılımları, yerel Nusselt sayısı değişimleri, giriş hızı ve hacimsel oran açısından üç farklı durum ve Knudsen sayısının farklı değerleri için elde edilmiştir. Sabit giriş hızlarında nano partikül konsantrasyonunun Poiseuille ve Peclet sayısı üzerinde kayda değer bir etkisinin olmadığı belirtilmiştir. Reynolds sayısının sabit olduğu çalışmalarda nanoakışkanların ısı transferi ve yüzey sürtünme katsayısı üzerindeki etkilerini belirlemek için yeterli bulunmamıştır. Cu-Su ve CNT-Su (carbon nanotube) nano akışkanları mikro kanallı soğutucuda Tsai ve Chein [13] tarafından kullanılarak performans analizi yapılmıştır. Analiz neticesinde farklı açılarda boyutsuz hız dağılımları, her iki nanoakışkan için boyutsuz sıcaklık dağılımları, pompalama gücü ve basınç kaybı dağılımları öncelikle elde edilmiş, kanal geometrisine göre optimize edildikten sonra mikro kanallı soğutucunun toplam ısıl direnci  $\epsilon = 0.5$  (etkenlik) ve iki farklı basınç şartı için sunulmuştur. Nanoakışkanların kullanımı mikrokanallı ısı değiştirici ile akışkan sıcaklığı arasındaki farkın azaldığı ve bu azalmanın hacimsel oranla orantılı olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca, nanoakışkanların kullanımı ısıl taşınım direncinin artmasına, nanoakışkanlarla mikrokanal alt duvarı arasındaki sıcaklık farkının azalması da ısıl iletim direncinin azalmasına yol açmıştır.

Nano akışkan kullanımıyla mikro kanalların soğutma performansı ve ısıl davranışları üzerine sayısal bir çalışma da Chen ve Ding [14] tarafından yürütülmüştür. Farklı hacimsel  $Al_2O_3$ -Su oranları kullanılarak bu nano akışkana ait boyutsuz sıcaklık dağılımları, ısıl direnç ve ortalama Nusselt sayısının hacimsel debiyle değişimleri bulunmuştur. Kleinstreuer ve Li [15], ikizkenar yamuk kesitli mikro kanallarda nanoakışkan akışımı, iki farklı sayısal model kullanarak çözmüşlerdir. Elde edilen sonuçlar literatürdeki birçok çalışmayla kıyaslanmış ve kullanılan sayısal çözüm prosedürlerinin doğrulanmasından sonra tek bir partikül çapı ve iki ayrı hacimsel oranda analizler yapılmıştır. %1'lik hacimsel oranda nanoakışkanın basınç düşümü, saf suya göre çok az bir artış gösterse de ısı transferi yaklaşık %20 oranında artmıştır.

Pompalama gücündeki küçük bir artışa karşılık mikrokanallı ısıl performansının önemli ölçüde arttığı ifade edilmiştir. Ghazvini ve Shokouhmand [16] bakır oksit kullanarak ve su süspansiyonu kullanarak nanoakışkan ısı ve akış karakteristiklerini kanatçık ve poroz ortam yaklaşımlarıyla sayısal ve analitik olarak çalışmışlardır. Çalışmanın birinci kısmı sıcaklık dağılımı ve toplam ısı transfer katsayısına partikül hacimsel kesirleri ve Brownian-Reynolds sayılarının etkileri araştırılmıştır. İkinci kısımda ise kanal yönelim açısı ve gözeneklilik etkileri araştırılmıştır.

İzotermal olarak ısıtılan paralel iki levha arasındaki mikro kanalda Cu-su nanoakışkanının iki fazlı akışına ait taşınım ısı transferi incelemesi Kalteh vd. [17] tarafından yapılmıştır. Laminar akış koşullarında gerçekleştirilen sayısal çalışmada, fazlar arasındaki hız ve sıcaklık farklarının çok küçük ve ihmal edilebilir düzeyde oldukları ifade edilmiştir. Ayrıca, ısıl analiz sonuçları fazlar baz alınarak mukayese edilmiştir. Reynolds sayısı ve partikül konsantrasyonu arttıkça Nusselt sayısının arttığı, aynı partikül konsantrasyonu için ise Nusselt sayısının düşük Reynolds sayılarında daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Diğer bütün parametreler sabit kalmak koşuluyla ısı transferi iyileştirmesi küçük partikül boyutları için daha yüksek çıkmıştır. Paralel levhalar arasında oluşturulan 25 adet mikro kanalda  $Al_2O_3$ -Su nano akışkanıyla soğutma performans analizi Ho vd. [18] tarafından incelenmiştir. Hidrolik ve ısıl performanslar sürtünme katsayısı, pompalama gücü, ortalama ısı transferi katsayısı, ısıl direnç ve maksimum duvar sıcaklığına göre deneysel olarak değerlendirilmiştir. Nanoakışkanlarla soğutulan mikrokanallarda partiküllerden dolayı yüzey sürtünme katsayısının arttığı görülmüştür.  $Al_2O_3$ -su nanoakışkanının mikrokanallarda ısıl performansı Lelea [19] tarafından araştırılmıştır. Kare kesitli ardışık mikrokanallar kullanılarak yapılan çalışmada laminar akış rejiminde sabit ısı akışı sınır şartı uygulanmıştır. Partikül boyutu, hacimsel oran ve akış hızının ısıl performans üzerine etkileri nümerik olarak incelenmiş ve elde edilen sonuçlar deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. Isı transferinin mikrokanal boyunca arttığı ve ısı transferi iyileştirmesinin artan partikül konsantrasyonuyla arttığı belirtilmiştir. Düşük pompalama güçlerinde, ısı transferi iyileştirmesinin ısıtma durumunda soğutma durumundakinden daha yüksek olduğu saptanmıştır. Isı transferi iyileştirmesinin artan partikül çapıyla azaldığı görülmüştür.

### 3. SONUÇ

Yüksek ısıl iletkenliğe sahip nanoakışkanların mikro ölçekli kanallarda kullanımının ısı transferi iyileştirmesine etkileri, literatürde verilmiş olan sınırlı sayıda çalışmaya göre aşağıdaki gibi özetlenebilir:

(i) Nanoakışkanların kullanıldığı mikrokanallarda ısı

transferi su kullanılan mikrokanallardakine göre daha fazla artmıştır. Nanoakışkanların mikrokanallarda kullanımı ısı transferini artırmış; ancak nano partiküllerin varlığı basınç kaybında artışa neden olmuştur.

- (ii) Mikrokanallarda nanoakışkan kullanımı, mikrokanal yüzeyi ile nanoakışkan arasındaki sıcaklık farkını azaltmıştır ve ısıl direncin azalmasına yol açmıştır.
- (iii) Reynolds sayısının artışıyla Nusselt sayısı da artmıştır. Ancak, laminar akış koşullarında Reynolds sayısındaki artışın türbülans akış koşullarına göre Nusselt sayısı daha fazla arttırdığı belirtilmiştir.
- (iv) Isı transferi artan partikül konsantrasyonu ile artmış ve düşük akış hızlarında küçük boyutlu partiküllerle sağlanan ısı transferinin daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır.
- (v) Nanoakışkandaki partikül konsantrasyonunun artması mikrokanallarda basınç düşümünün de artmasına sebep olmuştur.

### KAYNAKÇA

1. **Canay, A.** 2007. "Mikrokanallarda Isı Transferi," Yüksek Lisans Tezi Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
2. **Kandlikar, S.G., Grande, W.J.** 2004. "Evaluation of Single Phase Flow In Microchannels For High Heat Flux Chip Cooling-thermohydraulic Performance Enhancement And Fabrication Technology," *Heat Transfer Engineering*, vol. 25, no. 8, p. 5-16.
3. **Şahin, B., Çomaklı, K., Çomaklı, O., Yılmaz, M.** 2006. "Nanoakışkanlar ile Isı Transferinin İyileştirilmesi," *MMO Mühendis ve Makina Dergisi*, cilt. 47, sayı 559, s. 29-34.
4. **Wang, X., Mujumdar, A.S.** 2007. "Heat Transfer Characteristics of Nanofluids: A Review," *International Journal of Thermal Sciences*, vol.46, no. 1, p. 1-19.
5. **Duangthongsuk, W., Wongwises, S.** 2010. "An Experimental Study on the Heat Transfer Performance and pressure drop of TiO<sub>2</sub>-Water Nanofluids Flowing Under a Turbulent Flow Regime," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol.53, no.1-3, p. 334-344.
6. **Lee, J., Mudawar, I.** 2007. "Assessment of the Effectiveness of Nanofluids for Single-Phase and Two-Phase Heat Transfer in Micro-Channels," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 50, no. 3-4, p. 452-463.
7. **Jung, J.Y., Oh, H.S., Kwak, H.Y.** 2009. "Forced Convective Heat Transfer of Nanofluids in microchannels," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 52, no. 1-2, p. 466-472.
8. **Jang, S.P., Choi, S.U.S.** 2006. "Cooling Performance of a Microchannel Heat Sink With Nanofluids," *Applied Thermal Engineering*, vol. 26, p. 2457-2463.
9. **Mohammed, H.A., Bhaskaran, G., Shuaib, N.H., Abu-Mulaweh, H.I.** 2011. "Influence of Nanofluids on Parallel Flow Square Microchannel Heat Exchanger Performance," *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 38, no. 1, p. 1-9.
10. **Chein, R., Chuang, J.** 2007. "Experimental Microchannel Heat Sink Performance Studies Using Nanofluids," *International Journal of Thermal Sciences*, vol. 46, no. 1, p. 57-66.
11. **Chein, R., Huang, G.** 2005. Analysis of Microchannel Heat Sink Performance Using Nanofluids, *Applied Thermal Engineering*, vol. 25, no. 17-18, p. 3104-3114.
12. **Akbarinia, A., Abdolzadeh, M., Laur, R.** 2011. "Critical Investigation of Heat Transfer Enhancement Using Nanofluids in Microchannels With Slip and Non-Slip Flow Regimes," *Applied Thermal Engineering*, vol. 31, no. 4, p. 556-565.
13. **Tsai, T.H., Chein, R.** 2007. "Performance Analysis of Nanofluid-Cooled Microchannel Heat Sinks," *International Journal of Heat and Fluid Flow*, vol. 28, no. 5, p. 1013-1026.
14. **Chen, C.H., Ding, C.Y.** 2011. "Study on the Thermal Behavior and Cooling Performance of a Nanofluid-Cooled Microchannel Heat Sink," *International Journal of Thermal Sciences*, vol. 50, no. 3, p. 378-384.
15. **Li, J., Kleinstreuer, C.** 2008. "Thermal Performance of Nanofluid Flow in Microchannels," *International Journal of Heat and Fluid Flow*, vol. 29, no. 4, p. 1221-1232.
16. **Ghazvini, M., Shokouhmand, H.** 2009. "Investigation of a Nanofluid-Cooled Microchannel Heat Sink Using Fin and Porous Media Approaches," *Energy Conversion and Management*, vol. 50, no. 9, p. 2373-2380.
17. **Kalteh, M., Abbassi, A., Saffar-Avval, M. Harting, J.** 2011. "Eulerian-Eulerian Two-Phase Numerical Simulation of Nanofluid Laminar Forced Convection in a Microchannel," *International Journal of Heat and Fluid Flow*, vol. 32, no. 1, p. 107-116.
18. **Ho, C. J., Wei, L. C., Li Z. W.** 2010. "An Experimental Investigation of Forced Convective Cooling Performance of a Microchannel Heat Sink With Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Water Nanofluid," *Applied Thermal Engineering*, vol. 30, no. 2-3, p. 96-103.
19. **Lelea, D.** 2011. "The Performance Evaluation of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Water Nanofluid Flow and Heat Transfer in Microchannel Heat Sink," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 54, no. 17-18, p. 3891-3899.