



MİKRO BOYUTLU DİKDÖRTGENSEL KANALLARDA KAYNAMALI AKIŞIN DENEYSSEL İNCELENMESİ

Burak MARKAL
Orhan AYDIN
Metem AVCI

ÖZET

Bu çalışmada, silikon mikrokanallı bir ısı alıcıda deiyonize suyun doymuş kaynamalı akış karakteristikleri deneysel olarak incelenmiştir. Isı alıcı yirmi dokuz paralel dikdörtgen kesitli mikrokanal içermektedir. Kanalların genişliği ve yüksekliği, sırasıyla, 90 µm ve 110 µm'dir. Deneyler, farklı kütle akısı (151, 195, 238 ve 324 kg m⁻² s⁻¹) ve ısı gücü (51.9, 54, 56, 57.9 ve 60.1 W) değerlerinde yapılmış olup; ısı akısı, kuruluk derecesi ve kütle akısının yerel iki faz ısı transfer katsayısı ve toplam basınç düşümü üzerindeki etkisi incelenmiştir. Temel ölçümlere ek olarak, yüksek hızlı görüntüleme tekniği kullanılarak fiziksel mekanizma analiz edilmiştir. Genel karakter olarak, iki faz ısı transfer katsayısı, en yüksek kütle akısı değeri hariç, ısı akısı ve kuruluk derecesinden nispeten bağımsızdır ve artan kütle akısı ile artmaktadır. Toplam basınç düşümü ise artan çıkış kuruluk derecesi ve ısı akısı ile artarken, artan kütle akısı ile azalmaktadır. Akış görüntüleri, mikrokanallardaki kaynamalı akış olayının sanki periyodik yapıda olduğunu ve aynı anda komşu kanallarda farklı akış desenlerinin gerçekleştiğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Mikrokanallı ısı alıcı, Kaynamalı akış, Akış görüntüleme

ABSTRACT

In this study, saturated flow boiling characteristics of deionized water in a silicon microchannel-heat sink are investigated, experimentally. Heat sink contains twenty nine parallel rectangular microchannels. The height and width of the channels are 90 µm and 110 µm, respectively. Experiments have been conducted for different mass fluxes (151, 195, 238 and 324 kg m⁻² s⁻¹) and heating powers (51.9, 54, 56, 57.9 and 60.1 W). The effects of heat flux, vapor quality and mass flux on the local two phase heat transfer coefficient and the total pressure drop have been obtained. In addition to the basic measurements, the physical mechanism has been analyzed via high speed visualization technique. As a general characteristic, the two phase heat transfer coefficient is relatively independent from the heat flux and vapor quality (except for the highest mass flux value), and it increases with increasing mass flux. Total pressure drop increases with increasing exit vapor quality and heat flux while it decreases with increasing mass flux. Flow images show that flow boiling phenomenon in the microchannels has a quasi-periodic character, and different flow patterns simultaneously appear in the neighboring channels.

Keywords: Microchannel-heat sink, Flow boiling, Flow visualization.

1. GİRİŞ

Hassas üretim teknolojilerindeki hızlı gelişimin bir sonucu olarak küresel endüstri, mikro / nano boyutlu sistemlerin üretimine yönelmiştir. Sağlık sektöründen otomobile, bilgisayardan uzay ve savunma sanayisine kadar birçok alanda, minyatür sistemlere olan gereksinim/talep artmaktadır. Mikro sistem

teknolojisinin kullanımı üç temel avantaj sağlar: Küçük boyut (hacim), yüksek verim/performans ve oldukça az miktarda iş akışkanı kullanımı (ml/dk debilerinde). En etkili ısı transfer türlerinden olan kaynamanın mikrokanallarda başarıyla uygulanabilmesi, teknolojik gelişim açısından tasarım mühendislerinin elini güçlendirecektir. Buradaki beklenti, minyatürleşmeyle eş zamanlı olarak gizli ısı alış verişinin de faydalarından yararlanabilmek ve böylece yüksek miktarda ısı akısı uzaklaştırabilen ısı alıcıların seri üretimine geçebilmektir. Ancak, mikrokanallarda kaynamalı akışın fiziksel mekanizması oldukça karmaşıktır [1-3] ve bu durum ısı transferi ve basınç düşümünü doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle, uygun pompa seçimi ve efektif ısı alıcı tasarımları için akış fiziğinin yüksek hızlı görüntüler yardımıyla irdelenmesi ve kaynamalı akış karakteristiklerinin farklı çalışma koşulları altında değerlendirilmesi son derece önemlidir.

Mikrokanallarda kaynamalı akış literatürünün kronolojik gelişimi ve fiziksel mekanizmanın açıklanmasına yönelik farklı bulgular yazarların önceki çalışmalarında [4-6] detaylı olarak verilmiştir. Literatür incelendiğinde benzer nitelikteki araştırmaların devam ettiği görülmektedir. Fayyadh vd. [7] çoklu mikrokanallı bakır ısı alıcıda R134a akışkanının kaynamalı akışta ısı transferini deneysel olarak incelemiştir. Isı alıcı dikdörtgen kesitli yirmi beş mikrokanaldan oluşmaktadır. Kanalların genişlikleri ve yükseklikleri sırasıyla 300 µm ve 700 µm'dir. Artan ısı akısıyla, kabarcıklı akış, uzun kabarcıklı akış ve dalgalı-halkasal akış olmak üzere üç akış deseni gözlemlenmiştir. Isı transfer katsayısının artan ısı akısı ile arttığını; kütle akısına ise bağlı olmadığını belirtmişlerdir. Yin vd. [8] açık mikrokanallarda, deiyonize su kullanarak, aşırı soğutulmuş kaynamalı akış deneyleri yapmıştır. Kullandıkları ısı alıcı, her biri 500 µm genişliğe ve 300 µm yüksekliğe sahip altı paralel kanaldan oluşmaktadır. Kanalların üzerinde 300 µm üniform kalınlıkta boşluk bırakılmıştır. Açık mikrokanallardaki akış rejimlerinin kapalı sistemlerdekinden farklı olduğunu belirtmişlerdir. Deng vd. [9] mikro pin kanatçıklı mikrokanalların kaynamalı akış performansını deneysel olarak incelemiştir. Deiyonize su ve etanol olarak iki farklı iş akışkanı kullanmışlardır. Su ve etanol için yapılan deneylerde, geleneksel dikdörtgen kesitli mikrokanallara kıyasla, ısı transferinde, sırasıyla, %104 ve %175'e kadar iyileşme gözlemlenmiştir. Chávez vd. [10] dikdörtgensel kesitli paralel elli mikrokanaldan oluşan ısı alıcıda R600a, R290 ve R1270 soğutucularının kaynamalı akışını incelemiştir. Kanal kesitleri 123 µm x 494 µm'dir. Genel olarak R290 akışkanının en iyi ısı transfer performansını; R1270'in ise en düşük basınç düşümünü sunduğunu belirtmişlerdir. Huang ve Thome [11] paralel mikrokanallı iki farklı silikon ısı alıcıda R1233zd(E), R245fa ve R236fa soğutucu akışkanlarının kaynamalı akışta basınç düşümünü deneysel olarak incelemiştir. Kanal basınç düşümünün artan aşırı soğutma derecesi ve giriş orifis genişliği ile arttığını fakat çıkış doyma sıcaklığından çok az etkilendiğini, R236fa'nın diğer akışkanlara kıyasla daha düşük basınç düşümü sunduğunu belirtmişlerdir.

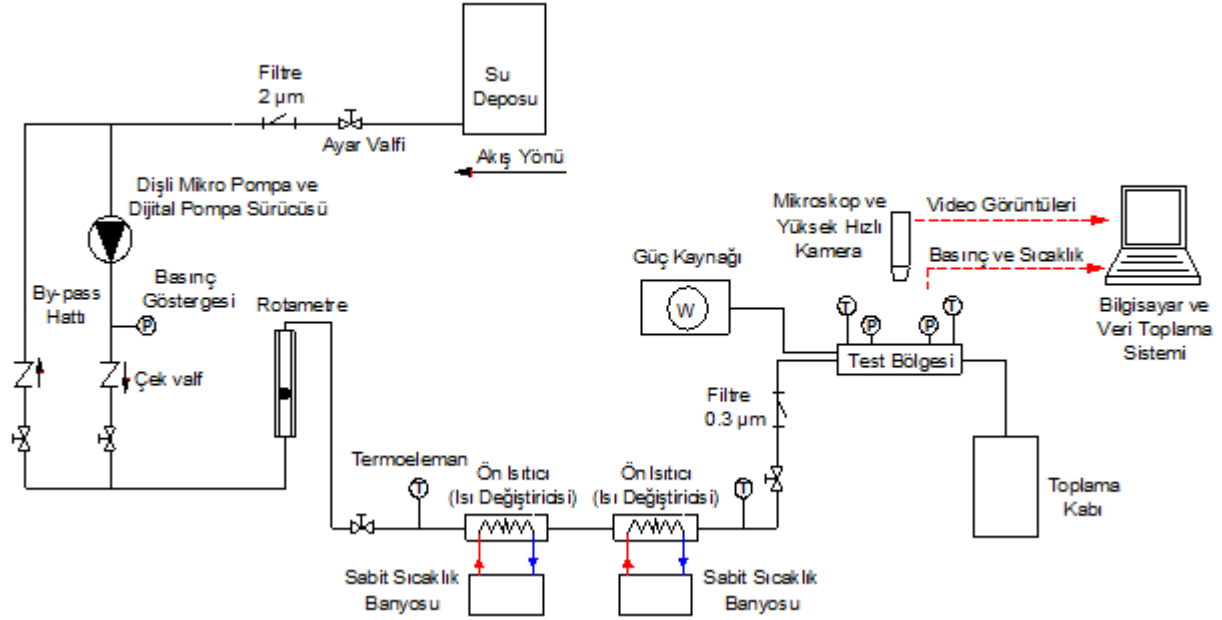
Güncel ve popüler bir konu olan mikrokanallarda kaynamalı akışın daha iyi anlaşılabilmesi için yeni çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada, her biri 90 µm kanal genişliğine ve 110 µm kanal yüksekliğine sahip yirmi dokuz paralel dikdörtgensel mikrokanaldan oluşan silikon ısı alıcıda deiyonize suyun doymuş kaynamalı akış karakteristikleri deneysel olarak incelenmiştir. Farklı kütle akıları ve ısı yükleri altında çalışılmış olup, elde edilen bulgular yüksek hızlı kamera görüntüleri yardımıyla açıklanmıştır.

2. DENEY DÜZENEĞİ VE TEST BÖLGESİ

2.1. Deney Düzenegi

Şekil 1'de deney düzeneginin şematik gösterimi sunulmuştur. Deney düzenegi; akışkan hattı, test bölgesi, akış görüntüleme sistemi ve veri toplama sistemi olmak üzere dört ana bölümden oluşmaktadır: İş akışkanı olan deiyonize suyun sistemdeki hareketi mikro dişli pompa ile sağlanmaktadır. Mikro pompa dijital bir sürücü ile bütünlüktedir ve akışkanın hacimsel debisi bu sürücü ile ayarlanmaktadır. Debi, aynı zamanda, sisteme yerleştirilen hassas bir rotametre ile de eş zamanlı olarak kontrol edilmektedir. Akışkanın test bölgesine giriş sıcaklığı ise ısı değiştiricileri ile ayarlanmaktadır. Sistem elemanlarının korunması ve deneysel ölçümlerin daha güvenilir sonuç vermesi amacıyla sisteme mikro filtreler yerleştirilmiştir. Test bölgesinin giriş ve çıkış haznelindeki sıcaklık ve basınç değerleri, bu bölümlere (büyük haznelere) yerleştirilen termoelemanlar ve mutlak

basınç sensörleri ile ölçülmektedir. Test bölgesi dört adet kartuş ısıtıcı ile ısıtılmakta olup, bu ısıtıcılar AC bir güç kaynağı ile ilişkilidir. Akış görüntüleme sistemi, yüksek hızlı kamera ve mikroskoptan oluşmaktadır. Test bölgesindeki sıcaklık ve basınç ölçümleri, veri toplama sistemi ile kayıt altına alınmıştır. Sistemdeki ekipmanlarla ilgili detaylı bilgiler yazarların önceki çalışmalarında [4, 5] verilmiştir.

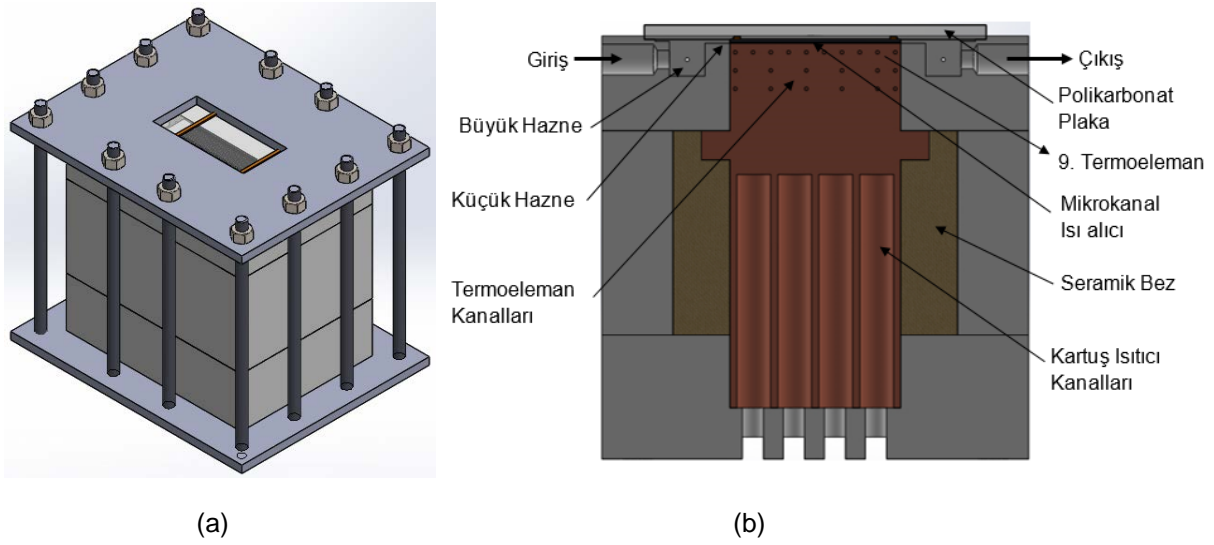


Şekil 1. Deney düzeneğinin şematik resmi

2.2. Test Bölgesi

Test bölgesinin tam ve kesit görünüşleri, sırasıyla, Şekil 2a ve b'de verilmiştir. Test bölgesi en dışta teflon gömlek olmak üzere; bakır blok, şeffaf polikarbonat plaka, seramik bez, mikrokanallı ısı alıcı ve sızdırmazlık malzemelerinden oluşmaktadır. En üste yerleştirilen teflon parçada giriş ve çıkış hazneleri (büyük ve küçük hazneler) bulunmaktadır. Bakır bloğun ön yüzüne termoelemanlar için; alt kısmına ise kartuş ısıtıcılar için kanallar açılmıştır. Bakır blok seramik bez ile sarılarak ısı kaybı azaltılmıştır. Mikrokanallı ısı alıcı, bakır bloğun üzerine konulmuş ve akış görüntüleme yapılabilmesi için onun üzerine de şeffaf polikarbonat plaka yerleştirilmiştir. Bu plaka, aynı zamanda, hem akışkanın test bölgesinden sızmasını önlemekte, hem de Şekil 2a'dan da görüldüğü üzere test bölgesinin sıkıştırılmasında kullanılan üst paslanmaz çelik plaka için oturma yüzeyi görevi görmektedir. Mikrokanallar 500 µm kalınlığındaki silikon tabaka üzerine derin reaktif iyon aşındırma tekniği ile (DRIE/Bosch yöntemi) açılmıştır. Kanallar açıldıktan sonra silikon test parçası, hem akışın görüntülenebilmesini sağlamak, hem de tamamen sızdırmaz bir yapı oluşturmak için anotsal yapıştırma ile 500 µm kalınlığındaki borosilikat/pyrex camla birleştirilmiştir. Uzunluğu ve genişliği, sırasıyla, 48 mm ve 13.5 mm olan ısı alıcıda, yirmi dokuz paralel kare kesitli mikrokanal bulunmaktadır.

Isı kaybı kalibrasyonu, deneysel prosedür ve deneysel hesaplama yöntemiyle ilgili detaylı bilgi yazarların önceki makalelerinde [4] verilmiştir.



Şekil 2. Test bölgesinin tam (a) ve kesit görünüşü (b)

2.3. Belirsizlik Analizi

Kline ve McClintock [12] tarafından önerilen yöntem dikkate alınarak belirsizlik analizi yapılmıştır. Bu kapsamda, iki faz ısı transfer katsayısı, çıkış kuruluk derecesi ve toplam basınç düşümü için ortalama belirsizlik değerleri, sırasıyla, %10.3, %4.57 ve %1.8 olarak belirlenmiştir. Cihazlardan ve/veya sensörlerden kaynaklanan, ölçümlerle ilgili belirsizlik değerleri ise detaylı olarak yazarların [4, 5] numaralı çalışmalarında verilmiştir.

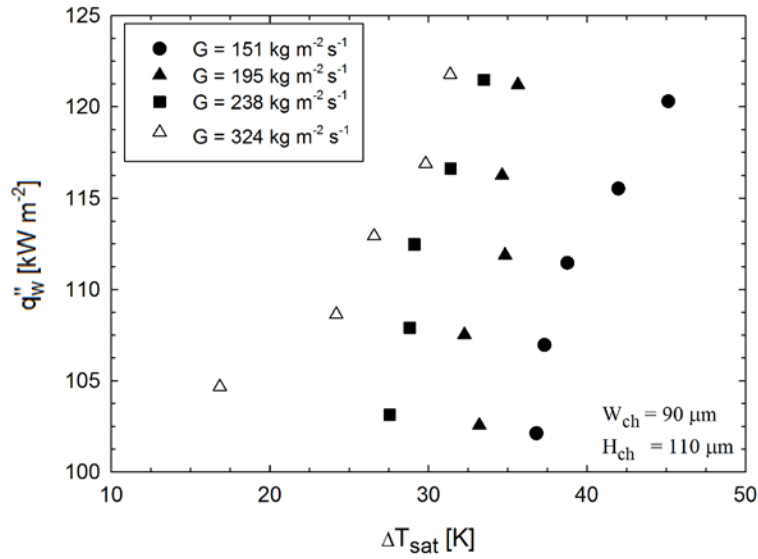
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, dört farklı kütle akısında, G , (151, 195, 238 ve $324 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) ve beş farklı ısı güç (\dot{q}) altında (51.9, 54, 56, 57.9 ve 60.1 W) deneyler yapılmıştır. İlgili ısı yükler için duvar ısı akısı, q_w'' , $102.1 - 121.8 \text{ kW m}^{-2}$ aralığında değişmektedir. İş akışkanının test bölgesine giriş sıcaklığı $50 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de; ortam sıcaklığı ise yaklaşık $22 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de sabit tutulmuştur. İki faz ısı transfer katsayısı (h_{fp}) kanal girişinden 41.5 mm uzaklığa denk gelen dokuzuncu termo eleman dikkate alınarak hesaplanmıştır.

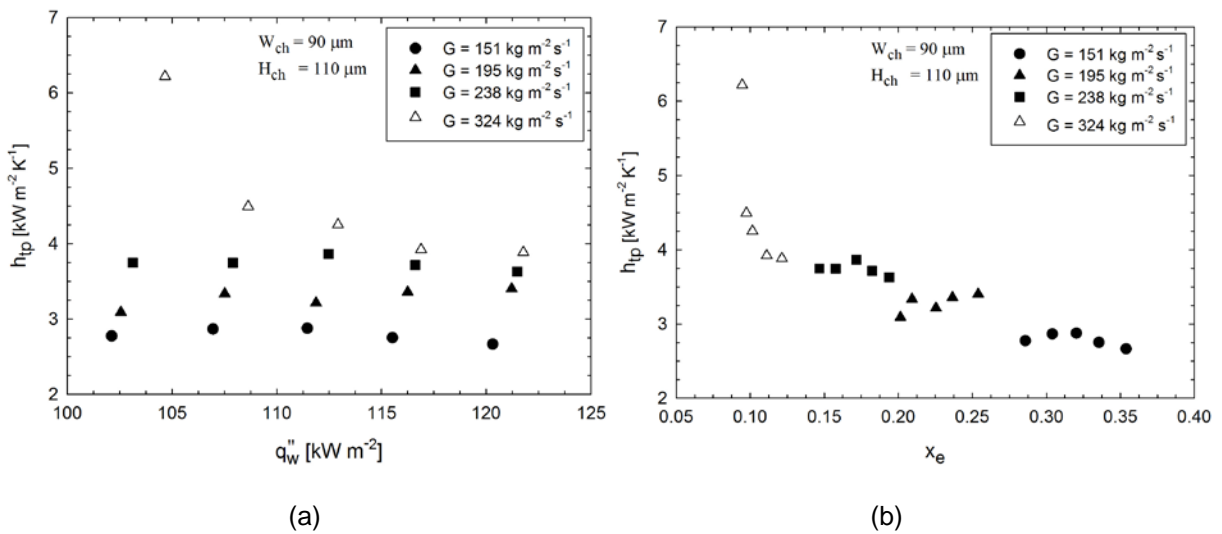
Şekil 3'te, dört farklı kütle akı değeri için elde edilen kaynama eğrileri verilmiştir. Bütün kütle akı değerlerinde duvar kızma farkı ($\Delta T_{sat} = T_w - T_{sat}$) artan ısı akısı ile belirgin bir şekilde artmaktadır. Bu davranış, klasik kaynama eğrisinin ilgili bölgesindeki değişimi yansıtmaktadır. Kütle akısı dikkate alındığında ise, artan kütle akısı ile kızma farkının azaldığı görülmektedir. Bunun sebebi, artan kütle akısı sonucunda yüzeylerin sıvı ile temas sürelerinin artması ve yüzey sıcaklıklarında meydana gelen azalmadır.

Şekil 4a ve b'de, farklı kütle akıları için yerel iki faz ısı transfer katsayısının, sırasıyla, duvar ısı akısı ve yerel kuruluk derecesi (x_e) ile değişimi verilmiştir. Genel karakter olarak, iki faz ısı transfer katsayısı, en yüksek kütle akısı değeri hariç, ısı akısı ve kuruluk derecesinden nispeten bağımsızdır ve artan kütle akısı ile artmaktadır. Bu tür bir bağımlılık taşınım ile kaynamanın baskın ısı transfer mekanizması olduğunun göstergesidir. Ancak, bu yargıya sadece grafiklerdeki eğrilerin değişimleri dikkate alınarak varılmamıştır. Yapılan akış görüntüleme çalışması sonucunda, kanallar içerisinde kuvvetli sınırlandırma etkileri sonucunda kabarcıklı kaynamanın bastırıldığı görülmüştür. Bu nedenle etkin ısı transfer mekanizması kabarcıklı kaynama değil taşınım ile kaynamadır. Ayrıca, mikrokanallardaki doymuş kaynamalı akışın sanki periyodik bir karaktere sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bu periyodik

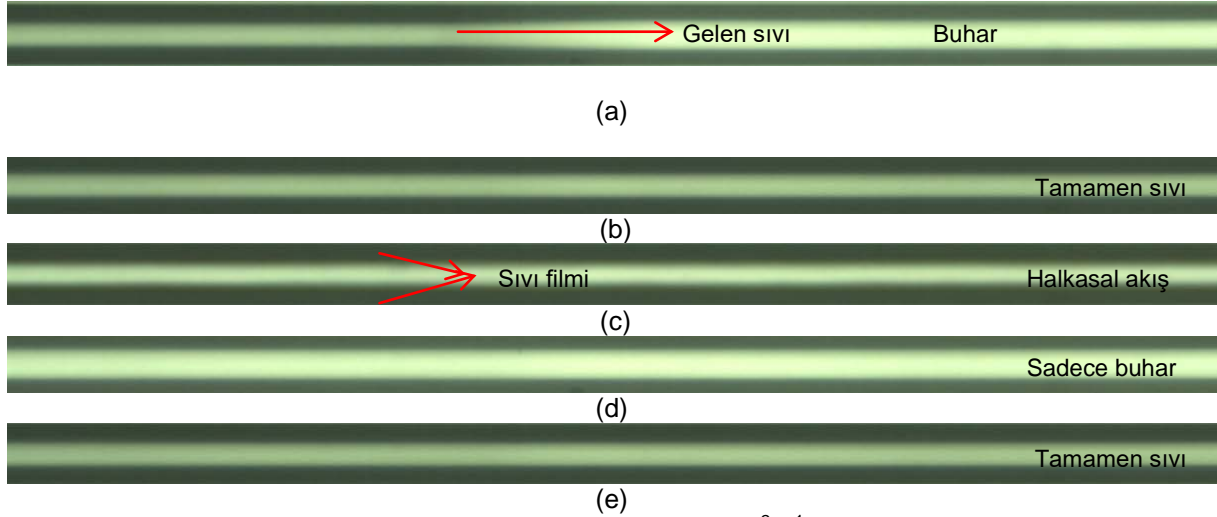
davranış Şekil 5'te verilmiştir ve kısaca şu şekildedir: Kanalin tamamen sıvı ile dolduğu görüntü (Şekil 5b) referans olarak alınmıştır. Önce kanal sıvı ile dolar, devamında halkasal akış oluşur (Şekil 5c). Halkasal akış, iç bölgede buharın; kanal duvarlarına bitişik olarak da ince sıvı filminin olduğu akış desenini ifade etmektedir. Halkasal akıştaki sıvı filmleri zamanla kurur ve kanalın içi sadece buhar ile kaplanır. Bir başka ifade ile kuruma gerçekleşir (Şekil 5d). Tekrar besleme sıvısı gelir ve kuru kanal yüzeylerini süpürerek kanalı doldurur. Bu davranış periyodik bir şekilde devam etmektedir ve bundaki en önemli etken kabarcığın kanal içerisinde belirgin bir şekilde sınırlanmasıdır. Bir başka ifade ile sınırlandırma etkileridir. Şekil 5'te verilen döngü yaklaşık olarak 0.27 saniye sürmektedir. Değişimler milisaniye mertebelerinde gerçekleşmektedir. Artan ısı akısı kuruma periyodunu artırır, artan kütle akısı ise kanalların sıvı ile temasta olduğu süreçlerin uzamasına yol açar. Bunun sonucu olarak da Şekil 3 ve 4'te verilen değişimler elde edilmiş olur. Ancak paralel kanallar içerisinde herhangi bir anda aynı akış olayları görülmeyebilir. Şekil 6'da bu duruma örnek teşkil eden bir akış görüntüsü verilmiştir. Görüntü alanına maksimum üç kanal alınabilmiştir ve bu kanalların her birinde aynı anda farklı akış olayları söz konusudur (periyodik davranışın farklı aşamaları).



Şekil 3. Farklı kütleli akılar için kaynama eğrileri.



Şekil 4. Isı transfer katsayısının farklı kütleli akılar için duvar ısı akısı (a) ve yerel kuruluk derecesi ile değişimi (b).

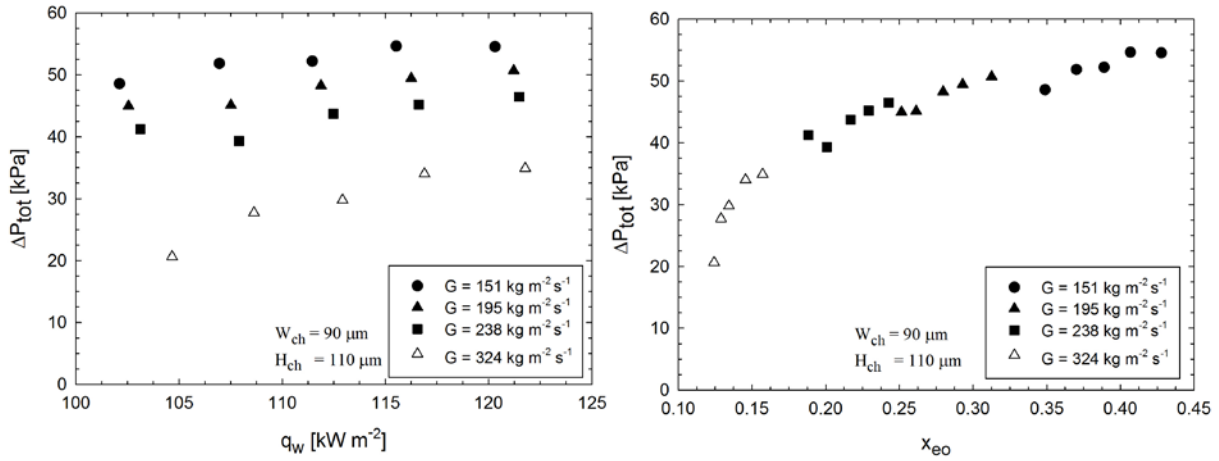


Şekil 5. Kanal girişinden 41.5 mm uzaklıkta, $G = 324 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ve $\dot{q} = 54 \text{ W}$ için bir periyodik davranıştaki genel akış deseni sırası.



Şekil 6. Kanal girişinden 41.5 mm uzaklıkta, $G = 238 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ve $\dot{q} = 51.9 \text{ W}$ için paralel kanallardaki akış desenleri.

Şekil 7a ve b'de, farklı kütle akıları için toplam basınç düşümünün, sırasıyla, duvar ısı akısı ve çıkış kuruluk derecesi ile değişimi verilmiştir. Bütün kütle akı değerlerinde, toplam basınç düşümü artan ısı akısı ve çıkış kuruluk derecesi ile artmaktadır. Aynı ısı yükü altında ise toplam basınç düşümü artan kütle akısı ile azalır. Bu değişimlerin sebebi kabarcık sınırlandırılma etkileridir. Akış pasajı içerisinde sınırlanan kabarcık her iki yönde genişlemeye başlar. Temel problem kabarcığın kanal girişine doğru uyguladığı kuvvettir. Bu kuvvet buharlaşma momentum kuvvetidir ve gelen sıvıya karşı direnç oluşturur. Ana akış doğrultusundaki kuvvet ise sıvı atalet kuvveti olup buharlaşma momentum kuvvetine karşı yönlüdür. Artan ısı akısı buharlaşma momentum kuvvetinin artmasına; artan kütle akısı ise sıvı atalet kuvvetinin artmasına yol açmaktadır. Bu nedenle, ilgili çalışma koşulları için, artan ısı akısı ile basınç düşümünün arttığı, artan kütle akısı ile azaldığı görülmüştür.



Şekil 7. Toplam basınç düşümünün farklı kütleli akılar için duvar ısı akısı (a) ve çıkış kuruluk derecesi ile değişimi (b).

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, her biri 90 μm kanal genişliğine ve 110 μm kanal yüksekliğine sahip yirmi dokuz paralel mikrokandaldan oluşan silikon ısı alıcıda, deiyonize suyun doymuş kaynamalı akış karakteristikleri deneysel olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar şu şekilde özetlenebilir:

- Duvar kızma farkı, artan kütle akısı ile azalmakta ve her bir kütleli akı değeri için artan ısı akısı ile artmaktadır.
- Genel karakter olarak, iki faz ısı transfer katsayısı, en yüksek kütle akısı değeri hariç, ısı akısı ve kuruluk derecesinden nispeten bağımsızdır ve artan kütle akısı ile artmaktadır.
- Toplam basınç düşümü artan çıkış kuruluk derecesi ve ısı akısı ile artarken, artan kütle akısı ile azalır.
- Etkin ısı transfer mekanizması taşınım ile kaynamadır.
- Mikrokandallardaki doymuş kaynamalı akış olayı sanki-periyodik karaktere sahiptir.
- Temel akış desenleri uzun kabarcıklı akış ve halkasal akıştır

TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından desteklenen 113M408 nolu proje kapsamında yapılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] DENG, D., WAN, W., TANG, Y., WAN, Z., LIANG, D., "Experimental investigations on flow boiling performance of reentrant and rectangular microchannels – A comparative study", International Journal of Heat and Mass Transfer, 82, 435–446, 2015.
- [2] TIBIRIÇÁ, C.B., CZELUSNIAK, L.E., RIBATSKI, G., "Critical heat flux in a 0.38 mm microchannel and actions for suppression of flow boiling instabilities", Experimental Thermal and Fluid Science, 67, 48-56, 2015.
- [3] HUANG, H., THOME, J.R., "Local measurements and a new flow pattern based model for subcooled and saturated flow boiling heat transfer in multi-microchannel evaporators", International Journal of Heat and Mass Transfer, 103, 701–714, 2016.



- [4] MARKAL, B., AYDIN, O., AVCI, M., "Effect of aspect ratio on saturated flow boiling in microchannels", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 93, 130–143, 2016.
- [5] MARKAL, B., AYDIN, O., AVCI, M., "An Experimental Investigation of Saturated Flow Boiling Heat Transfer and Pressure Drop in Square Microchannels", *International Journal of Refrigeration*, 65, 1–11, 2016.
- [6] MARKAL, B., AYDIN, O., AVCI, M., "Prediction of Heat Transfer Coefficient in Saturated Flow Boiling Heat Transfer in Parallel Rectangular Microchannel Heat Sinks: An Experimental Study", *Heat Transfer Engineering*, 38, 16, 1415–1428, 2017.
- [7] FAYYADH, E.M., MAHMOUD, M.M., SEFIANE, K., KARAYIANNIS, T.G., "Flow boiling heat transfer of R134a in multi microchannels", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 110, 422–436, 2017.
- [8] YIN, L., JIANG, P., XU, R., WANG, W., JIA, LI., "Visualization of flow patterns and bubble behavior during flow boiling in open microchannels", *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 85, 131–138, 2017.
- [9] DENG, D., WAN, W., QIN, Y., ZHANG, J., CHU, X., "Flow boiling enhancement of structured microchannels with micro pin fins" *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 105, 338–349, 2017.
- [10] CHÁVEZ, C. A., LEÃO, H. L.S.L., RIBATSKI, G., "Evaluation of thermal-hydraulic performance of hydrocarbon refrigerants during flow boiling in a microchannels array heat sink", *Applied Thermal Engineering*, 111, 703–717, 2017.
- [11] HUANG, H., THOME, J. R., "An experimental study on flow boiling pressure drop in multimicrochannel evaporators with different refrigerants", *Experimental Thermal and Fluid Science*, 80, 391–407, 2017.
- [12] KLINE, S.J., MCCLINTOCK, F.A., "Describing uncertainties in single-sample experiments", *Mechanical Engineering*, 73, 1, 3–8, 1953.

ÖZGEÇMİŞ

Burak MARKAL

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümünde öğretim üyesidir. 1985 yılı Trabzon doğumludur. 2016 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalında doktora eğitimini tamamlayarak doktor unvanını almıştır. Mikrokanallarda kaynamalı akış, ısı ve kütle transferi, ısı boruları, mikroakışkanlar, elektronik sistemlerin soğutulması, vorteks tüpler ve dönmeli akışlar konularında çalışmaktadır.

Orhan AYDIN

Karadeniz Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim Dalı öğretim üyesidir. Mikroakışkanlar, elektronik sistemlerin soğutulması, titreşimli biyolojik akışlar, ısı ve kütle transferi, mikropolar akışkanlar, ısı enerji depolama, gözenekli ortamlarda aktarım, Newtonumsu olmayan akışkanlar dinamiği, kapalı ortamlarda doğal ve karma taşınım, gaz ışıınımı ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği konularında çalışmaktadır. Yüze yakın uluslararası saygın dergide yayınlanmış makalesi, uluslararası saygın bir yayınevi tarafından basılan bir kitap bölümü, çok sayıda yurtiçi ve yurtdışı bildirisi mevcuttur.

Mete AVCI

Karadeniz Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü Enerji Anabilim Dalı'nda öğretim üyesi olarak görev yapmaktadır. Mikrokanallarda ısı ve kütle transferi, ısı enerji depolama, Newtonumsu olmayan akışkanlar dinamiği ve gözenekli ortamlarda aktarım konularında çalışmaktadır.