

MİKRO BOYUTTA YAPILANDIRILMIŞ BİR YÜZEYDE HAVUZ KAYNAMA ISI TRANSFERİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ

Doğan ÇİLOĞLU*

Elektrik ve Enerji Bölümü, Erzurum Meslek Yüksekokulu, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, Türkiye

Geliş / Received: 07.11.2016

Düzeltilmelerin gelişi / Received in revised form: 30.12.2016

Kabul / Accepted: 31.12.2016

ÖZ

Bu çalışmada, 38 mm çapında düz ve mikro boyutta yapılandırılmış bakır bir yüzey üzerinde n-pentan ve CuO-pentan nano akışkanının çekirdek kaynama ısı transfer karakteristikleri deneysel olarak incelenmiştir. Deneyler atmosfer basıncı altında ve doymuş kaynama şartlarında gerçekleştirilmiştir. Bu deneysel çalışmada, tel erozyon yöntemi ile bir adet iyileştirilmiş yüzey hazırlanmış ve bu yüzeyden deneysel olarak elde edilen ısı transfer katsayıları düz yüzeyden elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçlar, temel akışkan içerisinde nano partiküllerin varlığının ısı transferini önemli ölçüde etkilediğini ve bu artışın yüksek nano partikül konsantrasyonlarında daha baskın olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Isı transferi, havuz kaynama, nano akışkanlar, iyileştirilmiş yüzeyler

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF POOL BOILING HEAT TRANSFER ON A MICRO-STRUCTURED SURFACE

ABSTRACT

In this study, the nucleate boiling heat transfer characteristics of n-pentane and CuO-pentane nanofluids are experimentally investigated on a smooth and a micro-structured circular brass surface of 38 mm diameter. The experiments are carried out at saturated conditions and under atmospheric pressure. In this experimental study, an enhanced surface is prepared by using wire erosion technique and the obtained heat transfer coefficients from this surface are compared with those of the smooth surface. The experimental results showed that the presence of nanoparticles in the base fluid influences the heat transfer coefficient and the enhancement due to its presence is seen to be higher for higher mass fraction nanofluid.

Keywords: Heat transfer, pool boiling, nanofluids, enhanced surfaces

1. GİRİŞ

Isı transferinin iyileştirilmesi nükleer güç santralleri, elektronik soğutma, otomotiv sektörü ve hava şartlandırıcıları gibi birçok alanda büyük öneme sahiptir. Kaynama ısı transferi bu sistemlerin verimi ve güvenliği için önemli bir ısı transfer mekanizmasıdır. Araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda, kaynama ısı transferini artırmak için ısıtma yüzeyinde titreşim, akışkan içerisinde ultrasonik titreşim ve karmaşık geometri, pürüzlü veya poroz yapıya sahip yüzeyler gibi çeşitli aktif ve pasif teknikler kullanılmıştır [1]. Araştırmacılar, etkin yüzey alanı, aktif çekirdek site sayısı ve düşük kızma farkı gibi parametrelerin iyileşmesi ile ısı transfer performansında önemli artışlar rapor etmişlerdir [2-16]. Günümüzde, mikro ve nano boyutlarda malzeme üretim tekniklerindeki gelişmeler sayesinde, ısı transferini önemli ölçüde artıran yüzeylerin üretimi

*Corresponding author / Sorumlu yazar. Tel.: +90 442 231 2637; e-mail/e-posta: dciloglu@atauni.edu.tr

D. ÇİLOĞLU

mümkün hale gelmiştir. Optimum yüzeyler elde edilmesine rağmen, uzun servis ömrüne sahip ve düşük maliyetli bir yöntem üzerine çalışmalar ise halen devam etmektedir.

2000'li yıllardan bu yana, nano akışkanların çekirdek kaynama ısı transferi ve kritik ısı akısı (CHF) artışı üzerine birçok araştırma gerçekleştirilmiştir. Das ve ark. [3], hacimsel konsantrasyonu %0,1 ile %4 aralığında Al_2O_3 -su nano akışkanın kaynama ısı transfer karakteristiklerini deneysel olarak incelemişlerdir. Araştırmacılar nano akışkan konsantrasyonu arttıkça ısı transfer katsayısının azaldığını rapor etmişlerdir. Suriyawong ve Wongwises [4], hacimsel olarak %0,00005, 0,0001, 0,0005, 0,005 ve 0,01 konsantrasyonlarda TiO_2 -su nano akışkanlarının çekirdek kaynama ısı transfer katsayısını deneysel olarak incelemişler ve saf suyla karşılaştırıldığında %0,0001 konsantrasyona sahip nano akışkan için %15 daha yüksek kaynama ısı transfer katsayısı elde etmişlerdir. Kim ve ark. [5], You ve ark. [6] ve Bang ve ark. [7] tarafından yapılan nano akışkan havuz kaynama deneylerinde, ısıtma yüzeyinde biriken nano partiküllerin kılcallık etkisini artırması sonucu CHF değerlerinde önemli artışların gerçekleştiği bildirilmiştir.

Son yıllarda araştırmacılar, mikro/nano boyutta yapılandırılmış yüzeyler üzerinde kaynama ısı transferi ve CHF artışı üzerine araştırmalar gerçekleştirmişlerdir. Chen ve ark. [8] ve Jo ve ark. [9] tarafından, nano boyutta yapılandırılmış yüzeyler kullanılarak yapılan deneysel çalışmalarda, kaynama ısı transferinde ve CHF değerlerinde artış kaydedilmiştir. Bu çalışmalarda, havuz kaynama süresince ısı transferini artıran oldukça küçük çapta kabarcıklar gözlenmiştir. Liter ve Kaviany [10], kılcallık etkisi üzerinde mikro-poroz yapıların rolünü araştırmışlar ve mikro-poroz bir yüzey üzerinde küresel partiküller (60-200 μm) kullanarak CHF değerinde artış elde etmişlerdir. Kandlikar [11], birkaç yüz mikron boyutunda yapılandırılmış yüzeylerin kaynama süresince ısı transferini artırıcı bir kabarcık hareketini tetiklediğini rapor etmiştir. Son yıllarda yapılan birkaç çalışmada ise [12-14], mikro/nano yapı yüzeylerde kılcallık etkisindeki belirgin artışın CHF değerini artıracağı vurgulanmıştır.

El-Genk [2], 10x10 mm boyutunda poroz bir grafit yüzey üzerinde FC-72 ve HFE-7100 di-elektrik akışkanlarının doymuş ve soğuk kaynama (subcooled) durumunda çekirdek kaynaması üzerine çalışmış ve eğimin (0-180°) ve soğuk kaynama sıcaklığının (0-30°C) etkisini incelemişlerdir. Araştırmacılar yatayda daha yüksek bir kritik ısı akısı (CHF) değeri elde etmişler ve eğim açısı arttıkça CHF değerinin azaldığını ve ısıtma yüzeyinin aşağıya doğru olması halinde (180°) kritik ısı akısının en düşük değerde olduğunu belirlemişlerdir. Yazarlar, ayrıca, ısı transfer katsayısının soğuk kaynama (subcooling) derecesiyle ters orantılı olduğunu belirtmişlerdir. Das ve ark. [15], düz ve yapılandırılmış yüzeylerde su için çekirdek kaynama ısı transfer karakteristiklerini incelemişlerdir. Çalışmalarında kaynama ısı transfer karakteristiklerinin çekirdek sitesi yoğunluğundaki artış ile arttığı ve site yoğunluğundaki sürekli artışın ısı transfer artış miktarında bir azalmaya yol açtığını gözlemişlerdir. Vemuri ve Kim [16] tarafından yapılan çalışmada, 1 bar basınç altında, 70 μm kalınlığındaki bir alümina poroz yüzey üzerinde FC-72 akışkanının doymuş havuz kaynama davranışı incelenmiştir. Düz bir yüzey üzerine nano-poroz bir yüzeyde çekirdek kaynama başlangıcı kızma farkı (superheat) değeri için yaklaşık %30 azalma rapor edilmiştir.

Bu çalışmanın amacı, kaynama ısı transferi üzerine iyileştirilmiş yüzeylerin ve nano partiküllerin etkisini deneysel olarak incelemektir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

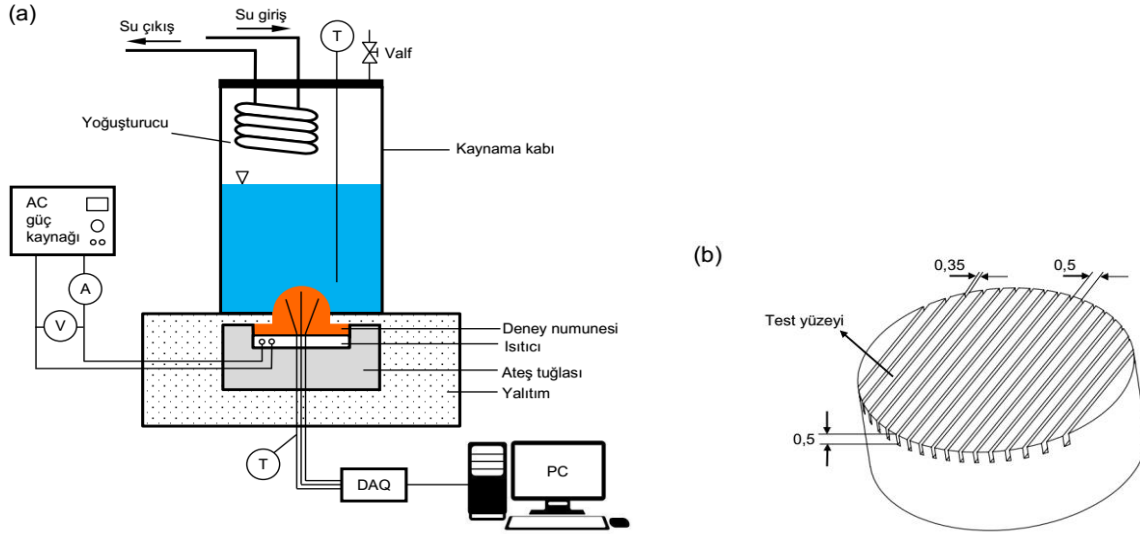
2.1.1. Deneysel Düzenek

Deneysel düzenekine ait şematik resim Şekil 1a'da gösterilmektedir. Deneysel düzenek temelinde kaynama kabı, ısıtma, soğutma ve ölçme-kontrol ünitelerinden oluşmaktadır. Kaynama kabı 100 mm çapında ve 200 mm yüksekliğinde silindirik Pyrex camdan üretilmiştir. Kaynama kabı içerisinden akışkan sıcaklığını ölçmek için, düşey olarak yerleştirilmiş bir adet K-tipi ısı çifti kullanılmıştır. Kaynama kabının üst kapağında deneyler esnasında oluşacak buharı yoğunlaştırmak ve akışkanın konsantrasyonunu korumak amacıyla bir yoğunlaştırıcı bulunmaktadır. Atmosfer basıncında testleri gerçekleştirmek için, üst kapak üzerinde bir valf bulunmaktadır. 38 mm çapında test yüzeyine sahip bakır malzemedeki yapılmış test numunesi, kaynama kabının altına sızdırmaz bir şekilde monte edilmiştir. Test numunesinin hemen altında 2,5 kW gücünde bir ısıtıcı bulunmaktadır. Üretilen ısının sadece test yüzeyine doğru iletilmesi için, ısıtıcının çevresi taş yünü kullanılarak iyi bir şekilde yalıtılmıştır. Sisteme sağlanan ısı 5 kW gücünde bir AC güç kaynağı ile kontrol edilmektedir.

Bu çalışmada, tel erozyon yöntemi (Wire-EDM) kullanılarak mikro boyutta yapılandırılmış bir yüzey hazırlanmıştır. Bu yöntem çok amaçlı geleneksel yüzey işleme yöntemlerinden birisidir. Oldukça kolay ve

MİKRO BOYUTTA YAPILANDIRILMIŞ BİR YÜZEYDE HAVUZ KAYNAMA ISI TRANSFERİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ

ekonomik üretim tekniğiyle bu yöntem, farklı yüzey geometrilerine sahip malzemelerin elde edilmesine olanak sağlamaktadır. Temelde Wire-EDM tekniğinde, yalıtkan bir ortamda (de-iyonize su havuzu, $8 \mu\text{S/m}$) iş parçasıyla elektrot arasında elektrik enerjisi uygulanarak yüksek sıcaklıkla ($8000\text{-}12000^\circ\text{C}$) malzeme kesimi yapılmaktadır. SolidWorks çizim programında teknik resmi çizilen deney numunesi ekstrüzyon ile kesilerek Wire-EDM cihazına bağlanmıştır. Parça yüksekliği 38 mm olup üst kafa 48 mm farkla açılmıştır. Cihazda doğrusal kesim yapılarak INT komutuyla ve kompanzasyon right olarak kanallar açılmıştır. Kullanılan tel kalınlığı 0,25 mm ve arc genişliği 0,136 mm'dir. Şekil 1'de görüldüğü gibi işlenmiş yüzey, $0,35 \mu\text{m}$ genişliğinde, 0,5 mm derinliğinde ve 0,5 mm açıklıklarla üretilmiştir. Yüzey sıcaklığını tespit etmek için, test numunesinin 1,5 mm altında farklı konumlarda yerleştirilmiş üç adet K-tipi ısı çifti kullanılmıştır. Fourier yasası kullanılarak kaynama yüzeyi ile sıcaklık ölçüm noktası arasındaki mesafeden kaynaklanan sıcaklık düşümü belirlendikten sonra, yüzey sıcaklığı ölçülen bu üç sıcaklığın ortalaması alınarak belirlenmiştir. Yüzeyde homojen sıcaklık dağılımı yazarın bir diğer çalışmasında [17] sayısal olarak doğrulanmıştır.



Şekil 1. (a) Deney düzeneği ve (b) Test numunesi

2.2. Metot

2.2.1. Nano Akışkanların Hazırlanması

Literatür çalışmalarından görüldüğü üzere, düşük bir yoğunluğa sahip temel akışkanın kullanıldığı bir deneysel çalışma henüz mevcut değildir. Bu nedenle bu çalışmada düşük yoğunluklu ve düşük kaynama sıcaklığına sahip n-pentan temel akışkan olarak kullanılmıştır. Literatürde yaygın olarak kullanılmış olması ve kararlı fiziksel özellikleri nedeniyle, CuO nano partikülleri nano akışkan hazırlanması için seçilmiştir. Pentan yüksek buharlaşma ve alevlenme özelliğine sahip bir akışkandır. Çalışmada bu risk durumları dikkate alınarak, nano partiküller dikkatli bir şekilde temel akışkan içerisine ilave edilmiş ve 20 dakika manyetik karıştırıcıda karıştırılmıştır. Nano akışkan süspansiyonları her test öncesi partiküllerin dağılımını sağlamak amacıyla yaklaşık 3-4 saat ultrasonic titreşime maruz bırakılmıştır. CuO nano partikülleri kullanılarak iki farklı konsantrasyonda (%0,05 ve %0,1, ağırlıkça) n-pentan esaslı nano akışkan süspansiyonları hazırlanmıştır. Olası bir partikül topaklanmasını engellemek için seyreltici olarak sodyum dodecylbenzenesulfonate (SDBS) kullanılmıştır. Ayrıca, kaynama süresince süspansiyon sürekli olarak karıştığı için, yaklaşık 1 saatlik deney süresince süspansiyonlarda çökme gözlenmemiştir.

2.2.2. Deneyin Yapılışı

Deneylerde 400 mL akışkan kaynama kabına doldurularak ısı akısı $\sim 8,5 \text{ kW/m}^2$ değerine sabitlenmiştir. Akışkan doyma sıcaklığına ulaştığında ve kararlı hal sağlandığında, ısı akısı %5 oranında kademeli olarak artırılmıştır. Her ısı akısı uygulandıktan sonra numune ile akışkan sıcaklığı termal dengeye gelinceye kadar (~ 10 dk) beklenmiştir. CHF değerine yakın bölgelerde ısı akısı artışı %2 olarak ayarlanmıştır. CHF oluştuğu anda yüzey tamamen buhar tabakası ile kaplanır ve yüzey sıcaklığı aniden yükselmeye başlar. Bu anda sisteme

D. ÇİLOĞLU

sağlanan güç kapatılmıştır. Daha sonra, test süresince elde edilen sıcaklık ve güç değerleri kaydedilmiştir. Kaynama ısı transfer katsayısı (h) aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmıştır.

$$h = \frac{4VI}{\pi d^2 (T_y - T_d)} \quad (1)$$

burada, V ve I sırasıyla voltajı (volt) ve akımı (amp) göstermektedir. d (m), ısıtma yüzeyinin çapını, T_y (°C), yüzey sıcaklığını ve T_d (°C), akışkanın doyma sıcaklığını göstermektedir. Pentan akışkanı için deneysel olarak elde edilen h değerleri ile aşağıda verilen Gorenflo eşitliği [18] kullanılarak elde edilen sayısal h değerleri karşılaştırılmıştır.

$$h = h_0 F_{PF} (q/q_0)^{nf} (R_p/R_{p0})^{0,133} \quad (2)$$

$$F_{PF} = 1,2 p_r^{0,27} + 2,5 p_r + \frac{p_r}{1 - p_r} \quad (3)$$

$$nf = 0,9 - 0,3 p_r^{0,3} \quad (4)$$

$$p_r = \frac{p}{p_{cr}} \quad (5)$$

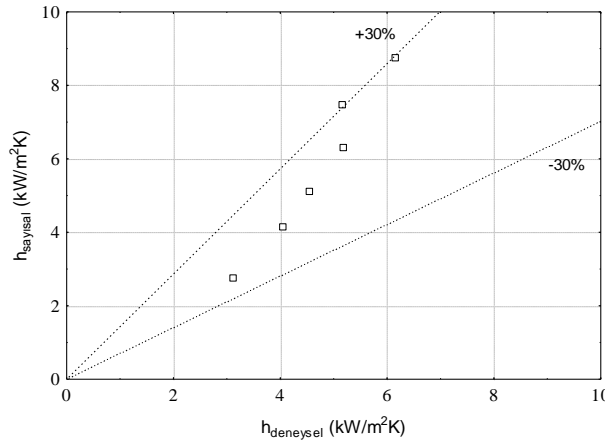
burada, q, R_p , p_r ve p_{cr} sırasıyla ısı akısı (kW.m^{-2}), yüzey pürüzlülüğü (μm), indirgenmiş basınç ve kritik basınçtır (kPa). Gorenflo [18] 'ya göre $p_{r0}=0,1$, $R_{p0}=0,4 \mu\text{m}$ ve $q_0=20000 \text{ W/m}^2$ referans şartlarında pentan için referans ısı transfer katsayısı, $h_0=3400 \text{ W/m}^2\text{K}$ olmaktadır.

2.2.3. Hata Analizi

Ölçülen ısı akısındaki hata, temelde, ısı çiftlerinin kalibrasyonu ve pozisyonlarının hassasiyetinden kaynaklanmaktadır. Sıcaklık ölçümündeki belirsizlik $\pm 0,1^\circ\text{C}$ 'dir. ısı çiftlerinin yerleşiminden kaynaklanan belirsizlik $\pm 0,05 \text{ mm}$ 'dir. Voltaj ve akımdaki ölçüm belirsizliği ise %1'den küçüktür. Sonuç olarak, Kline ve McClintock (1953) tarafından önerilen hata analizi dikkate alınarak [19], ölçülen ısı akısı için maksimum bağlı hata $\pm\%13$ olarak hesaplanmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Deney sonuçlarının doğruluğunu saptamak için, düz bakır yüzey üzerinde pentan için elde edilen kaynama ısı transfer katsayısı değerleri Gorenflo [18] korelasyonu ile elde edilen verilerle karşılaştırılmıştır. Şekil 2'de görüldüğü gibi, deneysel olarak elde edilen verilerle teorik veriler maksimum $\pm\%30$ hata ile birbirleriyle uyum sağlamaktadırlar. Kaynama deneyleri, ayrıca, iyileştirilmiş yüzeyde pentan ve CuO-pentan nano akışkanı için gerçekleştirilmiştir. ısı transfer katsayısı üzerine iyileştirilmiş yüzeylerin, ısı akısının ve nano akışkan konsantrasyonunun etkisi incelenmiştir.



Şekil 2. Deneysel ve sayısal ısı transfer katsayılarını karşılaştırılması

3.1. İyileştirilmiş Yüzeyin Etkisi

Bu çalışmada saf pentan için düz ve mikro boyutta yapılandırılmış yüzeylerden elde edilen ve ayrıca farklı konsantrasyonlarda CuO-pentan nano akışkanları için mikro boyutta yapılandırılmış yüzeyden elde edilen ısı akısı ve ısı transfer katsayısı değerleri Şekil 3 ve 4'te gösterilmektedir. İyileştirilmiş yüzey için ısı akıları ve kaynama ısı transfer katsayıları işlenmiş yüzeye ait yüzey alanı dikkate alınarak hesaplanmıştır. Deneylerde kullanılan iyileştirilmiş yüzey için ısı transfer yüzey alanındaki artış %117 olarak hesaplanmıştır. İşlenmiş yüzey kanatçıklı yüzey olarak dikkate alındığında, kanatçıklı yüzeylerde kaynama ısı transfer katsayısındaki artış kanatçık yapılarının doğası gereği gerçekleşmiştir.

Şekil 3 ve 4'te biri doğal konveksiyon bölgesi diğeri ise çekirdek kaynama bölgesi olmak üzere iki ayrı bölge görülmektedir. Doğal konveksiyon bölgesinde tüm deneylerde kaynama ısı transferinde çok az değişiklikler olduğu görülmektedir. Çekirdek kaynama bölgesinde ise, düşük ısı akılarında ($>130 \text{ kW/m}^2$) tüm deneylerden nispeten düşük bir ısı transfer artışları elde edilmiştir. Bu durumda iyileştirilmiş yüzeylerde kanatçıklı yapıların ısı transferi üzerine önemli bir etkisinin olmadığı söylenebilir. Ancak, yüksek ısı akılarında tam gelişmiş çekirdek kaynama bölgesinde ise, iyileştirilmiş yüzeyde düz yüzeydekine oranla daha yüksek ısı transferi katsayıları elde edilmiştir. Düz yüzey ile karşılaştırıldığında, iyileştirilmiş yüzey için kaynama eğrisi sola doğru kaymaktadır. Bu durum, kanatçıklı yüzeyin düz yüzeyden daha performanslı olduğunu göstermektedir. Elde edilen bu sonuçlar, Rainey ve You [11] tarafından yapılan çalışmada düz ve kanatçıklı yüzeylerden (L=1, 2, 3, ve 4 mm) elde edilen sonuçlarla uyum içerisindedir.

İyileştirilmiş yüzey için düz yüzeydekine göre daha yüksek ısı transfer katsayılarının elde edilmesine mikro yapı yüzeyin işlenmesi sürecinde meydana gelen çatlakların neden olduğu söylenebilir [9]. Kılcallık etkisiyle ince oluklu kanallardaki sıvı akışı doymuş sıvının akış mekanizmasını değiştirmiş ve aktif çekirdek site bölgelerine sürekli sıvı ikmalini sağlamıştır. Bu durum ısı transferindeki artışı da beraberinde getirmiştir. İyileştirilmiş yüzey için ısı transferinde meydana gelen artışa, çekirdek kaynama süresince mikro yapı yüzeyde gerçekleşen kabarcık ayrılma frekansındaki artış neden olabilir.

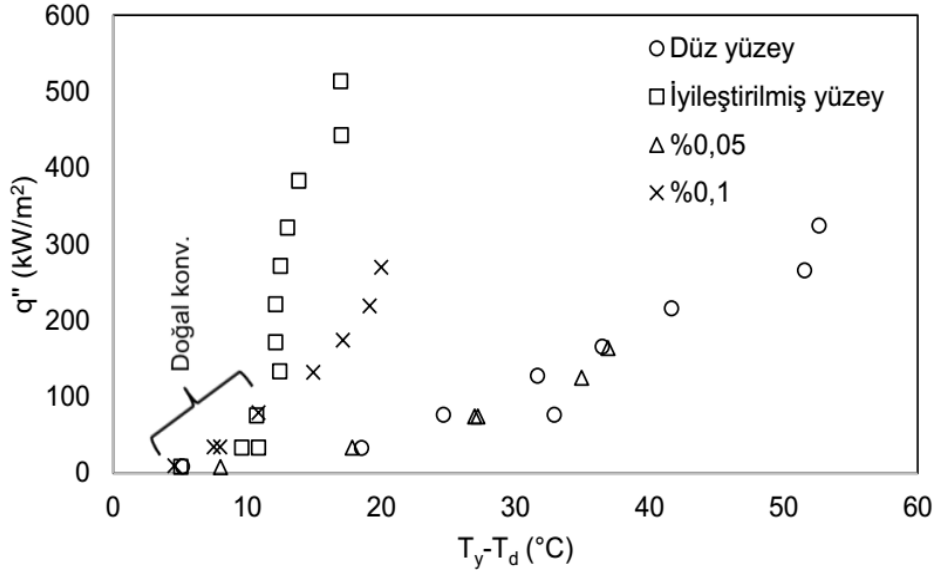
Diğer taraftan Şekil 3'te görüleceği üzere, iyileştirilmiş yüzeyde pentan akışkanı için yapılan deneylerde CHF değerinde %58 artış gözlenmiştir. Yapılandırılmış yüzeyde artan kılcallık etkisi mikro kanallara doymuş sıvının sürekli teminini sağlayarak yüzeyde buhar oluşumunu geciktirmiş ve böylece kritik ısı akısında artış gerçekleşmiştir.

3.2. Nano Partiküllerin Etkisi

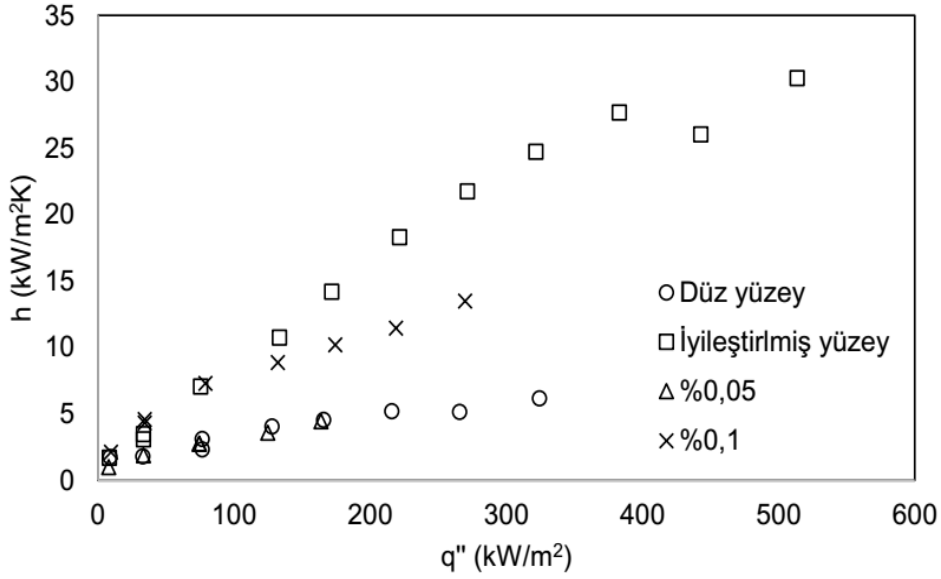
%0,05 ve %0,1 kütleli konsantrasyonda hazırlanan pentan-CuO nano akışkanları kullanılarak yapılandırılmış yüzeylerde kaynama ısı transfer üzerine nano partiküllerin etkisi incelenmiştir. Şekil 3 ve 4'te, pentan ve pentan-CuO nano akışkanı için kaynama eğrileri gösterilmektedir. Temel akışkanla karşılaştırıldığında yüksek konsantrasyonlarda pentan nano akışkanı (%0,1) daha yüksek kaynama ısı transfer karakteristikleri göstermiştir ve bu artış nano partikül konsantrasyonu azaldığında azalmaktadır. Ayrıca Şekil 4'te, ısı transferindeki artışın yüksek ısı akılarında daha da belirgin olduğu görülmektedir. %0,05 partikül konsantrasyonu için, kaynama ısı transfer katsayısı aynı deney şartlarında temel akışkanla neredeyse bezer olduğu görülmektedir. %0,1 partikül konsantrasyonu için, kaynama ısı transfer katsayısı yaklaşık %20-160 artış göstermiştir (Şekil 4). Böylece partikül konsantrasyonundaki artışın ısı transferinde önemli bir artışa neden olduğu söylenebilir. Kim ve ark. [20] tarafından yapılan çalışmada belirtildiği gibi, kaynama ısı transferi artışı buhar kabarcıklarıyla nano partiküllerin etkileşimi nedeniyle ve yüksek ısı iletkenliğe sahip partiküllerin birikmesi ile termal iletkenlik artmaktadır. Diğer taraftan, yüksek konsantrasyonda nano partiküllerin kaotik hareketi daha güçlüdür. Bu hareket akışkanın çalkalanmasına ve ısı transferinin artışına neden olmaktadır. Elde edilen deneysel verilere göre, tüm konsantrasyonlarda pentan nano akışkanı için CHF değerlerinde önemli bir değişiklik gözlenmemiştir. Bu durum ısıtma yüzeyinde gelişen bir buhar kabarcığının altında mikro-tabaka oluşumu nedeniyle. Bu tabaka kritik ısı akısı artışı için gerekli olan yüksek sıcaklık farkı oluşumunu engellemektedir [21].

Şekil 3 ve 4 incelendiğinde, pentan akışkanı ile karşılaştırıldığında iyileştirilmiş yüzeyde ısı transfer alanındaki artışa rağmen, pentan nano akışkanı durumunda yüzeydeki kanallarda hapsolan kabarcığın yüzeyden ayrılma hareketine karşı direncinin artışı ve kanatçık ucundaki nispeten düşük sıcaklık, kaynama eğrilerinin sağa doğru kaymasına neden olmaktadır. Bir başka deyişle, ısı transferindeki bu kötüleşmenin nedeni, yüzey ısı iletkenliğinde artış ve çukurlara nano partiküllerin dolması nedeniyle bazı mikro çekirdek sitelerindeki kayıptan kaynaklanmaktadır. Diğer taraftan, yüzeyde tutunamayan nano partiküllerin buhar kabarcıklarıyla etkileşimi kaynama süresince devam eder ve böylece düz yüzeyde saf pentan akışkanına göre ısı transferi de artmaktadır.

D. ÇİLOĞLU



Şekil 3. Doymuş şartlarda düz ve iyileştirilmiş yüzey için kaynama eğrileri



Şekil 4. Doymuş şartlarda düz ve iyileştirilmiş yüzey için ısı transfer katsayıları değişimi

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, düz ve iyileştirilmiş yüzeylerde pentan ve CuO-pentan nano akışkanının ısı transfer karakteristikleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Saf pentan ile iyileştirilmiş yüzeyden elde edilen sonuçlara göre, kanatçıklı yapıların özellikle çekirdek kaynama bölgesinde ısı transferini önemli ölçüde artırdığı belirlenmiştir.
- Saf pentan akışkan için iyileştirilmiş yüzeyde düz yüzeydekine göre %58 daha yüksek kritik ısı akısı değerleri elde edilmiştir.
- Pentan nano akışkanında ısı transfer artışı partikül konsantrasyonuna bağlıdır. Partikül konsantrasyonundaki artışla ısı transfer katsayısı da artmaktadır.
- Pentan nano akışkanında tüm konsantrasyonlar için kritik ısı akısı değerlerinde önemli bir değişim gözlenmemiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmaya maddi destek veren Atatürk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Komisyonuna (Proje No: BAP-2012/490) teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- [1] WEBB, R.L., KIM, N.H., Principles of Enhanced Heat Transfer, 2nd ed., Taylor&Francis, New York, USA, 2005.
- [2] EL-GENK, M.S., “Immersion Cooling Nucleate Boiling of High Power Computer Chips”, J. Energy Convers. Manage., 53, 205-218, 2012.
- [3] DAS, S. K., PUTRA, N., ROETZEL, W., “Pool Boiling Characteristics of Nanofluid”, Int. J. Heat Mass Transf., 46, 851-862, 2003.
- [4] SURIYAWONG, A., WONGWISES, S., “Nucleate Pool Boiling Heat Transfer Characteristics of TiO₂-Water Nanofluids at Very Low Concentrations”, J. Exp. Therm. Fluid Sci., 34, 992-999, 2010.
- [5] KIM, H.D., KIM, M.H., “Effect of Nanoparticle Deposition on Capillary Wicking that influences the Critical Heat Flux in Nanofluids”, Applied Physics Letters, 91:014104, 2007.
- [6] YOU, S.M., KIM, J.H., KIM, K.H., “Effect of Nanoparticles on Critical Heat Flux of Water in Pool Boiling Heat Transfer”, Applied Physics Letters, 83, 3374, 2003.
- [7] BANG, C, BUONGIRNO, J., HU, L.W., WANG, H., “Measurement of Key Pool Boiling Parameters in Nanofluids for Nuclear Application”, J. Power Energy Syst., 2, 340-351, 2008.
- [8] CHEN, R., LU, M.C., SRINIVASAN, V., WANG, Z., CHO, H.H., MAJUMADAR, A., “Nanowires for Enhanced Boiling Heat Transfer”, Nano Lett., 9, 548-553, 2009.
- [9] JO, H.J., KIM, S.H., KIM, H., KIM, J., KIM, M.H., “Nucleate Boiling Performance on Nano/Microstructures with Different Wetting Surface”, Nanoscale Res. Lett., 7, 242, 2012.
- [10] LITER, S.G., KAVIANY, M., “Pool-boiling CHF enhanced by modulated porous-layer coating: theory and experiment”, Int. J. Heat Mass Transfer, 44, 4287-4311, 2001.
- [11] KANDLIKAR, S.G., “Controlling Bubble Motion over Heated Surface through Evaporation Momentum Force to Enhance Pool Boiling Heat Transfer”, Appl. Phys. Lett., 102, 051611, 2013.
- [12] RAHMAN, M.M., OLCEROGLU, E., MCCARTHY, M., “Role of Wickability on the Critical Heat Flux of Structured Superhydrophobic Surfaces”, Langmuir, 30, 11225-11234, 2014.
- [13] O’HANLEY, H., COYLE, C., BUNGIORNO, J., MCKRELL, T., HU, L.W., RUBNER, M., COHEN, R., “Separate Effects of Surface Roughness, Wettability and Porosity on the Boiling Critical Heat Flux”, Appl. Phys. Lett., 103, 024102, 2013.
- [14] KIM, B.S., LEE, H., SHIN, S., CHOI, G., CHO, H.H., “Interfacial Wicking Dynamics and Its Impact on Critical Heat Flux of Boiling Heat Transfer”, Appl. Phys. Lett., 105, 191601, 2014.
- [15] DAS, A.K., DAS, P.K., SAHA, P., “Nucleate Boiling of Water from Plain and Structured Surfaces”, J. Exp. Therm. Fluid Sci., 31, 967-977, 2007.
- [16] VEMURI, S., KIM, K.J., “Pool Boiling of Saturated FC-72 on Nano-Porous Surface”, Int. Commun. Heat Mass Transfer, 32, 27-31, 2005.
- [17] CILOGLU, D., “An Experimental Investigation of Nucleate Pool Boiling Heat Transfer of Nanofluids from a Hemispherical Surface”, Heat Transfer Engineering, Accepted, <http://dx.doi.org/10.1080/01457632.2016.1212571> (14.07.2016).
- [18] GORENFLO, D., “Pool boiling”, VDI Heat Atlas, Dusseldorf, Germany, 1993.
- [19] KLINE, S.J., MCCLINTOCK, F.A., “Describing Uncertainties in Single-Sample Experiments”, Mech. Eng., 75, 3-8, 1953.
- [20] KIM, H., AHN, H.S., KIM, M.H., “On the Mechanism of Pool Boiling Critical Heat Flux Enhancement in Nanofluids”, J. Heat Transfer, 132, 061501, 2010.
- [21] KEDZIERSKI, M.A., “Effect of CuO Nanoparticle Concentration on R134a/Lubricant Pool-Boiling Heat Transfer”, J. Heat Transfer, 131, 043205, 2009.