



GEÇİCİ REJİMDE DÜŞEY SİLİNDİRLERDE HAVUZ FİLM KAYNAMANIN DENEYSEL İNCELENMESİ

Abdurrahim BÖLÜKBAŞI, Doğan ÇİLOĞLU ve İsak KOTÇİOĞLU

Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, 25240 Erzurum
aboluk@atauni.edu.tr, dciloglu@atauni.edu.tr, ikotcioglu@atauni.edu.tr

(Geliş Tarihi: 25. 11. 2005)

Özet: Bu çalışmada, düşey silindirlere etrafında, geçici rejimde doymuş ve soğuk kaynama (subcooled) şartlarında havuz film kaynama karakteristikleri deneysel olarak incelenmiştir. Deneylerde pirinç malzemeden yapılmış farklı boyutlardaki silindir çubuklar kullanılmıştır. Kaynayan akışkan olarak saf su ve 0.05 M, 0.1 M, 0.15 M, 0.2 M, 0.25 M, 0.3 M, 0.35 M tuz çözeltileri (NaCl) kullanılarak atmosferik basınç altında deneyler yapılmıştır. Deneylerde elde edilen ısı transfer katsayısı değerleri ile Nusselt sayısı hesaplanmış ve Nusselt sayısı için ampirik bir bağıntı geliştirilmiştir. Film kaynamada yüzey sıcaklığı arttıkça buhar filmi kalınlığı artmaktadır. Böylece yüzeyde oluşan buhar filmi yüzey ile akışkan arasında bir direnç oluşturmaktadır. Sonuç olarak, yüzey sıcaklığının artmasıyla ısı transfer katsayısı düşmüştür. Numune çapı arttıkça ısı transfer katsayısı artmış, numune boyu ile değişmemiştir. Tuz çözeltilerinin ısı transfer katsayısı saf suya göre daha yüksek olduğundan konsantrasyon arttıkça çözeltinin ısı transfer katsayısı artmaktadır. Böylece buhar film kalınlığı daha düşük olacağından ısı transfer katsayısı yükselmiş ve ısı akısı da konsantrasyonla artmıştır.

Anahtar Kelimeler: Isı transferi, Film kaynama, Havuz kaynama, Düşey silindir, Çözeltiler

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF POOL FILM BOILING ON VERTICAL CYLINDERS IN TRANSIENT REGIME

Abstract: In this study, the pool film boiling characteristics were experimentally investigated around vertical cylinders under saturated and subcooled boiling conditions in the transient regime. The cylinder rods made of brass having different dimensions were used in the experiments. The experiments were performed under atmospheric pressure by using pure water and salt solutions (NaCl) including different concentrations such as 0.05 M, 0.1 M, 0.15 M, 0.2 M, 0.25 M, 0.3 M, 0.35 M as a boiling liquid. The Nusselt number was calculated with the heat transfer values obtained from the experiments and an empirical relation was developed for the Nusselt number. Vapor film thickness increases with the increase of the surface temperature during the film boiling. Thus the vapor film forms a resistance between the surface and liquid. Consequently, the heat transfer coefficient decreased as the surface temperature increased. It also increased with the increase of the specimen diameter and but did not change with the brass rod length. The heat transfer coefficient of the solution increases with increasing concentration since the heat transfer coefficient for salt solutions is higher than that of the pure water. Therefore, the heat transfer coefficient increased because of the lower vapor film thickness and the heat flux also increased with the concentration.

Keywords: Heat transfer, Film boiling, Pool boiling, Vertical cylinder, Solutions

SEMBOLLER

A	: Isı transfer yüzey alanı [m ²]
Bi	: Biot sayısı
c _p	: Sabit basınçta özgül ısı [kJ.kg ⁻¹ .K ⁻¹]
d	: Çap [m]
Gr	: Grashof sayısı
h	: Isı transfer katsayısı [W.m ⁻² .K ⁻¹]
Ja	: Jakob sayısı
k	: Isı iletim katsayısı [W.m.K ⁻¹]
M	: Molarite
n	: Mol sayısı
Y	: %'de mol kesri
Nu	: Nusselt Sayısı
Pr	: Prandtl sayısı

q"	: Isı akısı [W.m ⁻²]
t	: Zaman [s]
T	: Sıcaklık [°C]
T _{sub}	: T _d - T _∞
V	: Hacim [m ³]

Greek Semboller

ρ	: Yoğunluk [kg.m ⁻³]
θ	: Boyutsuz sıcaklık
ε	: Bağıl hata
Δ	: Mutlak hata

Alt İndisler

d	: Doyma
i	: Başlangıç

m : Merkez
sub : Doyma noktasının altındaki durum
v : Buhar
y : Yüzey
 ∞ : Akışkan sıcaklığı

GİRİŞ

Kaynama mekanizması büyük miktarlardaki ısı enerjisini düşük sıcaklık farklarında transfer etme imkanı sağlar. Tek fazlı sistemlerde sıcaklık farkıyla doğru orantılı olan ısı akısı bazı kaynama işlemlerinde sıcaklık farkının dördüncü kuvvetiyle doğru orantılı olduğundan kaynama işlemine son yıllarda ilgi artmaktadır. Birçok mühendislik problemi kaynamayla ilişkilidir. Özellikle sertleştirme işleminde kontrollü bir soğuma gerçekleştirildiğinden film kaynama çok önemlidir. Birçok teknolojik alanda ısıtılmış katılar, özellikle metaller, sıvı havuzlarına daldırılarak hızlı bir şekilde soğutulur. Bu olaya örnek olarak su, yağ, tuz ve polimer çözeltilerin kullanıldığı sıvı havuzlarında çelik malzemelerin sertleştirilmesi işlemi gösterilebilir. Daldırma sonrasında yüzey üzerinde kararlı buhar filmi oluşur. Bu buhar filmi izolasyon etkisine sahiptir. Kararlı film kaynama olarak bilinen bu fazda katı, nispeten yavaş bir şekilde soğur. Yüzey sıcaklığı Leidenfrost sıcaklığının altına düşünce buhar filmi kırılır ve geçiş film kaynaması ve çekirdek kaynaması fazlarına geçilir. Bu bölgede ısı transferinin oldukça yüksek olduğu ve katının hızlı bir şekilde soğuduğu bilinir (Jeschar vd., 1992).

Film kaynama ısı transferi, süper iletken magnetlerin soğutulması, çok düşük sıcaklık teknolojiye roket makineleri, nükleer reaktörlerin güvenliği, hızlı katılaşma işlemi gibi çeşitli mühendislik alanlarında özellikle etkilidir.

Birçok çalışmada, film kaynama ısı transferi sıvı ile sıcak yüzey arasında sürekli bir buhar filminin var olduğu farz edilerek karakterize edilir (Son ve Dhir, 1997). Bundan dolayı film kaynama ısı transferi olgusu birçok basitleştirilmiş yaklaşım kullanılarak deneysel metotlar veya analitik modeller yardımıyla çözülmüştür (Bazdidi ve Zaman, 2002).

Düşey bir yüzey üzerinde doğal konveksiyonla film kaynamanın ampirik-analitik bir modeli çıkarılmıştır (Greitzer ve Abernathy, 1972). Düşey bir yüzeyde doğal konveksiyonlu film kaynama ısı transferini değerlendirmek için bir buhar filmi modeli geliştirilmiştir (Nishio ve Ohtake, 1993). Düşey izotermal bir yüzeyde çift fazlı ısı transferini incelenmiştir (Bazdidi ve Zaman, 2002). Sıvı-buhar ara yüzeyinde süreklilik, momentum ve enerji eşitlikleri level-set yöntemi ile çözülmüştür. Doğal konveksiyonlu film kaynamada ısı transferi deneysel olarak incelenmiştir (Ohtake ve Nishio, 1994). Aşırı soğutmanın film kaynama ısı transferi üzerine etkisini incelemek için düşey ve yatay silindireler kullanılmıştır.

Deneyler, R-113 akışkanı kullanılarak atmosfer basıncı altında gerçekleştirilmiştir.

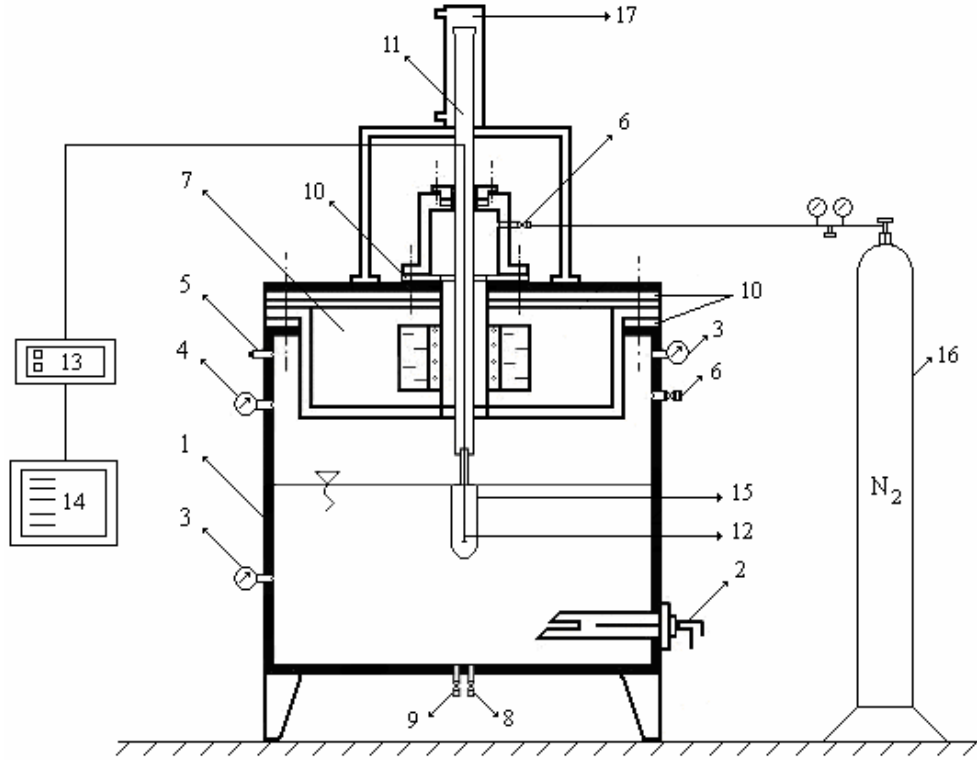
Yatay bir silindirde azeotropik ve nonazeotropik karışımlarda havuz film kaynama ısı transferi için analitik bir çözüm önerilmiştir (Liu vd, 1997). Düşey bir yüzey boyunca ikili karışımların film kaynaması analitik olarak incelenmiştir (Marschall ve Moresco, 1976). Etilenglikol-su, metan-su ve metan-benzen azeotropik ikili karışımlarının havuz kaynamada ısı transferine etkisini açıklamak için teorik bir model geliştirilmiştir (Kandlikar, 1998).

Literatürde farklı boyutlara sahip düşey silindirler için ısı transfer mekanizmasını açıklayacak yeterli bilgiye rastlanmamaktadır. Bu çalışmada, farklı boyutlardaki düşey silindirler etrafında havuz film kaynama özellikleri araştırılmıştır. Deneylerde pirinç malzemenen yapılmış farklı boyutlardaki silindirler kullanılmıştır. Saf su ve farklı konsantrasyonlarda tuz (NaCl) çözeltileri kullanılarak, doymuş ve soğuk kaynama (subcooled) şartlarında film kaynama incelenmiştir. Yüzey sıcaklıkları sonlu elemanlar yöntemine göre çözüm yapan FEMLAB (2005) paket programı kullanılarak tespit edilmiştir. Deney numuneleri fırında 600°C sıcaklığa kadar ısıtıldıktan sonra farklı sıcaklıklardaki saf su ve tuz çözeltisi havuzuna daldırılarak kaynama eğrileri elde edilmiştir. Deneylerden elde edilen ısı transfer katsayıları ile Nusselt sayısı hesaplanmış ve sonuç olarak, Nusselt sayısı için ampirik bir ifade geliştirilmiştir.

DENEYLER

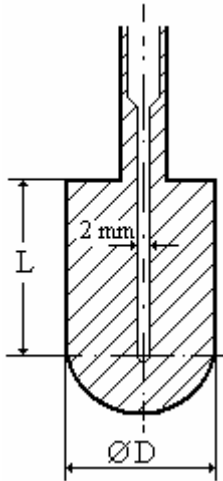
Deney Düzenegi

Deney düzenegine ait şematik resim Şekil 1'de gösterilmiştir. 10 bar basınca kadar dayanıklı olan deney düzeneginde fırın, pnömatik piston, gaz ve akışkan giriş-çıkış vanaları, elektrikli ısıtıcı, termometre, manometre ve emniyet ventili bulunmaktadır. Silindirik olarak imal edilen fırında 2 mm çapında kanthal rezistans teli kullanılmıştır. Fırın içerisinde 20A akım ve potansiyel farkı 220V olan elektrik enerjisi kullanılarak 1000°C sıcaklık elde edilebilmektedir. Kaynayan akışkan olarak saf su ve 0.1 M, 0.15 M, 0.2 M, 0.25 M, 0.3 M, 0.35 M tuz (NaCl) çözeltileri kullanılmıştır. Akışkanı ısıtmak için 2 KW gücünde elektrikli ısıtıcı kullanılmıştır. Doymuş ve soğuk kaynama (subcooled) şartlarındaki saf su ve farklı konsantrasyonlardaki tuz çözeltilerinde deneyler gerçekleştirilmiştir. Deney numunesi olarak pirinç malzemenen yapılmış farklı boyutlara sahip 5 adet düşey silindir çubuk seçilmiş ve deney numunesi Şekil 2'de gösterilmiştir. Film kırılmasını önlemek için numunelerin alt kısımları yarı-küresel yapılmıştır. Numunelerin yüzeyleri pürüzsüz hale getirilerek parlatılmış ve merkezlerinden 2 mm çapında delik açılmış ve sıcaklık ölçümü için K-tipi ısı çifti kullanılmıştır.



- | | |
|-------------------------------|--|
| 1- Basınçlı tank | 10- Sızdırmazlık elemanı |
| 2- Elektrikli ısıtıcı | 11- Numune destek kolu |
| 3- Termometre | 12- K-tipi ısıl çift |
| 4- Manometre | 13- Analog-Dijital Kart |
| 5- Emniyet ventili | 14- Bilgisayar |
| 6- Vana (gaz giriş-çıkış) | 15- Deney numunesi |
| 7- Fırın | 16- Azot (N ₂) gazı girişi |
| 8- Vana (gaz giriş-çıkış) | 17- Pnömatik piston |
| 9- Vana (akışkan giriş-çıkış) | |

Şekil 1. Deney düzeneği.



Şekil 2. Deney numunesi.

Tablo 1. Numune boyutları ve Biot sayıları.

Deney Numunesi	Çap D (mm)	Uzunluk L (mm)	Biot Sayıları
1	20	50	0,011
2	40	50	0,041
3	20	75	0,011
4	20	25	0,010
5	60	50	0,086

Deney Prosedürü

Deney numunelerinin ısıtılma aşamasında meydana gelebilecek oksitlenmeyi önlemek için fırın içerisine azot (N₂) gazı gönderilmiştir. Numuneler atmosferik basınç altında fırında 600 °C 'ye kadar ısıtıldıktan sonra farklı sıcaklıklara sahip saf su ve tuz çözeltisi havuzuna daldırılmıştır. Numunelerin sıcaklık değişimleri K-tipi ısıl çift aracılığı ile analog-dijital karta gönderilmiştir.

Verilerin Elde Edilmesi

Her bir numunenin soğuması esnasında sıcaklık değişimleri kaydedilmiştir. Numune merkez sıcaklıkları kullanılarak yüzey sıcaklıkları Ek (1) 'de gösterilen akış şeması takip edilerek FEMLAB paket programı ile

Numunelerin boyutları ve deneylerde elde edilen ve Biot sayısını maksimum yapan ısı transfer katsayılarına göre hesaplanmış Biot sayıları Tablo 1'de verilmiştir. Deney numunelerinin yukarı-aşağı hareketi bir pnömatik piston aracılığı ile gerçekleştirilmiştir.

belirlenmiştir. Hesaplamalarda radyasyon etkisi toplam ısı transfer katsayısı içerisinde dikkate alınmıştır.

Numunelere ait Biot sayıları 0.1 'den küçük olduğu için Eş. (1) ile verilen Lumped metodu (Kakaç 1982) kullanılmıştır. Kaynama durumunda numunedeki enerji değişiminin soğutucu akışkana transfer edilen enerjiye eşit olduğu göz önüne alınarak Eş. (1) yardımıyla Ek (1) 'de verilen akış şeması takip edilerek her bir numune için film kaynamada ısı transfer katsayısı Eş. (2) ile hesaplanmıştır. Eşitlik (2)'de ısı transfer katsayısı yüzey sıcaklığı ile üssel olarak değişmektedir (Yüncü 1999).

$$\rho V c_p \frac{dT}{dt} = hA(T_m - T_\infty) \quad (1)$$

$$h = e \cdot T_y^{-f} \quad (2)$$

Eşitlikte e ve f, Quasi-Newton metodu kullanılarak Statistica programı (1993) ile belirlenmiş sabitlerdir. Eşitlik (2) 'de elde edilen ısı transfer katsayısı kullanılarak birim yüzeyden transfer edilen film kaynama için ısı akısı Eş. (3) ile hesaplanmıştır.

$$q'' = h(T_y - T_\infty) \quad (3)$$

Deneysel Belirsizlik

Eşitlik (1) 'de ısı transfer katsayısı

$$h = -\rho c_p \frac{V}{A} \frac{1}{t} \ln \theta \quad (4)$$

şeklinde ifade edilebilir (Çiloğlu, 2004). Burada, θ boyutsuz sıcaklıktır ve,

$$\theta = \frac{T - T_\infty}{T_i - T_\infty} \quad (5)$$

eşitliği ile ifade edilir (Incropera, 1990). Eş. (4) 'de ısı transfer katsayısının hesaplanmasında etkili olan parametreler,

$$h = f(\rho, c_p, V, A, t, \theta) \quad (6)$$

fonksiyonel ilişkisi ile tanımlanabilir. Bağıl ve mutlak hata ise söz konusu parametreler cinsinden,

$$\varepsilon_h = \left[(\varepsilon_\rho)^2 + (\varepsilon_{c_p})^2 + (\varepsilon_V)^2 + (\varepsilon_A)^2 + (\varepsilon_t)^2 + (\varepsilon_\theta)^2 \right]^{1/2} \quad (7)$$

$$\Delta h = \left| \frac{\partial h}{\partial \rho} \right| \Delta \rho + \left| \frac{\partial h}{\partial c_p} \right| \Delta c_p + \left| \frac{\partial h}{\partial V} \right| \Delta V + \left| \frac{\partial h}{\partial A} \right| \Delta A + \left| \frac{\partial h}{\partial t} \right| \Delta t + \left| \frac{\partial h}{\partial \theta} \right| \Delta \theta \quad (8)$$

eşitlikleri ile ifade edilir (Taylor, 1982). Eşitlik (7) ve Eşitlik (8) 'de sol tarafındaki terimler ısı transfer

katsayısındaki sırasıyla toplam bağıl hata miktarını (yüzdese) ve toplam mutlak hata miktarını, sağ taraftaki her bir terim ise ilgili parametrelerin sırasıyla bağıl hata miktarını ve mutlak hata miktarlarını vermektedir. Deneysel ölçülen parametrelerin hata miktarları aşağıdaki tabloda verilmiştir. Değerleri literatürde kabul görmüş standart değerlerin hata miktarları göz önüne alınmamıştır.

Tablo 2. Ölçülen parametrelerin hata miktarları.

Parametre (u)	Ölçülen Değer	Bağıl Hata Miktarı (ε_u)	Mutlak Hata Miktarı (Δu)	Toplam Mutlak Hata ($\left \frac{\partial h}{\partial u} \right \Delta u$)
V (m ³)	9.9x10 ⁻⁶	0.029	2.9x10 ⁻⁷	5.89
A (m ²)	2.2x10 ⁻³	0.019	4.2x10 ⁻⁵	3.86
t (s)	60	8.33x10 ⁻³	0.5	1.69
θ	0.41	2.52x10 ⁻⁴	1.02x10 ⁻⁴	0.056

Eş. (7) kullanılarak ısı transfer katsayısındaki bağıl hatanın en yüksek değeri,

$$\varepsilon_h = \left[(0.029)^2 + (0.019)^2 + (8.33 \times 10^{-3})^2 + (2.52 \times 10^{-4})^2 \right]^{1/2} = \pm 3.56 (\%)$$

ve Eş. (8) kullanılarak mutlak hatanın en yüksek değeri ise,

$$\Delta h = 5.89 + 3.86 + 1.69 + 0.056 = \pm 1.49$$

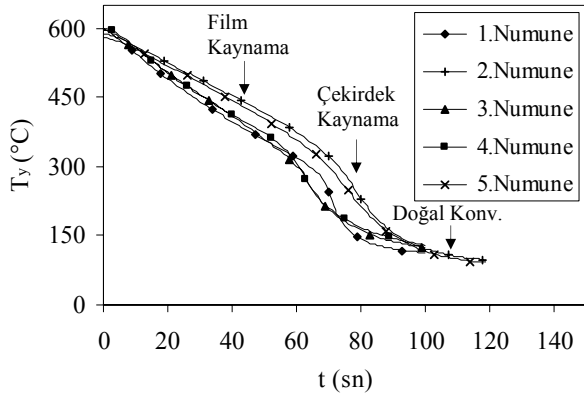
bulunur.

DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Saf Su Deneyleri

Deneysel numuneleri fırında 600°C sıcaklığa kadar ısıtıldıktan sonra farklı sıcaklıklardaki saf su havuzuna daldırılarak kaynama eğrileri elde edilmiştir. 60°C ve 80°C sıcaklıkta film kaynama meydana gelmemiştir. Bu sıcaklıklarda ısı transferi sadece çekirdek kaynama ve doğal konveksiyonla gerçekleşmiştir. Şekil 3'de 92°C sıcaklıktaki durgun su havuzuna daldırılan numunelere ait kaynama eğrileri verilmiştir. Görüldüğü gibi 92°C sıcaklıkta film kaynama meydana gelmiştir.

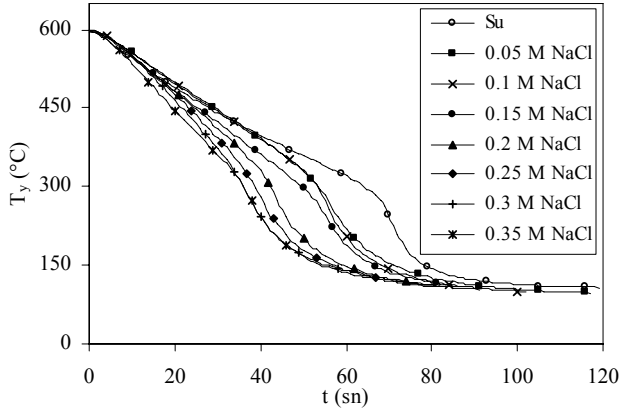
Şekil 3'de, numune çapı büyüdükçe film kaynamanın daha yüksek sıcaklıklarda sona erdiği görülmektedir. Örneğin, 20 mm çapa sahip 1 nolu numunede film kaynama yaklaşık 295°C sıcaklıkta sona ererken 60 mm çapa sahip 5 nolu numunede ise bu değer yaklaşık 320°C'dir. Bu durum aynı çapa sahip fakat farklı boydaki 1, 3 ve 4 nolu numunelerde değişmemiş ve film kaynama yaklaşık olarak aynı sıcaklıklarda sona ermiştir.



Şekil 3. 92°C havuz sıcaklığında kaynama eğrileri ($T_{sub}=0^{\circ}C$).

Tuz Çözeltisi Deneyleri

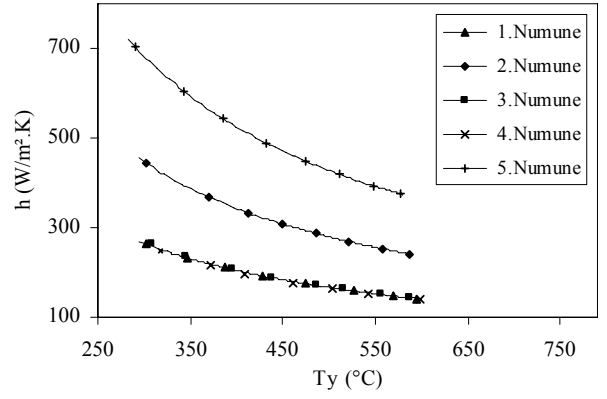
Şekil 4'de farklı konsantrasyondaki doymuş tuz çözeltilerine daldırılan 1 nolu numuneye ait kaynama eğrileri görülmektedir. Şekil 4'de görüleceği gibi konsantrasyon arttığında çözeltinin ısı taşınım katsayısı artacağından buhar filmi daha yüksek sıcaklıklarda kırılmıştır.



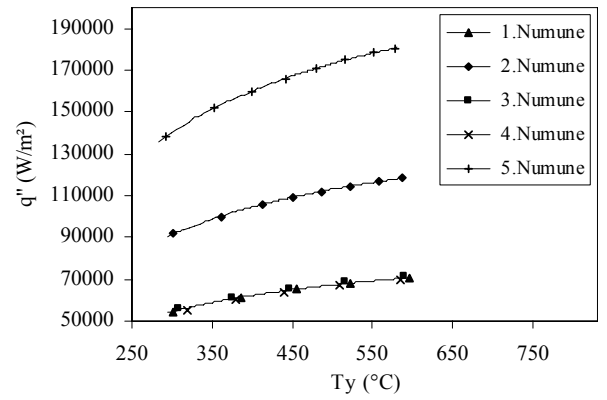
Şekil 4. 1. numuneye ait doyma noktasında farklı konsantrasyonlardaki tuz (NaCl) çözeltilerinde kaynama eğrileri.

Isı Transferi

Saf su için elde edilen ısı transfer katsayısının ve birim yüzeyden transfer edilen ısı akısının sıcaklık farkına göre değişimi Şekil 5 ve 6'da görülmektedir. Şekil 5'de, doymuş kaynamada ısı transfer katsayısı yüzey sıcaklığı arttığında azalmaktadır. Film kaynamada yüzey sıcaklığı düşükçe buhar film kalınlığı azalacağından buhar filminin ısı transferine karşı göstereceği direnç de azalmaktadır. Bundan dolayı ısı transfer katsayısı da artmaktadır.



Şekil 5. Doymuş film kaynamasında saf sudaki ısı transfer katsayısının değişimi.



Şekil 6. Doymuş film kaynamasında saf sudaki ısı akısının değişimi.

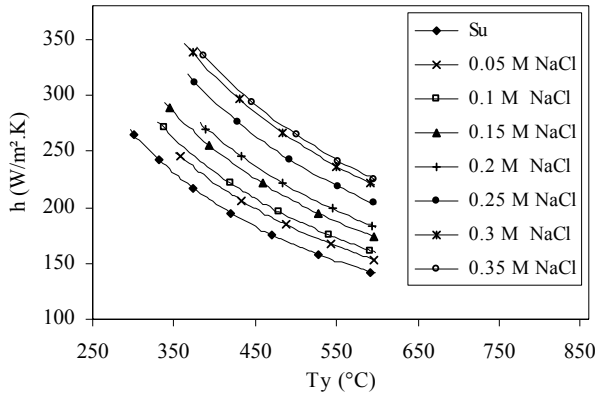
Şekil 7'de tuz çözeltileriyle yapılan deneylerde elde edilen doymuş film kaynamada ısı transfer katsayısının değişimi görülmektedir. Yüzey sıcaklığı artmasıyla ısı transfer katsayısı azalmaktadır. Çözeltilerin ısı taşınım katsayıları saf suya göre daha yüksektir. Çözelti konsantrasyonunun artmasıyla ısı transfer katsayısında da artış meydana gelmiştir. Böylece buhar film kalınlığı daha ince olacağından ısı transfer katsayısı da yükselecektir. Bu durum Şekil 7'de görülmektedir. Doymuş film kaynamada birim yüzeyden transfer edilen ısı akısı değişimi Şekil 8'de verilmiştir. Yüzey sıcaklığı arttığında ısı akısı artmaktadır.

Nusselt sayısı,

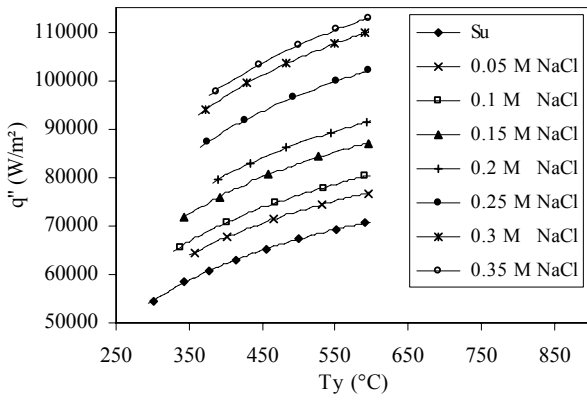
$$Nu = \frac{hd}{k} \quad (9)$$

eşitliğinden hesaplanmıştır ve Saf su deneyleri için Nusselt fonksiyonu aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Çiloğlu, 2004).

$$Nu_v = 0.0027 \left(\frac{Gr_v Pr_v}{Ja_v} \right)^{0.6} \quad (10)$$



Şekil 7. Doymuş film kaynamasında tuz çözeltilerindeki ısı transfer katsayısının değişimi.



Şekil 8. Doymuş film kaynamasında tuz çözeltilerindeki ısı akısının değişimi.

Yukarıda görüldüğü gibi doymuş kaynamada saf su için düşey silindirlerde Nusselt fonksiyonu yalnızca Grashof, Prandtl ve Jakob sayılarına bağlıdır. Saf su için Nusselt sayısının yüzey sıcaklıklarına göre değişimi Şekil 9'da gösterilmektedir. Şekil 9'da görüldüğü gibi numune çapının artması ile Nusselt sayısı da artmaktadır. Ancak aynı çapa sahip numuneler için Nusselt sayısı değişimi yaklaşık aynı kalmaktadır.

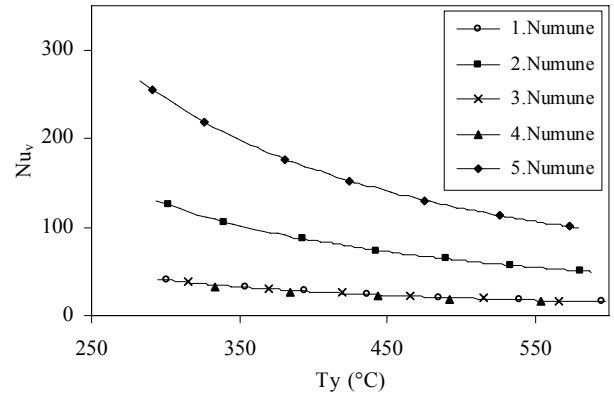
Nusselt fonksiyonu tuz çözeltileri için aşağıda verildiği gibidir (Çiloğlu, 2004).

$$Nu_v = 0.0063 \left(\frac{Gr_v Pr_v}{Ja_v} Y \right)^{0.6} \quad (11)$$

Burada, Y, %'de mol kesri olup,

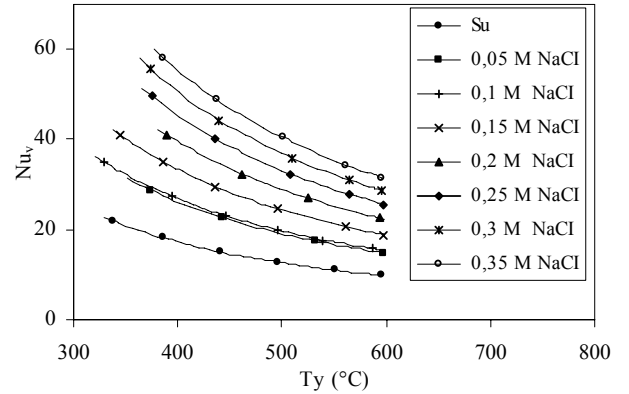
$$Y = \frac{n_{Tuz}}{n_{Su} + n_{Tuz}} \cdot 100 \quad (12)$$

şeklinde ifade edilir. n_{Tuz} tuz çözeltilisinin mol sayısı, n_{Su} suyun mol sayısıdır.



Şekil 9. Saf su için Nusselt sayısının yüzey sıcaklığına göre değişimi ($T_{sub}=0^\circ C$).

Geliştirilen bu bağıntı ile o andaki yüzey sıcaklığına karşılık gelen toplam film kaynama ısı transfer katsayısı belirlenebilir. Farklı konsantrasyondaki tuz çözeltileri ile yapılan deneylerde Nusselt sayısının yüzey sıcaklıklarına göre değişimi Şekil 10'da gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi çözeltilinin konsantrasyonu artması ile Nusselt sayısı da artmaktadır.



Şekil 10. Doymuş film kaynamasında tuz çözeltileri için Nusselt sayısının yüzey sıcaklığına göre değişimi.

SONUÇLAR

Bu çalışmada, farklı boyutlardaki düşey silindirler etrafında havuz film kaynama özellikleri deneysel olarak incelenmiştir. Pirinç malzemeden yapılmış farklı boyutlardaki silindirler deneylerde kullanılmıştır. Saf su ve farklı konsantrasyondaki tuz çözeltilerinde doymuş kaynama ve soğuk kaynama (subcooled) şartlarında atmosferik basınç altında film kaynama incelenmiştir.

1-Havuz sıcaklığı azaldıkça film kırılma daha yüksek sıcaklıklarda meydana geldiğinden doyma sıcaklığının altında (subcooled) film kaynama meydana gelmemiştir. Bu sıcaklıklarda ısı transferi çekirdek kaynama ve doğal konveksiyonla gerçekleşmiştir.

2-Film kaynamada yüzey sıcaklığı arttıkça buhar filmi kalınlığı artmaktadır. Yüzeyde oluşan buhar filmi numune yüzeyi ile soğutucu akışkan arasında bir direnç oluşturmaktadır. Böylece yüzey sıcaklığının artmasıyla ısı transfer katsayısı düşmüştür. Yüzey sıcaklığının artması ile birim yüzeyden transfer edilen ısı akısı artmıştır.

3-Numune çapı büyüdükçe ısı transfer katsayısı artmıştır. Aynı çapa sahip farklı boydaki numunelerde film kaynama ısı transfer katsayısının yaklaşık olarak aynı olduğu görülmüştür.

4-Çözeltilerin ısı transfer katsayıları saf suya göre daha yüksektir. Çözeltilerde konsantrasyon arttıkça ısı transfer katsayısı da artmıştır. Böylece buhar film kalınlığı daha ince olacağından ısı transfer katsayısı da yükselmiştir. Birim yüzeyden transfer edilen ısı akısı çözelti konsantrasyonu ile arttığı gözlenmiştir.

Daha sonraki çalışmalarda farklı malzemeler kullanılarak ısı transfer katsayısı değişimleri incelenebilir ve farklı akışkanlar kullanılarak bu çalışmada geliştirilen bağıntılar genelleştirilebilir. Farklı basınç aralıklarında saf su ve farklı çözeltiler için de ısı transfer katsayısı değişimleri incelenebilir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmaya maddi destek veren Atatürk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Komisyonuna (Proje No: BAP-2002/38) teşekkürü bir borç biliriz.

KAYNAKLAR

Bazdidi F. and Zaman S., Two-Phase Heat Transfer on an Isothermal Vertical Surface: a Numerical Simulation, *Int. J. Heat and Fluid Flow* 23, 308-316, 2002.

COMSOL AB, FEMLAB Version 3.1 pre, Reference manual, January 2005.

Çiloğlu D., *Farklı Boyutlardaki Düşey Silindirlerde Durgun Film Kaynamanın Farklı Konsantrasyonlarda Deneysel İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 2004.

Greitzer E.M., Abernathy F.H., Film Boiling on Vertical Surfaces, *Int. J. Heat Mass Transfer* 15, 475-491, 1972.

Incropera, F. P., De Witt, D. P., *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, John Wiley & Sons, New York/NY, USA, 1990.

Jeschar R., Spect E., Heidt V., An Analytical Model For Free Convection Film Boiling on Immersed Solids, *Chem. Eng. And Proc.* 31, 137-146, 1992.

Kakaç S., *Isı İletimi*, II.Baskı, O.D.T.Ü./ANKARA, Mart 1982.

Kandlikar, S.G., Boiling Heat Transfer with Binary Mixtures: Part I- A Theoretical Model for Pool Boiling, *J. Heat Transfer*, 120, 380-387, 1998.

Liu, M.H., Yang, Y.M., Maa, J.R., A General Correlation for Pool Film Boiling Heat Transfer from a Horizontal Cylinder to Saturated Binary Liquid Mixtures, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 41, 2321-2334, 1997.

Marschall, E., Moresco, L. L., Analysis of Binary Film Boiling, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 20, 1013-1018, 1976.

Nishio S. and Ohtake H., 1993. Vapor-Film-Unit Model and Heat Transfer Correlation for Natural-Convection Film Boiling with Wave Motion under Subcooled Condition. *Int. J. Heat Mass Transfer* 36 (10), 2541-2552.

Ohtake H. and Nishio S., 1994. Natural-Convection Film- Boiling with Long Vapor Film. *JSME Int. Journal*, Vol. 37, 116-122.

Son G. and Dhir V.K., 1997. Numerical Simulation of Saturated Film Boiling on an Horizontal Surface. *ASME J. Heat Transfer* 119, 225-533.

Statistica for Windows, Release 4.3, Copyright StatSoft, Inc., 1993

Taylor J. R., *An Introduction to Error Analysis*, First ed., University Science Books, 1982.

Yüncü H., Kakaç S., *Temel Isı Transferi*, Ankara, Bilim Yayıncılık, 1999.

Ek-1: Akış Şeması

