

# Boru İçinde Yoğuşmada Isı Transferi Katsayısının Tespiti

Arş.Gör.Dr.Ahmet Selim DALKILIÇ  
Arş. Gör. Dr. Hakan DEMİR

## ÖZET

*Bu çalışmada düşey bir boru içinde yoğuşmada ısı taşınım katsayısının deneysel olarak nasıl araştırılacağı hakkında detaylı bilgiler verilmiştir. Bu amaçla önce deney tesisatı tasarlanmış, çalışma prensibi izah edilmiş, deneylerin nasıl yapılacağı anlatılmış, deneysel parametreler deneysel şartlar ve test numunesi açısından kararlaştırılmış, buharlaştırıcı ve yoğuşturucu için enerji dengeleri yazılmış ve dizayn çalışmaları yapılmış, deney tesisatında kullanılacak cihazların seçimi yapılmıştır. İki fazlı akış rejimlerinden hangi bölgede çalışıldığının tespiti için test borusu girişi ve çıkışındaki gözetleme camından gözlem ve Hewitt ve Robertson' a ait olan akış haritasından yararlanılması önerilmiştir. Sonuç kısmında ortalama ısı taşınım katsayısının eşitliği verilmiştir.*

**Anahtar Kelimeler:** Yoğuşma, Isı Transferi Katsayısı, R134a, Mikro Kanatlı Boru, İki Fazlı Akış.

## 1. GİRİŞ

Isı değiştiricileri farklı sıcaklıklardaki iki veya daha fazla akışkan arasındaki ısıyı transfer etmek için yaygın olarak kullanılan cihazlardır. Soğutma, hava şartlandırma, güç mühendisliği alanında, termal sistemler vb. pek çok alanlarda kullanılmaktadırlar.

Yoğuşma ve kaynama, faz değişiminin olduğu fiziksel olaylardır. Yoğuşmada gaz (buhar) fazından sıvı fazına, kaynamada (buharlaşma) ise sıvı fazından gaz fazına geçiş olmaktadır. Uygulamada sıkça karşılaşılan bu faz değişimleri, ısı geçişi ve akışkanlar mekaniği açısından önemlidir. Faz değişimi esnasında saf maddenin sıcaklığı sabit kalmakta, bu esnada, akışkan, faz yoğuşma gizli ısını vermektedir, buna karşılık, buharlaşma sırasında ise akışkan ortamdaki buharlaşma gizli ısını çekmektedir. İşte bu ısının atılması veya alınması ve gerekli cihazların uygun dizaynı için faz değişimi olaylarının iyi anlaşılması gerekmektedir.

Boru iç yüzeyindeki yoğuşmada ısı geçişini iyileştirmek amacıyla kullanılan mikro kanatlı borular ve ara parçalar (insert) hava şartlandırma ve soğutma sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

## Abstract:

Determination of condensation heat transfer coefficient was given detailed in this study. Firstly, experimental setup was designed, its working procedure and preparation for the experiments were explained, experimental parameters were determined according to experimental conditions and test section, data reduction of system was given for the evaporator and condenser section, the selection of measuring devices were done. Two phase flow pattern can be determined from the sight glasses which are at the entrance and exit of the test tube and Hewitt and Robertson flow pattern map. Average condensation heat transfer coefficient were given in the conclusion part.

## Key Words:

Condensation, Heat transfer coefficient, R134a, Microfin tube, Two phase flow

Düşey boruda buhar ve yoğuşum sıvısının yerçekimi doğrultusunda eş yönlü akması olayı kimya ve güç endüstrisinde görülmektedir [1]. Güç çevrimi santallerinde, sistemin temel elemanlarından birisi yoğuşturucudur. Soğutma ve klima sistemlerinde temel elemanlardan ikisi yoğuşturucu ve buharlaştırıcıdır. Petrol rafinerisinde ve kimya endüstrisinde birçok kimyasal işlem için faz değişim cihazları kullanılmaktadır. PCCS (Passive Containment Cooling System) reaktörlerinin dizaynında da düşey boruda buhar ve yoğuşum sıvısının aşağı yönlü akması durumu söz konusudur [2].

Ozon tabakasında meydana gelen delinme kendini gösteren küresel ısınma dünyanın büyük çevre sorunlarından biridir. Montreal protokolünün imzalanması ile alternatif soğutucu akışkanlar hakkında geniş çaplı bir araştırma başlamıştır. Araştırmaların yeni nesil HFC gazları ile yapılmasının nedeni, kloroflorokarbonların (CFC) zararlı atmosferik (ozon tabakası) ve çevresel etkileri (küresel ısınma) sebebiyle yeni düzenlenen enerji standartları dışında kalmasından ötürüdür. Yerel soğutma makinaları ve taşınabilir hava şartlandırma cihazlarında bu soğutucu akışkanlar yaygın olarak kullanılmaktadır.

Boru içinde mikro kanatlı yüzeyler kullanılarak elde edilen ısı transferindeki iyileşme pek çok araştırmacı tarafından literatürde sunulmuştur. Mikro kanatlı yüzeylerin kritik parametreleri olan yiv açılarının, kanat sayısının ve yüksekliğinin ısı transferi katsayısına ve basınç düşümüne olan etkisi yoğun olarak incelenmiştir. Mikro kanatlı borular sahip oldukları bu önemli parametrelerine göre üretici firmalar tarafından kaynama, buharlaşma, yoğuşma, tek fazlı akışlar vb. uygulamalar için önerilmektedirler. Bu çalışmada düşey bir boru içinde yoğuşma ısı taşınım katsayısının deneysel olarak elde edilmesine yönelik detaylı bilgiler verilmiştir.

## 2. Tanımlamalar

A	Alan, m <sup>2</sup>
C <sub>p</sub>	Sabit basınçta özgül ısı, J/kgK
D	Çap, m
h	Isı taşınım katsayısı, W/m <sup>2</sup> K

h <sub>fg</sub>	Faz değişimi gizli ısı, J/kg
K	Toplam ısı geçişi katsayısı, W/mK
L	Boru boyu, m
m	Akışkan kütleli debisi, kg/s
n	Boru adedi
Nu	Nusselt sayısı
Q	Isı miktarı, W
Pr	Prandtl sayısı
q	Isı akısı, W/m <sup>2</sup>
R	Isı taşınım direnci, m <sup>2</sup> K/W
Re	Reynolds sayısı
V	Hız, m/s
x	Buhar kalitesi
ΔT	Sıcaklık farkı, °C
ΔT <sub>m</sub>	Logaritmik ortalama sıcaklık farkı, °C
β	Helis açısı, °
λ	İletim katsayısı, W/mK
ρ	Yoğunluk, kg/m <sup>3</sup>
ν	Kinematik vizkozite
δ	Kalınlık, m

## İndisler

a	Halka
buh	Buharlaştırıcı
cond	Yoğuşan
ç	Çıkış
d	Doyma, dış
g	Giriş
h	Hidrolik
i	İç
m	Ortalama
r	Soğutucu akışkan
T	Toplam
t	Test bölgesi
wi	İç yüzeyi

## 3. Deneysel Tesistatın Tasarlanması

Tesistatın şematik resmi Şekil 1'de görülmektedir. Sıvı R134a değişken hızlı, kademeli dişli pompa (1) ile önce coriolis tipi debi ölçere (2) daha sonra plakalı ısı değiştirici tipindeki buharlaştırıcıya (3) basılmaktadır. R134a'nın basıncı ve sıcaklığı buharlaştırıcı (3) giriş ve çıkışında ölçülmektedir.

Sıvı R134a, buharlaştırıcıya (3) termostattan (5)

## Makale

gelen sıcak akışkan su ile buharlaşmaktadır. Termostat (5) bir su deposundan alınan ve sıcaklığı kontrol edilen su ile çalışmaktadır. Termostada (5) sirküle eden suyun debisi türbin tipi debi ölçer (4) ile ayarlanmaktadır. Termostat (5) giriş ve çıkışında su sıcaklıkları ısıl çiftler ile ölçülmektedir.

Buharlaştırıcı (3) dan R134a gazı önce bir sıvı-buhar ayırıştırıcısına (6) gelmekte, orada sıvı R134a tekrar buharlaştırıcı çıkışına gönderilirken, gaz R134a gözetleme camından (7) test borusuna (8) doymuş kuru buhar olarak sevk edilmektedir.

Buharlaştırıcı (3) dan çıkan R134a gazı sıcaklığı ve basıncı test borusu (8) girişi sıcaklık ve basıncına eşit olması istenmektedir. Bu nedenle aradaki boru tesisatı bir termostat ile kontrol edilen şerit tipi ısıtıcı ile ısıtılıp dış yüzeyi izole edilmiştir.

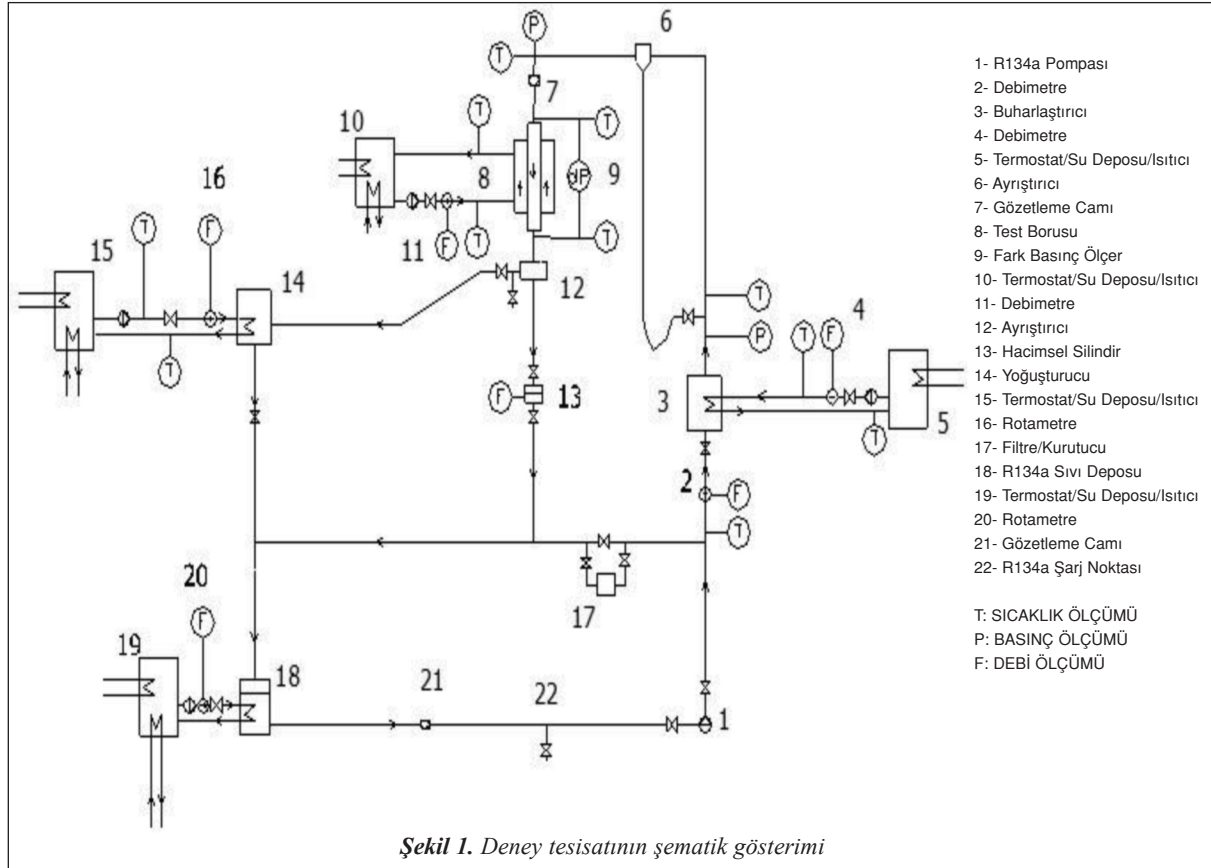
Test borusu (8) iç içe geçmiş aynı eksenli iki borudan oluşmaktadır (Şekil 2). İç borunun iç hacminden R134a gazı yukarıdan aşağı yönde akmakta iken,

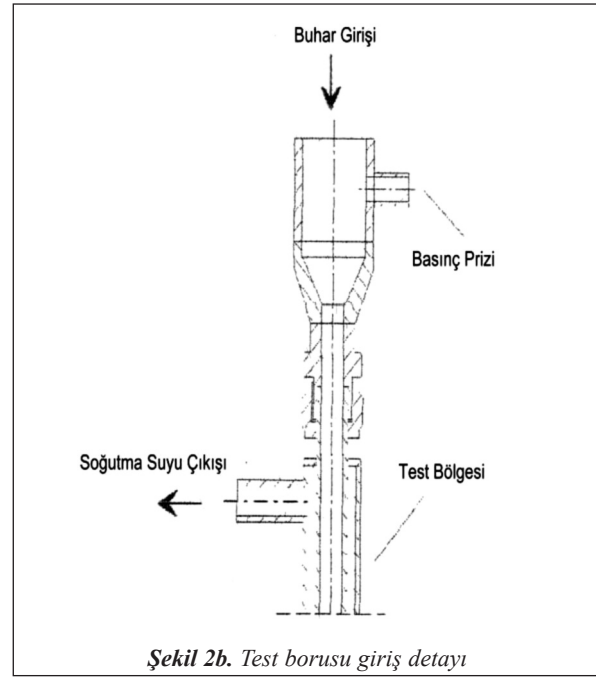
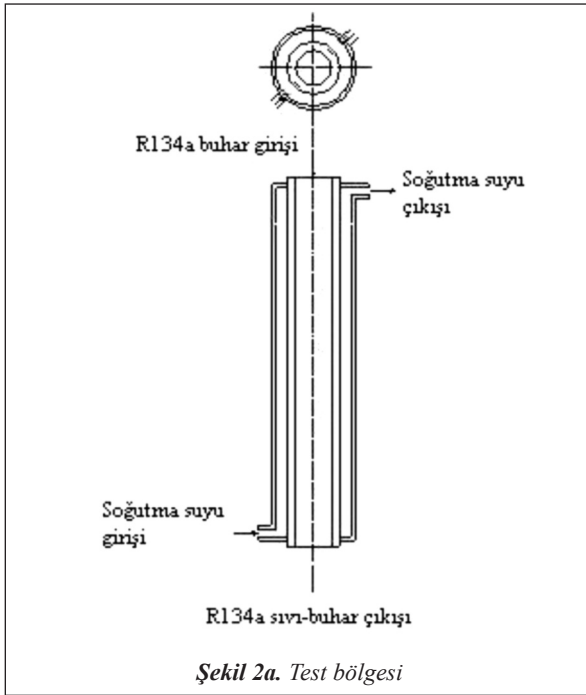
soğuk akışkan su iki boru arasında kalan halka içerisinde aşağıdan yukarıya doğru akmaktadır. Test borusu (8) giriş ve çıkış basınç farkı fark basınç ölçer cihazı (9) ile ölçülmektedir.

Test borusu (8) içindeki R134a gazı soğuk akışkan olarak su kullanılan bir düzenele soğutulmaktadır. Bu düzene termostat (10) ve türbin tipi debi ölçer (11) ve sıcaklık ölçümleri için pt100'den oluşmaktadır.

Test borusu (8) çıkışında yoğuşan R134a gazı ayırıştırma kabında (12) gaz ve sıvı olmak üzere ayırıştırılır. Sıvı R134a yoğuşan miktarın ölçülmesi için ölçekli silindire (13) sevk edilirken, gaz R134a ise plakalı yoğuşturucuya (14) gönderilmektedir.

Yoğuşturucuda (14) soğuk akışkan olarak dolaşan su termostat (15), rotametre (16) ve ısıl çiftlerden oluşan düzenele ile sıcaklık ve debisi kontrol edilip ölçülmektedir.





Yoğuşturucudan (14) çıkan R134a sıvısı R134a sıvı deposunda (18) toplanmaktadır. Sıvı deposunda (18) gerektiği takdirde R134a'nın sıcaklığını artırmak ya da azaltmak amacıyla bir başka düzenek (termostat (19), rotametre ve ısıl çiftler) devreye alınabilmektedir.

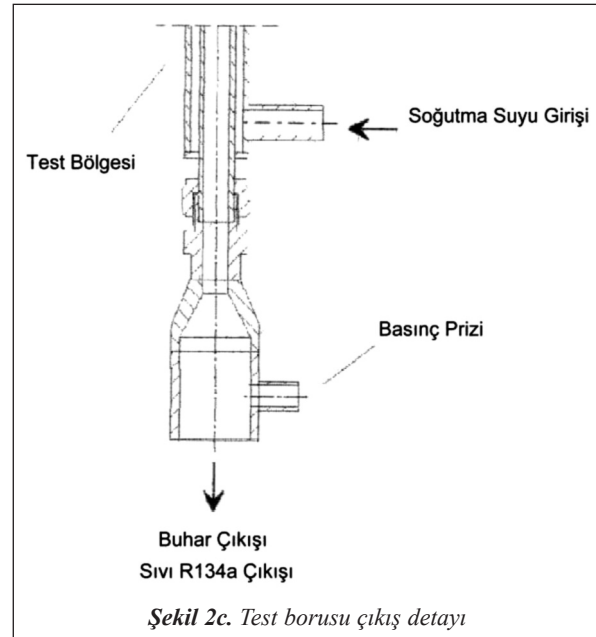
Ölçekli silindirden (13) gelen sıvı R134a bypass hattı bağlantısıyla sıvı deposuna (18) iletilir. Sıvı deposundan (18) tekrar pompa (1) vasıtasıyla R134a sıvısı deney düzeneğinde sirküle edilmek üzere basılmaktadır.

$$Q = m_{su} C_{psu} \Delta T_{su} \quad (1)$$

$$Q = m_{cond} \Delta h_{fg} \quad (2)$$

Deney esnasında yukarıdaki iki eşitlik arasındaki fark  $\pm\%10$  gibi bir sapmadan daha fazla hesaplandığı zaman deneyler tekrar edilecektir.

Düşey boru içinde R134a'nın yoğuşmasında gaz-sıvı fazının aynı yönde akması durumunda ısı geçişi ve basınç düşümünü belirlemek için iki adet bakır boru kullanılmıştır. Bunlardan bir tanesi pürüzsüz, diğeri ise Wieland/Almanya firmasından tedarik edilen iç



yüzeyi mikro kanatlı borudur. Test borusu Şekil 2'de görüldüğü gibi merkezleri çakışık şekilde yerleştirilmiş, iç içe geçmiş iki borudan oluşmaktadır. R134a'nın yoğuşması içteki borunun iç yüzeyinde ve yukarıdan aşağı doğru gerçekleşmektedir. İki boru arasındaki halka hacminden aşağıdan yukarı doğru soğuk akışkan olan su akmaktadır. Test borusu bakırdan yapılmıştır. Halka tarafındaki boru malzemesi, iç yüzeyi pürüzsüz boru kullanıldığı zaman

## Makale

pleksiglass, mikro kanatlı boru kullanıldığı zaman montaj kolaylığından ötürü bakır kullanılmıştır. Halka tarafındaki borunun dış çapı 19 mm ve et kalınlığı 1,5 mm dir.

Deney tesisatının deneyler için hazırlanması evreleri test borusunun montajı, kaçak testi, sistemin R134a ile şarj edilmesi, ölçü aletleri ve cihazlar ile ayarlamaların yapılması, sistemin rejime gelmesini içerir. Test borusunun montajı ve diğer pek çok bağlantı elektrikli bakır kaynak makinası ile yapılmıştır. Hassas yerler için oksijen kaynağı kullanılmıştır.

Sisteme test borusu yerleştirildikten sonra azot gazı ile kaçak testi yapılmıştır. Önce sisteme azot gazı verilmiş, sistemin pek çok yerinde bulunan vanalar kapatılarak sistem bölgelere ayrılmış, her bölgede bulunan basınç ölçer ve manometrelerdeki değerlerin zamanla değişmediği görüldüğü zaman kaçak testi sonlandırılmıştır.

Sistem R134a ile şarj edilmeden önce vakum pompasıyla sistemin havası alınmıştır. Sisteme R134a akışkanı basılırken R134a tüpünde sistemdeki basınçtan daha yüksek basınç elde edebilmek amacıyla tüp kaynar su banyosuna daldırılmıştır. Şarj miktarını öğrenebilmek amacıyla sık sık hassas terazide R134a tüpü tartılmıştır. Gerekli debiden daha az miktarda şarj edildiği zaman sistemdeki R134a pompasının düzgün çalışmadığı, R134a debimetresinde istenen debi değerlerine ulaşamadığı, by-pass hatındaki akışkan miktarının yetersiz olduğu görülmüştür.

Deneye başlamadan önce su depolarındaki su sıcaklığı istenilen şartlara dijital termostatlar ve onlara bağlı daldırma tipi ısıtıcılar ile ayarlanmaktadır. Daha sonra, sistemdeki su pompaları ve R134a pompası çalıştırılmakta, iğne vanalar sayesinde tüm debiler istenen değere ayarlanmaktadır. Sistemdeki sıcaklıkların, basınçların, debilerin değişimi bilgisayarda PLC programında izlenmektedir. Bu değerlerin zamana bağlı olarak değişimleri grafiksel olarak takip edilirken, değişimin olmadığı süreye ulaşıldığı zaman sistem rejime girmiş olarak kabul edilmekte-

dir. Sistemin rejime girmesi en az 2 saat sürmüştür. Deneyler yapılırken sonuçlar MS.Excel programında hazırlanmış olan dosyadan kontrol edilmiştir. Deneyler farklı günlerde en az iki kere tekrar edilmiştir.

### 3.1 Parametreler

#### 3.1.1 Deneysel

- Soğutucu akışkan : R134a ve alternatifleri
- Basınç : 6-10 bar
- Sıcaklık : 22 °C – 40 °C
- Soğutucu akışkan debisi: 0,8-72 kg/m2s

#### 3.1.2 Test bölgesi

- Boru iç çapı: 7 mm
- Boru boyu: 500 mm
- Boru malzemesi: bakır

#### 3.1.3 Mikro kanat

- Kanat yüksekliği: 0,15 – 0,38 mm
- Helis açısı: 0 – 37 °
- Kanat merkezleri arası mesafe: 0,33 – 1,21 mm
- Kanat dip noktaları arası mesafe: 0,15 – 0,25 mm
- Apex açısı: 12,7 – 87 °
- Kanat sayısı : 47 – 62 adet
- Boru et kalınlığı: 0,19 – 0,51 mm
- Pürüzsüz boruya göre mikro kanatlı boru kullanılması durumunda oluşan yüzey alanındaki artış miktarı ( $A_{\text{mikrokanat}}/A_{\text{pürüzsüz}}$ ): 1,32 – 2,19
- Kanat genişliği: 0,004 – 0,1

### 3.2 Deney Tesisatında Ölçülmesi Planlanan Değerler

- Sıcaklık
- Debi
- Basınç

### 3.3 Buharlaştırıcıdaki enerji dengesi hesaplamaları

Test bölgesine giren buhar kalitesi ( $x_g$ ) Şekil 1'deki buharlaştırıcıdaki (3) enerji dengesinden elde edilir. Buharlaştırıcıdan R134a'ya aktarılan ısı miktarı gizli ve duyulur ısıların toplamına eşittir. Buharlaştırıcıda ısı sıcak sudan R134a'ya verileceği için:

$$q_r = q_{\text{duyulur}} + q_{\text{gizli}} = m_{\text{su}} \cdot C_{p,\text{su}} \cdot (T_{\text{su},g} - T_{\text{su},\text{ç}}) \quad (3)$$

$$q_{duyulur} = m_{R134a,T} \cdot C_{p,R134a} \cdot (T_{R134a,\zeta} - T_{R134a,g}) \quad (4)$$

$$q_{gizli} = m_{R134a,T} \cdot h_{fg} \quad (5)$$

### 3.4 Test bölgesi hesaplamaları

Test borusuna girişteki R134a buhar kalitesi ( $x_g$ ) buharlaştırıcıdan çıkış kalitesine ( $x_{buh,\zeta}$ ) eşit kabul edilir ve aşağıdaki gibi hesaplanır (Şekil 1, no:8): Deney esnasında test borusuna R134a buharı doymuş durumda gönderilecektir,  $x_g = 1$

$$x_g = 1 = \frac{1}{h_{fg}} \left[ \frac{q_r}{m_{R134a,T}} - C_{p,R134a} \cdot (T_{R134a,d} - T_{R134a,g}) \right] \quad (6)$$

Test bölgesine transfer edilen toplam ısı geçişi miktarı halka içinde akan suyun enerji dengesinden elde edilir:

$$q_t = m_{su} \cdot C_{p,su} \cdot (T_{su,\zeta} - T_{su,g}) \quad (7)$$

Test bölgesindeki buhar kalitesi değişimi :

$$\Delta x = \frac{q_t}{m_{R134a,T} \cdot h_{fg}} \quad (8)$$

Test bölgesindeki ortalama buhar kalitesi:

$$x_m = (x_g + x_\zeta) / 2 \quad (9)$$

### 3.5 Buharlaştırıcı Tasarımı

Buharlaştırıcının kangal tipinde iç içe geçmiş boru şeklinde olması düşünülebilir (Şekil 1, no:3). Bu sistem için aşağıdaki hesaplamalar Excel programı yardımı ile yapılmıştır, Tablo 1'de buharlaştırıcı boyutlarının Excel programındaki değerleri mevcuttur.

- Toplam ısı geçişi katsayısı seçilir ( $K$ , W/mK)

- İletilen ısı miktarı bulunur ( $Q$ , W)

$$Q = m_{R134a} \cdot h_{fg} \quad (10)$$

- Dıştaki borudan akan suyun debisi için ( $m_{su}$ , kg/s)

$$Q = m_{su} \cdot C_{p,su} \cdot (T_{su,g} - T_{su,\zeta}) \quad (11)$$

- Logaritmik ortalama sıcaklık farkı için ( $\Delta T_m$ , °C)

$$\Delta T_m = \frac{(T_{su,g} - T_{R134a,d}) - (T_{su,\zeta} - T_{R134a,d})}{\ln \frac{(T_{su,g} - T_{R134a,d})}{(T_{su,\zeta} - T_{R134a,d})}} \quad (12)$$

- Isı geçişi yüzey alanı için ( $A$ , m<sup>2</sup>)

$$Q = K \cdot A \cdot \Delta T_m \quad (13)$$

- Boru boyu için ( $L$ , m)

$$A = \pi \cdot d_d \cdot L \quad (14)$$

- Buharlaştırıcı kangalının çapı:  $D$  (m)

Buharlaştırıcı kangalının sayısı için ( $n$ , adet)

$$n = L / (\pi \cdot D) \quad (15)$$

- Halka kesit alanı için ( $A_a$ , m<sup>2</sup>)

$$A_a = \pi / 4 \cdot (d_{a,i}^2 - d_d^2) \quad (16)$$

- Halka içinde akan suyun hızı için ( $V_{su}$ , m/s)

$$m_{su} = \rho_{su} \cdot A_i \cdot V_{su} \quad (17)$$

- Suyu ait Reynolds sayısı için

$$Re_{su} = V_{su} \cdot 4 \cdot A_a / ((\pi \cdot d_{a,i} + \pi \cdot d_d) \cdot 0,0000008) \quad (18)$$

-  $\xi$  sayısı için

$$\xi = (1,8 \cdot \log(m_{su}) - 1,5)^2 \quad (19)$$

- Hidrolik çap için ( $d_h$ , m)

$$d_h = d_{a,i} - d_d \quad (20)$$

- Halka içinde akan su için Nusselt sayısı için ( $Nu_h$ )

$$Nu_h = \frac{[(\xi / 8) \cdot Re_{su} \cdot Pr_{su} \cdot (1 + (d_h/L)^{2/3})]}{[1 + 12,7((\xi / 8)^{0,5} \cdot Pr_{su}^{2/3} - 1)]} \quad (21)$$

- Ortalama Nusselt sayısı için ( $Nu_m$ )

$$Nu_m = Nu_h \cdot 0,86 \cdot (d_d/d_{a,i}) - 0,16 \quad (22)$$

## Makale

- Su tarafı ısı geçişi katsayısı için ( $h_{su}$ , W/m<sup>2</sup>K)

$$h_{su} = Nu_m \cdot \lambda_{su} / d_h \quad (23)$$

- Boru içinden akan R134a tarafı ısı geçişi katsayısı için ( $h_{R134a}$ , W/m<sup>2</sup>K)

$$\frac{1}{K} = \frac{A_{su}}{h_{R134a} \cdot A_i} + \frac{\delta \cdot A_{su} \cdot \ln\left(\frac{d_d}{d_i}\right)}{\lambda_{boru} \cdot [(A_a - A_i) / \ln(A_{su}/A_i)]} \quad (24)$$

- R134a nın aktığı içteki borunun iç yüzey sıcaklığı için ( $T_{wi}$ , °C)

$$\frac{A_i(T_{su,m} - T_{R134a,d})}{\left(\frac{\delta}{\lambda}\right) + \left(\frac{1}{h_{R134a}}\right)} = h_{R134a} \cdot A_i \cdot (T_{wi} - T_{R134a,d}) \quad (25)$$

$T_{wi} \approx T_{su,m}$  bulunmuştur.

- İletilen ısı miktarı yeniden hesaplanır, 10 no'lu eşitlikle karşılaştırılır ( $Q$ , watt)

$$Q = h_{R134a} \cdot A_i \cdot (T_{R134a,d} - T_{wi}) \quad (26)$$

10 no'lu eşitlikle 26 no'lu eşitlik yaklaşık eşit oldukları için yapılan dizayn uygundur.

### 3.6 Yoğuşturucu Tasarımı

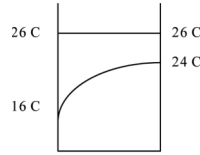
Çalışmada yoğuşturucu olarak Freon 134a'nın içinde su kangalı olan silindirik bir kap içinde tamamen yoğuştuğu sistem düşünülmektedir (Şekil 1, no:14). Bu sisteme ait hesaplamalar aşağıdaki gibidir:

$$\begin{aligned} P_{R134a} &= 6,8 \text{ bar} & T_{R134a,d} &= 26 \text{ }^\circ\text{C} \\ T_{su,g} &= 16 \text{ }^\circ\text{C} & T_{su,\phi} &= 24 \text{ }^\circ\text{C} \\ h_{fg} &= 177 \text{ kJ/kg} & C_{psu} &= 4186 \text{ J/kgK} \\ d_i/d_d &= 8/10 \text{ mm (su kangalı)} & Pr &= 5,4 \text{ (su)} \\ \rho_{su} &= 1000 \text{ kg/m}^3 & v_{su} &= 0,0000008 \text{ m}^2/\text{s} \\ \lambda_{su} &= 0,62 \text{ W/mK} & \lambda_{boru} &= 386 \text{ W/mK} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q &= m_{su} \cdot C_{p,su} \cdot (T_{su,\phi} - T_{su,g}) = m_{R134a} \cdot h_{fg} = K \cdot A \cdot \Delta T_m \\ &= h_i \cdot A_i \cdot (T_{R134a,d} - T_{wi}) \\ m_{R134a} &= 10 \text{ lt/h} = 10 \text{ lt/h} \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{h} \cdot 1203 \text{ kg/h} / 3600 \text{ kg/s} \\ &= 0,00334 \text{ kg/s} \end{aligned} \quad (27)$$

$$Q = 0,00334 \cdot 177 = 591,279 \text{ W} \quad (28)$$

$$591,279 = m_{su} \cdot 4186 \cdot (24 - 16) \rightarrow m_{su} = 0,01766 \text{ kg/s} \\ = 63,5631 \text{ kg/h} \quad (29)$$



$$\begin{aligned} \Delta T_m &= [(26-16) - (26-24)] / [\ln(26-16)/(26-24)] \\ \Delta T_m &= 4,97 \text{ }^\circ\text{C} \end{aligned} \quad (30)$$

**Tablo 1. Buharlaştırıcının kangal şeklinde iç içe geçmiş iki borulu olması hali için örnek hesap (PR134a = 6,8bar)**

<b>K, W/m<sup>2</sup>K</b>	<b>m<sub>R134a</sub>, kg/s</b>	<b>h<sub>fg</sub>, J/kgK</b>	<b>Q, watt</b>	<b>T<sub>su,g</sub>, °C</b>
368	0,00334056	177000	591,279	33
<b>T<sub>su,φ</sub>, °C</b>	<b>C<sub>p,su</sub>, J/kgK</b>	<b>m<sub>su</sub>, kg/s</b>	<b>d<sub>i</sub>/d<sub>d</sub>, mm</b>	<b>T<sub>R134a,d</sub>, °C</b>
27	4186	0,023542	10/12	26
<b>ΔT<sub>m</sub>, °C</b>	<b>A, m<sup>2</sup></b>	<b>L, m</b>	<b>D, m</b>	<b>n, adet</b>
3,083	0,521	13,82	0,4	11
<b>ρ<sub>su</sub>, kg/m<sup>3</sup></b>	<b>d<sub>a,i</sub>, mm</b>	<b>A<sub>h</sub>, m<sup>2</sup></b>	<b>V<sub>su</sub>, m/s</b>	<b>Re<sub>su</sub></b>
1000	19	0,000170345	0,138	1209,26
<b>ξ</b>	<b>Pr<sub>su</sub></b>	<b>d<sub>h</sub>, m</b>	<b>Nu<sub>h</sub></b>	<b>Nu<sub>m</sub></b>
0,061	5,4	0,007	15,165	14,03
<b>λ<sub>su</sub>, W/mK</b>	<b>h<sub>su</sub>, W/m<sup>2</sup>K</b>	<b>h<sub>R134a</sub>, W/m<sup>2</sup>K</b>	<b>T<sub>wi</sub>, °C</b>	<b>Q, W</b>
0,615	1233,29	340,414	29,99	591,29

$$L=5,6 \text{ m (seçildi)} \quad R_{\text{kirililik}}=0,00041 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_{\text{su}}=0,0002326 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$m_{\text{su}}=\rho_{\text{su}} \cdot A_i \cdot V_{\text{su}} \rightarrow A_i=\frac{m_{\text{su}}}{\rho_{\text{su}} \cdot V_{\text{su}}}=\frac{0,01766}{1000 \cdot 0,00005024}=0,00005024 \text{ m}^2 \quad (31)$$

$$0,01766=1000 \cdot 0,00005024 \cdot V_{\text{su}} \rightarrow V_{\text{su}}=0,35144 \text{ m/s} \quad (32)$$

$$Re_{\text{su}}=\frac{V_{\text{su}} \cdot d_i}{\nu_{\text{su}}}=\frac{0,35144 \cdot 0,008}{0,0000008}=2811,53 \quad (33)$$

$$Nu_{\text{su}}=0,023 \cdot (Re^{0,8}) \cdot (Pr^{0,3})$$

$$=0,023 \cdot (2811,53^{0,8}) \cdot (5,4^{0,3})=19,52 \quad (34)$$

$$\frac{Nu_m}{Nu_{\text{su}}} = 0,86 \cdot \left( \frac{d_i}{d_d} \right)^{-0,16} \rightarrow$$

$$Nu_{\text{su}}=19,52 \cdot 0,86 \cdot \left( \frac{0,008}{0,01} \right)^{-0,16} \quad (35)$$

### 3.7 Deneysel tesisatta kullanılacak cihazların tespiti

Tablo 2. Deneysel tesisatta kullanılan cihazların modelleri ve özellikleri

ÖLÇÜ ALETİ	ÖZELLİKLERİ	ADEDİ	ÖLÇÜ ALETİ	ÖZELLİKLERİ	ADEDİ
Sıcaklık Ölçümü	T Tipi Isıl Çift Ø 0,25 mm, L=5 m	20	R134a Basınç Ölçüm Cihazı	Hassasiyeti %0,5 Ölçüm Aralığı 0-16 bar 4-20 mA bilgisayar çıkışlı	2
	T Tipi Isıl Çift Ø 0,5 mm, L=5 m	5	R134a Fark Basınç Ölçüm Cihazı	Hassasiyeti %0,05 Ölçüm Aralığı 0-250 mbar 4-20 mA bilgisayar çıkışlı	1
	Pt-100 Sıcaklık Ölçer Ø 2 mm	6	Buharlaştırıcı – Yoğuşturucu	BP 10-14 Kodlu Plakalı Tip	2
Su Pompaları	Sirkülasyon Pompası Maksimum 6 bar Basınç Debi Aralığı 30-300 lt/h	4	Su Depoları	Plastik 100 lt Hacimli Üstü Atmosfere Açık	4
R134a Pompası	Maksimum 16 bar Basınç Debi Aralığı 0,1-10 lt/h	1	Termostat	0-90 °C aralıklı Dijital, PID kontrollü 0.1 °C ayarlanabilir	5
Su Debimetreleri	Hassasiyetleri % 1, % 2 Debi Aralığı 30-300 lt/h 4-20 mA bilgisayar çıkışlı	2	Isıtıcı	1.8 kW gücünde	4
Su Rotametreleri	Hassasiyetleri % 5 Debi Aralığı 10-100 lt/h	2	Gözetleme Camı	16 bar basınca dayanıklı Cam, Özel yapım	1
			Vanalar	İğne vana ve diğerleri R134a'ya ve işletme basıncına uygun	15
R134a Debimetresi	Hassasiyeti %0,1 Debi Aralığı 0,1-10 lt/h Coriolis Tipi 4-20 mA bilgisayar çıkışlı	1	Veri Toplama Sistemi	PLC 64 kanallı, bilgisayar	1



**Makale**

$$Nu_{su} = \frac{h_{su} \cdot \lambda_{su}}{d_i} \rightarrow 19,52 = \frac{h_{su} \cdot 0,62}{0,008} \rightarrow$$

$$h_{su} = 1513,23 \text{ W/m}^2\text{K} \quad (36)$$

$$h_{R134a} = 0,728 \cdot \left[ \frac{\rho_f (\rho_f - \rho_g) \cdot g \cdot h_{fg} \cdot \lambda_f^3}{\mu_f (T_{R134a,d} - T_{su,ort}) \cdot d_d} \right]^{0,25}$$

$$h_{R134a} = 0,728 \cdot \left[ \frac{1202,6 \cdot (1202,6 - 33,333) \cdot 9,81 \cdot 177,0 \cdot 62^3}{0,00021 \cdot (26 - 20) \cdot 0,01} \right]^{0,25}$$

$$= 2326,59 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$L = \pi \cdot D \cdot N \rightarrow 5,6 = \pi \cdot 0,15 \cdot n \rightarrow n = 12 \text{ adet bulunur} \quad (37)$$

$$\frac{h_{R134a,m}}{h_{R134a}} = n^{-1/4} \rightarrow$$

$$h_{R134a,m} = 2326,59 \cdot 15^{-1/4} = 1252,93 \text{ W/m}^2\text{K} \quad (38)$$

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{h_{su}} + \frac{k}{\lambda_{boru}} + \frac{1}{h_{R134a}} = \frac{1}{1513,23} + \frac{0,001}{386} + \frac{1}{1252,93}$$

$$\rightarrow K = 684,23 \text{ W/m}^2\text{K} \quad (40)$$

$$Q = K \cdot A \cdot \Delta T_m = 684,23 \cdot \pi \cdot 0,015 \cdot 6,4,97 = 598,024 \text{ W} \quad (41)$$

28 no'lu eşitlikle 41 nolu eşitlik yaklaşık eşit oldukları için yapılan dizayn uygundur.

### 3.8 Hewitt ve Roberts Akış Haritası

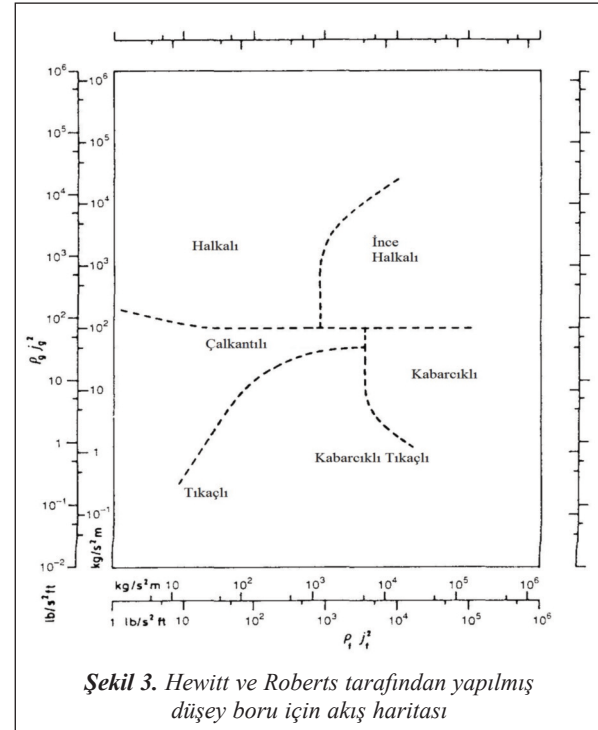
Faz değişimleri sırasında meydana gelen akış tiplerinin tespit edilebilmesi için başvurulan yöntemlerden biri de akış haritalarından faydalanmaktır. Akış tipleri harita üzerinde belirli bölgelere sahiptir. Boyutsuz faz hızları ( $j_l$  veya  $j_g$ ) veya bu hızları içeren genel parametreler sayesinde akışın tipi belirlenmektedir. Collier & Thome [3] akış tiplerini etkileyen pek çok değişkenin var olduğunu, buna karşın bu değişkenlerin etkisini iki boyutlu harita kullanarak göstermenin mümkün olmadığını belirtmişlerdir. Her akış rejiminin ayrı ayrı incelenmesinin ve bunun yanında eşitliklerin de incelenen akış tipine özel olmasının hassasiyeti artıracaklarını vurgulamışlardır. Akış rejimi çalışmalarının yaygın olarak yapıldığını ve halen gelişmekte olduğunu belirtmişlerdir. Şekil 4'de sıvı-

gaz oranlarına göre akım tipinin düşey borularda değişimi görülmektedir. Burada gaz fazı oranı sıvı fazına göre arttıkça kabarcıklı akımdan halka akımına bir değişim söz konusudur.

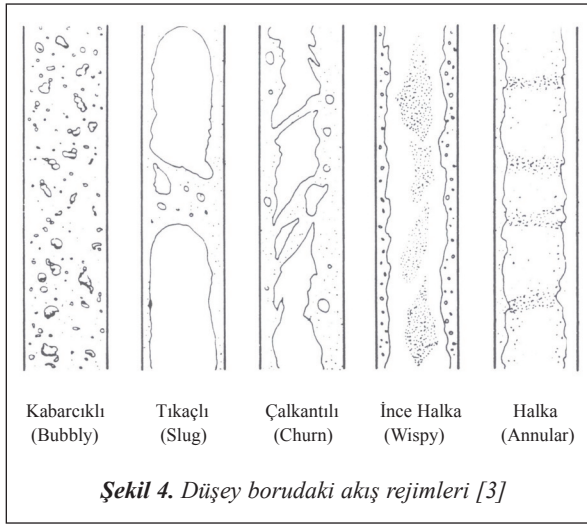
Kabarcıklı akışta gaz veya buhar fazı tane olarak hareket halindeki sıvı fazı içinde dağılmıştır. Tıkaçlı akışta buhar veya gaz fazına ait kabarcıkların çapı hemen hemen boru çapı kadardır. Gaz kabarcıklarını boru çeperinden yavaş hareket eden sıvı filmi ayırmaktadır.

Çalkantılı akış tıkaçlı akıştaki geniş buhar kabarcıklarının parçalanmasıyla oluşur. Bu bölge yarı-halka veya çalkantılı-halka olarak da tanımlanabilir. İnce halka akış Hewitt - Taylor [4] araştırmaları sonucu geliştirilmiştir. Bu akış tipinde buhar içinde sıvı kabarcıkları vardır ve sürüklenmektedirler, bu akış tipi yüksek kütleli akılarda görülmektedir. Halka akışta sıvı filmi boru çeperinde sürekli bir yapı oluşturarak buhar fazını çevrelemektedir.

Düşey bir boru içinde akış rejimi haritası olarak Hewitt & Robertson[5]'un hazırladığı harita yaygın olarak kullanılmaktadır (Şekil 3). Araştırmacılar



Şekil 3. Hewitt ve Roberts tarafından yapılmış düşey boru için akış haritası



haritayı hazırlarken düşük basınçtaki hava-su akışkan çifti ve yüksek basınçtaki su-su buharı akışkan çifti için gözlemler yapmışlardır. Bu amaçla 1-3 cm çapında düşey boru kullanmışlardır. Sıvı ve buhar fazlarına ait momentum akılarından ( $\rho_l j_r^2$ ,  $\rho_g j_g^2$ ) yararlanmışlardır. Bu akıları kütleli akı ( $G$ ) ve dinamik buhar kalitesine ( $x$ ) bağlı olarak da yazmanın mümkün olduğunu göstermişlerdir.

$$\rho_l j_r^2 = \frac{(G \cdot (1 - x))^2}{\rho_l} \quad (42)$$

$$\rho_g j_g^2 = \frac{(G \cdot x)^2}{\rho_g} \quad (43)$$

#### 4. Sonuç

Deneyler sistem basıncının 0,67 MPa ve 0,74 MPa olduğu değerlerde yapılacaktır. Ortalama ısı geçişi katsayısı aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$h_{R134a,m} = \frac{Q}{\pi \cdot D \cdot L \cdot (T_{R134a,d} - T_{wi})} \quad (44)$$

Deney boyunca 1 ve 2 no'lu eşitlikler arasındaki farkın %10 dan küçük olmasına dikkat edilecektir, %12 değerinden büyük fark olduğu zaman deneyler tekrarlanacaktır.

Test borusunun yatayla yaptığı açı değiştirilerek açının ısı geçişi katsayısına olan etkileri araştırılmalıdır. Literatürdeki mevcut olan ısı geçişi modelleri kulla-

nilarak hesaplanan ısı geçişi katsayıları deneysel ısı geçişi katsayıları ile karşılaştırılmalıdır. Gerektiği takdirde yeni bir korelasyon geliştirilmelidir.

İç yüzeyi pürüzsüz boru ile iç yüzeyi mikrokanatlı boru farklı eğimlerde ısı geçişi katsayıları, basınç kayıpları, açıdan karşılaştırılmalıdır.

Benzer şartlardaki veriler incelendiğinde, düşey boruda yerçekimi doğrultusunda yoğunlaşmada mikrokanat kullanımından ötürü meydana gelen iyileşmenin % 60 ile % 82 arasında değiştiği görülmüştür [6], konu hakkında detaylı bilgi yazarın diğer yayınlarında mevcuttur [7-19].

#### Kaynaklar

- [1] L. Jia, X.P. Li, J.D. Sun, Heat transfer research on vapor-gas mixture with condensation in a vertical tube, Heat Transfer-Asian Research 31 (2002) 7531-539.
- [2] S.Z. Kuhn, V.E. Schrock, P.F. Peterson, An investigation of condensation from steam-gas mixtures flowing downward inside a vertical tube, Nuclear Engineering and Design 177 (1992) 53-69.
- [3] J.G. Collier, J.R. Thoma, Convective boiling and condensation, Clarendon Press, Oxford, 1994.
- [4] G.F. Hewitt, N.S. Hall Taylor, Annular two-phase flow, Pergamon Press, 1970.
- [5] G.F. Hewitt, D.N. Robertson, Studies of two-phase flow patterns by simultaneous ray and flash photography, Rept AERE-M2159, UKAEA, Harwell, 1969.
- [6] A.S. Dalkılıç, Düşey borularda yoğunlaşma ısı taşıma katsayısının araştırılması, Doktora tezi, 2007.
- [7] A.S. Dalkilic, S. Laohalertdecha, S. Wongwises, Effect of void fraction models on the two-phase friction factor of R134a during condensation in vertical downward flow in a smooth tube, International Communications in Heat and Mass Transfer 35 (2008) 921-927.
- [8] A.S. Dalkilic, S. Yildiz, S. Wongwises, Experimental investigation of convective heat transfer coefficient during downward laminar flow condensati-

**Makale**

- on of R134a in a vertical smooth tube, International Journal of Heat and Mass Transfer 52 (2009) 142-150.
- [9] A.S. Dalkilic, S. Laohalertdecha, S. Wongwises, Two-phase friction factor in vertical downward flow in high mass flux region of refrigerant HFC-134a during condensation, International Communications in Heat and Mass Transfer 35 (2008) 1147-1152.
- [10] A.S. Dalkilic, S. Laohalertdecha, S. Wongwises, Effect of void fraction models on the film thickness of R134a during downward condensation in a vertical smooth tube, International Communications in Heat and Mass Transfer 36 (2009) 172-179.
- [11] A.S. Dalkilic, S. Wongwises, Intensive literature review of condensation inside smooth and enhanced tubes, International Journal of Heat and Mass Transfer 52 (2009) 3409-3426.
- [12] A.S. Dalkilic, S. Laohalertdecha, S. Wongwises, Experimental investigation on heat transfer coefficient of R134a during condensation in vertical downward flow at high mass flux in a smooth tube, International Communications in Heat and Mass Transfer, "Article in Press-Uncorrected Proof".
- [13] A.S. Dalkilic, S. Laohalertdecha, S. Wongwises, A comparison of the void fraction correlations of R134a during condensation in vertical downward laminar flow in a smooth and micro-fin tube, Proceedings of the 1st International Conference on Micro/Nanoscale Heat Transfer, ASME (2008) January 06-09, Taiwan.
- [14] A.S. Dalkilic, S. Laohalertdecha, S. Wongwises, Two-phase friction factor obtained from various void fraction models of R-134a during condensation in vertical downward flow at high mass flux, Proceedings of the 1st International Conference on Heat Transfer, ASME (2008), August 10-14, USA.
- [15] A.S. Dalkilic, S. Laohalertdecha, S. Wongwises, Experimental investigation on the condensation heat transfer and pressure drop characteristics of R134a at high mass flux conditions during annular flow regime inside a vertical smooth tube, Summer Heat Transfer Conference, ASME (2009), July 19-23, USA.
- [16] A.S. Dalkilic, O. Agra, Experimental apparatus for the determination of condensation heat transfer coefficient for R134a and R600a flowing inside vertical and horizontal tubes, Summer Heat Transfer Conference, ASME (2009), July 19-23, USA.
- [17] A.S. Dalkilic, S. Laohalertdecha, S. Wongwises, Experimental research on the similarity of annular flow models and correlations for the condensation of R134a at high mass flux inside vertical and horizontal tubes, International Mechanical Engineering Congress and Exposition, ASME (2009), November 13-19, USA.
- [18] A.S. Dalkilic, S. Wongwises, A heat transfer model for co-current downward laminar film condensation of R134a in a vertical micro-fin tube during annular flow regime, the Eleventh UK National Heat Transfer Conference, Queen Mary University of London (2009), September 6-8, UK.
- [19] A.S. Dalkilic, Ic yuzeyi mikro kanatli borularda yoguşma, T.M.M.O. Tesisat Muhendisligi Dergisi 106, 38-46, 2008.