

YATAY DÜZ BORULAR İÇİNDEN GEÇEN SOĞUTUCULAR İÇİN YOĞUŞMA ISI TRANSFER DENKLEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Damla YAĞCI¹, Mustafa Turhan ÇOBAN², Oğuz Emrah TURGUT³

Accepted: 2021-12-29

DOI: 10.47118/somatbd.972776

ÖZET

Sanayinin birçok alanında, değişik türde ve çeşitte soğutucu akışkanların kullanılıyor olmasının yanı sıra, literatüre de birbirinden farklı özelliklere sahip birçok yeni akışkan eklenmiştir. Her soğutucu akışkan için literatürde bulunan mevcut yoğuşma ısı transfer korelasyonlarıyla ısı transfer katsayısı hesabı yapmak, birçok hatayı beraberinde getirmektedir. Bu makalede birçok soğutucu akışkana yer verilmiş ve literatürde bulunan en popüler korelasyonlardan 9 korelasyon ile deneysel veriler karşılaştırılmıştır. Akışkan türleri, kütle akış hızları, sıcaklıkları ve boru çapları gibi parametreler değiştirilerek ısı transfer sonuçları Java Crimson Editör ile hesaplanmıştır. Isı transfer katsayı sonuçları grafiksel analiz metotları ile karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Shah korelasyonu, Akers korelasyonu, Haraguchi korelasyonu, Huang korelasyonu, Wang korelasyonu, Rohsenow ve Traviss korelasyonu, ElHajal-J.R. Thome-A. Cavallini Korelasyonu, Dobson ve Choto korelasyonu, Soğutucu akışkanlar, Isı transferi

ABSTRACT

In many areas of Industry, as well as using different types and varieties of refrigerants, many new fluids with different properties have also been added to the literature. Calculating the heat transfer coefficient with the existing condensation heat transfer correlations found in the literature for each refrigerant leads to many errors. Many refrigerants are included in this article. Experimental data were compared with 9 correlations of the most popular correlations found in the literature, heat transfer results were calculated using Java Crimson editor by comparing and changing parameters such as fluid types, mass flow velocities, temperatures and pipe diameters. The heat transfer coefficient results were examined comparatively with graphical analysis methods.

Keywords: Shah correlation, Akers correlation, Haraguchi correlation, Huang correlation, Wang correlation, Rohsenow and Traviss correlation, ElHajal-J.R. Thome-A. Cavallini correlation, Dobson and Choto correlation, Refrigerants.Heat transfer.

¹ Yüksek Makine Mühendisi, Ege Üniversitesi, Ege Makine Mühendisliği, 35100, Bornova, İZMİR, damla.ygc36@gmail.com

² Doç., Dr., Ege Üniversitesi, Ege Makine Mühendisliği, 35100, Bornova, İZMİR, turhan.coban@ege.edu.tr

³ Doç., Dr., Bakırçay Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği, 35667, Menemen, İZMİR, oguzemrah.turgut@bakircay.edu.tr

1. GİRİŞ

Yoğuşma, buhar sıcaklığının doyma sıcaklığının altına düşürülmesi işlemidir ve günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır. Yatay düz borular içinden geçen akışkanlar için yoğuşmaya bağlı birçok ısı transfer korelasyonlarının bulunmasına rağmen her korelasyon, farklı akışkanlar için hazırlanmıştır. Bu sebeple de ısı transferini hesaplamada ki birçok hata beraberinde gelmiştir. Bunun yanında korelasyonlar maalesef ki el yöntemiyle hesaplanamayacak kadar karmaşıktır. Bu nedenden ötürü iteratif yaklaşımlarla çözülebilir olması negatif bir özellik olarak karşımıza çıkmaktadır. Yoğuşma hesaplamalarında bazı parametrelerin iyi belirlenmiş olması gerekir. Örneğin; kuruluk derecesi, akış hızı, boru geometrisi, boru çapı ve borunun konumu gibi parametreler hesaplamaları etkileyen önemli unsurlardandır.

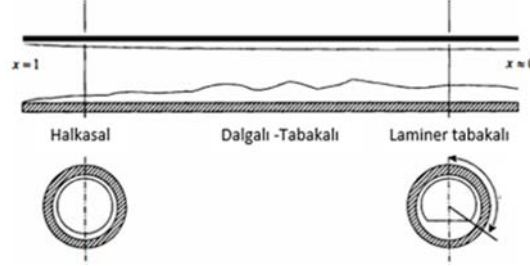
Farklı geometrik konumlara göre ayrı ayrı korelasyonlar mevcut iken bu makalede yatay düz borularda meydana gelen yoğuşma olayı dikkate alınmıştır. Yatay boruların temel alınarak hesaplanmasının temel sebeplerinden biri yoğuşmanın etkin bir biçimde yatay borularda gözlemleniyor olmasıdır. [9]

2. DÜZ BORULAR İÇİNDE YOĞUŞMALI ISI TRANSFERİ

Yoğuşma ısı transferi hesaplamalarında ısı transfer korelasyonları, borunun geometrisine ve konumuna göre farklılık gösterir. Boru konumuna göre yatay, dikey ve eğik olarak ayırırken, boru geometrisini ise düz ve genişletilmiş boru olarak iki ana kısımda incelemek mümkündür.

2.1 Yatay Borular

Boru içlerinde yoğuşma olayı incelenirken genellikle boru konumuna göre sınıflandırılır: Yatay, dikey ve eğik olarak bu sınıflandırmayı yapabilmekteyiz. Yatay borular, ısı değiştiricilerin kullandığı birçok alanda yaygın kullanılması sebebiyle ciddi öneme sahiptir. Dikey olarak konumlandırılmış boru, boru yüzeyinde halkasal bir yoğuşma filmi oluşurken, yatay borularda akış yönü yerçekimine diktir ve bu netice çift fazlı akışta buharlaşma ve yoğuşma akışını daha kompleks hale getirir. Şekil 2.1 de yatay bir düz tüpte meydana gelen yoğuşma akış modelini göstermektedir. Buhar boruya $x=1$ kuruluk derecesi ile girer ve borunun içerisinde akarken yoğuşur. Tam yoğuşma için çıkıştaki kuruluk derecesi $x=0$ olarak çıkar. Borunun girişine yakın bir yerde, göreceli olan yüksek buhar hızı, akışkanın dairesel olarak akmasına neden olur. Buhar aşağı yönde yoğunlaştıkça buhar hızı azalır ve yerçekiminin etkisiyle borunun üst tarafında ki kondenstat borunun en altına doğru akar. Sonuç olarak kondenstat borunun dibinde ki tarafta birikecek buhar, borunun enine kesiti boyunca üst boşluğu saracaktır. Akış düzeni halkasal akıştan tabakalı akışa doğru değişir ve Nusselt çözümü de yoğuşma filminin çok ince olduğu, borunun üst kısmına uygulanabilir. Bu, boru çevresi boyunca değişen bir ısı akışı dağılımına sebep olur. Çok düşük buhar hızların da hem kondenstant akışı hem de buhar akışı laminerdir ve akış aşağı bölgede kesikli akışı oluşturur. Çok yüksek buhar hızı durumunda ise, halkasal-sisli akış modeli oluşur ve boru boyunca basınç düşüşü önemli ölçüde artar [1].



Şekil 1 Yatay bir düz tüpte ki yoğuşma akış modeli [1].

2.2 Düz Borular

Düz konumda bulunan borular için yoğuşma ısı transferi hesaplamalarında birçok çalışma mevcuttur. Genel olarak da yatay düz borular içindeki yoğuşma ısı transferini hesaplamada deneysel yöntemler kullanılmıştır. Önerilen modellerin çoğu, Dittus ve Boelter'in tek fazlı zorlanmış konveksiyon korelasyonunun modifikasyonları niteliğindedir. [3] Örneğin Cavallini ve Zecchin [5] Akers ve arkadaşları [4], ve Shah [6] tarafından önerilen modellerle, Dittus ve Boelter'in [2] korelasyonlarının çoğu değiştirilmiştir.

3. YOĞUŞMALI ISI TRANSFER KATSAYISININ HESAPLANMASI İÇİN GELİŞTİRİLEN KORELASYONLAR

Yoğuşma ısı transfer datalarını tahmin etmek için birçok analitik çalışmalar mevcuttur. Literatüre bakılacak olursa halkasal, tabakalı ve tabakalı-dalgalı rejimlere kadar farklı akış yoğuşma rejimlerinde ısı transfer katsayısının hesaplanması için önerilen birçok korelasyon vardır. Daha önce bahsedildiği gibi, yoğuşmada, eylemsizlik kuvvetleri ve yerçekimi, akış rejimini belirleyen iki ana faktördür. Yerçekimine dayalı korelasyonları incelerken akış türüne göre tabakalı, dalgalı, kurşunlu, kesikli, kabarcık ve tıkaç akışını içerirken yerçekimine dayalı akış korelasyonları çoğunlukla Nusselt'in analizlerine dayanmaktadır. Ara yüzey kayma gerilmeleri, yerçekimi kaynaklı akışa ters olan halkasal akışta yerçekimi kuvvetlerine oranla daha baskındır. Halkasal akış korelasyonlarının üç ayrı ana kategoriye ayrılması Dobson ve Choto [7] tarafından 1998'de önerildi. Bunlar kesme temelli yaklaşımlar, sınır tabaka ve iki fazlı çarpan yaklaşımları yaklaşımlarıdır.

Korelasyonlar	Denklemler
Akers et al. [4]	$Re_{eq} = G[(1 - x) + x \left(\frac{\rho_l}{\rho_v}\right)^{1/2}] \left(\frac{D_h}{\mu_l}\right)$ $\frac{hD}{k_L} = 0.0265 Re_{eq}^{0.8} Pr_L^{1/3} \quad Re_{eq} > 50000$ $\frac{hD}{k_L} = 5.035 Re_{eq}^{1/3} Pr_L^{1/3} \quad Re_{eq} \leq 50000$

Korelasyonlar

Denklemler

ElHajal-J.R. Thome-A.
Cavallini

[14]

$$\theta_{strat} = 2\pi - 2\left[\pi(1 - \varepsilon) \left(\frac{3\pi}{2}\right)^{\frac{1}{3}} \left[1 - 2(1 - \varepsilon) + (1 - \varepsilon)^{\frac{1}{3}} - \varepsilon^{\frac{1}{3}}\right] - \frac{1}{200}(1 - \varepsilon)\varepsilon[1 - 2(1 - \varepsilon)][1 + 4((1 - \varepsilon)^2 + \varepsilon^2)]\right]$$

$$A_{LD} = \frac{1}{8} [(2\pi - \theta_{strat}) - \sin(2\pi - \theta_{strat})]$$

$$G_{dalgali} = \left\{ \frac{16A_v^3 D g D \rho_l \rho_v}{x^2 \pi^2 [1 - (2h_{Ld} - 1)^2]^{0.5}} \left[\frac{\pi^2}{25h_{LD}^2} \left(\frac{gD^2 \rho_l}{\sigma}\right)^{-1.023} + 1 \right] \right\}^{0.5} + 50 - 75e^{\frac{-x^2 - 0.97}{x(1-x)}}$$

$$G_{tabakali} = \left\{ \frac{51211.69 A_{LD} A_v^3 D \rho_v (\rho_l - \rho_g) \mu_l g}{x^2 (1-x) \pi^3} \right\}^{1/3} + 20x$$

$$x_{IA} = \left\{ \left[0.2914 \left(\frac{\rho_v}{\rho_l}\right)^{-\frac{1}{1.75}} \left(\frac{\mu_v}{\mu_l}\right)^{-\frac{1}{1.7}} + 1 \right]^{-1} \right\}$$

$$h_{tp} = h_c = 0.003 Re_l^{0.74} Pr_l^{0.5} \frac{k_l}{\delta} f_i$$

$$A_L = (1 - \varepsilon)A = \frac{(2\pi - \theta)}{8} [D^2 - (D - 2\delta)^2]$$

$$f_i = 1 + \left(\frac{u_v}{u_l}\right)^{1/2} \left(\frac{(\rho_l - \rho_v)g\delta^2}{\sigma}\right)^{1/4}$$

Shah [6]

$$Z = \left(\frac{1}{x} - 1\right)^{0.8} Pr^{0.4}$$

$$J_g \leq 0.98(Z + 0.263)^{-0.62} \text{ ise;}$$

$$h_I = 0.023 \left(\frac{k_l}{D}\right) Re_{lo}^{0.8} Pr_l^{0.4}$$

$$\left(\frac{\mu_l}{\mu_v}\right)^{(0.0058 + 0.557Pr)} \left[\frac{3.8x^{0.76}(1-x)^{0.04}}{Pr^{0.38}} \right]$$

$$h_{Nu} = 1.32(Re_{ls})^{-1/3} \left[\frac{\rho_l(\rho_l - \rho_v)}{\mu_l^2} \right]^{1/3}$$

Rejim 1

$$h_{tp} = h_I ;$$

Rejim 2;

$$h_{tp} = h_I + h_{Nu}$$

Korelasyonlar	Denklemler
Haraguchi et al. [8]	$\varphi_v = 1 + 0.5 \left(\frac{G}{\sqrt{gD_h \rho_v (\rho_l - \rho_v)}} \right)^{0.75} X_{tt}$ $\frac{hD}{k_L} = 0.0152 (10.6 Pr_l^{0.8}) \frac{\varphi_v}{X_{tt}} Re_l^{0.77}$
Dobson and Chato [7]	$\frac{hD}{k_l} = 0.023 Re_l^{0.8} Pr_l^{0.4} \left[+ \frac{2.22}{X_{tt}^{0.89}} \right]$
Wang et al. [9]	$\frac{hD}{k_L} = (0.0274) Pr_l Re_l^{0.6792} X^{0.2208}$
Huang et al. [10]	$\frac{hD}{k_l} = 0.0152 (-0.33 + 0.83 Pr_l^{0.8}) \frac{\varphi_v}{X_{tt}} Re_l^{0.77}$
Rohsenow ve Traviss [15]	$F = 5 Pr_l + 5 \ln(1 + 5 Pr_l) + 2.5 \ln(0.00313 Re_l^{0.812})$ $1125 < Re_l$ $F = 5 Pr_l + 5 \ln(1 + Pr_l(0.09636 Re_l^{0.585} - 1))$ $50 < Re_l < 1125$ $F = 0.707 Pr_l Re_l^{0.5}$ $Re_l < 50$ $F(X_{tt}) = 0.15 \left(\frac{1}{X_{tt}} + \frac{2.85}{X_{tt}^{0.476}} \right)$ $0.1 \leq F(X_{tt}) \leq 1 \quad Nu_D = \frac{h_D D}{k_l} = \frac{Pr_l Re_l}{F} F(X_{tt})$ $1 < F(X_{tt}) \leq 15 \quad Nu_D = \frac{h_D D}{k_l} = \frac{Pr_l Re_l}{F} [F(X_{tt})]^{1.15}$

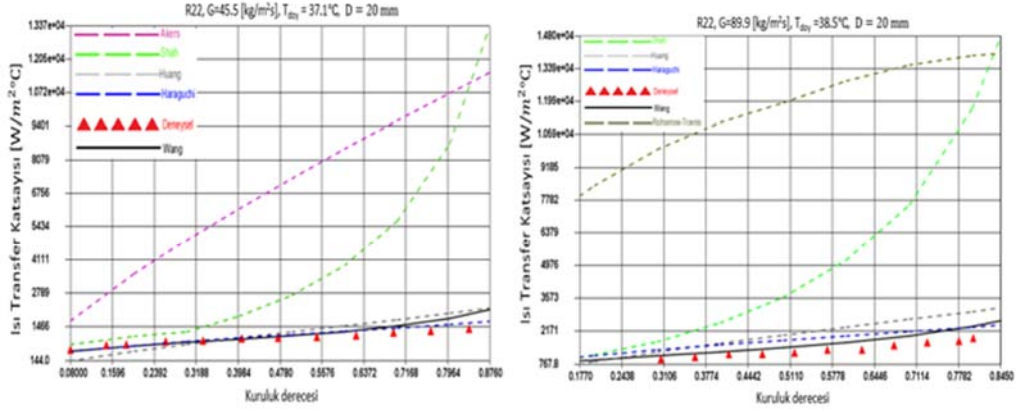
$$Re_l = \frac{m(1-x)D}{A_{cross-section} \mu_l} = \frac{G(1-x)D}{\mu_l}, G = \frac{m}{A_{cross-section}}, X_{tt} = \left(\frac{1-x}{x} \right)^{0.9} \left(\frac{\rho_v}{\rho_l} \right)^{0.5} \left(\frac{\mu_l}{\mu_v} \right)^{0.1}$$

4. SAYISAL SONUÇLAR

Tanımlanan korelasyonlar için kütle akış hızı, boru çapı, doyma sıcaklığı ve soğutucu akışkan türü değiştirilerek yapılan hesaplamalar ile elde edilen sonuçlar ve grafikler;

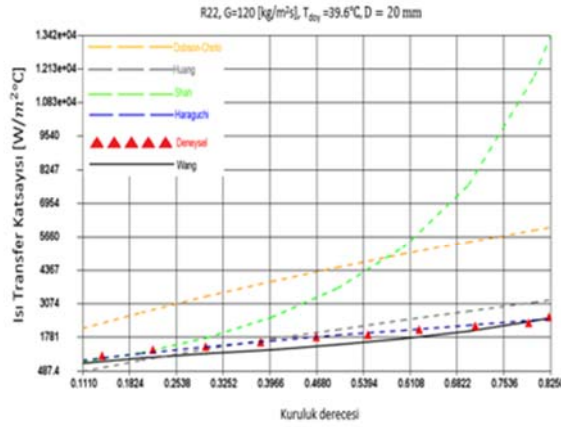
Korelasyon tahminlerinin doğruluğu için ortalama mutlak hata değerlerinin hesaplanması gerekir.

$$\text{Ortalama Mutlak Hata (OMH)} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{|h_{\text{hesaplanan},i} - h_{\text{deneysel},i}|}{h_{\text{deneysel}}} \right) * 100\% \quad (4.1)$$



(a)

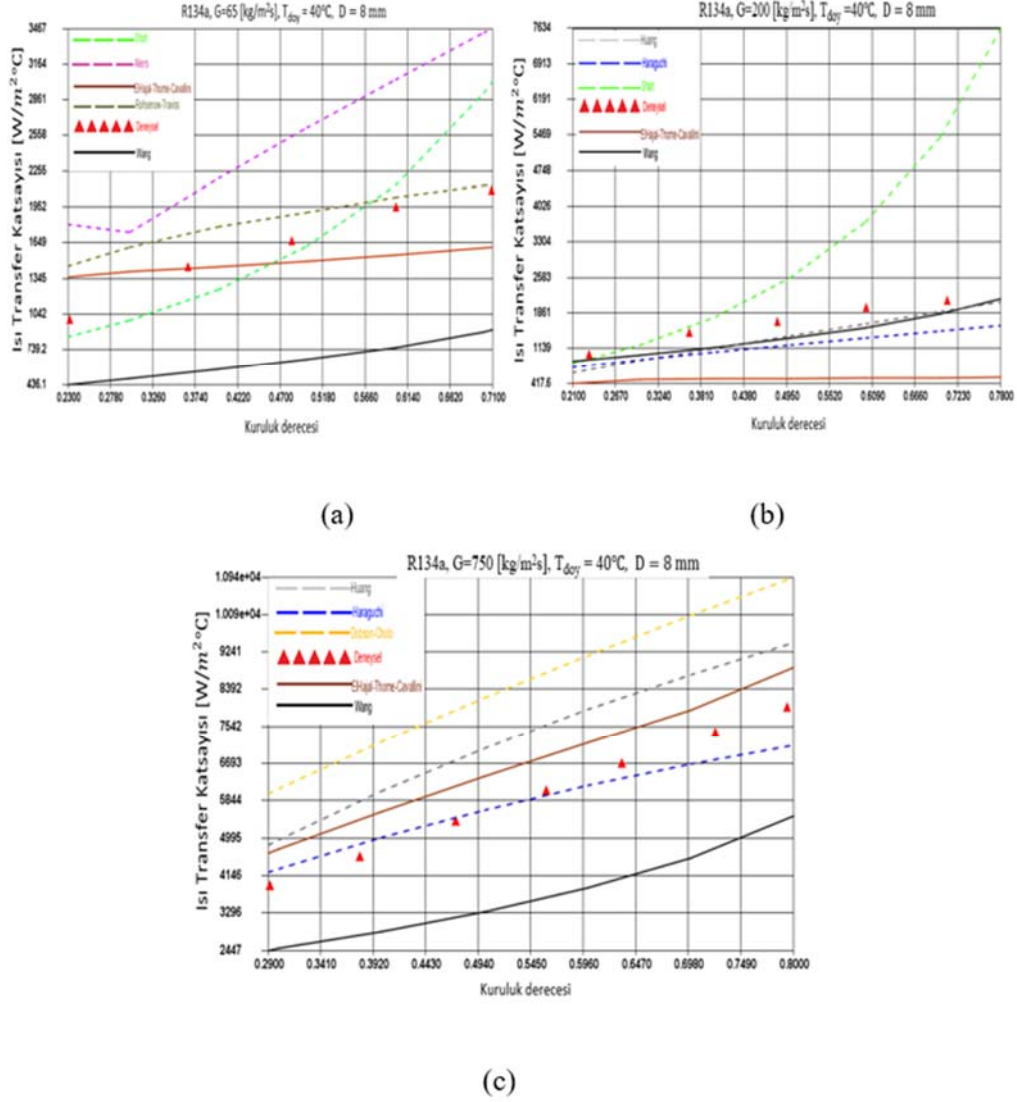
(b)



(c)

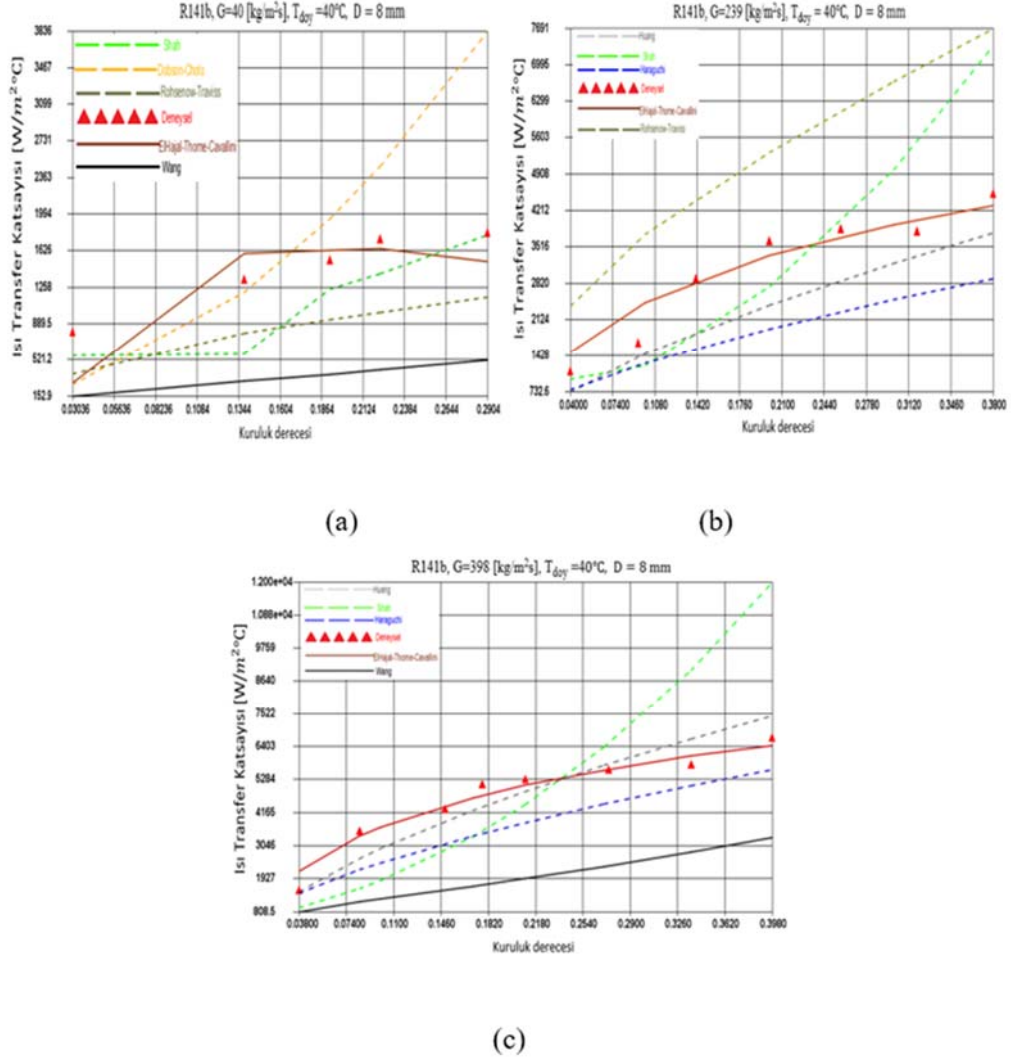
Şekil 2. R22 akışkanının (a) $G=45.5$ [$\text{kg/m}^2\text{s}$], (b) $G=89.9$ [$\text{kg/m}^2\text{s}$], (c) $G=120$ [$\text{kg/m}^2\text{s}$], kütle akış hızlarında ki mevcut korelasyonlardan en iyi sonucu veren 5 korelasyon için ısı transfer değerlerinin deneysel veriler [20] ile karşılaştırılması.

R22 akışkanının ortalama mutlak hata sonucu (a) %21,34 ile Haraguchi [8] korelasyonu, (b) %23,18 Wang [9] ve (c) %4,67 ile Haraguchi [8] korelasyonu en iyi korelasyon tahminini vermiştir.



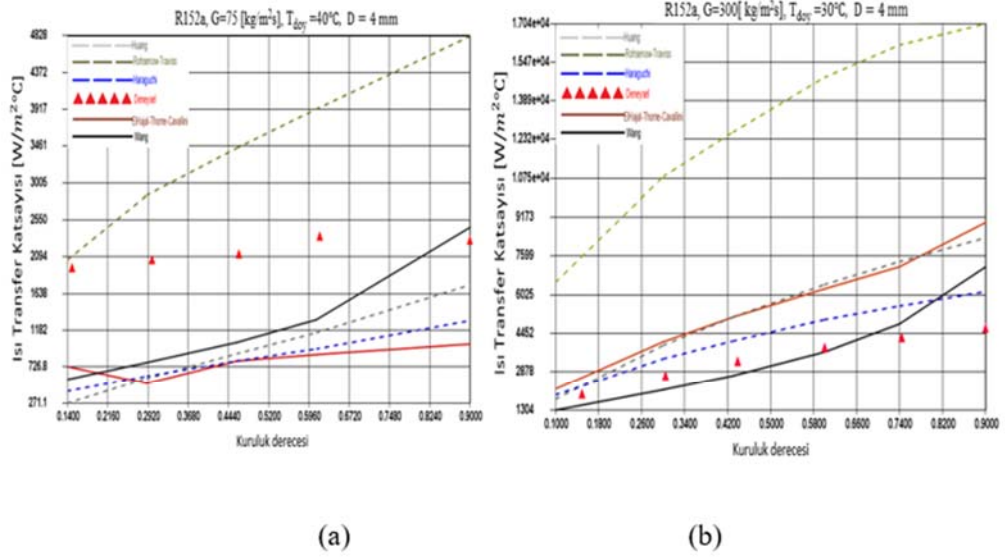
Şekil 3. R134a akışkanının (a) $G=65 \text{ [kg/m}^2\text{s]}$, (b) $G=200 \text{ [kg/m}^2\text{s]}$, (c) $G=750 \text{ [kg/m}^2\text{s]}$, kütle akış hızlarında ki mevcut korelasyonlardan en iyi sonucu veren 5 korelasyon için ısı transfer değerlerinin deneysel veriler [21] ile karşılaştırılması.

R134a akışkanının ortalama mutlak hata sonucu (a) %18,30 ile ElHajal-J.R. Thome-A. Cavallini [14] korelasyonu, (b) %42,64 Wang [9] ve (c) %6,11 ile Haraguchi [8] korelasyonu en iyi korelasyon tahminini vermiştir.



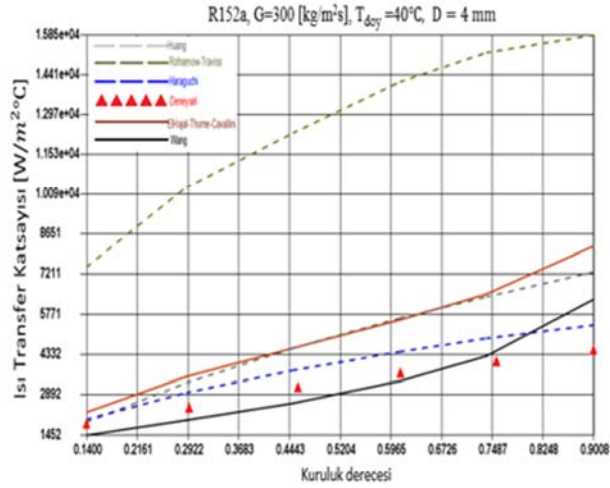
Şekil 4. R141b akışkanının (a) $G=65$ [kg/m²s], (b) $G=200$ [kg/m²s], (c) $G=750$ [kg/m²s], kütle akış hızlarında ki mevcut korelasyonlardan en iyi sonucu veren 5 korelasyon için ısı transfer değerlerinin deneysel veriler [19] ile karşılaştırılması.

R141b akışkanının ortalama mutlak hata sonucu (a) %22,55 ile ElHajal-J.R. Thome-A. Cavallini [14] korelasyonu, (b) %14,68 ElHajal-J.R. Thome-A. Cavallini [14] korelasyonu ve (c) %10,59 ile ElHajal-J.R. Thome-A. Cavallini [14] korelasyonu korelasyonu en iyi korelasyon tahminini vermiştir ayrıca akış hızının artmasıyla 5 korelasyonda yakın sonuçlar çıkarmıştır.



(a)

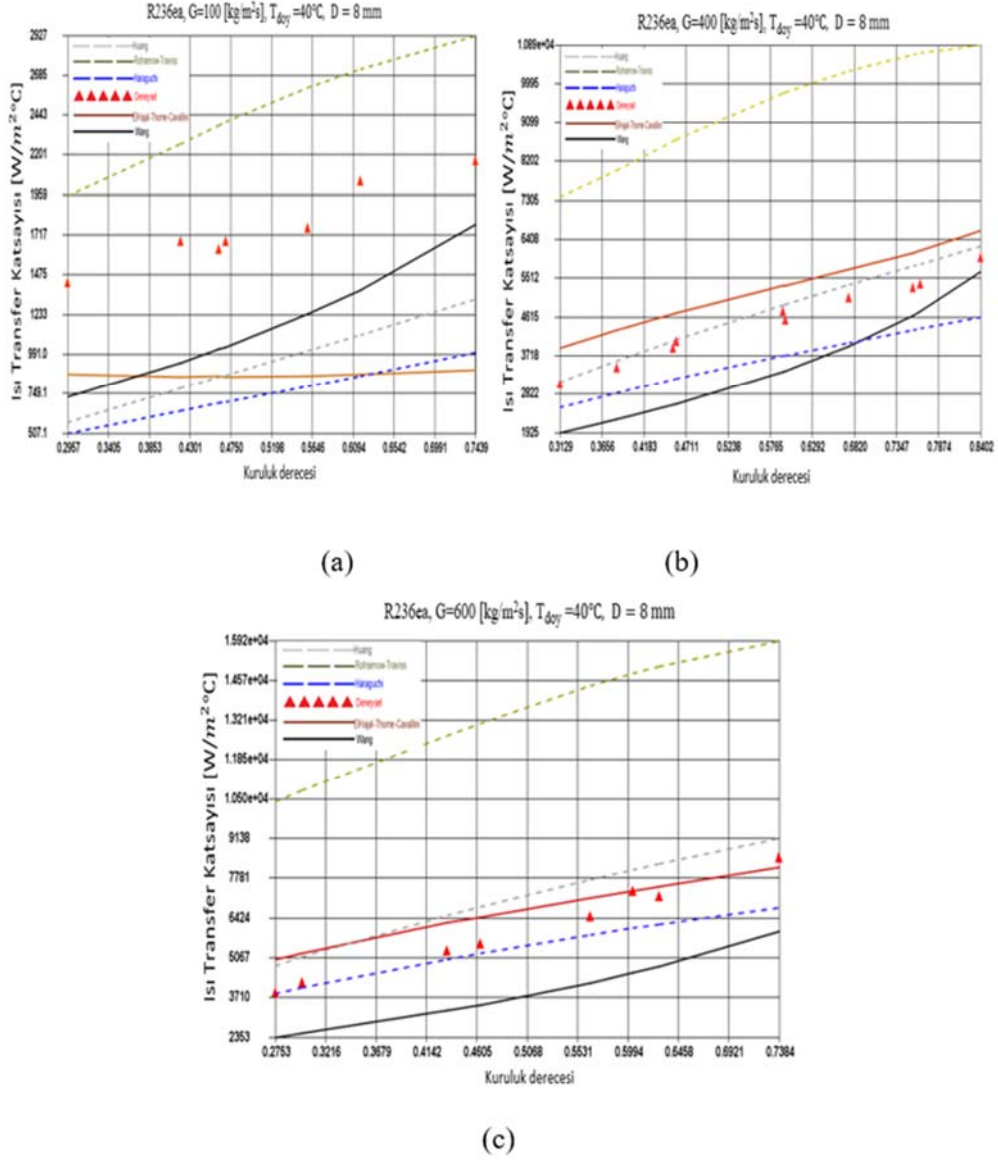
(b)



(c)

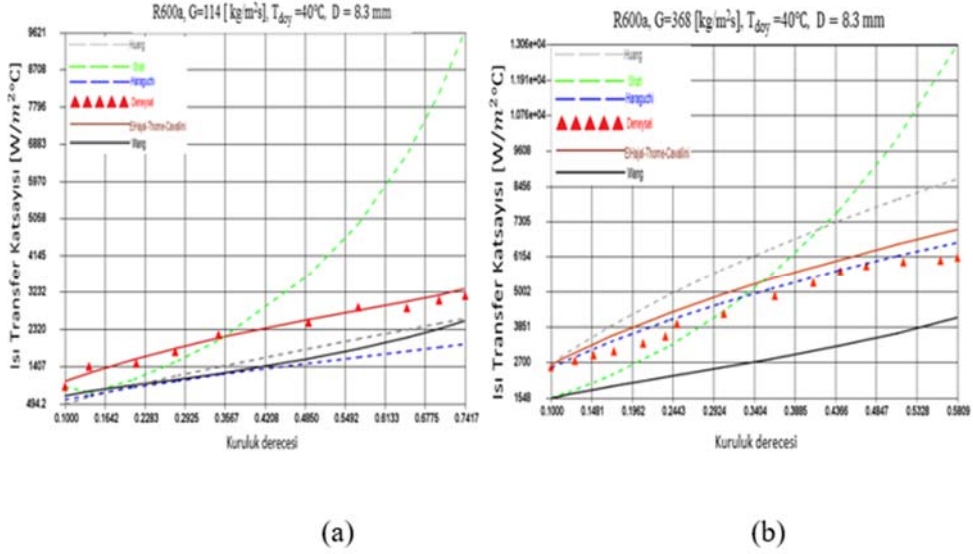
Şekil 5. R152a akışkanının (a) $G=75 [kg/m^2s]$ ve $T_{doy}=40^{\circ}C$ sıcaklığında, (b) $G=300 [kg/m^2s]$ ve $T_{doy}=30^{\circ}C$ sıcaklığında, (c) $G=300 [kg/m^2s]$ kütle akış hızlarında ve $T_{doy}=30^{\circ}C$ sıcaklığında, mevcut korelasyonlardan en iyi sonucu veren 5 korelasyon için ısı transfer değerlerinin deneysel veriler [18] ile karşılaştırılması.

R152a akışkanının ortalama mutlak hata sonucu (a) %47,09 ile Wang [9] korelasyonu, (b) %23,30 Wang [9] korelasyonu ve (c) %17,65 ile Wang [9] korelasyonu en iyi korelasyon tahminini vermiştir.



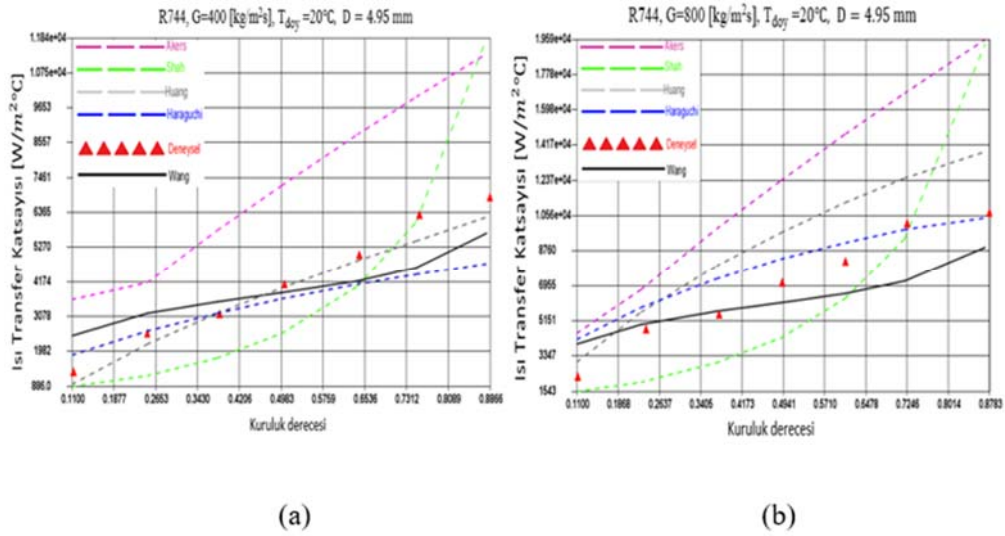
Şekil 6. R236ea akışkanının (a) $G=100$ [$\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$], (b) $G=400$ [$\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$], (c) $G=600$ [$\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$] kütle akış hızlarında mevcut korelasyonlardan en iyi sonucu veren 5 korelasyon için ısı transfer değerlerinin deneysel veriler [21] ile karşılaştırılması.

R236ea akışkanının ortalama mutlak hata sonucu (a) %35,18 ile Wang [9] korelasyonu, (b) %5,88 Huang [10] korelasyonu ve (c) %5,85 ile Haraguchi [8] korelasyonu en iyi korelasyon tahminini vermiştir.



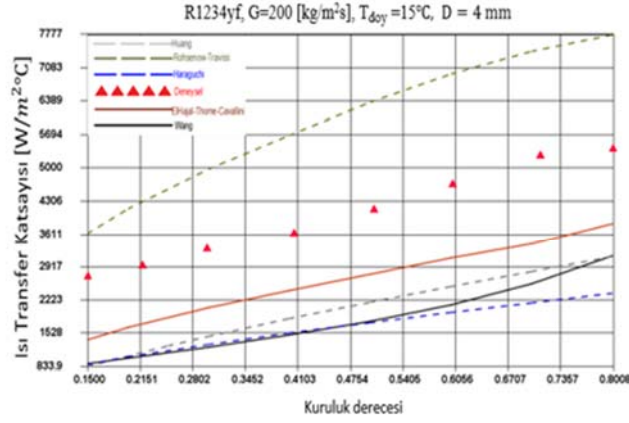
Şekil 7. R600 akışkanının (a) $G=100$ [$\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$], (b) $G=368$ [$\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$] kütle akış hızlarında mevcut korelasyonlardan en iyi sonucu veren 5 korelasyon için ısı transfer değerlerinin deneysel veriler [22] ile karşılaştırılması.

R600a akışkanının ortalama mutlak hata sonucu (a) %7,21 ile ElHajal-J.R. Thome-A. Cavallini [14] korelasyonu, (b) %5,82 Haraguchi [8] korelasyonu en iyi korelasyon tahminini vermiştir.

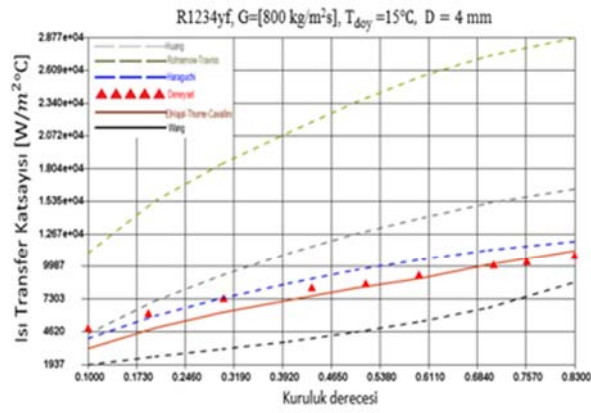


Şekil 8. R744 akışkanının (a) $G=400$ [$\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$], (b) $G=800$ [$\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$] kütle akış hızlarında mevcut korelasyonlardan en iyi sonucu veren 5 korelasyon için ısı transfer değerlerinin deneysel veriler [23] ile karşılaştırılması.

R744 akışkanının ortalama mutlak hata sonucu (a) %9,32 ile Huang [10] korelasyonu, (b) %24,12 Wang[9] korelasyonu en iyi korelasyon tahminini vermiştir.



(a)



(b)

Şekil 9. R1234yf akışkanının (a) $G=200$ [$\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$], (b) $G=800$ [$\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$] kütle akış hızlarında mevcut korelasyonlardan en iyi sonucu veren 5 korelasyon için ısı transfer değerlerinin deneysel veriler [17] ile karşılaştırılması.

R1234yf akışkanının ortalama mutlak hata sonucu (a) %36,38 ElHajal-J.R. Thome-A. Cavallini [14] korelasyonu, (b) %10,07 Haraguchi [8] korelasyonu en iyi korelasyon tahminini vermiştir.

Yukarıda verilen 8 soğutucu akışkan için korelasyonlar ile yapılan hesaplamalara bakılacak olursa her akışkan için farklı korelasyon, farklı doğruluk yüzdesi ile sonuç vermiştir. Bu yüzden ki kesin bir sonuca varmak doğru olmayacaktır. Farklı kütle akış hızlarında, farklı doyma sıcaklıklarında yapılan hesaplamalarda ki karşılaştırma sonuçları gösteriyor ki yoğunmalı ısı transfer hesaplamalarında her akışkan için aynı hata oranını verecek evrensel bir korelasyon henüz mevcut değildir. Her akışkan için korelasyonlar farklı hata oranları ile sonuç vermiştir. Çalışmalarda ki amaç düşük hata oranları ile sonuç veren korelasyonları belirlemektir. Soğutucu

akışkan sayısı gün geçtikçe artarken her akışkan için aynı korelasyon denkleminin kullanılması ise kesin sonuçlar vermeyecek ve birçok hatayı beraberinde getirecektir. Akışkanların hata oranlarına bakıldığı zaman ise kütle akış hızının arttığı tüm akışkanlarda ortalama mutlak hata yüzdesi azalırken deneysel sonuçlara daha yakın sonuçlar verdiği hesaplamalar ile gösterilmiştir. Formüllerdeki Martinelli parametresinin pay veya payda da olma durumuna göre korelasyonların benzer sonuçlar verdiği de hata oranları sonucu belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Kandlikar, S.G., Shoji, M., Dhir, V.K., 1999, Handbook Of Phase Change: Boiling And Condensation, Printed by Edwards Brothers, U.K., Chapter 23.
- [2] Dalkilic, A. S., Wongwises, S. 2009., Intensive Literature Review Of Condensation Inside Smooth And Enhanced Tubes, International Journal Of Heat And Mass Transfer, 52(15-16), 3409–3426.
- [3] Dittus, F.W., Boelter, L.M.E. ,1930, Engineering Publication 2, University of California, p. 443.
- [4] Akers, W.W., Deans, H.A., Crosser, O.K., (1959), Condensation heat transfer within horizontal tubes, Chem. Eng. Prog. Symp. Ser. 55 (29) ,171–176.
- [5] Cavallini, A., Zecchin, R.A., 1974, A dimensionless correlation for heat transfer in forced convection condensation, in: Proceedings of the Sixth International Heat Transfer Conference, vol. 3, pp. 309–313.
- [6] Shah, M.M., 1979, A general correlation for heat transfer during film condensation inside pipes, Int. J. Heat Mass Transfer 547–556.
- [7] Dobson, M.K., Chato, J.C., 1998, Condensation in Smooth Horizontal Tubes, Journal of Heat Transfer, United States, Volume 120, 193-213p.
- [8] Haraguchi, H., Koyama, S., Fujii, T., 1994. Condensation Of Refrigerants HCFC 22, HFC 134a And HCFC 123 In A Horizontal Smooth Tube (2nd Report), Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers Series B, 245-252p.
- [9] Wang, W.-W., Radcliff T.D., Christensen, R.N., 2002, A Condensation Heat Transfer Correlation For Millimeter-Scale Tubing With Flow Regime Transition Exp. Thermal Fluid Sci., 26 pp. 473-485
- [10] Huang, X., Ding. G., Hu, H., Zhu, Y. Peng, H., Gao, Y., Dengo, B., 1994. Influence Of Oil On Flow Condensation Heat Transfer Of R410A Inside 4.18 mm and 1.6 mm Inner Diameter Horizontal Smooth Tubes, International Journal of Refrigeration, Volume 33, 158-169p.
- [11] Shah, M.M., 2009, An Improved and Extended General Corroletaion for heat Transfer During Condensation in Plain Tubes, AHRAE HVAC&R Research, Vol. 15, No. 5, September 2009
- [12] Soliman, H. M., Schuster, J. R., and Berenson, P. J. 1968. A General Heat Transfer Correlation For Annular Flow Condensation, J. Heat Transfer, 90, 267–276p.
- [13] Zivi, S.M., 1964, Estimation of Steady-State Steam Void-Fraction by Means of the Principle of Minimum Entropy Generation, J. Heat Transfer, Vol. 86, pp. 247-252.
- [14] Thome, J.R., El Hajal, J., Cavallini, A., 2003, Condensation In Horizontal Tubes, Part 2: New Heat Transfer Model Based On Flow Regimes, Int. J. Heat Mass Transf., 3365-3387p.

- [15] Traviss, D. P., Rohsenow, W. M., and Baron, A. B., 1973. Forced Convective Condensation In Tubes: A Heat Transfer Correlation For Condenser Design. ASHRAE Trans., 79 (1), 157–165p.
- [16] Kattan, N., Thome, J.R and Favrat, D., 1998a, Flow Boiling in Horizontal Tubes. Part 1: Development of a Diabatic Two Phase Flow Pattern Map, J. Heat Transfer, Vol.120, No.1 140–147p.
- [17] Lee, Y.-T., Hong, S., Chien, L.-H., Lin, W.-H., Yang, A.-S., 2020, Heat Transfer and Pressure Drop of Film Condensation In A Horizontal Minitube for HFO1234yf Refrigerant, Applied Energy, Volume 274, 115183
- [18] Longo, G.A., Mancin, S., Righetti, G., Zilio, C., Ceccato, R., Salmaso, L., 2019, Saturated Vapour Condensation of R134a Inside A 4 Mm ID Horizontal Smooth Tube: Comparison With The Low GWP Substitutes R152a, R1234yf and R1234ze(E), International Journal of Heat and Mass Transfer, Volume 133, 461-473p.
- [19] Nasrfard, H., Rahimzadeh, H., Ahmadpour, A., Naderan, H., 2019, Experimental Study of Condensation Heat Transfer for R141b In Intermittent Flow Regime Within A Smooth Horizontal Tube, Experimental Thermal and Fluid Science, Volume 105, 109-122p.
- [20] Aprea C., Greco A ,Vanoli G.P. , 2003, Condensation Heat Transfer Coefficients for R22 and R407C in Gravity Driven Flow Regime Within A Smooth Horizontal Tube, International Journal of Refrigeration, Volume 26, Issue 4, 393-401p.
- [21] Cavallini,A., Censi, G., Del Col, D., Doretto, L., Longo, G.A., Rossetto, L., 2001, Experimental Investigation on Condensation Heat Transfer and Pressure Drop of New HFC Refrigerants (R134a, R125, R32, R410A, R236ea) in A Horizontal Smooth Tube, International Journal of Refrigeration, Volume 24, Issue 1, 73-87p
- [22] Sarmadian, A., Shafae, M., Mashouf, H., Mohseni, S.G., 2017, Condensation Heat Transfer and Pressure Drop Characteristics of R-600a In Horizontal Smooth and Helically Dimpled Tubes, Experimental Thermal and Fluid Science, Volume 86, 54-62p.
- [23] Son, C.-H., Oh, H.-K., 2012, Condensation Heat Transfer Characteristics of CO₂ in A Horizontal Smooth and Microfin Tube At High Saturation Temperatures, Applied Thermal Engineering ,Volume 36, 51-62p.