

SOĞUTKANLAR İÇİN ÇEŞİTLİ ÇİFT FAZLI AKIŞ BASINÇ DÜŞÜMÜ DENKLEMLERİNİN MODELLENMESİ VE KARŞILAŞTIRILMASI

Mustafa Turhan ÇOBAN
Oğuz Emrah TURGUT

ÖZET

Günümüzde değişik alternatif soğutucu akışkanlar (soğutkanlar) soğutma sistemlerinde kullanılmaktadır. Çift fazlı akış için basınç düşümü denklemleri genellikle teorik ve deneysel çalışmaların sonucu olduğundan yeni soğutkanlarda bu denklemlerin doğruluklarının irdelenmesi ve her soğutucu akışkan için en doğru bir basınç düşümü modelinin seçilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada çift fazlı akış basınç düşümü denklemlerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Dikey ve yatay borulardaki çift fazlı akış incelenmiş, çeşitli basınç düşümü denklemleri Matlab ortamında modellenerek ve bu denklemler kendi aralarında karşılaştırılarak doğrulukları irdelenmiştir.

Test soğutkanları olarak dikey borular için R717(NH₃), R600(bütan), R290(propan), yatay borular için R404a ve R407c seçilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Friedel korelasyonu, Homojen akış modeli, Ayırık akış modeli

ABSTRACT

A variety of refrigerants are utilised in refrigeration systems. Two phase flow pressure drop equations are usually experimental, therefore validity of the equations should be checked out for this new refrigerants and a proper heat transfer model should be chosen for each new refrigerant. In this study boiling pressure drop correlations are compared with each other. Two phase flow (boiling) is investigated for horizontal and vertical pipes. In order to achieve that, pressure drop correlations are modelled in matlab environment and results are compared with each other and experimental results available. As test refrigerants in this paper R717(NH₃), R600(Butane) and R290(Propane) are used for vertical tubes and R404A and R407C are used for horizontal tubes

Key Words: Friedel correlation , Homogeneous flow model, Seperated flow model

1. GİRİŞ

Direk genişlemeli ve taşmalı evaporatörlerdeki çift fazda basınç düşümü tartışılacaktır. Bu cihazlara ait oluşturulmuş korelasyonlar sunulacak ve karşılaştırılacaktır. Tartışmanın sonunda ise akışkan karakteristiğine en uygun düşen korelasyon önerilecektir. Su ve R134a test akışkanı olarak seçilmiştir. 10 cm ' lik borulardaki test akışkanlarının termofiziksel özellikleri aşağıdaki gibidir.

Akışkan	Sıcaklık	Basınç	Boru çapı	Kütleli hız	Boru düzeni
Su	100 °C	1 atm	19.4 mm	191.57 [kg/m ² s]	Yatay boru
R134a	-26.17 °C	1 atm	19.4 mm	137.67 [kg/m ² s]	Yatay boru
R600	-0.55 °C	1 atm	19.4 mm	100.00 [kg/m ² s]	Yatay boru
R407C	-43.267 °C	1 atm	19.4 mm	200.00 [kg/m ² s]	Yatay boru
R717	-33.327 °C	1 atm	19.4 mm	100.00 [kg/m ² s]	Yatay boru

İki fazlı basınç düşümü evaporatör ve kondenser modellemesi için çok önemli bir parametredir. Momentum değişimi statik basınç düşümü ve sürtünme çift fazda basınç düşümünün temel etmenlerindedir. Bunların oluşmasındaki en büyük etkenin ise akışkanın potansiyel ve kinetik enerjisindeki değişim olduğu da unutulmamalıdır. Çift fazda basınç düşümü korelasyonları birbirinden farklı değerler hesaplamakta ve bunun sonucunda ortaya çıkan değerler sistem karakteristiğini etkilemektedir. Bundan dolayı korelasyonların optimize edilmesi gerekmektedir.

2. BORU İÇİNDEKİ AKIŞKANLAR İÇİN HOMOJEN AKIŞ MODELİ

Homojen akışkan, tek fazlı akışkan fiziksel özelliklerini gösteren yarı-akışkan olarak tanımlanabilir. Termofiziksel özellikleri ise sıvı ve akışkanın ortalama özellikleri alınarak hesaplanır[1]. Homojen akış modeliyle basınç düşümü kısaca

$$\Delta p_{toplam} = \Delta p_{statik} + \Delta p_{momentum} + \Delta p_{sürtünme} \quad (1)$$

denklemlerle hesaplanır. Statik basınç düşümü hesabı ise

$$\Delta p_{statik} = \rho_H g H \sin \theta \quad (2)$$

denklemindeki gibidir. Burada H borunun uzunluğu, θ yatay ile boru arasında kalan açı ve ρ_H ise

$$\rho_H = \rho_L (1 - \varepsilon_H) + \rho_G \varepsilon_H \quad (3)$$

(3) 'te hesaplandığı gibidir. Bu denklemde ε_H homojen faz hacim oranı (homogenous void fraction) olarak adlandırılır ve

$$\varepsilon_H = \frac{1}{1 + \left(\frac{u_g (1-x) \rho_g}{u_l x \rho_l} \right)} \quad (4)$$

gibi hesaplanır. Bu denklemde (u_g/u_l) kayma oranı (S) (slip ratio) olarak tanımlanan değer esasında gaz fazın sıvı faz üzerinde akış hızı oranıdır fakat homojen model incelendiğinden bu değer 1.0 olarak alınacaktır. Birim uzunluk için momentum basınç gradyanı ise

$$\left(\frac{dp}{dz}\right)_{mom} = \frac{d(\dot{m}_{toplam} / \rho_H)}{dz} \quad (5)$$

denklemleriyle hesaplanır. Son olarak sürtünmeyle oluşan basınç düşümü ise

$$\Delta p_{sürtünme} = \frac{2f_{tp} L \dot{m}_{toplam}^2}{d_i \rho_H} \quad (6)$$

şeklinde hesaplanır. Sürtünme katsayısı olan f_{tp} ise Blassius denklemleriyle hesaplanır

$$f_{tp} = \frac{0.079}{Re^{0.25}} \quad (7)$$

Burada Reynolds sayısı

$$Re = \frac{\dot{m}_{total} d_i}{\mu_{tp}} \quad (8)$$

şeklinde dir. Ortalama viskozite (μ_{tp}) ise

$$\mu_{tp} = x\mu_G + (1-x)\mu_L \quad (9)$$

şeklinde hesaplanır.

Bu korelasyon yüksek kütleli hızlar için ve indirgenmiş basınçlar için de kullanılabilir [1]. Bu model için unutulmaması gereken kabul ise buhar kalitesinin sabit olarak alınmasıdır.

3. BORU İÇİNDEKİ AKIŞKANLAR İÇİN AYRIK MODEL

Çift fazda ayrık akış modeli de statik, momentum ve sürtünmeli basınç düşümünün etkisinde gerçekleşir[2]. Statik basınç (2) 'de olduğu gibi hesaplanır fakat kinetik enerjideki değişimi gösteren momentum basıncı denklemleri

$$\Delta p_{mom} = \dot{m}_{toplam}^2 \left\{ \left[\frac{(1-x)^2}{\rho_L(1-\varepsilon)} + \frac{x^2}{\rho_G\varepsilon} \right]_{çıkış} - \left[\frac{(1-x)^2}{\rho_L(1-\varepsilon)} + \frac{x^2}{\rho_G\varepsilon} \right]_{giriş} \right\} \quad (10)$$

şeklinde hesaplanmıştır.

Ayrık akış modeli konsepti, sıvı ve gaz fazın ayrı olarak incelenmesine dayanır[2]. Başka bir deyişle bu modelde her faz boru içinde kendi akış yolunda ilerler. Bundan dolayı Faz hacim oranı (ε) adı verilen sıvı ve gaz fazın yoğunluğunun ve buhar kalitesinin fonksiyonu olarak tanımlanan bir model uygulanmıştır. Steiner [3], Rouhani – Axelson[4] modelini geliştirdi ve

$$\varepsilon = \frac{x}{\rho_G} \left[\left[1 + 0.2(1-x) \left(\frac{gd_i \rho_L^2}{\dot{m}_{toplam}^2} \right)^{0.25} \right] \left(\frac{x}{\rho_G} + \frac{1-x}{\rho_L} \right) + \frac{1.18(1-x) [g\sigma(\rho_L - \rho_G)]^{0.25}}{\dot{m}_{toplam} \rho_L^{0.5}} \right]^{-1} \quad (11)$$

denklemini sundu.

Sürtünmeli basınç düşümü için ise birçok korelasyon önerilmiştir. Bu önerilen denklemlerden ilki Lockhart ve Martinelli [5] tarafından ortaya atıldı. Ardından birçok araştırmacı tarafından başka korelasyonlar önerildi.

3.1. Friedel Korelasyonu

Friedel[6] korelasyonu çift faz çarpanından türetilen bir denklemdir.

$$\Delta p_{sürtünme} = \Delta p_L \Phi_{fr}^2 \quad (12)$$

Sıvı faz basınç düşümü Δp_L 'nin hesabı

$$\Delta p_L = 4f_L(L/d_i)\dot{m}_{toplam}^2(1/2\rho_L) \quad (13)$$

şekindedir. Sıvı sürtünme faktörü f_L ve Reynolds sayısı

$$Re = \frac{\dot{m}_{toplam} d_i}{\mu_L} \quad (14)$$

$$f_L = \frac{0.079}{Re^{0.25}} \quad (15)$$

gibi hesaplanır. Çift faz çarpanı (16) 'deki eşitlikle çözülür.

$$\Phi_{fr}^2 = E + \frac{3.24FH}{Fr_H^{0.045} We_L^{0.035}} \quad (16)$$

Burada E, F, H ve Fr_H katsayılar sırayla

$$E = (1-x)^2 + x^2 \frac{\rho_L f_G}{\rho_G f_L} \quad (17)$$

$$F = x^{0.78} (1-x)^{0.224} \quad (18)$$

$$H = \left(\frac{\rho_L}{\rho_G} \right)^{0.91} \left(\frac{\mu_G}{\mu_L} \right)^{0.19} \left(1 - \frac{\mu_G}{\mu_L} \right)^{0.7} \quad (19)$$

$$Fr_H = \frac{\dot{m}_{toplam}^2}{gd_i \rho_H^2} \quad (20)$$

gibidir. (17)'daki f_G katsayısı, (14) ve (15) denklemlerinin gaz faz için kullanılmasından ibarettir. (16) 'deki sıvı Weber sayısı (We_L) ise

$$We_L = \frac{\dot{m}_{toplam}^2 d_i}{\sigma \rho_H} \quad (21)$$

denklemindeki gibidir. Buhar kalitesinin ve yoğunluğun bir fonksiyonu olan homojen yoğunluk (ρ_H) (22) denkleminde hesaplanmıştır.

$$\rho_H = \left(\frac{x}{\rho_G} + \frac{1-x}{\rho_L} \right)^{-1} \quad (22)$$

Bu korelasyonun geçerliliği (μ_L / μ_G) değerinin 1000 den küçük olmasına bağlıdır[6].

3.2. Lockhart ve Martinelli Orelasyonu

Lockhart ve Martinelli[5] tarafından önerilen bu korelasyon da sıvı ve gaz çift faz çarpanı üzerine kurulmuştur .

$$\Delta p_{sürtünme} = \Phi_{Lt}^2 \Delta p_L \quad (23)$$

$$\Delta p_{sürtünme} = \Phi_{Gt}^2 \Delta p_G \quad (24)$$

Δp_L (13)'teki gibi hesaplanır fakat kütle hız terimine $(1-x)^2$ katsayısı eklenmelidir. Δp_G terimi ise

$$\Delta p_G = 4 f_G (L / d_i) \dot{m}_{toplam}^2 x^2 (1 / 2 \rho_L) \quad (25)$$

ile hesaplanır. Bu denklemlerde yine sürtünme katsayısı faktörleri f_G ve f_L yine (14) ve (15) denklemleriyle hesaplanır. Çift faz çarpanı ise

$$\Phi_{Lt}^2 = 1 + \frac{C}{X_{tt}} + \frac{1}{X_{tt}^2} \quad Re_L > 4000 \quad \text{için} \quad (26)$$

$$\Phi_{Gt}^2 = 1 + C X_{tt} + X_{tt}^2 \quad Re_L < 4000 \quad \text{için} \quad (27)$$

eşitlikleri ile bulunur. Martinelli parametresi (X_{tt}) ise

$$X_{tt} = \left(\frac{1-x}{x} \right)^{0.9} \left(\frac{\rho_G}{\rho_L} \right)^{0.5} \left(\frac{\mu_L}{\mu_G} \right)^{0.1} \quad (28)$$

denklemindeki gibidir. (26) ve (27) denklemindeki C katsayıları ise sıvı ve gaz fazın akış rejimlerine bağlıdır.

Tablo 1. Katsayısı Tablosu[5]

Sıvı	Gaz	C
Türbülans	Türbülans	20
Laminer	Türbülans	12
Türbülans	Laminer	10
Laminer	Laminer	5

3.3 Grönnerud Korelasyonu

Grönnerud[7] tarafından soğutucu akışkanlar için oluşturulan korelasyon

$$\Delta p_{\text{sürtünme}} = \Phi_{gd} \Delta p_L \quad (29)$$

şeklinde. Burada çift faz çarpanı

$$\Phi_{gd} = 1 + \left(\frac{dp}{dz} \right)_{Fr} \left[\frac{\left(\frac{\rho_L}{\rho_G} \right)}{\left(\frac{\mu_L}{\mu_G} \right)^{0.25}} - 1 \right] \quad (30)$$

denklemindeki gibidir. (29)'daki Δp_L yine (13) 'teki gibi hesaplanır. Sürtünmeli basınç gradyanı Froude sayısına bağlıdır ve

$$\left(\frac{dp}{dz} \right)_{Fr} = f_{Fr} \left[x + 4 \left(x^{1.8} - x^{10} f_{Fr}^{0.5} \right) \right] \quad (31)$$

ile gösterilir. (31) denkleminde

$$f_{Fr} = 1.0 \quad Fr \geq 1 \quad (32)$$

$$f_{Fr} = Fr_L^{0.3} + 0.0055 \left(\ln \left(\frac{1}{Fr_L} \right) \right)^2 \quad Fr < 1 \quad (33)$$

katsayıları önerilir. Burada sıvı Froude sayısı

$$Fr_L = \frac{\dot{m}_{\text{toplama}}^2}{g d_i \rho_L^2} \quad (34)$$

denklemindeki gibidir.

3.4 Chisholm Korelasyonu

Chisholm[8] 'un oluşturduğu ampirik metot geniş çalışma şartlarına uygundur. Çift fazda sürtünmeli basınç düşümü gradyanı içeren korelasyonu basitçe

$$\left(\frac{dp}{dz}\right)_{sürtünme} = \left(\frac{dp}{dz}\right)_L \Phi_{Ch}^2 \quad (35)$$

şekindedir. Sıvı ve gaz basınç düşümü gradyanı ise sırayla

$$\left(\frac{dp}{dz}\right)_L = f_L \frac{2\dot{m}_{toplam}^2}{d_i \rho_L} \quad (36)$$

$$\left(\frac{dp}{dz}\right)_G = f_G \frac{2\dot{m}_{toplam}^2}{d_i \rho_G} \quad (37)$$

denklemlerindeki gibidir. Sürtünme faktörleri yine (14) ve (15) 'in sıvı ve gaz fazı için hesaplanmasıyla bulunur. Y parametresi ise sıvı ve gaz faz sürtünme gradyanlarının birbirleriyle oranından elde edilir.

$$Y^2 = \frac{(dp/dz)_G}{(dp/dz)_L} \quad (38)$$

Çift faz çarpanı ise $n=0.25$ iken

$$\Phi_{Ch}^2 = 1 + (Y^2 - 1) \left[Bx^{(2-n)/2} (1-x)^{(2-n)/2} + x^{2-n} \right] \quad (39)$$

şekindedir.

$0 < Y < 9.5$ durumunda, Chisholm parametresi B

$$B = \frac{55}{\dot{m}_{total}^2} \quad \dot{m}_{toplam} \geq 1900 \text{ kg/m}^2\text{s}$$

$$B = \frac{2400}{\dot{m}_{total}} \quad 500 \leq \dot{m}_{toplam} \leq 1900 \text{ kg/m}^2\text{s} \quad (40)$$

$$B = 4.8 \quad \dot{m}_{toplam} < 500 \text{ kg/m}^2\text{s}$$

$9.5 < Y < 28$ eşitsizliğinde, B değeri

$$B = \frac{520}{Y \dot{m}_{toplam}^{0.5}} \quad \dot{m}_{toplam} \leq 600 \text{ kg/m}^2\text{s} \quad (41)$$

$$B = \frac{21}{Y} \quad \dot{m}_{toplam} > 600 \text{ kg/m}^2\text{s}$$

$Y > 28$, B değeri

$$B = \frac{15000}{Y^2 \dot{m}_{toplam}^2} \quad (42)$$

3.5 Bankoff Korelasyonu

Homojen akış modelinin gelişmiş hali olarak da adlandırılan Bankoff[9] modeli çift faz çarpanının bir fonksiyonu olarak

$$\left(\frac{dp}{dz}\right)_{sürtünme} = \left(\frac{dp}{dz}\right)_L \Phi_{Bf}^{7/4} \quad (43)$$

denklemleri oluşturulmuştur. Burada sıvı faz sürtünmeli basınç gradyanı (36) denklemleri hesaplanır. Çift faz çarpanı denkleminin hesabı ise

$$\Phi_{Bf} = \frac{1}{1-x} \left[1 - \gamma \left(1 - \frac{\rho_G}{\rho_L} \right) \right]^{3/7} \left[1 + x \left(\frac{\rho_L}{\rho_G} - 1 \right) \right] \quad (44)$$

$$\gamma = \frac{0.71 + 2.35 \left(\frac{\rho_G}{\rho_L} \right)}{1 + \left(\frac{1-x}{x} \right) \left(\frac{\rho_G}{\rho_L} \right)} \quad (45)$$

şeklinde. Bu korelasyon düşük buhar kalitelerinde doğru sonuçlar vermekte fakat yüksek buhar kalitesinde gerçek değerden sapmalar göstermektedir [9].

3.6 Chawla Korelasyonu

Chawla[10] buhar basıncı gradyanı temelli korelasyonu

$$\left(\frac{dp}{dz}\right)_{sürtünme} = \left(\frac{dp}{dz}\right)_G \Phi_{Chawla} \quad (46)$$

şeklinde tanımlandı. Gaz fazındaki sürtünmeli basınç düşümü (37) 'den hesaplanır . Çift faz çarpanı ise

$$\Phi_{Chawla} = x^{1.75} \left[1 + S \left(\frac{1-x\rho_G}{x\rho_L} \right) \right]^{2.375} \quad (47)$$

denklemleri hesaplanmıştır. Kayma oranı (S) ise

$$S = \frac{u_G}{u_L} = \frac{1}{9.1 \left[\frac{1-x}{x} (\text{Re}_G \text{Fr}_H)^{-0.167} \left(\frac{\rho_L}{\rho_G} \right)^{-0.9} \left(\frac{\mu_L}{\mu_G} \right)^{-0.5} \right]} \quad (48)$$

gibidir. Fr_H (20) ve Re_G buhar viskozitesiyle (14) denklemindeki gibi hesaplanır. Bu korelasyon da sadece düşük buhar kalitelerinde doğru sonuç vermektedir [10].

3.7 Muller-Steinhagen and Heck Korelasyonu

Muller-Steinhagen ve Heck[11] tarafından bütün gaz ve sıvı fazların interpolasyonları sonucunda oluşturduğu çift fazlı basınç gradyanı korelasyonu önerildi.

$$\left(\frac{dp}{dz} \right)_{\text{sürtünme}} = G(1-x)^{1/3} + Bx^3 \quad (49)$$

Burada G katsayısı

$$G = A + 2(B - A)x \quad (50)$$

şeklinde. A ve B katsayıları sırasıyla $(dp/dz)_L$ ve $(dp/dz)_G$ sürtünmeli basınç gradyanlarıdır. Sayısal değerleri (36) ve (37) ile bulunur.

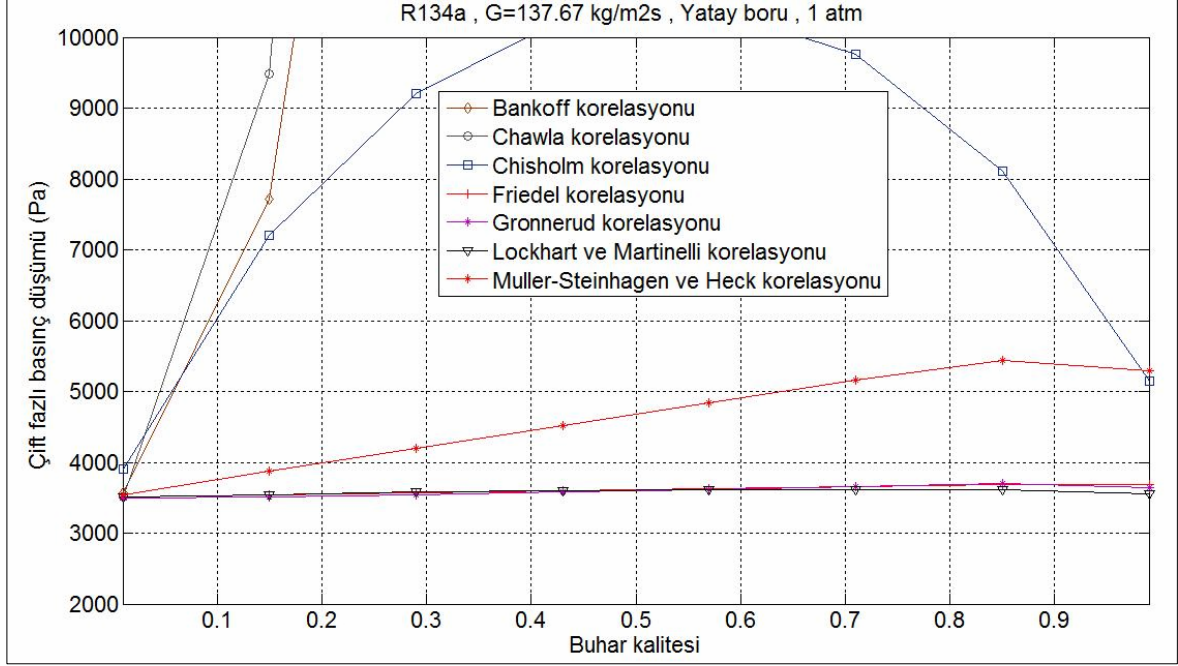
4. SONUÇ VE TARTIŞMA

Whalley[12] yaptığı uzun çalışmalar sonucund ;

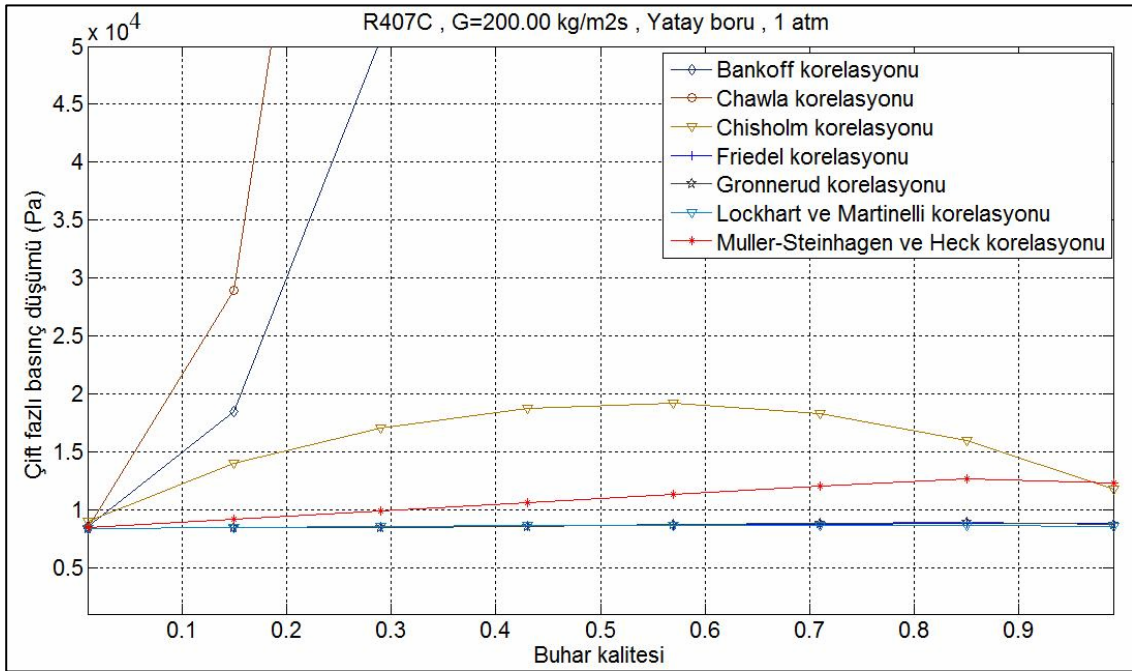
- $(\mu_L / \mu_G) < 1000$ ve $\dot{m} < 2000$ [kg/m²s] şartları altında Friedel korelasyonunun,
- $(\mu_L / \mu_G) > 1000$ ve $\dot{m} > 100$ [kg/m²s] şartları sağlandığında Chisholm korelasyonunun,
- $(\mu_L / \mu_G) > 1000$ ve $\dot{m} < 100$ [kg/m²s] halinde Lockhart-Martinelli korelasyonunun,

uygun olduğunu önerdi.

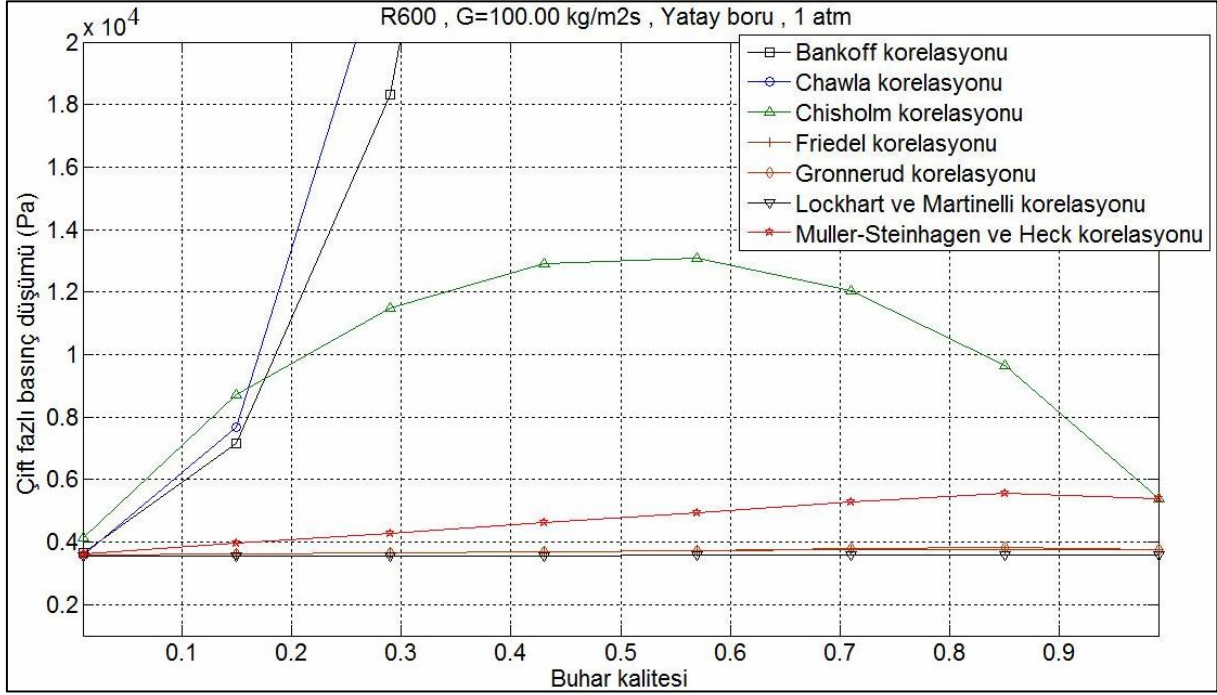
Tribbe ve Müller-Steinhagen[13] 'in yaptığı araştırmalar sonucunda ise çift fazlı akışkanlar için Müller-Steinhagen ve Heck(1986) korelasyonunun en uygun denklem olduğu görüldü. Ould - Didi – Kattan – Thome [14] da çift fazlı akışkanlardaki basınç düşümleri üzerine araştırmalarda bulundu. Grönnerud[7] ve Müller-Steinhagen[11] korelasyonunun, Friedel[6] korelasyonu ile benzer karakter gösterdiğini buldu. Ayrıca yine Ould – Didi – Kattan – Thome[14] akışkan verilerini Kattan-Thome-Favrat[15] akış rejimi haritasına koydu. Halkasal akış, kesikli akış ve tabakalı-dalgalı akış üzerinden açıklanan sonuçlara göre; halkasal akış rejimi için en iyi yöntemin Müller-Steinhagen ve Heck[13] korelasyonu, kesikli akış için Grönnerud [7] korelasyonu ve yine katmanlı-dalgalı akış için Grönnerud[7] korelasyonu olduğunu öne sürdü.



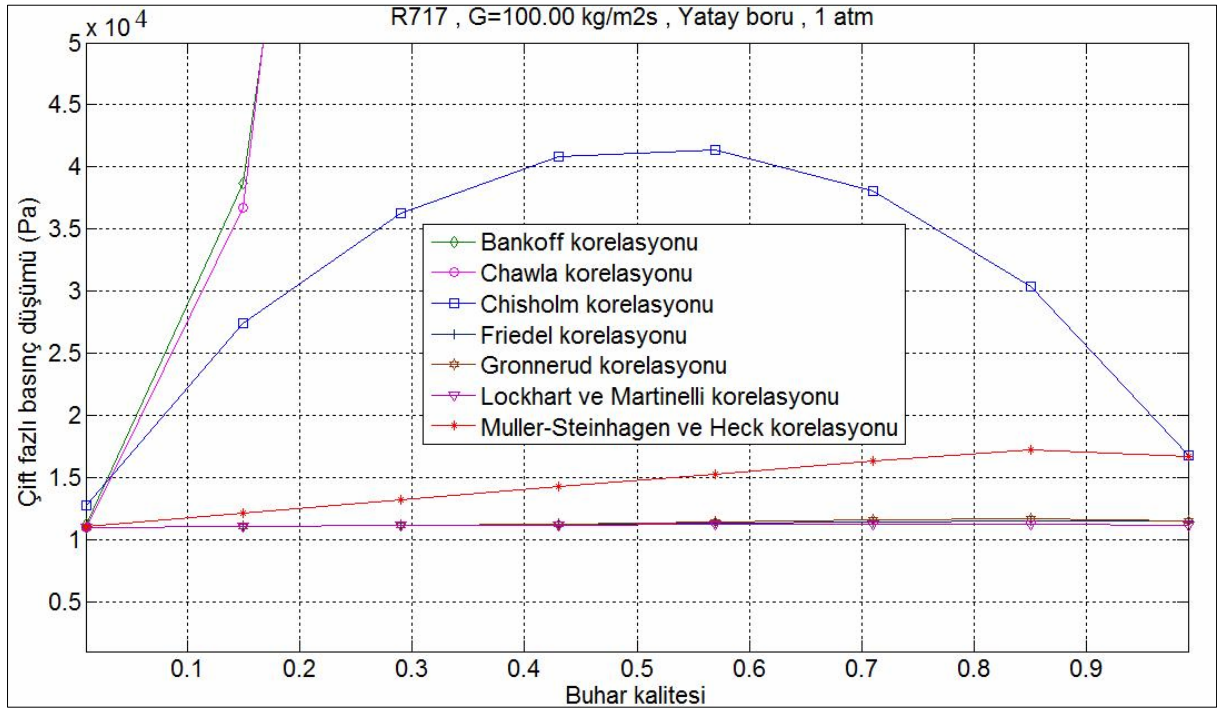
Şekil 1. R134a İçin Korelasyonların Toplu Gösterimi



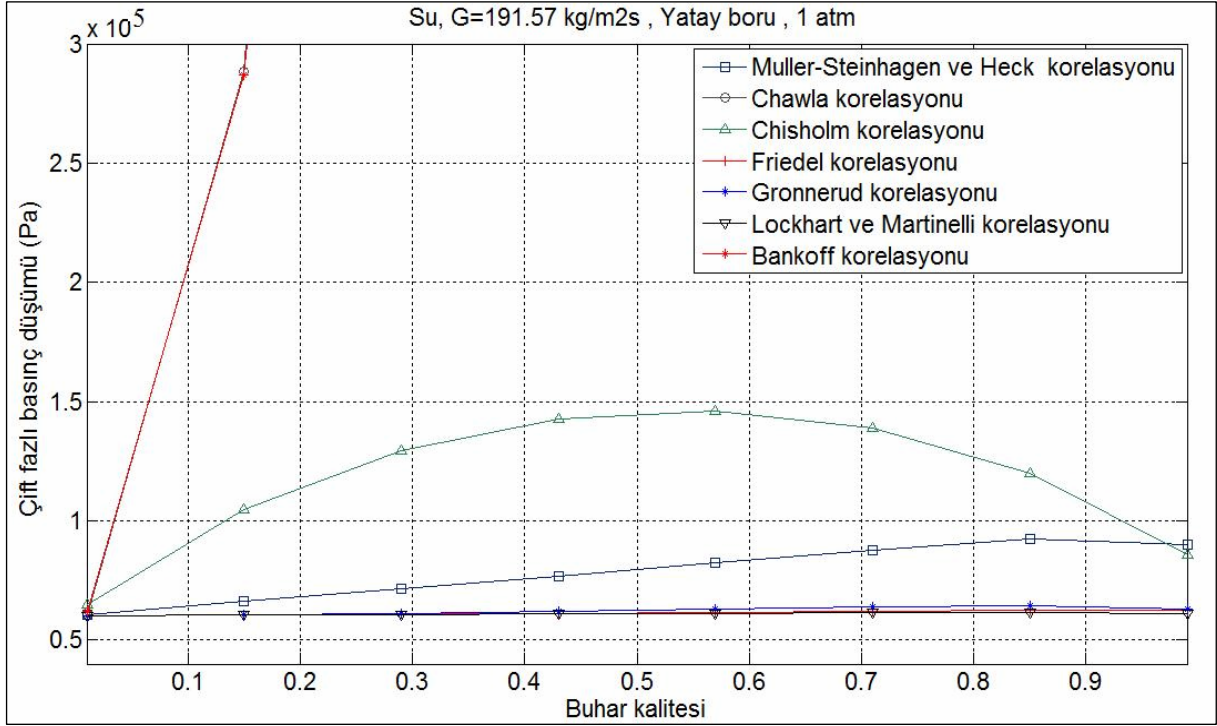
Şekil 2. R407C İçin Korelasyonların Karşılaştırılması



Şekil 3. R600(Bütan) İçin Korelasyonların Toplu Gösterimi



Şekil 4. R717 (NH₃) İçin Korelasyonların Toplu Gösterimi



Şekil 5. Su(R718) için Korelasyonların Toplu Gösterimi

10 cm uzunluğundaki deney boruları için bilgisayar ortamında hazırlanmış karşılaştırmalarda görüldüğü gibi Grönnerud[7], Friedel[6] ve Lockhart-Martinelli[5] korelasyonu benzer karakteristik göstermiştir. Bu sonuç yukarıdaki adı geçen birçok çalışmayı doğrulamaktadır.

SEMBOLLER VE KISALTMALAR

Δp_{statik} : Statik basınç düşümü [Pa]

$\Delta p_{momentum}$: Momentum basınç düşümü [Pa]

$\Delta p_{sürtünme}$: Sürtünmeli basınç düşümü [Pa]

g: Yerçekimi ivmesi [m/s^2]

ρ_L : Sıvı faz yoğunluğu [kg/m^3]

ρ_G : Gaz faz yoğunluğu [kg/m^3]

H: Borunun uzunluğu [m]

ρ_H : Homojen yoğunluk [kg/m^3]

ε_H : Homojen faz – hacim oranı

u_g : Borudaki buhar faz hızı [m/s]

u_l : Borudaki sıvı faz hızı [m/s]

x: Buhar kalitesi

S: Kayma oranı

Δp_G : Buhar fazı basınç düşümü [Pa]

$\left(\frac{dp}{dz}\right)_{mom}$: Momentum basınç gradyanı

d_i : Boru çapı [m]

\dot{m}_{toplam} : Akışkan kütle hızı [kg/m^2s]

f_{tp} : Ortalama sürtünme faktörü

f_L : Sıvı faz sürtünme faktörü

f_G : Buhar faz sürtünme faktörü

Re: Reynolds sayısı

μ_{tp} : Ortalama viskozite [Pa.s]

μ_L : Sıvı fazı viskozitesi [Pa.s]

μ_G : Gaz fazı viskozitesi [Pa.s]

σ : Yüzey tansiyonu [Pa/m]

Φ : Çift faz çarpanı

Δp_L : Sıvı faz basınç düşümü [Pa]

We: Webber sayısı

Fr: Froude sayısı

 X_{tt} : Martinelli parametresi $(dp/dz)_{L,G}$: Sıvı ve gaz fazı basınç gradyanları

KAYNAKLAR

- [1] Furutera M.(1986). Validity of Homogeneous Flow Model for Instability Analysis, Nuclear Engineering and Design, Volume 95, Pages 65–77
- [2] Feng F., Klausner J.F.,(1997). A Separated Flow Model for Predicting Two-Phase Pressure Drop and Evaporative Heat Transfer for Vertical Annular Flow, International Journal of Heat and Fluid Flow, Volume 18, Issue 6, Pages 541–549
- [3] Steiner, D. (1993). VDI-Warmeratlas (VDI Heat Atlas), Verein Deutscher Ingenieure, VDI-Gesellschaft Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen (GCV), Duesseldorf, Chapter Hbb.
- [4] Rouhani, Z. And Axelsson, E.(1970). Calculation of Volume Void Fraction in the Subcooled and Quality Region, Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 13, pp. 383–393
- [5] Lockhart, R. W. And Martinelli, R. C. (1949). Proposed Correlation Data for Isothermal Two Phase Two-Component Flow in Pipes, Chem. Eng. Progr., Vol. 45, pp. 39–45
- [6] Friedel, L. (1979). Improved Friction Pressure Drop Correlations for Horizontal and Vertical Two Phase Pipe Flow, European Two-Phase Flow Group Meeting, Ispra, Italy, June, Paper E2.
- [7] Grönnerud, R. (1972). Investigation in Liquid Holdup, Flow Resistance and Heat Transfer in Circular Type Evaporators, Part IV: Two-Phase Resistance in Boiling Refrigerants, Bulletin de l'Inst. du Froid, Annexe 1972–1
- [8] Chisholm, D. (1973). Pressure Gradients Due to Friction during the Flow of Evaporating Two-Phase Mixtures in Smooth Tubes and Channels, Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 16, pp.347–358
- [9] Bankoff, S.G. (1960). A Variable Density Single-Fluid Model for Two-Phase Flow with Particular Reference to Steam – Water, J.Heat Transfer, Vol. II, Series B, pp.265–272
- [10] Chawla, J.M (1967). Wärmeübergang and Druckabfall in Waagerechten Röhren beider Strömung von verdampfenden Kältemitteln, Kältetechnik-Limatisierung, Vol 8, pp. 246–252
- [11] Müller – Steinhagen, H. and Heck, K. (1986). A Simple Friction Pressure Drop Correlation for Two-Phase Flow in Pipes, Chem. Eng. Processing, Vol. 20, pp 297–308
- [12] Whalley, P. (1980). See Hewitt, G.F.(1983). Multiphase Flow and Pressure Drop, Heat Exchanger Design Handbook, Hemisphere, Washington, D.C., Vol.2, pp.2.3.2-11
- [13] Tribbe, C. And Müller-Steinhagen, H.M.(2000). An Evaluation of the Performance of Phenomenological Models for Predicting Pressure Gradient during Gas-Liquid Flow in Horizontal Pipelines, Int. J. of Multiphase Flow, Vol. 26, pp.1019–1036
- [14] Ould Didi, M.B., Kattan, N. and Thome, J.R.(2002). Prediction of Two-Phase Pressure Gradients of Refrigerants in Horizontal Tubes, Int. J. Refrigeration, Vol. 25, No. 7, pp.935–947
- [15] 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 pp. 140–147

ÖZGEÇMİŞ

Mustafa Turhan ÇOBAN

1957 yılı seben, Bolu doğumludur. 1978 yılında Ege Üniversitesi Makine Fakültesi, Makine bölümünü bitirmiş, 1982 Yılında Michigan Teknik Üniversitesi (A.B.D.) Makine Mühendisliği ve Mühendislik Mekanik bölümünden Yüksek lisans derecesi, 1986 Yılında Utah Üniversitesi (A.B.D.), Mühendislik fakültesi, makine mühendisliği bölümünden Doktora derecesi, 1995 Yılında Victoria Teknik Üniversitesi (Avustralya), Matematik Fakültesi, bilgisayar bölümünden Bilgisayar Mühendisliği Yüksek lisans derecesi almıştır. ARAS kompresör, Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü, Jeotermal bölümü, Imperial Chemical Industries (Avustralya), Ceramic Fuel Cells Limited (Avustralya), TUBİTAK MAM



Enerji Enstitüsü, TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsünde, Utah Üniversitesi (ABD) Makine mühendisliği, Ballarat Üniversitesi Mühendislik bölümü (Avustralya), Victoria Teknik Üniversitesi, makine mühendisliği bölümü (Avustralya), Nebraska Üniversitesi, makine mühendisliği bölümü (A.B.D.), Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Dokuz Eylül Üniversitesi makine mühendisliği bölümlerinde çalışmıştır, Halen Ege Üniversitesi Makine Mühendisliğinde enerji konularında çalışmaktadır

Oğuz Emrah TURGUT

1984 yılında Ankara'da doğdu. İlköğretimi İzmir'de Mehmet Akif Ersoy İlköğretim Okulu'nda tamamladı. Orta öğretimini yine İzmir'de 60.Yıl Anadolu Lisesi'nde geçirdi. Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nü bitirdi. Ege Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünde MSc. Derecesini yapmaktadır. Çeşitli harita ve yazılım projelerinde çalışmalarda bulundu.