

Yatay Boru İçindeki Amonyak (R717) Yoğuşma Isı Transferi ve Basınç Kaybının Mevcut Korelasyonlar İle İncelenmesi

Aykut BACAK

Makina Mühendisi
Friterm
İstanbul
bacakaykut@gmail.com
orcid: 0000-0003-3157-1992

Ali PINARBAŞI

Prof. Dr.
Yıldız Teknik Üniversitesi
Makina Mühendisliği Bölümü
alipnrb@yildiz.edu.tr
orcid: 0000-0001-8734-6730

Hüseyin ONBAŞIOĞLU

Makina Mühendisi
Friterm
İstanbul
huseyinonbasioğlu@friterm.com
orcid:

ÖZ

Amonyak gibi doğal akışkanlar 19. yy'ın ortalarından bu yana başta yiyecek üretimi ve depolama gibi proseslerde soğutma amacıyla kullanılmaktadır. Amonyak termofiziksel özelliklerinden dolayı ısı kapasitesi daha yüksek olduğundan ve diğer ekipmanları da daha ekonomik seçildiğinde, daha düşük ebatlardaki cihazlar kullanılarak aynı soğutma kapasitesini sağlamaktadır. Mevcut soğutucu akışkanların ozon tabakasında incelmeye sebebiyet vermesi ve küresel ısınmaya neden olmasından dolayı başta Kyoto Protokolü gibi uluslararası platformlarda gündeme gelmiş kloroflorokarbonlar ve hidroflorokarbonlar gibi doğaya zararlı soğutucu akışkanların kullanımında kısıtlamaya gidilmesi kararı alınmıştır. Bu protokolün aldığı kararlardan biri de mevcut soğutucu akışkanların yerine doğaya zararı daha düşük akışkanları araştırmak ve yeni nesil çevreci akışkanlara geçmektedir.

Isı transferini incelemek için daha az tehlike potansiyeli bulunan soğutucu akışkanlar tercih edilmiştir.

Bu çalışmada literatürde daha önceden düz ve boru için yapılmış olan deneysel bir çalışmanın sonuçları kullanılarak diğer akışkanlar için oluşturulmuş korelasyonlar kullanılarak yatay boru içindeki amonyak yoğuşma ısı transferi ve basınç kaybı parametreleri incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler

Amonyak, Yoğuşma Isı Transferi, Yatay Boru İçi Yoğuşma, İki Fazlı Akışlar.

Investigation of Ammonia (R717) Condensation Heat Transfer and Pressure Drop in Horizontal Tube

ABSTRACT

Natural fluids such as ammonia have been used for refrigeration in processes such as food production and storage since the mid-19th century. Due to the thermophysical properties of the ammonia, the thermal capacity is higher and when the other equipment is selected more economically, it provides the same cooling capacity by using lower size devices. As the existing refrigerants cause thinning of the ozone layer and caused global warming, it was decided to restrict the use of harmful refrigerants, such as chlorofluorocarbons and hydrofluorocarbons, which were raised in international platforms such as the Kyoto protocol. One of the decisions taken by this protocol is to replace the existing refrigerants with low-level fluids and to the next generation of environmental fluids.

Ammonia (R717) is a refrigerant that is not harmful to the environment since it has no global warming potential (GWP) and no ozone layer consumption potential (ODP) value and is derived from natural cycles. As ammonia is a smelly, flammable potential, it is a toxic fluid.

In this study, ammonia condensation heat transfer and pressure loss parameters in horizontal pipe were investigated by using the correlations created for other fluids by using the results of an experimental study which was previously made for straight and grooved tube in the literature.

Keywords

Ammonia, Condensation Heat Transfer, Horizontal Tube Condensation, Two Phase Flows.

Geliş Tarihi : 24.10.2018
Kabul Tarihi : 17.01.2019

Bacak, A., Pınarbaşı, A., Onbaşioğlu, H., Yatay Boru İçindeki Amonyak (R717) Yoğuşma Isı Transferi ve Basınç Kaybının Mevcut Korelasyonlar İle İncelenmesi, 14. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Bildiriler Kitabı, sf. 597-604, 17-20 Nisan 2019.

1. AMONYAK SOĞUTUCU AKIŞKANININ TARİHÇESİ

İnsanlar amonyağı soğutucu akışkan olarak 1950’lerde Fransa’da kullanmaya başladı ve 1860’larda Amerika Birleşik Devletleri’ne getirildi. 1900’lü yıllara kadar amonyak soğutucu akışkanı bir çok ticari işletmede buz blokları oluşturulması, yiyecekleri soğuk tutmak ve diğer kimyasalları oluşturmak için kullanıldı. 1920’lerle birlikte buz pateni pistlerinde ve 1930’lara kadar ev ve iş yerlerini soğuk tutmak için iklimlendirme cihazlarında kullanıldı. Günümüzde iklimlendirme cihazlarında yaygın olarak kullanılmamasına rağmen, gıda soğuk hava depoları ve birçok endüstriyel uygulamada tercih edilmektedir. Günümüzde amonyak; havaalanı, oteller ve üniversite kampüsleri gibi yüksek kapasiteli soğutma proseslerinde kullanılmaktadır [1]. Susuz amonyak yaygın olarak et, kümes hayvanları ve balık işleme tesislerinde, süt ve dondurma üretim merkezlerinde, alkol içecek üretiminde, meyve ve sebze suyu ile içecek işleme tesislerinde, soğuk hava depolarında, diğer gıda işleme tesislerinde, deniz mahsülleri ve deniz aşırı gıda taşıma gemileri ile petro-kimya tesislerinde soğutucu akışkan olarak kullanılmaktadır [2].

2. AMONYAK SOĞUTUCU AKIŞKANININ ÖZELLİKLERİ

Amonyak klasik alternatif soğutucu akışkanlar arasında en yaygın kullanılanıdır ve düşük maliyetli, daha iyi çevrim verimi, yüksek ısı transfer katsayısı, yüksek tespit edilebilirlik, yüksek kritik sıcaklığa sahip, sıvı pompalama maliyeti düşük ve Ozon Tabakası Tüketimi (ODP) ile Küresel Isınma Potansiyeli (GWP) olmayan soğutucu bir akışkan-

dır. Halokarbonlara göre yüksek ısı transfer kapasitesine sahip olması, uygulamalarda daha fazla toleransının bulunması amonyak akışkanını diğerlerine göre ayrıcalıklı kılmıştır. Amonyak, zehirleyici olmasının yanı sıra, kendiliğinden tutuşması oldukça zor olmasına rağmen hava ile yanabilen, kötü kokulu ve kokusu kolayca tesbit edilebilen ve atmosferde hızlı bir şekilde kaybolan soğutucu akışkandır [3]. Susuz amonyak doğada korozif değildir ancak bakır, pirinç ve diğer demir içermeyen malzemelerde korozyon özelliği gösterir. Bu yüzden amonyaklı sistemlerde bakır kullanımından kaçınılmalıdır. Amonyak soğutucu akışkanı kompresörün karterinde yağ ile karışmaz ancak kompresörden çıkarken yağ parçacıklarını evaporatör ve kompresöre taşır, bu nedenle amonyaklı sistemde yağ ayırıcı kullanılmalıdır. Amonyak doğada hemen hemen her yerde bulunur ve bu yüzden ucuzdur ve soğutma sistemlerinde maliyeti azaltır. Bütün bu özellikleri göz önüne alındığında ve zehirlilik esas faktör değilse ideal bir soğutucu akışkan olarak nitelendirilebilir [4].

Amonyak soğutucu akışkanı Küresel Isınma Potansiyeli (GWP) ve Ozon Tüketim Potansiyeli (ODP) olmayan ve bu özelliği ile diğer soğutucu akışkanlardan üstün olan bir soğutucu akışkandır. Amonyak akışkanının ODP ve GWP değerleri Tablo 1’de belirtilmiştir [5].

3. AMONYAK SOĞUTUCU AKIŞKANI KULLANIM SEBEPLERİ

1987’de Montreal Protokolü’nün imzalanmasından sonra ozon tabakasını tüketen ve küresel ısınmaya sebebiyet veren kloroflorokarbonlara (CFCs) alternatif soğutucu akışkanların araştırılması gündeme

Tablo 1. Çeşitli Soğutucu Akışkanların Ozon Tüketim ve Küresel Isınma Potansiyeli

	Ozon Tabakası Tüketim Potansiyeli (ODP)	Küresel Isınma Potansiyeli (GWP)
Amonyak (NH ₃)	0	0
Karbondiyoksit (CO ₂)	0	1
Hidrokarbonlar (Propan C ₃ H ₈ , Büten C ₄ H ₁₀)	0	3
Su (H ₂ O)	0	0
Kloroflorokarbonlar (CFCs)	1	4,680-10,720
Kısmi Halojenli Kloroflorokarbonlar (HCFCs)	0,02-0,06	76-2,270
Perflorinli Hidrokarbonlar (PFCs)	0	5,820-12,010
Kısmi Halojenize Florinli Hidrokarbonlar (HFCs)	0	122-14,310

geldi. Araştırmalar, ozon tabakası tüketim potansiyeli, sera etkisi, yanıcılık ve zehirlilik parametreleri ile değerlendirildi. Dört parametrenin tümünü sağlayan bir akışkan bulunmadığı için minimum risk olacak şekilde araştırmalar sürdürüldü. Bu nedenle alternatif soğutucu akışkanlar hidroflorokarbonlar (HFCs) ve amonyak, propan ve bütan gibi doğal akışkanlar tercih edildi [6].

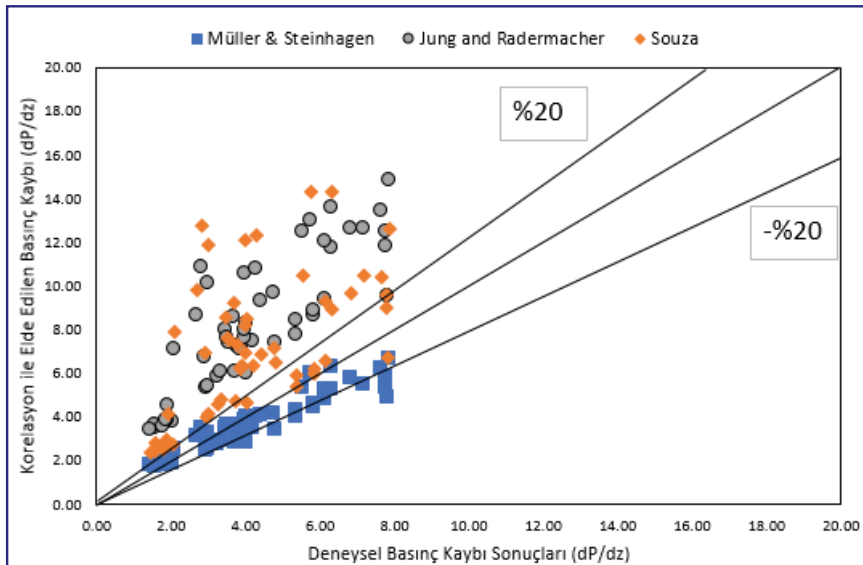
Amonyak kullanım sebepleri aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- **Daha ucuz:** Amonyaklı soğutucular daha kısa borulama gerektirir ve tesisat maliyeti daha ucuz olur. Diğer tiplere göre maliyeti %10-20 daha ucuzdur.
- **Verimli:** Amonyaklı soğutma HFC kullanan diğer soğutma yöntemlerine göre %3-10 daha verimlidir.
- **Çevre sağlığı:** HFC'ların aksine amonyak soğutucu akışkanının Küresel Isınma Potansiyeli yoktur.
- **Kimyasal maliyet:** Amonyak eldesi diğer HFC'lara göre daha ucuzdur.

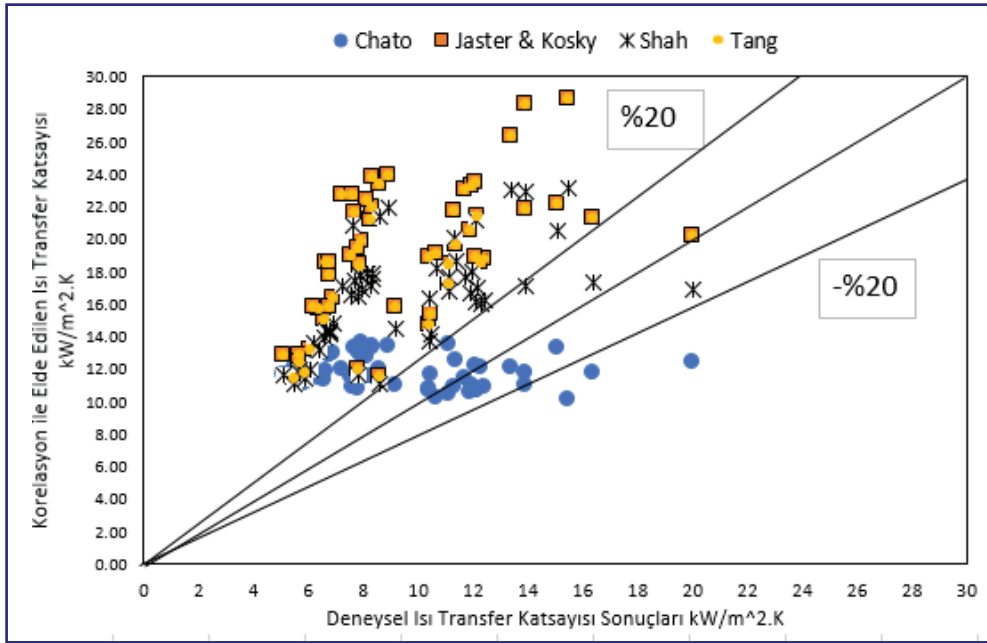
4. SAF AMONYAKLI YOĞUŞMA SİSTEMİNDE ISI TRANSFERİ ve BASINÇ KAYBININ İNCELENMESİ

Literatürde amonyak akışkanının kullanıldığı yatay olarak yerleştirilmiş sistemlerde yoğuşma ısı transferinin ve basınç kaybının doğrudan incelendiği birkaç çalışma bulunmaktadır. Bunlardan

Vollrath ve ark. [7], yatay olarak yerleştirilmiş 8,1 mm çapındaki düz ve yivli boru içerisindeki saf amonyak akışı esnasındaki yoğuşma ısı transfer katsayısı ve basınç kaybını incelemişlerdir. Deneysel çalışmalarını ilkinde üst kısımda düz ve alt kısımda yivli boru, ikincisinde bu yerleşimin tam tersi ve üçüncüsünde yeni bir test bölmesi olacak şekilde üç farklı yöntemle incelemişlerdir. Üç farklı deney sonuçlarını Cavallini (2002), Dobson (1994), Thome (2003), Chen (1966), Shah (1979), Tang (1997) ve Travis'in (1973) oluşturduğu korelasyonlar ile karşılaştırmışlardır. Belirtilen korelasyonların deneysel üç deney grubu için deneysel sonuçlardan ± 20 'den fazla sapma meydana getirdiğini gözlemlemişlerdir. Yatay olarak yerleştirilmiş yivli borunun içindeki amonyak yoğuşma ısı transferi incelendiğinde yoğuşma ısı transfer katsayısının ortalama yarı yarıya azaldığını gözlemişlerdir. Düz boru için yapılan deneylerde basınç kaybı ise Friedel (1979), Jung ve Radermacher (1989) ve Souza (1993) korelasyonları ile karşılaştırılmış ve deneysel sonuçlardan üç korelasyonunda deney sonuçlarından ± 20 'den fazla sapmanın olduğunu gözlemişlerdir. Komandiwirya ve ark. [8], yatay olarak yerleştirilmiş düz ve yivli boru içerisinde saf amonyaklı ve %1-5 yağ ve amonyak karışımındaki akış esnasında yoğuşma ısı transferini ve basınç kaybını incelemişlerdir. Amonyak yağ karışımı için yüksek kütle akılarında ve kuruluk derecelerinde ısı transfer katsayısının düştüğü gözlemlemişlerdir. Thome (2003) korelasyonu-



Şekil 1. Amonyak halka akışı Komandiwirya ve ark / Vollrath ve ark. Basınç kaybı deneysel sonuçlarının korelasyon sonuçları ile karşılaştırması



Şekil 2. Amonyak halka akışı Komandiwirya ve ark / Vollrath ve ark. ısı transfer katsayısı deneysel sonuçlarının korelasyon sonuçları ile karşılaştırması

nun ısı transfer katsayısını elde etmede ve Jung ve Radermacher ile Souza korelasyonlarının basınç kaybını elde etmede yakınsak sonuçlar verdiğini gözlemlemişlerdir. Park ve ark [9], Komandiwirya ve ark. deney sonuçlarından yola çıkarak yatay düz boru içindeki yoğunlaşma ısı transferi sonuçlarını serbest taşınım ve zorlanmış taşınım yoğunlaşma rejimi arasındaki yüzey açısı ve sıvı amonyak film kalınlığına bağlı olarak korelasyon elde etmişler ve bu korelasyonu kullanarak elde edilen sonuçların deneysel sonuçlardan ± 20 sapma olduğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca yayat olarak yerleştirilmiş düz bir boru içerisindeki iki fazlı basınç düşümünü inceleyerek Müller ve Steinhagen (1986), Friedel (1979) ve McAdams (1942) korelasyonlarıyla karşılaştırarak elde edilen sonuçların deneysel sonuçlardan maksimum ± 30 sapma olduğunu, en iyi sonucu Müller&Steinhagen korelasyonunun verdiğini gözlemlemişlerdir. Müller&Steinhagen korelasyonunun basınç kaybı 1 kPa/m'den daha yüksek değerleri için daha yakınsak sonuçlar verdiğini ifade etmişlerdir.

Volrath ve ark [7] ve Komandiwirya [8] amonyak akışının halka akışı olarak gerçekleştiği deney sonuçlarının belirtilen korelasyonlar ile karşılaştırması Şekil 1'de ifade edilmiştir.

5. REGRESYON ANALİZİ / EĞRİ SABİTLEME YÖNTEMİ İLE KORELASYONUN AMONYAK AKIŞI İÇİN BASINÇ KAYBI ve ISI TRANSFER KORELASYONLARININ ELDESİ

Regresyon analizi eğri sabitleme yöntemi kullanılarak basınç kaybı ve ısı transferi incelenmiştir. Regresyon analizi için Komandiwirya ve ark. ile Vollrath ve ark. deneysel çalışmaları sonucu elde edilmiş sonuçlar referans alınmıştır. Bu çalışma 8,1 mm çapındaki yatay olarak yerleştirilmiş pürüzsüz (düz) boru içinde 120-270 kg/m².s kütle akışı, 0,37-0,95 kuruluk dercesinde ve 35 °C yoğunlaşma sıcaklığı sınır koşulları uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Regresyon analizi yapılırken basınç kaybı ile ilgili tekil parametrelerin ve mevcut korelasyonların deney sonuçları üzerindeki ağırlıkları incelenmiştir. Müller ve Steinhagen'ın basınç kaybı için türetilmiş olduğu basınç kaybı ifadesinden hesaplanan iki faz çarpanının deneysel sonuçlar üzerindeki ağırlığı incelenerek amonyak akışkanını için Eşitlik 1'de gösterilen korelasyon türetilmiştir. Regresyon analizi bağımlı değişkeni ölçme gücü olan R-sq değerinin %76,76 olduğu görülmektedir. Bu değer deneysel sonuca olan yakınsama değerini ifade etmekte olup Şekil 3.a'dan görüleceği üzere korelasyon sonucu elde edilen sonuçların büyük bir çoğunluğunun

±%20 sapma dahilinde olduğu görülmektedir.

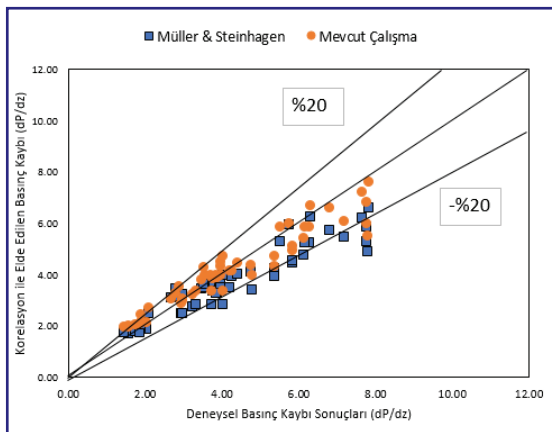
Regresyon analizi eğri sabitleme yöntemi kullanılarak korelasyonu elde edilen diğer bir parametre ısı transfer katsayısıdır. Isı transferi için yapılan regresyon analizi, basınç kaybı regresyon analizinde olduğu gibi 8,1 mm çapındaki yatay olarak yerleştirilmiş pürüzsüz (düz) boru içinde 120-270 kg/m².s kütle akışı, 0,37-0,95 kuruluk derecesinde ve 35 °C yoğuşma sıcaklığı sınır koşulları uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Regresyon analizi için Komandiwirya ve ark. ile Vollrath ve ark. deneysel çalışmaları sonucu elde edilmiş sonuçlar referans alınmıştır. Yapılan regresyon analizi esnasında deneysel sonuçlar üzerinde etkili olan parametrelerin sıvı fazdaki Reynolds sayısı, Prandtl sayısı ve Froude sayısı olduğu gözlenmiştir ve Eşitlik 2'de belirtilen korelasyon elde edilmiştir. Regresyon analizi sonuçlarından görüldüğü üzere maksimum sapmanın %52,34 mertebelerinde olduğu gözlenmiştir. Elde edilen korelasyon ile ısı taşınım katsayısı sonuçlarının deneysel sonuçlar ile karşılaştırması Şekil 3.b'de gösterilmiştir.

$$\Phi_{lo}^2 = -0,00426 + 1,341 \Phi_{Müller}^2 \quad (1)$$

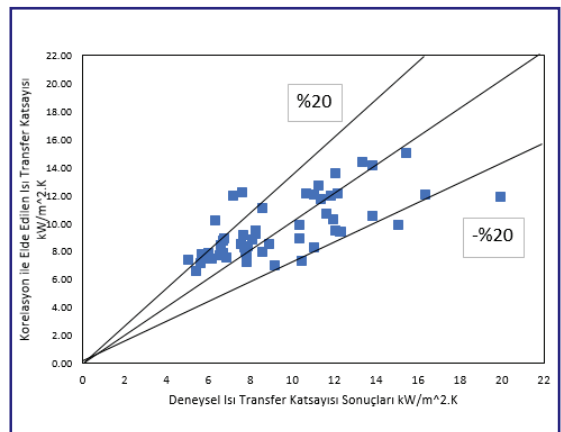
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0,0034292	76,76%	76,31%	75,25%

$$Nu = 10536 - 0,00710 Re_{siv1} - 8147 Pr_{siv1} + 24,0 Fr_{siv1} \quad (2)$$

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
43,7598	52,34%	49,48%	45,37%



3.a



3.b

Şekil 3. Regresyon analizi sonucu elde edilen basınç kaybı (a) ve ısı transfer katsayısı (b) sonuçları

6. SONUÇ

Soğutucu akışkan olarak amonyak zehirleyici etkiye sahip olmasına rağmen yüksek ısı transfer özellikleri nedeniyle geniş hacimli soğutma uygulamalarında kullanılan bir akışkan türü olup, küresel ısınma ve ozon tabakası tüketim potansiyeli olmaması nedeniyle küresel ısınmaya bir etkisi yoktur. Soğutma sistemlerinde amonyak kullanımı, akışkanın yüksek ısı transfer özelliklerinden dolayı daha az konstrüktif malzeme kullanılarak yüksek kapasite elde edilebilir. Amonyak ile çalışan ürünlerde ısı kapasiteyi arttırmanın bir yolu olarak akışkanı taşıyan borularda yüzey alanı artırma ve yivli boru kullanmak gerekir. Ancak yivli boru kullanımı da her zaman ısı transfer kapasitesini arttırmayabilir. Dolayısıyla farklı yiv yükseklik ve açıları deneylerin gerçekleştirilerek kapasitenin tayin edilmesi gereklidir. Yatay bir boru içerisinde halka, kesikli, katmanlı-düzgün ve katmanlı-dalgalı akış gerçekleşir. Deneysel koşullara ancak halka akış koşullarında yakınsama yapılabilmektedir. İki fazlı akışlarda fazlar arası yüzey alanı, her bir fazın hızı, fazlar arası sürtünme, yüzey gerilmesi ve temas açısı gibi bir çok parametrelerin ölçülmesi ve hesaba katılması gerekir. Kapasitenin daha kolay yoldan tayin edilmesinin bir yolu da korelasyon kullanımından geçmektedir. Deneysel sonuçlara yakın sonuçlar veren bir korelasyon elde etmek için daha fazla sayıda deney verisine ihtiyaç vardır. Bu bildiride kullanılan korelasyonlar Tablo 2'de belirtilmiştir.

Tablo 2. Kullanılan Basınç Kaybı ve Yoğuşma Isı Transfer Katsayısı Korelasyonları

	Korelasyon
Müller-Steinhagen ve Heck (1986)	$\left(\frac{dP}{dz}\right)_{\text{sürtünme}} = a(1-2x)(1-x)^{1/3} + b[2x(1-x)^{1/3} + x^3]$ $a = \left(\frac{dP}{dz}\right)_{\text{lo}} = 0.079 \left[\frac{\mu_l}{GD}\right]^{0.25} \left[\frac{2G^2}{D\rho_l}\right]$ $b = \left(\frac{dP}{dz}\right)_{\text{vo}} = 0.079 \left[\frac{\mu_v}{GD}\right]^{0.25} \left[\frac{2G^2}{D\rho_v}\right]$
Jung ve Jadermacher (1989)	$\Phi_{\text{lo}}^2 = 12.82X_{\text{tt}}^{1.47}(1-x)^{2.8}$
Souza ve ark. (1993)	$\Phi_{\text{lo}}^2 = (1.376 + C_1X_{\text{tt}}^{C_2})(1-x)^{1.75}$ $C_1 = \begin{cases} 4.172 + 5.480Fr_l - 1.564Fr_l^2 & 0 < Fr_l \leq 0.7 \\ 7.242 & Fr_l > 0.7 \end{cases}$ $C_2 = \begin{cases} 1.773 - 0.169Fr_l & 0 < Fr_l \leq 0.7 \\ 1.655 & Fr_l > 0.7 \end{cases}$
Chato (1962)	$Nu = 0.555 \left(\frac{\rho_l(\rho_l - \rho_v)gh_{lv}D^3}{k_l\mu_l(T_{\text{doy}} - T_{\text{yüzey}})} \right)^{0.25}$
Jaster and Kosky (1976)	$Nu = 0.728\alpha^{0.75} \left(\frac{\rho_l(\rho_l - \rho_v)gh_{lv}D^3}{k_l\mu_l(T_{\text{doy}} - T_{\text{yüzey}})} \right)^{0.25}$
Shah (1979)	$Nu = 0.023Re_l^{0.8}Pr_l^{0.4} \left[1 + \frac{3.8}{P_{\text{red}}^{0.38}} \left(\frac{x}{1-x} \right)^{0.76} \right]$
Tang (1997)	$Nu = 0.023Re_l^{0.8}Pr_l^{0.4} \left[1 + 4.863 \left(-\ln(P_{\text{red}}) \frac{x}{1-x} \right)^{0.836} \right]$

KISALTMALAR

D	Çap [m]
Fr _l	Sıvı faz Froude sayısı [-]
g	Yerçekimi ivmesi [m/s ²]
h	Buharlaştırma entalpisi [kJ/kg]
kl	Sıvı faz ısı iletim katsayısı [W/m ² K]
Nu	Nusselt Sayısı
P _{red}	İndirgenmiş basınç
Pr _l	Sıvı fazı Prandtl sayısı
Re _l	Sıvı faz Reynolds sayısı
T _{doy}	Doyma sıcaklığı [°C]
T _{yüzey}	Yüzey sıcaklığı [°C]
x	Kuruluk derecesi
X _{tt}	Lockhart-Martinelli parametresi

ρ _l	Sıvı faz yoğunluğu [kg/m ³]
ρ _v	Buhar faz yoğunluğu [kg/m ³]
μ _l	Dinamik viskozite [Pa.s]
Φ _{lo}	İki faz çarpanı

KAYNAKLAR

- [1] Website 1, <https://www.creativesafetysupply.com/articles/ammonia-refrigeration/> 14.01.2019.
- [2] Website 2, https://www.osha.gov/SLTC/etools/ammonia_refrigeration/index.html 14.01.2019.
- [3] Dinçer, İ., Kanoğlu, K., “Refrigeration Systems and Applications”, Second Edition, Wiley, 2003.
- [4] Websit 3, <https://www.brighthubengineering.com/hvac/64242-properties-of-ammonia-gas-or-r717-used-as-refrigerant/> 14.01.2019.

- [5] IPCC/TEAP Special Report: Safeguarding the Ozone Layer and the Global Climate System: Issues Related to Hydrofluorocarbons and Perfluorocarbons, 2005.
- [6] Maclaine, I., L., Leonardi, E., “Why Hydrocarbons Save Energy, AIRAH Journal 51 (6), 33-37, June 1997.
- [7] Vollrath, J., E., Hrnjak, P., S., Newel, T., A., “An Experimental Investigation of Pressure Drop and Heat Transfer in an In-Tube Condensation of Pure Ammonia, ACRC CR-51, 2003.
- [8] Komandiwirya, H., B., Hrnjak, P., S., Newel, T. A., “An Experimental Investigation of Pressure Drop and Heat Transfer in an In-Tube Condensation System of Ammonia with and without Miscible Oil in Smooth and Enhanced Tubes”, ACRC CR-54, 2005.
- [9] Park, C., Y., Hrnjak, P., “NH₃ In-Tube Condensation Heat Transfer and Pressure Drop in Smooth Tube, International Journal of Refrigeration 31, 643-651, 2008.