



**Bu bir MMO
yayıdır**

MMO bu yayındaki ifadelerden, fikirlerden, toplantıda çıkan sonuçlardan, teknik bilgi ve basım hatalarından sorumlu değildir.

R-1234yf SOĞUTUCU AKIŞKANININ AKIŞ VE ISIL KARAKTERİSTİKLERİNİN SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

**KAMİL ARSLAN
MUSTAFA KARAGÖZ
EMRAH DENİZ
KARABÜK ÜNİVERSİTESİ**

**İSMAİL EKMEKÇİ
İSTANBUL TİCARET ÜNİVERSİTESİ**

R-1234yf SOĞUTUCU AKIŞKANININ AKIŞ VE ISIL KARAKTERİSTİKLERİNİN SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

Kamil ARSLAN
Mustafa KARAGÖZ
Emrah DENİZ
İsmail EKMEKÇİ

ÖZET

Hidrokloroflorokarbon (HCFC) ve kloroflorokarbon (CFC) gibi sentetik soğutucu akışkanlar, ozon tüketme ve küresel ısınma potansiyelleri ile çevreye verdikleri büyük çaplı zararlar nedeniyle son yıllarda kullanımları azaltılmakta ve bu soğutucu akışkanların yerlerine çevreyle dost ve daha verimli soğutucu akışkanların üretilmesine çalışılmaktadır. Bu bağlamda, uluslararası protokoller gereği, çevre dostu soğutucu akışkanların belirlenmesi ve yeni soğutucu akışkanların soğutma sistemlerine uyumlulukları için gayretli çalışmalar yapılmaya devam edilmektedir. Gerçekleştirilen bu çalışmada, son dönemlerde çevre dostu soğutucu akışkan olarak üretimi yapılmaya başlanan R-1234yf soğutucu akışkanının akış ve ısı transferi karakteristikleri belirlenmeye çalışılmıştır. R-1234yf soğutucu akışkanının dairesel kesit alanına sahip bir kanal içerisindeki hidrodinamik ve ısı olarak gelişmekte olan üç boyutlu laminer zorlanmış konveksiyon ısı transferi kararlı rejim şartlarında sayısal olarak incelenmiştir. Sayısal çalışma ticari Sayısal Akışkanlar Dinamiği yazılımı olan Ansys Fluent 15.0 ile gerçekleştirilmiştir. Kanal içerisindeki R-1234yf soğutucu akışının hız ve sıcaklık dağılımları farklı Reynolds sayıları için sunulmuştur. Sayısal çalışma sonuçlarından kanal içerisindeki ortalama Nusselt sayısı ve ortalama Darcy sürtünme faktörünün Reynolds sayısı ile değişimi elde edilmiş ve bu değişimler ampirik bağıntılar ile ifade edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: R-1234yf, Laminer zorlanmış taşınım, Hidrodinamik ve ısı olarak gelişmekte olan akış.

ABSTRACT

Using of synthetic refrigerants as Hydrochlorofluorocarbons (HCFCs) and Chlorofluorocarbons (CFCs) have been reduced in recent years because of their ozone depletion and large-scale damage to the environment due to the global warming potentials and it is working to be produced environmentally friendly and more efficient refrigerants for placing instead of them. In this context, the required international protocols, it is continuing to do hard work for identification of new environmentally friendly refrigerants and compliance of new refrigerants with the cooling system. In this study, the flow and heat transfer characteristics of R-1234yf, which is produced recently for environmentally friendly refrigerant, were determined. Hydrodynamically and thermally developing three-dimensional laminar forced convection flow and heat transfer of R-1234yf refrigerant in circular cross-sectioned duct were studied numerically under steady-state conditions. Numerical study was performed by commercial Computational Fluid Dynamics software Ansys Fluent 15.0. The velocity and temperature distributions of R-1234yf refrigerant in the duct were presented for different Reynolds numbers. The results of numerical computations were presented in terms of average Nusselt numbers and Darcy friction factors changing with Reynolds numbers and expressed by empirical relations.

Key Words: R-1234yf, Laminar forced convection, Hydrodynamically and thermally developing flow.

1. GİRİŞ

Günümüzde hızla artan küresel ısınma ve çevre kirliliğinden dolayı son yıllarda daha çevreci ve verimli soğutucu akışkanların geliştirilmesi için çalışmalara yönelinmiştir. Son yıllarda piyasaya sürülen ve önümüzdeki yıllarda sıklıkla kullanılacağı düşünülen R-1234yf soğutucu akışkanı çevreyle dost bir soğutucu akışkan olması nedeniyle üzerinde birçok çalışmalar yapılmış ve yapılmaya devam etmektedir.

Juntarachat vd. [1] çalışmasında CO₂ + R1234yf ikili sistemine ait 4 kritik noktayı içeren izotermal sıvı buhar denge verilerini, iki elektromanyetik kılcal örnekleyiciye statik-analitik tip bir aparat takılarak 283,15 K-353,15 K arasında değişen sıcaklıkta belirlendiği belirtilmiştir. Ayrıca, CO₂ + R1234yf ve CO₂ + R1234ze (E) nin kritik konumları, bir sentetik dinamik tip aparat kullanılarak bütün kompozisyon aralığı boyunca ölçüldüğü ifade edilmiştir. Bu çalışmada tespit edilen subkritik ve kritik deneysel veriler açık literatürde bulunan değerlerle karşılaştırılmış ve Peng-Robinson durum denklemi kullanılarak sıcaklığa bağlı ikili etkileşim parametreleriyle korelasyon kurulmuştur. Mendoza vd. [2] yaptığı çalışmada R1234yf ve R134a soğutucu akışkanı kullanan, tüplerinin içerisinde mikro kanatçıklar bulunan bir hüzme borulu buharlaştırıcı için bir model geliştirilmiş ve bu model doğrulanmıştır. Bu buharlaştırıcı için geliştirilen model, buharlaşma basıncı, soğutucunun çıkış entalpisi ve ikinci akışkanın çıkış sıcaklığını tahmin etmek için ϵ -NTU metodu kullanılmıştır. Modelin doğruluğu, mikro kanatlı tüpler için farklı iki fazlı akışın kaynama korelasyonları kullanılarak ve tahmin edilen veriler ile deney verilerinin karşılaştırılması ile değerlendirilmiştir. R134a ve R1234yf'nin kaynama ısı transfer katsayısı üzerindeki etkisi altında genel HTC (ısı transfer katsayısı)'nin performans analizi yapılmış, R1234yf'nin genel HTC si R134a ile karşılaştırıldığında % 10'a kadar daha düşük olduğu ortaya çıkmıştır. Li vd. [3] standart buhar sıkıştırımlı soğutma çevriminde kısımla kaybını geri kazanmak için soğutucu akışkan olarak R1234yf kullanan sabit basınçlı karıştırma ejektörü ile çevrim performans karakteristiklerini incelemişlerdir. Çalışmada ayrıca ejektör genleşmeli soğutma çevriminde, R1234yf ve R134a soğutucu akışkanlarının kullanımıyla performans karşılaştırması yapılmıştır. İnceleme sonucunda R1234yf li ejektör genleşmeli soğutma çevriminin standart soğutma çevriminden daha iyi performansla sahip olduğunu göstermektedir. Cho vd. [4] yapmış olduğu çalışmada aynı otomobil soğutma sisteminde R134a ve R1234yf soğutucularının şarj performansı değerlendirilmiştir. Ayrıca R1234yf'nin soğutma performansını artırmak ve geleneksel R134a sistemine kıyasla performans artış seviyesini incelemek için dahili ısı değiştirici kullanılmıştır. Aynı sistemde R134a ve R1234yf kullanılarak yapılan performans testlerinde, R1234yf kullanıldığında soğutma kapasitesi % 4, güç tüketimi % 7 oranında daha düşük olduğu belirtilmiştir. Navarro-Esbrí vd. [5] R1234yf ve R134a soğutucu akışkan kullanan hüzme borulu bir buharlaştırıcı modeli geliştirmişlerdir. Bu model, buharlaşma basıncını ve evepator çıkışındaki soğutucu ve ikincil akışkan sıcaklığını tahmin etmek için verimlilik-NTU modelini kullanılmıştır. Model çıktıları, farklı iki fazlı akış ısı transfer korelasyonları kullanılarak değerlendirilmiştir. Col vd. [6] 1mm çapında dairesel mikro kanalda R1234yf'nin kaynama akışı esnasında ölçülen yerel ısı transfer katsayısını çalışmalarında sunmuş ve R134a ile karşılaştırmışlardır. Çalışmada yerel ısı transfer katsayıları, aynı kanal, aynı çalışma şartlarındaki R134a ile ölçülen değerler ile kıyaslanmış ve kabaca aynı değerler görülmüştür. Zilio vd. [7] tarafından yapılan çalışmada bir adet fabrikasyon R1234yf soğutucu akışkanlı sistemle birlikte iki adet modifiye edilmiş R1234yf soğutucu akışkanlı sistem test edilmiştir. Araştırmacılar modern R134a sistemleri ile benzer kapasite ve verime sahip R1234yf sistemi elde etmek amacıyla, mevcut klima sistemlerinde uygulanabilecek küçük modifikasyonları göstermiş, imalatçı ve araştırmacılara yardım edecek analizler yapılmışlardır. Yapılan analizler sonucunda R1234yf'nin otomotiv uygulamalarında R134a yerine geçebilecek potansiyele sahip olduğu belirtilmiştir. Pottker ve Hrnjak [8] yaptığı çalışmada R134a ve R1234yf soğutucu akışkanlarını kullanan bir klima sisteminde aynı çalışma şartlarında kondenser aşırı soğutmanın COP üzerindeki etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmada daha etkili bir dahili ısı değiştirici, kondenser aşırı soğutmanın etkisini daha da fazla düşürme potansiyeline sahip olduğu, dahili ısı değiştirici ve kondenser aşırı soğutma arasındaki karşılıklı etkileşimin yanında her ikisinin birlikte kullanımı özellikle R1234yf için daha verimli bir klima sistemi sağlayacağı vurgulanmıştır. Park ve Jung [9] yapmış olduğu çalışmada HFC134a ve R1234yf nin kabarcıklı ısı

transfer katsayısı düz ve düşük kanatçıklı yüzeyde ölçülmüştür. Çalışmalar sonucunda test edilen iki yüzey için R1234yf'nin kabarcıklı kaynama ısı transfer katsayısının HFC134a'nın kabarcıklı ısı transfer katsayısına çok benzediği vurgulanmıştır. Belchi vd. [10] R1234yf, R134a ve R32 soğutucu akışkanları 1.16 mm iç hidrolik çapa sahip bir mini kanal tüp kullanarak yoğunlaşmalı iki fazlı akışta basınç düşüşünü incelemiştir. Deneysel veriler doyma sıcaklığının etkisini, kütleli akış hızı, buhar kalitesi ve basınç düşüşünde akışkanın özelliklerini içermektedir. Yapılan çalışmada literatürde yer alan modeller ile elde edilen veriler karşılaştırılarak yeni bir model oluşturulmuştur. Ghoubalia vd. [11] Fransa da farklı iklimatik koşullar altında 3 farklı yapıda (düşük enerjili inşaatlar, ofis inşaatları ve mağazalar) ısıtma, soğutma, evsel sıcak su üretimi (DHW) ihtiyaçlarını belirlemiştir. Çalışmada eş zamanlı ısıtma ve soğutma için bir ısı pompası (HPS) eş zamanlı ısıtma ve soğutma gerektiren binalara avantajlı olduğu vurgulanmıştır. Isı pompası tasarımı soğutucu akışkan özelliklerine bağlı olduğu için R407C, R290 ve HFO1234yf'nin kullanılan küçük, orta büyüklükteki HPS modelleri geliştirilmiştir. Kim ve Mudawar [12] çalışmalarında mini ve makro akışlar için geleneksel teknikler ile tahmin edilen yoğunlaşma ısı transfer katsayısını geliştirmeyi amaçlamışlardır. Geliştirilen veri tabanı hem makro kanal hem de mini/makro kanal akışları için önceki buharlaşma ısı transfer korelasyonları ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda geliştirilen veri tabanının farklı çalışma sınırları ve hidrolik çapın geniş aralığı, kütleli debisi, kalite ve basıncı ve hem tek hem de çoklu tip mini/makro kanallar için doğru sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

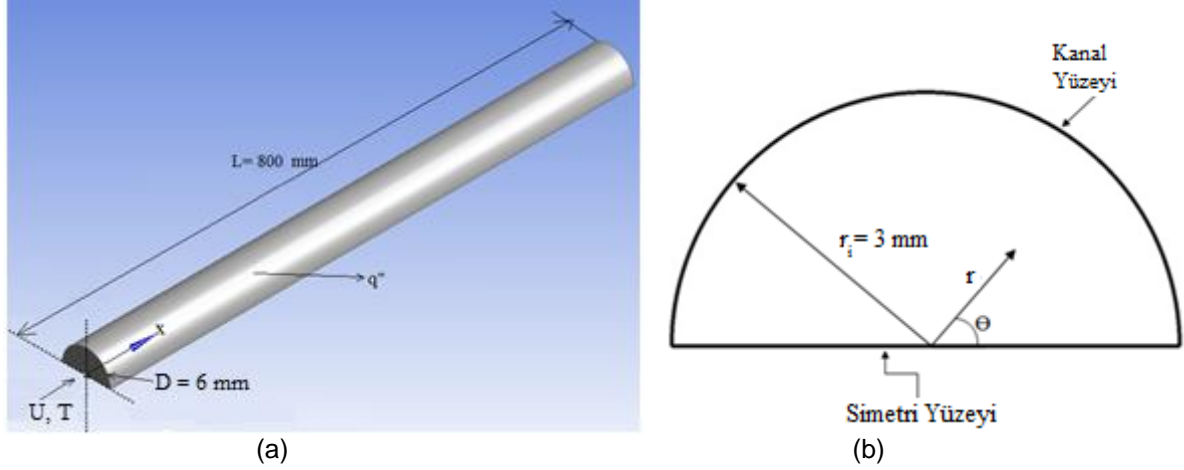
Literatürden görüldüğü üzere R1234yf soğutucu akışkanı için birçok deneysel ve teorik çalışma yapılmıştır. Bununla birlikte, R1234yf soğutucu akışkanının kanal içerisindeki ısı transferi ve akış koşullarını veren bir analiz henüz yapılmamıştır. Bu çalışmada, literatürde bulunan bu boşluk kapatılmaya çalışılmıştır. Gerçekleştirilen sayısal çalışmada yüzeyine sabit yüzey ısı akısı uygulanmış dairesel kesitli kanal içerisinde laminer akışta hidrodinamik ve ısı olarak gelişmekte olan ısı transferi problemi kararlı rejim şartlarında sayısal olarak incelenmiştir. Sayısal çalışmada akışkan olarak R1234yf kullanılmıştır. Çalışmadan elde edilen veriler ile ortalama Nusselt sayısı ve Darcy sürtünme faktörünün Reynolds sayısı ile değişimi incelenmiş ve korelasyonlar sunulmuştur.

2. SAYISAL ÇALIŞMA

Yapılan sayısal incelemede R1234yf soğutucu akışkanının dairesel kesitli kanal içerisindeki laminer şartlardaki akışı üç boyutlu olarak modellenmiştir. Çalışma, Reynolds sayısının 100 ile 1000 arasında değişen değerleri için tek fazlı yapıda gerçekleştirilmiştir.

Sayısal hesaplamada kullanılan dairesel kesitli kanal görünümü Şekil 1a'da verilmiştir. Dairesel kesitli kanalın çapı $D=6$ mm ve kanal uzunluğu $L=800$ mm'dir. Kanal çıkışında akışın hidrodinamik ve ısı olarak tam gelişmişliğini sağlamak için kanal uzunluğu hidrolik çapın yaklaşık 130 katı olarak seçilmiştir. Kanal kesitinin simetrik bir yapıya sahip olması nedeni ile sayısal çalışma kanal kesitinin yarısı dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Kanalın kesit görünümü ise Şekil 1b'de sunulmuştur.

Sayısal çalışma, akış ve ısı transferi problemlerini sonlu hacimler metodu kullanarak çözen sayısal akışkanlar dinamiği programı olan Ansys Fluent 15.0 paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Dairesel kesitli kanalın (a) genel görünümü, (b) kesit görünümü.

Çözümler laminar akışta, kararlı rejim, üç boyutlu, sıkıştırılamaz, Newtonsel akışkan ve sabit akışkan özellikleri için doğal konveksiyonun ihmal edildiği şartlar altında gerçekleştirilmiştir. Viskoz disipasyon etkileri ihmal edilmiştir.

Yukarıda verilen kabuller ile problem çözümünde kullanılan temel denklemler şu şekildedir;

(a) Süreklilik Denklemi:

$$\text{div}(\rho \vec{V}) = 0 \quad (1)$$

(b) Momentum Denklemi:

$$\text{div}(\rho \vec{V} \vec{V}) = -\text{grad}P + \nabla \cdot (\mu \nabla \vec{V}) \quad (2)$$

(c) Enerji Denklemi:

$$\text{div}(\rho c_p \vec{V} T) = \text{div}(k \text{ grad}T) \quad (3)$$

Burada \vec{V} (ms^{-1}) hız vektörü, P (Pa) basınç, ρ (kgm^{-3}) yoğunluk, μ ($\text{kgm}^{-1}\text{s}^{-1}$) dinamik viskozite, k ($\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$) ısı iletim katsayısı, c_p ($\text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$) özgül ısı ve T (K) sıcaklıktır.

Eş. (1)-(3) ile verilen temel denklemlerin uygun sınır şartları ile birlikte çözülmesi gerekir. Kanal girişinde akışkanın üniform hız ve sıcaklıkta olduğu kabul edilmiştir. Kanal çıkışında tam gelişmiş akış şartları göz önüne alınmıştır. Kanal yüzeyinde hız için kaymanın olmadığı sınır şartı, sıcaklık için ise sabit yüzey ısı akısı sınır şartı uygulanmıştır. Kanalın simetri eksenine boyunca simetri sınır şartı uygulanmıştır. Buna göre süreklilik, momentum ve enerji denklemlerindeki hız, basınç ve sıcaklık değerleri verilen sınır şartları için çözülmüştür.

Akışkan özelliklerinin akış alanında sabit olduğu kabul edilmiş ve özellikler akışkanın kanala giriş sıcaklığında alınmıştır [13]. Çalışmada R1234yf soğutucu akışkan için kullanılan termodinamik özellikler Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. R1234yf soğutucu akışkanın termodinamik özellikleri.

Isı İletim Katsayısı (k)	$0.08552 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$
Yoğunluk (ρ)	1291.9 kgm^{-3}
Özgül Isı (c_p)	$1157.5 \text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$
Dinamik Viskozite (μ)	$0.0003585 \text{ kgm}^{-1}\text{s}^{-1}$

Sayısal çalışmadan elde edilen veriler kullanılarak kanaldaki ortalama Nusselt sayısı Nu , Darcy sürtünme faktörü f ve Reynolds sayısı Re değerleri sırasıyla Eş. (4)–(6)'daki gibi hesaplanmıştır.

$$Nu = hD/k \quad (4)$$

$$f = \frac{\Delta P(D/L)}{\rho u_o^2/2} \quad (5)$$

$$Re = \rho u_o D/\mu \quad (6)$$

Burada h ($Wm^{-2}K^{-1}$) ortalama ısı taşınım katsayısı, ΔP (Pa) basınç düşümü, L (m) kanal uzunluğu, u_o (ms^{-1}) ise akışkanın kanal girişindeki hızıdır. Eş. (5)'dan hesaplanan Darcy sürtünme faktörü kanal içerisindeki ortalama sürtünme faktörüdür.

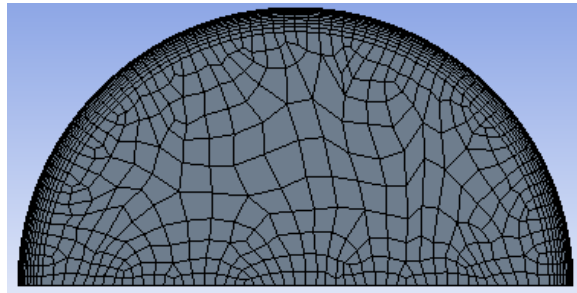
Ortalama ısı taşınım katsayısı şu şekilde hesaplanır:

$$h = q''/(T_s - T_m) \quad (7)$$

Burada q'' (Wm^{-2}) kanal yüzeyine uygulanan ısı akısı, T_s (K) ortalama kanal yüzey sıcaklığı, ve T_m (K) ise ortalama akışkan sıcaklığıdır.

3. ÇÖZÜM YÖNTEMİ

Sayısal çalışma sonlu hacimler yöntemi ile çözüm yapabilen Ansys Fluent 15.0 paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Basınç-hız çiftinin çözümü için SIMPLE-algoritması, momentum ve enerji denklemlerinin ayrıklaştırma işlemi için ise ikinci mertebe upwind metodu kullanılmıştır. Yakınsama için süreklilik, momentum ve enerji denklemlerindeki kalıntıların 1×10^{-6} olması durumuna kadar çözüme devam edilmiştir. Çözümün doğruluğunu artırmak için duvarlara doğru kontrol hacimleri artırılmıştır. Tipik hücre yapısı Şekil 2'de görüldüğü gibidir. Çalışmanın hücre sayısından bağımsız olması, $Re=1000$ değeri için altı farklı hücre sayısında çalışılarak sağlanmıştır. Çözüm alanındaki hücre sayısının artması ile ortalama Nusselt sayısı ve Darcy sürtünme faktörü değerlerindeki değişimin ihmal edilebilir seviyede olduğu hücre durumu optimum hücre sayısı olarak tespit edilmiştir.



Şekil 2. Tipik hücre yapısının görünümü.

Tablo 2'de farklı hücre sayıları ile ortalama Nusselt sayısı ve Darcy sürtünme faktörünün değişimi verilmiştir. Hücre sayısının 126280 değerinden 160371 değerine değişmesi durumunda ortalama Nusselt sayısı ve Darcy sürtünme faktörü değerlerindeki değişim sırasıyla %0.2 ve %0.4'dür. Böylece 126280 hücre sayısı optimum hücre yapısı olarak kabul edilmiştir.

Tablo 2. Ortalama Nusselt sayısı ve Darcy sürtünme faktörü değerlerinin hücre sayısı ile değişimi.

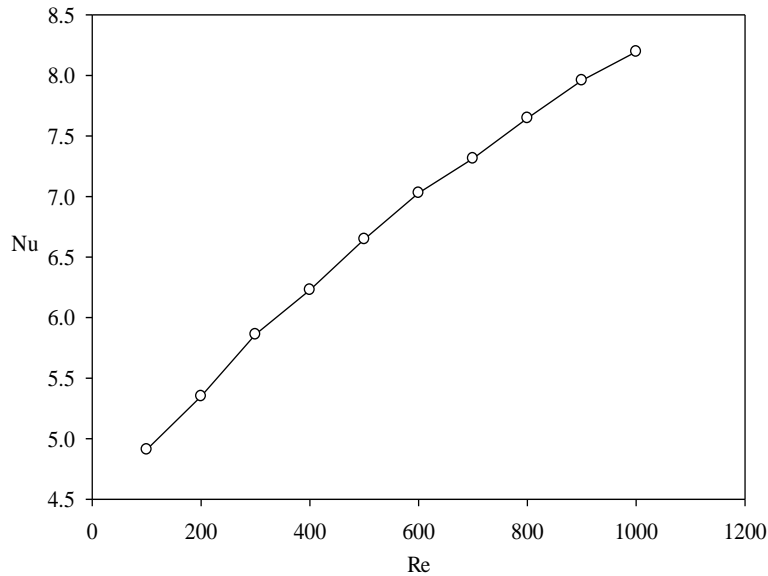
Hücre sayısı	Nu	f
35938	8.0002	0.08429
76250	8.1722	0.08972
108936	8.1760	0.08844
126280	8.1952	0.08800
160371	8.1952	0.08789
553283	8.1950	0.08783

Titreşimler, hareketli parçalara sahip makinaların ve bu makinalara bağlı yapıların içindeki dinamik kuvvetlerin etkisi sonucu referans bir konum etrafında ortaya çıkan mekanik bir salınım hareketidir. Genellikle yararlı bir proses gerçekleşirken ortaya çıkan titreşimler, yıkıcı ve zararlı bir etki oluştururlar. Fakat bazen belirli bir görevin yerine getirilmesi içinde titreşimlerden yararlanılabilir. Makinanın, tasarlandığı belirli bir işi görmek için gerekli enerjinin bir kısmını gövdesine ve bağlı olduğu yapıyı titreşmesi için harcaması istenmeyen bir olaydır. Makinadaki farklı parçalar farklı frekanslarda ve genliklerde titreşim yaparlar ve bu halde aşınma ve metal yorulması gibi istenmeyen sonuçlar ortaya çıkar.

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, sabit yüzey ısı akısı sınır şartı altında çapı 6 mm ve kanal uzunluğu 800 mm olan dairesel kesitli kanal içerisindeki hidrodinamik ve ısı olarak gelişmekte olan akış ve ısı transferi kararlı rejim şartlarında, üç boyutlu sıkıştırılamaz akış için sayısal olarak incelenmiştir. Çalışma laminer akış şartlarında $100 \leq Re \leq 1000$ değerleri için gerçekleştirilmiştir.

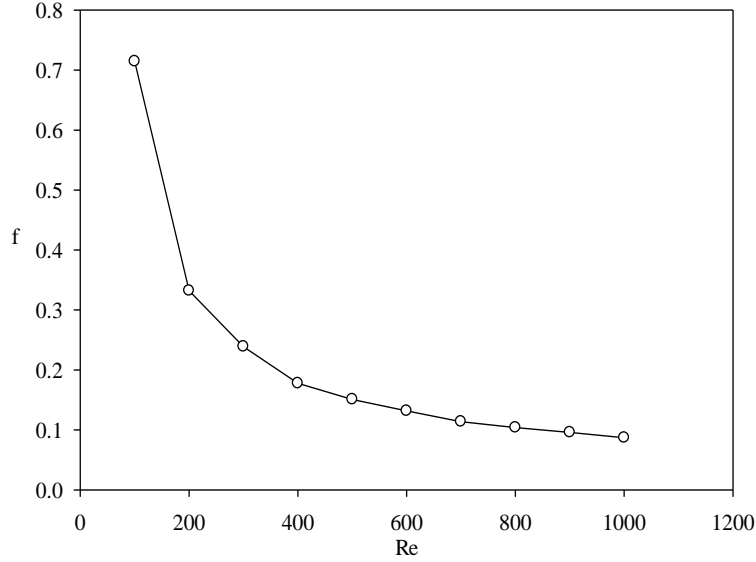
Ortalama Nusselt sayısı değerleri farklı Reynolds sayıları için Şekil 3'de verilmiştir. Beklenildiği gibi artan Reynolds sayısı için ortalama Nusselt sayısı artış göstermiştir.

**Şekil 3.** Kanal içerisindeki ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi.

En küçük kareler yöntemi kullanılarak R1324yf soğutucu akışkanının laminar şartlarındaki kanal içerisindeki ortalama Nusselt sayısı ile Reynolds sayısı arasındaki ilişki ampirik olarak şu şekilde ifade edilmiştir.

$$Nu=1.486Re^{0.24} \quad (8)$$

Şekil 4'de kanal içerisindeki Darcy sürtünme faktörünün Reynolds sayısı ile değişimi verilmiştir.

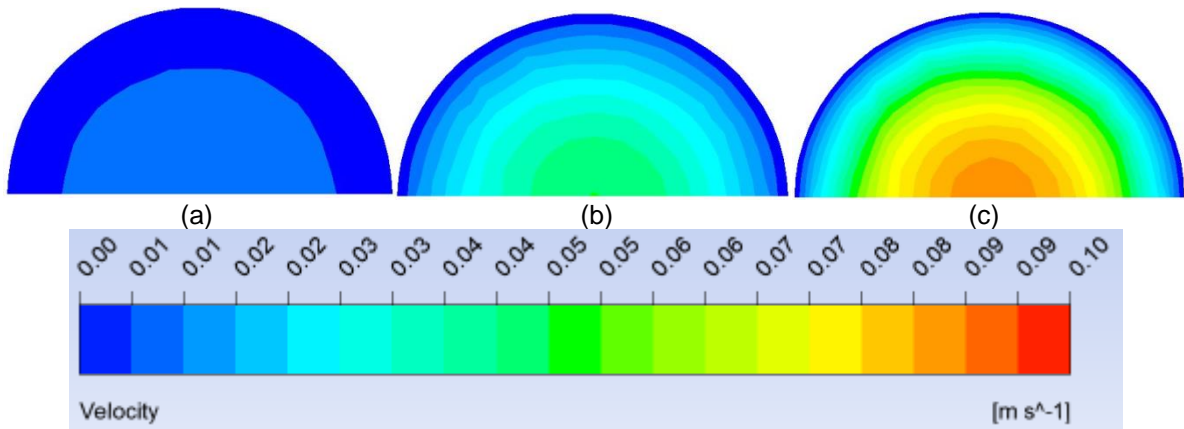


Şekil 4. Darcy sürtünme faktörünün Reynolds sayısı ile değişimi.

Görüldüğü üzere artan Reynolds sayısı için Darcy sürtünme faktörü azalmıştır. Darcy sürtünme faktörü ile Reynolds sayısı arasındaki bağıntı ampirik olarak şu şekilde ifade edilmiştir:

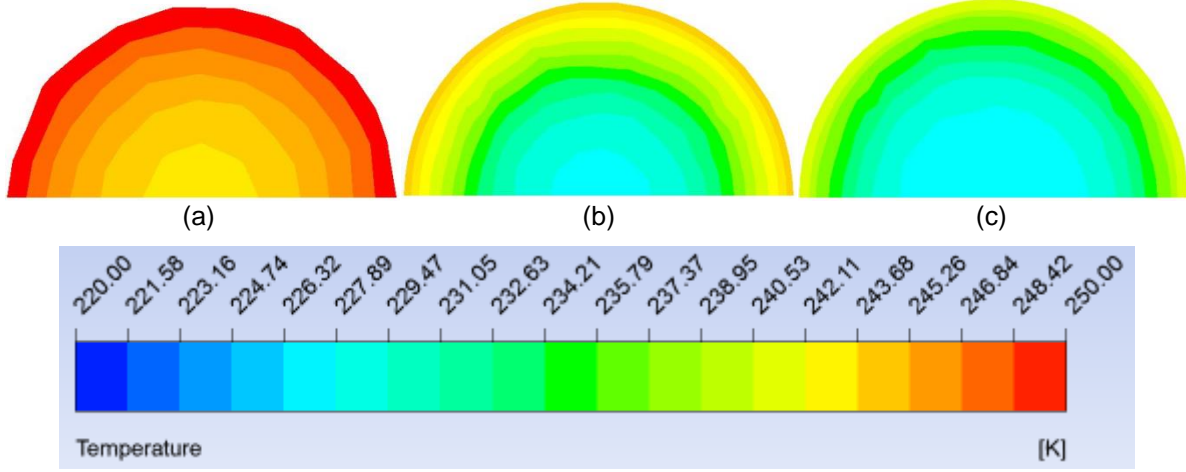
$$f=71.32/Re \quad (9)$$

Reynolds sayısının hız dağılımları üzerindeki etkisi Şekil 5'de incelenmiştir. Şekil 5'de farklı Reynolds sayıları için çıkış kesitindeki hız dağılımları verilmiştir. Reynolds sayısının değişimi ile kanal içerisindeki hız dağılımları da değişim göstermiştir. Artan hız ile duvar yakınındaki hız sınır tabakası kalınlığı küçülmüştür.



Şekil 5. Farklı Reynolds sayıları için çıkış kesitindeki hız dağılımları: (a) Re=100, (b) Re=500, (c) Re=1000.

Şekil 6'da Reynolds sayısının sıcaklık dağılımı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Farklı Reynolds sayıları için ($Re=100$, 500 ve 1000) çıkış kesitinde oluşturulan sıcaklık dağılımları Şekil 6 ile verilmiştir. Sıcaklık dağılımlarının Reynolds sayısı ile değişim gösterdiği görülmüştür. Artan Reynolds sayısı ile sıcaklık sınır tabakası kalınlığı azalmıştır.



Şekil 6. Farklı Reynolds sayıları için çıkış kesitindeki sıcaklık dağılımları: (a) $Re=100$, (b) $Re=500$, (c) $Re=1000$.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, yüzeyine sabit yüzey akısı uygulanmış dairesel kesitli kanal içerisindeki R1234yf soğutucu akışkanının hidrodinamik ve ısı olarak gelişmekte olan akışı laminer akış şartlarında sayısal olarak Ansys Fluent 15.0 paket programı kullanılarak incelenmiştir. Çalışma Reynolds sayısının $100 \leq Re \leq 1000$ aralığındaki değerleri için gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada ortalama Nusselt sayıları ve Darcy sürtünme faktörü değerleri elde edilmiştir. Kanal içerisinde farklı Reynolds sayılarındaki ve farklı kesitlerdeki hız ve sıcaklık dağılımları grafiksel olarak verilmiştir.

Reynolds sayısındaki artışın ısı transferinde artışa ve sürtünme faktöründe azalışa neden olduğu görülmüştür. Ortalama Nusselt sayısı ve Darcy sürtünme faktörünün Reynolds sayısı ile değişimi incelenmiş ve korelasyonlar sunulmuştur. R1234yf soğutucu akışkanının kanal içerisindeki akış ve ısı transferi karakteristiklerinin incelenmesi üzerine ilerideki çalışmalarda akışın çift fazlı ele alınarak bu etkinin de incelenebileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Juntarachat, N., Valtz, A., Coquelet, C., Privat, R., Jaubert, J.N., "Experimental measurements and correlation of vapor-liquid equilibrium and critical data for the $CO_2 + R1234yf$ and $CO_2 + R1234ze(E)$ binary mixtures", International Journal of Refrigeration, 47, 141-152, 2014.
- [2] Mendoza-Miranda, J.M., Ramírez-Minguela, J.J., Muñoz-Carpio, V.D., Navarro-Esbrí, J., "Development and validation of a micro-fin tubes evaporator model using R134a and R1234yf as working fluids", International Journal of Refrigeration, 50, 32-43, 2015.

- [3] Li, H., Cao, F., Bu, X., Wang, L., Wang, X., “Performance characteristics of R1234yf ejector-expansion refrigeration Cycle”, Applied Energy, 121, 96-103, 2014.
- [4] Cho, H., Lee, H., Park, C., “Performance characteristics of an automobile air conditioning system with internal heat exchanger using refrigerant R1234yf”, Applied Thermal Engineering, 61(2), 563-569, 2013.
- [5] Navarro-Esbrí, J., Molés, F., Peris, B., Barragán-Cervera, Á., Mendoza-Miranda, J. M., Mota-Babiloni, A., Manuel Belman, J., “Shell-and-tube evaporator model performance with different two-phase flow heat transfer correlations. Experimental analysis using R134a and R1234yf”, Applied Thermal Engineering, 62(1), 80-89, 2014.
- [6] Col, D. D., Bortolin, S., Torresin, D., Cavallini, A., “Flow boiling of R1234yf in a 1 mm diameter channel”, International Journal of Refrigeration, 36(2), 353-362, 2013.
- [7] Zilio, C., Brown, J. S., Schiochet, G., Cavallini, A., “The refrigerant R1234yf in air conditioning systems”, Energy, 36(10), 6110-6120, 2011.
- [8] Pottker, G., Hrnjak, P., “Experimental Investigation of the Effect of Condenser Subcooling in R134a and R1234yf Air-Conditioning Systems With and Without Internal Heat Exchanger”, International Journal of Refrigeration, 50, 104-113, 2014.
- [9] Park, K. J., Jung, D., “Nucleate boiling heat transfer coefficients of R1234yf on plain and low fin surfaces”, International Journal of Refrigeration, 33(3), 553-557, 2010.
- [10] López-Belchí, A., Illán-Gómez, F., Vera-García, F., García-Cascales, J. R., “Experimental condensing two-phase frictional pressure drop inside mini-channels. Comparisons and new model development”, International Journal of Heat and Mass Transfer, 75, 581-591, 2014.
- [11] Ghoubali, R., Byrne, P., Miriela, J., Bazantay, F., “Simulation study of a heat pump for simultaneous heating and cooling coupled to buildings”, Energy and Buildings, 72, 141-149, 2014.
- [12] Kim, S. M., Mudawar, I., “Universal approach to predicting heat transfer coefficient for condensing mini-micro-channel flow”, International Journal of Heat and Mass Transfer, 56(1-2), 238-250, 2013.
- [13] Bergman, [T. L.](#), Lavine, [A. S.](#), Incropera, [F. P.](#), DeWitt, [D. P.](#), “Fundamentals of Heat and Mass Transfer”, 7th Edition, 2011.

ÖZGEÇMİŞ

Kamil ARSLAN

1980 Kırıkkale doğumludur. 2002 yılında Kırıkkale Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nü bitirmiştir. Ardından, yüksek lisans eğitimini Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde 2005 yılında tamamlamıştır. Doktora derecesini ise yine Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden 2010 yılında almıştır. 2014 yılında Doçent unvanını kazanmıştır. 2002-2010 yılları arasında Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmıştır. 2010-2013 yıllarında ise Çankırı Karatekin Üniversitesi MYO'nda Yrd. Doç. Dr. olarak görev yapmıştır. 2013-2014 yıllarında Yrd. Doç. Dr. olarak görev aldığı Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde şu an Doç. Dr. olarak görev yapmaktadır. Kanal içerisindeki laminar ve türbülanslı akışın deneysel ve sayısal olarak incelenmesi, türbülans modelleri ve nano akışkanlar üzerine çalışmalar yapmaktadır.

Mustafa KARAGÖZ

1987 yılında İstanbul'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini İstanbul'da tamamladı. 2004 yılında Selçuk Üniversitesinde başladığı Lisans eğitimini 2008 yılında tamamladı. Aynı yıl Selçuk Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsünde yüksek lisansa başladı ve 2010 yılında yüksek lisans eğitimini tamamladı. 2009-2011 yılları arasında “Kombassan Acar ve Akçe Makine” Firmalarında AR-GE biriminde görev aldı. 2012 yılında Karabük Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde Doktora Eğitimine başladı. Şubat



2011'den beri Karabük üniversitesi Meslek Yüksek Okulu ve Enerji Çevre Teknolojileri Biriminde Öğretim Görevlisi olarak görev yapmaktadır.

Emrah DENİZ

1977 Zonguldak doğumlu olup, 2000 yılında Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü'nden mezun olmuştur. 2003 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Bölümünde “Çift Fazlı Korunmuş Bölge Güneşli Su Isıtıcı İle Endirekt Isıtılmalı Güneşli Su Isıtıcı Verimlerinin Karşılaştırılması” konulu çalışması ile yüksek lisansını tamamlamıştır. Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Bölümünde doktora çalışmasına başlayan DENİZ, 2009 yılında “Vakumlu Yalıtım Malzemelerinin Karakteristik Özelliklerinin Deneysel ve Teorik Olarak İncelenmesi” konulu doktora tez çalışmasını tamamlamıştır. 2009 yılından bu yana Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi'nde güneş enerjisi, ısıtma, soğutma, iklimlendirme, biyogaz ve yalıtım konularında çalışmalarını sürdürmektedir.

İsmail EKMEKÇİ

1957 Bursa doğumludur. 1980 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi (İTMMMO) Makine Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. Aynı üniversiteden 1983 yılında Yüksek Makine Mühendisi; 1984 yılında da İstanbul Teknik Üniversitesi Endüstri Yüksek Mühendisi; 1995 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Isı Tekniği Ana Bilim Dalında doktor unvanı almıştır. 1997 yılında Makine Müh. Isı Tekniği Bilim dalında Doçent unvanını aldı. 1981-1996 yılları arasında YTÜ Makine Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi; 1997-1998 yılları arasında Sakarya Üniversitesinde (SAÜ) Yard. Doç. Dr. olarak; 1998-2003 yılları arasında SAÜ'de doçent olarak; 2003-2006 yılları arasında SAÜ'de Profesör olarak; 2006-2011 yılları arasında Marmara Üniversitesinde Prof. olarak görev yapmış; 2011 yılından bu yana da İstanbul Ticaret Üniversitesinde Prof. olarak çalışmaktadır. 2009-2010 yılları arasında Kırklareli Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesinde Dekanlık görevi; 2010-2011 tarihleri arasında Marmara Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu Müdürlüğü; 2013-2014 yılları arasında İstanbul Ticaret Üniversitesi Uygulamalı Bilimler Fakültesi Dekanlık görevlerinde bulunmuş; 2014 yılından bu yana aynı fakültede Basım Yayın Üretim Teknolojileri Bölüm Başkanlığı görevinde bulunmaktadır. Isı Tekniği; Enerji; Optimizasyon ve Sayısal Metodlar konularında çalışmaktadır.