



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



Boru içerisine yerleştirilen gözenekli bir kanatçığın akışkan akışı ve sıcaklığına etkisinin sayısal olarak incelenmesi

Numerical investigation of the effects of a porous fin placed into the pipe on fluid flow and temperature

Yazar(lar) (Author(s)): Nureddin DİNLER

ORCID: 0000-0002-2872-9050

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Dinler N., “Boru içerisine yerleştirilen gözenekli bir kanatçığın akışkan akışı ve sıcaklığına etkisinin sayısal olarak incelenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 24(2): 715-722, (2021).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik. 836660

Boru İçerisine Yerleştirilen Gözenekli Bir Kanatçığın Akışkan Akışı ve Sıcaklığına Etkisinin Sayısal Olarak İncelenmesi

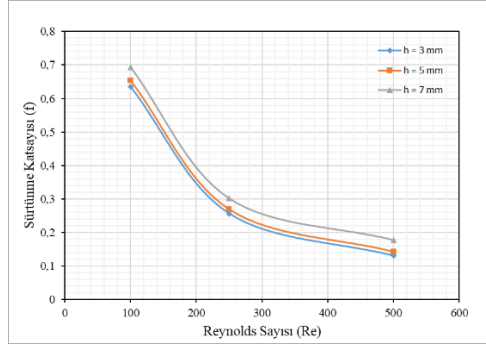
Numerical Investigation of the Effects of a Porous Fin Placed Into the Pipe on Fluid Flow and Temperature

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Kanatçık yüksekliğinin ve gözenekliliğin sürtünme kaybına etkisi /The effect of fin height and porosity on the friction loss
- ❖ Kanatçık yüksekliğinin ve gözenekliliğin akışkan sıcaklığına etkisi /The effect of fin height and porosity on the fluid temperature)

Grafik Özet (Graphical Abstract)

Boru içerisine yerleştirilen bir gözenekli kanatçığın havanın akışına, sürtünme kaybına ve akışkanın sıcaklığına etkisi incelenmiştir. /The effect of a porous fin placed in the pipe on the flow of air, friction loss and temperature of the fluid has been studied.



Şekil. Kanatçık yüksekliğinin laminer akışta sürtünme katsayısına etkisi ($\varepsilon = 0,1$) /Figure. The effect of the blade height on the friction coefficient in laminar flow ($\varepsilon = 0.1$)

Amaç (Aim)

Bir borunun içerisine yerleştirilen gözenekli kanatçığın akışa ve sıcaklığa olan etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. /It was aimed is to investigate the effects of the porous fin placed inside a pipe on fluid flow and temperature.

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Boru içerisindeki kanatçığın etkisi hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemiyle incelenmiştir. /The effect of the fin in the pipe was investigated by the method of computational fluid dynamics.

Özgünlük (Originality)

Akışkana daha fazla ısı transferi sağlanabilmesi için boru içerisine yerleştirilen gözenekli yapıdaki kanatçığın akışa ve sıcaklığa olan etkisi incelenmiştir. /In this study, the effect of the porous fin placed in the pipe on the flow and temperature was investigated in order to provide more heat transfer to the fluid.

Bulgular (Findings)

Akış hızı arttıkça sürtünme kayıpları azalmaktadır. Kanatçık yüksekliğine bağlı olarak Reynolds sayısının değişimi ile sıcaklık farkının azalmaktadır. /As the flow rate increases, friction losses decrease. The temperature difference decreases with the increase of Reynolds number depending on the fin height.

Sonuç (Conclusion)

Kanatçık yüksekliği sürtünme kaybını artırmaktadır. Gözenekli kanatçık kullanılması ile boru giriş çıkış sıcaklık farkı artmaktadır. /The fin height increases the friction loss. By using porous fins, temperature difference between the pipe inlet and outlet increases.

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. /The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

Boru İçerisine Yerleştirilen Gözenekli Bir Kanatçığın Akışkan Akışı ve Sıcaklığına Etkisinin Sayısal Olarak İncelenmesi

Araştırma Makalesi / Research Article

Nureddin DİNLER*

Mühendislik Fakültesi, Makina Müh. Bölümü, Gazi Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 06.12.2020 ; Kabul/Accepted : 26.12.2020)

ÖZ

İnsanlar günlük yaşantılarında sürekli olarak enerji tüketmektedirler. İnsanlar kullandıkları, cihazlarda, taşıtlarda vb. enerjinin verimli olarak kullanılmasını talep etmektedirler. Enerji verimliliği sadece insanların kullandığı araç ve gereçlerde değil enerjinin üretilip kullanıldığı tüm sektörlerde önemlidir. Isıtma ve soğutma işlemleri için kullanılan donanımlardan birisi de ısı değiştiricilerdir. Çeşitli tiplerde farklı amaçlar için kullanılan ısı değiştiriciler mevcuttur. Bu çalışmada eş eksenli çift borulu bir ısı değiştirici ele alınmıştır. İçteki boru içerisine eklenen kanatçık ile ısı transferinin artırılması amaçlanmıştır. Bu çalışmada, boru içinden geçen havanın ısıtılması için yapılan gözenekli bir kanatçığın yakma havasının akışına ve sıcaklığına olan etkisi incelenmiştir. Kanatçığın yüksekliğinin etkisi ($h=3$ mm, 5 mm, 7 mm), gözenekliliği ($\epsilon = 0.1, 0.2, 0.3$), akışın laminer ($Re = 100, 250, 500$) ve türbülanslı ($Re = 25000, 45000, 60000$) olma durumu incelenmiştir. Yapılan bu çalışmada elde edilen sonuçlar incelendiğinde, sürtünme faktörünün akış hızı ile azaldığı, kanatçık yüksekliğinin artışı ile arttığı görülmüştür. Laminer şartlarda akış hızının artışı ile sıcaklık farkı azalırken, türbülanslı akışlarda ise kanatçık yüksekliğinin artışı ile sıcaklık farkının arttığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Boru, kanatçık, hesaplamalı akışkanlar dinamiği, ısıtma.

Numerical Investigation of the Effects of a Porous Fin Placed Into the Pipe on Fluid Flow and Temperature

ABSTRACT

Energy is consumed continuously by people in their daily lives. People use energy in the devices, vehicles, etc. they demand efficient use of energy. Energy efficiency is important not only in the tools and equipment used by people, but also in all sectors where energy is produced and used. One of the equipment used for heating and cooling processes is heat exchangers. There are various types of heat exchangers used for different purposes. In this study, a double pipe heat exchanger is considered. It is aimed to increase the heat transfer with the fin added to the inner tube. In this study, the effect of a porous fin made for heating the air passing through the pipe on the flow and temperature of the combustion air was investigated. The effect of the height of the fin ($h=3$ mm, 5 mm, 7 mm), its porosity ($\epsilon= 0.1, 0.2, 0.3$), and the laminar ($Re = 100, 250, 500$) and turbulent ($Re = 25000, 45000, 60000$) flow have been investigated. When the friction factor is examined, it decreases with the flow velocity and increases with the height of the fin. While the flow velocity and temperature difference decreases under laminar conditions, the height of the blade increases with the temperature difference in turbulent flows.

Keywords: Pipe, fin, computational fluid dynamics, heating.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Enerji verimliliğinin oldukça ilgi çekici olduğu günümüzde her konuda enerjinin etkili olarak kullanılması arzulanmaktadır. Enerji verimliliğinde toplumda da bilinçlenme oldukça yaygın olmaya başlamıştır. Özellikle enerji etiketlerinin elektrikli ev aletleri, otomobiller, binalar gibi insanların günlük yaşantılarında karşısına çıkması bu bilinci daha da artırmaktadır. Teknik olarak ise enerjinin verimli kullanılması gerekliliği yıllardır bilinen bir konudur.

Borularda ısı transferi de enerji alanında önemli araştırma konularından birisidir. Boru veya kanal

içindeki akışlarda özellikle ısı transferini artırmaya yönelik olarak yapılacak olan geometrideki değişiklikler ve ilave parçalar, pompalama kayıplarını da beraberinde getirmektedir. Bu nedenle bu konuda oldukça yoğun olarak çalışılmaktadır. Enerji sistemlerinde çeşitli büyüklüklerde, çeşitli konfigürasyonlarda ısı değiştiricileri yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Isı değiştiricisi tiplerinden birisi de silindirik yapıda olanlardır. Bu tip ısı değiştiricilerin de kendi içerisinde çeşitleri bulunmaktadır. Isı transferi artırmak için gözenekli yapıdaki malzemeler de kullanılmaktadır. Bu nedenle, bir boru içerisine yerleştirilen gözenekli kanatçığın akışa ve akışkan sıcaklığına olan etkilerinin incelenmesi bu çalışmanın amacını oluşturmaktadır.

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : ndinler@gazi.edu.tr

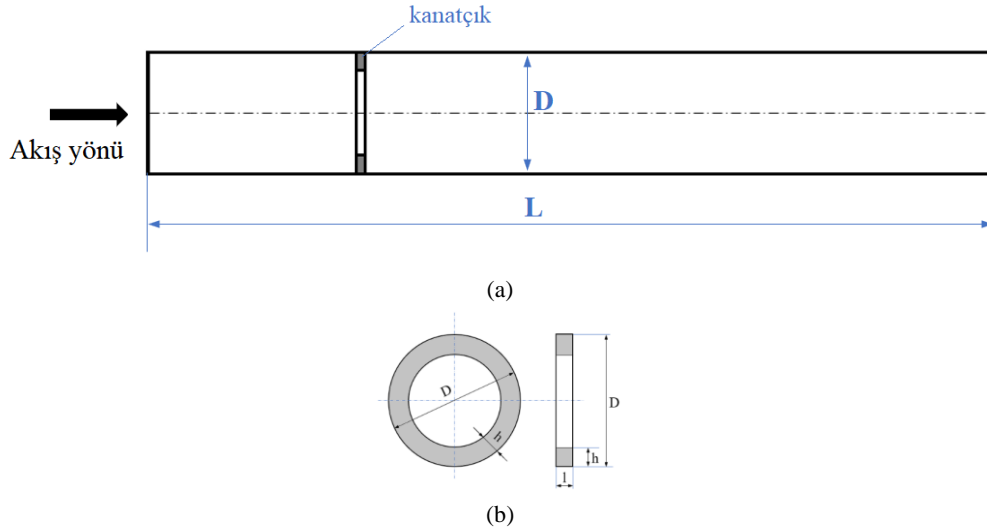
Alkam ve Al-Nimr (1999), iki eş merkezli boru arasına yerleştirilen gözenekli (poroz) tabakada laminar, iki boyutlu, sürekli akışı nümerik olarak incelemişlerdir. Modellemede Fortran kodunu kullanmışlar ve sonuç olarak da gözenekli tabakanın ısı değiştiricinin etkinliğini artırdığı sonucuna varmışlardır. Ayrıca gözenekli kısmın optimum kalınlığının pompalama kaybında dengeli bir artış sağladığı ve buna bağlı olarak da ısı değiştiricisinin ısı performansında maksimum iyileşme sağladığını belirtmişlerdir [1]. Dinler ve Yucel (2007) yaptıkları çalışmada boru içerisinde yerleştirilen kanatçığın çeşitli akışkanların akışı üzerine olan etkisini sayısal olarak incelemişlerdir. Çalışmada tek bir kanatçığın ısı transferi ve akış üzerine olan etkilerini incelenmiştir. Kanat yüksekliği arttıkça, türbülanslı akış rejimlerinde ortalama Nusselt sayısı ve sürtünme faktörü de arttığını sonucunu belirtmişlerdir [2]. Pavel ve Mohamad (2004) kısmen veya tamamen gözenekli ortamlarla doldurulmuş boru üzerinde çalışmışlardır. Hem sayısal hem de deneysel çalışmalarda laminar akış için uniform ve sabit ısı akışı kullanılmıştır. Isı transferi, gözenekli tabakanın çapının boru çapına yaklaştıkça arttığını, sabit çaptaki gözenekli katman bulunması durumunda ise düşük gözeneklilik ve yüksek ısı iletkenlikle arttığı sonuçlarına varmışlardır [3]. Mahjoob ve Vafai (2008) metal köpüklü ısı değiştiricileri üzerinde çalışmışlardır. Gözeneklilik, gözenek ve lif çapları, kıvrım, gözenek yoğunluğu ve bağıl yoğunluk gibi mikro yapısal metal köpük özelliklerinin ısı değiştiricisi performansı üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Bir kanal veya boruya metal bir köpük yerleştirildiğinde ısı transfer oranının artırılabilceği sonucuna varmışlardır [4]. Boomsma ve arkadaşlarının (2003) deneysel çalışmasında, ısı değiştiricisi olarak metal köpükler kullanılmıştır. Alüminyum köpüklerin ısı transferinin artırılmasında olumlu performans gösterdiğini, verimliliğinde de artış olduğunu belirtmişlerdir. Buna ek olarak, metal köpük ısı değiştiricileri, aynı uygulama için tasarlanmış halihazırda kullanılan ısı değiştiricilerine kıyasla termal direnci yaklaşık yarı yarıya azaltmıştır [5]. Hayes ve diğ. (2008) deneysel ve sayısal olarak gözenekli ortam ısı değiştirici üzerinde çalışmışlardır. Isı kaynağı ile alttan ısıtılan gözenekli bir ortama sahip bölüme sahip kanalı iki boyutlu sayısal olarak incelemişlerdir [6]. Targui ve Kahalerras (2008) çift borulu ısı değiştiricisini sayısal olarak araştırmışlardır. Isı transferini arttırmak için gözenekli kanatçıkların farklı dizilerinden oluşan iki farklı konfigürasyon kullanmışlardır [7]. Ejlali ve diğ. (2009) iki boyutlu bir kanalın ortasındaki alt duvara yerleştirilen metal köpük üzerinde çalışmışlardır. Sabit, laminar, sıkıştırılmaz akışı modellemek için bir FORTRAN kodu geliştirmişlerdir. Metal köpüklü ısı değiştiricilerin geleneksel duruma göre ilave maliyet olmadan daha üstün olduklarını sonucuna varmışlardır [8]. Gorman ve diğ. (2016), iç borunun helisel oluklu olduğu çift borulu ısı değiştirici üzerinde laminar akış durumunu incelemişlerdir [9]. Shirvan ve ark. (2016) gözenekli ortam ile ısı değiştiricisi üzerinde çalışmışlardır. İki boyutlu laminar model kullanarak

gözenekli tabakanın çeşitli yarıçap oranlarında analizler yapmışlardır [10]. Shirvan ve diğ. (2017) sayısal olarak gözenekli ortam ile doldurulmuş iki boyutlu bir çift borulu ısı değiştiricisini araştırmışlardır. Gözenekli ortama sahip çift borulu ısı değiştiricileri tasarlamak için, en etkili boyutsuz sayının Reynolds sayısına kıyasla Darcy sayısı olduğu sonucuna varmışlardır. Ayrıca, gözenekli tabakanın kalınlığının önemli olduğu sonucuna ulaşmışlardır [11]. Nasr (2018) gözenekli tabaka ile dikey bir kanalda ısı ve kütle transferi üzerine çalışmıştır. Sonlu farklar yöntemi ile film yoğunlaşmasını laminar, iki boyutlu, sürekli akış koşullarında sayısal olarak araştırmıştır. Gözenekliliğin ve gözenekli tabaka kalınlığının azaltılması, sıvı / buhar ara yüzündeki ısı ve kütle aktarım performanslarını arttırdığı ve gözenekliliğin artırılması, su filminin yoğunlaşmasını arttırdığını göstermiştir [12].

Pour-Fard ve diğ. (2017) gözenekli ortamı boru ısı değiştiricisi üzerinde çalışmışlardır. Gözenekli ortam bulunan ısı değiştiricisi için elde ettikleri sonuçlarda, gözenekli ortamın daha yüksek soğutma kapasitesinden dolayı geleneksel ısı değiştiricisine göre ürün sıcaklığının yaklaşık %40 daha düşük olduğunu ve %35 daha az boru uzunluğuna ihtiyaç olduğu belirtmişlerdir [13]. Salehpour ve diğ. (2018) deneysel olarak gözenekli bir kanal içindeki manyetohidrokinamik akış üzerinde çalışmışlardır [14]. Sayar (2017) düşey bir boruda bir gözenekli ortamdan geçen salınımlı akışkan akışında tek faz ve çift faz ısı transferini çalışmıştır. Geliştirdiği ortalama Nusselt sayısı için korelasyon deneysel sonuçlar ile uyumlu olduğunu göstermiştir [15]. Baysal (2008) yaptığı çalışmada deneysel ve sayısal olarak eş merkezli boru tipi ısı değiştiricisini incelemiştir. Hava hızının artışıyla basınç kaybının da arttığını belirtmiştir [16]. Bu çalışmada, eş eksenli çift borulu ısı değiştiricisi ele alınarak, içteki boruda bulunan akışkana daha fazla ısı transferi sağlanabilmesi için içteki boru içerisine yerleştirilen gözenekli yapıdaki kanatçığın akışa ve sıcaklığa olan etkisi incelenmiştir.

2. PROBLEMİN TANIMI (DEFINITION OF THE PROBLEM)

Bu çalışmada, boru içerisinden akmakta olan havanın ısıtılması amaçlanmaktadır. Bu amaca yönelik olarak da çift borulu ısı değiştiricisi seçilmiştir. Dış taraftan boruya olan ısı transferini arttırmak için boru içerisine bir adet kanatçık yerleştirilmiştir. Problem çözüm geometrisi Şekil 1'de verilmektedir. İş akışkanı olarak hava seçilmiştir. Borunun dışındaki akışın sabit sıcaklıkta olduğu kabul edilmiştir. Borunun uzunluğu $L = 600$ mm, iç çapı $D = 60$ mm, gözenekli parçanın kalınlığı $l = 5$ mm, gözenekli kanatçığın yüksekliği $h = 3$ mm, $h = 5$ mm ve $h = 7$ mm olarak seçilmiştir. Kanatçık konum olarak girişten $1/4$ boru uzunluğuna ($L/4=150$ mm) yerleştirilmiştir. Boruya giren havanın sabit sıcaklıkta olduğu ve sıcaklığının 20°C (293K) sabit olduğu, duvar sıcaklığının ise 110°C (383K) sabit sıcaklıkta olduğu



Şekil 1. (a) Problemin şekli (b) Kanatçığın şekli. ((a) Figure of the problem (b) Figure of the fin)

kabul edilmiştir. Borunun girişinde hidrodinamik olarak tam gelişmiş hız şartlarının oluştuğu kabul edilmiştir. Çıkış sınır şartı olarak da basınç çıkışı tanımlanmıştır.

3. MATEMATİKSEL FORMÜLASYON (MATHEMATICAL FORMULATION)

Problem üç boyutlu olarak tasarlanmıştır. 3 boyutlu süreklilik, momentum, türbülans (k-ε) ve enerji denklemleri çözülmüştür. Kullanılan denklemler aşağıda verilmiştir. Sayısal hesaplamalarda bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) yazılımı olan Ansys-Fluent kullanılmıştır. k-ε türbülans denklemleri başlangıç ve sınır şartları sağlanarak kullanılabilen en basit iki denklemlilik türbülans modelidir. Buna ilave olarak çoğu endüstriyel akışlar için çok iyi performans veren ve validasyonu en çok yapılmış türbülans modelidir [17]. Bu avantajlarından dolayı k-ε türbülans modeli tercih edilmiştir. Kullanılan denklemler aşağıda verilmiştir [18].

Süreklilik denklemi,

$$\frac{\partial U_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

Yerçekiminin etkisinin ihmal edildiği zaman ortalamalı Navier-Stokes denklemleri Eş. (2)'de verilmiştir.

$$U_j \frac{\partial U_i}{\partial x_j} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial x_j} \left[-P\delta_{ij} + 2\nu S_{ij} - \overline{u_i u_j} \right] \quad (2)$$

burada U_i ve u_i sırasıyla ortalama ve salınım yapan hız bileşenleridir, δ_{ij} Kronecker delta, S_{ij} hız-gerinim oranı tensörüdür.

$$S_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) \quad (3)$$

$$\overline{u_i u_j} = \nu_t \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} k \delta_{ij} \quad (4)$$

Türbülans modeli olarak seçilen realizable (gerçeklenebilir) k-ε türbülans modeli denklemleri

aşağıda verilmiştir. Bu k-ε türbülans modelinde kullanılan realizable (gerçeklenebilir) ifadesi, türbülanslı akışın fiziği ile modelin normal gerilmeler üzerindeki belirli matematiksel kısıtlamaları ile uyumlu olduğunu belirtmek için kullanılmaktadır [18-19]. Realizable (gerçeklenebilir) k-ε türbülans modelinde türbülans kinetik enerjisi yutulma hızı (ε) için ve türbülans viskozitesi hesaplamasında değiştirilmiş denklemler kullanılmaktadır.

$$U_j \frac{\partial k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\nu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + P_k - \varepsilon \quad (5)$$

$$U_j \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\nu_t}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) + C_1 S \varepsilon - C_2 \frac{\varepsilon^2}{k + \sqrt{\nu \varepsilon}}$$

burada, P_k türbülans kinetik enerjisi üretimi, S hız gerinim oranı tensörü ile tanımlanan terim, s_k ve s_ε model sabitleridir.

$$S = \sqrt{2 S_{ij} S_{ij}} \quad (6)$$

k-ε türbülans model sabitleri

$$C_1 = 1,44 \quad C_2 = 1,92 \quad C_m = 0,09 \quad s_k = 1,00 \quad s_\varepsilon = 1,30$$

4. SAYISAL SONUÇLAR (NUMERICAL RESULTS)

Sayısal sonuçların doğrulanabilmesi için, öncelikle çözüm ağının çözümden bağımsızlığı sağlanmıştır. Çözüm ağındaki düğüm sayıları bulunurken, düz borudaki tam gelişmiş akış probleminin hız profili kontrolü ile düğüm noktası sayısının çözümden bağımsızlığı kontrol edilmiştir.

Sonuçlar incelenirken, akış hızının etkisi, gözenekliliğin etkisi ve kanatçık yüksekliğinin etkisi olarak incelenmiştir. Akış hızının etkisi incelenirken laminer ve türbülanslı akış durumlarında kanatçığın sıcaklık ve sürtünme faktörü üzerine olan etkisi incelenmiştir.

Laminer akış için $Re = 100$, $Re = 250$ ve $Re = 500$, türbülanslı akış için $Re = 25000$, $Re = 45000$ ve

$Re = 60000$ değerleri olmak üzere toplam altı Reynolds sayısı değerlerinde akışın durumu incelenmiştir.

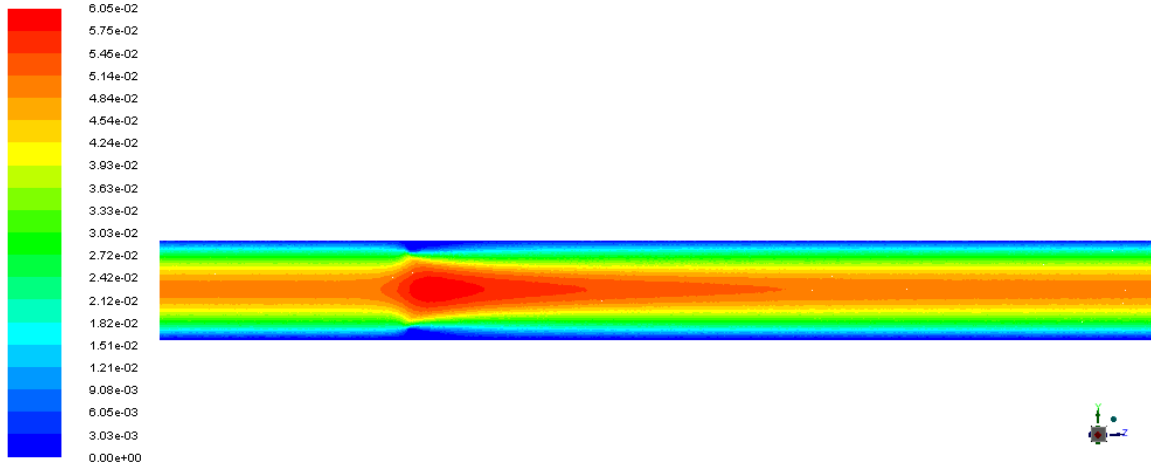
Yüksekliği $h = 7$ mm, gözenekliliği $\varepsilon = 0,3$ olan kanatçık bulunan boru için laminer akış $Re = 100$ için elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir. Akış alanındaki kanatçık etrafındaki hız vektörleri Şekil 2’de, sıcaklık konturları ise Şekil 3’te verilmiştir.

Basınç değerleri incelendiğinde kanatçığın bulunduğu bölgede kanatçıktan dolayı artış olmaktadır. Akış hızı ise kanatçıktan dolayı kesit daralması meydana gelmekte ve havanın hızı artmaktadır. Hava en yüksek hız kanatçıktan hemen sonra ulaşmaktadır (vena contracta). Sıcaklık eğrileri incelendiğinde ise akış hızının yavaş olması, kanatçığın yüksekliğinin incelenen en yüksek uzunlukta olması nedeniyle havanın çıkış sıcaklığı da artmıştır.

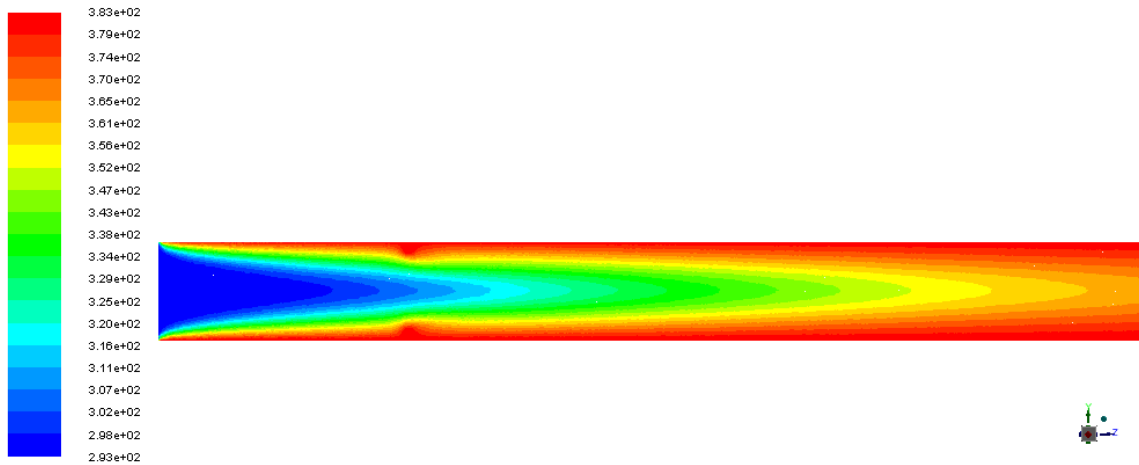
Türbülanslı akış $Re = 45000$, yüksekliği $h = 5$ mm ve gözenekliliği $\varepsilon = 0,1$ olan kanatçık için akış alanındaki hız konturları Şekil 4’te, sıcaklık konturları ise Şekil 5’te verilmiştir. Kesit daralması nedeniyle havanın hız artmakta olduğu görülmektedir. Kanatçıktan hemen sonra da hava en yüksek değerine ulaşmaktadır. Sıcaklık

bölgede sıcaklığın yükseldiği görülmektedir. Bu da kanatçık nedeniyle olan ısı transferini artırmaktadır.

Gözeneklilik değeri $\varepsilon = 0,1$ olan kanatçık için yükseklik ile sürtünme katsayısının değişimi Şekil 6 ve Şekil 7’de sırasıyla laminer ve türbülanslı akış için verilmiştir. Kanatçık kesit alanını daralttığı için sürtünme kayıpları da artmaktadır. Laminer akışta kanatçık yüksekliği $h = 7$ mm için kayıpların daha fazla arttığı görülmektedir. Akış hızı arttıkça sürtünme kayıpları azalmaktadır. Türbülanslı akış şartları incelendiğinde de aynı durum görülmektedir. Bu beklenen bir durumdur, çünkü Moody diagramında da düz borularda akışlarda akışkanın hızı laminer akıştan türbülanslı akışa doğru arttıkça sürtünme katsayısı da azaltmakta ve tam türbülanslı durumdan sonra yaklaşık sabit olarak kalmaktadır. Baysal’ın yaptığı çalışmada da kanatçıksız durumda da sürtünme katsayısının artan Reynolds sayısı ile değiştiği görülmektedir [16]. Kanatçık, akış içerisinde bir engel oluşturmaktadır. Engelin ön tarafında hız azalırken basınç artışı olmaktadır. Engel nedeniyle ayrıca kesitte daralma olmaktadır. Bu nedenle kanatçık üzerinden ve gözeneklerden hava akarken yerel kayıp oluşturmaktadır.

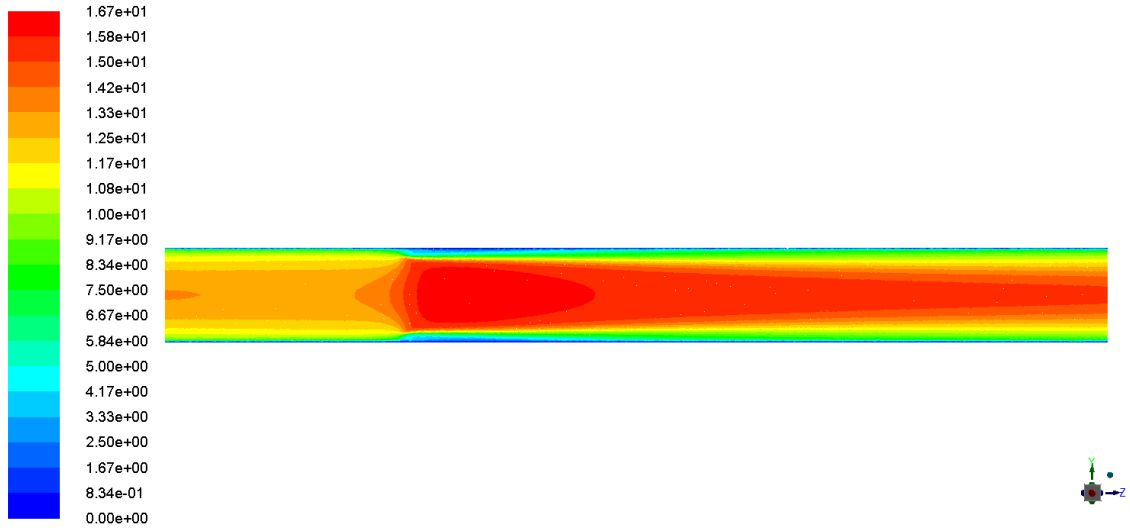


Şekil 2. Laminer akışta hız konturları (Velocity contours in laminar flow)

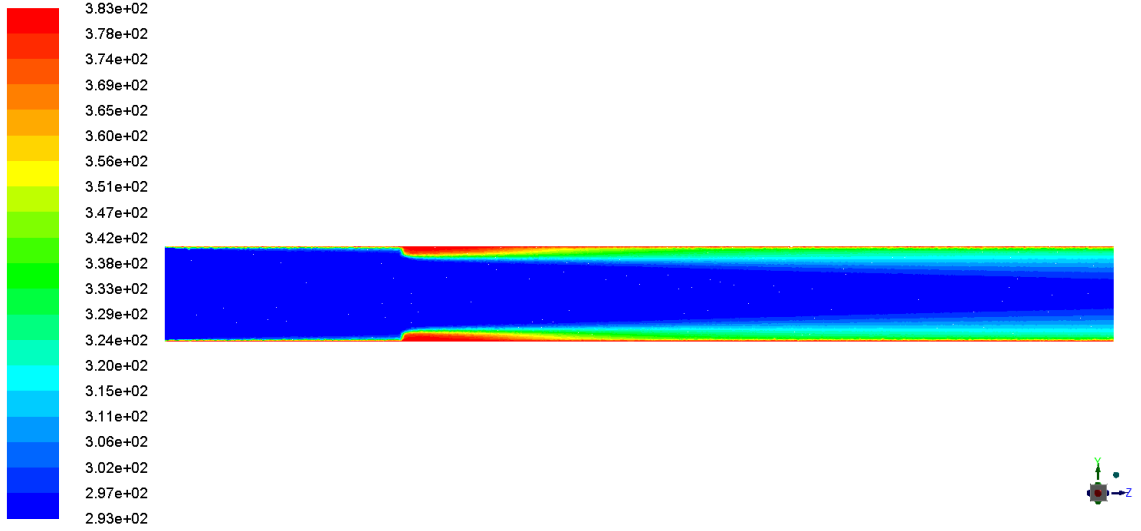


Şekil 3. Laminer akışta sıcaklık konturları (Temperature contours in laminar flow)

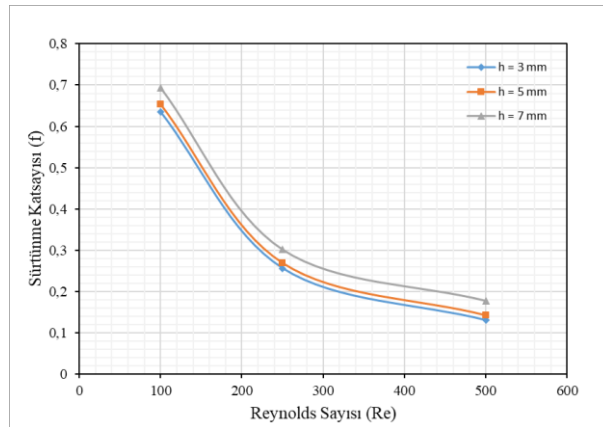
eğrileri incelendiğinde ise gözenekli kanatçıktan sonraki



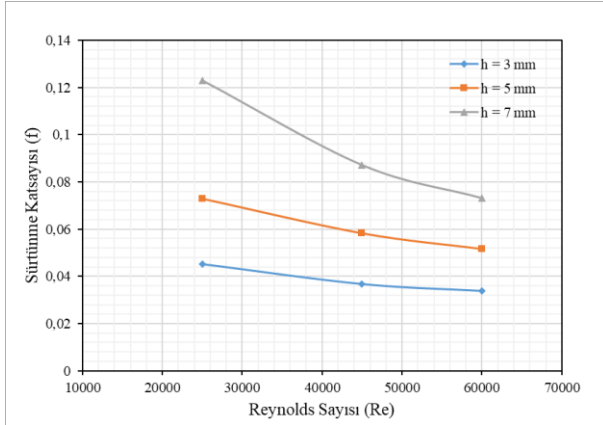
Şekil 4. Türbülanslı akışta hız konturları (Velocity contours in turbulent flow)



Şekil 5. Türbülanslı akışta sıcaklık konturları (Temperature contours in turbulent flow)

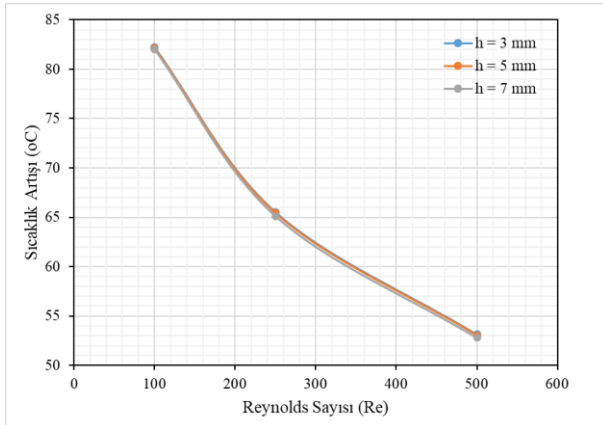


Şekil 6. Kanatçık yüksekliğinin laminar akışta sürtünme katsayısına etkisi ($\epsilon = 0,1$) (The effect of the fin height on the friction coefficient in laminar flow ($\epsilon = 0.1$))



Şekil 7. Kanatçık yüksekliğinin türbülanslı akışta sürtünme katsayısına etkisi ($\epsilon = 0,1$) (The effect of the fin height on the friction coefficient in turbulent flow ($\epsilon = 0.1$))

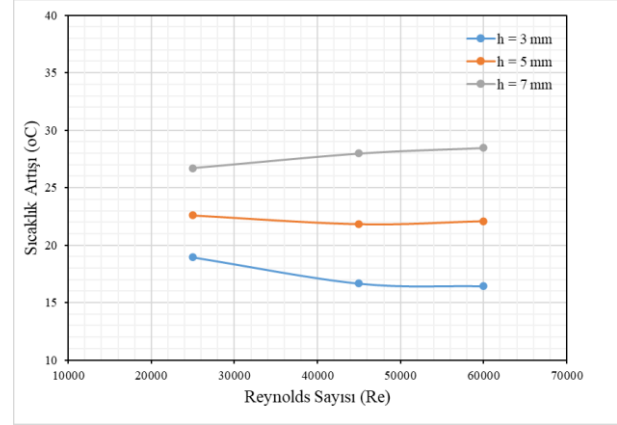
Laminer ve türbülanslı akış şartlarında $\epsilon=0,2$ gözenekliliğine sahip kanatçığın sıcaklığa olan etkisini göstermek için sıcaklık farkları verilmiştir (Şekil 8 ve Şekil 9). Laminer akış şartlarında kanatçık yüksekliğine bağlı olarak Reynolds sayısının değişimi ile sıcaklık farkının azaldığı görülmektedir. Sıcaklık farkının azalmasının sebebi artan hız ile havanın boru içinde kaldığı süre kısalması nedeniyle olmaktadır. Fakat kanat yüksekliğinin ise etkisinin ihmal edilebilecek kadar az olduğu görülmektedir. Türbülanslı akış şartlarında da benzer durum söz konusu olmaktadır. Kanatçığın yüksekliği sıcaklık farkını artırarak yanma odasına giren havanın daha fazla ısıtılmasını sağlamaktadır. Kanatçık yüksekliği $h = 7$ mm için en yüksek sıcaklık farkları elde edilmiştir. Ancak, bu kanatçık kullanıldığında sürtünme kayıplarının da yükselmesi de söz konusudur.



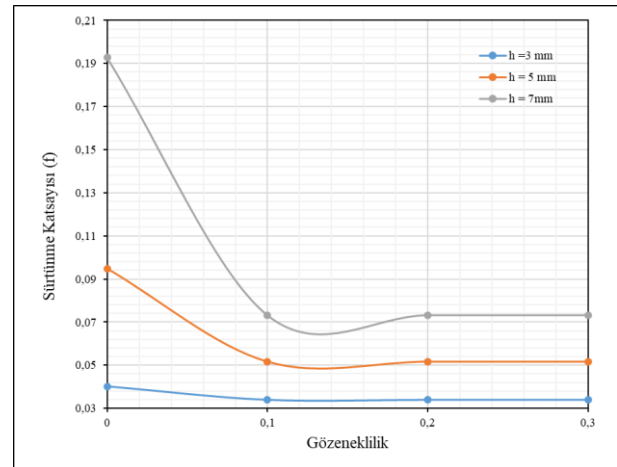
Şekil 8. Laminer akışta sıcaklık artışının değişimi ($\epsilon = 0,2$) (The variation of temperature rise for laminar flow ($\epsilon = 0.2$))

Şekil 10'da türbülanslı akış şartlarında $Re = 60000$ değeri için elde edilmiş olan sonuçlar görülmektedir. Kanatçığın yüksekliğinin artması ile birlikte sürtünme kayıpları artmaktadır. Ancak, katı kanatçığın yüksekliğinin artması akışkan için engel oluşturmakta ve basınç

kaybını daha da artırmaktadır. Kanatçığın yüksekliği artırıldığında gözenekliliğin etkisi ile basınç kayıpları azalmaktadır. Bunun nedeni de havanın akmak için daha fazla yer bulmasından dolayıdır. Daha kısa olan kanatçıkta ise akış üzerine etkilerin çok fazla değişmediği de grafik üzerinden görülmektedir.

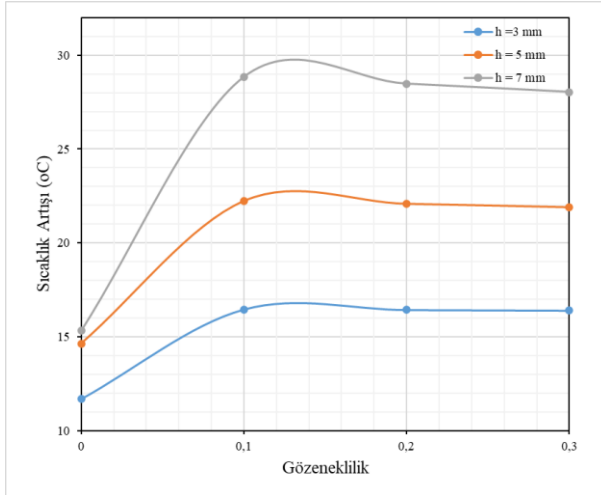


Şekil 9. Türbülanslı akışta sıcaklık artışının değişimi ($\epsilon = 0,2$) (The variation of temperature rise for turbulent flow ($\epsilon = 0.2$))



Şekil 10. $Re = 60000$ için gözenekliliğin sürtünme katsayısına etkisi (The effect of porosity on friction coefficient for $Re = 60000$)

Şekil 11'de $Re = 60000$ için yakma havası giriş sıcaklığındaki artışın eğrileri görülmektedir. Gözeneklilik ile sıcaklık farkı da artmıştır. Ancak, sıcaklık farkı kanatçığın yüksekliği ile birlikte artmaktadır. Havanın akarken daha geniş yüzey ile temas etmesi nedeniyle bu sonuçlar elde edilmiştir. Sıcaklık artışı ile performans elde edilebilirken fan için gerekli olan güç de artmaktadır. Bu durumda enerji tasarrufunu olumsuz olarak etkilemektedir.



Şekil 11. $Re = 60000$ için gözenekliliğin sıcaklık artışına etkisi (The effect of porosity on temperature increase for $Re = 60000$)

6. SONUÇ (CONCLUSION)

Bir boru içerisine yerleştirilen gözenekli bir kanatçığın akışa ve sıcaklığa olan etkisi incelenmiştir. Akışkanın hızını artması ile sürtünme katsayısı değerleri azalmaktadır. Aynı akış hızında laminar ($Re = 100, 250, 500$) ve türbülanslı ($Re = 25000, 45000, 60000$) akışlarda kanatçık yüksekliği ile sürtünme katsayısı da artmaktadır. $h = 7$ mm yüksekliğindeki kanatçıkta en fazla sürtünme kaybı elde edilmektedir. Laminar akış şartlarında giriş ve çıkış arasındaki sıcaklık farkı değeri büyük oranda azalırken, türbülanslı akış şartlarında sıcaklık farkları arasında değişim yüksek olmamaktadır. Türbülanslı akış şartlarında yüksek hızlarda çalışılması durumunda ($Re = 60000$ için) $h = 3$ mm olan kanatçığın daha uygun olduğu görülmüştür. Gözenekliliğe göre değişim incelendiğinde ise kanatçığın yüksekliğinin artması ile birlikte akışkanın sıcaklığının artması ile görülmektedir. Kanatçığın yüksekliğinin artması havanın geçtiği kesit alanında %19 - %41 oranında daralmaya sebep olmaktadır. Bu durum ise fan gücünün artmasına neden olmaktadır. Gözenekliliğin artması ile elde edilen sonuçlarda çok büyük değişiklikler olmamasının sebebi Darcy sayısının sabit kalması olarak yorumlanabilir. Gelecekte yapılacak çalışmalarda Darcy sayısının etkisi incelenebilir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Gazi Üniversitesi Rektörlüğüne sağladığı yazılım desteğinden dolayı teşekkür ederim.

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

Nureddin DİNLER: Çalışmayı yapmış, sonuçlarını analiz etmiş ve makalenin yazımını gerçekleştirmiştir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Alkam M.K. and Al-Nimr M.A., "Improving the performance of double-pipe heat exchangers by using porous substrates", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 42, 19: 3609-3618, (1999).
- [2] Dinler N. and Yuçel N., "Flow and heat transfer in a pipe with a fin attached to inner wall", *Heat Mass Transfer*, 43:817-825, (2007).
- [3] Pavel B.I. and Mohamad A.A., "An experimental and numerical study on heat transfer enhancement for gas heat exchangers fitted with porous media", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 47, 23: 4939-4952, (2004).
- [4] Mahjoob S. and Vafai K., "A synthesis of fluid and thermal transport models for metal foam heat exchangers", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 51, 15-16: 3701-3711, (2008).
- [5] Boomsma K., Poulikakos D. and Zwick F., "Metal foams as compact high performance heat exchangers", *Mechanics of Materials*, 35, 12: 1161-1176, (2003).
- [6] Hayes A.M., Khan J.A., Shaaban A.H. and Spearing I.G., "The thermal modeling of a matrix heat exchanger using a porous medium and the thermal non-equilibrium model", *International Journal of Thermal Sciences*, 47, 10, 1306-1315, (2008).
- [7] Targui N. and Kahalerras H., "Analysis of fluid flow and heat transfer in a double pipe heat exchanger with porous structures", *Energy Conversion and Management*, 49, 11: 3217-3229, (2008).
- [8] Ejlali A., Ejlali A., Hooman K. and Gurgenci H., "Application of high porosity metal foams as air-cooled heat exchangers to high heat load removal systems", *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 36, 7: 674-679, (2009).
- [9] Gorman J.M., Krautbauer K.R. and Sparrow E.M., "Thermal and fluid flow first-principles numerical design of an enhanced double pipe heat exchanger", *Applied Thermal Engineering*, 107: 194-206, (2016).
- [10] Shirvan K.M., Ellahi R., Mirzakhani S. and Mamourian M., "Enhancement of heat transfer and heat exchanger effectiveness in a double pipe heat exchanger filled with porous media: Numerical simulation and sensitivity analysis of turbulent fluid flow", *Applied Thermal Engineering*, 109: 761-774, (2016).
- [11] Shirvan K.M., Mirzakhani S., Kalogirou S.A., Öztop H.F. and Mamourian M., "Heat transfer and sensitivity analysis in a double pipe heat exchanger filled with porous medium", *International Journal of Thermal Sciences*, 121: 124-137, (2017).
- [12] Nasr A., "Heat and mass transfer for liquid film condensation along a vertical channel covered with a thin porous layer", *International Journal of Thermal Sciences*, 124: 288-299, (2018).
- [13] Pour-Fard P.D., Afshari E., Ziaei-Rad M. and Taghian-Dehaghani S., "A numerical study on heat transfer

- enhancement and design of a heat exchanger with porous media in continuous hydrothermal flow synthesis system”, *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 25, 10: 1352-1359, (2017).
- [14] Salehpour A., Salehi S., Salehpour S. and Ashjaee M., “Thermal and hydrodynamic performances of MHD ferrofluid flow inside a porous channel”, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 90: 1-13, (2018).
- [15] Sayar E., “Heat transfer from an oscillated vertical annular fluid column through a porous domain: a thermodynamic analysis of the experimental results”, *Isi Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 37, 2: 1-12, (2017).
- [16] Baysal, E., “Eşmerkezli Boru Tipli Isı Değiştiricilerinde Deneysel ve Sayısal Isı Transferi Sonuçlarının Karşılaştırılması”, *Politeknik Dergisi*, 11, 4: 345-352, (2008).
- [17] Versteeg H. K. and Malalasekera W. “An Introduction to Computational Fluid Dynamics, The Finite Volume Method”, **Addison Wesley Longman**, (1995).
- [18] Shih T.-H., Liou W.W., Shabbir A., Yang Z. and Zhu J., “A new k- ϵ eddy viscosity model for high Reynolds number turbulent flows”, *Computers & Fluids*, 24, 3: 227-238, (1995).
- [19] Ansys Fluent Theory Guide, (2020).