



Birleşik bir turbülatörün ısı transferi analizi

Taha Tuna GÖKSU

Adıyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Adıyaman
tgoksu@adiyaman.edu.tr ORCID: 0000-0002-2334-1698

Müslüme KÖŞKER

Gaziantep Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Gaziantep
mkosker@gantep.edu.tr ORCID: 0000-0002-1005-5289

Fuat YILMAZ*

Gaziantep Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Gaziantep
fuatyilmaz@gantep.edu.tr ORCID: 0000-0001-8910-7231, Tel: (342) 317 25 73

Geliş: 29.11.2018, Revizyon: 24.12.2018, Kabul Tarihi: 11.01.2019

Öz

Bu çalışmanın temel amacı ANSYS Fluent v17 kullanılarak bir dairesel boru içerisinde eşkenar üçgen kesitli sarmal tel ve bükülmüş banttardan oluşan birleştirilmiş bir tasarımın termohidrolik davranışını incelemektir. Sayısal çalışma, 4650 ve 21780 arasındaki Reynolds sayısı aralığında akışkan olarak su kullanarak gerçekleştirilmiştir. Çalışılan Reynolds sayı aralığında Nusselt sayısı birleşik tasarım için %110 ila %128 aralığında pürüzsüz borudan daha yüksektir. Birleşik tasarımın sürtünmesi pürüzsüz borudan yaklaşık %525 daha yüksek olarak elde edilmiştir. Birleşik tasarımın ısı transfer performansı aralığı 1.13-1.23 arasında bulunmuştur. Maksimum ısı transferi performansı en düşük Reynolds sayısında gerçekleşmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bükülmüş bant; sarmal tel; ANSYS; ısı transfer performansı; sayısal analiz

* Yazışmaları yapılacağı yazar

Giriş

Isı değiştiriciler, bir sistemi soğutmak veya ısıtmak için birçok alanda kullanılmaktadır. Geçtiğimiz yüzyılda, ısı değiştirici sistemlerde ısı transferini arttırmak için birçok çalışma yapılmıştır. Pasif ısı transferi tekniği, ısı geliştirme tekniklerinin popüler örneklerinden biridir. Pasif tekniklerde, kanal içine geçmeli elemanlar genellikle ısı transferini arttırmak için kullanılır. Sarmal tel ve bükülmüş bant bu amaç için kullanılan popüler türlerdendir. Pasif tip olduklarından dolayı ise harici bir güce ihtiyaç duymazlar.

Yakın zamandaki çalışmalar, sarmal tel kullanımının ısı transfer geliştirme üzerinde bir avantaj sağladığını göstermiştir. Literatürde, üç farklı sarmal tel hatvesinin boru çapına oranına ($p/D=1, 2$ ve 3) ve iki farklı üçgen tel kenarının çapa oranına ($a/D=0.0714$ ve 0.0892) sahip eşkenar üçgen kesite sahip sarmal telin ısı transferi üzerine etkisi, 3500 ve 27000 Reynolds sayısı (Re) aralığında Gunes vd. (2010a) tarafından incelenmiştir. Sonuçlar, yüksek a/D ve düşük p/D oranlarına sahip sarmalın en iyi performans katsayısına sahip olduğunu göstermiştir. Bir başka çalışmalarında, Gunes vd. (2010b) sarmal telin duvardan uzaklaşmasının termo-hidrolik davranış üzerine etkisini, iki farklı uzaklık değeri için, 4105 ve 26400 Reynolds sayısı aralığında incelemişlerdir. En iyi performans değeri en düşük p/D oranı ve en düşük uzaklık değeri için elde edilmiştir. Promvonge (2008b) iki farklı p/D oranına (0.315 ve 0.421) sahip kare ve dairesel kesitlere sahip sarmal tellerin ısı transferi üzerine etkilerini, 5000 ve 25000 Re sayısı aralığında incelemiştir. Kare kesite sahip olan sarmal tel en iyi performansı sergilemiştir. Kare kesitli sarmal telin performans değerlendirme kriteri (PDK) çalışma şartlarında 1.2 ila 1.3 arasında ve dairesel sarmal tele göre daha yüksek bulunmuştur. Shoji vd. (2003) boru içindeki sarmal telin uzunluğunun etkisini incelemişlerdir. Tam uzunluğa sahip sarmal tel, çalışmadaki diğer kısa ölçekli sarmal tellere göre daha fazla ısı transferi artışı göstermiştir. Eiamsa-Ard vd. (2012) kare kesite sahip bir kanal içinde arka arkaya

sıralanmış sarmal telin, 4000 ve 25000 Re aralığında ısı transferi davranışlarını incelemiştir. Sonuçlar, tam uzunlukta sarmal telin kısa uzunlukta bir alternatifine göre daha iyi bir ısı transferi geliştirmesine sahip olduğunu göstermiştir.

Wang ve Sunden (2002) laminer ve türbülanslı rejimlerde, bükümlü bantın ve sarmal telin ısı transferi performanslarının ve sürtünme faktörlerinin karşılaştırılması üzerine bir araştırma yapmışlardır. Sonuçlar, her iki ısı transfer elemanının tüm rejimlerde oldukça etkili olduğunu ve laminer bölgede bu etkinin daha da kuvvetlendiğini göstermiştir. Sürtünme faktörü düşünülmediğinde, bükümlü bant ısı transferi artışı açısından daha iyi bir performans sergilemesine rağmen, sürtünmenin de hesaba katılmasıyla sarmal tel daha iyi bir ısı transfer performans sunmuştur.

Bir boru içindeki dört farklı büküm oranına ($3, 4, 5$ ve 6) sahip bükülmüş bantın termo-hidrolik performansı, 3000 ile 23000 Re sayı aralığında Jaisankar vd. (2009) tarafından incelenmiş ve büküm oranının azalmasıyla girdap oluşumunun, ısı transferinin ve sürtünme faktörünü arttığını bulmuşlardır. Eiamsa-Ard ve Promvonge (2010) saat yönüne ve saat yönünün tersine çevrilmiş bükümlü bantların dokuz farklı düzenlemesinin termo-hidrolik davranışlarını deneysel olarak araştırmışlardır. Büküm yönüne ek olarak büküm açısı ve büküm oranının etkisi de bu çalışmada araştırılmıştır. Bükülmüş bant düzenlemeleri, tipik olandan daha yüksek ısı transfer performansı göstermişlerdir. Düzenlemelerin termo-hidrolik performansı, azalan büküm oranı ve artan büküm açısı ile artmıştır. Düzenlemelerin Nusselt sayısı (Nu), tipik bükümlü bant ve düz borudan sırasıyla % $12.8-41.9$ ve % $27.3-90.5$ civarlarında daha yüksek elde edilmiştir.

Bükümlü bant ile sarmal telin kullanımı ilk kez Promvonge (2008a) tarafından araştırılmıştır. Bu çalışmada, sarmal tel hatvesinin boru çapına oranı sabit olarak alınmış, 3000 ve 18000 Re sayısı aralığında ısı transferine etkileri incelenmiştir. Bireysel olarak kullanılan sarmal

tele ya da bükümlü banda göre daha iyi bir performans sunmuştur. Bileşik etki çalışan diğer bir çalışmada ise, Eiamsa-Ard vd. (2010) bir sarmal tel içindeki bükülmüş bandın ısı transferi artışı üzerindeki etkisini göstermiştir. Çalışmada, iki farklı bobin düzenlemesi için iki farklı büküm oranı ve azalan hatve oranı düzenlemesi (*D-bobin*) ve azalan/artan hatve oranı düzenlemesi (*DI-bobin*) için üç farklı oran kullanılmıştır. *DI bobinli* 3 büküm oranına sahip bükülmüş bant kombinasyonu, 4600 ve 20000 *Re* sayısı çalışma aralığındaki en düşük *Re* sayısında maksimum performans değerlendirme kriteri değerini göstermiştir (1.25).

Yukarıdaki çalışmada görüldüğü gibi, bir sarmal tel ve bükümlü bant birleşimi, tek sarmal telden ya da bükümlü banttan daha fazla performans göstermiştir. Bu sonuçların motivasyonunda, boru boyunca bükülmüş bant ile paralel sarmal telin (aynı hatve ve büküm oranlarına sahip) ısı performansına etkisi sayısal olarak incelenmiştir. Sayısal çalışmanın doğruluğunu göstermek için Gunes vd. (2010b)'nın deneysel sonuçları test edilmiştir.

Sayısal Yöntem

Sayısal Çözüm

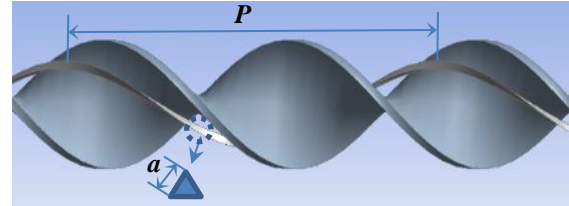
Hesaplamalı akışkanlar dinamiği çözücü olan ANSYS Fluent v17, sayısal denklemlerin çözümü için kullanılmıştır. SIMPLE algoritması basınç hız ilişkisinin ifadesi için seçilmiştir. Enerji için 10^{-6} ve momentum, süreklilik, k ve ϵ için 10^{-4} yakınsama kriteri kullanılmıştır. Sayısal modelleme, kütle, momentum ve enerji için korunum denklemlerinin sayısal çözümlerini içermektedir.

Geometri

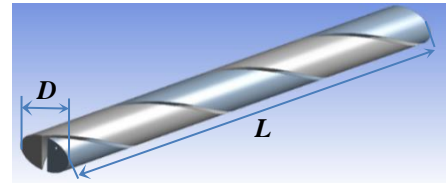
Şekil 1 ve 2 bükümlü bant ile sarmal telin (*TTwWC*) ve bu bileşik elemanla donatılmış borunun geometrisini göstermektedir. Borunun uzunluğu 600 mm'dir. Sarmal telin kalınlığı ve duvardan uzaklığı 2 mm'dir. Çalışmanın hatve ve büküm oranı 90 mm'dir. Borunun çapı 22.6 mm'dir.

Akışkan Alanının Ağ Yapısı

Sonuçların, ağ eleman sayısından bağımsızlığını elde etmek için, üç farklı ağ oluşturulmuştur. Bu ağların eleman sayıları Tablo 1'de verilmiştir. İlgilenilen sonuçlar olan Nusselt sayısı ve sürtünme faktörüne bakıldığında, 7879779 ve 9109971 eleman sayılı ağların sonuçlarındaki sapma miktarı % 1'den daha düşük olarak bulunmuştur. Bu nedenle, sayısal analizi için 7879779 eleman sayılı ağ seçilmiştir.



Şekil 1. Bükümlü bant ile sarmal tel geometrisi



Şekil 2. Sarmal tel ve bükümlü bant içeren akışkan alanı

Tablo 1. Ağ eleman bağımsızlığı çalışması sonuçları

Ağ Eleman Sayısı	Re	Nu	f
5298110	20818	223,33	0,166
7879779	20818	223,38	0,168
9109971	20828	221,41	0,168

Sınır Şartları

Akış yönü boru girişine dik olarak tanımlanmıştır ve akışkan giriş sıcaklığı 308 K olarak kabul edilmiştir. Türbülans yoğunluğu aralıkları, girişte 4 ile 5% arasında ve Reynolds sayısına bağlıdır. Boru duvarı pürüzsüz kabul edilmiş ve 293 K sabit duvar sıcaklığına maruz bırakılmıştır.

Gerekli Parametrelerin Hesaplama Prosedürleri

Tüm hesaplamalar aşağıdaki denklemlere dayanmaktadır.

Taşınım ile aktarılan ısının, iletim ile aktarılan ısıya oranını ifade eden Nu sayısını hesaplamak için Dittus-Boelter denklemi kullanılmıştır.

$$Nu = 0.023 \cdot Re^{0.8} \cdot Pr^{0.3} \quad (1)$$

Atalet kuvvetlerinin viskozite kuvvetine oranı olan Reynolds sayısı aşağıdaki denklemle hidrolik çap kullanılarak elde edilmiştir.

$$Re = \frac{\rho \cdot U_{ortalama} \cdot D_{hidrolik}}{\mu} \quad (2)$$

Sürtünme faktörü

$$f = \frac{2 \cdot \Delta P \cdot D}{\rho \cdot U_{ortalama}^2 L} \quad (3)$$

Isı transfer katsayısı

$$h = \frac{m \cdot c_p (T_o - T_i)}{A (T_w - T_b)} \quad (4)$$

Nusselt sayısı

$$Nu = \frac{h \cdot D_{hidrolik}}{k} \quad (5)$$

Düz boru için Blasius denklemi

$$f = \frac{0.316}{Re^{0.25}} \quad (6)$$

Performans değerlendirme kriteri (PDK)

$$PDK = \frac{Nu_a}{Nu_o} \left(\frac{f_a}{f_o} \right)^{1/3} \quad (7)$$

Sonuçlar ve Tartışma

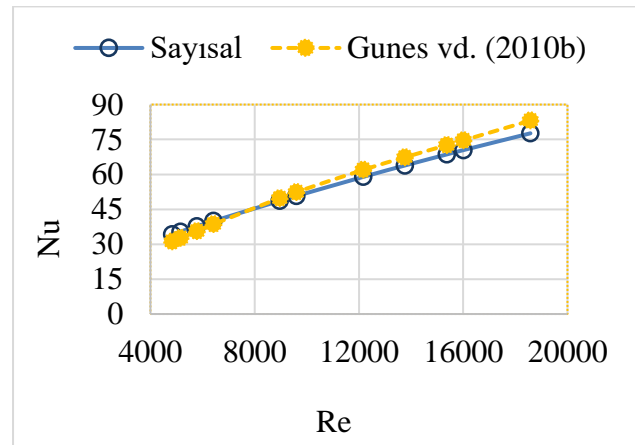
Analiz Yönteminin Doğrulanması

Gunes vd. (2010b)'nin deneysel sonuçları doğrulama için kullanılmıştır. Şekil 3, tel hatvesinin boru çapına oranı 3 olan geometri için, Nu sayısının farklı Re sayılarındaki sayısal ve deneysel sonuçlarını göstermektedir. Şekil 4 ise Reynolds sayısına karşı sürtünme faktörünün sayısal ve deney sonuçlarını sunmaktadır. Doğrulama sonuçları, deneysel ve sayısal Nu sayısının sapma bandını % 2.43 ile % 9.56 arasında olduğunu, sürtünme faktörü için ise, sapma bandının %5 ile %15 arasında olduğunu göstermiştir. Gunes vd. (2010b) tüp duvarından ayrılan sarmal telin sabitlenmesi için yoğun olarak bağlanmış Teflon halkaları kullanmışlardır. Çalışmada teflon halka, viskozite ısı, termal radyasyon ve doğal

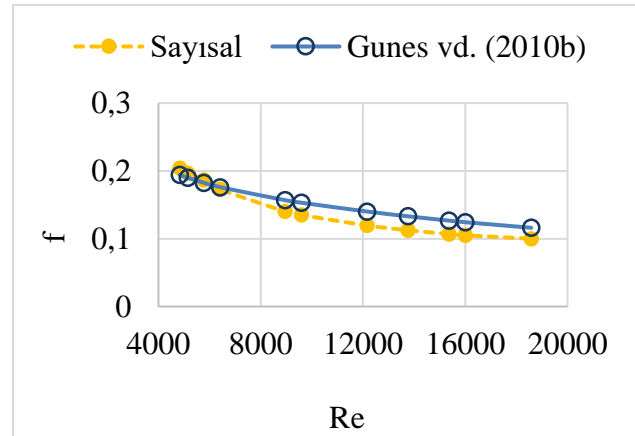
konveksiyon, yer çekimi ve tüpün kalınlığının etkileri ihmal edilebilir olarak değerlendirilmiştir.

Birleşik Sarmal Tel ve Bükülmüş Bandın Etkisi

Bu çalışmada, Nusselt sayısı ve sürtünme ilk olarak deneysel sonuçları ile doğrulanmıştır. Düz tüpün Nu ve f sonuçları Dittus-Boelter ve Blasius denklemleri kullanılarak elde edilmiştir. Bükülmüş bant ve sarmal telli bükülmüş bandın Nu , f ve ısı transfer performans değerleri, 4650 ve 21780 Reynolds sayısı aralığında sayısal olarak elde edilmiştir.



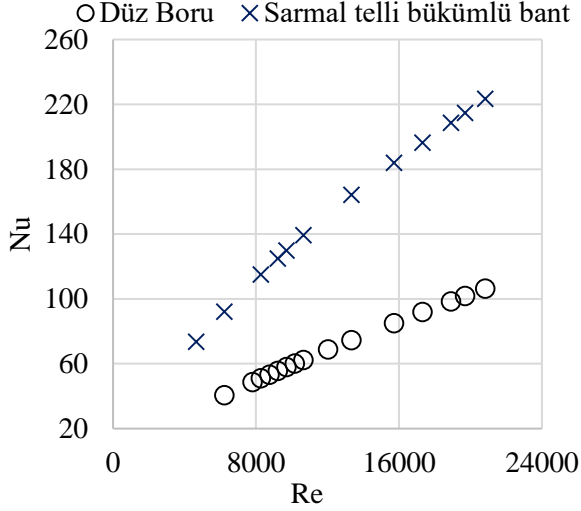
Şekil 3. Sayısal ve deneysel (Gunes vd., 2010b) Nu sonuçlarının karşılaştırılması



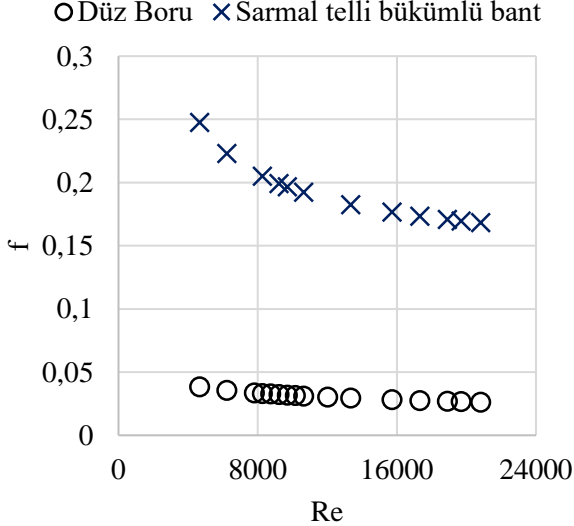
Şekil 4. Sayısal ve deneysel (Gunes vd., 2010b) sürtünme faktörü sonuçlarının karşılaştırılması

Şekil 5 ısı transferinin ve Nusselt sayısının birleşik elemanla arttığını göstermiştir. Birleşik modelin Nu değeri %110 ila %128 arasında düz

borudan daha yüksek olarak elde edilmiştir. Modelin negatif etkisi, Şekil 6'da sunulduğu üzere basınç düşüşü üzerinde gözlemlenmiştir. Sürtünme faktörü yaklaşık 525% düz borudan daha yüksek bulunmuştur. Sürtünme faktörü Reynolds sayısının artmasıyla azalmıştır.



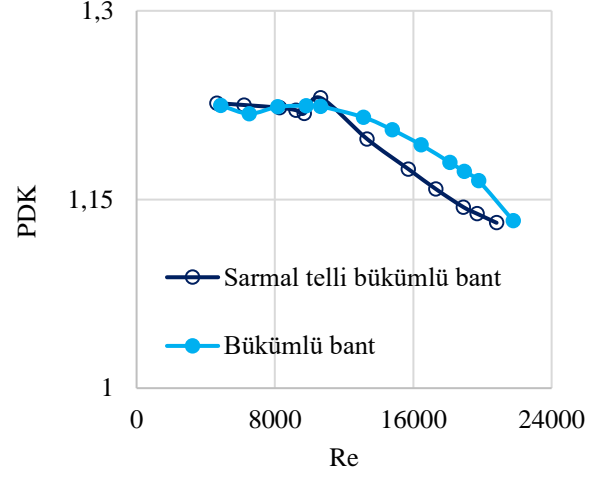
Şekil 5. Nu sayısının Re sayısına bağımlılığı



Şekil 6. Sürtünme faktörünün Re sayısına bağımlılığı

Şekil 7 çalışmanın PDK sonuçlarını göstermektedir. Anlaşıldığı üzere, sarmal telli bükümlü bantın PDK değerleri genellikle 4650 10683 Re sayısı aralığında tipik bükümlü banttan daha yüksektir. Sarmal telli bükümlü bantın

maksimum PDK değeri 1.23 olarak bu Re aralığında elde edilmiştir. Bunun yanında, PDK değerleri genellikle çalışma aralığında birden büyük olarak elde edilmiştir.



Şekil 7. PDK değerinin Re sayısına bağımlılığı

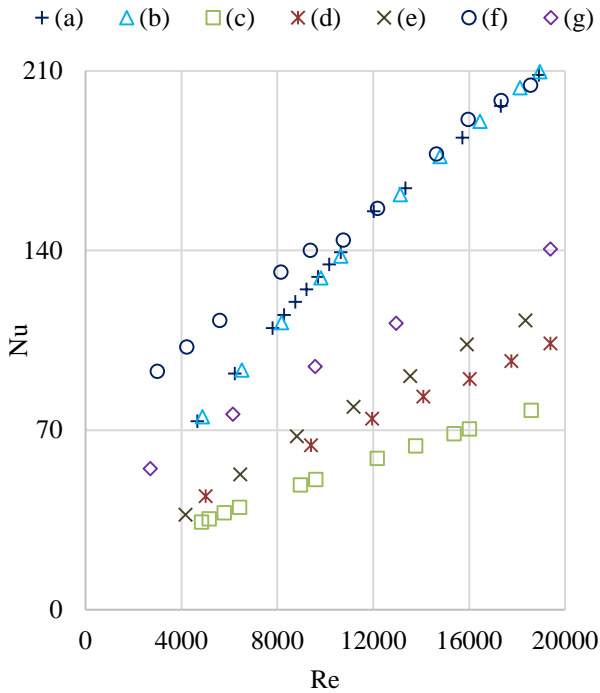
Tablo 2, literatürdeki bazı çalışmaların PDK aralıklarını göstermektedir. Tablodan anlaşıldığı üzere PDK değerleri, farklı Re , hatve oranı ve duvar sınır şartlarında 0.8'den 1.5'a kadar değişmektedir. Bu çalışmanın PDK değeri 1.13 ile 1.23 arasında elde edilmiştir.

Tablo 2. Literatürdeki bazı çalışmaların PDK aralığı

Literatür	PDK
Gunes vd. (2010a)	0.98-1.4
Gunes vd. (2010b)	1-1.5
Promvonge (2008b)	1-1.3
Eiamsa-Ard vd. (2012)	0.85-1.33
Eiamsa-Ard ve Promvonge (2010)	0.8-1.4
Eiamsa-Ard vd. (2010)	0.9-1.25

Verilen literatürde maksimum PDK değeri 1.5 olarak elde edilmiştir. Bu da geçişimli elemanların ısı transfer performanslarının düz borudan yaklaşık %50 daha büyük olduğu anlamına gelmektedir. Şekil 8, Nu sayısının literatürde mevcut çalışmalarla karşılaştırılması göstermektedir. Bu çalışmada elde edilen Nu sayısı, Eiamsa-Ard ve Promvonge (2010) çalışması haricinde literatürden daha yüksek görünmektedir. Ancak, yüksek Re bölgesi için

sayısal Nu değerleri bu çalışmanın değerlerine yaklaşmaktadır.



Şekil 8. Sunulan çalışmanın literatürle kıyaslanması ((c) Gunes vd. (2010a), (d) Promvonge (2008b), (e) Eiamsa-Ard vd. (2012), (f) Eiamsa-Ard ve Promvonge (2010), ve (g) Eiamsa-Ard vd. (2010))

Semboller ve Kısaltmalar

a	: Üçgen sarmal tel kenar uzunluğu (m)
A	: Isı transfer alanı (m^2)
C_p	: Akışkanın sabit basınçtaki özgül ısısı ($J.kg^{-1}.K^{-1}$)
D	: Boru çapı (m)
$D_{hidrolik}$: hidrolik çap (m)
D-bobin	: Azalan hatve oranı düzenlemesi
DI-bobin	: Azalan/artan hatve oranı düzenlemesi
f	: Sürtünme faktörü
h	: Isı transfer katsayısı ($W.m^{-2}.K^{-1}$)
k	: Akışkanın ısı iletim katsayısı ($W.m^{-1}.K^{-1}$)
L	: Boru uzunluğu (m)
m	: kütleli debi (kg/s)
Nu	: Nusselt sayısı
p	: Sarmal tel hatvesi uzunluğu (m)
PDK	: Performans değerlendirme kriteri
Pr	: Prandtl sayısı
Re	: Reynolds sayısı

T_b	: Ortalama sıcaklık (K)
T_i	: Giriş sıcaklığı (K)
T_o	: Çıkış sıcaklığı (K)
T_w	: Duvar sıcaklığı (K)
U	: Hız (m/s)

Yunanca Semboller

ΔP	: Basınç düşüşü (Pa)
μ	: Dinamik viskozite ($kg/(m.s)$)
ρ	: Yoğunluk (kg/m^3)

Teşekkür

Bu çalışma, Gaziantep Üniversitesi Araştırma Fonu tarafından MF.YLT.17.12 numaralı araştırma proje kapsamında mali olarak desteklenmiştir.

Kaynaklar

- Eiamsa-Ard, S., Koolnapadol, N., Promvonge, P., (2012). Heat transfer behavior in a square duct with tandem wire coil element insert. Chinese Journal of Chemical Engineering 20, 863-869.
- Eiamsa-Ard, S., Nivesrangsan, P., Chokphoemphun, S., Promvonge, P., (2010). Influence of combined non-uniform wire coil and twisted tape inserts on thermal performance characteristics. International Communications in Heat and Mass Transfer 37, 850-856.
- Eiamsa-Ard, S., Promvonge, P., (2010). Performance assessment in a heat exchanger tube with alternate clockwise and counter-clockwise twisted-tape inserts. International Journal of Heat Mass Transfer 53, 1364-1372.
- Gunes, S., Ozceyhan, V., Buyukalaca, O., (2010a). The experimental investigation of heat transfer and pressure drop in a tube with coiled wire inserts placed separately from the tube wall. Applied Thermal Engineering 30, 1719-1725.
- Gunes, S., Ozceyhan, V., Buyukalaca, O., (2010b). Heat transfer enhancement in a tube with equilateral triangle cross sectioned coiled wire inserts. Experimental Thermal Fluid Science 34, 684-691.

- Jaisankar, S., Radhakrishnan, T., Sheeba, K., (2009). Experimental studies on heat transfer and friction factor characteristics of forced circulation solar water heater system fitted with helical twisted tapes. *Solar Energy* 83, 1943-1952.
- Promvonge, P., (2008a). Thermal augmentation in circular tube with twisted tape and wire coil turbulators. *Energy Conversion and Management* 49, 2949-2955.
- Promvonge, P., (2008b). Thermal performance in circular tube fitted with coiled square wires. *Energy Conversion Management* 49, 980-987.
- Shoji, Y., Sato, K., Oliver, D., (2003). Heat transfer enhancement in round tube using wire coil: influence of length and segmentation. *Heat Transfer Asian Research* 32, 99-107.
- Wang, L., Sunden, B., (2002). Performance comparison of some tube inserts. *International Communications in Heat Mass Transfer* 29, 45-56.

Heat transfer analysis of a combined turbulator

Extended abstract

The main aim of the present study is to examine the thermohydraulic characteristic of a combined design of twisted tape with equilateral triangular cross sectional wire coil (TTwWC) insert in a pipe. Numerical study is carried out in the range of Reynolds number between 4650 and 21780 using water as a working fluid.

Heat exchanger is used in many fields such as chemical process and petrochemical to cool or heat a system. In the past century, many studies have been done to enhance heat transfer in heat exchanger systems. Passive heat transfer technique is one of the popular examples of heat enhancement techniques. In passive techniques, inserts are generally used to enhance heat transfer. The wire coils and twisted tapes are popular insert types for this purpose. These types of inserts are additional equipment to the smooth pipe, and they don't need any external power to a system.

The commercial CFD solver ANSYS Fluent v17 was used in numerical analysis to solve the governing equations with a pressure-based solver. Semi-implicit pressure linked equation method (SIMPLE) algorithm for pressure velocity coupling and RNG $k-\epsilon$ for turbulence model were used. The convergence criterion of 10^{-6} for energy and of 10^{-4} for momentum, continuity, k , and ϵ were used. The numerical modeling involved numerical solutions of the conservation equations for mass, momentum, and energy.

The length of analysis tube is 600 mm. The thickness of wire coil and separated distance of wire coil from the wall are 2 mm. The pitch and twist ratio of the study are 90 mm. The diameter of pipe is 22.6 mm. The direction of the flow is defined to be normal to the boundary, and the fluid inlet temperature is accepted as 308 K. The turbulence intensity ranges depend on Reynolds number is between 4 and 5% at the inlet. The wall of the pipe is assumed to be perfectly smooth with zero roughness, and the uniform wall temperature of the pipe wall is 293 K.

Three different meshes were applied on the geometry for mesh independency study. The numbers of mesh elements were 5298110, 7879779, and 9109971. Nu

and f deviation between 7879779 and 9109971 mesh elements numbers were lower than 1%. Therefore, 7879779 mesh elements were selected for numerical analysis of TTwWC.

The experimental study of Gunes et al. (2010b) for $p/D=3$ was used for validation. Validation results show that Nu difference band with experimental was between 2.43% and 9.56%, f difference band with experimental was between 5 and 15%. In order to simplify the numerical model, some assumptions were adopted. Gunes et al. (2010b) were used densely attached Teflon rings in order to fix the coiled wire separated from the tube wall. In the study, the effects of Teflon ring, the viscosity heating, thermal radiation and natural convection, gravity, and thickness of the tube were considered negligible.

Results showed that the convective heat transfer and the Nusselt number were increased with inserts. Nu numbers of TT and TTwWC were greater than smooth pipe 106 to 124% and 110 to 128%, respectively. Nu appears to be higher than that noted in the literature, except the result of Eiamsa-Ard and Promvonge (2010).

The negative effect of inserts was obtained on the pressure drop. However, the friction numbers of TT and TTwWC were higher than the smooth pipe approximately 498 and 525%, respectively.

The most important point of the current study was observed on heat transfer performance. The performance evaluation criteria of the present study is between 1.13 and 1.23. The maximum heat transfer performance was obtained around 1.23 at low Reynolds number region. Heat transfer performance decreased with increasing Reynolds number. The reason of that comes from the increasing of friction. Results showed that heat transfer enhancement efficiency of TTwWC is generally higher than TT in the low Re. Laminar or transition region, different twist or pitch ratio can be chosen for the future studies.

Keywords: Twisted tape, wire coil, ANSYS, heat transfer performance, numerical analysis