

Makalenin Geliş Tarihi : 26.04.2009
Makalenin Kabul Tarihi : 21.10.2009

YARI-KÜRESEL ENGEL KONULAN BİR KANAL İÇERİSİNDE ISI GEÇİŞİ VE AKIŞIN SAYISAL İNCELENMESİ

Nihal UĞURLUBİLEK¹

ÖZET: Bu çalışmada yarı-küresel bir engelin varlığında iki boyutlu bir kanal içerisinde ısı geçişi ve akış sayısal olarak incelenmiştir. Reynolds sayısı 10 000 -100 000 aralığında alınmıştır. Kanal yüksekliği yarı-küresel engelin çapının 4 katı, kanal uzunluğu ise 32 katı alınmıştır. Navier-Stokes ve enerji denklemleri Simple algoritması ve türbülanslı akışta Standart k-epsilon modeli kullanılarak çözülmüştür. Korunum denklemlerinin sayısal çözümü için Fluent programı kullanılmıştır. Sonuçlar; bir kanaldaki ısı geçişinin yarı-küresel engel koyulduğunda yaklaşık %15, bununla beraber; yüzey sürtünme katsayısının yaklaşık %17 civarında arttığını göstermiştir.

ANAHTAR KELİMELELER: Isı Geçişi, İyileştirme, Türbülans, Yarı-Küresel, Sayısal.

NUMERICAL INVESTIGATION OF HEAT TRANSFER AND THE FLOW IN A CHANNEL WITH A HEMI-SPHERICAL OBSTACLE

ABSTRACT: In this study, heat transfer and flow in a channel in the presence of a hemispherical body has been numerically investigated. Reynolds number is chosen between 10000-100000. The channel height and length are taken 4 and 32 times of the hemispherical body diameter, respectively. The Navier- Stokes and energy equations have been solved using Simple algorithm and Standart k-ε formulation for turbulent flow regime. The governing equations are solved using the commercial code Fluent. The results indicate that heat transfer in a channel with a hemispherical body is increased by around %15; however the skin friction coefficient on the channel wall is increased by around %17.

KEYWORDS: Heat Transfer, Enhancement, Turbulent, Hemi-Sphere, Numerical.

¹ Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü
Meşelik Kampüsü, 26480 ESKİŞEHİR

I. GİRİŞ

Isı geçişini artırma araştırmacılar için oldukça önemli bir konudur, çünkü enerji ve malzeme tasarrufu günümüzde çok önemlidir. Endüstriyel tesislerde kanal içinde ısı geçişinin çeşitli uygulamaları vardır. Kanallarda ısı geçişinin iyileştirilmesi ilgi odağıdır. Kanal içerisine farklı geometrilerde cisimler koyularak ısı geçişinde iyileştirmeler denenmiştir (vorteks üreticiler, bükülü şekiller, kanatçıklar). Bu geometrilerin varlığı akışta ayrılmalara ve yeniden birleşmelere neden olduğundan ısı ve momentum geçişlerinde artış oluşturmaktadır.

Abbasi vd. [1] bir kanal içerisinde prizma kullanılarak $Re=100$ için ısı geçişinin iyileştirilebileceğini sayısal olarak (FEM) göstermiştir. Bir üçgen prizma kullanılarak kanal içinde türbülanslı akışta ($Re=10000-40000$) ısı geçişinin iyileştirilmesi, sayısal olarak Himadri Chattopadhyay [2] tarafından incelenmiştir.

Bu çalışmada ise; yarı-küresel engel konulan bir kanal içerisinde akış ve ısı geçişi, türbülanslı akış rejiminde sayısal olarak araştırılmıştır. Karşılaştırma yapmak için aynı problem, içinde engel olmayan kanal için de çözülmüştür. Akış alanının boyutları Abbasi vd. [1] ve Chattopadhyay [2] tarafından incelenen geometriyle aynı alınmıştır. Akış türbülanslı olup Re sayısı 10 000- 100 000 aralığındadır. Yarı-küresel cismin çapının (D) kanal yüksekliğine oranı 0.25 alınmıştır. Engel kanal girişinden $8D$ uzaklıkta olup kanal uzunluğu $32D$ 'dir. Kanalın altı (T_s) sabit sıcaklıkta olup kanal girişinde akışkan sıcaklığı (hava) çevre sıcaklığında alınmıştır. Alt plakadan kanal içinde akan havaya ısı geçişi söz konusudur. Hareket ve enerji denklemleri Simple algoritması ve türbülanslı akış için Standart $k-\varepsilon$ türbülans modeli kullanılarak Fluent [3] programıyla çözülmüştür. Hesap bölgesinin tümünde dikdörtgen ağ yapısı kullanılmıştır. Akış iki boyutlu ele alınmıştır.

II. YÖNTEM

Bu çalışmada sonlu hacim yaklaşımı ile Patankar ve Spalding'in [4] Simple algoritması kullanılmıştır. Akışkan olarak $Pr=0.71$ olan hava kullanılmıştır. Boyutsuz Reynolds- ortalama Navier- Stokes denklemleri olarak

Süreklilik denklemi:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

x-Momentum denklemi:

$$\frac{\partial(uu)}{\partial x} + \frac{\partial(uv)}{\partial y} = -\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{1}{\text{Re}} \left(1 + \frac{\nu_t}{\nu} \right) \nabla^2 u \quad (2)$$

y-Momentum denklemi:

$$\frac{\partial(uv)}{\partial x} + \frac{\partial(vv)}{\partial y} = -\frac{\partial P}{\partial y} + \frac{1}{\text{Re}} \left(1 + \frac{\nu_t}{\nu} \right) \nabla^2 v \quad (3)$$

Energy denklemi:

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \frac{1}{\text{RePr}} \left(1 + \frac{\alpha_t}{\alpha} \right) \nabla^2 T \quad (4)$$

şeklindedir. Burada u ve v akışkanın sırasıyla x ve y yönlerindeki hızları, α ısı yayılım katsayısı, ν kinematik viskozite, P ise basınçtır. Türbülanslı akış çözümlerinde standart k- ε modeli [5] seçilmiştir. k ve ε denklemleri sırasıyla:

$$u \frac{\partial k}{\partial x} + v \frac{\partial k}{\partial y} = \frac{1}{\text{Re}} \left(\frac{\nu_t}{\sigma_k} \right) \nabla^2 k + P - \varepsilon \quad (5)$$

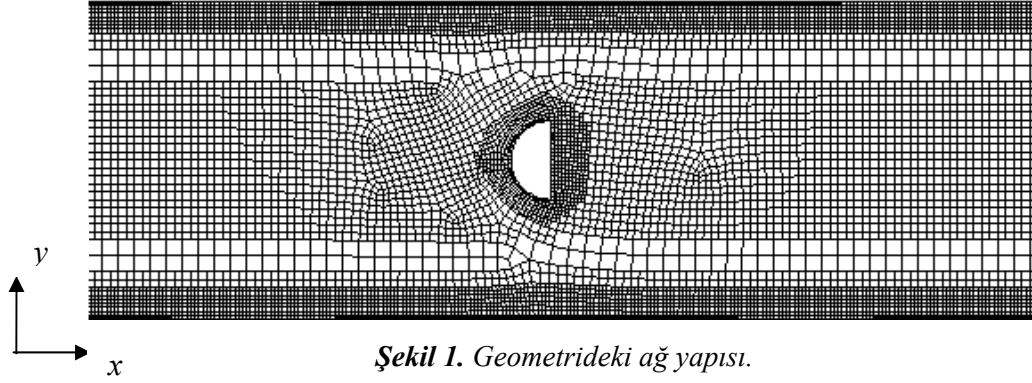
$$u \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} + v \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} = \frac{1}{\text{Re}} \left(\frac{\nu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \nabla^2 \varepsilon - C_1 S_\varepsilon - \rho C_2 \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (6)$$

olarak verilmiştir. Burada P türbülans kinetik enerji üretimi, k türbülans kinetik enerjisi, ε türbülans yok olma oranı, ν_t türbülans viskozitesi, $\sigma_\varepsilon, \sigma_k, C_1, C_2$ ise model katsayılarıdır [5].

Kanal girişinde üniform hız profili ve tüm kanal duvarlarında kaymama koşulu kabul edilmiştir. Türbülans yoğunluğu kanal giriş ve çıkış kesitinde %5 düzeyinde tutulmuştur. Kanal alt duvarı ve giriş kesitindeki akışkanın sıcaklığı sırasıyla 450 K ve 289 K olarak alınmıştır. Yarı-küresel cismin yüzeyi ve kanal üst duvarı adyabatiktir.

Korunum denklemleri Simple algoritması [4] kullanılarak Fluent [3] programıyla çözülmüştür. Yakınsama kriteri tüm büyüklükler için 10^{-5} alınmıştır.

Model üzerinde dikdörtgen ağ yapısı oluşturulmuştur (Şekil 1). Ağ yapısından bağımsız çözüm, farklı ağ seviyeleri için çözümler karşılaştırılarak bulunmuştur. Toplam düğüm noktası sayısı içine yarı-küresel engel koyulan ve koyulmayan kanal için sırasıyla 21 215 ve 16 626'dır. Sınır tabakanın öneminden dolayı engel ve kanal cidarına daha sık düğüm noktaları uygulanmıştır.



Şekil 1. Geometrideki ağ yapısı.

Bu çalışma için iki önemli parametre yüzey sürtünme katsayısı ve Nusselt sayısıdır.

Yüzey sürtünme katsayısı

$$C_f = \frac{\tau_s}{\rho u_m^2 / 2} \quad (7)$$

Yerel Nusselt sayısı

$$Nu(x) = \frac{\partial T^*}{\partial y^*} \Big|_{y^*=0} \quad (8)$$

olarak ifade edilir, burada $T^* = (T(x) - T_{\infty}) / (T_s - T_{\infty})$ ve $y^* = y/L$ sırasıyla boyutsuz sıcaklık ve uzunluk terimleri olup T_{∞} kanaldan geçem akışkanın sıcaklığıdır.

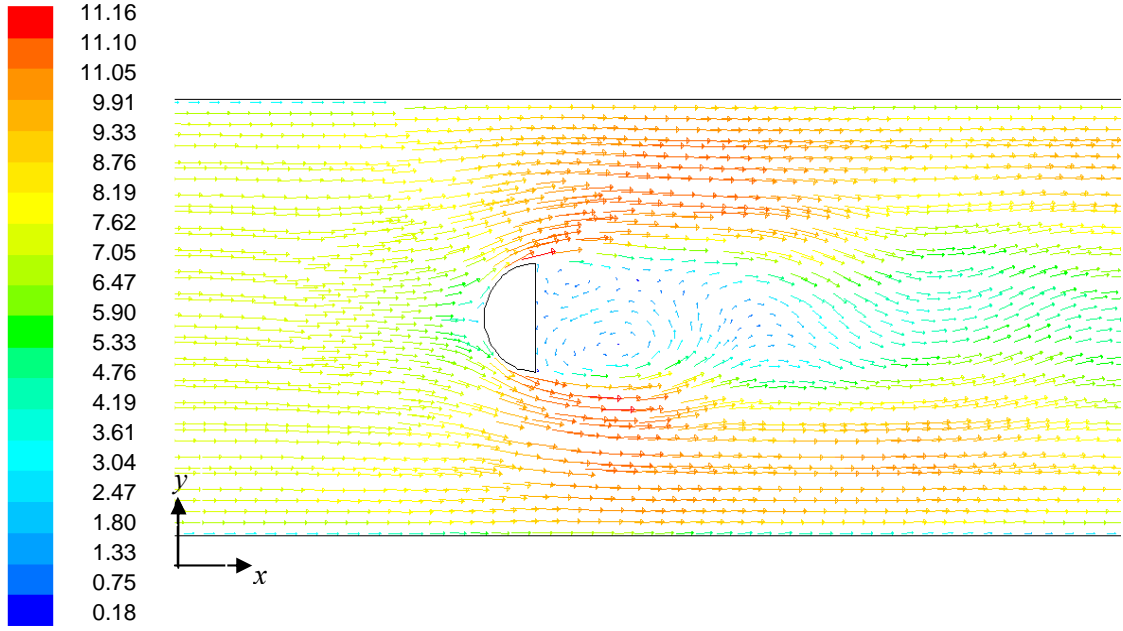
Ortalama Nusselt sayısı,

$$Nu = \frac{\int_0^L Nu(x) dx}{L} \quad (9)$$

olup, Nu boyutsuz ısı taşınım katsayısıdır. C_f yüzeydeki sürtünme katsayısı τ_s yüzeydeki kayma gerilmesi, u_m akışkanın ortalama hızı, ρ akışkan yoğunluğu ve L kanal uzunluğudur.

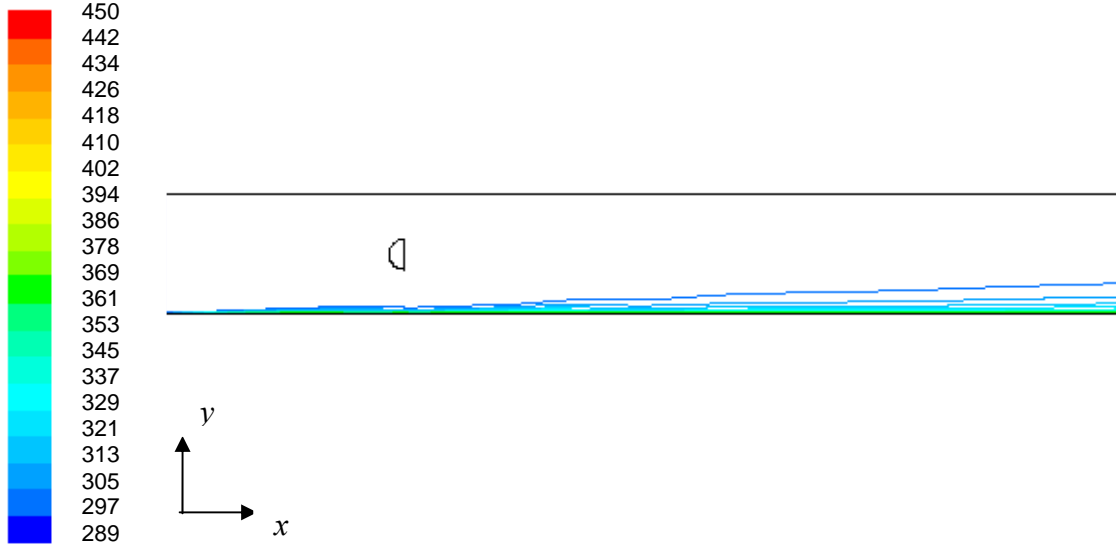
III. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yarı-küresel cismin etkilediği akışın hız vektörleri Şekil 2'de gösterilmiştir. Görüldüğü üzere akım çizgileri engelden sonra iki bölgeye ayrılmış ve daha sonra tekrar birleşmiştir. Engelin arkasında iki ayrı girdap bölgesi oluşmuştur. Bu dönme hareketlerinin varlığı neredeyse kanalın yarısını geçene kadar devam etmektedir.



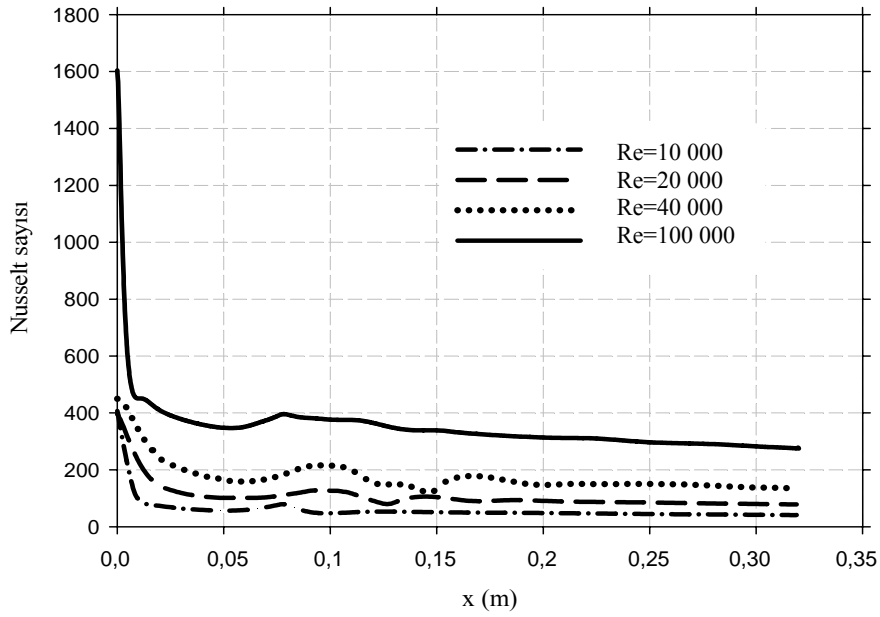
Şekil 2. Yarı-küresel cisim etrafındaki hız (m/s) vektörleri ($Re=40\ 000$ için).

Bu durum, içinde engel olmayan kanaldakinden daha fazla türbülans oluşturmakta ve doğal olarak ısı geçişinde belli bir artışa sebep olmaktadır (Şekil 3). Ancak ısı geçişinin artmasıyla beraber sürtünmenin artması da kaçınılmazdır.



Şekil 3. Kanal alt duvarına yakın bölgede akışkan statik sıcaklık dağılımı ($Re=40\ 000$)

Yarı-küresel cismin $10\ 000 < Re < 100\ 000$ aralığında ısı geçişine etkisi Şekil 4'de verilmiştir. Reynolds sayısı arttıkça ısı geçişinin, dolayısıyla Nusselt sayısının arttığı gözlenmektedir.



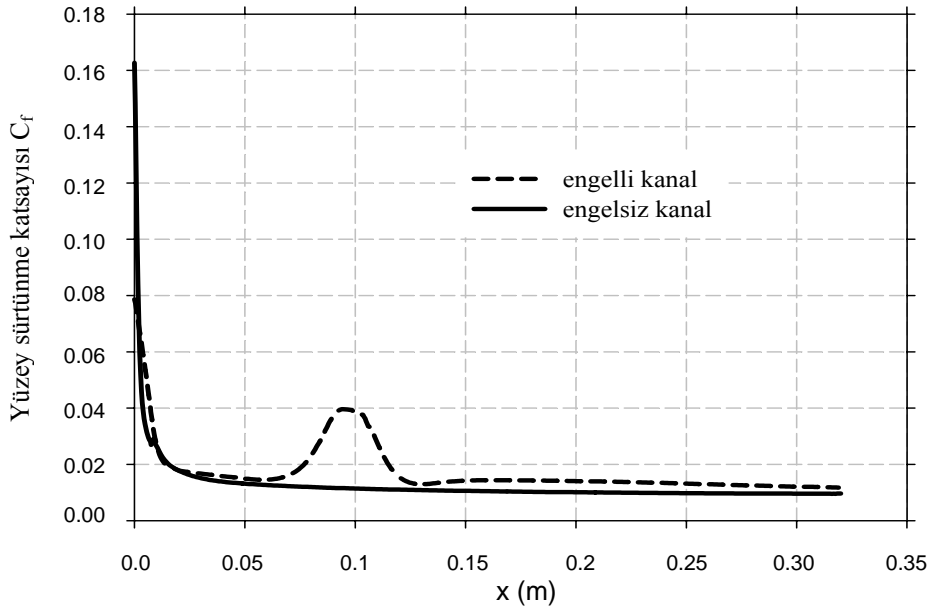
Şekil 4. Kanal alt duvarı boyunca yerel Nusselt sayısının dağılımı.

Tablo 1’de engelli ve engelsiz kanallar için ısı geçişi verileri özetlenmiştir. Görüleceği üzere yarı-küresel cisim kanal içindeki ısı geçişini, yani ortalama Nusselt sayısını %15 civarında arttırmıştır.

Tablo 1. Ortalama Nusselt sayılarının karşılaştırılması

Re	Nu (engelsiz)	Nu (engelli)	Nu’ daki iyileşme (%)
10 000	49,26	57,43	16
20 000	81,73	91,19	12
40 000	143,16	163,86	15
100 000	292,1582	311,70	19

Isı geçişindeki bu artış sürtünme katsayısında artışı da beraberinde getirmektedir. Şekil 5’den görüldüğü gibi yarı küresel engelin bulunduğu bölgede sürtünme katsayısı yaklaşık %100 oranında artış göstermiştir.



Şekil 5. Kanal alt duvarı boyunca sürtünme katsayısı ($Re=10\ 000$ için).

Sürtünme katsayısındaki bu artış engelin olduğu bölgede oluşan birbirine zıt yönde dönen vorteks çiftlerinden kaynaklanmaktadır. Tablo 2'den görüldüğü üzere yarı-küresel engel koyulmuş kanal çıkışındaki yüzey sürtünme katsayılarındaki artış, engelsiz kanal akışıyla karşılaştırıldığında % 17 civarındadır.

Tablo 2. Kanal çıkışındaki sürtünme katsayısı değerleri

Re	Cf (engelsiz)	Cf (engelli)	C _f ' deki artış (%)
10 000	0,0096	0,0114	18
20 000	0,0082	0,00954	16
40 000	0,0073	0,0086	17
100 000	0,0054	0,0074	18

Sonuç olarak; bu çalışmada engelsiz kanal ve yarı-küresel cisim konulan bir kanal içerisindeki ısı geçişi ve akış incelenmiştir. Chattopadhyay [2] tarafından sunulan çalışmada üçgen prizmanın varlığıyla oluşan ısı geçişindeki iyileşme %15 iken bu çalışmada da %15 olarak bulunmuştur. Bununla beraber Chattopadhyay [2] tarafından sunulan çalışmada kanal çıkışındaki sürtünme katsayısındaki artış %25 iken bu çalışmada % 17 olarak bulunmuştur. Bu da göstermektedir ki; yarı-küresel cisim konularak bir kanal içerisindeki ısı geçişindeki iyileşme üçgen prizma kullanılarak kazanılan iyileşmeyle aynı olmasına karşın; sürtünme katsayısı daha düşük gerçekleşmiştir. Bu da daha az pompa gücü ve enerji tasarrufu anlamını taşımaktadır.

IV. KAYNAKLAR

- [1] H. Abbasi, S. Turki and S. Ben Nasrallah, “Numerical Investigation of Forced Convection in a Horizontal Channel with a Built-in Triangular Prism”, *ASME J. Heat Transfer*, Vol.124, pp. 571-573, 2002.
- [2] H. Chattopadhyay, “Augmentation of Heat Transfer in a Channel Using a Triangular Prism”, *International Journal of Thermal Sciences*, Vol.46, No.5, pp.501-505, 2007.
- [3] Fluent User’s Guide, Version 4.4. Fluent Inc., Lebanon, NH., 1996.
- [4] S.V. Patankar, “*Numerical Heat Transfer and Fluid Flow*”, 79-138, Hemisphere, McGraw-Hill, Washington, DC, 1980.
- [5] B. E. Launder and D. B. Spalding, “*Lectures in Mathematical Models of Turbulence*”, Academic Pres, London, England, 1972.