

Silindir etrafındaki etilen glikol akışının sayısal olarak incelenmesi

Ömer Faruk CAN^{*1}, İhsan DAĞTEKİN²

¹Dicle Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 21280, Diyarbakır

²Fırat Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 23100, Elazığ

Özet

Bu çalışmada silindir yüzey üzerinden etilen glikol akışı nümerik olarak incelenmiştir. Çalışma Reynolds sayısının 40000 ve 70000 durumları için laminar, 200000 ve 400000 durumları için türbülanslı olarak ele alınmıştır. Etilen glikol için Prandtl sayısı 103 olarak alınmıştır. Sayısal çalışma ANSYS CFX 11.0 programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Zaman ve eleman sayısı tasarrufu için çalışma simetri olarak gerçekleştirilmiştir. Türbülans model olarak SST türbülans model seçilmiştir. Türbülans etkilerinin iyi gözlemlenebilmesi için silindir cidarındaki y^+ mesafesi 0.5 alınmıştır. Silindir yüzeyde doğru sonuç elde etmek için sıralı 50 tabaka ağ kullanılmıştır. Modelde toplam 27166 eleman, 41350 düğüm kullanılmıştır. Kullanılan silindir yüzeyin çapı 0.1 m alınmıştır. Dikey mesafe 0.75 m, yatay mesafe 2.5 m, blokaj oranı 10 olarak alınmıştır. Etilen glikol 25 °C sıcaklıkta alınmış, silindir yüzeye 50 °C sabit sıcaklık sınır şartı verilmiştir. Üst ve sağ kısma serbest sınır şartı uygulanmıştır. Yapılan çalışma literatürde yapılmış benzer çalışmalarla kıyaslanmış ve uyumlu sonuçlar elde edilmiştir. Çalışma sonunda Prandtl ve Reynolds sayılarının Nusselt sayısı üzerindeki etkisini gösteren bağıntılar elde edilmiştir. Ayrıca Reynolds sayısının $40000 < Re < 400000$ aralığı için sürüklenme katsayıları elde edilmiştir. Silindir yüzey üzerindeki yerel Nusselt sayılarının ortalama Nusselt sayılarıyla değişimi $0^\circ < \theta < 180^\circ$ aralığında açısız olarak incelenmiştir. İnceleme sonucunda yerel Nusselt sayılarının literatürde belirtildiği gibi laminar akış durumunda bir minimum noktadan geçtiği, türbülanslı akış durumunda iki ayrı minimum noktadan geçtiği bulgusuna ulaşılmıştır. Ayrıca Reynolds ve Prandtl sayılarının Nusselt sayısı üzerindeki etkisini içeren bağıntılar, farklı Reynolds sayıları için direnç katsayıları elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: silindir, Reynolds sayısı, Nusselt sayısı, türbülans, direnç katsayısı,

Numerical analysis of ethylene glycol flow around a circular cylinder

Extended abstract

The concept of the external flow is noticeable in many engineering applications. Many topics such as vehicles, power lines, lift force created by the wings of aircraft and blood flows are covered by outer flow. Therefore, detailed studies of the external flow such as planes, cars, buildings, ships, submarines and turbines play an important role in many engineering system designs. The effect of heat transfer on cross flow around the various geometries was experimentally and numerically investigated for many years. Studies on various geometries like circle, square and triangle are discussed. Constant heat flux or constant temperature boundary conditions of heat transfer between the fluid and the wall has been studied extensively. Studies are based on determination of the structures of heat transfer, Nusselt, Prandtl and Reynolds numbers and the relationships between each other. In particular, their effects on the Nusselt number, Prandtl and Reynolds number of the external flows are examined in detail. A lot of research has been done in this field with the circular cylinder especially. The reason for this is that circular cylinder is used in many areas like heat exchangers, thermal, and mechanical systems, and electrical systems. Despite extensive research on air flow over a circular cylinder, in the different fluids has not been investigated in detail adequately. In the last few years, lots of experimental and numerical studies of heat transfer around a circular cylinder have been done.

In this study, laminar and turbulent flow were examined numerically on the cylinder surface. Effects of Prandtl and Reynolds numbers on Nusselt number for cylinder surface were investigated. A wide range of Reynolds number between 4×10^4 and 4×10^5 was chosen for both laminar and turbulent flow. Ethylene glycol Prandtl numbers 103 was taken as working fluid for the analysis. Total horizontal distance was selected as 2.5 m, total vertical distance was as 0.75 m and the blockage rate as 10. Inlet temperature was 25 °C. Cylinder surface was 50 °C. Upper and lower portion were open boundary condition. Symmetry boundary condition to the bottom of the model was given.

For numerical analysis ANSYS CFX 11.0 software program was used. Geometry and mesh structure of the models were obtained in the Workbench package program. Shear Stress Transport (SST) was chosen as turbulent model. Turbulent flows in case of $y^+ < 5$ were higher viscous damping. To obtain more precise results, the wall distance y^+ was chosen as 0.5. Total number of elements of model 27166 and 41350 total number of nodes was taken as. To obtain the optimum number of nodes, the upper and lower values of the node numbers were tested. To save time and number of element, work was carried out in symmetry. To obtain more sensitive results, meshes passed cylinder surface, has been determined as the layer 50.

In order to verify numerical results fluid flow and heat transfer around a cylindrical surface that was widely studied in the literature was investigated for different Reynolds and Prandtl numbers, and obtained results were compared with values of literature studies. Change of the local Nusselt numbers for turbulent flow in the literature as follows: Initially, local Nusselt numbers flow over the cylinder surface, valued at the highest. Then it began to decrease rapidly due to cooling cylinder surface by the fluid. It passed through the minimum point of the range of 80°-100°. Due to the transition to turbulence, local Nusselt numbers began to increase rapidly after this point. Due to boundary layer separation and vortex consist of second minimum point approximately at 140°. A similar situation was observed in this study. Local Nusselt numbers in laminar flow had a minimum point. Similarly, the turbulent flow consisted of two minimum points.

As a result was obtained local Nusselt number and drag coefficients. In addition, average Nusselt number correlations were obtained for cylinder surface depending on Reynolds and Prandtl numbers.

Keywords: Cylinder, Reynolds number, Nusselt Number, turbulence, drag coefficient

Giriş

Etilen glikol düşük donma noktası ve yüksek kaynama noktası özellikleri ile günümüzde sıklıkla kullanılmaktadır. Özellikle düşük donma noktası uçakların yüzeylerinin buzlanmasını önlemek, araçlarda antifriz olarak kullanılmasını imkân vermektedir. Dış akış, mühendisliğin pek çok alanında sıklıkla karşılaşılan bir durumdur. Bir otomobil üzerinden hava akışı, bir binanın rüzgâra maruz kalması, kan akışı, uçak kanadı üzerinden hava akışı, bir denizaltının sudaki hareketi, bir kurşunun hava içerisindeki hareketi gibi pek çok durum dış akışa örnek olarak verilebilir. Dolayısıyla dış akış problemlerinin iyi analiz edilmesi mühendislik alanındaki gelişmelere olumlu katkılar sunacaktır. Literatürde bu alanda yapılmış pek çok çalışma mevcuttur. Pitts ve Sissom (1977) farklı geometriler üzerinden çapraz akış çalışmış, Prandtl ve Reynolds sayılarının Nusselt sayısı üzerindeki etkisini araştırmıştır. Shuyang ve Yukio (2008), dairesel bir silindir etrafındaki akış için kritik altı Reynolds sayılarında deneysel ve sayısal olarak çalışmışlardır. Çalışmada çok düşük hızlar kullanılmış, daire üzerindeki simetrik basınç dağılımını ve hızdaki dalgalanmaları incelemiştir. Olsson vd. (2004) ise, dairesel bir yüzeye çarpan jet için ısı transferini sayısal olarak incelemiştir. $2.3 \times 10^4 < Re_D < 10^5$ aralıklarında ve 2, 4, 6, 8 blokaj oranlarında çalışmışlardır. Yapılan çalışmada SST, k- ϵ ve k- ω türbülans modellerine ait bulguları kıyaslamışlardır. Çalışma sonucunda denklem 1'deki bağıntıyı elde etmişlerdir.

$$\overline{Nu}_D = 0.14Re^{0.65} \left(\frac{L_x}{D} \right)^{-0.077} \left(\frac{d_x}{D} \right)^{0.32} \quad (1)$$

Buradaki L_x terimi jetten silindir yüzeyine kadar olan mesafe, d_x terimi jet genişliği, D ise silindir çapıdır. Pietro vd. (2003), dairesel bir silindir etrafındaki akış için bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Yüksek Reynolds sayılarında ($5 \times 10^5 < Re_D < 10^6$), cidardaki ortalama basınç dağılımını sayısal olarak incelemiştir. Benzer şekilde Rajani vd. (2009), dairesel bir silindir etrafındaki çapraz

akışta ısı transferini incelemiştir. Çalışmada cidardaki ortalama basınç dağılımını, cidar sürüklenme katsayısını ve aerodinamik dalgalanma katsayısını incelemiştir. Mohammed ve Salman; (2007) dairesel bir silindir etrafındaki çapraz akışta karma taşınımı, blokaj oranı 20, 30, 40, 60 ve 80 için ele alarak, boyutsuz dikey mesafenin (z^+) yerel ve ortalama Nusselt sayıları ile olan değişimini incelemiştir. Benzer bir çalışma da Claudio vd. (2006) tarafından yapılmıştır. Yapılan çalışmada; farklı çaplardaki dikey silindirler üzerindeki ısı transferi incelenmiştir.

Mühendislik problemlerinde yerel Nusselt sayıları yerine ortalama Nusselt sayılarını kullanmak daha pratiktir. Bu amaçla literatürde pek çok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda özellikle ortalama Nusselt sayısı için bazı bağıntılar elde edilerek, Reynolds ve Prandtl sayılarının Nusselt sayısı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu çalışmalardan biri Hilbert tarafından yapılmıştır. Hilbert (1933) silindir etrafındaki çapraz akışta $40000 < Re_D < 400000$ aralığında ortalama Nusselt sayısı için aşağıdaki bağıntıyı önermiştir.

$$\overline{Nu}_D = 0.027Re_D^{0.805}Pr^{1/3} \quad (2)$$

McAdams (1954), bu bağıntıyı ele alarak aynı Reynolds sayısı aralığında gazlar ve sıvılar için sırasıyla aşağıdaki bağıntıları elde etmiştir.

$$\overline{Nu}_D = 0.0239Re_D^{0.805}Pr^{1/3} \quad (3)$$

$$\overline{Nu}_D = 0.0266Re_D^{0.805}Pr^{1/3} \quad (4)$$

Churchill ve Brier (1955), silindir cidarı ve akışkan arasındaki çok büyük sıcaklık farkları için $300 < Re_D < 2250$ aralığında aşağıdaki bağıntıyı önermişlerdir.

$$\overline{Nu}_D = \frac{\bar{h}D}{k} = 0.60Re_D^{1/2}Pr^{1/3} \left(\frac{T_\infty}{T_0} \right)^{0.12} \quad (5)$$

Whitekar (1972), $40 < Re_D < 105$, $0.67 < Pr < 300$ aralıklarında olan sıvı ve gaz akışkanlar için aşağıdaki bağıntıyı önermiştir.

$$\overline{Nu}_D = (0.40Re_D^{1/2} + 0.06Re_D^{2/3})Pr^{0.4} \left(\frac{\mu_\infty}{\mu_0} \right)^{0.12} \quad (6)$$

Fand (1965), sıvılarda $10^{-1} < Re_D < 10^5$ aralığında aşağıdaki bağıntıyı önermiştir.

$$\overline{Nu}_D = \frac{hD}{k} = (0.35 + 0.56Re_D^{0.52})Pr^{1/3} \quad (7)$$

Bu çalışmada silindir etrafındaki etilen glikol akışı sayısal olarak incelenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda Reynolds ve Prandtl sayılarının Nusselt sayısı üzerindeki etkisini içeren bağıntılar elde edilmiştir. Ayrıca silindirik yüzey üzerindeki yerel Nusselt sayılarının Reynolds sayısı ile olan değişimi incelenmiştir.

Sayısal yöntem ve temel denklemler

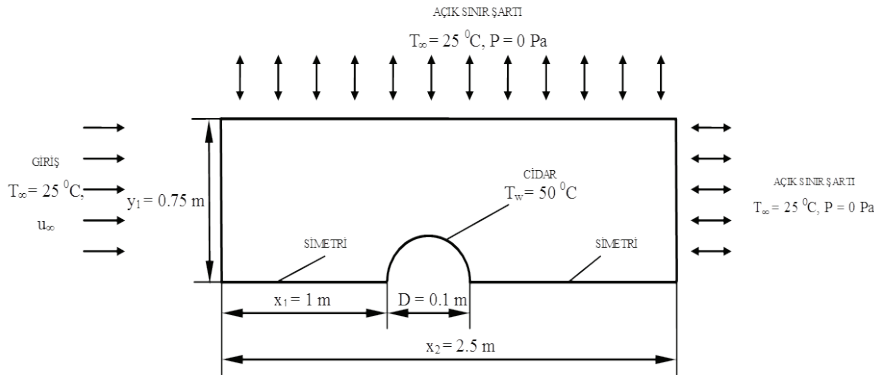
Bu çalışmada ANSYS CFX 11.0 yazılımı kullanılmıştır. Modelleme ANSYS WORKBENCH kısmında yapılmıştır. Giriş kısmında akışkan olarak etilen glikol tanımlanmıştır. Giriş sınırında akışkan için 25 °C sıcaklık ve Prandtl sayısı 103 olarak alınmıştır. Üst ve sağ sınırlarda serbest sınır şartı kullanılarak 0 Pa basınç ve 25 °C değerleri kullanılmıştır.

Modelin alt kısmına simetri sınır şartı kullanılmıştır. Silindirik yüzeyde 50 °C sabit sıcaklık sınır şartı kullanılmıştır. Burada amaç akışkanın silindirik yüzeyi soğutmasıyla oluşan ısı transferinin incelenmesidir. Kullanılan silindirik yüzey 0.1 m çapındadır. Model için dikey mesafe 0.75 m, yatay mesafe 2.5 m, blokaj oranı 10 olarak alınmıştır. Şekil 1'de kullanılan model için sınır şartları ve boyutlar görülmektedir.

Bu çalışmada kullanılan yöntemin hassasiyeti literatürdeki diğer referans çalışmalar ile kıyaslanarak doğrulanmıştır. Tablo 1'de bu çalışmadan elde edilen Nu sayısı değerlerinin literatürle kıyaslanması görülmektedir. Tablo incelendiğinde Nu sayılarının literatür değerlerine Reynolds sayının 140000 değeri için % 1.15, 200000 değeri için % 0.06, 300000 değeri için % 0.255 ve 400000 değeri için % 0.713 yaklaştığı görülmektedir.

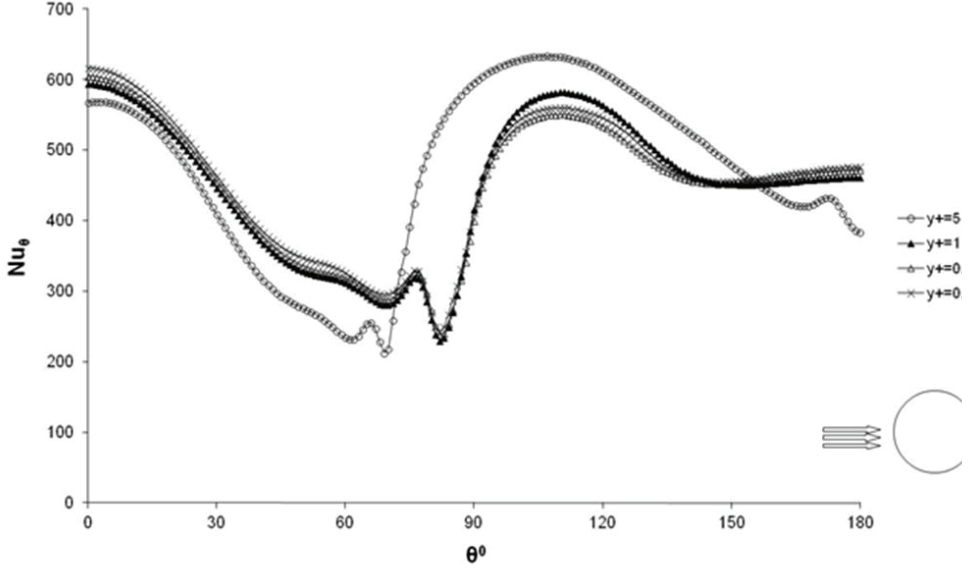
Tablo 1. Silindir etrafındaki hava akışında yerel Nusselt sayısı değerlerinin literatürle kıyaslanması

Reynolds sayısı	Bu çalışma	Hilbert (1933)	McAdams (1954)
140000	338.109	334.201	331.918
200000	445.070	445.352	442.310
300000	615.669	617.244	613.028
400000	783.685	778.095	772.780

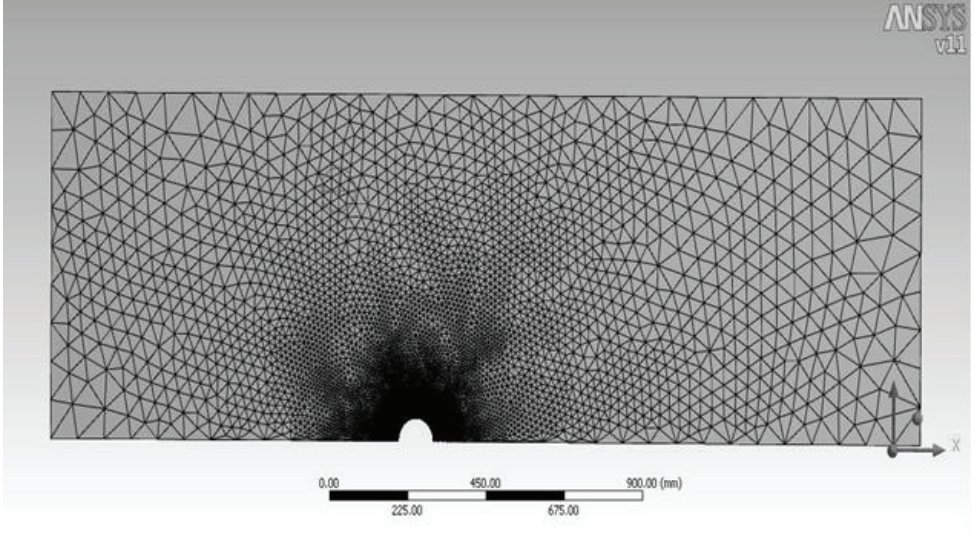


Şekil 1. Sınır şartları ve boyutlar

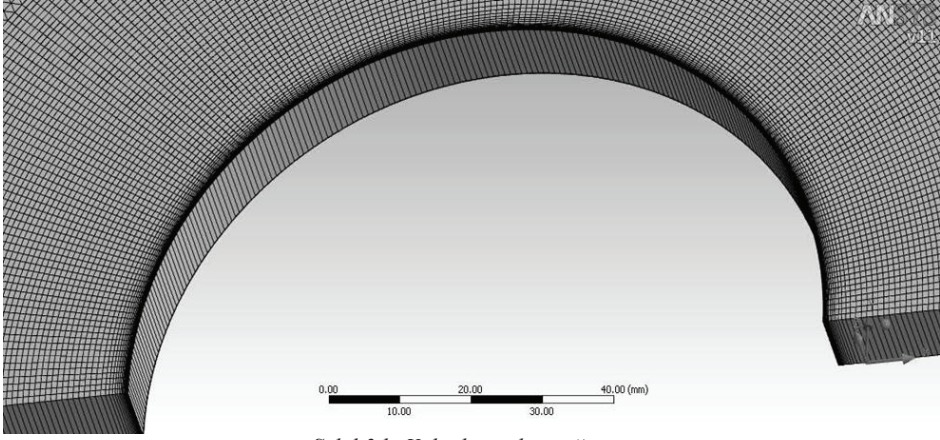
Silindir yüzey üzerinden etilen glikol akışının incelenmesi



Şekil 2. Farklı y^+ mesafeleri için yerel Nusselt sayılarının silindirik yüzey boyunca değişimi ($Pr = 0.708$, $Re = 200000$)



Şekil 3.a. Kullanılan ağ yapısı



Şekil 3.b. Yakınlaştırılmış ağ yapısı

Türbülans etkilerinin iyi gözlemlenebilmesi için silindirin cidarındaki y^+ mesafesi 0.5 alınmıştır. y^+ mesafesinin 5'den küçük olması durumunda sayısal çözüm daha hassas sonuçlar vermektedir (Versteeg 1995, Wilcox 1998) Şekil 2'de silindir yüzey üzerinden akışta Reynolds sayısının 200000 değerinde farklı y^+ mesafeleri için yerel Nusselt sayılarının silindirik yüzey boyunca değişimi görülmektedir.

Şekil 3.a ve Şekil 3.b'de kullanılan ağ yapıları görülmektedir. Silindir yüzey kısmında yapılandırılmış ağ kullanılmış, diğer kısımlarda yapılandırılmamış ağ kullanılarak melez ağ yapısı oluşturulmuştur.

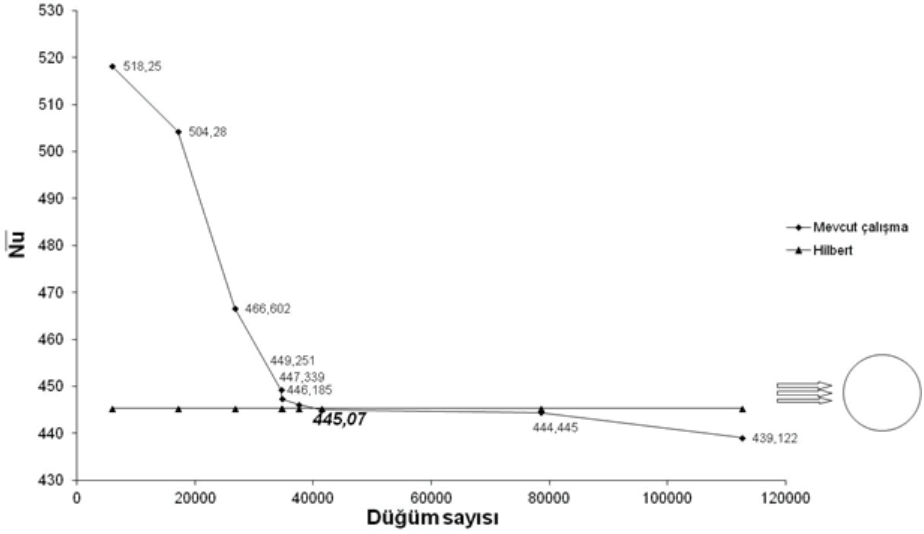
Literatürle kıyaslanması için Prandtl = 0.708 değerine sahip hava kullanılmıştır. Silindir etrafındaki türbülanslı akışta ilk olarak yerel Nusselt sayıları ön durma noktasından itibaren azalmaya başlar. 80° - 90° arasında ilk minimum noktadan geçer. Daha sonra türbülanslı sınır tabakaya geçişten dolayı hızla artar. Türbülanslı sınır tabaka geliştikçe yeniden azalarak 140° civarında ikinci bir minimum noktadan geçerek artmaya devam eder (Genceli 2002). Şekil 2'deki grafik incelendiğinde y^+ değerinin 0.1, 0.5 ve 1 değerleri için yerel Nusselt sayılarının yaklaşık 85° 'de ilk minimum noktadan, yaklaşık

140° 'de ikinci bir minimum noktadan geçtiği görülmektedir. Bu noktalar literatür değerleriyle uyum içindedir. Fakat $y^+ = 5$ olması durumunda ilk ve ikinci minimum nokta literatür değerlerinin dışında çıkmıştır. Silindirik yüzeyde hassas sonuç elde etmek için yüzey normaline doğrultusunda sıralı 50 tabaka ağ kullanılmıştır.

Modelde toplam 27166 eleman, 41350 düğüm kullanılmıştır.

Şekil 4'de optimum düğüm elde edilmesi için çeşitli düğüm sayılarında elde edilmiş olan ortalama Nu sayılarının düğüm sayıları ile değişimi görülmektedir. Düğüm sayıları 5966'dan başlatılarak 112584 değerine kadar denenmiştir. En uygun düğüm sayısının Nu = 445.07 değerini veren 41350 olduğu görülmüştür.

Bir akışın incelenebilmesi için süreklilik, momentum ve enerji denklemlerinin, uygun başlangıç ve sınır koşulları ile beraber çözülmesi gerekir. Bu denklemlerin viskoz, sıkıştırılmayan ve newtonien bir akışkanın daimi olmayan üç boyutlu akışı için en genel halleri aşağıda verilmiştir.



Şekil 4. Optimum düğüm sayısının elde edilmesi için çalışılan düğüm sayıları

Bir akışın incelenebilmesi için süreklilik, momentum ve enerji denklemlerinin, uygun başlangıç ve sınır koşulları ile beraber çözülmesi gerekir. Bu denklemlerin viskoz, sıkıştırılmayan ve newtonien bir akışkanın daimi olmayan üç boyutlu akışı için en genel halleri aşağıda verilmiştir.

Süreklilik denklemi:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

(8)

x momentum denklemi:

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = F_x - \frac{\partial P}{\partial x} + \mu \left[\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right]$$

(9)

y momentum denklemi:

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = F_y - \frac{\partial P}{\partial y} + \mu \left[\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right]$$

(10)

z momentum denklemi:

$$\rho \left(\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = F_z - \frac{\partial P}{\partial z} + \mu \left[\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right]$$

(11)

Enerji denklemi:

$$\begin{aligned} \rho c_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} \right) = \\ k \left[\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right] + \\ \tau_{xx} \frac{\partial u}{\partial x} + \tau_{yy} \frac{\partial v}{\partial y} + \tau_{zz} \frac{\partial w}{\partial z} + \\ \tau_{xy} \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \\ \tau_{yz} \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) + \tau_{zx} \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) \end{aligned} \quad (12)$$

Denklemlerde u, v, w terimleri sırasıyla x,y ve z doğrultusundaki hızlardır. F terimi dış kuvveti, P basıncı, T sıcaklığı, ρ yoğunluğu, k ısı iletim katsayısını, τ kayma gerilmesini, μ dinamik viskoziteyi ve c_p özgül ısıyı ifade etmektedir. (Çengel 2008). Ortalama Nusselt sayısı için denklem (13), yerel Nusselt sayısı için denklem (14) kullanılmıştır.

$$\overline{Nu} = \frac{\bar{h}D}{k} \quad (13)$$

$$\overline{Nu} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\theta_{max}} Nu_{\theta} d\theta \quad (14)$$

Denklemlerde (13)'deki \bar{h} ortalama ısı transfer katsayısı, D silindir çapı, k ısı iletim katsayısıdır. Denklem (14)'deki Nu_θ terimi yüzey üzerinden açısız olarak elde edilen yerel Nusselt sayısı değeridir. Isı transferinin hesaplanması için denklem 15, Reynolds ve Prandtl sayılarının hesaplanması için sırasıyla denklem (16) ve denklem (17) kullanılmıştır. Denklemlerdeki T_c terimi cidar sıcaklığını, T_∞ terimi akışkan sıcaklığını, u_∞ terimi ortalama akışkan hızını ve ν terimi akışkanın kinematik viskozitesini ifade eder.

$$\dot{q} = h \Delta T = h(T_c - T_{\infty}) \quad (15)$$

$$Re = \frac{u_{\infty} D}{\nu} \quad (16)$$

$$Pr = \frac{C_p \mu}{k} \quad (17)$$

Direnç katsayısının hesaplanması için denklem 18 kullanılmıştır.

$$C_D = \frac{F_D}{A_{on} \frac{1}{2} \rho V^2} = \frac{2F_x}{zD \frac{1}{2} \rho u_{\infty}^2} \quad (18)$$

Denklemlerdeki F_D terimi akışa karşı gösterilen direnç kuvvetini, F_x terimi x yönündeki kuvveti temsil eder. Geometri simetri olduğu için x yönündeki kuvvetin değerinin 2 ile çarpılarak denkleme konulması gerekmektedir. A_{on} terimi kuvvete dik yöndeki izdüşüm alanını ifade eder. Bu alan z doğrultusundaki mesafenin silindir çapıyla çarpılması sonucu elde edilir.

Sonuçlar ve tartışma

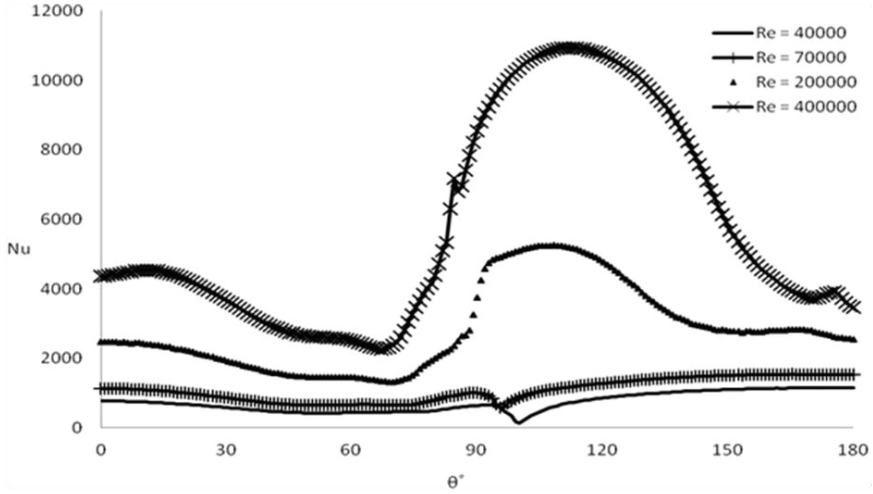
Bu çalışmada silindir etrafında etilen glikol akması durumunda Reynolds ve Prandtl sayılarının ortalama Nusselt sayısı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu amaçla 3 farklı bağıntı elde edilmiştir. Bağıntı (19)'da Prandtl sayısının üssü 1/3 değerinde sabit tutulmuştur.

$$\overline{Nu}_D = 0.0036 Re_D^{0.987} Pr^{1/3} \quad (19)$$

Bağıntı (20)'de Prandtl sayısının üssü 1/3 olarak alınmamıştır. Bağıntı (21)'de ise Prandtl sayısı hesaba katılmamıştır. Burada amaç Prandtl sayısının Nusselt sayısı üzerinde etkisinin olup olmadığını incelemektir.

$$\overline{Nu}_D = 0.0244 Re_D^{0.987} Pr^{-0.079} \quad (20)$$

$$\overline{Nu}_D = 0.0169 Re_D^{0.987} \quad (21)$$



Şekil 5'de silindir etrafındaki etilen glikol akışı için yerel Nusselt sayılarının θ açısının $0^\circ < \theta < 180^\circ$ aralığında değişimi

Şekil 5'de silindir etrafındaki etilen glikol akışı için yerel Nusselt sayılarının θ açısının $0^\circ < \theta < 180^\circ$ aralığında değişimi görülmektedir. Çalışma Reynolds sayısının 40000 ve 70000 durumu için laminar, 200000 ve 400000 durumu için türbülanslı olarak ele alınmıştır. Reynolds sayısının 40000 ve 70000 durumları için literatürde belirtildiği gibi ilk minimum nokta oluşmuş ikinci minimum nokta oluşmamıştır. Benzer şekilde Reynolds sayısının 200000 ve 400000 durumları için iki farklı minimum nokta oluşmuştur.

Tablo 2. Silindir yüzey üzerinden akışta etilen glikol için hesaplanan direnç katsayıları

Reynolds sayısı	ρ (kg/m ³)	Prandtl Sayısı	C_D
40000	1103.7	103.0	0.717
70000	1103.7	103.0	0.647
200000	1103.7	103.0	0.562
400000	1103.7	103.0	0.497

Tablo 2'de Silindir yüzey üzerinden akışta etilen glikol için hesaplanan direnç katsayıları görülmektedir. Reynolds sayısının artmasıyla direnç katsayılarında az da olsa bir azalma

görülmüştür. Dikkat edilirse Reynolds sayısının artmasına rağmen direnç katsayıları birbirine çok yakın değerler almıştır. Bunun nedeni yüksek Reynolds sayılarında akışın tam türbülanslı oluşudur.

Kaynaklar

- ANSYS 11.0 (Academic Teaching Introductory) command References and gui.
- Churchill S. V. and Brier J. C., (1955), Chem. Eng. Progr. Symposium Ser., 17, 51 - 57
- Claudio C., Massimo C. and Emanuele H., (2006). Free convection heat transfer from a horizontal cylinder affected by a downstream parallel cylinder of different diameter, International Journal of Thermal Sciences, 45, 923 – 931
- Çengel Y.A. (2008) Akışkanlar mekaniği temelleri ve uygulamaları, Güven yayınevi, İzmir, 429–456
- Fand R. M., (1965). Heat transfer by forced convection from a cylinder to water in crossflow, Int. J. Heat and Mass Transfer, 8, 995
- Genceli O. F., (2002). Çözümlü ısı taşınımı problemleri, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Hilbert von R., (1933). Wärmeabgabe von geheizten drahten und rohren im luftstrom, forsh. Geb. Ingenieurwes., 4,215

- McAdams W.H., (1954), Heat transmission, McGraw-Hill Book Co. Inc. New York.
- Mohammed H. A. and Salman Y. K., (2007). Experimental investigation of mixed convection heat transfer for thermally developing flow in a horizontal circular cylinder, *Applied Thermal Engineering*, **27**, 1522 – 1533
- Olsson E. E. M., Ahrne L. M. and Tragardh A. C., (2004). Heat transfer from a slot air jet impinging on a circular cylinder, *Journal of Food Engineering*, **63**, 393 – 401
- Pietro C., Meng W., Gianluca L. and Parviz M., (2003). Numerical simulation of the flow around a circular cylinder at high Reynolds numbers, *International Journal of Heat and Fluid Flow*, **24**, 463 – 469
- Pitts R. D. and Sissom L. E., (1977). Theory and problems of heat transfer, Schaum's Outline Series, McGraw-Hill Book Company, New York
- Rajani B. N., Kandasamy A. and Sekhar M., (2009). Numerical simulation of laminar flow past a circular cylinder, *Applied Mathematical Modelling*, **33**, 1228 – 1247
- Shuyang C. and Yukio T., (2008). Flow around a circular cylinder in linear shear flows at subcritical Reynolds number, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, **96**, 1961 – 1973
- Versteeg, H. K. and Malalasekera W., (1995). An Introduction to computational fluid dynamics, Longman Group Ltd.
- Whitekar S., (1972). Forced convection heat transfer calculations for flow in pipes, past flat plates, Single cylinders and for flow in packed beds and tube bundles, *AICHE, J.*, **16**, 361
- Wilcox D. C., (1998). Turbulence modeling for CFD, DCW Industries, Inc.