



3-B TAYLOR-COUETTE-POISEUILLE AKIŞLARINDA DOĞRUSAL AKIM ETKİSİNİN NÜMERİK MODELLENMESİ

Taner Çoşgun¹, Ahmet Yurtseven² ve Nurten Vardar³
^{1,2,3}Yıldız Teknik Üniversitesi-İstanbul

ABSTRACT

In this study, effects of axial flow on mean flow and turbulent quantities are investigated in Taylor-Couette-Poiseuille flow. As a result, it is observed that superimposed axial flow interchanges the structure of Taylor Vortices, which is a characteristic feature of the Taylor-Couette Flow, into annular Poiseuille Flow and decrease the penetration of the effects of rotation of the inner cylinder through core region. Besides, turbulence intensities in both axial and tangential direction are found to be supportive of these findings.

ÖZET

Bu çalışmada, türbülanslı Taylor-Couette-Poiseuille akışının sayısal modellemesi yapılarak eksenel akımdaki değişimin ana akım ve türbülans bileşenleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışma sonucunda Taylor-Couette-Poiseuille akışına uygulanan eksenel akımın, akış tipinin karakteristik özelliği olan Taylor vortekslerinin yapısını Poiseuille akımına yaklaştırdığı ve iç silindirdaki dönme hareketinin akım alanına nüfuzunu azalttığı gözlenmiştir. Ayrıca, incelenen türbülans yoğunluğu değerlerinin de bu bulguları destekler nitelikte olduğu gözlenmiştir.

GİRİŞ

Sabit bir dış silindir ve dönen bir iç silindir arasındaki akışlar Taylor Couette akışı olarak adlandırılmaktadır. Taylor Couette akışı G.I.Taylor'un 1923 yılındaki deneylerinden beri akışkanlar mekaniği alanında en çok çalışılan konulardan biri olmuştur. Dönen membran filtreler, ters dönüşlü ısı boruları, döner ekstraktörler, silindirik yataklar, döner güç iletim sistemleri gibi pek çok mühendislik uygulaması temelde sabit bir dış silindir ve dönen bir iç silindir üzerine kuruludur. Bu tarz mühendislik uygulamalarında sıklıkla karşılaşılmasının yanında Taylor Couette akışları içerdiği karmaşık türbülans yapısı nedeniyle de pek çok akademik çalışmaya konu olmuştur [1] [2][3][4].

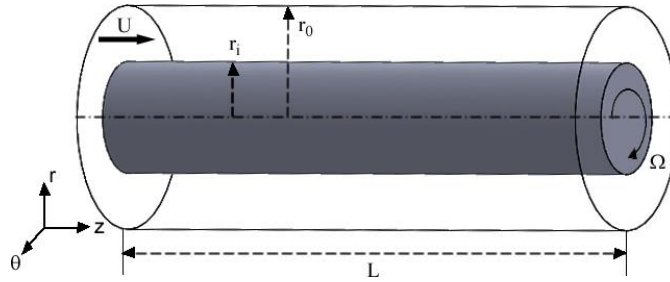
Taylor-Couette akışında içteki silindirin dönme hızına bağlı olarak Taylor vorteksleri olarak isimlendirilen vorteks yapıları ortaya çıkar. Bu tip akımlara eksenel bir akış uygulandığında Taylor-Couette-Poiseuille akışı şeklinde isimlendirilir ve bu tip akımlar iki silindir arasındaki boşlukta oluşan dönme kaynaklı santrifüj kuvvetiyle eksenel akış kaynaklı basınç gradyeni arasındaki güç dengesinden meydana gelir [5]. Bu akış tipine mühendislik ve endüstrinin pek çok alanında rastlanmaktadır. Bu sitemlere örnek olarak shaft yatakları, nükleer reaktörlerin çekirdeklerinin soğutulması, petrol endüstrisindeki sondaj işlemleri, gıda endüstrisindeki pastörizasyon işlemleri, gaz türbini kanatları arası geçişler ve döner ısı değiştiriciler gösterilebilir.

Bu çalışmada, türbülanslı Taylor-Couette-Poiseuille akışının sayısal modellemesi yapılarak değişen Reynolds Sayıları için ana akım ve türbülans bileşenlerinin değişimi incelenmiştir. Çalışmada, değişen Reynolds sayısının eksenel akış bileşeni üzerinde kayda değer bir etkisi olmadığı, ancak dönme yönündeki hız bileşeninde önemli oranda azalmaya yol açtığı gözlenmiştir. Reynolds sayısının artmasıyla birlikte silindirler arasındaki Taylor

vortekslerinin yapısı Poiseuille akımına daha da yaklaştığı ve türbülans yoğunluklarının da azaldığı görülmüştür.

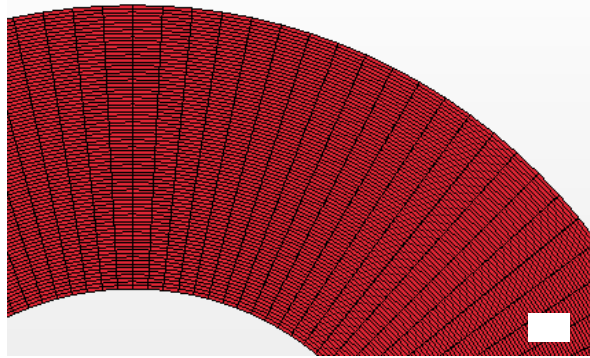
PROBLEMİN TANIMI VE ÇÖZÜM YÖNTEMİ

Bu çalışmada, Taylor-Couette-Poiseuille akışı olarak adlandırılan, sabit bir dış silindir ile dönen bir iç silindir arasındaki akış problemi hesaplamalı akışkanlar dinamiği yardımıyla çözülmüştür. sonlu hacimler yöntemi kullanılarak çözülmüştür. Problemin geometrisi şekil 1’de görülmektedir. Silindirlerin yarıçapları oranı $r_D / r_i = 0.5$, geometrinin uzunluk oranı $\Gamma = L / 2s = 25$ dir. Burada L geometrinin boyu, s ise silindir yarıçapları arasındaki farktır ($s = r_D - r_i$). İçteki hareketli ve dıştaki sabit silindire kaymama sınır koşulu uygulanmış, giriş koşulu olarak ta gelişmiş akım hız ve türbülans değerleri verilmiştir. Çözülen problemde içteki hareketli silindir ekseninde sabit bir hızla (126 d/d) dönmekte, aksel akımın hızı ise dört farklı Reynolds Sayısında (7400,10000,15000,20000) değişmektedir. Re sayısı $Re = U_b 2s / \nu$ şeklinde tanımlanmıştır. Burada U_b girişteki aksel akım hızı, ν kinematik viskozitedir. Çözüm Star CCM+ ticari kodu kullanılarak gerçekleştirilmiş, türbülans alanını modellemek için ise Reynolds Stress türbülans modeli kullanılmıştır.



Şekil 1. Problem Geometrisi

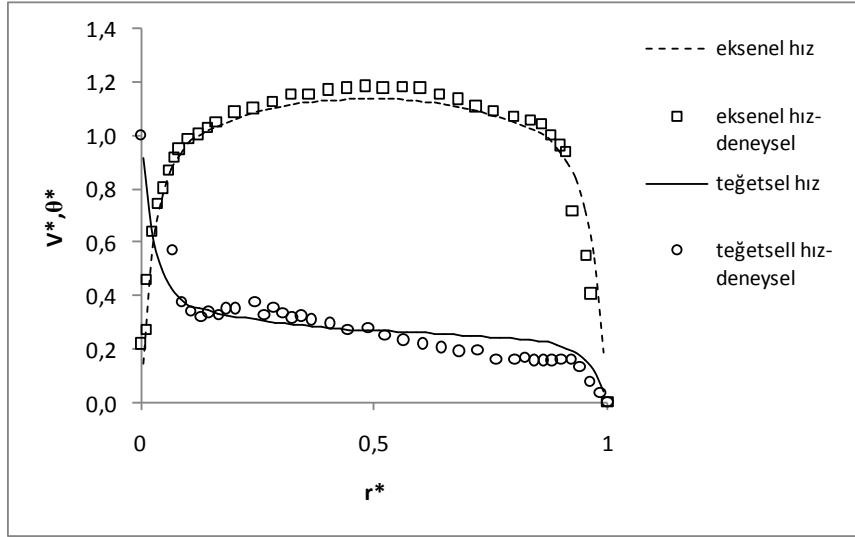
Çözüm ağ yapısı düzenli hexahedral elemanlar kullanılarak oluşturulmuştur. İç ve dış silindir yakınlarındaki güçlü hız gradyanlarını yakalayabilmek için, ağ yapısı bu bölgelerde sıklaştırılmıştır. Sınır tabaka içerisindeki akımın doğru çözülebilmesi amacıyla duvarlar üzerindeki y^+ değeri 1’in altında tutulmuştur. Duvar y^+ değeri $y^+ = u y / \nu$ şeklinde tanımlanmıştır. Burada, u aksel akım hızı, y ilk ağ yapısı elemanının duvardan uzaklığı ve ν ise kinematik viskozitedir. Ağ bağımsızlığı çalışmaları sonucunda en uygun dağılım olarak, aksel, teğetsel ve duvar normal yönlerinde (z, θ, r) 250X120X80 çözüm elemanı kullanılmıştır. Giriş kesitindeki ağ yapısının detaylı görüntüsü şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Giriş Kesitindeki Ağ Yapısı

SAYISAL DOĞRULAMA

Çalışmada, çeşitli parametreler değiştirilmeden önce sayısal sonuçların deneysel verilerle doğrulaması gerçekleştirilmiştir. Doğrulama amacıyla Escudier ve diğ [6]. tarafından yapılan deneysel çalışmanın sonuçları kullanılmıştır. Doğrulama yapılan durum $Re=7400$ aksel akış hızı ve 126 rpm iç silindir dönme hızıdır. Normalize edilmiş aksel ve teğetsel hız bileşenlerinin deneysel sonuçlarla karşılaştırılması şekil 3'te sunulmuştur.



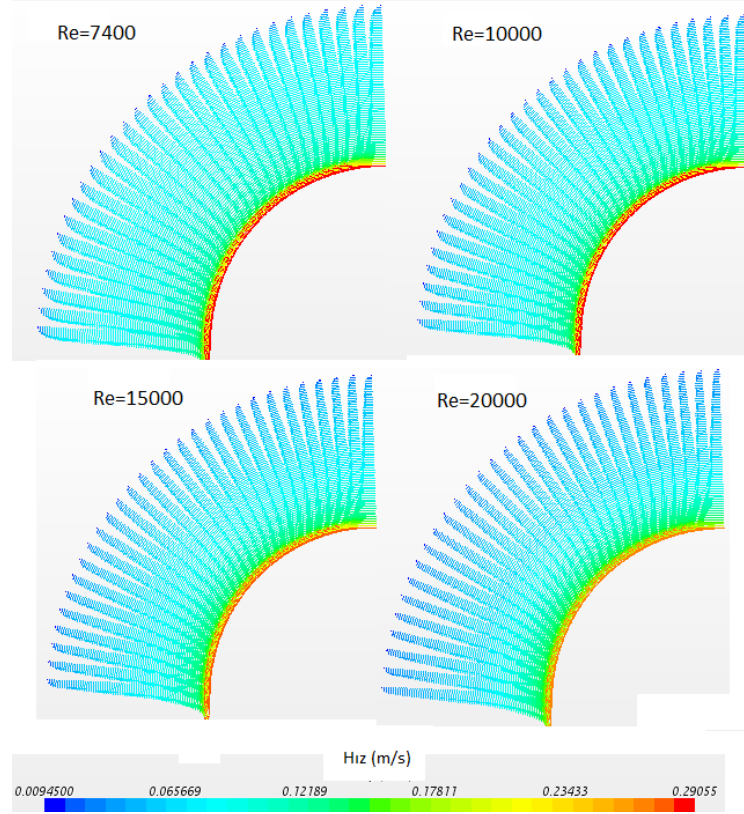
Şekil 3. Hız bileşenleri için sayısal ve deneysel sonuçların karşılaştırılması

Sayısal sonuçlar deneysel verilerle oldukça yüksek uyum içerisindedir. Bu nedenle çalışmanın kalanında burada kullanılan ağ yapısı ve çözüm stratejisi kullanılmaya devam edilmiştir. Hız bileşenleri ve radyal yöndeki konum bileşeninin normalize edilmesi şu şekilde yapılmıştır. $V^* = V / V_b$, $\theta^* = \theta / \Omega$, $r^* = (r - r_i) / s$. Burada, V aksel akış hızı, V_b girişteki ortalama akış hızı, θ teğetsel hız, Ω iç silindir yüzeyindeki dönme hızı, r iç silindirden dıştakine doğru radyal konum değişimi, r_i iç silindir yarıçapı ve s silindirlerin yarıçapları farkının yarısıdır.

SAYISAL SONUÇLAR

Çalışmada, 126 d/d iç silindir dönme hızı için aksel akış hızı $Re=7400$ den $Re=20000$ e kadar artırılarak değişen aksel akım değerlerinin ana akım ve türbülans değerleri üzerindeki etkisi gözlenmiştir.

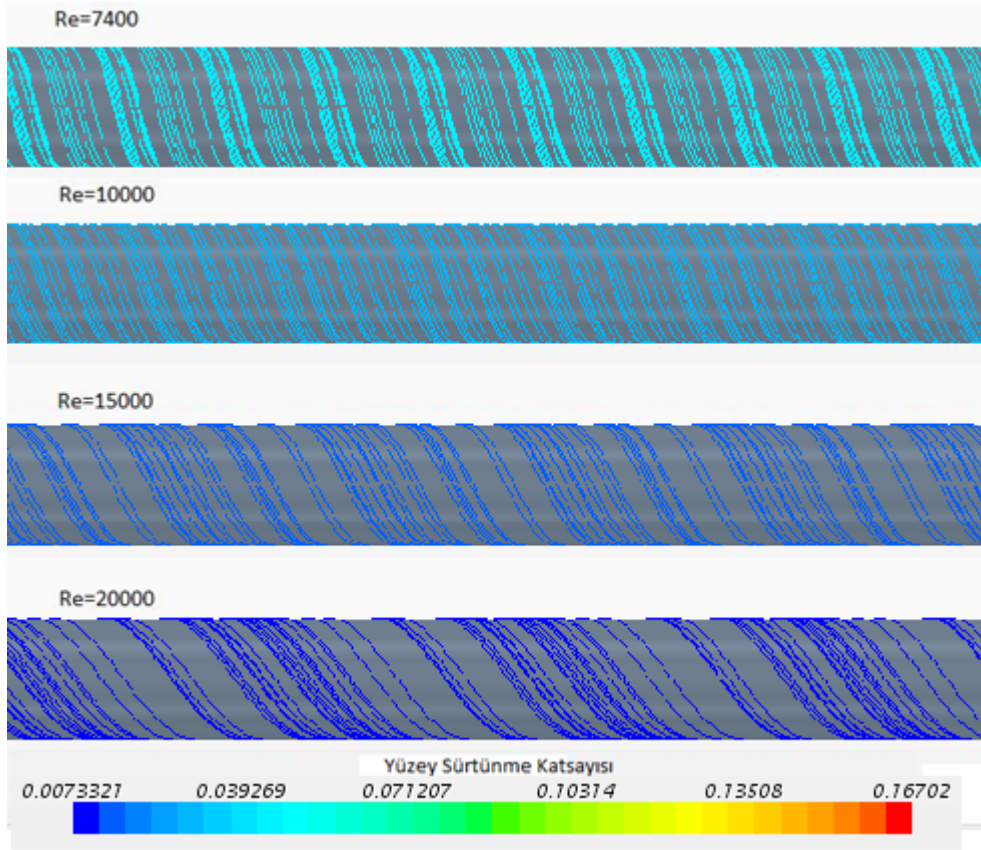
Şekil 4'de Teğetsel yöndeki hız vektörlerinin farklı Reynolds Sayıları için değişimi görülmektedir.



Şekil 4. Teğetsel yöndeki hız vektörlerinin farklı Re Sayıları için değişimi

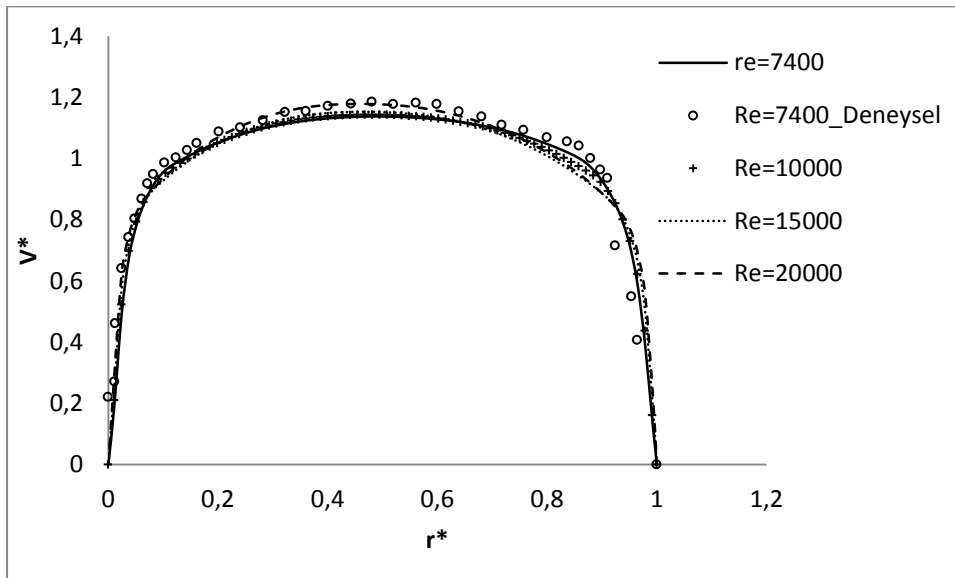
Şekil 4'den de görülebildiği üzere, aksenal akım hızı arttıkça, iç silindirdeki dönme hareketinin akım alanına etkisi sınırlanmakta ve sabit dış silindire yaklaştıkça hızın teğetsel değeri daha da azalmaktadır.

Şekil 5'te Dönen iç silindir üzerindeki akım hatlarının farklı aksenal akış koşulları için değişimi gösterilmiş ve akım hatları üzerinde yüzey sürtünme katsayısı değerlerinin değişimi incelenmiştir. Taylor-Couette-Poiseuille akışındaki akım alanı aksenal ve teğetsel hız bileşenleri arasındaki dengeye göre biçimlenmektedir. Aksenal akım değeri arttıkça, iç silindirdeki dönme hareketinin etkisi azalmakta ve silindirler arasındaki helisel biçimli akım hatlarının birbirlerine uzaklığı artmaktadır. Reynolds sayısının artmasıyla silindirler arasındaki Taylor vortekslerinin yapısı Poiseuille akımına daha da yaklaşmaktadır. Ayrıca şekilden de görülebileceği gibi, aksenal akımın Re değeri arttıkça iç silindir üzerindeki yüzey sürtünme katsayısının da azaldığı görülecektir.



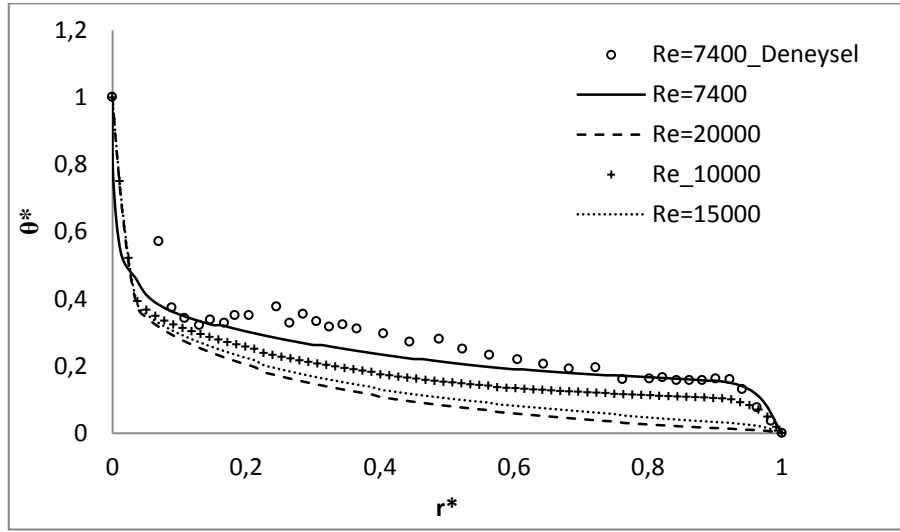
Şekil 5. Dönen iç silindir üzerindeki akım hatlarının farklı eksenel akış koşulları için değişimi

Şekil 6’te farklı Re Sayıları için eksenel hız bileşeninin radyal yöndeki değişimi gösterilmektedir.



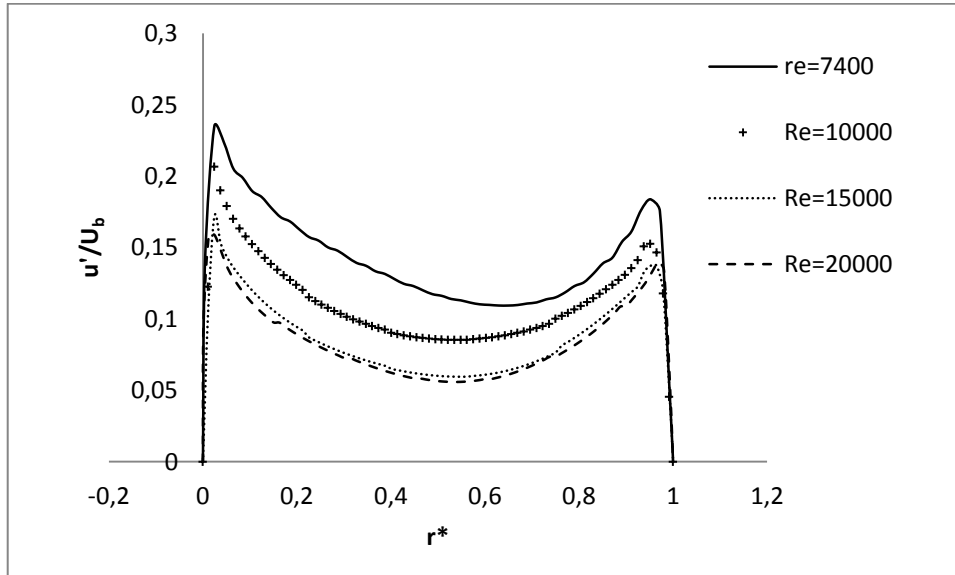
Şekil 6. Farklı Re Sayıları için eksenel hız bileşeninin radyal yöndeki değişimi

Şekil 6 incelendiğinde, Reynolds Sayısındaki değişimin aksel yöndeki normalize edilmiş hız bileşeni üzerinde kayda değer bir etkisi olmadığı görülmektedir. Şekil 7’te farklı Re Sayıları için teğetsel hız bileşeninin radyal yöndeki değişimi gösterilmektedir.



Şekil 7. Farklı Re Sayıları için dönme yönündeki hız bileşeninin radyal yöndeki değişimi

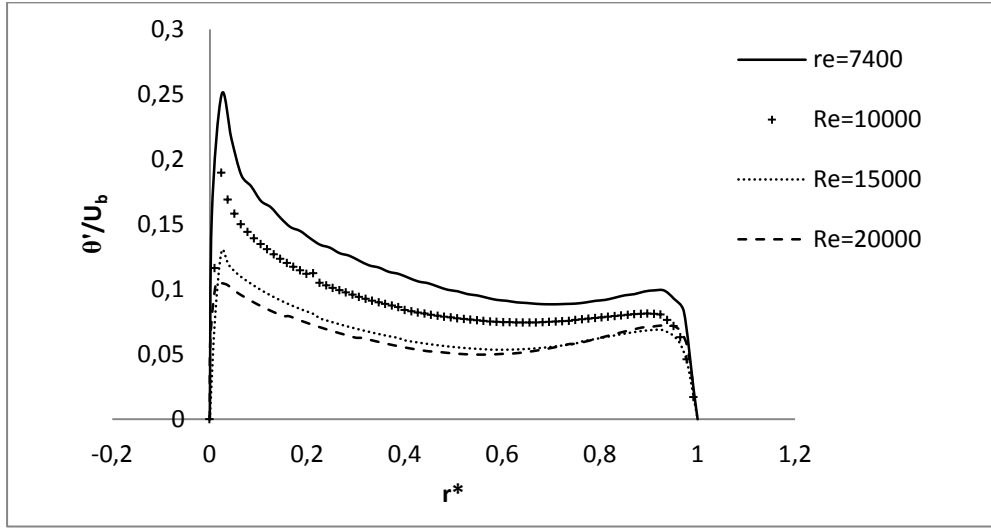
Reynolds sayısı arttığında, teğetsel hız bileşeni değerlerinin iç silindirden uzaklaştıkça azaldığı görülmektedir. Bu durum şekil 3’deki bulguları destekler niteliktedir. Aksel akım hızı arttıkça, iç silindirdeki dönme hareketinin etkisi akış alanına daha az nüfuz etmektedir. Ayrıca dış silindir üzerindeki sınır tabaka kalınlığının da artan Reynolds Sayısıyla beraber azaldığı görülmektedir. Şekil 8’de farklı Re Sayıları için aksel yöndeki türbülans yoğunluğunun radyal yöndeki değişimi gösterilmektedir.



Şekil 8. Farklı Re Sayıları için aksel yöndeki türbülans yoğunluğunun radyal değişimi

Reynolds sayısı arttıkça, aksel yöndeki türbülans yoğunluğunun azaldığı görülmektedir. Türbülans yoğunluğu bulunurken, aksel yöndeki türbülans gerilmesi (u') giriş hızına (U_b)

bölünerek normalize edilmiştir. Şekil 6’de gösterilen aksel hız bileşenleri Reynolds Sayısındaki değişimden etkilenmezken, aynı aksendeki türbülans yoğunlukları azalmaktadır. Daha öncede belirtildiği üzere, aksel akış hızı arttıkça akımın vorteks yapısı Poiseuille akımına yaklaşmaktadır. Bu durum Şekil 5’deki bulguları destekler niteliktedir. Vorteks yapısındaki bu azalma türbülans çalkantısı değerlerinin de azalmasına yol açmakta ve böylece akımdaki türbülans yoğunluğu Reynolds Sayısıyla ters orantılı olarak düşmektedir. Şekil 9’de farklı Re Sayıları için aksel yöndeki türbülans yoğunluğunun radyal yönündeki değişimi gösterilmektedir.



Şekil 9. Farklı Re Sayıları için teğetsel yöndeki türbülans yoğunluğunun radyal değişimi

Eksenel akımın hızının artmasıyla beraber, teğetsel yöndeki türbülans yoğunluğunun da düzenli biçimde azaldığı görülmektedir. Türbülans yoğunluğu bulunurken, teğetsel yöndeki türbülans gerilmesi (θ') giriş hızına (U_b) bölünerek normalize edilmiştir. Dönen iç silindir yakınındaki değişim, sabit dış silindire oranla daha belirgindir. Teğetsel yöndeki bu azalmanın Şekil 8’de açıklanan aksel yöndeki türbülans yoğunluğuyla aynı nedenden kaynaklandığı düşünülmektedir.

DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, türbülanslı Taylor-Couette-Poiseuille akışının sayısal modellemesi yapılarak aksel akımdaki değişimin ana akım ve türbülans bileşenleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışma sonucunda Reynolds sayısındaki artışın aksel yöndeki hız bileşenleri üzerinde kayda değer bir etkisi olmadığı, ancak doğrusa akımın iç silindirdeki dönmenin akım alanındaki etkisini azaltması sebebiyle teğetsel hız bileşenlerinin iç silindirden uzaklaştıkça azaldığı gözlenmiştir. Ayrıca, Taylor-Couette-Poiseuille akışına uygulanan aksel akımın, akış tipinin karakteristik özelliği olan Taylor vortekslerinin yapısını Poiseuille akımına yaklaştırdığı ve iç silindirdeki dönme hareketinin akım alanına nüfuzunu azalttığı görülmüştür. Değişen Reynolds Sayıları için türbülans yoğunluğu değerleri de incelenmiştir ve sonuçların bu bulguları destekler nitelikte olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] Chung S.Y., Rhee, G.H., Sung H.J., 2002. Direct numerical simulation of turbulent concentric annular pipe flow Part 1: Flow field. *International journal of heat and fluid flow* 23 (2002) 426-440
- [2] Monico R.O., Poel E.P. van der, Verzicco R., Grossmann S., Lohse D.,. Exploring the phase diagram of fully turbulent Taylor-Couette flow. *Journal of fluid mechanics* vol 761 (2014) , pp 1-26
- [3] Batten W.M.J., Bressloff N.W., Turnock S.R., Transition from vortex to Wall driven turbulence production in the Taylor-Couette system with a rotating inner cylinder. *International journal for numerical methods in fluids.*(2002) 38:207-226
- [4] Leclercq C., Pier B., Scott J.F., Temporal stability of eccentric Taylor-Couette-Poiseuille flow. *Journal of fluid mechanics* (2013)vol. 733, pp 68-99
- [5] Moussa N.A., Poncet S., Ghezal A., Lounis M., Effect of radius ratio on the stability of co- and counter- Taylor Couette flows. *Proceedings of the international conference on heat transfer and fluid flow* (2014)prague, chech republic, august 11-12
- [6] Escudier M.P., Gouldson I.W. Concentric annular flow with center body rotation of a Newtonian and a shear-thinning liquid. *International journal of heat and fluid flow*(1995) 16:156-162