

KARE SİLİNDİR ETRAFI AKIŞTA YÜKSEK REYNOLDS SAYILARINDA POLİMER KATKISININ AKIŞ YAPISINA ETKİLERİ

Onur Son¹, Okşan Çetiner¹, Kunt Atalık²

¹ İstanbul Teknik Üniversitesi, Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uzay Mühendisliği
Bölümü, Maslak, İstanbul

² Boğaziçi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Bebek,
İstanbul

Abstract

In this work, it is aimed to investigate experimentally the effects of polymer addition to water on the flow structure and properties in flow around a square cylinder at high Reynolds numbers. The flow around the square cylinder is analyzed by the use of PIV (Particle Image Velocimetry) technique to determine the velocity fields. The effects of polymer addition on vorticity distribution, vortex formation length and velocity profiles in cylinder's wake region as well as on the thickness of the wake region are shown in comparison to Newtonian case without polymer addition.

Özet

Bu çalışmada kare kesitli silindir etrafı akışta suya az miktarda polimer katılmasının yüksek Reynolds sayılarında akış yapısı ve özellikleri üzerindeki etkilerinin deneysel olarak araştırılması amaçlanmıştır. Kare silindir etrafındaki akış, hız alanlarının PIV (Particle Image Velocimetry – Parçacık Görüntüleyerek Hız Belirleme) tekniği kullanılarak belirlenmesi yoluyla incelenmiştir. Polimer katkısının polimer katkısız Newtonyen duruma göre silindirin yakın iz bölgesinde girdaplılık dağılımı, vorteks oluşum uzaklığı, hız profilleri ve iz bölgesi kalınlığı üzerindeki etkileri karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.

Giriş

Newtonyen akışkanlara az miktarda polimer eklenmesiyle elde edilen seyreltik çözeltilerin yüksek Reynolds sayılarındaki akışlarında sürtünme faktörü ve sürüklenme kuvvetinde indirgeme gözlemlendiği uzun süredir bilinmektedir [1,2]. Bu etkiden boru hatlarındaki iç akışlarda sürtünmeyi azaltmada, torpido gibi cisim etrafı akışlarda da sürüklenme kuvvetini azaltmada yararlanılabilmektedir. Polimer çözeltilerinde sürüklenme indirgemesi etkisinin uzun süredir bilinmesine rağmen, bu etkiye yol açan mekanizma ve bu etkinin türbülansa geçiş ve türbülans rejimlerinde akış yapıları üzerindeki sonuçları çeşitli akış geometrilerinde hala araştırılmaktadır. Yeni deneysel yöntemlerle ve önerilen çeşitli reolojik bünye modelleri kullanılarak geliştirilen sayısal yöntemlerle bu etkinin ve nedeninin daha ayrıntılı irdelenebilmesi yönünde çalışmalara ihtiyaç vardır.

Küt cisimler etrafındaki akışlarda sürüklenme indirgeyici polimer kullanımı ile ilgili araştırmalara ilk olarak 1960'lı yıllarda rastlanmaktadır. Polimer katkısı ile dairesel silindir

arkasındaki girdap caddesinin etkilendiği Gadd tarafından 1966'da gösterilmiştir [3]. Kalashnikov ve Kudin ise 1970'de [4] sürüklenme indirgeyici polimer çözeltisinde Karman girdaplarının oluşum frekansının Newtonyen akışkana göre daha düşük olduğunu ve frekanstaki bu düşüşün küçük silindir çapları için daha da arttığını belirlemişlerdir.

Dairesel silindir etrafı akışta, sabit silindir çapları için, düşük Reynolds sayılarında surfaktant katkısının sürüklenme katsayısını arttırdığı, yüksek Reynolds sayılarında ise azalttığı gözlenmiştir. Sürüklenme indirgemesinin gözleendiği Reynolds sayısı aralığının da artan silindir çapıyla genişlediği belirlenmiştir [5].

Dairesel silindirler üzerine yapılan bir başka çalışmada ise artan polimer çözelti oranının girdap oluşum frekansını arttırdığı ve genel olarak Newtonyen olmayan çözeltilerin Newtonyen akışkanlara göre daha yüksek Strouhal sayıları olduğu deneysel olarak belirlenmiştir [6]. Bu gözlem Newtonyen olmayan akışlar üzerine daha önce yapılmış çalışmalarla [3, 7] çelişmektedir. Buna neden olarak akışkanın kayma inceliği özelliğinin laminer akışta sınır tabaka kalınlığını azaltması gösterilmekte ve buna bağlı olarak difüzyon uzunluğunun artışı ile Strouhal sayısının arttığı sonucuna varılmaktadır.

Kare veya dikdörtgen kesitli silindirler ise, bina, köprü güvertelerinde rastlanan küt cisimlerdir ve oldukça uzun zamandır etraflarında oluşan akış yapıları Newtonyen akışkanlar için inceleme konusu olmuştur. Örneklendirilecek olursa Bearman ve Obasaju'nun 1982'de [8], Durao ve diğerlerinin 1988'de [9] kare silindirler üzerine yaptıkları çalışmalar gösterilebilir. Bu konuda günümüze daha yakın tarihli çalışmalar da mevcuttur [10, 11]. Ayrıca, özellikle açıklık oranı 0.75-3 arası olan kare veya dikdörtgen kesitli silindirlerin, bir aeroelastik kararsızlık olan galop hareketine duyarlı olması araştırmaya olan ilgiyi arttırmıştır [12]. Dairesel silindirlerden en büyük farkları akıma yönlendirilişlerinin ek bir parametre olarak incelemeye girmesidir [11]. Sonuçta ayrılma noktaları dairesel silindirden farklı olarak sabittir ve bu durum yakını iz bölgesini derinden etkilemektedir. Son yıllarda kare silindirlerde PIV kullanılarak yapılan çalışmalar iki grupta ele alınabilir; birinci grupta, düşük frekansta elde edilen görüntülerden POD (Proper Orthogonal Decomposition) yöntemi kullanılarak vorteks yapılarının frekansını belirlemeye yönelik çalışmalar ve ikinci grupta ise yüksek zaman çözünürlüğünde elde edilen görüntülerden kuvvet hesaplamaya yönelik yapılan çalışmalar yer almaktadır [13, 14]. Öte yandan polimer/surfaktant katkısı ile sürüklenme indirgemesi üzerine kare kesitli silindirlerde yapılmış bir çalışmaya rastlanamamıştır.

Bu çalışma kapsamında, deneysel olarak PIV (Particle Image Velocimetry – Parçacık Görüntüleyerek Hız Belirleme) tekniği yoluyla, kare kesitli silindir etrafı akışta yüksek Reynolds sayılarında, belirli bir polimer konsantrasyonunda silindirin yakını iz bölgesindeki girdap oluşumu ve hız profillerinin belirlenerek polimer katkısız Newtonyen akışla karşılaştırılması hedeflenmiştir. Polimer katkısının, vorteks oluşum uzaklığı, Strouhal sayısı ve iz bölgesi kalınlığına etkisi incelenmiştir. Elde edilen yakını iz bölgesi hız profilleri momentum açığının nasıl değiştiğini göstermekte ve sürüklenme indirgemesine yönelik fikir vermektedir.

Deneysel Düzenek ve Ölçüm Sistemi

Deneysel çalışma, İTÜ Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Trisonik Araştırma Laboratuvarı'nda bulunan, deney odası kesiti 1010mm × 790mm olan su kanalında yapılmıştır. Serbest akım hızı, Reynolds sayısının 500 – 4000 aralığı için 16.8mm/s – 134mm/s arasında değişim göstermektedir.

Deneylerde kullanılan kare kesitli silindirin kenar uzunluğu 30mm, genişliği 450mm'dir. Uç etkilerini minimize etmek için silindir uçlarına 450mm çapında, dış yüzeylerinde kenarlarına 30° açı verilmiş levhalar bağlanmıştır. Silindirin açıklık oranı için Norberg'in [15] dairesel silindir etrafı Newtonyen akışta uç plaka ve üç boyutluluk etkilerini indirgemeye yönelik belirlediği $l/D \geq 10$ değeri esas alınmıştır. Bununla birlikte literatürdeki bazı çalışmalarda [5] uç plaka kullanılmaksızın düşey yerleştirilmiş dairesel silindirlerde Reynolds sayısına ek olarak silindir çapı ve açıklık oranının surfaktant etkisini değiştirdiği gözlemlenmiştir.

Polimer katkılı akış için moleküler ağırlığı yüksek ($\sim 10 \times 10^6$ g/mol) hidrolize bir poliakrilamid olan Flopam AN 913 SH (SNF Inc.) kullanılmaktadır. Deneylerde farklı aşamalarda kanal suyunun reolojik özelliklerini belirlemek için Cone & Plate Reometre kullanılmıştır. Ana karışım plastik esaslı pervaneli uç kullanılarak cam kaplarda 6000-7000 wppm olarak hazırlanmış, polimer katılmadan önce örnek alınan kanal suyunun ve deneylere geçilmeden önce polimer katkılı kanal suyunun reometre ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada sunulan deneyler 20, 40 ve 80 wppm son çözelti oranlarında yapılmıştır.

Kare silindir etrafındaki akış, hız alanlarının Sayısal Parçacık Hızı Ölçeri (DPIV) kullanılarak belirlenmesi ile incelenmiştir. Polimer katkısız, 20 ve 40 wppm çözelti oranlarında gerçekleştirilen deneylerde 1600×1200 piksel çözünürlüklü 12 bit, 80 wppm çözelti oranında gerçekleştirilen deneylerde ise 1008×1016 piksel çözünürlüklü 8 bit ve 15Hz çift çerçeve hızlı ikişer adet kamera kullanılmıştır. Akış alanı, her biri 15Hz tekraralama hızına sahip çift kavite, dalgaboyu 532nm ve 3-5ns puls süresinde azami çıkış enerjisi puls başına 120mJ olan Nd:Yag Lazer ile aydınlatılmıştır. Kameraların hassas olarak konumlandırılması 3 eksenli travers kontrolü ile sağlanmıştır. Tohumlama ise gümüş kaplamalı içi boş, ortalama 10 μ m çapında cam kürelerle (S-HGS) yapılmıştır.

İncelenen her bir durum için kameralardan 256 görüntü çifti alınmaktadır. Görüntülerin alınıp frekansı bir vorteks oluşum periyodunun en az 25 vektör alanı ile temsil edilebileceği şekilde 3Hz ile 10Hz arasında gerçekleştirilmiştir. Alınan görüntü çiftleri ortak iki referans nokta kullanılarak birleştirilmekte ve sonrasında 64×64 piksellik pencereler ve her doğrultuda %50 üst üste bindirme kullanılarak çapraz korelasyon ile işlenmektedir.

Sonuçlar

Newtonyen akışla (polimer katkısız), 20, 40 ve 80 wppm çözelti oranlarında polimer katkılı akışlar için, farklı Reynolds sayılarında ($Re=500$, $Re=1000$ ve $Re = 4000$) kare kesitli silindir iz bölgesindeki anlık girdaplılık dağılımları Şekil 1'de verilmiştir. Polimer katkılı ve katkısız, her iki durumda da vorteks oluşum uzaklığının Reynolds sayısının 500'den 1000'e artışıyla azaldığı niteliksel olarak gözlenmektedir. Polimer katkısız durumla 20 wppm çözelti oranı için Reynolds 1000'den 4000'e belirgin bir vorteks oluşum uzaklığı değişimi gözlenmemekle birlikte 40 wppm çözelti oranında azalma, 80 wppm çözelti oranında ise artış farkedilmektedir. Elde edilen 256 anlık akış görüntüsünün ortalaması alındığında, Şekil 2'de görüldüğü üzere, kare silindir merkez hattı boyunca hızın sıfırlandığı nokta vorteks oluşum uzaklığı olarak belirlenebilmektedir. Niceliksel olarak vorteks oluşum uzaklığının Reynolds sayısı ve çözelti oranına bağlı değişimi Şekil 3'de verilmektedir. Sonuçlar niteliksel gözlemlerle uyumludur.

İncelenen durumlara ait ortalama hız dağılımları Şekil 4'de verilmiştir. Kare silindir iz bölgesinde $Re = 500$ için üç, $Re = 1000$ ve 4000 için iki boy uzaklıkta hızın serbest akım doğrultusundaki bileşeni ise Şekil 5'de sunulmaktadır. Bu hız profillerinden iz bölgesi

kalınlığı görüntü alt sınırındaki hız serbest akım hızı olarak ele alınıp bu değerin %99'una ulaşılan noktanın merkezden uzaklığı olarak belirlenmiştir. Sonuçlar Şekil 6'da görülmektedir. Reynolds sayısı 500 için polimer katkılı durumda Newtonyen duruma göre iz bölgesi kalınlığında bir inceltme gözlenmektedir. $Re = 1000$ 'de ise polimer katkısız durum ile 40 wppm çözelti oranına kadar polimer katkılı akışlarda önemli bir fark görülmemektedir. 80 wppm çözelti oranında $Re = 1000$ için iz bölgesi kalınlığı artmıştır. Ancak $Re = 4000$ 'de 80 wppm çözelti oranı için iz bölgesi kalınlığında azalma, 40 wppm çözelti oranı için ise bir kalınlaşma ortaya çıkmaktadır. Öte yandan hız profillerine bakılacak olursa belirlenen kalınlık ile momentum açığının doğrudan olarak ilişkilendirilemeyeceği, hatta birçok durumda ters orantılı olduğu söylenebilir. Örneğin $Re = 1000$ için en yüksek iz bölgesi kalınlığına sahip 80 wppm çözelti oranındaki akışta momentum açığının daha az olduğu niteliksel olarak belirgindir. Bu sonuçların çalışmayı daha geniş bakış açısı ile iz bölgesinin görüntülenmesine ve niceliksel olarak hız profilinin integrasyonu ile momentum açığının belirlenmesine yönelttiği görülmektedir.

Şekil 7'de Strouhal sayısının Reynolds sayısı ve polimer çözelti oranına bağlı değişimi verilmektedir. Newtonyen durumdaki değerler literatürdeki çalışmalarla uyum göstermektedir [16]. Polimer katkısız durumla 20 ve 40 wppm çözelti oranlarında incelenen her üç Reynolds sayısı için de Strouhal sayısında önemli bir fark görülmemektedir. Ancak 80 wppm çözelti oranında $Re = 4000$ 'de diğer durumlara göre yüksek bir vorteks oluşum frekansı elde edilmektedir. Genel olarak 80 wppm çözelti oranı için Reynolds sayısının artışı ile Strouhal sayısının arttığı söylenebilir. Bu durum Coelho ve Pinho'nun bulguları [6] ile paralellik göstermektedir.

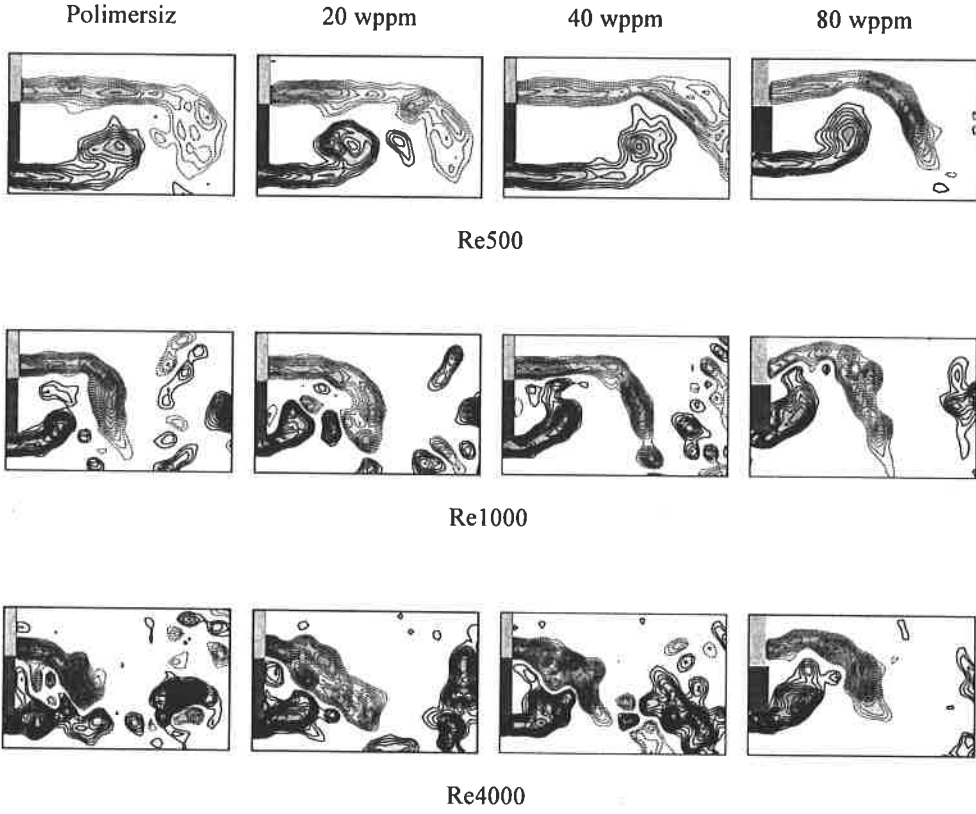
Değerlendirme

Kare silindir etrafı akış için Newtonyen ve değişik çözelti oranlarına sahip polimer katkılı akışlarda DPIV tekniği kullanılarak vorteks oluşum uzaklığı, iz bölgesi kalınlığı ve Strouhal sayısı açısından karşılaştırmalı bir deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir.

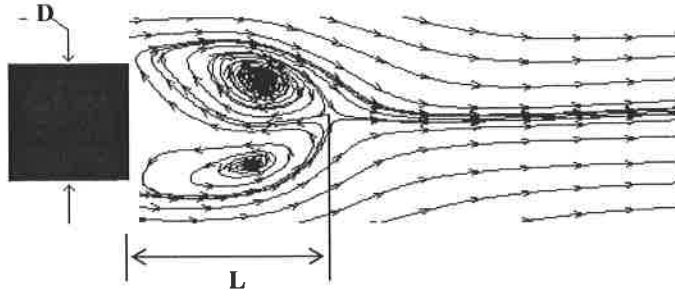
Yüksek çözelti oranındaki polimer katkısının tüm karşılaştırma değerleri için daha belirgin farklılığa yol açtığı gözlenmiştir. Deneylerin daha yüksek çözelti oranları ile ve daha geniş Reynolds sayısı aralığında sürdürülerek polimer katkılı akışların sürüklenme indirgemesine etkisinin daha ayrıntılı niceliksel bir çalışma ile ortaya çıkarılmasının gereği duyulmaktadır.

Teşekkür

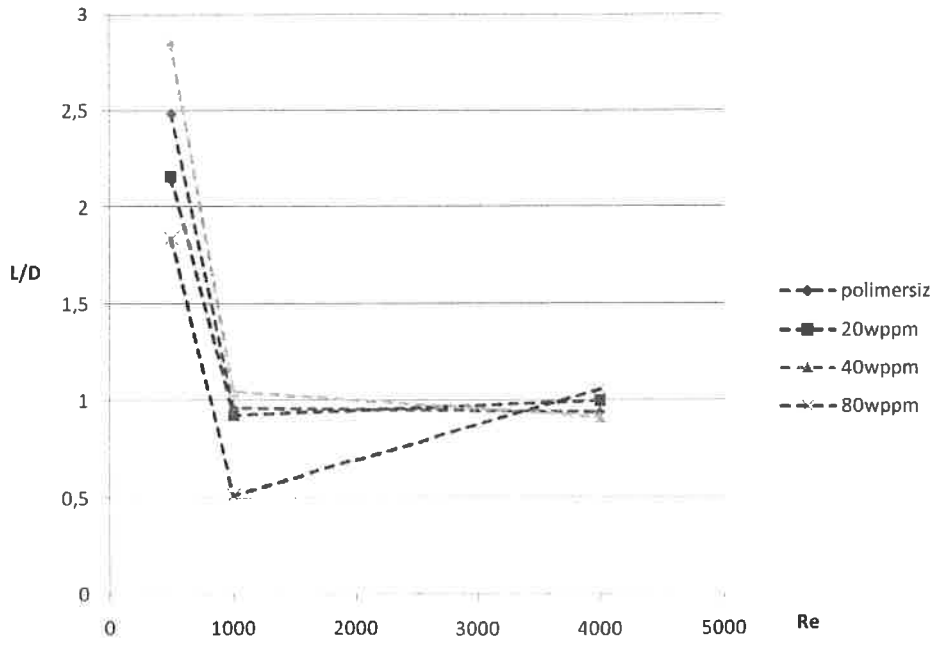
Bu çalışma 107M390 nolu TÜBİTAK 1001 projesi ile desteklenmektedir.



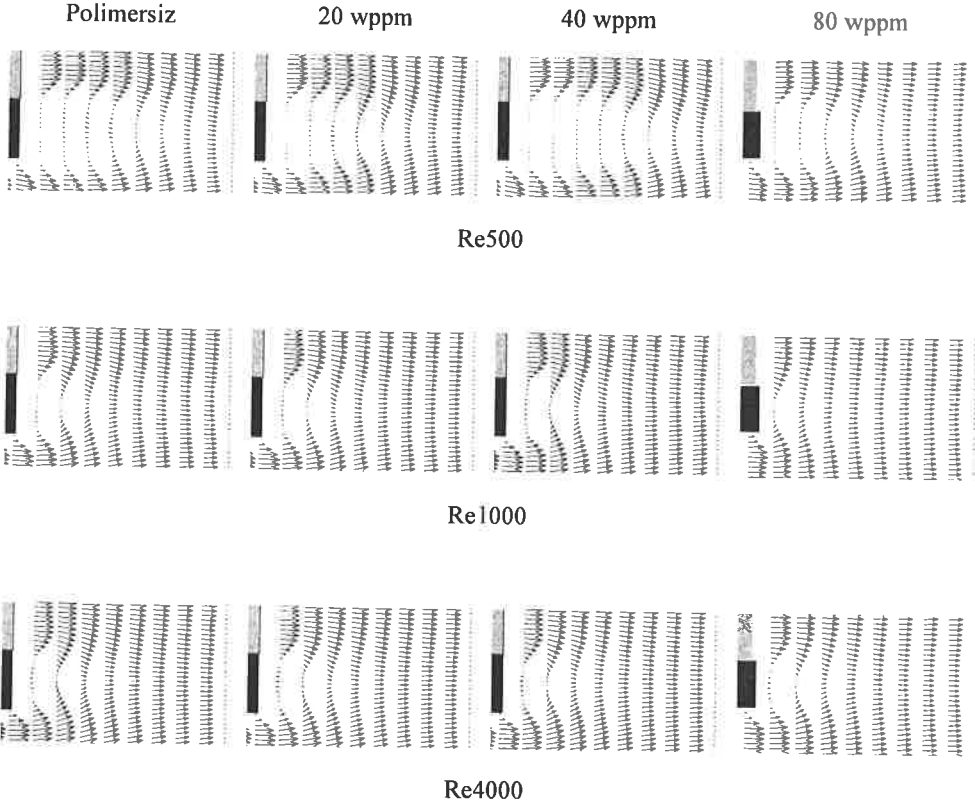
Şekil 1 Kare silindir iz bölgesinde, değişik Reynolds sayısı ve polimer çözelti değerlerinde vortisite dağılımları



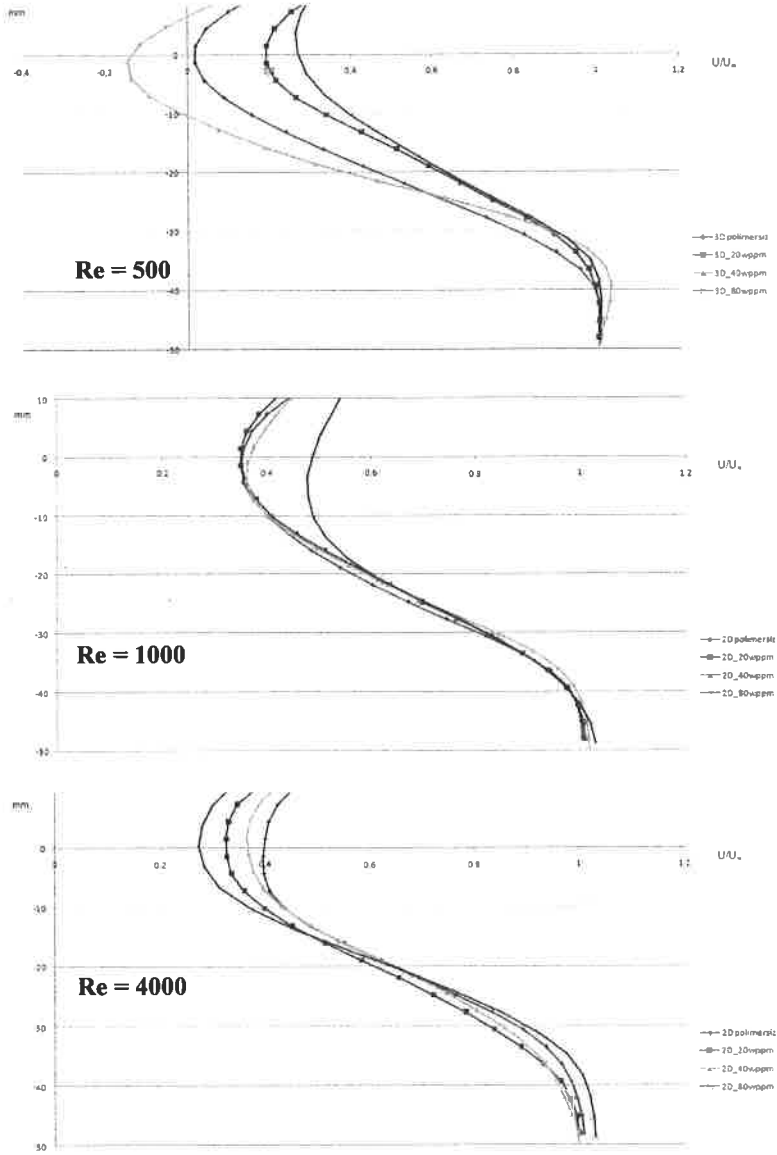
Şekil 2 Vorteks oluşum uzaklığı



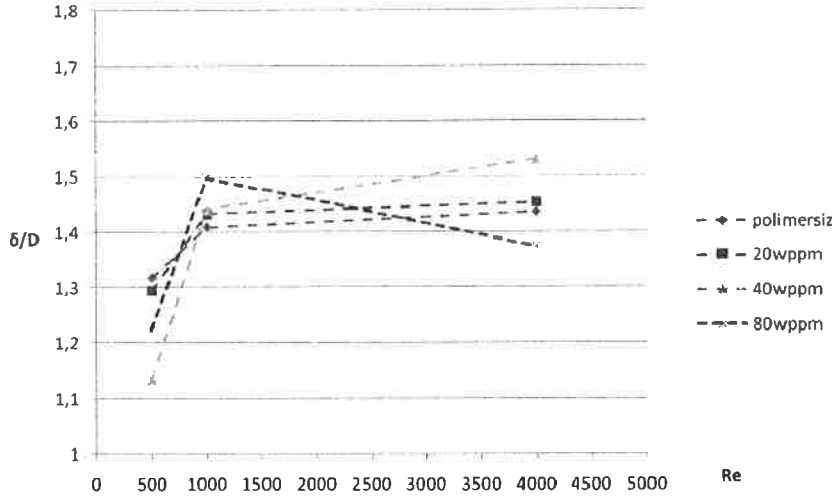
Şekil 3 Vorteks oluşum uzaklığının Reynolds sayısı ve polimer çözelti oranına bağlı değişimi



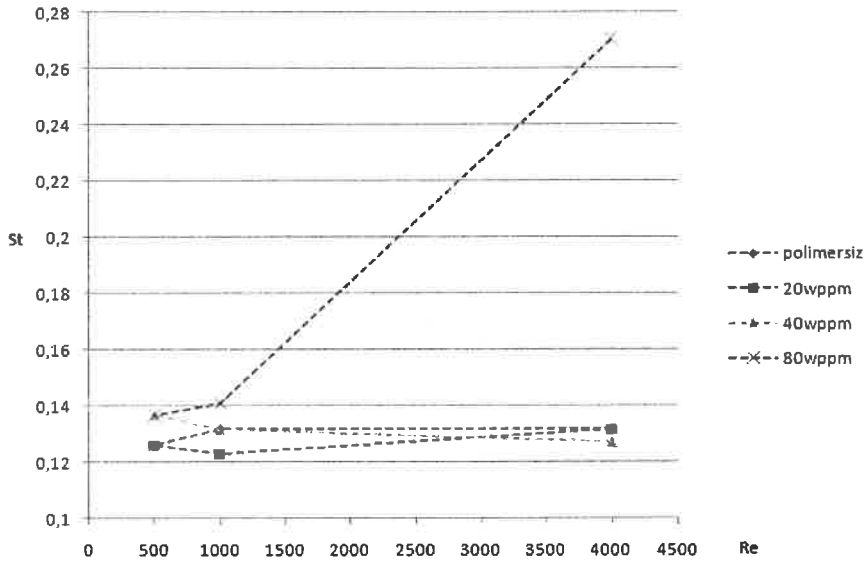
Şekil 4 Kare kesitli silindir iz bölgesinde, değişik Reynolds sayısı ve polimer çözelti değerlerinde ortalama hız dağılımları



Şekil 5 Dairesel silindir iz bölgesinde Reynolds sayısı ve polimer çözelti oranına bağlı olarak hız profilleri (Not: Mor eğriler 80 wppm, yeşil 40 wppm, kırmızı 20 wppm çözelti akışları ve mavi eğriler polimersiz akışı temsil etmektedir.)



Şekil 6 İz bölgesi kalınlığının Reynolds sayısı ve polimer çözelti oranına bağlı değişimi



Şekil 7 Strouhal sayısının Reynolds sayısı ve polimer çözelti oranına bağlı değişimi

Referanslar

- [1] B.A. Toms, "Some observations on the flow of linear polymer solutions through straight tubes at large Reynolds numbers" Proc. 1st Intern. Congr. Rheol. North Holland, 135-141, 1949.
- [2] A.G. Fabula, J.H. Green, W.F. Madison, "Torpedo drag reduction employing polymer ejection" U.S. Patent no. 4,186,679, 1980.
- [3] G.E. Gadd, "Effects of long-chain molecule additives in water on vortex streets" Nature 211, 169-170, 1966.
- [4] V.N. Kalashnikov, A.M.Kudin, "Kármán vortices in the flow of drag-reducing polymer solutions" Nature 225, 445-446, 1970.
- [5] S. Ogata, Y. Osano, K. Watanabe, "Effect of surfactant solutions on the drag and the flow pattern of a circular cylinder" AIChE Journal 52, 49-57, 2006.
- [6] P.M. Coelho, F.T. Pinho, "Vortex shedding in cylinder flow of shear-thinning fluids I. Identification and demarcation of flow regimes" J. Non-Newtonian Fluid Mech. 110, 143-176, 2003.
- [7] C.J. Pipe, P.A. Monkewitz, "Vortex shedding in flows of dilute polymer solutions" J. Non-Newtonian Fluid Mech. 139, 54-67, 2006.
- [8] Bearman PW, Obasaju ED, "An experimental study of pressure fluctuations on fixed and oscillating square-section cylinders" J Fluid Mech 119, 297-321, 1982.
- [9] Durao DFG, Heitor MV, Pereira JCF, "Measurements of turbulent and periodic flows around a square cross-section cylinder" Experiments in Fluids 6, 298-304, 1988.
- [10] Lyn DA, Einav S, Rodi W, Park JH, "A laser-Doppler velocimetry study of ensemble-averaged characteristics of the turbulent near wake of a square cylinder" J Fluid Mechanics 304, 285-319, 1995.
- [11] Dutta S, Muralidhar K, Panigrahi PK, "Influence of the orientation of a square cylinder on the wake properties" Experiments in Fluids 34, 16-23, 2003.
- [12] Luo SC, Chew YT, Ng YT, "Hysteresis phenomenon in the galloping oscillation of a square cylinder" J Fluids and Structures 18, 103-118, 2003.
- [13] B. W. van Oudheusden, F. Scarano, N. P. van Hinsberg, D. W. Watt, "Phase-resolved characterization of vortex shedding in the near wake of a square-section cylinder at incidence" Experiments in Fluids 39, 86-98, 2005.
- [14] D. F. Kurtulus, F. Scarano, L. David, "Unsteady aerodynamic forces estimation on a square cylinder by TR-PIV" Experiments in Fluids 42, 185-196, 2007.
- [15] C. Norberg, "An experimental investigation of the flow around a circular cylinder: influence of aspect ratio" J. Fluid Mech. 258, 287-316, 1994.
- [16] M. Ozgoren, "Flow structure in the downstream of square and circular cylinders" Flow Measurement and Instrumentation 17(4), 225-235, 2006.