

AYIRICI PLAKA KULLANILARAK KARE SİLİNDİR ETRAFINDAKİ AKIŞIN POD ANALİZİ İLE İNCELENMESİ

Muhammed Murat Aksoy¹
Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi

ÖZET

Bu çalışma kapsamında akış yönünde (kare silindir arka kısmı) ve akışa ters (kare silindir ön kısmı) olacak şekilde ayrı ayrı ayırıcı plaka kullanılarak kare silindir etrafındaki akış deneysel olarak incelenmiş ve sonuçlar yalın kare silindir ile kıyaslanmıştır. Çalışmada elde edilen deneysel sonuçlar Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçümü (PIV) ile yapılmıştır. Bu sonuçlar ayrıca Uygun Ortogonal Ayırıştırma (POD) analizi ile değerlendirilmiştir. Reynolds sayısının (Re) 8500 olduğu durum için yapılan deneylerde POD ve PIV sonuçları ayrıca kıyaslanmıştır. Akışın POD analizi sonucu, ayırıcı plakaların girdaplar üzerindeki etkisini daha iyi bir şekilde ortaya koymuştur. PIV deneyi için her bir modelde 1000 adet data alınmış olmasına rağmen, POD analizleri için daha az sayıda veri ile etkili anlık sonuçlar elde edilebileceği ortaya konmuştur. Sonuç olarak, her iki ayırıcı plakanın akışa etkisi detaylı bir şekilde gösterilmiş olup, kare silindirin art izinde akış kontrolü sağlandığı hem PIV hem de POD yöntemleri ile gösterilmiştir.

GİRİŞ

Temel küt cisimler üzerindeki akışın oluşumundaki düzensizliklerden kaynaklanan girdap kopmaları çoğu zaman araştırmacıların ilgisini çeken bir konu olmuştur. Bunun en büyük sebeplerinden biri de gündelik yaşamda karşılaşılan örneklerinin de mevcut olmasıdır (King, 1977; Sarpkaya, 2004). Bu nedenle, girdap kopmaları ve titreşimleri anlamak ve bunlardan oluşacak olumsuz sonuçları engellemek önem arz etmektedir (Rashidi vd., 2016).

Küt cisimlerin arkasında oluşan girdap kopmalarını azaltmak ya da tamamen ortadan kaldırmak için cismin üzerinde yada etrafında geometrik modifikasyonlar yapılmıştır. Yalın kare silindirin art izindeki akıştan doğan girdap kopmaları da farklı Reynolds sayıları (Re) aralığı içinde detaylı bir şekilde incelenmiştir (S. C. Yen ve Yang, 2011). Kare silindirin arkasında oluşan akışı kontrol etmek için farklı yollar da denenmiştir (Durhasan, 2020). Bu çalışma kapsamında kullanılmış olan ayırıcı plakalar ise akış kontrolü yöntemlerinden biri olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Plakanın kare silindirden ayrı (Ali vd., 2012; Liu vd., 2024) veya silindire bitişik (Dash vd., 2020; Sarioglu, 2017) olduğu farklı durumlar hem deneysel hemde sayısal çalışmaların konusu olmuştur. Plakalara benzer olarak kontrol çubuğu da akış kontrolünde yaygın olarak kullanılmıştır (Chauhan vd., 2019; Gupta ve Saha, 2019). Ayrıca, kontrol çubukları sadece akış yönünde değil akışa ters olarak, başka bir deyişle, kare silindirin ön kısmına da yerleştirilmiştir (Fırat vd., 2015; S.-C. Yen vd., 2016). Kısaca, bu çalışmaların ortak sonucu olarak akış kontrolünün başarılı bir şekilde sağlandığını söyleyebiliriz.

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Enerji Sistemleri Müh. Böl., E-posta: muhammedmurataksoy@osmaniye.edu.tr

Özellikle, dairesel silindirlere baktığımız zaman, rijit ayırıcı plakanın akış kontrolü için daha yaygın kullanıldığını görebiliyoruz. Ruan vd. (2023) tarafından yapılan çalışmada ardışık silindirler konfigürasyonu için akış aşağı yönünde olan silindirin önüne (akışa ters), arkasına (akış yönü), ve her iki durum içinde gerçekleştirilen sayısal çalışmada üç farklı kontrol yöntemi akış aşağı yönünde olan silindirde girdap kaynaklı titreşimlerin azaltıldığını göstermişlerdir. Bu sayısal çalışmada ardışık silindirler arasındaki boşluk (G) sabit silindir çapı için (D), $G/D=5$ olarak ayarlanmış ve Re sayısının 150 olduğu durumlar için yapılmıştır. Akış kaynaklı titreşimin azaltıldığı durumlar akış aşağı yönündeki silindirin titreşiminden kaynaklı doğal frekansına bağlı olarak belirlenen bir indirgenmiş hız aralığı tespit edilmiştir. Bu çalışmaya benzer olarak düşük Re sayıları için rijit ayırıcı plaka uygulamaları ile karşılaşmaktayız. Wang vd. (2023) tarafından yapılan çalışmada özellikle plaka uzunluğunun akışa etkisi ve akış kaynaklı titreşimi nasıl etkilediği sabit kütleli ve sönüm oranlı bir sistemin sayısal olarak analizini gerçekleştirmişlerdir. Belirlenen plaka uzunluk oranları için plaka uzunluğunun artması silindir ardında oluşan girdap sönümlerini için daha iyi olduğunu göstermişlerdir. Sun vd. (2022) tarafından yapılan deneysel çalışmada ise farklı Re sayıları için silindirin arkasına monte edilen rijit plakanın etkileri incelenmiştir. Dinamik mod ayrıştırma (DMD) tekniği kullanılarak girdap kaynaklı titreşime neden olan akış yapısı daha detaylı ortaya çıkarılmıştır. Akış ve özellikle dairesel yada kare silindir gibi küt cisimler arasındaki etkileşimlerin anlaşılması için yapılan çalışmalar farklı parametreler üzerinden hem akışın fiziği anlamak için hem de akış kontrolünü daha da iyileştirebilmek için devam etmektedir (Feshalami vd., 2022).

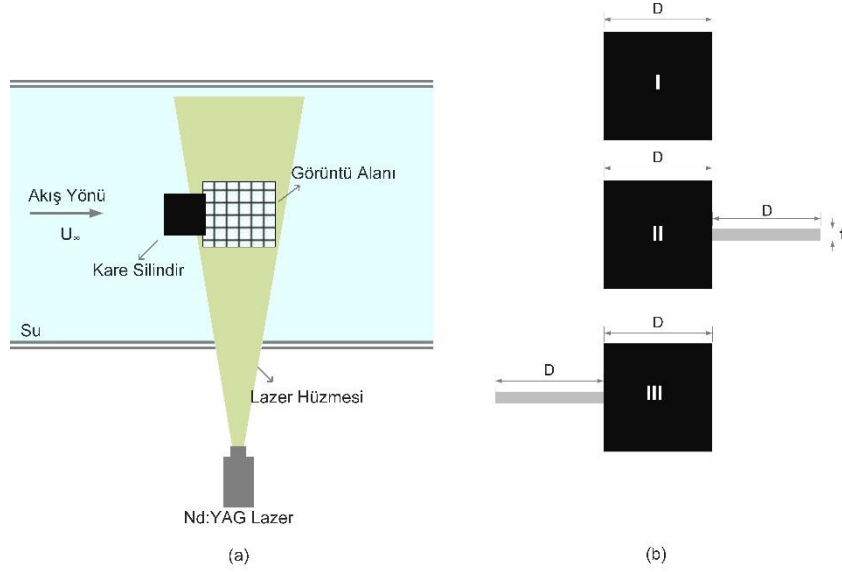
Buna rağmen, akışın fiziğini hem farklı parametreler üzerinden hem de Uygun Ortogonal Ayrıştırma (Proper Orthogonal Decomposition – POD) analizi ile ortaya çok fazla konulmadığı ortaya çıkmaktadır. Bu çalışma kapsamında kare silindirin etrafındaki akışa ayırıcı plakanın etkisini POD analizi ile ortaya koymaktayız. Bu amaç için kare silindirin önüne ve arkasına sabit rijit uzunlukta bir ayırıcı plaka koyarak ayrı ayrı etkisini PIV metodu ile incelenip yalın durum ile türbülans istatistikleri kıyaslanarak akışa etkisi incelenecektir.

YÖNTEM

Bu çalışma kapalı devre üstü açık bir su kanalında Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçüm (PIV) tekniği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kullanılan kare silindir paslanmaz çelikten yapılmış olup, ölçüsü 40mm×40 mm ve uzunluğu 450 mm'dir. Ayırıcı plaka ise 5 mm'lik (t) kalınlıktaki şeffaf pleksiglas malzemeden kare silindirin bir kenar ölçüsü (D) kadar kesilmiştir. İlk başta yalın kare silindir için hız ölçümleri yapılmış olup, sonra ayırıcı plaka akış yönünde (kare silindirin arkası) ve daha sonra akışa ters olacak şekilde (kare silindirin önü) ölçümler yapılarak, türbülans istatistikler hesaplanmıştır. Deney düzeneği şematik olarak Şekil 1(a)'da gösterilmiştir. Şekil 1(b)'de ise sırasıyla Model I, Model II, ve Model III olarak yalın kare silindiri, ayırıcı plakanın karenin arkasında, ve ayırıcı plaka karenin önünde yerleştirilmiş hali görülmektedir. Mevcut PIV sistemi TSI firmasından temin edilmiş olup; 532 nm dalga boyunda en yüksek 100 mJ enerji değerine sahip bir çift Nd:YAG lazer, bir CMOS kamera ve lazer ve kameranın birlikte çalışmasını sağlayan bir sekronizerden oluşmaktadır. TSI Insight 4G yazılımı kullanılarak ardışık çekilen ham görüntüler işlenerek deney sonuçları elde edilmiştir. PIV ölçüm metodu ile elde edilen ham görüntü sonuçları literatüre uygun olarak işlenmiş ve istatistik hesapları yapılmıştır (Raffel vd., 2018). Akışa uygun bir şekilde ölçüm alabilmek için, lazer hüzmeleri arasındaki frekans 15 Hz ve iki ardışık görüntü arasındaki zaman farkı 1.75 ms olarak ayarlanmıştır. Deneyler boyunca, toplam görüntü alanı 2048×2048 piksel çözünürlüğe sahip olan kamera için 144mm×144mm olarak tespit edilmiştir. Kare silindirin bir kenar ölçüsü olan 40 mm (D) uzunluğu ve serbest akış hızı 0.2298 m/s (U_∞) baz alınarak, deneyler Reynolds sayısı (Re) 8500 için gerçekleştirilmiştir. Zaman ortalamalı istatistik ve POD hesaplamalarının yapılması için her bir deneyde 1000 adet veri alınmıştır.

POD analizlerinin akışkanın fiziğini anlamada yardımcı olduğu bilgisi başka çalışmalarda da mevcuttur (Berkooz vd., 1993). POD analizi aslında 'temel bileşenler analizi' yönteminin bir parçası olarak düşünülebilir ve kullanılan bu yöntemin akışkanlar için matematiksel temeli literatürde detaylı olarak verilmiştir (Bouhoubeiny ve Druault, 2009; Meyer vd., 2007; Wang vd., 2014). Bu çalışma

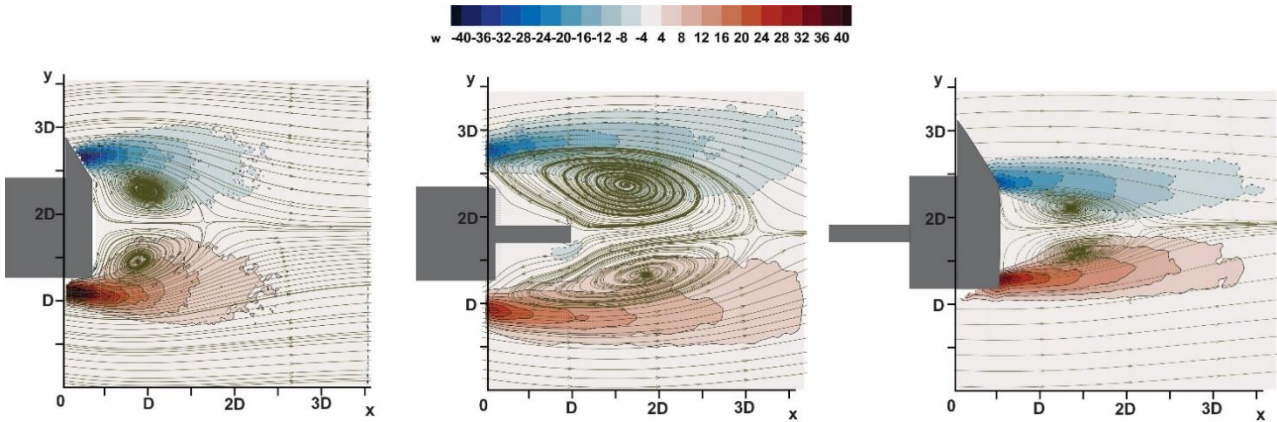
kapsamında yapılan POD analizlerinde OpenPIV tarafından geliştirilen açık kaynaklı bir kod tercih edilmiştir (Gurka vd., 2006).



Şekil 1: Deney düzeneğinin şematik olarak gösterimi (a) görüntü alanı için lazer ve kamera oryantasyonu (b) kare silindir ve ayırıcı plakaların yerleşimi

UYGULAMALAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışma kapsamında öncelikle PIV sonucu elde edilen 1000 datanın zaman ortalamalı akım çizgileri ve girdap konturları Şekil 2'de gösterilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı gibi ayırıcı plakanın önde yada arkada olmasından bağımsız olarak yalın karenin art izinde oluşan akışa göre ayırıcı plakanın etkisi dikkat çekmektedir. Girdap (w (s^{-1})) konturları ayırıcı plakanın etkisiyle x -yönünde uzamaya meyil etmiştir ve Model II'de y -yönünde de genişleme olmuştur. Akım çizgilerinden görülebileceği gibi durma noktaları simetrik bir şekilde oluşmuş olup, bunların bittiği yerde oluşan eyer noktası ise ayırıcı plakanın etkisi ile uzamıştır; Model I'de eyer noktası yaklaşık x -ekseninde $1.5D$ 'de iken Model II ve III'de ise $3D$ ve $2D$ olarak gözlemlenmiştir. Ayrıca, diğer iki modele göre Model II'de yoğun girdap konturlarının negatif ve pozitif maksimum değerlerini alan noktalar y -ekseninin D ve $3D$ gibi kare silindirin köşelerinden daha fazla uzaklaşmıştır. Akışın art izi boyunca bakıldığında, Model II'deki ayırıcı plakanın varlığının ölü akış bölgesini daha fazla etkilediği söylenebilir.

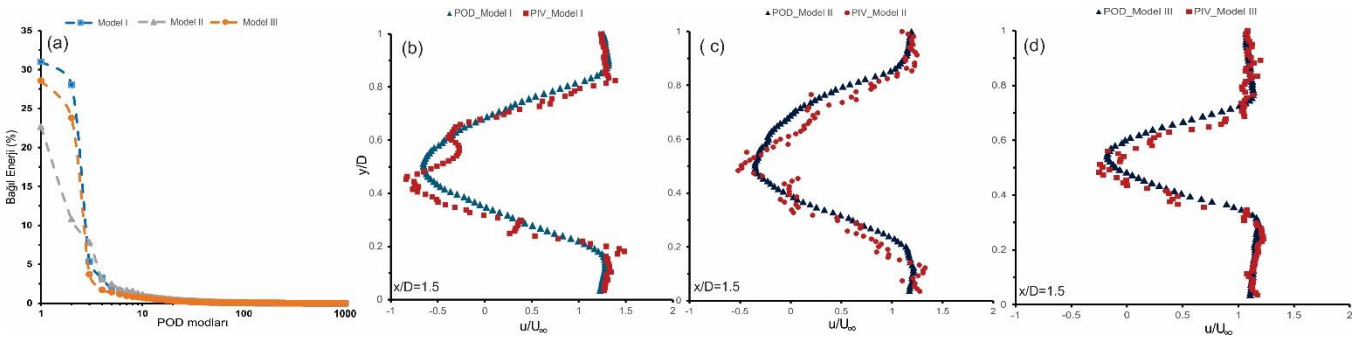


Şekil 2: Zaman ortalamalı akım çizgileri ve girdap konturları (PIV sonuçları)

Elde edilen PIV sonuçlarını kıyaslamak için POD analizleri sonuçları Şekil 3 ve Şekil 4'te verilmiştir. Şekil 3(a)'da her üç durum için ayrı ayrı bağıl enerjinin dağılımı POD modlarına göre gösterilmiştir.

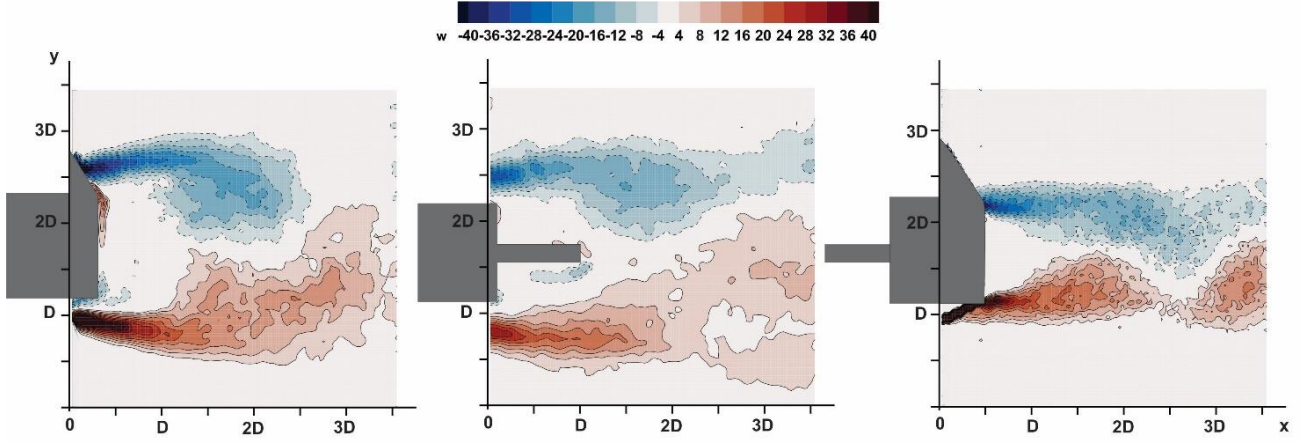
POD analizleri anlık görüntü yöntemi olarak bilinen baskın uzamsal ve zamansal yapıları kullanarak elde edilen görüntülerdeki veri azaltma yöntemi olarak kullanılır. Bu bağlamda, her bir modelin analizleri uzamsal anlamda yeniden yapılandırma (reconstruction) yöntemi ile ilk 10 modun enerjisi bütün veri kümesi için Şekil 4'te hesaplanmış ve ilk modda oluşan girdap kopmaları gösterilmiştir. Ayrıca Şekil 5'de ise çoklu mod (multi-mode) POD tekniği kullanılarak sadece ilk 10 mod için hesaplama yapılmış ve ilk üç mod için ayrı ayrı konturlar gösterilmektedir. Buradaki amaç ise girdap kopmalarını anlamak yerine modlar arasındaki enerji değişimini ortaya koymaktır.

Her bir modelin bağıl enerjileri birikimli olarak toplanırsa %100 enerji elde edildiği ve ilk modlarda çok fazla bağıl enerji içerdiği görülmektedir. İlk 10 modu birikimli olarak toplarsak Model I, Model II, ve Model III için sırasıyla %75, %54, ve %64 olarak hesaplayabiliriz. Ayrıca, benzer enerji oranlarını birinci modda da görebilir ve en yüksek bağıl enerjisi olan Model I için bakıldığında toplam enerjiden ilk 10 moddan sonra sadece %25 kaldığını söyleyebiliriz. Başka bir deyişle, elimizde 1000 data bile olsa yalın yada ayırıcı plaka kullanmaktan bağımsız olarak ilk modlarda enerji yoğunluğu çok fazla gözlenmektedir. Şekil 3(b), 3(c), ve 3(d)'de sırasıyla Model I, Model II, ve Model III için POD ve PIV sonuçları x-ekseni 1.5D noktasında y-ekseni üzerindeki akış yönündeki (u) hızlarının değişimi verilmiştir. Buradaki sonuçların POD analizi uzamsal anlamda ilk 10 mod için yeniden yapılandırma yöntemi ile 1000 dataya uygulandığı ilk modun sonucu iken; PIV analizinde ilk görüntü alanının anlık sonuçlarıdır. Hız profillerinin benzer bir yapıya sahip olduğunu ve negatif hızların ayırıcı plaka olmayan durumda daha fazla olduğunu başka bir deyişle akışın etkisi ölü akış bölgesinde sıkıştığını belirtebilir; ayırıcı plakanın olduğu Model II ve III'de ötelenildiğini söyleyebiliriz. Model III için y/D değerlerine baktığımızda Model II'ye göre daha dar bir alanda akışın bittiğini de tespit edebiliriz.

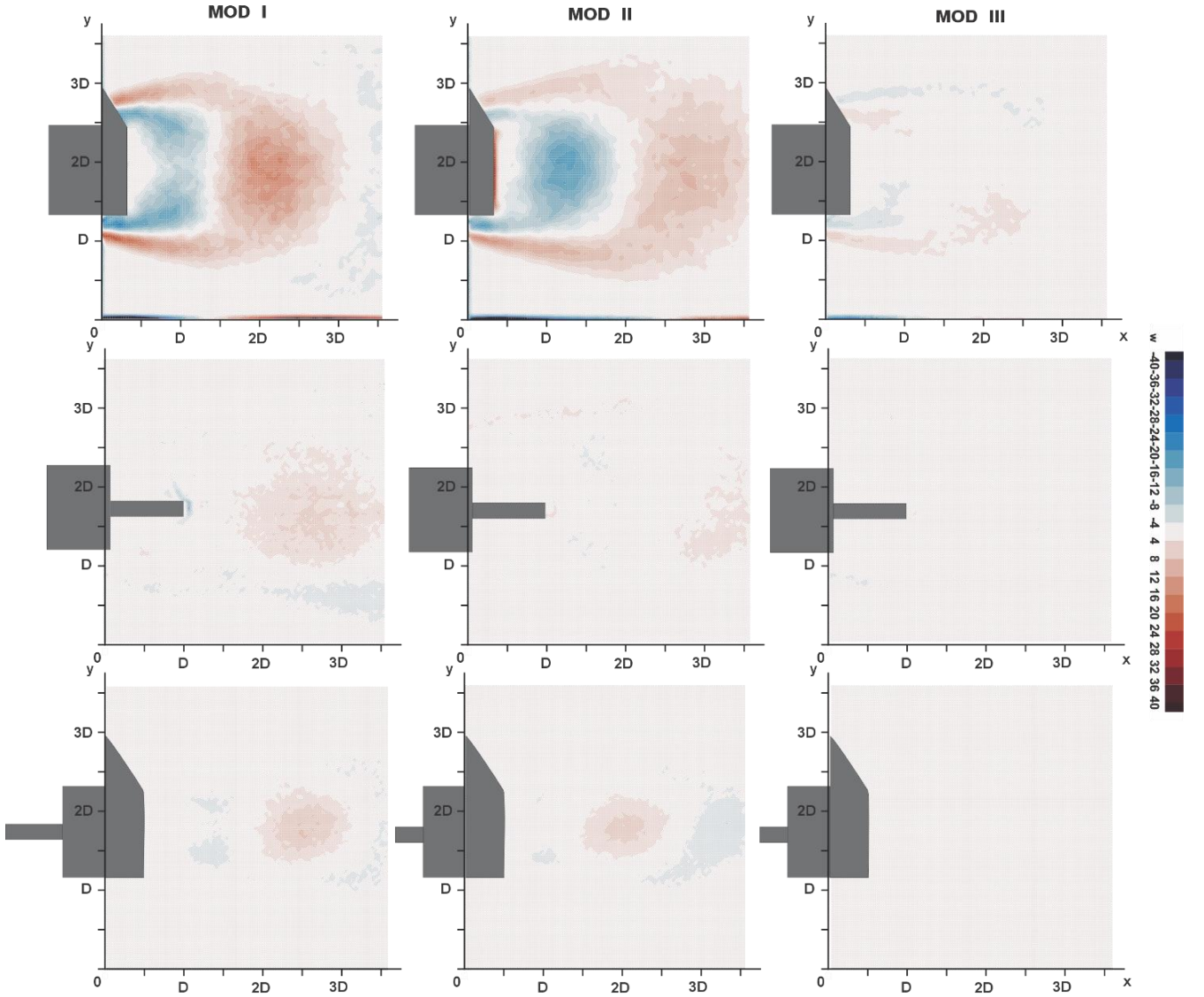


Şekil 3: PIV ve POD sonuçlarının kıyası (a) POD modlarına göre bağıl enerji dağılımı (b) Model I (c) Model II ve (d) Model III için y-eksenine göre değişen hız dağılımları

Şekil 4'de ise anlık sonuçlardan elde edilen veriler yeniden yapılandırma POD yöntemi uygulanmıştır. Burada ilk 10 modun enerjisi bütün veri kümesine uygulanmış ve girdap konturları ilk mod için gösterilmiştir. Yeniden yapılandırma yöntemi sayesinde seçilen vektör alanlarının bazıları kullanılarak tüm veri kümesini tekrardan yapılandırabiliyoruz. Böylelikle, tüm modlarla yeniden yapılandırma, tam orijinal vektör alanını verirken, daha az sayıda modla yeniden yapılandırma (bu çalışma için ilk 10 mod), vektör alanının düşük dereceli yeniden yapılandırılmış modelini sağlayacaktır (Legrand vd., 2011; Raiola vd., 2015; Yin vd., 2019). Normalde ilk datadan bu kadar belirgin girdap kopmaları görünmemesi gerekirken, POD sonuçları gereği, ilk modlarda sahip olduğu yüksek bağıl enerjiden akışı anlık da olsa net bir şekilde karakterini ortaya koymuştur. PIV sonuçları zaman ortalamalı da olsa elde edilen girdap sonuçları benzer şekilde yorumlanabilir çünkü Model III için yine y-ekseninde diğer modellere göre daha dar bir akış yapısı gözlemlenirken; Model II'de ise kayma tabakasından olan akış kopmaları x-ekseninde daha fazla ötelenmiştir. Model III'de ise yalın kare silindire göre çok fazla ötelenme olmasa da akış kopmalarının daha zayıf olduğu girdap konturlarından anlaşılabilir. Ayırıcı plakanın önde yada arkada kullanılması etkili bir akış kontrolü yöntemi olduğunu sonuç olarak söyleyebiliriz.



Şekil 4: Anlık POD sonuçları için girdap konturları



Şekil 5: Çoklu mod POD yöntemi ile enerji yoğunluklarının kare silindirler için gösterilmesi

Şekil 5’de ise çoklu mod POD tekniği ile yine ilk 10 modun enerjisine kendi içinde bakılmıştır ve ilk üç modun girdap konturları her durum için paylaşılmıştır. Bu yöntemde farklı olarak seçilen POD modlarının doğrusal bir birleşimidir. Ardışık olarak seçilen modlar ile doğrusal birleşimlerini ilgili özdeğerlerini kullanarak hesaplanması yapılmaktadır (Nobach vd., 2007). Buradaki amaç aslında girdap konturları üzerinden her mod için farklı kare silindir konfigürasyonlarında enerji yoğunluğunu ortaya çıkarmaktır. Şekilden görüleceği üzere yalın kare silindir için ilk iki moddan sonra enerji yoğunluğu çok azalmışken; ayırıcı plaka kullanıldığı durumlarda enerji yoğunluğunun hem çok az hemde art izi akış bölgesinden oldukça uzaklaştığını ilk moddan itibaren gözlemleyebiliyoruz.

SONUÇ

Bu çalışma kapsamında kare bir silindirin etrafındaki akış ve de ayırıcı plakanın akışa etkisi iki farklı durum için deneysel olarak incelenmiştir. Ayırıcı plakanın uzunluğu karenin bir kenar uzunluğu ile aynı olacak şekilde Reynolds sayısının (Re) 8500 değeri için deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneysel olarak elde edilen parçacık görüntülemeli hız ölçüm (PIV) yöntemi sonuçları uygun ortogonal ayrıştırma (POD) sonuçları ile kıyaslanmıştır. Yeniden yapılandırma ve çoklu mod olmak üzere iki farklı POD yöntemi kullanılarak kare silindir konfigürasyonları arkasında oluşan akışın hem fiziği hem de enerji yoğunlukları ortaya çıkarılmıştır. POD sonucu analizleri de ayrıca değerlendirildiğinde ayırıcı plakanın akış kontrolü yönünde etkisi ortaya konmuştur. Anlık görüntü analizi yöntemi ile elde edilen POD sonuçlarında ilk modların bağıl enerjisinin çok yüksek olduğu ortaya çıkarılmıştır. Bu nedenle, ilk modlardan elde edilen anlık sonuçların, baskın olarak akışın çok büyük çoğunluğunu temsil edebilme kabiliyeti olduğu ortaya çıkarılmıştır. Sonuç olarak, ayırıcı plakanın akış kontrolü için etkili bir yöntem olduğu tespit edilmiş ve özellikle ayırıcı plakanın kare silindirin arkasında olduğu durumda daha iyi bir akış kontrolü gerçekleştirilebileceği ortaya çıkarılmıştır.

Teşekkür

Bu çalışmanın Sakarya Üniversitesi PIV laboratuvarında gerçekleşmesine imkan sağlayan Doç.Dr. Nehir Tokgöz’e teşekkür ederim.

Kaynaklar

- Ali, M. S. M., Doolan, C. J., Wheatley, V. 2012. "Low Reynolds number flow over a square cylinder with a detached flat plate". *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 36, 133-141.
- Berkooz, G., Holmes, P., Lumley, J. L. 1993. "The Proper Orthogonal Decomposition in the Analysis of Turbulent Flows". *Annual Review of Fluid Mechanics*, 25(1), 539-575.
- Bouhoubeiny, E., Druault, P. 2009. "Note on the POD-based time interpolation from successive PIV images". *Comptes Rendus. Mécanique*, 337(11-12), 776-780.
- Chauhan, M. K., Dutta, S., Gandhi, B. K. 2019. "Wake flow modification behind a square cylinder using control rods". *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 184, 342-361.
- Dash, S. M., Triantafyllou, M. S., Alvarado, P. V. Y. 2020. "A numerical study on the enhanced drag reduction and wake regime control of a square cylinder using dual splitter plates". *Computers & Fluids*, 199, 104421.
- Durhasan, T. 2020. "Flow topology downstream of the hollow square cylinder with slots". *Ocean Engineering*, 209, 107518.

- Feshalami, B. F., He, S., Scarano, F., Gan, L., Morton, C. 2022. "A review of experiments on stationary bluff body wakes". *Physics of Fluids*, 34(1), 011301.
- Firat, E., Akansu, Y. E., Akilli, H. 2015. "Flow past a square prism with an upstream control rod at incidence to uniform stream". *Ocean Engineering*, 108, 504-518.
- Gupta, A., Saha, A. K. 2019. "Suppression of vortex shedding in flow around a square cylinder using control cylinder". *European Journal of Mechanics - B/Fluids*, 76, 276-291.
- Gurka, R., Liberzon, A., Hetsroni, G. 2006. "POD of vorticity fields: A method for spatial characterization of coherent structures". *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 27(3), 416-423.
- King, R. 1977. "A review of vortex shedding research and its application". *Ocean Engineering*, 4(3), 141-171.
- Legrand, M., Nogueira, J., Tachibana, S., Lecuona, A., Nauri, S. 2011. "Flow temporal reconstruction from non time-resolved data part II: practical implementation, methodology validation, and applications". *Experiments in Fluids*, 51(4), 861-870.
- Liu, H. (刘航钊), Li, H. (李欢), Wang, H. (王汉封), Li, C. (李策), Yin, Y. (尹亚鹏), He, X. (何旭辉). 2024. "Effects of a detached splitter on the vortex-induced vibration of a 5:1 rectangular cylinder". *Physics of Fluids*, 36(1), 014108.
- Meyer, K. E., Pedersen, J. M., Özcan, O. 2007. "A turbulent jet in crossflow analysed with proper orthogonal decomposition". *Journal of Fluid Mechanics*, 583, 199-227.
- Nobach, H., Tropea, C., Cordier, L., Bonnet, J.-P., Delville, J., Lewalle, J., ... Adrian, R. 2007. "Review of Some Fundamentals of Data Processing". İçinde C. Tropea, A. L. Yarin, & J. F. Foss (Ed.), *Springer Handbook of Experimental Fluid Mechanics* (ss. 1337-1398). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Raffel, M., Willert, C. E., Scarano, F., Kähler, C. J., Wereley, S. T., Kompenhans, J. 2018. "*Particle Image Velocimetry: A Practical Guide*". Springer.
- Raiola, M., Discetti, S., Ianiro, A. 2015. "On PIV random error minimization with optimal POD-based low-order reconstruction". *Experiments in Fluids*, 56(4), 75.
- Rashidi, S., Hayatdavoodi, M., Esfahani, J. A. 2016. "Vortex shedding suppression and wake control: A review". *Ocean Engineering*, 126, 57-80.
- Ruan, L., Yu, D., Bao, J., Zhao, J. 2023. "The Effect of the Layout of a Rigid Splitter Plate on the Flow-Induced Vibration of a Downstream Cylinder Subjected to Wake Flow". *Journal of Marine Science and Engineering*, 11(11), 2138.
- Sarioglu, M. 2017. "Control of flow around a square cylinder at incidence by using a splitter plate". *Flow Measurement and Instrumentation*, 53, 221-229.
- Sarpkaya, T. 2004. "A critical review of the intrinsic nature of vortex-induced vibrations". *Journal of Fluids and Structures*, 19(4), 389-447.
- Sun, Y., Wang, J., Hu, Z., Lin, K., Fan, D. 2022. "Transition of FIV for a circular cylinder with splitter plates". *International Journal of Mechanical Sciences*, 227, 107429.
- Wang, E., Zhao, S., Xu, W., Xiao, Q., Li, B. 2023. "Effect of splitter plate length on FIV of circular cylinder". *International Journal of Mechanical Sciences*, 254, 108413.
- Wang, H. F., Cao, H. L., Zhou, Y. 2014. "POD analysis of a finite-length cylinder near wake". *Experiments in Fluids*, 55(8), 1790.
- Yen, S. C., Yang, C. W. 2011. "Flow patterns and vortex shedding behavior behind a square cylinder". *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 99(8), 868-878.
- Yen, S.-C., Wu, S.-F., San, K.-C. 2016. "Modulation of wake flow and aerodynamic behaviors around a square cylinder using an upstream control bar". *Experimental Thermal and Fluid Science*, 70, 139-147.
- Yin, S., Fan, Y., Sandberg, M., Li, Y. 2019. "PIV based POD analysis of coherent structures in flow patterns generated by triple interacting buoyant plumes". *Building and Environment*, 158, 165-181.