

İKİ PLAKA ARASINA YERLEŞTİRİLMİŞ ELİPS SİLİNDİRİN ÖNÜNDE OLUŞAN AKIŞ YAPISININ PARÇACIK GÖRÜNTÜLEMELİ HIZ ÖLÇÜM (PIV) TEKNİĞİ İLE İNCELENMESİ

Hüseyin Turan ARAT
Ali KOÇ
Cuma KARAKUŞ
Nurhan Adil ÖZTÜRK
Beşir ŞAHİN
Hüseyin AKILLI

ÖZET

Isı değiştiricileri uygulamalarında transfer edilen enerjinin incelenmesinde ve ısı-hidrolik performansının iyileştirilmesinde, sistem içinde oluşan daimi olmayan karmaşık akış yapısının ve fiziğinin bilinmesi çok önemli bir yer tutmaktadır. Son yıllarda, akışkanlar mekaniği uygulamalarında akış yapısının görselleştirme yoluyla incelenmesinde Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçüm tekniği (PIV) çok sık olarak kullanılmakta ve bir akış alanı içerisindeki hızları, akış yapısını bozmadan çok yüksek hassasiyetle, anlık olarak ölçülmesinde başarı ile uygulanmaktadır. Bu çalışmada, plakalı ısı değiştiricilerinden model olarak esinlenilerek paralel iki düzlem plaka arasına yerleştirilen farklı görünüş oranlarındaki ($GO = \text{Uzun çap/kısa çap}$) elips silindirin önünde oluşan akış yapısı, PIV tekniği kullanılarak deneysel olarak incelenmiştir. Isı değiştiricilerinde akış pasajı içerisindeki girdap yapısı ve fiziği akış görselleştirilme yöntemiyle araştırılmış ve elde edilen veriler anlık ve zaman-ortalama değerler cinsinden sunulmuştur. Deneyler, elips silindir uzun çapına bağlı olarak hesaplanan Reynolds sayısının $Re_d = 1500$ ile 10000 değerleri arasında ve elips silindir görünüş oranının $GO=1.0$ ile 2.33 değerleri arasında gerçekleştirilmiştir. Farklı GO sahip elips silindirler üzerinde deneyler yapılmış ve elde edilen deneysel sonuçlar dairesel silindir sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak tüm GO ' larında elips silindirin önünde düzlem plaka ile birleştikleri bölgelerde, at nalı girdap (ANG) yapısı oluşmakta ve artan Reynolds sayısı ve GO değerleriyle bu girdapların boyutları küçülmekte ve şiddetleri artmaktadır. Bu durumda ısı değiştiricilerinde elips silindir kullanılması durumunda, sistem performansını olumlu yönde etkileyeceği öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Isı Değiştiricileri, Paralel Plaka, Elips Silindir, At Nalı Girdap, PIV

ABSTRACT

In heat exchangers applications improving the thermal-hydraulic performance analysis and in energy transfer system known in the physics of unsteady complex flow structure a very important role. In recent years, applications of fluid mechanics studied experimentally by means of flow visualization study of the structure of Particle Image Velocimetry technique (PIV) are used very frequently in the rates of a flow field, without disturbing the flow structure of the very high precision, with instant success as the measure is applied. In this study, plate heat exchangers as a model inspired by the plane parallel plate placed between two different aspect ratios ($AR = \text{long diameter / short diameter}$) elliptical cylinder flow structure consisting of front, were investigated experimentally using PIV technique. Vortex structure and the physics of flow within the flow passage in heat exchangers were

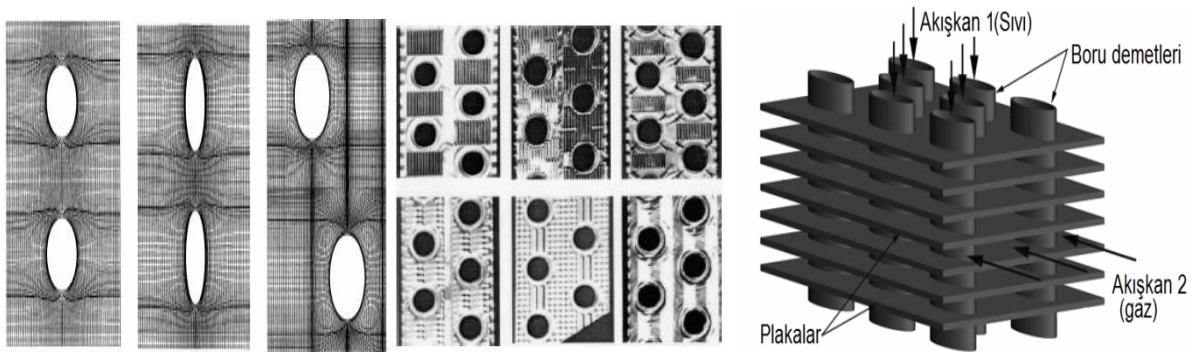
investigated and the data obtained from visualization method and time-average values are presented in an instant. Experiments on the size of elliptical cylinder between the Reynolds number calculated $Re = 1500$ and 10000 and elliptical cylinder with aspect ratio, $AR = 1.0$ was carried out between 2:33. Elliptical cylinders have different AR with experimental results obtained on the experiments and the results were compared with a circular cylinder. As a result, all AR's elliptical cylinder with a united front of the plane plate areas, a horseshoe vortex (HV) structure that consists of increasing the values of Reynolds number and AR sizes decreases and intensities of vortices increases. In this, case of elliptical cylinder usage in heat exchangers projected a positive effect on system performance better than circular cylinder.

Key Words: Heat Exchangers, Parallel Plate, Elliptical Cylinder, Horseshoe Vortex, PIV

1. GİRİŞ

21. yy' da Dünya üzerindeki en önemli gereksinimlerimizden birisi enerjidir. Enerjinin elde edilmesi, dönüştürülmesi ve kullanılmasında teknolojinin hızla değişmesiyle birlikte yıllar boyunca önemli gelişmeler yaşanmıştır. Araştırmacılar enerjinin önümüzdeki yıllarda daha etkin ve verimli kullanılması için çalışmalarına devam etmektedir. Soğutma sektöründe enerji kullanımı ve taşınımı önemli bir yer tutmaktadır. Enerji verimliliği yönünden soğutma sektörünün en önemli uygulamalarından biri ise ısı değiştiricileridir. Temel anlamda bir ortamdan alınan ısı enerjisini başka bir ortama iletmek için ısı değiştiricileri kullanılmaktadır. Endüstride ısı değiştiricileri; ısıtma, soğutma, havalandırma ve iklimlendirme sistemlerinde geniş kullanım alanlarına sahiptirler. İmalat aşamasında farklı avantajlara sahip olmaları yönünden çeşitli şekillerde üretilen ısı değiştiricilerinden biri, plakalı ısı değiştiricileridir. Boru demetleri ve paralel plakalardan oluşan sistemde, enerji taşınım şekli, genellikle bir akışkanın plakalar arasında akarken diğerinin boru demetleri içerisinde geçmesi şeklindedir. Bu fiziksel durum sonucunda ısı değiştiricilerinde iki akışkan çifti arasında ısı transferi oluşmaktadır. Isı değiştiricileri imalatında ve en iyileştirilmesinde önemli olan parametrelerden biri hiç kuşkusuz ısı değiştiricileri içinde oluşan akış yapısıdır[1].

Isı değiştiricilerinde kullanılan boru demetleri ya da tüpler farklı geometrik yapılarda üretilmektedir (Şekil 1). Bu boru demetlerinin üzerinde oluşan akış yapısı; boru demetlerinin geometrileriyle değişiklik göstermekte ve karmaşık bir yapı oluşturmakta olup araştırmacılar tarafından sayısal ve teorik olarak yaygın bir şekilde inceleme konusu olmuştur[2].



Şekil 1. Değişik Dizilim ve Geometrilerdeki Isı Değiştirici Modelleri ve Eliptik Tüplü Isı Değiştiricisi [3]

Literatürde, plakalı ısı değiştiricilerinde iki boyutlu ısı transferi analizini dairesel silindir ve elips silindir arasında ısı ve kütle transferini hesaplayarak bir araştırma yapılmıştır. Araştırmada kullanılan elips silindirin görünüş oranı, uzun çap/kısa çap tanımlanarak, Görünüş Oranı (GO) 0.86 olarak alınmış ve hesaplamalarda Reynolds sayısının $Re_d=0-1600$ değerleri arasında deneyler gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak; eliptik tüplü ısı değiştiricilerinin silindirik tüplü ısı değiştiricilerine göre daha iyi aerodinamik yapıya sahip oldukları söylenmiştir. Ayrıca yapılan sayısal hesaplamalara göre eliptik

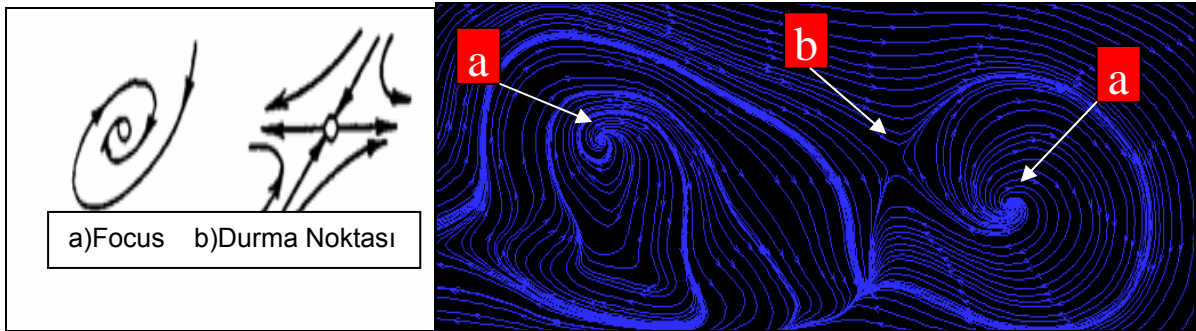
tüplü ısı değiştiricisinin silindirik tüplü ısı değiştiricisine göre ısı transferi katsayısının daha yüksek değerde olduğunu belirtmişlerdir.[4]

Bir araştırmada da [4] ile aynı parametrelerde denenen eliptik tüp ve çaprazlama dağılmış dairesel tüplerde yapılan çalışmalar sırasında ısı transferi katsayısının elips silindir düzenlemesinin silindir düzenlemesine göre %4 - %8 arttığını hesaplamışlardır [5]. Farklı bir araştırmada ise iki plaka arasına yerleştirilmiş sıralı elips silindirler sayısal metotlarla incelenmiş ve sonuç olarak tüm eliptik düzenlemelerin silindire göre daha performanslı olduğunu söylenmiştir. [6]

Yapılan diğer bir araştırmada Reynolds sayısının $Re_d=83-258$ değerleri arasında yapılmış olan iki plaka arasındaki kanatçıklı yapının fiziksel etkileri çalışmada, plaka yüzeyinde tüpün etrafında oluşan at nalı girdapların (ANG) tüpün etrafını sardığını ve plaka yan cidarını sararak akışa devam ettikleri söylenmiştir. ANG yapısı gereği, spiral döngü işlemi girdap merkezlerine çok yakın yapacaklarını ve böylece, tüp içerisindeki sıcak akışkan ile ana akıştaki soğuk akışkanın değişimine izin vereceğini bununda o bölgelerdeki akışın iyi karışmasında etkili olduklarını gözlemlenmiştir. Sonuç olarak silindir yüzeyinde karışmış akış yapısını oluşturan ANG 'ın yüksek ısı transferi sağladığı belirtilmiştir. [7]

Bazı araştırmacılar da elips geometrisi üzerindeki akış yapısını nümerik yöntemlerle incelemişler ve bu incelemeyi silindirik geometri ile karşılaştırmışlardır. Çalışmalarında eliptik tüplü ısı değiştiricilerin silindirik yapıya göre daha yüksek ısı transferine sahip olduklarını bildirmişlerdir [8–11]. Bir diğer araştırmacının çalışmada elips silindir yapısının dairesel silindir yapıya göre daha düşük akış direnci ve daha yüksek ısı transfer oranına imkân sağladığını ve ısı transfer katsayısını Reynolds sayısı kadar elips silindirin görünüş oranının da etkilediğini sayısal çalışmalarla izah etmiştir. Sonuç olarak elips silindir geometrisi ile dairesel silindir geometri arasındaki kullanım farklılıklarından bahsedilmiş ve eliptik tüplü olarak yapılan ısı değiştiricilerinin dairesel silindire göre daha verimli oldukları ifade edilmiştir.[12]

Başka bir araştırmada ise akış yapısı içerisinde oluşan ANG'ların oluşumu sırasında akışın fiziğine bağlı olarak, akış içerisinde kritik durma noktalarının varlığından ve oluşumundan bahsedilmiştir. Spiral döngü oluşturan girdap merkez noktalarını "Focus/Foci" olarak adlandırılmıştır. Akış alanı içerisinde bulunan bu dinamik karakterli tekil noktalara durma noktası (saddle point, nodal point) tabiri kullanılmış ve durma noktalarının, kayma gerilmelerinin ayrılma ve farklı yöne iletilme konumunda olduğu söylenmiştir [13]. Mevcut çalışma içerisinde yapılan deneylerde de bu durma ve Foci noktaları Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 2. Akış İçerisinde Oluşan ANG'larda Kritik Durma Noktaları ve Deneylerden Elde Edilen Görüntüsü

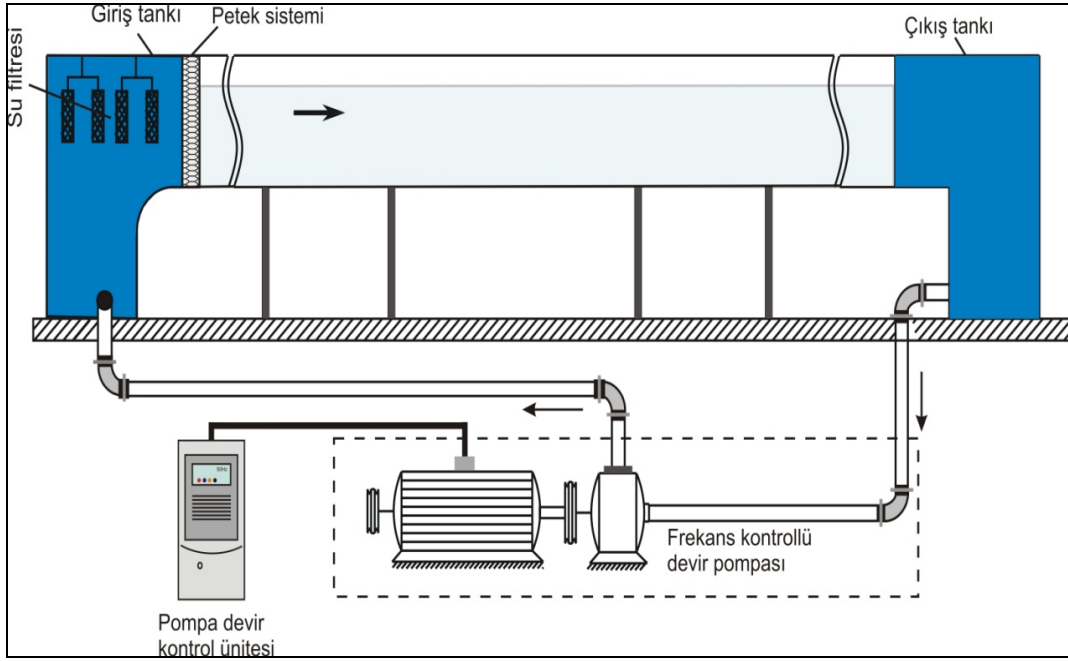
Bunların yanı sıra, oval tüplerin çapraz akımlı hava akışında ısı ve hidrolik performansı araştırılmıştır. Araştırmada, literatürde elips silindir akışı ile ilk çalışmanın Reiler (1925) tarafından yapıldığı söylenmiştir. Deneyleri Reynolds sayısının 1.000–11.000 değerleri arasında ve $GO=2, 3$ ve 4 değerlerinde yapmıştır. Sonuç olarak $Re_d < 4000$ değeri için dairesel silindirik tüp ile elips silindir (oval) tüp arasında ısı transferi bakımından çok büyük bir değişiklik göstermediği belirtilmiştir. Ayrıca küçük yüzey alanlarına sahip olan elips silindir yapısının dairesel silindirik yapıya göre ısı-hidrolik performanslarının daha iyi olduğu saptanmıştır. [14]

Bu deneysel çalışmada, elips silindir geometrisinin $GO=1, 1.14, 1.4, 1.75, 2.33$ ve Reynolds sayısının $Re_d=1500, 4000, 6000, 8000, 10000$ değerleri için iki plaka arasındaki elips silindir ön yüzeyinde oluşan akış yapısının Parçacık görüntülemeli hız ölçüm tekniği ile incelenmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

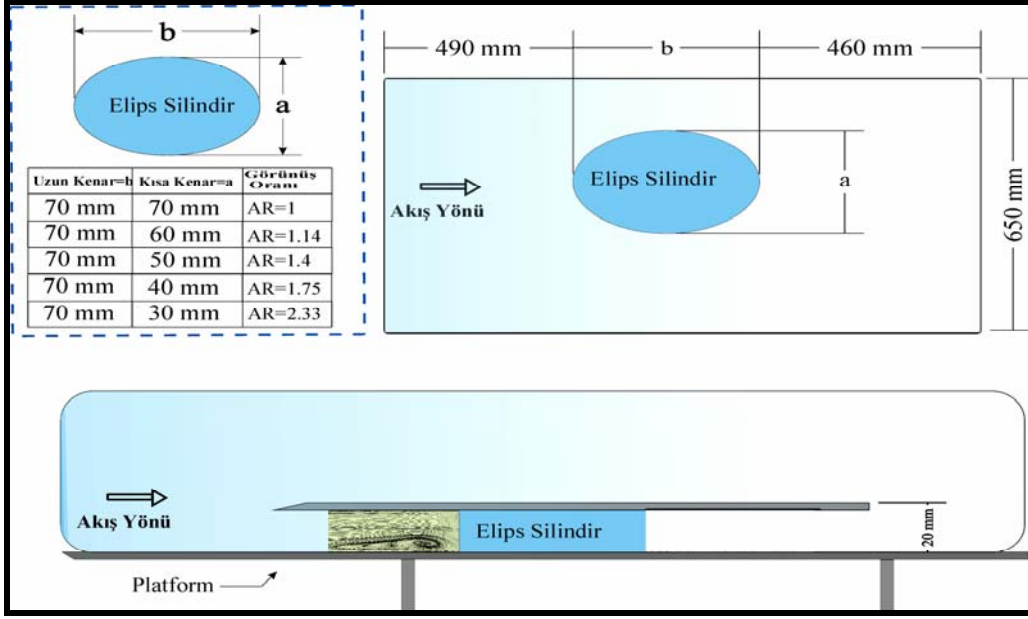
2.1. Materyal

Bu çalışma Çukurova Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü Akışkanlar Mekaniği Laboratuvarlarında bulunan kapalı çevrim serbest yüzeyli açık su kanalında yapılmıştır (Şekil 3). Su kanalı iki adet fiberglas rezervuar ve bu rezervuarlar arasında monte edilmiş şeffaf akrilik kısımdan oluşmaktadır. Mevcut su kanalında deney çemberi olarak adlandırılan saydam akrilik kısmın yükseklik, en ve boyu sırasıyla 750mm, 1000mm ve 8000mm'dir. İki rezervuar arasındaki suyun hareketi ise bir adet 15 kW gücünde santrifüj pompa aracılığı ile gerçekleştirilmiştir. Test bölgesinde değişik hızlarda deneyler yapabilmek için santrifüj pompanın devri bir hız kontrol ünitesi yardımıyla değiştirilebilmektedir. Santrifüj pompa, suyu girişteki su tankına basmakta ve çıkıştaki su tankından emmektedir. Kanal içerisinde akan su, kanala girmeden önce dinlenme odasına ve oradan da akış düzenleyici petek sistemi bölümüne girmektedir. Ayrıca, su kanalına doldurulan suyu filtre eden bir filtre sistemi mevcuttur.



Şekil 3. Su Kanalının Şematik Görünümü [15]

Deney düzeneklerini su kanalına yerleştirmek amacıyla 1000mm genişliğinde ve 2000mm uzunluğunda bir platform imal edilmiştir. Elips silindir geometrisi Şekil 4'den de görüldüğü gibi imal edilen platform ile 650mm genişliğinde 1020mm uzunluğundaki düzlem bir plaka arasına yerleştirilmiştir. Su kanalı içerisine yerleştirilen elips silindir ölçüleri ve görünüşleri Şekil 4' de verilmiştir. Elips silindir geometrisinin yüksekliği 20mm olarak sabit alınmıştır. Tüm deneyler süresince suyun serbest akış yönü soldan sağa doğru akmaktadır. Bu çalışmada, plakalı ısı değiştiricilerinden model olarak esinlenilerek paralel iki düzlem plaka arasına yerleştirilen farklı görünüş oranlarındaki ($GO = \text{Uzun çap/kısa çap}$) elips silindirin önünde oluşan akış yapısı, PIV tekniği kullanılarak deneysel olarak incelenmiştir. Deneyler, elips silindir uzun çapına bağlı olarak hesaplanan Reynolds sayısının $Re_d=1500$ ile 10000 değerleri arasında ve elips silindir görünüş oranının $GO=1.0$ ile 2.33 değerleri arasında gerçekleştirilmiştir.



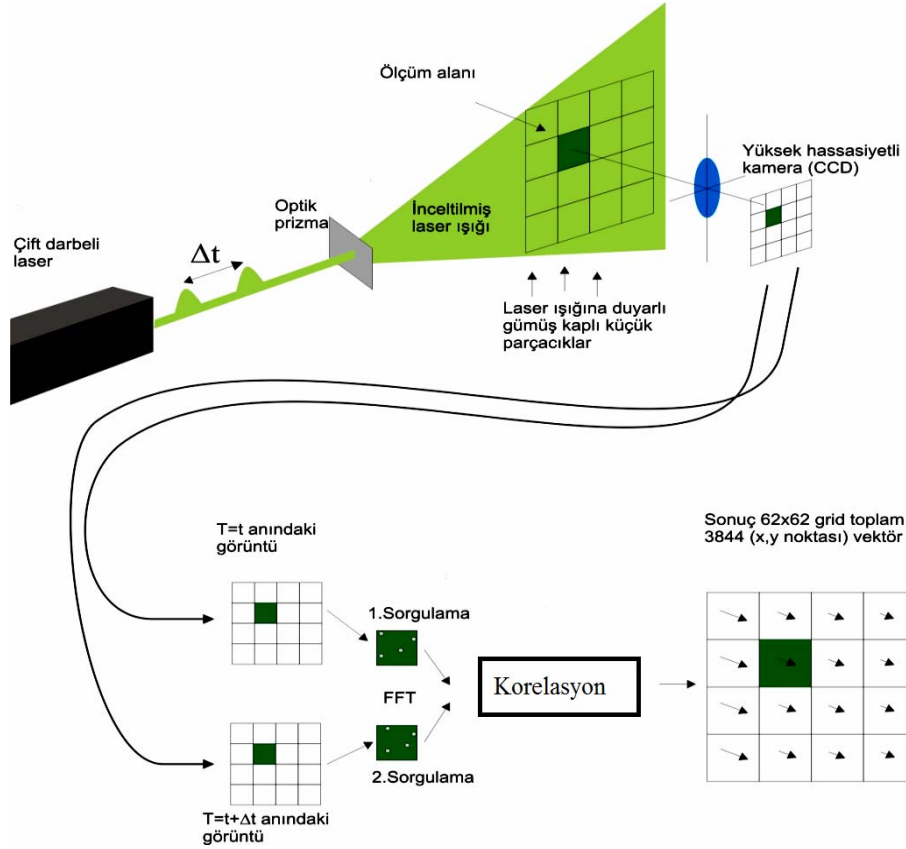
Şekil 4. Su Kanalı İçerisindeki İki Plaka Arasına Yerleştirilmiş Elips Silindirler ve Görünüşleri

2.2. Yöntem

Soğutma teknolojileri uygulamalarında genellikle ara enerji sistemleri olarak akışkanlardan yararlanılmaktadır. Bu sebeple akışkanların boru demetleri içerisinde meydana getirmiş oldukları akış alanının analizi çok önemli bir konudur. Akışı görselleştirme yoluyla akış alanı özelliklerinin görsel analizlerinden çok şey öğrenilebilmektedir. Akışı görselleştirme sadece fiziksel deneylerde değil aynı zamanda hesaplamalı akışkanlar mekaniği gibi sayısal çözümlerde de faydalıdır. [16].

Akışı görselleştirme yöntemlerinden son zamanlarda yaygın olarak kullanılan Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçümü (PIV) yöntemi ile akış alanı içerisinde yüksek hassasiyetle akış yapısı hakkında bilgi alınabilmektedir. Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçme Tekniğinde hız ölçümü yapabilmek için akış (su) içerisine 10–20 mikrometre çapında, yoğunluğu akışkanın yoğunluğuna yakın parlak gümüş kaplı plastik parçacıklar serpiştirilmektedir. Çift darbeli 120 mJ gücündeki lazer ünitesi (Nd: YAG Lazer) tarafından üretilen lazer ışını optik aletler desteğiyle 1–2 mm kalınlığında ve 50 cm genişliğinde lazer huzmesi haline getirilmektedir. Lazer huzmesiyle aydınlatılan bu bölgede hareket eden parçacıkların iki adet fotoğrafı, arka arkaya milisaniye mertebesindeki zaman aralığında (Δt) 1kbX1kb çözünürlüğe sahip dijital kamera ile çekilmekte ve bilgisayar ortamına aktarılmaktadır. İki fotoğraf arasındaki süre tamamıyla akışın yapısına bağlıdır. Lazer kaynağı darbeli tip olduğu için lazer ile kameranın eş zamanlı olarak çalışması gerekmektedir. Yani, lazer kaynağından çıkan lazer huzmesi ölçüm yapılan bölgeyi aydınlattığı anda dijital kamera aydınlatılmış olan bu bölgenin fotoğrafını çekmekte ve bilgisayara aktarılmaktadır. Lazer kaynağı ile dijital kamera arasındaki zamanlamayı ayarlayan cihaz eş zamanlayıcı olarak adlandırılmakta ve bir bilgisayar tarafından kontrol edilmektedir. Bilgisayara aktarılan bu resimler genellikle 62x62 piksel ebatlarındaki (gerektiğinde bu ebatlar artırılabilir veya azaltılabilir) ağ olarak adlandırılan küçük bölgelere ayrılmaktadır ve her bir bölge içerisinde yaklaşık olarak 30 civarında metal kaplı parçacık bulunmaktadır. 'Hızlı-Fourier' dönüşümü kullanılarak her bir ağ bölgesindeki parçacıkların çekilen iki görüntü arasındaki yer değiştirmeleri bulunmaktadır. Her iki görüntü arasındaki Δt zaman aralığı ve parçacıkların aldıkları mesafe bilindiğinden göz önüne alınan ağ bölgelerindeki hız vektörleri hesaplanmaktadır.

Parçacık görüntülemeli hız ölçme tekniğinin görüntü işleme prensiplerinin aşamaları şematik olarak Şekil 5' te gösterilmiştir. Akış alanındaki hız vektörlerinin belirlenmesi ile girdaplılık, akım çizgisi ve sirkülasyon gibi akışın fiziği hakkında bilgi veren diğer parametreler de bulunabilmektedir. Ayrıca, bu akış ölçme tekniği, türbülanslı akış yapılarının fiziksel olarak anlaşılmasına son yıllarda büyük faydalar sağlamıştır.



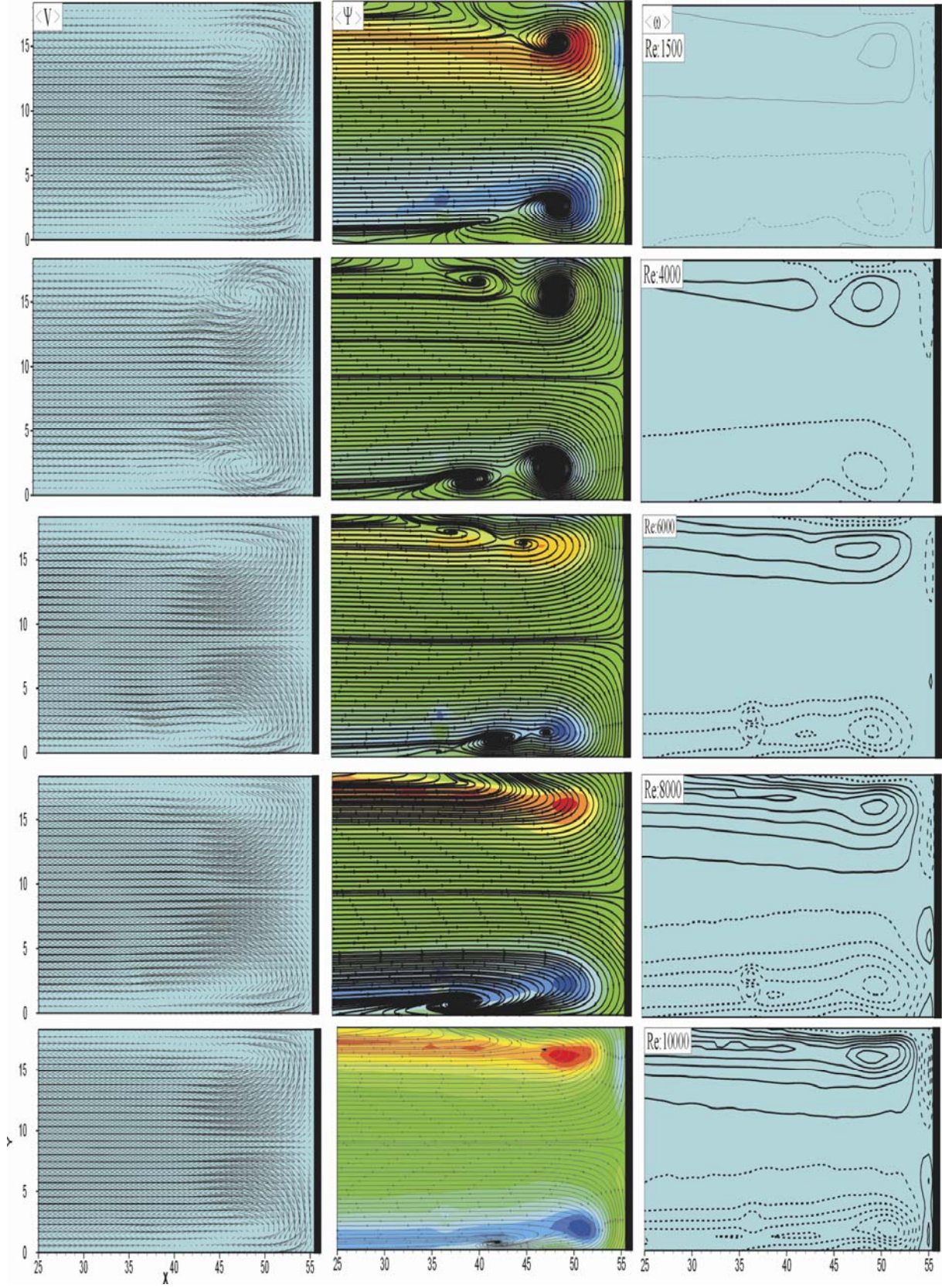
Şekil 5. PIV Çalışma Prensipleri [17]

3. DENEYSEL BULGULAR

Yapılan deneyler sonucu elips silindir ön yüzeyinde oluşan akış yapısı hız vektörü $\langle V \rangle$, akım çizgisi $\langle \Psi \rangle$ ve eş yüzey eğrileri $\langle \omega \rangle$ şeklinde resimlendirilmiştir. Elde edilen verilerde hız vektörleri akışın yönünü ve dağılımını göstermekte, akım çizgileri anlık akış verilerinin anlaşılmasını kolaylaştırmakta, eş yüzey eğrileri ise akış içerisindeki yüksek ve düşük değerlikli bölgeleri skaler bir özellikte göstermektedir. Yapılan tüm PIV deneyleri sonucu elde edilen akım çizgileri görüntülerinde aynı anda eş yüzey eğrileri de, akış yapısının anlaşılmasında daha etkin rol oynadığı için renklendirme yapılarak verilmiştir. Bu renklendirme işleminde mavi ve turuncu renkler girdapların merkezlerini daha net ifade etmekte, pozitif (kırmızı renk) ve negatif (mavi renk) oluşan girdap hareketlerini akım çizgileriyle birlikte göstermektedir. Eş yüzey eğrilerinin durumları; kesik çizgiler ile saat yönünde (negatif) bir hareket izlediğini, düz çizgiler ile de saat tersi yöndeki (pozitif) hareket izlediğini belirtmektedir.

3.1 Elips Silindir Önünde Oluşan Zaman-Ortalama Akış Yapısı

Deneylerden elde edilen anlık ve zaman-ortalama görüntüleri, hız vektörü $\langle V \rangle$, akım çizgisi $\langle \Psi \rangle$ ve eş yüzey eğrileri $\langle \omega \rangle$ şeklinde analiz edilmiştir. Öncelikle $GO=1$ olan dairesel silindir için farklı Reynolds değerleri ile akış yapısı görselleştirilmiştir. İki düzlem paralel plaka arasındaki $GO=1$ değerinde dairesel silindir önünde dairesel silindir çapına bağlı Reynolds sayısının $Re_d=1500-10000$ değerleri arasında oluşan akış yapısındaki zaman ortalama hız vektörleri $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$ ve eş yüzey eğrileri $\langle \omega \rangle$ Şekil 6' da görülmekte olup akış yönü soldan sağa doğru akmaktadır.



Şekil 6. İki düzlem paralel plaka arasındaki $GO=1$ değerinde dairesel silindir önünde silindir çapına bağlı Reynolds sayısının $Re_d=1500-10000$ değerleri arasında oluşan akış yapısındaki zaman ortalama hız vektörleri $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$ ve eş yüzey eğrileri $\langle \omega \rangle$

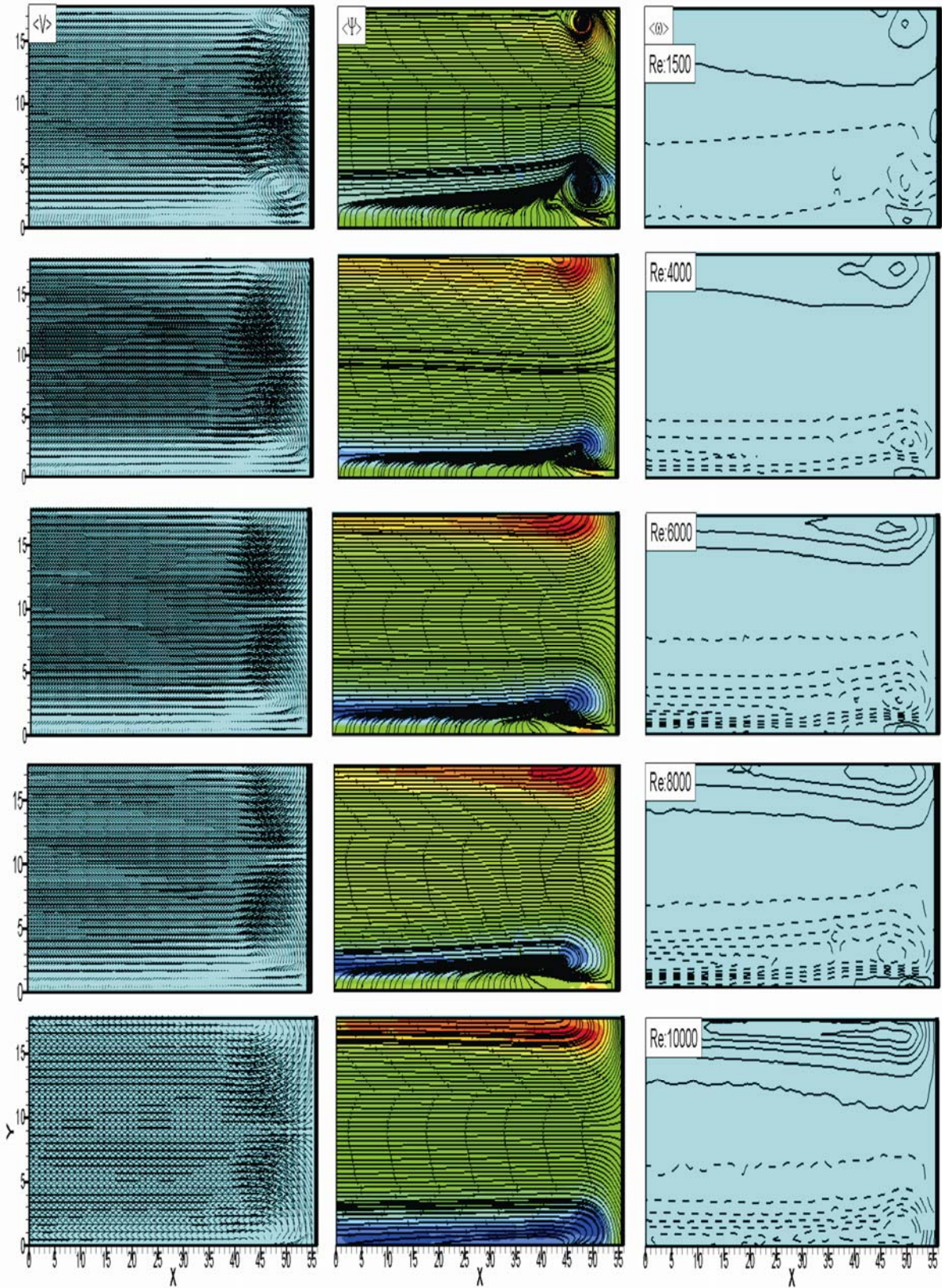
Şekil 6'da görüntülerin alt ve üst çizgileri, düzlem plakaları göstermekte olup sağ taraftaki siyah dolgu çubuk ise silindir geometrisini temsil etmektedir. Şekilde birinci sütun zaman-ortalama hız vektör $\langle V \rangle$ alanlarını, ikinci sütun zaman-ortalama akım çizgilerini $\langle \Psi \rangle$, üçüncü sütun ise zaman-ortalama eş yüzey eğrilerini $\langle \omega \rangle$ göstermektedir.

Birinci sütunda $Re_d = 1500$ ile $Re_d = 10000$ değerleri arasındaki akış yapısına ait hız alanları $\langle V \rangle$ verilmektedir. $Re_d = 1500$ değerindeki hız vektörü alanlarında düşük hızla silindire çarpan akış, silindir yüzeyi orta noktası bölgesinde bir durma noktası (stagnation point) meydana getirmektedir. Akış esnasında saat yönü negatif, saatin tersi yönü pozitif olmak üzere; akış simetrik bir dağılım ile negatif yönde aşağı plaka yüzeyine doğru, pozitif yönde ise yukarı plaka yüzeyine doğru hareket etmektedir. Bunun neticesinde düzlem plaka ile silindir alt ve üst birleşme bölgelerinde iki adet dairesel girdap yapısı ve girdap merkezlerinde ise hız alanlarının sıfır olduğu durma noktalarının (focus/foci) varlığı görülmektedir. İkinci sütunda akım çizgilerinden de anlaşılacağı gibi düzlem plaka alt ve üst yüzeylerinde yaklaşık aynı bölgede olmak üzere ayrılma noktaları görülmektedir. Aynı zamanda düzlem plaka uzak bölgesi olan iki plaka arası orta düzleminde ise üniform akış yapısı gözlenmektedir. Üçüncü sütunda ise eş yüzey eğrileri çizgilerinde benzer şekilde silindir ve üst düzlem plaka birleşme bölgesinde pozitif ve silindir ve alt düzlem plaka birleşme bölgesinde negatif yönde dönen birer adet girdap yapısı görülmektedir. Reynolds sayısının $Re_d = 4000$ değerine yükselmesi ile zaman-ortalama hız alanlarında $\langle V \rangle$, $Re_d = 1500$ değerindeki akış yapısı ile benzer özellik göstermektedir. Akım çizgileri şekline ise alt ve üst düzlem plaka yüzeylerinde akış ayrılması biraz daha akış yönüne doğru geriden başlamak ile birlikte silindir yüzeyi ile düzlem plaka birleşme yerlerinde birincil girdap oluşumu yanında daha küçük boyutlu ikincil girdap oluşumu ve ikişer adet focinin oluştuğu görülmektedir. Oluşan birincil ve ikincil girdap merkezlerinin yaklaşık orta bölgesi civarında ise hız değerlerinin sıfır olduğu akışın durduğu durma noktası (saddle point) adı verilen bölge oluşmaktadır. Eş yüzey eğrileri çizimlerinde de $Re_d = 1500$ değerindeki akış yapısına benzer özellik görülmektedir. Reynolds sayısının $Re_d = 6000$ değerindeki hız vektörlerinde, $Re_d = 1500$ ve $Re_d = 4000$ değerlerinden farklı olarak, düzlem plaka ile silindir birleşme bölgelerinde dairesel girdap yapısı, girdap merkezinden sağa ve sola doğru yayılarak eliptik bir yapıya dönüşmektedir. Bu durum akım çizgileri ve kontur çizimlerinde de açık bir şekilde gözlemlenmektedir. Aynı zamanda Reynolds sayısının artması ile birlikte oluşan girdap yapılarının boyutlarının küçüldüğü ve şiddetinin arttığı akım çizgileri ve eş yüzey eğrileri çizimlerinde görülmektedir. Reynolds sayısının $Re_d = 8000$ ve 10000 değerlerinde alt ve üst plakaya yakın birleşme bölgelerinde akış yapısı hız alanlarından görüleceği üzere girdap yapısını eliptik biçimde oluşturmuştur. Aynı zamanda pozitif ve negatif yönlü eliptik ayrılma yapısı nispeten simetrik bir görünüm izlemiştir. Akım çizgileri görüntülerinde ve eş yüzey eğrileri çizimlerinde, girdap yapısının boyutlarının değiştiği görülmektedir. Girdap yapıları eliptik biçimde simetrik ayrılma noktasından şiddetleri artarak ve ikincil girdaplar birincil girdaplarla birleşerek üst ve alt plaka düzlem yüzeyinden ayrılmaktadırlar. Reynolds sayısının artması ile birlikte girdap boyutları küçülmekte ve şiddetlerinin artmakta olduğu akım çizgileri görüntülerinden ve eş yüzey eğrileri çizimlerinden açık bir şekilde anlaşılmaktadır.

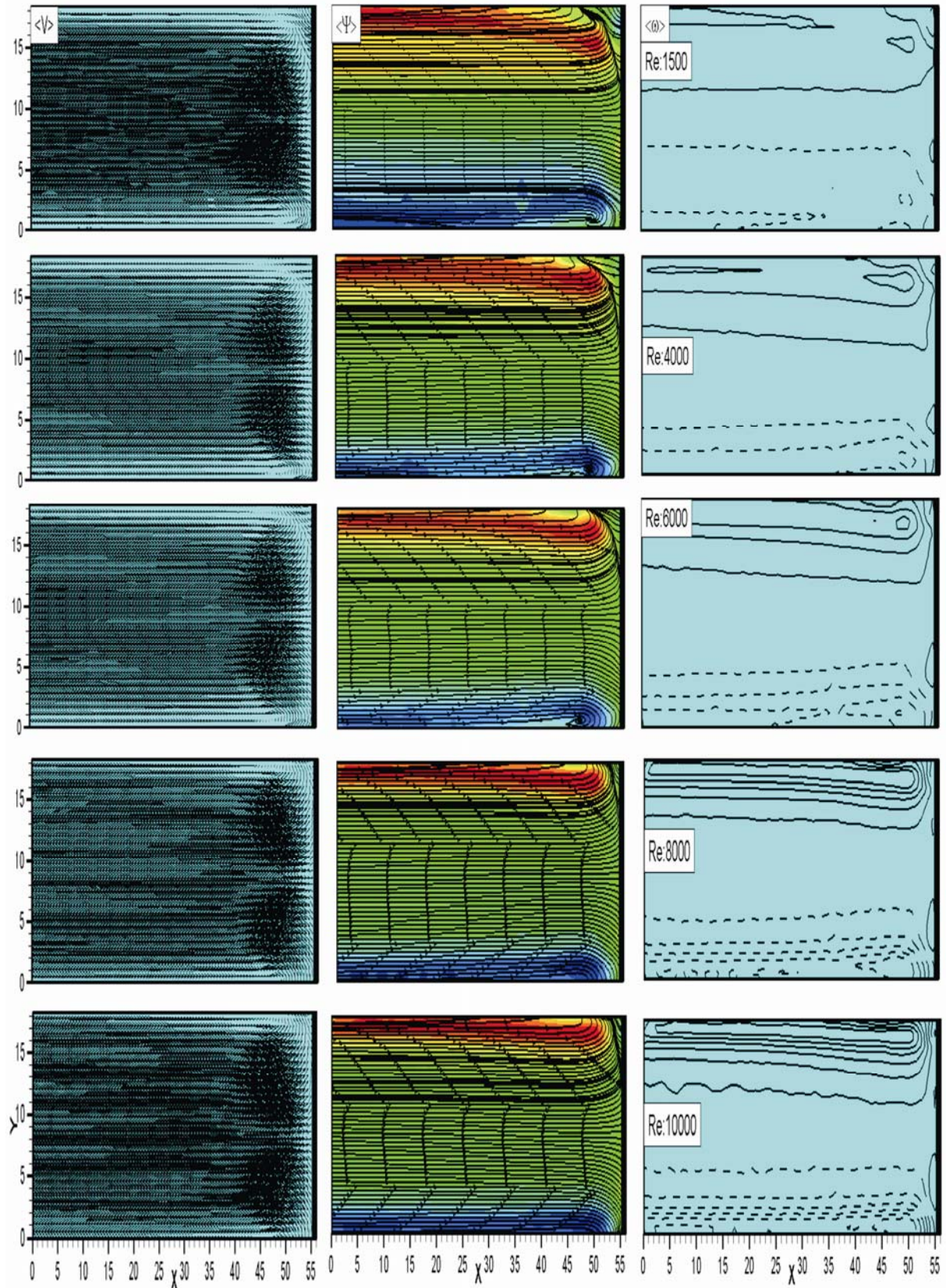
Şekil 7'de $GO = 1.4$ değerindeki elips silindir önünde Reynolds sayısının $Re_d = 1500 - 10000$ değerleri arasında oluşan akış yapısındaki zaman-ortalama hız vektörleri $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$, eş yüzey eğrileri $\langle \omega \rangle$ verilmiştir. Birinci sütunda $Re_d = 1500$ ile $Re_d = 10000$ değerleri arasındaki akış yapısına ait hız vektör $\langle V \rangle$ alanları verilmektedir. $Re_d = 1500$ ve $Re_d = 4000$ değerlerindeki hız vektör alanlarında, alt ve üst düzlem plaka uzak bölgelerinde üniform bir akış yapısı sergilemektedir. Akışın elips silindir yüzeyine çarpması ile elips silindir ortasından alt düzlem plaka ve üst düzlem plaka tarafına simetrik bir bölünme ile ayrılmıştır. Bu ayrılmadan sonra akış alt ve üst düzlem plaka birleşim noktalarından ikiye ayrılmış ve girdaplar oluşturmuşlardır. Bu girdapların merkezlerinde, düşük yoğunluklu hız vektörleri hızın sıfır olduğu bölgeleri göstermektedir.

İkinci sütunda akım çizgileri görüntüsünde elips silindire çarpan akışkan, düzlem plaka alt ve üst bölgesinde girdap oluşturmuştur. Yüksek Reynolds değerleri ile oluşan akış yapısı ($Re_d = 6000, 8000, 10000$) için akım çizgileri görüntülerinde, $Re_d = 1500$ ve $Re_d = 4000$ değerlerinden farklı olarak, düzlem plaka ile elips silindir birleşme bölgelerinde dairesel girdap yapısı baskınlaşarak eliptik bir yapıya dönüşmektedir.

Üçüncü sütunda eş yüzey eğrilerinde simetrik bir akış oluşmakta kesik çizgiler girdap eş yüzey eğrilerinin saat yönündeki akışlarını, düz çizgiler ise girdap konturlarındaki saatin tersine akışları belirtmektedir. Eş yüzey eğrileri görüntülerinde de girdap oluşumu net şekilde gözlemlenmektedir. Reynolds sayı değerlerinin artması ile birlikte, oluşan girdap yapılarının boyutlarının küçüldüğü ve şiddetinin arttığı, eş yüzey eğrileri resimlerinde ve akım çizgileri renklendirmelerinde görülmektedir.



Şekil 7. $GO=1.4$ değerindeki elips silindiri önünde Reynolds sayısının $Re_d=1500-10000$ değerleri arasında oluşan akış yapısındaki zaman-ortalama hız vektörleri $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$, eş yüzey eğrileri $\langle \omega \rangle$



Şekil 8. GO=2.33 Değerindeki Elips Silindir Önünde Reynolds Sayısının $Re_d=1500-10000$ Değerleri Arasında Oluşan Akış Yapısındaki Zaman-Ortalama Hız Vektörleri $\langle V \rangle$, Akım Çizgileri $\langle \Psi \rangle$ ve Eş Yüze Yüze Eğrileri $\langle \omega \rangle$

Şekil 8’de $GO=2.33$ değerindeki elips silindir önünde Reynolds sayısının $Re_d=1500-10000$ değerleri arasında oluşan akış yapısındaki zaman-ortalama hız vektörleri $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$ ve eş yüzey eğrileri $\langle \omega \rangle$ verilmektedir.

Birinci sütunda $Re_d=1500$ ile $Re_d=10000$ değerleri arasındaki akış yapısına ait hız vektörleri $\langle V \rangle$ verilmektedir. $Re_d=1500$ ve $Re_d=4000$ değerlerindeki vektör görüntülerinde, akış elips silindire çarptığında elips silindir ortasından alt düzlem plakaya ve üst düzlem plakaya, nispeten simetrik bir bölünme ile ayrılmıştır. Bu ayrılmadan sonra oluşan akış yapısı, alt düzlem plakada bir girdap oluşturmaya çalışmıştır. Üst düzlem plakada ise geometrinin verdiği bir sonuçla, ters akışlar oluşmaktadır. Bu ters akış yapısının Reynolds değerleri arttıkça üst düzlem plakaya doğru yaklaşmakta olduğu görülmektedir.

İkinci sütunda akım çizgileri görüntüsünde elips silindire çarpan akışkan, düzlem plaka alt bölgesinde girdap oluşturmuş, fakat üst düzlem plakada ters akış oluşturmuştur. Geometrinin etkisiyle, akışın elips silindir cidarıyla karşılaşma anında üst plakada ters akış meydana gelmektedir. Bu ters akışın çalkantılı bir akışa neden olacağı öngörülmektedir.

Üçüncü sütunda eş yüzey eğrilerinde nispeten simetrik bir akış oluşmaktadır. Yüksek Reynolds değerleri ile oluşan akış yapısı ($Re_d=6000, 8000, 10000$) için hız alan vektörlerinde, $Re_d=1500$ ve $Re_d=4000$ değerlerinden farklı olarak, düzlem plaka ile elips silindir birleşme bölgelerinde üst düzlem plakada oluşan ters akış artan Reynolds değeriyle üst düzlem plakaya doğru yaklaşmaktadır. Bu durum akım çizgileri ve eş yüzey eğrileri çizimlerinde de açık bir şekilde gözlemlenmektedir.

3.2 Elips Silindir Önünde Oluşan Anlık Akış Yapısı

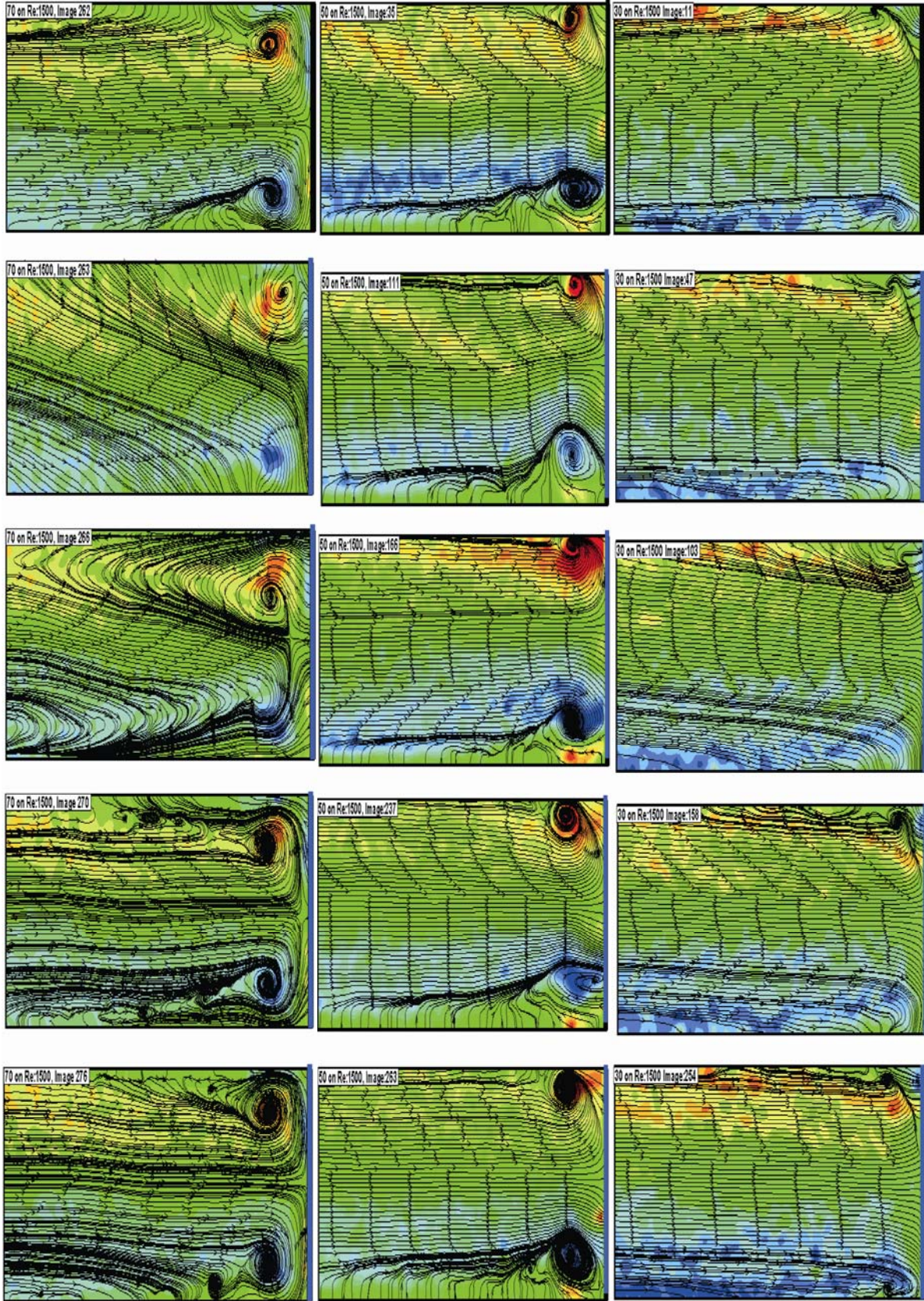
Yapılan deneysel çalışmalarda elde edilen zaman-ortalama verileri, 300 adet anlık akış verisinin korelasyonundan elde edilmektedir. Deneysel çalışmalar esnasında elde edilen anlık akış yapısı görüntüleri, akışın yapısının fiziğini anlamada cisim üzerine gelen daimi olmayan yükleri incelemek bakımından büyük önem arz etmektedir.

Elips silindir önünde oluşan akış yapısında farklı anlık akım çizgileri şeklinde anlık akış yapılarının fiziği Şekil 9’da görülmektedir. $Re_d=1500$ değerinde $GO= 1, 1.4, 2.33$ değerlerine sahip olan elips silindirlerin farklı anlık akım çizgilerinde, akışın üniform olması nedeniyle çok farklı bir akış görüntüsü oluşmamaktadır.

Birinci sütunda $GO=1$ değerindeki dairesel silindirde $Re_d=1500$ değerinde akış iki paralel düzlem plaka arasına üniform bir şekilde girmekte, alt ve üst düzlem plaka ile dairesel silindir birleşme bölgelerinde ayrılma noktası oluşturup çatallanmaktadır. Çatallanan yapı alt ve üst düzlem plaka ile dairesel silindir birleşim noktalarında birer adet ANG yapısının oluştuğu görülmektedir. Bu akış yapısı genel itibariyle çoğu anlık akım çizgisinde aynı periyodik akış yapısını korumaktadır.

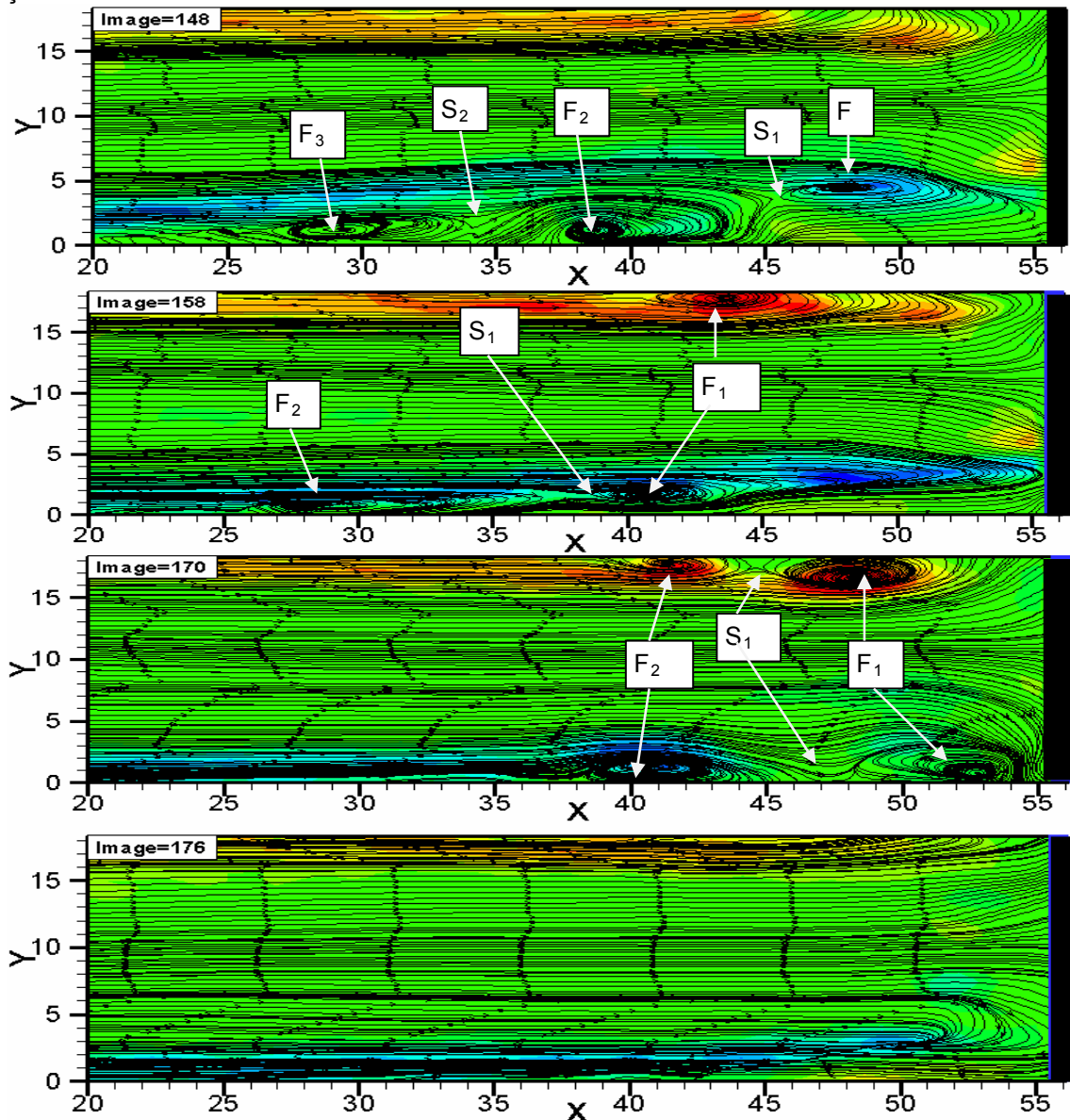
İkinci sütunda $GO= 1.4$ değerindeki elips silindirde $Re_d=1500$ değerinde akış düzlem plaka pasajı içerisine girip, elips silindir cidarına çarptığında yine aynı çatallanmayla birlikte ayrılma durumu sergilemektedir. Çatallanan yapı alt ve üst düzlem plaka ile dairesel silindir birleşim noktalarında birer adet ANG yapısının oluştuğu görülmektedir. Üst düzlem plaka ile elips silindir birleşim bölgesinde ayrıca geometrinin etkisiyle ters akış bölgesinin oluştuğu gözlemlenmektedir.

Üçüncü sütunda $GO= 2.33$ değerindeki elips silindir için $Re_d=1500$ değerindeki akış yapısında, anlık görüntülerde bir değişim olmamakta, akış üst düzlem plaka ile elips silindir birleşim bölgesinde ters akış oluştururken alt düzlem plaka ile elips silindir birleşim bölgesinde herhangi bir girdap formasyonu oluşturmamaktadır.



Şekil 9. $Re_d=1500$ Değerinde $GO= 1, 1,4, 2,33$ Değerlerine Sahip Elips Silindirler Önünde Oluşan Anlık Akış Yapıları

Reynolds sayısının $Re_d=6000$ ve $GO=1.14$ değerlerinde elips silindir önünde oluşan akış yapısına ait anlık akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$ görüntüleri Şekil 10'da verilmiştir. Şekilde zaman-ortalama değerinden farklı oluşan akım çizgileri görüntülerinden Resim 148, 158, 170, 176 nolu veriler görülmektedir. 148 nolu anlık akım çizgisi görüntüsünde alt düzlem plaka üzerinde, elips silindir önünde birincil, ikincil ve üçüncül Fociler (F_1, F_2, F_3) oluşmaktayken, üst düzlem plakada girdap oluşumu görülmemektedir. Bu üç adet Foci arasında iki adet durma noktası (S_1, S_2) görülmektedir. 158 nolu anlık akım çizgisi görüntüsünde ise alt düzlem plakada birincil ve ardından ikincil Fociler (F_1, F_2) oluşmuş, aralarında durma noktası (S_1) oluşmuştur. Üst düzlem plakada ise birincil Foci (F_1) yapısı oluşmuş, böylelikle üst düzlem plaka ile elips silindir birleşme bölgesinde girdap oluşumu başlamıştır. 170 nolu anlık akım çizgisinde; alt ve üst düzlem plaka üzerinde birincil ve ikincil Fociler (F_1, F_2) oluşmuştur. Girdaplar arasında hızın sıfır olduğu ve akışın durduğu durma noktası (S_1) oluşumu gözlenmektedir. 176 nolu anlık akım çizgisi görüntüsünde ise akış yapısında girdap ve durma noktası oluşumu gözlenmemektedir. Açıklanan bu anlık akım çizgileri görüntüleri belli bir periyot ile aynı akış yapısı oluşumuna devam etmektedir. Bu periyottaki akış yapısı, önce sadece alt düzlem plaka ile elips silindir birleşim bölgesi üzerinde oluşan girdaplar, daha sonra alt ve üst düzlem plakada oluşan birinci ve ikincil simetrik girdapların oluşumu ve son olarak akış yapısının üniform bir şekilde devam etmesi şeklindedir.



Şekil 10. $GO=1.14$ Değerine Sahip Elips Silindir Önünde $Re_d=6000$ Değerinde Oluşan Akış Yapısı İçerisindeki Anlık Akım Çizgisi $\langle \Psi \rangle$ Görüntüleri

SONUÇ

Bu çalışmada, iki düzlem plaka arasına yerleştirilmiş 20mm yükseklikteki elips silindirin farklı görünüş oranlarında ($GO=1, 1.14, 1.4, 1.75, 2.33$) elips silindir ile düzlem plaka birleşme bölgesinin ön tarafındaki akış yapısı, farklı Reynolds sayılarında ($Re_d=1500, 4000, 6000, 8000, 10000$), Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçüm (PIV) tekniği kullanılarak deneysel olarak incelenmiştir. Deneyler esnasında akış yapısının anlık hız alanları $\langle V \rangle$ görüntüleri elde edilmiştir. Elde edilen bu veriler ile elips silindir geometrisi üzerindeki akış yapısının zaman-ortalama hız alanları $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$ ve eş yüzey eğrileri $\langle \omega \rangle$ değerleri de hesaplanmıştır.

Yapılan deneylerde hem elips silindir üzerindeki akış yapısı hem de dairesel silindir üzerindeki akış yapısı verileri elde edilmiş, sonuçlar kıyaslanmıştır. Silindir geometrisi üzerindeki akış yapısı için elde edilen sonuçların literatürde bulunan sonuçlarla uyum içerisinde olduğu görülmüştür. Dairesel silindir üzerindeki akış yapısı için yapılan deneysel çalışmalar ile literatürdeki sayısal çalışmalarda elde edilen sonuçlarla paralellik göstermektedir.

Deney sonuçlarında elde edilen verilerin daha kolay ve net anlaşılıp, analiz edilebilmesi için görüntüler üzerine renklendirmeler yapılmıştır. Hız alan vektörleri $\langle V \rangle$ ve eş yüzey eğri $\langle \omega \rangle$ mavi zemin üzerine çizilerek, verilerin daha net görünmesi sağlanmıştır. Akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$ görüntüleri ise; eş yüzey eğri renklendirme işlemiyle birlikte verilmiş, oluşan akış yapısı hakkında daha açık bilgi alınmasını sağlamıştır.

Genel olarak, dairesel ve elips silindir geometrilerinin ön görünüşlerinde, elips silindir ile düzlem paralel plakaların birleşme bölgelerinde at nalı girdap (ANG) oluşumu görülmektedir. Artan Reynolds sayı değerleriyle bu girdaplar boyut olarak küçülme ve şiddetlerini artırmaktadır. GO ' nın artmasıyla oluşan bu ANG' lar dairesel bir görüntüden eliptik bir görünüme geçmektedir. Bu durum akış yapısını ve ANG yapısını etkilemektedir.

Anlık veriler elips silindirlerin ön görünüşlerinde akış yapısının nasıl değiştiğini göstermektedir. Anlık görüntülerde akış yapısının, bazen alt düzlem plaka yüzeyinde bazen de üst düzlem plaka yüzeyinde baskınlaştığı anlaşılmaktadır. Bu baskınlaşma akışın çalkantı yapısını bir kez daha göstermektedir.

Bunun yanı sıra ısı değiştiricilerinin tasarımı ve en iyileştirme aşamalarında bir zemin çalışması niteliğinde olan bu çalışma ile daha gerçekçi çalışma ve işletme koşullarının sağlanması ve uygulanması amaçlanmıştır. Bu amaç kapsamında, akış yapısı içerisinde oluşan ANG fiziksel yapıları değerlendirildiğinde; $GO=1.16$ ve 1.4 olan elips silindir kullanımının dairesel silindir kullanımından, oluşan ANG yapılarının karmaşıklığından dolayı, daha iyi bir performans göstereceği öngörülmektedir.

Bu çalışmadan elde edilen bir diğer önemli sonuca göre; PIV yönteminin oldukça dar akım pasajlarında meydana gelen akış yapısının belirlenmesinde başarıyla uygulanabileceği ve PIV yöntemi kullanılarak buradaki akış detaylarının başarılı bir şekilde yakalanabileceği belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] SAHIN, B., AKKOCA, A., ÖZTÜRK, N.A., AKILLI, H., "Investigations of flow characteristics in a plate fin and tube heat exchanger model composed of single cylinder", Int. J. Heat and Fluid Flow, 27, pp. 522-530, 2006.
- [2] ÖZTÜRK, N.A., "Investigation of flow characteristics in heat exchangers of various geometries" PhD. Thesis., Cukurova University, Inst. Of Natural and Applied Sciences, Adana, 2006.
- [3] ZHI-MIN LIN, LIANG-BI WANG, JU-FANG FAN, AND QUAN-FU GAO., "Characteristics Of The Absolute Vorticity Flux Along The Main Flow Direction On The Cross Section Of The Channel Formed By Oval Tube Bank Fins", Numerical Heat Transfer, Part A, 57: 666–690, 2010.
- [4] ROCHA, L.A.O., SABOYA, F.E.M., VARGAS, J.V.C., "A Comparative Study of Elliptical and Circular Sections in One-and two-row tubes and plate fin heat exchangers", Int. J. Heat and Fluid Flow., Vol. 18, pp. 247–252, 1997.

- [5] JIIN-YUH JANG, CHIEN-NAN LIN., “A two-dimensional fin efficiency analysis of combined heat and mass transfer in elliptic fins”, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 45, pp.3839-3847, 2002.
- [6] SABOYA S.M., FRANCISCO E.M. SABOYA, “Experiments on elliptic sections in one-and two-row arrangements of plate fin and tube heat exchangers”, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 24. Pp.67-75, 2001.
- [7] TSAI, S.F., SHEU, T.W.H., “Heat Transfer in a Conjugate Heat Exchanger With a Wavy Fin Surface”, *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 42, pp. 1735–1745, 1999.
- [8] TIWARI, S., BISWAS, G., AND PRASAD S. B., “Numerical Prediction of flow and heat transfer in a rectangular channel with a build-in circular tube”, *Transection of the ASME, Journal of Heat Transfer*, 125, 413-421, 2003.
- [9] MENDEZ, R.R., SEN, M., YANG, K.T., MCCLAIN, R., “Effect of Fin Spacing on Convection in a Plate Fin and Tube Heat Exchanger” *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol.43, pp. 39-51, 2000.
- [10] BOURIS, D., PAPADAKIS, G., BERGELES, G., “Numerical Evaluation of Alternate Tube Configurations for Particle Deposition Rate Reduction in Heat Exchanger Tube Bundles”, *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 22, 525-536, 2001.
- [11] JANG, J.Y., CHEN, L.K., “Numerical Analysis of Heat Transfer and Fluid Flow in a Three-Dimensional Wavy Fin and Tube Heat Exchanger”, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 40, No:16, pp. 3981-3990, 1997.
- [12] JUNCU G., “Unsteady heat transfer from an elliptic cylinder”, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 5, Pp.920-928, 2008.
- [13] TSAI, S.F., SHEU, T.W.H., “Heat Transfer in a Conjugate Heat Exchanger With a Wavy Fin Surface”, *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 42, pp. 1735–1745, 1999.
- [14] HASAN A., “Thermal-hydraulic performance of oval tubes in a cross-flow of air”, *Heat Mass Transfer*, March, Vol.41, pp. 724–733, 2005.
- [15] KARAKUS, C., “Investigation of tip vortex formation, development and merging using particle image velocimetry (PIV) technique”, PhD. Thesis., Cukurova University, Inst. Of Natural and Applied Sciences, Adana, 2007.
- [16] ÇENGEL Y.A., CIMBALA J.M , “Akışkanlar Mekaniği Temelleri ve Uygulamaları”, 2. Baskı, (Engin T.) Güven Bilimsel, McGraw-Hill, 2008.
- [17] ANONİM, “www.dantecdynamics.com” dan çevrilmiştir, 2010.

ÖZGEÇMİŞ

Hüseyin Turan ARAT

1984 yılı Kayseri doğumludur. 2007 yılında MKÜ. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makina Bölümünü bitirmiştir. Aynı Üniversiteden 2010 yılında Yüksek Mühendis unvanını almıştır. 2011 yılı Mart ayında M.K.Ü. Mühendislik Fak. Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği bölümünde Araştırma Görevlisi olmuştur. Isıtma-soğutma uygulamaları, Akışkanlar Mekaniği, Isı Transferi, Nükleer Mühendislik, Petrol ve Doğalgaz konularında çalışmaktadır.

Ali KOÇ

1959 yılı Zile doğumludur. 1982 yılında Erciyes Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünde araştırma görevlisi olmuştur. 1991 yılında Yrd. Doç. Dr. ünvanı almıştır. 2004 yılında M.K.Ü Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde Doç. Dr. ve 2010 yılında aynı bölümde Profesör olmuştur. Halen M.K.Ü Rektör Yrd. olarak görev yapmaktadır. Termodinamik, ısı transferi, akışkanlar mekaniği ve motorlar konuları üzerinde çalışmaktadır.

Cuma KARAKUŞ

1970 yılı Adıyaman Besni doğumludur. 1992 yılında Ç.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. Aynı Üniversiteden 1997 yılında Yüksek Mühendis, 2007 yılında

Doktor ünvanını almıştır. 1994–2001 yılları arasında MKÜ Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmıştır. 2001–2007 yılları arasında Ç.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmıştır. 2007 yılından beri MKÜ Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Enerji Anabilim Dalı'nda Yrd. Doç. Dr. Olarak görev yapmaktadır. Akışkanlar mekaniği, ısıtma-soğutma teknolojileri ve enerji sistemleri konularında çalışmaktadır.

Nurhan Adil ÖZTÜRK

1961 yılı Trabzon doğumludur. 1990 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. 1993 yılında Mustafa Kemal Üniversitesi'nde araştırma görevlisi olmuştur. 2006 yılında aynı üniversitede Yrd. Doç. Dr. olmuştur. Halen aynı üniversitede görev yapmaktadır. Termodinamik, akışkan fazlar, ısıtma-soğutma teknolojileri üzerine çalışmalar yapmaktadır.

Beşir ŞAHİN

1954 yılı Hatay doğumludur. 1977 yılında Çukurova Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünü bitirmiştir. 1985 yılında doktorasını Brunel Üniversitesinde tamamlamış, 1987 yılında Yrd. Doç. Dr. 1991 yılında Doç. Dr. ve 1997 yılında Profesör olmuştur. Halen Ç.Ü. Mühendislik Fakültesinde Dekanlık görevini yürütmektedir. Akış ölçme teknikleri, boru ve kanallarda akışlar, engelli akışlar, girdaplı akışlar, sıg su akışları, çeşitli hidrolik güç iletim sistemlerinin tasarımı ve imalatı, hidrolik sistemler konularında çalışmaktadır.

Hüseyin AKILLI

1971 yılı Adana Doğumludur. 1991 yılı İstanbul Teknik Üniversitesi Uçak Mühendisliği bölümünü bitirmiştir. 1993 yılında Ç.Ü' nde araştırma görevlisi, 2000 yılında Yrd. Doç. Dr ve 2005 yılında Doç. Dr. olmuştur. Halen Ç.Ü' nde Doç. Dr. olarak görev yapmaktadır. Akışkanlar mekaniği, aerodinamik, girdaplı akışlar, sıg su akışları, iki fazlı katı-gaz akışı ile ilgili konularda çalışma yapmaktadır.