



MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

**KIRILMA PLAKASI ARASINA YERLEŞTİRİLMİŞ
ELASTİK SİLİNDİR ÜZERİNDEKİ
AKSIYAL YAPISININ DENEYSEL İNCELENMESİ**

HÜSEYİN TURAN ARAT

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Antakya / HATAY

Eylül-2010

Ç NDEK LER

	Sayfa
ÖZET.....	I
ABSTRACT.....	II
Ç ZELGELER D Z N	III
EK LLER D Z N	IV
1. G R	1
2. ÖNCEK ÇALI MALAR.....	7
2.1. Elips Üzerindeki Akı	7
2.2. Silindir Üzerindeki Akı	8
2.3. ki Plaka Arasına Yerle tirilmi Elips ve Silindir Üzerindeki Akı Yapısı.....	11
2.4. Eliptik Tüplü (oval tüplü) Isı De i tiricilerinde Akı Yapısı.....	13
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	15
3. 1. Materyal.....	15
3.2. Yöntem (Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçüm Tekni i (PIV)).....	18
4. ARA TIRMA BULGULARI VE TARTI MA.....	24
4.1. Ara tırma Bulguları.....	24
4.2. ki Plaka Arasındaki Elips Silindir Önündeki Akı Yapısı.....	25
4.3. ki Plaka Arasındaki Elips Silindir Arkasındaki Akı Yapısı.....	40
4.4. ki Plaka Arasındaki Elips Silindirin Ön ve Arkasında Olu an Anlık Akı Yapısı Görüntüleri.....	53
4.5. ki Plaka Arasındaki Dairesel Silindir ve Elips Silindirlerin Etrafında Olu an Akı Yapısının Üst Görünü leri.....	68
5. SONUÇ VE ÖNER LER.....	74
KAYNAKLAR.....	77
TE EKKÜR.....	80
ÖZGEÇM	81

I

ÖZET

K PLAKA ARASINA YERLE T R LM EL PS S L ND R ÜZER NDEK AKI YAPISININ DENEYSEL NCELENMES

Bu çalı mada iki düzlem plaka arasına yerle tirilmi farklı görünü oranlarına (uzun çap / kısa çap) sahip elips silindir etrafında olu an akı yapısı, paralel düzlem plakalarla elips silindir in birle im bölgelerinde, Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçme (PIV) tekni i ile detaylı olarak incelenmi tir. Reynolds sayısının $Re_d=1.500-10.000$ de erleri, Görünü Oranı (GO) = 1-2.33 aralı nda deneyler gerçekte tirilmi tir. Deneysel çalı mada iki düzlem plaka ile elips silindir birle im bölgesinde olu an akı yapısı görüntüleri ön ve arka yan görünü ler (side-view) ve üst görünü ler (plan-view) ekinde uygulanmı tir. Akı yapısının olu turdu u 3-boyutlu karma ık yapıda, deneylerden elde edilen anlık ve zaman-ortalama hız alan vektörleri $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$ ve girdap kontur $\langle \omega \rangle$ verileri elde edilmi tir. Deneylerde akı yapısında olu an kritik durma noktaları tanımlanmı , akı a etkilerinden bahsedilmi tir. ki paralel plaka ve elips silindir ile sınırlandırılmı akım alanı içerisinde meydana gelen akı yapısının incelenmesi, ısı de i tiricilerin tasarımı ve optimizasyonu açısından büyük önem ta imaktadır. Isı de i tiricilerinde genellikle dairesel silindir geometrisi kullanılmaktadır. Bu çalı mada dairesel silindir yerine elips silindir kullanılması durumunda akı n nasıl olaca mın incelenmi ve kar ıla tırması yapılmı tir. Ayrıca plaka ve elips silindir in kesi im bölgesinde olu an, ısı de i tiricileri uygulamalarında önemli bir yer tutan At Nalı Girdap (ANG, horseshoe) diye adlandırılan girdaplar de i ik Reynolds sayılarında deneysel olarak incelenmi tir. Elips silindir in ön kısmında, akı n elips silindir etkisine girmesi ile birlikte plaka yüzeyinde bir durma noktası olu maktaki ve neticesinde, 3-boyutlu akı ayrılmalarına sebep oldu undan, karma ık bir akı yapısı yaratılmaktadır. Sonuç olarak, elips silindir ile plakaların kesi im noktasına yakın bölgelerde, ANG ekinde girdaplar olu maktadır. Elips silindir ön tarafında olu an akı yapısında, artan Reynolds sayı de erleriyle birlikte ANG' ların boyutlarının küçüldü ü ve iddetlerinin arttı ı tespit edilmi tir. ANG yapısının dairesel silindirlerde düzlem plakalar ile elips silindir birle me bölgelerinde olu turdu u dairesel girdap yapısı, geometriye ba lı olarak GO artmasıyla elips silindirlerde eliptik bir yapı almı tir. Olu an eliptik yapı, elips silindir de akı yapısını daha çalkantılı bir hale getirmi ve elips silindir arkasında olu an ölü akı bölgesini daraltmı tir. Akı yapısının çalkantılı bir hal alması, ANG' ların olu umunu ve yapısını etkilemektedir. Artan Reynolds de erleri ile elips silindirde olu an ANG yapısına paralel olarak elips silindir arkasında ölü akı bölgesinin daralması söz konusudur. Daralan ölü akı bölgesi basınç kayıplarını artırırsa da, çalkantılı yapıyı fazlala tırdı ı için elips silindir in ısı geçi ini dairesel silindirlere göre daha iyile tirmi tir. Bu yüzden ısı de i tiricileri uygulamalarında elips silindir kullanımının ısı geçi i bakımından, dairesel silindir kullanımından daha verimli olaca ı öngörülmektedir.

2010, 81 sayfa

Anahtar Kelimeler: PIV, ısı de i tiricileri, at nalı girdap, paralel plaka, elips silindir

II

ABSTRACT

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF FLOW STRUCTURE OVER AN ELLIPTIC CYLINDER LOCATED TWO PARALLEL PLATES

In this study, formed around the flow structure an ellipse cylinder which has different aspect ratios, located between two plane plates, in the parallel plane plate ellipse cylinder combination of the regions, was investigated with Particle Image Velocity (PIV) technique in detail. Experimental studies were carried out with Reynolds number $Re_d = 1500-10000$ values and in the range of aspect ratio (AR) = 1-2.33. Experimental study of two plane plates with elliptical cylinder combination in which the flow structure of images, front and side views and top views (plan-view), was applied. Flow structure creates three-dimensional complex conformation, the experiments obtained from instantaneous and time-average velocity field vectors $\langle V \rangle$, streamlines $\langle \Psi \rangle$ and vortex contour $\langle \omega \rangle$ data were obtained. In the experiments, the flow structures created in the critical stopping points have defined and discussed in the flow effects. Elliptical cylinder bounded by two parallel plates and flow field flow structures that occur in the investigation, design and optimization of heat exchangers is great importance of in terms. In manufacturing of heat exchangers usually use circular cylinder geometry. In this study, elliptical cylinder used instead of a circular cylinder, in the case of how the flow was examined and compared. Also on the plate and create on the intersection of the ellipse cylinder, an important place for the heat exchanger applications "HV, Horseshoe," the so-called vortex at different Reynolds numbers were investigated experimentally. In front of the ellipse cylinder, the effect of the flow enters with the ellipse cylinder, on the surface of plates a stopping point formed and as a result, three-dimensional flow is due to leave, and create a complex flow structure. As a result, near the intersection of the plates with elliptical cylinders in areas where, "HV"-shaped vortex is formed. Flow structure in front of the ellipse cylinder, with increasing Reynolds number values HV's size become smaller and their intensity were increased. HV structure of in the plane plate with the elliptical cylinder, circular cylinder combines a circular vortex structure formed in the region; depending on the geometry of an elliptic cylinder AR elliptical structure was increased. The elliptical structure formed the flow structure of elliptic cylinders and elliptic cylinders made more turbulent back flow in the wake region which has collapsed. Receive a state of turbulent flow structure; HV's formation and structure are affected. Elliptical cylinder with increasing Reynolds values occurring in elliptical cylinder parallel to the HV conformation behind the contraction of the flow in question is dead. Increased pressure loss narrowed, although the wake region flow, the turbulent structure for more elliptical cylinder heat transfer than the circular cylinder has improved. So the Elliptical cylinders using heat exchanger applications in terms of heat transfer is expected to be more efficient use rather than a circular cylinder.

·2010, 81 pages

Key Words: PIV, heat exchangers, horseshoe vortex, parallel plate, ellipse cylinder

III

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 1. Deneylerde kullanılan elips silindirler ve ölçüleri.....	16
---	----

IV

EKİLLER DİZİNİ

Sayfa

ekil 1.1. Düzlem plakalar üzerindeki laminar ve türbülanslı akı yapıları (a,b).....	2
ekil 1.2. Düzlem plaka üzerindeki laminar ve türbülanslı akı yapısı..	2
ekil 1.3. Silindir etrafındaki akı taolu an ayrılma, tekrar birleşme noktaları; ayrılma ve karışma bölgesi ve ölü akı bölgesininematik gösterimi görünümü.....	3
ekil 1.4. Silindir etrafında gelişen at nalı girdap (ANG) görünümü... 4	4
ekil 1.5. Akı içerisinde oluşan teklî noktalarınematik gösterimi.....	5
ekil 2.1. Eliptik tüplü ısı deşiricisinin çeşitli görünüşleri.....	8
ekil 2.2. Silindir üzerinde oluşan akı yapısının 3 boyutlu izlenimi.....	9
ekil 2.3. Silindir üzerindeki akı yapısının PIV tekni ile elde edilmiş örnek görüntüsü.....	10
ekil 2.4. Silindir etrafında ki akı yapısı ve At nalı girdabı 'ANG'.....	10
ekil 2.5. Plakalı tüplü bir ısı deşiricisi.....	12
ekil 2.6. Plakalı ısı deşiricilerinde eliptik tüp kullanımı.....	13
ekil 2.7. Isı deşiricileri içerisinde akı ta 3-boyutlu parçacık izleri görüntüsü.....	14
ekil 3.1. Su kanalınınematik görünümü.....	15
ekil 3.2. Deney düzeneğininematik görünümü.....	17
ekil 3.3. Deney düzeneği ve parçacık görüntülemeli hız ölçme tekniğinde kullanılan donanım elemanları.....	20
ekil 3.4. PIV çalışması prensibi.....	22
ekil 3.5. PIV tekniğinde görselleştirilmede kullanılan (a) hız vektörleri $\langle V \rangle$, (b) akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$, (c) girdap konturları $\langle \omega \rangle$ görüntüleri.....	23
ekil 4.1. Deney düzeneğinin (a) yan görünüşü, (b) lazer ve kamera pozisyonu.....	25
ekil 4.2. $GO=1$ deşerinde silindir önünde, silindir çapına bağlı Reynolds sayısının $Re_d=1500-10000$ deşerleri arasında oluşan akı yapısındaki zaman-ortalama hız vektörleri $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$, girdap konturlarının $\langle \omega \rangle$ yan görünüşleri.....	28
ekil 4.3. $GO=1.14$ deşerindeki elips silindir önünde, elips silindir çapına bağlı Reynolds sayısının $Re_d=1500-10000$ deşerleri arasında oluşan akı yapısındaki zaman-ortalama hız vektörleri $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$, girdap konturlarının $\langle \omega \rangle$ yan görünüşleri.....	30

- ekil 4.4. $GO=1.4$ de erindeki elips silindir önünde elips silindir çapına ba lı Reynolds sayısının $Re_d=1500-10000$ de erleri arasında olu an akı yapısındaki zaman-ortalama hız vektörleri $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$, girdap konturlarının $\langle \omega \rangle$ yan görünü leri..... 32
- ekil 4.5. $GO=1.75$ de erindeki elips silindir önünde elips silindir çapına ba lı Reynolds sayısının $Re_d=1500-10000$ de erleri arasında olu an akı yapısındaki zaman-ortalama hız vektörleri $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$, girdap konturlarının $\langle \omega \rangle$ yan görünü leri..... 34
- ekil 4.6. $GO=2.33$ de erindeki elips silindir önünde elips silindir çapına ba lı Reynolds sayısının $Re_d=1500-10000$ de erleri arasında olu an akı yapısındaki zaman-ortalama hız vektörleri $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$, girdap konturlarının $\langle \omega \rangle$ yan görünü leri..... 36
- ekil 4.7. $Re_d=4000$ de erinde farklı GO sahip elips silindirler önünde olu an zaman-ortalama hız vektörü $\langle V \rangle$, akım çizgisi $\langle \Psi \rangle$ ve girdap da ılımı $\langle \omega \rangle$ yan görünü görünümleri.....39
- ekil 4.8. $GO=1$ de erindeki silindir arkasında silindir çapına ba lı Reynolds sayısının $Re_d=1500-4000-6000-8000-10000$ de erlerinde olu an akı yapısındaki zaman-ortalama hız vektörleri $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$, girdap konturlarının $\langle \omega \rangle$ yan görünü leri..... 41
- ekil 4.9. $GO=1.14$ de erine sahip elips silindir arkasında elips silindir çapına ba lı Reynolds sayısının $Re_d=1500-4000-6000-8000-10000$ de erlerinde olu an akı yapısındaki zaman-ortalama hız vektörleri $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$, girdap konturlarının $\langle \omega \rangle$ yan görünü leri..... 43
- ekil 4.10. $GO=1.4$ de erindeki elips silindir arkasında elips silindir çapına ba lı Reynolds sayısının $Re_d=1500-4000-6000-8000-10000$ de erlerinde olu an akı yapısındaki zaman-ortalama hız vektörleri $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$, girdap konturlarının $\langle \omega \rangle$ yan görünü leri..... 45
- ekil 4.11. $GO=1.75$ de erine sahip elips silindir arkasında elips silindir çapına ba lı Reynolds sayısının $Re_d=1500-4000-6000-8000-10000$ de erlerinde olu an akı yapısındaki zaman-ortalama hız vektörleri $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$, girdap konturlarının $\langle \omega \rangle$ yan görünü leri..... 47

VI

ekil 4.12. $GO=2.33$ olan elips silindir arkasında elips silindir çapına ba lı Reynolds sayısının $Re_d=1500-4000-6000-8000-10000$ de erlerinde olu an akı yapısındaki zaman-ortalama hız vektörleri $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$, girdap konturlarının $\langle \omega \rangle$ yan görünü leri.....	49
ekil 4.13. $Re_d=6000$ de erinde farklı GO de erlerine sahip elips silindirler arkasında olu an zaman- ortalama hız vektörü $\langle V \rangle$, akım çizgisi $\langle \Psi \rangle$ ve girdap da ılımı $\langle \omega \rangle$ yan görünü görünümleri.....	52
ekil 4.14. $GO=1$ de erine sahip dairesel silindirin $Re:1500$ de erinde ön ve arkasında olu an anlık akı yapısı.....	55
ekil 4.15. $GO=1.4$ de erine sahip dairesel silindirin $Re:1500$ de erinde ön ve arkasında olu an anlık akı yapısı.....	56
ekil 4.16. $GO=2.33$ de erine sahip dairesel silindirin $Re:1500$ de erinde ön ve arkasında olu an anlık akı yapısı.....	57
ekil 4.17. $GO=1$ de erindeki silindirin ön yüzeyinde $Re_d=6000$ de erinde olu an akı yapısının anlık akım çizgisi $\langle \Psi \rangle$ görüntüleri.....	59
ekil 4.18. $GO=1.14$ de erine sahip elips silindir önünde $Re_d=6000$ de erinde olu an akı yapısı içerisindeki anlık akım çizgisi $\langle \Psi \rangle$ görüntüleri.....	61
ekil 4.19. $GO=1.4$ de erine sahip elips silindir önünde $Re_d=6000$ de erinde olu an akı yapısı içerisindeki anlık akım çizgisi $\langle \Psi \rangle$ görüntüleri.....	62
ekil 4.20. $GO=1$ de erine sahip elips silindir arkasında $Re_d=6000$ de erinde olu an akı yapısındaki anlık akım çizgisi $\langle \Psi \rangle$ görüntüleri.....	64
ekil 4.21. $GO=1.14$ de erine sahip elips silindir arkasında $Re_d=6000$ de erinde olu an akı yapısındaki anlık akım çizgisi $\langle \Psi \rangle$ görüntüleri.....	66
ekil 4.22. $GO=2.33$ de erine sahip elips silindir arkasında $Re_d=6000$ de erinde olu an akı yapısındaki anlık akım çizgisi $\langle \Psi \rangle$ görüntüleri.....	67

VII

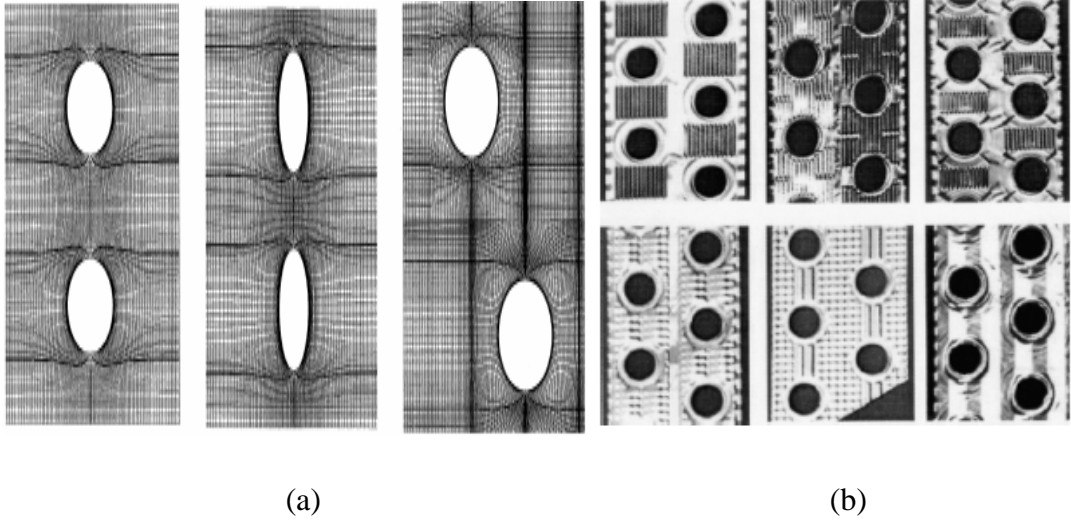
ekil 4.23. Deney düzeneğinin üst görünüşü.....	68
ekil 4.24. $GO=1$ değeri için silindirin etrafında oluşan akı yapısının a) $Re_d= 6.000$, b) $Re_d= 8.000$, c) $Re_d=10.000$ değerlerindeki zaman-ortalama hız vektör alanları $\langle V \rangle$ ve akım çizgisi $\langle \Psi \rangle$ görüntüleri.....	70
ekil 4.25. $GO=1.14$ değeri için silindirin etrafında oluşan akı yapısının $Re_d= 4.000, 6.000, 8.000, 10.000$ değerlerindeki zaman-ortalama akım çizgisi $\langle \Psi \rangle$ görüntüleri.....	73

1.G R

Günümüzde dünya üzerindeki en önemli ihtiyaçlardan biri enerjidir. Enerjinin de i ik ekillerde elde edilmesi enerji çe itlili i sa lamı tır. Ülkelerin sanayile mesi ile enerjiye olan talep gün geçtikçe artmaktadır. Bu nedenle fosil yakıtlardan enerji elde edilmekle birlikte alternatif enerji kaynakları da ara tırılmaktadır. Kalkınmakta olan ülkelerin nüfusu, dünya nüfusunun büyük ço unlu unu olu turması nedeniyle dünyanın enerji talebi hızla yükselmektedir. Dünyada enerji politikaları ki i ba ına dü en enerji da ılımından daha ziyade, enerji kayna ının kaç ki i tarafından en ekonomik ve nasıl kullanıldı ı ile alakalı olmu tur. Ülkemizde de sanayile menin artması ve toplumun sosyo-ekonomik düzeyinin yükselmesiyle birlikte enerjiye olan talebimiz hızla yükselmektedir. Artan taleple, bir yandan alternatif enerji kaynaklarının ara tırılması devam ederken di er yandan da enerji sistemleri üzerinde de çalı malar artan hızla sürmektedir. Isı enerjisini bir ortamdan di er bir ortama iletmek amacıyla gerçekleştirilen sistemlere ısı de i tiricisi denilmektedir. Son yıllarda ısı de i tiricileri sanayide ısının mevcut oldu u ve ısı geri kazanım uygulandı ı tüm sistemlerde yaygın bir eilde artarak fazlaca kullanılmaktadır.

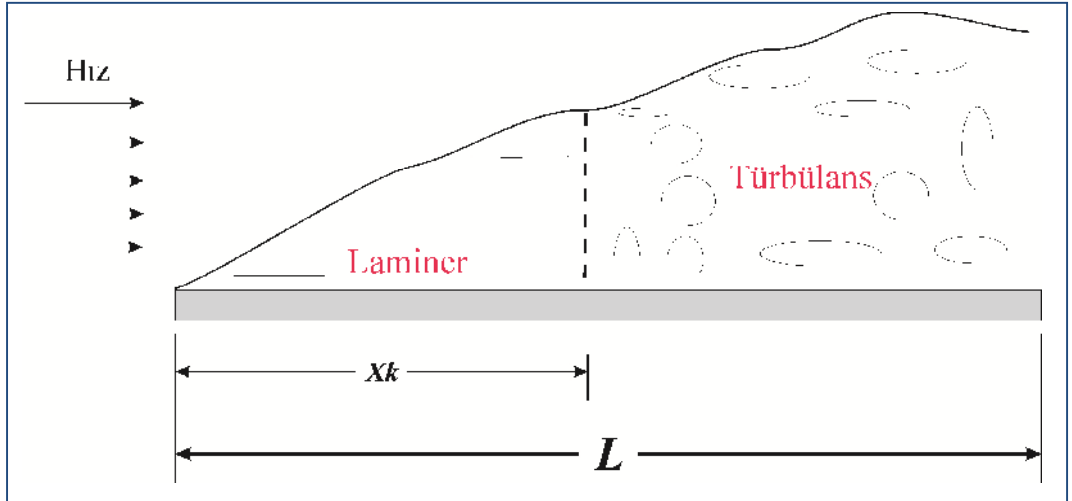
Bir tesiste i letim sürecinin gerektirdi i artları yerine getirmek için, ısı de i tiricisi tasarımında, özel talepler uygulanmaktadır. Bundan dolayı birçok ısı de i tirici tipi geli tirilmi tir. Uygulamada geni bir kullanım alanına sahip olan ısı de i tiricilerinin, HVAC (ısıtma, vantilyasyon, iklimlendirme, so utma) uygulamalarında, otomobil radyatörlerinde, so utma kulelerinde kullanılan birçok çe idi vardır. Bu nedenle endüstrideki uygulamalarda büyük rol oynar. Bilhassa ısıtma-so utma tesisleri, kuvvet makineleri, termik santraller, kimya tesisleri, petrol rafinerileri ve makine ile kimya mühendisli inin ortak uygulama alanı olan ısı l i lem tekni inde çok önemli yer tutar.

Boru demetleri ve birbirine paralel levhalardan olu an ısı de i tiricilerinin içindeki akı yapısı oldukça karma ıktır. Dünyada ve Türkiye' de üretilen ısı de i tiricilerinde, ekilli de görüldü ü gibi yer alan boruların dairesel, eliptik, oval, dikdörtgen yapıdaki geometrileri, boruların dizili biçimi, borular arasındaki mesafe ve plakalar arasındaki mesafe gibi geometrik de i kenleri akı yapısını de i tirmekte ve dolayısıyla ısı geçi ini etkilemektedir.



ekil 1.1. De i ik dizilim ve geometrilerdeki ısı de i tirici modelleri (a) Bouris vd., 2001, b) Lozza ve Merlo, 2001

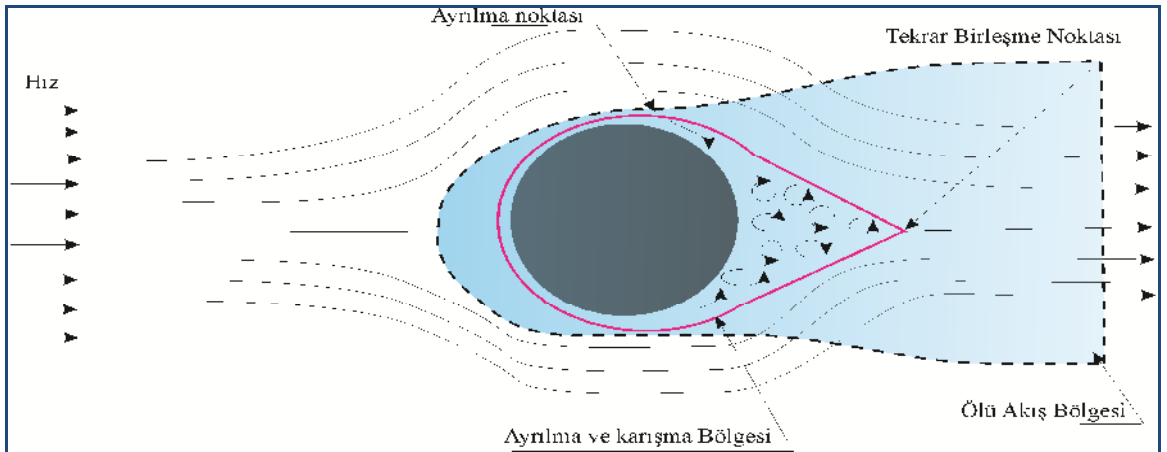
Akı olayları genellikle katı yüzeyler ile sınırlandırılır ve bu nedenle katı yüzeyin akı ı nasıl etkileyece ini kavramak önemlidir. Viskoz etkilerinin ve dolayısıyla hız profiline önemli oldu u yüzeye yakın akı bölgelerine sınır tabaka adı verilir. Sınır tabaka üzerinde olu an akı yapısı düzlem plaka ve dairesel yapılarda bazı fiziksel özelliklerden dolayı farklılık göstermektedir. Akı yapısında önemli de i kenlerden biri akı ın laminar veya türbülanslı olu udur. ekil 1.2' de düzlem plaka üzerindeki bu akı yapısı resmedilmi tir.



ekil 1.2. Düzlem plaka üzerindeki laminar ve türbülanslı akı yapısı (Çengel, 2003)

Düzlem plaka üzerinde akı yönüne paralel ilerleme gösteren akı yapısında; plaka uzunlu u “L” kabul edilirse akı üniform bir hız ile plakaya paralel şekilde hareketine başlar. Akı belli bir hızla plaka üzerinde sınır tabaka boyunca akıma devam eder, fakat plaka yeterli uzunlukta ise, akı X_k de erinde türbülanslı hale geçer. Buda plakanın ön kenarında Reynolds sayısının kritik geçi de erine ulaşmasıyla mümkündür. Laminer akı tan türbülanslı akı a geçi te; yüzey geometrisi, yüzey pürüzsüzlü ü, akıntıya karşı olan hız, yüzey sıcaklığı ve akı kan tipi ve bunlarla beraber en çok Reynolds sayısının karakteristi i önemli rol oynamaktadır. (Çengel, 2003)

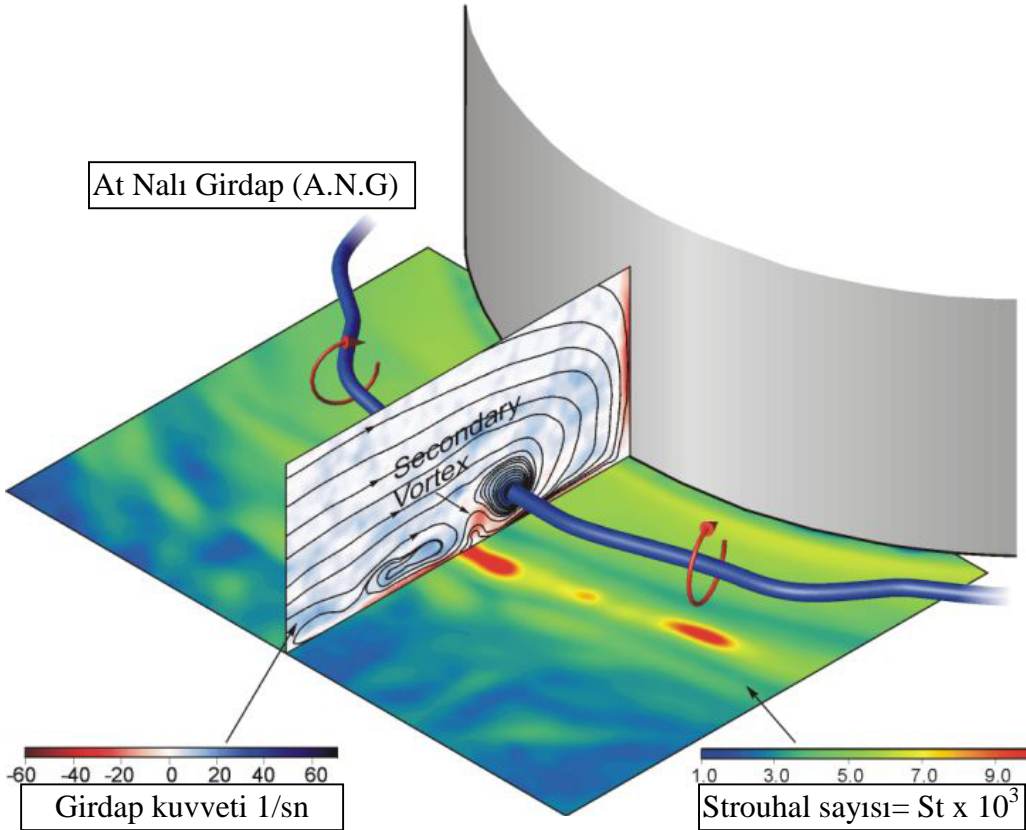
Akı nın laminer ve türbülanslı yapıya sahip olması, dairesel yapılarda da etkin bir rol oynamaktadır. Bir dairesel yapı üzerinde olu an akı yapısının bilinmesi, dairesel yapı üzerindeki enerji de i imlerinin anlaşılmasında etkin rol oynamaktadır. Bir akı kan yüksek bir hızla e risel bir yüzey üzerine akarsa; birle me noktalarında akı kan kendini yüzeye sarmaya başlar. Silindir üst yüzeyinde olu an dü ük basınç ile akı içe do ru ters şekilde dönmeye başlar. Bu dönmeye başladığı noktaya ayrılma noktası denilmektedir. Ayrılma bölgesi ne kadar büyük olursa basınç kaybı o kadar artar. Akı yapısında ayrılma bölgesinden sonra akı na düzensiz devam etmesi ve silindir geometrisine ba lı olarak hızını kaybetmesi ölü akı bölgesini olu turmaktadır. Ayrılma bölgesi akı nın iki koldan birbiri ile yeniden birle mesiyle; tekrar birle me noktasında biter fakat ölü akı bölgesi; akı hızını tekrar kazanana kadar geli erek devam eder (ekil 1.3). Viskoz akı a sınır tabaka, ayrılma bölgesi ve ölü akı bölgesi çok önemli bir şekilde etki eder. Uygulamalarda kesinlikle bu tür akı yapıları göz ardı edilmemesi gerekmektedir.



ekil 1.3. Silindir etrafındaki akı ta olu an ayrılma, tekrar birle me noktaları; ayrılma ve karı ma bölgesi ve ölü akı bölgesinin ematik gösterimi (Çengel, 2003)

Akı kan, yeterince yüksek bir hızla bir elips silindirin arka tarafı gibi e ri bir yüzey üzerinden akmaya zorlandı nda, sınır tabaka yüzey üzerinde tutunamaz ve bir noktada yüzeyden ayrılır. Bu olaya akı ayrılması denir. Bir sınır tabakasında yüzeyde yeterli uzunlukta bir nesne ile akı kar ıla tı nda U ekinde girdap olu umu sa lar ve birle me bölgesinde akı n süpürülmesini sa lar. Böylelikle akı yapısı; dinamik, zamanla güçlenen, yer de i tiren, zayıflayan ve daha sonra yeniden güçlenerek tekrarlanan özel bir girdabın olu masına ve hareketlerine ba lı olarak geli im gösterir (Akkoca ve ark., 2006). Bu girdap (ekil 1.4.), fiziksel olarak at nalına benzedi i için At Nalı Girdap “ANG, horseshoe” diye anılmaktadır.

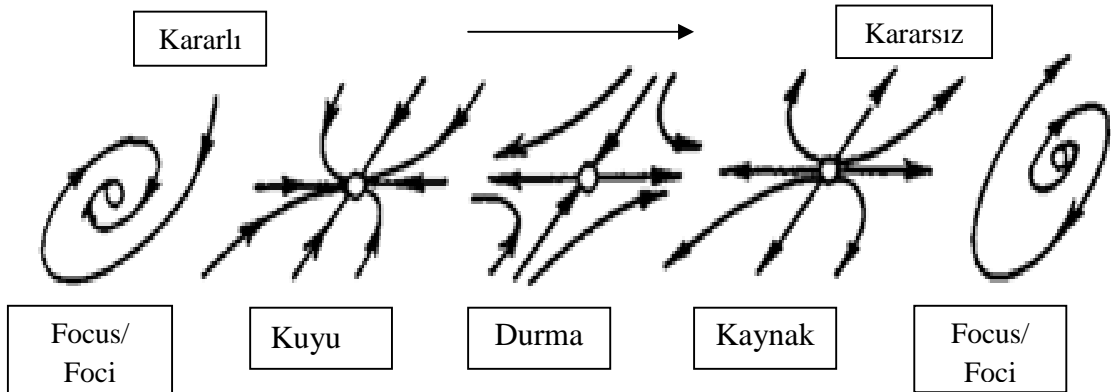
ANG yapısı, yüzey ile yüzeye dik boyutlandırılmı nesnenin birle me bölgesinde olu ur ve akı kanlar mekani i uygulamaları için çok önemlidir. ANG sisteminin asıl olu umu bu yüzeye gelen akı taki döngüsel girdap formasyonudur. Yapılan önceki çalı malarda ANG yapısı incelenmi ve bu yapının türbülanslı akı yapısında çalkantılara sebep oldu undan geli ti i ve girdap yapısındaki hareketin incelenmesi gerekti i sonucuna varılmı tır.



ekil 1.4. Silindir etrafında geli en at nalı girdap (ANG) görünümü (Praisner, 2001)

Akı yapısının ara tırmacılar ve uygulamacılar tarafından anlaşılabilmesi için sayısal ve deneysel çalışmaların görselleştirilmesi gerekmektedir. Diğer bir ifade ile akı karakteristiğinin çizilmesi gereklidir. ANG yapısının oluşumu ve akıya etkisi son yıllarda akı kanalları mekaniği uygulamalarında sıkça kullanılan Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçüm (PIV, Particle Image Velocimetry) yöntemiyle başarılı bir şekilde görselleştirilmektedir.

Akı yapısının fiziksel özelliklerinden kaynaklanan, akının sürekliliği ile de ilgili gösteren bazı kritik akı noktaları bulunmaktadır. Sistem içerisindeki akıla ilgili gösteren bu fiziksel yapılar, akı alanı içerisinde etkili olmaktadır. Akı alanı içerisinde bulunan bu dinamik karakterli tekil noktalara durma noktası (saddle point, nodal point) tabiri kullanılmaktadır. Durma noktaları ayrıca kayma gerilmelerinin ayrılma ve farklı yöne iletilme konumundadır. Akı alanı içerisinde oluşan kritik noktalar ekil 1.5’te verilmiştir. Akı yapısının hangi yönde gelişine göre de ilgili bu noktalar kararlı ve kararlı olmayan olmalarını, kayma gerilmesi vektörlerinin yönlerine göre belirlenmektedir. Akı yapısının kritik nokta etrafında oluşan türdeş ekil itibarı ile bu noktalar isimlendirilmektedir. Spiral döngü oluşturulan girdap merkez noktaları “Focus/Foci” olarak adlandırılmaktadır. Kritik nokta akı yönüne göre yaptığı harekette, oluşan vektör alanlarını üzerine doğru bir noktada toplar ise oluşan bu noktaya “Kuyu” (Sink) denir. Kritik nokta akı yönüne göre yaptığı harekette, oluşan vektör alanları üzerinden çevreye doğru yayılır ise oluşan nokta “Kaynak” (Source) olarak isimlendirilir. Akı yapısı kritik nokta üzerinde düğüm noktası oluşturur ve döngüleri karışıklık şeklinde girdap oluşumuna iterse buna “Durma” (Saddle) noktası denilmektedir. ANG yapısında bu kritik noktalar oluşmaktadır.



ekil 1.5. Akı içerisinde oluşan tekli noktaların tematik gösterimi (Tsai vd., 2003)

Isı de i tiricilerinin verimini artırmak için ısı sistemler üzerinde yo un ara tırmalar devam etmektedir. Isı de i tiricilerin verimini artırmak ve tasarımında optimizasyonu sa lamak için sistem içindeki akı yapısı hakkında detaylı bilgi sahibi olmamız gerekmektedir. Karma ık akı geometrisine sahip ısı de i tiricilerinde birçok ara tırmacı tarafından sayısal çözümler ve teorik yakla ımlar uygulanmaya çalı ılmı tır. Fakat geometrik yapısının zorlu u ve çe itlili inden dolayı yeterli düzeyde ve detayda deneysel çalı ma yapılamamı tır. Bu nedenle, sayısal ve teorik çalı an ara tırmacılar, tasarımcıların ihtiyaç duydukları verileri sa lamak amacıyla bu konu üzerinde çalı malarda bulunmu lardır. Bu çalı malara ek olarak bu deneysel çalı manın yapılması ısı de i tiricileri içerisinde akı yapısının çok daha ayrıntılı ara tırılması planlanmı tır.

Bu çalı mada amaç, düzlem plaka ve dairesel, eliptik kesitli boru kullanılan ısı de i tiricilerinde ısı transferini önemli oranda etkileyen akı yapısının parçacık görüntülemeli hız ölçme tekni i kullanılarak (PIV) ara tırılmasıdır.

2. ÖNCEK ÇALI MALAR

Akı kanlar mekani i uygulamalarında küt cisimler üzerinde olu an akı yapısının incelenmesi bilim adamları ve uygulama mühendisleri tarafından hem sayısal hem de deneysel olarak yıllardır ara tırılmaktadır.

Bu çalı manın amacı olan ısı de i tiricilerindeki akı yapısının ara tırılması ise günümüze çok daha yakın zamanlarda ba lamı tır. Geli en teknoloji ve enerji ihtiyacı ile birlikte bu yöndeki çalı malarda hız bulmu , gerek sayısal gerekse deneysel çalı malar literatüre kazandırılmı tır.

Yapılan literatür çalı masını dört ba lık altında toplamak ara tırmanın anlaşılmasında ve sonuçların de erlendirilmesinde önemli rol oynamaktadır.

- 1- Akı karakteristiklerinde ve deneylerinde elips geometrisinin incelenmesi
- 2- Akı karakteristiklerinde ve deneylerinde silindir geometrisi incelenmesi
- 3- ki plaka arasındaki elips-silindir incelemeleri
- 4- Eliptik tüplü (oval tüplü) ısı de i tiricilerinde akı yapısına ba lı ısı transfer katsayısının incelenmesi

2.1. Elips Silindir Üzerindeki Akı Yapısı

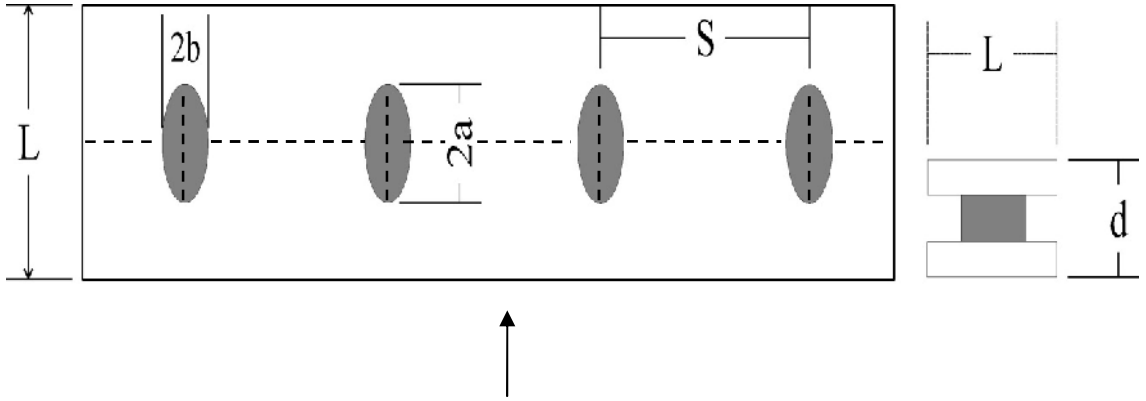
Geli en teknoloji ile ısı de i tiricilerinden elde edilecek enerjinin azami de ere yükseltilmesi ara tırmacıların bu konu üzerindeki çalı malarını arttırmı tır. Bu enerji de iminde göz önünde bulundurulması gereken de i kenlerden biride ısı de i tiricilerindeki akı yapısıdır. Akı yapısının farklılık gösterece i önemli de erlerden biri, ısı de i tiricileri tüplerinde kullanılan geometri olmu tur. Farklı bir geometrik yapı olan elips silindir yapısında olu an akı yapısı ara tırmacılar tarafından incelenmeye alınmı tır. Bu çalı maların bazıları a a ıda sunulmu tur.

Rocha ve ark., (1997) plakalı ısı de i tiricilerinde iki boyutlu ısı transferi analizini dairesel silindir ve elips silindir arasında ısı ve kütle transferini hesaplayarak bir ara tırma yapmı lardır. Ara tırmalarında kullanılan elips silindirin görünü oranı, uzun çap/kısa çap tanımlanarak, Görünü Oranı (GO, Aspect Ratio, AR) 0.86 olarak alınmı ve hesaplamalarında Reynolds sayısının $Re_d=0-1600$ de erleri arası ve Prandtl

sayısının 0.70 de erinde deneyleri gerçekle tirmi lerdir. Sonuç olarak; eliptik tüplü ısı de i tiricilerinin silindirik tüplü ısı de i tiricilerine göre daha iyi aerodinamik yapıya sahip olduklarını söylemi lerdir. Ayrıca yapılan sayısal hesaplamalarına göre eliptik tüplü ısı de i tiricisinin silindirik tüplü ısı de i tiricisine oranla ısı transferi katsayısının daha yüksek de erde oldu unu belirtmi lerdir.

Lin ve Jang (2004), Rocha ve ark., (1997) ile aynı parametrelerde denenen eliptik tp ve çaprazlama da ılmı dairesel tüplerde yapılan çalı malar sırasında ısı transferi katsayısının elips silindir düzenlemesinin silindir düzenlemesine göre %4 - %8 arttı mı hesaplamı larıdır.

Saboya ve ark., (1997), iki plaka arasına yerle tirilmi sıralı elips silindirleri sayısal metotlarla incelemi (ekil 2.1) ve sonuç olarak tüm eliptik düzenlemelerin silindire göre daha performanslı oldu unu söylemi lerdir.



ekil 2.1. Eliptik tüplü ısı de i tiricisinin e itli görünümleri (Saboya vd., 1997)

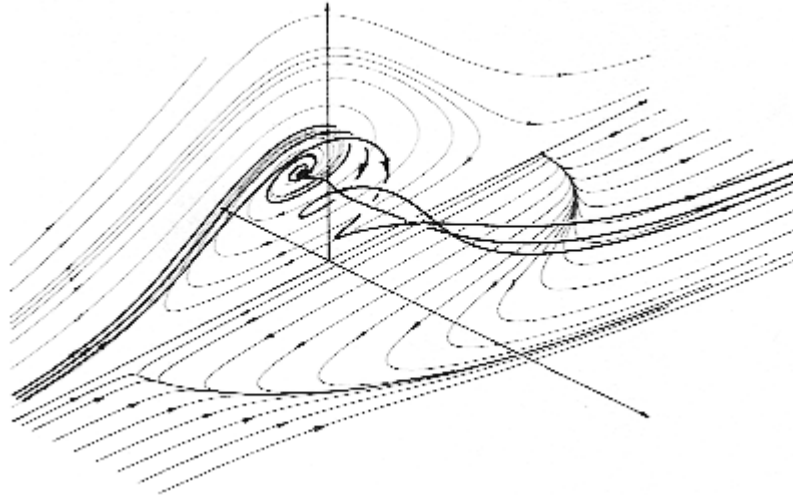
2.2 Silindir zerindeki Akı Yapısı

Isı de i tiricileri uygulamalarında ilk olarak silindir ve dairesel geometriler üzerinde çalı ılmı tır. Farklı silindir boylarında ve farklı Reynolds sayılarında yapılan, ara tırmacılar için çalı ılması elips silindirlerden daha kolay olan (geometri ve formülasyon olarak) silindir üzerinde ki akı ; bilim adamlarının konuyla ilgili ara tırmalarını artırmı tır. ekil itibarı ile gerek ısı de i tiricilerinde gerek köprü ayaklarında gerek yüksek binalar gibi örneklerle çalı ılmaya devam eden silindir üzerinde akı , literatürde çalı ılmı geni bir konudur. Geli en teknoloji ile birlikte konu

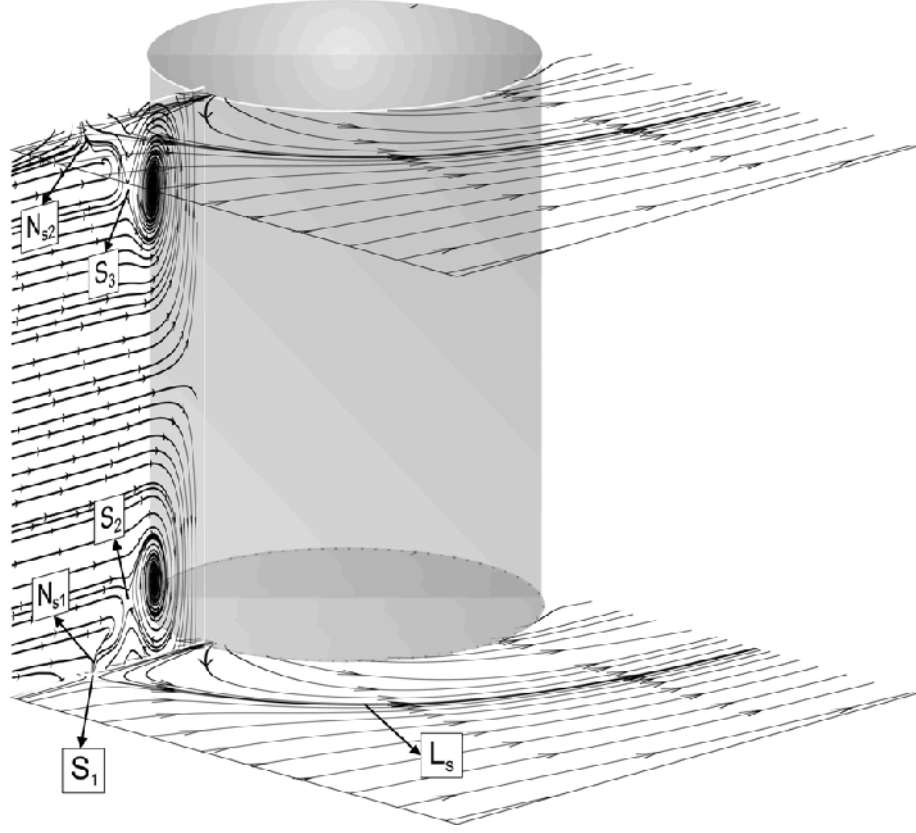
ile ilgili çalı malar hem nümerik hem de Hesaplamalı Akı kanlar Mekani i gibi tekniklerle birle tirilerek ara tırılmı tır (ekil 2.2). Son on yıllardaki çalı malarda ise PIV (Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçme Tekni i) kullanılarak silindir üzerindeki akı incelenmeye ba lanmı tır (ekil 2.3). Yapılan bazı çalı malarda silindir ekilleri ve etrafındaki akı ara tırmacılar tarafından incelenmi , literatüre etkin bilgiler kazandırılmı tır. ahin ve ark., (2006) silindir çevresindeki akı la ilgili ara tırmalarında, farklı Reynolds sayılarında ve farklı yükseklik/çap de i imlerindeki elipsleri sı su ve türbülanslı ve düz akı ta incelemi ler ve sonuçları literatüre eklemi lerdir.

Goldstein ve Sparrow (1976), Rocha ve ark. (1997), Kim ve Song (2003), naftalin süblimle me tekni ini kullanarak plaka yüzeyinde hem bölgesel, hem de toplam ısı ve kütle transfer katsayılarını hesaplamı lar ve silindirin ön tarafında elde edilen yüksek ısı geçi i katsayısının at nalı “ANG” ekindeki girdaplardan kaynaklandı mı belirtmi lerdir.

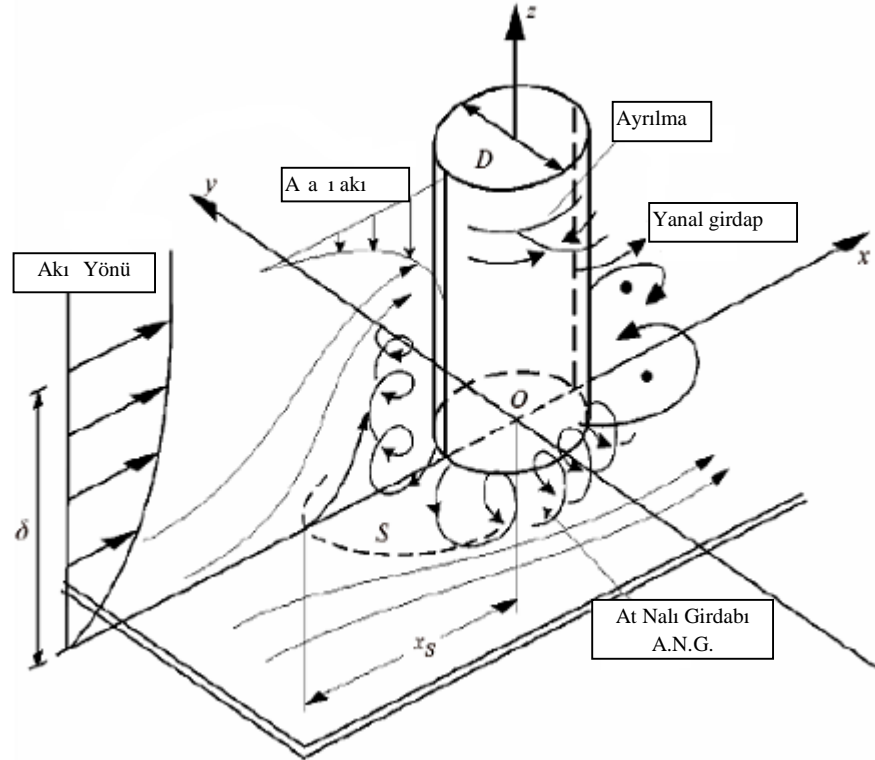
Öztürk ve ark. (2006), plaka üzerindeki 50mm çapa sahip silindirin Reynolds de erinin $Re_d=1500-6750$ de erleri arasında akı yapısını incelemi ve akı ı direkt etkileyen “horseshoe” girdaplarının etkilerini anlatmı tır (ekil2.4). Özgören, (2006) tarafından silindir yapısı incelenmi ve akı yapısı kübik silindir ve pahlanmı silindir ekilleri ile kar ıla tırılmı tır.



ekil 2.2 Silindir üzerinde olu an akı yapısının 3 boyutlu izlenimi (Perry, 1987)



ekil 2.3) Silindir üzerindeki akı yapısının PIV tekni i ile elde edilmi görüntüsü (Öztürk, 2006)



ekil 2.4. Silindir etrafında ki akı yapısı ve At nalı girdabı 'ANG'(Roulund vd., 2005)

2.3 ki Plaka Arasına Yerle tirilmi Elips ve Silindir Üzerindeki Akı Yapısı

ki paralel plaka arasına yerle tirilen bir dikey silindir modeli, “fan-coillerde”, ısıtma, so utma ve havalandırma sistemlerinde, yo u turucu ve buharla tırcılarda, klimalarda, atık ısı geri kazanım sistemlerinde, sıkça kullanılan bir geometrik yapıyı temsil etmektedir. Bu tip yapılarda silindir içerisinden sıcak ya da so uk akı kan, plakalar arasından ise fan tarafından yönlendirilen hava akımı geçmektedir. Paralel plakalar, ısı transfer yüzey alanını arttırmak, ısıl direnci azaltmak ve böylece sistemin performansını iyile tirmek için kullanılmaktadır.

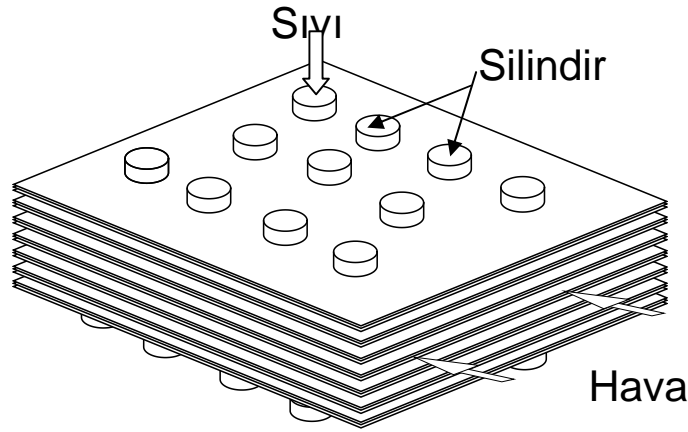
Pratik öneminden dolayı plaka yüzeyine monte edilen bir silindir etrafındaki akı , ba langıç çalı ması olarak, bilim adamları, tasarımcılar ve mühendisler için uzun süredir ara tırma konusu olmu tur. Silindirin levha ile kesi me noktasına yakın bölgelerde olu an akı yapıları, nükleer, kimya, gemi, rüzgâr, uçak ve ısı mühendisli i alanlarında sıkça ara tırılmaktadır.

Uçaklarda kanat ve gövde birle imlerinde, türbinlerde pervane ve gövde birle imlerinde, ısı de i tircilerinde plaka ve boru birle imlerinde, bilgisayar devrelerinde yonga ile kartın birle im bölgesinde ve her türlü köprü aya ı ve zemin birle imlerinde, bu tür akı lar söz konusudur. Bu bölgelerde meydana gelen 3-boyutlu ve karma ık akı yapısı, zemin malzemesine zarar vermektedir. Bu durum ısı de i tircilerinde ise ısı transferinin iyile mesine neden olmaktadır. Bu bölgelerde meydana gelen akı yapısının incelenmesi ve her yönüyle anla ılabilmesi sonucunda mekanik sistemlerin daha güvenli, daha ekonomik ve optimum tasarımını yapmak mümkün olabilecektir. Bu tip akı lar literatürde pek çok ara tırmacı tarafından teorik/nümerik olarak incelenmi tir (Sümer ve ark., 1997). Bazı ara tırmacılar tarafından ise geometrik özelliklerin akı yapısı üzerindeki etkileri deneysel olarak ara tırılmı tır (Seal ve Smith, 1999, Wang ve ark., 2004). Sayısal çalı maları deneylerle destekleyen ara tırmacılar, çe itli geometrilerde kar ıla ılabilen bu tip akı yapılarının önemini vurgulamı lardır (Park ve Lee (2004), Martinuzzi ve Havel, (2004)).

Akı yapısına ba lı olarak silindirin ön kısmında zemin yüzeyinde akı ayrılması meydana gelmektedir. Silindir ve levhanın birle im bölgesindeki girdaplı akı ın yapısı ara tırmacılar tarafından incelenmi tir. Literatürde bu tip geometrik özelliklere sahip ısı

de i tiricileri için, hem akı yapısını, hem de ısı transferi özelliklerini ara tıran çok sayıda çalı malara rastlamak mümkündür (ekil 2.5).

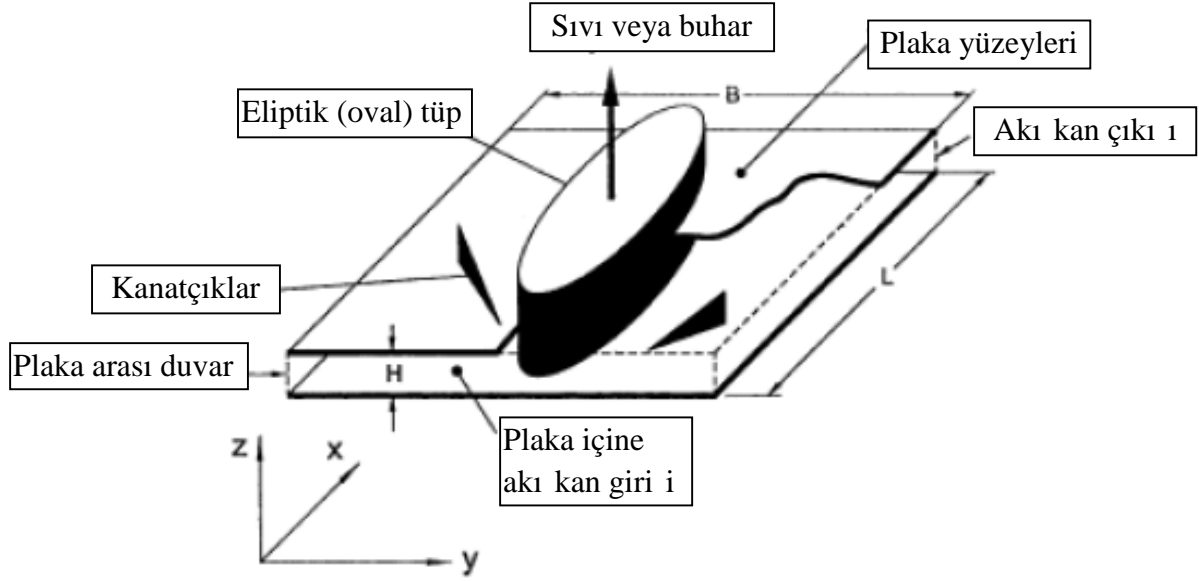
Wung ve Chen, (1989), yaptıkları sayısal çalı mada, ısı transfer katsayısının silindirin ön tarafında maksimum, ayrılma noktasından itibaren ayrılmı akı bölgesinde minimum oldu unu belirtmi tir. ahin ve ark., (2006), Reynolds sayısının 4000 Re_d 7500 aralı ında silindirin çevresinde, hem alttaki plakaya çok yakın bir düzlemde, hem de akım alanının tam ortasındaki bir düzlem üzerinde meydana gelen akı yapısını ve at nalı ekindeki girdapların ‘ANG’ özelliklerini PIV tekni i kullanarak ara tırmı lardır.



ekil 2.5 Plakalı tüplü bir ısı de i tiricisi (Tiwari vd., 2003)

Bazı ara tırmacılar plakalı ısı de i tiricilerinde eliptik tüp kullanımı lar ve sayısal çalı malar ekinde sergilemi lerdir (ekil 2.6). Tiwari vd.,(2003), Saboya ve Sparrow (1997), Méndez vd.,(2000), Bouris ve Bergeles (1999), Jang vd.,(1997), Tsai ve Sheu (1998), gibi bazı ara tırmacılar elips geometrisi üzerindeki akı yapısını nümerik yöntemlerle incelemi ler ve bu incelemeyi silindirik geometrili yapı ile kar ıla tırmı lardır. Çalı malarında eliptik tüplü ısı de i tiricilerin silindirik yapıya göre daha yüksek ısı transferine sahip olduklarını bildirmi lerdir. Juncu (2007), çalı masında elips silindir yapısının silindir yapıya göre daha dü ük akı direnci ve daha yüksek ısı transfer oranına imkân sa ladı ını ve ısı transfer katsayısını Reynolds sayısı kadar elips silindirin görünü oranının da etkiledi ini sayısal çalı malarla izah etmi tir. Sonuçta elips silindir geometrisi ile dairesel ve silindirik geometri arasındaki kullanım

farklılıklarından bahsetmi ler ve eliptik tüplü yapılan ısı de i tiricilerinin silindirik yapılanlara göre daha verimli olduklarını söylemi lerdir.



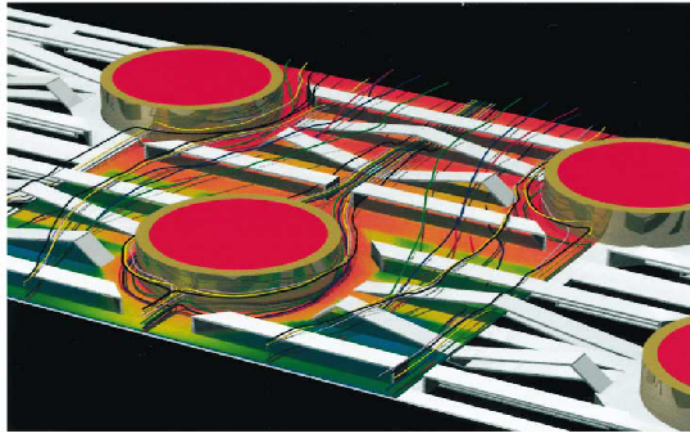
ekil 2.6. Plakalı ısı de i tiricilerinde eliptik tüp kullanımı (Tiwari vd., 2003)

2.4. Eliptik Tüplü (oval tüplü) Isı De i tiricilerinde Akı Yapısına Ba lı Isı Transfer Katsayının ncelenmesi

Isı de i tiricileri uygulamalarında plakalar ile içerisinde bulunan farklı geometrik yapıdaki boru demetlerinin arasında olu an ısı transferi ve elde edilecek enerji için önemli bir parametredir. Isı de i tiricileri içersinde olu an ısı transferi akı yapısına göre de i im göstermektedir. Akı yapısının olu turdu u durumlar ve fiziksel özellikleri (Viskozite, kayma gerilmesi, akı kan yo unlu u, girdap formasyonu, ...) ısıl ta mınla elde edilen enerjinin hangi büyüklükte oldu nu göstermekte ve uygulanabilirli ini saptamaktadır. Konu üzerindeki ara tırmalardan bazılarına örnek vermek gerekirse; Hasan, (2005) oval tüplerin çapraz akımlı hava akı nda termal ve hidrolik performansını ara tırmı tır. Ara tırmasında, literatürde elips silindir akı ı ile ilk çalı manın Reiler (1925) tarafından yapıldı ını söylemi tir. Reynolds de erlerinin 1.000-11.000 arası ve $GO=2, 3$ ve 4 de erleri kullanarak yapmı tır. Sonuç olarak $Re_d < 4000$ de eri için silindirik tüp ile elips silindir (oval) tüp arasında ısı transferi

bakımından çok büyük bir de i iklik göstermedi ini söylemi tir. Ayrıca küçük yüzey alanlarına sahip olan elips silindir yapısının silindirik yapıya göre termal-hidrolik performanslarının daha iyi oldu unu saptamı tir.

Ota vd.,(1983), $GO=2$ olan tekli elips silindirin ısı performansını Reynolds sayısının $Re_d=5.000-90.000$ de erleri arasında ve 90° açıyla gelen hava akı ıyla incelemi tir. Hava akı ının yönü uzun çapa paralel yönde seçilmi elips silindirlerin, silindirik yapıya göre daha ba arılı oldu unu belirtmi tir. Ayrıca $GO=2$ de erinde di er ara tırmalarla kar ıla tırmasında ısı transferinin çok az da olsa elips silindirin, dairesel silindirden daha iyi oldu unu belirtmi tir. Tsai vd.,(1998), Reynolds sayısının $Re_d=83-258$ de erleri arasında yapımı oldukları iki plaka arasındaki kanatçıklı yapının fiziksel etkileri çalı malarında, plaka yüzeyinde tüpün etrafında olu an at nalı girdapların (ANG) tüpün etrafını sardı nı ve plaka yan cidarını sararak akı a devam ettiklerini söylemi lerdir. ANG yapısı gere i, spiral döngü i lemini girdap merkezlerine çok yakın yapacaklarını ve böylece, tüp içerisindeki sıcak akı kan ile ana akı taki so uk akı kanın de i imine izin verece ini bununda o bölgelerdeki akı nı iyi karı masında etkili olduklarını gözlemlemi lerdir. Sonuç olarak silindir yüzeyinde karı mı akı yapısını olu turan ANG 'ın yüksek ısı transferi sa ladıklarını belirtmi lerdir (ekil 2.7). Juncu (2008), elips silindirde daimi olmayan ısı transferini incelemi tir. Çalı masında dü ük Reynolds sayısı $Re_d=5-40$ de erleri arasında, $GO=0.1-0.75$ de erlerinde çalı mı tir. Görünü Oranının ve Reynolds de erlerinin toplam ısı transfer katsayısını ve kayma gerilmelerini etkiledi ini belirtmi tir. Yine elips silindirlerin dairesel silindire göre, daha az akı direncine ve yüksek ısı transfer de erlerine sahip oldu unu belirtmi lerdir.

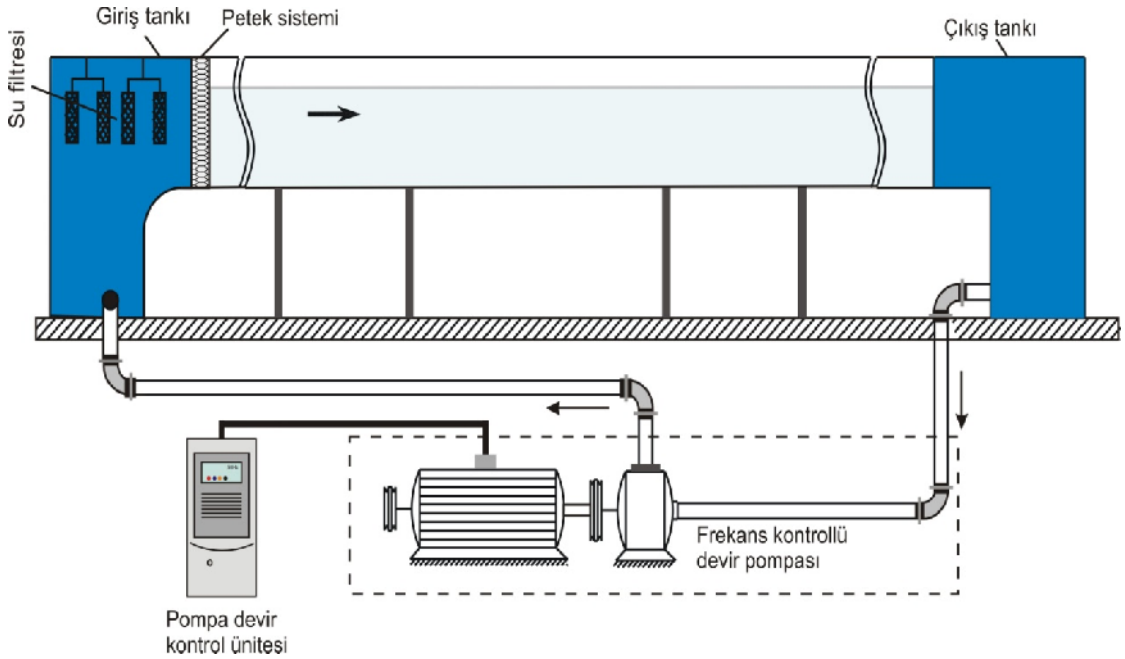


ekil 2.7. Isı de i tiricileri içerisinde akı ta 3-boyutlu parçacık izleri görüntüsü (Tsai vd., 1998)

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. MATERYAL

Çalı ma sırasında yapılan deneyler Çukurova Üniversitesi, Makine Mühendisli i Bölümü Akı kanlar Mekani i Laboratuvarlarında bulunan kapalı çevrim olarak çalı an serbest yüzeyli açık su kanalında yapılmı tır (ekil 3.1). Su kanalı iki adet fiberglas rezervuar ve bu rezervuarlar arasına monte edilmi effaf akrilik kısımdan olu maktadır. Mevcut su kanalında deney çemberi olarak adlandırılan saydam akrilik kısmın yükseklik, en ve boyu sırasıyla 750mm, 1000mm ve 8000mm'dir. ki rezervuar arasına suyun hareketi ise bir adet 15kW gücünde santrifüj pompa aracılı ı ile gerçekleştirilmektedir. Test bölgesinde de i ik hızlarda deneyler yapabilmek için santrifüj pompanın devri bir hız kontrol ünitesi yardımıyla de i tirilebilmektedir. Pompa, suyu giri teki su tankına basmakta ve çıkı taki su tankından emmektedir. Giri tankının çıkı ndan itibaren test bölgesinin sonuna kadar akı nın üniform olmasını sa lamak amacıyla akı ı düzenleyici petek sistemi ve suyun effaf akrilik kısmına giri kısmı 2:1 oranında daraltılarak kullanılmı tır. Kanal içerisinde akan su, kanala girmeden önce dinlenme odasına ve oradan da akı düzenleyici bölüme girmektedir. Ayrıca, su kanalına doldurulan suyu filtre eden bir filtre sistemi mevcuttur.



ekil 3.1. Su kanalının ematik görünümü (Karaku , 2007)

ki plaka arasına yerle tirilen elips silindirlerin geometrisi akı yapısı bakımından önem arz etmektedir. Farklı geometriler kullanılarak hazırlanan deney aparatlarında, uygulamada ve görselle tirmede kolaylık sa laması ve daha rahat anla ılması için Görünü Oranı eklinde tanımlanmı tır. Elips silindir uzun çapının, kısa çapına bölünmesiyle elde edilen Görünü Oranları (GO) Çizelge 1’ de verilmi tir.

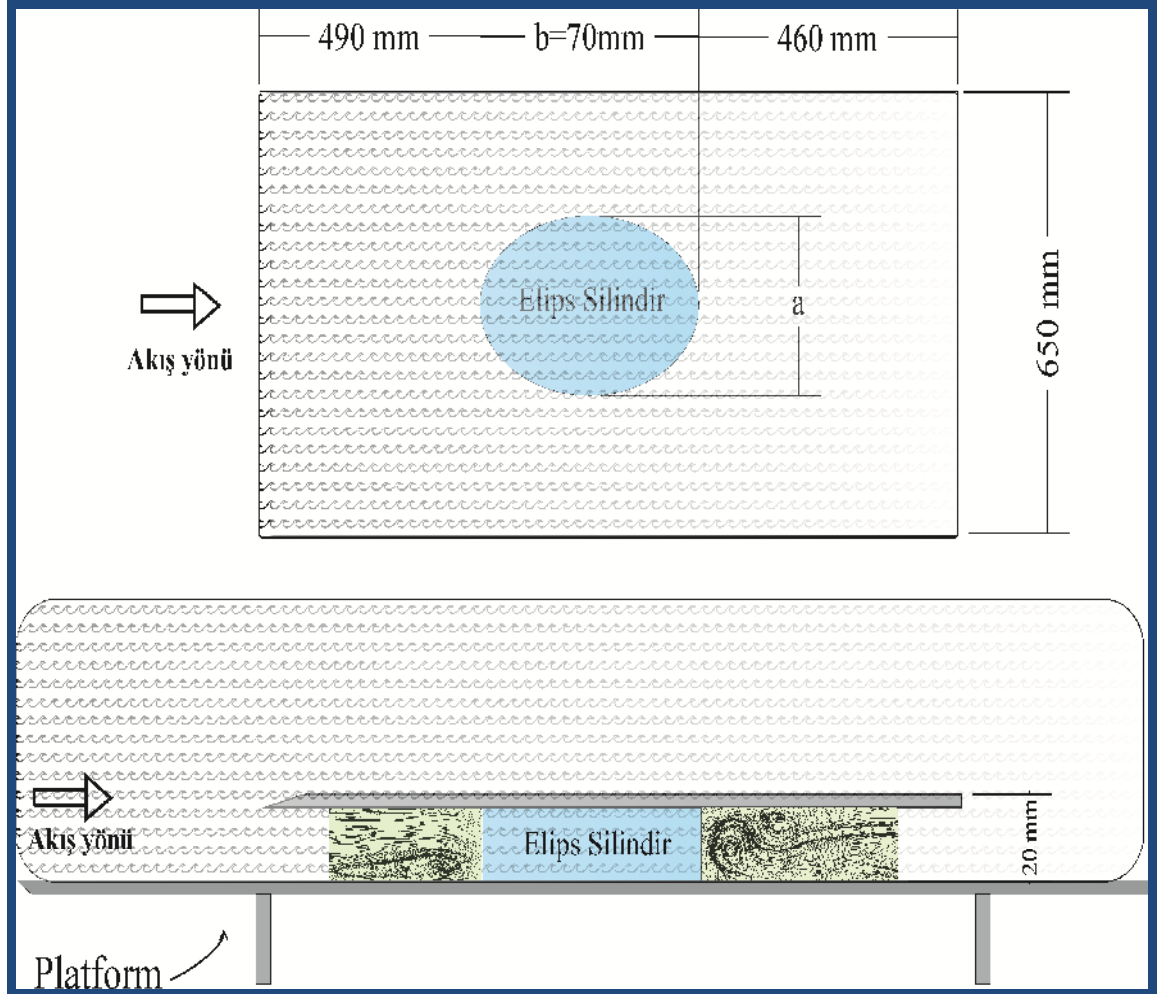
Çizelge 1. Deneylerde kullanılan elips silindirler ve ölçüleri

Uzun Çap, b (mm)	Kısa Çap, a, (mm)	Görünü Oranı (GO)
70	70	1
	60	1.14
	50	1.4
	40	1.75
	30	2.33

Deneyler esnasında 70mm sabit uzun çapta silindir geometrisi alınarak, kısa çap uzunlu u sırası ile 70mm, 60mm, 50mm, 40mm ve 30mm olarak de i tirilen Görünü oranları, GO=1 ile 2.33 olacak ekilde elips silindir ölçüleri alınmı tır.

Isı de i tiricisi geometrisini temsilen elips silindirler 650mm uzunlu unda 1000mm geni li inde ve 20mm yüksekli inde iki düzlem plaka arasına yerle tirilmi lerdir. Akım pasajının giri kısımları pasaj içerisine giren akı yapısını bozmaması amacıyla inceltilmi lerdir.

Deneyler, öncelikle elips silindir geometrisi ile kıyaslama yapabilmek amacıyla silindir referans alınarak yapılmı tır. Plakalı ısı e anjörlerini temsilen 5 farklı elips-silindir geometrisi için deney düzenekleri hazırlanmı tır. Bunlar, sırayla GO= 1, 1.14, 1.4, 1.75 ve 2.33 de erlerine sahip elips silindirlerdir. Deney aparatının su kanalı içerisinde konumlandırma uzunlukları ekil 3.2’ de verilmektedir. Hazırlanan plakalardan bir tanesi kalibrasyon deneyi için elips silindir olmadan, plaka içi bo bırakılmı tır. Deneylerde kullanılan elips silindirler ve deneyin ematik düzeni ekil 3.2’ de gösterilmi tir.



ekil 3.2. Deney düzeneğininematik görünümü

3.2. YÖNTEM (PARÇACIK GÖRÜNTÜLEMELİ HIZ ÖLÇÜM TEKNİĞİ (PIV, Particle Image Velocimetry))

Daimi olmayan akı kanlar mekaniği uygulamalarında belirli bir akı alanı içerisinde anlık ölçme yaparak akının yapısını anlamak büyük önem arz etmektedir.

Akının görselleştirme yoluyla akı alanı özelliklerinin görsel analizlerinden çok faydalanılmaktadır. Akının görselleştirme sadece fiziksel deneylerde değil aynı zamanda, hesaplamalı akı kanlar mekaniği gibi sayısal çözümlerde de faydalıdır. Sayısal çözümler sonucu elde edilen nicel veriler kullanılarak akının görselleştirilerek akı olayının bütünü göz önüne alınması mümkün olmaktadır (Çengel, 2003).

Kızgın tel veya lazer doppler anemometresi (LDA) gibi hızölçerlerle akı bölgesinde aynı anda ancak bir tek noktada hız ölçümü yapılabilmektedir. Bu hızölçerlerin frekansları oldukça yüksek olmasına rağmen ayrılmı akı bölgeleri ile ilgili alanın tamamını kapsayacak şekilde de ölçüm yapmak mümkün olmamaktadır. Ancak, de i ik noktalarda farklı zamanlarda yapılan ölçümler sonucunda akı karakteristikleri hakkında kısmen bilgi vermek mümkündür. Sonuç olarak, belirli bir akı alanı içerisinde akının anlık karakteristikleri belirlenmemektedir. Özellikle, karmaşık yapıya sahip iki boyutlu veya üç boyutlu akılarda sadece bir noktada ölçüm yapmak suretiyle elde edilen veriler akının yapısını yorumlamada yeterli olamamaktadır.

Parçacık Görüntülü Hız Ölçüm (PIV, Particle Image Velocimetry) tekniği son yıllarda yaygın bir şekilde kullanılan modern deneysel bir yöntemdir. Bu yöntem genellikle, uzay ve havacılık alanında, içten yanmalı motorlarda, nükleer santrallerinde, pompa ve türbinlerde, ısı de i tiricilerinde, boru ve kanal akılarında yoğun olarak kullanılmaktadır. PIV ölçme tekniği bilgisayar ve elektronik teknolojisinin gelişmesiyle birlikte daimi olmayan akının yapısı hakkında çok detaylı bilgiler vermeye başlamıştır. Örneğin, bir katı cismin etrafında oluşan ayrılmı akı bölgesinin yapısını belirlemek için aynı anda birçok noktada anlık hızları PIV ölçme tekniği ile rahatlıkla ölçülebilmektedir. Parçacık görüntülemeli hız ölçme yönteminin uygulama alanlarının bazıları; içten yanmalı motorların yanma i lemlerinde, uçak ve otomotiv AR-GE çalışmaları, daimi olmayan akı uygulamalarında, karmaşık geometrileri içeren akı kanlar mekaniği uygulamalarında, jet akılarda, sınır tabaka problemlerinde, ayrılmı akılarda, iki fazlı akılarda, bio-mühendislikte, uçak mühendisliğinde, sıvı su

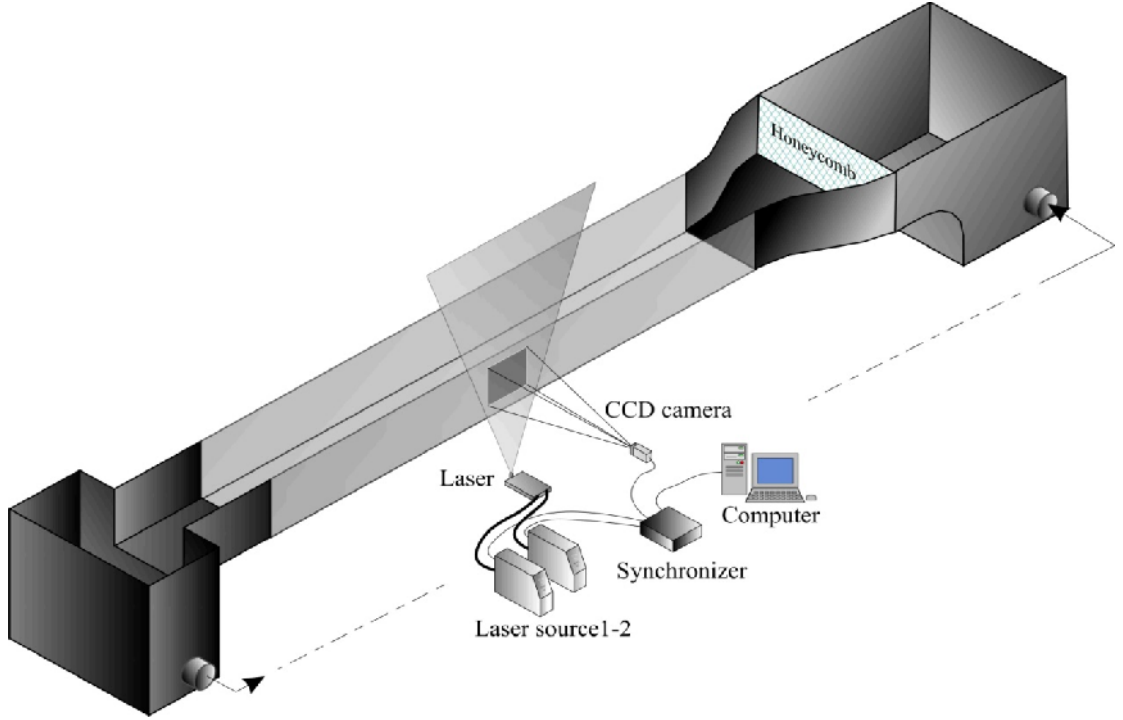
akı larında, ısı de i tiricilerinde ve akı kan makinelerinin tasarımı gibi konularda kullanılmaktadır. Burada özetlenen kullanım alanlarından anlaşıldığı üzere, Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçme Tekni i (PIV) birçok akı kanlar mekani i uygulamalarında sıkça kullanılan bir ölçüm tekni idir. Ayrıca, bilgisayar ve elektronik sanayindeki geli meye paralel olarak PIV sisteminin kapasitesi ve performansı da giderek artmaktadır.

Bilindi i gibi karma ık geometrilerde, daimi olmayan ayrılmı akı ortamında girdaplar olmaktadır. Kompresörlerde, türbinlerde, pompalarda, otomotiv teknolojisinde, ısı de i tiricilerinde, uçak gövdesinin muhtelif bölgelerinde girdap olmakta ve olunan bu girdaplar sistemin performansını etkilemektedir. Örne in, kompresörlerin kanatlarının arasında olunan girdap, kanadın de i ik noktalarına e it olmayan kuvvetler uygulayarak sistemin performansını dü ürme ve sistemde titre im ve gürültü olu turarak arızalara neden olmaktadır. Benzer eilde, uçakların gövdelerinin muhtelif bölgelerinde olunan girdap, uçakların manevra gücünü azaltmakta ve girdapların olu turdu u yüklerle malzeme yorulması ve nihayetinde malzemelerde çatlaklara neden olmaktadır. Pilotsuz uçak kullanımı söz konusu oldu unda günümüzde bu tür uçakların manevra kabiliyetini arttırabilmek için uçak gövdesinin olu turdu u spiral girdapların ve girdap çökmelerinin kontrolü gerekmektedir. Bu tür girdapların çökmelerinin fizi ini ve anlık davranı larını en iyi eilde PIV ölçme tekni i ile anlamak mümkündür.

çten yanmalı motorlarda yanmanın daha sa lıklı gerçekleşmesi ve verimin arttırılması için yo un ara tırmalar yapılmaktadır. Bu tür sistemlerin verimini arttırabilmek için çe itli geometrik tasarımlara sahip yanma odalarında olunan girdaplı akı ın yapısı, PIV ölçme yöntemiyle belirlenen yanma verimini arttıracak en uygun geometrilerin veya parametrelerin ara tırılmasıyla geli ebilmektedir.

Ayrıca, bio-mühendislik alanında damarlardaki veya kalpteki akı ın yapısı PIV ölçme yöntemi kullanılarak belirlenebilmektedir. Isı transferi ve hidrolik ile ilgili PIV uygulamalarına da literatürde sıkça rastlanmaktadır (Öztürk, 2006).

Deneylerde kullanılan kanal ile Parçacık Görüntüleme Hız Ölçme Tekni inde kullanılan donanımın elemanları ekil 3.3' te gösterilmektedir. ekilde görüldü ü gibi PIV sisteminde iki adet lazer kayna ı, bilgisayar, CCD kamera ve e zamanlayıcı bulunmaktadır.



ekil 3.3. Deney düzene i ve parçacık görüntülemeli hız ölme tekni inde kullanılan donanım elemanları (Öztürk, 2006)

Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçme Tekni inde hız ölçümü yapabilmek için akı (su) içerisine 10–20 mikrometre çapında, yoğunlu u akı kanın yoğunlu una yakın parlak gümü kaplı plastik parçacıklar serpi tirilmektedir. Çift darbeli 120 mJ gücündeki lazer ünitesi (Nd: YAG Lazer) tarafından üretilen lazer ı mı optik aletler deste iyle 1-2 mm kalınlı nda ve 50 cm geni li inde lazer huzmesi haline getirilmektedir. Lazer huzmesiyle aydınlatılan bu bölgede hareket eden parçacıkların iki adet foto rafı, arka arkaya milisaniye mertebesindeki zaman aralı nda (Δt) 1kbX1kb çözünürlü e sahip dijital kamera ile çekilmekte ve bilgisayar ortamına aktarılmaktadır.

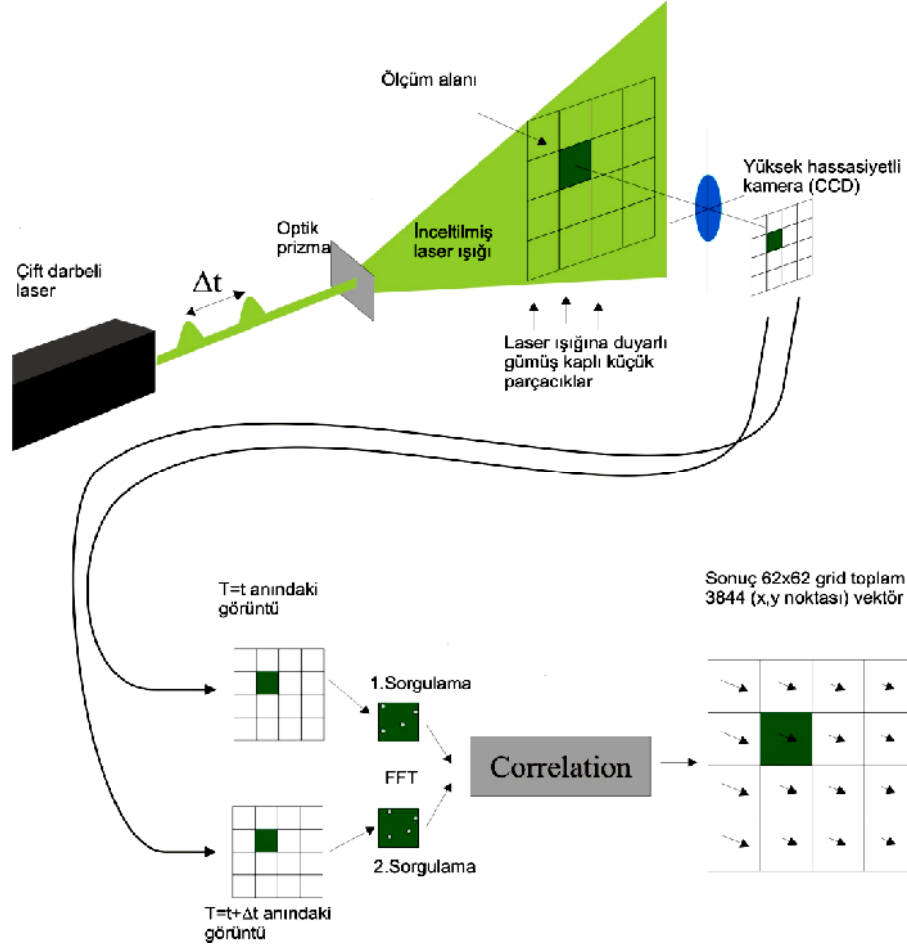
iki foto raf arasındaki süre tamamıyla akı ın yapısına ba lıdır. Lazer kayna ı darbeli tip oldu u için lazer ile kameranın e zamanlı olarak çalı ması gerekmektedir. Yani, lazer kayna ından çıkan lazer huzmesi ölçüm yapılan bölgeyi aydınlattı ı anda dijital kamera

aydınlatılmış olan bu bölgenin foto rafını çekmektedir. Lazer kayna ı ile dijital kamera arasındaki zamanlamayı ayarlayan cihaz e zamanlayıcı olarak adlandırılmakta ve bir bilgisayar tarafından kontrol edilmektedir.

Bilgisayara aktarılan bu resimler genellikle 64x64 piksel ebatlarındaki (gerekti inde bu ebatlar arttırılabilir veya azaltılabilir) a olarak adlandırılan küçük bölgelere ayrılmaktadır ve her bir bölge içerisinde yaklaşık olarak 30 civarında metal kaplı parçacık bulunmaktadır. ‘Hızlı Fourier’ dönü ümü kullanılarak her bir a bölgesindeki parçacıkların çekilen iki görüntü arasındaki yer de i tirmeleri bulunmaktadır. Her iki görüntü arasındaki t zaman aralığı ve parçacıkların aldıkları mesafe bilindi inden göz önüne alınan a bölgelerindeki hız vektörleri hesaplanmaktadır. Parçacık görüntülemeli hız ölçme tekni inin görüntü i leme prensiplerinin a amaları ematik olarak ekil 3.4’ te gösterilmiştir. Bu yöntem ile akı alanında 15 Hz frekansa kadar ölçüm yapabilmek mümkündür. Akı alanındaki hız vektörlerinin belirlenmesi ile girdap, akım çizgisi ve sirkülasyon gibi akı ın yapısı hakkında bilgi veren di er parametreler de bulunabilmektedir. Bu akı ölçme tekni i, türbülanslı akı yapılarının fiziksel olarak anlaşılmasına son yıllarda büyük faydalar sağlamıştır.

Ölçüm alanında aydınlatılan parçacıkların hareketlerinin yakalanabilmesi için yüksek çözünürlüklü bir CCD (Charge Coupled Device) kamera, lazer demetine dik bir pozisyonda yerleştirilmiştir. Lazer parlaması ve kamera senkronize bir şekilde çalışmakta böylece lazer demetinin birinci anlık parlaması kamerada birinci kareye, ikinci parlaması da ikinci kareye kaydedilmekte ve ikinci kayıttan sonra her iki kare de bilgisayara aktarılmaktadır. Bu çalışmada 1024x1024 piksel çözünürlükteki bir CCD kamera kullanılmıştır.

Yukarıda açıklandığı gibi PIV’ nin çalışması prensibini test alanı içerisinde aydınlatılan parçacıkların yer de i tirmesinin tespiti olarak özetlemek mümkündür. Bu yer de i tirmenin belirlenmesinde en çok kullanılan yöntemler parçacık izleme ve korelasyondur. Bu çalışmada, parçacıkların yer de i tirmesinin hesabı 64x64 sorgulama ekranı ile adaptive-korelasyon tekni i kullanılarak yapılmıştır.



ekil 3.4. PIV çalı ma prensibi (www.dantecdynamics.com 'dan alınmı tır., 2010)

Deney verilerinin daha rahat okunabilmesi ve lazer ışığının sebep olduğu gölgelemenin azalması için elips silindirin etrafındaki akı , bölgelere ayrılarak çekilmiştir.

Kameradan aktarılan anlık resimler bilgisayar içerisindeki bir resim yakalayıcı ile okunmuş ve TXT dosyası formatında hafızaya kaydedilmiştir. Bu dijital resimlerin prosesi ve analizi DANTEC DYNAMICS sistemi ve içerisinde yer alan FLOW MANAGER v4.71 yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Her bir bölgede toplam 300 anlık görüntü kaydedilmiştir. Elde edilen TXT uzantılı dosyalar prosese edilip, CLEANVEC programıyla da (Türbülanslı ve karmaşık akı laboratuvarı Illinois Üniversitesi tabanlı) istatistiksel Fourier filtresiyle prosese edilen ham vektörler içerisinde kötü ve bozuk diye tabir edilen vektörleri temizler. Daha sonra temizlenen vektörler yerine istatistikî olarak yeni vektörler alınarak akı yapısının anlık hız alanları bulunmaktadır. 300 adet anlık alınan resimlerin ortalamaları alınarak akı yapısının

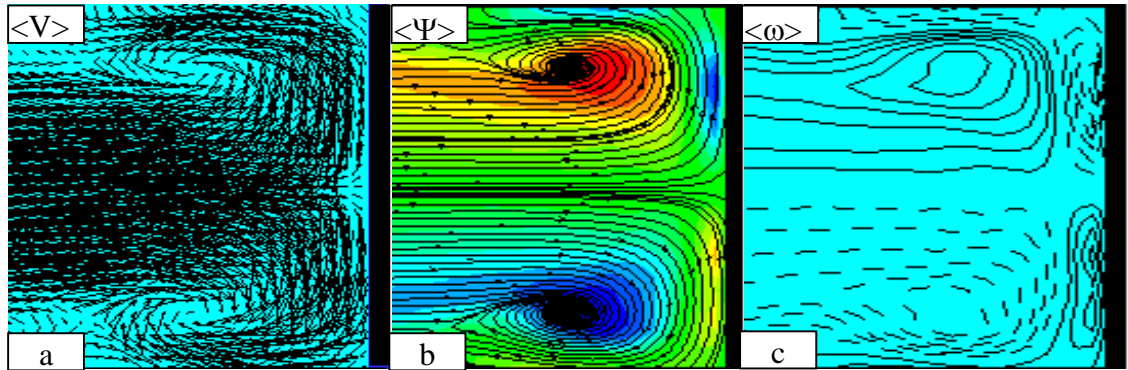
zaman-ortalama hız alanları $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$ ve kontur çizimleri $\langle \omega \rangle$ elde edilmektedir.

Akış kanları mekani ini uygulamalarında görselleştirme çalışmaları için üç ayrı görselleştirme teması üzerinde durulmuştur. Bunlar hız alan vektörleri $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$ ve girdap konturları $\langle \omega \rangle$ olarak adlandırılmaktadır. Akış yapısının PIV tekni inde daha net anlaşılabilmesi için kullanılan bu görsel akış parametreleri, örnek olarak şekil 3.5’de verilmiştir.

Hız vektörleri $\langle V \rangle$ çizimi; belirli bir anda vektörel özelliğinin yönünü ve iddetini gösteren oklar dizisidir yani akışın yönünü ve iddetini gösteren vektörler deseni toplamıdır. (şekil 3.5-a)

Akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$ çizimi, her yerde anlık yerel hız vektörüne teğet olan bir eğridir (şekil 3.5-b). Bu çizimler, akış alanı boyunca akışkan hareketinin anlık yönlerini göstermeleri bakımından oldukça kullanılıştır. Örneğin, sürekli dolanımlı akış bölgeleri akım çizgileri deseni yardımıyla kolaylıkla saptanabilir.

Girdap konturları $\langle \omega \rangle$ çizimi, belirli bir andaki sabit skaler özelliklerini gösterir (şekil 3.5-c). Bu çizimler ile incelenen akış özelliğinin yüksek (veya düşük) değerli bölgelerini hızlı bir biçimde gösterir.



Şekil 3.5. PIV tekni inde görselleştirilmede kullanılan (a) hız vektörleri $\langle V \rangle$, (b) akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$, (c) girdap konturları $\langle \omega \rangle$ görüntüleri

4. ARA TIRMA BULGULARI VE TARTI MA

4.1. Ara tırma Bulguları

ki plaka arasına yerle tirilmi farklı görünü oranına (GO) sahip olan elips silindirler üzerindeki akı yapısı PIV tekni i kullanılarak incelenmi tir. Deneylerde iki plaka arasındaki elips silindirin önündeki ve arkasındaki akı yapısı incelenmi , daha sonra olu an akı yapısı dairesel silindir kullanılarak (GO=1) yapılan deneylerle karşılaştırılmı tir. Dikkate alınan geometrilerde akı yapısı belirli bir akı alanında ölçülen anlık hız vektörlerinin analizi sonucunda zaman ortalama hız vektörleri, akım çizgileri ve girdap de erleri olarak hesaplanmı tir.

Hız kalibrasyonları ve Reynolds sayılarını bulmak amacıyla öncelikle 20mm yüksekli e sahip iki düzlem plaka arasındaki akı yapısı PIV tekni i ile incelenmi ve bu iki düzlem plaka arasındaki hız alanları ölçülmü tür. Ölçülen hız alanları ve silindir geometrisi çapını göre de deney esnasında kullanılan Reynolds sayısı de erleri tespit edilmi tir.

Yapılan literatür çalı malarıyla uygun olması bakımından Reynolds sayısının 1500, 4000, 6000, 8000 ve 10000 de erleri için deneyler gerçekleştirilmı tir.

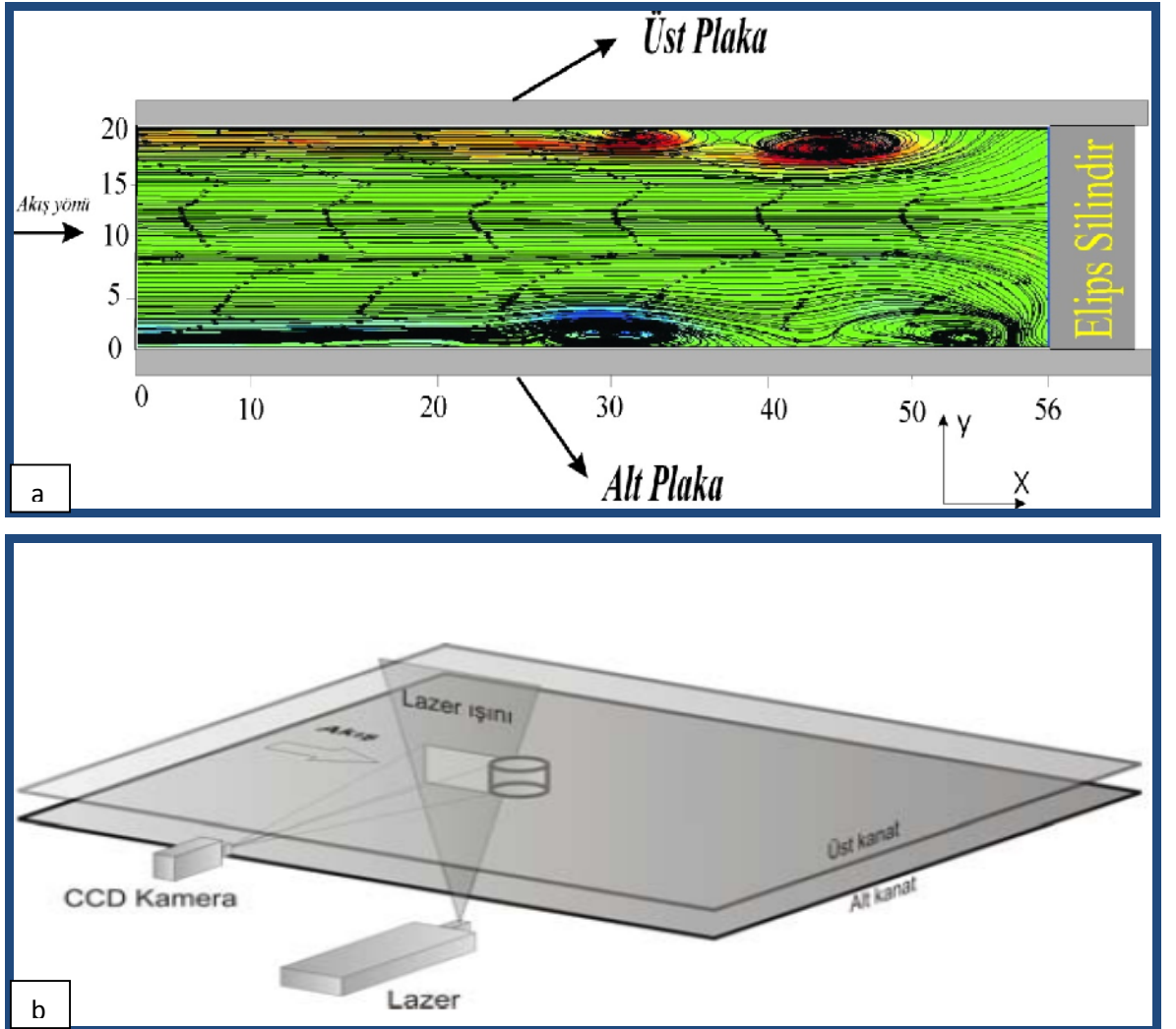
Deneyler esnasında PIV tekni i ile görüntü alabilmek için lazer huzmesi tam olarak silindir dikey simetri ekseninden geçirilerek silindir geometrisi önünde ve arkasındaki akı yapısı elde edilmi tir.

Akı yönüne (x-yönü) göre olu an akı yapısını daha net görüntüleyebilmek için görüntü alanları, elips silindirin ön ve arka kısmında, 20mm yükseklik ve 56mm uzunlu unda bir alan için seçilmı tir (ekil 4.1).

4.2. İki Plaka Arasındaki Elips Silindir Önündeki Akış Yapısı

İki plaka arasına yerleştirilmiş, akış yönüne karşı konumlandırılan, elips silindirlerin yan görünüşü (side-view) resimleri ve yorumları bu bölümde verilecektir. Görüntülerde $GO=1$ ve 2.33 arasında değişen elips silindirlerin, sırası ile hız vektörü $\langle V \rangle$, akım çizgisi $\langle \Psi \rangle$ ve girdap konturları $\langle \omega \rangle$, Reynolds sayısının $Re_d=1.500-10.000$ değerleri için analiz edilecektir.

Şekil 4.1’de deney düzeninin yan görünüşleri ile yan görünüşlerde kamera ve lazerin pozisyonları gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Deney düzeninin (a) yan görünüşü, (b) lazer ve kamera pozisyonu

Deneylerden elde edilen hız vektörleri $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$ ve girdap kontur $\langle \omega \rangle$ görüntülerinin Reynolds sayılarına göre de i imlerinin verilmi olması, farklı Reynolds sayılarındaki akı yapısının kar ıla tırılması için düzenlenmi tir. Yapılan tüm PIV deneyleri sonucu elde edilen akım çizgileri görüntülerinde aynı anda girdap konturları da, akı yapısının anla ılmasında daha etkin rol oynadı ı için renklendirme yapılarak verilmi tir. Bu renklendirme i leminde mavi ve turuncu renkler girdapların merkezlerini daha net ifade etmekte, pozitif (kırmızı renk) ve negatif (mavi renk) olu an girdap hareketlerini akım çizgileriyle birlikte göstermektedir. Girdap konturlarının durumları; kesik çizgiler ile saat yönünde (negatif) bir hareket izledi ini, düz çizgiler ile de saat tersi yöndeki (pozitif) hareket izledi ini belirtmektedir.

ekil 4.2’de iki düzlem paralel plaka arasındaki $GO=1$ de erinde silindir önünde silindir çapına ba lı Reynolds sayısının $Re_d=1500-10000$ de erleri arasında olu an akı yapısındaki zaman ortalama hız vektörleri $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$, girdap konturlarının $\langle \omega \rangle$ yan görünü leri verilmi tir. ekilde akı yönü soldan sa a do ru akmaktadır.

ekillerin alt ve üst çizgileri, düzlem plakaları göstermekte olup sa taraftaki siyah dolgu çubuk ise silindir geometrisini temsil etmektedir. ekilde birinci sütun zaman-ortalama hız vektör $\langle V \rangle$ alanlarını, ikinci sütun zaman-ortalama akım çizgilerini $\langle \Psi \rangle$, üçüncü sütun ise zaman-ortalama girdap konturlarını $\langle \omega \rangle$ göstermektedir.

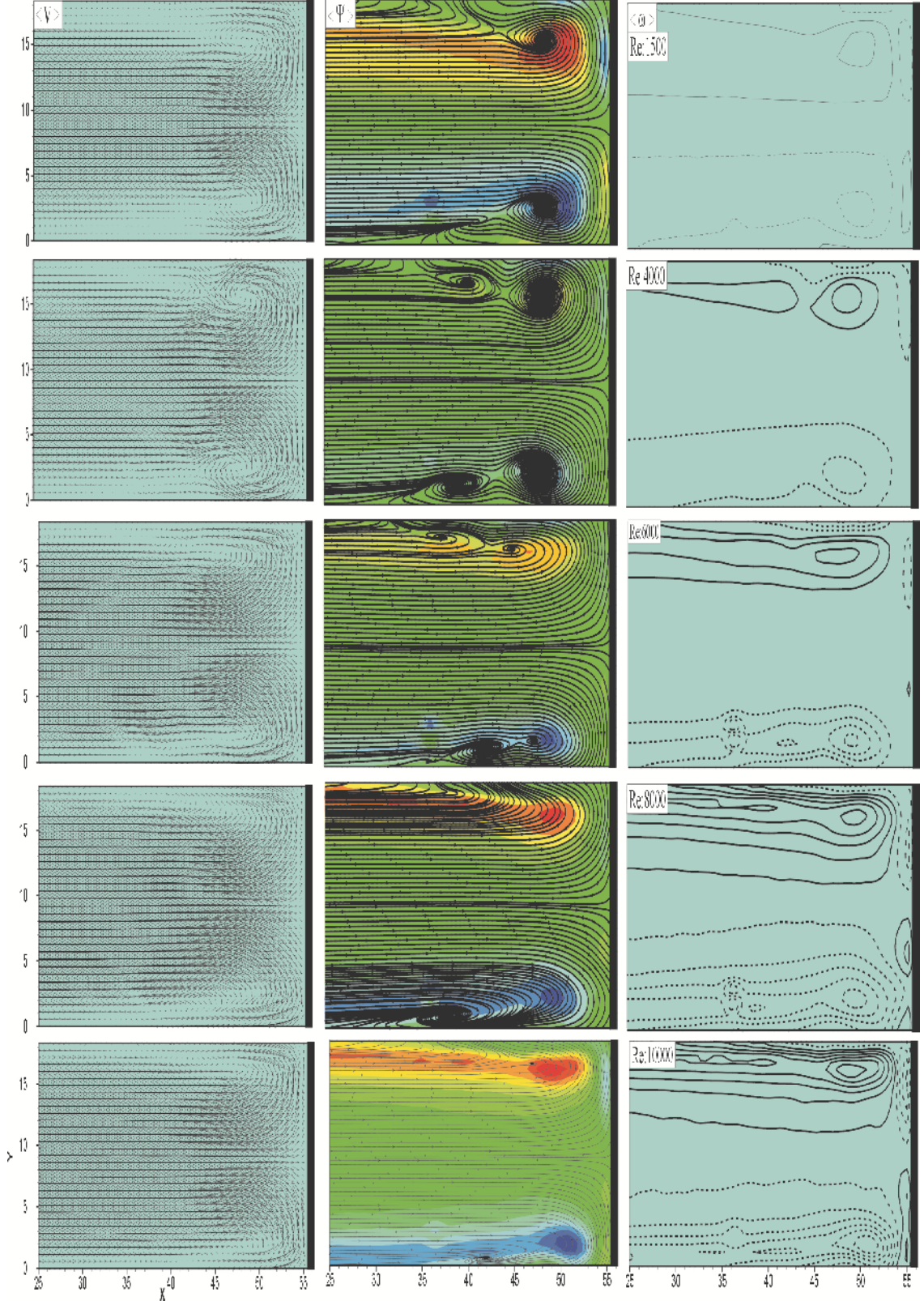
Birinci sütunda $Re_d=1500$ ile $Re_d=10000$ de erleri arasındaki akı yapısına ait hız alanları $\langle V \rangle$ verilmektedir. $Re_d=1500$ de erindeki hız vektörü alanlarında dü ük hızla silindire çarpan akı , silindir yüzeyi orta noktası bölgesinde bir durma noktası (stagnation point) meydana getirmektedir. Akı esnasında saat yönü negatif, saatin tersi yönü pozitif olmak üzere; akı simetrik bir da ılım ile negatif yönde a a ı plaka yüzeyine do ru, pozitif yönde ise yukarı plaka yüzeyine do ru hareket etmektedir. Bunun neticesinde düzlem plaka ile silindir alt ve üst birle me bölgelerinde iki adet dairesel girdap yapısı ve girdap merkezlerinde ise hız alanlarının sıfır oldu u durma noktalarının (focus/foci) varlı ı görülmektedir. kinci sütunda akım çizgilerinden de anla ılaca ı gibi düzlem plaka alt ve üst yüzeylerinde yakla ık aynı bölgede olmak üzere ayrılma noktaları görülmektedir. Aynı zamanda düzlem plaka uzak bölgesi olan iki plaka arası orta düzleminde ise üniform akı yapısı gözlenmektedir. Üçüncü sütunda ise kontur çizgilerinde benzer ekilde silindir ve üst düzlem plaka birle me bölgesinde

pozitif ve silindir ve alt düzlem plaka birleşme bölgesinde negatif yönde dönen birer adet girdap yapısı görülmektedir.

Şekil 4.2'de Reynolds sayısının $Re_d=4000$ değerine yükselmesi ile zaman-ortalama hız alanlarında $\langle V \rangle$, $Re_d=1500$ değerindeki akı yapısı ile benzer özellik göstermektedir. Akım çizgileri şeklinde ise alt ve üst düzlem plaka yüzeylerinde akı ayrılması biraz daha akı yönüne doğru geriden başlaması ile birlikte silindir yüzeyi ile düzlem plaka birleşme yerlerinde birincil girdap oluşumu yanında daha küçük boyutlu ikincil girdap oluşumu ve iki adet odak noktasının oluştuğu görülmektedir. Oluşan birincil ve ikincil girdap merkezlerinin yaklaşık orta bölgesi civarında ise hız değerlerinin sıfır olduğu akımın durduğu durma noktası (saddle point) adı verilen bölge oluşmaktadır. Kontur çizimlerinde de $Re_d=1500$ değerindeki akı 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 kontur çizimlerinde görülmektedir.

Reynolds sayısının $Re_d:8000$ ve 10000 değerlerinde alt ve üst plakaya yakın birleşme bölgelerinde akı yapısı hız alanlarından görüleceği üzere girdap yapısını eliptik biçimde oluşturur. Aynı zamanda pozitif ve negatif yönlü eliptik ayrılma yapısı nispeten simetrik bir görünüm izlenmektedir. Akım çizgileri görüntülerinde ve kontur 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 kontur çizimlerinden açık bir şekilde anlaşılmaktadır.



ekil 4.2. $GO=1$ de erinde silindir önünde, silindir çapına ba lı Reynolds sayısının $Re_d=1500-10000$ de erleri arasında olu an akı yapısındaki zaman-ortalama hız vektörleri $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$, girdap konturlarının $\langle \omega \rangle$ yan görünü leri

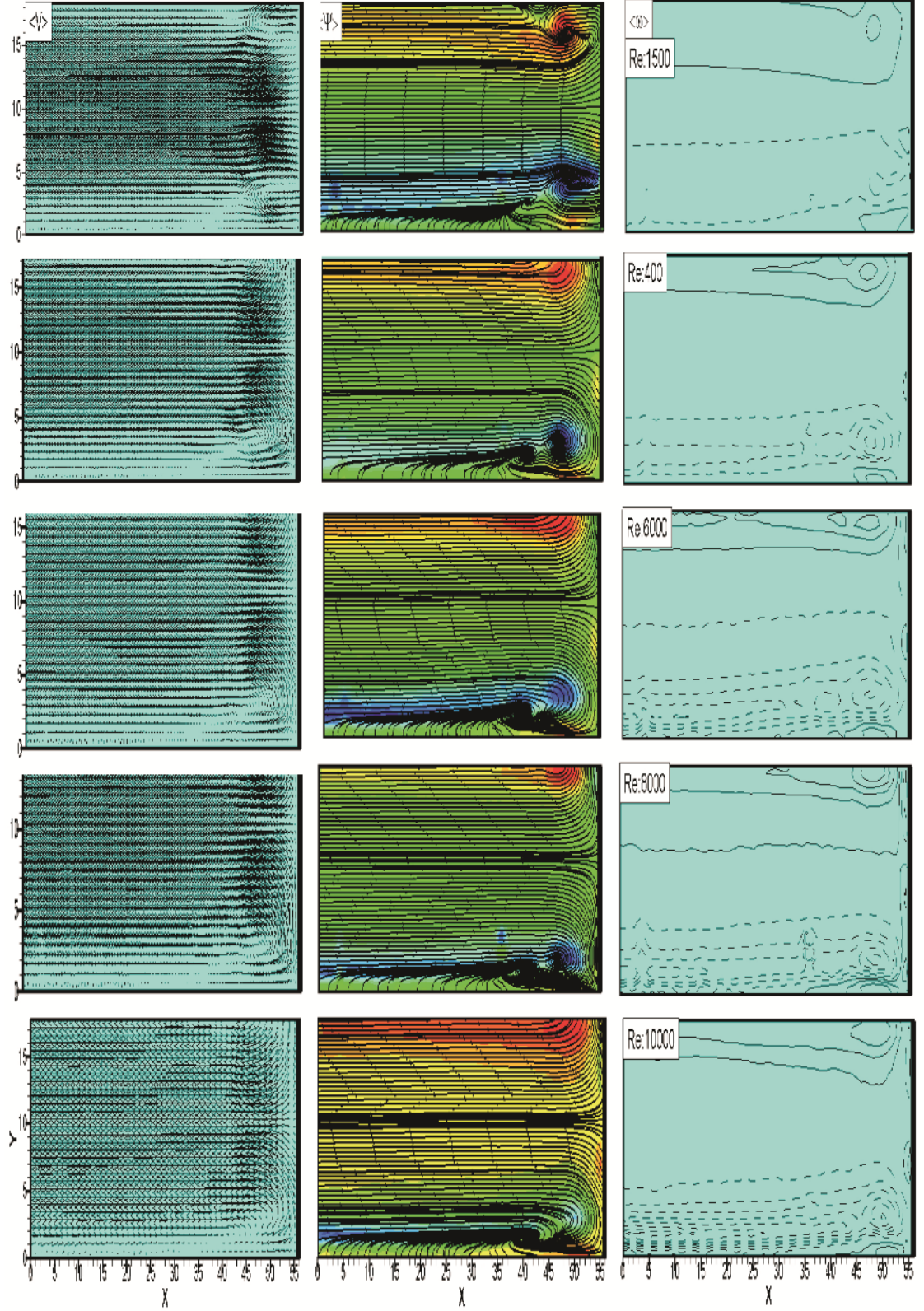
GO=1.14 de erindeki elips silindir önünde silindir çapına ba lı Reynolds sayısının $Re_d=1500-10000$ de erleri arasında olu an akı yapısının zaman-ortalama hız vektörleri $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$, girdap konturlarının $\langle \omega \rangle$ yan görünü leri ekil 4.3' de verilmi tir.

Birinci sütunda $Re_d=1500$ ile $Re_d=10000$ de erleri arasındaki akı yapısına ait hız vektörleri $\langle V \rangle$ verilmektedir. Bu vektörler alt ve üst düzlem plaka orta kesit düzleminde üniform bir akı yapısı sergileyip alt ve üst düzlem plaka yüzeylerinde akı sınır tabaka etkisinde hareket etmektedir. Resim düzlemine göre sol taraftan gelen akı yapısı elips silindir yüzeyine çarptı ında, elips silindir yüzeyi orta bölgesinden alt ve üst tarafa simetrik bir bölünme ile ayrılmı tur. Burada geli en dü ük yo unluklu hız vektörleri hızların azaldı ı bölgeleri göstermektedir.

kinci sütunda akım çizgileri görüntüsünde elips silindir yüzeyine çarpan akı , düzlem plaka alt ve üst bölgesi ile elips silindir birle me noktası civarında girdap olu turmu , alt ve üst tabakada girdaptan sonra durma noktaları (saddle point) olu turmaktadır.

Üçüncü sütunda girdap konturlarında simetrik bir akı olu makta düzlem plaka alt ve üst bölgesi ile elips silindir birle me noktası civarında sırasıyla negatif ve pozitif yönde dönen girdap yapıları görölmektedir.

Reynolds de eri $Re_d=6000$ de eri için hız vektör $\langle V \rangle$ alanlarında, $Re_d=1500$ ve $Re_d=4000$ de erlerinden farklı olarak, düzlem plaka ile silindir birle me bölgelerinde olu an dairesel girdap yapısı, girdap merkezinden yukarı akı ve a a ı akı yönüne do ru, yayılarak eliptik bir yapıya dönü mektedir. Bu durum akım çizgileri ve kontur çizimlerinde de açık bir ekilde gözlenmektedir. Aynı zamanda Reynolds sayısının artması ile birlikte olu an girdap yapılarının boyutlarının küçüldü ü ve iddetinin arttı ı akım çizgileri ve kontur çizimlerinde görölmektedir. Akım çizgileri görüntülerinde, $Re_d=6000$ de erinde ve bu de erden daha büyük Reynolds de erlerinde düzlem plaka ile elips silindir birle me bölgesinde olu an girdapların, arkalarında olu turdukları ikincil girdaplarla birle tikleri görölmektedir. Reynolds sayısının $Re_d:8000, 10000$ de erlerinde türbülanslı akı yapısının olu turdu u durum GO=1 de erindeki silindir ile benzer akı yapısındadır. Aralarındaki tek fark düzlem plaka ile elips silindir birle me bölgesinde olu an girdap yapısının, elips silindire daha yakın olu masıdır. Bu durum akım çizimlerinde net ekilde görölmektedir.



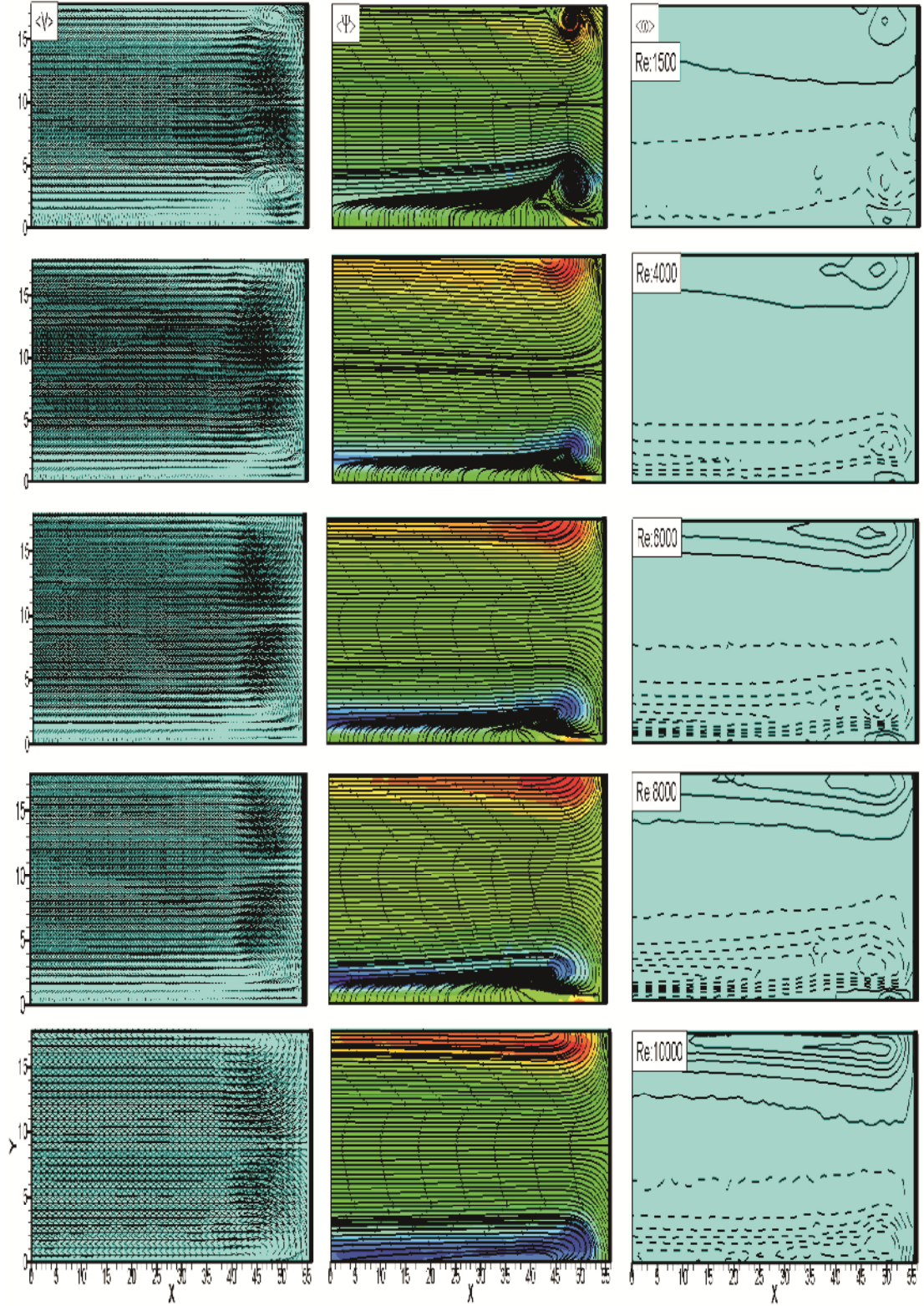
ekil 4.3. $GO=1.14$ de erindeki elips silindir önünde, elips silindir çapına ba lı Reynolds sayısının $Re_d=1500-10000$ de erleri arasında olu an akı yapısındaki zaman-ortalama hız vektörleri $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$, girdap konturlarının $\langle \omega \rangle$ yan görünü leri

GO=1.4 de erindeki elips silindir önünde Reynolds sayısının $Re_d=1500-10000$ de erleri arasında olu an akı yapısındaki zaman-ortalama hız vektörleri $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$, girdap konturlarının $\langle \omega \rangle$ yan görünü leri ekil 4.4'de verilmi tir.

Birinci sütunda $Re_d=1500$ ile $Re_d=10000$ de erleri arasındaki akı yapısına ait hız vektör $\langle V \rangle$ alanları verilmektedir. $Re_d=1500$ ve $Re_d=4000$ de erlerindeki hız vektör alanlarında, alt ve üst düzlem plaka uzak bölgelerinde üniform bir akı yapısı sergilemektedir. Akı ın elips silindir yüzeyine çarpması ile elips silindir ortasından alt düzlem plaka ve üst düzlem plaka tarafına simetrik bir bölünme ile ayrılımtır. Bu ayrılmadan sonra akı alt ve üst plaka birle im noktalarından ikiye ayrılımtı ve girdaplar olu turmu lardır. Bu girdapların merkezlerinde, dü ük yo unluklu hız vektörleri hızın sıfır oldu u bölgeleri göstermektedir.

kinci sütunda akım çizgileri görüntüsünde elips silindire çarpan akı kan, plaka alt ve üst bölgesinde girdap olu turmu tur. Yüksek Reynolds de erleri ile olu an türbülanslı akı yapısı ($Re_d=6000, 8000, 10000$) için akım çizgileri görüntülerinde, $Re_d=1500$ ve $Re_d=4000$ de erlerinden farklı olarak, düzlem plaka ile elips silindir birle me bölgelerinde dairesel girdap yapısı baskınla arak eliptik bir yapıya dönü mektedir

Üçüncü sütunda girdap konturlarında simetrik bir akı olu makta kesik çizgiler girdap konturlarındaki saat yönündeki akı ları, düz çizgiler girdap konturlarındaki saatin tersine akı ları belirtmektedir. Girdap kontur görüntülerinde de girdap olu umu net ekilde gözlemlenmektedir. Reynolds sayı de erlerinin artması ile birlikte, olu an girdap yapılarının boyutlarının küçüldü ü ve iddetinin arttı ı, kontur resimlerinde ve akım çizgileri renklendirmelerinde görülmektedir.



ekil 4.4. $\alpha=1.4$ de erindeki elips silindir önünde elips silindir çapına ba lı Reynolds sayısının $Re_d=1500-10000$ de erleri arasında olu an akı yapısındaki zaman-ortalama hız vektörleri $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$, girdap konturlarının $\langle \omega \rangle$ yan görünü leri

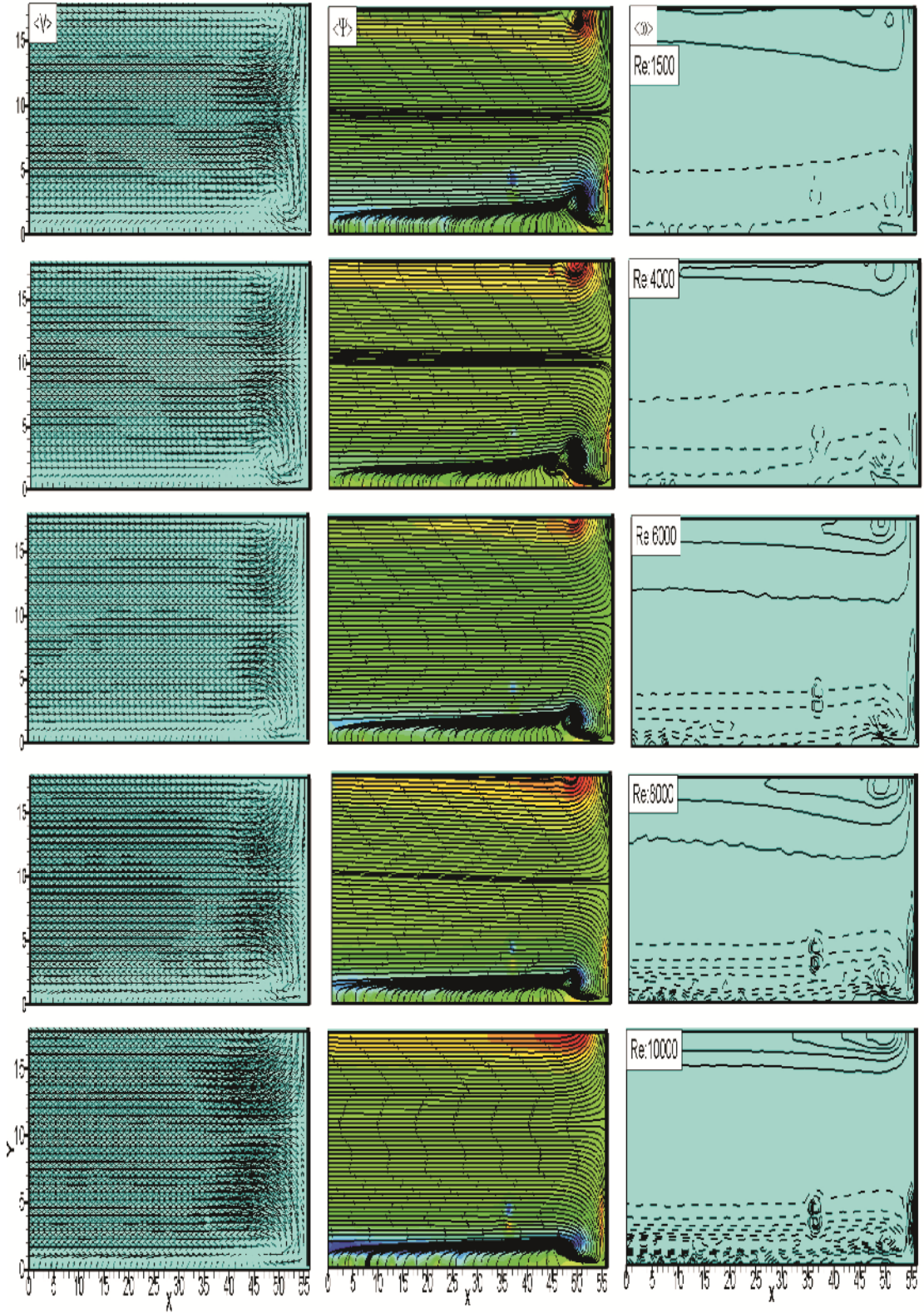
ekil 4.5' de $GO=1.75$ de erindeki elips silindir önünde elips silindir çapına ba lı Reynolds sayısının $Re_d=1500-10000$ de erleri arasında olu an akı yapısındaki zaman-ortalama hız vektörleri $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$, girdap konturlarının $\langle \omega \rangle$ yan görünü leri verilmi tir.

Birinci sütunda $Re_d=1500$ ile $Re_d=10000$ de erleri arasındaki akı yapısına ait hız alan $\langle V \rangle$ vektör resimleri verilmektedir. $Re_d=1500$ ve $Re_d=4000$ de erlerindeki vektörler üniform bir akı yapısı sergileyip elips silindire çarptı nda elips silindir ortasından üst plaka ve alt plaka tarafına simetrik bir bölünme ile ayrılmı tır. Bu ayrılma noktasından (stagnation point) sonra olu an girdap yapılarında spiral iç döngüye sahip durma noktaları olan fociler görülmektedir.

kinci sütunda akım çizgileri görüntüsünde elips silindir yüzeyine çarpan akı kan, plaka alt ve üst bölgesinde girdap olu turmu tur. Geometrinin de etkisiyle, akı n elips silindir cidarıyla kar ıla ma anında girdap olu umundan önce ters akı lar meydana gelmektedir. Bu ters akı ların çalkantılı bir akı a neden olacakları öngörülmektedir.

Üçüncü sütunda girdap konturlarında yine simetrik bir akı olu makta kesik çizgiler girdap konturlarındaki negatif yöndeki akı ları, düz çizgiler girdap konturlarındaki pozitif yöndeki akı ları belirtmektedir.

Yüksek Reynolds de erleri ile olu an türbülanslı akı yapısı ($Re_d=6000, 8000, 10000$) için hız vektörlerinde, $Re_d=1500$ ve $Re_d=4000$ de erlerinden farklı olarak, düzlem plaka ile elips silindir birle me bölgelerinde dairesel girdap yapısı baskınla arak eliptik bir yapıya dönü mektedir. Bu durum akım çizgileri ve kontür çizimlerinde de açık bir ekilde gözlemlenmektedir. Akı yapısının iki düzlem plaka ile elips silindir yüzeyinde birle me bölgesinde olu an ayrılma durumu, artan Reynold sayı de erleri ile simetrik yapısını kaybederek alt plaka bölgesinde baskınla maya ba lamı tır. Aynı zamanda Reynolds sayısının artması ile birlikte olu an girdap yapılarının boyutlarının küçüldü ü ve iddetinin arttı 1, akım çizgileri renklendirmesinde ve kontür çizimlerinde görülmektedir.



ekil 4.5. $GO=1.75$ de erindeki elips silindir önünde elips silindir çapına ba lı Reynolds sayısının $Re_d=1500-10000$ de erleri arasında olu an akı yapısındaki zaman-ortalama hız vektörleri $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$, girdap konturlarının $\langle \omega \rangle$ yan görünü leri

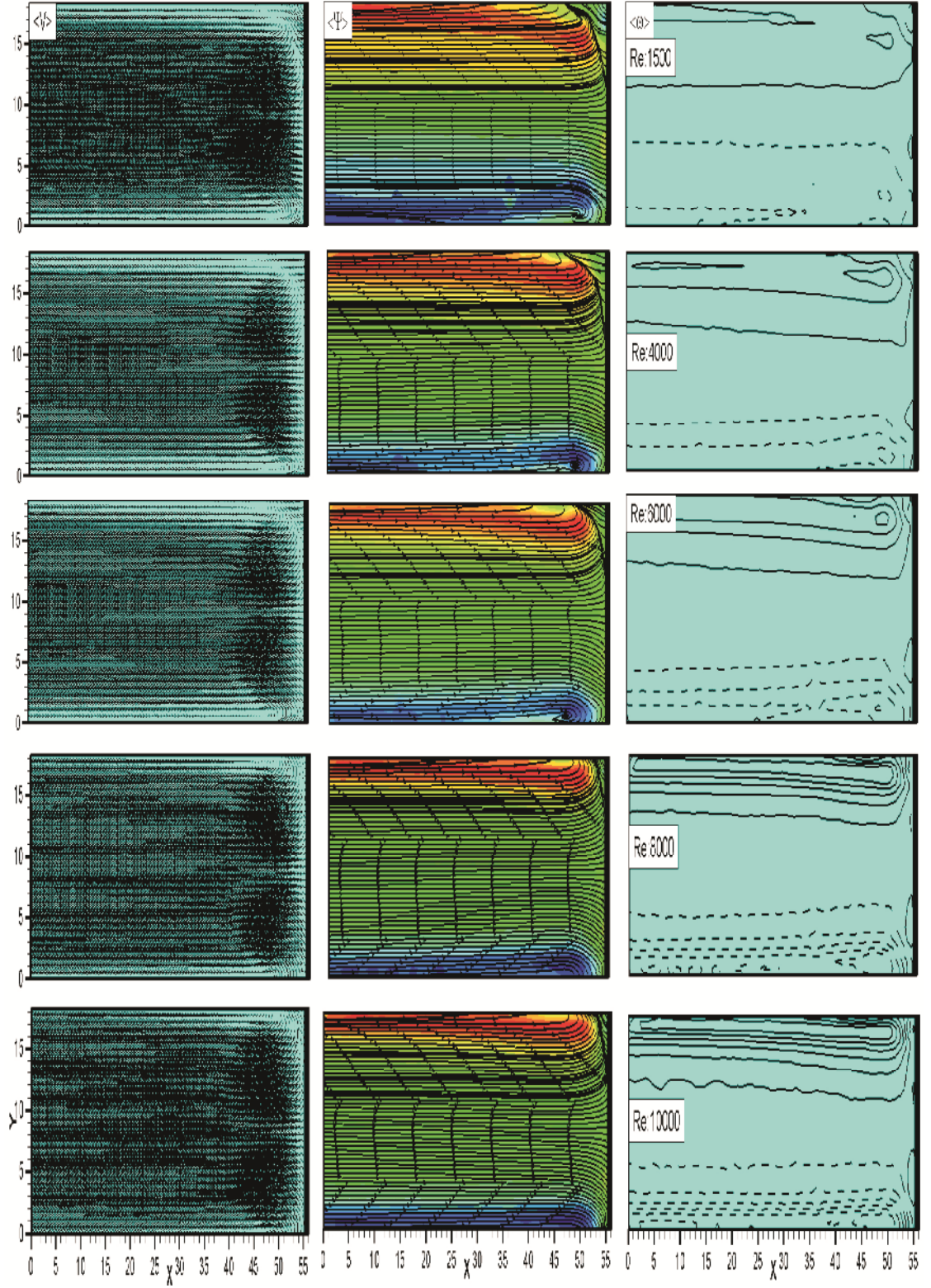
GO=2.33 de erindeki elips silindir önünde Reynolds sayısının $Re_d=1500-10000$ de erleri arasında olu an akı yapısındaki zaman-ortalama hız vektörleri $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$, girdap konturlarının $\langle \omega \rangle$ yan görünüşleri ekil 4.6' da verilmiştir.

Birinci sütunda $Re_d=1500$ ile $Re_d=10000$ de erleri arasındaki akı yapısına ait hız vektörleri $\langle V \rangle$ verilmektedir. $Re_d=1500$ ve $Re_d=4000$ de erlerindeki vektör görüntülerinde, akı elips silindire çarptı ında elips silindir ortasından alt düzlem plakaya ve üst düzlem plakaya, nispeten simetrik bir bölünme ile ayrılmıştır. Bu ayrılmadan sonra olu an akı yapısı, alt plakada bir girdap olu turmaya çalı mı tır. Üst plakada ise geometrinin verdi i bir sonuçla, ters akı lar olu maktadır. Bu ters akı yapısının Reynolds de erleri arttıkça üst plakaya do ru yakınla maktadı u görülmektedir.

İkinci sütunda akım çizgileri görüntüsünde elips silindire çarpan akı kan, plaka alt bölgesinde girdap olu turmu , fakat üst plakada ters akı olu turmu tur. Geometrinin etkisiyle, akı ın elips silindir cidarıyla kar ıla ma anında üst plakada ters akı meydana gelmektedir. Bu ters akı ın çalkantılı bir akı a neden olaca ı öngörülmektedir.

Üçüncü sütunda girdap konturlarında nispeten simetrik bir akı olu maktaki kesik çizgiler girdap konturlarındaki saat yönündeki negatif akı ları, düz çizgiler girdap konturlarındaki saatin tersi yönündeki pozitif akı ları belirtmektedir. Girdap kontur görüntülerinde de ters akı yapısı, kesik ve düz çizgilerle birlikte net bir ekilde gözlemlenmektedir.

Yüksek Reynolds de erleri ile olu an türbülanslı akı yapısı ($Re_d=6000, 8000, 10000$) için hız alan vektörlerinde, $Re_d=1500$ ve $Re_d=4000$ de erlerinden farklı olarak, düzlem plaka ile elips silindir birle me bölgelerinde üst plakada olu an ters akı artan Reynolds de eriyle üst plakaya do ru yakınla maktadır. Bu durum akım çizgileri ve kontur çizimlerinde de açık bir ekilde gözlemlenmektedir. Aynı zamanda Reynolds sayısının artması ile birlikte olu an akı yapısındaki de i iklikler akım çizgileri ve girdap konturlarında net bir ekilde görülmektedir.



ekil 4.6. $GO=2.33$ de erindeki elips silindir önünde elips silindir çapına ba lı Reynolds sayısının $Re_d=1500-10000$ de erleri arasında olu an akı yapısındaki zaman-ortalama hız vektörleri $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$, girdap konturlarının $\langle \omega \rangle$ yan görünü leri

ki düzlem plaka arasındaki dairesel silindir yapısı ile elips silindir yapısı, plakalı ısı de i tiricilerinin uygulama alanlarında, yapım a amasında ve optimizasyonunda önemli yer tutmaktadır. Elde edilen deneysel veriler neticesinde, bu iki geometri farklılı ının ön yüzeylerinde olu an akı yapısını nasıl etkiledi i ekil 4.7' de resimler ekinde sunulacak ve açıklanacaktır.

GO=1 de erine sahip dairesel silindir ile GO=1.14-2.33 arasındaki farklı görünü oranlarına sahip elips silindirler, kar ıla tırılmanın daha kolay yapılabilmesi ve anla ılabilmesi için, akı yapısında farklılık gösterebilecek kritik Reynolds de erlerinde resmedilmi tir. Seçilen kritik Reynolds de erleri için elips silindir ön tarafında olu an akı yapısına örnek verilmi tir.

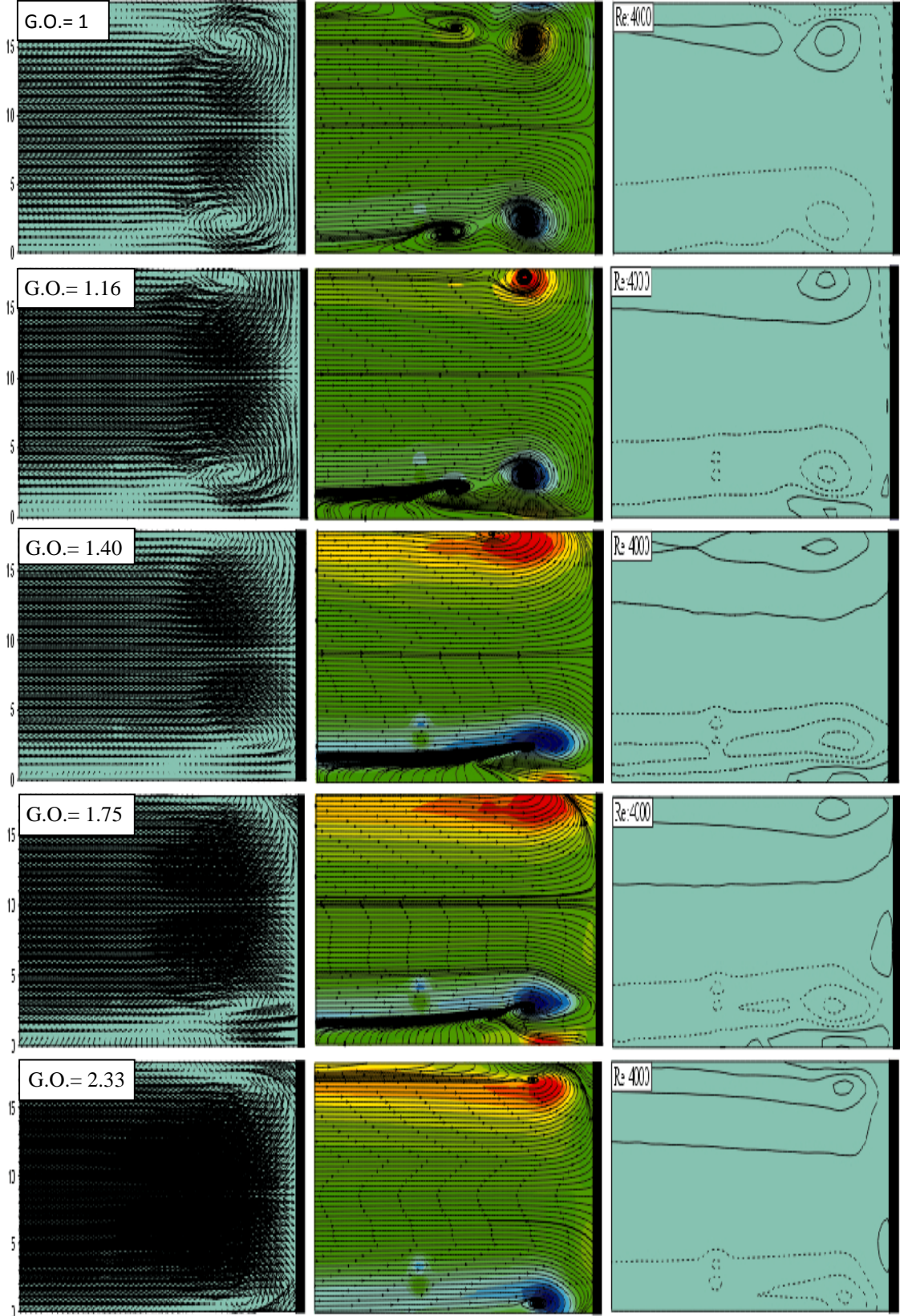
ekil 4.7' de Reynolds sayısının $Re_d=4000$ sabit de erinde görünü oranlarının GO=1 ile 2.33 arasındaki be farklı de erinde, elips silindirler önünde olu an zaman-ortalama hız vektörü $\langle V \rangle$, akım çizgisi $\langle \Psi \rangle$ ve girdap konturlarının $\langle \omega \rangle$ yan görünü leri verilmi tir. ekinde, ilk sütundaki GO=1 de erindeki zaman-ortalama hız alanında $\langle V \rangle$, silindir önünde ayrılma noktasından sonra silindir ile düzlem alt ve üst plaka birle me yerlerinde iki büyük birincil girdap ve ardından birer ikincil küçük girdapların olu tu u görülmektedir. Bu yapı silindir ile düzlem plaka üst ve alt birle me bölgelerinde simetrik yapıdadır. Olu an bu simetrik yapının, hız alanlarının anlık görüntülerinde, bozulmakta oldu u tespit edilmi tir. Anlık akı görüntülerinde düzlem plaka silindir birle me bölgelerinde bazen alt plaka yüzeyinde olu an girdap sistemleri baskın rol oynar iken bazen de üst plaka yüzeyinde olu an girdap kümeleri baskınla maktadır.

ekil 4.7' de ikinci sütunda akım çizgisi $\langle \Psi \rangle$ görüntüleri verilmi tir. GO=1 olan silindirde olu an girdaplarda, girdap boyutunun elips silindirlere nazaran daha büyük oldu u görülmektedir. Birincil girdap ile artçı ikincil girdap merkezleri arasında akı ın durdu u durma noktaları (Saddle point) görülmektedir. GO=1.16 ve 1.4 olan elips silindirlerde boyuta ba lı olarak akı yapısı de i mekte, girdaplar birbiri ile birle mekte ve durma noktalarını ortadan kaldırmaktadırlar. GO=1.75 ve 2.33 olan elips silindirlerde akı yapısı farklılık göstermektedir. Her ne kadar ayrılma noktası alt ve üst tabakada simetrik bir yapı olu tursa da, bu boyutlardaki akı larda elips silindirlerin plakalarla birle tikleri üst tabakada ters akımlar olu maktadır. GO de erinin GO=1'den 2.33

de erine artması ile birlikte elips silindirler önünde olu an akım çizgileri yapısı $GO=1$ de erindeki silindir önündeki akı yapısına benzemekle beraber, silindir önünde olu an ikincil girdapların birincil girdaplar ile birle ti i görülmektedir. Elips silindir önü alt ve üst plakada olu an birincil girdap merkezlerinin silindir yüzeylerinden yakla ık olarak aynı mesafede olu tu u görülmektedir.

Üçüncü sütunda girdap konturları $\langle \omega \rangle$ görülmektedir. Girdap konturlarında silindir ve düzlem plaka üst ve alt birle im bölgelerinde saat yönünde (kesikli çizgi) ve saatin tersi (düz çizgi) yönünde olu an girdaplar açık bir ekilde görülmektedir.

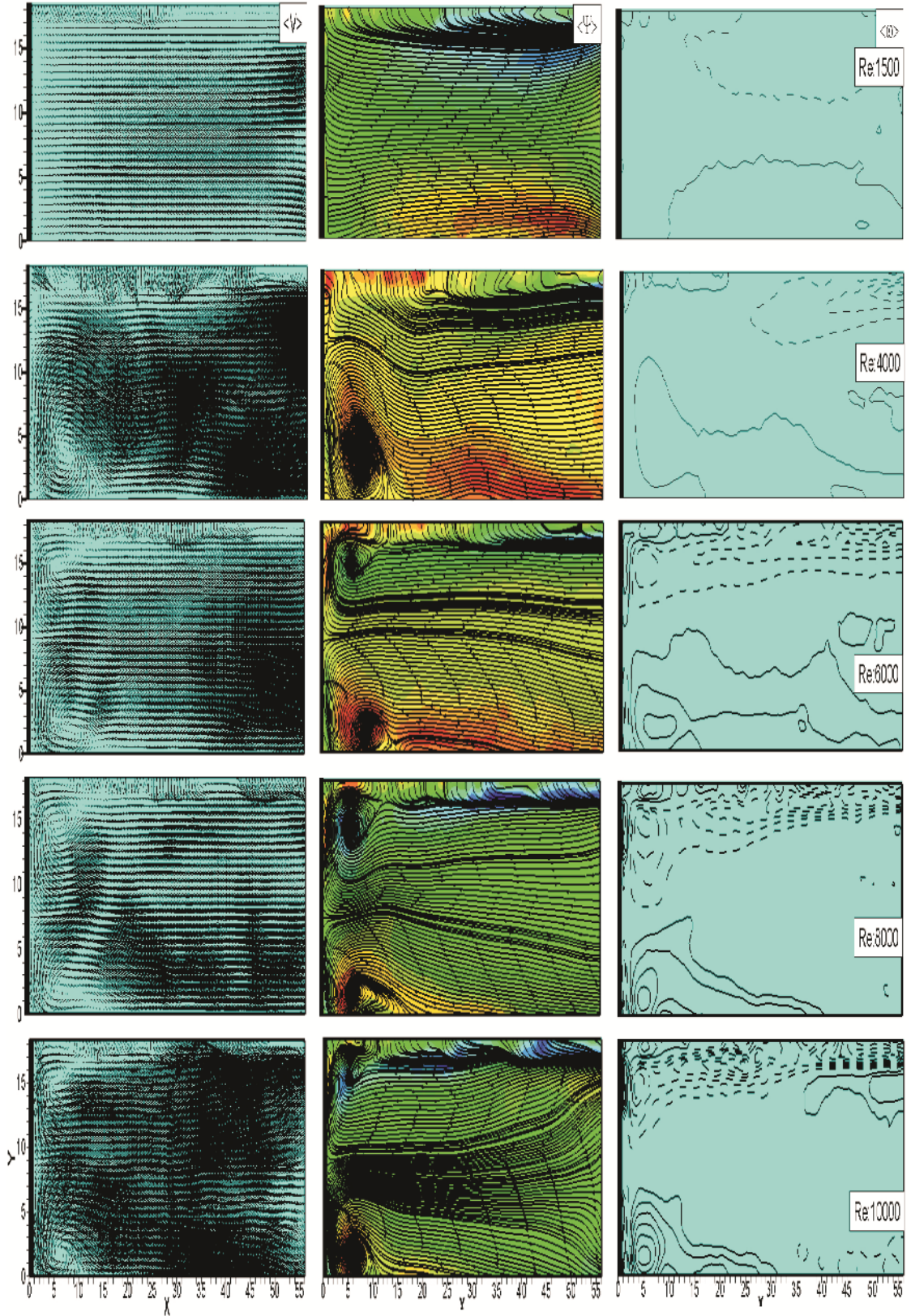
Artan Reynolds de erleri ile girdap kontur merkezlerinin de geni ledi i görülmektedir. Bu geni leme, merkezlerin minimum ve maksimum de erlerinin artması neden olmaktadır. Bu durum literatürde olan hem sayısal hem deneysel bulgularla örtü mektedir.



ekil 4.7. $Re_d=4000$ de erinde farklı GO sahip elips silindirler önünde olu an zaman-ortalama hız vektörü $\langle V \rangle$, akım çizgisi $\langle \Psi \rangle$ ve girdap da ılımı $\langle \omega \rangle$ yan görünü görünümleri

4.3. ki Plaka Arasındaki Elips Silindir Arkasındaki Akı Yapısı

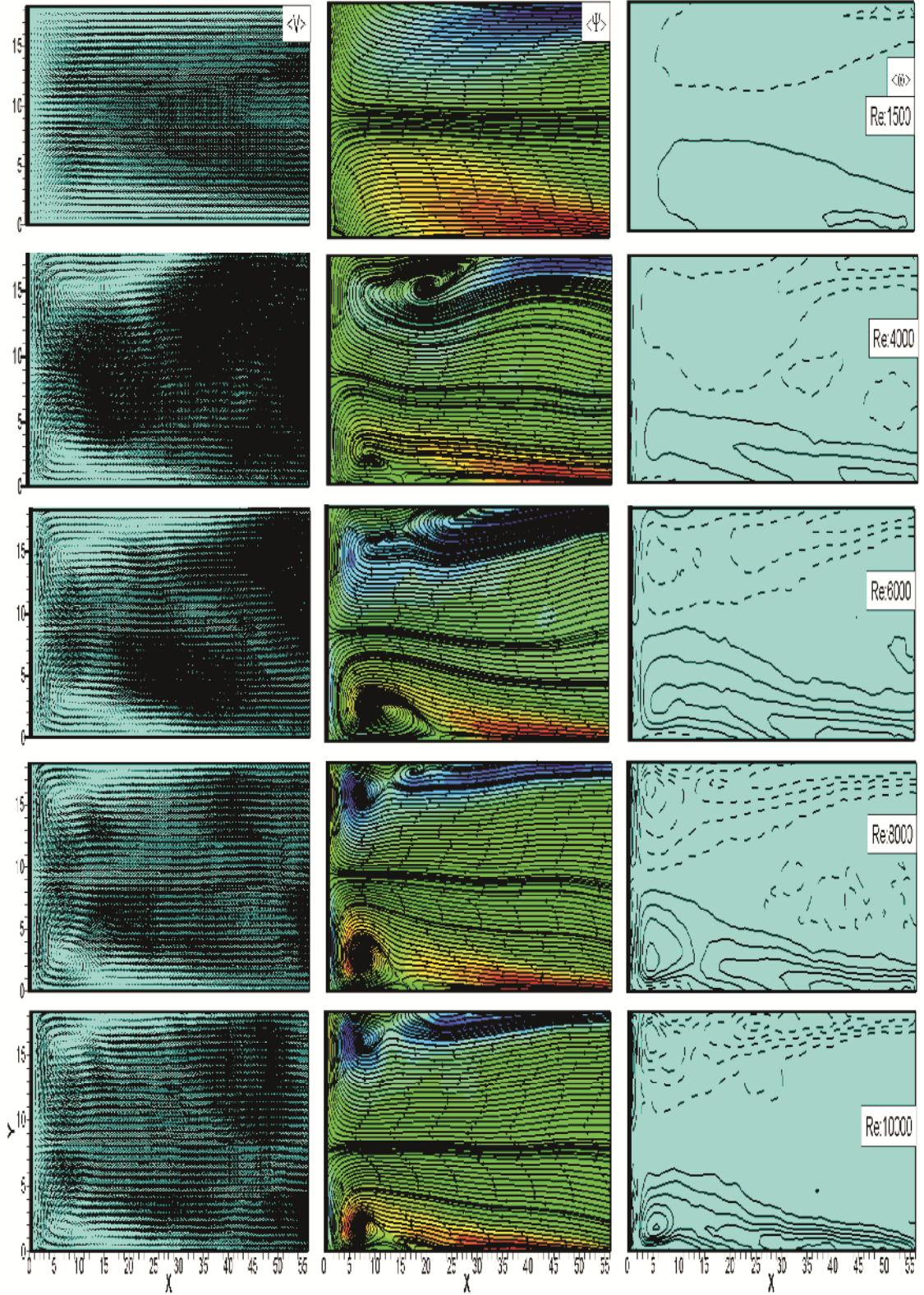
ekil 4.8' de $G.O=1$ de erindeki silindir arkasında silindir çapına ba lı Reynolds sayısının $Re_d=1500, 4000, 6000, 8000$ ve 10000 de erlerinde olu an akı yapısındaki zaman-ortalama hız vektörleri $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$, girdap konturlarının $\langle \omega \rangle$ yan görünü leri verilmi tir. ekilde akı yönü soldan sa a do ru akmaktadır. ekillerin alt ve üst çizgileri, düzlem plakaları göstermekte olup sol taraftaki siyah dolgu çubuk ise silindir geometrisini temsil etmektedir. Birinci sütunda $Re_d=1500$ ile $Re_d=10000$ de erleri arasındaki akı yapısına ait hız alan vektörleri $\langle V \rangle$ verilmektedir. $Re_d=1500$ de erinde hız alan vektörlerinde Reynolds de erinin dü ük olmasından ve akı yapısının laminer olmasından dolayı, silindir etrafını dola an akı kan, silindir arkasında herhangi bir ölü akı bölgesi olu turmadan silindir arkasından akı na devam etmektedir. $Re_d=4000$ ve daha yüksek Reynolds de erlerinde akı yapısı farklılık göstermektedir. Artan hız ile beraber akı yapısı laminer halden türbülanslı yapıya geçi yapmakta ve silindir arkasında olu an akı ı etkilemektedir. Bu de erin hız alan vektörlerini ve akım çizgilerini inceledi imizde, silindir arkasında silindire çarpan akı alt düzlem plakaya baskın ekilde ayrılmaktadır. Akı yapısının alt plaka düzlemine daha baskın olu masıyla, düzlem plaka ile silindir alt yüzeyi birle im bölgesinde, büyük dereceli birincil bir girdap yapısı olu maktadır. Alt plaka önünde olu an bu girdap yapısı, daha yüksek Reynolds de erlerinde boyutunu küçültmektedir. kinci sütunda akım çizgileri görüntüleri verilmi tir. $Re_d=6000$ ve 10000 de erlerinde akı yapısı, silindir arkasında simetrik ve paralel bir ekilde ayrılma göstermektedir. $Re_d=8000$ de erinde ise akı üst düzlem plakada baskın halde görülmektedir. Türbülanslı akı yapısına sahip Reynolds sayılarında ($Re_d=6000, 8000, 10000$) alt ve üst plakada birer adet at nalı girdap (ANG) olu maktadır. Akım çizgileri görüntülerinde, girdap merkezleri (foci) kontur renklendirme i lemiyle daha net biçimde görülmektedir. Üçüncü sütunda silindir arkasında olu an akı yapısında kontur resimleri verilmi tir. Artan Reynolds de erleriyle birlikte kontur de erleri de artı göstermi tir. Dü ük Reynolds sayılarında laminer akı yapısından dolayı silindir arkasında ki akı yapısı de i iklik göstermi tir. Artan Reynolds de erleriyle konturlarda olu an girdaplar net bir ekilde görülmektedir. Silindir arkasındaki akı yapısında, saat tersi ve saat yönündeki girdap biçimleri kontur resimlerinde gösterilmi tir.



ekil 4.8. $GO=1$ de erindeki silindir arkasında silindir çapına ba lı Reynolds sayısının $Re_d=1500-4000-6000-8000-10000$ de erlerinde olu an akı yapısındaki zaman-ortalama hız vektörleri $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$, girdap konturlarının $\langle \omega \rangle$ yan görünü leri

ekil 4.9' da $GO=1.14$ de erine sahip elips silindir arkasında, elips silindir çapına ba lı Reynolds sayısının $Re_d=1.500-10.000$ de erlerinde olu an akı yapısındaki zaman-ortalama hız vektör alanları $\langle V \rangle$, zaman-ortalama akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$ ve zaman-ortalama girdap konturlarının $\langle \omega \rangle$ yan görünü leri verilmi tir.

Birinci sütunda belli Reynolds sayı de erleri arasındaki akı yapısına ait hız vektör alan $\langle V \rangle$ resimleri verilmektedir. $Re_d=1500$ de erinde hız vektörlerinde Reynolds de erinin dü ük olmasından ve akı yapısının laminer olmasından dolayı, silindir etrafını dola an akı kan elips silindir arkasında herhangi bir ölü akı bölgesi olu turmadan elips silindir arkasından akı na devam etmektedir. Akı yapısı büyük bir döngü olu turmasına ra men girdap olu turmamı tır. $Re_d=4000$ ve daha yüksek Reynolds de erlerinde akı yapısı farklılık göstermektedir. Artan Reynolds de eri ile beraber akı yapısı laminer halden türbülanslı yapıya geçi yapmakta ve elips silindir arkasında olu an akı yapısını etkilemektedir. Bu de erin hız vektörünü ve akım çizgilerini inceledi imizde, elips silindir arkasında elips silindire çarpan akı üst plakaya baskın ekilde ayrılmaktadır. Alt/üst düzlem plakada elips silindir arkasında birer at nalı girdap görölmektedir. At nalı girdaplar daha yüksek Reynolds de erlerinde boyutunu küçültmektedir. kinci sütunda akım çizgileri görüntüleri verilmi tir. $Re_d=6000, 8000, 10000$ de erlerinde akı yapısında simetrik bir ayrılma noktası (stagnation point) dikkat çekmektedir. $Re_d=6000$ de erinde alt plakada bir at nalı girdap, üst plakada birbiri içerisinde akı ile karı mı ve kendi arasında durma noktası olu turan iki girdap görölmektedir. $Re_d=8000$ ve 10000 de erinde di er Reynolds de erlerinin olu turdu u girdaplardan daha küçük olan iki er adet girdap olu maktadır. Bu girdapların merkezleri ve aralarında olu an durma noktaları (saddle point) görölmektedir. Akım çizgileri görüntülerinde, girdap merkezleri (foci) kontur renklendirme i lemiyle daha net biçimde görölmektedir. Üçüncü sütunda elips silindir arkasında olu an akı yapısında konturlar verilmi tir. Artan Reynolds de erleriyle birlikte kontur de erleri de artı göstermi tir. Girdap merkezlerinin küçüldü ü, bunun sonucu olarak iddetlerinin arttı ı; girdap konturlarında açıkça görölmektedir.



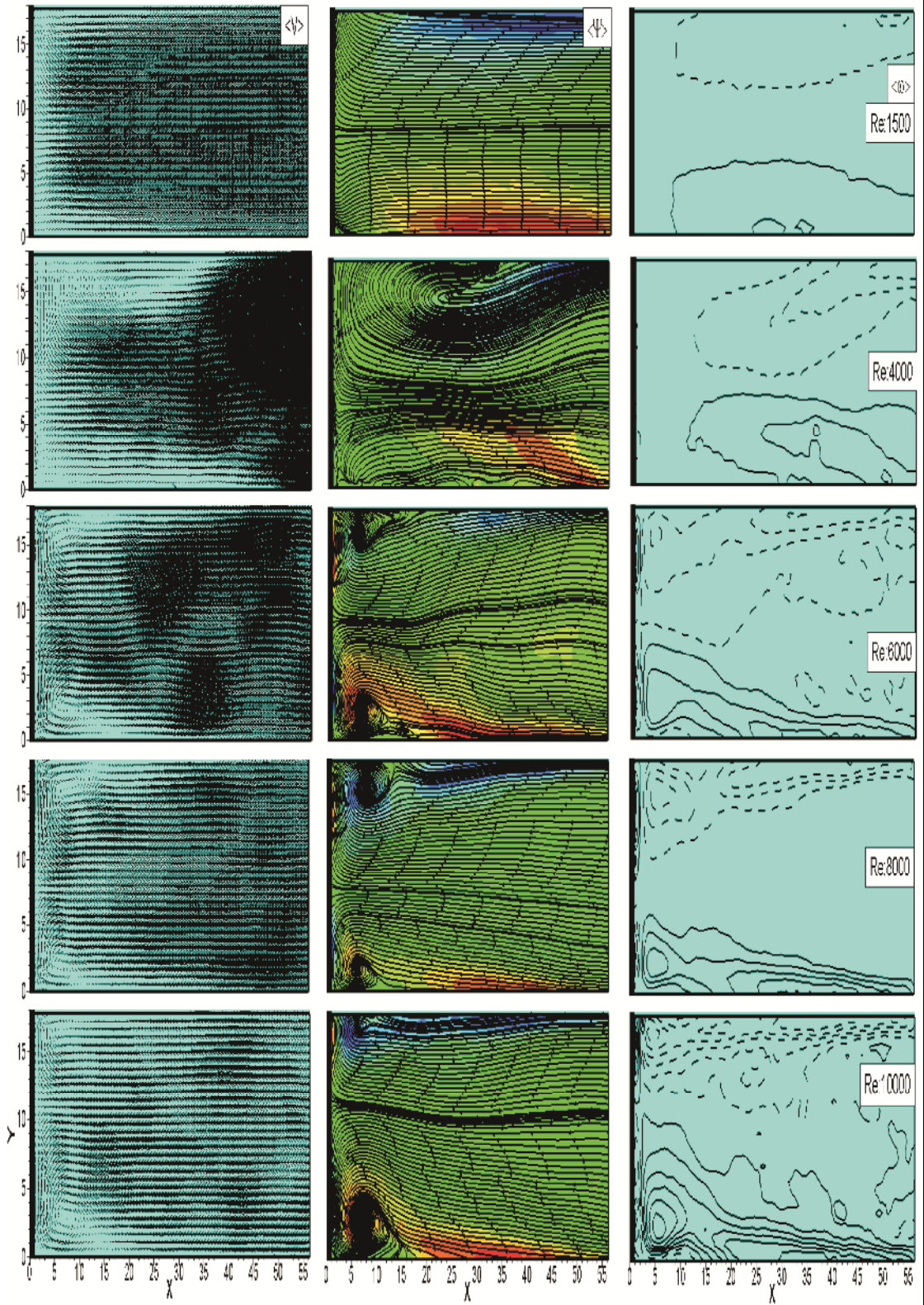
ekil 4.9. $GO=1.14$ de erine sahip elips silindir arkasında elips silindir çapına ba lı Reynolds sayısının $Re_d=1500-4000-6000-8000-10000$ de erlerinde olu an akı yapısındaki zaman-ortalama hız vektörleri $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$, girdap konturlarının $\langle \omega \rangle$ yan görünü leri

ekil 4.10' da $GO=1.4$ de erindeki elips silindir arkasında elips silindir çapına ba lı Reynolds sayısının $Re_d=1.500$ ile $Re_d=10.000$ de erleri arasında olu an akı yapısındaki zaman-ortalama hız vektörleri $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$, girdap konturlarının $\langle \omega \rangle$ yan görünü leri verilmi tir.

Birinci sütunda $Re_d=1500$ ile $Re_d=10000$ de erleri arasındaki akı yapısına ait hız vektörleri $\langle V \rangle$ verilmektedir. $Re_d=1500$ de erinde hız vektörlerinde Reynolds de erinin dü ük olmasından ve akı yapısının laminar olmasından dolayı, elips silindir etrafını dola an akı kan elips silindir arkasında herhangi bir ölü akı bölgesi olu turmadan elips silindir arkasından akı na devam etmektedir. Akı yapısı plaka birle me bölgesinde küçük bir döngü olu turmasına ra men girdap olu turmamaktadır. $Re_d=4000$ ve daha yüksek Reynolds de erlerinde akı yapısı farklılık göstermektedir. Artan hız ile beraber akı yapısı laminar halden türbülanslı yapıya geçi yapmakta ve elips silindir arkasında olu an akı ı etkilemektedir. Bu de erin hız alan vektörünü ve akım çizgilerini inceledi imizde, elips silindir arkasında elips silindire çarpan akı üst plakaya baskın ekilde ayrılmaktadır. Elips silindir arkasındaki akı yapısında üst düzlem plakada bir at nalı girdap görölmektedir. Alt düzlem plakada elips silindirle birle me bölgesinde akı yapısı girdap olu turmamakta, sadece durma noktası (saddle point) olu turmaktadır. ANG yapısı daha yüksek Reynolds de erlerinde boyutunu küçültmekte ve plaka birle me bölgesine yakla maktadır.

kinici sütunda akım çizgileri görüntüleri verilmi tir. $Re_d=6.000$, 8.000 , 10.000 de erlerinde akı yapısında simetrik bir ayrılma noktası dikkat çekmektedir. $Re_d=6000$, 8000 ve 10000 de erine ait akım çizgileri resimlerinde, alt ve üst düzlem plakanın elips silindirle birle ti i bölgelerde birer ANG görölmektedir. Bu girdapların merkezleri artan Reynolds sayı de erleri ile plaka birle me bölgesine daha çok yakla maktadır.

Üçüncü sütunda elips silindir arkasında olu an akı yapısında konturlar verilmi tir. Artan Reynolds sayı de erleriyle birlikte kontur de erleri de artı göstermi tir. Bu artı kesik çizgilerle gösterilen saat yönü negatif yönlü akı yapısından ve düz çizgilerle gösterilen pozitif yönlü akı yapısından da anla ılmaktadır.



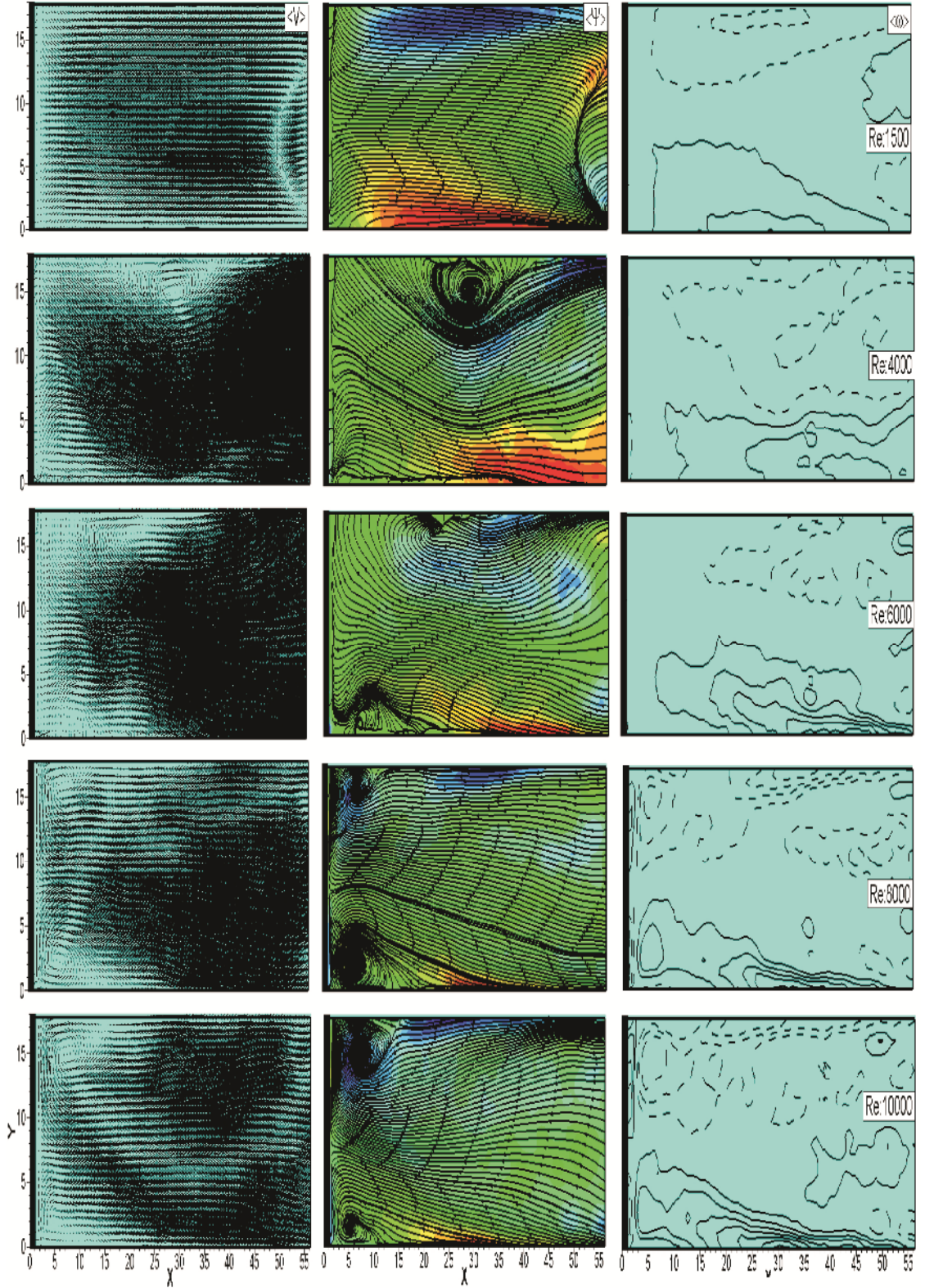
ekil 4.10. $GO=1.4$ de erindeki elips silindir arkasında elips silindir çapına ba lı Reynolds sayısının $Re_d=1500-4000-6000-8000-10000$ de erlerinde olu an akı yapısındaki zaman-ortalama hız vektörleri $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$, girdap konturlarının $\langle \omega \rangle$ yan görünü leri

ekil 4.11' da $GO=1.75$ de erindeki elips silindir arkasında elips silindir çapına ba lı Reynolds sayısının $Re_d=1500-4000-6000-8000-10000$ de erlerinde olu an akı yapısındaki zaman-ortalama hız vektörleri $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$, girdap konturlarının $\langle \omega \rangle$ yan görünü leri verilmi tir.

Birinci sütunda farklı Reynolds sayı de erlerindeki akı yapısına ait hız vektör alanları $\langle V \rangle$ verilmektedir. $Re_d=1500$ de erinde hız alanları görüntülerinde ilk dikkat çeken akı yapısı, alınan görüntülerin x-yönünde 50mm arkasında ba layan, durma noktalarının olu turdu u akı ayrılması olu turan “S” ekindeki durma noktasıdır. Bu noktadan sonra akı elips silindire do ru ilerlemekte ve üst plakada baskın bir akı yapısı izleyerek ayrılma göstermektedir. Ayrılma noktasından sonra akı yapısında girdap gözlenmemektedir. $Re_d=4000$ de erinde akı yapısı $Re_d=1500$ de erine göre farklılık göstermektedir. $Re_d=4000$ de erinde akım çizgileri resimlerinden görülece i üzere, akı üst düzlem plaka bölgesinde büyük bir “bayku gözü” ekinde girdap meydana getirmi tir. $Re_d=6000$ de erinde akım çizgileri resmine bakılacak olursa; akı pasajı içerisinde olu an iki düzlem plaka arasındaki akı yapısında üst/alt plaka ile elips silindir birle me bölgelerinde simetrik olmayan, birer adet ters çevrime sahip girdap görülmektedir. Aynı zamanda ekilde dikkat edilecek bir di er konuda elips silindir arkasında olu an akı yapısındaki ayrılmanın, elips yüzeyinde neredeyse olmadı ı, üst plaka bölgesinin a ırı baskın yapı olu turdu udur. Daha yüksek Reynolds de erlerinde ($Re_d= 8000,10.000$) akı yapısı farklılık göstermektedir. Akım çizgileri görüntülerinden anla ılaca ı üzere alt ve üst plaka bölgesinde birer adet girdap olu maktadır.

kinci sütunda akım çizgileri görüntüleri verilmi tir. Akım çizgileri görüntülerinde, girdap merkezleri (foci) ve ters akı durumları kontur renklendirme i lemiyle daha net biçimde görülmektedir.

Üçüncü sütunda elips silindir arkasında olu an akı yapısında konturlar verilmi tir. Artan Reynolds de erleriyle birlikte kontur de erleri de artı göstermi tir. Girdap konturları resimlerinde olu an akı yapısının elips silindir geometrisinden kaynaklanan akı farklılıkları görülmektedir.



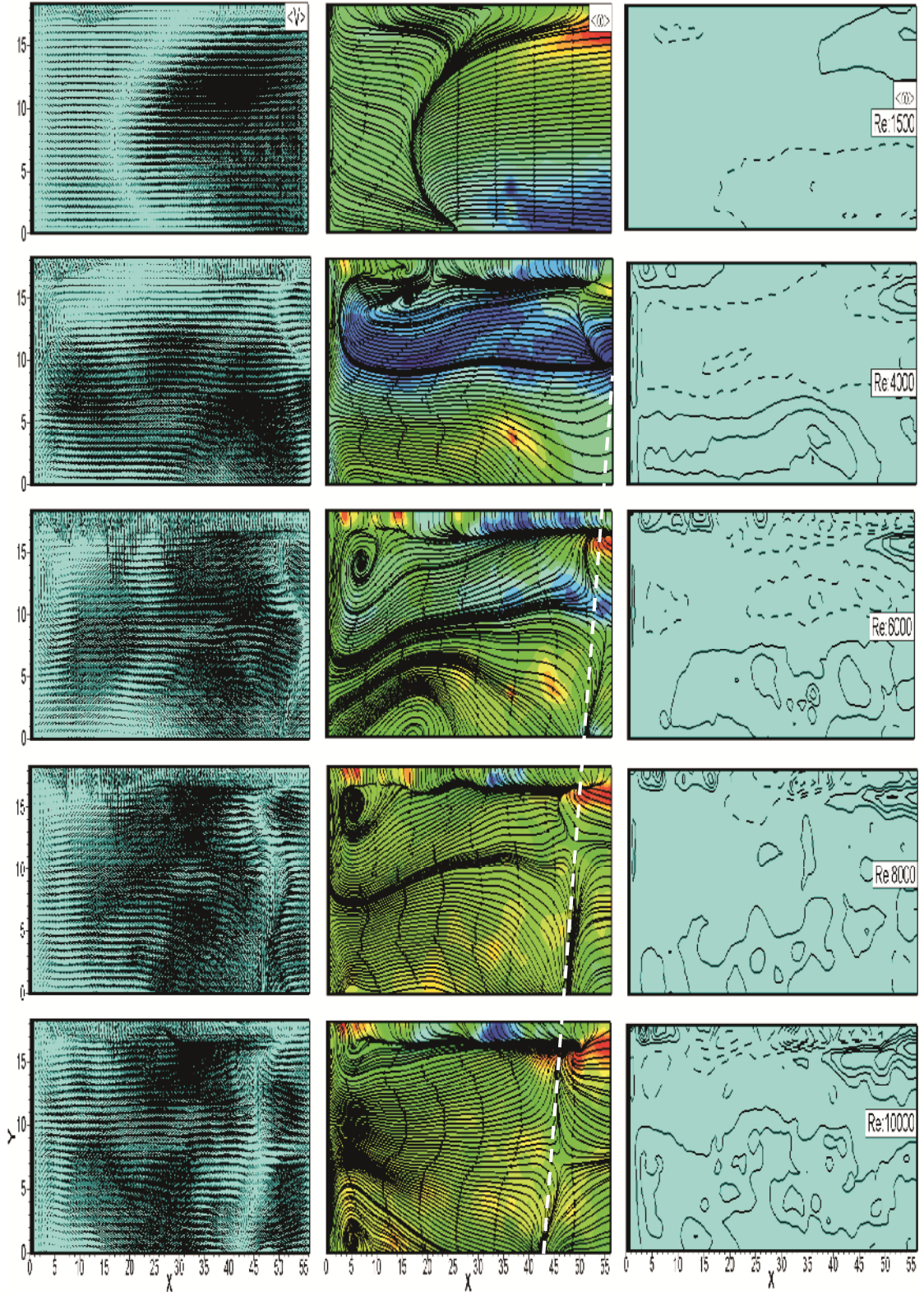
ekil 4.11. $GO=1.75$ de erine sahip elips silindir arkasında elips silindir çapına ba lı Reynolds sayısının $Re_d=1500-4000-6000-8000-10000$ de erlerinde olu an akı yapısındaki zaman-ortalama hız vektörleri $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$, girdap konturlarının $\langle \omega \rangle$ yan görünü leri

GO=2.33 olan elips silindir arkasında elips silindir çapına ba lı Reynolds sayısının $Re_d=1500-4000-6000-8000-10000$ de erlerinde olu an akı yapısındaki zaman-ortalama hız vektörleri $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$, girdap konturlarının $\langle \omega \rangle$ yan görünü leri ekil 4.12' de verilmi tir.

Birinci sütunda $Re_d=1500$ ile $Re_d=10000$ de erleri arasındaki akı yapısına ait hız vektörleri $\langle V \rangle$ verilmektedir. $Re_d=1500$ de erinde hız alanı görüntülerinde akı yapısı, iki düzlem plaka arasındaki elips silindirin 25mm uza ından ba layan, hızın sıfır oldu u durma noktalarının olu turdu u, akı ayrılması olu turan “S” ekindeki durma noktasıdır. Bu noktadan sonra akı iki plaka arasında sa dan sola do ru ilerlemekte ve alt düzlem plaka yüzeyinde baskın bir akı yapısı izlemektedir. Elips silindir yüzeyinde ayrılma görülmemektedir. $Re_d=4000$ de erindeki akı yapısında hız vektörleri ve akım çizgileri resimlerinden de görülece i gibi, akı iki farklı durma noktası olu turarak üst düzlem plaka bölgesinde baskın bir yapı olu turmu ve boyutu büyük bir girdap meydana getirmi tir. Renklendirilmi akım çizgisi görüntüsünden alt düzlem plakada ters akı yapısının olu tu u görülmektedir. $Re_d=6000$ de erinde plaka pasajı içerisinde olu an akı yapısında üst plaka ve alt plakada hem simetrik hem paralel olmayan, birer adet ters çevrime sahip girdap görülmektedir. Aynı zamanda ekilde dikkat edilecek bir di er konuda akı ayrılmasının elips silindir arkasında, elips silindir ile üst düzlem plaka birle im bölgesinde akı yapısının a ırı baskın yapı olu turmasıdır.

İkinci sütunda akım çizgileri görüntüleri verilmi tir. Akım çizgileri görüntülerinde, girdap merkezleri (foci) ve ters akı durumları kontur renklendirme i lemiyle daha net biçimde görülmektedir. Akım çizgileri görüntülerinde, beyaz renkli kesik çizgilerle ifade edilmekte olan, artan Reynolds de eri ile $Re_d=4000$ de erinden itibaren akım pasajı içerisinde olu an durma noktaları (saddle point), artan Reynolds de erleriyle birlikte akı pasajı içerisinde akı yönüne ters biçimde sa dan sola ilerleme kaydetmektedir. Ayrıca artan Reynolds de erleriyle elips silindir ile alt/üst plaka birle im noktalarında girdapların olu tu u görülmektedir.

Üçüncü sütunda elips silindir arkasında olu an akı yapısındaki kontur resimleri verilmi tir. Artan Reynolds de erleriyle birlikte kontur de erlerinde artı görülürken, kontur ekillerindeki çizimlerde bozulma oldu u görülmü tür.



ekil 4.12. $GO=2.33$ olan elips silindir arkasında elips silindir çapına ba lı Reynolds sayısının $Re_d=1500-4000-6000-8000-10000$ de erlerinde olu an akı yapısındaki zaman-ortalama hız vektörleri $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$, girdap konturlarının $\langle \omega \rangle$ yan görünü leri

ki düzlem plaka arasına yerleştirilmi sabit Reynolds de erindeki dairesel silindir ve elips silindir arkasındaki akı yapısı farklılıkları da ekil 4.13' de verilmi tir.

GO=1 de erine sahip dairesel silindir ile GO=1.14-2.33 arasındaki farklı görünüş oranlarına sahip elips silindirler, karışılmanın daha kolay yapılabilmesi ve anlaşılabilmesi için, akı yapısında farklılık gösterebilecek kritik Reynolds değerlerinde resmedilmi tir. Seçilen kritik Reynolds değerleri için silindir arka tarafında oluşan akı yapısına örnek verilmi tir

ekil 4.13' de Reynolds sayısının $Re_d=6000$ de erinde görünüş oranlarının GO=1 ile 2.33 arasındaki be farklı de erinde, elips silindirler arkasında oluşan akı yapısı yan görünüşleri zaman-ortalama hız vektörü $\langle V \rangle$ ilk sütunda, akım çizgisi $\langle \Psi \rangle$ ikinci sütunda ve girdap konturları $\langle \omega \rangle$ üçüncü sütunda verilmi tir.

ekil 4.13' de, GO=1 de erindeki zaman-ortalama hız alanında $\langle V \rangle$, silindir arka kısmında ters akı oluşumu gözlenmektedir. Alt ve üst plaka düzlemi orta noktasında silindir yüzeyinde ayrılma noktası simetrik bir yapıda oluşmakta ve alt/üst plaka birleşme yerlerinde simetrik yapıda iki adet girdap yapısı görülmektedir. Bu girdaplardan alt plakadaki girdap saatin tersi yönünde döner iken üst plakadaki girdap ise saat yönünde bir dönme hareketi göstermektedir. Anlık akı görüntülerinde düzlem plaka silindir birleşme bölgelerinde bazen alt plaka yüzeyinde oluşan girdap sistemleri baskın rol oynar iken bazen de üst plaka yüzeyinde oluşan girdap kümeleri baskınla maktadır.

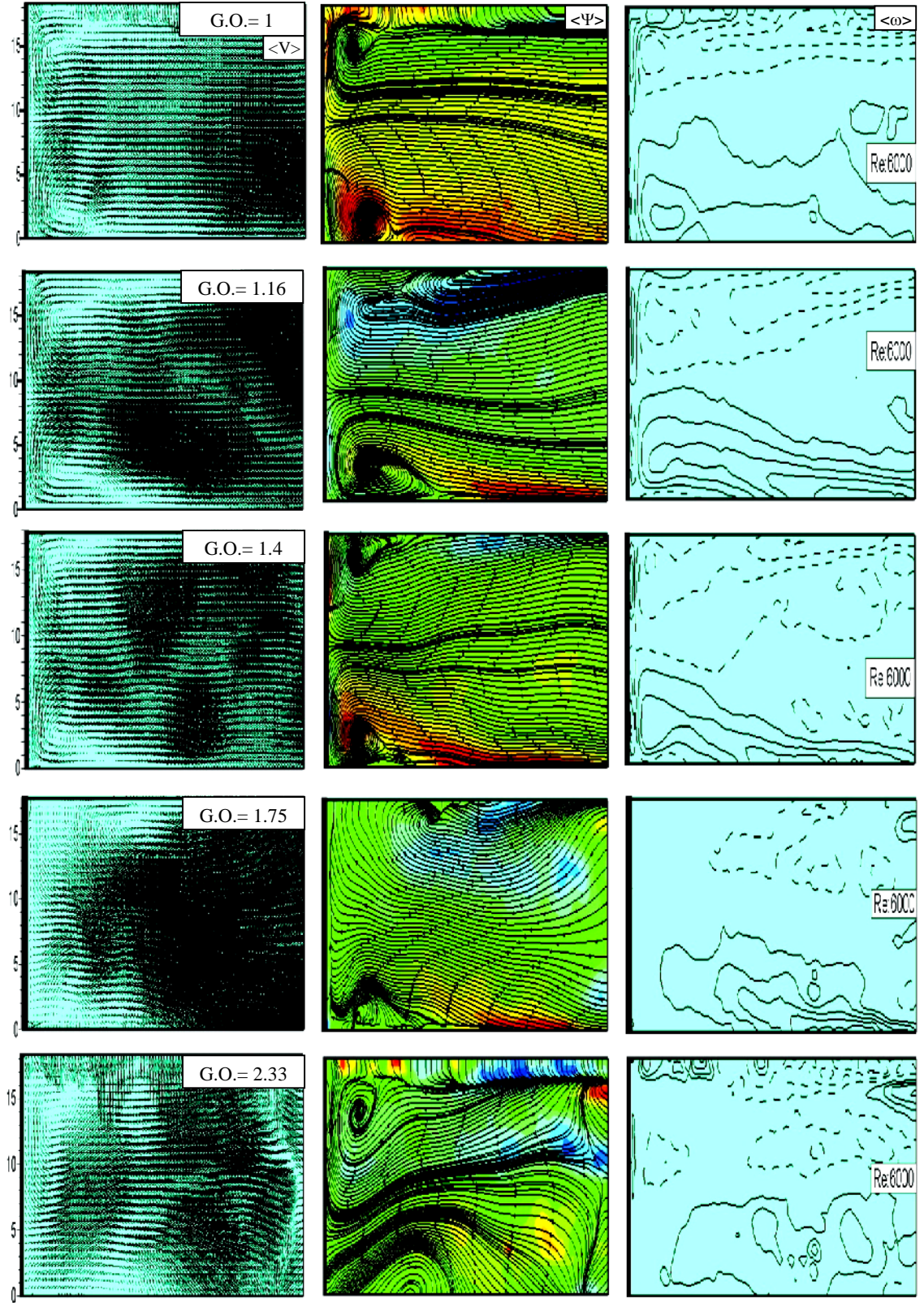
GO=1.16 de erinde elips silindir arkasında ters akı ile beraber alt ve üst plakada iki adet simetrik olmayan girdap yapısı hem hız alanlarında $\langle V \rangle$, hem de akım çizgisi $\langle \psi \rangle$ görüntülerinde açıkça görülmektedir. Ayrıca üst plaka ve elips silindir birleşme bölgesinde birincil girdabı yanında ikincil bir girdap oluşmakta ve bu iki girdap merkezleri arasında durma noktası (saddle point) görülmektedir.

GO=1.4 de erinde elips silindir in plaka ile birleşme bölgesinde ters akı bölgesi yanında alt düzlem plaka üzerinde ayrılma noktası yeri ile birlikte alt ve üst plakada iki adet simetrik yapıda girdap görülmektedir. Elips silindir arkasında meydana gelen ayrılma noktası simetrik bir yapı oluşur ve burada gelişen girdapların boyutları GO=1, 1.16 de erlerine sahip olan akı yapısından farklı olarak hem küçülmüşler hem de eliptik bir yapı oluşur lardır.

GO=1.75 de erinde elips arkasında olu an akı yapısında alt plaka birle me bölgesinde ters akı lar olu tu u görülmektedir. Bu de erin akım çizgisi $\langle\Psi\rangle$ görüntüleri incelendi inde, elips silindir ile üst plaka birle me bölgesindeki akı yapısında farklılık göze çarpmaktadır. Üst plaka birle me bölgesinden önce olu an ve ters akımlar olu turan akı yapısı, girdap olu turmayıp, her iki plakada da akı ı ters yönde etkilemi lerdir. Akı yapısında ayrılma noktasının olmadı ı ve akı ın tamamen üst plakaya baskın rol izlemesi önemli bir ayrıntıyı vermektedir.

GO=2.33 de erinde elips silindir arkasında olu an akı yapısında, ayrılma noktası elips silindir ile plaka birle me noktalarında simetrik olmayan bir akı yapısı sergilemi tir. Üst plakada olu an akı durumu alt plakada olu an akı durumuna göre daha baskın haldedir. Bununla birlikte akım çizgisi $\langle\Psi\rangle$ görüntülerinden anla ılaca ı üzere elips silindir in üst plaka ile birle im bölgesinde büyük boyutlu bir girdap olu maktadır. GO=2.33 de erinde elips silindir in arkasında akım pasajının giri inde bulunan durma noktası akı ın karakteristi ini de i tirmi tir. Alt plaka ile elips silindir birle me bölgesinde bir çevrim olu makta fakat girdap olu umu görülmemektedir.

Üçüncü sütunda girdap konturları $\langle\omega\rangle$ görülmektedir. Girdap konturlarında elips silindir ve düzlem plaka üst ve alt birle im bölgelerinde saat yönünde (kesikli çizgi) ve saatin tersi (düz çizgi) yönünde olu an girdaplar açık bir ekilde görülmektedir.



ekil 4.13. $Re_d=6000$ de erinde farklı GO de erlerine sahip elips silindirler arkasında olu an zaman- ortalama hız vektörü $\langle V \rangle$, akım çizgisi $\langle \Psi \rangle$ ve girdap da ılımı $\langle \omega \rangle$ yan görünü görünümleri

4.4. İki Plaka Arasındaki Elips Silindirin Ön ve Arkasında Olu an Anlık Akı Yapısı Görüntüleri

Deneysel çalımlar esnasında elde edilen anlık akı yapısı görüntüleri, akı yapısının fiziksel anlamda cisim üzerine gelen daimi olmayan yükleri incelemek bakımından büyük önem arz etmektedir.

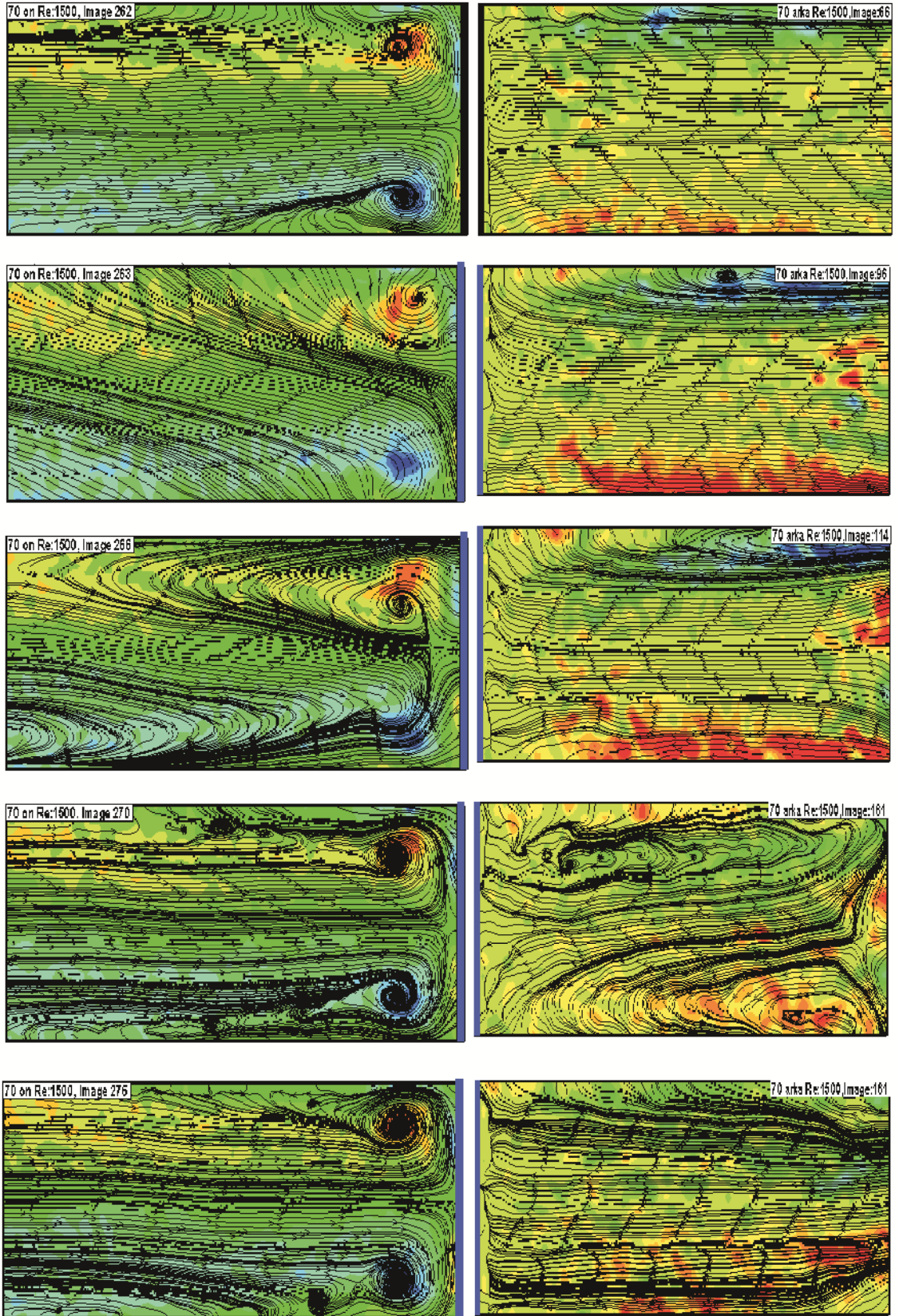
PIV tekniği ile cisimler üzerindeki akı yapısının öncelikle anlık görüntüleri elde edilmektedir. Daha sonra elde edilen anlık görüntüleri zaman-ortalama görüntüleri olarak da inceleme imkânı sunmaktadır. Bu deneysel çalıma, elips silindirlerin ön ve arka tarafında olu an akı yapısını incelerken anlık verilerden yararlanılmıştır. Literatürde, özellikle deneysel çalımlarda, anlık akı yapısı görüntüleri ile ilgili sınırlı sayıda çalıma rastlanmıştır. Ayrıca, anlık akı yapısı görüntüleri hem deneysel hem de sayısal çalıma yapan araştırmacılar içinde referans olabilecek bilgiler sunması bakımından da önemlidir.

Bu bölümde iki düzlem plaka arasındaki elips silindirlerin ön ve arka bölgelerinde olu an akı yapısındaki anlık akım çizgileri görüntüleri verilecektir. Akı yapısının anlık verilerde farklılık gösterdiği ve zaman-ortalama değerlerinde olu an akı yapısı ile farklı görünümlere sahip olan veriler, deney sırasında analiz edilmiştir. Farklı Reynolds sayısına sahip olan elips silindirlerin farklı Reynolds değerlerinde olu an anlık görüntüleri örnek olarak verilmiş ve olu an akı yapısı açıklanmıştır. Elde edilen verilerden öncelikle $Re_d=1500$ değerindeki laminer akı yapısına sahip çelik elips silindirlerin ön ve arka tarafında olu an anlık akım çizgileri verilmiştir. Akı yapısında olu an değerlerin daha net anlaşılabilmesi için bu görüntülerden sonra farklı Reynolds değerlerine sahip elips silindirlerin ön ve arka tarafında olu an anlık akım çizgisi görüntüleri, $Re_d=6000$ değerinde verilmiştir. Bu Reynolds değerinde olu an türbülanslı akı yapısının anlık olarak nasıl değerlendirildiği analiz edilerek gösterilmiş ve izah edilmiştir. Elde edilen verilerin hem laminer hem de türbülanslı verilerle birlikte verilmesi ve izah edilmesi; konu üzerinde ileriki çalımlara ışık tutması açısından önemlidir.

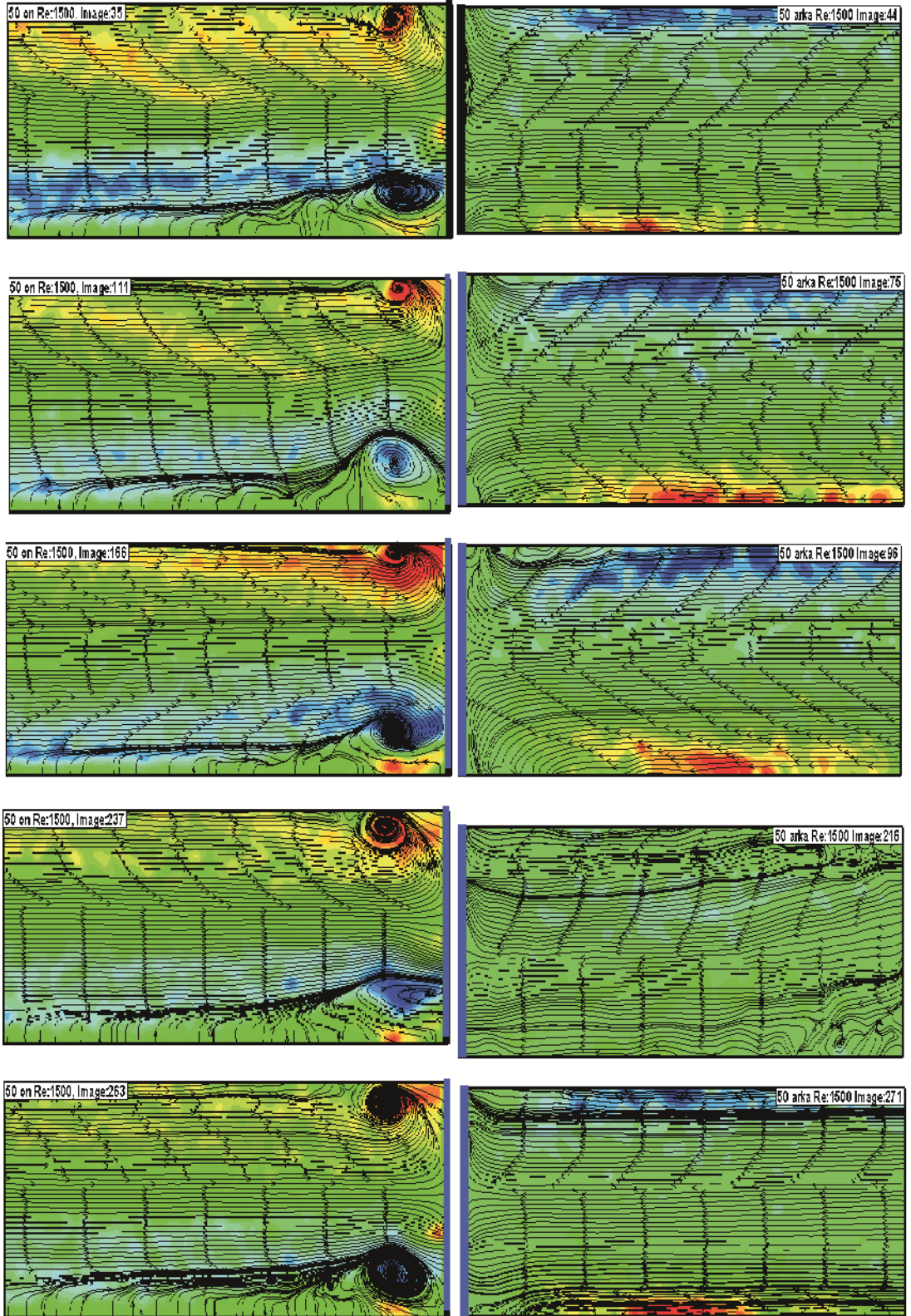
ekil 4.14' de $GO=1$ de erine sahip dairesel silindirin ön ve arkasındaki anlık akı yapısı Reynolds sayısının $Re:1500$ de erinde farklı anlık ekillerle verilmiştir. Akı in laminer bir yapıya sahip olması silindir ön ve arkasında plaka ile birleşme bölgelerinde tüm anlık verilerde aynı görüntüleri vermiştir. $GO=1$ de erinde silindir önünde olunan iki adet ANG yapısı belli zaman geçmesine rağmen girdap formasyonunu korumakta ve düşük Reynolds ve düşük hız değerleri neticesinde 300 anlık veride de çoğunlukla aynı yapıda olmaktadır. Silindirik geometri yapısına bağlı olarak akı in sürüklenmesi nedeniyle çok küçük zaman dilimi arasında akı yapısı ekil 4.14'deki 266. resimde görüldüğü gibi anlık değişimlere uğramakta fakat akı in laminer olması akı yapısını genel anlamda bozmamakta ve üniform akı na devam etmektedir. $GO=1$ de erine sahip silindir arkasındaki akı yapısının laminer bir yapıya sahip olması anlık görüntülerde çok büyük bir farkın olmaması ve akı in laminer şekilde devam etmesi $GO=1$ de erindeki silindir önündeki akı yapısına benzerlik göstermektedir. Elips silindir ile plakaların hem ön hem arka birleşim bölgelerinde olunan anlık akım görüntüleri analiz edildiğinde, laminer akı yapısının akı bozmadığı ve çalkantıya sebep olmadığı görülmektedir.

Yapılan tüm deneylerde $Re:1500$ de erinde alınan anlık verilerde akı yapısı değişmemektedir. Buda düşük hız ve düşük Reynolds değerinin laminer akı yapısına etkisini ve akı yapısının zamanla değişim göstermemesini açıkça göstermektedir.

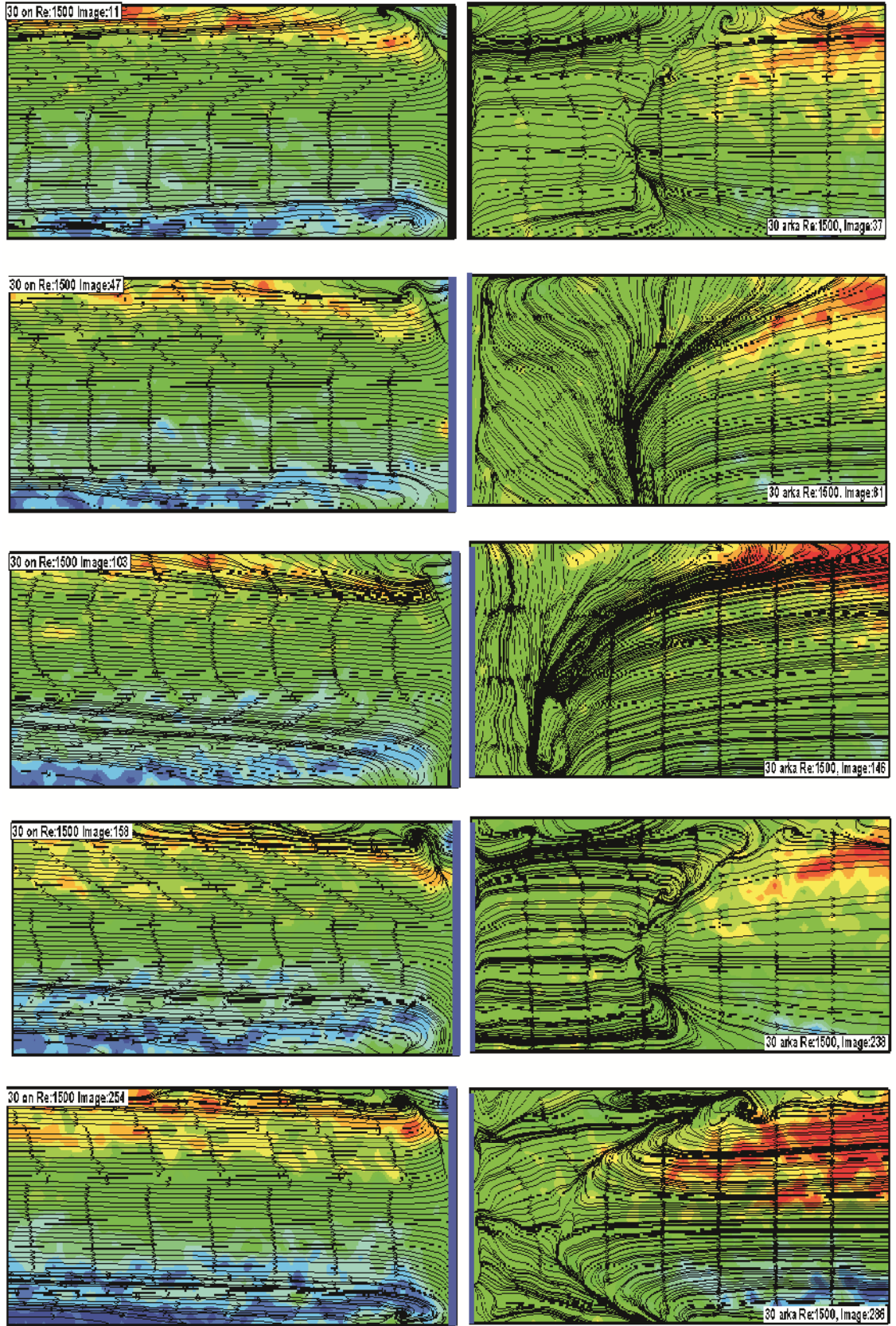
ekil 4.15 ve ekil 4.16 'da farklı GO değerlerine sahip olan elips silindirlerin ($GO:1.4, 2.33$) $Re:1500$ de erlerinde elips silindir ile düzlem plakaların birleşim bölgesindeki anlık akım çizgilerini göstermektedir.



ekil 4.14. $GO=1$ de erine sahip dairesel silindirin $Re:1500$ de erinde ön ve arkasında

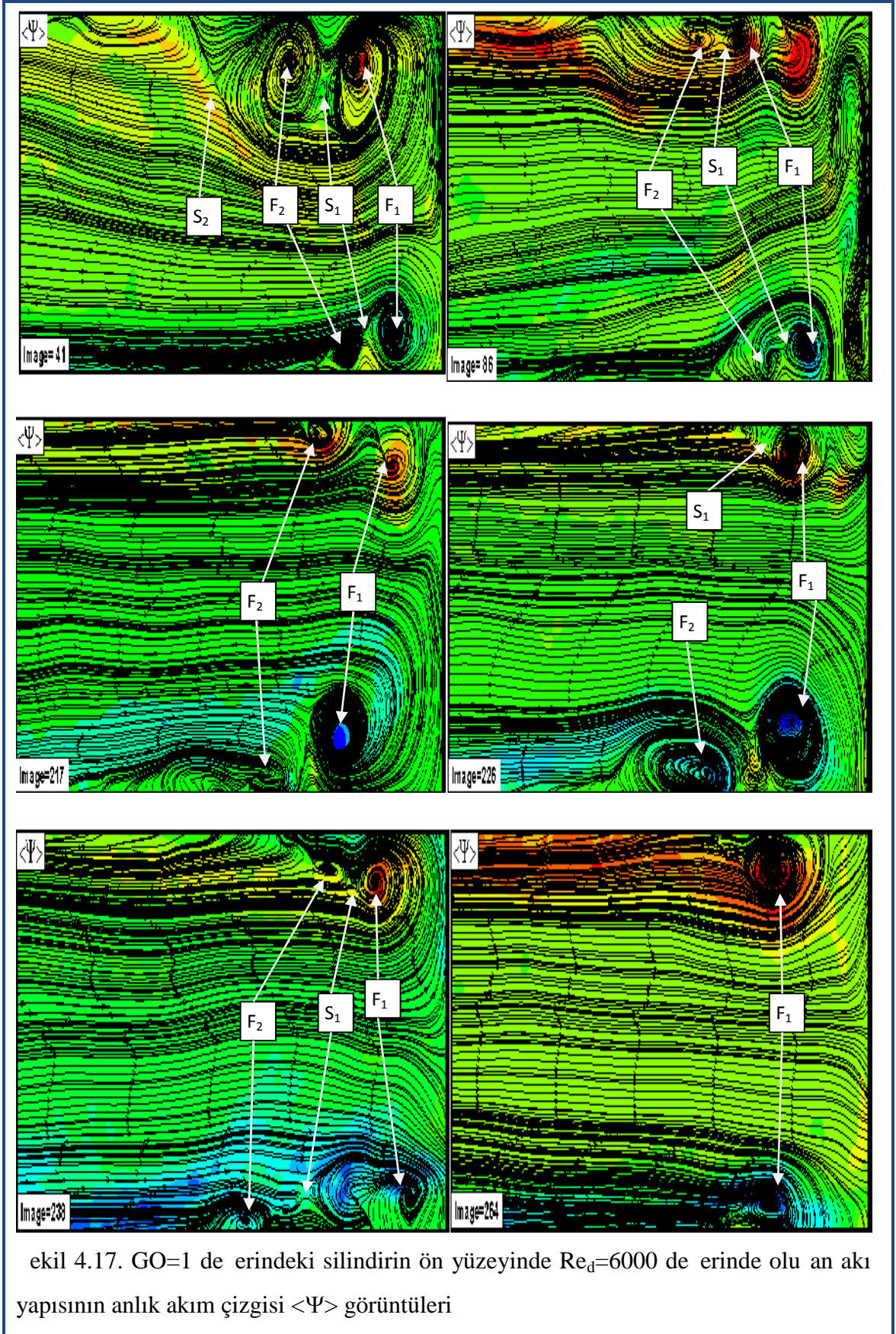


ekil 4.15. $GO=1.4$ de erine sahip dairesel silindirin $Re:1500$ de erinde ön ve arkasında olu an anlık akı yapısı



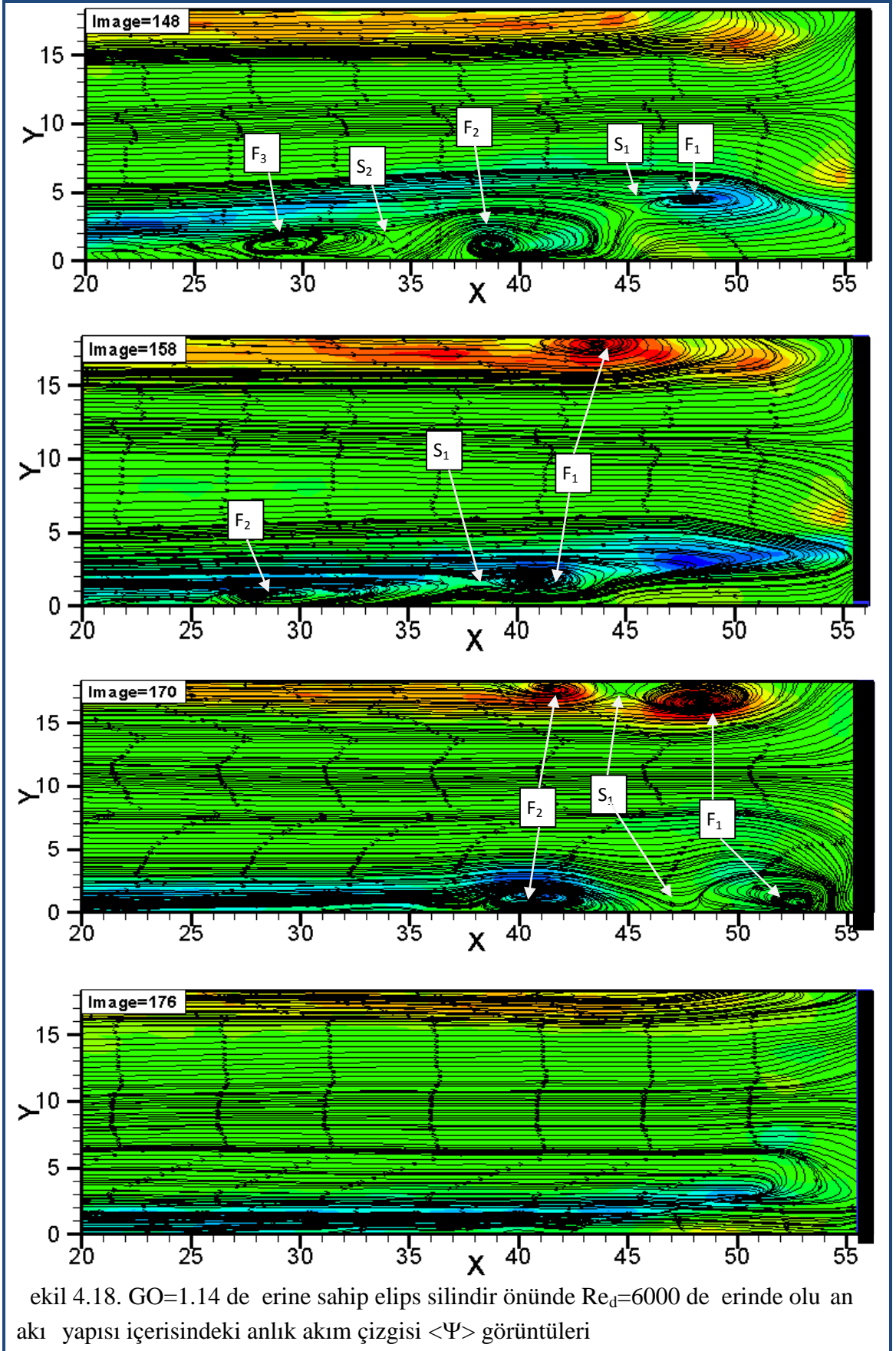
ekil 4.16. $GO=2.33$ de erine sahip dairesel silindirin $Re:1500$ de erinde ön ve arkasında olu an anlık akı yapısı

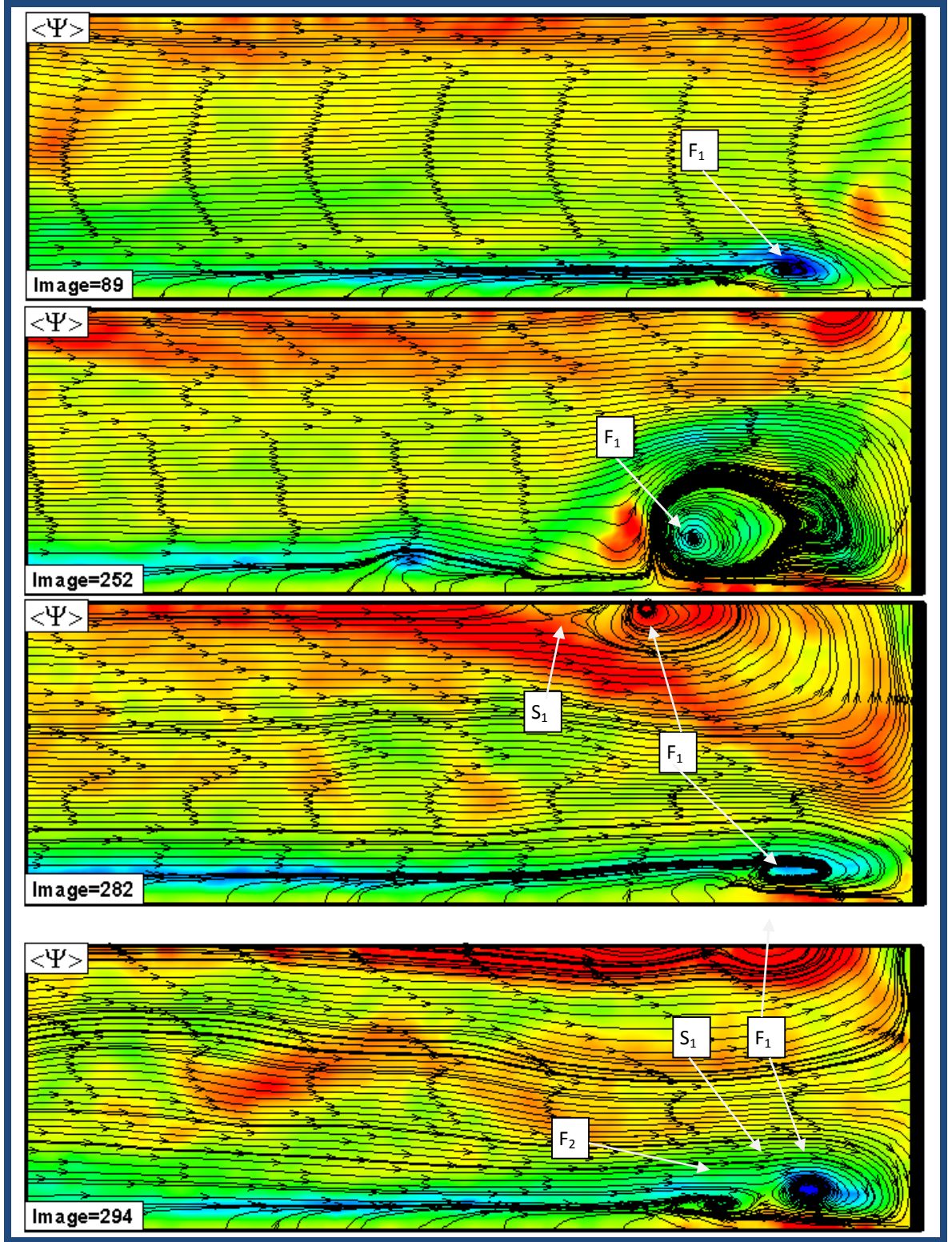
ekil 4.17' de $GO=1$ de erindeki silindirin ön yüzeyinde $Re_d=6000$ de erinde olu an anlık akı yapısı verilmi tir. 41 nolu anlık görüntüde, akı yapısı üst plakada baskın bir yapı göstererek, birbirlerine çok yakın iki adet büyük çapta ANG olu turmu lardır. Alt düzlem plaka ve silindir kesi me bölgesinde de iki adet ANG olu makta olup üst düzlem plaka tarafındaki akı yapısı daha baskındır. Girdap merkez noktalarında hızın sıfır oldu u fociler (F_1 ve F_2) olu maktadır. Bununla birlikte üst düzlem plaka akı nda girdapların arasında ve ikincil girdabın arkasında durma noktaları (saddle point, S_1 ve S_2) olu maktadır. 86 nolu akım çizgisi anlık görüntüsünde; akı yapısının anlık resimlerinde enteres an ekiler olu turdu unu görülebilmektedir. ki düzlem plaka içerisine konumlandırılmı silindirin ön tarafında olu an akı ta akı ayrılması zaman-ortalama de erlerindeki gibi simetrik olmamı , aksine tamamen alt tarafın baskın oldu u bir akı yapısı sergilemi tir. Alt ve üst plakada birincil ve ikincil küçük girdaplar birbiri içerisine girmekte ve plakalara yakın ekilde olu an girdap blo u içinde bulunmaktadırlar. Anlık akım çizgisi görüntülerinde zaman-ortalama verilerinin elde edilmesini sa layan akı yapısının bir hareketle ba layıp, geli ip, gerileyip ilk ba lama haline döndü ü (217-226-238-264) döngü görülecektir. 217 nolu akım çizgisi görüntüsünde; alt ve üst düzlem plaka ile silindir yüzeyinin birle me bölgelerinde, birer adet ANG girdap olu makta, ardında da akı yapısı girdap olu turmaya çalı maktadır. Akı durumu alt düzlem plakaya baskın gerçekte mi tir. 226 nolu akım çizgisi görüntüsünde ise alt düzlem plaka yüzeyinde iki büyük ANG olu urken, üst plaka bölgesinde küçülmü bir ANG görülmektedir. Girdap görünümünde durma noktaları (foci ve saddle point) görülmektedir. Akı yapısı silindir ön yüzeyinden ayrılırken nispeten simetrik yapıya ula mı tir. 238 nolu anlık akım çizgisi görüntüsünde; di er anlık verilerden farklı olarak girdap boyutlarının küçüldü ü dikkat çekmektedir. Üst ve alt düzlem plakaların silindir kesi im bölgelerinde birincil ve ikincil küçük girdap yapıları tespit edilmi tir. Üst plaka da girdaplar iç içe girmeye çalı ırken, alt plakada da ikincil girdabın bu duruma girmeye çalı tı ı görülmektedir. Akı yapısı ayrılma durumunda nerdeyse simetrik hale gelmektedir. 264 nolu anlık akım çizgisi verisinde, girdap olu umları ikincil girdaplarla birle erek birincil girdapları olu turmu lardır. Akı yapısı girdapların düzlem plakalara yakla masını sa larken onları yayvanla tırıp eliptik bir görüntüye kavu turmu tur. 264 nolu görüntü; bu Reynolds sayı de erindeki zaman-ortalama verilerine çok benzemektedir.



ekil 4.18' de $GO=1.14$ de erli elips silindir önünde Reynolds sayısının $Re_d=6000$ de erinde olu an akı yapısına ait anlık akım çizgileri resimleri verilmi tir. ekilde zaman-ortalama de erinden farklı olu an 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 ANG olu maktayken, üst düzlem plakada girdap olu umu görülmemektedir. ANG arasında iki durma noktası ($S_{1,2}$) görülmektedir. 158 nolu anlık akım çizgisi görüntüsünde ise alt düzlem plakada birincil ve ardından ikincil ANG ($F_{1,2}$) olu mu , aralarında durma noktası da olu mu tur. Üst düzlem plakada ise birincil ANG yapısı olu mu , böylelikle üst plaka ile elips silindir birle me bölgesinde girdap olu umu ba lamı tir. 170 nolu anlık akım çizgisinde; alt ve üst düzlem plaka üzerinde birincil ve ikincil ANG olu mu tur. Girdaplar arasında hızın sıfır oldu u ve akı ın durdu u durma noktası olu umu gözlenmektedir. 176 nolu anlık akım çizgisi görüntüsünde ise akı yapısında girdap ve durma noktası olu umu gözlenmemektedir. Açıklanan bu anlık akım çizgileri görüntüleri belli bir periyot ile aynı akı yapısı olu umuna devam etmektedir. Bu periyottaki akı yapısı, önce sadece alt plaka ile elips silindir birle im bölgesi üzerinde olu an girdaplar, daha sonra alt ve üst düzlem plakada olu an birinci ve ikincil simetrik girdapların olu umu ve son olarak akı yapısının üniform bir ekilde devam etmesi; eklindedir.

ekil 4.19' da $GO=1.4$ de erli elips silindir önünde Reynolds sayısının $Re_d=6000$ de erinde olu an akı yapısına ait anlık akım çizgileri resimleri verilmi tir. ekilde 89, 252, 282, 294 nolu anlık akım çizgisi resimleri verilmi tir. 89 nolu anlık akım çizgisi görüntüsünde alt düzlem plaka ile elips silindir birle im bölgesinde küçük çaplı bir girdap olu maktadır. Elips silindir ön yüzeyine çarpan akı simetrik bir ayrılma göstermektedir. 252 nolu anlık akım çizgisinde ise alt düzlem plaka yüzeyinde olu an girdap çapı büyük bir hal almı tir. Elips silindir yüzeyine paralel olu an akı ayrılması alt plakaya baskın ekilde gerçekleşir mi tir. 282 nolu anlık akım çizgisi resminde; alt ve üst düzlem plaka yüzeyinde elips silindirle birle me bölgelerinde birer adet ANG olu mu tur. Akı ayrılma noktası bu sefer üst plakada baskınla mı tir. Ayrıca üst plaka yüzeyinde girdap arkasında olu an durma noktası tespit edilmi tir. 294 nolu resimde ise alt plakada olu an birincil ve ikincil girdaplarla bunların durma noktaları görülmektedir. Üst plaka yüzeyinde de girdap olu umu ba lamaktadır.



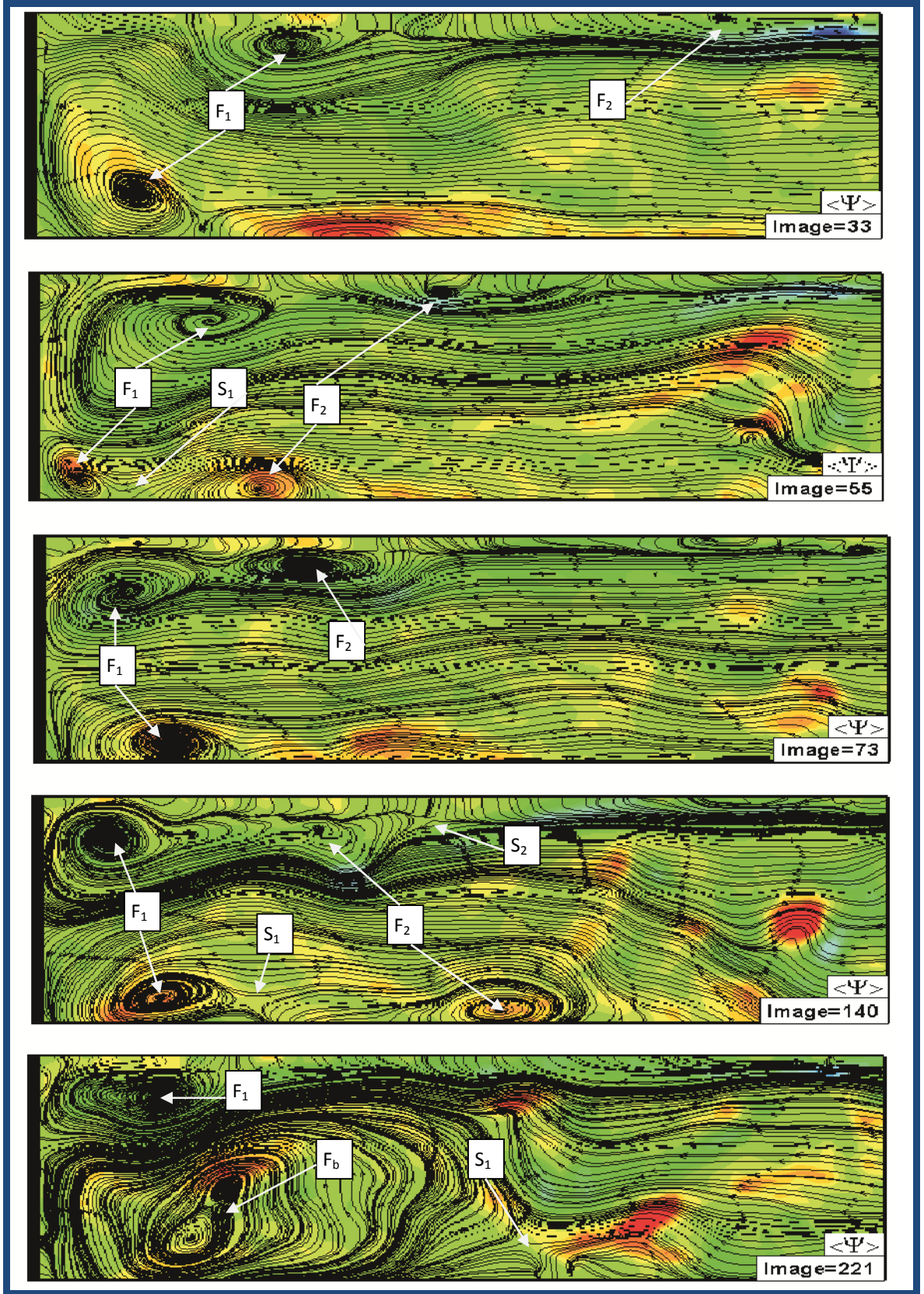


ekil 4.19. $GO=1.4$ de erine sahip elips silindir önünde $Re_d=6000$ de erinde olu an akı yapısı içerisindeki anlık akım çizgisi $\langle \Psi \rangle$ görüntüleri

ki düzlem plaka arasındaki farklı GO sahip elips silindirler arkasındaki akı yapısı ısı de i tiricileri uygulamalarında büyük önem ta ımaktadır. ki plaka arasına giren akı elips silindir ön yüzeyine çarparak belli bir akı olu turduktan sonra, elips silindir kısa çapının alt ve üst maksimum noktasından ayrılma olu turur. Bu ayrılma ile akı yapısı elips silindiri çevreleyerek elips silindir arkasında ölü akı bölgesi olu tururlar. Bu ölü akı bölgesindeki akı yapısı birbirleri üzerine spiral ekilde karı tı ında, elips silindirler arkasında farklı anlık akım çizgileri görüntüleri olu turmu lardır. Akı yapısı elips silindirler arkasında çalkantılı bir akım olu turmakta ve bu çalkantılı akı ın ısı de i tiricilerinde (basınç kayıpları artı ı ihmal edilerek) ısı transferini artırdı ı öngörülmektedir (Öztürk, 2006). Akı ın çalkantı ekli, periyodik olarak, bazen alt plaka düzleminde, bazen de üst plaka düzleminde akı yapısının baskınla ması eklindedir.

GO=1 de erine sahip silindir arkasında $Re_d=6000$ de erinde olu an akı yapısındaki anlık akım çizgisi $\langle \Psi \rangle$ görüntüleri ekil 4.20' de verilmi tir. Akı yönü soldan sa a do rudur. 33, 55, 73, 140, 221 nolu anlık akım çizgisi görüntüleri, aynı görünü oranı ve aynı Reynolds de erindeki zaman-ortalama anlık de erlerinden çok daha karma ık ve çalkantılı akı yapısına sahiptir.

33 nolu anlık akım çizgisi görüntüsünde; alt ve üst düzlem plaka ile silindir birle im bölgesini içine alan akım pasajındaki akı yapısı görülmektedir. Akı yapısı içerisinde girdap merkezleri durma noktaları olan ve hızın sıfır oldu u foci noktaları (F_n) ve akı yapısında girdapların hareketlerinin olu turdu u durma noktaları (saddle point, S_n), görülmektedir. Görüntüde iki büyük birincil girdap (F_1), silindir arka yüzeyinde alt düzlem plakaya baskın bir ayrılma göstermekte, arkasından gelen artçı girdaplar akı yapısının çalkantılı olmasını sa lamaktadır. 55 nolu anlık akım çizgisi görüntüsünde üst düzlem plaka birle im bölgesinde baskın olan akı yapısı dikkat çekmektedir. 73 ve 140 nolu anlık akım çizgileri görüntülerinde silindir arka taraf yüzeyinde akı ayrılması nispeten simetrik olu maktadır. Akı ı büyük birincil girdaptan sonra gelen ikincil girdapların (F_2) besledi i görülmektedir. 221 nolu anlık akım çizgisi resminde ise, alt düzlem plaka ile silindir birle me noktasında olu an girdap blo u, akı yapısının alt plaka yüzeyinde baskın oldu unu göstermektedir. ç içe girdap blo u farklı bir akı yapısı ve çalkantı görüntüsü sergilemi tir.

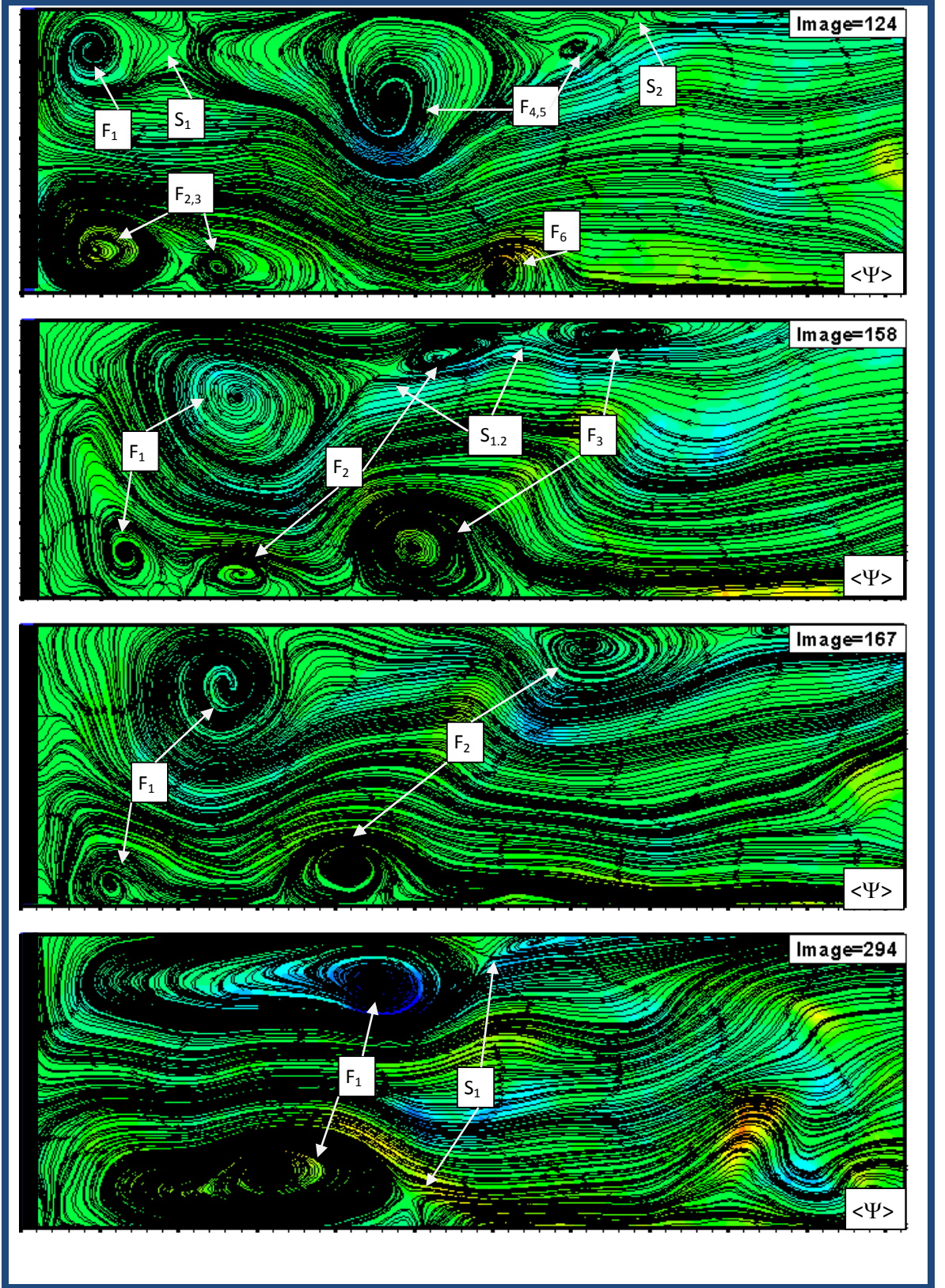


ekil 4.20. $GO=1$ de erine sahip elips silindir arkasında $Re_d=6000$ de erinde olu an akı yapısındaki anlık akım çizgisi $\langle \Psi \rangle$ görüntüleri

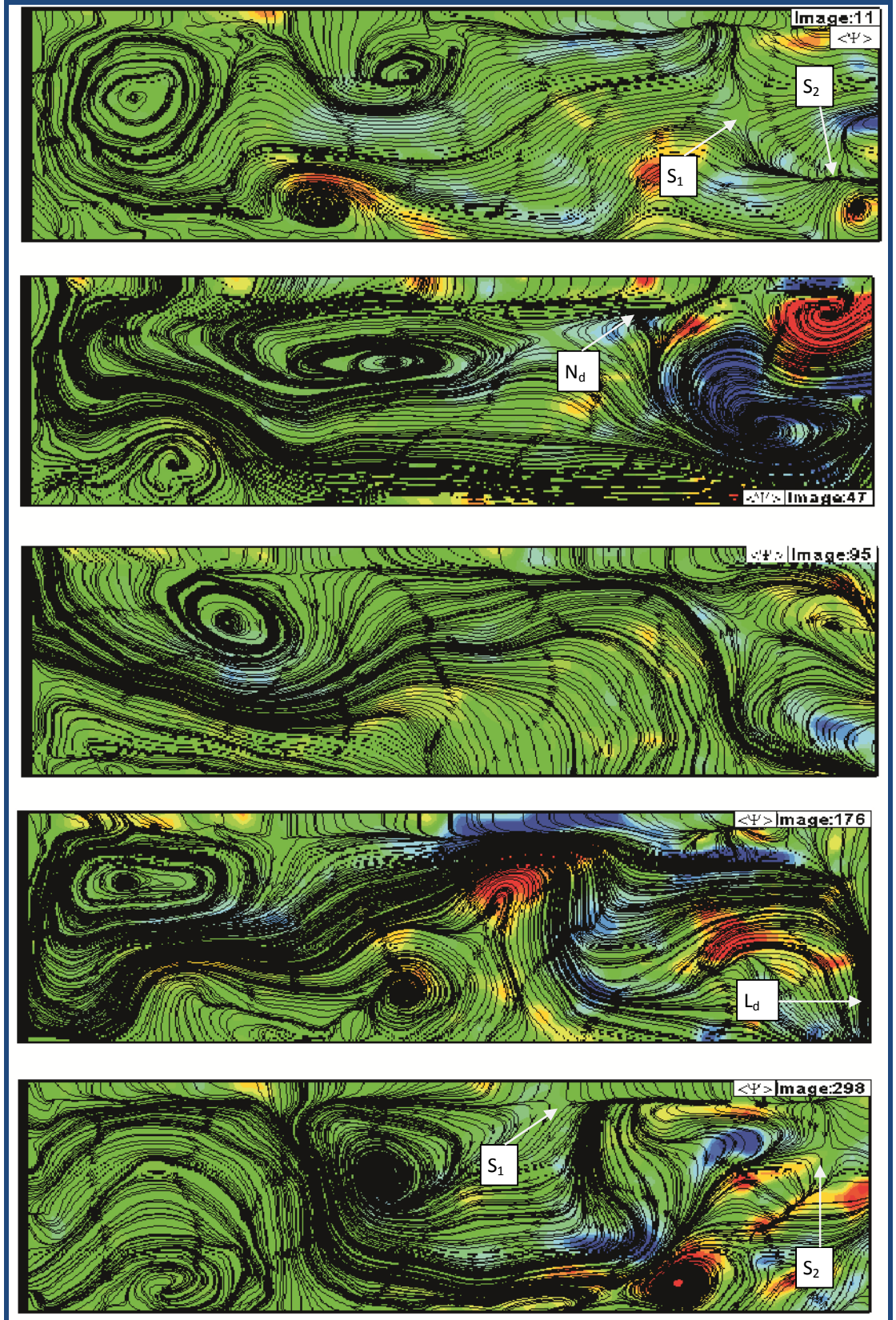
ekil 4.21' de $GO=1.14$ de erinde sahip elips silindir arkasında $Re_d=6.000$ de erinde olu an akı yapısındaki anlık akım çizgisi resimleri verilmektedir. 124, 158, 167, 294 nolu anlık akım çizgilerinden olu an ekilde, akı yapısında olu an girdap ekil ve sıraları periyodik olarak de i mektedir. 124 nolu anlık akım çizgisi resminde altı girdap ve buna ba lı altı foci (F_n), iki tanede durma noktası (S_1, S_2) olu maktadır. Dikkat edilmesi gereken ayrıntı ise alt düzlem ve üst düzlem plaka yüzeylerinde ana girdapların girdap blokları olu turmasıdır. Alt plakada $F_{2,3}$ ile gösterilen girdaplar iç içe geçerek bir girdap blo u, üst plakada $F_{4,5}$ ile gösterilen girdaplar di er bir girdap blo unu olu turmu tur. Olu an girdap blokları içindeki girdapların arasında durma noktaları (saddle point) olu maması, ikincil girdapların ($F_{3,5}$) boyutlarının küçük olmasındandır. 158 nolu anlık akım çizgisi görüntüsünde alt ve üst düzlem plaka arasındaki akı yapısında üçer adet ANG ($F_{1,2,3}$) olu tu u görülmektedir. Üst plakaya yakın bölgede olu an girdapların arasında durma noktaları olu urken, alt plakaya yakın olan girdapları arasında durma noktalarının olu maması, üst plakaya yakın olan birincil girdabın a ırı baskın olmasındandır. 167 nolu anlık akım çizgileri görüntüsünde, üçerli olan girdaplar iki erli olu mu tur. 294 nolu anlık akım çizgileri görüntüsünde ise alt ve üst düzlem plaka ile elips silindir arkasındaki birle me bölgesinde girdap sayıları tekli girdaplar olu turmu tur.

ekil 4.22' de $GO=2.33$ de erine sahip elips silindir arkasında $Re_d=6.000$ de erinde olu an akı yapısındaki anlık akım çizgisi $\langle \Psi \rangle$ görüntüleri verilmi tir. 11, 47, 95, 176, 298 nolu anlık akım çizgileri görüntülerinde elips silindir geometrisine ba lı olu an ters akı lar, renklendirilmi olan anlık görüntülerden net bir ekilde görülmektedir. Di er anlık verilerden farklı olarak, bu geometride akı periyodu; iki durma noktasıyla ba lamakta (S_1 ve S_2), dü üm noktası (N_D , noddle point) olu turmasıyla devam edip, daha sonra hızın sıfır oldu u durma noktalarının olu turdu u do rusal akı ayrılma düzlemi (L_D) olu turup, son olarak yine iki durma noktası olu turarak periyodik döngüsünü bitirmektedir.

Geometrinin ve türbülanslı akı yapısının etkisinin ne kadar önemli oldu u bu ekilden anla ılmaktadır. $GO=2.33$ ve $Re_d=6000$ de erinde olan elips silindirde 298 nolu anlık akım çizgisi resminden görülece i gibi, düzlem plakaların elips silindir yüzeyiyle birle me bölgesinde girdap olu umuna rastlanmamı tır.



ekil 4.21. $GO=1.14$ de erine sahip elips silindir arkasında $Re_d=6000$ de erinde olu an akı yapısındaki anlık akım çizgisi $\langle \Psi \rangle$ görüntüleri



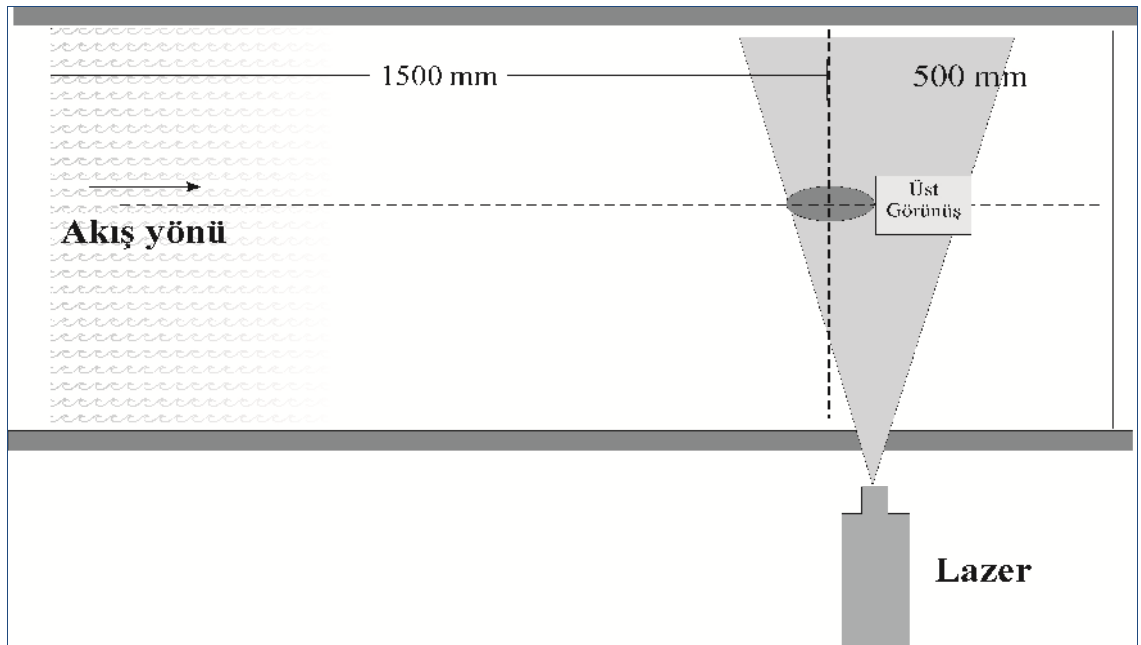
ekil 4.22. $GO=2.33$ de erine sahip elips silindir arkasında $Re_d=6000$ de erinde olu an akı yapısındaki anlık akım çizgisi $\langle \Psi \rangle$ görüntüleri

4.5. İki Plaka Arasındaki Dairesel Silindir ve Elips Silindirlerin Etrafında Oluşan Akış Yapısının Üst Görünüşleri

İki paralel düzlem plaka arasına yerleştirilmiş, $GO=1$ ve 1.14 değerlerine sahip elips silindirlerin etrafında oluşan akış yapısının üst görünüş resimleri verilmektedir.

Deney çalışmaları sırasında, üst görünüş verileri elde edilirken bazı aksaklıklar yaşanmıştır. Lazer ışık huzmesi 20mm uzunluğundaki plaka yan cidarlarından gönderilirken, ışığın parlaması sonucu altta bulunan CCD kamera net resimler yakalayamamıştır. Lazer ışığının parlamaması için, deney kanalı üzerine siyah kaplama koyularak çalışılmıştır ama bu uygulamadan etkili sonuç alınamamıştır. Bir başka yol olarak, ışığın yansımalarını engellemek için deney aparatı plakalar, siyaha boyanmıştır fakat tam olarak istenilen veriler bu uygulamayla da elde edilememiştir. Aksaklıklara rağmen, elde edilen veriler bu bölümde sunulmuştur.

Farklı GO ve Reynolds sayısı değerlerine sahip elips silindirler üzerinde oluşan akış yapısının ısı dağılımları tasarımcıları için çok önemlidir. Oluşan akış yapısının üstten görünüşü, akış yapısını anlamada yardımcı olmaktadır. Şekil 4.23'de deney düzeneğinin üst görünüşü verilmiştir.



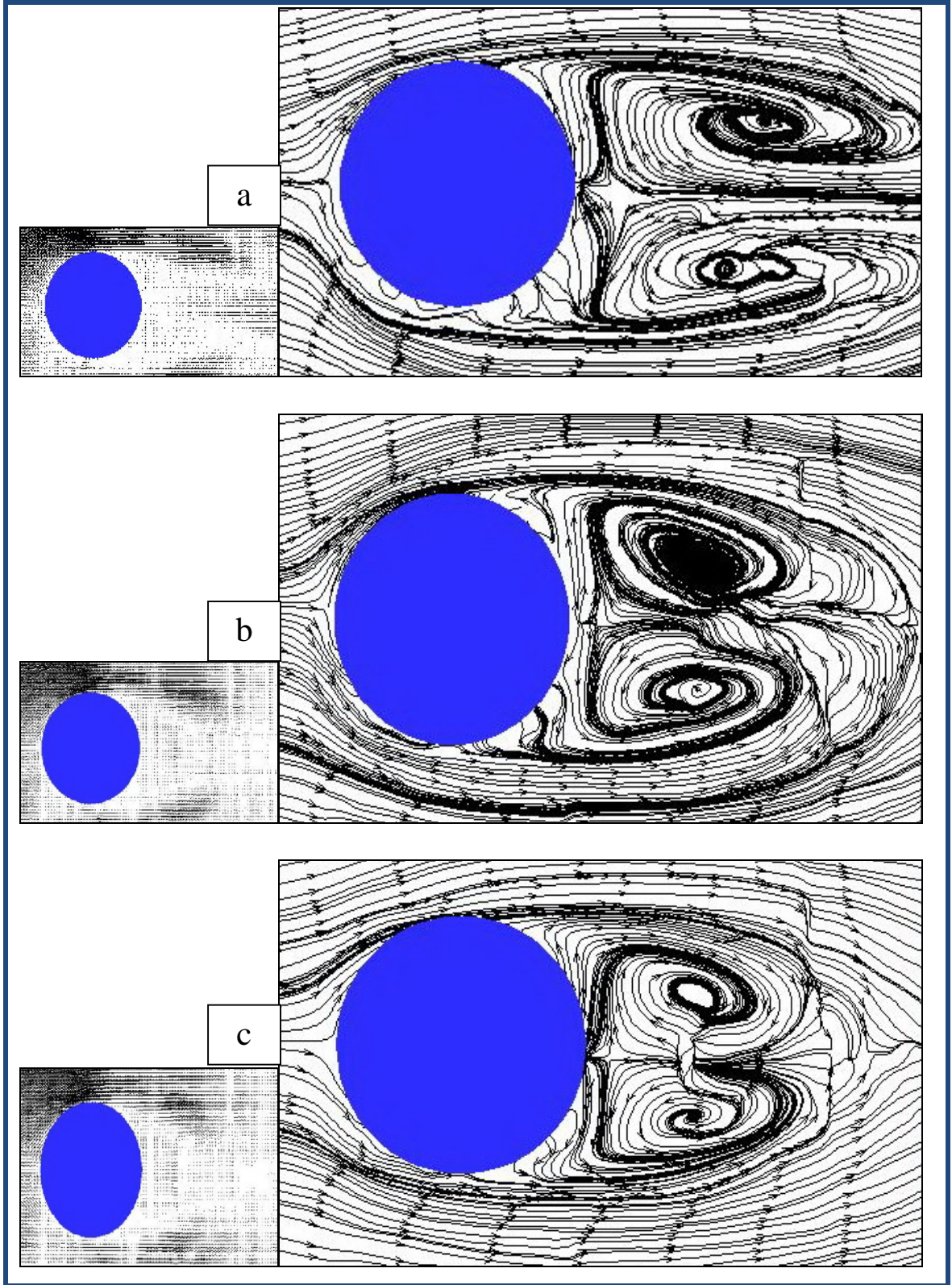
Şekil 4.23. Deney düzeneğinin üst görünüşü

ekil 4.24' de $GO=1$ de erinde silindir etrafında olu an akı yapısının $Re_d=6.000, 8.000, 10.000$ de erlerindeki zaman-ortalama hız alanları $\langle V \rangle$ ve akım çizgisi $\langle \Psi \rangle$ görüntüleri verilmi tir.

Reynolds sayısının $Re_d=6.000$ de erinde silindir etrafında olu an akı yapısının, silindiri ön tarafındaki durma noktasından sonra sararak geli ti i ve ayrılma noktasından sonra silindir arkasında ölü akı bölgesi ve durma noktaları olu turdu u gözlemlenmektedir. Silindir arkasında olu an girdap yapısında, durma noktasından sonra kendi girdap merkezine spiral bir ekilde dönen nispeten simetrik bir yapı görölmektedir.

$Re_d=8.000$ de eri için silindir etrafındaki akı yapısı, akım çizgileri görüntülerinden incelendi inde, silindir arkasında olu an iki girdabın artan Reynolds de eri ile birlikte ölü akı bölge alanını küçülttü ü ve silindir önünde ve arkasındaki durma noktalarını silindirden uzakla tırdı ı görölmektedir. Ölü akı bölgesinin küçülmesi ve durma noktalarının silindire yakla ması akı yapısında çalkantıya sebep olmakta ve akı yapısını bozmaktadır.

$Re_d=10.000$ de erinde silindir etrafında olu an akı yapısında, silindir arkasındaki akı ta yüksek Reynolds de erinden dolayı akı yapısı çalkantılı bir hal almı ve hem ayrılma noktasından sonra, hem de ölü akı bölgesi bitiminde birer adet durma noktası olu turmu tur. Ölü akı bölgesi alanı bu de erden daha dü ük Reynolds de erlerinde silindir arkası akı yapısından daha küçüktür.



ekil 4. 24. $GO=1$ de erinde silindir etrafında olu an akı yapısının a) $Re_d= 6.000$, b) $Re_d= 8.000$, c) $Re_d= 10.000$ de erlerindeki zaman-ortalama hız vektör alanları $\langle V \rangle$ ve akım çizgisi $\langle \Psi \rangle$ görüntüleri

ekil 4.25' de $GO=1.14$ de erinde silindir etrafında olu an akı yapısının $Re_d=4.000, 6.000, 8.000, 10.000$ de erlerindeki zaman-ortalama akım çizgisi $\langle \Psi \rangle$ görüntüleri verilmi tir.

Reynolds sayısının $Re_d=4.000$ de erinde iki düzlem plaka arasında bulunan $GO=1.14$ olan elips silindir etrafındaki akı yapısında, elips silindirin ön taraf yüzeyinde durma noktası olu makta ve akı elips silindiri sararak akı a devam etmektedir. Elips silindir arkasına, ayrılma noktasından sonra geçen akı , silindir arka tarafından uzak bir bölgede durma noktası olu turmakta ve birer adet girdap olu turmaktadır. Silindir arkasında alt tarafta olu an girdap, döngüsünü tam olarak tamamlayamadı ndan içerisinde durma noktaları olu turmaktadır. Olu an ölü akı bölgesinin bitiminde de bir durma noktasının olu tu u görülmektedir.

Reynolds sayısının $Re_d=6.000$ de erinde elips silindir etrafında olu an akı yapısında elips silindir önünde durma noktası görülmektedir. Elips silindir kısa çapı maksimum aralı ında ayrılma noktasından sonra elips silindiri sararak ölü akı bölgesi olu turmaktadır. Olu an akı yapısında geometriye ba lı olarak elips silindir arkasında durma noktası olu mamaktadır. Ayrıca bu de erde ölü akı bölgesi silindire göre, boyca uzamı , ence kısalmı tır. Ölü akı bölgesinde olu an girdaplar birbirlerinden uzakta olu mu tur. Ölü akı bölgesinin sonunda durma noktası olu maktadır.

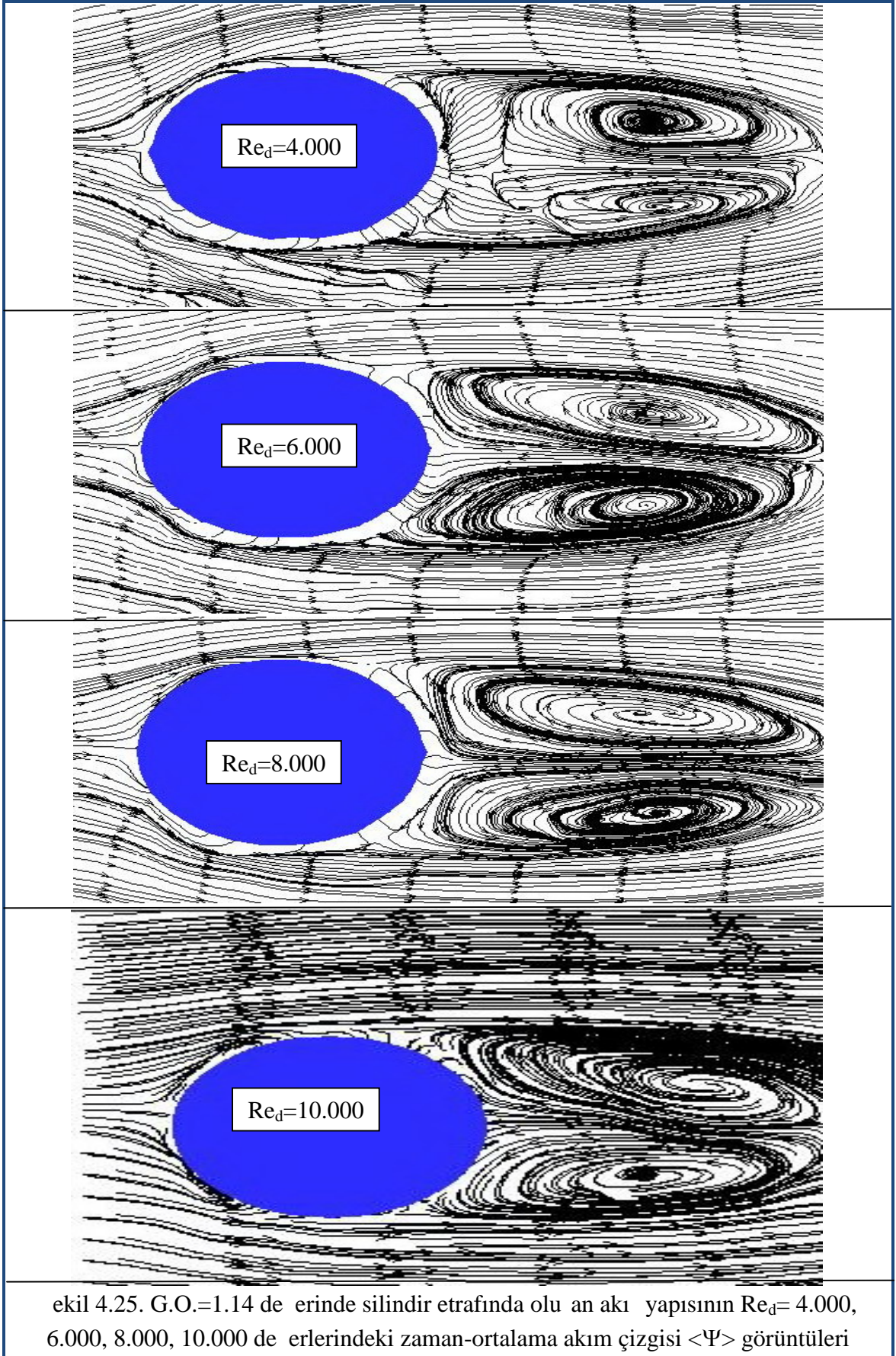
Reynolds sayısının $Re_d=8.000$ de erinde elips silindir etrafındaki akı yapısı, artan Reynolds de eriyle de i im göstermektedir. Elips silindir önünde olu an durma noktası elips silindire yakla maktadır. Elips silindirin arkasında olu an girdap yapısı geometriye ba lı olarak uzamaktadır. Girdap döngüleri iddetlerini artırarak birbirlerine daha çok yakla mı lardır. Bu de erde girdaplar elips silindir arkasında durma noktası olmaksızın olu mu lardır. ekilde bu de erin ölü akı bölgesi sonu görülememektedir.

Reynolds sayısının $Re_d=10.000$ de erinde elips silindir etrafındaki akı ın tamamen türbülanslı hale geldi i akım çizgilerinden anla ılmaktadır. Yüksek Reynolds sayı de eriyle elips silindirin önünde durma noktası elips silindire daha fazla yakla maktadır. Elips silindir arka tarafında olu an ölü akı bölgesi girdap çevrimlerinin sonunda durma noktası göstermekteyken, girdap olu umunda durma noktası olu turmamaktadır. Elips silindir arka tarafındaki akı yapısında artan Reynolds

de erleriyle olu an girdapların döngülerinin birbirlerine yakla tıkları gözlemlenmi tir. Bu yakla ım akı yapısındaki çalkantıyı artırmaktadır. Bu durumun silindir yapıda daha az gözlendi i ekil 4.24 ve ekil 4.25' den kar ıla tırılabilir.

Konuyla ilgili çalı masında Öztürk, (2006) “Çalkantının yüksek olu u ve akı yapısının sürekli de i imi taze akı ın silindirlerin cidarlarına iyice yakla masına neden oldu unu ve akı ın bu hidrodinamik yapısının ısı geçi ini yükseltmekte oldu unu ifade ederek, silindir yapıda olu an çalkantının ısı geçi ini yükseltti ini” belirtmi tir.

Elips silindir geometrisinde olu an akı yapısında çalkantı silindire göre daha çok oldu undan, elips silindirler üzerindeki ısı transfer geçi i; dairesel silindir yapının ısı geçirgenli inden daha yüksektir. Bu bulgu; yapılan nümerik çalı malarla da uyumluluk göstermektedir.



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, 20mm yüksekliğinde iki düzlem plaka arasına yerleştirilmiş farklı görünüm oranlarına ($GO=1, 1.14, 1.4, 1.75, 2.33$) sahip elips silindirlerin, üst ve yan görünüm lerindeki akı yapısı, farklı Reynolds sayılarında ($Re_d=1500, 4000, 6000, 8000, 10000$), Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçüm (PIV) tekniği kullanılarak deneysel olarak incelenmiştir. Deneyler esnasında akı yapısının anlık hız alanları $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$ ve girdap dairelikleri $\langle \omega \rangle$ görüntüleri elde edilmiştir. Elde edilen bu veriler ile elips silindir geometrisi üzerindeki akı yapısının zaman-ortalama hız alanları $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$ ve girdap dairelikleri $\langle \omega \rangle$ hesaplanmıştır.

Yapılan deneylerde hem elips silindir üzerindeki akı yapısı hem de dairesel silindir üzerindeki akı yapısı veriler elde edilmiş sonuçlar kıyaslanmıştır. Silindir geometrisi üzerindeki akı yapısı için elde edilen sonuçlar literatürde bulunan sonuçlarla uyum içerisinde olduğu görülmüştür. Aynı zamanda, Elips silindir üzerindeki akı yapısı için yapılan deneysel çalışmalar ile literatürdeki sayısal çalışmalarda elde edilen sonuçlarla paralellik göstermektedir.

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

Genel olarak, dairesel ve elips silindir geometrilerinin ön yan görünüm lerinde, 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 'nun artmasıyla oluşan bu A.N.G' lar dairesel bir görüntüden eliptik bir görünüme geçmektedir. Bu durum akı yapısını ve ANG yapısını etkilemektedir.

Elips silindir geometrisinin arka yan görünüm lerinde, elips silindirler ve düzlem plakaların birleşme bölgelerinde girdap oluşumları gözlemlenmektedir. GO değerleri arttıkça akı yapısı geometriye bağlı olarak değişmektedir. Artan Reynolds değerleriyle girdap boyutları küçülme, şiddetleri artmaktadır. Ön yan görünüm lerine göre elips

silindir yüzeyindeki akı ayrılma noktası asimetric yapıdadır. Artan Reynolds de erleriyle asimetric yapı elips silindirlerin akı yapısını çalkantılı hale getirmektedir. Elips silindir ve dairesel yapı karıla tırıldı ında arka yan görünüm te, artan GO ile ters akı lar ve durma noktalarının artı gösterdi i görülmektedir.

Anlık veriler elips silindirlerin ön/arka yan görünüm lerinde akı yapısının nasıl de i ti ini göstermektedir. Verilerde akı yapısının de i ti i anlık resimler verilmi , akı içerisindeki olu um döngüsü belirtilmi tir. Anlık görüntülerde akı yapısının, bazen alt düzlem plaka yüzeyinde bazen de üst düzlem plaka yüzeyinde baskınla tı ı anla ılmaktadır. Bu baskınla ma akı ın çalkantı yapısını bir kez daha göstermektedir.

Deneylerden elde edilebilen üst görünüm görüntülerinde, elips silindir önünde olu an ayrılma noktasının artan GO ile elips silindire daha çok yakla tı ı görülmektedir. Elips silindir arkasında olu an ölü akı bölgesi artan Reynolds de erleriyle alanını küçültmekte ve iddetini arttırmaktadır. Artan GO ile ölü akı bölgesi eliptik bir akı yapısı olu turmakta ve akı ı çalkantılı hale getirmektedir. Elips silindirin arka tarafında olu an durma noktası, silindir arkasında olu an durma noktasından farklıdır. Akı yapısı elips silindir arka bölgesinde olu an ölü akı bölgesi ba langıcında, durma noktası olu turmamaktadır.

Yapılan literatür çalı masında ısı de i tiricileri optimizasyonu ile ilgili, çalı malar sayısal olarak ara tırılmı tir. Bu ara tırmada ısı de i tiricisini temsilen kullanılan iki plaka arasındaki oval (elips, eliptik) tüp yapısının; dairesel silindir yapısına göre daha kompakt oldu u ve elips silindirin ısı transfer katsayısının silindire göre daha iyi oldu u bildirilmi tir.

Deneyssel olarak bu çalı maya en yakın çalı ma Öztürk (2006) tarafından yapılmı tir. Yazar dairesel silindir yapının akı durumu sonucu için, “Serbest akı ın silindirin etki alanına girmesinden belirli bir mesafeden sonra alt ve üst levha yüzeylerindeki bir dü üm noktasından itibaren akı ayrılması meydana gelmektedir. Akı ın bu dü üm noktası her iki levha yüzeyinde de ileriye ve geriye do ru hareket etmekte olup, ayrılmı akı bölgesi bazen üst, bazen de alt levha yüzeyine yakın bölgede daha geni alanı kaplamaktadır. Bu bölgelerde olu an girdaplar taze akı ı, silindirin yüzeyine yakın bölgeye ta ımaktadır. Silindir arkasında olu an iz bölgesine de daha fazla kütle transferi sa layarak akı ta hareketlili i arttırmaktadır. Akı ın bu girdaplı yapısı da hidrodinamik olarak borulu ve plaka tipi ısı de i tiricilerinde ısı geçi ini

artırmaktadır.” ifadelerini kullanmıştır. Bu sonuçla beraber elips silindir yapısının geometrisine bağlı olarak olu turdu u ön/arka yan ve üst görünülerinde, dairesel olan silindire göre daha fazla girdap formu olu turdu u bu yüzden de elips silindirlerin dairesel silindirlerden daha iyi ısı geçi i sağladıkları öngörülmektedir.

Genel sonuç olarak, elips silindir yapısının geometrisine bağlı olarak olu turdu u akı yapısı, dairesel silindirde olu an akı yapısından farklıdır. Olu an ANG' ların boyut farklılıkları ve durma noktalarının de i ik ekillerde olu ması, akı yapısında silindir geometrisinden daha fazla akı hareketliliğine sebep olmaktadır. Bu hareketlilik akı yapısının de i mesine ve silindire göre daha iyi ısı transfer etkisine sahip olmasına sebep olmaktadır.

Uygulamacılar için tavsiye edilen ısı de i tiricileri boyutları; $GO=1.14$ ve 1.4 de erindeki elips silindirlerdir. $GO=1.75$ ve 2.33 olan elips silindirler akı yapısının türbülanslı oldu u durumlarda ($Re_d > 6.000$) kullanıldı ında akı yapısını bozmakta ve daralan geometrik ekil yapısından (artan GO ' dan), artan basınç kaybı de erlerinden ve artan viskoz kayıp de erlerinden dolayı faydalı bir ısı geçi ini sağlamayaca ı öngörülmektedir.

Yapılan çalı manın çoklu, sıralı ve a ırtmalı elips silindirle yapılması, akı yapısındaki de i ikliklerin görülmesi, ayrıca akı yapısının fizi inin yanı sıra basınç kaybı ve ısı transfer katsayılarına göre ara tırmaların yapılması; elde edilecek verilere göre de ısı e anjörlerinin optimizasyonun yapılması ileride önerilen bir çalı madır. Böylelikle çoklu elips silindir kullanılarak imal edilen ısı de i tiricilerinin uygulanabilirli i deneysel olarak incelenmi olacak ve uygulamacılara imal konusunda yeni fikirler verecektir.

KAYNAKLAR

- A.E. Perry & M.S. Chong., 1987. **Annual Review of Fluid Mechanics**, Vol. 19, pp.125-155.
- Akkoca, A., Şahin B., Öztürk A., Akıllı H. 2006. Kanat ve borulu bir ısı eanjöründe akı özelliklerinin deneysel olarak belirlenmesi **I. Ulusal Havacılık ve Uzay Konferansı** , Ankara.
- Anonim, 2010. PIV çalışması prensibi <http://www.dantecdynamics.com>.
- Bouris, D., Papadakis, G., Bergeles, G., 2001. 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.
- Çengel Y.A., Cimbala J.M , 2008. **Akı kanlar Mekani i Temelleri ve Uygulamaları**, 2. Baskı, (Engin T.) Güven Bilimsel, McGraw-Hill.
- Çengel Y. A., 2003. **Heat Transfer: A Practical Approach**, 2nd ed., McGraw-Hill,. ISBN 0072458933.
- Goldstein, L.G., Sparrow, E.M., 1976. Experiments on the Transfer Characteristics of a Corrugated Fin and Tube Heat Exchanger Configuration. **J. Heat Transfer**, Trans ASME, February, pp.26-32.
- Hasan Ala, 2005. Thermal-hydraulic performance of oval tubes in a cross-flow of air. **Heat Mass Transfer**, March, Vol.41, pp. 724-733.
- Jang, J.Y., Chen, L.K., 1997. 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.
- Jiin-Yuh Jang, Chien-Nan Lin., 2002. 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.
- Juncu G., 2008 . Unsteady heat transfer from an elliptic cylinder. **International Journal of Heat and Mass Transfer** 5, Pp.920-928.

- Karaku C., 2007. 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.
- Kim, J.Y., Song, T.H., 2003. Effect of Tube Allignmnet and the Heat/Mass Transfer From a Plate Fin and Two- Tube Assembly: Naphthalene Sublimation Results. **Int. Journal of Heat and Mass Transfer**, Vol.46, pp. 3051-3059.
- Lozza, G., Merlo, U., 2001. An experimental investigation of heat transfer and friction losses of interrupted and wavy fins for fin-and-tube heat exchangers. **International Journal of Refrigeration**, 24, 5, 409-416.
- Martinuzzi R.J., Havel B., 2004. Vortex shedding from two surface mounted cubes in tandem, **Int. J. Heat and Fluid Flow**, Vol. 25, pp. 364-372.
- Mendez, R.R., Sen, M., Yang, K.T., McClain, R, 2000. Effect of Fin Spacing on Convection in a Plate Fin and Tube Heat Exchanger. **Int. J. Heat Mass Transfer**, Vol.43, pp. 39-51.
- Ota T, Aiba S, Tsuruta T, Kaga M., 1983. Forced convection heat transfer from an elliptic cylinder of axis ratio 1:2. **Bull JSME**, 26(212):262–267.
- Özgören, M., 2006. Flow Structure in the Downstream of Square and Circular Cylinders, **Flow Measurement and Instrumentation**, Vol.17, No.4, 225-235.
- Öztürk N.A., Akkoca A., ahin B., 2006, Bir kompakt ısı e anjöründe akı yapısının PIV tekni iyle incelenmesi **GAP V. Mühendislik Kongresi Bildiriler Kitabı 1.**, Cilt s: 44-51, anlurfa.
- Öztürk, N.A., 2006. Investigation of flow characteristics in heat exchangers of various geometries. **PhD. Thesis.**, Cukurova University, Inst. Of Natural and Applied Sciences, Adana
- Park, C.W., Lee, S.J., 2004. Effects of free-end corner shape on flow structure around a finite cylinder, **Journal of Fluids and Structures**. 19, 141-158.
- Praisner T. J. , D. R. Sabatino and C. R. Smith., 2001. Simultaneously combined liquid crystal surface heat transfer and PIV flow-field measurements. **Experiments in Fluids.**, Vol.30 pp.1-10.

- Rocha, L.A.O., Saboya, F.E.M., Vargas, J.V.C., 1997. 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.
- Reiher H., 1928. **Handbuch der experimental physik.**, Leipzig 9(pt. 1):312.
- Roulund, A., Sumer, B. M., Fredsoe, J., Michelsen, J., 2005. Numerical and experimental investigation of flow and scour around a circular pile. **Journal of Fluid Mechanics**, 534, 351-401.
- Saboya S.M., Francisco E.M. Saboya, 2001. 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
- Sahin, B., Akkoca, A., Öztürk, N.A., Akilli, H., 2006. Investigations of flow characteristics in a plate fin and tube heat exchanger model composed of single cylinder., **Int. J. Heat and Fluid Flow**, 27 (2006), 522-530.
- Seal, C.V., Smith, C.R., 1999. The control of turbulent end-wall boundary layers using surface suction, **Experiments in Fluids**, Vol.27, pp.484-496.
- Sumer, B.M., Christiansen, N., Fredsoe, J., 1997, The horseshoe vortex and vortex shedding around a vertical wall mounted cylinder exposed to waves, **J. Fluid Mech**, Vol. 332, pp.41-70.
- Tsai, S.F., Sheu, T.W.H., 1999. Heat Transfer in a Conjugate Heat Exchanger With a Wavy Fin Surface., **Int. J. Heat Mass Transfer**, Vol. 42, pp. 1735-1745.
- Tiwari, S., Biswas, G., and Prasad S. B., 2003. Numerical Prediction of flow and heat transfer in a rectangular channel with a build-in circular tube. Transaction of the ASME, **Journal of Heat Transfer**, 125, 413-421.
- Wang, H.F., Zhou, Y., Wong, C.K., Lam, K.S., 2004. Flow structure around a finite length square prism, **15th Australian Mechanics Conference**, The University of Sydney, Sydney, Australia, 13-17 December.
- Wung, T.S., Chen, C.J., 1989. Finite Analytic Solution of Convective Heat Transfer for Tube Arrays in Crossflow: Part I- Flow Field Analysis. **Journal of Heat Transfer**, August, Vol. 111, pp. 633-640.

TE EKKÜR

Tez çalı mamın her a amasında, büyük bir titizlik, sabır ve özveriyle bana destek olan, yo un akademik görevlerine ra men her fırsatta zaman ve ilgisini esirgemeyen, yol gösteren ve bilimsel çalı mamda bana yardımcı olan tez danı manım de erli hocam Prof. Dr. Ali KOÇ' a en derin saygılarımı ve minnettarlı ımı iletmek isterim.

Okul hayatım ve çalı malarım sırasında gerek maddi gerek manevi her türlü deste ini esirgemeyen, Sayın Bölüm Ba kanım Prof. Dr. Ertu rul BALTACIO LU' na sonsuz te ekkürlerimi bir borç bilirim.

Çalı mamın büyük bir bölümünde hiç yanımdan ayrılmadan, Çukurova Üniversitesi Akı kanlar Mekani i Laboratuvarın' da hocadan çok a abey sevgisiyle ve bitmez tükenmez enerjileriyle bana çalı ma azmi veren de erli hocalarım Yrd. Doç. Dr. Cuma KARAKU ve Yrd. Doç. Dr. Adil ÖZTÜRK' e ayrıca tez yazımı ve kontrolü a amasında tecrübelerini benimle payla an çok sevgili hocalarım Doç. Dr. Ergül YA AR ve Yrd. Doç. Dr. brahim KELE ' e sonsuz ükranlarımı sunuyorum.

Tez çalı mamın bu seviyeye gelmesinde en büyük role sahip, dü üncenin teze dönü mesini sa layan, laboratuvarlar imkânlarını sunan, Çukurova Üniversitesi Makine Mühendisli i Bölümünden çok saygıde er hocalarım, Prof. Dr. Be ir AH N ve Doç. Dr. Hüseyin AKILLI' ya, yine bilgi ve veri analiz yöntemlerinde çok yardımları olan ara tırma görevlisi arkada larıma te ekkür ediyorum.

Çalı mamın her a amasında gece-gündüz yanımda olan ve yardımlarını hiç unutmayaca ım yüksek lisans arkada larım Makine Müh. Salih ÇEL K ve Makine Müh. Umut MALKOÇ' a sonsuz te ekkürlerimi sunuyorum.

Son olarak hayatımın her a amasında bana destek olan aileme ve çalı ma süresi boyunca beni sabırla bekleyen ni anlıma; bu çalı manın onurunun ve bana ait her türlü hakkının kendilerine ait oldu unu söylemek istiyorum.

ÖZGEÇM

1984 yılında Afyon'da doğdum. Ortaokul ve lise öğrenimimi Kayseri'de Nuh Mehmet Küçükçalık Anadolu Lisesi'nde tamamladım. Mustafa Kemal Üniversitesi Mühendislik- Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümünden "Makine Mühendisi" unvanıyla 2007 yılında mezun oldum. Askerlik görevinden sonra bir süre özel sektörde çalıştım. 2008-2009 Öğretim yılı Güz döneminde Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimime başladım.