T.C.
OSMANİYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Cemre POLAT

FARKLI DİZİLİMLERE SAHİP BİNALAR ETRAFINDAKİ AKIŞ KARAKTERİSTİKLERİNİN PIV YÖNTEMİ İLE DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

OSMANİYE – 2019

T.C.
OSMANİYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ

FARKLI DİZİLİMLERE SAHİP BİNALAR ETRAFINDAKİ AKIŞ KARAKTERİSTİKLERİNİN PIV YÖNTEMİ İLE DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Cemre POLAT

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

OSMANİYE
TEMMUZ–2019

TEZ ONAYI

FARKLI DİZİLİMLERE SAHIP BİNALAR ETRAFINDAKİ AKIŞ KARAKTERİSTİKLERİNİN PIV YÖNTEMİ ILE DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Cemre POLAT tarafından Doç.Dr. Coşkun ÖZALP danışmanlığında Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Enerji Sistemleri Mühendisliği** Anabilim Dalı'nda hazırlanan bu çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından oy birliği/çokluğu ile **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Coşkun ÖZALP ……...
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, OKÜ

Üye: Doç. Dr. Bülent YANIKTEPE ……...
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, OKÜ

Üye: Doç.Dr. M. Atakan AKAR ……...
Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı, ÇÜ

Yukarıdaki jüri kararı Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ...../...../..... tarih ve ..... /…….....sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Doç. Dr. Coşkun ÖZALP ……..
Enstitü Müdürü, **Fen Bilimleri Enstitüsü**

Bu Çalışma OKÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Tarafından Desteklenmiştir.
Proje No: OKÜBAP-2019-PT3-009

Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, çizelge ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, bu çalışma sonucunda elde edilmeyen her türlü bilgi ve ifade için ilgili kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını ve bu tezin Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlandığını bildiririm.

Cemre POLAT

ÖZET

FARKLI DİZİLİMLERE SAHIP BİNALAR ETRAFINDAKİ AKIŞ KARAKTERİSTİKLERİNİN PIV YÖNTEMİ ILE DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Cemre POLAT
Yüksek Lisans, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç.Dr. Coşkun ÖZALP

Temmuz 2019, 102 sayfa

Keskin köşeli hatlara sahip cisimler bir akışa maruz kaldığında akış cismin arka bölgesinde karışık, dengesiz ve zamanla değişebilen türbülanslı bir hal alır. Akışın hızı, yönü ve cismin şekli, yüzeylerde oluşan hız bölgelerinde ve basınç farklarında belirleyici faktördür. Günümüzde modern şehirlerde eski, tek katlı müstakil yerleşimler yerini büyük çok katlı sitelere ve ticari binalara bırakmıştır. Bu değişim şehrin görünüşünü değiştirdiği gibi yerel rüzgârların değişiminde de rol oynamıştır. Bu rüzgâr değişimi zaman zaman bina içi iklimlendirmeye dezavantaj oluşturup enerji ihtiyacını arttırdığı gibi dış mekânlarda da konfor şartlarını standartların altına çekmektedir. Bina geometrileri ve yerleşimleri ile rüzgâr arasındaki ilişki dikkate alınarak üretilebilecek bazı bina tasarımları bu dezavantajları ortadan kaldırdığı gibi, binalar arasına konumlandırılacak rüzgâr türbinleri vasıtasıyla enerji üretimi yapabilme potansiyelini açığa çıkartacaktır. Bu çalışmada, kanal içerisine yerleştirilmiş farklı örnek bina geometrileri arasındaki akış karakteristiklerini (ortalama hız, girdap, akım çizgileri) belirlemek üzere parçacık görüntülemeli hız ölçüm (PIV) tekniği kullanılarak deneysel çalışmalar yapılmıştır. 7,5cm x 7,5cm x 7,5cm boyutlarında küp ve 15cm x 7,5cm x 7,5cm boyutlarında dikdörtgenler prizması modeller akrilik malzemeden imal edilerek oluşturulan dizilim konfigürasyonları Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi İleri Akışkanlar Dinamiği Laboratuvarında PIV düzeneğinde farklı Reynolds sayılarında deneysel olarak incelenmiştir. Elde edilen verilere göre gerçek bina dizilimlerine dair fikirler tartışılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Akış karakteristiği, PIV, Binalar etrafındaki akış

ABSTRACT

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF FLOW CHARACTERISTICS OF BUILDING MODELS FOR DIFFERENT CONFIGURATIONS WITH PIV METHOD

Cemre POLAT
M.Sc., Department of Energy Systems Engineering
Supervisor: Assoc.Prof.Dr. Coşkun ÖZALP

July 2019, 102 Pages

When angular objects with sharp lines are exposed to a flow, the flow becomes mixed, unstable and turbulent in the posterior region of the body. The velocity, direction and shape of the flow are the determining factors in the velocity zones and pressure differences on the surfaces. Today, the old, single-floored detached settlements in modern cities have been replaced by large multi-floored sites and commercial buildings. This change not only changed the appearance of the city but also played a role in the change of local winds. This wind change creates a disadvantage to indoor air conditioning from time to time and increases the energy need and also brings comfort conditions under the standards in outdoors. Some building designs that can be produced by considering the relationship between the building geometries and the winds will eliminate these disadvantages and will reveal the potential of generating energy through wind turbines to be placed between the buildings. In this study, experimental studies on wind flow between different sample building geometries placed in the channel will be made. 7.5cm x 7.5cm x 7.5cm dimensions cube and 15cm x 7.5cm x 7.5cm dimensions rectangular prism models are made of plexiglass material array configurations will be experimentally observed in different fluid numbers in PIV mechanism in Osmaniye Korkut Ata University Advanced Fluid Dynamics Laboratory. According to the obtained data, ideas about real building arrangements will be discussed.

Keywords: Flow characteristics, PIV, wind analysis, buildings

Sevgili aileme…

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde, zengin bilgi birikimini paylaşmaktan asla vazgeçmeyen ve her zaman doğru yolu gösterip desteğini esirgemeyen saygıdeğer danışman hocam; Doç. Dr. Coşkun ÖZALP'e teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin savunma sınavında yer alan sayın Doç. Bülent Yanıktepe'ye, sayın Doç. Dr. Mustafa Atakan AKAR'a çalışmamın başından sonuna kadar her safhasında elinden geleni yapan Arş. Gör. Mustafa SÖYLER'e, üç boyutlu tasarım konusundaki destekleri için arkadaşım Abdülkadir BALLİ'ye ayrıca, çalışma süresince tüm zorlukları benimle göğüsleyerek bu güç süreci daha çekilebilir ve daha kolay kılan arkadaşlarıma ve hayatımın her evresinde bana destek olan değerli aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından (Proje no: OKÜBAP-2019-PT3-009) desteklenmiş olup ilgili birime de katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAYI
TEZ BİLDİRİMİ
ÖZET i
ABSTRACT ii
TEŞEKKÜR iv
ÇİZELGELER DİZİNİ vii
ŞEKİLLER DİZİNİ viii
KISALTMALAR xii
1. GİRİŞ 1
1.1.Rüzgâr 1
1.2. Rüzgâr Enerjisi 1
1.3. Binalar ve Rüzgâr 2
1.4. Amaç 4
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 5
3. MATERYAL VE METOT 17
3.1.Ölçüm Teknikleri 17
3.1.1 Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçüm Tekniği 17
3.2. Akış Sistemi 25
3.3. Deneyde Kullanılan Cihaz ve PIV Ekipmanları 26
3.3.1. Deneysel Modeller 26
3.3.2.Deneyde Kullanılan PIV Ekipmanları 27
3.4. Görüntü İşleme (Post-Proses) 29
3.5. Kullanılan Denklemler 30
3.5.1. Vortisite Değerlendirmesi 30
3.5.2. Bilinear İnterpolasyon 31
3.5.3. Gauss yumuşatma yöntemi 32
3.5.4. Ortalama Akış Yapısı 33
4. BULGULAR 34
4.1. Tek Küp (Side view) Re=26000 34
4.2.1. Tek Kare Silindir (D x D x 2D) Re=1680 37
4.2.2. Tek Kare Silindir (D x D x 2D) Re=26000 39
4.3.1. Tek Yatay Kare Silindir (2D x D x D) Re=1680 43
4.3.2. Tek Yatay Kare Silindir (2D x D x D) Re=26000 45

4.4.1. Üç Adet Küp Re=1680 49
4.4.2. Üç Adet Küp Re=26000 51
4.5.1. Üç Adet Dikey Kare Silindir (D x D x 2D) Re=1680 55
4.5.2. Üç Adet Dikey Kare Silindir (D x D x 2D) Re=26000 57
4.6.1. Tek Küpün 0,13D Mesafedeki Kesitinden Üst Görüntüsü (Re=26000) 61
4.7.1. Arasında 0,5D Mesafe Bulunan İki Küpün Üst Görüntüsü (Re=26000) 64
4.8.1. Arasında D Mesafe Bulunan İki Küpün Üst Görüntüsü (Re=1680) 68
4.9.2. Arasında D Mesafe Bulunan İki Küpün Üst Görüntüsü (Re=26000) 70
4.9.1. Arasında 2D Mesafe Bulunan İki Küpün Üst Görüntüsü (Re=1680) 73
4.9.2. Arasında 2D Mesafe Bulunan İki Küpün Üst Görüntüsü (Re=26000) 75
4.10.1. Altı Adet Küpün Aralarında “D” Boyutunda Mesafe İle 2 li Gruplar Halinde Diziliminin Üst Görüntüsü (Re=26000) 78
4.11.1. Altı küpün Aralarında 2D, D ve 0,5D Mesafede İkili Gruplar Halinde Diziliminin Üst Görüntüsü (Re=26000) 80
4.12. Anlık Görüntüler 84
5. SONUÇ ve ÖNERİLER 96
KAYNAKLAR 99
ÖZGEÇMİŞ 102

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Rüzgâr ivmelerinin etkileri……...4

Çizelge 2.1. Denklem çözümünde süper bilgisayarların hızlarının zamana göre gelişimi……...6

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.2. Standart k-ε modelinin modifiye edilmiş haliyle kıyaslaması….. 7
Şekil 2.3. Akışın kritik hareketler gösterdiği köşe bölgelerde artan mesh sıklığı…….. 8
Şekil 2.4. LES yönteminin bir varyasyonu olan LDM (a) ve RANS (b) yöntemi ile küp etrafında oluşan akış……. 9
Şekil 2.5. Deneysel çalışması yapılan kübik, L ve U şekilli geometriler….. 12
Şekil 2.6. Zhang vd. tarafından Çalışması yapılan bina konfigürasyonları… 13
Şekil 2.7. Küpün x-z ekseninden y/h=0.5 konumundan akış çizgileri……... 14
Şekil 2.8. Küpün x-y ekseninden y/h=0.5 konumundan akış çizgileri ve basınç dağılımı…… 14
Şekil 2.9. Gao, Zhang ve Chen tarafından Simülasyonu yapılan yerleşim yeri…….. 16
Şekil 3.1. PIV sisteminin akış şeması……. 20
Şekil 3.2. Partiküllerin sistemdeki görüntüsü……. 20
Şekil 3.3. PIV Tekniğinde Çapraz Korelasyon……... 24
Şekil 3.4.Su kanal sisteminin bilgisayar destekli tasarım görüntüsü…….. 25
Şekil 3.5. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi PIV Laboratuvarı deney düzeneğinin panoramik görseli……... 26
Şekil 3.6. Modellerin Yerleşim Konfigürasyonları ……... 27
Şekil 3.7. Deneyde Kullanılan PIV cihazlarının bilgileri……... 28
Şekil 3.8. Deney düzeneğinin 3 boyutlu bilgisayar modelleme görüntüsü… 28
Şekil 3.9. Görüntüleme alanının yakın görüntüsü…….. 29
Şekil 4.1.1. Tek küp için yan görünüşte Re=26000 sayısında hız profilleri (velocity profile), vektörler (V) ve akış çizgileri (ψ). …… 34
Şekil 4.1.2. Tek Küp için yan görünüşte Re=26000 sayısında “v” hızı, “u” hızı ve girdaplanma (ω) konturları. ……... 35
Şekil 4.2.1.1. Tek kare silindir için yan görünüşte Re=1680 sayısında hız profilleri (velocity profile), vektörler (V) ve akış çizgileri (ψ)…….. 37
Şekil 4.2.1.2. Tek kare silindir için yan görünüşte Re=1680 sayısında “v” hızı, “u” hızı ve girdaplanma (ω) konturları. ……. 38

Şekil 4.2.2.1. Tek kare silindir için yan görünüşte Re=26000 sayısında hız profilleri (velocity profile), vektörler (V) ve akış çizgileri (ψ)…….. 39
Şekil 4.2.2.2. Tek kare silindir için yan görünüşte Re=26000 sayısında "v" hızı, "u" hızı ve girdaplanma (ω) konturları…….. 40
Şekil 4.3.1.1. Yatay kare silindir için yan görünüşte Re=1680 sayısında hız profilleri (velocity profile), vektörler (V) ve akış çizgileri (ψ)……. 43
Şekil 4.3.1.2. Yatay kare silindir için yan görünüşte Re=1680 sayısında "v" hızı, "u" hızı ve girdaplanma (ω) konturları…….. 44
Şekil 4.3.2.1. Yatay kare silindir için yan görünüşte Re=26000 sayısında hız profilleri (velocity profile), vektörler (V) ve akış çizgileri (ψ)…… 45
Şekil 4.3.2.2. Yatay kare silindir için yan görünüşte Re=26000 sayısında "v" hızı, "u" hızı ve girdaplanma (ω) konturları…… 46
Şekil 4.4.1.1. Üç küp için yan görünüşte Re=1680 sayısında hız profilleri (velocity profile), vektörler (V) ve akış çizgileri (ψ)……. 49
Şekil 4.4.1.2. Üç küp için yan görünüşte Re=1680 sayısında "v" hızı, "u" hızı ve girdaplanma (ω) konturları……. 50
Şekil 4.4.2.1. Üç küp için yan görünüşte Re=26000 sayısında hız profilleri (velocity profile), vektörler (V) ve akış çizgileri (ψ)……. 51
Şekil 4.4.2.2. Üç küp için yan görünüşte Re=26000 sayısında "v" hızı, "u" hızı ve girdaplanma (ω) konturları……. 52
Şekil 4.5.1.1. Üç dikey kare silindir için yan görünüşte Re=1680 sayısında hız profilleri (velocity profile), vektörler (V) ve akış çizgileri (ψ)…… 55
Şekil 4.5.1.2. Üç dikey kare silindir için yan görünüşte Re=1680 sayısında "v" hızı, "u" hızı ve girdaplanma (ω) konturları…… 56
Şekil 4.5.2.1. Üç dikey kare silindir için yan görünüşte Re=26000 sayısında hız profilleri (velocity profile), vektörler (V) ve akış çizgileri (ψ). 57
Şekil 4.5.2.2. Üç dikey kare silindir için yan görünüşte Re=26000 sayısında "v" hızı, "u" hızı ve girdaplanma (ω) konturları……... 58
Şekil 4.6.1. Tek küpün 0,13D kesitinden üstten alınan görünüşte Re=26000 sayısında vektörler (V) ve akış çizgileri (ψ)……. 61
Şekil 4.6.2. Tek küpün 0,13D kesitinden üstten alınan görünüşte Re=26000 sayısında vektörler (V) ve akış çizgileri (ψ)…….. 62

Şekil 4.7.1.1. 0,5D mesafeli iki küpün üstten alınan görünüşte Re=26000 sayısında vektörler (V) ve akış çizgileri (ψ)…….. 64
Şekil 4.7.1.2. 0,5D mesafeli iki küpün üstten alınan görünüşte Re=26000 sayısında "v" hızı, "u" hızı ve girdaplanma (ω) konturları…… 65
Şekil 4.8.1.1. D mesafeli iki küpün üstten alınan görünüşte Re=1680 sayısında vektörler (V) ve akış çizgileri (ψ)…….. 68
Şekil 4.8.1.2. D mesafeli iki küpün üstten alınan görünüşte Re=2600 sayısında "v" hızı, "u" hızı ve girdaplanma (ω) konturları…… 69
Şekil 4.8.2.1. Üç küp için yan görünüşte Re=26000 sayısında vektörler (V) ve akış çizgileri (ψ)…… .70
Şekil 4.8.2.2. D mesafeli iki küpün üstten alınan görünüşte Re=1680 sayısında "v" hızı, "u" hızı ve girdaplanma (ω) konturları…… 71
Şekil 4.9.1.1. Üç küp için yan görünüşte Re=1680 sayısında vektörler (V) ve akış çizgileri (ψ)…… 73
Şekil 4.9.1.2. 2D mesafeli iki küpün üstten alınan görünüşte Re=1680 sayısında "v" hızı, "u" hızı ve girdaplanma (ω) konturları…… 74
Şekil 4.9.2.1. Üç küp için yan görünüşte Re=26000 sayısında vektörler (V) ve akış çizgileri (ψ)…… 75
Şekil 4.9.2.2. 2D mesafeli iki küpün üstten alınan görünüşte Re=26000 sayısında "v" hızı, "u" hızı ve girdaplanma (ω) konturları…… 76
Şekil 4.10.1. D mesafeli altı küp için üst görünüşte Re=26000 sayısında vektörler (V) ve akış çizgileri (ψ)…….. 78
Şekil 4.10.2. D mesafeli altı küp için üst görünüşte Re=26000 sayısında "v" hızı, "u" hızı ve girdaplanma (ω) konturları…… 79
Şekil 4.11.1. 2D, D ve 05D mesafeli altı küp için üst görünüşte Re=26000 sayısında vektörler (V) ve akış çizgileri (ψ)…….. 80
Şekil 4.11.2. 2D, D ve 05D mesafeli altı küp için üst görünüşte Re=26000 sayısında "v" hızı, "u" hızı ve girdaplanma (ω) konturları…… 81
Şekil 4.12.1. Tek küpün Re=26000 sayısında 0-0,933 Saniye arasında üstten alınan genel anlık vektörel görüntüsü…….. 84
Şekil 4.12.2. Tek kare prizmanın Re=26000 sayısında 0-0,800 Saniye arasında yandan alınan üst bölgesine odaklanmış anlık vektörel görüntüsü.. 85

Şekil 4.12.3. Tek yatay kare prizmanın Re=26000 sayısında 0-0,933 Saniye arasında yandan alınan anlık vektörel görüntüsü…… 86
Şekil 4.12.4. Arasında 2D mesafe bulunan iki küpün üst görünüşünün Re=26000 sayısında 0-0,933 saniye arasında anlık vektörel görüntüsü…… 87
Şekil 4.12.5. Arasında 2D mesafe bulunan iki küpün üst görünüşünün Re=26000 sayısında 0-0,933 saniye arasında anlık vortisite görüntüsü…… 88
Şekil 4.12.6. Arasında 0,5D mesafe bulunan iki küpün üst görünüşünün Re=26000 sayısında 0-0,933 saniye arasında anlık vektörel görüntüsü…… 89
Şekil 4.12.7. Arasında 0,5D mesafe bulunan iki küpün üst görünüşünün Re=26000 sayısında 0-0,933 saniye arasında anlık vortisite görüntüsü…… 90
Şekil 4.12.8. Arasında D mesafe bulunan iki küpün üst görünüşünün Re=26000 sayısında 0-0,933 saniye arasında anlık vektörel görüntüsü…… 91
Şekil 4.12.9. Arasında D mesafe bulunan iki küpün üst görünüşünün Re=26000 sayısında 0-0,933 saniye arasında anlık vortisite görüntüsü…… 92
Şekil 4.12.10. Arasında D mesafe bulunan üç küpten ilk ikisinin yan görünüşünün Re=26000 sayısında 0-0,933 saniye arasında anlık vektörel görüntüsü…… 93
Şekil 4.12.11. Arasında D mesafe bulunan üç kare silindirden ilk ikisinin yan görünüşünün Re=26000 sayısında 0-0,933 saniye arasında anlık vektörel görüntüsü……. 94

KISALTMALAR

CCD	Yük bağlaşımlı cihaz	
D	Geometrinin bir kenar uzunluğu	
DPIV	Dijital parçacık görüntülemeli hız ölçüm tekniği	
F	Foci	
FFT	Hızlı Fourier Dönüşümü	
LDV	Lazer Doppler Hız Ölçüm Metodu	
LES	Büyük Girdap Simülasyonları	
Nd: YAG	Neodymium: Yttrium-Aluminyum-Garnet kristalleri	
PIV	Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçüm Tekniği	
RANS	Standart k-ε Reynolds ortalama Navier- Stokes modeli	
u	Akış yönündeki hız bileşeni	(mm/s)
V	Akış Vektörleri	
v	Akışa dik eksendeki hız bileşeni	(mm/s)
x	Akış yönündeki koordinat ekseni	
y	Akış yönüne dik koordinat ekseni	
z	Akış yönüne çapraz olan koordinat ekseni	
ω	Vortisite	
ψ	Akım Çizgileri	

1. GİRİŞ

1.1.Rüzgâr

Rüzgâr, güneşten kaynaklanan, doğal, temiz, kendini sürekli yenileyen ve periyodik olarak tekrar eden sonsuz bir enerji kaynağıdır. Güneşten dünyaya gelen enerjinin %1-%2 gibi bir kısmı rüzgâra dönüşmektedir. Yeryüzünde güneş ışığını tam olarak alan ve güneş radyasyonuna görece az miktarda maruz kalan yer şekilleri arasında bir hava hareketi oluşur. Isınan hava kütleleri atmosferde yukarı doğru bir hareket izleyeceğinden bu kütlelerin boşalttığı düşük basınç alanlarına soğuk hava yerleşir. Rüzgâr, tam olarak bu hava hareketlerinin adıdır. Rüzgâr, bu yüksek basınç – alçak basınç hareketini gerçekleştirirken dünyanın eksenel hareketi, yüzeydeki sürtünme kuvvetleri, yerel sıcaklıklar, arazi yapıları gibi etkilerden dolayı olumlu-olumsuz yönde etkilenir. [1]

Rüzgârın hızını etkileyen faktörleri örnekleyecek olursak basınç farkı ile başlamak faydalı olacaktır. Basınç farkı fazla ise rüzgâr şiddetli, fark az ise yavaş esecektir. İki merkez arası uzaklık da rüzgâra olan etkisi üzerinde önemli rol oynar. Merkezler arası mesafe ne kadar azsa akışın hızı o kadar yüksek olacaktır. Yani basınç merkezleri arası uzaklık rüzgârın hızı ile ters orantılıdır. Yer şekilleri de rüzgâr hızını etkileyen önemli bir faktördür. Dağ sıraları rüzgârın hızını keserken, geniş bir alandan dar bir vadi veya boğaza giren rüzgâr akımının hızı artmaktadır. Bitki örtüsünün gür, ağaçların yüksek olduğu bir alanda rüzgârın hızı azalacaktır. Seyrek ve bodur bitki örtüsüne sahip olan ya da üzerinde hiçbir bitkisel yaşam formu bulundurmayan çöl gibi ortamlarda ise rüzgâr hızlı eser. Bir de dünyanın kendi ekseni etrafında yapmış olduğu günlük hareketine bağlı olarak rüzgarlar sapma gerçekleştirir. Bu sapmalar hızda azalmaya neden olur.

1.2. Rüzgâr Enerjisi

Rüzgâr enerjisi, mekanik güç veya elektrik enerjisi üretmek için rüzgâr türbinleri veya yelkenler kullanılarak hava akımından elde edilir. Örnek verilecek olursa yel değirmenleri, mekanik güçleri ile su pompalaması yapmak veya gıda öğütmek için, yelkenler ise gemileri itmek için kullanılır. Rüzgâr enerjisi yıl içerisindeki mevsimsel rejimine bakıldığında çok tutarlıdır, ancak kısa zaman ölçeklerinde önemli farklılıklar

vardır. Bu nedenle, elektrik üretimi maksadıyla kullanılırken, güvenilir kesintisiz bir besleme sağlamak için diğer elektrik güç kaynaklarıyla birlikte kullanılır.

Son günlerde, rüzgâr enerjisi tıpkı diğer yenilenebilir enerji kaynakları gibi geleneksel enerji kaynakları ile edilen enerjiye ortak alternatif olarak kabul edilmektedir. Rüzgâr enerjisi, sera gazı emisyonlarını ve ayrıca diğer hava kirleticilerinin emisyonlarına sağladığı düşüş ile, geleneksel enerji santrallerini yerinden edecek önemli bir potansiyele sahiptir. Rüzgâr türbinleri, üretiminde ve işletmesinde açığa çıkan kirliliği ve zararlı gaz emisyonunu çalışma ömrünün yaklaşık yüzde 0,5'inde kompanse edebilir ve 20 yıl ömrü boyunca emisyonsuz çalışır [2]. Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı (IRENA) verilerine göre 2018 yılında dünya çapında 563 GWh rüzgâr enerjisi elde edilmiştir. 2018 sonuna kadar kurulan tüm rüzgâr türbinleri, küresel elektrik talebinin %6'sını karşılayabilir [3].

1.3. Binalar ve Rüzgâr

Binaların tasarım aşamasında rüzgâr ve rüzgârdan kaynaklı etkiler önem teşkil eden bir değişkendir. Büyük yapılar inşa edildiğinde elde edilen rüzgâr hızı, yapının coğrafi konumuna, boyuna, çevreden kaynaklı etkilere ve yılın hangi periyodunda ölçüm yapıldığına göre değişmektedir. Rüzgâr ve benzeri aerodinamik etmenler binalara sürekli bir etki halindedirler. Doğal salınım frekansı çok düşük olan yüksek binalar, rüzgâr yüklerine karşı çok hassastır. Yüksek bir bina rüzgâra maruz kaldığında, bu rüzgâr sadece akış doğrultusunda değil aynı zamanda ters ve burulma yönlerinde de kuvvetler, yer değiştirmeler ve ivmelere neden olur. Binanın bu etkenler karşısında gösterdiği performans, binanın nihai kapasitesi ve hizmet verilebilirliği bakımından büyük öneme sahiptir. Başka bir deyişle, bir binanın nihai kapasitesi, yapısal elemanların yük taşıma kapasiteleri ile meydana gelen ilişkili kuvvetler arasındaki denge ile ilişkilidir, ancak hizmet verilebilirlik, insanlar kendilerini güvensiz ve rahatsız hissedecekleri salınımları algıladıklarından dolayı ivmeler ile doğrudan alakalıdır. İvmelerden kaynaklı salınımlar insanları rahatsız hissettirmemelidir. Rüzgarla ilgili diğer bir konu da cephe kaplama sistemlerinin ve binaların çatılarının tasarımı için, rüzgâr nedeniyle meydana gelen basıncın yerel uç noktalarının dikkatlice analiz edilmesi gerektiğidir.

Bir su damlasına benzer geometrik şeklin aksine, binaların geometrileri büyük olasılıkla keskin ve düzleştirilmiş cephelere sahip köşeli gövdelerdir. Bu nedenle, bir

binanın rüzgâr yükü altındaki davranışını anlamak için, köşeli gövdelerinin etrafındaki akış dikkatlice incelenmelidir. Bir köşeli geometrinin etrafındaki akış, teğet bir yol izlemez. Bunun yerine, ayırma katmanlarında oldukça dengesiz ve türbülanslı girdaplar oluşur. Bu girdaplar, akışın karakteri üzerinde belirsizliklerle dolu bir tepki yaratır. Ancak, gövdenin arkasında oluşan yukarıda belirtilen girdaplar, binanın doğal frekansı az ise, enine (rüzgâr boyunca) yönde kuvvetlere yol açabilir. Ek olarak, bina arasındaki asimetrik basınç dağılımı sonucunda yapı elemanları üzerinde burulma ve bükülme yükü oluşur. Bu nedenle, bu üç ana bileşen, binanın rüzgâr yükleri altındaki davranışının daha ayrıntılı bir şekilde anlaşılması için incelenmelidir. [4]

Rüzgârdan kaynaklanmakta olan aerodinamik ivmeler bina içerisinde yaşayan insanlara veya bina dışındaki yayalara belirli eşiklere göre etkiler yapar. Bu etkiler kullanılabilirliği etkileyen koşullarla kıyaslandığında konfor şartları bilgisine ulaşılır. Tasarım standartlarında verilen genel kabul görmüş konfor kriterleri yoktur. Aşağıda, Çizelge 1.1'de binaların tasarımında insan algısı ve konfor kriterleri hakkında bazı değerler verilmiştir. [5]

Çizelge 1.1 Rüzgâr ivmelerinin etkileri [5]

SEVİYE	İVME (m/s^2)	ETKİ
1	<0,05	Hareketi insanlar hissetmez
2	0,05-0,1	Hassas insanlar hareketi algılar, Duvarda asılı objeler hafifçe sallanabilir
3	0,1-0,25	İnsanların büyük çoğunluğu hareketi algılar, Hareket masa başında çalışmayı olumsuz etkiler, Uzun süre maruz kalma durumunda hareket tutması olarak adlandırılan etki meydana gelebilir.
4	0,25-0,4	Masa başında çalışmak zorlaşır hatta imkânsız hale gelir, ayağa kalkmak, yürümek halen zor olmakla beraber mümkündür.
5	0,4-0,5	İnsanlar kuvvetli bir hareket algılar, Yürümek zorlaşır, Ayakta duran insanlar dengelerini kaybedebilir.
6	0,5-0,6	Çoğu insan harekete tahammül edemez ve bir yere tutunmadan yürüyemezler
7	0,6-0,7	İnsanların çoğu harekete tahammül edemez ve yürüyemezler
8	>0,85	Nesneler düşmeye başlar ve insanlar yaralanabilir.

1.4. Amaç

Bu çalışmanın amacı keskin köşeli kübik veya diktörtgen prizma formundaki dörtgen cisimler etrafındaki akışı PIV yöntemi ile inceleyerek tekli ve çoklu dzilimli model geometriler çevresinde oluşan akış karaktersitiklerinin belirlnmesidir.

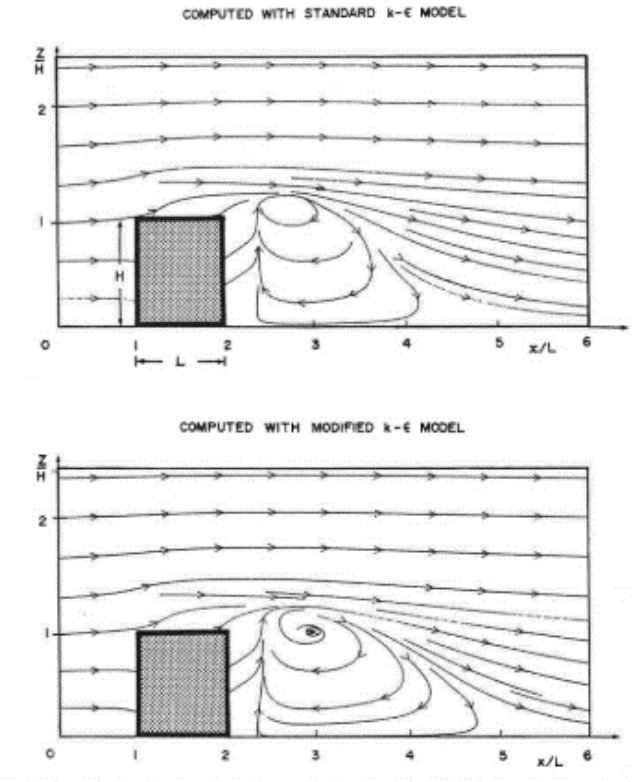
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Boldman ve Paul [6] tarafından Sıcak Tel anemometresi kullanarak jetin çıkışındaki havanın bir düzleme çarptığında açığa çıkan gürültüyü açıklamak amacıyla akış karakteristiği incelenmiştir. Amaç, Nozül çıkış hızları, basit olarak hava ile dolu ortamda ve test hücresinde ortam basınçları ve sıcaklıkları eşit olduğu varsayılıp Nozül çıkış statik basıncı ölçülerek belirlenmiştir. Yüksek türbülanslı akış hacmindeki bir artışın, gürültüde artışa sebebiyet verebildiği tespit edilmiştir.

Baskaran ve Stathopoulos [7] tarafından Rüzgâr Etkilerinin Binalar Üzerine Hesaplamalı Değerlendirmesi yapılmıştır. Akışın bir yarısı simetrik olarak aynı gözlemleneceği varsayılarak sadece diğer yarısı incelenmiştir. Standart k-ε modeli ile yapılan hesaplamalar ölçülen rüzgâr tüneli verileri ile ve daha evvel yapılan hesaplama bazlı çalışmalarla kıyaslanmıştır. Deneysel verilerle karşılaştırmalar yapıldığında k-ε türbülans modelinin modifiye edilmiş varyasyonları kullanıldığında bazı durumlarda önemli gelişmeler tespit edildiği belirtilmiştir. Şekil 2.1.'de bazı eski bilgisayar modelleri ile hesaplamaların ne kadar zaman aldığı, Şekil 2.2.'de ise modifiye edilmiş k-ε türbülans modelinin orijinal haline kıyasla akışın döndüğü noktalardaki artan detay gösterebilme yetisi gösterilmiştir.

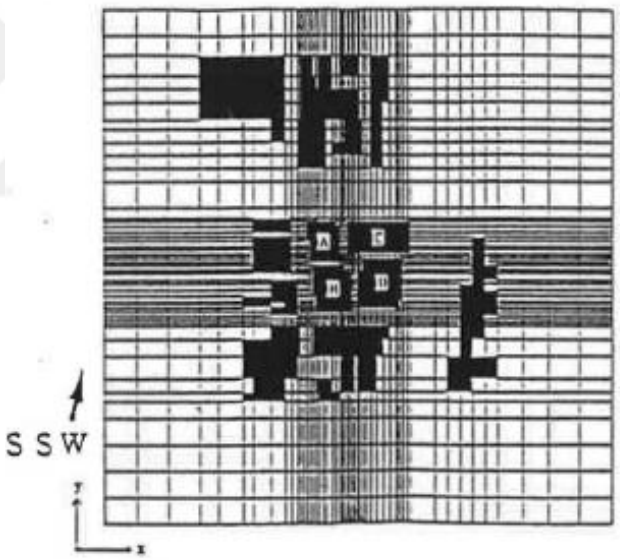
Çizelge 2.1. Denklem çözümünde süper bilgisayarların hızlarının zamana göre gelişimi[7].

Bilgisayar modeli	İşlemci hesaplama sürecinde geçen zaman
UNIVAC 1106	100 Gün
ICL 2980	25 Gün
CDC CYBER 175	4 Gün
IBM 3081K	3 Gün
CDC 7600	2 Gün
CDC STAR 100	1 Gün
ICL DAP	13 Saat
HITACHI S9/IAP	10 Saat
FUJITSU 7890	10 Saat
ILLIAC IV	6 Saat
CRAY – 1S	4 Saat
CYBER 205	4 Saat
CRAY – XMP (peak 400 MFLOPS)	3 Saat



Şekil 2.2. Standart k-ε modelinin modifiye edilmiş haliyle kıyaslaması[7].

Murakami ve Mochida [8] tarafından k-ε türbülans modeli kullanılarak Japonya'nın Kawasaki bölgesinde 4 binadan oluşan bir yerleşkeyi incelemek maksadıyla binaların çevresindeki türbülanslı akışın üç boyutlu sayısal simülasyonu çıkartılmıştır. İnşa edilecek binaların uzunlukları oldukça yüksek tutulduğundan, çalışmada binalar simülasyona yüksek reynolds sayıları ile aktarılmıştır. Bu da mesh diye tabir edilen ağ yapısının aralıklarının viskoz alt katmanı çözebilecek kadar ince ayarlanmasında zorluklar meydana getirmiştir. Akışın girdaplara uğradığı köşeli bölgelerde yüksek mesh sıklığında çalışılması gerektiği önerilmiştir. K-ε iki denklemli türbülans modelinde sayısal simülasyonun doğruluğunu artırmak için daha fazla çalışılması gerektiği, bu çalışmada sayısal simülasyonun planlanan yapı kompleksi etrafındaki alanda akış alanını analiz etmek için güçlü bir yöntem olduğu gösterilmiştir. Sayısal simülasyon tekniğinin, rüzgâr mühendisliği tasarımı için çok faydalı bir araç olduğu belirtilmiştir. Şekil 2.3.'de köşe bölgelerdeki hassas mesh yapısı gösterilmiştir.



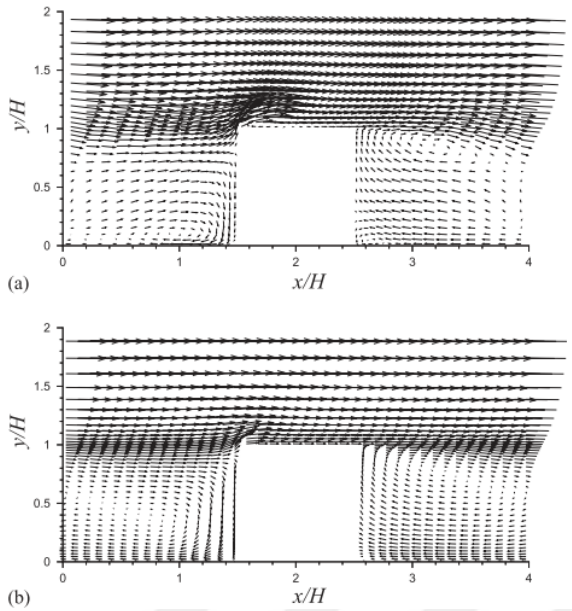
Şekil 2.3. Akışın kritik hareketler gösterdiği köşe bölgelerde artan mesh sıklığı[8]

Martinuzzi ve Tropea [9] tarafından yüzeye monte edilmiş, farklı en boy oranına sahip prizmatik modellerin etrafındaki akış alanının, tamamen denge haline ulaşmış olan kanalın akışı içerisinde incelenmesi yapılmıştır. Reynolds sayıları kanal boyutuna bağlı olmakla beraber 80000 ve 120000 arasında tercih edilmiştir. Kerosen, otomotiv transmisyon yağı ve karbon tozu (fotokopi makinesi toneri) karışımı yağ filmi akış görselleştirmeleri için kullanılmış, sonuçlar siyah beyaz filmde saklanmıştır. Sonuç olarak Genişlik / yükseklik oranı> 6 için engellerin arkasında ve Genişlik / yükseklik

oranı > 10 için engellerin önünde devridaim bölgesinin üst kısmında nominal olarak iki boyutlu bir bölge bulunduğu gösterilmiştir. Bu tür engellerde, üst taraftaki devridaim bölgesinin doğal olarak üç boyutlu olması tipik özelliktir. Bu tipik özellik, engellerin ön yüzünde neredeyse eşit aralıklı bir dizi alternatif saddle ve düğüm noktalarının ortaya çıkması ile anlaşılır. Bu üç boyutlu etkilerin hareketsiz bölge ve bu tür ayrılma bölgesi akışlarının doğasında olduğu belirtilmiştir.

Sthatopoulos ve Baskaran [10] tarafından yaya konforunun değerlendirilmesi için binaların etrafındaki ortalama çevre koşullarını, havayı kirleten unsurların taşınmasını, ayrıca kar ve toz gibi doğal unsurların havadaki dağılımını etkileyecek rüzgâr akışı sayısal olarak değerlendirilmiştir. Çalışmada, Montreal bölgesi yakınındaki Concordia Üniversitesi şehir kampüsü, hesaplama için bir test örneği olarak seçilmiştir. Hesaplanan sonuçların doğrulaması, Concordia Üniversitesi'nde Yapı Araştırmaları Merkezi'nin sınır tabakası rüzgâr tünelinde yapılan deneylerden elde edilen veriler kullanılarak yapılmıştır. Sonuçlara bakıldığında hesaplanan sonuçların genellikle çoğu konum için deneysel verilerle aynı fikirde olduğu görülmüştür. Hesaplanan ve ölçülen verilerin, binalardaki rüzgâr çevre koşullarının önemli karakteristik özelliklerini makul bir doğrulukla tahmin edilebileceği gösterilmiştir.

Cheng vd. [11] tarafından "Büyük Girdap Simülasyonları (LES)" ile "Standart k-ε Reynolds ortalama Navier- Stokes modeli (RANS)"nin bir küp matrisi üzerinde tamamen gelişmiş bir türbülanslı akış tahmini için karşılaştırılması yapılmıştır. Aynı ağ yapısı ve aynı boyutlarda iki farklı metot kullanıldığında küpün ön yüzünde, yan duvarların etrafına sarılmış bir at nalı girdabı, hücum bölgesinde kemer şeklinde bir girdap ve önden (rüzgâr yönünde) çatıda ve yan duvarlarda ince ayırma kabarcıkları içeren akış yapıları, tüm modeller tarafından oldukça iyi bir şekilde yakalanmıştır. Bu modeller arasında, LES'in ayrıntılı deneysel ölçümlere en iyi uyumu sağladığı bulunup küpün tüm yüzeylerinde oluşan akış ayrılması / birleşmesi safhalarını tahmin edebilen tek model olduğu görülmüştür. LES hesaplamalarının, RANS hesaplamalarına kıyasla, daha büyük hesaplama sürelerinin dezavantajına rağmen daha iyi olduğu görülmüştür. Bu çalışmada, LES ile ilişkili hesaplama maliyeti, k-ε RANS modeli ile yapılandan yaklaşık 100 kat daha fazladır.



Şekil 2.4. LES yönteminin bir varyasyonu olan LDM (a) ve RANS (b) yöntemi ile küp etrafında oluşan akış[11]

Jiang vd. [12] tarafından binalarda doğal havalandırma üzerine rüzgâr tünelinde ölçüm ve büyük girdap simülasyonu (LES) kullanılarak sayısal simülasyon yapılmıştır. Bu arada, ortalama ve dalgalı hız ve bina benzeri modeller içindeki ve etrafındaki basınç dağılımı gibi ayrıntılı hava akımı alanları rüzgâr tüneli testleri ile ölçülmüş ve model doğrulama için LES sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Reynolds sayısı, bina uzunluğu ve rüzgâr hızı gibi faktörler göz önünde bulundurulduğunda 140000 olarak belirlenmiştir. LES'in sayısal sonuçlarının, deneysel verilerle, özellikle de geometrinin etrafındaki ve içindeki öngörülen hava akımı düzenleri ve hızları ve yüzeyler üzerindeki yüzey basınçları ile iyi bir uyum içinde olduğu belirtilmiştir. Mevcut deneysel modeller tek taraflı havalandırma tasarımları için elle tutulur ve güvenilir olmadığı için, LES yönteminin, tasarım geliştirme ve test etmeyi sağlamak için uygun bir seçenek sunduğu anlatılmıştır.

Nakamura vd. [13] tarafından Türbülanslı bir sınır tabakasındaki akış içerisinde yataya 45 derece açı ile monte edilmiş bir küp etrafındaki akışın ve ısı transferinin incelenmesi yapılmıştır. Bu çalışmada akışa 45 derece açı ile monte edilmiş bir küpün yerel ısı transferi deneysel olarak 4200 ile 33000 reynolds sayıları aralığında incelenmiştir. Özellikle üst yüzünde ısı transfer dağılımının, akışa dik hizalı bir küp

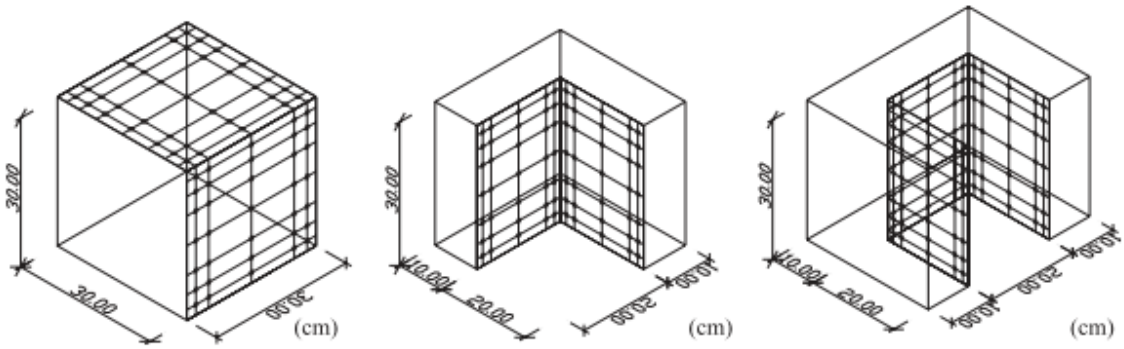
için olandan belirgin bir şekilde farklı olduğu görülmüştür. Bu senaryoda, üst yüzün ön köşesinden aşağı doğru her iki ön kenar boyunca uzanan bir çift ön kenar girdabı oluşmuştur. Bu ön kenar girdapları, sadece 10000-20000'den büyük Reynolds sayılarında görünür. Nusselt sayısı üzerinden bakıldığında, belirli Reynolds sayısı aralıklarında, açılı senaryoda akışa dik olan senaryoya göre ısı transferinde %10'luk bir azalmanın söz konusu olduğu belirtilmiştir.

Tutar ve Oğuz [14] tarafından bir binanın, birbirine paralel iki binanın ve 9 binadan oluşan bir bina grubunun etrafındaki rüzgârın akışı nümerik olarak incelenmiştir. Hesaplamalar FLUENT programı üzerinden yürütülmüştür. Mevcut sonlu hacme dayalı sayısal teknik ile k-ε türbülans modellerine dayalı RANS denklemlerinin, ince bir ızgara sistemi kullanıldığında binanın tepesinde ters akış üretebilmekte olduğu belirtilmiştir. Bina yapılandırmalarındaki geometrik değişikliklerin, binaların etrafındaki rüzgâr hızı koşullarını doğrudan etkileyebildiği, İki bina etrafındaki rüzgârın akışı durumunda, geçiş genişliğindeki artışla birlikte hız büyüklüklerinin azaldığı gösterilmiştir. Geçiş genişliğinde artış vortisite kuvvetinde bir azalmaya neden olur. Bina etrafındaki rüzgâr akışı durumunda, z düzlemindeki geçiş merkez çizgisiyle hesaplama alanının merkez çizgisi arasında simetrik bir akış koşulu olduğu üzerinde durulmuştur. Çoklu bina modelleri incelendiğinde, dokuz bina düzenlemesinin her iki geçidinde de kanal oluşturma etkisi meydana geldiği ve hız büyüklüklerinin geçiş merkezi çizgisi boyunca düştüğü gösterilmiştir.

Gao ve Chow [15] tarafından bir küpe doğru hareket eden hava akışı hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) kullanılarak incelenmiştir. Navier-Stokes (RANS) denkleminde k-ε türbülans modelinin Reynolds ortalaması kullanılmıştır. Küp tepe bölgesindeki köşede akış ayrımı, ayrılma seviyesi ve yeniden bağlanma incelenmiştir. Literatürde bildirilen rüzgâr tünelleri ile ilgili deneysel verilere atıfta bulunulmaktadır. Hız dağılımlarında keskin köşelerden dolayı sayısal simülasyonlarda karşılaşılan problemler, küpün üstündeki bölgelerde devridaim akışı hakkında daha iyi tahminler elde etmek amacıyla tartışılmıştır. Hem deneyler hem de ölçümler, devridaim balonunun (recirculation bubble) tahmininin türbülans kinetik enerjisinin en yüksek olduğu noktanın küpün üst bölgesinde olduğunu göstermektedir. Türbülans kinetik enerjisinin en yüksek olduğu noktanın, akış profili ve Reynolds sayısından doğrudan etkilendiği, eğer birinden birisi artarsa noktanın ileri veyahut geri gideceği

gösterilmiştir. Keskin kenardaki hava hızının ρu ve ρv değerlerinin etkileşimi ile belirlendiği, Eğer Up + Vp ve α hız değerleri hakkında kesinliği yüksek veriler yoksa işe yarayan bir başka yöntemin de bu verileri sıfır olarak kabul etmek olduğu işlenmiştir.

Gomes vd. [16] tarafından düzensiz şekiller (L ve U biçimli modeller) için basınç dağılımları üzerine bir rüzgâr tüneli modeli testlerinin sonuçları çalışılmıştır. Deneyler kapalı devre bir rüzgâr tünelinde gerçekleştirilmiş ve 1:100 ölçekli modellerde rüzgâr yüklerinin ortalama değerlerini ölçmek için çok kanallı bir basınç ölçüm sistemi kullanılmıştır. Aynı testler deneysel bir doğrulama maksadıyla küp şeklinde bir model üzerinde de yapılmıştır. Geometrilerin boyutları Şekil 2.4.'de verilmiştir.

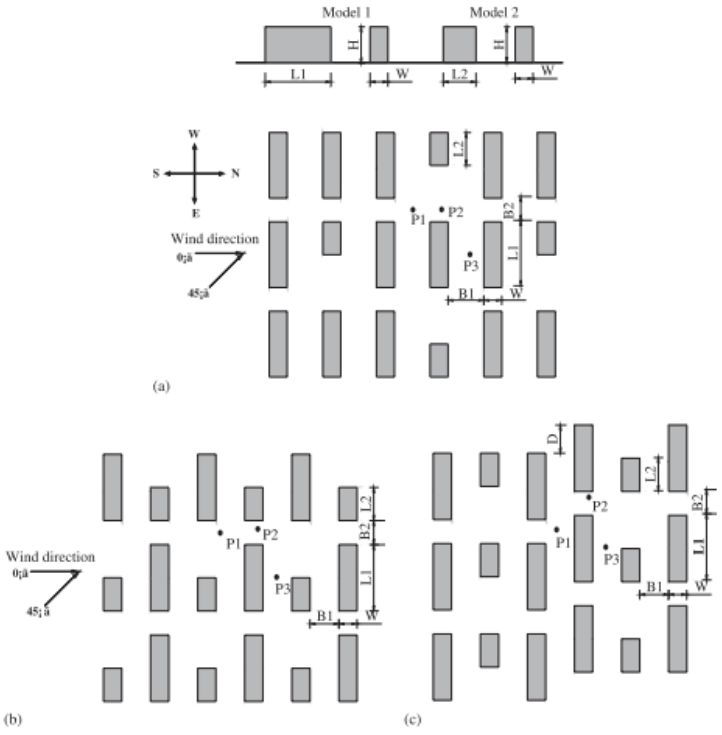


Şekil 2.5. Deneysel çalışması yapılan kübik, L ve U şekilli geometriler[16]

Akış alanının hassas bölgelerini doğru bir şekilde çözmek için duvarlar ve zemin çevresinde daha detaylı bir ağ yapısının gerekli olduğu belirtilmiştir. Bu çalışma, L ve U şeklindeki modellerde rüzgâr etkisinin, dikdörtgen prizma bloklardan farklı basınç dağılımlarına neden olabileceğini göstermiştir. L şekilli modelde, hücum açısı 90^0'den küçük olduğunda basıncın oldukça azaldığı dönüş köşesinde durgun bir hava bölgesi oluştuğu ve Açı arttıkça basınç alanının negatife dönüp tipik bir sirkülasyon alanının karakteristiği olarak neredeyse homojen bir şekilde dağıldığı görülmüştür. L'yi U şekilli modele dönüştüren ek kanadın etkisi basınç dağılımında göze çarpmıştır. İç yüzlerdeki emiş bölgesi test edilen açılara göre daha önce meydana gelip oyuktaki basınç hücum açısının 90^o'den büyük olduğu durumlar için neredeyse sabit olduğu tespit edilmiştir. Bunun, akışın girinti içinde durgun akış bırakarak U aralığını geçme eğiliminden kaynaklandığı belirtilmiştir. Bununla birlikte, elde edilen sonuçların

beklentiler dahilinde olduğu ve deneysel verilerle birlikte, düzensiz düzlemsel şekillerdeki rüzgâr basınçları hakkında faydalı bilgiler sağladığı anlatılmıştır.

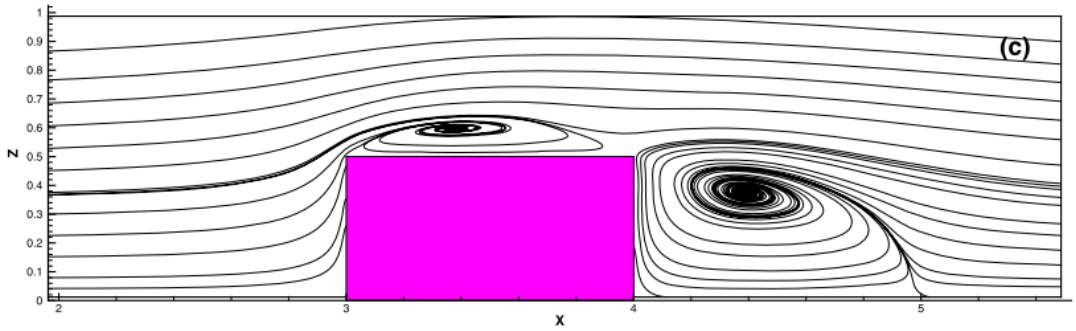
Zhang vd. [17] Rüzgâr alanının farklı yapı düzenlemeleri etrafında sayısal simülasyonu üzerine çalışmışlardır. Deneysel çalışma için, bina konfigürasyonları 1: 150 ölçekli olarak imal edilmiş ve düşük hızlı bir rüzgâr tünelinde test edilmiştir. Hesaplamalı sonuçlar genellikle deneysel olarak test edilen yerler için deneysel verilerle iyi bir uyum içindedir. Sonuçlar sayısal yöntemin rüzgâr ortamını değerlendirmek için nispeten daha ekonomik ve daha hızlı bir araç olduğunu göstermiştir. 3. Konfigürasyonun iyi bir rüzgâr ortamı ve iyi bir doğal havalandırma sağlayacağı görülmüştür. Hesaplamalı modelin avantajından yararlanmak için, bu tasarım türünün proje tasarım aşamasında iken yapılması uygun olduğu, gerekirse bina tasarımları üzerinde iyileştirmeler yapılabileceği belirtilmiştir.



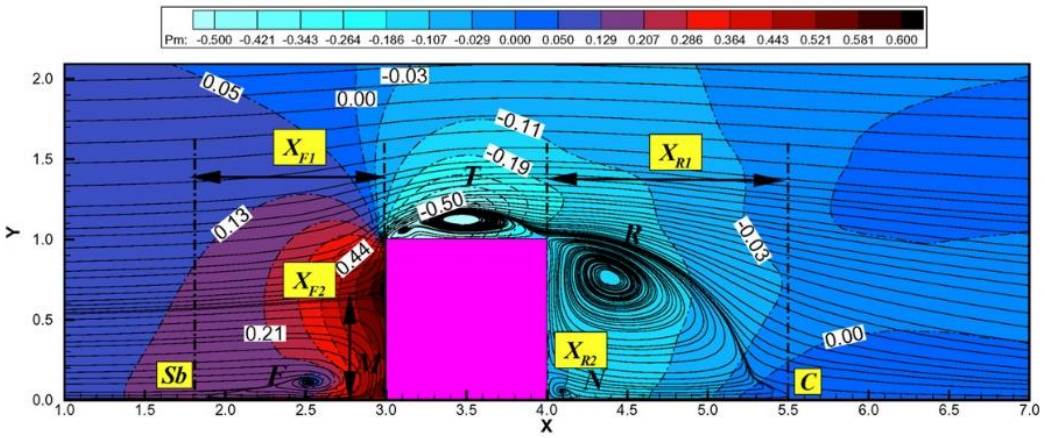
Şekil 2.6. Zhang vd. tarafından Çalışması yapılan bina konfigürasyonları [17].

Yakhot vd. [18] tarafından tamamen gelişmiş türbülanslı akışa sahip bir kanalın içerisinde akışa dik yerleştirilmiş bir küp geometri Doğrudan Nümerik Simülasyon yöntemi ile incelenmiştir. Kanal boyutları ve akış hızı göz önünde bulundurularak

reynolds sayısı Re=5610 olarak baz alınmıştır. Bu çalışma fiziksel olarak gerçekçiliği olan ve türbülans modellerinin kullanılmadığı giriş sınır koşullarında yapılan DNS tabanlı simülasyonları sunan ilk makaledir. Uygulanan sınır koşulları ile ilgili belirsizlikleri en aza indirgemek için, tamamen gelişmiş bir kanal akışında duvara monte edilmiş bir küp örneğini simüle edilmiştir. Sonuçlar, küpün önünde ve her iki tarafında oluşan at nalı vorteksinin, küpün arkasındaki kemer tipi vorteks ile dengesiz etkileşiminin neden olduğu düşünülen akışın dengesizliğini doğrulamıştır. Bu kararsızlık vorteks dökülmesi fenomenine yol açmıştır. Zaman ortalamalı akış paterni ve karakteristiklerinin deneysel sonuçlarla birbirini karşıladığı görülmüştür. Küp önünde bölgede elde edilen negatif türbülans üretimi ile ilgili sonuçlar bildirilmiştir. Küpün önünde negatif üretimin meydana gelmesinin, bazı LES / RANS simülasyonlarının duvara monte edilmiş bir küpün etrafındaki akışları tahmin etmedeki başarısızlığını kısmen açıklayabildiği belirtilmiştir. Genel olarak, hesaplamaların deneysel bulgular ile iyi bir uyum içinde olduğu görülmüştür.



Şekil 2.7. Küpün x-z ekseninden y/h=0.5 konumundan akış çizgileri [18]



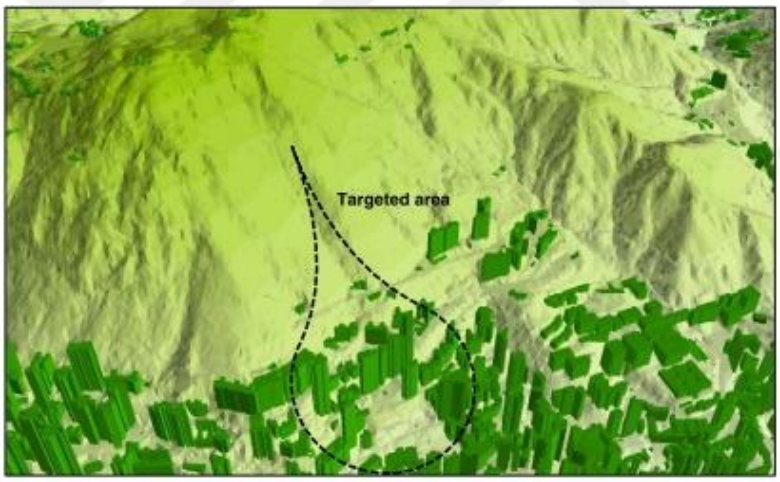
Şekil 2.8. Küpün x-y ekseninden y/h=0.5 konumundan akış çizgileri ve basınç dağılımı [18]

Richards vd. [19] tarafından Auckland Üniversitesi'ndeki 6m boyutlarındaki Silsoe Cube'un 1:40 ölçekli rüzgâr tüneli modellemesi gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneğinde rüzgâr tünelinde 90,75,60 ve 45 derece olmak üzere toplam 4 farklı açıyla çalışılmıştır. Tünelin büyüklüğünün, spektrumun düşük frekanslı ucunu sınırlayan bir faktör olduğu ve böylece enine ve boyuna türbülans yoğunluklarının tam ölçekte olduğundan daha düşük olduğu belirtilmiştir. Buna rağmen benzer basınç dağılımları elde edilmiştir. Bazı farklılıklar gözlemlenmiştir. Bu farklar, belirli bir ortalama doğrultuda merkezlenmiş bir çalışma sırasında meydana gelen rüzgâr yönleri bandını etkileyerek hem gözlemlenen ortalama hem de tepe (pik) basınçları etkileyen standart rüzgâr sapmalarına bağlanmıştır.

Rokugou vd. [20] tarafından Dikdörtgen bir silindir etrafındaki akışta, ayrılma, yeniden bağlanma ve girdap oluşumu gibi çeşitli olaylar incelenmiştir. Bu çalışmada bir silindirin akışkan-dinamik karakteristiklerinin iki faktöre bağlı olarak değiştiği, bunlardan birinin yanal oran olan D / H'ye bağlı, diğerinin ise Reynolds sayısı $Re=U_{\infty}H/v$ olduğu belirtilmiştir. Burada U_{∞} tek biçimli akış hızı ve v kinetik viskozite katsayısıdır. Yan oranı 0,6-2,5 olan D / H dikdörtgen bir silindirin etrafındaki akışlar, ön kenarlarda tamamen ayrılırken, 3'lük bir yan orana sahip bir silindir için, her bir yandaki ayrılmış kesme katmanları, dönüşümlü olarak silindir yüzeyine temas etme eğiliminde olmuştur. Sayısal simülasyonun sergilediği bu akış özellikleri, deneysel sonuçlarla iyi bir uyum göstermiştir. Akışkan özelliklerinde olduğu gibi, yayılan ses için yapılan tahminler, D / H = 2.5 ve 3 arasındaki süreksiz değişimi de içeren deneysel sonuçlarla iyi bir uyum göstermiştir. Yüksek tiz frekansların türbülans bileşenleri tarafından sönümlendiği belirtilmiştir. Tamamen ayrılmış bir akış düzeninde ses radyasyonunun artan yan oranla azaldığı ve alternatif olarak birleşen akış düzeninde yaklaşık D / H =3'teki ses basıncı seviyesinin önemli ölçüde değiştiği açıklığa kavuşturulmuştur.

Lim vd. [21] tarafından Türbülanslı bir sınır katmanında bulunan bir küpün etrafındaki akış LES tekniğiyle ve deneysel olarak gözlemlenmiştir. Simülasyonlar 20000 Reynolds sayısında gerçekleştirilmiştir. Sunulan sonuçlar, bir küpün etrafındaki akış alanının hem içeri akış sınır katmanının hem de yakın bölgede oluşan düzensiz yapılanmaları içeren ölçümleri ve LES hesaplamaları arasında detaylı bir karşılaştırma içermiştir. Ortalama ve dalgalı yüzey basınçları, uzamsal çözünürlüğün belki de yeterli

olmadığı birkaç bölge (temel olarak hız makaslarının çok yüksek olduğu yerler) olmasına rağmen, iyi yakalanmış gibi görünmüştür. Bu arada, mevcut çalışma, kanal akışlarında yapılan ilgili çalışmaların gerçek verilerle karşılaştırıldığında doğruluğunu sağlamıştır. Bu çalışmaya göre LES, uygun bir yukarı akış sınır sınırı oluşturma zorunluluğuna rağmen izole edilmiş cisimler üzerinde akış ile ilgili rüzgâr mühendisliği problemlerinde kullanım için uygun bir araç olarak sınıflandırılmıştır.
Gao vd. [22] tarafından yapılan çalışma, kentsel alanlardaki binalar üzerindeki moloz, çakıl, kum vb. rüzgâr aracılığıyla taşınması muhtemel partiküllerin akış etki basınçlarının simülasyonu için hesaplamalı bir şema sunmaktadır. Bu alanda çok sayıda bina içeren Hong Kong Adası'ndaki bir hedef analiz alanı, tam olarak üç boyutlu bir yüksek çözünürlüklü dijital yükseklik modeli kullanılarak karakterize edilmiş ve farklı yatak malzemesi parametreleri ile 5 metre kare hücrelerin ızgarasına ayrılmıştır. Model kullanılarak, akış yolu boyunca yaklaşık 20 bina etrafında oluşan büyük moloz akışları ve bu binaların cephelerine karşı darbe basınçları simüle edilmiştir.



Şekil 2.9. Gao, Zhang ve Chen tarafından Simülasyonu yapılan yerleşim yeri [22].

Binaların etrafındaki akışın derinliğinin ve hızının, parçacıklar binaların önünden akıp giderken akış yolunu daraltmaya meyilli olduğu için arttığı belirtilmiştir. Parçacık akışının ana yoluna bakan bina cephelerinde büyük darbe basınçları geliştiği, bu gerilmenin yoğun olduğu yerlerin, en büyük dikey hızlara karşılık geldiği ve binaların önünde döküntü birikmesi çarpma basıncını arttırdığı bilgisi verilmiştir.

Longo vd. [23] tarafından Zemine inşa edilmiş binaların farklı konfigürasyonlarının etrafındaki akışlar için gelişmiş türbülans modelleri ve sınır koşulları RANS yöntemi ile çalışılmıştır. Çalışmada kullanılan modeller 15cm x 10cm x 12,5cm boyutunda, Blender adlı 3D tasarım programı kullanılarak tasarlanmıştır. Bu araştırma Standart RANS yöntemini etkileyen süregelmiş atmosferik sınır tabakası simülasyonu sorununun göz ardı edilmesi bilinci üzerine bir çözüm üretmek için öneriler yapılmıştır. Bu sorunlardan başlıcaları; hız ve devridaim bölgelerinin yanlış ve yaklaşık gösterimi; türbülanslı kinetik enerjinin olduğundan geniş gösterilmesi ve yatay eksende akışın homojen olmaması olarak görülmüştür.

3. MATERYAL VE METOT

3.1.Ölçüm Teknikleri

3.1.1 Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçüm Tekniği

Aerodinamik çalışmalarda hız alanlarının ölçümü hem akış alanını doğrulamak hem de akış alanındaki bileşenlerin / sistemlerin performansını belirlemek için kritik öneme sahiptir. Aerodinamik çalışmalarda akış alanı üzerindeki sayısal ölçümler başlangıçta, akıştaki tek bir noktada zaman ortalaması veya düşük frekans yanıtlı akış alanı özelliklerini ölçmek için uygun olan Pitot statik probları kullanılarak elde edildi. Sıcak tel anemometrisinin bulunmasıyla, hız ölçümleri yüksek frekans tepkileri ile sağlanarak pitot problarına kıyasla önemli bir ilerleme kaydedildi. Daha fazla kabloların eklenmesiyle akışlarda birden çok bileşenin ölçülmesi mümkün oldu. Pitot problarına benzer şekilde, sıcak tel anemometreleri yapıları gereği akışın karakterine olumsuz etkiye sebebiyet veriyorlardı. Bu şekilde akışı etkilemeden ölçebilen ilk nokta hızı ölçüm tekniği; akışta sürüklenen partikül parçacıklarının hızını ölçmek için çapraz bir çift lazer ışını kullanan Lazer Doppler Hız Ölçüm Metodu (LDV) idi. LDV tekniğinin ek avantajları ölçüm doğruluğu ve yüksek frekans tepkisiydi. Düzlemsel hız ölçüm teknikleri, LDV gibi nokta bazlı hız ölçüm tekniklerine kıyasla yapılan deneyleri bilimsel olarak bir adım daha öteye taşımıştır. Bu teknikler çok hassas ve keskin olmasına rağmen, nokta bazlı hız ölçümleri, prob hacmini akış alanının istenen ölçüm aralığında hareket ettirmek için karmaşık bir travers sistemi gerektiriyordu. Akış düzlemlerini ve hacimlerini hazırlamak, saatlerce sürecek tesis çalışması gerektiriyordu. Düzlemsel hız ölçüm tekniklerinin sunduğu avantaj, nokta bazlı kullanımın mümkün olmadığı kararsız akış yapılarında ortaya çıkmaktaydı. Bu yapıların anlık düzlemsel kesitleri alınabiliyordu. Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçme Tekniği (PIV), akışı doğru bir şekilde takip edebilecek kadar küçük izleyici parçacıkların içerisinde dolaştırıldığı bir akışın düzlem içi alanının iki veya üç bileşenli hızını ölçmek için kullanılan bir tekniktir [24].

LDV, sıcak tel anemometrisi veya pitot-statik tüp ile ölçümler gibi hız ölçüm tekniklerinin çoğu, bir defada sadece bir noktadan veya pozisyondan data toplamak gibi bir dezavantaja sahiptir. Bu nedenle, bütün bir akış alanının hız ve türbülans

özelliklerinin belirlenmesi, çok zaman alan bir iş olarak ortaya çıkmaktaydı. PIV tekniği tam olarak bu duruma çözüm getirmektedir [25].

Hız ve girdaplar gibi genel akış alanı özelliklerinin ölçümü en zorlu problemlerden biridir. Kayma ve (art izi) akışlarında oluşan yapışık yapılar son derece kararsızdır. Bu nedenle, bu tür akışlarda, anlık akış alanlarını yakalamak ve böylece diğer deneysel tekniklerle mümkün olmayan uzaysal yapıların nicel olarak tespit edilmesini sağlamak için akış alanının tamamının hem uzamsal hem de zamansal bilgisi gereklidir. Bu tür akış ölçümleri için, PIV tekniği son derece uygundur. Bu teknik daha yüksek doğruluk, daha yüksek mekânsal ve zamansal çözünürlük ve daha geniş gözlem alanları ve deneysel veri hacimleri elde etme kabiliyetine sahiptir [26]. PIV, akışkanlar mekaniğinin modern tarihinde akış görüntüleme ve teşhis teknolojilerinin en önemli başarılarından biri olarak kabul edilebilir [27]. Birçok araştırmacı, türbülanslı akış yapısını incelemek için yeni ve gelecek vaat eden bir yöntem olduğu için PIV ile ilgilenmeye başladı. Bu hedef, yöntemin geliştirilmesinde yapılan seçimleri şiddetle etkilemiştir.[28] PIV'nin bugünkü formunun temeli, Meynard'ın geçmişteki (1983) nitel parçacık akışı görselleştirme çalışmaları sürecinde atılmıştır. PIV teorisi, 1980'lerin sonunda, Adrian [29] tarafından tanıtıldı, ilk deneysel uygulamalar ise kısa bir süre sonra Keane ve Adrian [30, 31] tarafından gerçekleştirildi. Bu aşamada, donanım kısıtlamaları nedeniyle, tek bir fotoğraf çerçevesi birden çok defa pozlanmış ve bir otomatik korelasyon tekniği kullanılarak analiz edilmiştir. Bununla birlikte, artan fotoğraf çekimi hızı, çapraz korelasyon ile analiz için görüntülerin ayrı karelerde yakalanmasına izin verdi. [32] PIV tekniğindeki en önemli değişikliklerden biri, alınan fotoğrafların videoya dönüştürülebilmesidir. Bu değişiklik, PIV'nin kullanılabilirliğini ve dolayısıyla popülaritesini olumlu yönde derinden etkiledi. Dijital kamera teknolojisinin PIV'e dahil edilmesi, parçacık görüntülerinin [33] düşük çözünürlük dezavantajına rağmen, dijital PIV'in gelişmesine neden olarak doğrudan kaydedilmesini sağlamıştır.[34] Bu donanım gelişmelerinin yanı sıra, son yirmi yılda, PIV analizinin doğruluğunu ve hızını artırarak birçok yeni algoritma geliştirilmiştir. PIV tekniklerinin kapsamlı incelemeleri Rockwell ve Lin [35], Rockwell ve ark.[36] ve Adrian [28, 29, 37] tarafından gerçekleştirilmiştir.

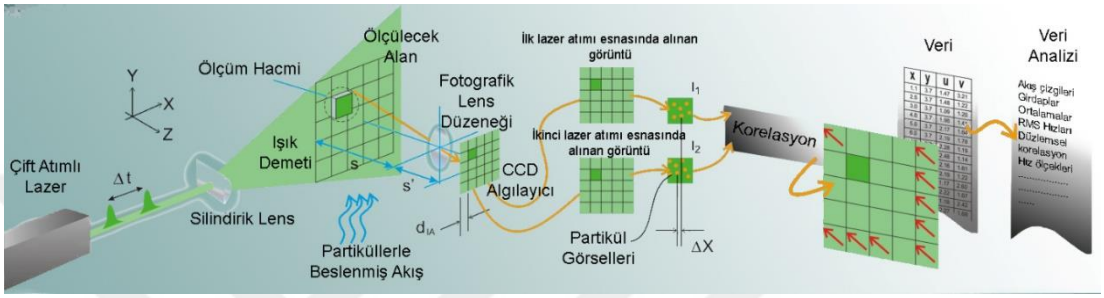
3.1.1.1 PIV Tekniğinin İlkeleri

PIV, güçlü bir akış görselleştirme yöntemidir ve kararsız ayrılmış akışların araştırılması için tercih edilen yöntem haline gelmiştir. Bir anda tüm akış düzleminin yüksek uzamsal çözünürlüğü ve doğruluğunu sağlar. PIV'nin teorik bir açıklaması, sıvı mekaniği, optik, görüntü işleme ve sinyal analizi gibi birçok farklı disiplinlerden bileşenleri içerir. Bu adımların her biri, gözlenen görüntülere göre akışkan hareketinin temsili üzerinde etkilidir.

Bir PIV sisteminin deneysel kurulumu tipik olarak birkaç alt sistemden oluşur. Çoğu uygulamada, akışa izleyici parçacıkların eklenmesi gerekir. Bu parçacıkların, akış düzleminde en az iki kez kısa bir zaman aralığında aydınlatılması gerekir. Parçacıklar tarafından saçılan ışığın ya tek bir kareye ya da bir kareler dizisine kaydedilmesi gerekir. PIV kayıtlarının değerlendirilmesi yapılırken iki ışık darbesi arasında geçen zamanda parçacıkların hareketleri yorumlanır. PIV tekniğini kullanarak toplanan bu büyük miktarda veriyi kullanabilmek için, oldukça karmaşık bir işleme süreci (post-proses) gereklidir. Şekil 3.1'de PIV sisteminin genel açıklaması gösterilmiştir. Küçük izleyici parçacıklar akışa eklenir. Akış içindeki bir düzlem (ışık tabakası) lazerle en az iki kez aydınlatılır (lazer darbeleri arasındaki zaman gecikmesi ve görüntüleme sırasındaki büyütme ve ortalama akış hızına bağlı olarak ayarlanır). İki aydınlatma arasında izleyici parçacıkların yerel akış hızıyla eşdeğer hareket ettiği varsayılmaktadır. İzleyici parçacıkların saçtığı ışık, özel bir çapraz korelasyon yeteneğine sahip görüntü algılayıcısına (CCD) kaydedilir. Görüntü algılayıcısından çıkan veri, bir bilgisayarın hafızasına doğrudan gerçek zamanlı olarak kaydedilir. Ölçüm için PIV kaydı "sorgu alanları" olarak adlandırılan küçük alt alanlara bölünmüştür. Birinci ve ikinci aydınlatmanın iz parçacıklarının görüntülerinin farklarından elde edilen yerel yer değiştirme vektörü her sorgulama alanı için istatistiksel yöntemler (otomatik ve çapraz korelasyon) vasıtasıyla belirlenir. Bir sorgulama alanındaki tüm parçacıkların iki aydınlatma arasında homojen hareket ettiği varsayılmaktadır. Yerel akış hızının vektörel yansıması, iki aydınlatma ve görüntü yakalama arasındaki zaman gecikmesi dikkate alınarak hesaplanmıştır. Sorgulama işlemi, PIV kaydının tüm hedeflenen görüntüleme alanı için tekrarlanır [26]. PIV tekniğinin detayları bir sonraki bölümde sunulmaktadır.

PIV Temel olarak beş ana başlıkta incelenebilir.

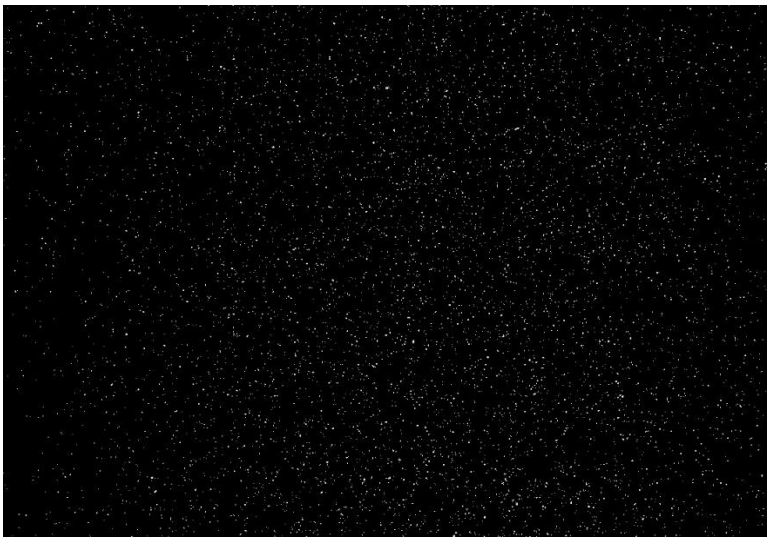
-Parçacık Besleme
-Aydınlatma
-Görüntü yakalama
-Görüntü değerlendirme
-Korelasyon ve Son işleme



Şekil 3.1. PIV sisteminin akış şeması

3.1.1.2 Partikül Ekleme

PIV'de aslında akışın hızı yerine, akışta sürüklenen küçük izleyici partiküllerin hızı ölçülür. Bu bakımdan, bu partiküller gerçek hız probları olarak düşünülebilir ve besleme bu yüzden PIV'de kilit faktördür. Partiküllerin görüntüleri Şekil 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.2. Partiküllerin sistemdeki görüntüsü

Su içerisinde akışı beslemek için, flüoresan, polistren, gümüş kaplı parçacıklar veya diğer yüksek yansıtıcı özelliğe sahip parçacıklar kullanılmalıdır; rüzgâr tünellerinde ise genellikle zeytinyağı veya alkol damlacıkları kullanılır. Parçacık seçimi bir dizi parametrelere bağlıdır. Öncelikle besleme maddesi akış ve mevcut aydınlatma sistemi dikkate alınarak seçilmelidir. Akışın doğası gereği, PIV ölçümleri için kullanılan besleme parçacıkları genellikle 0,1 ila 50 μm arasında değişen parçacık çaplarına sahiptir. Genel olarak partiküller, en fazla ışığı yansıtmak için mümkün olduğu kadar büyük seçilmelidir, ancak çok büyük partiküller akışı düzgün bir şekilde izlemeyeceğinden parçacık boyutu belli bir sınırın altında olmalıdır. İzin verilen maksimum parçacık büyüklüğü artan akış hızı, türbülans ve hız gradyanları ile azalır. Parçacıkların kamera tarafından alınan net görüntüleri, en az 2 piksel, tercihen 3 piksel veya daha fazla bir çapa sahip olmalıdır. Bu, sistemin parçacık konumlarını ve yer değiştirmelerini piksel-altı doğruluğuna göre tahmin etmesine olanak verecek ve tekniğin çözünürlüğünü, dolayısıyla hassasiyetini arttıracak, daha güvenilir sonuçlar çıkmasını sağlayacaktır.

Seçilen parçacık çeşidinin taşıyıcı akışkan içerisinde doğal olarak yüzmesi, nötr olarak askıda kalması gerekmektedir. Bu ikincil önem teşkil etmekle beraber göz önünde bulundurulması gereken bir faktördür.

Su akışları genellikle kapalı bir devrede su kullanılarak gerçekleştirilir ve burada lateks boncuklar veya çam poleni gibi ticari tohumlama parçacıkları kullanılabilir. Öte yandan, hava akımları genellikle yeniden dolaşımda değildir ve bu nedenle beslenecek parçacıkların girişte sisteme sokulmasını ve çıkışta yok edilmesini gerektirir. Deneyin kütle akış hızına bağlı olarak ya da beslenmiş akış alanının tekrar dolaşım yapıp yapmadığına bağlı olarak, akış beslemede iki yaklaşım yaygın olarak kullanılır: lokalize parçacık enjeksiyonu ve küresel parçacıklama. Akış alanının / deneyinin fiziksel özellikleri izin veriyorsa, genel tohumlama en çok istenen durumdur, çünkü bu tipik olarak partiküllerin en düzgün şekilde dağılımına yol açar.

3.1.1.3. Aydınlatma

PIV tekniğinde, akış alanında hareket eden parçacıkların saçtığı ışık bir kameraya kaydedildiğinde bir sinyal verir. Parçacıkların hem başlangıç hem de son konumları

yakalanmalıdır, böylece aralarındaki yer değiştirme ölçülebilir. Bu nedenle PIV aydınlatma yöntemi aşağıdaki kriterleri takip eder.

- Işık kapasitesi, parçacıklardan saçılan ışığın yoğunluğunun, görüntülerinin sistemin optik gürültü seviyesinin üzerinde PIV kameraya kaydedilebilecek şekilde olmasını sağlamak için yeterince yüksek olmalıdır.

- Işık atım süresi (pulse time), akışın parçacık ışık atımına maruz kalması sırasında önemli ölçüde değişmeyecek şekilde güvenilir olmalıdır.

- Art arda gelen ışık darbeleri arasındaki süre, akış alanının önemli ölçüde hareket etmeyeceği şekilde seri olmalıdır.

- Ölçüm düzleminin yeri ve boyutları iyi tanımlanmalıdır.

PIV tekniği, atımların yeterli enerjiye sahip olması, zaman içinde birbirine yakın olması ve atım süresinin akışkan içindeki parçacıkların bulanık olmayan temiz görüntülerini temin etmek için yeterince kısa olması şartıyla çalışma altındaki akış alanını aydınlatmak için herhangi bir ışık kaynağını kullanabilir. Işık kaynağının ahenkli veya ve tek renkli olması gerekmez. Potansiyel ışık kaynakları sürekli dalga lazerleri, darbeli lazerler, lazer diyotlar ve Xenon flaş lambaları gibi geniş bir yelpazeye sahiptir. Lazerler, yayılma yeteneklerinden, izleyici partiküllerin renk sapmaları olmadan aydınlatılmasını ve kaydedilmesini sağladıklarından, ince ışık tabakalarına sahip olduklarından ve kolayca monte edilebilen yüksek enerji yoğunluğuna sahip monokromatik ışık sağladıklarından dolayı PIV'de yaygın olarak kullanılmaktadır. Nd: YAG (Neodim Katkılı Yttrium Alüminyum Garnet), yüksek çıkış enerjisi (25 ila 400 mJ / puls), kısa puls süresi (6 ila 10 ns) ve 532 nm emisyonundan dolayı PIV'de en yaygın kullanılan yöntemdir. Nd: YAG lazerlerinin nominal darbe tekrarlama oranı 10 ila 15 Hz'dir.

3.1.1.4. Görüntü Yakalama

PIV tekniğinde, veri işlemeyi etkinleştirmek için en ez bir çift görüntü gerekir. Kameranın amacı, parçacıkların akış alanlarındaki ilk ve son konumlarını yakalamaktır böylece parçacık konumlarından yer değiştirme vektörü işlenebilir. PIV sistemlerinde, CCD (Charge – Coupled Device) kameraları kullanılmaktadır, bu teknolojiye sahip kameralar parçacık konumlarının görüntü haritasının anlık dijital sinyalini sağlamaktadır. Çok eski çalışmalarda, fotoğraf filmleri de kullanılmıştır.

CCD terimi, yük ile eşli cihaz anlamına gelir. Bir CCD kamera, piksel adı verilen bir dizi detektör içerir. Her piksel, fotodiyotta olduğu gibi, gelen ışığın fotonlarını elektronlara dönüştürerek yüklenen bir kapasitördür. Hücreler birbirlerinden, silikon çipinin amplifikasyonuyla oluşturulan ve CCD yüzeyinde biriken saydam metalik elektrotların ızgarasına voltaj uygulanarak, potansiyel oyuklarla izole edilir. Böylece bir pikselin üzerine düşen ışık elektronik bir yüke dönüştürülür. Tek tek piksellere düşen yük, CCD çipinin çıkışı sırasında bir voltaja dönüştürülür ve voltajın değeri, PIV görüntü haritasında gri skala dağılımı olarak görülür. İdeal olarak, görüntüler yüksek bir elektrik yüküne sahip olmalıdır, yani beyaz görünmeli ve CCD çipinin arka plan gürültü seviyesi ölçümü saptırmayacak kadar karanlık olmalıdır.

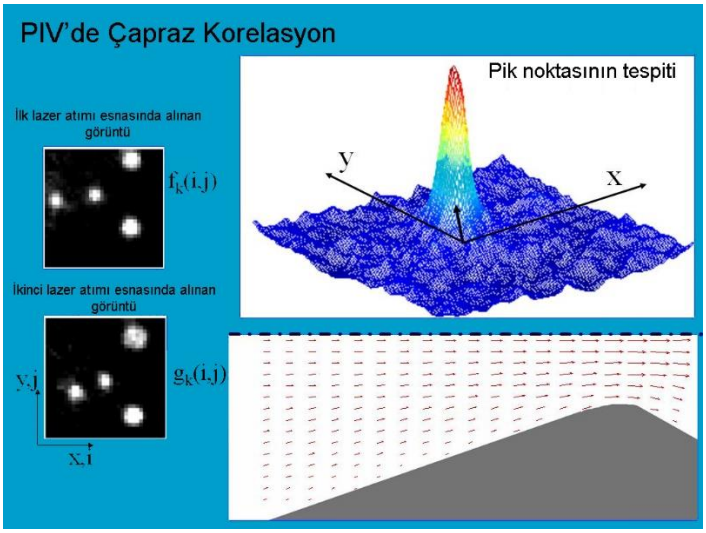
CCD dizisinin farklı düzenine / mimarisine sahip birkaç tip CCD kamerası vardır. Temel olarak, CCD dizisinin mimarisi, seçilen kameranın otomatik veya çapraz korelasyonlu görüntü yakalama için kullanılıp kullanılamayacağını etkiler. Geçmişte otomatik korelasyon, fotoğraf filmi bir görüntü yakalama ortamı olarak kullanıldığı için PIV'de en çok kullanılan görüntü yakalama yöntemi olmuştur. Bu dönemlerde CCD kameraların kullanılamama sebebi ise aralarında çok kısa süre olan görüntülerin kaydedilmesinin zorluğuydu. Günümüzde, iki kare arasında çok kısa bir zamana sahip olan kameralar mevcuttur, böylece çapraz korelasyonlu görüntü yakalama artık mümkün. Çapraz korelasyonda, partikül görüntülerinin akış alanındaki ilk konumları kameranın ilk karesine kaydedilir, kamera çerçevesi ilerletilir ve son pozisyonlar ikinci kamera karesine kaydedilir. İki görüntü daha sonra, görüntülenen akış alanının bir hız vektör haritasını elde etmek için çapraz korelasyon algoritmaları kullanılarak

işlenebilir. Yöne bağlı hız bilgisi kesin olarak elde edilir, çünkü hangisinin birinci ve hangisinin ikinci çerçeve olduğu bilinir.

Görüntü alan sistemlerde en az algılayıcı kadar merceğin de rolü büyüktür. Kullanılan optik eleman kesinlikle belirli bir kalitenin üstünde ve temiz görüntü aktarma yeteneğine sahip olmalıdır. Görüntünün kenarlarına doğru gerçekleşen bükülme etkisini (lens distortion) olabildiğince az tutacak bir lens seçilmelidir. Lensin optik boyutu ve yakınlaştırma oranı deney düzeneğinin ihtiyacına göre belirlenmelidir.

3.1.1.5. Korelasyon ve Post Proses

PIV işlemi temel olarak, fotoğraf temelli lazer darbelerinin çekilmiş fotoğrafları arasındaki partiküllerin hareket ettiği mesafeyi belirler. PIV görüntü verilerini işlemek için kullanılan üç genel veri işleme tekniği türü vardır: otomatik korelasyon, çapraz korelasyon ve parçacık izleme. İşleme tekniğinin seçimi öncelikle, parçacık görüntü verilerini ve tohum parçacık konsantrasyonunu kaydetmek için kullanılan mevcut donanıma bağlıdır. Korelasyona dayalı işleme teknikleri, uzamsal olarak ortalama hız tahminleri üretmektedir. Kaydedilen görüntü, her biri parçacık görüntüleri içeren küçük alt bölgelere ayrılmıştır. Görüntünün, küçük alt bölgelerin düzenli bir ızgara üzerinde işlenmesiyle, bir hız vektör haritası oluşturulur. Hem otomatik hem de çapraz korelasyon işlemleri Hızlı Fourier Dönüşümleri (FFT) kullanılarak gerçekleştirilir, çünkü bu teknik korelasyonun doğrudan sayısal hesaplamasından daha verimlidir. Otomatik korelasyon tekniğinde, tek bir görüntü çerçevesi birçok kez pozlandırılır ve küçük alt bölgelerden oluşan düzenli bir ızgara üzerinde işlenir. PIV'nin çapraz korelasyonunda, en az iki görüntü karesi kaydedilmelidir. Çapraz korelasyon işlemi, resim karelerinin tekrar küçük alt bölgelere ayrıldığı otomatik korelasyona benzer. Bununla birlikte, şimdi görüntü 1'den bir alt bölge (birinci lazer darbesinde kaydedilmiştir) görüntü 2'den bir alt bölge (ikinci lazer darbesinde kaydedilmiştir) ile çapraz korelasyon göstermektedir. Korelasyon düzlemi üzerinde ortaya çıkan çıktı, tepe noktasının, iki lazer darbesi arasındaki alt bölge boyunca parçacıkların ortalama yer değiştirmesini temsil ettiği tek uçlu bir işlevdir. Yer değiştirme yönü açık bir şekilde belirlenir, çünkü pozlamalar 1 ve 2'den alınan görüntüler ayrı olarak kaydedilir. Şekil 3.3, PIV tekniğinin çapraz korelasyon sürecinin ilkelerini göstermektedir.

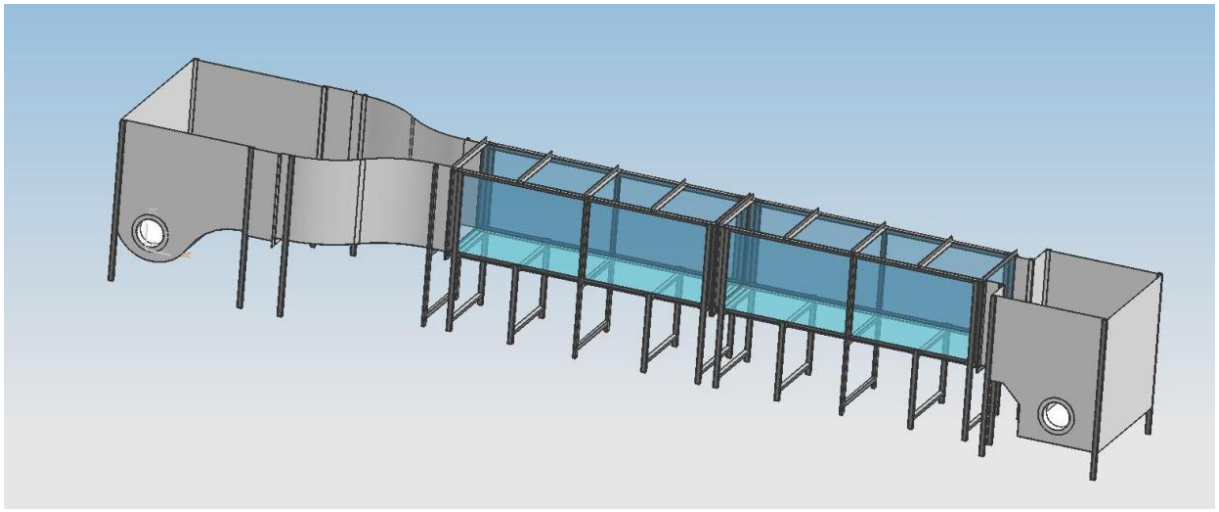


Şekil 3.3. PIV Tekniğinde Çapraz Korelasyon

3.2. Akış Sistemi

Deneyler, Şekil 3.6'da gösterilen Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi İleri Akışkanlar Mekaniği Laboratuvarı'nda bulunan, devri daim yapan bir açık yüzeyli su kanalında gerçekleştirilmiştir. Üstü açık 80x80 cm^2 kesitli 6 m uzunluğunda test odası bulunmaktadır. Test bölümünün yan ve alt duvarları, optik erişim için 15 mm kalınlığında Pleksiglas ile donatılmıştır. Kanal uzunluğu 80 cm ve derinliği 100 cm olup, maksimum 80 cm su doldurulabilir. Su tüneli test odasında hız maksimum 0,4 m/sn'dir. Test odasına girmeden önce, akış bir çökelme deposundan, bir bal peteğinden ve 2:1 oranında bir daralmadan geçer. Test odası ortasında yükseklikle hız profili değişimi %2'den azdır. 0,3 m/sn hızda test odası ortasında türbülans yoğunluğu %1'in altında hesaplanmıştır.

2 adet 11 kw sürücü tarafından hızı ayarlanabilen eksenel pompa ile eşzamanlı çalışabilen tünelde pompaların toplam gücü 25 kw'ı geçmemektedir. Su tüneli tam sızdırmazdır, tüm metal aksamları elektrostatik boya, elektrostatik statik boya yapılamayan bölgeler ise korozyona aynı denklikte dayanıklı bir kaplama metodu kullanılmaktadır. Tünel maksimum uzunluğu 15 m, yüksekliği 1,8 m ve genişliği 4 m'dir. Deneyler, model boyutlarına bağlı olarak 0,1m/s, 0,2m/s ve 0,3m/s hızlarda gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.4'te Tünelin bilgisayar çizimi, Şekil 3.5'da ise bir adet fotoğrafı verilmiştir.



Şekil 3.4.Su kanal sisteminin bilgisayar destekli tasarım görüntüsü

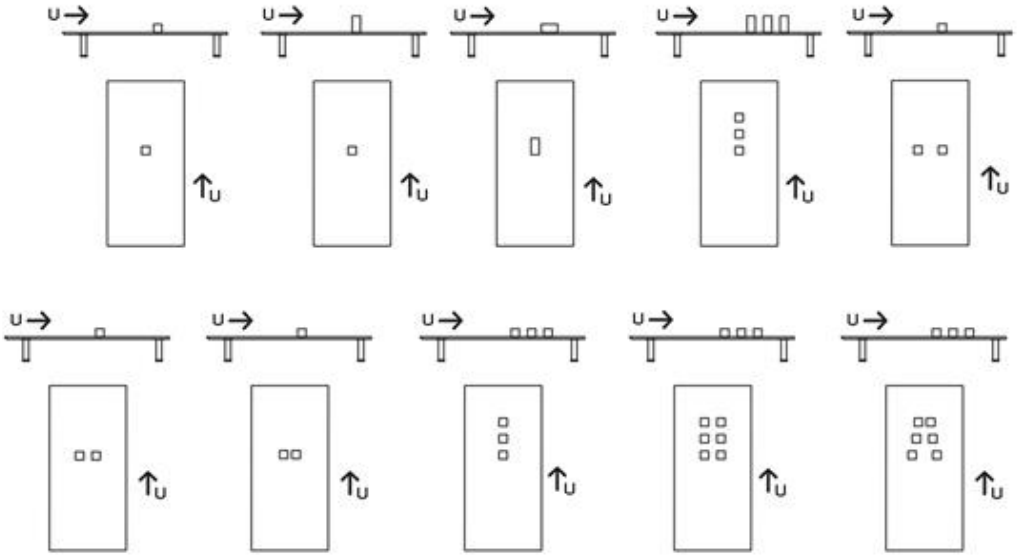
Şekil 3.5. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi PIV Laboratuvarı deney düzeneğinin panoramik görseli

3.3. Deneyde Kullanılan Cihaz ve PIV Ekipmanları

3.3.1. Deneysel Modeller

Bu deneyde on adet farklı küp ve kare silindir bina yerleşim modeli çalışılmıştır. İlk model 75mm boyutlarına sahip küp olarak, diğer model ise 150mm x 750mm x 75mm boyutlarında kare silindirdir. Modeller, 3mm kalınlığında pleksiglass malzemeden kesilip kloroform aracılığıyla birbirine kaynatılmıştır. Kübik modellerin ölçüsü ve

biçimleri Şekil 3.6'de verilmiştir. Kanal içerisindeki akışın alt bölgesinden etkilenmemesi için modeller 1500mm x 700mm boyutlarına ve 20mm kalınlığına sahip pleksiglass bir masa üzerinde konumlandırılmıştır. Masanın akışı karşılayan hücum kenarı akışa olumsuz bir etki bırakmamak maksadıyla üçgen formu verilecek şekilde kesilmiştir. Deneyi yapılan bina yerleşim konfigürasyonları Şekil 3.7'de verilmiştir.

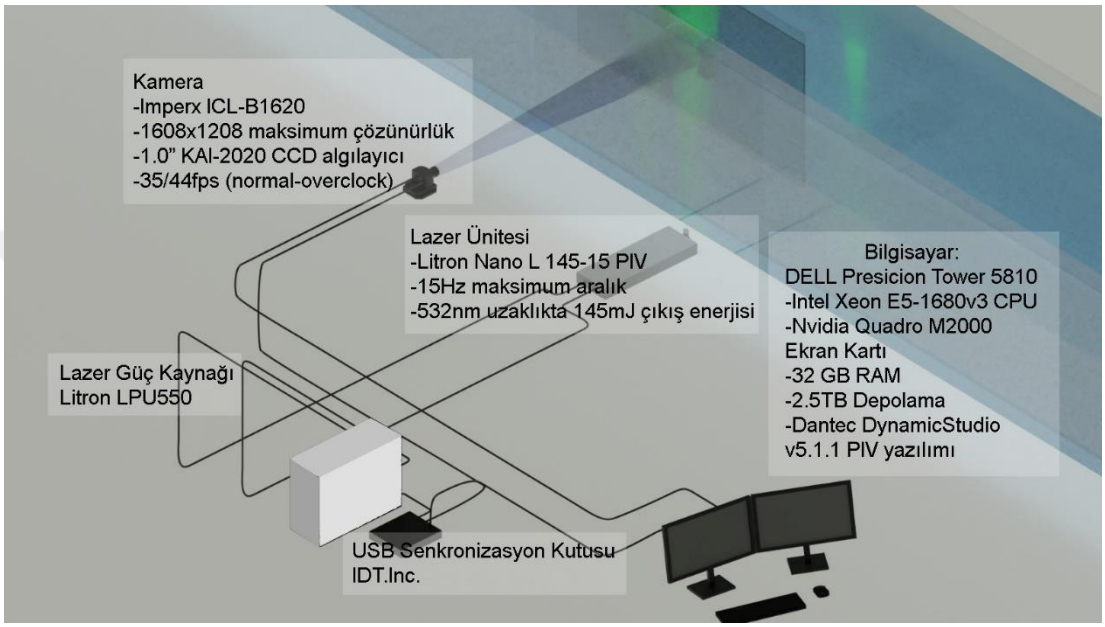


Şekil 3.6. Modellerin Yerleşim Konfigürasyonları

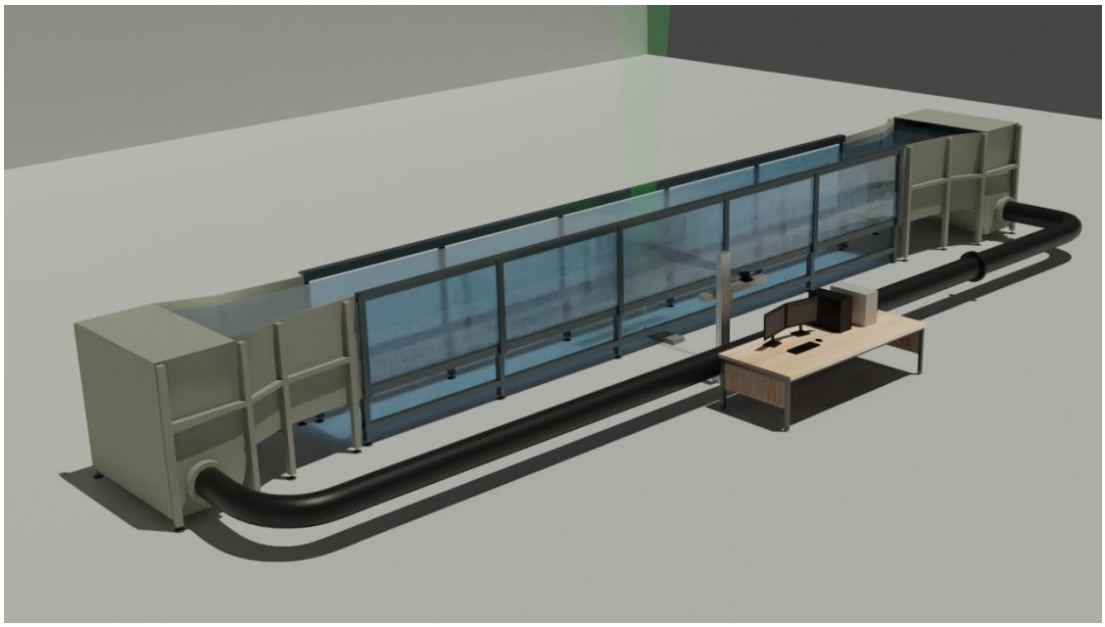
3.3.2.Deneyde Kullanılan PIV Ekipmanları

Hız alanları, çift kafalı Nd: YAG lazer, yüksek çözünürlüklü bir CCD kamera, bir USB senkronize edici ve optikten oluşan Dantec PIV sistemi ile tespit edilmiştir. Bu çalışmada kullanılan PIV sisteminin şeması Şekil 3.7 ve Şekil 3.8'de gösterilmiştir. Ölçüm düzlemleri, her biri 532nm dalga boyunda maksimum 145 mJ / darbe enerji çıkışına sahip olan bir çift çift darbeli Nd: YAG lazer ünitesi kullanılarak ince ve yoğun bir lazer levhasıyla aydınlatılmıştır. Lazer tabakasının kalınlığı yaklaşık 2 mm'dir. Darbeler arasındaki zaman aralığı görüntü penceresinde maksimum doğruluk elde edilecek şekilde Dynamic Studio v5.1.1 programındaki PIV kurulum asistanına girilen bilgilere ve akışın hızına bağlı olarak 1852µs ve 9600µs olarak belirlendi. PIV ölçümleri, modellerin aerodinamik özelliklerini vurgulamak için seçilen çeşitli dikey, yatay düzlemlerde gerçekleştirildi. Lazer levhasının yeri ve ölçüm düzlemleri için kameranın ve lazer demetinin sisteminin görüntüsü Şekil 3.9'da gösterilmektedir. Koordinat sistemimizde x, y ve z sırasıyla yatay, dikey ve yan yönlerdir. Bu sistemin

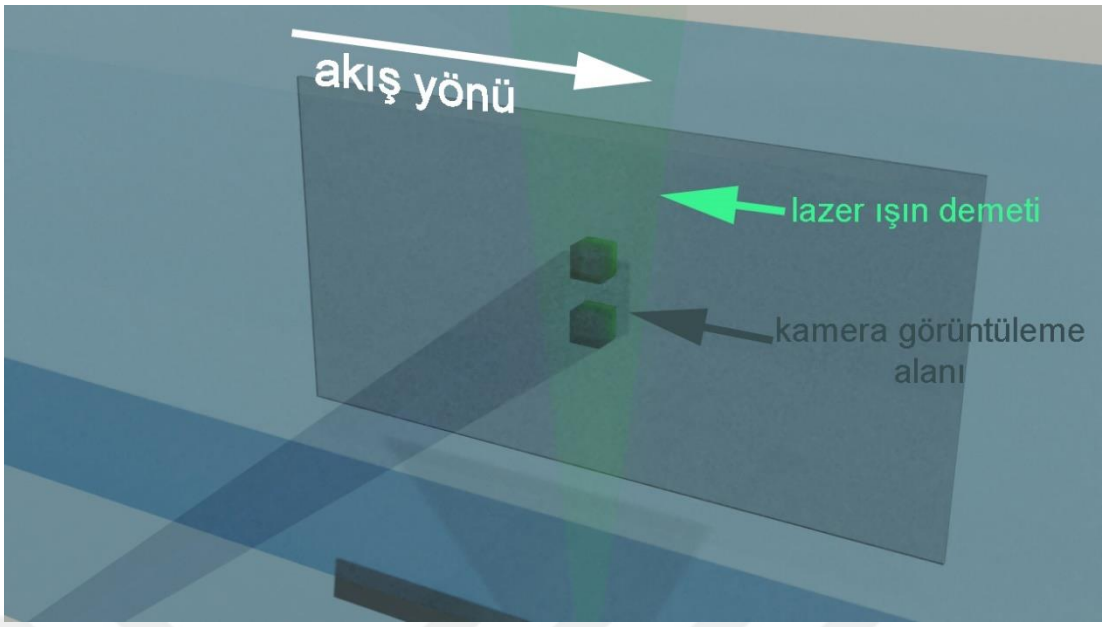
orijini, simetri düzleminde ve modellerin aşağı akış alt köşesinde bulunuyordu. Üst görünüm için, modellerin monte edilmiş olduğu masa düzlemi Z eksenine 90 derece açı yapacak şekilde düzenlendi. Yan görünümde ise masa düzlemi akış yönüne paralel olarak konumlandırıldı. İki senaryoda da lazer demeti modellere alttan uygulanıyordu. Kamera ise görüntüyü yandan görecek şekilde lazer demetine yaklaşık 110cm uzaklığa yerleştirildi.



Şekil 3.7. Deneyde Kullanılan PIV cihazlarının bilgileri



Şekil 3.8. Deney düzeneğinin 3 boyutlu bilgisayar modelleme görüntüsü



Şekil 3.9. Görüntüleme alanının yakın görüntüsü

3.4. Görüntü İşleme (Post-Proses)

Hız alanının verileri alındıktan sonra bozuk vektörlerin çıkarılması, çıkarılan vektörlerin yerinin doldurulması, verilerin filtrelenip düzgünleştirilmesi işlemi yapılır. PIV'de, parçacık görüntüleri vektör yer değiştirme bilgisi elde etmek için kullanılmaktadır. Parçacık görüntülerinin kendileri rastgele fonksiyonlar oldukları için, ortaya çıkan korelasyon fonksiyonları, veri setinin kullanılmasından önce çıkarılması gereken az da olsa hatalı ölçümlere sahip olma olasılığı olan, rasgele bileşenlere sahiptir. Hız alanı hesaplandıktan sonra vektörler CleanVec programı tarafından doğrulanmıştır. Bozuk vektörlerin çıkarılması işleminin ardından, eksik vektör alanlarını doldurmak, görüntü alanını gerçek akış alanına ölçeklendirmek ve girdap dağılımını hesaplamak için bilinear en küçük karelere uydurma tekniği (bilinear least-square fit technique) kullanılmıştır. Sonuç olarak çalışmada kullanılan vektör alanı ve akış topolojisi, TECPLOT'tan elde edilir [38].

3.5. Kullanılan Denklemler

3.5.1. Vortisite Değerlendirmesi

İki boyutlu akışlar için, düzlem dışı vortisite bileşeni:

$$\Omega = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y}\right) \tag{3.1}$$

Denklemi ile elde edilir.
Bu ifadeyi sayısal olarak hesaplamanın en yaygın yolu, kısmi türevleri sonlu farklarla yaklaştırmaktır. İç noktadaki merkezi farklılıklar kullanılarak aşağıdaki denklem ortaya çıkar:

$$\Omega_{ij} = \frac{1}{2}\left(\frac{v(i+1,j)-v(i-1,j)}{2\delta_x} - \frac{u(i,j+1)-u(i,j-1)}{2\delta_y}\right) \tag{3.2}$$

Türev işlemini içeren hesaplamalar gürültü oluşturmaya hassas olduğundan, ilk amaç vortisite, gerilme hızı ve gradian miktarlarının hesaplamaktan önce hız alanını düzgünleştirmek gerekmektedir.

Vortisite hesaplamaları yapılırken bu durumda kullanılabilecek bir başka düzgünleştirme yöntemi de Stokes teoreminden türetilmiş olan ve otomatik olarak çalışan NFILVB programında sirkülasyon metodunu kullanmaktır.
Stokes teoremi şöyle formüle edilebilir:

$$\iint \left(\vec{\nabla} \times \vec{u}\right) d\vec{s} = \oint \vec{u} d\vec{l} \tag{3.3}$$

Girdaplığın, belirli bir noktayı çevreleyen dört ızgara hücresi tarafından oluşturulan birim yüzeyin her tarafında sabit olduğu varsayılarak, o noktanın bir vortisitesi:

$$\Omega = \frac{1}{4\delta_x \delta_y} \oint \vec{u} d\vec{l} \tag{3.4}$$

Denklemdeki integral, birim yüzeyin kenarları tarafından oluşturulan yolun etrafındaki hızın dolaşımıdır.

3.5.2. Bilinear İnterpolasyon

Grid çevresinde deney sistemi tarafından bırakılan boşlukları doldurmak için NFILVB programı, bilinmeyen en küçük kareler yöntemini kullanmaktadır.

Veriler arasında u1,u2,u3….un istenen u'nun "n" en yakın olduğu nokta bulunurken, bu aranan değerin çok fazla sapma olmadan bulunması önemlidir. Bu hedefe ulaşmak için en küçük kareler yöntemi en yakın değeri bulmak için tercih edilir.

$$\chi^2 = \sum_{k=1}^{N} \frac{|u_k - u|^2}{\sigma_k} \tag{3.5}$$

Adrian ve ark. tarafından önerildiği gibi, NFILVB bu yöntemi hızın 2 bileşeninin doğrusal bir modeline kayıp bir verinin en yakın 5 komşusunu kullanarak uygular:

$$u = a_0 + a_{1x} + a_{2y} \tag{3.6}$$

$$v = b_0 + b_{1x} + b_{2y} \tag{3.7}$$

Ölçüm hatalarıyla σ_k, başa çıkmanın standart yolu, her bir veri grubundaki u_k bilinmeyenleri gözlemlendiğinde bunları ayarlamaktır.

Merit fonksiyonunun minimum değeri:

$$\chi^2 = \sum_{k=1}^{5} |u_k - (a_0 + a_1 x + a_2 y)|^2 \quad (3.8)$$

Aşağıdaki şartlar olduğunda meydana gelir:

$$\frac{\partial \chi^2}{\partial a_0}(x_k, y_k) = \frac{\partial \chi^2}{\partial a_1}(x_k, y_k) = \frac{\partial \chi^2}{\partial a_2}(x_k, y_k) = 0 \quad \text{k,1-5 değerleri için} \quad (3.9)$$

Bu, Nümerik Tarifler kitaplarında açıklanan Tekil Değer Ayrıştırma (SVD) tekniği kullanılarak çözülmüş 15 denklem ve 3 bilinmeyenli doğrusal bir sistemdir.

3.5.3. Gauss yumuşatma yöntemi

PIV'den elde edilen hız verilerindeki kalitesiz ve düzgün olmayan vektörleri azaltmak için, NFILVB'de yerel ağırlıklı bir ortalama alma tekniği kullanılır. Gauss ağırlıkları şunlardır.

$$u(x_i, y_j) = \sum_{m=-4}^{4} \sum_{k=-4}^{4} w_{km} u(x_{i-k}, y_{j-m}) \quad (3.10)$$

Burada,

$$w_{km} = \frac{\omega_{km}}{\sum_{k=-4}^{4} \sum_{m=-4}^{4} \omega_{km}} \quad (3.11)$$

ve $\omega_{km} = e^{\frac{2(k^2+m^2)}{\sigma^2}}$'dir. (3.12)

σ ifadesi, NFILVB çalıştırılırken kullanıcının belirlediği düzeltme parametresidir. Bu parametre Gauss ω değerinin ne kadar hızlı etki göstereceğini ve bu nedenle, çevreleyen noktaların ortalama değere katkılarını belirler.

3.5.4. Ortalama Akış Yapısı

Ortalama miktarların hesaplanması, akış tablosunda listelenen denklemlere göre yapılmıştır. Her bir ortalama parametre, her bir anlık koordinatta (x, y), tüm anlık değerlerin ortalaması (x, y) dikkate alınarak hesaplandı. Ortalama parametrelerin her biri için terminoloji ve ortalama parametreyi belirlemek için kullanılan boyutsuz denklemler aşağıdaki gibidir:

<V> ≡ ortalama toplam hız

$$< V > \rightleftarrows \equiv \frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N} V_n\,(x,y) \tag{3.13}$$

<u> = Hızın akışsal bileşeninin ortalama değeri,

$$< u > \rightleftarrows \equiv \frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N} u_n\,(x,y) \tag{3.14}$$

<v> = Enine Hız Bileşeninin Ortalama Değeri

$$< v > \rightleftarrows \equiv \frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N} v_n\,(x,y) \tag{3.15}$$

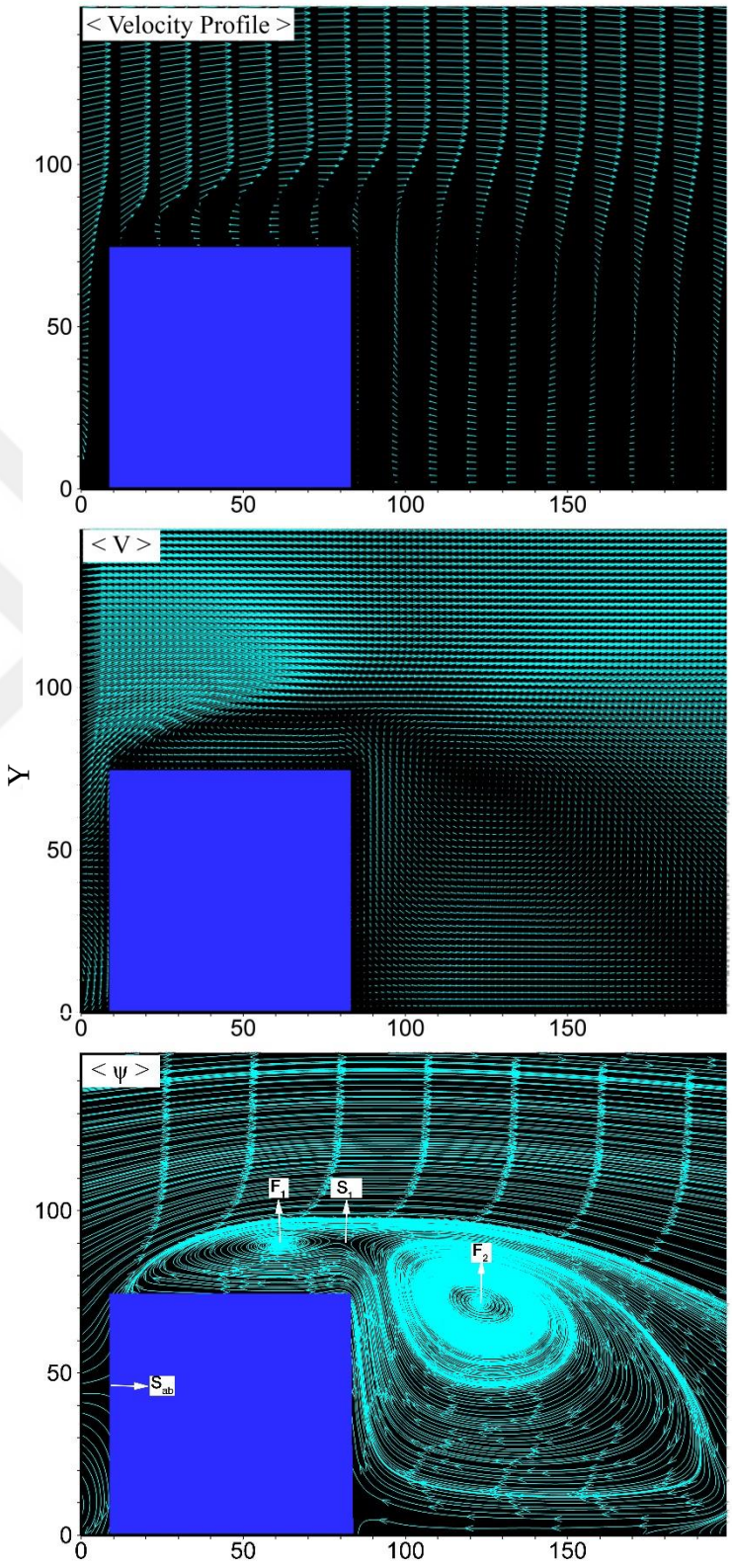
<ω> = vortisitenin ortalama değeri

$$< \omega > \rightleftarrows \equiv \frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N} \omega_n\,(x,y) \tag{3.16}$$

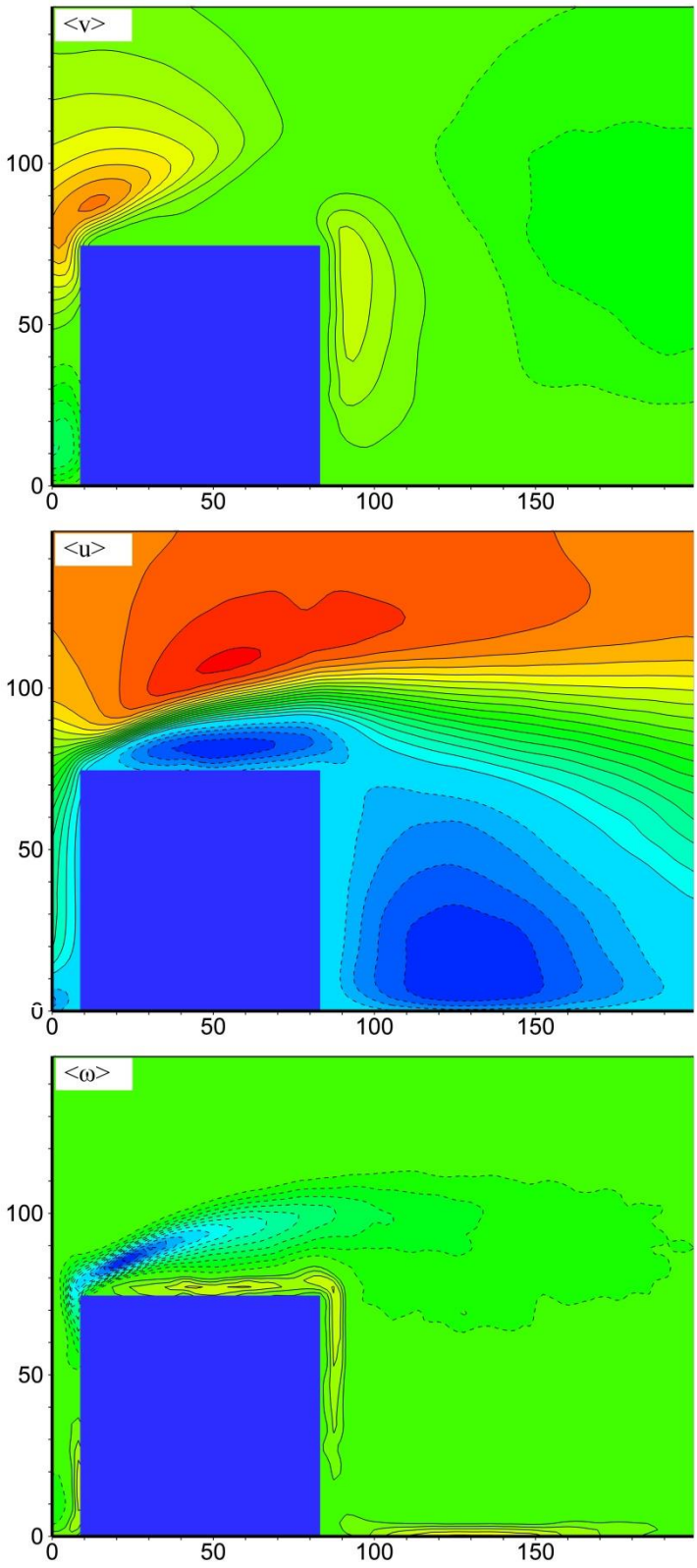
Olarak ifade edilmektedir.

4. BULGULAR

4.1. Tek Küp (Side view) Re=26000



Şekil 4.1.1. Tek küp için yan görünüşte Re=26000 sayısında hız profilleri (velocity profile), vektörler (V) ve akış çizgileri (ψ).

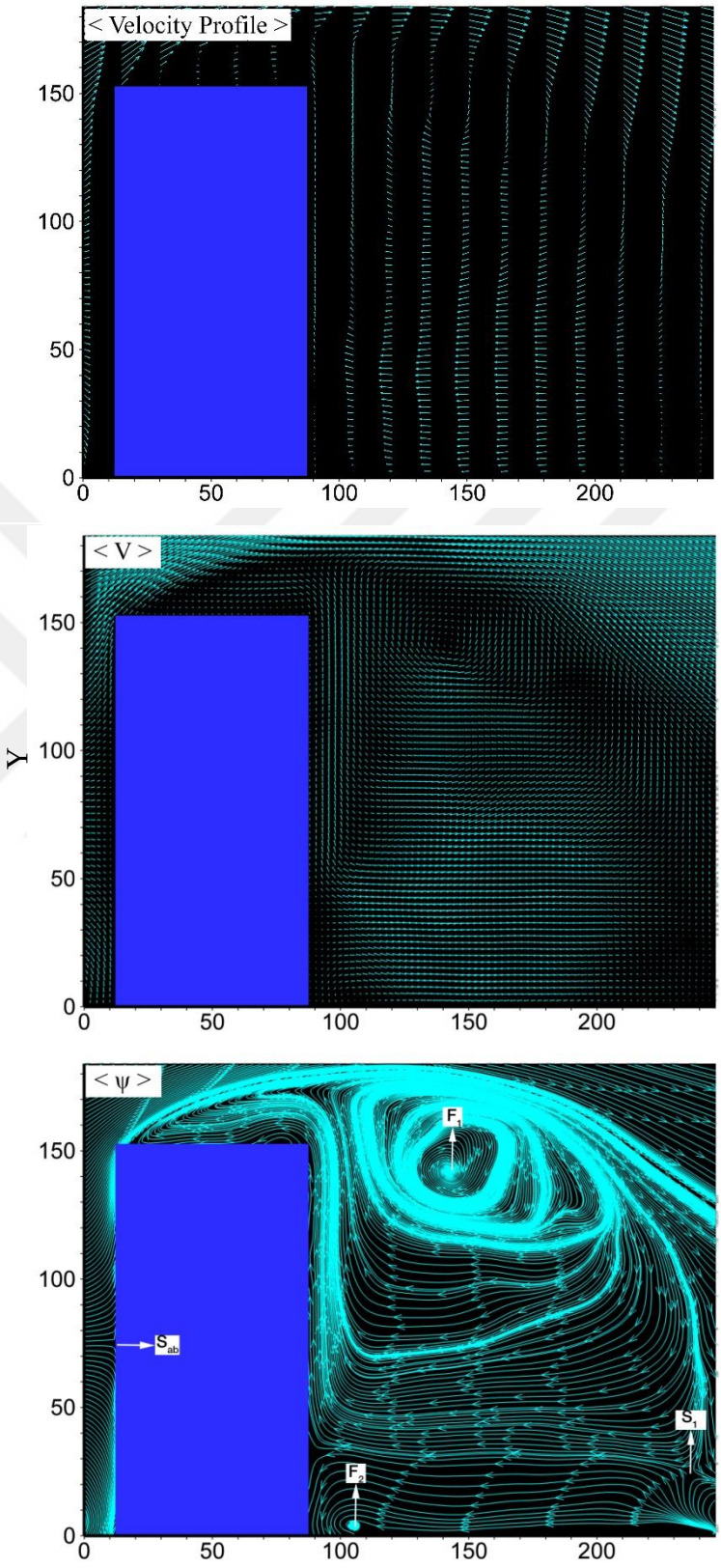


Şekil 4.1.2. Tek Küp için yan görünüşte Re=26000 sayısında “v” hızı, “u” hızı ve girdaplanma (ω) konturları.

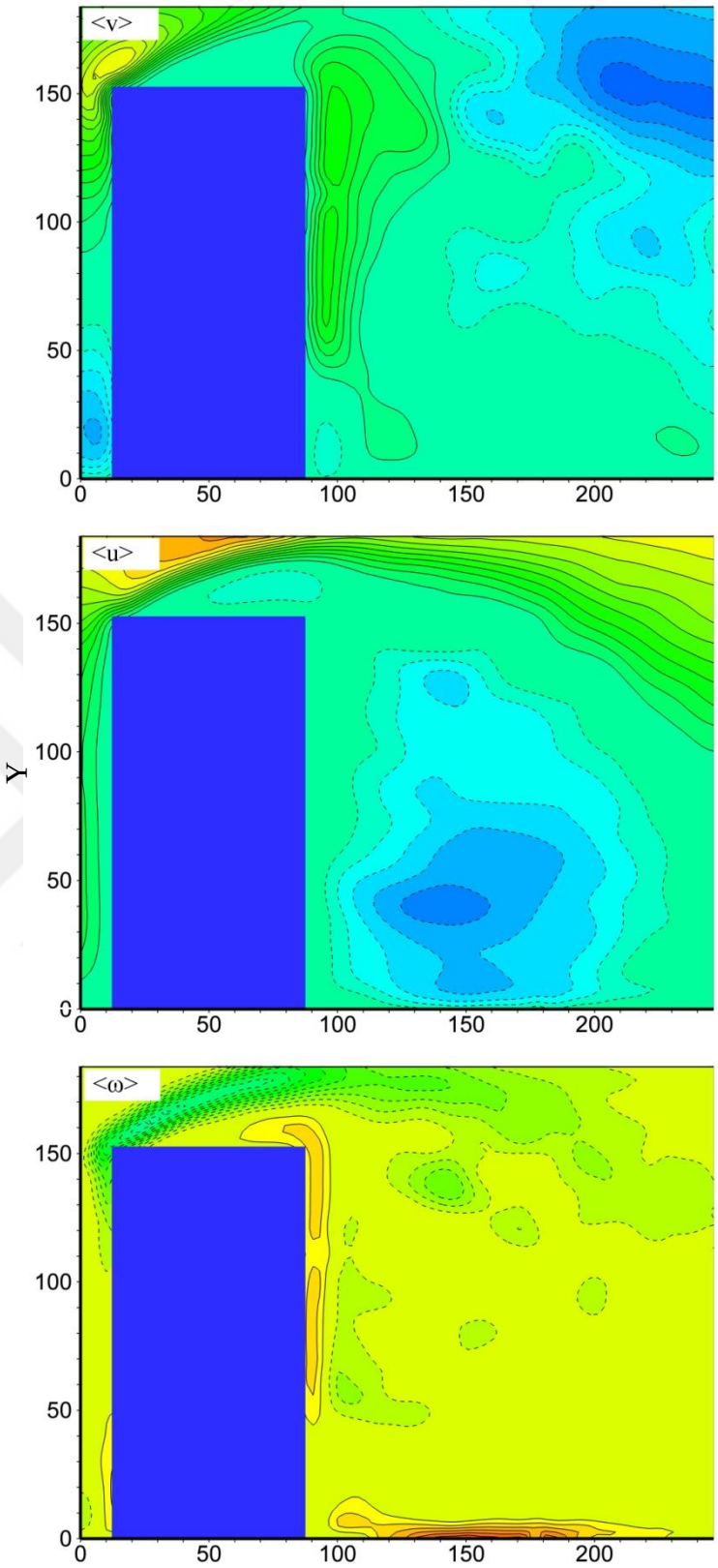
Şekil 4.1.1'de hız profili incelendiğinde hız profillerinin yönleri ile akıştaki yön değişiminin gerçekleştiği bölgeler net bir şekilde görülmektedir. Akım çizgilerine bakıldığında akış, modelin ön yüzeyine yaklaştığında yavaşlayarak ön durgunluk noktası S_{ab}, y=0,61D konumunda ikiye ayrılmıştır. Buradan yukarı yönelecek şekilde şartlanan akış, üst köşeden çıkarak temel akış alanını oluşturmaktadır. F_1 noktasının cismin başlangıç noktasına x ekseninde olan mesafesi 0,71D'dir. F_2 noktası 1,55D mesafede oluşmuştur. İki F noktası arasında x ekseninde küpün başladığı noktadan 0,93D uzaklıkta olan S_1 durgunluk noktası bulunmaktadır.

Şekil 4.2.2.'de sırası ile küp modele ait zaman ortalama akışa dik hız <v>, akış yönü hız <u> ve <ω> konturları verilmiştir. Noktasal çizgiler negatif hız ve girdap konturlarını sürekli çizgiler ise pozitif hız ve girdap konturlarını göstermektedir. Zaman ortalama akışa dik hız <v> konturları için minimum hız <v> = -104mm/s, maksimum hız <v>=174mm/s ve artış Δv=20mm/s olarak verilmiştir. Zaman ortalama akış yönü hız <u> konturları için minimum hız <u> = -108mm/s, maksimum hız <u>= 366mm/s ve artış Δv= 20mm/s olarak verilmiştir. Zaman ortalama girdap <ω> konturları için minimum <ω> = -66, maksimum <ω>= 27 ve artış Δω= 5 olarak verilmiştir. Elde edilen dikey hız konturuna bakıldığında dikey hızın en yüksek olduğu bölgenin modelin sol üst köşesinden y ekseninde 0,18D uzaklıkta olduğu görülmüştür. Aynı bölgede negatif girdaplanma görülmekte ve model boyunca devam etmektedir. Negatif girdap konturları saat yönü pozitif girdap konturları ise saatin tersi yönü girdap değerlerini ifade etmektedir. Model üst yüzeyine yakın yerde ve model arka yüzeyi boyunca pozitif girdaplanma görülmekte model üst yüzeyindeki negatif girdapların pozitif girdaplara göre daha baskın olduğu gözlemlenmektedir. Akış yönü. "u" hızının konturlarında iki adet ölü akış gölgesi ile küpün üst kısmında ve arka kısmında görülmekte, küpün ortasında üst yüzeyinden 0,45D uzaklıkta ise akış yönündeki hızın maksimum olduğu bölge gözlemlenmektedir.

4.2.1. Tek kare silindir (D x D x 2D) Re=1680

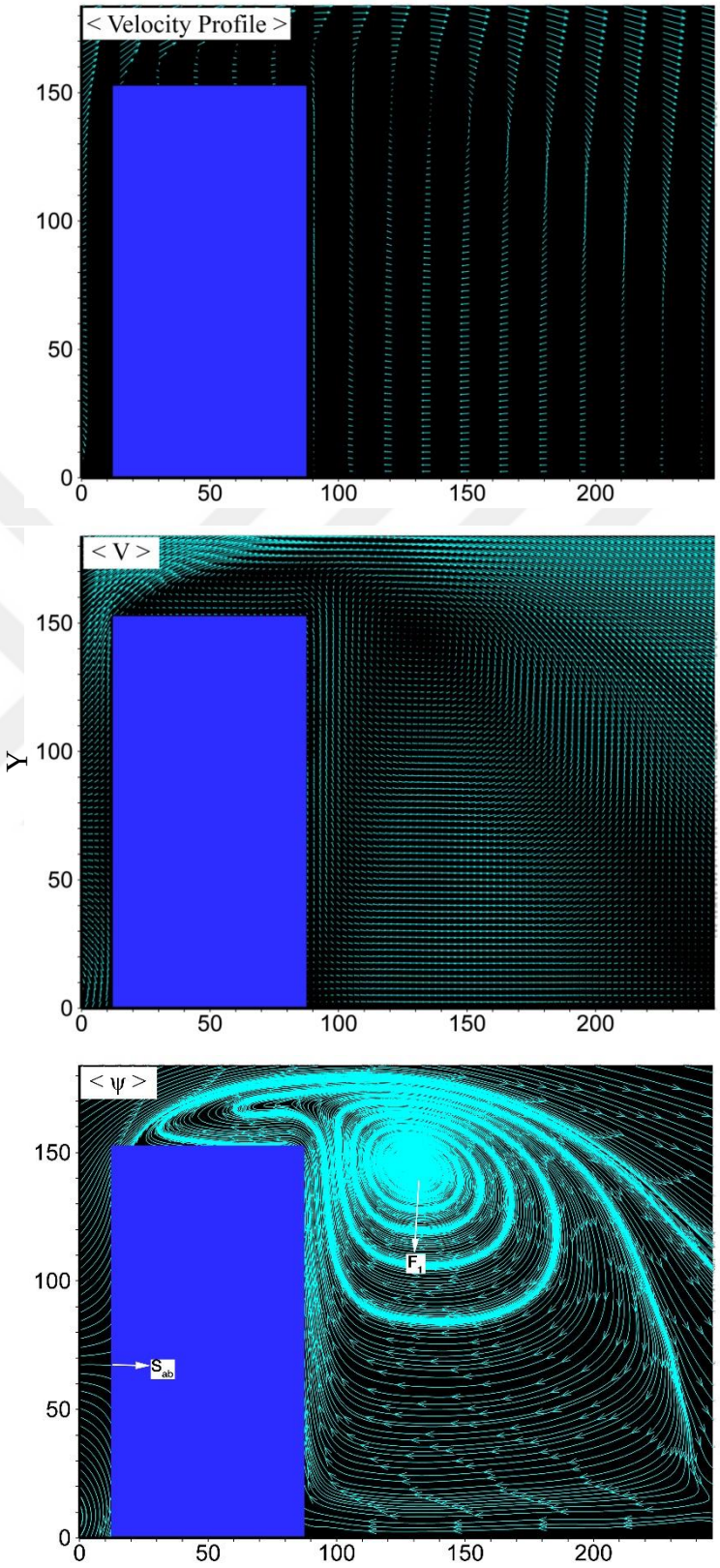


Şekil 4.2.1.1. Tek kare silindir için yan görünüşte Re=1680 sayısında hız profilleri (velocity profile), vektörler (V) ve akış çizgileri (ψ).

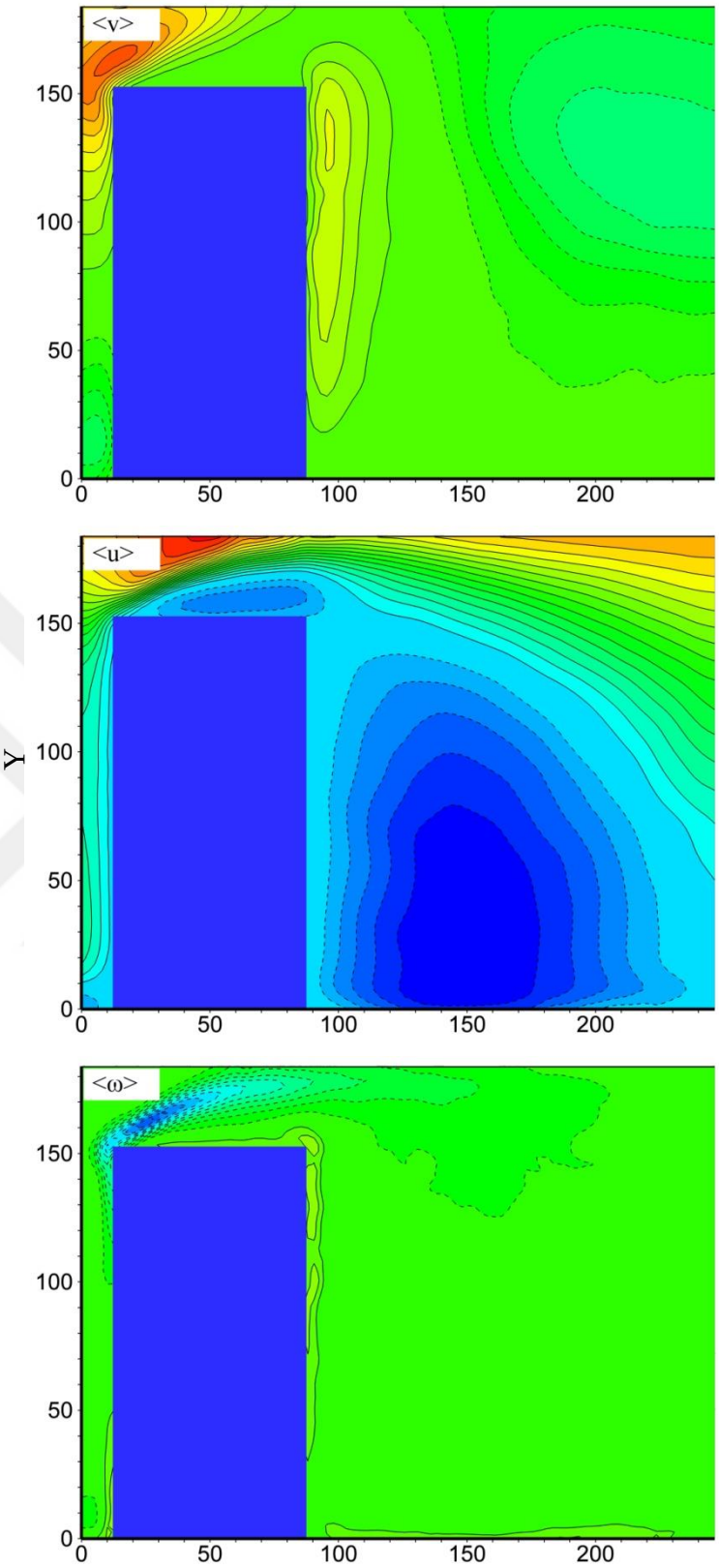


Şekil 4.2.1.2. Tek kare silindir için yan görünüşte Re=1680 sayısında “v” hızı, “u” hızı ve girdaplanma (ω) konturları.

4.2.2. Tek kare silindir (D x D x 2D) Re=26000



Şekil 4.2.2.1. Tek kare silindir için yan görünüşte Re=26000 sayısında hız profilleri (velocity profile), vektörler (V) ve akış çizgileri (ψ).



Şekil 4.2.2.2. Tek kare silindir için yan görünüşte Re=26000 sayısında “v” hızı, “u” hızı ve girdaplanma (ω) konturları.

Şekil 4.2.1.1 ve Şekil 4.2.2.1'de Re=1680 için hız profiline bakıldığında, hız profillerinin yönleri ile akıştaki yön değişimi gerçekleşen bölgelerin net bir şekilde görüldüğü saptanmıştır. Akım çizgilerine bakıldığında akış, modelin ön yüzeyine yaklaştığında yavaşlayarak ön durgunluk noktası S_{ab}, y=0,5D konumunda ikiye ayrılmıştır. F_1 noktasının cismin başlangıç noktasına x ekseninde olan mesafesi 0,36D'dir. F_2 noktası 1,55D mesafede oluşmuştur. İki F noktası arasında x ekseninde küpün başladığı noktadan 0,93D uzaklıkta olan S_1 durgunluk noktası bulunmaktadır.

Lineer ve türbülanslı akış şartlarının birbiriyle kıyaslanabildiği bu geometride ön ayrılma bölgesinin (S_{ab}) konumunun akış hızının artmasından çok az etkilendiği görülmüştür (Re=1680 iken 0,49D Re=26000 olduğunda 0,44D). Bu geotmetride meydana gelen akış, küp şeklindeki geometride meydana gelen akış ile benzerlikler göstermektedir. Fakat küple kıyaslandığında arka kısmında daha büyük bir ölü bölge gözlemlenmiştir. Akış çizgileri gözlemlendiğinde; Akış hızının artması ile, ölü akış bölgesindeki düzenlilik artarken, Foci adedinde ise düşüş gözlemlenmiştir. (2'den 1'e) Düşük reynolds değerinde geometriye x ekseninde 0,12D mesafede küçük boyutlu bir Foci ve yaklaşık 1D mesafede ayrılma bölgesi belirirken, Reynolds sayısı artınca bu bileşenler gözlemlenmemiştir.

Şekil 4.2.1.2'de Re=1680 için sırası ile kare silindir modele ait zaman ortalama akışa dik hız <v>, akış yönü hız <u> ve <ω> konturları verilmiştir. Noktasal çizgiler negatif hız ve girdap konturlarını sürekli çizgiler ise pozitif hız ve girdap konturlarını göstermektedir. Zaman ortalama akışa dik hız <v> konturları için minimum hız <v> = -7mm/s, maksimum hız <v>=14mm/s ve artış Δv=1mm/s olarak verilmiştir. Zaman ortalama akış yönü hız <u> konturları için minimum hız <u> = -11mm/s, maksimum hız <u>= 25mm/s ve artış Δv= 2mm/s olarak verilmiştir. Zaman ortalama girdap <ω> konturları için minimum <ω> = -3,75, maksimum <ω>= 2 ve artış $\Delta\omega$= 0,25 olarak verilmiştir.

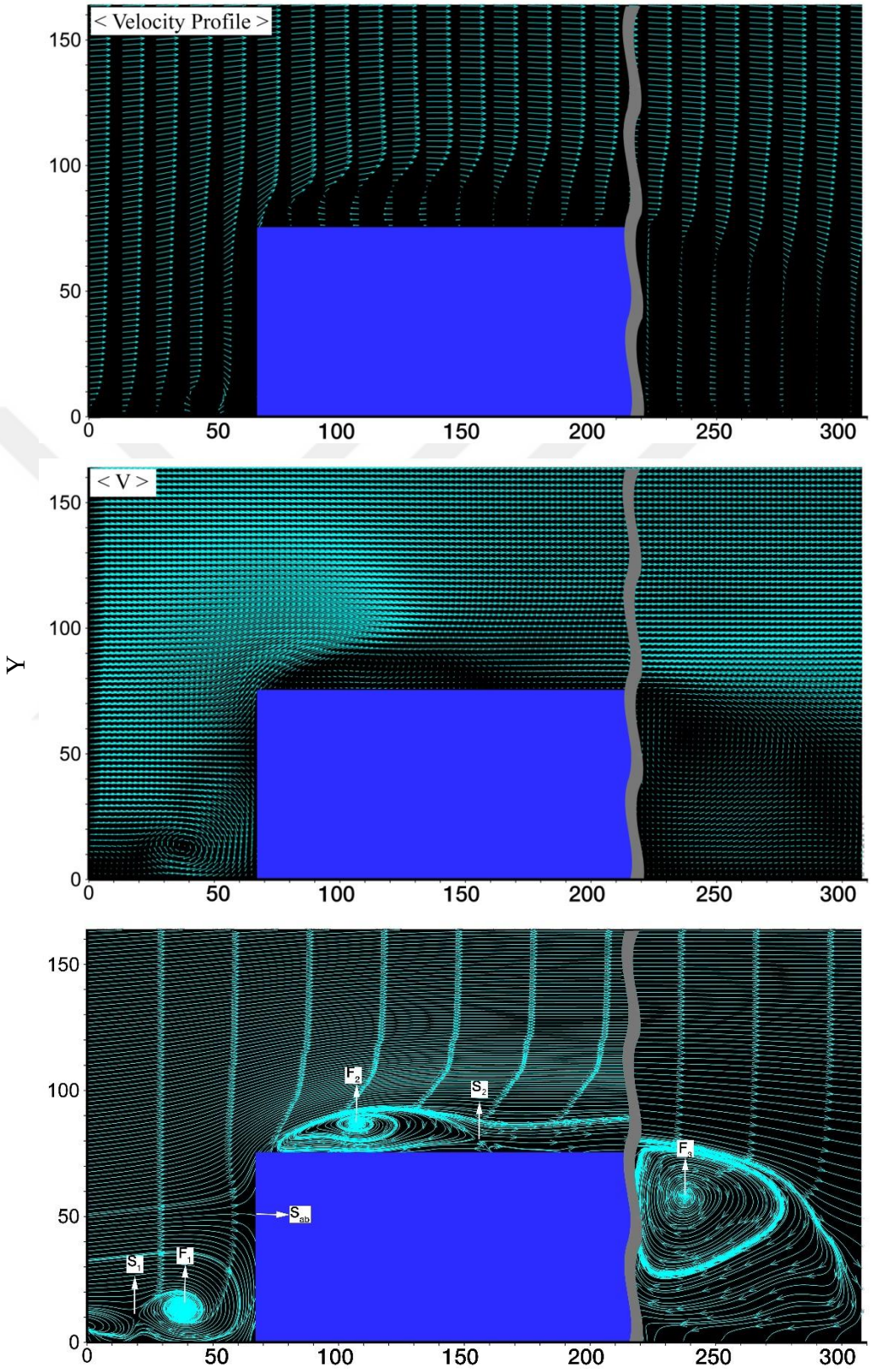
Şekil 4.2.2.2'de Re=26000 için sırası ile kare silindir modele ait zaman ortalama akışa dik hız <v>, akış yönü hız <u> ve <ω> konturları verilmiştir. Noktasal çizgiler negatif hız ve girdap konturlarını sürekli çizgiler ise pozitif hız ve girdap konturlarını göstermektedir. Zaman ortalama akışa dik hız <v> konturları için minimum hız <v> =

-117mm/s, maksimum hız <v>=204mm/s ve artış Δv=20mm/s olarak verilmiştir. Zaman ortalama akış yönü hız <u> konturları için minimum hız <u> = -121mm/s, maksimum hız <u>= 367mm/s ve artış Δv= 20mm/s olarak verilmiştir. Zaman ortalama girdap <ω> konturları için minimum <ω> = -55, maksimum <ω>= 15 ve artış Δω= 5 olarak verilmiştir.

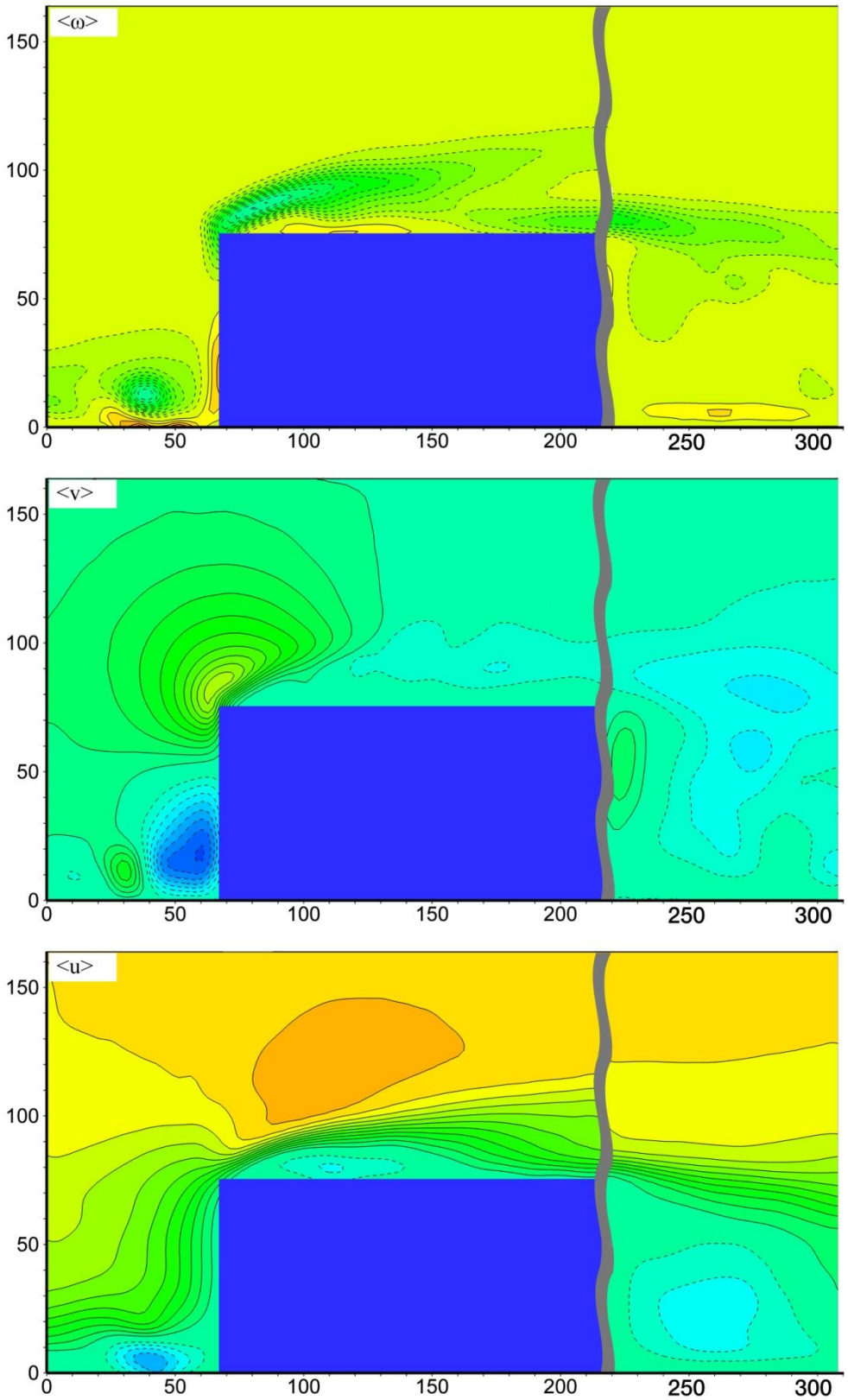
Elde edilen dikey hız konturuna bakıldığında iki reynolds değerinde de dikey hızın en yüksek olduğu bölgenin modelin sol üst köşesinden y ekseninde 0,18D uzaklıkta olduğu görülmüştür. Aynı bölgede negatif girdaplanma görülmekte ve model boyunca devam etmektedir. Negatif girdap konturları saat yönü, pozitif girdap konturları ise saatin tersi yönü girdap değerlerini ifade etmektedir. Model üst yüzeyine yakın yerde ve model arka yüzeyi boyunca pozitif girdaplanma görülmekte model üst yüzeyindeki negatif girdapların pozitif girdaplara göre daha baskın olduğu gözlemlenmektedir. Akış yönü "u" hızının konturlarında iki adet ölü akış gölgesi kare silindirin üst kısmında ve arka kısmında birbirinden ayrı fakat akış çizgilerine bakıldığında aynı girdabın öğesi olarak görülmekte, küpün ortasında üst yüzeyinden 0,45D uzaklıkta ise akış yönündeki hızın maksimum olduğu bölge gözlemlenmektedir.

İki Reynolds sayısında da vortisite, "u" hızı, "v" hızı bileşenlerinin oluştuğu noktalar genel olarak benzerlik göstermiştir.

4.3.1. Tek Yatay Kare Silindir (2D x D x D) Re=1680

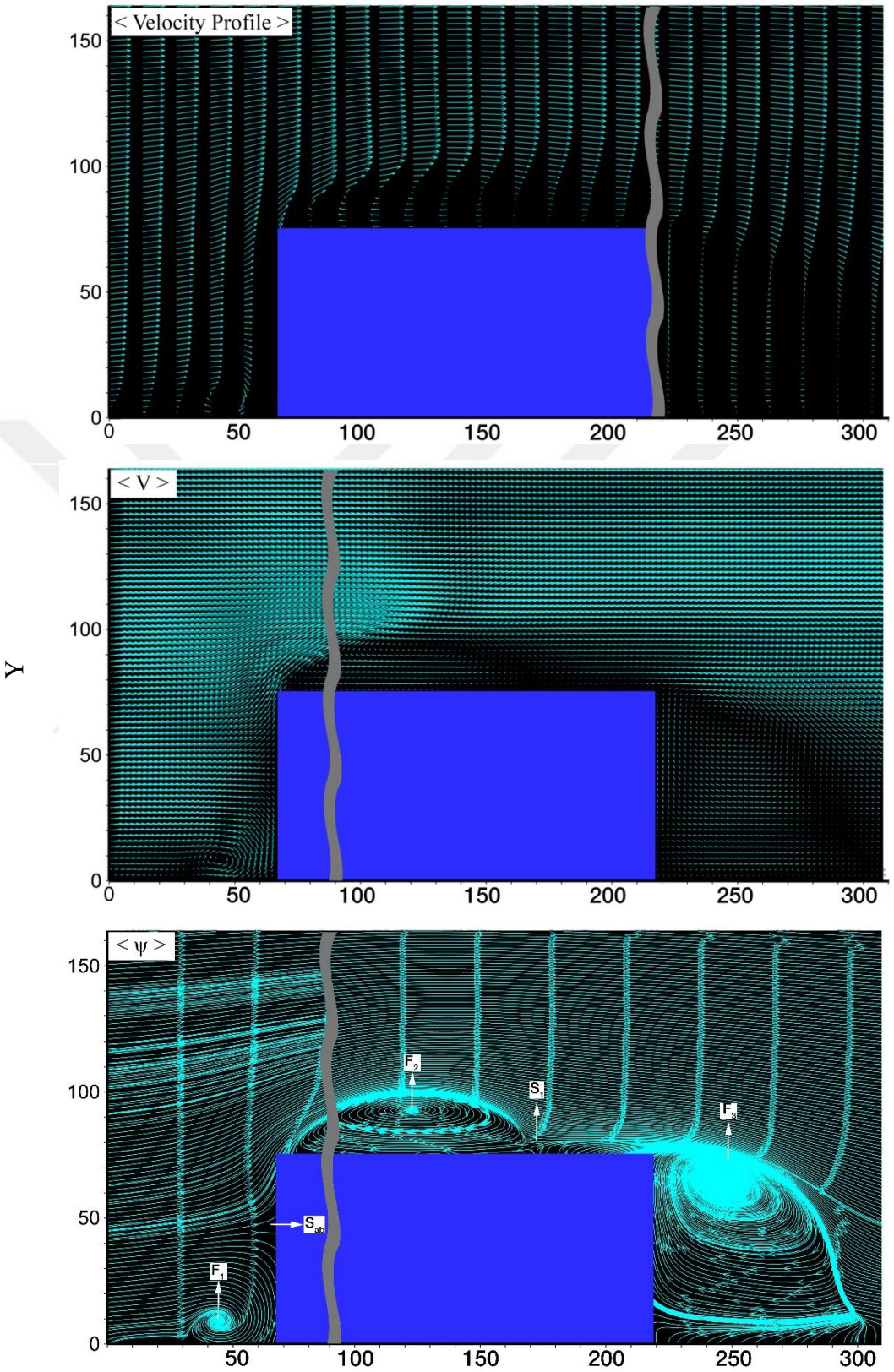


Şekil 4.3.1.1. Yatay kare silindir için yan görünüşte Re=1680 sayısında hız profilleri (velocity profile), vektörler (V) ve akış çizgileri (ψ).

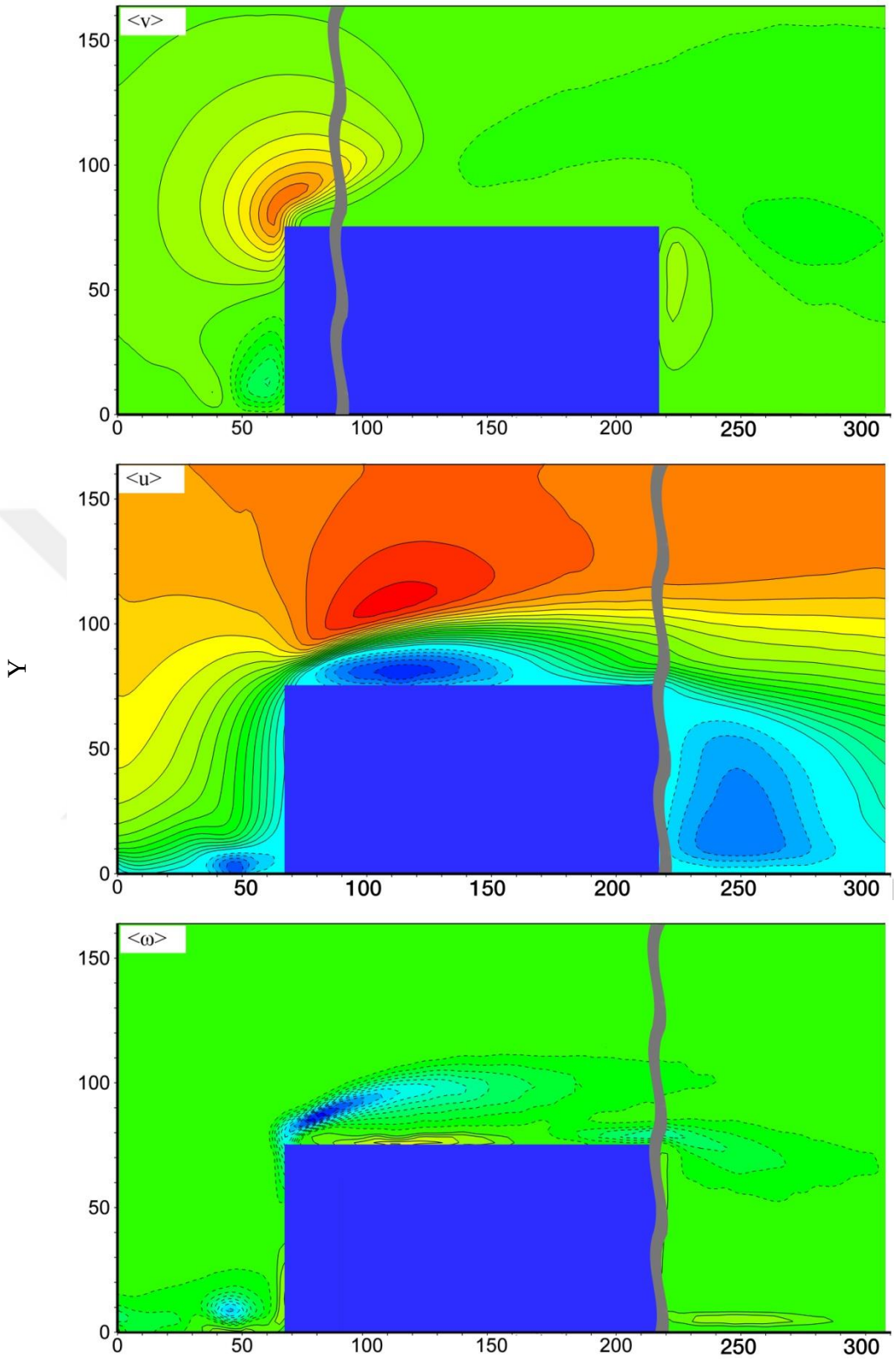


Şekil 4.3.1.2. Yatay kare silindir için yan görünüşte Re=1680 sayısında "v" hızı, "u" hızı ve girdaplanma (ω) konturları.

4.3.2. Tek yatay kare silindir (2D x D x D) Re=26000



Şekil 4.3.2.1. Yatay kare silindir için yan görünüşte Re=26000 sayısında hız profilleri (velocity profile), vektörler (V) ve akış çizgileri (ψ).



Şekil 4.3.2.2. Yatay kare silindir için yan görünüşte Re=26000 sayısında “v” hızı, “u” hızı ve girdaplanma (ω) konturları.

Yatay kare silindir model üzerinde düşey eksene ait zaman ortalama hız profilleri, hız vektörleri ve akım çizgileri Re=1680 için Şekil 4.3.1.1.'de, Re=26000 için ise Şekil 4.3.2.1'de verilmiştir. Şekilde x ekseni boyunca hız profili incelendiğinde yön değişiminin modelin üst yüzeyinde ve arkasında olduğu, bu ayrılan akışın geometrinin yarı uzunluğunu katettikten sonra tekrar birleştiği görülmüştür. Akım çizgilerine göre akış modelin ön yüzeyinde yavaşlayıp ön durgunluk noktası S_{ab}, y=0,66D konumunda ikiye ayrılmaktadır. Akış aşağı doğru küpün ön yüzünden Re=1680 şartlarında x=0,37D uzaklıkta bir F_1 Foci noktası ve x=0,62D uzaklıkta bir S_1 ayrılma noktası bırakarak, Re=26000 şartlarında ise sadece x=0,31D uzaklığında bir adet F_1 noktası bırakarak yukarı doğru şartlanmaktadır. Geometrinin üzerindeki akışın, farklı reynolds sayılarına rağmen birbirine benzer öğeler içerdiği, sadece öğelerin konumunun küçük farklarla değiştiği görülmüştür. F_2 noktası, Re=1680 iken Y=0,16D konumunda, Re=26000 iken Y=0,24 konumunda gözlemlenmiştir. Akışın hızı yükseldiğinde üst ayrılma noktası S_1, X=1,35D'den X=1,2D'ye gerilemiştir. Bu hız artışı arka ölü bölgede oluşan F_3 noktasını Y=0,77D'den Y=0,89D'ye taşımıştır.

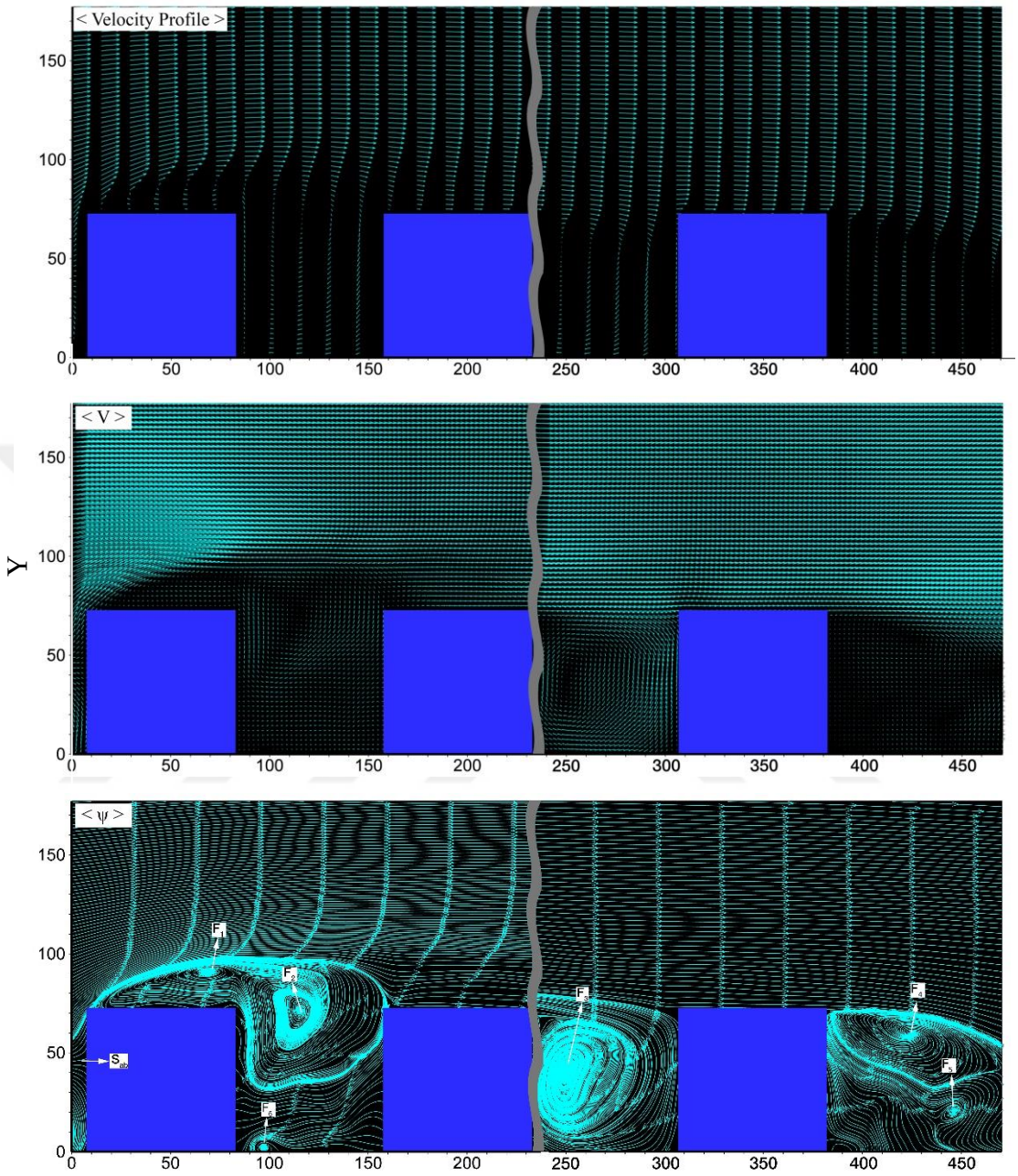
Şekil 4.3.1.2.'de sırası ile yatay kare silindir modele ait zaman ortalama akışa dik hız <v>, akış yönü hız <u> ve <ω> konturları verilmiştir. Noktasal çizgiler negatif hız ve girdap konturlarını sürekli çizgiler ise pozitif hız ve girdap konturlarını göstermektedir. Zaman ortalama akışa dik hız <v> konturları için minimum hız <v> =-8,6mm/s, maksimum hız <v>=11mm/s ve artış Δv=1mm/s olarak verilmiştir. Zaman ortalama akış yönü hız <u> konturları için minimum hız <u> = -11mm/s, maksimum hız <u>=23mm/s ve artış Δv= 2mm/s olarak verilmiştir. Zaman ortalama girdap <ω> konturları için minimum hız <v> = -4, maksimum hız <ω>=1,5 ve artış $\Delta\omega$= 0,25 olarak verilmiştir.

Şekil 4.3.2.2.'de sırası ile yatay kare silindir modele ait zaman ortalama akışa dik hız <v>, akış yönü hız <u> ve <ω> konturları verilmiştir. Noktasal çizgiler negatif hız ve girdap konturlarını sürekli çizgiler ise pozitif hız ve girdap konturlarını göstermektedir. Zaman ortalama akışa dik hız <v> konturları için minimum hız <v> =-100mm/s, maksimum hız <v>=170mm/s ve artış Δv=10mm/s olarak verilmiştir. Zaman ortalama akış yönü hız <u> konturları için minimum hız <u> = -117mm/s, maksimum hız <u>=369mm/s ve artış Δv= 20mm/s olarak verilmiştir. Zaman

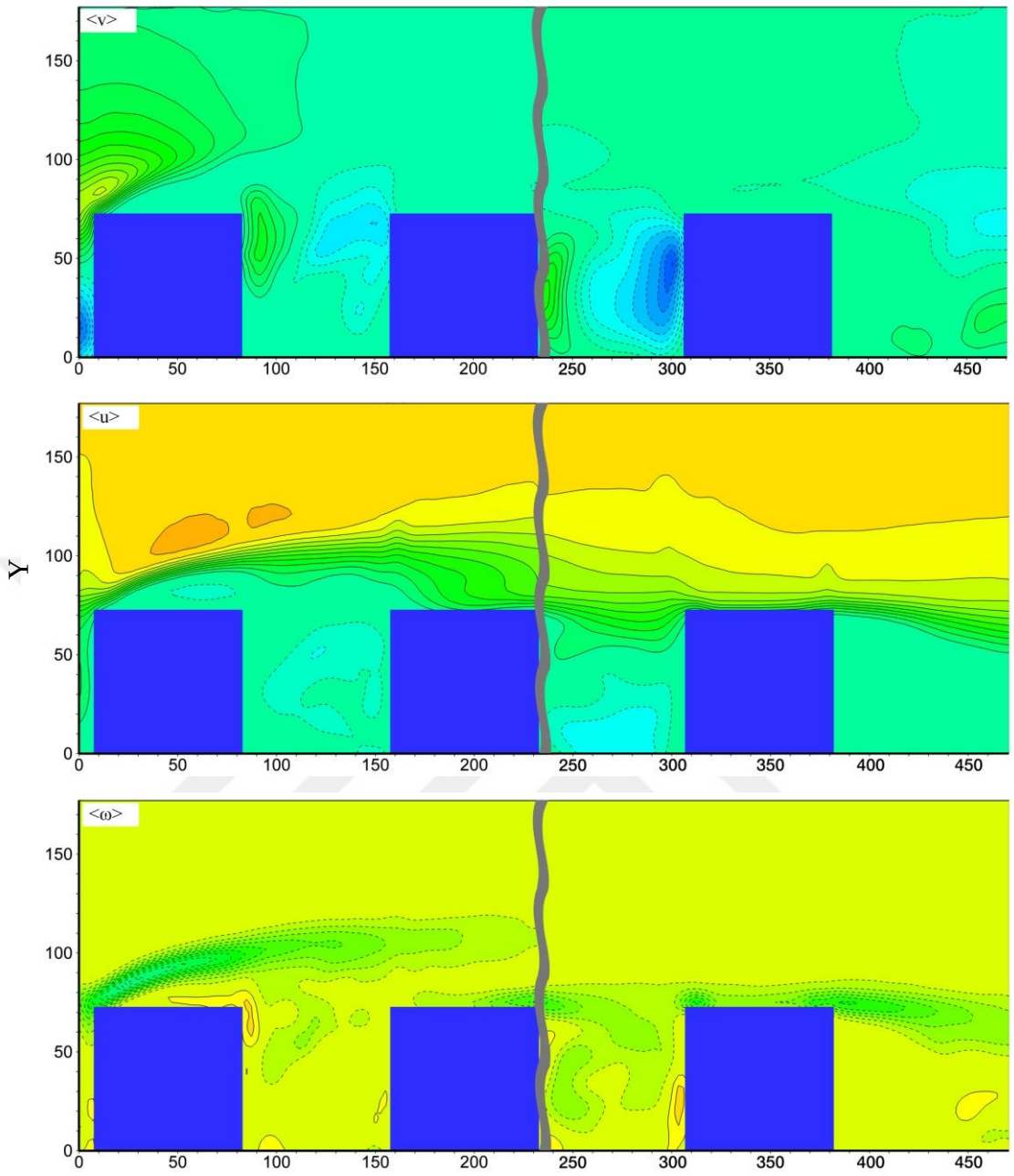
ortalama girdap <ω> konturları için minimum hız <ω> = -64, maksimum hız <ω>=23 ve artış $\Delta\omega$= 5 olarak verilmiştir.

Elde edilen dikey hız konturuna göre dikey hızın en yüksek olduğu bölge modelin sol üst köşesinden y ekseninde 0,14D uzaklıkta görülmüştür. Aynı bölgede negatif girdaplanma görülmekte ve model boyunca devam etmektedir. Negatif girdap konturları saat yönü pozitif girdap konturları ise saatin tersi yönü girdap değerlerini ifade etmektedir. Model üst yüzeyine yakın yerde ve model arka yüzeyi boyunca pozitif girdaplanma görülmekte model üst yüzeyindeki negatif girdapların pozitif girdaplara göre daha baskın olduğu gözlemlenmektedir. Akış yönü. "u" hızının konturlarında üç adet ölü akış gölgesi kare silindirin ön alt, orta üst kısmında ve arka kısmında görülmekte, küpün ortasında üst yüzeyinden 0,45D uzaklıkta ise akış yönündeki hızın maksimum olduğu bölge gözlemlenmektedir.

4.4.1. Üç Adet Küp Re=1680

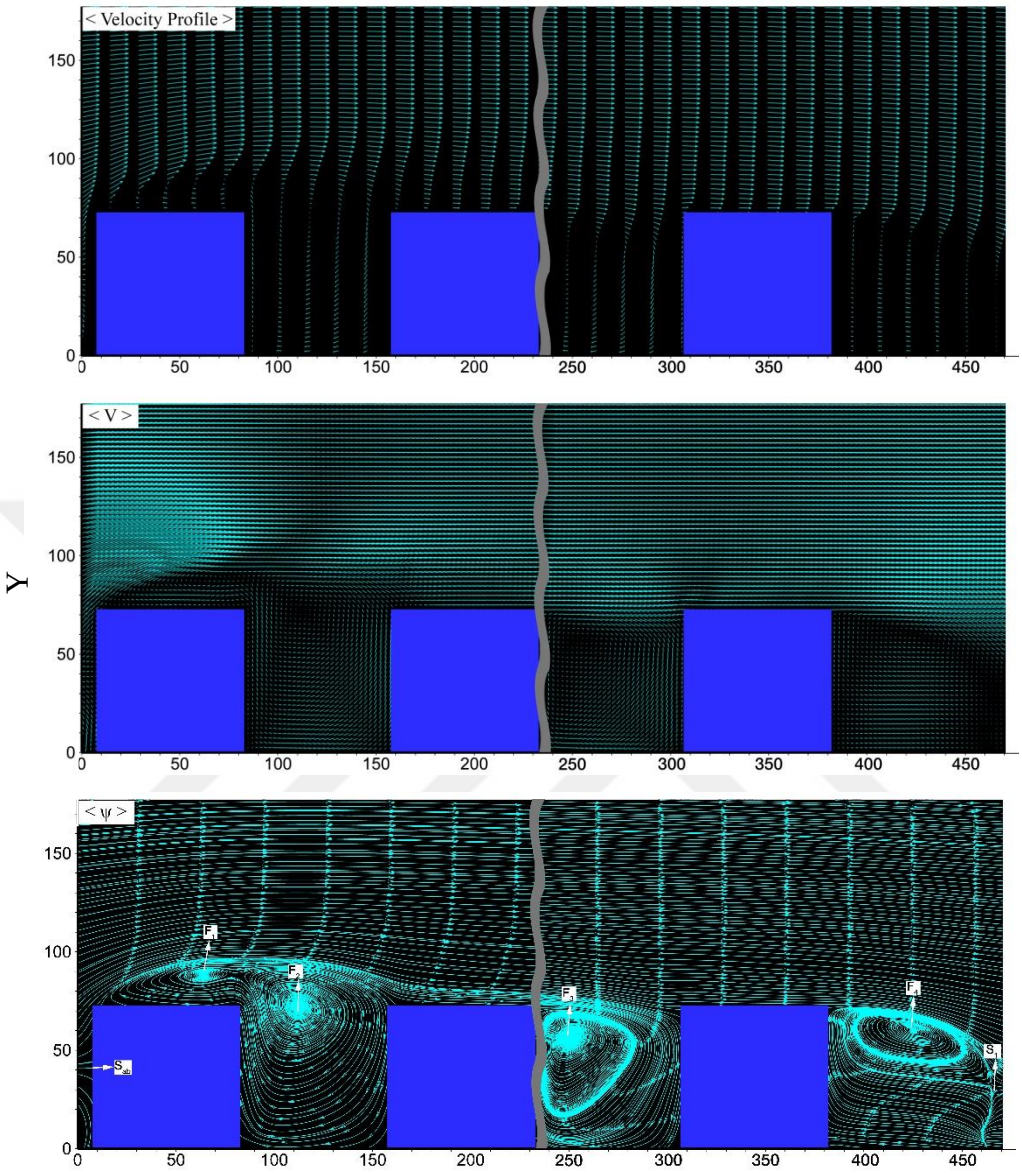


Şekil 4.4.1.1. Üç küp için yan görünüşte Re=1680 sayısında hız profilleri (velocity profile), vektörler (V) ve akış çizgileri (ψ).

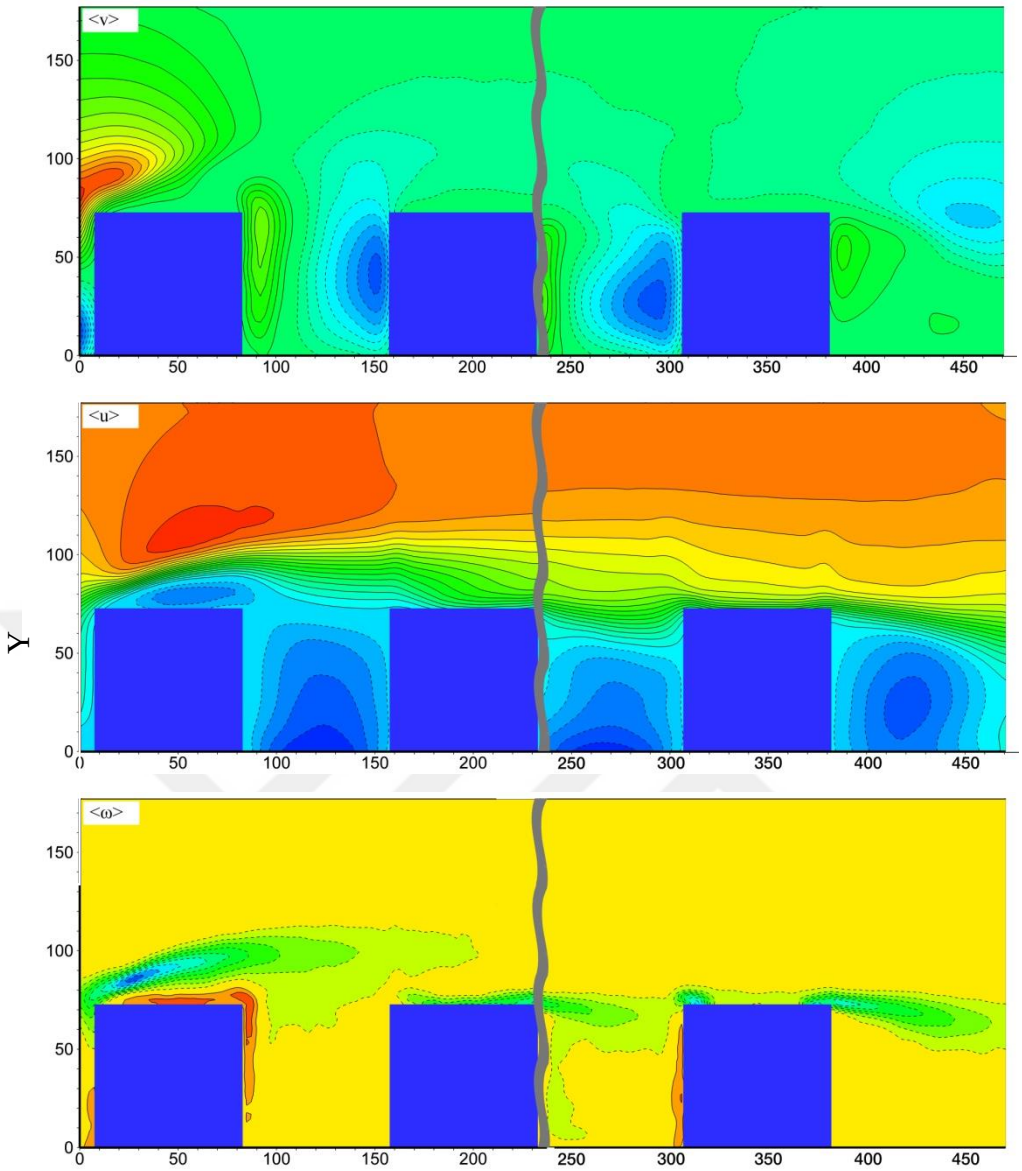


Şekil 4.4.1.2. Üç küp için yan görünüşte Re=1680 sayısında “v” hızı, “u” hızı ve girdaplanma (ω) konturları.

4.4.2. Üç Adet Küp Re=26000



Şekil 4.4.2.1. Üç küp için yan görünüşte Re=26000 sayısında hız profilleri (velocity profile), vektörler (V) ve akış çizgileri (ψ).



Şekil 4.4.2.2. Üç küp için yan görünüşte Re=26000 sayısında "v" hızı, "u" hızı ve girdaplanma (ω) konturları.

Küp modeller üzerinde düşey eksene ait zaman ortalama hız profilleri, hız vektörleri ve akım çizgileri Re=1680 için Şekil 4.4.1.1.'de, Re=26000 için ise Şekil 4.4.2.1'de verilmiştir. Hız profili incelendiğinde ayrılan akışın görüntülenen alanında küplerin sol üst köşelerinde ayrılmanın gerçekleştiği, birleşme gerçekleştirmediği görülmüştür. Akım çizgilerine bakıldığında ön ayrılma noktaları iki reynolds sayısında da sabit kalmakla beraber, düşük reynolds sayısında yapılan deneyde küçük boyuta sahip iki adet fazla F noktası görülmektedir. Re=1680 iken birinci küple ikinci küpün arasında ve üçüncü küpün arka akış bölgesinde oluşan bu Foci noktalarının Re=26000'de kaybolduğu tespit edilmiştir. İlk küpün ön yüzeyinden yukarı doğru şartlanan akış

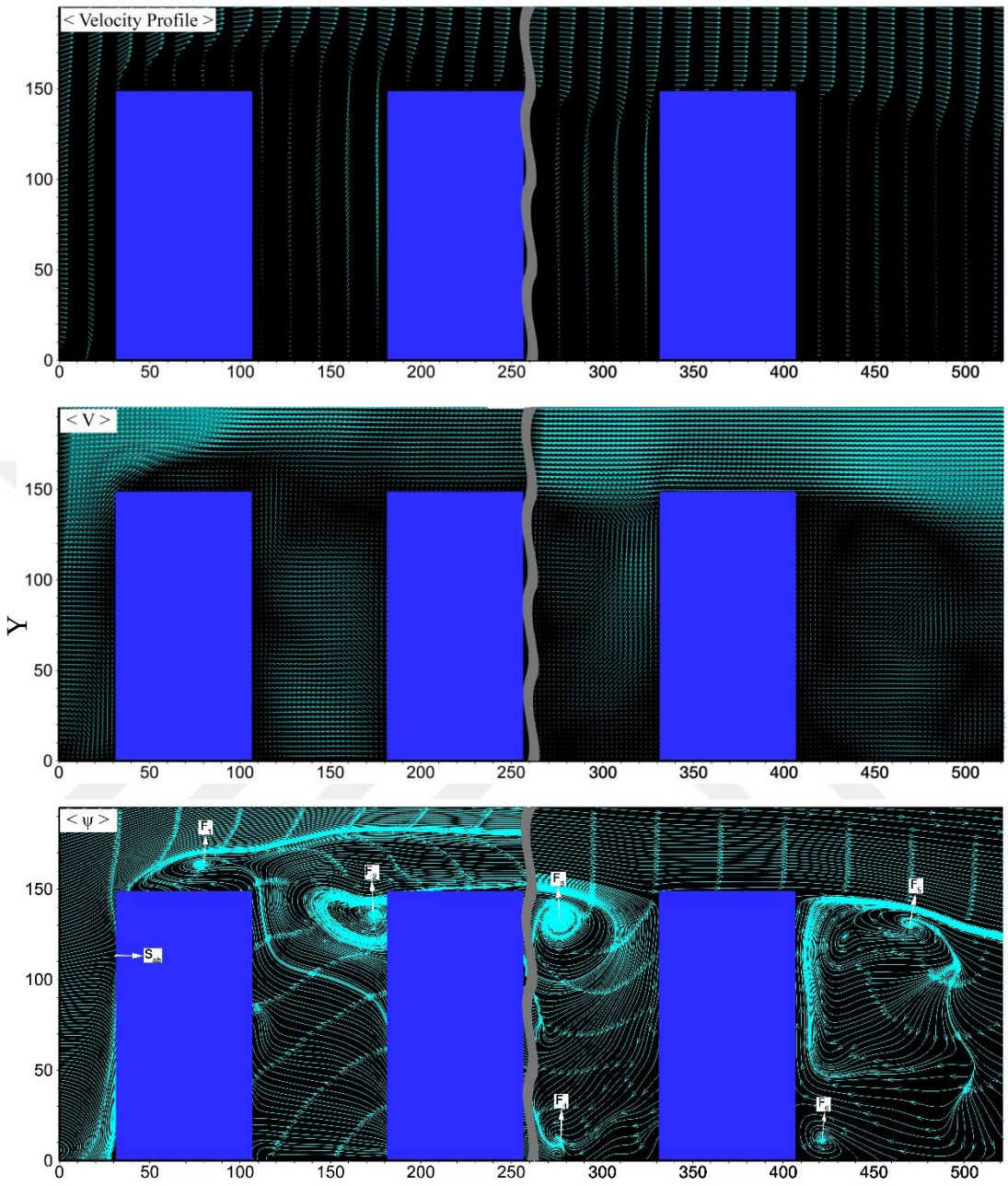
rejimi büyük ölçüde küplerin üstünde devam etmiştir. İlk küpün art izi bölgesinde ölü akışın meydana geldiği iki adet Foci noktası görülmüştür. Bu noktalardan büyük olan F_2 noktasının konumu iki reynolds sayısında da sabit kalmıştır (İlk küpün x ekseninde 0,37D uzaklıkta). F_1 noktası Re=1680 iken küpün üst yüzeyine 0,25D uzaklıkta, Re=26000 iken 0,21D uzaklıkta görülmüştür. F_1 ve F_2 noktaları arasındaki S_1 ayrılma noktası iki reynolds sayısında sabit kalarak 0,22D olarak ölçülmüştür. İkinci küpün arka bölgesi ile üçüncü küpün arasındaki F_3 noktası x ekseninde konumunu değiştirmemiş fakat artan akış hızı sonucunda y ekseninde zemine 0,58D konumundan 0,78D konumuna yükselmiştir. Üçüncü küpün art izinde ise yine iki farklı reynolds sayılarında pozisyonu değişmeyen bir F_4 noktası tespit edilmiştir. Bu noktanın 3.küpün arka bölgesine olan mesafesi x ekseninde 0,59D'dir. İki deney arasında akış çizgilerine göre değerlendirme yapılacak olursa Re=26000 durumunda akış çizgilerinin daha düzenli olduğu görülmüştür.

Şekil 4.4.1.2.'de Re=1680 için sırası ile küp modele ait zaman ortalama akışa dik hız <v>, akış yönü hız <u> ve <ω> konturları verilmiştir. Noktasal çizgiler negatif hız ve girdap konturlarını sürekli çizgiler ise pozitif hız ve girdap konturlarını göstermektedir. Zaman ortalama akışa dik hız <v> konturları için minimum hız <v> = -7mm/s, maksimum hız <v>=12mm/s ve artış Δv=1mm/s olarak verilmiştir. Zaman ortalama akış yönü hız <u> konturları için minimum hız <u> = -5mm/s, maksimum hız <u>=23mm/s ve artış Δv= 2mm/s olarak verilmiştir. Zaman ortalama girdap <ω> konturları için minimum hız <ω> = -3,5, maksimum hız <ω>=0,82 ve artış $\Delta\omega$= 0,25 olarak verilmiştir.

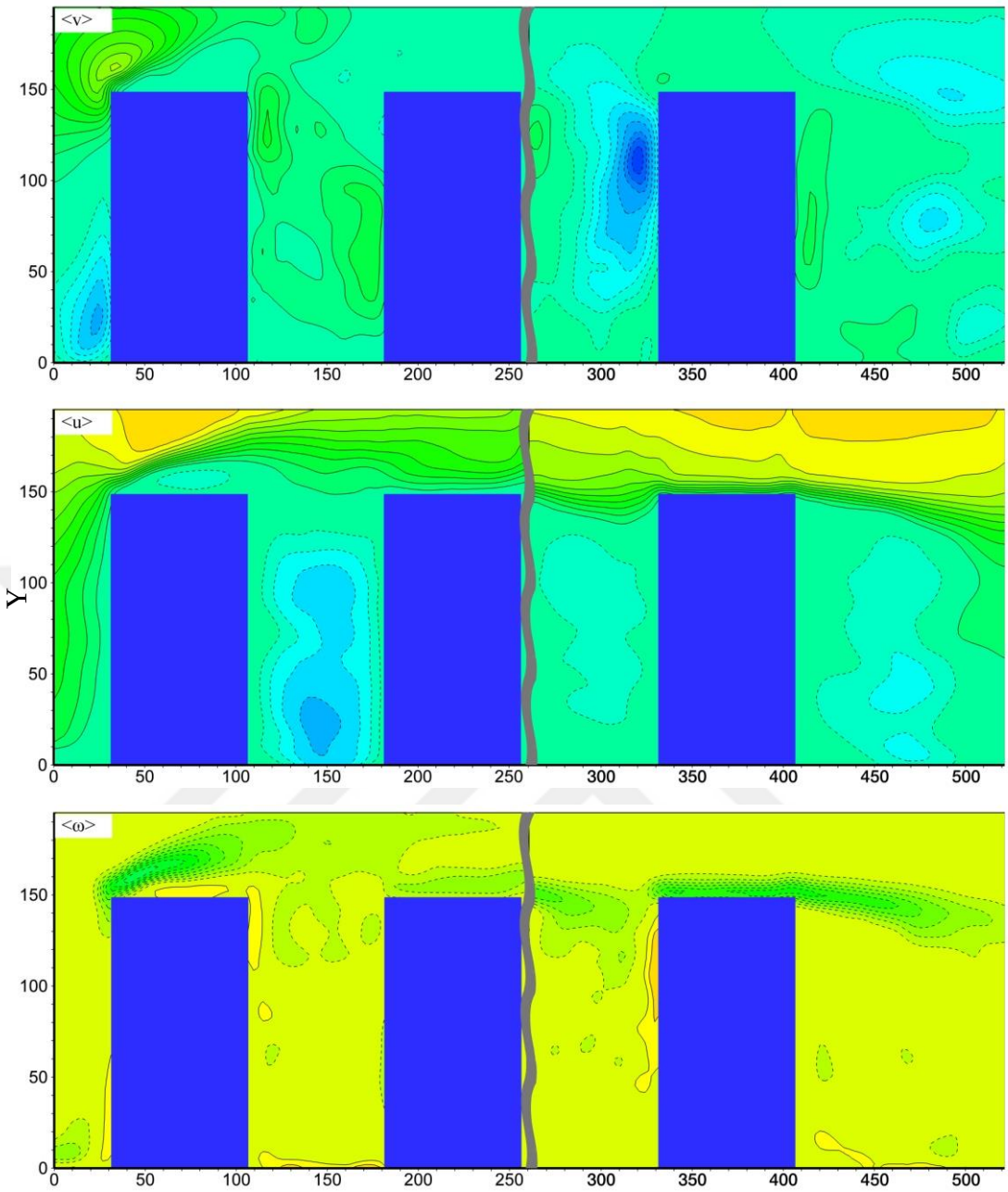
Şekil 4.4.2.2.'de Re=26000 için sırası ile küp modele ait zaman ortalama akışa dik hız <v>, akış yönü hız <u> ve <ω> konturları verilmiştir. Noktasal çizgiler negatif hız ve girdap konturlarını sürekli çizgiler ise pozitif hız ve girdap konturlarını göstermektedir. Zaman ortalama akışa dik hız <v> konturları için minimum hız <v> =-132mm/s, maksimum hız <v>=85mm/s ve artış Δv=10mm/s olarak verilmiştir. Zaman ortalama akış yönü hız <u> konturları için minimum hız <u> = -135mm/s, maksimum hız <u>=355mm/s ve artış Δv= 20mm/s olarak verilmiştir. Zaman ortalama girdap <ω> konturları için minimum hız <v> = -60, maksimum hız <ω>=27 ve artış $\Delta\omega$= 5 olarak verilmiştir.

Elde edilen dikey hız konturuna bakıldığında dikey hızın en yüksek olduğu bölgenin iki reynolds hızında da modelin sol üst köşesinden y ekseninde 0,17D-0,16D aralığında uzaklıkta olduğu görülmüştür. Aynı bölgede negatif girdaplanmanın en yoğun olduğu bölge görülmekte ve ikinci modelin sonuna kadar devam etmektedir. İkinci modelin sağ üst köşesi ve üçüncü modelin üst köşeleri negatif girdap trendini devam ettirmektedir. Negatif girdap konturları saat yönü pozitif girdap konturları ise saatin tersi yönü girdap değerlerini ifade etmektedir. İlk modelin sağ üst köşe yüzeyinde, üçüncü modelin sol alt yüzeyinde pozitif girdaplanma gözlemlenmektedir. Reynolds sayısının 26000 olduğu hızlarda ilk modelin üzerindeki pozitif girdaplanma toplam alanının düşük Reynolds sayısına kıyasla daha fazla oldğu görülmüştür.

4.5.1. Üç Adet Dikey Kare Silindir (D x D x 2D) Re=1680

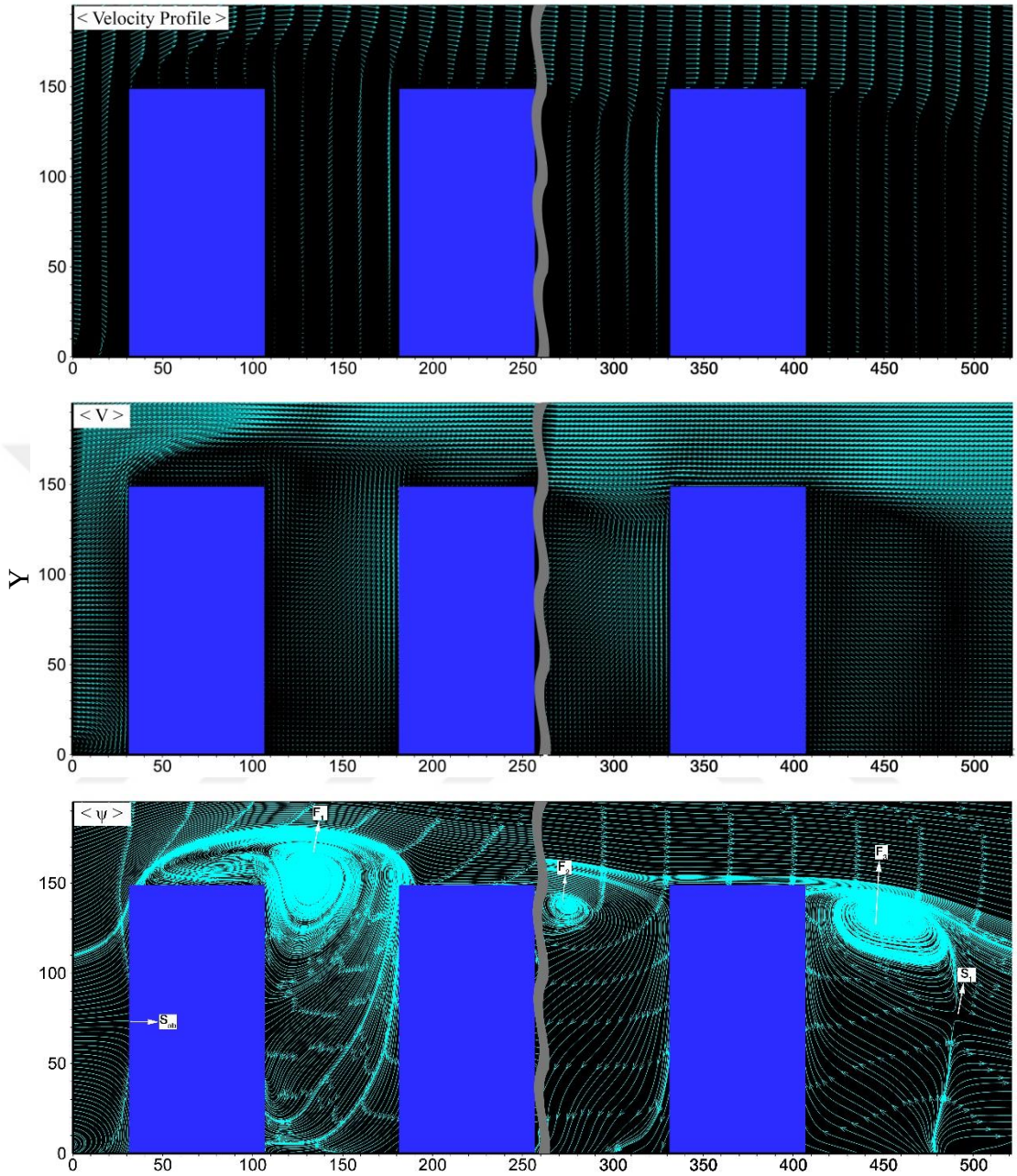


Şekil 4.5.1.1. Üç dikey kare silindir için yan görünüşte Re=1680 sayısında hız profilleri (velocity profile), vektörler (V) ve akış çizgileri (ψ).

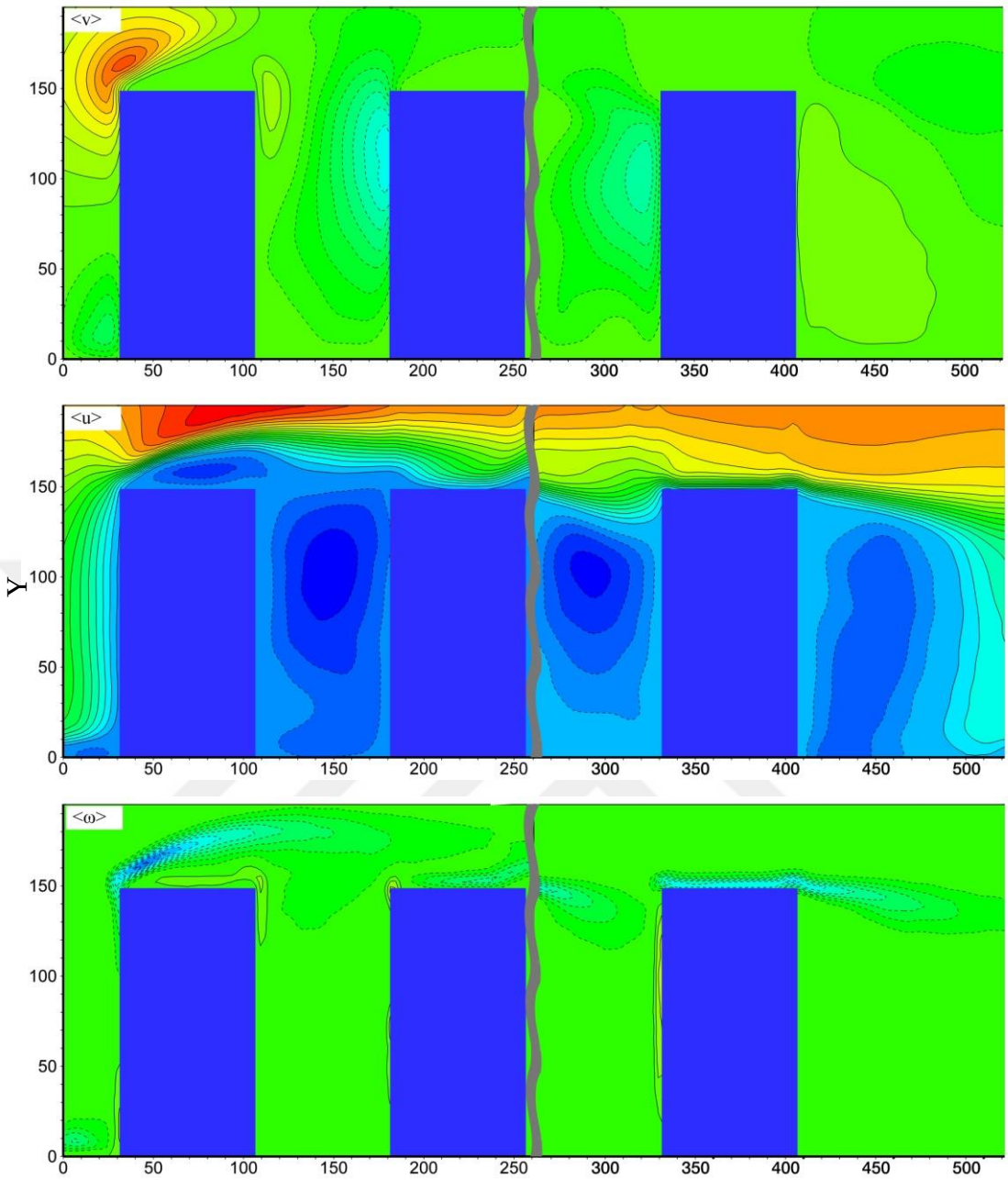


Şekil 4.5.1.2. Üç dikey kare silindir için yan görünüşte Re=1680 sayısında “v” hızı, “u” hızı ve girdaplanma (ω) konturları.

4.5.2. Üç Adet Dikey Kare Silindir (D x D x 2D) Re=26000



Şekil 4.5.2.1. Üç dikey kare silindir için yan görünüşte Re=26000 sayısında hız profilleri (velocity profile), vektörler (V) ve akış çizgileri (ψ).



Şekil 4.5.2.2. Üç dikey kare silindir için yan görünüşte Re=26000 sayısında "v" hızı, "u" hızı ve girdaplanma (ω) konturları.

Kare silindirlerin incelendiği Şekil 4.5.1.1.'de Re=1680, Şekil 4.5.2.1.'de ise Re=26000 sayıları için düşey eksene ait zaman ortalama hız profilleri, hız vektörleri ve akım çizgileri verilmiştir. Hız profillerine göre ilk kare silindire gelip ayrılan akışın, görüntüleme alanının sonundaki profil çizgilerinde birleştiği görülmüştür. Akış çizgilerinin Reynolds sayılarına göre değişimi dikkate alındığında kübik geometriye benzer şekilde alt bölgelerde oluşan küçük boyutlu Foci noktaları Reynolds sayısı arttığında kaybolmaktadır. İlk kare silindirin ön bölgesinde akış ikiye ayrılmaktadır.

Akışın ayrıldığı bu bölge Re=26000'de y ekseninde 0,97D konumunda iken Re=1680'de 1,47D konumunda görülmüştür. İlk kare silindirin üzerindeki Re=1680 şartında akışın izinde gerçekleşen biri silindirin üst noktasına y=0,2D uzaklıkta, diğeri ise x=0,89D mesafede iki adet foci noktası, Re=26000 şartında yerini yekpare büyük ve tek bir F noktasına bırakmıştır. Bu F_1 foci noktasının ilk kare silindire x ekseninden uzaklığı 0,32D'dir. Akışın hızlanması F_2 ve F_3 konumlarını değiştirmemiş ancak hız yükselince üçüncü silindirin ardındaki ölü bölgede S_1 ayrılma noktası çok net bir şekilde gözlemlenmiştir. Bu ölü akış bölgesi üçüncü silindire x ekseninde 1,13D uzaklıktadır.

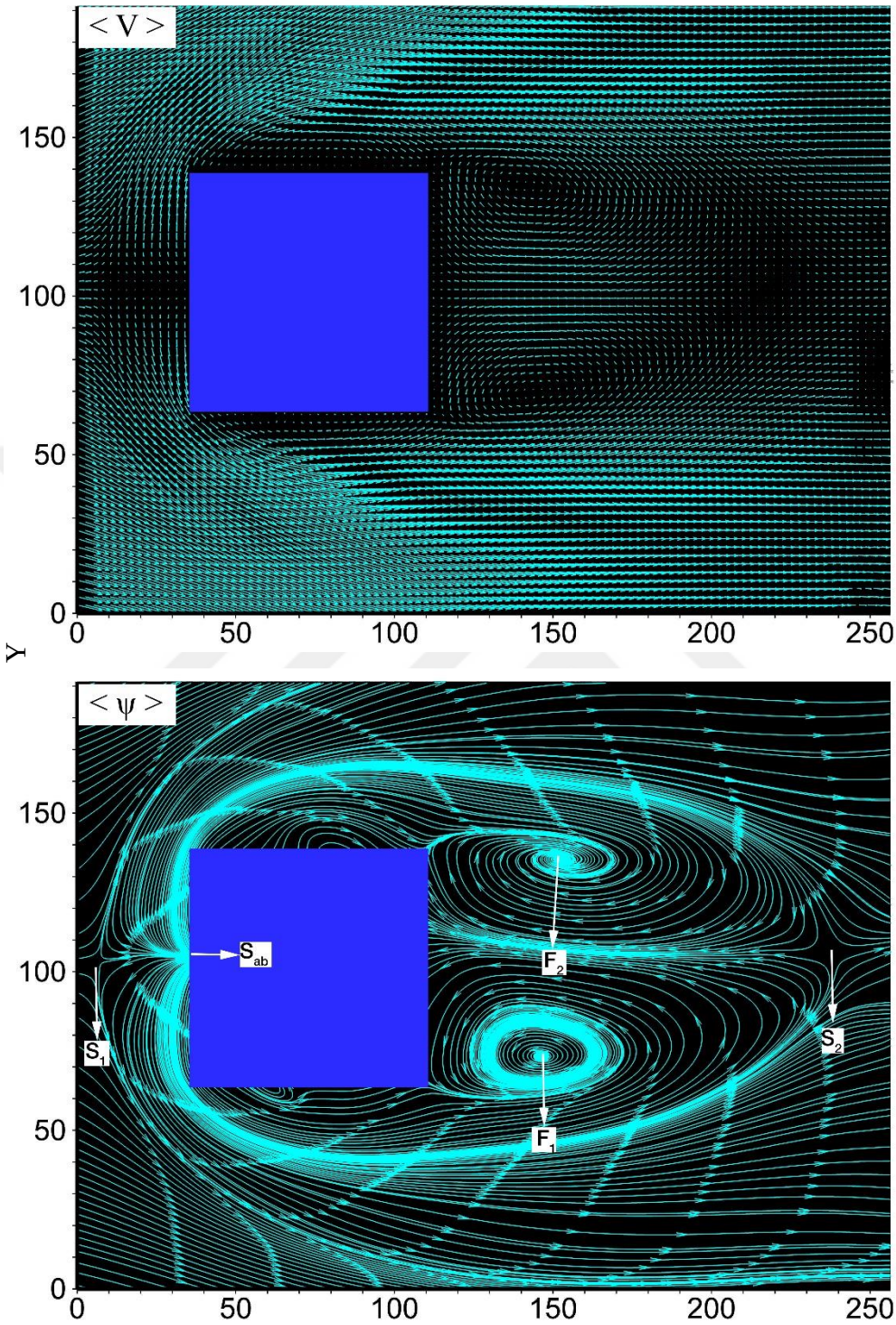
Şekil 4.5.1.2.'de Re=1680 için sırası ile küp modele ait zaman ortalama akışa dik hız <v>, akış yönü hız <u> ve <ω> konturları verilmiştir. Noktasal çizgiler negatif hız ve girdap konturlarını sürekli çizgiler ise pozitif hız ve girdap konturlarını göstermektedir. Zaman ortalama akışa dik hız <v> konturları için minimum hız <v> =-6mm/s , maksimum hız <v>=12mm/s ve artış Δv= 1mm/s olarak verilmiştir. Zaman ortalama akış yönü hız <u> konturları için minimum hız <u> =-9mm/s , maksimum hız <u>=22mm/s ve artış Δv=2mm/s olarak verilmiştir. Zaman ortalama girdap <ω> konturları için minimum hız <ω> =-3, maksimum hız <ω>=0,8 ve artış $\Delta\omega$=0,25 olarak verilmiştir.

Şekil 4.5.2.2.'de Re=26000 için sırası ile küp modele ait zaman ortalama akışa dik hız <v>, akış yönü hız <u> ve <ω> konturları verilmiştir. Noktasal çizgiler negatif hız ve girdap konturlarını sürekli çizgiler ise pozitif hız ve girdap konturlarını göstermektedir. Zaman ortalama akışa dik hız <v> konturları için minimum hız <v> =-179mm/s, maksimum hız <v>=208mm/s ve artış Δv= 20mm/s olarak verilmiştir. Zaman ortalama akış yönü hız <u> konturları için minimum hız <u> =-73mm/s, maksimum hız <u>=373mm/s ve artış Δu=20mm/s olarak verilmiştir. Zaman ortalama girdap <ω> konturları için minimum hız <ω> =-54, maksimum hız <ω>=26 ve artış $\Delta\omega$=2 olarak verilmiştir.

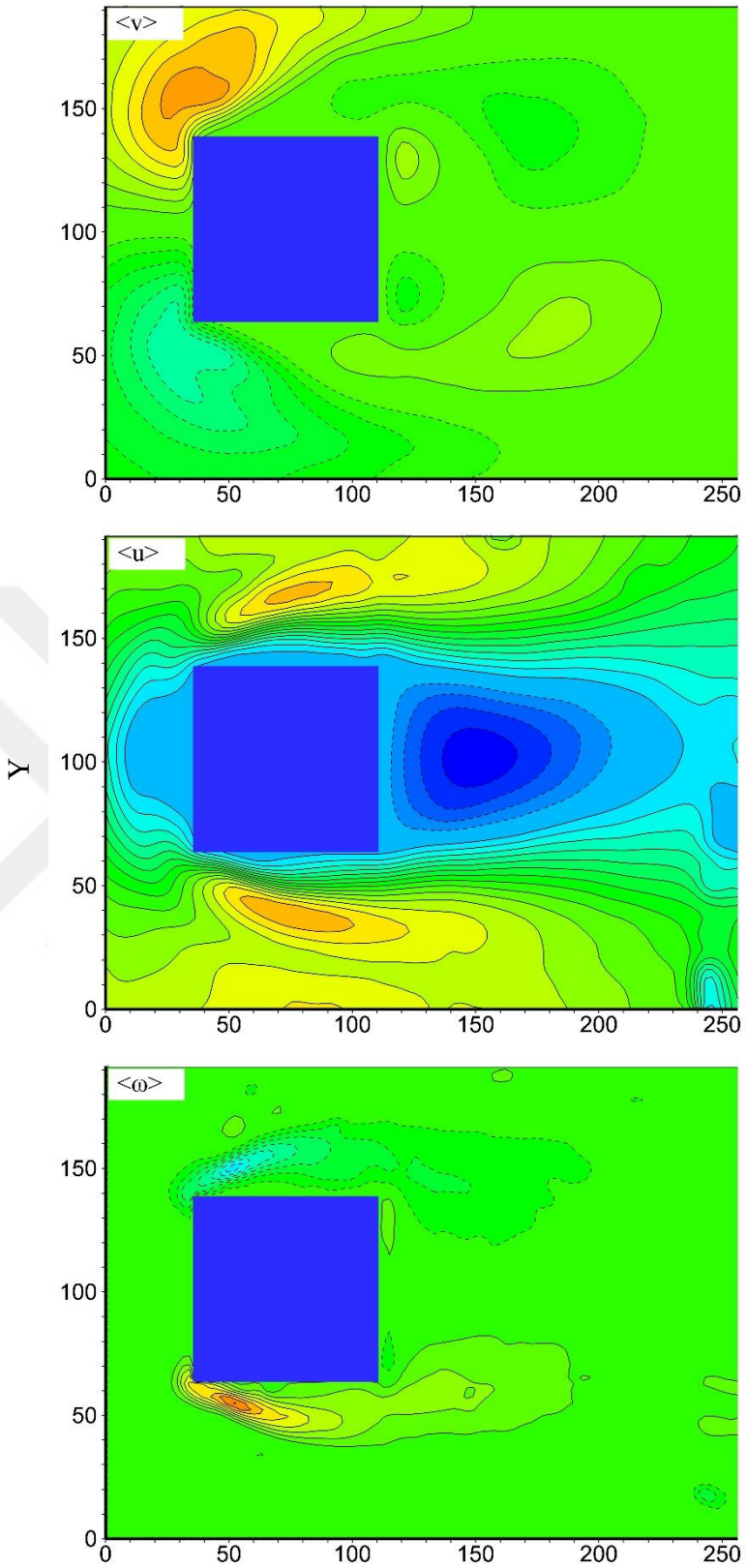
Akışa dik eksende bulunan konturlar gözden geçirildiğinde iki Reynolds değerinde de "v" hızının en yüksek olduğu bölgenin ilk kare silindirin sağ üst köşesinden y

ekseninde 0,12D uzaklıkta olan bölge olduğu görülmüştür. Re=1680 şartlarında sadece birinci küp ile ikinci küp arasında pozitif dikey hız bileşenine rastlanırken Re=26000 durumu bu hız bileşenini tersine çevirmiştir. “u” hızının bileşenlerine bakıldığında beş adet ölü akış bölgesi görülmüştür. Bu bölgelerden bir tanesi ilk kare silindirin ön yüzünde aşağıda, birisi küpün üst bölgesinde, diğer üçü de küplerin art izi bölgelerinde gözlemlenmiştir. “u” hızı, tıpkı küp görsellerinde olduğu gibi ilk kare silindirin üst kenarından y=0,13D uzağında en düşük değerini alırken y=0,58D mesafede akışın en hızlı olduğu bölüm görülmektedir. Bu “u” hız değeri akış yönü doğrultusunda giderek yayılmakta ve düzenlenmektedir. Re=1680 ile Re=26000 değerleri arasındaki girdaplılık görüntüleri kıyaslandığında kayda değer bir farklılık görünmemektedir.

4.6.1. Tek küpün 0,13D Mesafedeki Kesitinden Üst Görüntüsü (Re=26000)



Şekil 4.6.1. Tek küpün 0,13D kesitinden üstten alınan görünüşte Re=26000 sayısında vektörler (V) ve akış çizgileri (ψ).

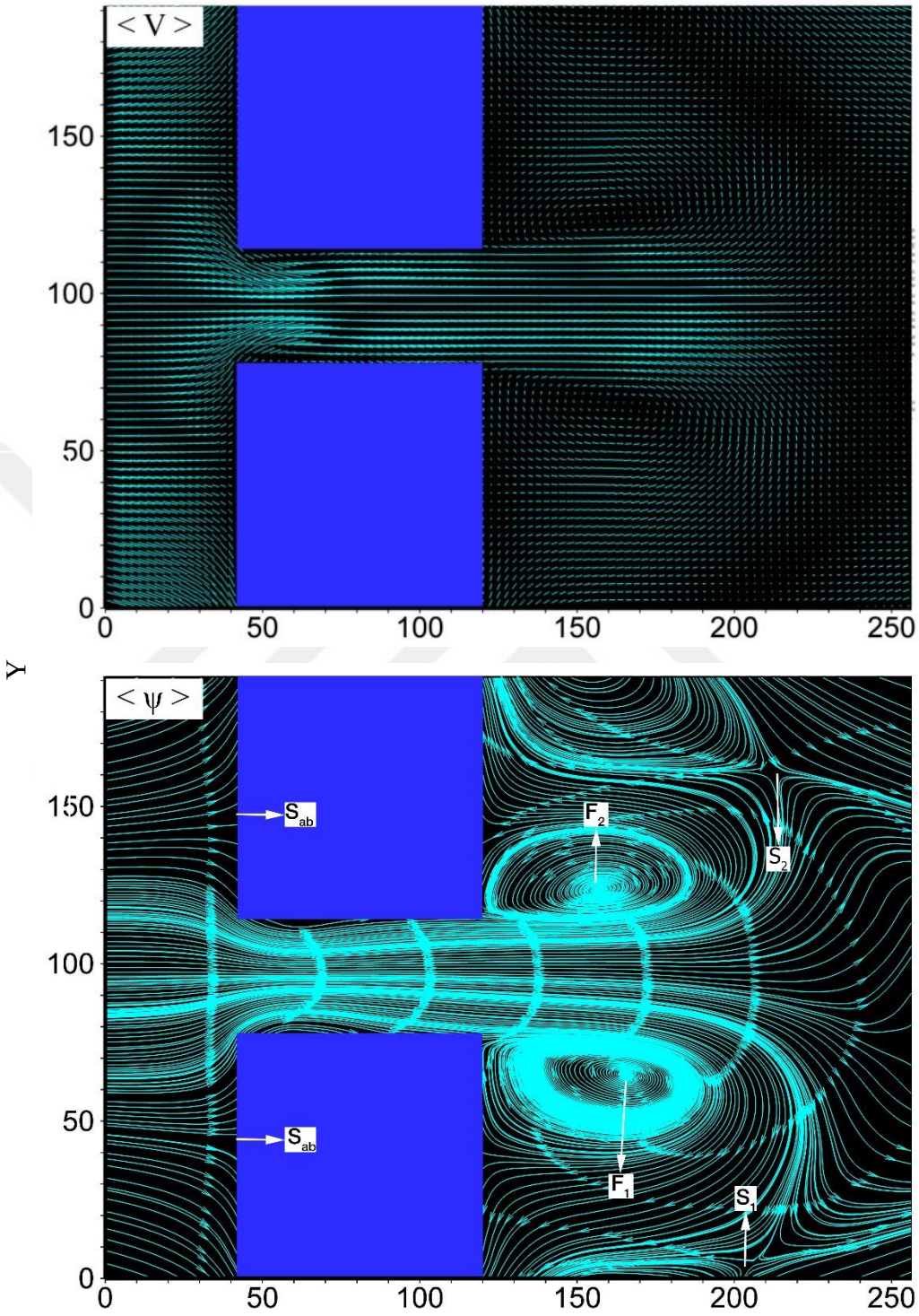


Şekil 4.6.2. Tek küpün 0,13D kesitinden üstten alınan görünüşte Re=26000 sayısında vektörler (V) ve akış çizgileri (ψ).

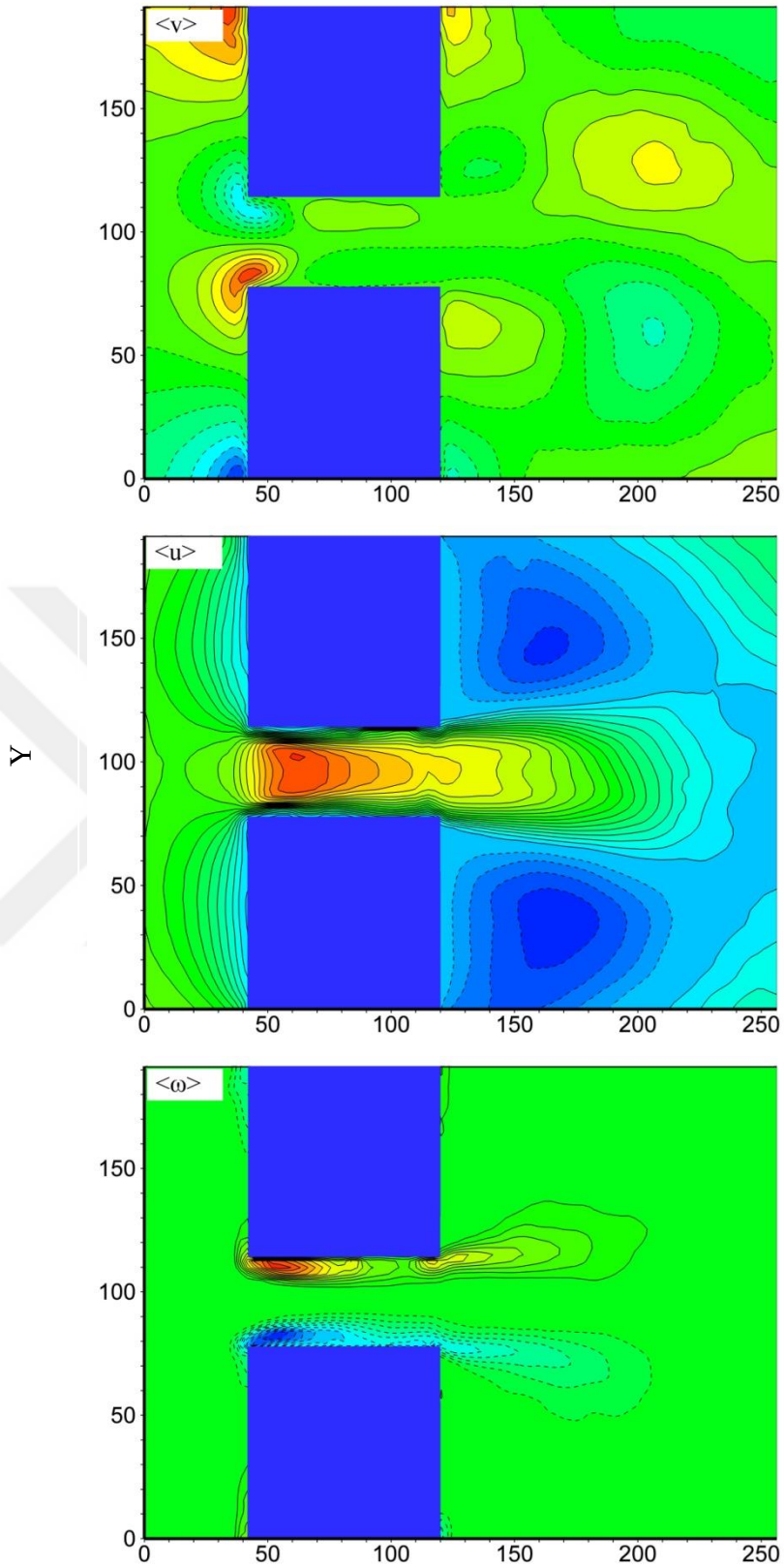
Şekil 4.6.1.'de tek küpün 0,13D mesafeden kesitine lazer ve kamera odaklanmış ve akış incelenmiştir. Akış çizgileri ve vektörler incelendiğinde akış küpün ön yüzeyinde tam orta konumda S_{ab} ve 0,3D mesafede bulunan S_1 olmak üzere iki adet ayrılma noktası ile sağa ve sola şartlanmış, küpün etrafını dolaştıktan sonra arka yüzeyden iki adet 0,35D mesafede F_1 ve F_2 foci noktası oluşturup S_2 noktasında birleşerek devam etmiştir. Bu yüzeyde oluşan akım çizgilerinin şekli At Nalı Girdabı (Horseshoe Vortex) olgusu ile benzerlik göstermektedir.

Şekil 4.6.2.'de Re=26000 için sırası ile küp modele ait zaman ortalama akışa dik hız <v>, akış yönü hız <u> ve <ω> konturları verilmiştir. Noktasal çizgiler negatif hız ve girdap konturlarını sürekli çizgiler ise pozitif hız ve girdap konturlarını göstermektedir. Zaman ortalama akışa dik hız <v> konturları için minimum hız <v> =-100mm/s, maksimum hız <v>=140mm/s ve artış Δv= 20mm/s olarak verilmiştir. Zaman ortalama akış yönü hız <u> konturları için minimum hız <u> =-80mm/s, maksimum hız <u>=340mm/s ve artış Δu=20mm/s olarak verilmiştir. Zaman ortalama girdap <ω> konturları için minimum hız <ω> =-60, maksimum hız <ω>=60 ve artış $\Delta\omega$=5 olarak verilmiştir. Negatif girdap konturları saat yönü pozitif girdap konturları ise saatin tersi yönü girdap değerlerini ifade etmektedir. <v> ortalama hız konturuna bakıldığında küpün arka bölgesinde yaklaşık bir küp boyunda ölü akış bölgesi net bir şekilde saptanmıştır. Vortisite ve akışa dik eksendeki hız gradyanlarının ekstremum noktaları birbiri ile konumsal benzerlik göstermektedir. İkisi de küpün akışı karşılayan alt ve üst köşelerinde bulunmaktadır.

4.7.1. Arasında 0,5D Mesafe Bulunan İki Küpün Üst Görüntüsü (Re=26000)



Şekil 4.7.1.1. 0,5D mesafeli iki küpün üstten alınan görünüşte Re=26000 sayısında vektörler (V) ve akış çizgileri (ψ).



Şekil 4.7.1.2. 0,5D mesafeli iki küpün üstten alınan görünüşte Re=26000 sayısında "v" hızı, "u" hızı ve girdaplanma (ω) konturları.

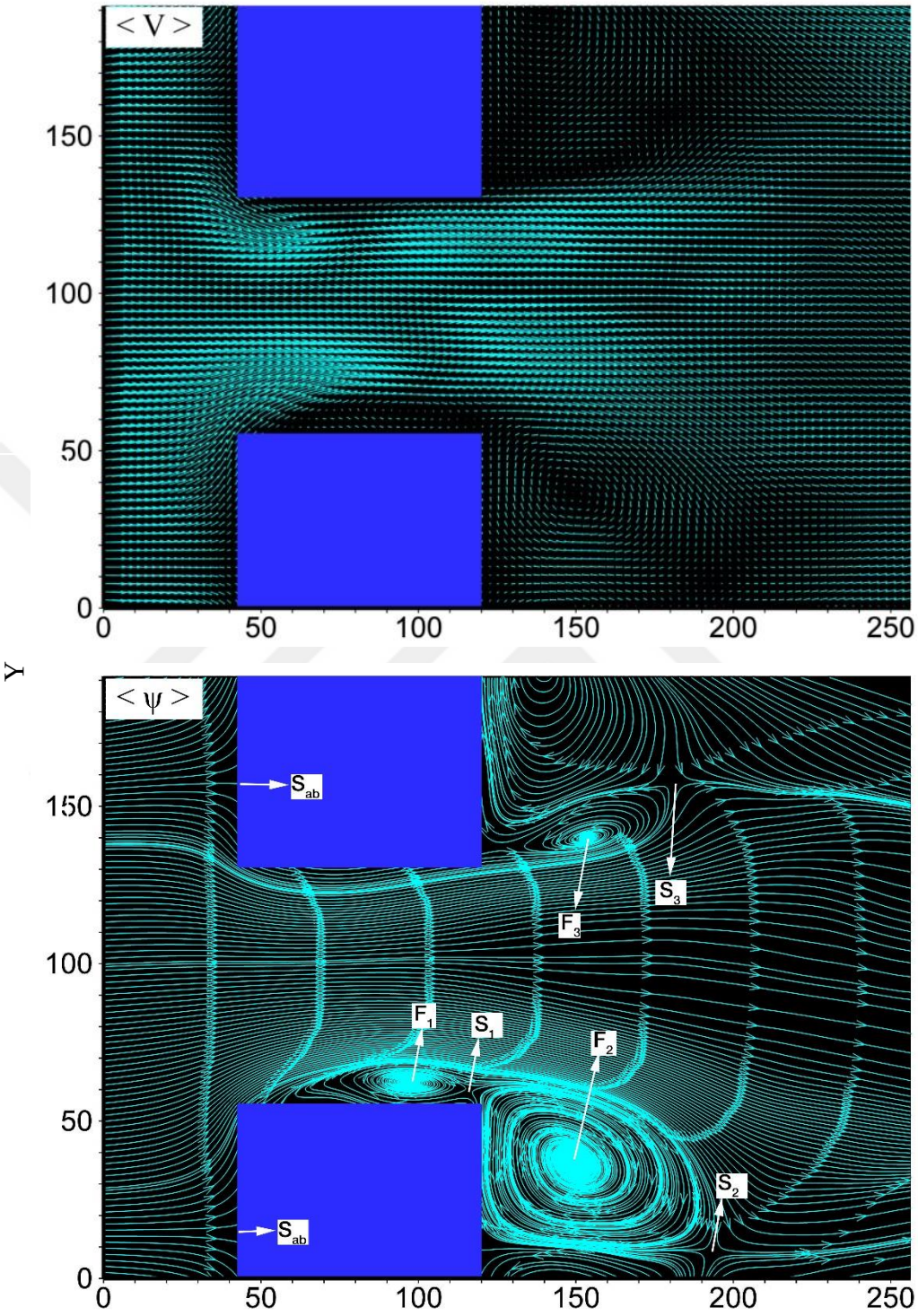
Bu deneyde aralarında 0,5D mesafe bırakılmış iki adet küp, kamera üstten bakacak şekilde incelenmiştir. Vektörler ve akış çizgileri gözlemlendiğinde akışın ayrıldığı S_{ab} bölgesinin iki reynolds sayısında da simetrik form oluşturduğu ve konumunun değişmediği gözlemlenmiştir. Akışın bir bölümü küplerin arasındaki kanaldan bir bölümü ise kanalın dışında diğer yanlardan akmaya eğilimlidir. Re=1680 şartında her küpün ardındaki akış bölgesinde ikişer adet foci F_1,F_2,F_3,F_4 oluşmuştur. Bu odak noktalarından F_1,F_2,F_4 aynı hizada (yaklaşık olarak x ekseninde küpün arkasına 0,35D uzaklıkta) olmakla beraber F_4 noktası 0,62D uzaklıktadır. Re=1680 şartında iki küpün de arkasındaki akış bölgesinde S_1 ve S_2 düğüm noktaları oluşmuştur. Düğüm noktalarının ardından akış birleşmeye başlayıp akış boyunca devam etmiştir. Re=26000 olduğu durumda akış çizgileri Re=1680'e kıyasla daha düzgün ve simetriğe daha yakın bir hal almıştır. Aynı zamanda her küpün arkasında iki olan Foci sayısı Re=26000 şartında bire inmiştir.

Şekil 4.7.1.2.'de Re=1680 için sırası ile küp modele ait zaman ortalama akışa dik hız <v>, akış yönü hız <u> ve <ω> konturları verilmiştir. Noktasal çizgiler negatif hız ve girdap konturlarını sürekli çizgiler ise pozitif hız ve girdap konturlarını göstermektedir. Zaman ortalama akışa dik hız <v> konturları için minimum hız <v> =-9mm/s , maksimum hız <v>=12mm/s ve artış Δv= 1mm/s olarak verilmiştir. Zaman ortalama akış yönü hız <u> konturları için minimum hız <u> =-7mm/s , maksimum hız <u>=25mm/s ve artış Δu=2mm/s olarak verilmiştir. Zaman ortalama girdap <ω> konturları için minimum hız <ω> =-4 , maksimum hız <ω>=4 ve artış $\Delta\omega$=0,25 olarak verilmiştir.

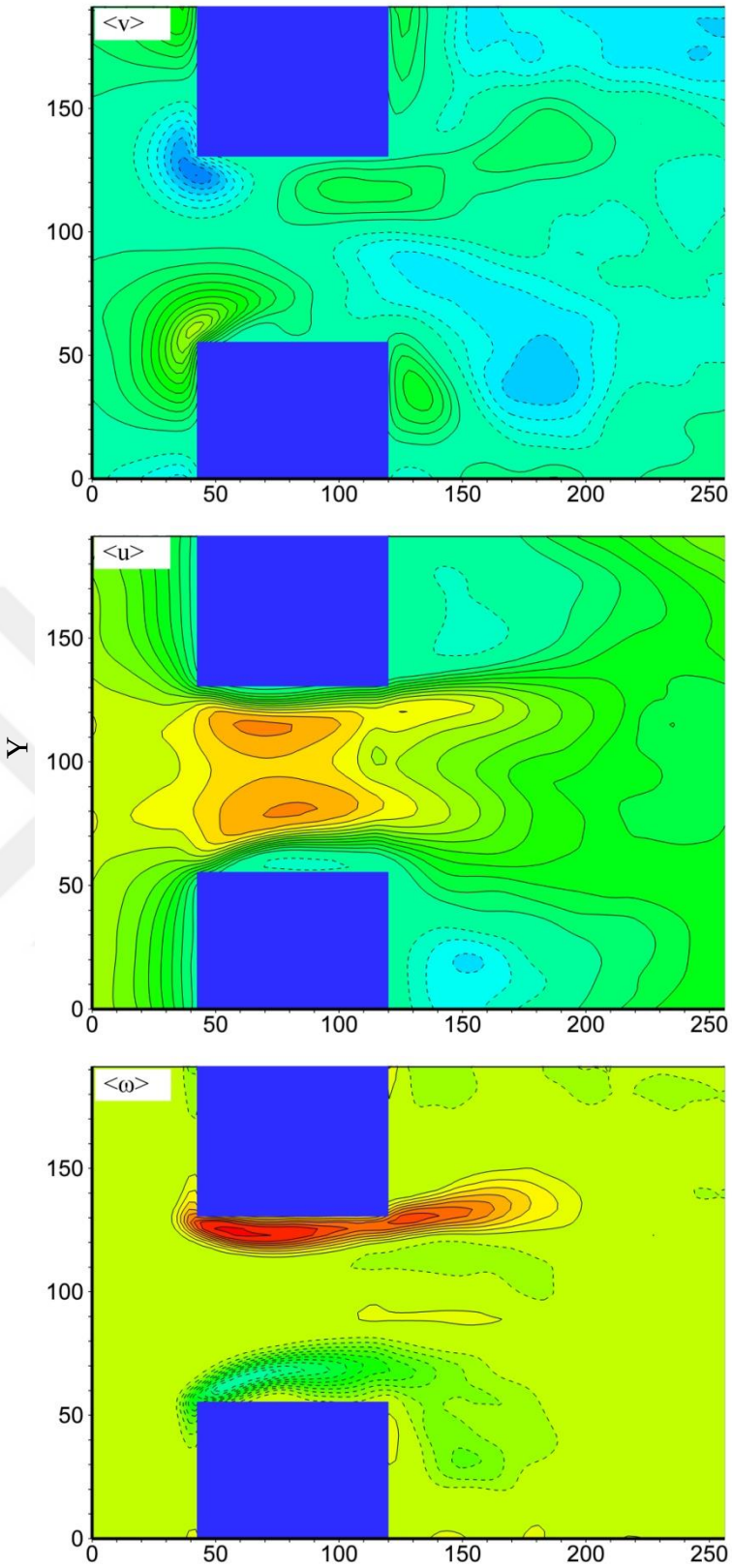
Şekil 4.7.2.2.'de Re=26000 için sırası ile küp modele ait zaman ortalama akışa dik hız <v>, akış yönü hız <u> ve <ω> konturları verilmiştir. Noktasal çizgiler negatif hız ve girdap konturlarını sürekli çizgiler ise pozitif hız ve girdap konturlarını göstermektedir. Zaman ortalama akışa dik hız <v> konturları için minimum hız <v> =-163mm/s , maksimum hız <v>=158mm/s ve artış Δv= 20mm/s olarak verilmiştir. Zaman ortalama akış yönü hız <u> konturları için minimum hız <u> =-78mm/s, maksimum hız <u>=360mm/s ve artış Δu=20mm/s olarak verilmiştir. Zaman ortalama girdap <ω> konturları için minimum hız <ω> =-60, maksimum hız <ω>=60 ve artış $\Delta\omega$=5 olarak verilmiştir. Negatif girdap konturları saat yönü pozitif girdap

konturları ise saatin tersi yönü girdap değerlerini ifade etmektedir. Girdap konturuna bakıldığında Re=1680 için her küpün üzerinde birbirine zıt 2 adet, toplam 4 adet girdap bölgesi görülürken, Re=26000 olduğunda bu durum yerini pozitif ve negatif toplam iki adet girdap bölgesinin varlığına bırakmıştır. Akış yönü ortalama hızlara <u> bakıldığında iki küpün arasında oluşan kanal bölgesinin iki reynolds hızında da akış hızını arttırma eğiliminde etkilediği görülmüştür. Re=26000 durumunda <u> bölgesinde akış daha düzgün ve daha simetrik bir görünüm çizmektedir. Akışa dik olan eksendeki hız, kanallık etkisinin göründüğü üstteki küpün sol alt köşesi ve alttaki küpün sol üst köşesinde maksimum değerini her iki reynolds sayısında da göstermekle beraber, kontur olarak iki değerde de aynı bölgelerde aynı yüzdesel değişimleri sergilemiştir.

4.8.1. Arasında D mesafe bulunan iki küpün üst görüntüsü (Re=1680)

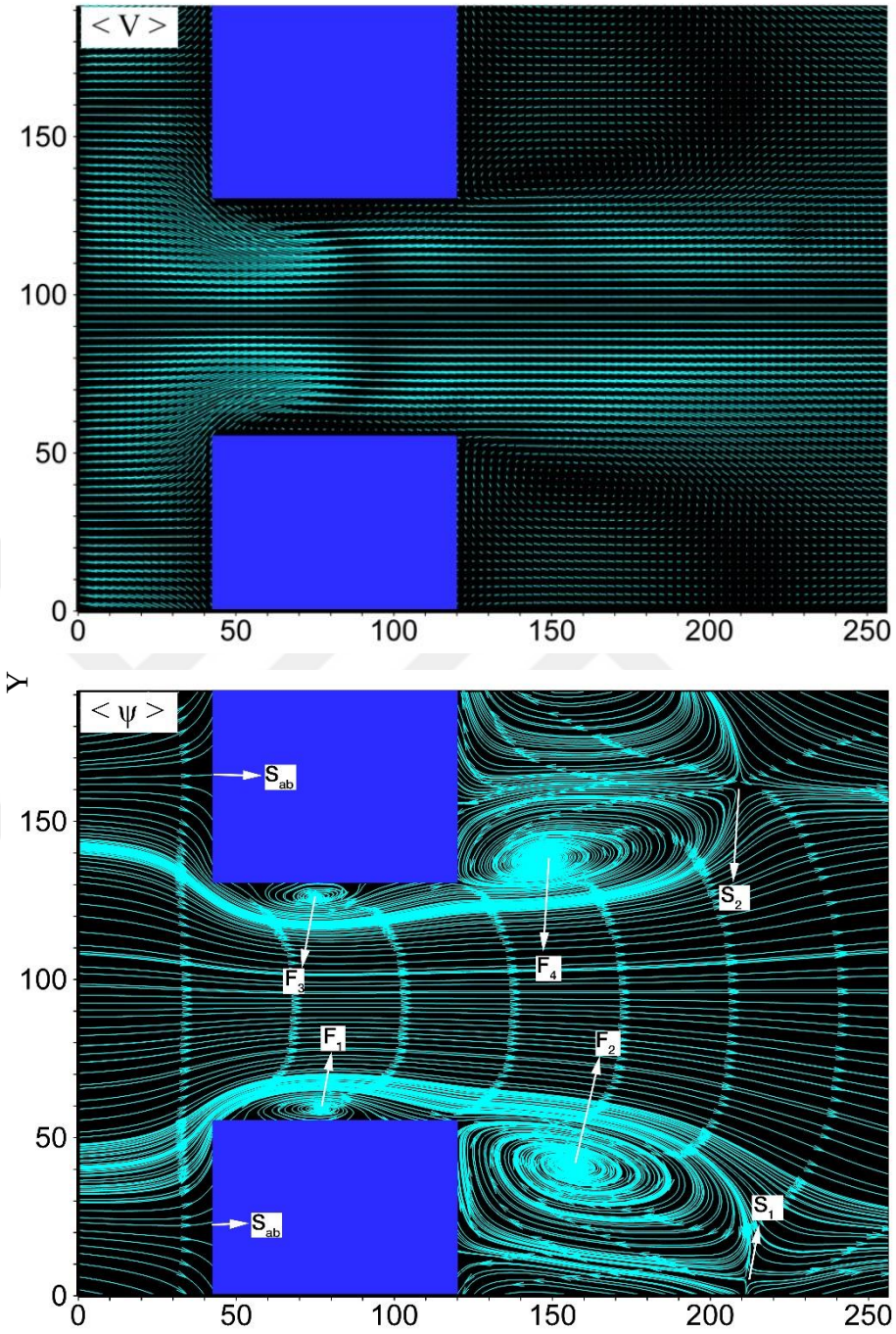


Şekil 4.8.1.1. D mesafeli iki küpün üstten alınan görünüşte Re=1680 sayısında vektörler (V) ve akış çizgileri (ψ).

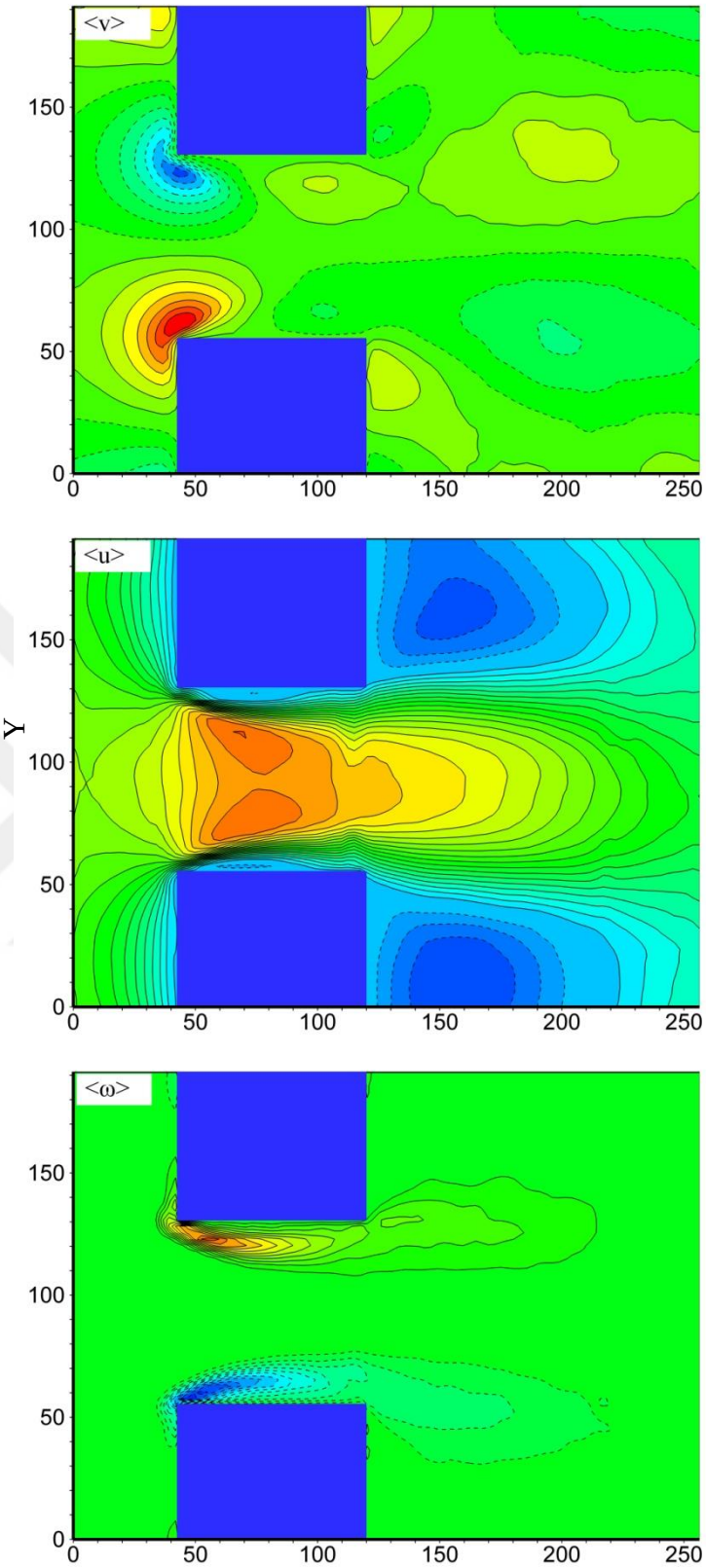


Şekil 4.8.1.2. D mesafeli iki küpün üstten alınan görünüşte Re=1680 sayısında “v” hızı, “u” hızı ve girdaplanma (ω) konturları.

4.8.2. Arasında D Mesafe Bulunan İki Küpün Üst Görüntüsü (Re=26000)



Şekil 4.8.2.1. Üç küp için yan görünüşte Re=26000 sayısında vektörler (V) ve akış çizgileri (ψ).



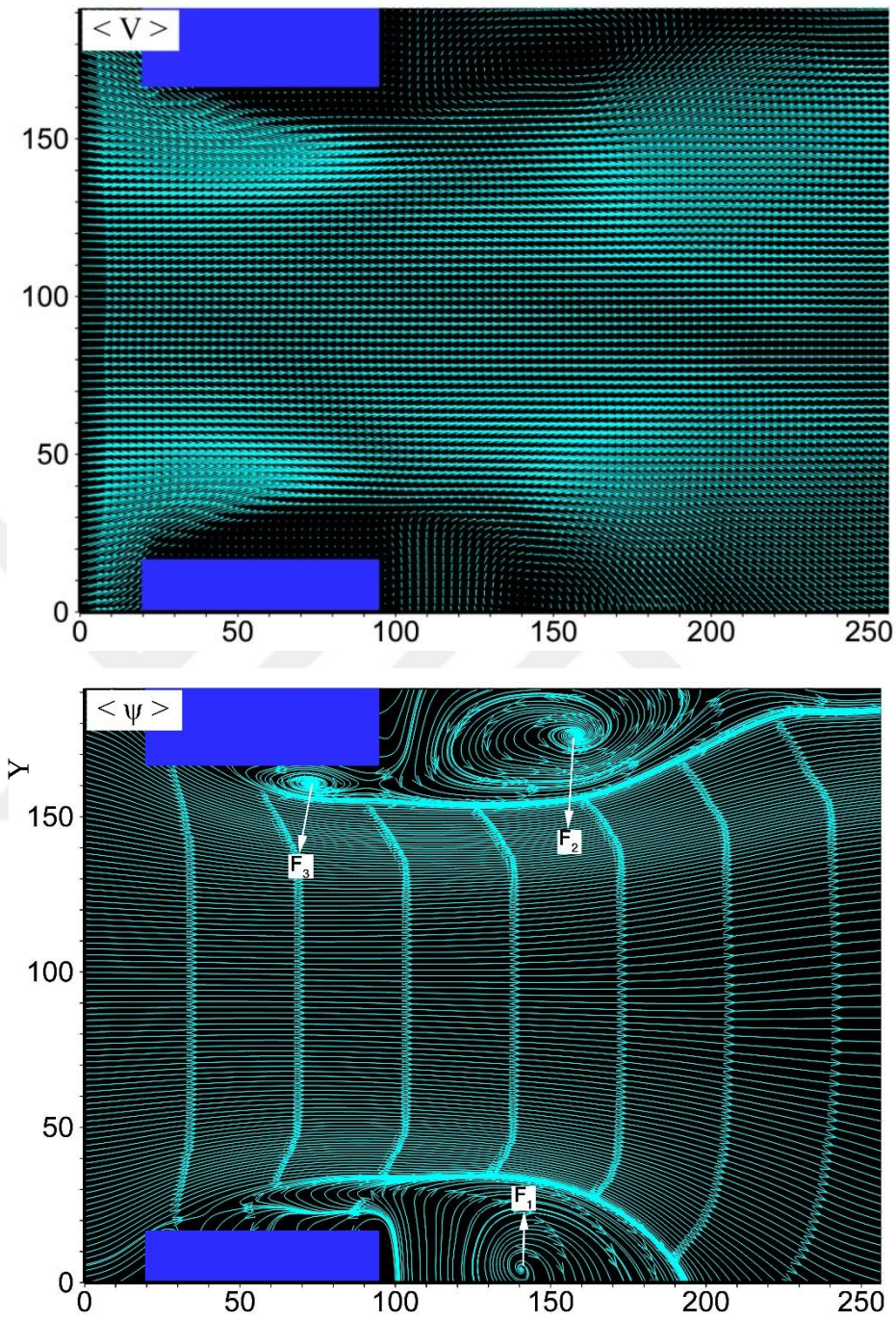
Şekil 4.8.2.2. D mesafeli iki küpün üstten alınan görünüşte Re=1680 sayısında “v” hızı, “u” hızı ve girdaplanma (ω) konturları.

Şekil 4.8.1.1 ve Şekil 4.8.2.1'de akış çizgileri ve vektörler incelendiğinde ön akış bölgesinin biribirine yakın özellikler gösterdiği görülmüştür. Re=26000 sayısında iki küp arasındaki bölgede birbiriyle simetrik 0,1D mesafede iki adet Foci noktası görülürken Re=1680 sayısında küplerden sadece altta bulunan modelin üzerinde Foci görülmüştür. Akış önden küplerin arasına girmeden ikiye ayrılarak Re=1680 sayısında üstteki küpe 0,75D mesafede, alttaki küpe 0,9D mesafedeki ölü akış bölgelerini takip ederek birleşmektedir.

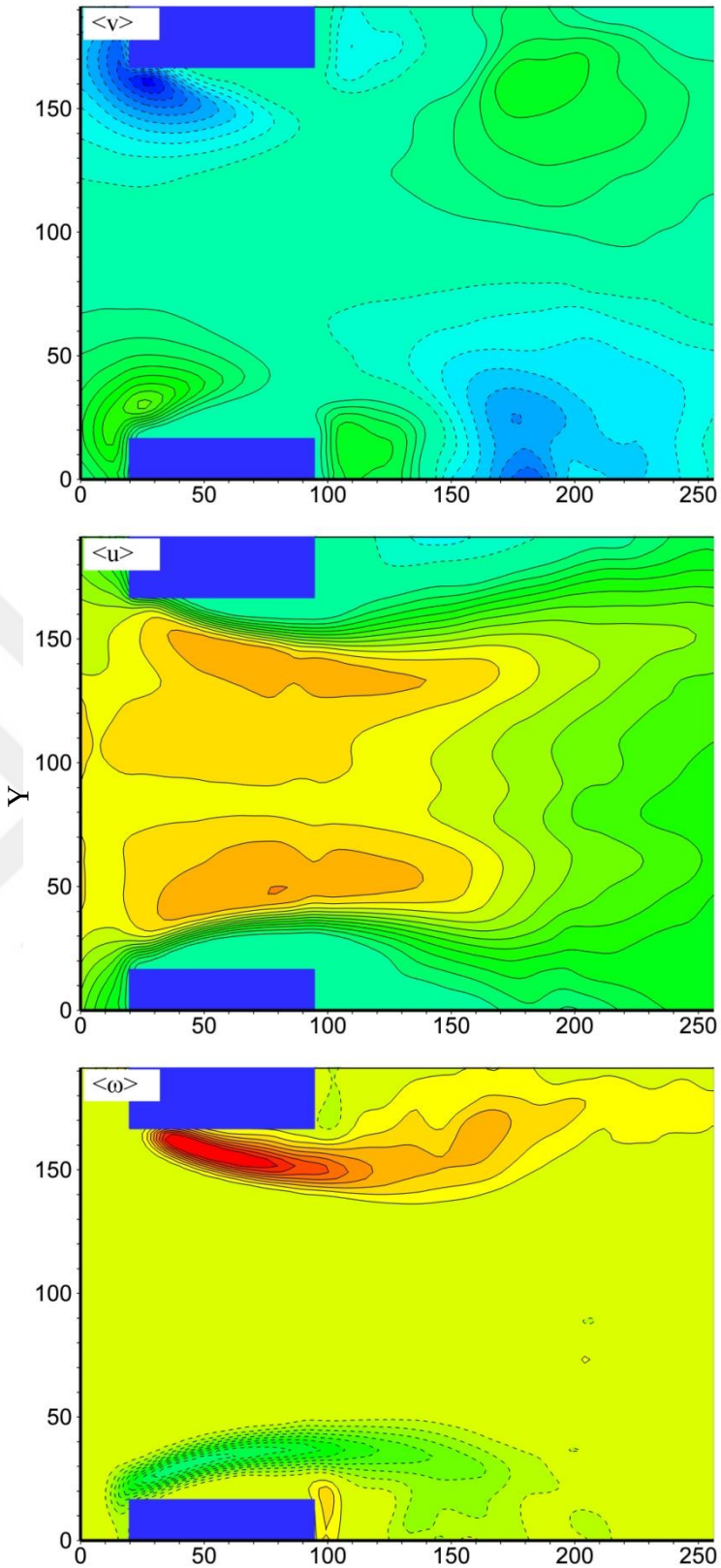
Şekil 4.8.1.2.'de Re=1680 için sırası ile küp modele ait zaman ortalama akışa dik hız <v>, akış yönü hız <u> ve <ω> konturları verilmiştir. Noktasal çizgiler negatif hız ve girdap konturlarını sürekli çizgiler ise pozitif hız ve girdap konturlarını göstermektedir. Zaman ortalama akışa dik hız <v> konturları için minimum hız <v> =-9mm/s , maksimum hız <v>=12mm/s ve artış Δv= 1mm/s olarak verilmiştir. Zaman ortalama akış yönü hız <u> konturları için minimum hız <u> =-7mm/s , maksimum hız <u>=25mm/s ve artış Δu=2mm/s olarak verilmiştir. Zaman ortalama girdap <ω> konturları için minimum hız <ω> =-4 , maksimum hız <ω>=4 ve artış $\Delta\omega$=0,25 olarak verilmiştir.

Şekil 4.8.2.2.'de Re=26000 için sırası ile küp modele ait zaman ortalama akışa dik hız <v>, akış yönü hız <u> ve <ω> konturları verilmiştir. Noktasal çizgiler negatif hız ve girdap konturlarını sürekli çizgiler ise pozitif hız ve girdap konturlarını göstermektedir. Zaman ortalama akışa dik hız <v> konturları için minimum hız <v> =-163mm/s , maksimum hız <v>=158mm/s ve artış Δv= 20mm/s olarak verilmiştir. Zaman ortalama akış yönü hız <u> konturları için minimum hız <u> =-78mm/s, maksimum hız <u>=360mm/s ve artış Δu=20mm/s olarak verilmiştir. Zaman ortalama girdap <ω> konturları için minimum hız <ω> =-60, maksimum hız <ω>=60 ve artış $\Delta\omega$=5 olarak verilmiştir. Negatif girdap konturları saat yönü pozitif girdap konturları ise saatin tersi yönü girdap değerlerini ifade etmektedir. Girdap konturuna bakıldığında 0,5D mesafeli küp geometrisiyle çok benzer şekilde Re=1680 için her küpün üzerinde birbirine zıt 2 adet, toplam 4 adet girdap bölgesi görülürken, Re=26000 olduğunda bu durum yerini pozitif ve negatif toplam iki adet girdap bölgesinin varlığına bırakmıştır.

4.9.1. Arasında 2D Mesafe Bulunan İki Küpün Üst Görüntüsü (Re=1680)

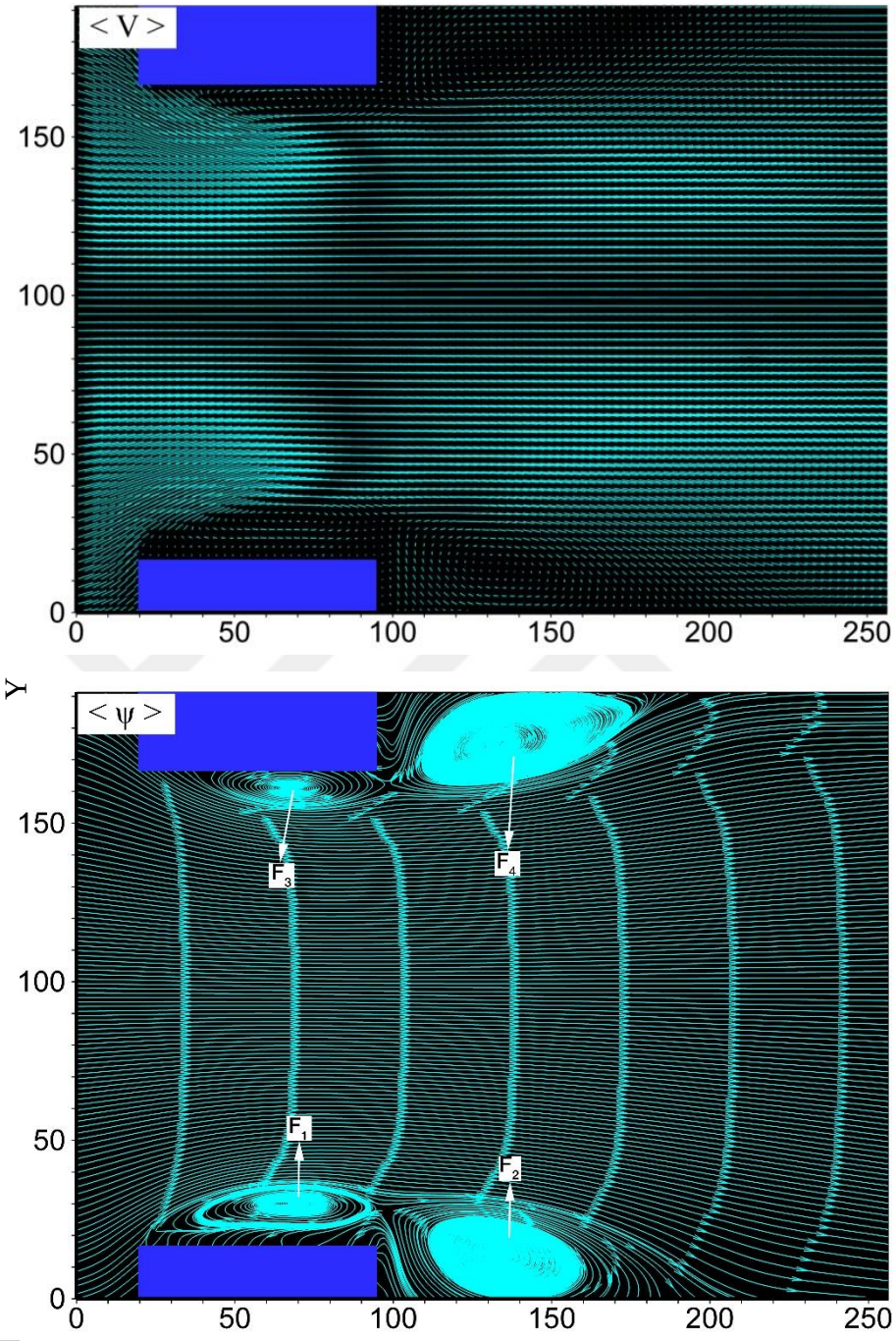


Şekil 4.9.1.1. Üç küp için yan görünüşte Re=1680 sayısında vektörler (V) ve akış çizgileri (ψ).

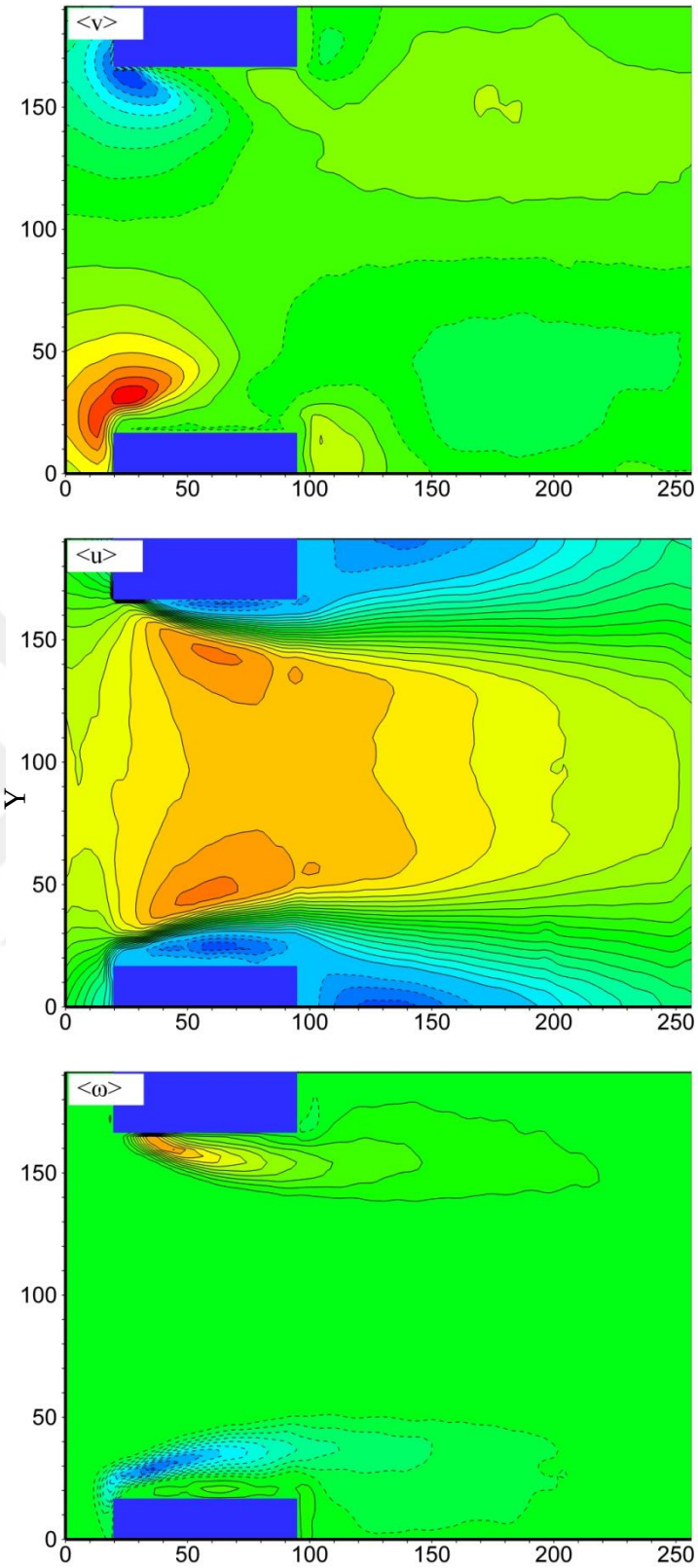


Şekil 4.9.1.2. 2D mesafeli iki küpün üstten alınan görünüşte Re=1680 sayısında "v" hızı, "u" hızı ve girdaplanma (ω) konturları.

4.9.2. Arasında 2D Mesafe Bulunan İki Küpün Üst Görüntüsü (Re=26000)



Şekil 4.9.2.1. Üç küp için yan görünüşte Re=26000 sayısında vektörler (V) ve akış çizgileri (ψ).



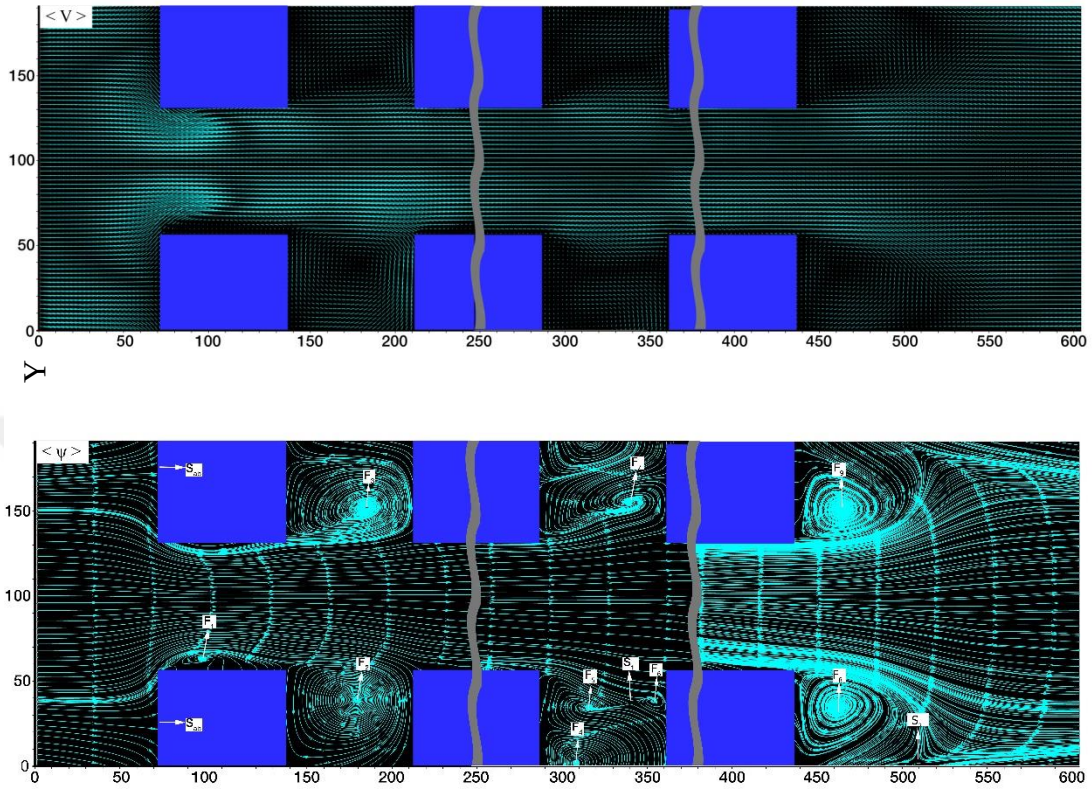
Şekil 4.9.2.2. 2D mesafeli iki küpün üstten alınan görünüşte Re=26000 sayısında “v” hızı, “u” hızı ve girdaplanma (ω) konturları.

Şekil 4.9.1.1 ve Şekil 4.9.2.1'e gösterilen vektörler ve akış çizgilerine bakıldığında Re=1680 şartında toplam 3 adet Foci oluşurken hız artışı sonucunda 4 adet Foci oluşup simetriyi tamamlamıştır. Re=1680 şartında alttaki küp hariç diğer bütün küplerin sağ üst köşesine 0,1D mesafede ve üstteki küplerin sağ alt köşesine 0,12D uzaklıkta birer adet durgunluk noktası görülmüştür. Re=26000 şartında Foci noktaları ve durgunluk noktaları neredeyse simetrik görünürken, Re=1680 şartında bu simetriklik ve düzenlilik görülmemiştir.

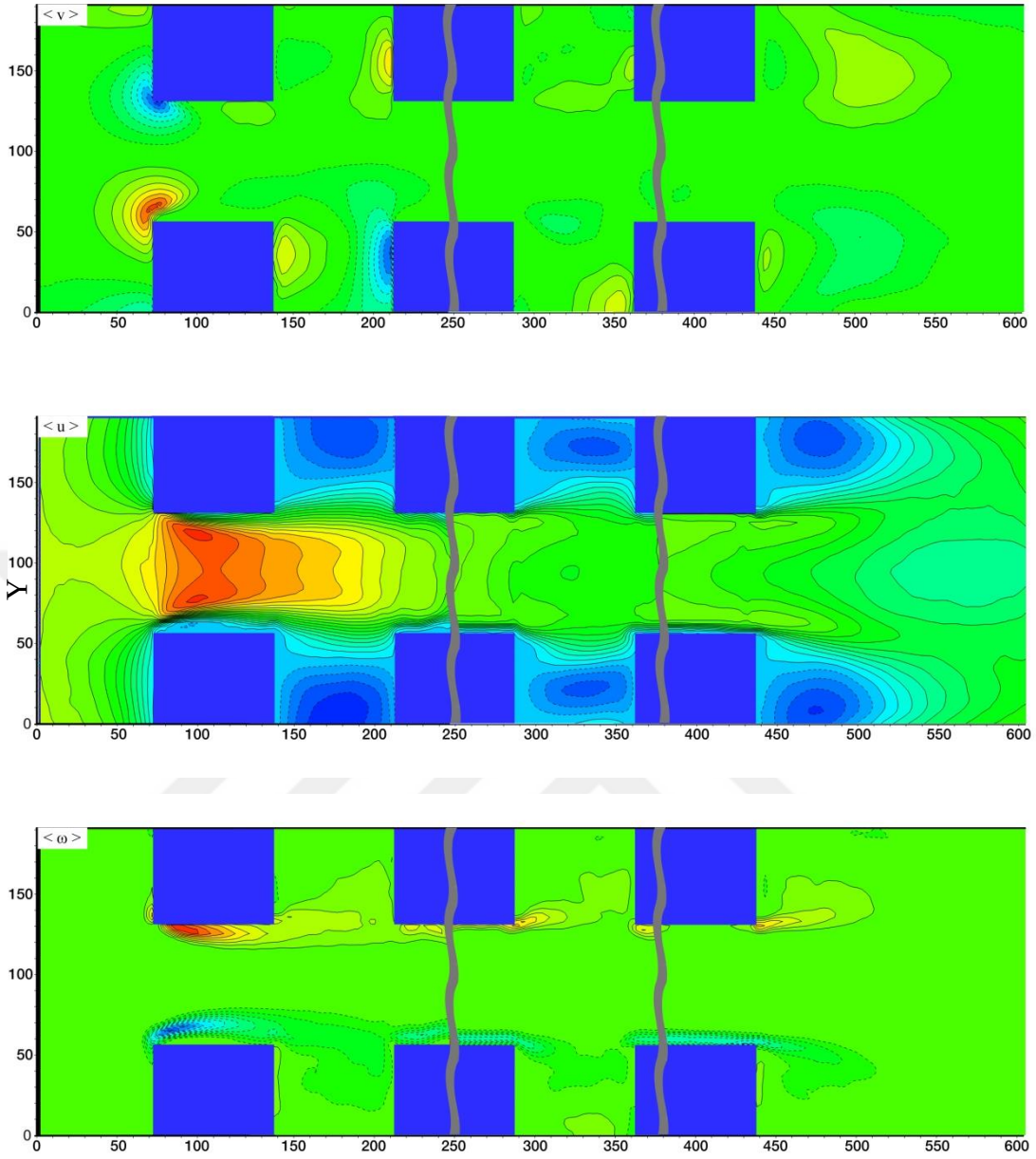
Şekil 4.9.1.2.'de Re=1680 için sırası ile küp modele ait zaman ortalama akışa dik hız <v>, akış yönü hız <u> ve <ω> konturları verilmiştir. Noktasal çizgiler negatif hız ve girdap konturlarını sürekli çizgiler ise pozitif hız ve girdap konturlarını göstermektedir. Zaman ortalama akışa dik hız <v> konturları için minimum hız <v> =-9mm/s , maksimum hız <v>=12mm/s ve artış Δv= 1mm/s olarak verilmiştir. Zaman ortalama akış yönü hız <u> konturları için minimum hız <u> =-7mm/s , maksimum hız <u>=25mm/s ve artış Δu=2mm/s olarak verilmiştir. Zaman ortalama girdap <ω> konturları için minimum hız <ω> =-4 , maksimum hız <ω>=4 ve artış $\Delta\omega$=0,25 olarak verilmiştir.

Şekil 4.9.2.2.'de Re=26000 için sırası ile küp modele ait zaman ortalama akışa dik hız <v>, akış yönü hız <u> ve <ω> konturları verilmiştir. Noktasal çizgiler negatif hız ve girdap konturlarını sürekli çizgiler ise pozitif hız ve girdap konturlarını göstermektedir. Zaman ortalama akışa dik hız <v> konturları için minimum hız <v> =-163mm/s , maksimum hız <v>=158mm/s ve artış Δv= 20mm/s olarak verilmiştir. Zaman ortalama akış yönü hız <u> konturları için minimum hız <u> =-78mm/s, maksimum hız <u>=360mm/s ve artış Δu=20mm/s olarak verilmiştir. Zaman ortalama girdap <ω> konturları için minimum hız <ω> =-60, maksimum hız <ω>=60 ve artış $\Delta\omega$=5 olarak verilmiştir. Negatif girdap konturları saat yönü pozitif girdap konturları ise saatin tersi yönü girdap değerlerini ifade etmektedir. 0,5D ve D geometrilerinde gözlemlenen dört adet girdabın reynolds hızının artışını takiben ikiye inmesi durumu aradaki mesafe uzak olduğu için gözlemlenmemiştir. Akışa dik eksendeki ortalama < v > hızları küplerin akış yönüne yakın köşelerinde maksimum olarak gözlemlenmiştir.

4.10.1. Altı Adet Küpün Aralarında “D” Boyutunda Mesafe ile 2 li Gruplar Halinde Diziliminin Üst Görüntüsü (Re=26000)

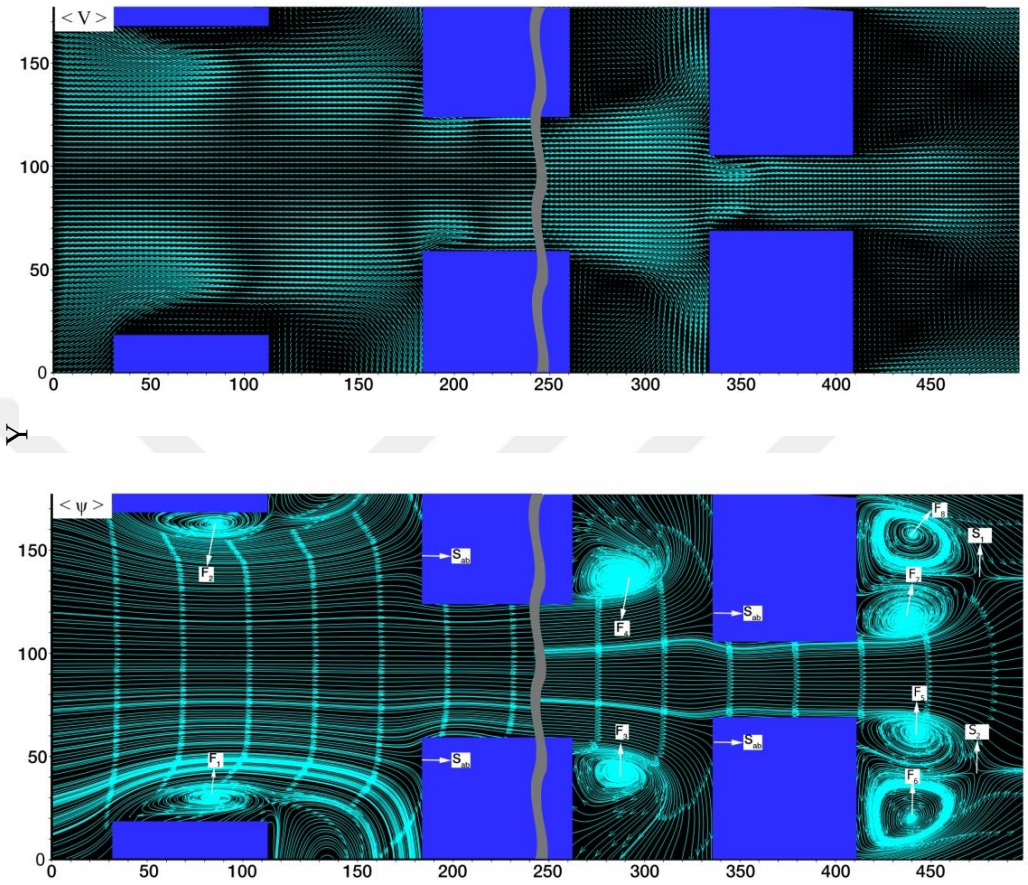


Şekil 4.10.1. D mesafeli altı küp için üst görünüşte Re=26000 sayısında vektörler (V) ve akış çizgileri (ψ).

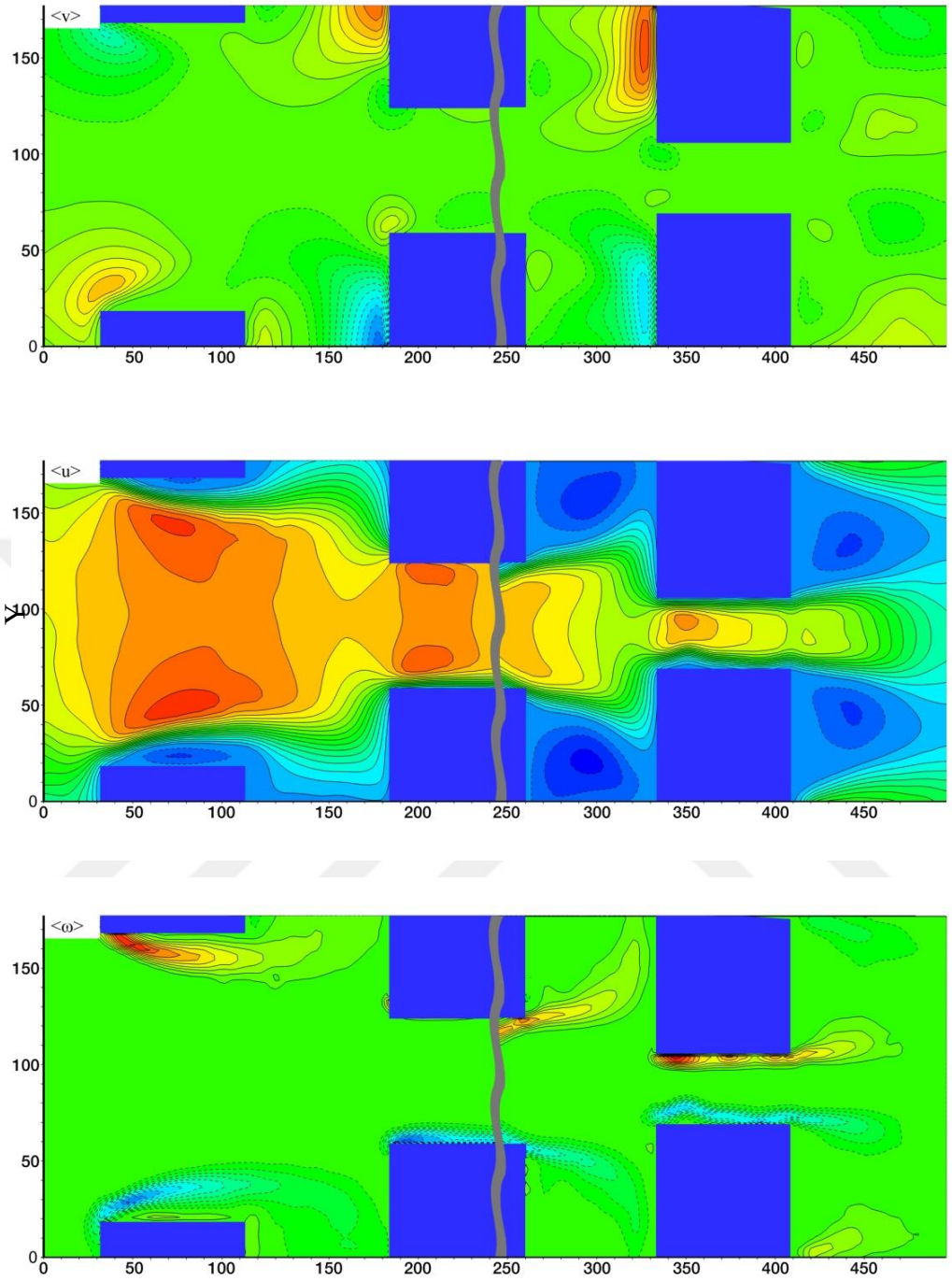


Şekil 4.10.2. D mesafeli altı küp için üst görünüşte Re=26000 sayısında “v” hızı, “u” hızı ve girdaplanma (ω) konturları.

4.11.1. Altı Küpün Aralarında 2D, D ve 0,5D Mesafede İkili Gruplar Halinde Diziliminin Üst Görüntüsü (Re=26000)



Şekil 4.11.1. 2D, D ve 05D mesafeli altı küp için üst görünüşte Re=26000 sayısında vektörler (V) ve akış çizgileri (ψ).



Şekil 4.11.2. 2D, D ve 05D mesafeli altı küp için üst görünüşte Re=26000 sayısında "v" hızı, "u" hızı ve girdaplanma (ω) konturları.

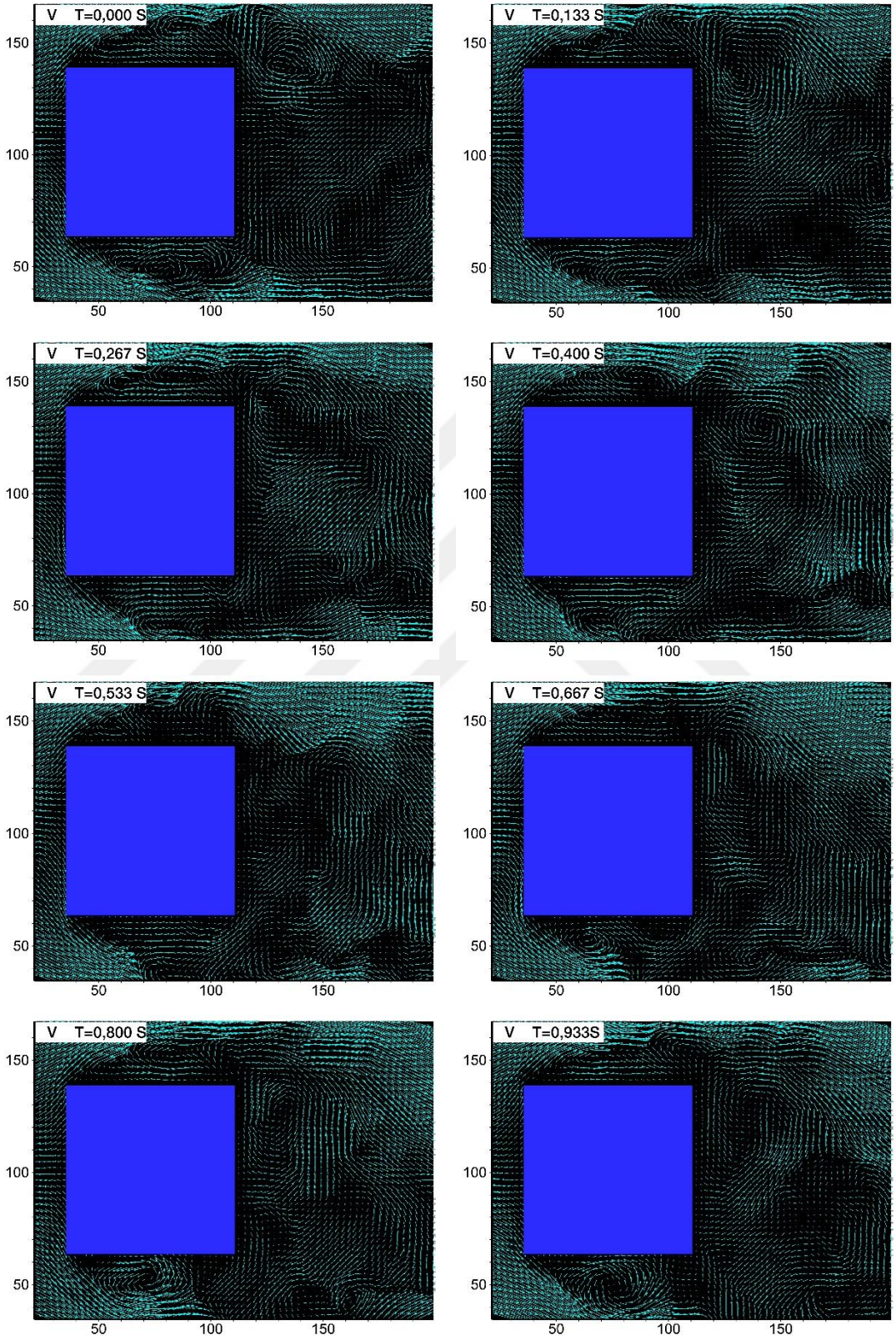
Altı adet küp modelin belirli mesafelere göre konumlandırıldığı bu senaryolarda Şekil 4.10.1. ve 4.10.2 arasında değerlendirmeler yapılmıştır. Akış, Şekil 4.10.1'de ilk iki küpün ön bölgesinde ayrılarak iki küpün arasındaki kanala doğru şartlanmıştır. Sol alttaki küpün üstüne Y=0,1D mesafede F_1 girdap noktasını oluşturduktan sonra 1. Ve 2. Küp grupları arasında iki adet 0,7D uzaklığında birbirine simetrik F_2 ve F_3 noktalarını oluşturup devam etmiştir. 2. Ve 3. Küpler arasındaki akış bölgesinde asimetriklik sözkonusudur. Alt bölgede 3 adet Foci ve 1 adet ayrılma noktası gözlemlenmiş, üstte ise 1 adet F_7 noktası oluşmuştur.3. küp grubunun arkasındaki akış bölgesinde simetrik olarak 0,3D mesafede F_8 ve F_9 noktaları oluşmuştur. Yaklaşık 1D mesafede bir adet sırt noktası gözlemlenmiştir. Bu noktanın üstteki akış alanında bir simetriğinin olduğu tahmin edilmektedir. Akış, sırt noktalarının ardından birleşip devam etmektedir.

Şekil 4.11.1'de ön ayrılma bölgeleri görüntüleme alanının kısıtlarından dolayı gözlemlenememektedir. Alttaki ilk küpün üst bölgesinde ve üstteki ilk küpün alt bölgesinde 0,1D mesafede F_1 ve F_2 noktaları oluşmuştur. İkinci ve üçüncü küplerin ön bölgelerinde akışlar ikiye ayrılmıştır. Bu S_{ab} akış ayrılma bölgelerinin küplerin üzerindeki konumu birbirleriyle benzer özellikler göstermekle beraber 0,1D mesafededir. Akış, ikinci ve üçüncü küpler arasında birer adet Foci noktası, üçüncü küplerin arkasındaki bölgede de 4 adet foci ve 2 adet durgunluk noktası bırakarak birleşmiştir. İkinci ve Üçüncü küplerin arkasındaki akış çizgileri simetriğe çok yakındır.

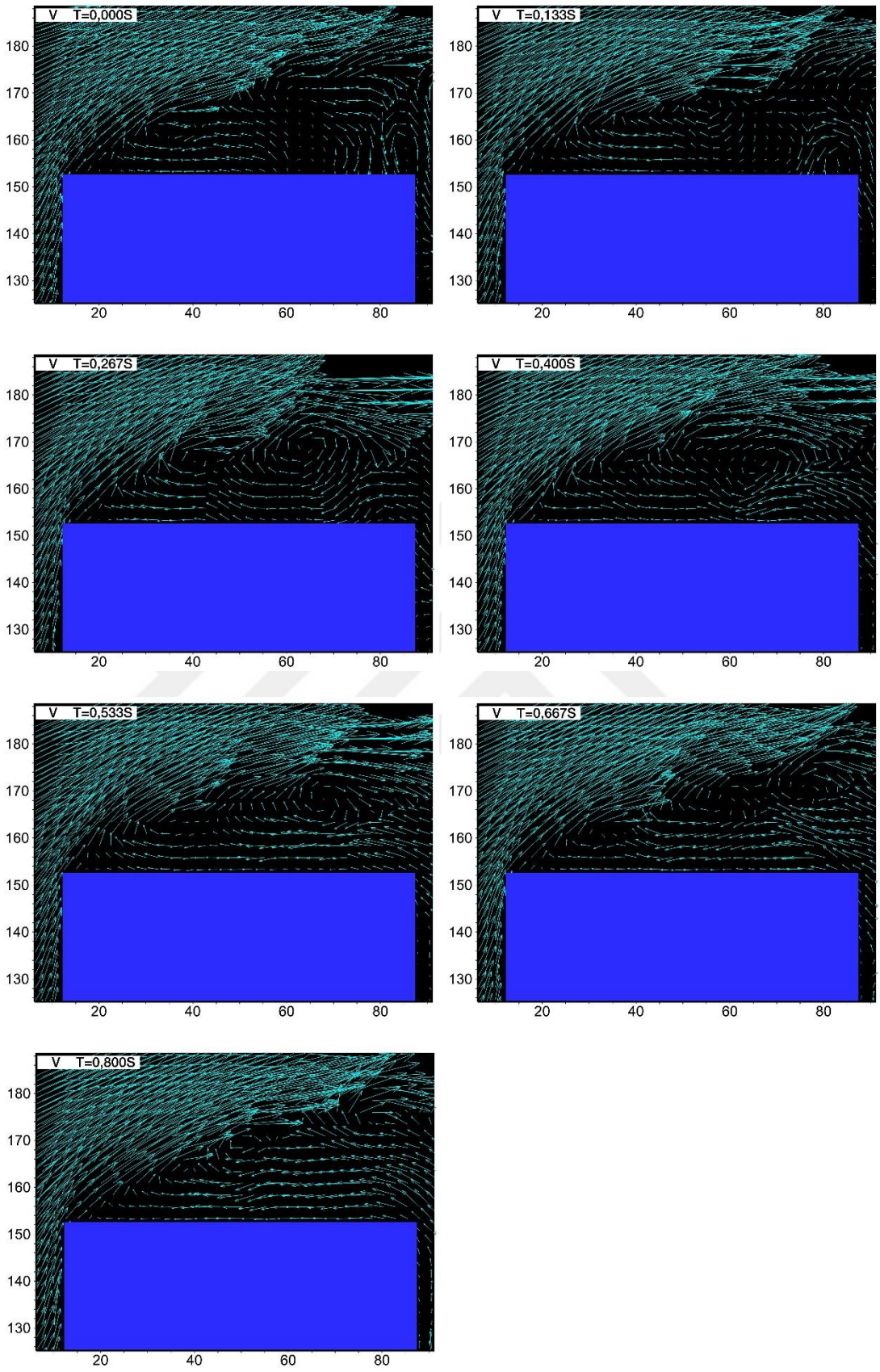
Şekil 4.10.2. ve Şekil 4.11.2'de Re=26000 için sırası ile küp modele ait zaman ortalama akışa dik hız <v>, akış yönü hız <u> ve <ω> konturları verilmiştir. Noktasal çizgiler negatif hız ve girdap konturlarını sürekli çizgiler ise pozitif hız ve girdap konturlarını göstermektedir. Zaman ortalama akışa dik hız <v> konturları için minimum hız <v> =-160mm/s , maksimum hız <v>=160mm/s ve artış Δv= 20mm/s olarak verilmiştir. Zaman ortalama akış yönü hız <u> konturları için minimum hız <u> =-78mm/s, maksimum hız <u>=380mm/s ve artış Δu=20mm/s olarak verilmiştir. Zaman ortalama girdap <ω> konturları için minimum hız <ω> =-60, maksimum hız <ω>=60 ve artış $\Delta\omega$=5 olarak verilmiştir. Negatif girdap konturları saat yönü pozitif girdap konturları ise saatin tersi yönü girdap değerlerini ifade etmektedir. Akışa paralel

eksendeki hız bileşeni incelendiğinde iki modelde de maksimum hızın akışı karşılayan ilk küp sırasının arasında kalan bölgede olduğu görülmüştür. Küplerin arka yüzeylerinde yaklaşık bir küp boyunda ölü akış bölgeleri açık bir şekilde tespit edilmiştir. Akış alanına dik hız bileşeninin maksimumları akışı karşılayan ilk küp dizisinin köşelerinde oluşmuştur. Şekil 4.11.2'de 3.küp dizisinin üstteki elemanının yüzeyinde yüksek <v> hızı gözlemlenmektedir. Geometrilerin "V" şeklinde dizilimi akışa dik hız bileşenlerinin sayısının da boyutlarının da artmasına neden olmuştur. Girdaplılık incelendiğinde küplerin kanal etkisine dönük yüzeylerinde maksimum hız ve girdaplılık bileşenleri yüzeye teğet olarak görülmektedir. Üstteki küplerde girdaplar pozitif yönde, alttaki küplerde girdaplar negatif yönlerdedir.

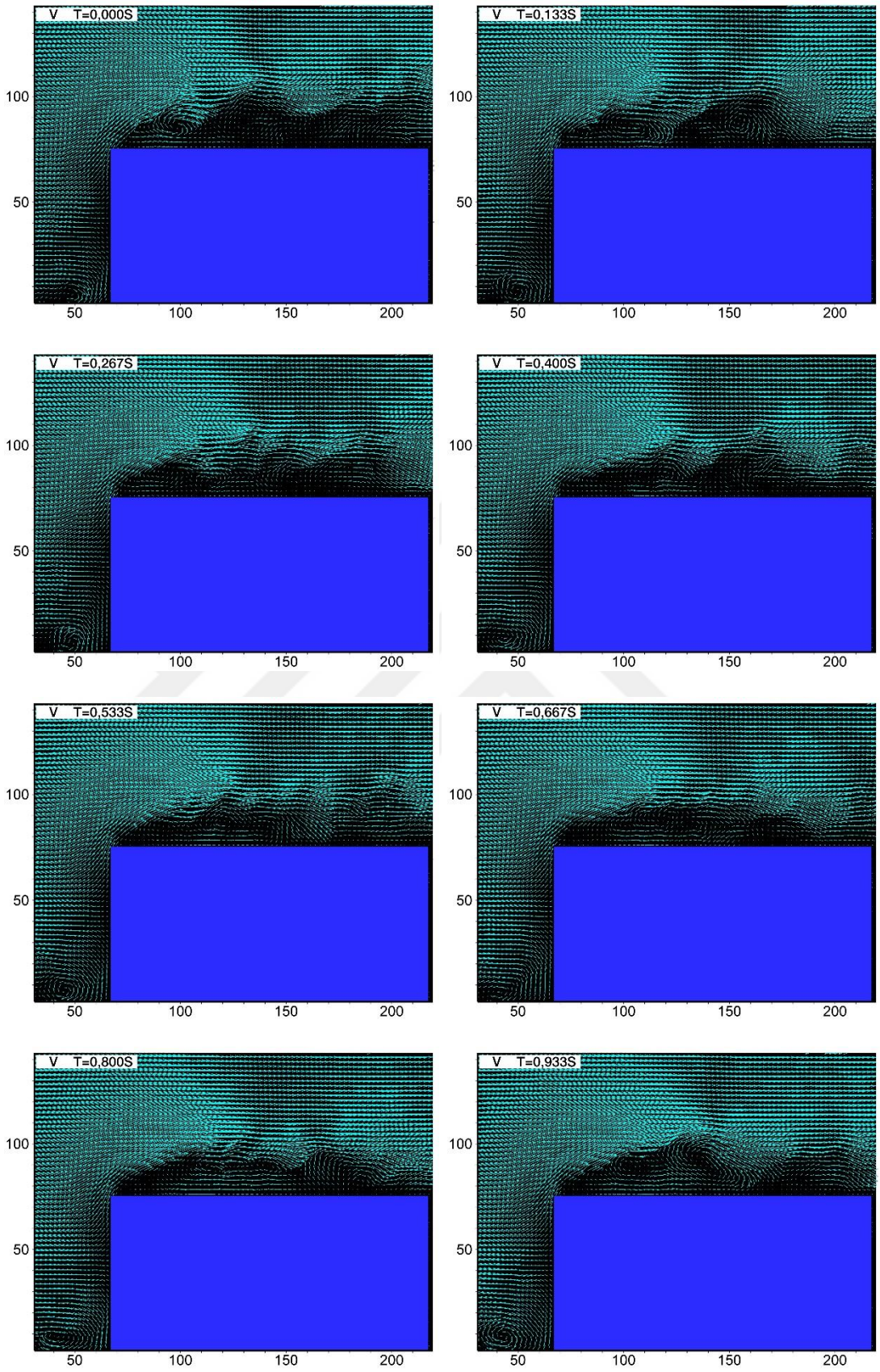
4.12. Anlık Görüntüler



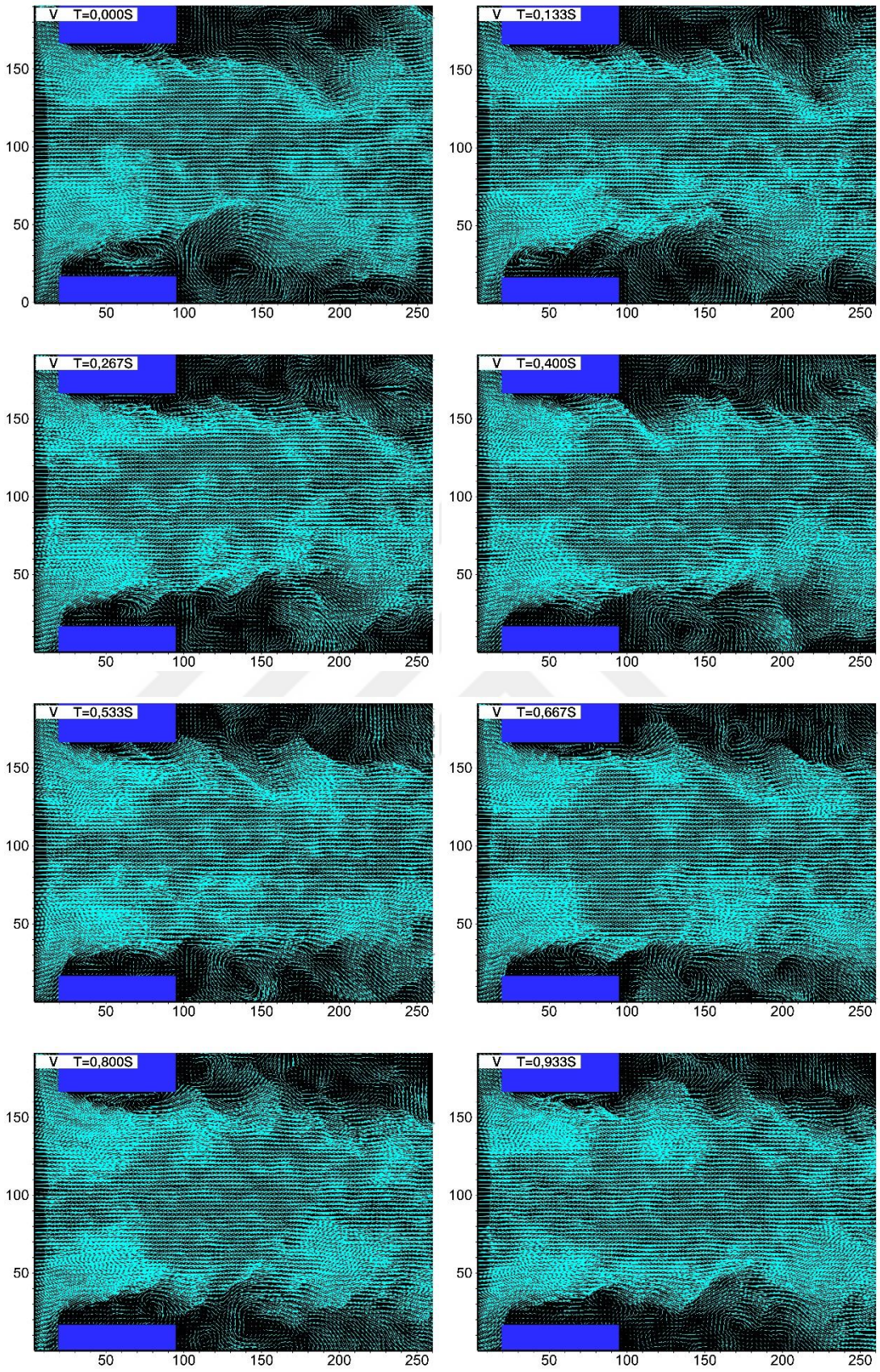
Şekil 4.12.1. Tek küpün Re=26000 sayısında 0-0,933 Saniye arasında üstten alınan genel anlık vektörel görüntüsü



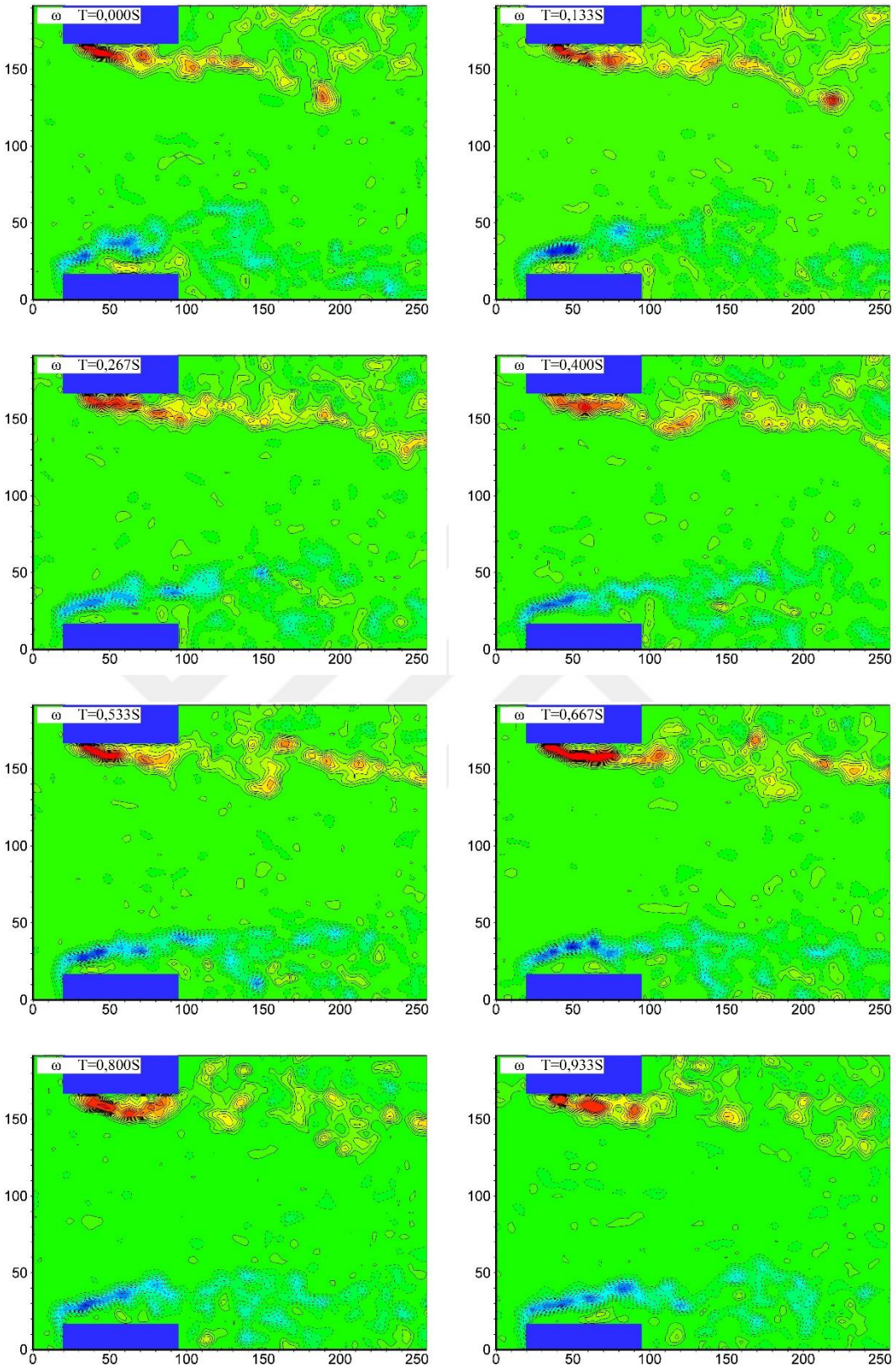
Şekil 4.12.2. Tek kare prizmanın Re=26000 sayısında 0-0,800 Saniye aralığında yandan alınan üst bölgesine odaklanmış anlık vektörel görüntüsü



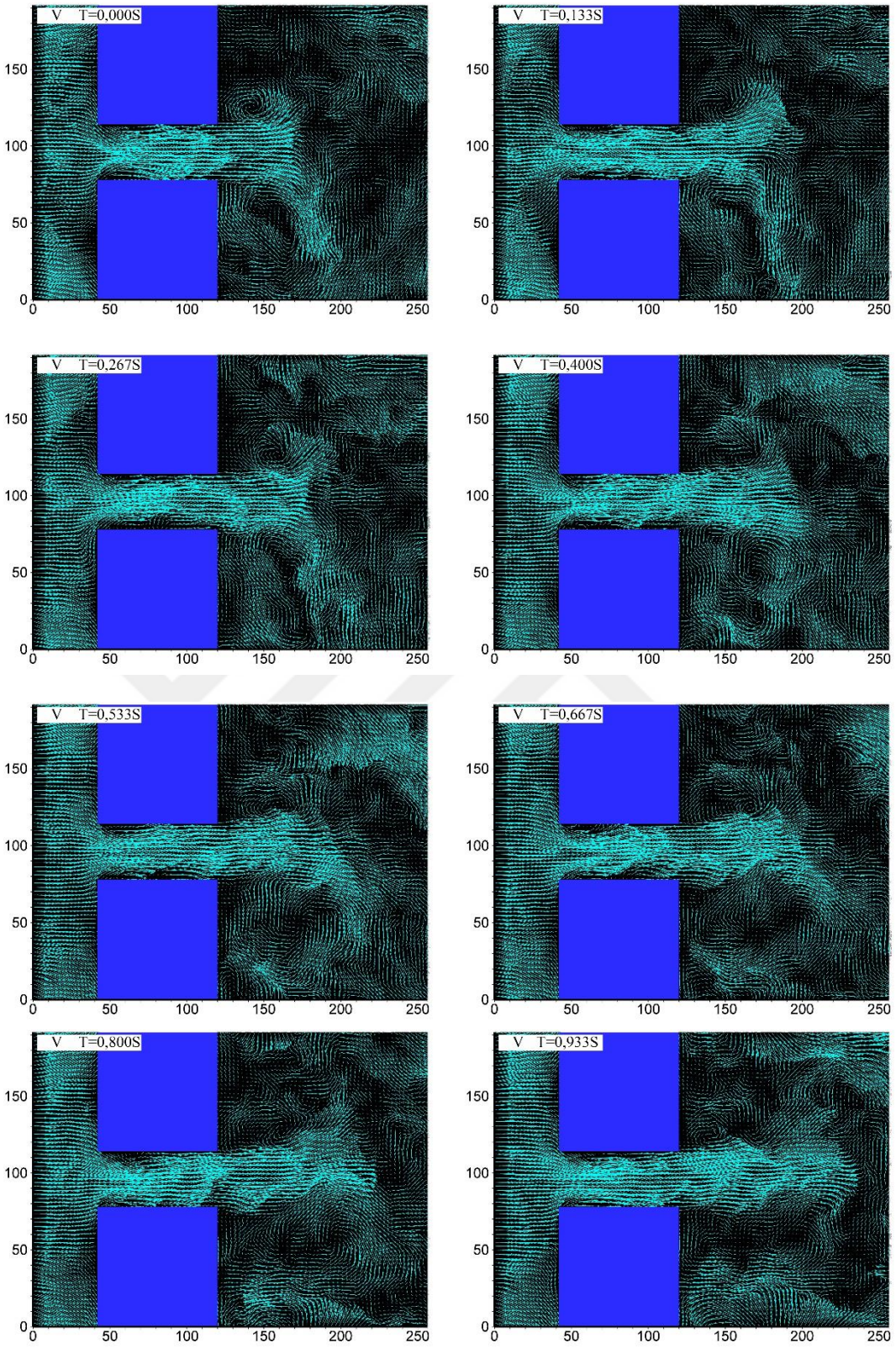
Şekil 4.12.3. Tek yatay kare prizmanın Re=26000 sayısında 0-0,933 Saniye arasında yandan alınan anlık vektörel görüntüsü



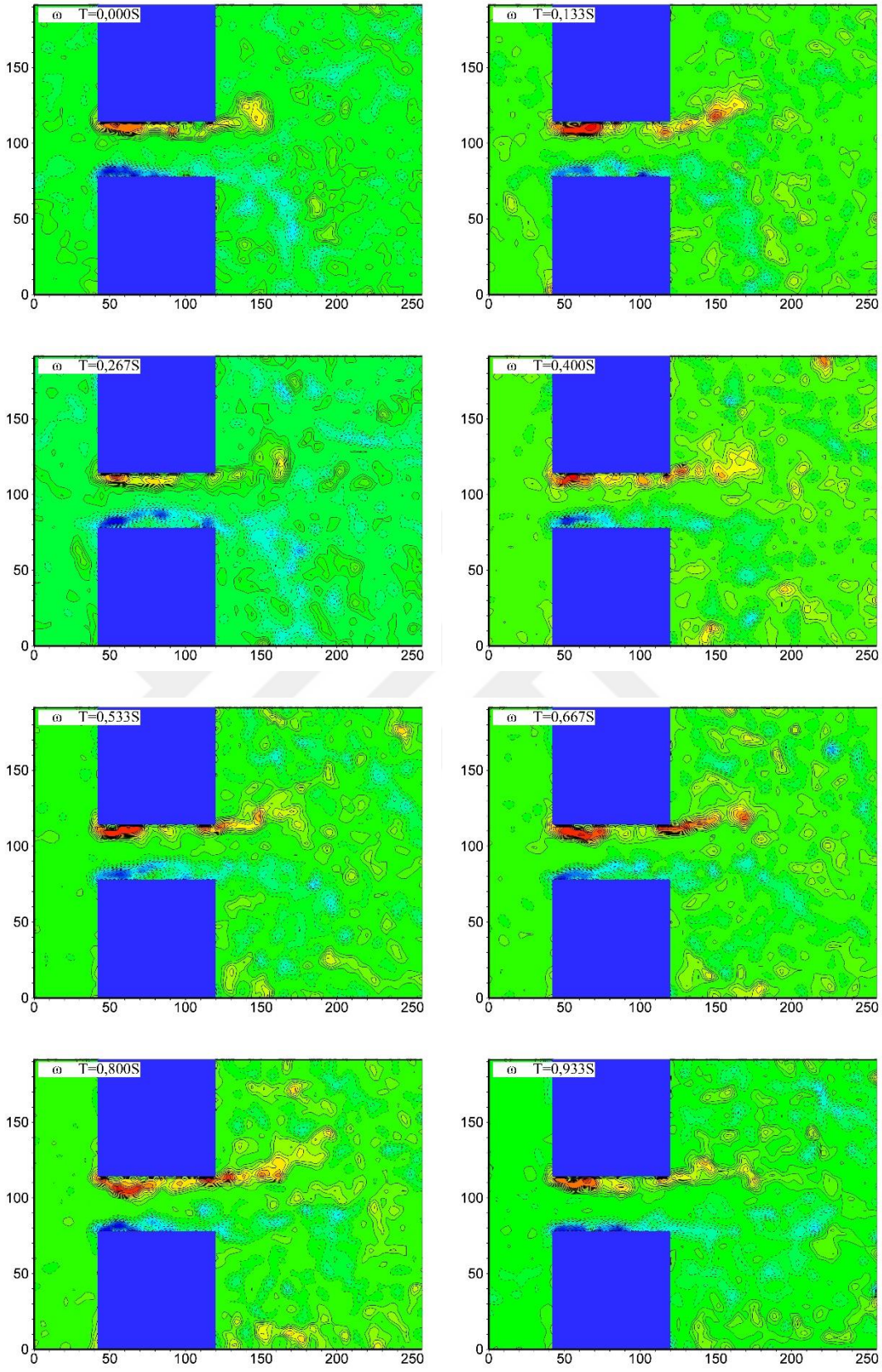
Şekil 4.12.4. Arasında 2D mesafe bulunan iki küpün üst görünüşünün Re=26000 sayısında 0-0,933 saniye arasında anlık vektörel görüntüsü



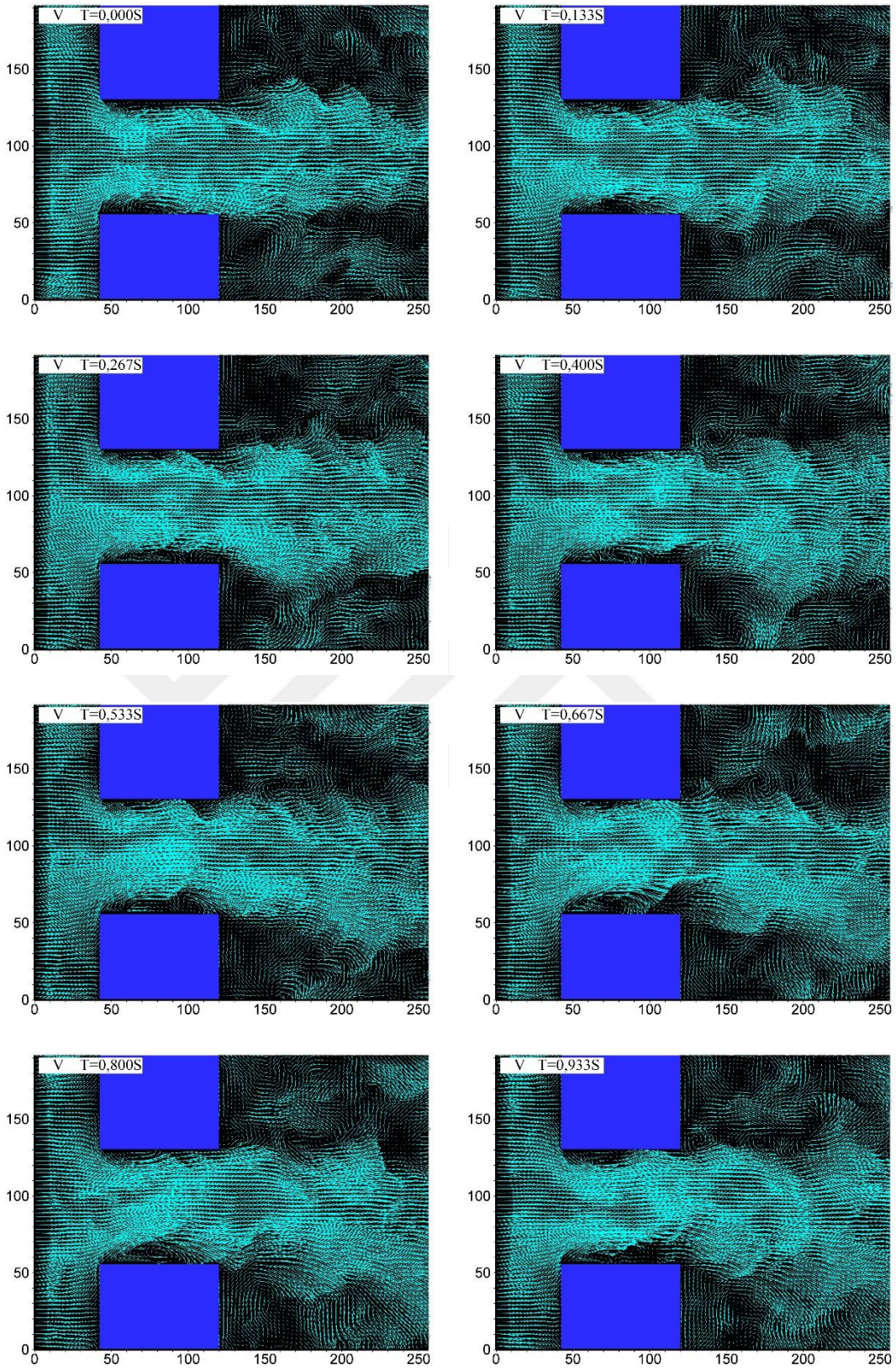
Şekil 4.12.5. Arasında 2D mesafe bulunan iki küpün üst görünüşünün Re=26000 sayısında 0-0,933 saniye arasında anlık vortisite görüntüsü



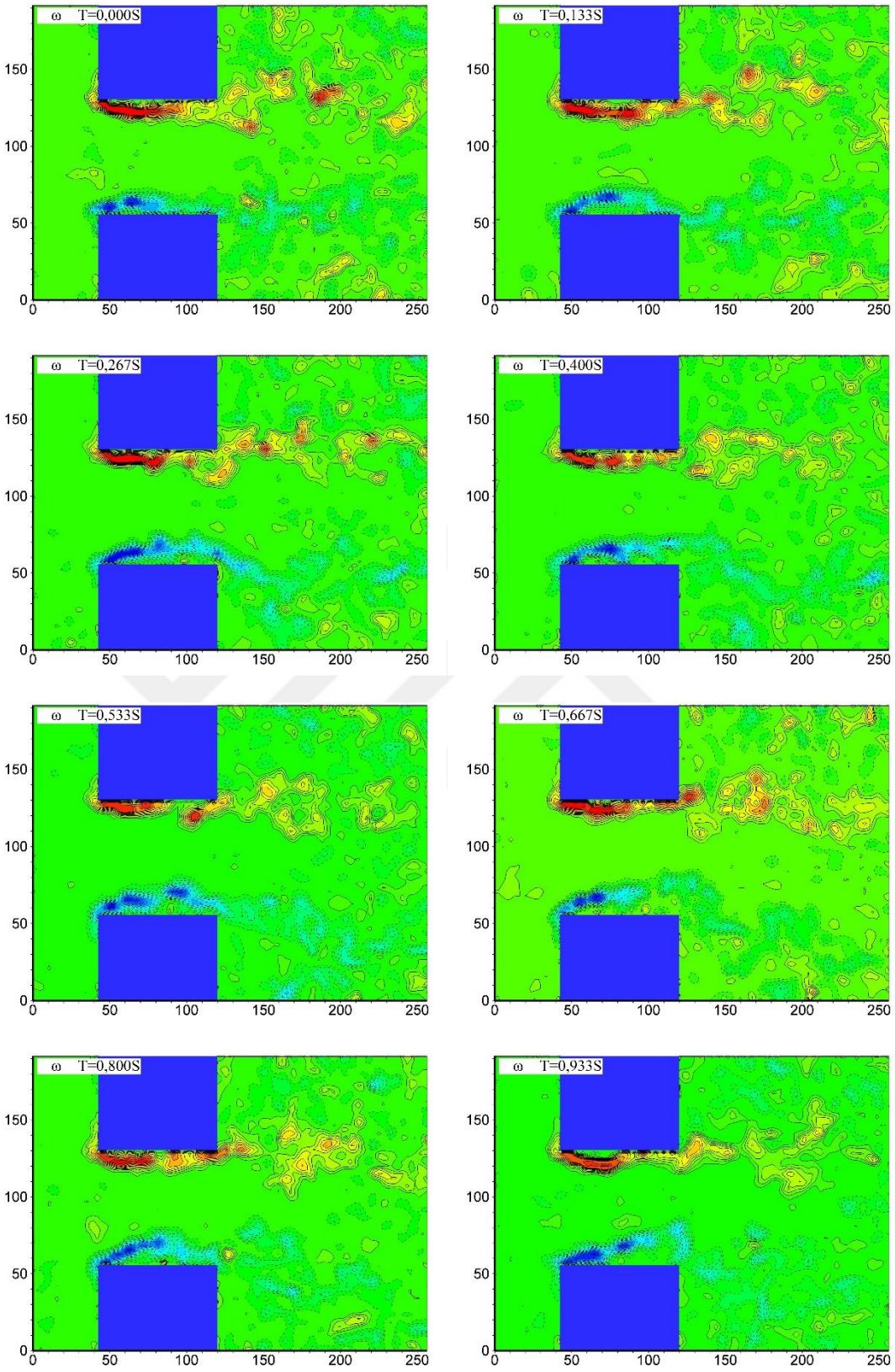
Şekil 4.12.6. Arasında 0,5D mesafe bulunan iki küpün üst görünüşünün Re=26000 sayısında 0-0,933 saniye arasında anlık vektörel görüntüsü



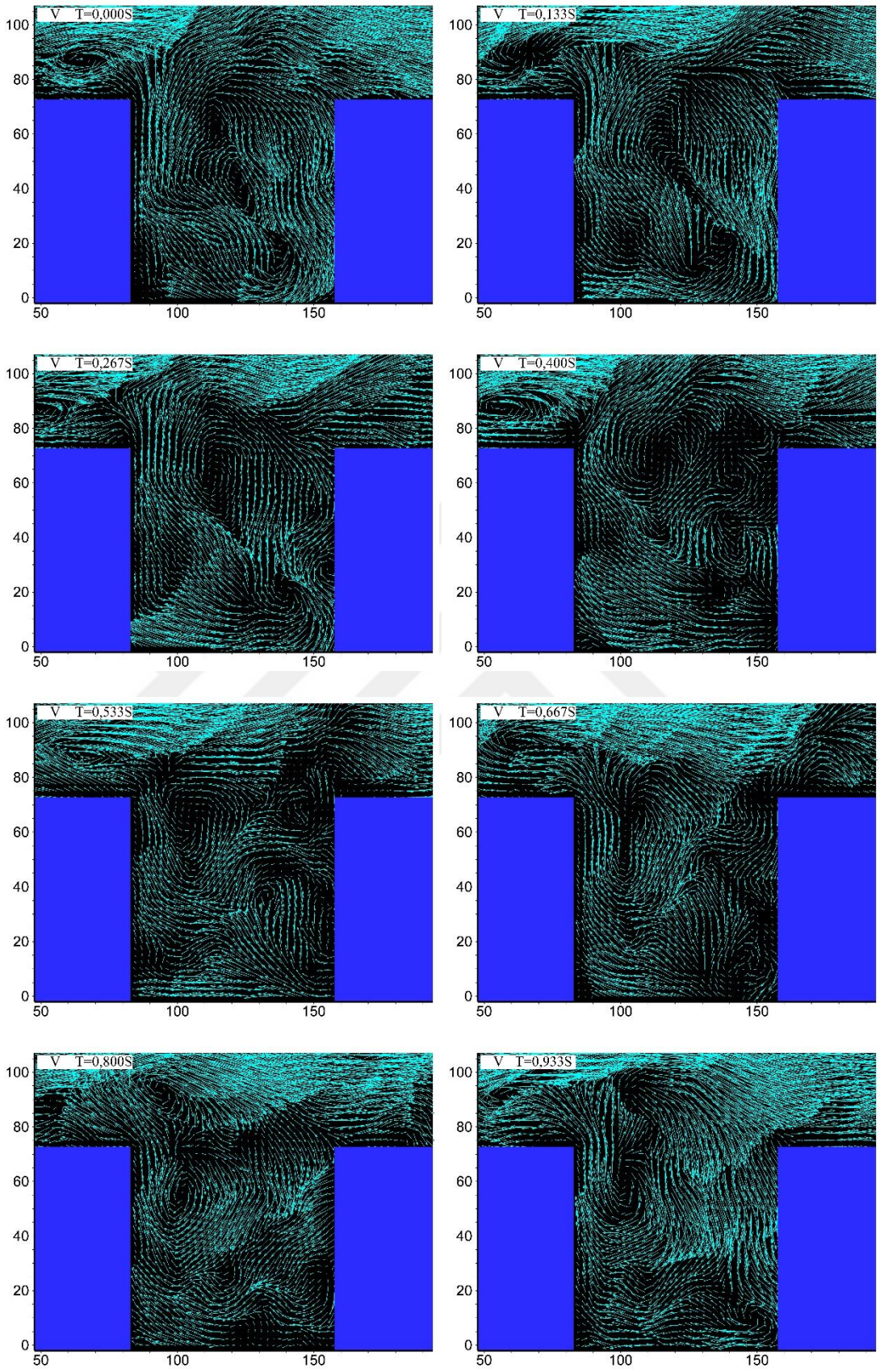
Şekil 4.12.7. Arasında 0,5D mesafe bulunan iki küpün üst görünüşünün Re=26000 sayısında 0-0,933 saniye arasında anlık vortisite görüntüsü



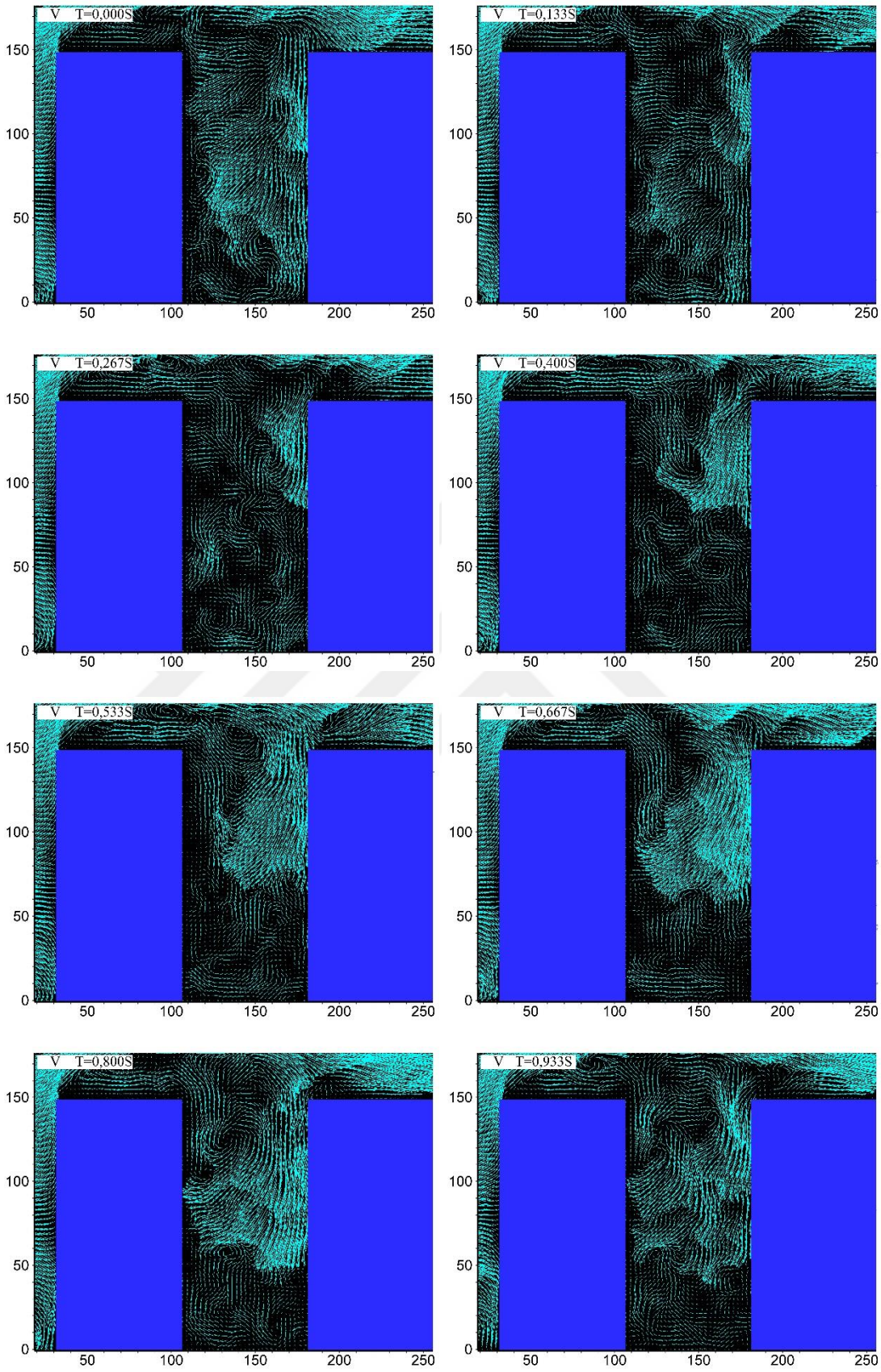
Şekil 4.12.8. Arasında D mesafe bulunan iki küpün üst görünüşünün Re=26000 sayısında 0-0,933 saniye arasında anlık vektörel görüntüsü



Şekil 4.12.9. Arasında D mesafe bulunan iki küpün üst görünüşünün Re=26000 sayısında 0-0,933 saniye arasında anlık vortisite görüntüsü



Şekil 4.12.10. Arasında D mesafe bulunan üç küpten ilk ikisinin yan görünüşünün Re=26000 sayısında 0-0,933 saniye arasında anlık vektörel görüntüsü



Şekil 4.12.11. Arasında D mesafe bulunan üç kare silindirden ilk ikisinin yan görünüşünün Re=26000 sayısında 0-0,933 saniye arasında anlık vektörel görüntüsü.

Şekil 4.12.1'de tek küpün üstten alınan anlık görüntüleri gösterilmiştir. Alınan bütün anlık görüntüler arası zaman farkı $\Delta t = 0{,}133$ saniyedir. Cismin ön yüzünde bulunan ayrılma bölgesinden ikiye ayrılan akış yukarı ve aşağı yönde şartlanarak küpün köşe bölgelerini geçtikten sonra rastgele çevrimler oluşturarak ilerlemektedir. Üst ve alt köşelerdeki çevrintiler net bir şekilde görülmektedir. Akış bu çevrintileri oluşturduktan sonra ilerleyerek küpün arka tarafında iki adet büyük çevrinti daha oluşturup devam etmektedir.

Şekil 4.12.2'de tek kare silindirin üst bölgesinde oluşan akışa 0 – 0,8 saniye arasında düzenli aralıklarla alınan 7 adet görüntü ile yoğunlaşılmıştır. Akışın, kare silindirin sağ üst köşesini yüksek hızla terk edip üstten gelen akışın etkisi ile küp yüzeyinde yaklaşık 0,15D mesafede küçük bir çevrinti oluşturduğu gözlemlenmiştir.

Şekil 4.12.3'de yatay kare silindirin üzerinden ayrılarak oluşan çevrinti yukarı aşağı rastgele salınımlar ile akış yönünde ilerlemektedir ayrıca, silindirin sol alt köşesinde oluşan çevrinti her görüntüde keskin bir şekilde tespit edilmiştir.

Şekil 4.12.4'te iki küpten de ayrılan akışların rastgele hareketleri çerçevesinde akış boyunca hareket ettiği gözlemlenmiştir. Aynı geometriye ait olan anlık girdaplık konturunu içeren şekil 4.12.5'te ise girdapların periyodik olarak birbiri ile küplerin yüzeyinden uzaklaştıkça ayrıldığı görülmüştür.

Şekil 4.12.5., Şekil 4.12.7. ve Şekil 4.12.9'daki anlık girdaplılık konturlarında birbiri ile benzerlik gösteren bir durum mevcuttur. Akış, küplere ulaşmadan önce girdap konturu görünmemesine karşın, küplerin üzerinden geçtikten sonra -maksimum olduğu noktalar küplerin yüzeyleri olmakla beraber- irili ufaklı birçok girdap bölgesi oluşturmuştur.

Şekil 4.12.10 'da iki adet küp arasında kalan bölgedeki anlık vektörler, Şekil 4.12.11'de ise iki adet kare silindir arasında kalan bölgedeki anlık vektör çizgileri verilmiştir. Aradaki yükseklik farkından dolayı iki kare silindir arasındaki bölgede çalkantılar daha düzensiz ve daha büyük boyutlu olarak gözlemlenmiştir.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada küplerin ve kare silindirlerin toplam 11 farklı yerleşim varyasyonu üzerindeki akış yapısı PIV yöntemi ile deneysel olarak incelenmiştir. Bu çalışmanın amacı, küp ve kare silindir geometrik şekline sahip bina modelleri etrafındaki akışı araştırmak ve akış alanının ortalama ve anlık yapısını anlamak için kullanılabilecek deneysel verileri elde etmektir. Deneylerde kullanılan teknik, akış görselleştirme tekniği ile desteklenen parçacık görüntülemeli hız ölçüm tekniğidir (PIV). İncelenen modeller geometrik olarak basit şekiller olmakla beraber, etraflarında oluşmakta olan akış yapıları hayli komplekstir. Deneyler, model yükseklikleri ve serbest akış hızına dayanarak Reynolds sayısı Re=1680 ve Re=26000'de serbest bir akışın olduğu su kanalında gerçekleştirilmiştir. PIV ölçümleri, modellerin yan görünüşü ve üst görünüşü üzerinden anlık vektör ve girdaplanma haritaları, ortalama akış topolojisi, ortalama akış hızları ve ortalama girdap verilerini sağlamıştır.

Küp modellerde yan görünüme bakıldığında modelin ön bölümündeki akış 0,6D yükseklikten ayrılarak kenarlarından hareket ederek dikey simetri düzleminde büyük bir ters akış bölgesi oluşturur. Bu ters akış bölgesinin uzunluğu, model yüksekliğinin yaklaşık olarak 1,5 katı olarak tespit edilmiştir. Küpün üst bölgesinde ve arka bölgesinde iki adet girdap gözlemlenmiştir. Re=1680 durumunda akışın hızının düşük olmasından dolayı diğer girdaplarla birlikte küçük boyutlu bir girdap zemine 0,2D uzaklıkta oluşmuştur.

Küplerin üst görünüşlerine bakıldığında, akışı karşılayan ilk iki küpün iç bölgeye dönük yüzeyleri üzerinde yaklaşık 0,4D konumunda küçük girdap oluşumu gözlemlenmiştir. Altı adet küpün denendiği konfigürasyonlarda ikinci ve üçüncü küp grubunda bu küçük girdaplar tespit edilmemiştir.

İki küp arasında arada yarım küp mesafesi uzaklığın bulunduğu konfigürasyonda akış yönünde olan $< u >$ hızı, akışın daraldığı bölgenin x ekseninde 0,16D uzaklıkta yaklaşık %33 oranında arttığı görülmüştür. Yine iki küp arasında arada bir küp mesafesi uzaklığın olduğu konfigürasyonda akış yönünde olan $< u >$ hızının aynı uzaklıkta %22 arttığı görülmüştür. Bu hız artışının yüksek olduğu yerler, mesafe 2D

olunca ikiye ayrılıp, her küpün iki eksende de 0,5D uzaklığında serbest akış hızına oranla %19'lik artışın olduğu bölgeler olarak görülmektedir.

Altı adet küpün aralarında D mesafesinde üçerli gruplar halinde dizildiği konfigürasyonda akış yönündeki $< u >$ hızının ve $< \omega >$ girdaplanmanın en yüksek olduğu bölge ilk küp sırasının arasındaki bölge olarak tespit edilmiştir. İlk iki küpün arasında kalan bölgede akış eksenindeki hız, serbest akış hızına kıyasla %23 daha yüksektir.

Altı adet küpün aralarında 2D, D, 0,5D mesafesinde yatay "V" deseni şeklinde dizildiği konfigürasyon incelendiğinde düz konfigürasyona kıyasla her küpün içe dönük bölgesinde daha fazla girdaplılık görülmüştür. Akışa dik eksendeki hız bileşeni $< v >$ ikinci ve üçüncü sıradaki küplere düz konfigürasyona göre daha fazla etki etmektedir. Küplerin ikişer gruplar olarak ayrı ayrı incelendiği senaryolardan beklendiği gibi bu konfigürasyonda akış yönündeki $< u >$ hızının en yüksek olduğu bölge 3. Küplerin arasındaki bölge olması beklenirken, akışı karşılayan ilk küplerin arasında kalan bölge olmuştur. Bunun sebebi olarak akışın küplerin yüzeyinde iki bileşene ayrılması gösterilebilir. Buna rağmen ara bölgelerde serbest alanda gelişmiş akışın hızına kıyasla $< u >$ hızında sırasıyla %16, %14, %8'lik artışlar gözlemlenmiştir.

Kare silindirlerin dikey konfigürasyonlarına bakıldığında akış, geometrinin üst ve arka bölgesini kapsayan büyük bir foci oluşturma eğilimindedir. Küp geometrilere kıyasla geometrilerin arkasında kalan ölü akış bölgesi daha yüksek olduğu için gürültü meydana gelme ihtimali artmaktadır. Bu faktörler dışında dikey kare silindirler küplerle benzer özellikler göstermiştir.

Anlık akışların görüntüleri zamana dayalı ortalamalara kıyaslandığında yerleri zamanla değişen ve sayısı ortalamalara göre daha fazla olan rastgele girdaplar gözlemlenmiştir.

Yandan alınan anlık görüntülerde ise modelin alt bölgesindeki akış alanına modelin alt ve üst köşelerinden kaynaklanan bir çift ters dönen girdap hakimdir.

PIV yöntemi ile elde edilen sonuçlar literatür sonuçları ile uyum göstermiştir. Bu çalışmada ulaşılan sonuçların, sayısal çalışmalarda kullanılmakta olan bazı yöntemlerin doğrulanması ve küp ile kare silindirlerin etrafındaki akış temel karakteristiklerinin anlaşılması açısından faydalı olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

[1] Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü "Rüzgar Enerjisi" Erişim Adresi: http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/ruzgar-ruzgar_enerjisi.aspx
Erişim tarihi: 28.05.2019

[2] Wind and Climate Fact Sheet. The Global Wind Energy Council; p. 2012. https://gwec.net/wp-content/uploads/2012/06/Wind-climate-fact-sheet-low-res.pdf
Erişim tarihi: 11.06.2019

[3] Association W. W. E., Wind Power Capacity Worldwide Reaches 597 GW, 50,1 GW added in 2018. 2018. https://wwindea.org/blog/2019/02/25/wind-power-capacity-worldwide-reaches-600-gw-539-gw-added-in-2018/
Erişim Tarihi: 30.05.2019

[4] Holmes, J. D., Wind loading of structures: CRC press; 2018.

[5] Mendis, P., Ngo, T., Haritos, N., Hira, A., Samali, B., Cheung, J., Wind loading on tall buildings. Electronic Journal of Structural Engineering. 2007.

[6] Boldman, D. R., Brinich, P. F., Mean velocity, turbulence intensity, and scale in a subsonic turbulent jet impinging normal to a large flat plate, 1977.

[7] Baskaran, A., Stathopoulos, T., Computational evaluation of wind effects on buildings, Building and Environment;24:325-33. 1989.

[8] Murakami, S., Mochida, A., Three-dimensional numerical simulation of turbulent flow around buildings using the k− ε turbulence model, Building and Environment;24:51-64. 1989.

[9] Martinuzzi, R., Tropea, C., The flow around surface-mounted, prismatic obstacles placed in a fully developed channel flow, Transactions-American Society of Mechanical Engineers Journal of Fluids Engineering;115:85-. 1993.

[10] Stathopoulos, T., Baskaran, B., Computer simulation of wind environmental conditions around buildings, Engineering structures;18:876-85. 1996.

[11] Cheng, Y., Lien, F. S., Yee, E., Sinclair, R., A comparison of large Eddy simulations with a standard k–ε Reynolds-averaged Navier–Stokes model for the prediction of a fully developed turbulent flow over a matrix of cubes, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics;91:1301-28. 2003.

[12] Jiang, Y., Alexander, D., Jenkins, H., Arthur, R., Chen, Q., Natural ventilation in buildings: measurement in a wind tunnel and numerical simulation with large-eddy simulation, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics;91:331-53. 2003.

[13] Nakamura, H., Igarashi, T., Tsutsui, T., Local heat transfer around a wall-mounted cube at 45° to flow in a turbulent boundary layer, International Journal of Heat and Fluid Flow;24:807-15. 2003.

[14] Tutar, M., Oğuz, G., Computational Modeling of Wind Flow Around a Group of Buildings, International Journal of Computational Fluid Dynamics;18:651-70. 2004.

[15] Gao, Y., Chow, W. K., Numerical studies on air flow around a cube, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics;93:115-35. 2005.

[16] Gomes, M. G., Moret Rodrigues, A., Mendes, P., Experimental and numerical study of wind pressures on irregular-plan shapes, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics;93:741-56. 2005.

[17] Zhang, A., Gao, C., Zhang, L., Numerical simulation of the wind field around different building arrangements, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics;93:891-904. 2005.

[18] Yakhot, A., Liu, H., Nikitin, N., Turbulent flow around a wall-mounted cube: A direct numerical simulation, International Journal of Heat and Fluid Flow;27:994-1009. 2006.

[19] Richards, P. J., Hoxey, R. P., Connell, B. D., Lander, D. P., Wind-tunnel modelling of the Silsoe Cube, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics;95:1384-99. 2007.

[20] Rokugou, A., Kiwata, T., Okajima, A., Kimura, S., Yamamoto, H., Numerical analysis of aerodynamic sound radiated from rectangular cylinder, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics;96:2203-16. 2008.

[21] Lim, H. C., Thomas, T. G., Castro, I. P., Flow around a cube in a turbulent boundary layer: LES and experiment, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics;97:96-109. 2009.

[22] Gao, L., Zhang, L. M., Chen, H. X., Two-dimensional simulation of debris flow impact pressures on buildings, Engineering Geology;226:236-44. 2017.

[23] Longo, R., Ferrarotti, M., Sánchez, C. G., Derudi, M., Parente, A., Advanced turbulence models and boundary conditions for flows around different configurations

of ground-mounted buildings, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics;167:160-82. 2017.

[24] Mercer, C. R., Optical measurements for intelligent aerospace propulsion. Optical Diagnostics for Fluids, Solids, and Combustion II: International Society for Optics and Photonics; p. 87-94. 2003.

[25] Hucho, W., Aerodynamics of Road Vehicles. 4-th Edition. Warrendale, Pa: SAE Publication, 1998.

[26] Raffel, M., Willert, C., Kompenhans, J., Particle Image Velocimetry (Translation from the English language edition, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg; p. 1998.

[27] Smits, A. J., Lim, T., Flow visualization, Techniques and Examples. 2000.

[28] Adrian, R. J., Twenty years of particle image velocimetry, Experiments in Fluids;39:159-69. 2005.

[29] Adrian, R. J., Image shifting technique to resolve directional ambiguity in double-pulsed velocimetry. Applied Optics;25:3855-8. 1986.

[30] Keane, R. D., Adrian, R. J., Optimization of particle image velocimeters. I. Double pulsed systems, Measurement science and technology;1:1202. 1990.

[31] Keane, R. D., Adrian, R. J., Optimization of particle image velocimeters: II. Multiple pulsed systems, Measurement Science and Technology;2:963. 1991.

[32] Keane, R. D., Adrian, R. J., Theory of cross-correlation analysis of PIV images, Applied scientific research;49:191-215. 1992.

[33] Willert, C. E., Gharib, M., Digital particle image velocimetry. Experiments in fluids;10:181-93. 1991.

[34] Westerweel, J., Fundamentals of digital particle image velocimetry, Measurement science and technology;8:1379. 1997.

[35] Rockwell, D., Lin, J.-C., Quantitative interpretation of complex, unsteady flows via high-image-density particle-image velocimetry, Optical Diagnostics in Fluid and Thermal Flow: International Society for Optics and Photonics; p. 490-504. 1993.

[36] Rockwell, D., Magness, C., Towfighi, J., Akin, O., Corcoran, T., High image-density particle image velocimetry using laser scanning techniques, Experiments in Fluids;14:181-92. 1993.

[37] Adrian, R. J., Particle-imaging techniques for experimental fluid mechanics, Annual review of fluid mechanics;23:261-304. 1991.

[38] Bellevue, W., Tecplot User's Manual, Amtec Engineering Inc., 2003.

ÖZGEÇMİŞ

1. **Adı Soyadı** : Cemre Polat
2. **Doğum Tarihi** : 03/07/1992
3. **Ünvanı** : Enerji Sistemleri Mühendisi
4. **Öğrenim Durumu** : Lisans

Derece	Bölüm/Program	Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Enerji Sistemleri Mühendisliği	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi	2015

5. **İş Tecrübesi**

Görev Ünvanı	Görev Yeri	Yıl
Şantiye Ofis Sorumlusu	Anet İnşaat Tic. Ve San. Ltd. Şti.	2013
Saha Pano Montaj Mühendisi	SAY Elektromekanik Tic. Ve San. Ltd. Şti.	2017