

T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJELERİ
KOORDİNASYON BİRİMİ

**BİR KANAL İÇERİSİNE ÜST-ÜSTE YERLEŞTİRİLEN ÜÇGEN KESİTLİ
KÜT CİSİMLERİN AKIŞ VE ISI TRANSFERİ
KARAKTERİSTİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

FBA-08-454

Normal Araştırma Projesi

SONUÇ RAPORU

Proje Yürütücüsü:

Yrd. Doç. Dr. Gürsel ÇINAR
Mühendislik Fakültesi / Makina Mühendisliği Bölümü

Araştırmacıların Adı Soyadı
Yrd. Doç. Dr. Sibel GÜNEŞ
Mühendislik Fakültesi / Makina Mühendisliği Bölümü

Temmuz 2010

KAYSERİ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZET	I
ABSTRACT	II
1. GİRİŞ	1
1.1. Genel Bilgiler	1
1.2. Konu ve Önemi	1
1.3. Projenin Amacı ve Kapsamı	2
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
2.1. Yapılan Çalışmalar	3
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	8
3.1 Giriş	7
3.2 Deney Düzenekinin Tanıtılması	7
3.3 Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçümü (PIV) Tekniği ile Akım Hızının Ölçülmesi	9
4. DENEYSEL SONUÇLAR	13
4.1 Giriş	13
4.2. PIV Sonuçları	14
4.3. Üçgen Cisimler Etrafındaki Girdap Oluşum Karakteristikleri	31
4.4. Isı Transferi ve Yüzey Sürtünme Katsayısı Hesabı	33
4.5. Üçgen Cisimler Yerleştirilmiş Kanaldaki Isı Transferi ve Yüzey Sürtünme Katsayısının Kanal Boyunca Değişimi	36
4.6. Üçgen Cisimler Yerleştirilmiş Kanaldaki Isı Transferi İyileştirmesi	39
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	41
KAYNAKLAR	42

ÖZET**BİR KANAL İÇERİSİNE ÜST-ÜSTE YERLEŞTİRİLEN ÜÇGEN KESİTLİ KÜT CİSİMLERİN AKIŞ VE ISI TRANSFERİ KARAKTERİSTİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

Bu çalışmada, akış bölgesine üst üste pozisyonda yerleştirilen, eşkenar üçgen kesitli küt cisimlerin etrafındaki akış yapısı, parçacık görüntülemeli hız ölçme yöntemi (PIV) kullanılarak deneysel olarak incelenmiştir. B, üçgenin taban kenar uzunluğu olmak üzere blokaj oranı 0.13 alınmıştır. Bütün deneylerde, taban kenar uzunluğu $B=20$ mm olan iki adet üçgen kullanılmış olup, üçgenler arası boşluk $W/B=0.75$ ve 1 olmak üzere 2 farklı W/B oranında çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Deneyler Reynolds sayısının 8.0×10^3 - 48.0×10^3 aralığında, kapalı çevrim çalışan bir su kanalında gerçekleştirilmiştir. PIV yöntemiyle model boyunca yatay ve düşey simetri düzlemlerinde; ortalama hız vektör alanları, akım çizgileri ve girdap dağılımları elde edilmiştir. Bu akış özellikleri 4 Hz frekansta, ortalama 200 anlık görüntü ile elde edilmiştir. Çalışmada ayrıca kanal alt duvarı boyunca Nusselt sayısı, sürtünme katsayısı değişimleri elde edilmiş ve sonuçta sağlanan net ısı transferi iyileşme oranları belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: üçgen küt cisim, PIV (parçacık görüntülemeli hız ölçme yöntemi), ısı transferi iyileştirmesi.

ABSTRACT**THE DETERMINATION OF FLUID AND HEAT CHARACTERISTICS OF TRIANGULAR BODIES IN SIDE-BY-SIDE ARRANGEMENT IN A CHANNEL**

In this study, flow over the equilateral triangular bluff bodies in side by side arrangement, was experimentally investigated using particle image velocimetry (PIV) technique. Triangle base edge length B impeding blockage ratio of 0.13 was taken. In all experiments, two triangular prism having the base edge length of $B=20$ mm were used and the distance between prisms was changed between $W/B=0.75$ and 1 for side by side arrangement. The experiments were performed in a closed-circuit water channel in the range of Reynolds number 8.0×10^3 - 48.0×10^3 . The PIV technique provided velocity vector maps, vorticity contours, streamline topology along the model both in vertical and horizontal symmetry planes. The flow characteristics were obtained from averaging 200 images which were acquired at 4 Hz frequency. The variation of nusselt number and friction factor along the channel bottom wall were also obtained and in conclusion the overall enhancement ratios were determined in this study.

Key Words: triangular bluff body, PIV (particle image velocimetry technique), heat transfer enhancement.

1. GİRİŞ

1.1. Genel Bilgiler

Uygulamada, hava akımına maruz kalan cisim ya da yapıların, büyük bir çoğunluğu akım doğrultusuna göre oldukça geniş bir kesit alanı olan küt cisim olarak da isimlendirilen sistemlerdir. Bir akış alanı içerisinde bulunan herhangi bir yapı, aerodinamik kuvvetlerin etkisi altındadır. Bu kuvvetler genel olarak, aerodinamik teori ve deneyleri sonucunda belirlenebilir.

Küt cisimler akış ortamında bir arada bulunduklarında bu cisimler etrafındaki akış yapıları birbirleriyle önemli miktarda karşılıklı etkileşim içerisindedirler. Ancak literatürde yapılan çalışmalarda, genellikle dairesel, kare veya dikdörtgen kesitli küt cisimlerin akış ortamına yerleştirilmiş olduğu durumların incelendiği görülmektedir. Üçgen küt cisimlerle ilgili yapılan çalışmalar ise oldukça az olup daha çok akış karakteristiklerinin incelenmesi ile sınırlı kalmıştır. Bu çalışmada literatürde yapılan çalışmalardan farklı olarak, üçgen geometrilili üst üste pozisyonda küt cisimler incelenerek, hem bunların farklı düzenlenme durumunun etkisi hem de ısı transfer karakteristikleri belirlenerek, sağlayacağı ısı transferi iyileştirmesi araştırılmıştır. Bu çalışma ile böylece küt cisimler etrafındaki akış ve ısı transferi ile ilgili yapılan çalışmalara önemli ölçüde katkıda bulunulmaya çalışılacaktır.

1.2. Konu ve Önemi

İki küt cisim etrafındaki akış, tek küt cisim etrafındaki akışa benzememektedir. Ancak iki küt cisim arasındaki mesafenin çok uzak olduğu durumda benzerlik görülmektedir. Bu cisimlerin birbirlerine çok yakın olarak yerleştirildiği durumlarda bunların karşılıklı etkileşimleri sadece akış biçiminde şiddetli değişimlere neden olmayıp, aynı zamanda tamamıyla yeni akışlara da sebep olmaktadır. Bu ise, umulmadık basınç dağılımlarına, sürüklenme ve kaldırma kuvvetlerine, yoğunlaşmış veya bastırılmış girdap kopmalarına izin vermektedir. Bazı yeni akış biçimleri ve onların değişimleri pek çok araştırmacının ilgisini çekmekte ve bu konunun, pratikteki uygulamaları çeşitli mühendislik ve bilim dallarının ilgi alanında bulunmaktadır. Havacılık mühendisliğinde ikiz kanatların tasarımında, denizcilik mühendisliğinde periskop ve radar direklerinin titreşiminde, inşaat mühendisliğinde ilk önceleri köprü ve ikiz baca yapılarında daha sonraları dalgakıran ve açık denizlerdeki kıydan uzak yapıların dizaynında, elektrik mühendisliğinde çift kondaktörlü yayın hattı titreşimlerinde, makine mühendisliğinde

ısı eşanjör tüplerinin titreşiminde, kimya mühendisliğinde reaksiyon kulelerinin etkileşimlerinde ve bunlara benzer bilim dallarında uygulama alanları bulunmaktadır [1].

1.3. Projenin Amacı ve Kapsamı

Küt cisimler akış ortamında bir arada bulunduklarında bu cisimler etrafındaki akış yapıları birbirleriyle önemli miktarda karşılıklı etkileşim içerisindedirler. Dairesel ve kare kesitli cisimler, akış ortamında en çok incelenen küt cisimlerdir. Bu çalışmada, farklı olarak iki üçgen elemanın üst-üste düzenlemesi için cisimler etrafındaki akış alanı, ısı transferi karakteristikleri incelenmiştir. Deneyler Reynolds sayısının 8.0×10^3 - 48.0×10^3 aralığında, kapalı çevrim çalışan bir su kanalında gerçekleştirilmiştir. PIV yöntemiyle model boyunca yatay ve düşey simetri düzlemlerinde; ortalama hız vektör alanları, akım çizgileri ve girdap dağılımları elde edilmiştir. Bu akış özellikleri 4 Hz frekansta, ortalama 200 anlık görüntü ile elde edilmiştir.

Çalışmada üçgen kesitli küt cisimlerin bulunacağı kanalın alt kısmından sabit yüzey sıcaklığı verilerek, ısı transferi karakteristikleri ve kanal içerisindeki ısı transferi iyileştirilmesi araştırılmıştır. Son yıllarda ısı transferi iyileştirilmesi konusu enerji tasarrufu ve maliyeti açısından araştırmacıların ilgisini çekmektedir. Endüstride ve birçok mühendislik sistemlerinde kanal içerisindeki ısı transferini arttırmak amacıyla pekçok uygulama mevcuttur. İç elemanlar yerleştirilerek ısı transferini iyileştirme, en çok tercih edilen uygulamalardan biridir. Bu amaçla kanal içerisine türbülatorler, şerit elemanlar, kanatlar, vs. yerleştirmek mümkündür. Benzer şekilde, bu çalışmada kanal içerisine laminar alt tabakayı parçalamak amacıyla üçgen kesitli elemanlar yerleştirilerek, kanala alttan sabit yüzey sıcaklığı verilmesi suretiyle ısı transferinde meydana gelecek iyileşme araştırılmış ve kanal alt duvarı boyunca Nusselt sayısı, sürtünme katsayısı değişimleri elde edilmiş ve sonuçta sağlanan net ısı transferi iyileşme oranları belirlenmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Yapılan Çalışmalar

Literatürde akış ortamında dairesel, kare ve dikdörtgen küt cisimlerin üst üste yerleştirilme durumlarında yapılan pek çok çalışma mevcuttur. Serbest akış hız profilinin düzgün kayma akışı şeklinde olduğu bir çalışma, El-Taher [2] tarafından yapılmıştır. Bir çift dairesel silindirin akışa karşı üst-üste olduğu ve serbest akış hız profilinin $U=U_0 (1+k \frac{y}{D})$ şeklinde değiştiği düzgün kaymalı akış durumunda karşılıklı etkileşimlerini incelemiştir. İki silindir arası mesafeye bağlı olarak üç farklı akış karakterini; i) $1.1 < T/D < 1.8$ aralığında iki cisim arasındaki aralık akışı eğimli tipte ve kararsız, ii) $1.8 \leq T/D \leq 2$ aralığında aralıktan geçen akış, eğimli ve kararlı, iii) $T/D \geq 2$ durumunda aralık akışının eğimli olmadığı şeklinde tanımlamıştır. Birinci akış tipinde, silindirler üzerine etki eden sürüklenme kuvveti farklı iki değer arasında gidip gelmektedir. Bu durumda serbest akışın düşük hızlı tarafında olan silindirin maruz olduğu sürüklenme kuvveti, daha düşük ve diğerine göre daha kararlı olmaktadır. İkinci akış tipinde, akış artık kararlı olup düşük hıza maruz olan silindirdeki girdap kopma frekansları diğerine göre daha düşük ve aralık akışı yüksek hıza maruz olan silindir tarafına doğrudur. Daha büyük aralıklı akış durumunda ise, her iki silindire etki eden kuvvetler yaklaşık eşit ve girdap kopmaları düz profilli akış durumdakine benzer şekilde aynı fazdadır.

Zhou ve arkadaşları [3] tarafından yapılan bir çalışmada, üst-üste yerleştirilen iki ve üç silindirin oluşturdukları türbülanslı karmaşık iz bölgesi incelenmiştir. Silindirler arası mesafenin $1.5D$ ve $3D$ olduğu durumlar için iz bölgesindeki ortalama hızları, normal ve kayma gerilmeleri deneysel olarak ölçmüşler ve bunları süperposition hipotezine dayalı hesaplamalardan elde edilen sonuçlarla karşılaştırmışlardır. İz bölgesinde, akışa dik yöndeki Reynolds normal gerilmeleri, küçük aralık/çap oranlarında asimetric olurken, kayma gerilmeleri simetrik kalmaktadır. Bu durumun silindirler arasındaki boşluktan geçen akışın silindirlerin arkasında yönünün sapması ve girdap yapılarının hareketine bağlı olduğunu açıklamışlardır. Zhou [4] tarafından yapılan benzer bir çalışmada da, silindirler arası mesafenin $1.5D$ olduğu durumda, üst-üste düzenlenmiş üç dairesel silindirin etkileşimleri incelenmiştir. Seçilen bu iki cisim arası mesafede, silindirler arkasında oluşan hem dar hem de geniş iz bölgelerinin yapıları araştırılmıştır. Bu durumda, üsteki ve alttaki silindirlerin

arkasında dar iz bölgeleri sırasıyla yukarıya ve aşağıya yönelmiş durumda oluşurken, ortadaki silindirin arkasında geniş bir iz bölgesi mevcuttur.

Bearman ve Wadcock [5] yaptıkları çalışmada, üst-üste yerleştirilen bir silindir çiftinin karşılıklı etkileşimlerinin, bu silindirlerden oluşan girdap caddesine nasıl etki ettiğini, iki silindir arasındaki mesafeye bağlı olarak belirlemişlerdir. Deneyleri, Reynolds sayısının 2.5×10^4 değerinde gerçekleştirmiş olup, basınç dağılımlarının yanı sıra sürüklenme ve kaldırma kuvvetleri ve girdap kopma yapılarını da elde etmişlerdir. İki cisim arası mesafenin bazı konumlarında iki silindirden kopan girdapların, iki farklı girdap yapısı oluşturduğunu ifade etmişlerdir. Bunlardan birinde, önce üstteki silindirin üst tarafından ve alttaki silindirin alt tarafından girdaplar eşzamanlı olarak kopmakta, daha sonra üstteki silindirin alt tarafından ve alttaki silindirin üst tarafında eş zamanlı kopma olmaktadır. Diğer akış tipinde ise, üstteki ve alttaki silindirin üst tarafından olan eşzamanlı girdap kopmalarını, alt taraflarından eşzamanlı kopan girdaplar takip etmektedir.

Alam vd. [6] yaptıkları çalışmada, iki aynı geometrili sabit modellerin üst-üste konumdaki etkileşimlerinin $Re=5.5 \times 10^4$ değerinde test etmişlerdir. Model elemanı olarak, hem dairesel silindir hem de kare prizma kullanmışlar ve iki cisim arası mesafeye bağlı olarak akış karakteristiklerinin değişimini ortaya koymuşlardır. Yapmış oldukları akış gözlemlerini Reynolds sayının 350 değerinde yapmışlar ve bu Reynolds sayısında görülen akış yapılarının 5.5×10^4 değerinde elde ettikleri sonuçları karakterize ettiğini ifade etmişlerdir. Bunun sebebini ise, her iki Reynolds sayısının da tam türbülanslı iz yapısı bölgesinde olduğu şeklinde açıklamışlardır. İki cisim arası mesafenin $1.7D$ değerinde, iki cisim arasından cisimlerin arkasına geçen akışın, silindirlerden birinin arkasına doğru yönlendiğini ve bu nedenle de, birinin arkasında dar, diğerinin arkasında da geniş iz bölgesi olduğunu ifade etmişlerdir. Bearman ve Wadcock [5] tarafından yukarıda ifade edilen iki farklı yapıdaki eş zamanlı girdap kopmalarını, aynı-fazlı (in-phase) ve zıt-fazlı (anti-phase) olarak tanımlamışlar ve zıt-fazlı yapının daha baskın olarak gerçekleştiğini belirlemişlerdir.

Kolar vd. [7] üst-üste duran iki kare modelin, arasındaki mesafenin değişmesi ile etkileşimlerini elde etmişlerdir. Laser Doppler anemometri kullanarak yaptıkları çalışmada, iki cismin arasında görülen aynı-fazlı ve zıt-fazlı akış yapılarının yanı sıra, dar ve geniş iz bölgelerini oluşturarak iki kararlı akış yapısı arasında belirli süreler ile geçişlerin olduğu eğimli akış yapısının özelliklerini de araştırmışlardır.

Literatürde pek fazla olmamakla birlikte üçgen küt cisimlerin daha çok tek başına olduğu durumda çalışmalar mevcuttur. Zhang ve Perot [8], Re sayısının 45000 değeri için bir

üçgen silindir etrafındaki türbülanslı akışı sayısal olarak modellemişlerdir. Çalışmalarında girdap kopmalarını zamana bağlı ve zamandan bağımsız olarak incelemişler ve neticede zamana bağlı çözümlerde elde ettikleri Strouhal sayısı ve zaman-ortalamalı hız profilleri deneysel sonuçlarla iyi bir uyum yakalamıştır. Ancak merkezde simetrik sınır şartı kullanılarak elde edilen zamandan bağımsız çözümlerde zaman-ortalamalı hız profilleri beklenildiği gibi çıkmamıştır. Frank vd. [9] akış ortamına iki üçgen küt cismi ardışık olarak yerleştirilmişler ve çıkışa titreşimli (oscillating) sını şartı uygulayarak, basınç süreksizliğinin girdap kopma frekansı üzerine etkisini incelemişlerdir. Sonuçlar sınır şartı olarak verilen frekansın girdap caddesinin bozulmamış frekansından büyük olması durumunda, girdap kopma frekansı ve genliğinin bu durumdan etkilendiğini ve oluşan girdap caddesinin yapısının değiştiğini bildirmişlerdir. Abbasi vd. [10] Re sayısının 30 (simetrik akış) ve 100 (periyodik akış) değerleri için alt kısmından sabit yüzey sıcaklığı verilen kanal içerisine yerleştirilmiş üçgen kesitli bir küt cisim etrafındaki akış ve ısı transferi karakteristiklerini sayısal olarak incelemişlerdir. Bu çalışmaya benzer şekilde Chattopadhyay [11] aynı geometride Re sayısının 2.0×10^4 - 4.0×10^4 aralığında kanal içerisine üçgen cisim yerleştirilmesiyle meydana gelen ısı transferindeki artışı araştırmıştır. Sonuç olarak, 15% lik bir artış meydana geldiğini, ancak beklendiği gibi yüzey sürtünme katsayısının da arttığını göstermiştir. Du vd. [12] üçgen kesitli küt cismin ortadan ikiye bölünmesiyle ,meydana gelen iki cisim arası mesafenin farklı değerleri için akış yapısını hem sayısal olarak hem de PIV tekniği ile incelemişlerdir. Deneysel sonuçlar ve sayısal sonuçlar birbiri ile iyi bir uyum göstermiş ve sonuç olarak sayısal çalışmalarda küt cisimlerin bulunduğu akış ortamı için RNG $k-\epsilon$ türbülans modelinin uygun olduğu göstermişlerdir. Buresti vd. [13] çapraz akışta Re sayısının 1.2×10^5 değeri için akış ortamına dikey olarak yerleştirilen üçgen elemanın tepe açısının 60° ve 90° olması halinde iz bölgesinde meydana gelen çalkantı karakteristiklerini sayısal olarak araştırmışlardır.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1 Giriş

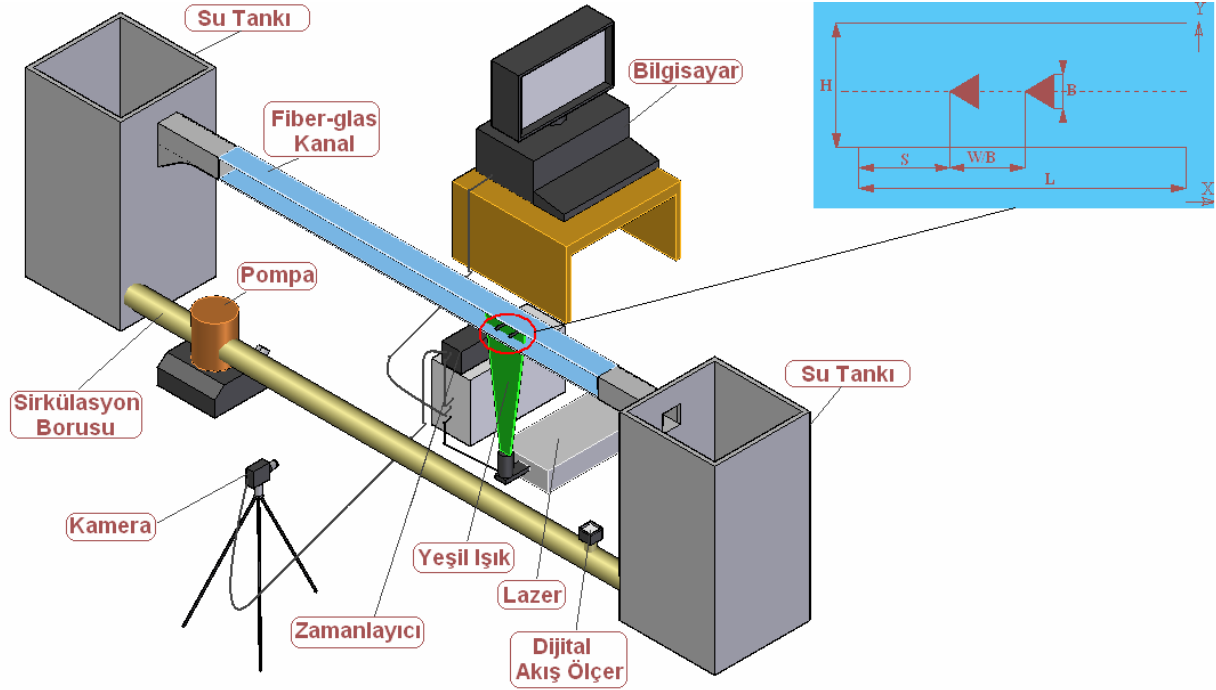
Bu bölümde üstüste düzenlemede yerleştirilen üçgen cisimlerin art iz bölgesinin incelenmesinde kullanılan deney düzeneğinden, deney modellerinden ve akış içindeki yapıların nicel görüntülerinin elde edilmesinde kullanılan deneysel yöntemden söz edilmiştir. İlk olarak deneylerin yapıldığı kanal ve deneyde kullanılan modeller anlatılmıştır. Akışın incelenmesinde kullanılan yöntem olan parçacık görüntülemeli akış ölçüm (PIV) sisteminden söz edildikten sonra verilerin işlenmesinde kullanılan yöntemlerden bahsedilmiştir.

3.2 Deney Düzeneğinin Tanıtılması

Deneyler Erciyes Üniversitesi, Termodinamik laboratuvarındaki kapalı çevrim olarak çalışan Şekil 3.1'deki kapalı kanal düzeneğinde gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.2'de şematik olarak da verilmiş olan kanal düzeneği, iki su haznesi ve bu iki hazneyi birleştiren, 10x15 cm² kesit alana ve 4 m uzunluğa sahip su kanalından oluşmaktadır. Kanal tabanı ve yan duvarlar 15 mm kalınlığındaki saydam pleksiglas malzemeden yapılmış olup, böylece ölçümler için pürüzsüz ve saydam bir yüzey elde edilmiştir. Ayrıca test bölgesinden sonra, üst kısma akışı bozmayacak şekilde yerleştirilen kapak sayesinde cisimler rahatlıkla kanal içerisine yerleştirilmiştir.



Şekil 3.1 Su kanalının genel görüntüsü.



Şekil 3.2 Su kanalının şematik görünümü.



(a)



(b)



(c)

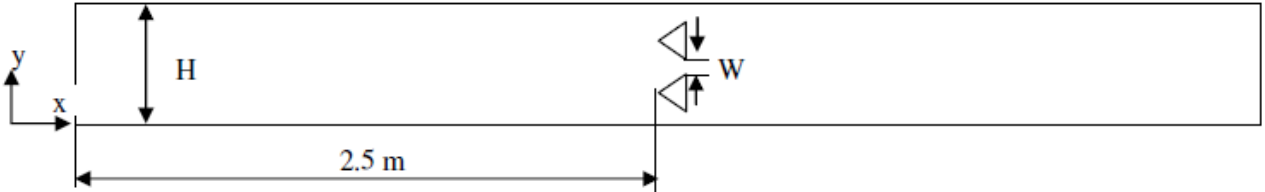
Şekil 3.3. (a)Deneylerde kullanılan türbin tipi debi ölçer, (b)Frekans kontrollü hız ayarlayıcı (c)Pompa.

Kanalda giriş ve çıkış hazneleri arasındaki su çevrimini sağlayan bir pompa kullanılmıştır. Çıkış haznesinden gelen akışkanın debisi, DOĞA firmasından temin edilen 0.95×10^{-3} - $14.2 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ aralığında debi ölçümü sağlayan türbin tipi debi ölçer ile ölçülmüştür. Buradan pompaya ulaştırılan suyun giriş haznesine pompalanmasıyla devirdaim sağlanmıştır. Farklı hızlarda ve debide deney yapabilmek için, pompa devri hız kontrol ünitesi yardımıyla

değiştirilmiştir. (Şekil 3.3) Deneylerde Re sayısının çalışma aralığı $8.0 \times 10^3 - 48.0 \times 10^3$ olarak alınmıştır

Yan duvarların akış karakteristikleri üzerindeki etkisini belirleyen, model boyutlarının test kesit boyutlarına oranını ifade eden **blokaj oranı** göz önüne alınarak, eşkenar üçgen modellerin bir kenarı 20 mm olarak imal edilmiştir. Üçgen cisimlerin yüzeylerinin pürüzlü olmaması ve akış alanını bozmaması için, cisimler derlin malzemedan, CNC tezgahda işlenerek, hassas bir şekilde üretilmiş ve yüzeyleri parlatılmıştır.

Kanal girişinden yaklaşık 2.5 m sonra, akışın üniform olarak geliştiği bölgede ölçümler alınmaya başlanmıştır. Üçgen cisimler akım alanına yerleştirildikten sonra, cisim arka iz bölgesinde 10B mesafelik bir bölge test bölgesi olarak incelenmiştir. B üçgenin taban kenar uzunluğunu, W ise üçgenler arası mesafeyi göstermekte olup, deneyler $W/B=0.75$ ve 1 için Reynolds sayısının $8.0 \times 10^3 - 48.0 \times 10^3$ aralığında yapılmıştır. Üstüste düzenlemede (Şekil 3.4.), cisimler kanalın orta noktasına yerleştirilmiş olup, W/B oranının değiştirilmesi suretiyle ölçümler alınmıştır.



Şekil 3.4 Üçgen cisimlerin kanal içerisine üstüste yerleştirilmesi.

3.3 Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçümü (PIV) Tekniği ile Akım Hızının Ölçülmesi

PIV tekniği ile yapılan hız ölçümlerinde parçacıkların akışkan hareketini takip ettiği düşüncesinden hareketle, akışkan parçacıklar ile beslenir. Hassas bir ölçüm için parçacıkların akış içinde düzgün bir şekilde dağılmış ve akışı düzgün bir şekilde takip ediyor olmaları gerekmektedir. Parçacıklar seçilirken dikkat edilmesi gereken bir başka nokta da parçacıkların ışığı yansıtma özellikleridir. PIV çözümlemeleri sırasında hız alanının doğru bir şekilde hesaplanması, kaydedilen akış alanı görüntülerinin net ve parçacıkların belirgin

olmalarını gerektirmektedir. Bu nedenlerden dolayı da parçacıkların akışı takip edebilecek kadar küçük ve yeterince ışık yansıtabilecek kadar da büyük olmaları gerekmektedir. Bu yüzden deneylerde parçacık olarak $10\mu\text{m}$ çapında cam tozu kullanılmıştır.

PIV sistemindeki ana parçalar; çift dalga boylu ve 135 mJ enerjiye sahip kızıl ötesi radyasyon dalgası gönderebilen çift darbeli Nd:Yag lazer, ölçüm alanında aydınlatılan parçacıkların hareketlerinin yakalanabilmesi için yüksek çözünürlüklü bir CCD (Charge Coupled Device) kamera, bilgisayar sistemi ve lazer kontrol ünitesinden oluşmaktadır.(Şekil 3.5)



(a)

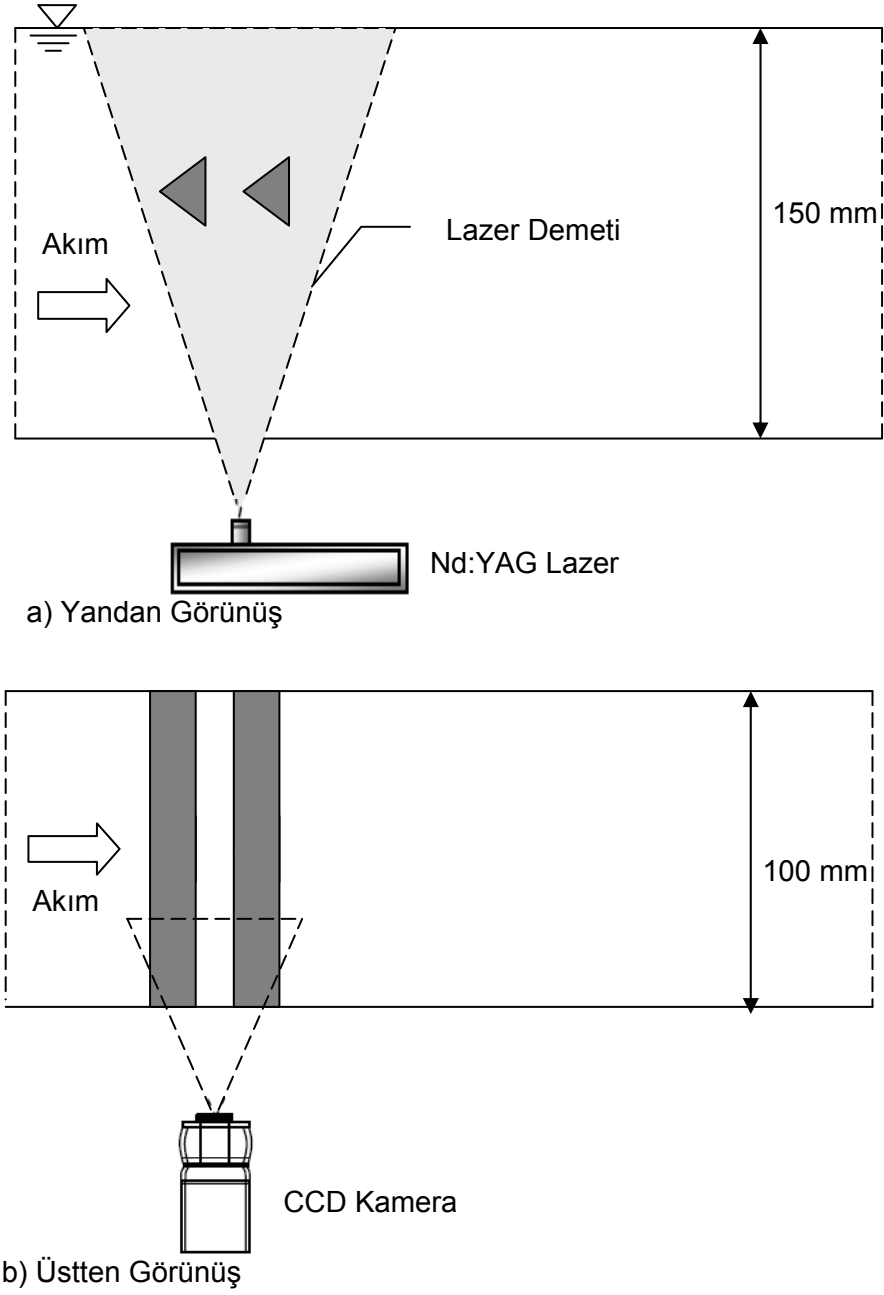


(b)



(c)

Şekil 3.5. PIV sistemini oluşturan ana parçalar (a) Nd Yag Lazer. (b) CCD kamera
(c) Bilgisayar sistemi ve Lazer kontrol ünitesi.



Şekil 3.6. PIV sisteminin deney düzeneği.

Bu çalışmada kullanılan PIV sisteminin deney düzeneği ise Şekil 3.6’da şematik olarak görülmektedir. Kanalın alt kısmına yerleştirilen lazerle, lazere dik bir konumda yerleştirilen kamera sayesinde görüntüler alınmıştır. Lazer demeti test bölgesinin tam orta noktasına getirilmek suretiyle, yan duvarlardan oluşabilecek yansımalar engellenmeye çalışılmıştır. Kamera üzerindeki objektif ise, maksimum ışık geçirgenliğinin sağlanabilmesi için f:2.8 diyafram açıklığına ayarlanarak lazerin aydınlatmakta olduğu düzleme netleştirilmiştir. Ayrıca lazer ışık demetinin yoğunluğu CCD kameranın kayıt etmesine yetecek miktarda yoğun olmalıdır. Işığın yansıması esnasında oluşan sapmalardan çekilen resimin

etkilenmemesi için ise, kameraya gelen ışığın yoğunluğu sistemde oluşan optik gürültü seviyesinin üzerinde alınmıştır.

Test alanının lazer demetiyle aydınlatılması sonucu, lazerin aydınlattığı bölgedeki akıma bırakılmış olan parçacıkların belli zaman aralıklarında resimlerinin çekilmesi ve belirli zaman aralığında çekilen iki resimdeki parçacıkların yer değiştirmesinden hız alanı elde edilmektedir. Çok küçük zaman aralıklarında, yüksek enerji ile parlayabilmesi, silindirik merceklerle ince bir demet haline getirilebilmesi sebebiyle test alanının aydınlatılmasında lazer kullanılması tercih edilen bir yöntemdir. Burada 532 nm'lik çift dalga boyuna sahip kızıl ötesi radyasyon dalgası gönderebilen, her parlamada 135 mJ enerjiye sahip, 1.5 mm kalınlığında lazer demeti gönderen, çift darbeli Nd:Yag lazeri kullanılmıştır. Ölçüm alanında aydınlatılan parçacıkların hareketlerinin yakalanabilmesi için yüksek çözünürlüklü bir CCD (Charge Coupled Device) kamera, lazer demetine dik bir pozisyonda yerleştirilmiştir. Lazer parlaması ve kamera senkronize bir şekilde çalışmakta böylece lazer demetinin birinci anlık parlaması kamerada birinci kareye, ikinci parlaması da ikinci kareye kaydedilmekte ve ikinci kayıttan sonra her iki kare de bilgisayara aktarılmaktadır. Lazerin her iki anlık parlaması arasında geçen süre Re sayısına göre değişmiştir. Çünkü yüksek Re sayılarında parçacıkların hareketi daha zor gözlenebilmekte ve dolayısıyla iki anlık parlama arasında geçen süre (time between pulses) daha düşük seçilmiştir. Re sayısının 48000 değerinde iki parlama arasındaki süre 2000 seçilirken, Re=40000 için 4000, Re=32000 için 6000, Re=24000 için 6700, Re=16000 için 10000 ve Re=8000 için de 20000 olarak alınmıştır. Her bir tetikleme hızı (trigger rate) ise 4Hz seçilmiştir. Kameradan aktarılan anlık resimler bilgisayar içerisindeki bir resim karesi yakalayıcı ile okunmuş ve dijital resim dosyası formatında (TIFF) hafızaya kaydedilmiştir. Bu dijital resimlerin işlenmesi ve analizi DANTEC PIV sistemi içerisinde yer alan yazılım ile gerçekleştirilmiştir. Her bir bölgede toplam 200 anlık görüntü kaydedilmiştir. DYNAMIC STUDIO yazılımından elde edilen ham vektör alanlarının işlenmesi, sorgulama alanı içerisindeki sınırların belirlenmesi, yansımadan ve gölgelenmeden oluşan kötü vektörlerin ayıklanmasından sonra, hız dağılımları, akım çizgileri ve girdap oluşumları elde edilmiştir. Ayrıca hareketin periyodik ve rastgele bileşenlerine efektif bir biçimde ayrıştırılmasını sağlamak için POD analizi yapılmıştır. POD yaklaşımı hareketin salınan kısmını enerji seviyelerine göre ayrıştırmaktadır. Bunun sonucunda, cisimler arkasında oluşan girdaplarla önem kazanan Strouhal sayısı incelenmiştir. Frekansların tespiti sonucu incelenecek olan Strouhal sayısı;

$$St = f_s \cdot B / U \quad (3.1)$$

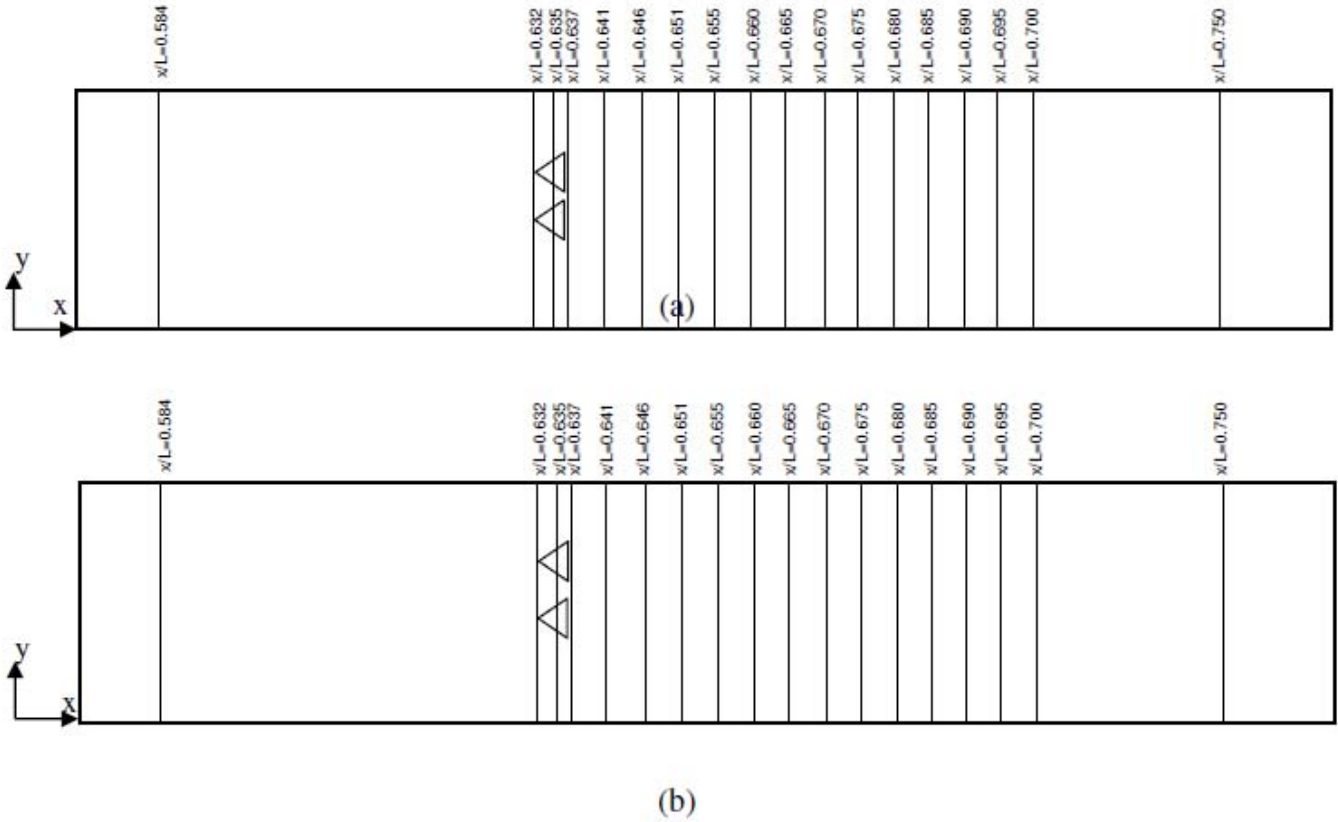
olarak tanımlanır ve akımın kararsızlığından gelen yerel ivme kuvvetlerinin, akışkan kütlelerinin bir noktadan başka bir noktaya hareketi sırasında hızının değişmesinden gelen konvektif ivme kuvvetlerine oranını ölçer. Burada f_s cismin bir kenarından kopan girdapların kopma frekansını, B modelin taban kenarını ve U ise ortalama hızı göstermektedir.

Yukarıda açıklandığı gibi, PIV'nin çalışma prensibini test alanı içerisinde aydınlatılan parçacıkların yer değiştirmesinin tespiti olarak özetlemek mümkündür. Bu yer değiştirmenin belirlenmesinde en çok kullanılan yöntemler parçacık izleme ve korelasyondur. Bu çalışmada, parçacıkların yer değiştirmesinin hesabı 64x64 sorgulama ekranı ile korelasyon tekniği kullanılarak yapılmıştır.

4. DENEYSEL SONUÇLAR

4.1. Giriş

Proje kapsamında gerçekleştirilmiş olan kanal içerisindeki üstüste üçgen yerleşim düzeninde altı farklı Reynolds sayısı ($Re=8000, 16000, 24000, 32000, 40000$) ve 2 farklı üçgenler arası mesafe için ($W/B=0.75, 1$) yapılmış olan deneysel sonuçlar aşağıda verilmiştir. Hem sayısal hem de deneysel çalışma sonucunda elde edilmiş olan farklı x/L' ler için kanal kesitindeki zaman ortalama hız dağılımları $W/B=2$ için Şekil 4.2 -Şekil 4.7 arasında verilmiştir. Şekillerden de görülebileceği gibi deneysel sonuçlarla sayısal çalışmalar sonucunda elde edilmiş olan değişik x/L' lerdeki kanal kesitindeki zaman ortalama hız dağılımları iyi bir uyum göstermiştir. Bu sonuç seçilen sayısal metodun ve ağ yapısının verdiği sonuçların doğruluğunu da göstermektedir. Şekillerin yorumlanmasında kullanılacak olan x/L değerlerinin her bir W/B oranı için inceleme bölgesindeki konumları Şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Üstüste düzenleme için x/L değerlerinin inceleme bölgesindeki konumları
(a) $W/B=0.75$, (b) $W/B=1$

4.2. PIV Sonuçları

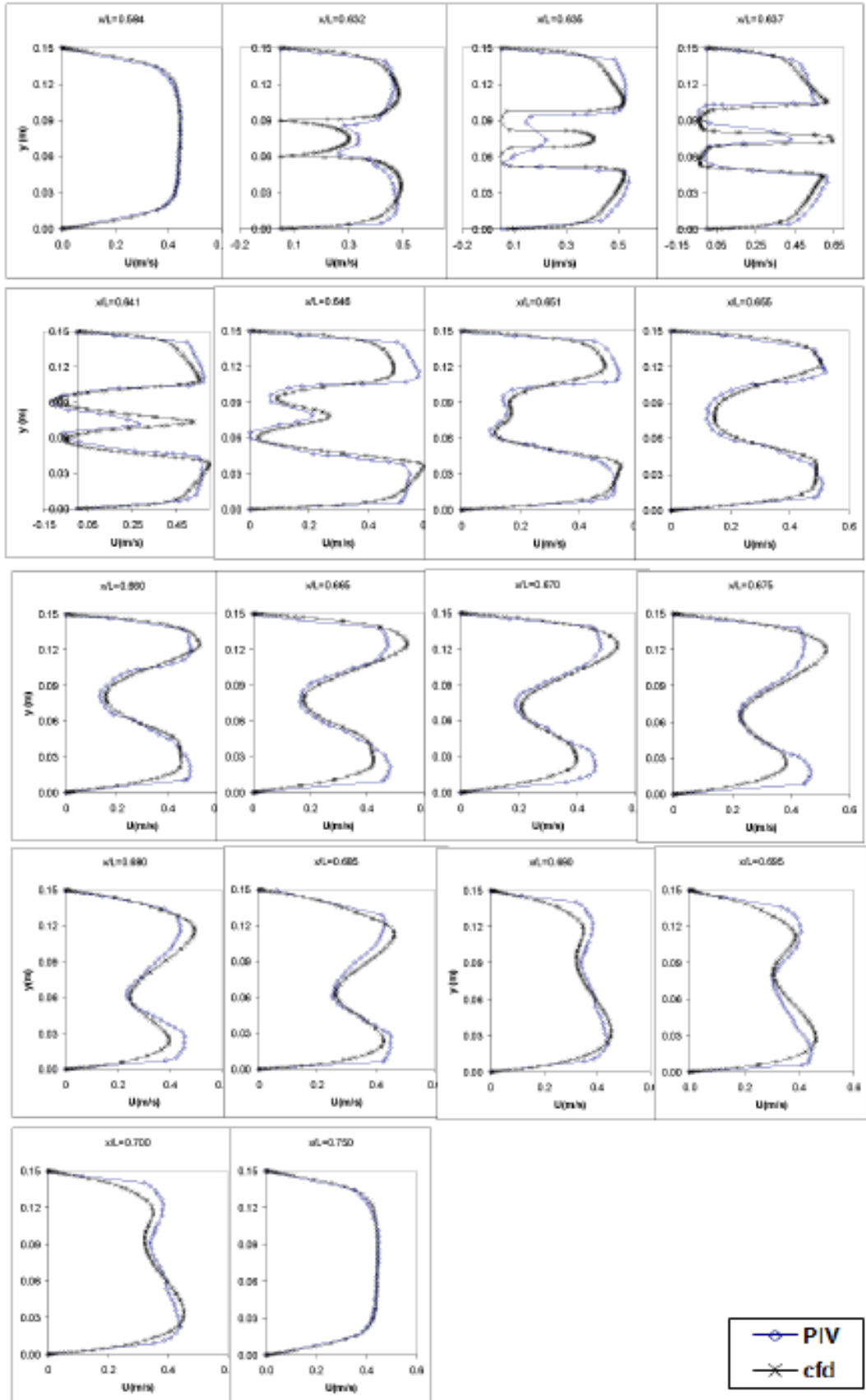
Üst üste yerleştirilmiş üçgenler için farklı x/L kesitlerindeki zaman ortalama hız profilleri iki farklı W/B oranı ($W/B=0.75$ ve $W/B=1$) için Şekil 4.2-4.13'te verilmiştir. Şekil 4.2- 4.7'de $W/B=0.75$ için farklı Reynolds sayılarındaki zaman ortalama hız profilleri değişik x/L kesitleri için verilmiştir. Şekil 4.1'e bakacak olursak x/L kesitinin bulunduğu noktaları görebiliriz. Akış inceleme bölgesine gelişmiş olarak girmektedir. Akışkan üçgenlerin uç noktalarına ile $x/L=0.632$ kesitinde temas etmektedir ve şekil Şekil 4.2- 4.7'den de görülebileceği gibi bu noktalarda ($y=0.0575$ ve $y=0.0875$) zaman ortalama hız değerleri sıfır olmaktadır. Üçgenlerin orta kısmında ($x/L=0.635$) üçgenlerin bulunduğu kesitte zaman ortalama hız değerleri sayısal olarak sıfır hesaplanmış deneysel olarak ise biraz sapma görülmüştür. Bu durumun kullanılan kameranın çözünürlüğünün yeterince yüksek olmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Üçgenlerin hemen arkasındaki iz bölgelerinde ($x/L=0.637$) zaman ortalama hızlar negatif değer almakta gerek iki üçgen arasında gerekse üçgenlerle duvar arasındaki bölgelerde ise jet akışı sebebiyle zaman ortalama hız değerleri kesit boyunca aniden artmakta ve duvarlarda sıfır değerini almaktadır. $x/L=0.641$ 'den itibaren inceleme bölgesinin sonuna kadar akış gelişmekte ve inceleme bölgesini gelişmiş akış olarak terk etmektedir. Şekil 4.8-4.13'te ise $W/B=1$ için Üst üste yerleşim düzeni için 6 farklı Reynolds sayısındaki değişik x/L kesitlerindeki zaman ortalama hız profilleri verilmiştir. $W/B=1$ durumu da karakteristik olarak $W/B=0.75$ ile benzerlik göstermektedir sadece zaman ortalama hız değerlerinin almış oldukları sıfır değerinin konumu, üçgenlerin konumu değiştiği için değişmiştir.

Akansu [1] tarafından yapılan çalışmada üstte kare silindir ve altta dairesel silindirin bulunduğu üst üste yerleşim düzeni için iki cisim arasındaki mesafeye bağlı olarak hızdaki azalmalar ve iz bölgesinin değişimi verilmiştir. $T/D=1$ konumunda yani cisimler temas halindeyken hız dağılımı sanki tek bir cismin arkasındakine benzer bir yapıdadır. İki cismin birbirinden uzaklaşmaya başlaması ile hız dağılımının şekli değişmekte ve $T/D=1.75$ konumuna gelindiğinde iki cisim arasından olan akışın dairesel silindirin arkasına doğru yönelmiş olduğu anlaşılmaktadır. T/D 'nin daha da artmasıyla iki cisim arasındaki hız artmakta ve $T/D=4.25$ konumuna gelindiğinde her iki cismin arkasındaki hız dağılımları, tek olarak bulundukları durumdaki hallerini almaktadır. Benzer durum, Akilli vd. [14] tarafından gerçekleştirilen deneysel çalışmada, iki dairesel silindirin üst üste yerleştirildiği durum için de gözlemlenmiştir. Bu çalışmada da silindirler arası mesafe arttıkça, cisimler arası oluşan jet

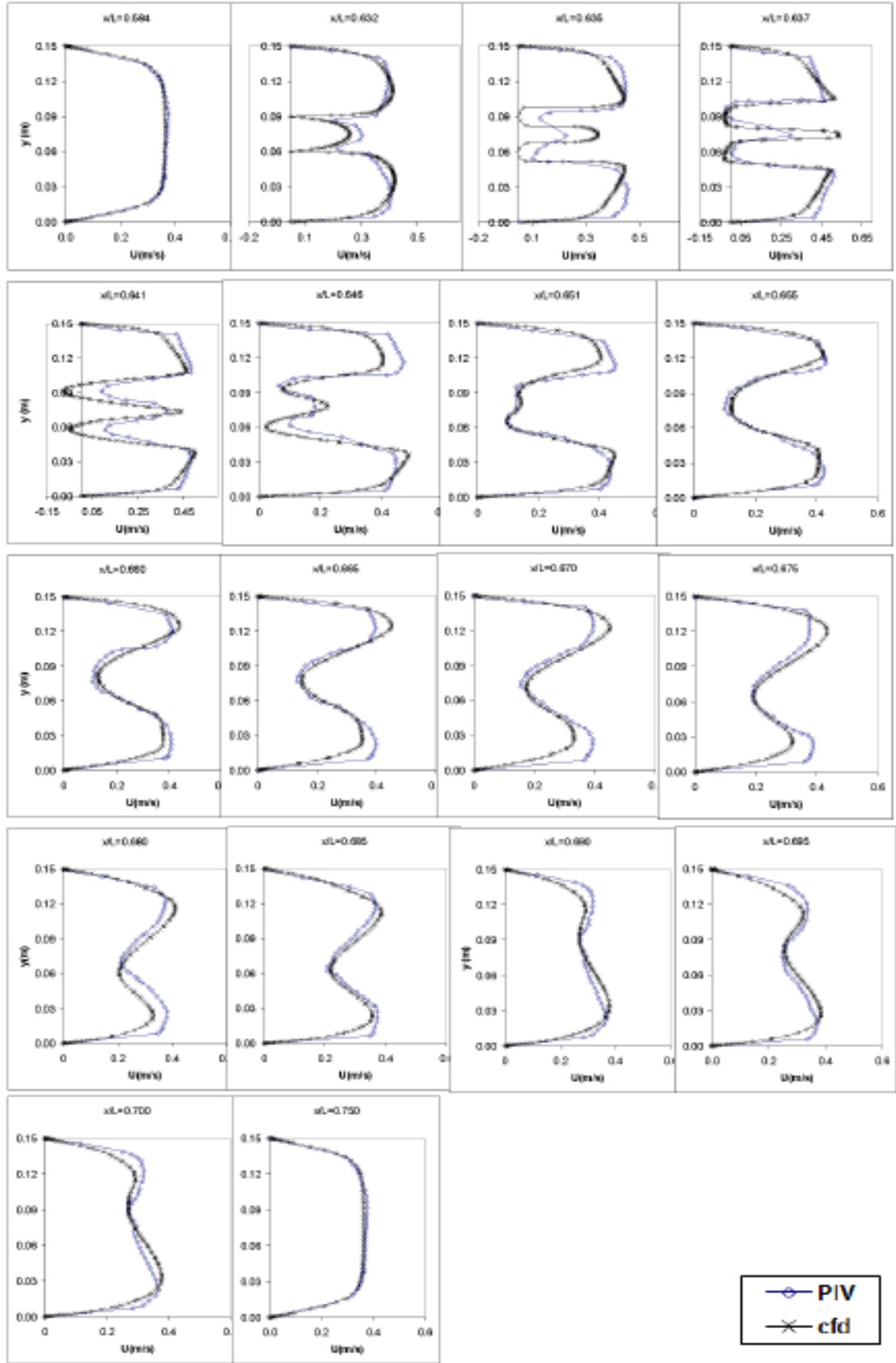
akışı birbirinin iz bölgesini etkilememiş ve neticede her iki cisim için de ayrı ayrı belirgin iz bölgeleri gözlemlenmiştir. Yapılan bu proje çalışmasında ise amaçlardan biri ısı transferini iyileştirmek olduğu için cisim boyutları, laminar alt tabakayı parçalamak için büyük seçilmiş ve sonuç olarak kanal içerisinde ancak $W/B= 0.75$ ve 1 konumlarında deneyler gerçekleştirilebilmiştir. Bu nedenle üst üste düzenlemede cisimler arası mesafenin artması ile oluşacak farklı iz bölgesi yapıları gözlenememiştir.

Sekil 4.14'de üst üste yerleştirilmiş üçgen küt cisimler için zaman ortalama hız vektörleri verilmiştir. Bütün durumlarda üst üste yerleştirilmiş üçgenler arası mesafenin iki üçgenin birbirinden bağımsız iki farklı üçgen gibi davranmasını sağlayacak kadar büyük olmadığından iz bölgelerinin birbirleri ile etkileştiği görülmüştür. Üst üste yerleştirilmiş küt cisimler arası boşluğun yeterince büyük olduğunda iki küt cisminde bağımsız iz bölgelerine sahip oldukları Akilli vd. [14] ve Meneghini vd. [15] tarafından verilmiştir.

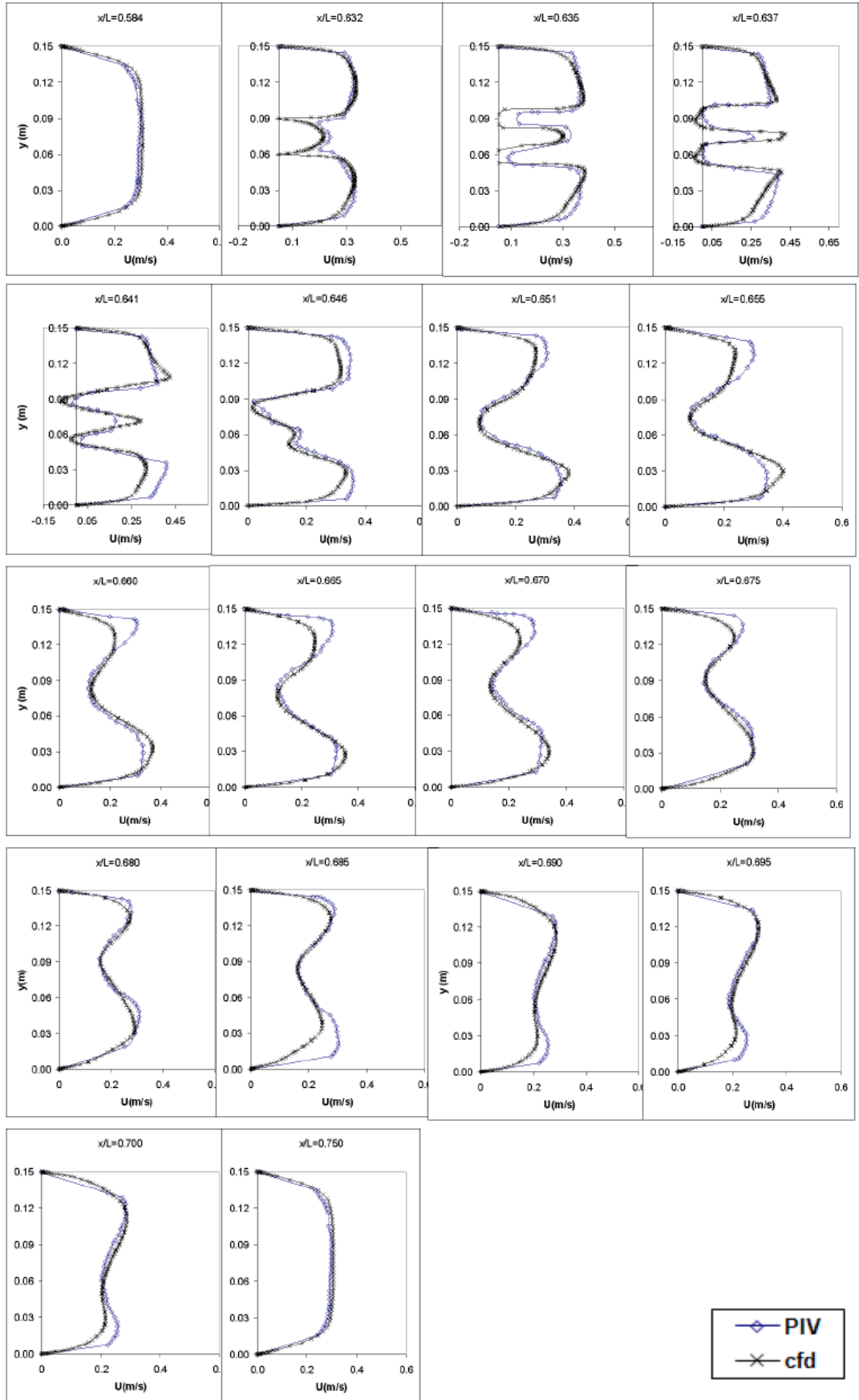
Sekil 4.15'te üst üste yerleştirilmiş üçgenler için 2 farklı W/B oranı ve 6 farklı Reynolds sayısı için deneysel olarak elde edilmiş zaman ortalama girdap alanları verilmiştir. $W/B=0.75$ durumu için 32000'den küçük Reynolds sayılarında alttaki üçgenin alt ucunda oluşan girdap alanı uzunluğu oluşan diğer girdap alanlarından daha büyük olarak bulunmuştur (Sekil 4.15 e-f). $W/B=1$ ve Reynolds sayısı 8000 için (Sekil 4.15f) alttaki üçgenin alt ucu ve üstteki üçgenin üst ucu yani üçgenlerin kanal duvarı kısmındaki uçları ile üçgenlerin arasından gerçekleşen akışın her iki tarafındaki uçlarından oluşan girdap yapıları simetrik bir yapıdadır. Reynolds sayısı arttıkça bu simetrik yapı bozulmuştur. Bu durum zaman ortalama hız vektörü grafiklerinden de görülebilmekte Reynolds sayısı 8000 ve $W/B=1$ (Sekil 4.14 f) için iz bölgesi simetrik bir yapıda Reynolds 16000 ve 24000'de (Sekil 112 d,e) iz bölgesi simetrik değildir. Reynolds sayısı 32000 ve daha büyük ise simetriklik yeniden gözlenmiştir (Sekil 4.14 a-c). Sekil 4.16'da üst üste durumunda iki farklı W/B oranında ($W/B=0.75$ ve 1) kanal içerisine yerleştirilmiş üçgen küt cisimler için deneysel olarak elde edilmiş olan zaman ortalama akım çizgilerinin dağılımı verilmiştir. Daha önceki sayısal olarak elde edilmiş olan zaman ortalama hız vektörleri grafiklerinden de görüldüğü gibi iki üçgen arasından akış gerçekleşmiş ve bu akış bazen aşağı bazen de yukarı yönde olmuştur. Bu durumu üst üste iki silindir için çalışmalar yapmış olan Kim ve Durbin [16] açıklamış akışın yönünün her iki tarafa da gerçekleşebileceğini belirtmişlerdir. Üst üste yerleştirilmiş iki küt silindir etrafındaki akışı inceleyen Akilli vd. [14] ve Meneghini vd. [15] iki cisim arasındaki mesafe arttıkça cisimler tek bir cisimlerin tek bir cisim gibi davranacağını belirtmişlerdir. Bu çalışmada kullanılmış olan W/B oranları bu farklılaşma için yeterli olamamıştır. Bunun için daha büyük W/B oranlarında çalışma yapmak gerekmektedir.



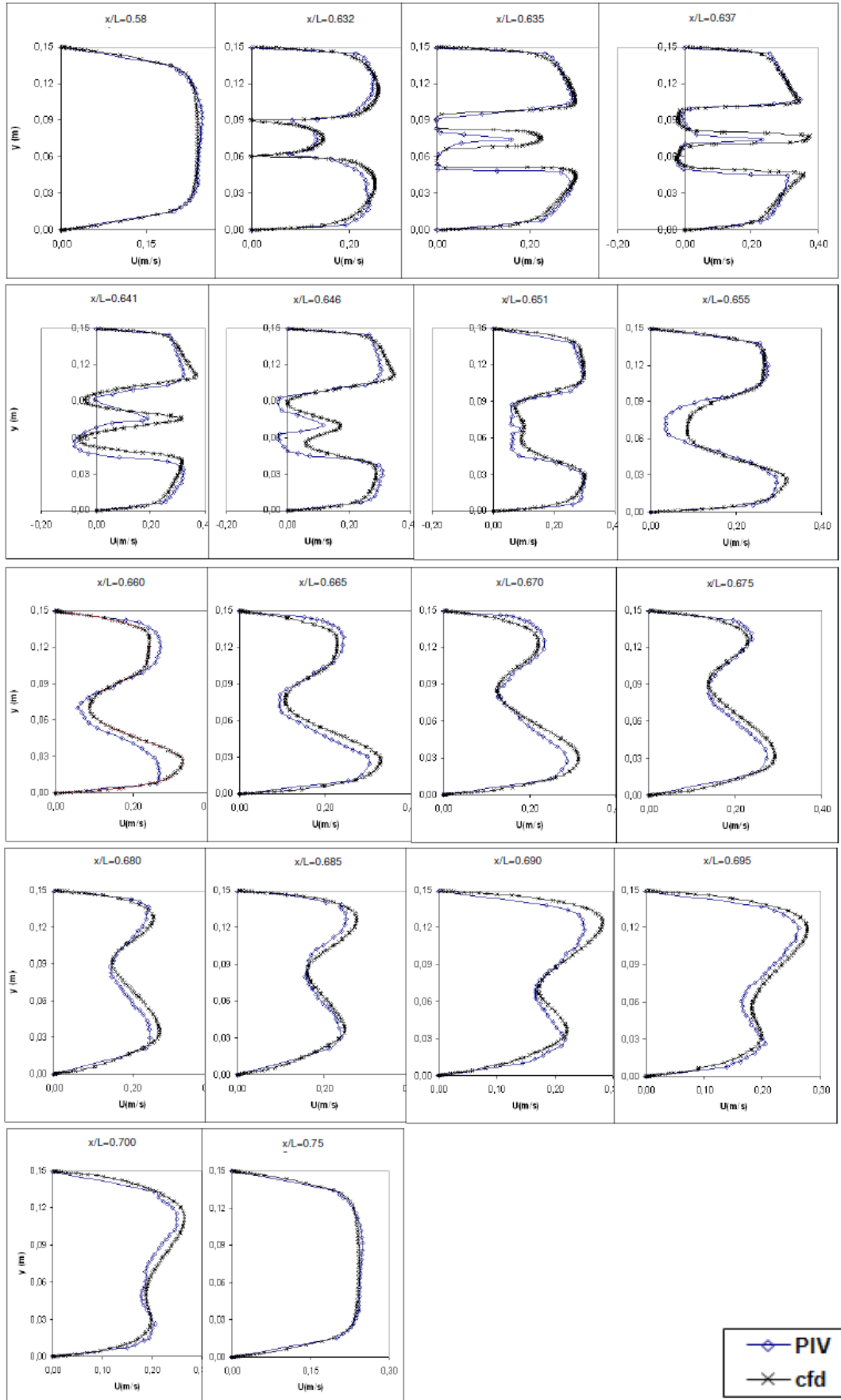
Şekil 4.2. Üstüste düzenlemede $Re=48000$ için, farklı x/L mesafelerine ait zaman ortalama hız profilleri ($W/B=0.75$).



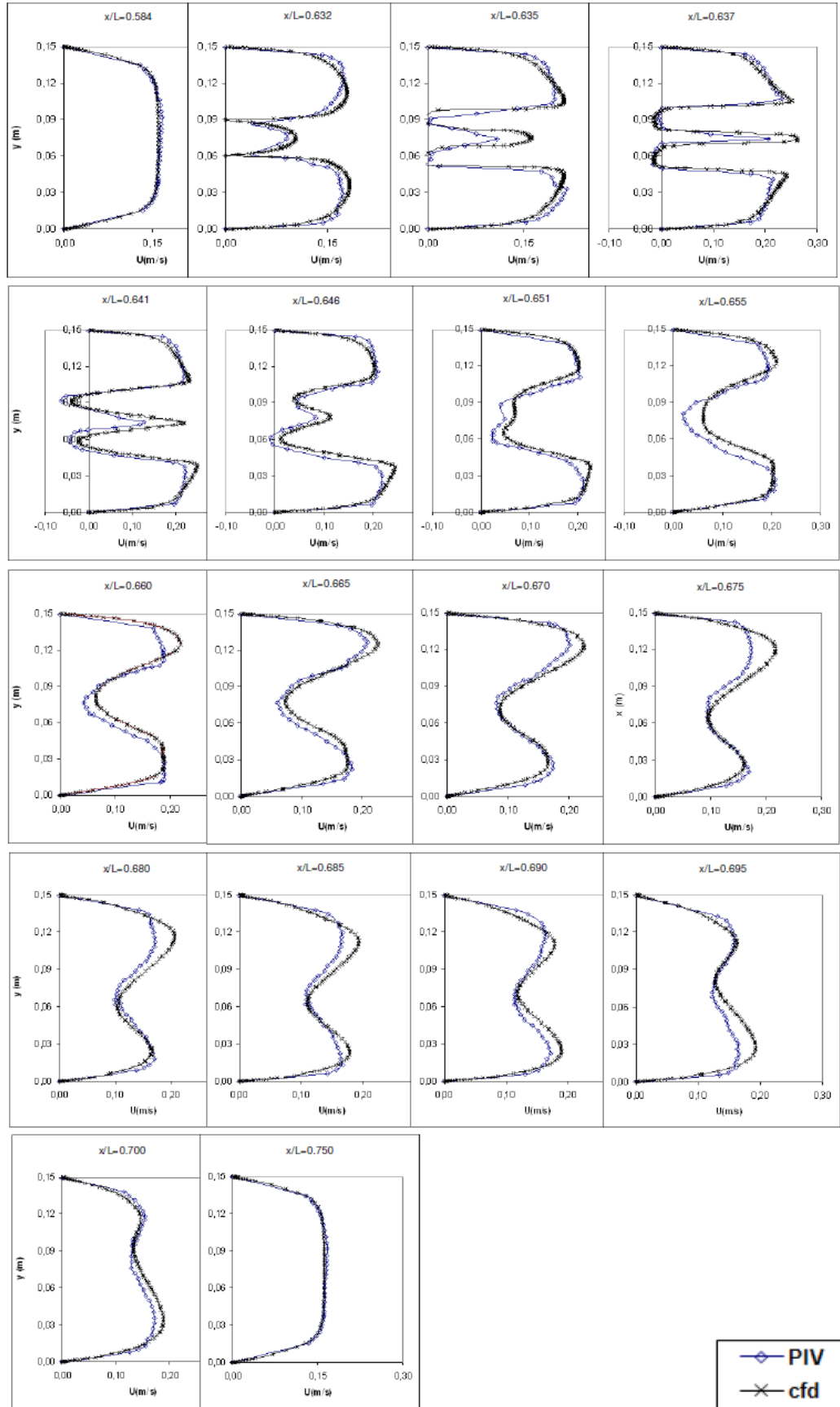
Şekil 4.3. Üstüste düzenlemede $Re=40000$ için, farklı x/L mesafelerine ait zaman ortalama hız profilleri ($W/B=0.75$).



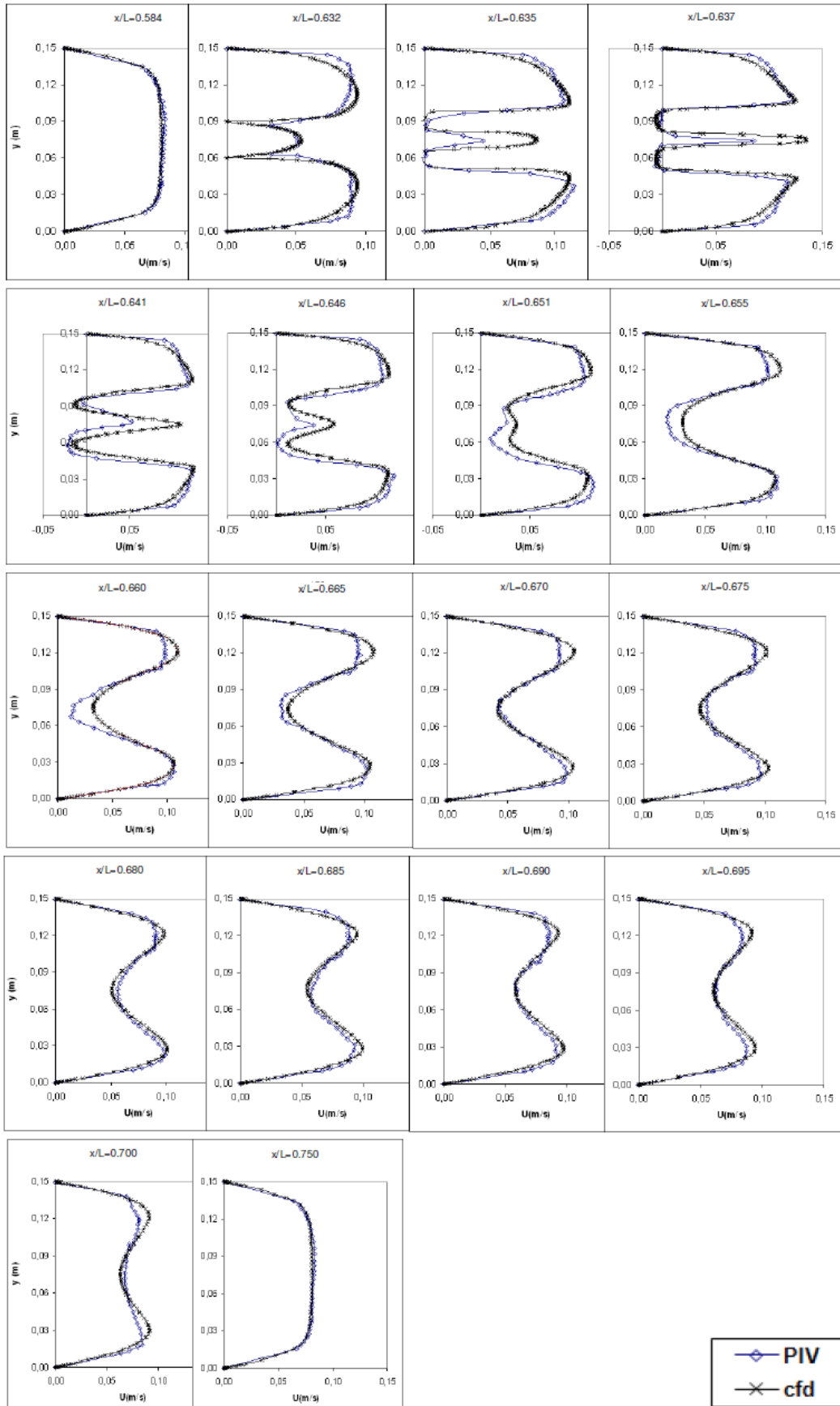
Şekil 4.4. Üstüste düzenlemede $Re=32000$ için, farklı x/L mesafelerine ait zaman ortalama hız profilleri ($W/B=0.75$).



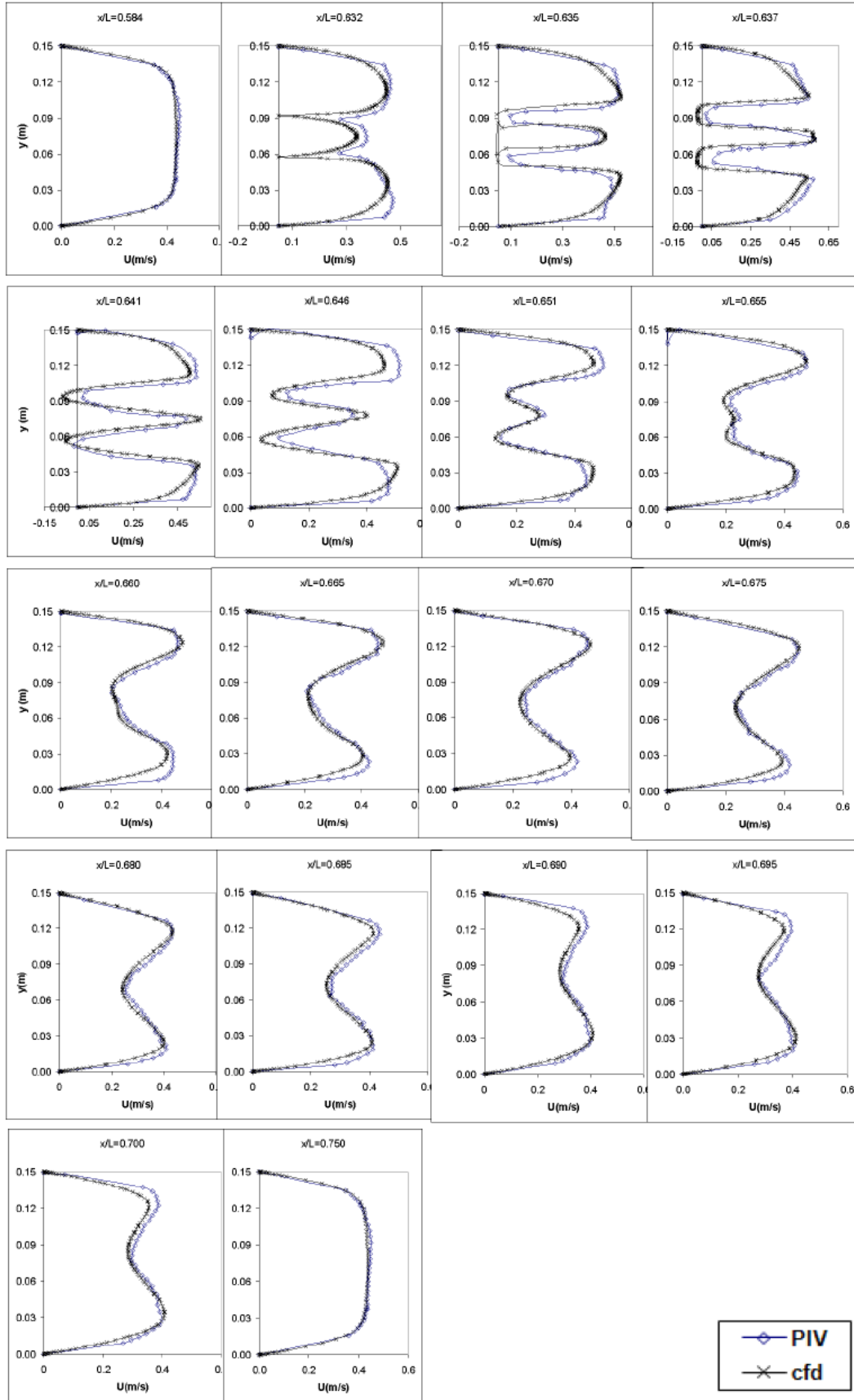
Şekil 4.5. Üstüste düzenlemede $Re=24000$ için, farklı x/L mesafelerine ait zaman ortalama hız profilleri ($W/B=0.75$).



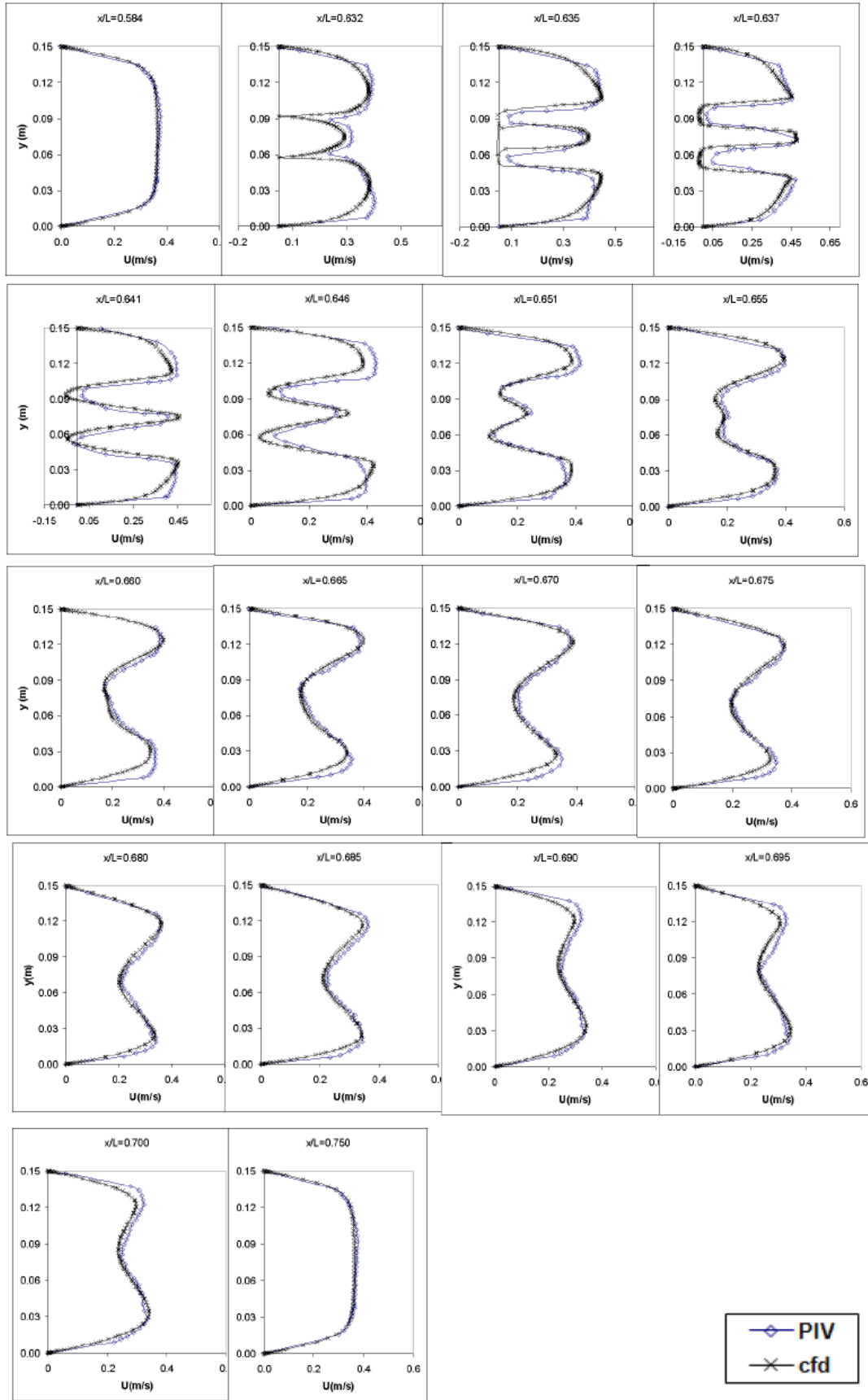
Şekil 4.6. Üstüste düzenlemede $Re=16000$ için, farklı x/L mesafelerine ait zaman ortalama hız profilleri ($W/B=0.75$).



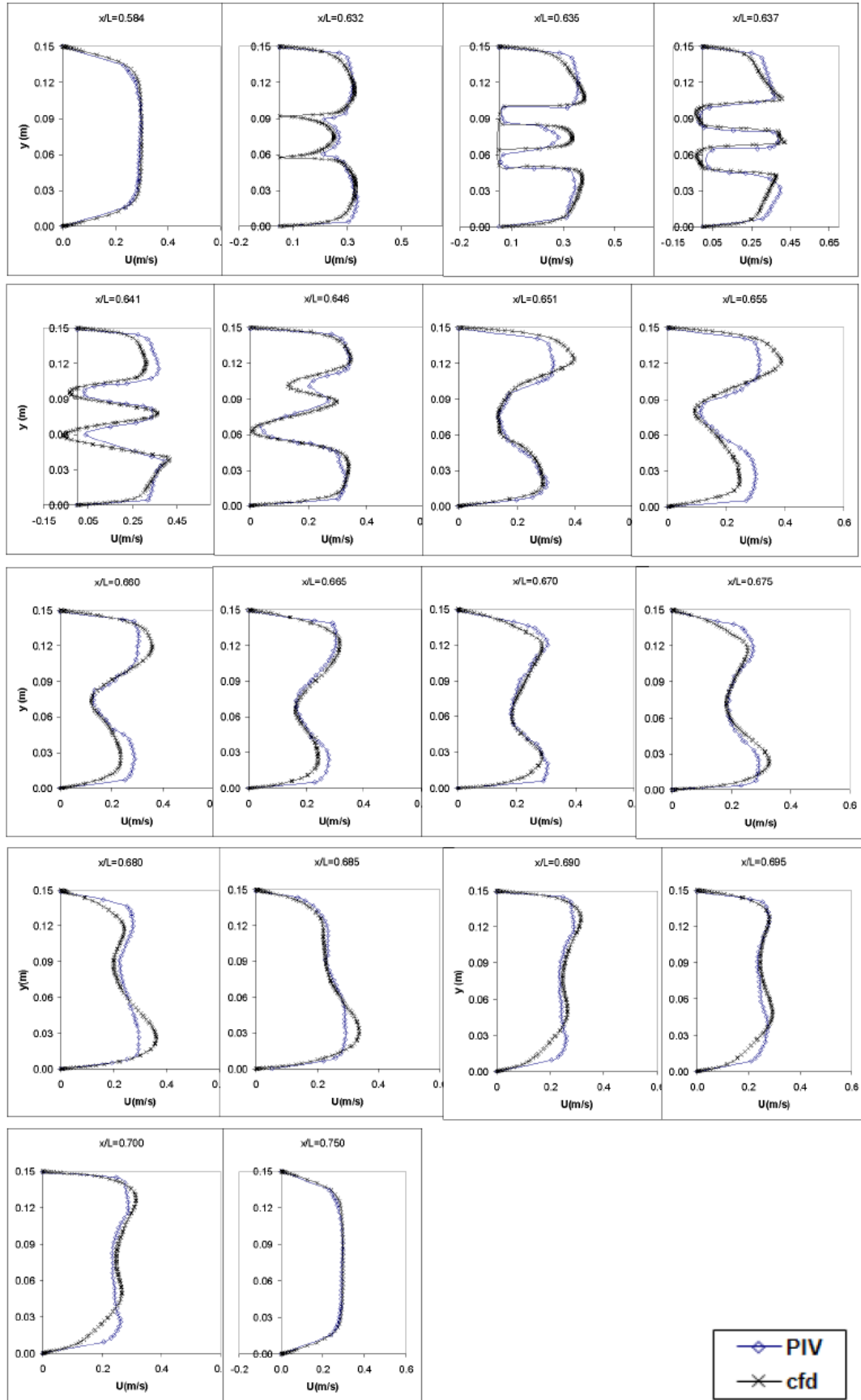
Şekil 4.7. Üstüste düzenlemede $Re=8000$ için, farklı x/L mesafelerine ait zaman ortalama hız profilleri ($W/B=0.75$).



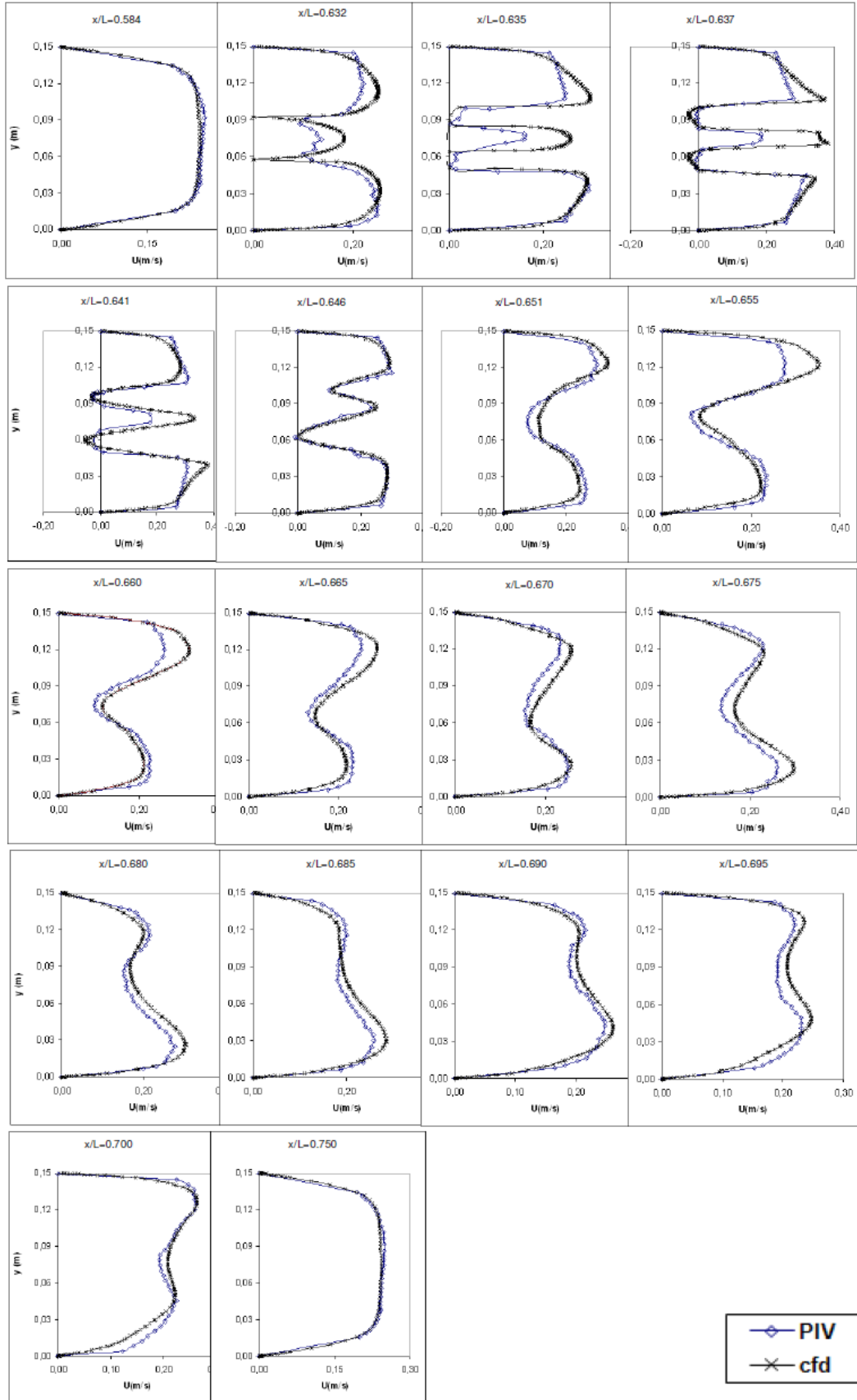
Şekil 4.8. Üstüste düzenlemede $Re=48000$ için, farklı x/L mesafelerine ait zaman ortalama hız profilleri ($W/B=1$).



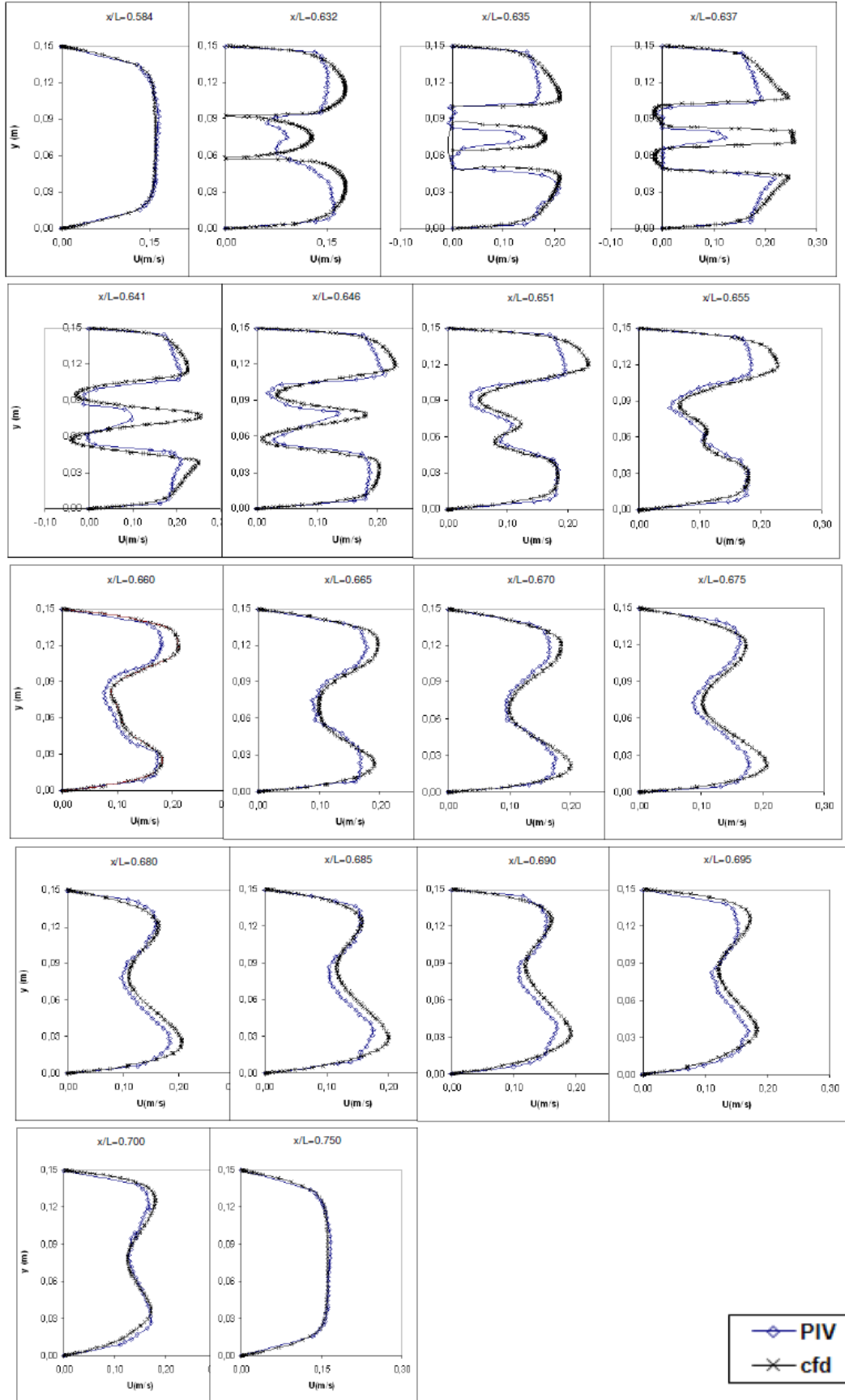
Şekil 4.9. Üstüste düzenlemede $Re=40000$ için, farklı x/L mesafelerine ait zaman ortalama hız profilleri ($W/B=1$).



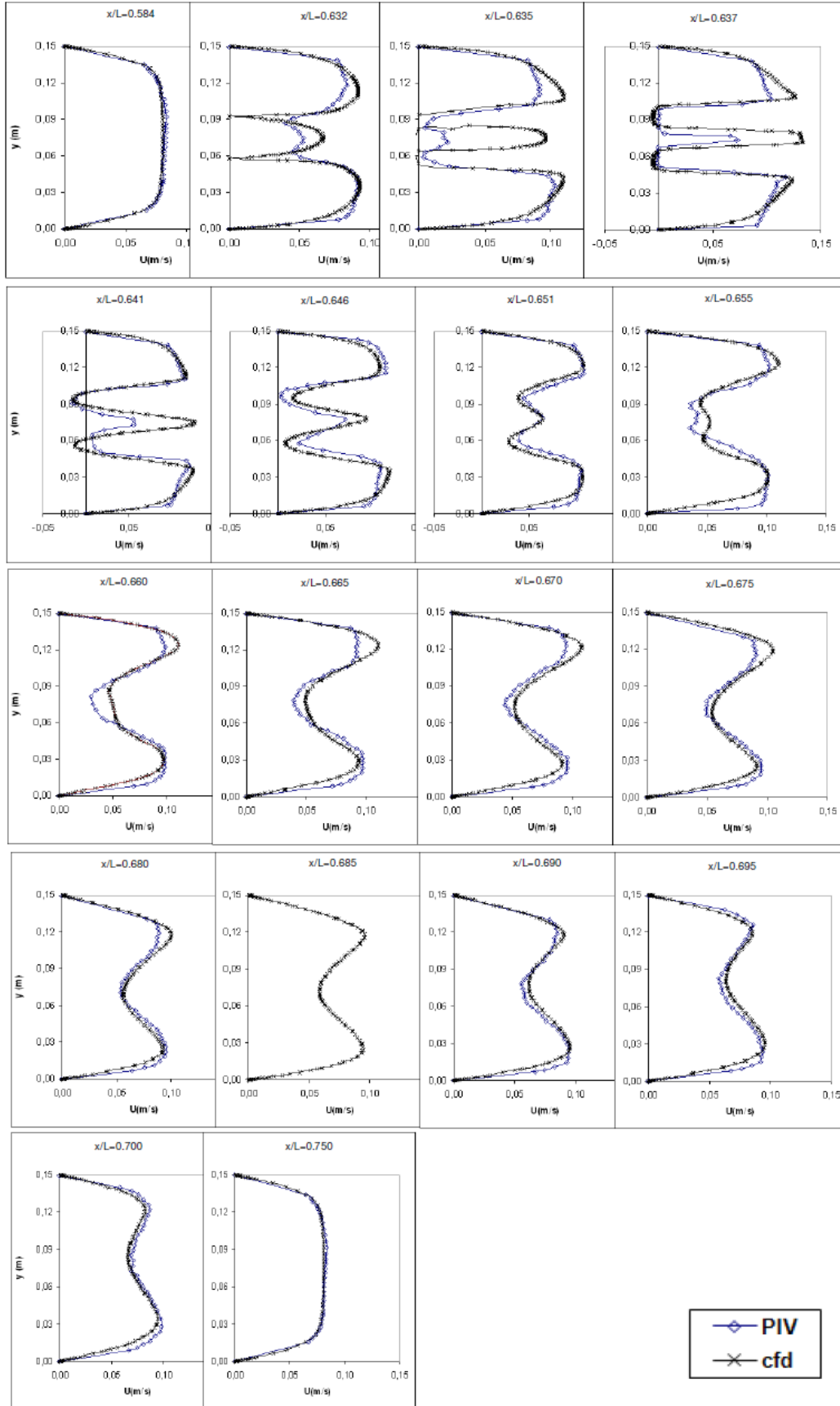
Şekil 4.10. Üstüste düzenlemede $Re=32000$ için, farklı x/L mesafelerine ait zaman ortalama hız profilleri ($W/B=1$).



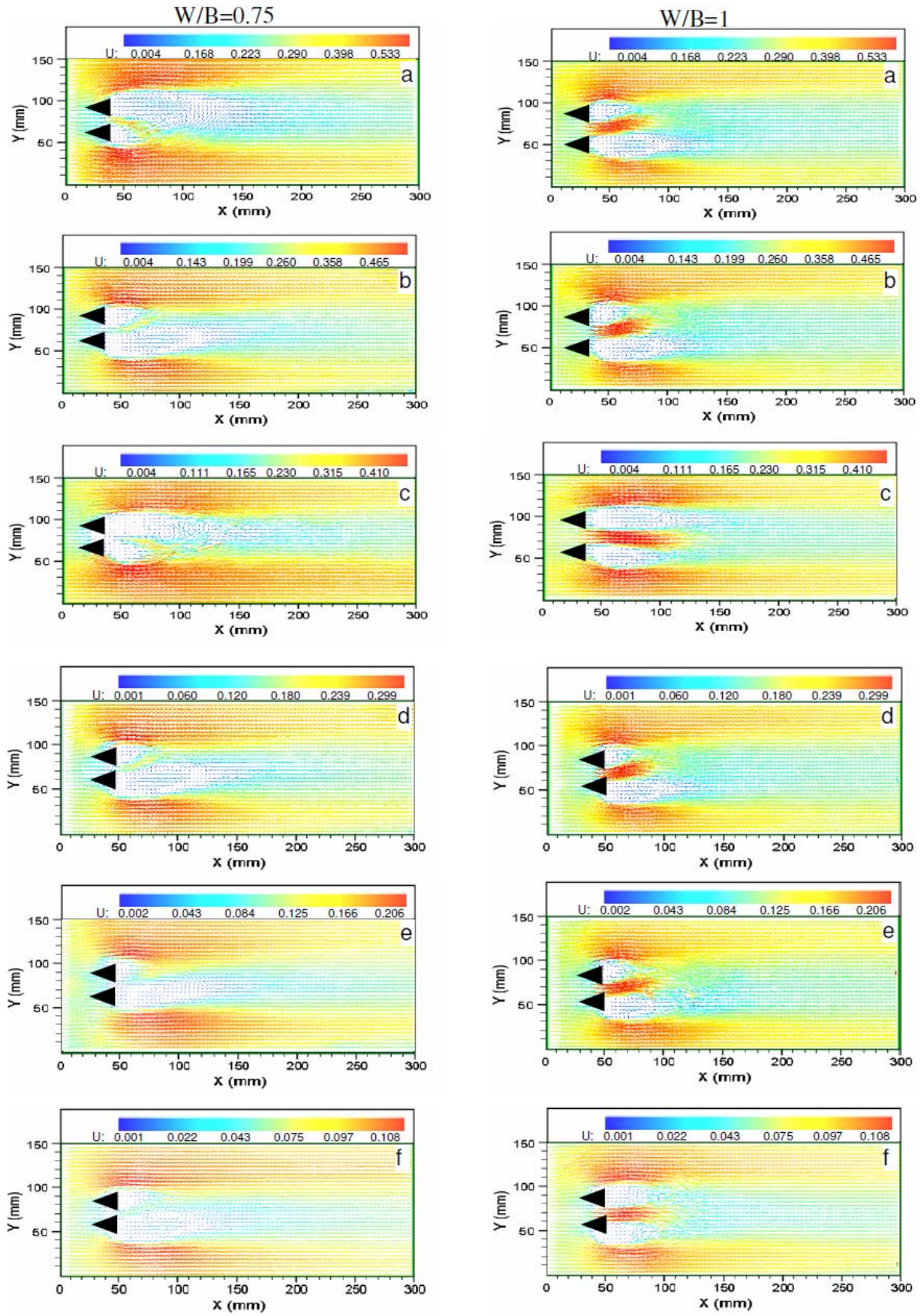
Şekil 4.11. Üstüste düzenlemede $Re=24000$ için, farklı x/L mesafelerine ait zaman ortalama hız profilleri ($W/B=1$).



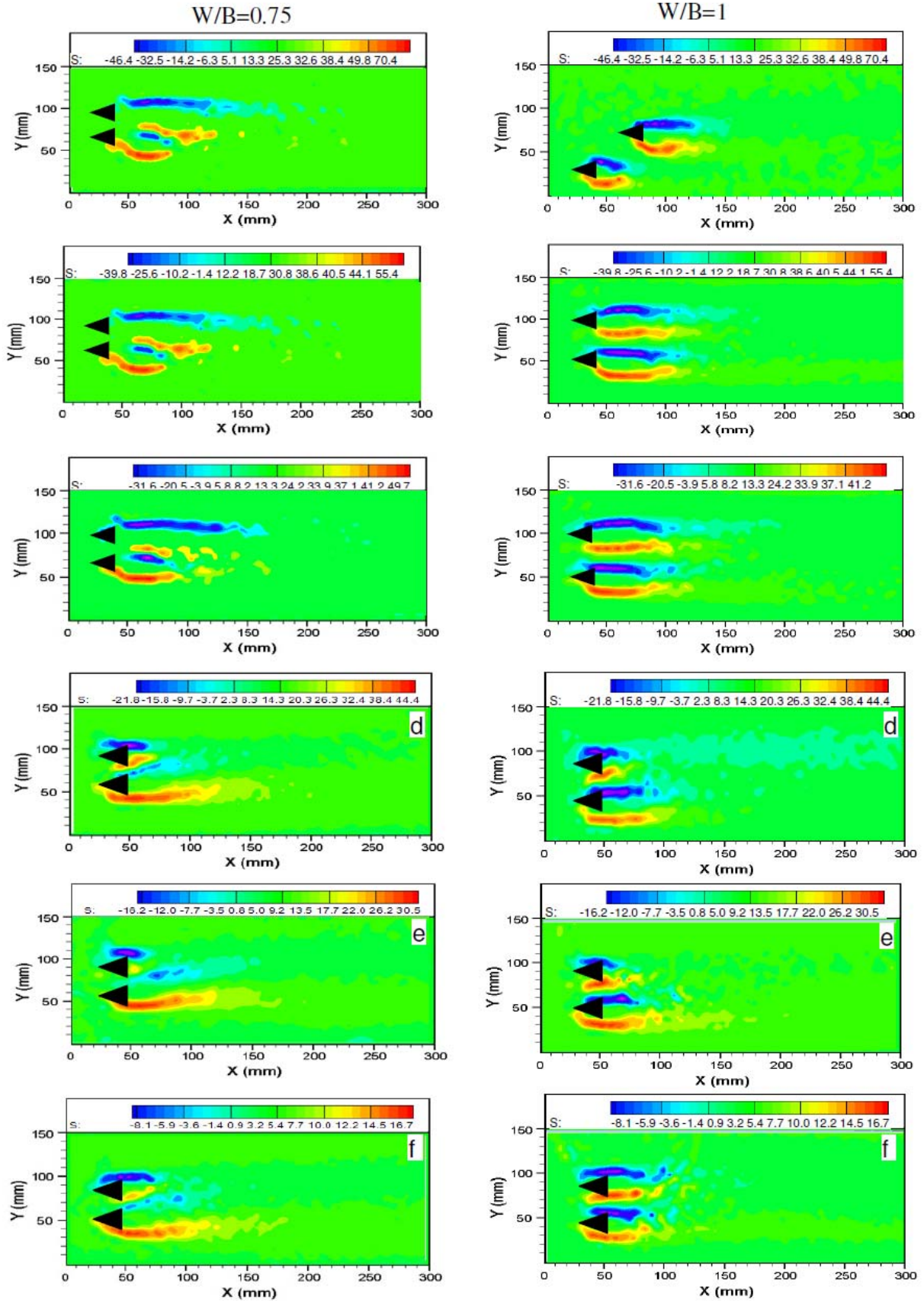
Şekil 4.12. Üstüste düzenlemede $Re=16000$ için, farklı x/L mesafelerine ait zaman ortalama hız profilleri ($W/B=1$).



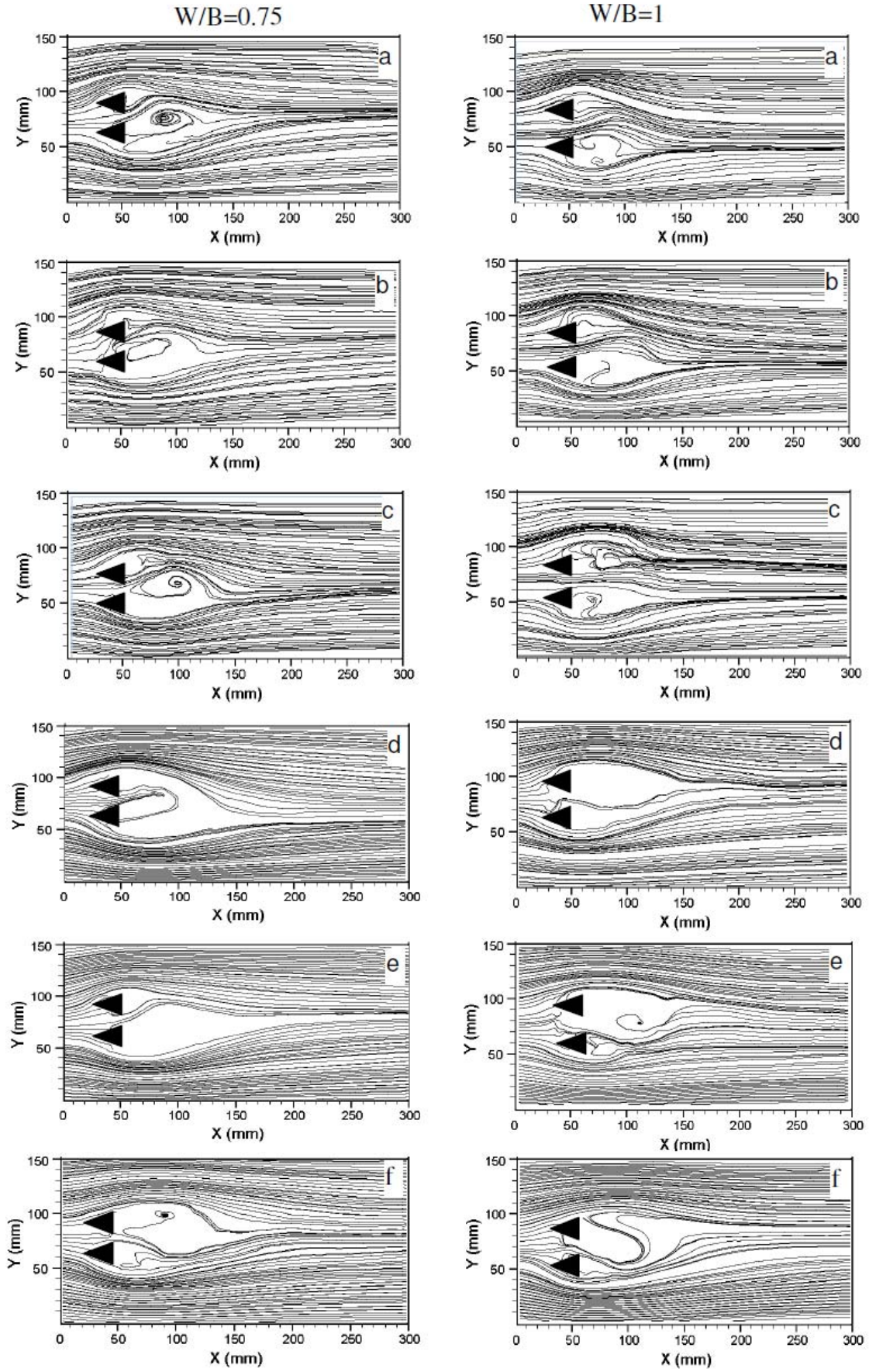
Şekil 4.13. Üstüste düzenlemede $Re=8000$ için, farklı x/L mesafelerine ait zaman ortalama hız profilleri ($W/B=1$).



Şekil 4.14. DeneySEL olarak elde edilen, üstüSTE durum için zaman ortalama hız vektörleri.
a) Re=48000 b) Re=40000 c) Re=32000 d) Re=24000 e) Re=16000 f) Re=8000



Şekil 4.15. Deneyssel olarak elde edilen, üstüste durum için zaman ortalama girdap alanları.
a) Re=48000 b) Re=40000 c) Re=32000 d) Re=24000 e) Re=16000 f) Re=8000



Şekil 4.16. Deneysel olarak elde edilen, üstüste durum için zaman ortalama akım alanı.

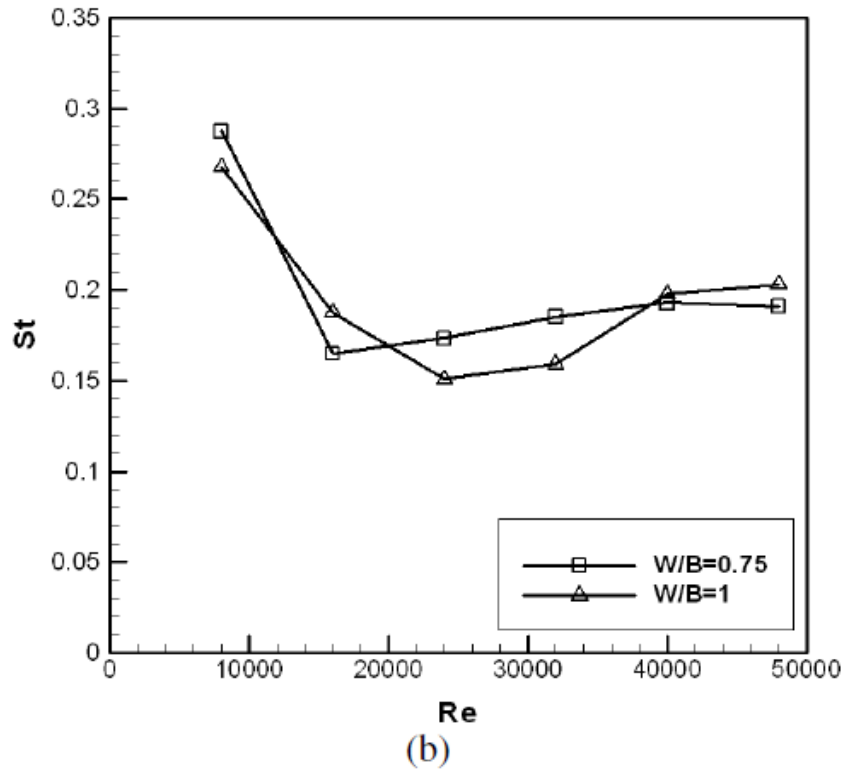
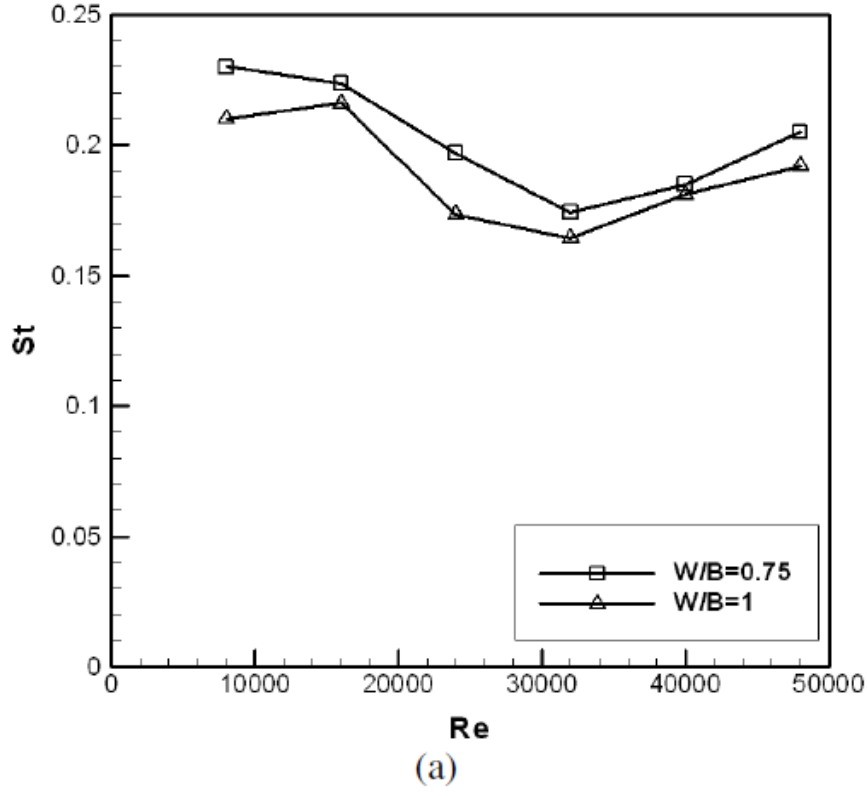
a) $Re=48000$ b) $Re=40000$ c) $Re=32000$ d) $Re=24000$ e) $Re=16000$ f) $Re=8000$

4.3. Üçgen Cisimler Etrafındaki Girdap Oluşum Karakteristikleri

Küt cisimler üzerinde ayrılmanın olduğu noktanın yeri sınır tabaka içindeki akımın karakterine bağlıdır. Yüzeyin pürüzlülüğü yada yaklaşan akım içindeki türbülans, ayrılma noktasının yerini belirlemede etkilidir. Ayrıca ayrılma, akışkanın viskoz direncine de hemen hemen bağlıdır. Akışkanların viskoz davranışını karakterize eden ve viskoz dirençle de ters orantılı olarak değişen Re sayısı ayrılmanın başlamasında önemli rol oynar. Ayrılmanın başlamasıyla aynı zamanda cisimlerin arka iz bölgesinde oluşan, girdap oluşumları gözlenecektir.

Sınır tabaka akımında spektral metotların uygulanması, sınır tabaka akım karakteristikleri ile ilgili istatistiki değerler vermesi bakımından oldukça önemlidir. Son yıllarda küt cisim etrafında meydana gelen girdap kopmaları ile ilgili araştırmalarda, spektral analiz uygulanmak suretiyle iz bölgesi hakkında gerekli istatistiki bilgiler edinilmeye çalışılmaktadır. Girdap kopması olayı spektral grafiklerden belirlenmektedir. Kopmaların meydana geldiği frekanslarda, grafiklerde belirgin şekilde bir tepe oluşmaktadır.

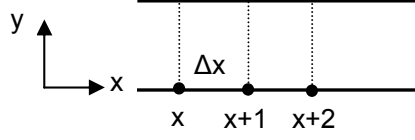
Üst üste düzenleme için St sayısının Reynolds sayısı ile değişimi 2 farklı W/B oranı için Sekil 4.17'de verilmistir. Genellikle $W/B=0.75$ oranı için elde edilen St sayısı $W/B=1$ durumundakinden daha büyük değerlerdedir. Üstteki üçgen için en küçük Strouhal sayısı Reynolds sayısı 32000 için alttaki üçgen için ise Reynolds sayısı 24000'de gerçekleşmiştir.



Şekil 4.17. Üst üste düzenleme için St sayısının Re ile değişimi (a) üst üçgenin art iz bölgesinde (b) alt üçgenin art iz bölgesinde.

4.4. Isı Transferi ve Yüzey Sürtünme Katsayısı Hesabı

Herhangi bir kesitteki yerel ısı transfer katsayısı $h(x)$ 'in hesaplanabilmesi için, Δx uzunluğundaki ısıtılmış boruya enerji dengesi



$$\dot{m}.c_p(x).[T_{(x+1)} - T_{(x-1)}] = h(x).[T_w(x) - T_b(x)].2\Delta x \quad (4.1)$$

şeklinde uygulanır. Buradan yerel ısı transfer katsayısı $h(x)$

$$h(x) = \frac{\dot{m}.c_p(x).[T_{(x+1)} - T_{(x-1)}]}{[T_w(x) - T_b(x)].2\Delta x} \quad (4.2)$$

şeklinde hesaplanır.

Burada $\dot{m}$ akışkanın kütleli debisini temsil etmektedir ve

$$\dot{m} = \rho U_m A \quad (4.3)$$

şeklinde hesap edilir. U_m ise akışkanın ortalama hızını ve A kanal kesit alanını göstermektedir.

$$U_m = \frac{1}{L} \int_0^H U dy \quad (4.4)$$

Denklem (4.1) ve (4.2)'de, c_p akışkanın sabit basınçta özgül ısısını temsil etmekte ve ortalama akışkan sıcaklığına (T_b) göre hesap edilmiştir. Kanal kesit alanı boyunca ortalama akışkan sıcaklığı $T_b(x)$,

$$T_b(x) = \frac{1}{U_m A} \int_0^H [T.U.dA]_x \quad (4.5)$$

şeklinde hesap edilmiştir;

Sonuç olarak, yerel ve ortalama Nusselt sayıları sırasıyla Denklem (4.6) ve (4.7) ile hesap edilir;

$$Nu_x = \frac{h(x)D_h}{k_b} \quad (4.6)$$

$$Nu = \frac{1}{L} \int_0^L Nu(x).dx \quad (4.7)$$

Denklem (4.6)'da k_b ortalama akışkan sıcaklığına (T_b) göre hesaplanan ısı iletim katsayısıdır.

D_h hidrolik çapı temsil etmekte olup; kanala giren akışkanın, tam gelişmiş hız profiline sahip olduğu kabulüyle Reynolds sayısı,

$$Re = U_m D_h / \nu \quad (4.8)$$

olarak verilmektedir. ν ise akışkanın kinematik viskozitesidir.

Yüzey sürtünme katsayısı ise;

$$C_f = \frac{\tau}{\frac{1}{2} \rho U_m^2} \quad (4.9)$$

olarak elde edilir. Burada ρ akışkanın yoğunluğunu ve τ kayma gerilmesini göstermektedir.

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (4.10)$$

μ akışkanın dinamik viskozitesini temsil etmektedir.

Sürtünme katsayısı;

$$f = \frac{\Delta P}{\frac{1}{2} \rho U_m^2 \frac{L}{D_h}} \quad (4.11)$$

ile hesap edilmiştir.

$$\Delta P = P_{\text{giriş}} - P_{\text{çıkış}} \quad (4.12)$$

Burada, $P_{\text{giriş}}$ and $P_{\text{çıkış}}$ sırasıyla inceleme bölgesinin giriş ve çıkış kesitindeki ortalama basınçlarıdır.

Kanal içerisine üçgen küt cisim yerleştirilmesi durumunda ısı transferinin artması ile birlikte, beklenildiği üzere basınç düşümü de artacaktır. Bu artış ise daha fazla pompalama gücü gerektirecektir. Boş kanallarda da kanal içerisindeki hız artırılırsa, yani pompa gücü artırılırsa ısı transferi artacaktır. Dolayısıyla, küt cisimli kanaldaki ısı transferi iyileşmesini incelerken, küt cisimli kanaldaki ısı transferini boş kanal ile aynı pompalama gücünde karşılaştırmak gereklidir. Küt cisimli kanaldaki fazla pompalama gücünden (basınç düşümü artışından dolayı) kaynaklanan ısı transferi artışını da dikkate alarak net ısı transferi artışı belirlenmelidir.

Kullanılan küt cisimlerin ısı transferi iyileştirmesini hesaplamak için sabit pompa gücünde boş kanal ile karşılaştırmak gereklidir:

$$\dot{V}_k \Delta P_k = \dot{V}_o \Delta P_o \quad (4.13)$$

Burada $\dot{V}_k$ ve $\dot{V}_o$ sırasıyla akışkanın küt cisimli ve boş kanaldaki hacimsel debileridir. ΔP_k ve ΔP_o ise sırasıyla küt cisimli ve boş kanalda oluşan basınç düşümüdür. Her iki durumda basınç düşümü için Darcy eşitliği kullanılırsa, Denklem (4.13) aşağıdaki hale gelir:

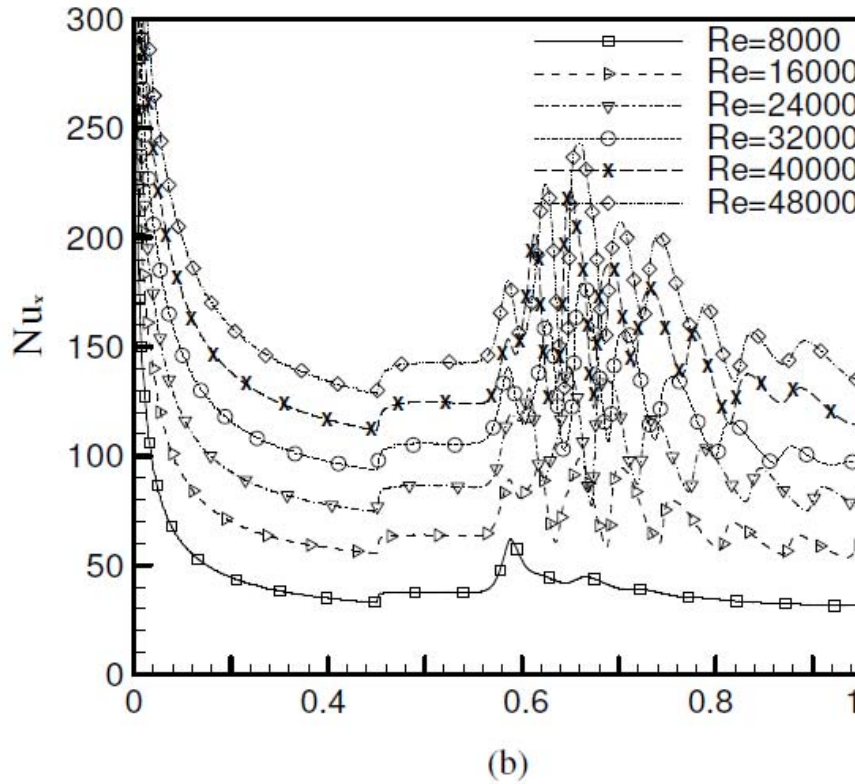
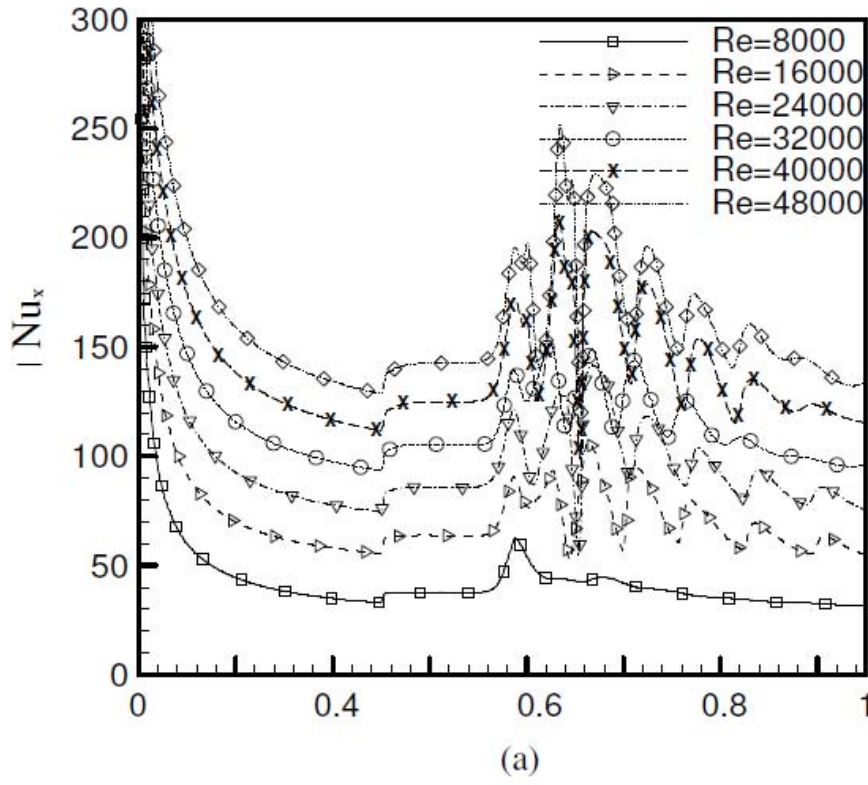
$$f_k \text{Re}_k^3 = f_o \text{Re}_o^3 \quad (4.14)$$

Buradaki f_k ve f_o sırasıyla küt cisimli ve boş kanaldaki sürtünme katsayılarıdır. Dolayısıyla sabit pompa gücündeki net ısı transferi iyileştirmesi oranı (η) Denklem (4.15) gibi ifade edilebilir.

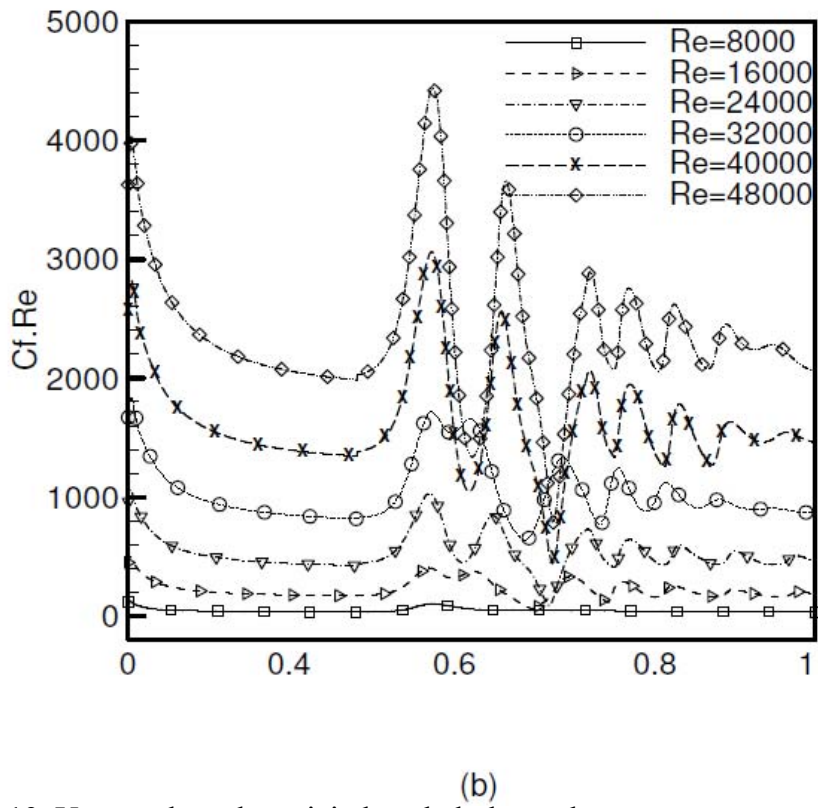
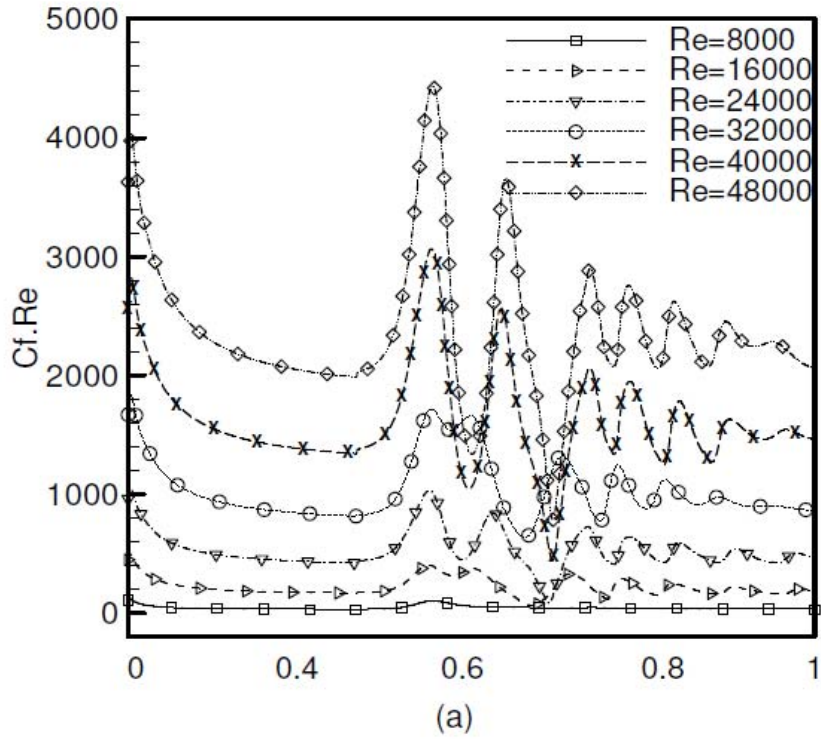
$$\eta = \left(\frac{Nu_k}{Nu_o} \right) \left(\frac{f_o}{f_k} \right)^{1/3} \quad (4.15)$$

4.5. Üçgen Cisimler Yerleştirilmiş Kanaldaki Isı Transferi ve Yüzey Sürtünme Katsayısının Kanal Boyunca Değişimi

Üst üste düzenlemede ise her iki W/B oranında da üçgenlerin arkasındaki bölgede alt kanal cidarında yerel Nusselt sayısı inceleme bölgesi sonuna kadar dalgalı bir değişim göstermiştir. Bu şekiller incelendiğinde, yerel Nusselt dağılımında da görüldüğü gibi, bazı durumlarda akış üçgenleri geçtikten sonra inceleme bölgesi sonuna kadar dalgalı olarak değişmiştir. Yüzey sürtünme katsayısındaki bu dalgalı değişim yerel Nusselt sayısının gerçekleştiği aynı durumlarda görülmüştür ve şekiller birbirleri ile uyumludur. Çünkü, kanal cidarındaki sınır tabaka bozulduğunda hem yerel Nusselt sayısına hem de aynı zamanda yüzey sürtünme katsayısına etki edecektir.



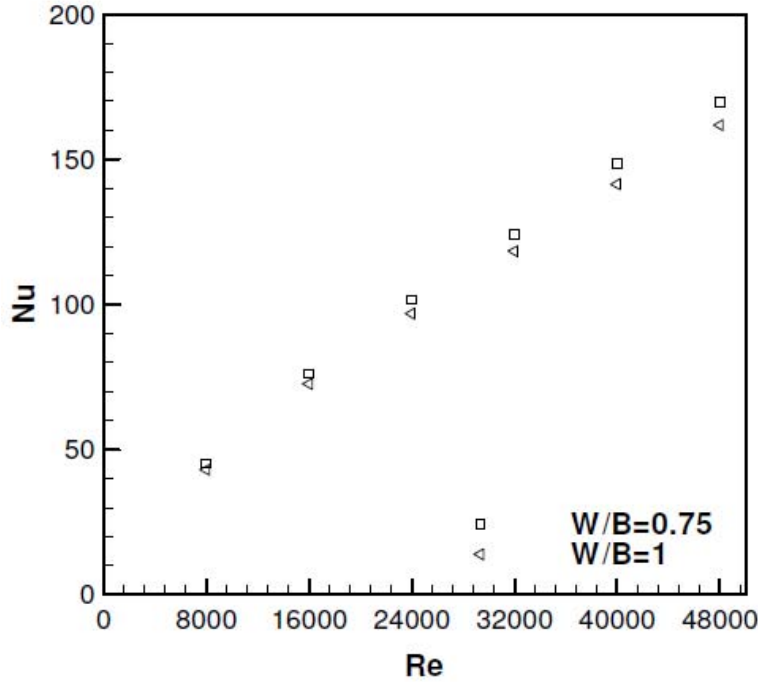
Sekil 4.18. Üstüste düzenleme için kanal alt duvarı boyunca yerel Nu sayısı değişimi
a) $W/B=0.75$ b) $W/B=1.0$.



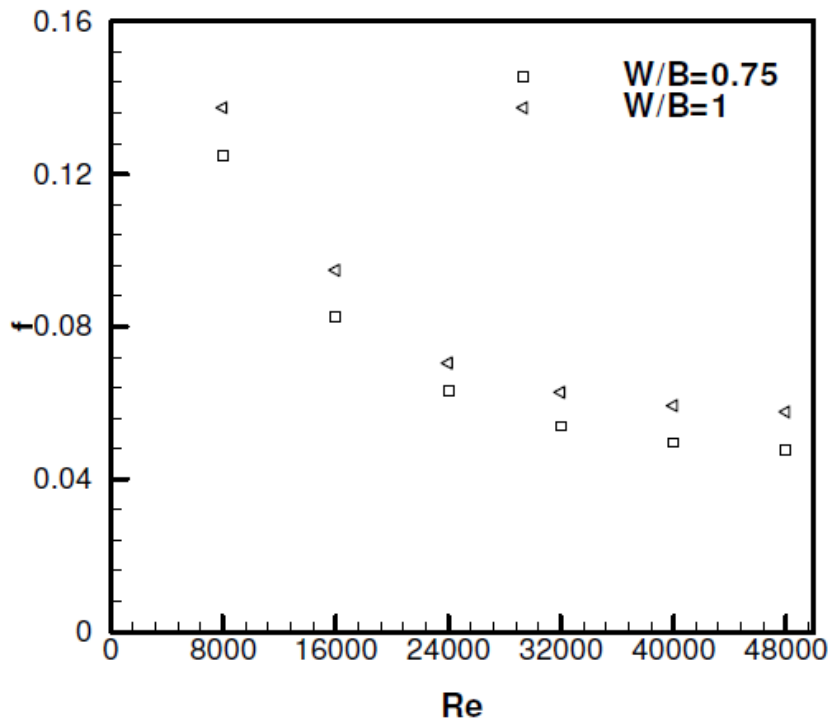
Sekil 4.19. Üstüste düzenleme için kanal alt duvarı boyunca yüzey sürtünme katsayısı dağılımı a) $W/B=0.75$ b) $W/B=1.0$.

4.6. Üçgen Cisimler Yerleştirilmiş Kanaldaki Isı Transferi İyileştirmesi

Şekil 4.20 ve 4.21’de sırasıyla ortalama Nu sayısının ve sürtünme katsayısının Reynolds sayısına göre değişimi verilmiştir. Cidara daga yakın olan düzenleme için ($W/B=0.75$) Nusselt ve yüzey sürtünme katsayısındaki artış $W/B=1$ durumundan daha fazladır. Ayrıca beklenildiği üzere Nusselt sayısı Re sayısının artmasıyla artış göstermektedir.

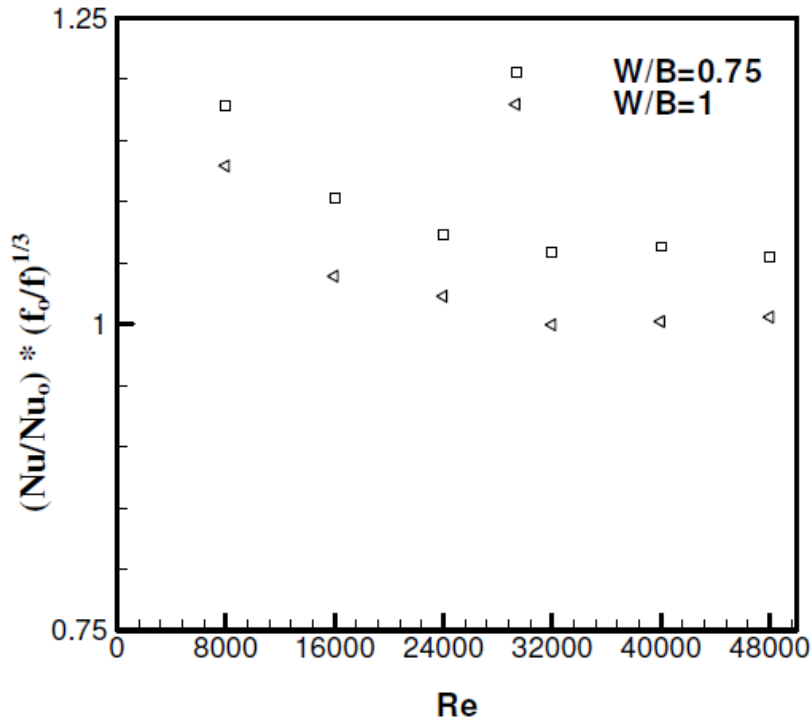


Şekil 4.20. Üst üste düzenleme için ortalama Nu sayısının Re sayısına göre değişimi.



Şekil 4.21. Üst üste düzenleme için ortalama sürtünme katsayısının Re sayısına göre değişimi.

Sürtünme katsayısındaki artış ta Nusselt sayısındaki değişime benzer şekilde $W/B=0.75$ durumunda daha fazladır. Çünkü $W/B=0.75$ durumundaki üçgenlerin kanal cidarına yakın olmaları nedeniyle, sınır tabakayı bozarak, akışın daha iyi karışmasını sağlayarak ısı transferinin ve beraberinde de basınç düşümünün artmasına sebebiyet vermiştir.



Şekil 4.22. Üst üste düzenlemeye göre ısı transferindeki iyileştirmenin Re sayısı ile değişimi.

Şekil 4.22’de ise sabit pompalama gücüne göre hesap edilmiş net iyileştirme oranlarının Reynolds sayısı ile değişimi gösterilmektedir. Şekilden görüldüğü gibi, her iki düzenleme için de bütün Reynolds sayılarında net iyileşme elde edilmiştir. Bu durum, ısı transferinde sağlanan artışın, basınç düşümündeki artışı yenmesinin bir sonucudur.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada, akış bölgesine üst üste pozisyonda yerleştirilen, eşkenar üçgen kesitli küt cisimlerin etrafındaki akış yapısı, parçacık görüntülemeli hız ölçme yöntemi (PIV) kullanılarak deneysel olarak incelenmiştir. B, üçgenin taban kenar uzunluğu olmak üzere blokaj oranı 0.13 alınmıştır. Bütün deneylerde, taban kenar uzunluğu $B=20$ mm olan iki adet üçgen kullanılmış olup, üçgenler arası boşluk $W/B=0.75$ ve 1 olmak üzere 2 farklı W/B oranında çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Deneyler Reynolds sayısının 8.0×10^3 - 48.0×10^3 aralığında, kapalı çevrim çalışan bir su kanalında gerçekleştirilmiştir. PIV yöntemiyle model boyunca yatay ve düşey simetri düzlemlerinde; ortalama hız vektör alanları, akım çizgileri ve girdap dağılımları elde edilmiştir. Bu akış özellikleri 4 Hz frekansta, ortalama 200 anlık görüntü ile elde edilmiştir.

Son yıllarda ısı transferi iyileştirilmesi konusu enerji tasarrufu ve maliyeti açısından araştırmacıların ilgisini çekmektedir. Bu projede de üçgen kesitli küt cisimlerin bulunacağı kanalın alt kısmından sabit yüzey sıcaklığı verilerek, ısı transferi karakteristikleri ve kanal içerisindeki ısı transferi iyileştirilmesi araştırılmıştır. Projede taahhüt edilenler eksiksiz olarak tamamlanmış ve proje hedefine ulaşmıştır. Proje sonuçlarından elde edilen verilerden hazırlanan uluslararası bildiriler aşağıda verilmiştir;

1. Manay, E., Gunes, S., Akcadirci, E., Ozceyhan, V., Numerical analysis of heat transfer and pressure drop in a channel equipped with triangular bodies in side-by-side arrangement , 2009 World Congress on Power and Energy Engineering, July 6-10, Cairo, Egypt.
2. E. Manay, S. Gunes, V.Ozceyhan, O. Comakli and E. Akcadirci, A Numerical Study of Heat Transfer and Pressure Drop in a Channel Flow Past Two Triangular Bodies: Comparison of Tandem, Staggered and Side By Side Arrangement, 2010 International Conference on Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics (HEFAT), 19-21 July, Antalya, Turkey.

KAYNAKLAR

1. Akansu, Y.E., Ardışık Olarak Yerleştirilen Farklı Geometrilere Sahip Küt Cisimlerin Aerodinamik Karakteristiklerinin İncelenmesi, (Doktora Tezi), Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2004.
2. El-Taher, R.M., Experimental Study of The Interaction Between a pair of Circular Cylinders Normal to a uniform Shear Flow, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 17, 117-132, 1984.
3. Zhou, Y., So, R.M.C., Liu, M.H. ve Zhang,H.J., Complex Turbulent Wakes Generated by Two and Three Side-by-Side Cylinders, International Journal of Heat and Fluid Flow, 21, 125-133, 2000.
4. Zhou, Y., Vortical Structures Behind Three Side-by-Side Cylinders, Experiments in Fluids, 34, 68-76, 2003.
5. Bearman, P.W. ve Wadcock A.J., The Interaction Between a Pair of Circular Cylinders Normal to a Stream, J. Fluid Mech., 61, 3, 499-511, 1973.
6. Alam, Md.M., Moriya, M. ve Sakamoto, H., Aerodynamic Characteristics of Two Side-by-Side Circular Cylinders and Application of Wavelet Analysis on The Switching Phenomenon, Journal of Fluid and Structures, 18, 325-346, 2003.
7. Kolar, V., Lyn, D.A. ve Rodi, W., An Experimental Study of Interacting Coherent Structures In Turbulent Near Wake Behind a Pair of Square Cylinders, Applied Scientific Research, 51, 417-421, 1993.
8. Zhang, X. ve Perot, B., Turbulent Vortex Shedding from Triangle Cylinder using the Turbulent Body Force Potential Model, ASME, 11172, Boston, 2000.
9. Frank, S., Xin, F. ve Ying, C., Effect of pressure unsteadiness on vortex shedding frequency from dual bluff body, Fifth International Conference on Fluid Power (ICFP), 2001.
10. Abbasi, H., Turki, S. ve Nasrallah, S.B., Numerical investigation of Forced Convection in a Plane Channel with a Built-in Triangular Prism, Int. J. Therm. Sci., 40, 649-658, 2001.
11. Chattopadhyay, H., Augmentation of Heat Transfer in a Channel using Triangular Prism, , Int. J. Therm. Sci., 46, 501-505, 2007.
12. Du, Y., Qian, R. ve Peng, S., Coherent Structure in Flow over a Slitted Bluff Body, Communacions in Nonlinear Science and Numerical Simulation, 11, 391-412, 2006.

13. Buresti G., Lombardi, G., Talamelli, A., Low Aspect-Ratio Triangular Prisms in Cross-Flow Measurements of the Wake Fluctuating Velocity Field, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 74, 463-473, 1988.
14. Akilli, H., Akar, A., Karakus, C., Flow Characteristics of Circular Cylinders Arranged Side-by-Side in Shallow Water, 15, 187-197, 2004.
15. Meneghini J. R., Saltara, F., Siqueira, C. L. R. ve Ferrari, J. A. Numerical Simulation of Flow Interference Between Two Circular Cylinders in Tandem and Side-by-Side Arrangments, *Journal of Fluids and Structures*, 15, 327-350, 2001.
16. Kim H.J., Durbin, P.A. Investigation of the Flow between a Pair of Cylinders in the Flopping Regime, *Journal of Fluid Mechanics*, 196, 431-448, 1988.