



**Bu bir MMO
yayıdır**

MMO bu yayındaki ifadelerden, fikirlerden, toplantıda çıkan sonuçlardan, teknik bilgi ve basım hatalarından sorumlu değildir.

DEĞİŞİK BİNA MODELLERİ İÇİN AKIŞ ALANLARININ DENEYSEL VE SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

**DENİZ GÖLBAŞI
ERTAN BUYRUK
KORAY KARABULUT
CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ**

**BEŞİR ŞAHİN
ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ**

DEĞİŞİK BİNA MODELLERİ İÇİN AKIŞ ALANLARININ DENEYSEL VE SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

Experimental and Numerical Investigation of Fluid Areas for Different Buildings Models

Deniz GÖLBAŞI
Ertan BUYRUK
Beşir ŞAHİN
Koray KARABULUT

ÖZET

Sürdürülebilir ve sağlıklı binaların başlıca işlevlerinden biri iç çevrede ısı (termal) konfor koşullarının sağlanmasıdır. Günümüzde çözüm bekleyen en önemli sorunlardan biri olan enerji sorunu ele alındığında, binalarda ısı konforunun minimum ısıtma enerjisi kullanarak sağlanması dolayısıyla, iç ve dış ortamı birbirinden ayıran ve ısı kontrolünde büyük bir rol oynayan bina cephelerinin ve bina yüksekliklerinin etkin olarak tasarlanması ve yapılandırılması gerekmektedir. Bina yüksekliği arttıkça binalar üzerindeki rüzgâr etkisi de önemini arttırmaktadır. Özellikle doğal salınım periyodu bir saniyenin üzerindeki binalar rüzgâr etkileşime girebilmekte ve rüzgâr kaynaklı salınımların etkisi hissedilebilir bir hale gelebilmektedir. Bu çalışmada dört farklı bina modelleri etrafındaki akış alanlarında; ortalama hız ve türbülans hız profillerinin ölçülmesi Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçüm tekniği (PIV) yöntemi kullanılarak deneysel olarak incelenmiş elde edilen sonuçlar Ansys Fluent paket programı ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Deneysel ve sayısal sonuçlar karşılaştırıldığında genel olarak akış profillerinin birbiriyle uyumlu olduğu oluşan farklılıkların bina arkasındaki bölgelerde olduğu görülmüştür. Bina geometrilerine bağlı olarak bina arkasındaki girdap büyüklükleri değişmiştir. En büyük girdap geniş bina modelinde oluşmuştur. Deneysel anlık hız alanları $\langle V \rangle$ elde edilmiş, bu veriler kullanılarak zaman ortalama hız alanları $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$ ve girdap eş düzey eğrileri $\langle \omega \rangle$ çizilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ansys Fluent (CFD), Bina Aerodinamiği, Akış Ayrılması, $k-\epsilon$ Türbülans Modeli, Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçümü (PIV)

ABSTRACT

One of the mainly functions of sustainable and healthy buildings is to apply thermal comfort conditions in indoor environment. Nowadays, when the energy problem which is one of the most important problems waiting for a solution is analyzed, it is required efficient design and configuration of the building facades and heights disconnecting inner and outer environment and acting an important role in the heat control due to the provision of thermal comfort in buildings using a minimum of heating energy. The importance of wind effect on the building increases with increasing the height of the building. Especially, the buildings having over the period of natural oscillation of a second are exposed to interactions with wind and the effect of oscillations originating from wind are becoming noticeable. In this study, the measuring of time average velocity and turbulence velocity profiles is investigated experimentally by using Particle Image Velocimetry (PIV) for flow areas around the four different building models and the results are compared with the obtained results from Ansys Fluent CFD program. The flow profiles are generally comparable with each other when the experimental and numerical the results are compared. The difference occurred in the regions behind the buiding was observed. The vortex sizes behind the building have changed due to the geometry of the building. It is seen that the largest vortex formed in a large building model. Instantaneous velocity fields are

obtained at the experiments and time average velocity fields $\langle V \rangle$, stream lines $\langle \Psi \rangle$ and vortex peer-level curves $\langle \omega \rangle$ are plotted by using these datas.

Key words: Ansys Fluent (CFD), Building aerodynamic, Flow seperation, k- ϵ turbulance model, Particle image velocimetry (PIV)

1.GİRİŞ

Binaların tasarım ve inşa aşamalarında atmosferik sınır tabakanın alt tarafında rüzgarın hız ve türbülans değerlerinin değişimler göstermesi nedeniyle dikkatli olunmasını gerektirmektedir. Bina yüksekliği arttıkça binalar üzerindeki rüzgâr etkisi de önemini arttırmaktadır. Özellikle doğal salınım periyodu bir saniyenin üzerindeki binalar rüzgârla etkileşime girebilmekte ve rüzgâr kaynaklı salınımların etkisi hissedilebilir bir hale gelebilmektedir. Genel olarak, bu tip esnek yapıların tasarımında rüzgâr etkileri üç başlıkta incelenir. Konfor kriterleri diye adlandırabileceğimiz ilk başlık bina üst kat ivmelerinin belirli sınır değerlerin altında tutulmasını içerir. İkinci başlık ise rüzgârdan dolayı binaya etkiyen dinamik kuvvetlerin ya eşdeğer statik yükler olarak ya da zaman alanında tanımlı değişken yükler olarak doğru ve rüzgârın rastgele davranışını da göz önünde bulunduran bir şekilde ifade edilmesi zorunluluğudur. Buna ek olarak son 20 yılda yapılan araştırmalar binaların rüzgâr yönüne dik doğrultuda ve burulma salınımlarının da rüzgârla aynı yöndeki salınımlar kadar önemli olduğunu göstermiştir. Diğer bir deyişle eşdeğer yük hesabında rüzgârın hızının ve yönünün değişkenliği, yapının geometrisi, dinamik davranış ve çevre yapıların etkilerinin de göz önünde bulundurulması bir zorunluluktur [1]. Son zamanlarda dış yüzey kaplamalarının tasarımında bina yüzeyinde belirli bir alandaki ortalama basınç değerleri yerine türbülans etkilerini de göz önünde bulundurularak lokal anlık değerlerin tespit edilerek kullanılması gerekmektedir. Rüzgârın bina çatıları üzerinde meydana getirdiği etkiler, bina çatı geometrileri ile yakından ilgilidir. Bu nedenle, binaların çatı geometrilerindeki farklılık rüzgâr-çatı etkileşiminin de farklı olmasına yol açmaktadır. Rüzgârların çatılar üzerinde meydana getirdiği olumsuz etkilerin değerlendirilebilmesi ve kalıcı çözümlerin ortaya koyulabilmesi için akış alanlarının ayrıntılı bir şekilde bilinmesi gerekmektedir. Rüzgâr etkilerinin belirlenebilmesinde özellikle gerçek ölçekli test binaları inşa edilmiştir. Bu binalar üzerinde yapılan detaylı ölçümler, rüzgâr tüneli ve parçacık görüntülemeli hız ölçüm tekniği (PIV) deneylerinin ve nümerik çalışmaların yönlendirilmesine çok önemli katkılar sağlamaktadır. Günümüzde hem endüstriyel çalışmalarda, hem de bilimsel araştırmalarda deneysel ve hesaplamalı çalışmalar beraber gerçekleştirilmektedir. Sağlıklı, yenilenebilir bir şehir, onu oluşturan alt ölçekteki yapıların en az enerji gerektirecek dolayısıyla en az atık çıkarabilecek bir iklimlendirme sistemiyle tasarlanmasıyla olanaklıdır. Aerodinamik, rüzgârın insanların sağlıklı ve konforlu yaşayabilmesi için oluşturulan çevrenin ısıl performansını büyük ölçüde değiştiren bir iklim elemanıdır. Yüksek binalar ve baca sistemleri, soğutma kuleleri, köprüler, açık denizlerdeki yapılar ve destek elemanları gibi çok sayıda mühendislik uygulamaları üzerinde akışlar büyük öneme sahip olmasından ötürü araştırmacılar tarafından inceleme konusu olmuştur. Bina ve yakın çevresi arasındaki rüzgâr etkileşimiyle oluşan ayrılma bölgeleri ve çeşitli girdap grupları binalar üzerinde etkiyen rüzgâr etkilerinin belirlenmesinde ve uygun tasarım parametrelerinin göz önüne alınmasında büyük öneme sahiptir. Rüzgârın binalarla etkileşimi sonucu meydana gelen girdapların büyümesi ile oluşacak titreşimler özellikle de gürültü ve hasara neden olabilmektedir. Tutar ve Oğuz [2] kare şeklindeki bina modelini tekli ve ikili olarak yerleştirmiş olup bina modelleri etrafındaki türbülanslı akış alanını farklı rüzgâr açıları için sonlu hacim metoduyla, farklı geometrik düzenlemeler için hesaplamışlardır. RNG sub-grid scale modelini kullanarak yaptıkları sonuçları rüzgâr tüneli deney sonuçları ile karşılaştırmışlardır. Sayısal ve deney sonuçları arasındaki uyumun tek bina konfigürasyonu için özellikle bina çatısı üzerinde olduğu görülmüştür. Blocken ve Carmeliet,[3] çalışmalarında rüzgâr odaklı yağmur çökeltisi olarak adlandırılan WDR'nin bina modelleri üzerindeki etkileri parçacık görüntülemeli akış ölçüm cihazı (PIV) ve rüzgâr tüneli deneyleri yapılarak sonuçlar fluent paket programı (CFD) ile karşılaştırmışlardır. Çalışmalarında alçak bir bina modeli, yüksek bir bina ve bu iki binanın karşılıklı etkisi incelenmiştir. Yağmur damlası hareketi 10 m/s referans rüzgâr hızı ile rüzgâr akış modelinde Lagrange parçacık izleme yöntemi ile elde edilmiştir. İki binanın karşılıklı etkisinde her iki bina arasındaki fark 25m olarak alınmıştır. Rüzgâr doğrultusu bina cephesine dik olarak alınmıştır. Alçak binaların varlığının WDR çökeltisi ve rüzgâr tarafından çok katlı binalara bir kalkan olamadığı sabit vortex kuvvetini artırarak

daha yüksek bina cephesi üzerinde WDR yoğunluğunu artırmıştır. Blocen ve Stathopoulos [4] çalışmalarında Montreal şehri merkezinde bir grup bina çevresinde kirlilik dağılımını rüzgâr tüneli deneyleri yapılarak 2 farklı türbülans modeli için incelemişlerdir. Rüzgâr tüneli sonuçları yüksek çözünürlüklü CFD sonuçlarıyla doğrulanmıştır. Türbülans modelleri olarak Reynolds Ortalama Navier-Stokes (RANS) ve Large Eddy Simulation (LES) modelleri kullanılmış olup LES yaklaşımının her iki rüzgâr doğrultusu için CFD ve deneysel sonuçlarla uyum sağladığı görülmüştür. Blocen ve arkadaşları [5] çalışmalarında rüzgâr odaklı yağmur çökeltisi olarak adlandırılan WDR'nin basit alçak dikdörtgen bina üzerindeki etkileri fluent paket programı (CFD) ile çözmüşlerdir. Genel olarak sonuçlar arasında bir uyum olmasına karşılık bina cephesinin çatı çıkıntısına yakın yerlerinde önemli farklılık oluşmuştur. Bina cephesine dik rüzgâr doğrultusunda CFD, WDR simülasyon sonuçlarının güvenilir sonuçlar sağlayabileceğini göstermişlerdir. Yoshie ve arkadaşları [6] çalışmalarında 3 farklı akış alanı oluşturularak Standart k-ε modeli, Large Eddy Simulation (LES) modeli ve Direct Numerical Simulation (DNS) türbülans modelleri için rüzgâr tüneli deneyleri yapılarak sonuçlar fluent paket programı ile (CFD) karşılaştırılmıştır. Wang ve Gu [7], çeşitli köşe düzenlemelerine sahip iki boyutlu prizmalar üzerinde eş zamanlı basınç ölçümleri düşük türbülans seviyeli üniform akış ve Reynolds sayısının 1×10^5 den 4.8×10^5 e değiştiği aralıkta gerçekleştirilmiştir. Deneysel model olarak da bir kare prizma, üç adet pahlı köşe kare prizma ($B/D = \% 5, \% 10$ ve $\% 15$, Burada B; köşe boyutu ve D, kesit boyutu) ve altı adet yuvarlatılmış köşeli kare prizma ($R/D = \% 5, \% 10, \% 15, \% 20, \% 30$ ve $\% 40$ -R; köşe yarıçapı) kullanılmıştır. Sürükleme katsayılarının, rüzgâr basınç dağılımlarının, aerodinamik kuvvet katsayılarının güç tayfı ve Strouhal sayılarının deneysel sonuçları sunulmuştur. Modeller Reynolds sayısı ile ortalama sürükleme kuvvetlerinin değişimine göre çeşitli kategorilere ayrılmıştır. $B/D \leq \% 15$ ve $R/D \leq \% 15$ olan modellerin ortalama sürükleme katsayılarının Reynolds sayısından etkilenmediği görülmüştür. Bununla birlikte, her bir model etrafındaki rüzgâr basınç dağılımları kategorize edilmiş sonuçlara göre analiz edilmiştir. Kare prizmanın aerodinamik karakteristikleri üzerinde köşe düzenlemelerinin etki mekanizmaları, model üzerinde rol oynayan noktasal basınçların analiz edilmesiyle elde edilebilen model etrafındaki akışın görünümünden ortaya çıkarılmıştır. Yan ve Li [8] tarafından aerodinamik düzenlemeli ikiz süper uzun binalar arasında birbirlerini karşılıklı etkilemelerinin etkilerini araştırmak için rüzgâr tüneli deneyleri yapılmıştır. Karşılıklı etki faktörlerinin kontur çizimleri, rüzgâr kaynaklı tepki, noktasal yüzey basınç katsayıları ve küresel aerodinamik yükler üzerindeki karşılıklı etkileşim etkilerini nicel olarak değerlendirmek için sunulmuştur. Sonuçlar, dinamik rüzgâr yükleri ve tepkilerinin ikiz kulelerin kritik ard arda dizili ve saptırılmış düzenlemelerinde büyük miktarda arttırıldığını ve en düşük tepe noktası negatif basınç katsayılarının yaklaşık $\% 30$ ile etkileşimsiz olanlardan büyük olduğunu göstermiştir. Akon ve Koop [9] çalışmalarında, olması beklenen sınır tabakanın türbülans yoğunlukları ve uzunluk ölçülerinin az katlı bina çatıları için yüzey ortalama basınç dağılımları ve ortalama yeniden birleşme uzunlukları üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Az katlı bina modeli için yüzey ölçümleri boyunca çatı ayrılma kabarcığının Parçacık Görüntüleme Hız ölçümleri (PIV), altı farklı şekilde yukarı akım yönünde sınır tabaka şartları için alınmıştır. Benzer yukarı akım şartlarında ikinci bir bina için yüzey basınç ölçümleri elde edilmiştir. Bu verilerle, analizlerde aerodinamik veri tabanından basınç verisi kullanılmıştır. Ortalama basınç dağılımının hem ortalama yeniden birleşme uzunluğu hem de yukarı akım türbülans yoğunluğunun bir fonksiyonu olduğu bulunmuştur. Ölçülen yüzey basınçları ve çatı yüksekliği türbülans yoğunluğundan az katlı binaların çatıları üzerinde ortalama yeniden birleşme uzunluğunu belirlemek için bir yöntem önermişlerdir. Elshaer vd. [10] tarafından yapılan çalışmada standart yüksek bir binanın aerodinamik tepkisi LES kullanılarak araştırılmıştır. LES, türbülans tayfı ve uyumunun doğru tanımını veren iç akış sınır şartı üretmek için sabit ayırık rasgele akış üretimi (CDRFG) tekniğini kullanmaktadır.

Çalışmada bina aerodinamik davranışı iki düzenleme (izole edilmiş bir bina ve etrafındaki karmaşık binalar tarafından çevrelenmiş bir bina) için araştırılmış ve sonuçlar daha önce yapılan rüzgâr tüneli testi ile karşılaştırılmıştır. En üst kat yer değişimi, en üst kat hızlanması ve taban momentleri gibi basınç ve diğer rüzgâr kaynaklı tepkiler bulunmuş ve LES' den elde edilen sonuçlarla rüzgâr tüneline elde edilen bu sonuçların uyum içerisinde oldukları görülmüştür. Çalışmada basit bir kare prizma çevresinde akış alanı, bir şehir içerisine yerleştirilmiş yüksekliği artan bir bina çevresinde akış alanı ve gerçek kentsel bir alanda bina kompleksleri çevresindeki akış alanı kullanılmıştır. LES modeli kare prizma için kullanıldığında bina arkasında girdap akınlarının oluşmuş olup Standart k-ε modeli kullanıldığında çatıda ters bir akış alanı oluşmuştur. Bu çalışmada bina modellerinin değişimine bağlı olarak bina çevrelerinde oluşan girdap bölgelerinin nasıl değiştiği incelenmiştir. Deneysel çalışma iki kısımdan oluşmuştur. Birinci kısımda üstten görünüş için dört farklı bina modeli etrafındaki akış yapıları incelenmiştir. İkinci kısımda ise yandan görünüş için iki bina modeli etrafındaki akış yapıları

incelenmiştir. Çalışmanın sayısal kısmında ise yandan görünüşte kullanılan bina modelleri için Fluent analizleri yapılmış ve deneysel sonuçlarla sayısal sonuçlar karşılaştırılmıştır.

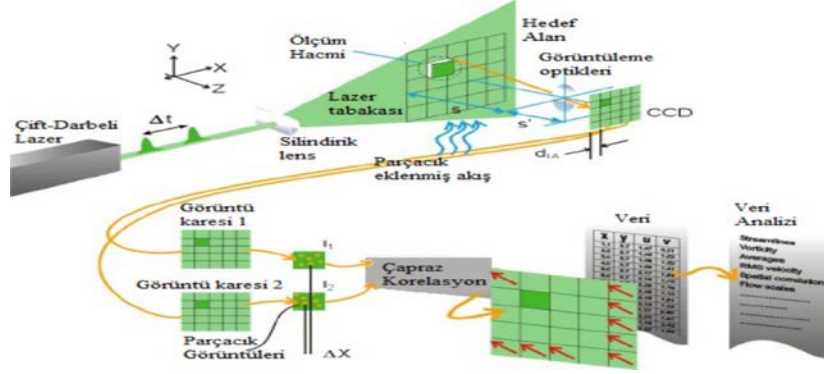
2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada yapılan deneyler; Çukurova Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü Akışkanlar Mekaniği Laboratuvarlarında bulunan kapalı çevrim olarak çalışan serbest yüzeyli açık su kanalında yapılmış olup Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçüm Tekniği (PIV) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Su kanalı fiberglas malzemeden imal edilmiş iki adet su deposu ve bu depolar arasına monte edilmiş deney kanalı olarak adlandırılan şeffaf akrilik kısımdan oluşmaktadır. Deney kanalı 750 mm yükseklik, 1000 mm en ve 9000 mm boya sahiptir. İki su deposu arasındaki suyun hareketi, 15kW gücünde bir adet santrifüj pompa yardımıyla gerçekleştirilmektedir. Farklı hızlarda deney kanalı ve test bölgesinde deneyler yapabilmek için santrifüj pompanın devri frekans kontrollü bir hız kontrol ünitesi aracılığıyla değiştirilebilmektedir. Santrifüj pompa suyu, çıkıştaki su tankından emerek girişteki su tankına basmaktadır. Deneyler esnasında deney kanal boyunca akışın üniform olmasını sağlamak amacıyla giriş tankının çıkışına akışı düzenleyici petek sistemi konulmuş olup aynı zamanda giriş rezervuar kısmının çıkışı ile deney kanalı birleşme yeri arası 2:1 oranında daraltılarak bağlantı sağlanmıştır. Deney sisteminde giriş depo olarak kullanılan kısım aynı zamanda suyun bekleme odası olarak görev yapmakta olup su oradan akış düzenleyici bölüme geçip deney kanalına girmektedir. Ayrıca sistemde, depo doldurulan suyu yabancı partiküllerden ve kirlere ayırarak filtreleme sistemi mevcuttur. Bununla beraber su kanalının ve partikül dolaşım sistemlerinin ısısal olarak etkileşimini en aza indirmek için; laboratuvar 22°C nominal oda sıcaklığında tutulmaktadır. Ayrıca laboratuvar camları, lazer ışın demetinin güneş ışıklarından korunması için özel perdelerle kapatılmaktadır. Deney kanalının görünümü Şekil 1’de gösterilmiştir.



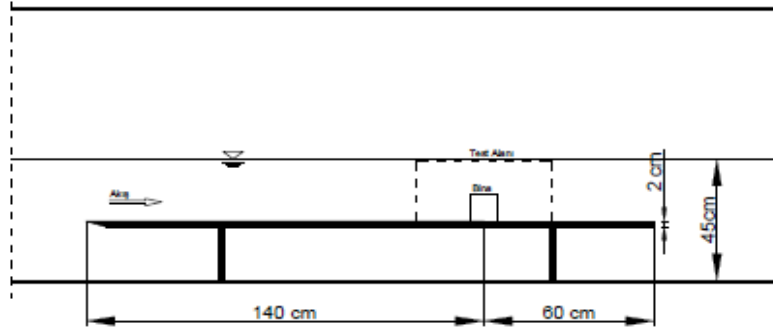
Şekil 1. Deney kanalının görünümü

Genel olarak PIV tekniği ile hız ölçümü, görselleştirme ve görüntü işleme olmak üzere iki adımdan oluşmaktadır. Akış alanına, akışı takip eden küçük parçacıklar eklenmektedir. Bu parçacıklar ölçülmek istenen yüzeyde bir ışık kaynağı tarafından kısa bir zaman aralığı içinde art arda iki kez aydınlatılmaktadır. Işık kaynağının (çoğunlukla lazer) art arda aydınlatma arasındaki zaman farkı Δt , ortalama akış hızına ve görüntülemenin büyütme ölçeğine bağlı olarak ayarlanmaktadır. İki aydınlatma arasında geçen sürede parçacıklar yerel akış hızı ile hareket etmektedirler. Parçacıklar tarafından saçılan ışık, ışık tabakasına dik olarak yerleştirilmiş yüksek çözünürlüklü bir kamera tarafından algılanmakta ve iki kare üzerine kaydedilmektedir. Elde edilen fotografik PIV kayıtları daha sonra bir tarayıcı yardımıyla dijital hale getirilerek bilgisayara transfer edilmektedir [11].



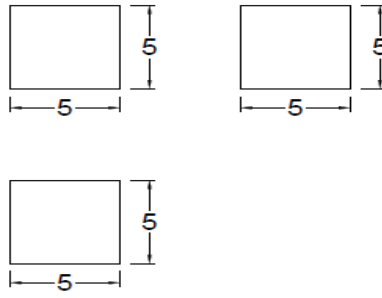
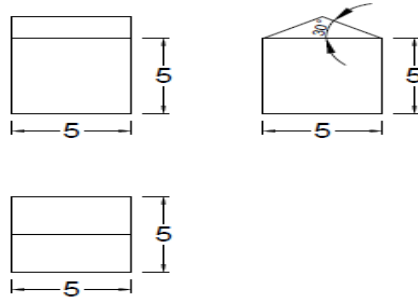
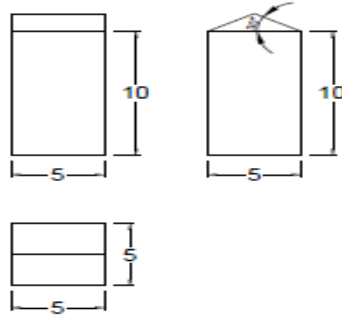
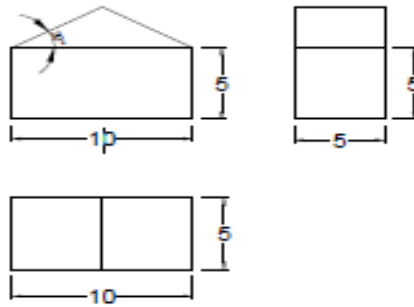
Şekil 2. PIV çalışma prensibi [12]

Akış alanına, akışı takip eden küçük parçacıklar eklenmektedir. Bu parçacıklar ölçülmek istenen yüzeyde bir ışık kaynağı tarafından kısa bir zaman aralığı içinde art arda iki kez aydınlatılmaktadır. Işık kaynağının (çoğunlukla lazer) art arda aydınlatma arasındaki zaman farkı Δt , ortalama akış hızına ve görüntülemenin büyütme ölçeğine bağlı olarak ayarlanmaktadır. İki aydınlatma arasında geçen sürede parçacıklar yerel akış hızı ile hareket etmektedirler. Parçacıklar tarafından saçılan ışık, ışık tabakasına dik olarak yerleştirilmiş yüksek çözünürlüklü bir kamera tarafından algılanmakta ve iki kare üzerine kaydedilmektedir.[13] Elde edilen fotografik PIV kayıtları daha sonra bir tarayıcı yardımıyla dijital hale getirilerek bilgisayara transfer edilmektedir. Şekil 2’de PIV çalışma prensibi gösterilmiştir. Yapılan deneylerde akış yapısını incelemek amacıyla şeffaf akrilik malzemeden imal edilen 4 bina modeli kullanılmıştır. Kullanılan modeller, Şekil 3’de görülen düzlem bir platform üzerine monte edilmiştir. Deneyler boyunca su kanalında su yüksekliği 0.45 m olarak sabit alınmıştır. Düzlem platformun ön ucu akışı bozmaması amacıyla pah kırılarak inceltilmiştir. Türbülans etkilerden sakınmak amacıyla silindirik modeli düzlem platform üzerinde akım yönünden itibaren girişten 1.5m uzağa monte edilmiştir. Deney alanının su kanalı içerisindeki şematik görünüşü Şekil 3’de verilmektedir. Deneyler serbest akım hızının 210 mm/s olması durumu için gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3. Düzlem platformunun şematik görünümü

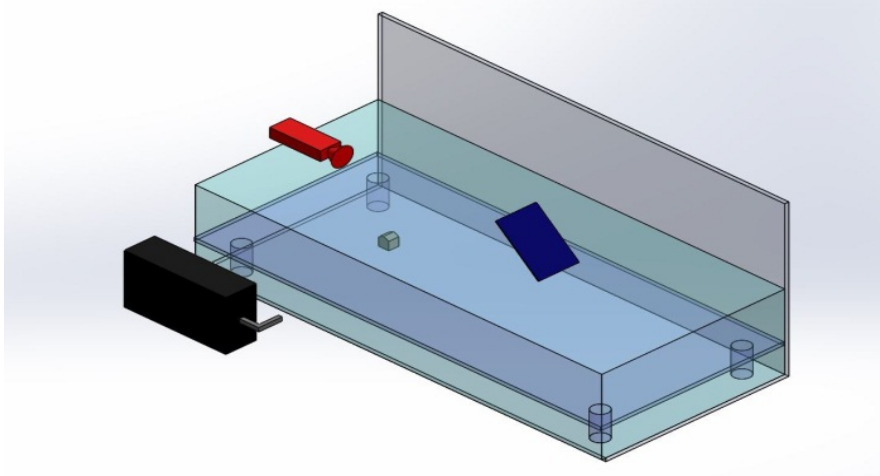
Bu çalışma için kullanılan bina modelleri çatısız kare bina modeli ve çatılı kısa, uzun ve geniş binalardır. Kullanılan modellere ait üç görünüşü verilen şekiller Şekil 4-7’de verilmiştir.

**Şekil 4.**Çatısız Kare Model (A)**Şekil 5.**Çatılı Kısa Model (B)**Şekil 6.** Çatılı Uzun Model (C)**Şekil 7.** Çatılı Geniş Model (D)

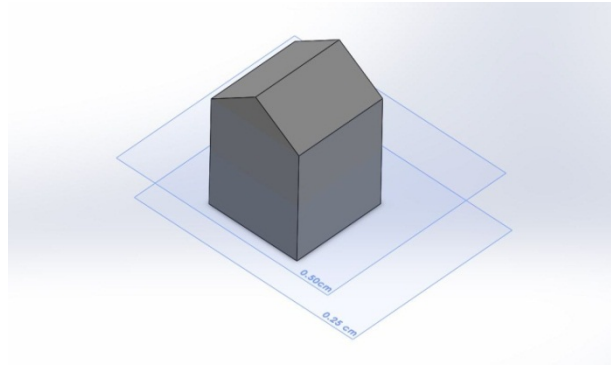
4.ÖLÇÜM YÜZEYLERİ

4.1. Üst Görünüş Ölçüm Yüzeyleri

Şekil 8'de binanın karşısına üstten görünüş için lazer binanın karşısına kamera kanalın üstüne yerleştirilmiş olup kameranın karşısına 45° eğimli ayna kullanarak deney düzeneği oluşturulmuştur. Üstten görünüş için simetri yüzeyi $z/h=2$ 'de alınmış Şekil 9'de gösterilmiştir. Şekil 10 ve Şekil 11'de ise deney düzeneği üzerinde lazer ve kameranın yerleşim pozisyonları gösterilmiştir.



Şekil 8. Üstten görünüş ölçümleri



Şekil 9. Üst görünüş Ölçüm yüzeyi



Şekil 10. Deney düzeneği ayna ve kamera

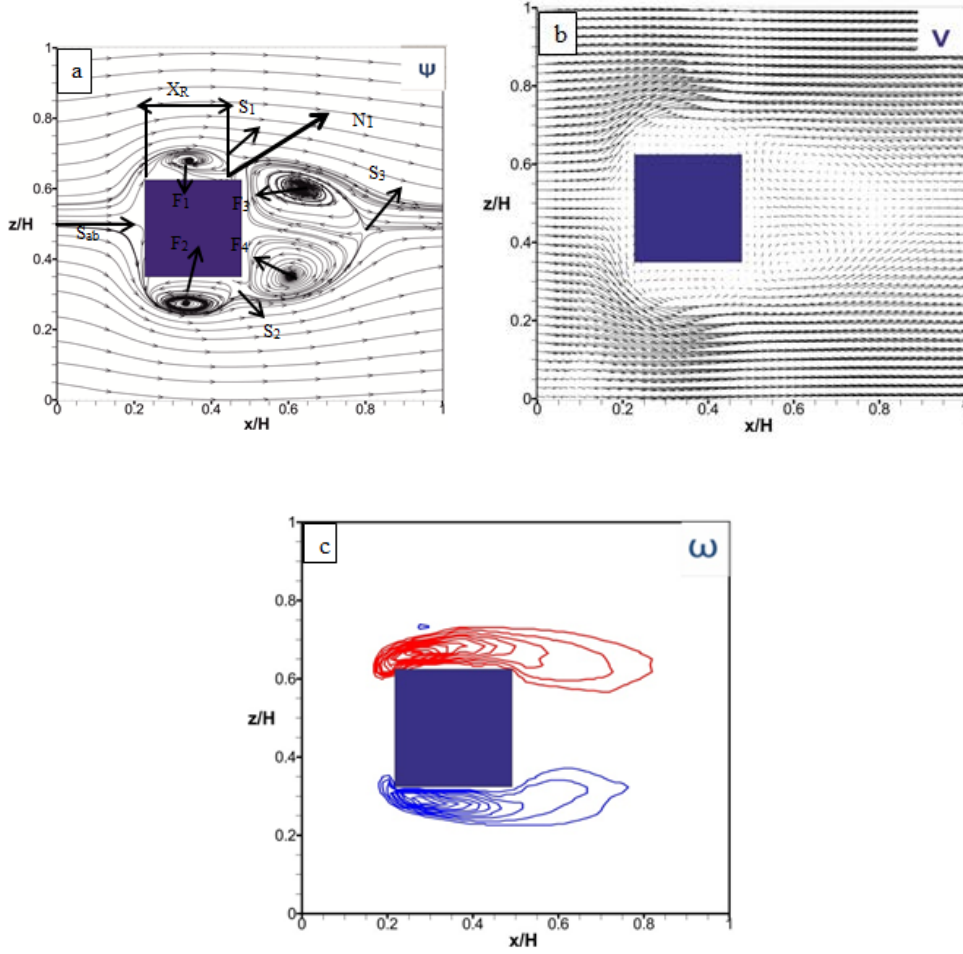


Şekil 11. Deney düzeneği lazer

4.1.1. DENEYSEL BULGULAR

Yapılan deneyler sonucu bina çevresinde oluşan akış yapısı hız vektörleri (V), akım çizgisi Ψ ve eş yüzey eğrileri ω şeklinde gösterilmiştir. Elde edilen verilerde hız vektörleri akışın yönünü ve dağılımını gösterirken, akım çizgileri anlık akış verilerinin anlaşılmasını kolaylaştırmaktadır. Türbülanslı sınır tabaka etkisiyle eş yüzey eğrileri oluşmaktadır. Çevrinti eğrileri (eş yüzey) renklendirme yapılarak verilmiştir. Bu renklendirme de mavi ve kırmızı renkler girdapların merkezlerini daha net ifade etmektedir. Pozitif (mavi renk) girdapların saatin tersi yönde hareket izlediklerini, negatifte (kırmızı renk) ise saat yönünde bir hareket izlediklerini göstermektedir.

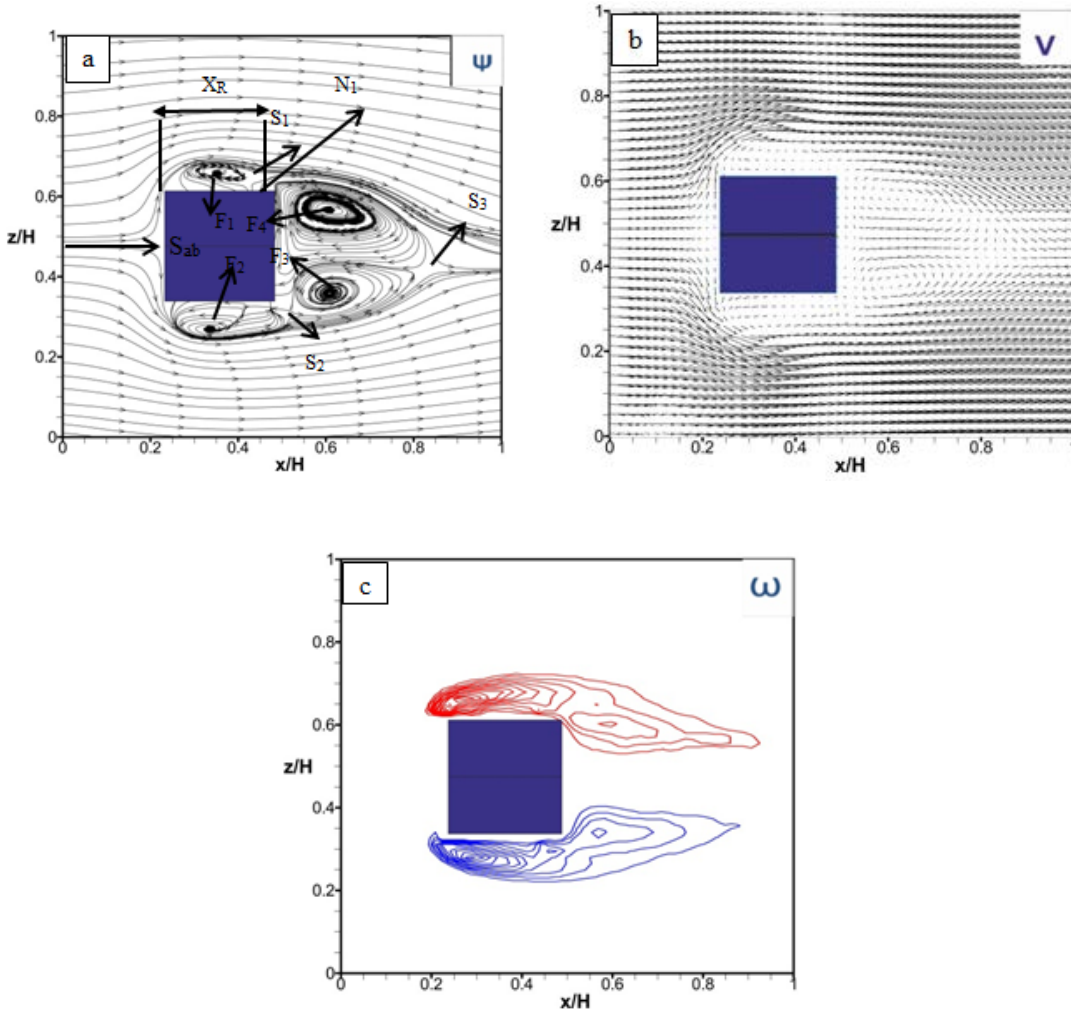
Şekil 12'de model boyutları 5x5x5cm olarak alınan kare kesitli çatısı olmayan bina modeli çevresindeki akış yapısı incelenmiştir. Modelin ön bölgesinde oluşan durma noktasından Sab itibaren akış, yukarı ve aşağı yönlü olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. (Şekil 12a). Yukarı ayrılan akış, model yan-sol köşesinden ayrılarak bir girdap bölgesi oluşturmaktadır. (F_1) Bu girdap merkezi $x=58,36\text{mm}$ ve $z=154,90\text{mm}$ noktasındadır. Bu girdabın sağ kısmında durma noktası (eyer noktası) S_1 oluşmuştur. Bu noktanın merkezi $x=82,45\text{mm}$ ve $z=154,06\text{mm}$ olarak belirlenmiştir. Model yan sol ayrılma bölgesi, N_1 noktasına kadar uzanmakta olup, uzunluğu $X_R=29,1\text{mm}$, kalınlığı ise $10,1\text{mm}$ olarak ölçülmektedir. Yüzeyden ayrılmanın nedeni, ayrılma noktasındaki kinetik enerjinin, basınç enerjisine göre düşük yoğunlukta kalmasıdır. Aşağı ayrılan akış model yan sağ köşesinden ayrılarak bir girdap bölgesi oluşturmaktadır. F_2 bu girdap merkezi $x=58,11\text{mm}$ ve $z=98,15\text{mm}$ noktasındadır. Bu girdabın sağ kısmında durma noktası (eyer noktası) S_2 oluşmuştur. Bu noktanın merkezi $x=82,45\text{mm}$ ve $z=104,9354\text{mm}$ olarak belirlenmiştir. Model yan sağ ayrılma bölgesi, N_2 noktasına kadar uzanmakta olup, uzunluğu $X_R=25,97\text{mm}$, kalınlığı ise $9,8\text{mm}$ olarak ölçülmektedir. Model arka bölgesinde, üst yüzeyden ve alt yüzeyden kayma tabakaları etkileşime girmekte ve üst üste konumlanmış, simetrik girdap çiftini oluşturmaktadır. Üst tarafta konumlanmış ve saat yönünde dönen girdap F_3 girdap merkezi $x=108,42\text{mm}$ ve $z=143,61\text{mm}$ noktasındadır. Burası aynı zamanda negatif çevrintinin olduğu bölge olup eş çevrinti eğrileri kırmızı çizgi olarak gösterilmiştir (Şekil12c). Alt tarafta konumlanmış girdap F_4 merkezi $x=102,16\text{mm}$ ve $z=108,88\text{mm}$ noktasındadır. Bu girdap ise saatin tersi yönde dönmekte olup, burası da pozitif çevrintinin meydana geldiği bölgedir. Oluşan F_3 ve F_4 girdap bölgeleri, modelin alt ve üst kısımlarındaki ayrılma noktalarına bağlı enerji kayıplarının ve sınır tabaka ayrılmasının sonucu oluşmaktadır. Ölçüm sonucu modelin yukarı akım ve aşağı akım bölgesi için ayrı ayrı elde edilen 7326 (99x74) adet vektör Şekil 12b'de simetri yüzeyi $y/h=0,5$ için gösterilmiştir. Bina ve taşıt gibi yüzeyler arkasındaki ayrılma bölgesinin büyüklüğü direnç kuvvetini doğrudan etkilemektedir[14] Model arkasındaki ayrılma bölgesinin uzunluğu 50 mm olarak belirlenmiştir. Bina arkasında oluşan F_3 ve F_4 girdap büyüklükleri eşit olduğundan durma noktası orta bölgede oluşmuştur. Durma noktası S_3 eyer noktası ise $x=135,33\text{mm}$ ve $z=127,804\text{mm}$ olarak belirlenmiştir.



Şekil 12. Üstten görünüşte çatısız kare bina (model A) etrafındaki akış için $y/h=0,5$ yüzeyindeki a) akım çizgileri $\langle\psi\rangle$, b) vektör alanı $\langle V\rangle$, c) çevrinti eğrileri $\langle\omega\rangle$, minimum ve çevrinti eğrileri artış değeri $\langle\omega_{min}\rangle=\pm 4s^{-1}$ ve $\Delta\langle\omega\rangle=2s^{-1}$

Şekil 13'de model boyutları $5\times 5\times 5$ cm olarak alınan kare kesitli 30° eğimli bina modeli çevresindeki akış yapısı incelenmiştir. Genel olarak akış yapıları, çatısız modele (Model A) benzer olmakla birlikte birtakım farklılıklar göze çarpmaktadır. Bina çatısından kaynaklı olarak modelin arkasında oluşan üst üste konumlanan girdaplarda simetrik yapı bozulmuştur. Bunu sebebinin modelin çatılı olmasından ve görüntünün alındığı yüzey açısından bina çatısına yakın olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Altta ki girdap göreceli olarak daha küçük oluşmuştur. Modelin ön bölgesinde oluşan durma noktasından Sab itibaren yukarı ayrılan akış, model yan-sol köşesinden ayrılan akışın oluşturduğu girdap bölgesi F_1 merkezi $x=58,99$ mm ve $z=152,64$ mm noktasındadır (Şekil 13a). Ayrılma bölgesi, N_1 noktasına kadar uzanmakta olup, uzunluğu $X_R=26,28$ mm, kalınlığı ise $10,1$ mm olarak ölçülmektedir. Aşağı ayrılan akış model yan sağ köşesinden ayrılan akışın oluşturduğu girdap bölgesi F_2 merkezi $x=58,45$ mm ve $z=97,59$ mm noktasındadır. Ayrılma bölgesi, N_2 noktasına kadar uzanmakta olup, uzunluğu $X_R=40,36$ mm kalınlığı ise $12,7$ mm olarak ölçülmektedir. Bu yüzeyde ayrılma bölgesinin uzunluğu ve kalınlığı da artmıştır. Bu kısımda sınır tabaka kalınlığının arttığını göstermektedir. Bina arkasında oluşan girdap çiftinden üst tarafta konumlanmış ve saat yönünde dönen girdap daha büyük alan kaplamakta olup F_3 girdap merkezi $x=104,04$ mm $z=139,37$ mm noktasındadır. Burası aynı zamanda negatif çevrintinin olduğu bölge olup eş çevrinti eğrileri kırmızı renkle gösterilmiştir (Şekil 13c). Alt taraftaki girdap ise saatin tersi yönde dönmekte olup F_4 merkezi $x=103,95$ mm $z=109,73$ mm noktasındadır. Burası pozitif çevrintinin olduğu bölgedir. Model arkasındaki girdap uzunluğu $58,19$ mm olarak belirlenmiştir. Durma noktası S_3 ise bina arkasından uzaklaşarak aşağı kaymakta $x=144,44$ mm ve $z=119,05$ mm noktalarında oluşmuştur. Bina arkasında üstte konumlanan girdap F_3 genişlemekte olup, buna karşılık alt taraftaki girdap ise küçülmektedir. Bina arkasında oluşan girdap bölgelerinin boyutlarında gözlemlenen değişimlere neden olarak, model çatısından kaynaklı olarak model

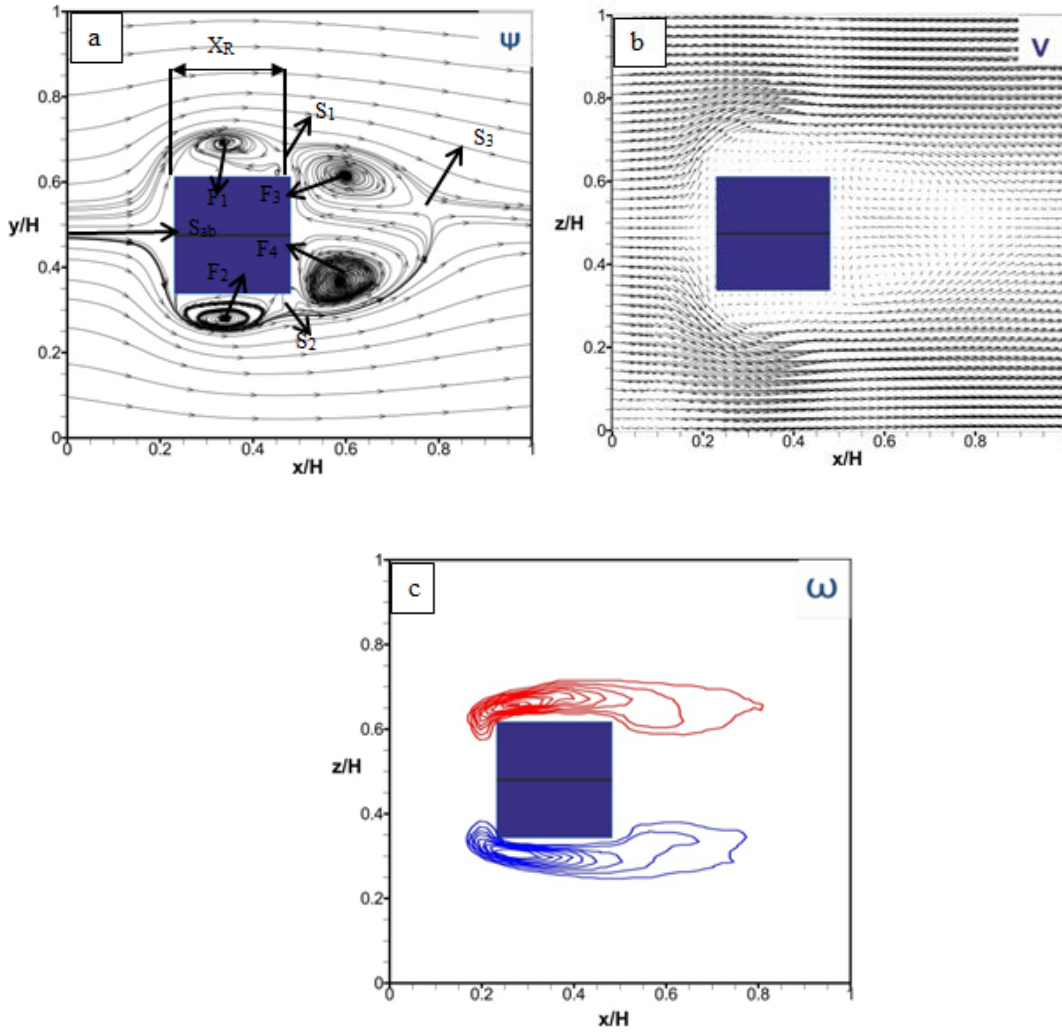
cidarlarından uzaklaştıkça, girdap bölgelerinin gelişim mesafesine olan ihtiyaç ve sınır tabaka gelişimi gösterilebilir.



Şekil 13. Üstten görünüşte çatılı kısa bina (model B) etrafındaki akış için $y/h=0,5$ yüzeyindeki a) akım çizgileri $\langle\psi\rangle$, b) vektör alanı $\langle V\rangle$, c) çevrinti eğrileri $\langle\omega\rangle$, minimum ve çevrinti eğrileri artış değeri $\langle\omega_{\min}\rangle = \pm 4 \text{ s}^{-1}$ ve $\Delta\langle\omega\rangle = 2 \text{ s}^{-1}$

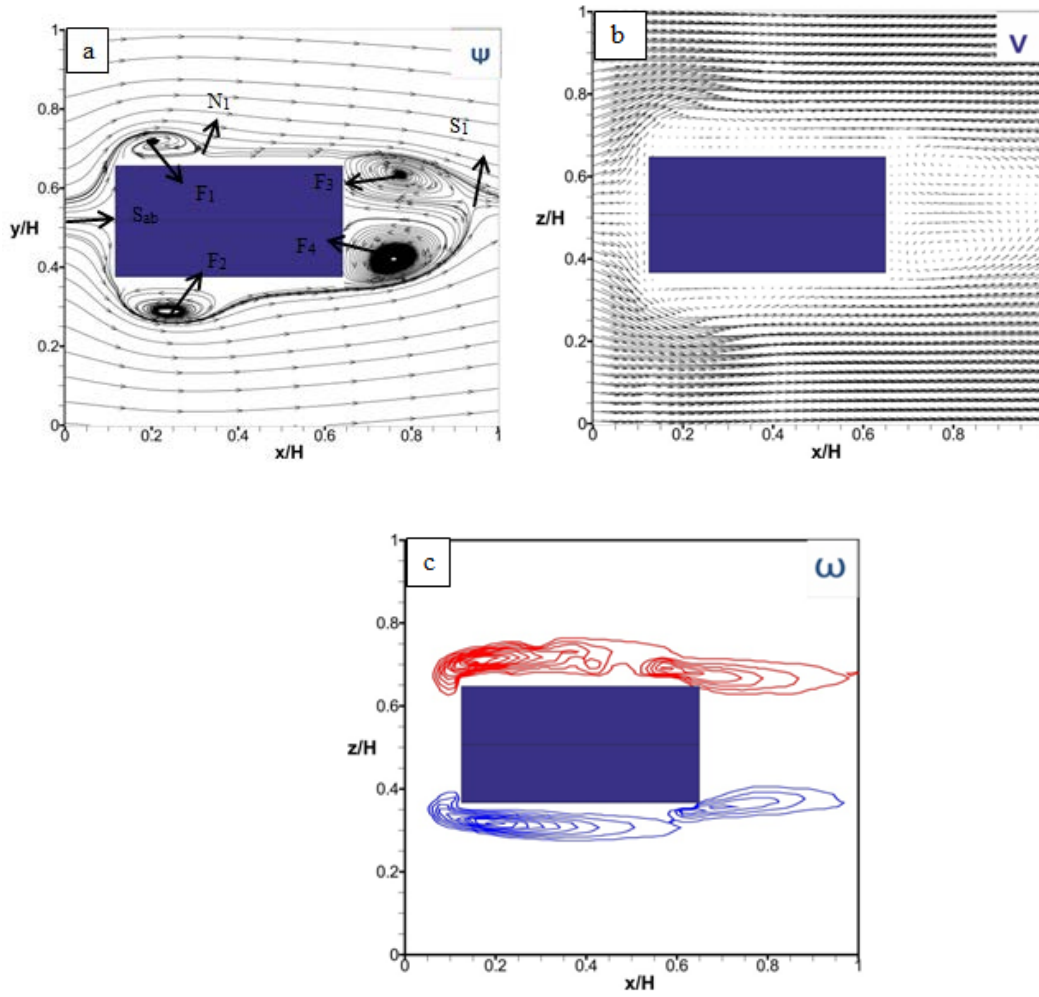
Şekil 14'de model boyutları $5 \times 10 \times 5 \text{ cm}$ olarak alınan dikdörtgen kesitli 30° eğimli bina modeli çevresindeki akış yapısı incelenmiştir. Genel olarak akış yapıları, çatılı kısa modele (Model B) benzer olmakla birlikte birtakım farklılıklar göze çarpmaktadır. Model B'de modelin arkasında oluşan girdaplardaki simetrik yapı bozukluğu bu modelde oluşmamıştır. Bunun sebebinin bina yüksekliği açısından görüntünün alındığı alan açısından çatı yüzeyinden uzak olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Modelin ön bölgesinde oluşan durma noktasından S_{ab} itibaren yukarı ayrılan akış, model yan-sol köşesinden ayrılan akışın oluşturduğu girdap bölgesi F_1 merkezi $x=57,31 \text{ mm}$ ve $z=156,60 \text{ mm}$ noktasındadır. (Şekil 14a). Ayrılma bölgesi, N_1 noktasına kadar uzanmakta olup, Bu girdap uzunluğu $X_R=30,66 \text{ mm}$, kalınlığı ise $8,65 \text{ mm}$ olarak ölçülmektedir. Aşağı ayrılan akış model yan sağ köşesinden ayrılan akışın oluşturduğu girdap bölgesi F_2 merkezi $x=57,72 \text{ mm}$ ve $z=99,00 \text{ mm}$ noktasındadır. Ayrılma bölgesi, N_2 noktasına kadar uzanmakta olup, uzunluğu $X_R=30 \text{ mm}$, kalınlığı ise $10,1 \text{ mm}$ olarak ölçülmektedir. Bina arkasında oluşan girdap çiftinden üst tarafta konumlanmış ve saat yönünde dönen girdap daha büyük alan kaplamakta olup F_3 girdap merkezi $x=100,44 \text{ mm}$ $z=146,437 \text{ mm}$ noktasındadır. Burası aynı zamanda negatif çevrintinin olduğu bölge olup eş çevrinti eğrileri kırmızı renkle gösterilmiştir (Şekil 14c). Alt taraftaki girdap ise saatin tersi yönde dönmekte olup F_4 merkezi $x=99,82 \text{ mm}$ $z=110,86 \text{ mm}$ noktasındadır. Burası pozitif çevrintinin olduğu bölgedir. Model arkasındaki ayrılma bölgesinin uzunluğu $46,75 \text{ mm}$ olarak belirlenmiştir. Bu bölgede oluşan F_3 girdabı uzunluğu ve kalınlığı azalmış buna karşılık F_4 alt girdap uzunluğu ve kalınlığı artmıştır. Bu sebeple

durma noktası yukarı kaymıştır. Durma noktası S_3 ise bina arkasından uzaklaşarak yukarı kaymakta $x=134,39\text{mm}$ ve $z=135,709\text{mm}$ noktalarında oluşmuştur.



Şekil 14. Üstten görünüşte çatılı uzun bina (model C) etrafındaki akış için $y/h=0,5$ yüzeyindeki a) akım çizgileri $\langle \psi \rangle$, b) vektör alanı $\langle V \rangle$, c) çevrinti eğrileri $\langle \omega \rangle$, minimum ve çevrinti eğrileri artış değeri $\langle \omega \rangle_{\min} = \pm 4 \text{ s}^{-1}$ ve $\Delta \langle \omega \rangle = 2 \text{ s}^{-1}$

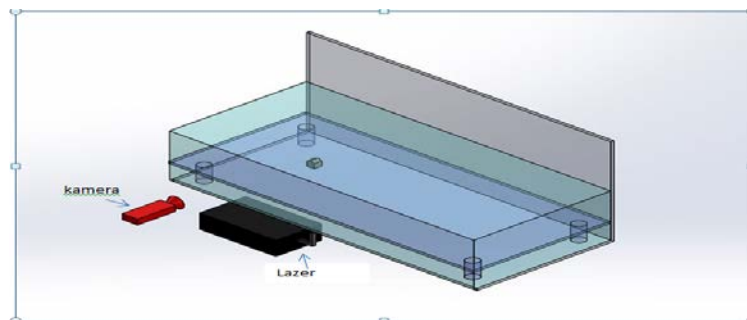
Şekil 15'da model boyutları $10 \times 5 \times 5 \text{cm}$ olarak alınan dikdörtgen kesitli 30° eğimli bina modeli çevresindeki akış yapısı incelenmiştir. Modelin ön bölgesinde oluşan durma noktasından S_{ab} itibaren yukarı ayrılan akış, model yan-sol köşesinden ayrılan akışın oluşturduğu girdap bölgesi F_1 merkezi $x=36,95\text{mm}$ ve $z=160,55\text{mm}$ noktasındadır. Ayrılma bölgesi, N_1 noktasına kadar uzanmakta olup, uzunluğu $X_R=32,8\text{mm}$ kalınlığı ise $7,354\text{mm}$ olarak ölçülmektedir. Aşağı ayrılan akış model yan sağ köşesinden ayrılan akışın oluşturduğu girdap bölgesi F_2 merkezi $x=42,92\text{mm}$ ve $z=100,41\text{mm}$ noktasındadır. (Şekil 15a). Ayrılma bölgesi, N_2 noktasına kadar uzanmakta olup, uzunluğu $X_R=38,05\text{mm}$, kalınlığı ise $8,625\text{mm}$ olarak ölçülmektedir. Bina arkasında oluşan girdap çiftinden; üst tarafta konumlanmış ve saat yönünde dönen girdap daha büyük alan kaplamakta olup, F_3 girdap merkezi $x=139,31\text{mm}$ $z=148,69\text{mm}$ noktasındadır. Burası aynı zamanda negatif çevrintinin olduğu bölge olup eş çevrinti eğrileri kırmızı renkle gösterilmiştir (Şekil 15c). Alt taraftaki girdap ise saatin tersi yönde dönmekte olup F_4 merkezi $x=136,66\text{mm}$ $z=118,76\text{mm}$ noktasındadır. Burası pozitif çevrintinin olduğu bölgedir. Bina arkasındaki alt tarafta konumlanmış olan girdap üst kısımdaki girdaba göre kalınlığı daha büyüktür. Model arkasındaki ayrılma bölgesinin uzunluğu $53,77\text{mm}$ olarak belirlenmiştir. Durma noktası S_1 merkezi $x=168,8\text{mm}$ ve $z=139,09\text{mm}$ noktalarında oluşmuştur.



Şekil.15. Üstten görünüşte çatılı geniş bina (model D) etrafındaki akış için $y/h=0,5$ yüzeyindeki a) akım çizgileri $\langle\psi\rangle$, b) vektör alanı $\langle V\rangle$, c) çevrinti eğrileri $\langle\omega\rangle$, minimum ve çevrinti eğrileri artış değeri $\langle\omega_{\min}\rangle = \pm 4 s^{-1}$ ve $\Delta\langle\omega\rangle = 2 s^{-1}$

4.2. Yan Görünüş Ölçüm Yüzeyleri

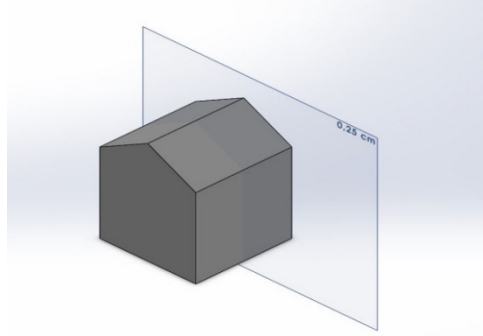
PIV düzeneğinde yandan görünüş (side view) ölçümleri alınarak deneyler yapılmıştır. Şekil 16-17'de görüldüğü gibi Lazer sistemi kanalın altına, CCD kamera ise kanalın karşısına yerleştirilmiştir. Yandan görünüş için ölçüm yüzeyi $z/h=0.5$ 'de alınmış Şekil 18'de gösterilmiştir.



Şekil 16. Yan görünüş ölçümleri



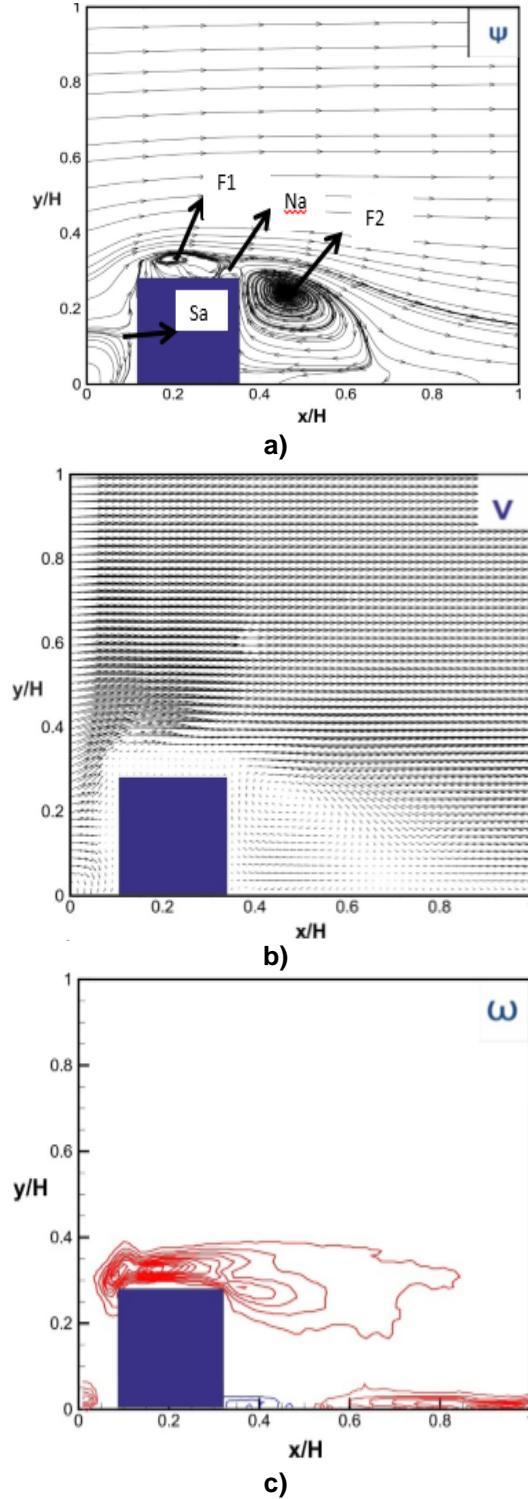
Şekil 17. Deney düzeneği içerisinde binanın yandan görünüşü



Şekil 18. Yandan görünüş ölçüm yüzeyi

4.2.1. DENEYSEL BULGULAR

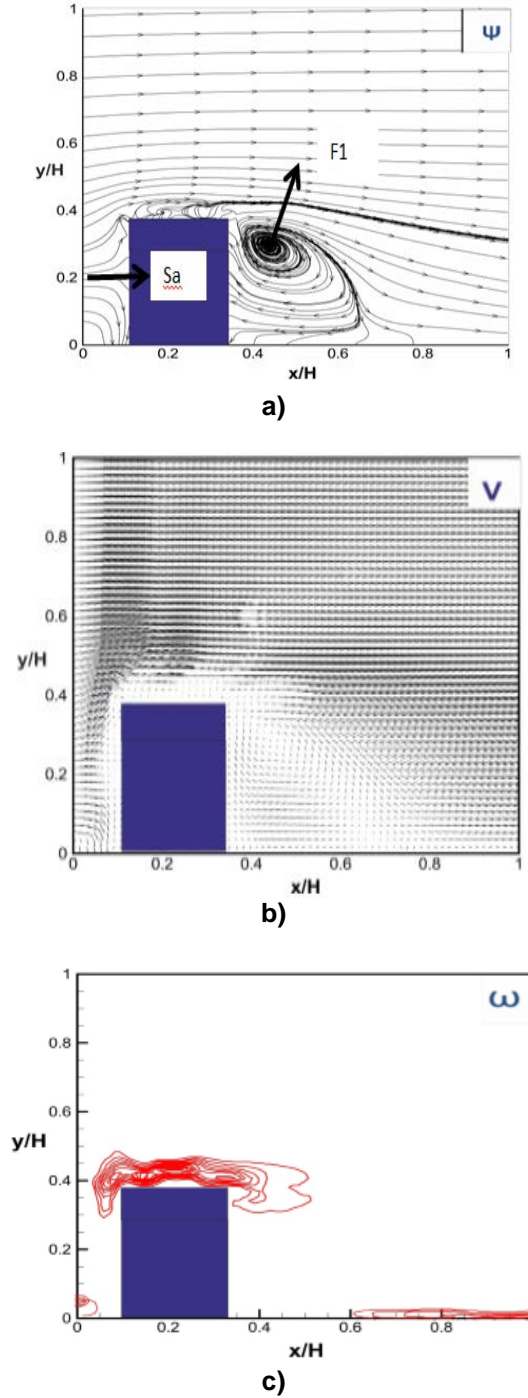
Şekil 19'da model boyutları 5x5x5cm olarak alınan kare kesit alanına sahip bina modeli çevresinde akış yapısı incelenmiştir. Şekil 19-a'da modelin ön bölgesinde oluşan (S_a) durma noktasından itibaren akış, yukarı ve aşağı yönlü olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Yukarı ayrılan akışta, model ön-üst köşesinden ayrılarak çatı üzerinde bir girdap bölgesi oluşturmaktadır. (F_1) Burada oluşan girdabın merkezi (38,92mm;56,36mm) olarak belirlenmiştir. Binanın ön bölgesinde oluşan bu tür akış bölgelerinin gürültü oluşumu, su ve toz birikimi gibi olumsuz etkileri bulunmaktadır [15]. Model çatısındaki ayrılma bölgesi, N_a noktasına kadar uzanmakta olup, uzunluğu $X=0,066.h$, kalınlığı ise $0,026.h$ olarak ölçülmektedir. Bina üst yüzeyinde oluşan bu akış ayrılmasının yüzeyden ayrılma noktasındaki kinetik enerjinin basınç enerjisine göre düşük yoğunlukta olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bina çatısının arka kısmında, akış, yüzeyin üst tarafından itibaren ayrılmadan hareketine devam etmektedir. Model arka bölgesinde, model yüzeyinden ayrılan kayma tabakaları nedeniyle girdap (F_2) oluşturmaktadır. Oluşan bu girdabın merkezi (91,98mm;41,50mm) olmakla birlikte uzunluğu $X=0.143.h$, kalınlığı ise $0.161.h$ 'dır. Şekil 19-b'de ölçüm sonucu elde edilen 7326(99*74) adet vektör gösterilmiştir. Zaman ortalamalı hız alanları (V) yüksek yoğunluklu hız vektörlerinin bulunduğu bölgeler hızların arttığı alanları gösterir iken düşük yoğunluklu hız vektörlerinin bulunduğu alanlar hızların azaldığı ve durduğu yerleri göstermektedir. Özellikle bina üzerinde oluşan girdap üst bitim noktalarında hızın yükseldiği bölgeleri görebiliriz. Şekil 19-c'de çevrinti eğrileri gösterilmiştir. Çevrinti eğrileri minimum $\omega_{min} \geq \pm 2s^{-1}$ ve çevrinti eğrileri artış değeri $\omega \geq 2s^{-1}$ olarak tespit edilmiştir. Eş yüzey eğrilerinin negatif değerinin daha yüksek olmasının nedeni bu bölgede hız değişiminin yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 19. Yandan görünüşte çatısız binaya (model A) ait a) akım çizgileri $\langle \psi \rangle$, b) vektör alanı $\langle V \rangle$ ve c) çevrinti eğrileri Çevrinti eğrileri minimum $\langle \omega_{\min} \rangle = \pm 2s^{-1}$ ve çevrinti eğrileri artış değeri $\langle w \rangle = 2s^{-1}$

Şekil 20'da model boyutları 5x5x5 cm olan 30° eğime çatıya sahip bina modeli çevresinde akış yapısı incelenmiştir. Şekil 14a'da modelin ön bölgesinde oluşan Sa durma noktasından itibaren akış, yukarı ve aşağı yönlü olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Yukarı ayrılan akış, model çatı üzerinde küçük döngüler oluşturmuştur. Binanın arka bölgesinde daha alt kısımlardan başlayan bir ters akış oluşturarak bina arkasında F1 girdabı oluşturmuştur. Uzunluğu $X_R = 0,176.h$, kalınlığı ise $0,329.h$ olarak

ölçülmektedir. Şekil 20b'de zaman ortalamalı hız alanları (V) resimlerinden yüksek yoğunluklu hız vektörlerinin bulunduğu bölgelerden hızların arttığı alanları düşük yoğunluklu hız vektörlerinin bulunduğu alanlarda ise hızların azaldığı ve durduğu yerleri görebiliriz. Şekil 20c 'de eş yüzey eğrileri gösterilmiştir. Çevrinti eğrileri minimum $\langle \omega_{\min} \rangle = \pm 2s^{-1}$ ve çevrinti eğrileri artış değeri $\langle \omega \rangle = 2s^{-1}$ olarak tespit edilmiştir. Çevrinti eğrilerinin negatif değerinin daha yüksek olmasının nedeni bu bölgede hız değişiminin yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu bina modelinde maksimum ve minimum çevrinti değerlerinin önceki çatısız modele göre artış gösterdiği görülmüştür.



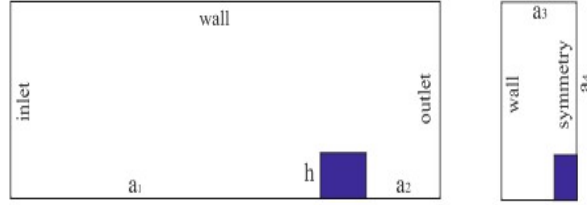
Şekil 20. Yandan görünüşte çatılı kısa binaya (model B) ait a) akım çizgileri $\langle \psi \rangle$, b) vektör alanı $\langle V \rangle$ ve c) Çevrinti eğrileri minimum $\langle \omega_{\min} \rangle = \pm 2s^{-1}$ ve çevrinti eğrileri artış değeri $\langle \omega \rangle = 2s^{-1}$

5. SAYISAL YÖNTEM

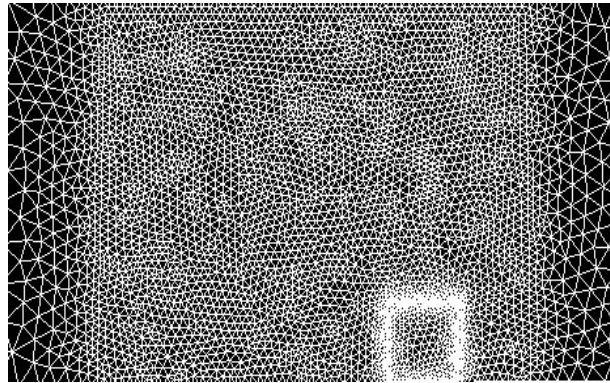
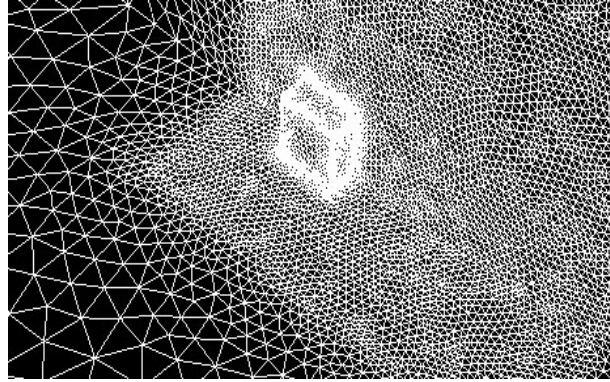
Çalışmanın sayısal kısmında yalnızca yandan görünüş için iki bina modeli etrafındaki akış yapıları incelenerek deneysel çalışma ile karşılaştırılmıştır. Tablo 1 de bina modellerine ait kullanılan eleman sayıları verilmiştir. Bina modeli ve hesaplama alanı Şekil 21’de gösterilmektedir. Bütün geometrik parametreler model binanın yüksekliğine göre boyutsuz olarak ifade edilmiştir. Model bina, kanalın simetri eksenine yerleştirilmiştir. Kanal kesiti deneysel çalışmada kullanılan kesitin aynısıdır. Model bina, ön yüzü ile kanal girişi arasındaki mesafe $a_1=32h$ olacak biçimde, arka yüzeyi ile kanal çıkışı arasındaki mesafe $a_2=10h$ olacak biçimde kanala yerleştirilmiştir. Ağ yapısı olarak piramit elemanlardan oluşan ve yapısal olmayan ağ yapısı ANSYS Fluent 12. programı kullanılarak oluşturulmuştur (Şekil 22). Model bina çevresi hacim bölgelerinde, yoğun ağ parametreleri kullanılarak daha sık bir ağ yapısı oluşturulmuştur. Analiz üç boyutlu olarak modellenmiştir. Aşağıda verilen tabloda sayısal modelleme için kullanılan eleman sayıları verilmiştir.

Tablo 1. Sayısal ağ özellikleri

Bina Modeli	Nod Sayısı	Eleman Sayısı
Çatısız	252884	1382466
Kısa	252918	1381920



Şekil 21. Bina modeli ve hesaplama alanı



Şekil 22. Üç boyutlu mesh görünümü

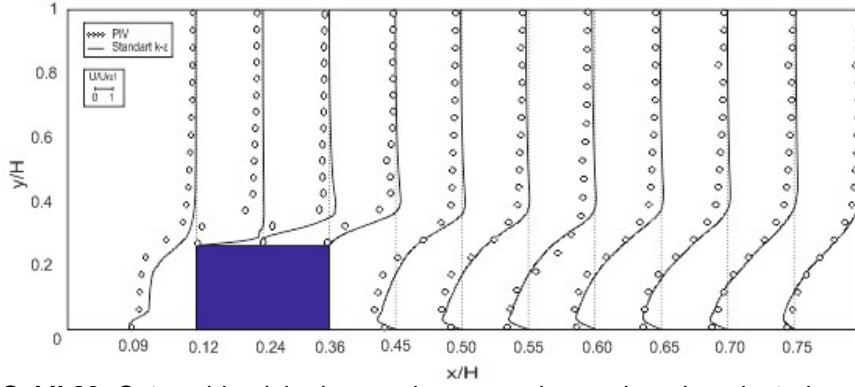
Sayısal çözümlemede türbülans modeli olarak standart k- ϵ türbülans modeli kullanılmıştır. Bunun nedeni değişik problemlere cevap verebilme kapasitesinin oldukça geniş olmasıdır. Standart k- ϵ türbülans modelinde k ve ϵ taşınım denklemleri kararlı rejim şartlarında doğal taşınımın ihmal edildiği, sıkıştırılmaz akış koşullarında eşitlik 1 ve 2 de verilmiştir.

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho k u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k - \rho \epsilon + S_k$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho \epsilon u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} G_k - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} + S_\epsilon$$

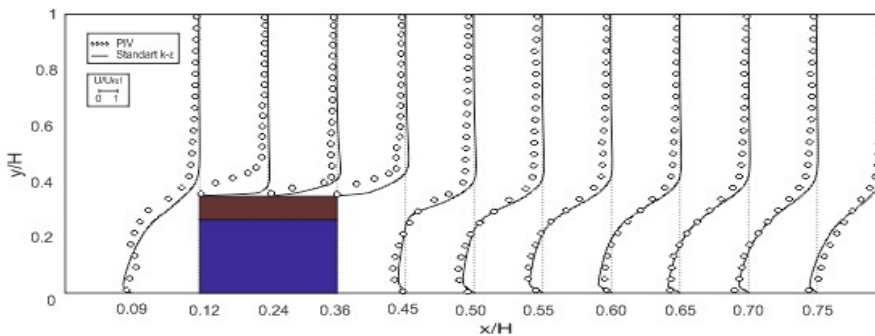
Yukarıda verilen iki denklemlerde G_k terimi türbülans kinetik enerji terimini ifade etmektedir. $C_{1\epsilon}$ ve $C_{2\epsilon}$ terimleri sabit katsayılardır. σ_k ve σ_ϵ terimleri k ve ϵ için türbülans Prantl sayılarını ifade etmektedir. S_k ve S_ϵ kaynak terimleridir.

Şekil 23'de Çatısız bina modeli (model A) için bina ön, üst ve özellikle de arka bölgelerinde oluşan akış yapısını incelemek açısından U hızının kanal yüksekliğine göre değişimi binanın belli bölgeleri için boyutsuz olarak deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Grafikler incelendiğinde deneysel ve sayısal sonuçlar arasında bazı bölgelerde %3 farklılık olduğu görülmüştür.



Şekil 23. Çatısız bina için deneysel ve sayısal sonuçların karşılaştırılması

Şekil 24'de Çatılı kısa bina modeli (model B) için bina ön, üst ve özellikle de arka bölgelerinde oluşan akış yapısını incelemek açısından U hızının kanal yüksekliğine göre değişimi binanın belli bölgeleri için boyutsuz olarak deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Grafikler incelendiğinde deneysel ve sayısal sonuçlar arasında bazı bölgelerde %3 farklılık olduğu görülmüştür.



Şekil 24. Çatılı kısa bina için deneysel ve sayısal sonuçların karşılaştırılması

SONUÇLAR

Bu çalışmada, üstten görünüş için dört farklı bina modeli etrafındaki akış yapısı, yandan görünüşte iki bina modeli için deneyler kapalı devre açık yüzeyli su kanalında Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçüm Tekniği (PIV) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bina modelleri olarak 5x5x5cm boyutlarında çatısız, 5x5x5cm boyutlarında 30° eğime sahip çatılı, 5x10x5cm boyutlarında 30° eğime sahip çatılı, 10x5x5cm boyutlarında 30° eğime sahip çatılı modeller kullanılmıştır. Bu bina modelleri üzerinde akış alanları (ortalama hız alanları, akım çizgileri ve girdap eş düzey eğrileri vs.), Aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

1. Gelen rüzgârın binaların kenar ve köşelerinden ayrılması sonucunda, binaların önünde, yan duvarları boyunca, arkasında ve çatı yüzeylerinde ters akış bölgeleri meydana gelmektedir. Ters akış bölgeleri ile serbest akış bölgesini ayıran karışım tabakasında türbülans şiddetleri, artmaktadır.
2. Simetri ekseninden yan kenarlara gidildikçe sınır tabaka kalınlığı azalmaktadır. Aşağı akım yönündeki jet akışı yerini düşük enerjili akışa bırakmaktadır. Bu nedenle bina modeli arkasındaki ayrılma bölgesinin uzunluğu yan kenarlara gidildikçe azalmaktadır.
3. Yüksek türbülans kinetik enerji bölgesi, model arkasındaki ters akış bölgesinde oluşmaktadır. Simetri ekseninden yan kenarlara gidildikçe türbülans kinetik enerji daha geniş bir bölgeye yayılmaktadır. Model arkasından aşağı akım bölgesine gidildikçe, yakın girdap bölgesinde türbülans kinetik enerji seviyeleri artmakta, uzak girdap bölgesine gidildikçe ise azalmaktadır.
4. Düz çatıda ön kenardan ayrılan akış, bina yüksekliğinin yaklaşık 0.45 katı bir uzaklıkta çatı yüzeyine tekrar tutunmakta ve çatı arka kenarından tekrar ayrılmaktadır. 30° eğimli çatının ön kenarında çok kısa bir mesafede ters akış bölgesi oluşmaktadır.
5. Deneysel ve sayısal sonuçlar karşılaştırıldığında genel olarak akış profillerinin birbiriyle uyumlu olduğu oluşan farklılıkların bina arkasındaki bölgelerde olduğu görülmüştür.
6. Bina geometrilerine bağlı olarak bina arkasındaki girdap büyüklükleri değişmekte olup en büyük girdap çatılı geniş bina modelinde gerçekleşmiştir.

SEMBOLLER

ψ	akım çizgisi
V	vektör alanı
ω	çevrinti (Eş Yüzey)
Δt	zaman farkı [sn]
h	bina yüksekliği [cm]
z	bina genişliği [cm]
a_1	kanal başlangıcından binaya kadar olan mesafe [cm]
a_2	bina bitiminden kanal sonuna kadar olan mesafe [cm]
X	girdap uzunluğu [cm]
N_a	akış ayrılması
S_a	bina ön durma noktası
S_1	durma noktası (Saddle point)
F	girdap
u, v	x ve y yönündeki hız bileşenleri [m/s]

**KAYNAKLAR**

- [1] KURÇ, Ö., vd. “Yüksek Binalarda Rüzgar Etkilerinin Rüzgar Etkilerinin Rüzgar Tüneli Deneyleleriyle Tespiti” İMO Teknik Dergi 6163-6186 yazı 389, 2012
- [2] TUTAR, M., ve OĞUZ, G., “ Large Eddy Simulation of Wind Flow Around Paralel Buildings with Varying Configurations”, Fluid Dynamics Research, 289-31 , 2002
- [3] BLOCKEN, B., CARMELİET, J., ve diğ., “ The Mutual Influence of Two Buildings on Their Wind Driven Rain Exposure and Comments on The Obstruction Factor ”, J. Wind Eng. Ind. Aerodyn . 97, 180-1965 ,2009
- [4] BLOCKEN, B., STATHOPOULOS, T., vd.. “CFD Simulation of near Field Pollutant Dispersion on A High Resolution Grid: A Case Study by LES and RANS for A Building Group in Downtown Montreal” Atmospheric Environment 45, 428-438, 2011
- [5] BLOCKEN, B., vd. “ On The Validty of Numerical Wind- Driven Rain Simulation on A Rectangular Low- Rise Building under Various Oblique Winds " Buildings and Environment, 44 , 621-632 , 2009.
- [6] YOSHİE, R., MOCHİDA, A., TOMİNAG, Y., KATAOKA, H., NOZU, T., SHİRASAWA, T., “Cooperative Project for CFD Prediction of Pedestrian Wind Environment in The Architectural Instute of Japan” J. Wind Eng. Ind. Aerodyn. 95, 1551-1578, 2007
- [7] WANG, X.R., GU, M., “Experimental Study on Re Number Effects on Aerodynamic Characteristics of 2D Square Prisms with Corner Modifications”, Wind and Structures, 22, 5, 573-594, 2016.
- [8] YAN, B.W., LI, Q.S. “Wind Tunnel Study of Interference Effects between Twin Super-Tall Buildings with Aerodynamic Modifications”, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 156, 129-145, 2016.
- [9] AKON, A., KOOP, G.A. “Mean Pressure Distributions and Reattachment Lengths for Roof-Separation Bubbles on Low-Rise Buildings”, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics”, 155, 115-125, 2016.
- [10] ELSHAER, A., ABOSHOSHA, H., BITSUAMLAK, G., EL DAMATTY, A., DAGNEW, A., “LES Evaluation of Wind-Induced Responses for an Isolated and a Surrounded Tall Building”, Engineering Structures, 115, 179-195, 2016.
- [11] Anonim, “ PIV çalışma prensibi” <http://www.dantecdynamics.com>. 2014
- [12] TEMEL, Ü., “Yan Yan Taşıt Geçiş Durumlarındaki Etkileşimlerin Meydana Getidiği Akış Yapılarının İncelenmesi”,2003
- [13] ADRIAN, R. J., 1991, Particle-Imaging Techniques for Experimental Fluid Mechanics. Annual Review of Fluid Mechanics, 23, 261-304.
- [14] GUİLMİNEAU, E., “Computational Study of Flow Around A Simplified Car Body” Journal of Wind Engineering and Indutrial Aerodynamics 96. - 2008.
- [15] HUCHO W.H., “Aerodynamic of Road Vehicles”, SAE Publishing, Warrendale, PA..1998



ÖZGEÇMİŞ

Deniz GÖLBAŞI

1996 yılında Cumhuriyet Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünü bitirmiştir. 1998-2008 yılları arasında Cumhuriyet Üniversitesi Divriği Meslek Yüksekokulunda Öğretim Görevlisi olarak çalışmıştır. 2003 yılında Cumhuriyet Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümü Yüksek Lisans eğitimini, 2015 yılında Cumhuriyet Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünde Doktora Eğitimini tamamlamıştır. 2016 tarihinden itibaren Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliğinde Yardımcı doçent olarak görev yapmaktadır.

Ertan BUYRUK

1970 yılına Sivas doğumludur. 1991 yılında Cumhuriyet Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden mezun olmuştur. Temmuz 1992- Aralık 1996 yılları arasında İngiltere Liverpool Üniversitesi'nde doktorasını tamamlamıştır. 1997 yılında Yrd. Doç., 2004 yılında Doçent, 2009 yılında Profesör unvanını almıştır. Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Endüstri Mühendisliği, Makine Mühendisliği Bölüm Başkanlıklarının yanında Mühendislik Fakültesi Dekan Yardımcılığı görevlerini de yerine getirmiştir. 2015-2016 tarihlerinde Cumhuriyet Üniversitesi Rektör Yardımcılığı görevini yapmıştır. Halen Cumhuriyet Üniversitesinde Profesör olarak görev yapmaktadır.

Beşir ŞAHİN

1985 yılında doktorasını Brunel Üniversitesinde tamamlamıştır. Halen Ç.Ü. Mühendislik Fakültesinde Profesör olarak görev yapmaktadır. Uluslararası indeksli dergilerde 80 adet olmak üzere toplam 220 adet bilimsel çalışması vardır. Uygulamalı akışkanlar mekaniği konularında çalışmaktadır.

Koray KARABULUT

1984 yılı Samsun doğumludur. 2007 yılında Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. 2009 yılında aynı üniversitede Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başlamıştır. Aynı üniversitenin Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana bilim dalı, Enerji Bilim dalında 2010 yılında Yüksek Lisansını ve 2015 yılında da Doktorasını tamamlamıştır. Halen Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü'nde Yrd. Doç. Dr. olarak görev yapmaktadır. Temel çalışma alanları: Isı ve Kütle Transferi, Termodinamik, Akışkanlar Mekaniği, Isı Yalıtımı, Plakalı Kanatçıklı Isı Değiştiricilerde ve Nanoakışkanlarda Isı Transferi üzerinedir.