



İKİLİ KÜP MODELLERİNİN AKIŞ ALANINA FARKLI AÇIKLIK ORANLARINDA YERLEŞTİRİLMESİNİN AKIŞ YAPISINA ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

¹Cemre POLAT , ²Doğan Burak SAYDAM , ³Mustafa SÖYLER , ⁴Coşkun ÖZALP 

¹Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Düzüçi Meslek Yüksekokulu, Motorlu Araçlar ve Ulaştırma Teknolojileri Bölümü, Raylı Sistemler Makine Teknolojisi Programı, Osmaniye, TÜRKİYE

^{2,3,4}Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Osmaniye, TÜRKİYE

¹cemrepolat@osmaniye.edu.tr, ²doganburaksaydam@osmaniye.edu.tr, ³mustafasoyler@osmaniye.edu.tr,

⁴coskunozalp@osmaniye.edu.tr

(Geliş/Received: 06.05.2021; Kabul/Accepted in Revised Form: 08.02.2022.)

ÖZ: Küp şeklindeki cisimlerin birbiri ile konumlandırılması cisimlerin etrafındaki akış yapısından kaynaklanan akış etkileri açısından önemlidir. Cisimlerin yerleşimi faydalı rüzgâr akımı yaratabileceği gibi istenmeyen rüzgâr akımı meydana getirerek cisimlerde yapısal titreşimler ve gürültü gibi istenmeyen durumları da meydana getirebilmektedir. Bu çalışmada akrilik malzemeden, 75x75mm boyutlarında imal edilen küp cisim modelleri, aralarında farklı açıklık oranlarında ($D/h = 0.5, 1$ ve 2) olacak şekilde konumlandırılmıştır. D küpler arasındaki mesafeyi, h küpün kenar uzunluğunu ifade etmektedir. Kullanılan modellerin karakteristik çapına (h) ve akış hızına (V) bağlı olarak deneyler Reynolds sayısı, $Re=26000$ 'de gerçekleştirilmiştir. Parçacık Görüntüleme Hız Ölçüm Tekniği (PIV) kullanılarak anlık olarak elde edilen hız vektörleri ile anlık girdap, akım çizgisi gibi bileşenler hesaplanmış ve hesaplanan anlık verilerle de zaman ortalama hız, girdap ve türbülans istatistikleri belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, ayrılmış akış bölgesinin D/h oranının artması ile daha geniş bir alana yayıldığı görülmektedir. D/h oranının artması ile hız bileşeninin dalgalanmalarının azaldığı, modeller arasındaki D/h oranının azalması ile iki model arasında kalan bölgede akış hızının arttığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kübik cisimler, Akış yapısı, PIV, D/h

Experimental Investigation of The Effect of Placing Dual Cube Models in The Flow Field with Different Gap Ratios on Flow Structure

ABSTRACT: The positioning of cube-shaped objects with each other is important in terms of flow effects arising from the flow structure around the objects. The placement of the objects can create a beneficial flow regime, as well as creating undesirable wind flow and undesirable situations such as structural vibrations and noise in the objects. In this study, cube object models manufactured from acrylic material with dimensions of 75x75mm were positioned with different gap ratios ($D/h = 0.5, 1$ and 2) between them. D is the distance between cubes; H is the characteristic height of the cube. The experiments were carried out at Reynolds number of 26000, depending on the characteristic height (H) and flow velocity (V) of the models used. Using the Particle Imaging Velocity Measurement Technique (PIV), instantaneous velocity vectors and components such as instantaneous eddies and streamlines were calculated, and the average turbulence statistics values were determined with the instant data. As a result of the study, it is seen that the flow separation zone spreads over a wider area with the increase of the D/h ratio. It has been

determined that the fluctuations of the velocity component decrease with the increase of the D/h ratio. The decrease in the D/h ratio between the models resulted increasing the velocity of the fluid.

Keywords: *Cube, Flow structure, PIV, D/h*

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Yaşadığımız çevrede kentsel alanların artışıdaki hızlı büyüme, çarpık kentleşme, ortak kullanım alanlarının azalması, yeşil alanlardaki küçülme gibi etkenlerden kaynaklı olarak çevresel bozulma ve yaşam kalitesinin düşmesi gibi endişeleri de beraberinde getirmektedir. Ayrıca doğal çevrenin farklı özelliklere sahip eşit olmayan binalar ile tasarlanması kentleşmenin önemli bir problemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Kentsel bir yapıda bina etrafındaki rüzgârın incelenmesi atmosferik sınır tabakasının alt kısmında (0-200 m) doğal havalandırma tasarımı, yaya konforu ve hava kirleticilerin yayılması dâhil olmak üzere çevre ile alakalı birçok alanda çok önemlidir. Kentsel alanlardaki rüzgâr akışını anlama konusunda önemli ilerleme kaydedilmiş olsa da detaylandırılması gereken çeşitli konular vardır (Princevac ve diğ., 2010; Sari ve Kusumaningrum, 2014; Liu ve diğ., 2018).

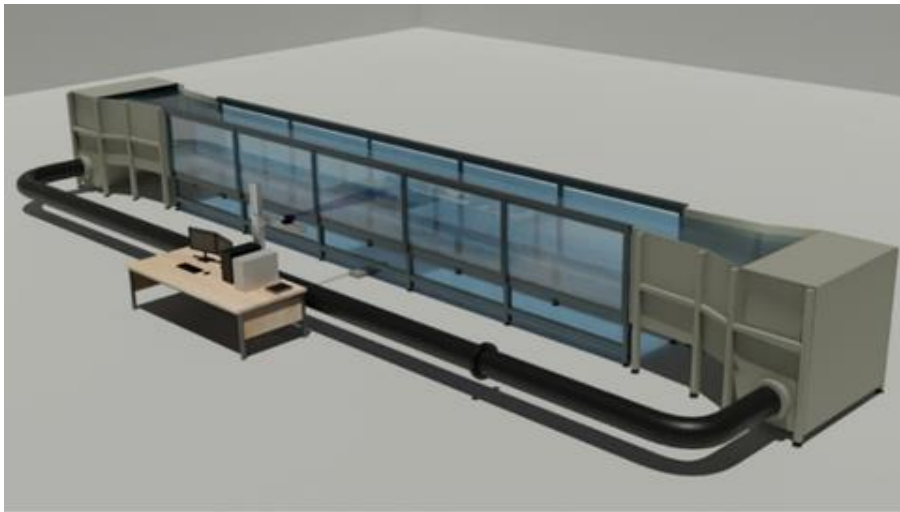
Küt cisimler etrafındaki akışlara olan ilgi, mühendislik uygulamalarında ve günlük yaşamda (köprülerin, binaların, antenlerin, araçların ve ekipmanların aerodinamiği vb.) birçok farklı alanda karşılaşıyor olmasından kaynaklanmaktadır (Joubert ve diğ., 2015). Bir yüzeye monte edilen kare prizmalar etrafındaki akış, ince kare kesitli sütunlar, küpler ve düşük profilli kare bloklar dahil olmak üzere basitleştirilmiş binaların ve diğer yapıların aerodinamik çalışmalarıyla doğrudan ilgilidir (Lin ve Violi, 2010). Bina üzerine etkiyen kuvvetler sıralanmış binalar ve aynı alanda bulunan bina grupları için farklı olacaktır. Bu nedenle, gruplandırılmış binaların etrafındaki akış yapısının incelenmesi önemlidir. Binalar etrafındaki akış yapısı literatürde yer alan çalışmalarda prizmatik küt cisim kullanılarak modellenmiştir. Basit geometrisi ve düzenli girdap yapısı nedeniyle prizmatik küt cisim etrafındaki akış yapısı (akış ayrılması, girdap dökülmesi, yeniden birleşme vb.) ile ilgili literatürde çeşitli çalışmalar görmek mümkündür. Castro ve Robins, bir küp üzerine gelen akışın etkilerini, hız profilini ve küp yüzeyinde meydana gelen basınç dağılımını incelemek için deneysel bir çalışma yapmışlar, üst akış bölgesindeki türbülans ve art izi akış bölgesindeki kaymayı tartışarak, akışı tanımlamaya uygun son sayısal girişimlerin uygunluğunu açıklamışlardır. (Castro ve Robins, 1977). Tominaga ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada, 5:10 ve 7.5:10 çatı eğimleri arasındaki farka kıyasla, 3:10 ve 5:10 eğimleri arasındaki akış düzenlerinde büyük bir fark gözlemlemişler, bina modelinin etrafındaki akışın 20 derecelik çatı eğiminden sonra kritik olarak değiştiğini gözlemlemişlerdir (Tominaga ve diğ., 2015). Tutar ve Oğuz tarafından yapılan çalışmada araştırmacılar, birbirine paralel iki binanın ve 9 binadan oluşan bir bina grubunun etrafındaki akış yapısını sayısal olarak incelemişleridir. Çalışma sonucunda araştırmacılar, bina yapılandırılmalarındaki geometrik değişikliklerin, binaların etrafındaki rüzgâr hızı koşullarını doğrudan etkileyebileceğini, iki bina etrafındaki rüzgâr hızının, akış geçiş genişliğindeki artışla birlikte azaldığını göstermişlerdir. Ek olarak çalışmada araştırmacılar, çoklu bina düzenlemesinin her iki geçidinde de kanal oluşturma etkisinin meydana geldiğini ve hız büyüklüklerinin geçiş merkezi çizgisi boyunca düştüğünü göstermişlerdir (Tutar ve Oğuz, 2004). Guichard, bir binaya etki eden rüzgâr yüklerinin benzetimi için büyük Girdap Simülasyonu (LES) ve Rasgele Akış Üretimi (RFG) yöntemlerini kullanmıştır. Çalışmada çeşitli bina şekillerine (yüksek katlı bir bina ve düşük katlı bir bina için) etki eden kararsız rüzgâr basınçlarının, istatistikleri ve dağılımları incelenmiştir (Guichard, 2019). Park ve arkadaşları, kapı tipi bir açıklığa sahip izole bir binaya etkiyen rüzgâr ve rüzgârın kaldırma kuvvetinin akış yönündeki tek taraflı havalandırma üzerine birleşik etkisini üç boyutlu türbülanslı akış yapılarını sayısal olarak incelemişlerdir (Park ve diğ., 2017). Yakhot ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada ise araştırmacılar gelişmiş türbülanslı bir akışta, akışa dik yerleştirilmiş bir küp geometrisini Doğrudan Sayısal Benzeşim (DNS) yöntemi ve deneysel olarak $Re=5610$ sayısında incelemişlerdir. Çalışma sonucunda, cismin etrafında oluşan at nalı girdabının, küpün arkasında oluşan kemer tipi girdap ile

etkileşiminin kararsız bir girdap dökülmesine yol açtığını göstermişlerdir. Genel olarak, hesaplamaların deneysel bulgular ile iyi bir uyum içinde olduğunu göstermişlerdir (Yakhot ve diğ., 2006).

Literatür taramasında da görüldüğü gibi araştırmacıların modelledikleri kübik bina modelleri etrafındaki akış yapısı ile ilgili farklı sayısal ve deneysel çalışmalar yer almaktadır. Bu çalışmada birbirlerine göre farklı açıklık oranları (D/h) ile yerleştirilen ikili bina modellerinin çevresindeki akış yapısı detaylı bir şekilde Parçacık Görüntüleme Hız Ölçüm Tekniği (PIV) ile deneysel olarak incelenmiştir. Özellikle yanlış konumlandırılan binalar arasında rüzgârın etkisi ile oluşan hava akımı nedeniyle konut sakinlerinde termal konfor ve gürültü kirliliği açısından çeşitli olumsuzluklar meydana gelebilmektedir. Binaların doğru konumlandırılması ve tasarımı ile konut sakinleri için hem termal konfor sağlanmış olacak hem de gürültü en az seviyelere çekilmiş olacaktır. Binaların birbirleri arasındaki mesafede yine binalar arası hava akımını ve rüzgâr hızını değiştirebildiğinden binaların birbirlerine olan konumu da ayrı bir önem kazanmaktadır. Bütün bunlar göz önüne alındığında bu çalışma ile özellikle farklı dizimlerdeki bina veya bina grupları için bina arası farklı mesafelerin akış yapısına etkisinin daha iyi analiz edilebileceği düşünülmektedir. Yapılan çalışma aynı zamanda küt cisimlerin kullanıldığı köprü ayakları, elektronik kart tasarımları gibi alanlarda da referans oluşturacak niteliktedir. Tüm bunlar göz önüne alındığında bu çalışma ile, yapılacak olan bilimsel araştırmalara ya da mühendislik ve mimarlık uygulamalarına özgün bir örnek teşkil etmek hedeflenmiştir.

DENEY DÜZENENİ (THE EXPERIMENTAL SETUP)

Deneyler, Şekil 1’de gösterilen Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi İleri Akışkanlar Mekaniği Laboratuvarında bulunan, kapalı çevrim açık yüzeyli su kanalında gerçekleştirilmiştir. Su kanalı, iki adet devir kontrollü aksel pompa, iki adet toplama tankı, bir adet bal peteği desenli ve ızgaralı akış düzenleyiciden oluşmaktadır. Görüntü alanı pleksiglas malzemeden üretilmiştir. Kanalın toplam uzunluğu 15000 mm, yüksekliği 1800 mm ve tank genişlikleri 4000 mm’dir. Su kanalında akışın tam gelişmiş olmasını sağlayacak şekilde 6000 mm uzunluğunda test kısmı bulunmaktadır. Test kısmının genişliği 800 mm olup yüksekliği 1000 mm’dir. Su maksimum 800 mm seviyesine kadar doldurulabilmektedir. Kanalda çalışılabilen hız aralıkları 10mm/s – 500mm/s arasındadır. Test bölümüne girmeden önce, akış bir çökeltme deposundan, bir bal peteğinden ve 2:1 oranında bir daralmadan geçmektedir. Test odası ortasında yükseklikle hız profili değişimi %2’den azdır.

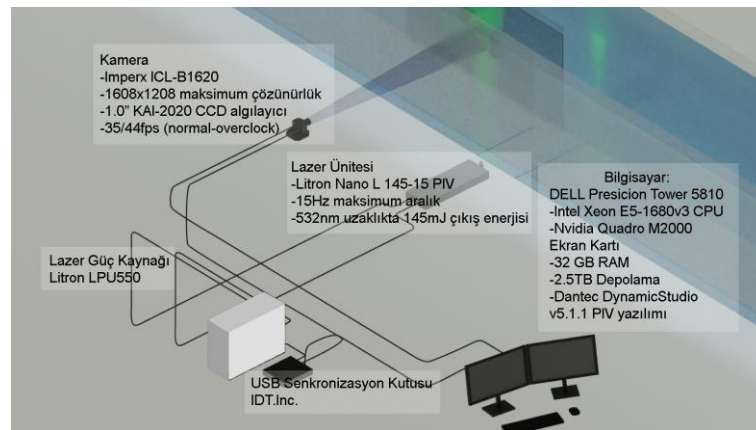


Şekil 1. Kapalı devre açık su kanalının şematik gösterimi (Özalp ve diğ., 2020)

Figure 1. Technical drawing of closed circuit open water channel

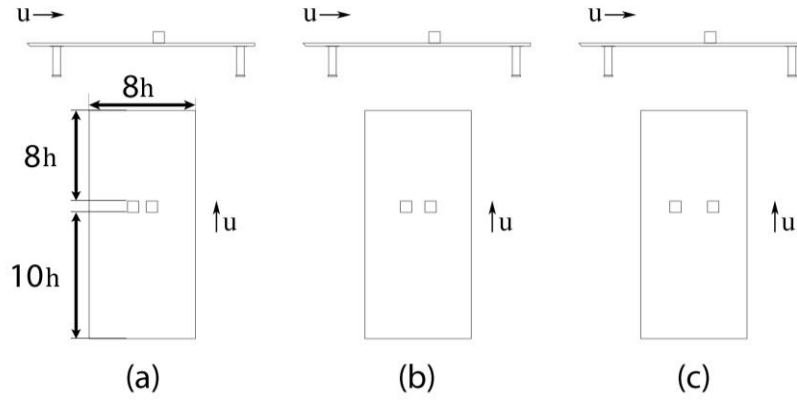
Kübik bina modelleri etrafındaki akış alanı PIV yöntemi kullanarak ölçülmüştür. PIV deney kurulumu şematik olarak Şekil 2’de görülmektedir. Deney cihazlarının markalarını ve teknik özelliklerini belirten şema Şekil 2’de verilmiştir. Cihazlar arasındaki veri akışı Şekil 4’te verilmiştir. PIV yönteminde,

akışın içerisine yoğunluğu suyun yoğunluğuna yakın ışığa duyarlı poliamit partiküller eklenmektedir. Deneyde kullanılan küresel parçacıklar 20 mikrometre çapında ve 1.03g/cm^3 yoğunluktadır. Akışın ölçüleceği bölgeye karanlık ortamda gönderilen maksimum 2mm kalınlığında 532nm ışık dalga boyunda 145 mJ bir lazer huzmesi ile parçacıkların aydınlanması sağlanmaktadır. Lazer ışını gönderildiği anda bir eş zamanlayıcı ile parlayan parçacıkların fotoğrafı çekilmektedir. Deneyde kullanılan kamera 50mm f:1/4 lense sahip maksimum 1608×1208 çözünürlüğünde saniyede maksimum 44 kareye kadar fotoğraf alabilen CCD teknolojisine sahip bir cihazdır. Kamera tarafından alınan görüntüler doğrudan bilgisayara aktarılmaktadır. Eş zamanlı çalışma, USB teknolojisini kullanan bir senkronizasyon kutusu ile sağlanmaktadır. Senkronizasyon kutusu, bilgisayardan aldığı sinyali BNC arabirimi üzerinden lazer ve kameraya aktarmaktadır. Akış alanının içerisine lazer gönderilmesi sonucu parlayan parçacıkların art arda çekilmiş görüntüleri akışın hızı ve girdap yapısı hakkında bilgi vermektedir. Yapılan deneylerde iki görüntü arasında geçen zaman 0.0667 saniye olarak alınmıştır. Art arda kaydedilen iki adet görüntüden elde edilen anlık hız vektör alanları kullanılarak anlık akım çizgileri ve girdap dağılımları elde edilmiştir. PIV çalışmasında ölçümlerde belirsizlik %1 olarak alınmıştır (Alnak ve diğ., 2019). Deneylerde kullanılan model ($H=75\text{mm}$ ve $D=75\text{mm}$) farklı açıklık mesafelerinde yan yana sıralanmıştır. Modeller arasındaki mesafeyi boyutsuz bir şekilde ifade etmek için D/h ifadesi kullanılmıştır. Çalışmada D , küpler arasındaki mesafeyi, H ise küpün karakteristik uzunluğunu ifade etmektedir. Yapılan çalışma kapsamında örnek modeller aralarında $D/h=0.5$, $D/h=1$ ve $D/h=2$ oranı olacak şekilde akış alanına yerleştirilmiş ve bu doğrultuda deneyler gerçekleştirilmiştir (Şekil 3, Şekil 5). Kanal içerisindeki akışın alt bölgesinin sonuçları olumsuz etkilememesi için modeller $1500\text{mm} \times 700\text{mm} \times 20\text{mm}$ boyutlarında bir pleksiglas masanın üzerinde kanal zemininden 200 mm yukarıda konumlandırılmıştır. Masanın akışı karşılayan hücum kenarı akışa olumsuz bir etki bırakmaması için üçgen formu verilecek şekilde yapılmıştır. Modeller, akış yapısının olumsuz etkilenmemesi için modellerin yerleştirildiği masanın hücum kenarından $10H$ uzakta konumlandırılmıştır, kanalda modellerin bulunduğu konumdan önceki akış profili Şekil 6'da verilmiştir. Bu akış profili türbülanslı akış profili ile benzerdir.



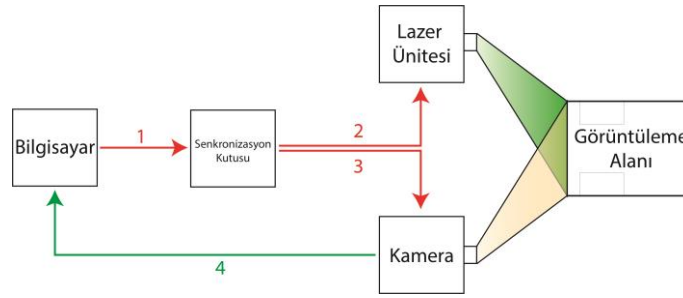
Şekil 2. PIV sisteminin temel bileşenleri (Polat, 2019)

Figure 2. Basic parts of PIV system



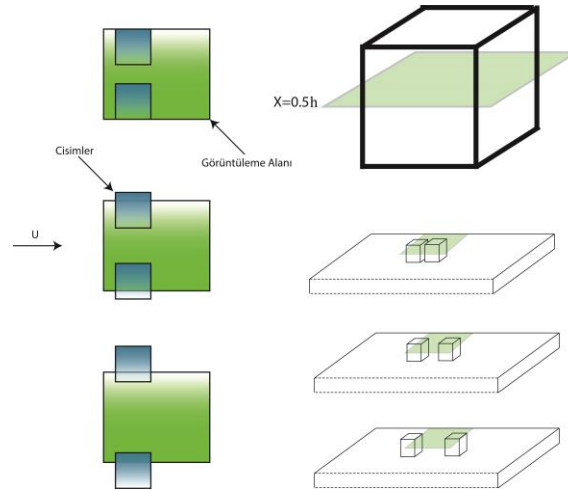
Şekil 3. Modeller arasındaki farklı açıklık oranlarının gösterimi
a) $D/h=0.5$, b) $D/h=1$, c) $D/h=2$

Figure 3. Representation of gap ratios between the models



Şekil 4. PIV Sisteminin Akış Şeması: 1)USB sinyali, 2,3) BNC tetikleme sinyali, 4)Kameradan gelen görüntü sinyali

Figure 4. Data Flow Chart of the PIV system: 1)USB signal, 2,3)BNC trigger signal 4)Image from camera



Şekil 5. Lazer ışın demetinin konumu ve görüntüleme alanının detay gösterimi

Figure 5. Position of laser beam and details of interrogation window

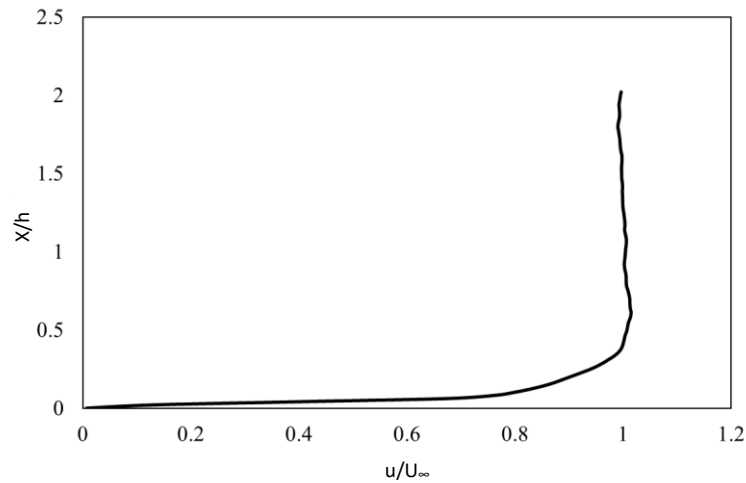
DENEYSEL SONUÇLAR (EXPERIMENTAL RESULTS)

Deneysel olarak akış düzlemindeki verileri alındıktan sonra bozuk vektörlerin çıkarılması, çıkarılan vektörlerin yerinin doldurulması ve verilerin filtrelenmesi işlemi yapılmıştır. Hız alanı hesaplandıktan sonra hatalı vektörler CleanVec programı tarafından çıkarılma işlemine tabi tutulmuştur. Bilinear en küçük karelere uydurma tekniği (bilinear least-square fit technique) kullanılarak eksik vektör alanları doldurmuş, görüntü alanı gerçek akış alanına ölçeklendirilmiş ve girdap dağılımları hesaplanmıştır. Küplerin karakteristik uzunluk olarak da belirtilen bir kenar uzunluğu 0.075 metredir. Kanaldaki serbest akış hızı 0.298m/s olarak saptandığından Reynolds sayısı 26000 olarak hesaplanmıştır. $Re=26000$ değeri için PIV deneyleri yapılmış ve modellerin akış alanı içerisine farklı D/h oranında yerleştirilmesi durumları için akışa dik yöndeki hız bileşeninin ortalama değeri ($\langle v/U_\infty \rangle$), akış yönü hız bileşeninin ortalama değeri ($\langle u/U_\infty \rangle$), girdap ortalama değeri ($\langle \omega \rangle$), akım çizgileri ($\langle \Psi \rangle$), ortalama toplam hız değerleri, türbülans kinetik enerji ($\langle TKE \rangle$), hızın akış yönündeki bileşenine ait çalkantılarının karelerinin karekökü $\langle U_{rms} \rangle$ ve hızın akışa dik yöndeki bileşenine ait çalkantılarının karelerinin karekökü $\langle V_{rms} \rangle$ konturları elde edilmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen akış karakteristikleri Şekil 7-16 arasında verilmiştir. Çalışmada ayrıca sınır tabakanın tanımlanmasında sınır tabaka parametreleri olarak adlandırılan sınır tabaka kalınlığı (δ), yer değiştirme (δ^*) ve momentum (θ) kalınlıkları da hesaplanmıştır. Sınır tabaka kalınlığı, bu tabaka içindeki hızın, potansiyel akış bölgesindeki hızın %99'una ulaştığı yerin cidara olan mesafesi olarak tanımlanır. Akış ile yüzey arasındaki viskoz kuvvetlerden dolayı oluşan debi kaybı yer değiştirme kalınlığı ile ifade edilirken, aynı sebepten dolayı momentumda oluşan kayıp momentum kalınlığı ile ifade edilmektedir. Yer değiştirme kalınlığı ve momentum kalınlığını veren ifadeler eşitliklerde yer almaktadır. Yer değiştirme kalınlığının momentum kalınlığına oranını veren biçim faktörü (H), sınır tabaka içinde oluşan hız profilinin şekli ve sınır tabakanın yapısı (laminer, geçiş veya türbülanslı) hakkında bilgi verir. Eşitlik 1-3 doğrultusunda yer değiştirme, sınır tabaka, momentum ve şekil faktörü hesaplanmıştır. Bu doğrultuda $\delta^*=0.0106$, $\theta=0.004117$ ve $H=2.58$ olarak hesaplanmıştır (Çengel ve diğ., 2008; Kundu ve diğ., 2016).

$$\delta^* = \int_0^\delta \left(1 - \frac{u}{U_\infty}\right) dy \quad (1)$$

$$\theta = \int_0^\delta \frac{u}{U_\infty} \left(1 - \frac{u}{U_\infty}\right) dy \quad (2)$$

$$H = \frac{\delta^*}{\theta} \quad (3)$$

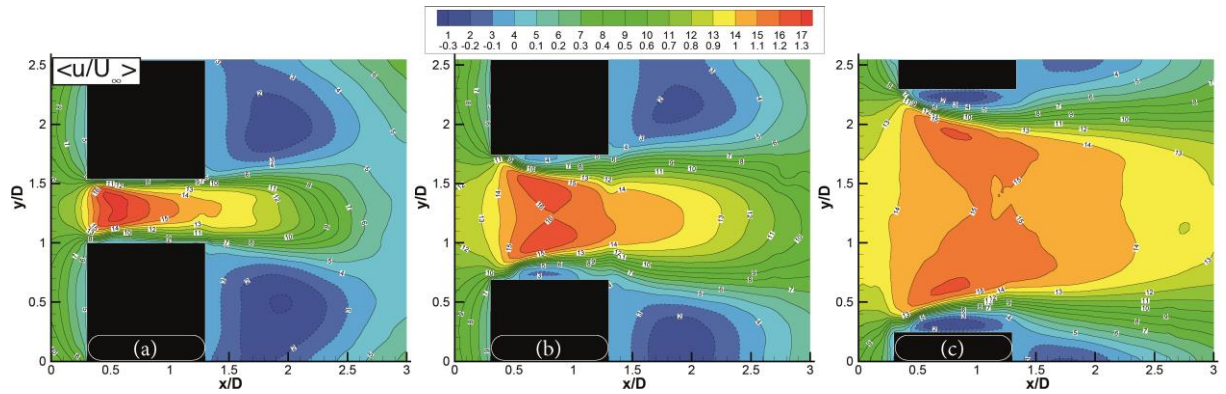


Şekil 6. Cisimlerin monte edildiği düzleme ait hız profil grafiği

Figure 6. Velocity profile before objects

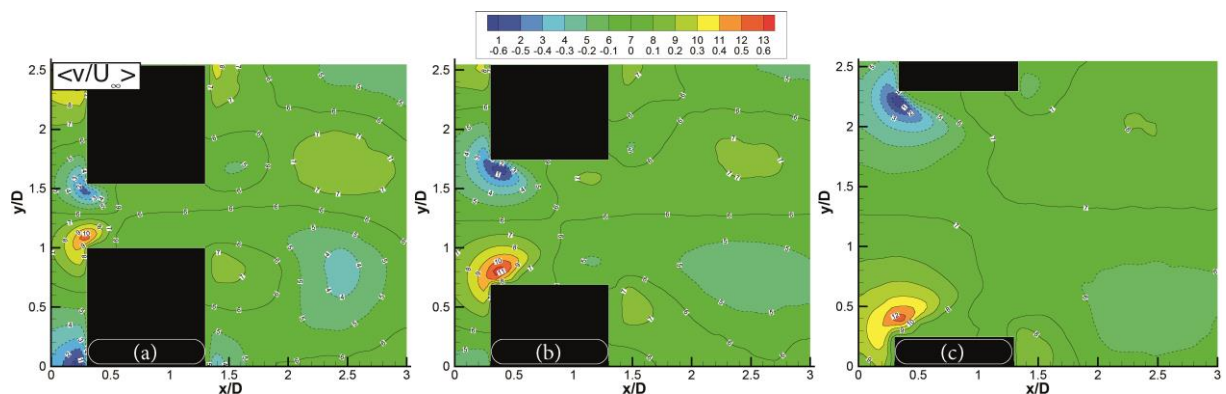
Çalışmada noktasal olarak ifade edilen çizgiler negatif, sürekli çizgiler ise pozitif hız ve girdap konturlarını göstermektedir. Negatif girdap konturları saat yönü, pozitif girdap konturları ise saatin tersi yönü girdap değerlerini ifade etmektedir. Şekiller incelendiğinde D/h oranının artması ile iki model arasındaki boşlukta akış yönü hızın ($\langle u/U_\infty \rangle$) azaldığı görülmektedir (Şekil 7). İncelenen farklı durumlar için Strouhal sayısı (St) D/h = 0.5 durumu için St=0.154, D/h = 1.0 durumu için St=0.123 ve D/h = 2.0 durumu için St=0.092 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar küp modelleri arasındaki açıklık oranının (H/D) artması ile Strouhal sayısını azaldığını göstermektedir. Bu durumda akış yapısından kaynaklı olarak açığa çıkan girdap yapısının sahip olduğu düzensiz frekans genliğinin açıklık oranının artması ile azaldığını göstermektedir. Ayrıca akışın kendisini en az periyotta tekrarladığı ve genliğinin azaldığı görülmektedir, dolayısıyla St sayısındaki azalma birbiri ile farklı açıklık oranlarında konumlandırılan küp modellerinde titreşimleri azaltacaktır. Birbirine farklı açıklık oranında konumlandırılan kısıtlı literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde St sayısının 0.08 – 0.15 arasında değiştiği tespit edilmiştir (Diaz-Daniel ve diğ., 2017; Klotz ve diğ., 2004; Ozgoren, 2006; Thompson, 2019; Wang ve diğ., 2014). Akışa dik eksenindeki ortalama $\langle v/V_\infty \rangle$ hızları küplerin akış yönüne yakın köşelerinde maksimum olarak gözlemlenmiştir. Akışa dik olan eksenindeki hız, üstteki modelin sol alt köşesi (pozitif) ve alttaki modelin sol üst köşesinde (negatif) maksimum değerine ulaşmaktadır (Şekil 8). D/h=0.5 durumunda iki model arasındaki mesafenin diğer durumlara göre daha az olması orta noktada lüle etkisi yaparak bir hızlanma bölgesi meydana getirmiş ve akışkanın hızını artmıştır, bu durum hız konturlarına da yansımıştır. Modellerin hücum kenarlarının köşelerinde akışa dik hız bileşenlerinin ($\langle v/U_\infty \rangle$) artış gösterdiği görülmüştür. Bu artış bölgesinin büyüklüğünün ve artış miktarının en büyük olduğu durum D/h=2 dizilimidir. Model art iz bölgesinde ise her bir D/h oranı için hızlarda bir azalmanın meydana geldiği görülmektedir. Ayrıca modeller arasından giren akışkanın hızının yüksek olması hızlanma bölgesini yaklaşık D mesafesi kadar ileri taşımış ve bu da model arkasında ön bölgeye nazaran daha düşük bir hız bölgesi oluşturmuştur. İki modelin birbiri ile D/h=0.5, D/h=1 ve D/h=2 oranında konumlandırılması sonucu modellerin arasındaki boşlukta oluşan akış yapısı gözlemlendiğinde akış ekseninde sırasıyla D/h=2 için 1.23, D/h=1 için 1.27, D/h=0.5 için 1.34'lük boyutsuz akış yönü maksimum hız bileşenleri tespit edilmiştir. Akış eksenindeki hızın en yüksek artışı D/h=0.5 durumunda meydana gelmektedir. Cisimler arasındaki boşluk azaldıkça akışa dik hız bileşeninin azaldığı, boşluk arttıkça akışa dik hız bileşeninin daha büyük bir bölgede daha yüksek hızlar gösterdiği görülmüştür. Akışa dik hız bileşeni azaldıkça akış yönü hız bileşeni artış göstermiştir. Bu durumda cisimler arasındaki bölge için akışa dik hız bileşeni ile akış yönü hız bileşeni ters orantılıdır. Çalışmada $Re=26000$ 'da yapılan deneyler sonucunda elde edilen konturlarda pozitif ve negatif olmak üzere toplamda iki adet girdap bölgesinin oluştuğu görülmektedir. Oluşan girdapların birbiri ile simetrik olduğu görülmektedir. D/h=0.5 durumu için modelin serbest üst yüzey merkezinde durma (Foci) noktası oluşmazken, D/h=1 ve D/h=2 durumları için modelin serbest üst yüzey merkezinde meydana gelen ayrılma baloncuğu ile serbest akış bölgesi arasında kayma tabakaları ve ters akış bölgesinin merkezinde birbiriyle simetrik (0.1H) durma (Foci) noktası görülmektedir (Şekil 8). Genel olarak modeller arasındaki D/h oranının artması ile model arkasında oluşan art izi bölgesinin boyutunun azaldığı görülmektedir. Bu durum Şekil 4 incelendiğinde cisimlerin art iz bölgesindeki hızın azaldığı bölgenin daralmasından ve en düşük hızın D/h=0.5 durumunda gözlemlenmektedir. Ayrıca, D/h oranı arttıkça modeller arasında kalan bölgede karşılıklı ters çevrinti bölgelerinin büyüklüğü artmıştır. D/h oranının artması ile hız bileşeninin dalgalanmalarının azaldığı görülmektedir. Modellerin alt akış bölgesinde oluşan ayrılmış akış bölgesi aşağı yönde birleşerek kayma tabakası dengesizlikleri ve etkileşimleri yaratmıştır. Bu etkileşim, birleşme noktası (S) etrafında daha yüksek bir türbülanslı akış yapısına neden olmuştur (Şekil 9-10). Anlık hız değerlerini içeren görseller Şekil 12'de yer almaktadır. Vektörlerin renkleri akış yönü boyutsuz hız değerlerini ifade etmektedir. Cisimlerin önünde ikiye ayrılan ve keskin ön köşelerden cisimler arasındaki bölgeye giriş yapan akış, arada kalan kenarların üzerinde düzensiz çevrintiler oluşturarak ilerlemektedir. D/h=0.5 (Şekil 12-a) durumunda anlık görsellerde görülmesi de yüzeye çok yakın noktalardan alınan hız değerlerinde tespit edilen bu daimî olmayan düzensiz çevrintilerin çapları, cisimler arasındaki boşluk oranı ile doğru orantılı olarak değiştiği gözlemlenmiştir. Bir başka deyişle, cisimler arasındaki mesafe arttıkça ara yüzeyde oluşan çevrintilerin çapları da büyümüştür. Bu çevrintiler, yukarı ve aşağı yönde

rastgele salınımlar yaparak cisimlerin arasındaki bölgeyi terk etmektedir. Çevrıntilerin oluştuğu noktalar sabit ve simetrik değildir ancak rastgele iki çevrıntinin oluştuğu aralık birbirine yakındır. $D/h=0.5$ durumunda küplerin arasındaki çevrıntilerin oluştuğu bölge, ara bölgenin ortasına daha yakınken $D/h=2.0$ (Şekil 12-c) durumunda ara bölgenin hemen başlangıcında çevrinti oluşumu başlamıştır. Küplerin arka bölgelerine bakıldığında modellerin arka kenarlarında oluşan çevrinti net bir şekilde görülmektedir. Anlık görüntülerden elde edilen animasyonlarda bu çevrıntilerin model arka yüzeyi boyunca aşağı ve yukarı hareket ettiği gözlemlenmiştir. Küp modelleri arasındaki açıklığın arttıkça akışın kendini tekrarlama periyodunun azaldığı görülmektedir. Şekil 13'te ara boşlukta küplere yakın mesafedeki hızı tespit etmek için alt tarafta kalan küpün ortasından yukarı doğru $0.1H$ mesafeden hız zaman grafiği çıkartılmıştır. Grafik incelendiğinde küpler arasında kalan aralıktaki küp yüzeyine yakın bölgede en yüksek hız $D/h=0.5$ durumunda tespit edilmiştir. $D/h=0.5$ durumunda $0.1H$ yükseklikteki belirtilen noktada hızlar hiçbir zaman negatif olmamıştır. Grafikte incelendiğinde hızlarda sürekli olarak bir dalgalanma meydana geldiği görülmektedir. Bu hız dalgalanmasının (düzensizliğinin) en yüksek olduğu durum $D/h=1.0$ durumunda tespit edilmiştir. Bu duruma zaman ortalama U_{rms} ve V_{rms} konturlarında da rastlanmaktadır. Hız düzensizlikleri bina tasarımlarında kaçınılan gürültü, anlık rüzgâr değişimleri ve hatta küçük girdap oluşumlarından kaynaklı yapısal hasarları meydana getirme potansiyeline sahiptir.



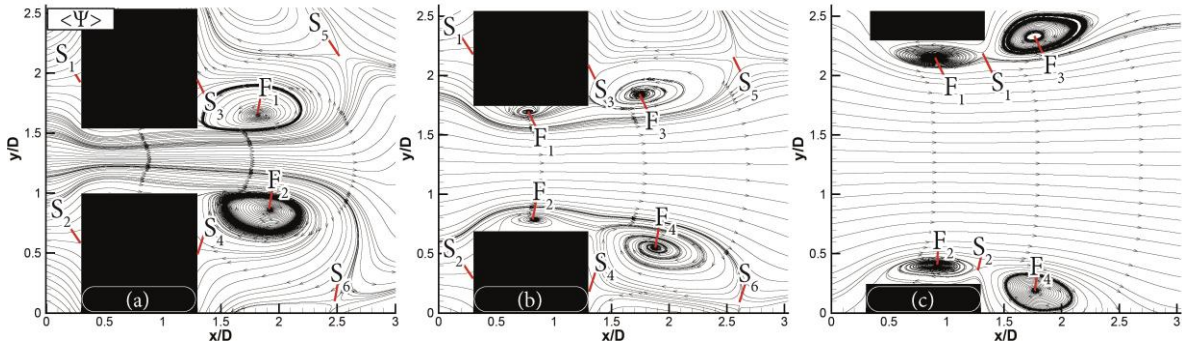
Şekil 7. Farklı açıklık oranlarında elde edilen boyutsuz akış yönü hız bileşeninin zaman ortalama ($\langle u/U_\infty \rangle$) dağılımları (a) $D/h=0.5$ (b) $D/h=1$ (c) $D/h=2$

Figure 7. Time- average value ($\langle u/U_\infty \rangle$) contours of the dimensionless streamwise velocity component for different gap ratios (a) $D/h=0.5$ (b) $D/h=1$ (c) $D/h=2$

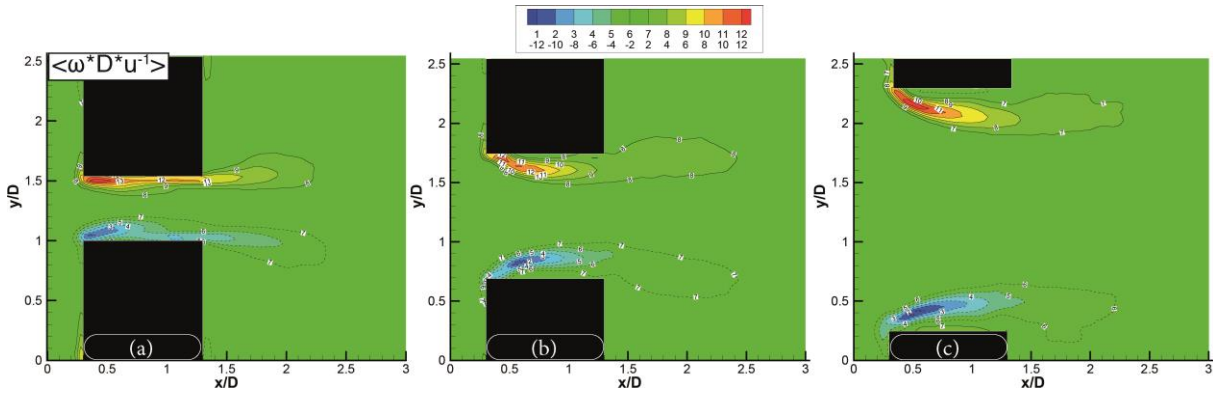


Şekil 8. Farklı açıklık oranlarında elde edilen boyutsuz akış yönüne dik hız bileşeninin zaman ortalama ($\langle v/U_\infty \rangle$) dağılımları (a) $D/h=0.5$ (b) $D/h=1$ (c) $D/h=2$

Figure 8. Time- average value ($\langle v/U_\infty \rangle$) contours of the spanwise velocity component for different gap ratios (a) $D/h=0.5$ (b) $D/h=1$ (c) $D/h=2$

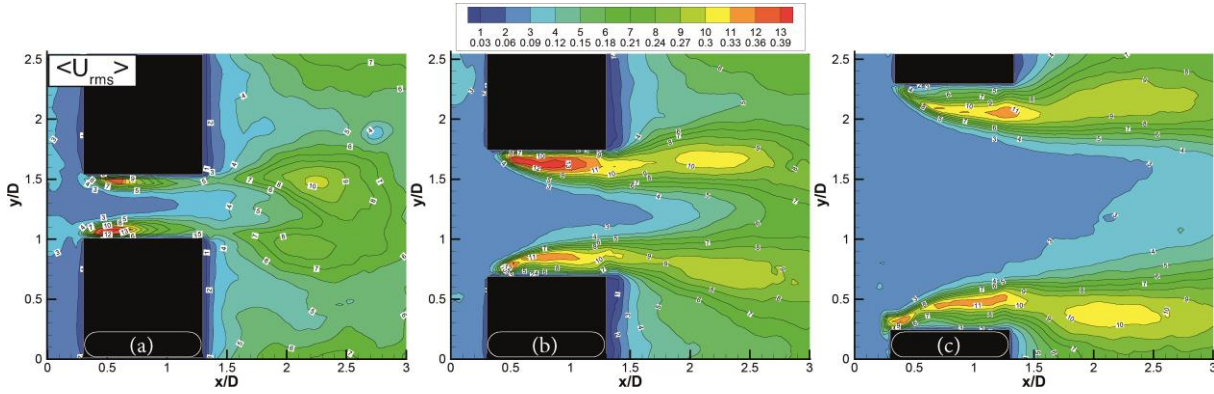


Şekil 9. Farklı açıklık oranlarında zaman ortalama akım çizgileri ($\langle \Psi \rangle$) (a) $D/h=0.5$ (b) $D/h=1$ (c) $D/h=2$
 Figure 9. Time average streamlines ($\langle \Psi \rangle$) for different gap ratios (a) $D/h=0.5$ (b) $D/h=1$ (c) $D/h=2$



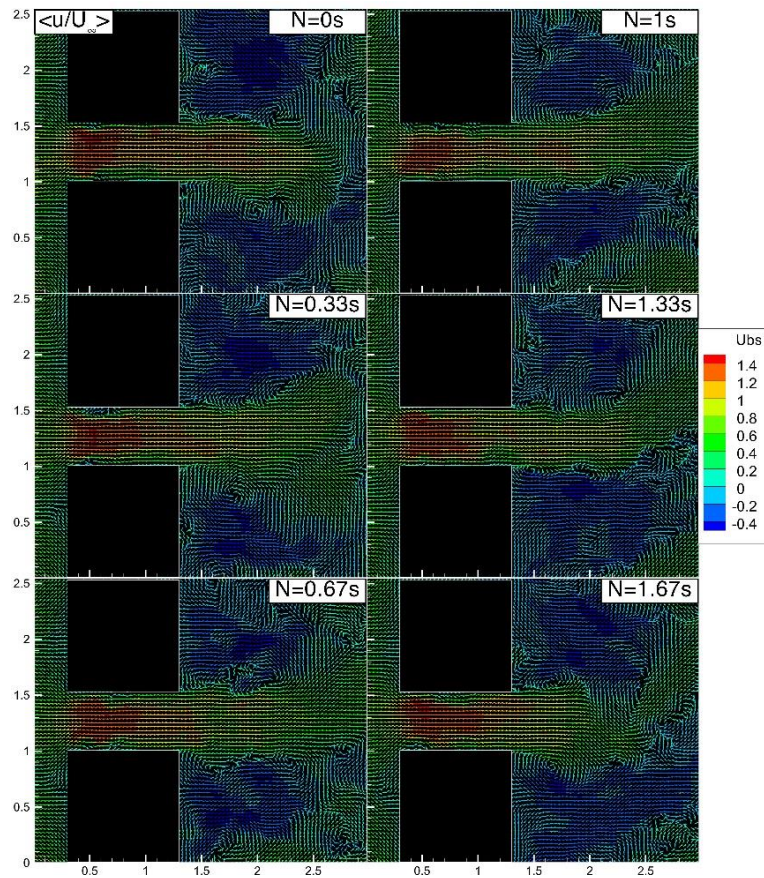
Şekil 10. Farklı açıklık oranlarında zaman ortalama boyutsuz vortisite ($\langle \omega^* D^* u^{-1} \rangle$) konturları (a) $D/h=0.5$ (b) $D/h=1$ (c) $D/h=2$

Figure 10. Time average dimensionless vorticity contours ($\langle \omega^* D^* u^{-1} \rangle$) for different gap ratios (a) $D/h=0.5$ (b) $D/h=1$ (c) $D/h=2$

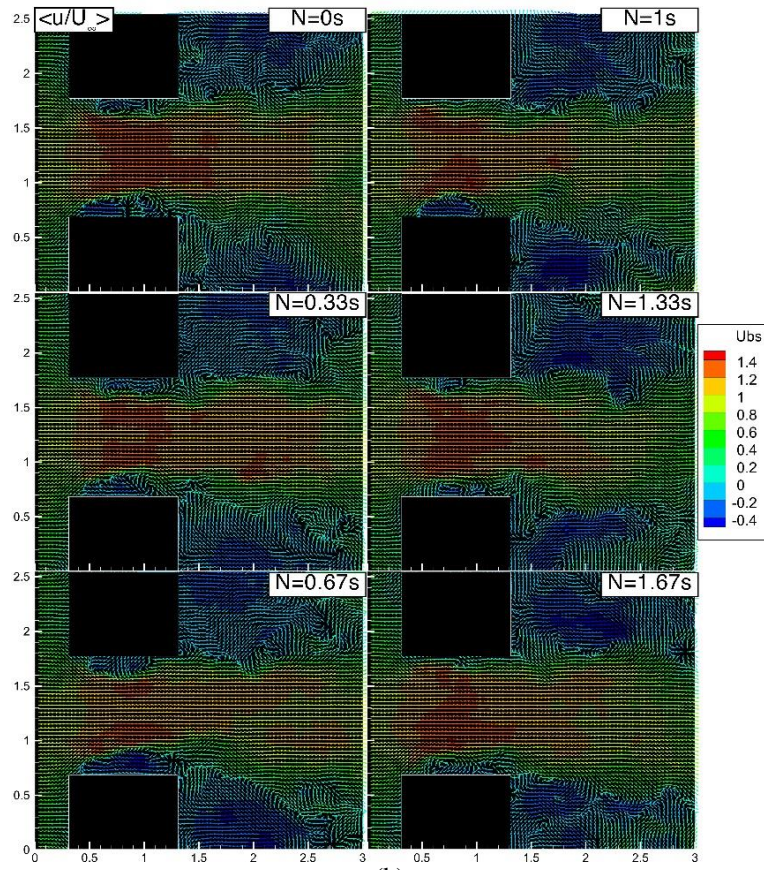


Şekil 11. Farklı açıklık oranlarında akım yönündeki çalkantı hız $\langle U_{rms} \rangle$ dağılımları (a) $D/h=0.5$ (b) $D/h=1$ (c) $D/h=2$

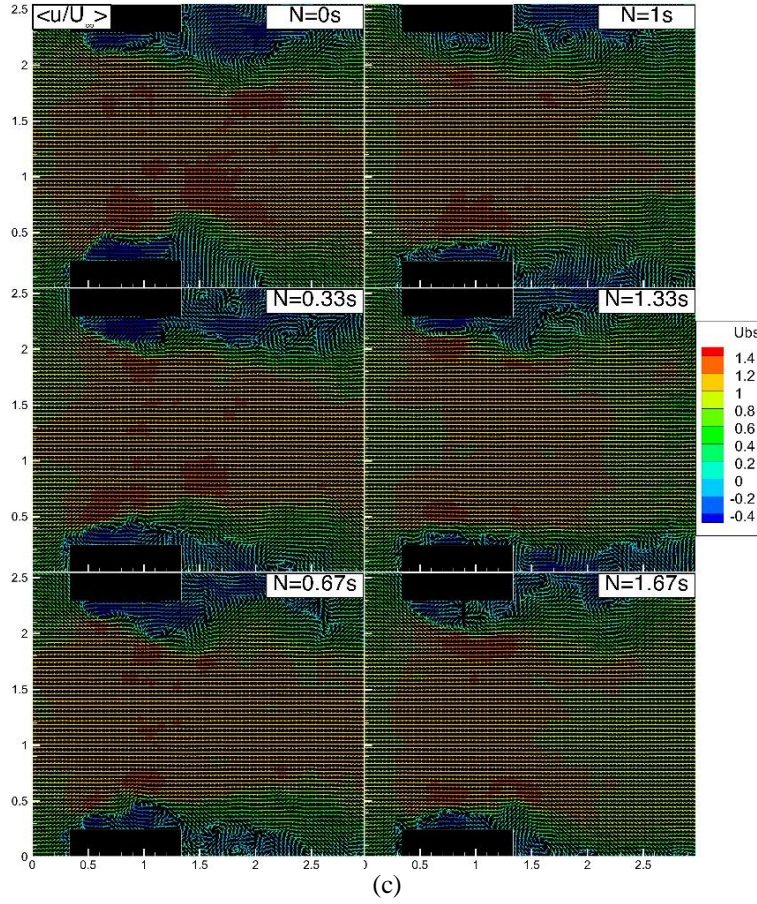
Figure 11. Root-mean Squares in the streamwise direction of velocity contours $\langle U_{rms} \rangle$ for different gap ratios (a) $D/h=0.5$ (b) $D/h=1$ (c) $D/h=2$



(a)

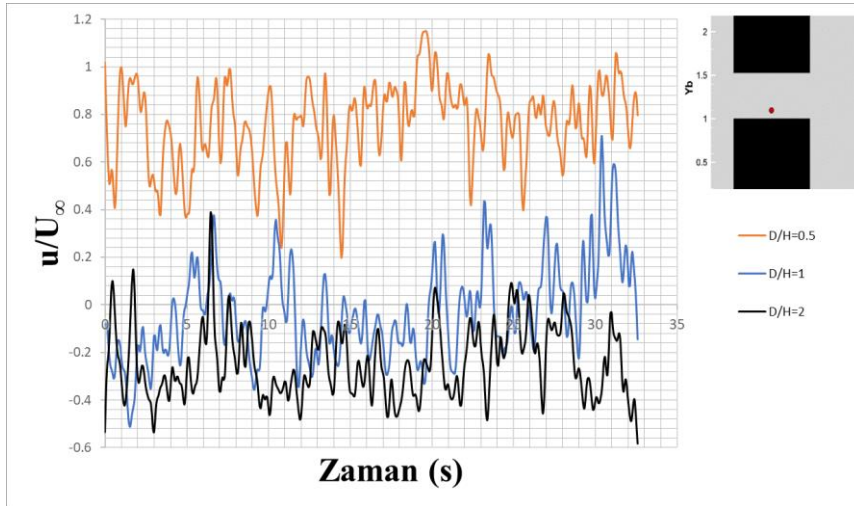


(b)



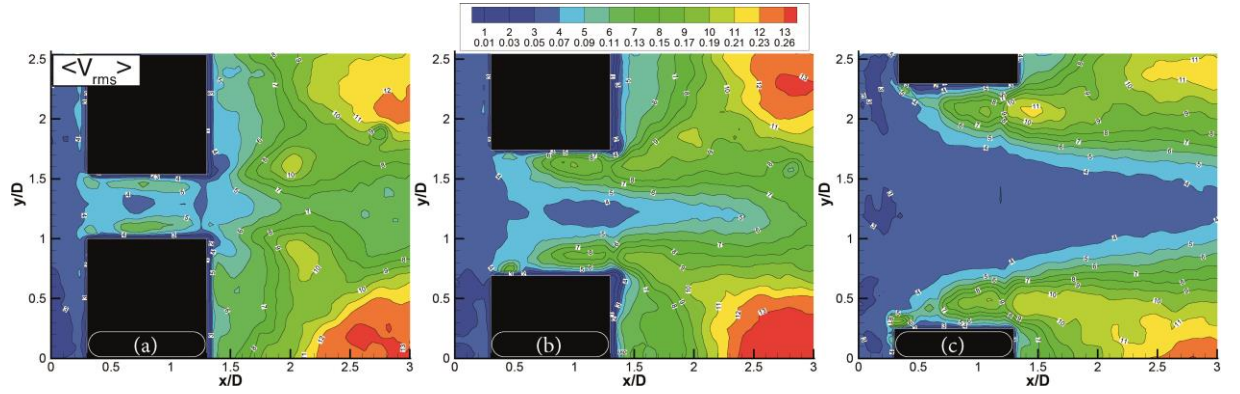
Şekil 12. Farklı dizimlere sahip a) $D/h=0.5$, b) $D/h=1.0$ ve c) $D/h=2.0$ durumları için anlık hız değerlerine göre renklendirilmiş vektörler

Figure 12. Instantaneous velocity vectors different cases a) $D/h=0.5$, b) $D/h=1.0$ and c) $D/h=2.0$



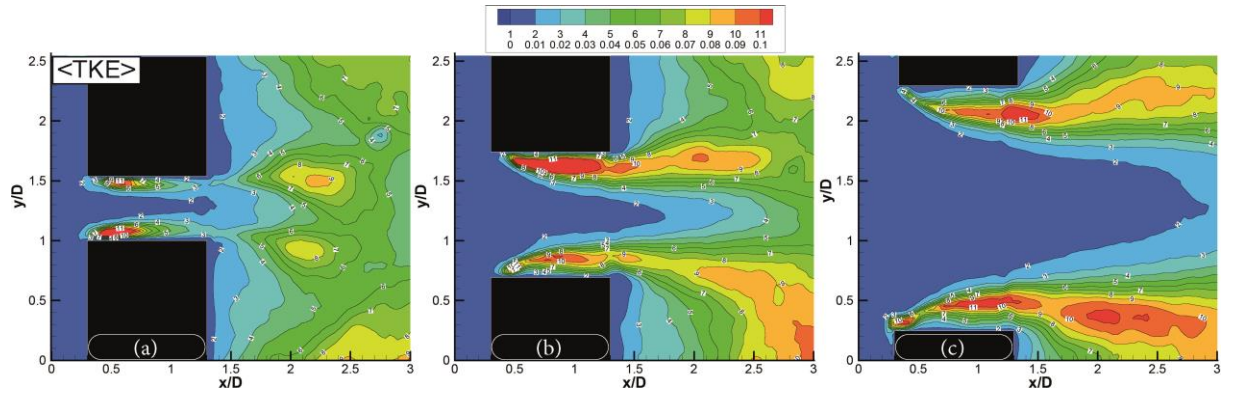
Şekil 13. Cisimlerin arasında kalan bölgede küpün $0.1h$ üzerinden alınan hız – zaman grafiği

Figure 13. Velocity-time graph taken from the point $0.1h$ above the cube in the region between the objects



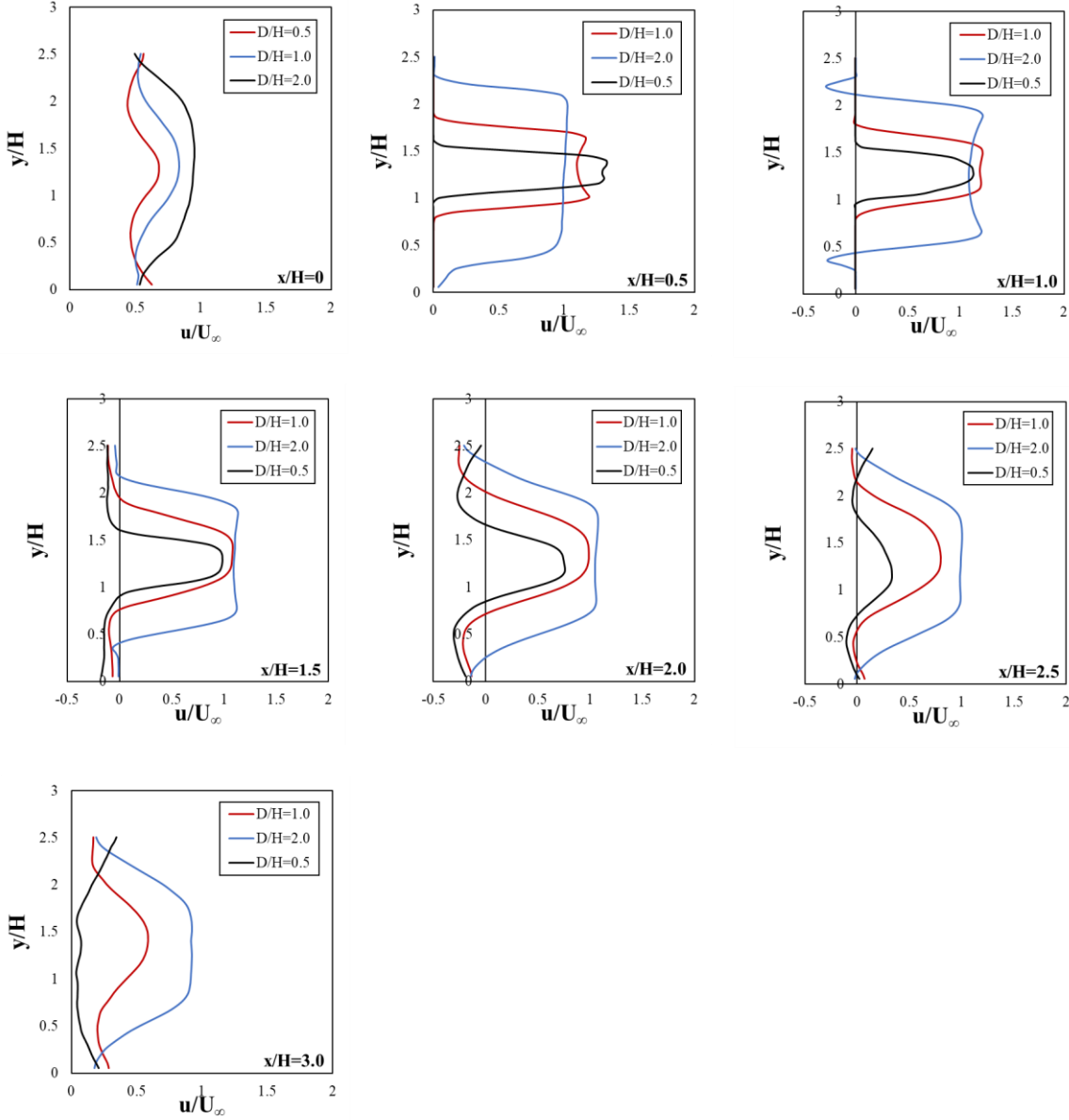
Şekil 14. Farklı açıklık oranlarında akışa dik yöndeki çalkantı hız $\langle V_{rms} \rangle$ dağılımları (a) $D/h=0.5$ (b) $D/h=1$ (c) $D/h=2$

Figure 14. Root-mean Squares in the spanwise direction of velocity contours $\langle V_{rms} \rangle$ for different gap ratios (a) $D/h=0.5$ (b) $D/h=1$ (c) $D/h=2$



Şekil 15. Farklı açıklık oranlarında elde edilen türbülans kinetik enerji (TKE) dağılımları (a) $D/h=0.5$ (b) $D/h=1$ (c) $D/h=2$

Figure 15. Turbulent kinetic energy (TKE) contours for different gap ratios (a) $D/h=0.5$ (b) $D/h=1$ (c) $D/h=2$



Şekil 16. Farklı açıklık oranlarında yatay eksen boyunca edilen hız profilleri

Figure 16. Velocity profiles along the horizontal axis for different gap ratios

SONUÇ ve TARTIŞMALAR (RESULT and DISCUSSIONS)

Kanal içerisine yerleştirilmiş farklı dizimlere ve geometrilere sahip küp şeklindeki modeller arasında kalan bölgedeki akış karakteristikleri (ortalama hız, girdap, akım çizgileri) belirlemek üzere parçacık görüntülemeli hız ölçüm (PIV) tekniği kullanılarak Reynolds sayısı 26000'de deneysel olarak incelenmiştir. Deneyler sonucunda;

- İki model arasındaki D/h oranının artması ile akış yönü hızın azaldığı, akışa dik eksendeki ortalama $\langle v \rangle$ hızların modellerin akış yönüne yakın köşelerinde maksimum olduğu belirlenmiştir.
- Tüm zaman ortalamalı şekillerde görüldüğü üzere, akış cisimlerin ortasındaki alanın merkezinden eksen çizildiğinde simetri göstermektedir.

- Farklı açıklık oranlarında (D/h) konumlandırılan modeller arasında, akış ekseninde sırasıyla $D/h=2$ için 1.23, $D/h=1$ için 1.27, $D/h=0.5$ için 1.34'lük boyutsuz akış yönü maksimum hız bileşenleri tespit edilmiştir. Bu durumda akış alanına farklı oranlarda yerleştirilen modellerin akış hızının $D/h=0.5$ durumunda en yüksek olduğunu göstermektedir. Bu da modeller arası D/h oranının azalmasının kesit alandaki azalmadan dolayı akış hızını artırdığını göstermiştir.
- Modeller arasındaki D/h oranının artmasının, model arkasında oluşan ters girdaplardan kaynaklı art izi bölgesini daraltarak, bina modellerinin üst yüzeylerinde oluşan hızlanma bölgesini genişlettiği görülmüştür.
- $D/h=0.5$ durumu için küp modelinin serbest üst yüzey merkezinde durma noktası oluşmazken, $D/h=1$ ve $D/h=2$ durumları için model serbest üst yüzey merkezinde meydana gelen ayrılma baloncuğu ile serbest akış bölgesi arasında kayma tabakaları ve ters akış bölgesinin merkezinde birbiriyle simetrik durma noktası oluştuğu görülmüştür.
- Modellerin incelenen farklı durumları için Strouhal sayısı (St) $D/h = 0.5$ durumu için $St=0.154$, $D/h = 1.0$ durumu için $St=0.123$ ve $D/h = 2.0$ durumu için $St=0.092$ olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar küp modelleri arasındaki açıklık oranının (D/h) artması ile Strouhal sayısının azaldığını göstermektedir. Bu durumda akış yapısından kaynaklı olarak açığa çıkan girdap yapısının sahip olduğu düzensiz frekans genliğinin açıklık oranının artışıyla beraber azaldığını göstermektedir.

Binaların birbirine göre konumlandırılması; gölgeleme faktörü, doğal havalandırma, rüzgâr kaynaklı titreşim ve gürültü etkilerinden dolayı büyük önem arz etmektedir. Olumsuz etkilerin yanında özellikle yüksek binalar arasındaki boşluklarda hava akımında meydana gelen hız artışı ile rüzgâr enerjisinden faydalanmak mümkün olabilmektedir. Tüm bu durumlar göz önüne alındığında binalar arası optimum mesafenin tespitinin ve bina konumlandırmalarının belirlenmesinin önemi açığa çıkmaktadır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Alnak, D. E., Varol, Y., Firat, M., Oztop, H. F., & Ozalp, C., 2019, "Experimental and numerical investigation of impinged water jet effects on heated cylinders for convective heat transfer.", *International Journal of Thermal Science*, Vol. 135, pp. 493-508.
- Castro, I. P., Robins, A. G., 1977, "The flow around a surface-mounted cube in uniform and turbulent streams", *Journal of fluid Mechanics*, Vol. 79 No. 2, pp. 307-335.
- Çengel, Y. A., Cimbala, J. M., & Engin, T. (2008). *Akışkanlar Mekaniği: Temelleri ve Uygulamaları*. Güven Kitabevi.
- Diaz-Daniel, C., Laizet, S., & Vassilicos, J. C., 2017, "Direct numerical simulations of a wall-attached cube immersed in laminar and turbulent boundary layers.", *International Journal of Heat and Fluid Flow*, Vol 68, pp. 269-280.
- Guichard, R., 2019, "Assessment of an improved Random Flow Generation method to predict unsteady wind pressures on an isolated building using Large-Eddy Simulation", *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 189, pp. 304-313.
- Joubert, E. C., Harms, T. M., Venter, G., 2015, "Computational simulation of the turbulent flow around a surface mounted rectangular prism", *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 142, pp. 173-187.
- Klotz, L., Goujon-Durand, S., Rokicki, J., & Wesfreid, J. E., 2004, "Experimental investigation of flow behind a cube for moderate Reynolds numbers", *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 16, pp. 1630-1646
- Kundu, P. K., Cohen, I. M., & Dowling, D. R., 2016, *Fluid mechanics*, 6th version, Academic, Berlin.
- Lin, K. C., Violi, A., 2010, "Natural convection heat transfer of nanofluids in a vertical cavity: Effects of non-uniform particle diameter and temperature on thermal conductivity", *International Journal of Heat and Fluid Flow*, Vol. 31, No. 2, pp. 236-245.

- Liu, S., Pan, W., Zhao, X., Zhang, H., Cheng, X., Long, Z., Chen, Q., 2018, "Influence of surrounding buildings on wind flow around a building predicted by CFD simulations", *Building and Environment*, Vol. 140, pp. 1-10.
- Ozgoren, M., 2006, "Flow structure in the downstream of square and circular cylinders", *Flow Measurement and Instrumentation*, Vol. 17 No. 4, pp. 225-235.
- Özalp, C., Polat, C., Saydam, D. B., Söyler, M., 2020, "Dye Injection Flow Visualization Around a Rotating Circular Cylinder", *European Mechanical Science*, Vol. 4, No. 4, pp. 185-189.
- Park, J., Sun, X., Choi, J. I., Rhee, G. H., 2017, "Effect of wind and buoyancy interaction on single-sided ventilation in a building", *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 171, pp. 380-389.
- Polat, C., 2019, *Farklı Dizilimlere Sahip Binalar Etrafındaki Akış Karakteristiklerinin PIV Yöntemi ile Deneysel Olarak İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Osmaniye.
- Princevac, M., Baik, J. J., Li, X., Pan, H., Park, S. B., 2010, "Lateral channeling within rectangular arrays of cubical obstacles", *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 98, No. 8-9, pp. 377-385.
- Sari, D. P., Kusumaningrum, W. B., 2014, "A technical review of building integrated wind turbine system and a sample simulation model in central java, Indonesia", *Energy Procedia*, Vol. 47, pp. 29-36.
- Tominaga, Y., Akabayashi, S. I., Kitahara, T., Arinami, Y., 2015, "Air flow around isolated gable-roof buildings with different roof pitches: Wind tunnel experiments and CFD simulations", *Building and Environment*, Vol. 84, pp. 204-213.
- Thompson, D., 2019, "Effect of wall proximity on the flow over a cube and the implications for the noise emitted.", *Physics of Fluids*, Vol. 31 No.7, pp. 077101
- Tutar, M., Oğuz, G., 2004, "Computational modeling of wind flow around a group of buildings", *International Journal of Computational Fluid Dynamics*, Vol. 18, No. 8, pp. 651-670.
- Wang, Y. Q., Jackson, P. L., & Sui, J., 2014, "Simulation of Turbulent Flow Around a Surface-Mounted Finite Square Cylinder.", *Journal of Thermophysics and Heat Transfer*, Vol. 28 No.1, pp. 118-132.
- Yakhot, A., Liu, H., Nikitin, N., 2006, "Turbulent flow around a wall-mounted cube: A direct numerical simulation", *International Journal of Heat and Fluid Flow*, Vol. 27, No. 6, pp. 994-1009.