







# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

## Farklı En Boy Oranlarına Sahip Dikdörtgenel Prizmatik Cisimler Etrafındaki Akış Yapısının Deneysel Olarak İncelenmesi

 Cemre POLAT <sup>a,\*</sup>,  Doğan Burak SAYDAM <sup>b,c</sup>,  Mustafa SÖYLER <sup>c</sup>,  Coşkun ÖZALP <sup>c</sup>

<sup>a</sup> Motorlu Araçlar ve Ulaştırma Teknolojileri Bölümü, Düziçi Meslek Yüksekokulu, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Osmaniye, TÜRKİYE

<sup>b</sup> Enerji Eğitim-Etüt Uygulama ve Araştırma Merkezi, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Osmaniye, TÜRKİYE

<sup>c</sup> Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Osmaniye, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: cemrepolat@osmaniye.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.945670

### Öz

Bu çalışmada, farklı en/boy oranlarına sahip dikdörtgenel prizması şeklindeki küt cisimler etrafındaki akış yapısı “parçacık görüntülemeli hız ölçüm tekniği” (PIV) ile deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmada farklı en/boy oranlarında yatay kare prizma, küp, dik kare prizma şeklinde (sırasıyla  $H/L=0.5$ ,  $H/L=1$ ,  $H/L=2$ ) akrilik malzemeden üretilmiş dikdörtgenel prizması şeklinde geometriler kullanılmıştır. PIV tekniği kullanılarak anlık olarak elde edilen hız vektörleri ile anlık girdap, akım çizgisi gibi bileşenler hesaplanmış, elde edilen verilere göre zaman ortalama hız değerleri, girdaplık değerleri, akım çizgileri ve hız profilleri belirlenmiştir. Deneysel model boyutları, akış hızı, akışkanın yoğunluğu ve viskozitesi gibi parametrelere bağlı olarak Re sayısı 26000 olarak hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda, incelenen geometrilerin sol üst köşesinde başlayan ve x eksenini boyunca uzanan bir hızlanma bölgesinin oluştuğu ve akış yönündeki hızın maksimum olduğu noktaların bu bölgede olduğu tespit edilmiştir. Dik olarak yerleştirilen  $H/L=2$  (dik) prizmanın, diğer prizmalara göre ( $H/L=1$  küp ve  $H/L=0.5$  yatay) geometri arkasında oluşan ölü alan bölgesini ( $\cong 2L$ ) arttırdığı tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Akış karakteristiği, PIV, Küt cisim

## Experimental Investigation of Flow Structure Around Rectangular Prismatic Bodies with Different Aspect Ratios

### ABSTRACT

In this study, the flow structure around bluff bodies in the form of rectangular prisms with different aspect ratios was experimentally investigated by particle imaging velocity measurement (PIV) technique. In the study, rectangular prism shaped geometries produced from acrylic material in the form of horizontal square prism, cube, vertical square prism ( $H/L = 0.5$ ,  $H/L = 1$ ,  $H/L = 2$ , respectively) in different aspect ratios were used. Using the PIV technique, instantaneous velocity vector data acquired, instantaneous vorticity and streamlines were calculated, and time average velocity values, streamlines and velocity profiles were determined according to these data. In the experiments, the Re number was calculated as 26000, depending on parameters such as model dimensions, flow velocity, density, and viscosity of the fluid. As a result of the study, it has been determined that an acceleration zone that starts in the upper left corner of the examined geometries and extends along the x-axis and the points where the velocity in the flow direction is maximum are in this region. It has been determined that

the vertically placed  $H/L=2$  (vertical) prism increases the wake region ( $\cong 2L$ ) formed behind the geometry compared to the other prisms ( $H/L=1$  cubic and  $H/L=0.5$  horizontal).

*Keywords: Flow characteristic, PIV, Bluff body*

## I. GİRİŞ

Bir küt cisim etrafındaki akış yapısının incelenmesi (akış ayrılması, girdap atma sıklığı, sürüklenme vb.) mühendislik tasarımlarına doğrudan etkilerinin olması nedeniyle akış ve aerodinamik özelliklerin ortaya çıkarılmasında büyük önem taşımaktadır [1]. Özellikle keskin kenarlı küt cisimler üzerindeki akışlar, binalar ve köprüler etrafındaki atmosferik sınır tabakası akışları, elektronik kartlar üzerindeki devre elemanlarının soğutulması vb. gibi pratikte birçok uygulamalarda karşılaşılmışından dolayı araştırmacılar tarafından özel bir ilgi görmektedir [2,3].

Çoğu bina uygulaması, birçok araştırmaya konu olan iki boyutlu bir geometriden farklı olarak, yüzeye monte edilmiş bir prizmadır. Bu nedenle, bir binanın etrafındaki akış yapısı, özellikle cismin üzerindeki akış etkisinden dolayı karmaşıktır [4]. Bu nedenle yüzeye monte edilmiş üç boyutlu (3B) kare silindirin etrafındaki akış üzerine yapılan araştırmalar büyük bir popülerlik kazanmış ve bu alandaki hem temel hem de uygulamalı çalışmalar içi yoğun bir araştırma alanı olmuştur. Ayrıca son yıllarda yaşanan gelişmeler ışığında (kentsel arazilerin azalması, kentlerde yapısal yoğunluğun artması ve bu yoğunluğu hafifletme çabaları) dikey mimariye (yüksek katlı binalar) sahip mühendislik uygulamaları da bu tür araştırmalara güzel bir örnek oluşturmaktadır [5,6]. Ayrıca düşük ve yüksek en-boy oranlı kare silindirlerin etrafındaki akış, basitleştirilmiş binalar etrafındaki akış yapısını modelleyebildiğinden çevresel uygulamalar için de çok önemlidir [7].

Binalar etrafındaki akış yapısı literatürde yer alan çalışmalarda prizmatik küt cisim olarak modellenmiştir. Basit geometrisi ve düzenli girdap yapısı nedeniyle prizmatik küt cisim etrafındaki akış yapısı (akış ayrılması, girdap dökülmesi, yeniden bağlanma vb.) ile ilgili literatürde çeşitli çalışmalar görmek mümkündür [8,9]. Fertelli ve Balta, farklı ara mesafelere art arda yerleştirilen bina modelleri için rüzgârın etkilerini sayısal olarak incelemişlerdir. Çalışmada araştırmacılar, model için şartlar Sivas ili şartlarına göre (ortalama rüzgâr hızı) belirlenmiş ve sayısal çalışma için RNG k- $\epsilon$  türbülans modeli kullanmışlardır. Araştırmacılar çalışma sonucunda, farklı mesafelerde konumlandırılan binaların arasındaki mesafenin artırılması, bina arkasına yerleştirilen ikinci bir bina modelinin akış yapısı ve girdap alanlarını etkilediğini göstermiştir [10]. Da Silva vd. tarafından yapılan çalışmada araştırmacılar, yüzeye monte sonlu yükseklikte en boy oranı  $A/R=3$  olan kare prizma etrafındaki akış yapısını Reynolds sayısı 500'de ( $Re=500$ ) incelemişlerdir. Yapılan çalışmada araştırmacılar, elde edilen ortalama akış yapılarının, son zamanlarda önerilen akış modelleriyle uyumlu olduğunu ve bunların yüzeye monte edilmiş sonlu yükseklikte kare prizmalar etrafındaki akışta yüzey, ayrılmış bölge ve iz bölgesi gibi yapıların kaynağını ve ara bağlantılarının belirlemesine yardımcı olacağını tespit etmişlerdir [11]. Martinuzzi ve Tropea, yüzeye monte edilmiş, farklı en/boy oranına sahip prizmatik modellerin etrafındaki akış yapısını farklı Reynolds sayılarında deneysel olarak incelemiştir. Çalışmada sonuç olarak araştırmacılar  $W/H$  oranı  $> 6$  için engellerin arkasında ve  $W/H$  oranı  $> 10$  için engellerin önünde devridaim bölgesinin üst kısmında nominal olarak iki boyutlu bir bölge bulunduğunu göstermişlerdir [12]. Tonui ve Sumner dairesel bir silindir, kare ve elmas prizmalar etrafındaki akış yapısını parçacık görüntü hız ölçümü (PIV) tekniği kullanılarak bir su kanalında deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışma sonucunda araştırmacılar, kare ve elmas prizmaların devridaim (recirculation) bölgelerinin, dairesel silindirinkinden daha uzun olduğunu ve elmas prizma geometrisine sahip cismin en güçlü birincil girdaplara ve maksimum girdap değerlerine sahip olduğunu tespit etmişlerdir [13]. Özdoğan vd. tarafından yapılan çalışmada araştırmacılar farklı en/boy oranına sahip bina modellerini sayısal olarak incelemişlerdir. Yapılan çalışma sonucunda araştırmacılar, tüm modeller için rüzgâr hızının artması, bina en/boy oranları azalması ve taşınım katsayısının artmasına bağlı olarak binanın tüm yüzeylerindeki ortalama ısı akısının arttığını tespit etmişler ve en/boy oranına ve binanın yüzeyine bağlı olarak ısı akısı-hız değişim eğrilerinin incelenen modellerde benzerlik gösterdiğini tespit etmişlerdir [14]. Tominaga vd. tarafından yapılan çalışmada araştırmacılar, farklı çatı eğimlerine sahip binaların etrafındaki akış

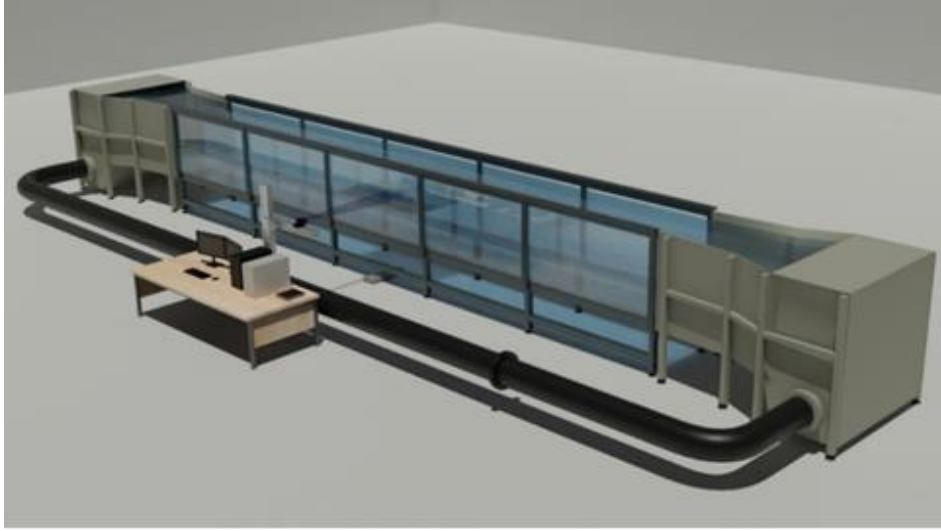
yapısını sayısal ve deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmada yazarlar, CFD simülasyonunun seçilen ağ yapısını ve türbülans modeli ile performansı incelenmiş ve simülasyon sonuçları tüm çatı eğimleri için ölçülen verilerle karşılaştırılarak doğrulamasını sağlamışlardır. Çalışma sonucunda sırttaki ayrılmış akış ve binanın arkasındaki devridaim bölgesinin çatı eğiminin artması ile daha da büyüdüğünü tespit etmişlerdir [15]. Khan vd., akışa dik olarak yerleştirilmiş ve asılı duran sabit bir küp etrafındaki akış yapısını partikül görüntülemeli hız ölçüm (PIV) tekniği kullanarak farklı Reynolds sayılarında incelemişlerdir. Araştırmacılar ayrıca akışın daha iyi anlaşılması için boya deneyleri yaparak küp etrafındaki akış yapısının görselleştirmesini de yapmışlar ve anlık akışta üç boyutlu zengin akış yapılarına sahip bölgelerin oluştuğunu tespit etmişlerdir [16].

Literatür taramasında da görüldüğü gibi araştırmacıların incelediği dikdörtgen prizmatik modeller etrafındaki akış yapısı ile ilgili farklı nümerik ve deneysel çalışmalar yer almaktadır. Cisimler üzerine etkili olan kuvvetler; sıralanmış cisimler, aynı alanda bulunan cisim grupları ve tek olarak konumlandırılan cisimler için farklı olacaktır. Bu nedenle, tekli ve gruplandırılmış cisimlerin etrafındaki akış analizlerinin iyi yapılması gerekmektedir. Bu durum göz önüne alındığında bu çalışmanın temel konusu olan farklı yapı ve geometrik modellere sahip örnek küt cisim modellerinin etrafındaki akış yapısının incelenmesi gerekliliği bu çalışmanın motivasyonu olmuştur. Ek olarak bu çalışma ile yapılacak olan bilimsel araştırmalara ya da mühendislik ve mimarlık uygulamalarına özgün bir örnek teşkil edilmesi hedeflenmektedir.

## **II. MATERYAL VE METOT**

### **A. DENEY DÜZENİĞİ**

Bu çalışmada farklı en/boy oranlarına sahip dikdörtgenler prizması şeklindeki geometriler etrafındaki akış yapısı “parçacık görüntülemeli hız ölçme tekniği” (PIV) kullanılarak deneysel olarak incelenmiştir. Deneyler, Şekil 1’de gösterilen Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi İleri Akışkanlar Mekanik Laboratuvarı’nda bulunan, kapalı çevrim açık su kanalında gerçekleştirilmiştir. Kanalın 3 boyutlu şematik gösterimi Şekil 1’de verilmiştir. Kanalda 7.5 kW kapasitede iki adet devir kontrollü aksel pompa, akışa gerekli hızın verilmesi için kullanılmaktadır. Kanalın başında ve sonunda birer adet depo bulunmaktadır. Kanalın depolarla birlikte toplam uzunluğu 15000 mm olup test alanı 10000mm uzunluğa, 1000 mm yüksekliğe ve 800 mm genişliğe sahip olarak imal edilmiştir. Akışkan test kısmına gelmeden önce bir ızgara ve 20cm kalınlığa sahip bal peteği kesitli yapıdan ve 2:1 oranında daralmadan geçmekte olup böylece akışın kararlı hale gelmesi ve kanal yüzeyindeki türbülans yoğunluğunun düşürülmesi sağlanmaktadır. Kanalda devir kontrollü pompalar ile 800 mm su yüksekliğinde hız aralıkları 0.01m/s – 0.5m/s olabilmektedir. Kanal serbest yüzeyinde türbülans yoğunluğu %2 civarında hesaplanmıştır. Bu değer literatürde kabul edilebilir olarak belirtilmiştir [17, 18]. Deneylerde akışkan hızı 0.3m/s olarak alınmış ve buna bağlı olarak Re sayısı 26000 olarak hesaplanmıştır. Re sayısının hesaplanmasında cisimlerin “z” eksenindeki boyutu olan 75mm geometrik uzunluğu alınmıştır.



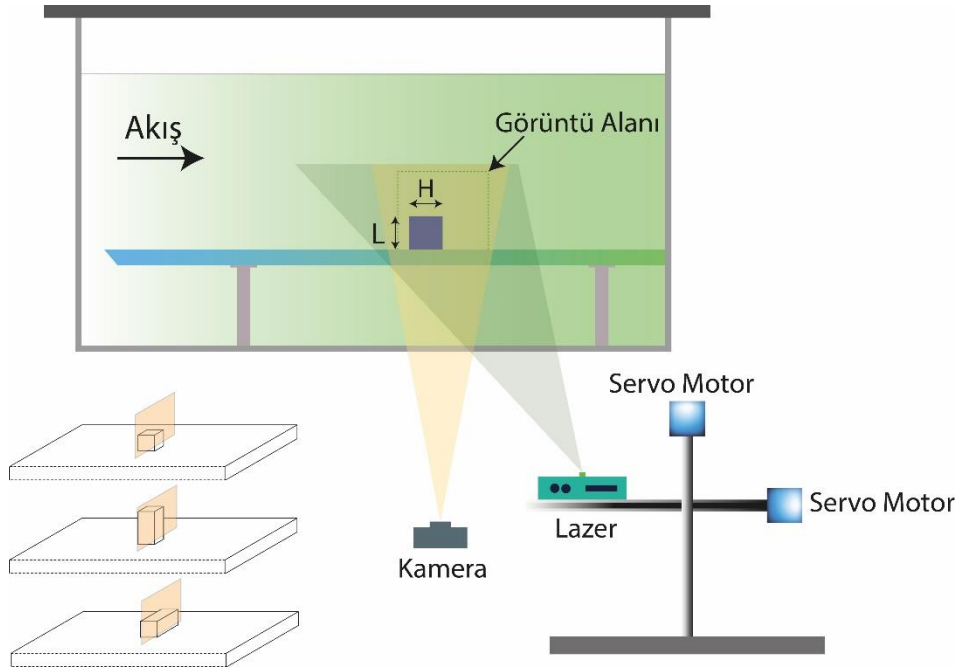
*Şekil 1. Kapalı devre açık su kanalının şematik gösterimi [19]*

Deneylerde kullanılan prizmaların ana boyutu (genişlik) 75 mm olarak seçilmiş ve en boy oranı ana boyuta bağlı olarak 0.5, 1 ve 2 olarak alınmıştır. Çalışmada Şekil 2’de lazer ve kamera pozisyonlamasının ve deney düzeneğinde kullanılan geometrilerin şematik gösterimi yer almaktadır. Dikdörtgen prizmanın ana boyutu kanalda blokaj etkisinin olmaması ve görüntü alanının boyutlarına bakılarak seçilmiştir (Şekil 2). Kanal içerisindeki akışın alt bölgesinin sonuçları olumsuz etkilememesi için modeller 1500mm x 700mm x 20mm boyutlarında bir akrilik masanın üzerinde kanal zeminine 20 cm yukarıda konumlandırılmıştır. Su yüksekliği serbest yüzeyin etkisinin olmaması için 800 mm yüksekliğinde tutulmuştur. Masanın akışı karşılayan hücum kenarı akışa olumsuz bir etki bırakmaması için üçgen formu verilecek şekilde kesilmiştir. Böylece akışın geometrilere gelmeden önce tam gelişmiş olması sağlanmıştır. Modellerin akış alanı içerisine farklı durumlar altında yerleştirilmesini boyutsuz bir şekilde ifade etmek için H/L ifadesi kullanılmıştır. Çalışmada H örneğin akışa paralel uzunluğunu, L ise yüksekliğini ifade etmektedir. Yapılan çalışma kapsamında modeller H/L=0.5 (yatay), 1.0 (kübik) ve 2.0 (dikey) olacak şekilde akış alanına yerleştirilerek modeller etrafındaki akış karakteristikleri belirlenmiştir.

## **B. PARÇACIK GÖRÜNTÜLEME HIZ ÖLÇÜM (PIV) TEKNİĞİ**

Modeller etrafındaki akış alanı PIV yöntemi kullanarak ölçülmüştür. PIV sistemi, özellikle temel akışkanlar dinamiği problem çözümlerinden, ürün geliştirme ve süreç iyileştirme çalışmalarına kadar birçok alanda iç ve dış akış incelemelerinde kullanılmakta olup akış hakkında bölgesel olarak sonuçlar vermektedir. Deneyde kullanılan PIV sistem ve bileşenleri yazar tarafından yapılmış tez çalışmasında ayrıntılı bir şekilde verilmiştir [20]. PIV akış ölçümlerinde esas akışın yapısına olumsuz bir etkisi olmayan temassız bir yöntemdir. Akışkan olarak su kullanılan bu deneylerde akış içerisine yoğunluğu suyun yoğunluğuna yakın 20 mikron çapındaki gümüş kaplı parçacıklar eklenmekte ve böylece parçacıklar akış içerisinde çökme olmadan akışkanla birlikte hareket etmektedirler. Deneylerde ölçümlere başlanmadan önce parçacıklar öncelikle su dolu bir şişe içerisine konulmuş ve daha sonra şişe iyice çalkalanmıştır. Şişe içerisindeki su parçacıklarla birlikte kanala boşaltılmıştır. Parçacıkların test bölümü içerisinde düzgün bir şekilde dağılması için kanala birkaç dakika yüksek hızda devridaim yaptırılmıştır. Akışın ölçüleceği bölgeye karanlık ortamda gönderilen 2mm kalınlığında 532nm ışık dalga boyunda lazer huzmesi parçacıkların parlamasını sağlamakta ve yüksek çözünürlüklü kamera ile görüntüsü alınmaktadır. Deneylerde 50mm f:1/4 lense sahip maksimum 1608 x 1208 çözünürlüğünde saniyede maksimum 44 kareye kadar fotoğraf alabilen CCD (Yük Bağlısımlı Aygıt) teknolojisine sahip bir kamera kullanılmıştır. Lazer tarafından aydınlatılan akış alanı eş zamanlı olarak kamera tarafından doğrudan bilgisayara aktarılmıştır. Bunun için sistemde bir eş zamanlayıcı (Senkronizasyon) kullanılmaktadır. Senkronizasyon kutusu, bilgisayardan aldığı sinyali BNC arabirimi üzerinden lazer ve kameraya aktarmaktadır. Görüntü alanındaki hız bileşenleri, lazer ile aydınlatılan yüzeyden art arda iki

fotoğraf çekilmesi ile hesaplanmaktadır. Çekilen iki fotoğraf arasında çapraz-korelasyon (cross-correlation) yöntemi uygulanarak hız bileşenlerine ulaşılır. Yapılan deneylerde iki görüntü arasında geçen zaman 0.0667 saniye olarak alınmıştır. Parçacık görüntülerinin kendileri rastgele fonksiyonlar oldukları için, ortaya çıkan korelasyon fonksiyonları, veri setinin kullanılmasından önce çıkarılması gereken az da olsa hatalı ölçümlere sahip olma olasılığı olan, rasgele bileşenlere sahiptir. Hız alanı hesaplandıktan sonra bozuk vektörler CleanVec programı tarafından çıkarılma işlemine tabi tutulmuştur. Bilinear en küçük karelere uydurma tekniği kullanılarak eksik vektör alanları doldurmuş, görüntü alanı gerçek akış alanına ölçeklendirilmiş ve girdap dağılımları hesaplanmıştır. Deneylerin proses kısmında art arda kaydedilen iki adet görüntüden anlık hız vektörleri elde edilmiş, post-proses kısmında ise anlık akım çizgileri ve girdap dağılımları elde edilmiştir.

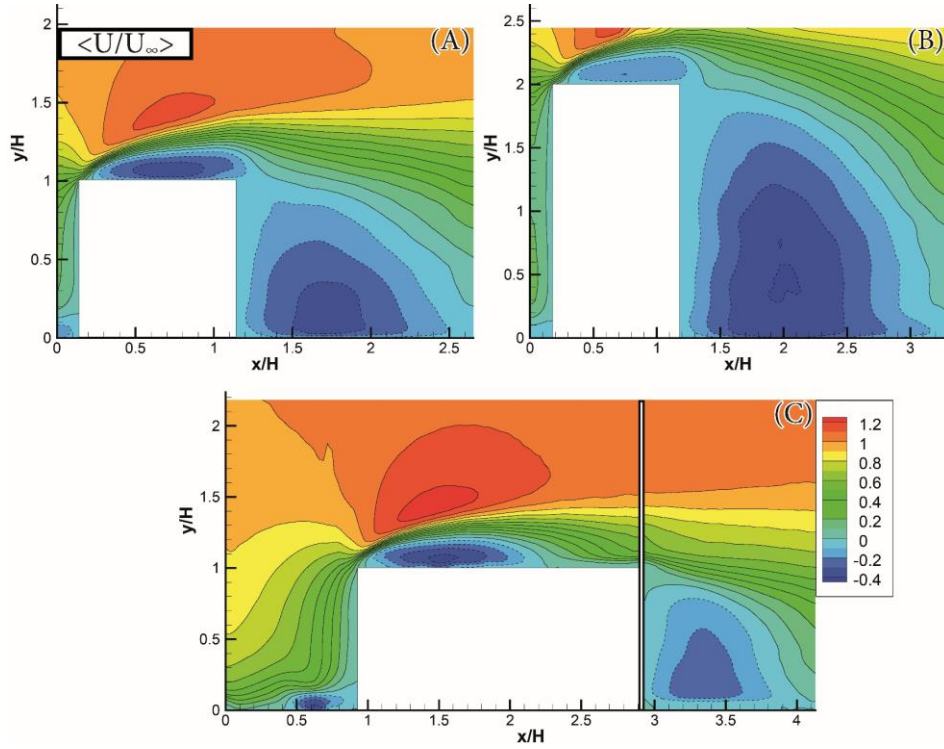


Şekil 2. Lazer ve kamera pozisyonlaması ve deney düzeneğinin şematik gösterimi

### **III. BULGULAR VE TARTIŞMA**

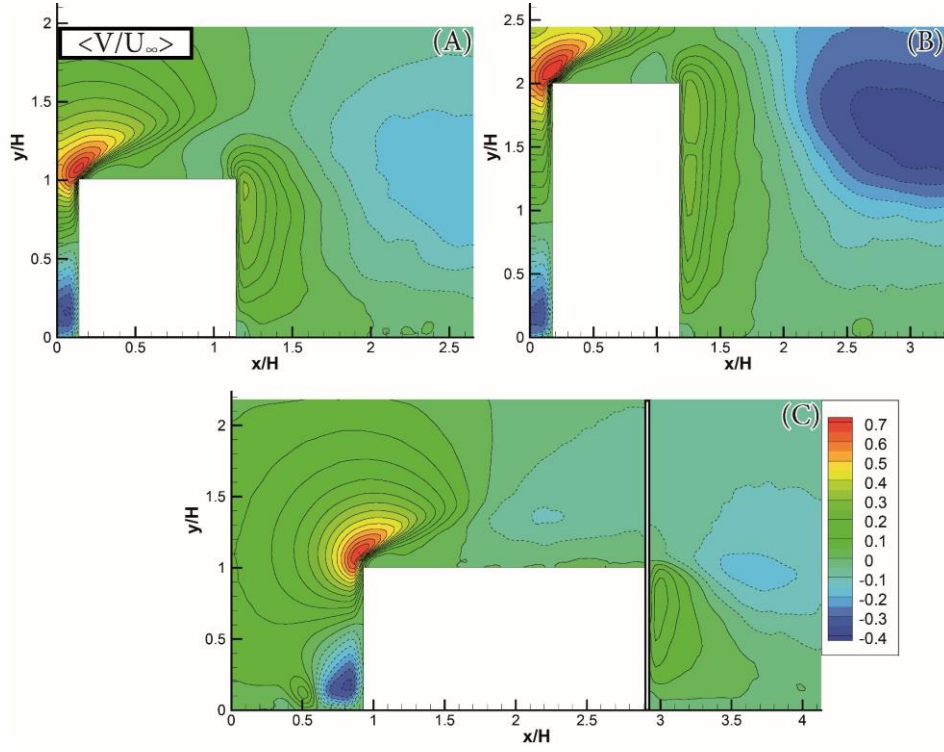
Deneyssel olarak akış düzlemindeki hız bileşenleri alındıktan sonra bozuk vektörlerin çıkarılması, çıkarılan vektörlerin yerinin doldurulması, verilerin filtrelenip düzgünleştirilmesi işlemi yapılmıştır. Çalışmada noktasal olarak ifade edilen çizgiler negatif, sürekli çizgiler ise pozitif hız ve girdap konturlarını göstermektedir. Bu doğrultuda elde edilen görseller Şekil 3-5 arasında yer almaktadır. Şekiller incelendiğinde modelin ön bölgesinde ters basınç gradyanından kaynaklı olarak at nalı girdaplarının oluşmaya başladığı görülmektedir. Bu durum Şekil 3-c’de ( $H/L=0.5$  yatay) kendini daha da belli etmektedir. Şekil 4-a ( $H/L=1$ ) ve 4-b’de ( $H/L=2$ ) model ön bölgesinde küçük ters yönlü girdap oluşumunun başladığı fakat görüntüleme alanının dışında kaldığı düşünülmektedir. Şekil 3 detaylı incelendiğinde modelin sol üst köşesinde başlayan ve x eksenini boyunca uzanan bir hızlanma bölgesi ve akış yönündeki hızın maksimum olduğu noktaların bu bölgede olduğu görülmektedir. Modellerden kaynaklı olarak, model üst yüzeylerinde ters akış bölgesinin oluştuğu, fakat oluşan ters akış bölgesinin modelin üst yüzeyine yapışmayarak akışın modeli terk ettiği kenarı (fırar kenarı) aşağı akış yönünde ters akış bölgesinin oluştuğu tespit edilmiştir. Akışa dik eksenindeki ortalama  $\langle v/U_\infty \rangle$  hızları modellerin 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 4). Şekil 5'te zaman ortalama girdap değerleri ( $\langle\omega\rangle$ ) yer almaktadır. Burada modellerinin yüzeylerinde ve zemin bölgesinde negatif girdaplanma görülmekte ve model boyunca devam etmektedir. Negatif girdap değerleri saat yönü, pozitif girdap değerleri ise saatin tersi yönünü ifade etmektedir. Model üst yüzeyine yakın yerde ve model arka yüzeyi boyunca pozitif girdaplanma görülmekte, model üst yüzeyindeki pozitif girdapların negatif girdaplara göre daha baskın olduğu görülmektedir. Ek olarak ortalama girdap değerlerinde, negatif yönlü dönen girdapların ortalaması ile oluşturulan ortalama negatif yönlü girdapların modellerinin üst yüzeyinden aşağı akım yönüne doğru genişlediği görülmektedir. Modellerin ön alt, orta üst ve arka bölgesinde ters basınç gradyanından kaynaklı olarak üç adet ölü akış bölgesinin oluştuğu görülmektedir. Model geometrilerinden kaynaklı olarak yukarı doğru yönlene akış yapısı modellerin yan yüzeyinde (yüzey duvarı) bir girdap yapısı oluşturmuş ve oluşan bu girdap model arkasında saat yönünde bir dönüş yapan girdap ile birleştiğinde daha geniş bir girdap bölgesi oluşturmuştur. Bu durum özellikle  $H/L=2$  (dik) modelde cisim geometrisinden kaynaklı olarak, daha geniş bir girdap alanı ortaya çıkarmıştır.

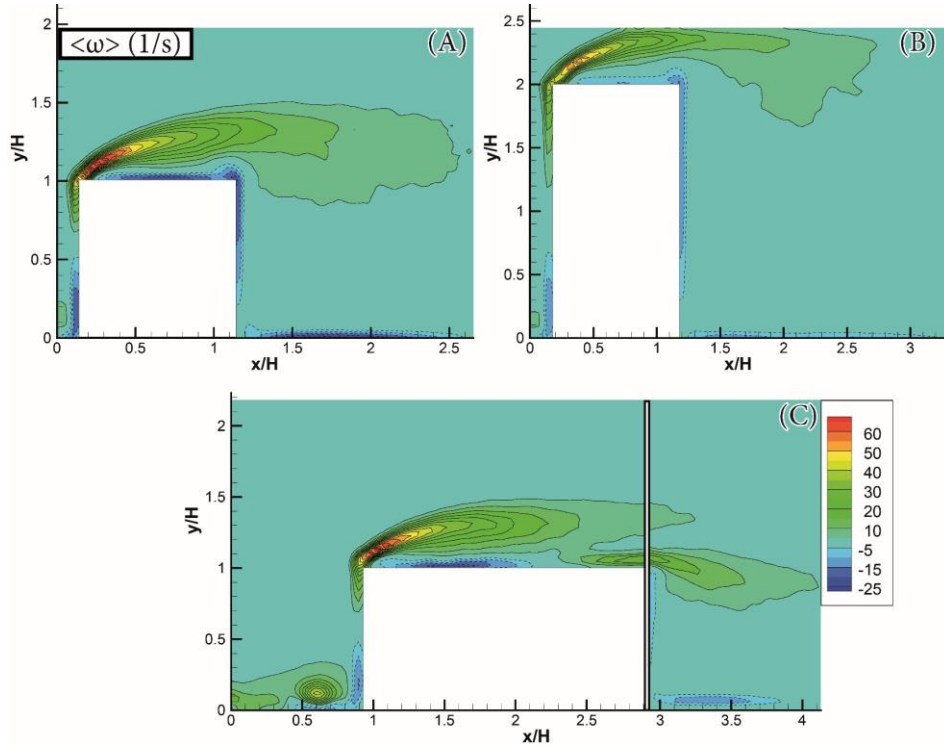


**Şekil 3.** Her bir en/boy oranı için boyutsuz akış yönü hız bileşeninin zaman ortalama ( $\langle U/U_\infty \rangle$ ) dağılımları. (Minimum kontur değeri: -0.4, maksimum kontur değeri: 1.2, artış miktarı: 0.1)





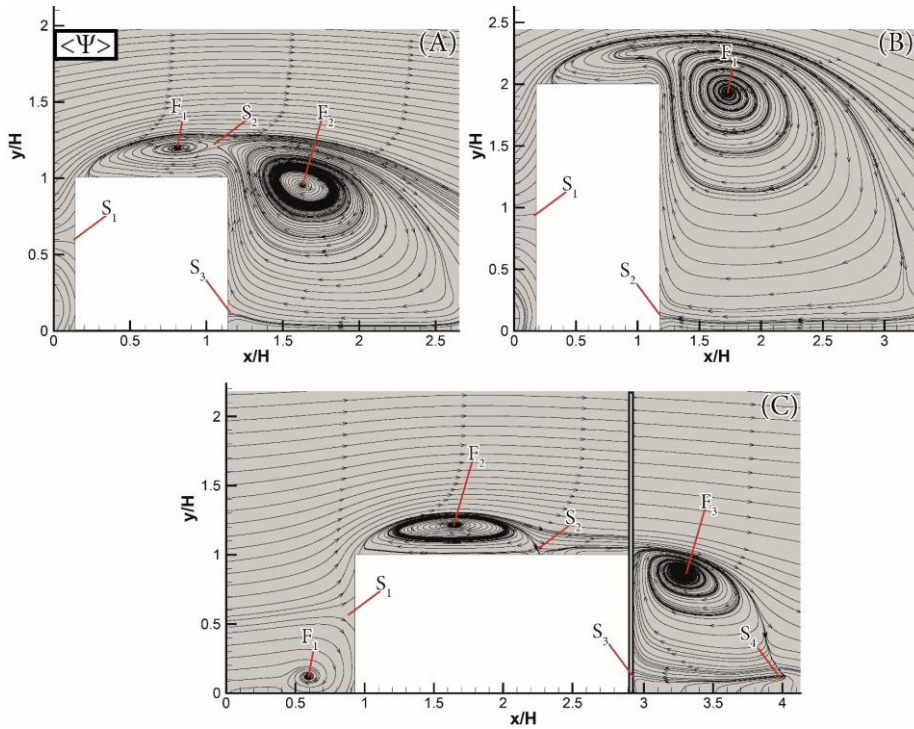
**Şekil 4.** Her bir en/boy oranı için boyutsuz akış yönündeki dik hız bileşeninin zaman ortalaması ( $\langle v/U_\infty \rangle$ ) (Minimum kontur değeri: -0.4, maksimum kontur değeri: 0.7, artış miktarı: 0.05)



**Şekil 5.** Her bir en/boy oranı için zaman ortalaması girdap ( $\langle \omega \rangle$ ) dağılımları (Minimum kontur değeri: -25, maksimum kontur değeri: 65, artış miktarı: 5)

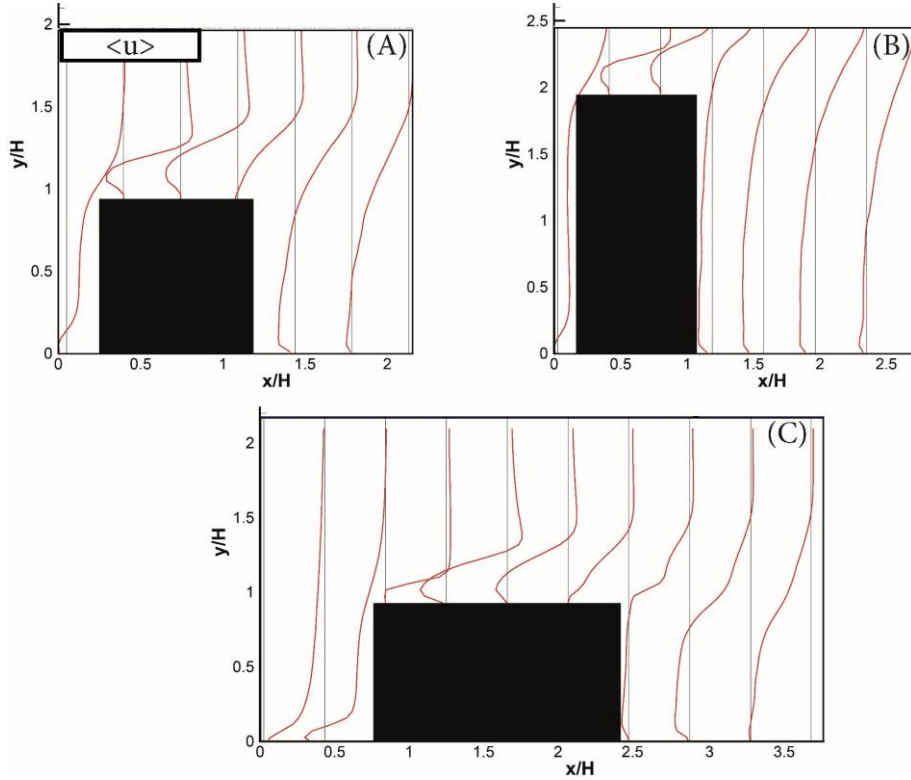
Şekil 6'da her üç durum için zaman ortalaması akım çizgileri ( $\langle \Psi \rangle$ ) verilmiştir. Şekillerde F (foci) durma noktalarını, S (saddle point) ise eyer noktasını ifade etmektedir. Genel olarak akış yapısı incelendiğinde model uç noktası tarafında (serbest uç hücum kenarı) model üst yüzeyi boyunca basınç artışının

meydana gelmesi sonucunda, akış ayrılmasının başladığı tespit edilmiştir. Ayrılan akışın model serbest uç yüzeyinden aşağı akış yönüne doğru model yüzeyine tekrar yapışarak negatif yönlü dönen ters akış bölgelerini oluşturmaktadır. Ek olarak modellerin serbest üst yüzeyinde meydana gelen ayrılmış alan ile serbest akış alanı arasında kayma tabakaları ve ters akış bölgelerinin orta noktasında durma noktaları (Foci) (F) oluşmaktadır. Özellikle modellerin ön bölgesinde yüzeye çarparak yönlene akışkan parçacıkların bir bölümünün model üst bölgesine (hücum kenarı) bir kısmının da modelin zemin bölgesine (atnalı) yönlendiği görülmektedir. Bu da modellerin ön bölgesinde ve arka bölgesinde birer S noktası oluşturmaktadır. Gelen akış modellere çarpmakta ve modelin keskin köşesinden (hücum kenarı) kaynaklı olarak ayrılmaya başlamakta ve aşağı akım yönünde devam ettiği görülmektedir. Bu süreç içerisinde cismin geometrik şeklinden kaynaklı olarak  $H/L=1$  ve  $H/L=2$  durumları için cismin üst yüzeyinde bir adet durma noktası (F) oluşmaktadır. Modellerin üst yüzeyinde oluşan durma noktasının (Şekil 6-a ve Şekil 6-c) model üst yüzeyine ve yukarı akım yönüne doğru kaydığı görülmektedir. Şekil 6-c'de model ön bölgesinde ters girdaplardan kaynaklı olarak oluşan atnalı girdap merkezi (F1) görülmektedir. Diğer durumlar içinde modelin ön bölgesinde ters yönlü girdap oluşumunun başladığı, fakat görüntüleme alanının dışında kaldığı düşünülmektedir. Özellikle kanal içerisine  $H/L=2$  (dik) olarak yerleştirilen model ele alındığında diğer durumlara göre ( $H/L=1$  ve  $H/L=2$  yatay) model arkasında oluşan ölü alan bölgesinin ( $\cong 2L$ ) daha büyük olduğu görülmektedir.  $H/L=1$  durumu için de model arkasında oluşan ölü akış bölgesinin  $\cong 1.5L$ 'lik bir alana yayıldığı görülmektedir.  $H/L=0.5$  yatay olarak yerleştirilen modelde ise  $\cong L$  mesafesi kadar bir ölü bölgenin oluştuğu görülmektedir. Akış ayrılması kaynaklı olarak modellerde akustik gürültü, yapısal titreşimler ve rezonans gibi istenmeyen durumların meydana geldiği bilinmektedir. Bunun yanı sıra zemin bölgesinde ters basınçtan kaynaklı olarak akış yapısındaki düzenin kaybolacağı ve farklı karakteristiklerde akış yapılarının oluşabileceği göz önüne alındığında bu durumun model zemin bölgesinde oyukların oluşması gibi güvenlik tehlikelerine neden olabileceği düşünülmektedir. Şekil 7'de x eksenı boyunca hız profilleri incelendiğinde akış ayrılmasının (yön değişiminin) modellerin üst yüzeyinde ve arka bölgesinde meydana geldiği görülmektedir. Akışkan, model üzerinden ayrıldığında model ve akışkan akımı arasında bir ayrılmış bölge oluşur. Modelin arka tarafında sürekli, dolanımlı ve geriye doğru akışların meydana geldiği bu düşük basınç bölgesine ayrılmış bölge denir. Her bir durum için alt akış bölgesindeki hız dağılımının genişliği, art iz bölgesi genişliğinin bir ölçütüdür. Özellikle bu durum en/boy oranları için akış alanı içerisinde farklı bölgelerde oluşan foci noktalarında (F) daha da belirgin bir hal almaktadır. Model yüzey ve art iz bölgesi sınırlarında hız değerlerinin azaldığı görülmektedir.



Şekil 6. Her bir en/boy oranı için zaman ortalama akım çizgileri ( $\langle \Psi \rangle$ )





**Şekil 7.** Her bir en/boy oranı için zaman ortalama hız profilleri  $\langle u \rangle$

## **IV. SONUÇ**

Kanal içerisine yerleştirilmiş farklı geometrilere sahip örnek modeller etrafındaki akış karakteristiklerini (ortalama hız, girdap, akım çizgileri) belirlemek üzere parçacık görüntülemeli hız ölçüm (PIV) tekniği kullanılarak deneysel çalışmalar yapılmıştır. Deneyler sonucunda; her bir modelin sol üst köşesinde başlayan ve x eksenini boyunca uzanan bir hızlanma bölgesinin oluştuğu tespit edilmiştir. Modellerden kaynaklı olarak, üst yüzeyde ters akış bölgesinin oluştuğu, fakat oluşan ters akış bölgesinin modelin üst yüzeyine yapışmayarak akışın cisim terk ettiği kenarı (fırar kenarı) aşağı akım yönünde ters akış bölgesinin devam ettiği tespit edilmiştir. Modellerin geometrilerinden kaynaklı olarak yukarı doğru yönlendirilen akış yapısı modellerin yan yüzeyinde (yüzey duvarı) bir girdap yapısı oluşturmuş ve oluşan bu girdaplar modelin arkasında saat yönünde dönüş yapan girdaplar ile birleştiğinde daha geniş bir girdap bölgesinin oluştuğu tespit edilmiştir. Su kanalı içerisine dik olarak  $H/L=2$  (dik) yerleştirilen modelin diğer durumlara göre ( $H/L=1$  ve  $H/L=0.5$  yatay) model arkasında oluşan ölü alan bölgesinin ( $\cong 2L$ ) daha büyük olduğu görülmektedir.  $H/L=1$  durumu için de model arkasında oluşan ölü akış bölgesinin  $\cong 1.5L$ 'lik bir alana yayıldığı görülmektedir.  $H/L=0.5$  yatay olarak yerleştirilen modelde ise  $\cong L$  mesafesi kadar bir ölü bölgenin oluştuğu görülmektedir. Çalışma aerodinamik uygulamalar için değerlendirildiğinde akış ayrılmasının cisimlerde akustik gürültü, yapısal titreşimler gibi istenmeyen durumların meydana gelebilecek olması istenmeyen durumlar oluşturabilecektir. Ayrıca zemin bölgesinde oluşabilecek at nalı girdaplarının cismin etrafındaki zeminin oyulması gibi güvenlik tehlikelerine neden olabileceği düşünülmektedir. Çalışma ısınma / soğutulma performansının düşük olacağından bahsedilebilir. Her üç durum incelendiğinde ( $H/L=1$  ve  $H/L=0.5$  (dik ve yatay)) özellikle  $H/L=0.5$  yatay olarak akış alanına yerleştirilen modellerin akış yapısı bakımından daha düzgün sonuçların açığa çıkarılması ile mühendislik uygulamalarında kullanılmasının daha elverişli olduğu tespit edilmiştir.

**TEŞEKKÜR:** Bu çalışma Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (OKÜBAP) tarafından OKÜBAP-2019-PT3-009 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı OKÜBAP'a teşekkür ederiz.

## **V. KAYNAKLAR**

- [1] T. Durhasan, “Flow topology downstream of the hollow square cylinder with slots”, *Ocean Engineering*, vol. 209, pp. 107518, 2020.
- [2] A. F. Akon ve G. A. Kopp, “Turbulence structure and similarity in the separated flow above a low building in the atmospheric boundary layer”, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, vol. 182, pp. 87–100, 2018.
- [3] D. Chatterjee ve S. Amiroudine, “Two-dimensional mixed convection heat transfer from confined tandem square cylinders in cross-flow at low Reynolds numbers”, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 37, no. 1, pp. 7–16, 2010.
- [4] H. Kawai, Y. Okuda, ve M. Ohashi, “Near wake structure behind a 3D square prism with the aspect ratio of 2.7 in a shallow boundary layer flow”, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, vol. 104–106, pp. 196–202, 2012.
- [5] S. Li, Z. Luo, X. Deng, W. Peng, ve Z. Liu, “Experimental investigation on active control of flow around a finite-length square cylinder using dual synthetic jet”, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, vol. 210, pp. 104519, 2021.
- [6] Y. Tamura, X. Xu, ve Q. Yang, “Characteristics of pedestrian-level Mean wind speed around square buildings: Effects of height, width, size and approaching flow profile”, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, vol. 192, pp. 74–87, 2019.
- [7] C. Diaz-Daniel, S. Laizet, ve J. C. Vassilicos, “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, 2017.
- [8] M. Princevac, J. J. Baik, X. Li, H. Pan, ve S. B. Park, “Lateral channeling within rectangular arrays of cubical obstacles”, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, vol. 98, no. 8–9, pp. 377–385, 2010.
- [9] Y. Zhao, X. Ma, C. Zhang, H. Wang, ve Y. Zhang, “3D real-time volumetric particle tracking velocimetry – A promising tool for studies of airflow around high-rise buildings”, *Building and Environment*, vol. 178, pp. 106930, 2020.
- [10] A. Fertelli, “Tek ve iki bina etrafındaki rüzgar etkilerinin sayısal olarak incelenmesi”, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, ss. 111–120, 2017.
- [11] B. L. da Silva, R. Chakravarty, D. Sumner, ve D. J. Bergstrom, “Aerodynamic forces and three-dimensional flow structures in the mean wake of a surface-mounted finite-height square prism”, *International Journal of Heat and Fluid Flow*, vol. 83, pp. 108569, 2020.
- [12] R. Martinuzzi ve C. Tropea, “The flow around surface-mounted, prismatic obstacles placed in a fully developed channel flow: (Data bank contribution)”, *Journal of Fluids Engineering, Transactions of the ASME*, vol. 115, no. 1, pp. 85–92, 1993.
- [13] N. Tonui ve D. Sumner, “Flow around impulsively started square prisms”, *Journal of Fluids and Structures*, vol. 27, no. 1, pp. 62–75, 2011.
- [14] M. Özdoğan, B. Sungur, L. Namlı, B. Topaloğlu, ve A. Durmuş, “A comparative study of turbulence model effects in numerical analyzing flow around the buildings having various aspect ratios

/ Farklı en-boy oranlarına sahip binaların etrafındaki akışın sayısal çözümünde türbülans modellerinin etkisinin karşılaştırmalı araştırılması”, c.12, s. 3, pp. 585-595, *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2016.

[15] Y. Tominaga, S. ichi Akabayashi, T. Kitahara, ve Y. Arinami, “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, 2015.

[16] M. H. Khan, P. Sooraj, A. Sharma, ve A. Agrawal, “Flow around a cube for Reynolds numbers between 500 and 55,000”, *Experimental Thermal and Fluid Science*, vol. 93, pp. 257–271, 2018.

[17] J. Zhang, H. Chen, B. Zhou, ve X. Wang, “Flow around an array of four equispaced square cylinders”, *Applied Ocean Research*, vol. 89, pp. 237–250, 2019.

[18] X. K. Wang, J. X. Zhang, Z. Hao, B. Zhou, ve S. K. Tan, “Influence of wall proximity on flow around two tandem circular cylinders”, *Ocean Engineering*, vol. 94, pp. 36–50, 2015.

[19] M. Özalp, C , Polat, C , Saydam, D , Söyler, “Dye Injection Flow Visualization Around a Rotating Circular Cylinder”, *European Mechanical Science*, vol. 4, no. 4, pp. 185–189, 2020.

[20] C. Polat, “Farklı dizilimlere sahip binalar etrafındaki akış karakteristiklerinin PIV yöntemi ile deneysel olarak incelenmesi”, Yüksek lisans tezi, Enerji Sistemleri Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Osmaniye, Türkiye, 2019.