

Bir Otonom Aracın Akış Karakteristiklerinin PIV Yöntemiyle Üniform Akış Şartlarında İncelenmesi

Muammer Ozgoren¹, Omer Kenan²
Ertugrul Sekeroğlu³, Bülent Yanıktepe^{4*}
¹Necmettin Erbakan Üniversitesi, Konya
^{2,3,4}Osmaniye Korkut Ata Üniv., Osmaniye

Mehmet Erdem⁵, Beşir Şahin⁶
⁵Tarsus Teknik Üniversitesi, Mersin
⁶İstanbul Aydın Üniversitesi, İstanbul

ÖZET

Bu çalışmada, üniform akış şartları içerisinde yerleştirilmiş, eliptik burunlu küt kanatsız kuyruklu bir otonom mikro aracın etrafında oluşan akış karakteristikleri, Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçme (PIV) yöntemi kullanılarak deneysel olarak incelenmiştir. Deneyler, akışa paralel konumunda tutulan model boyuna göre tanımlanan Reynolds sayısının $Re = 32 \times 10^3$ ve $Re = 64 \times 10^3$ değerlerinde gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda, hesaplanan anlık hız vektörü (V) ve girdap eşdeğer eğrilerinin ($\omega L/U_\infty$), ortalama girdap, akım çizgileri ve Türbülans Kinetik (TKE) enerji değişimleri elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, Reynolds sayısının artması ile birlikte hem çalkantıların arttığı hem de momentum transferinin arttığı gözlemlenmiştir. İlave olarak, Reynolds sayısının artması ile birlikte, girdap şiddeti artmakta ve art izinin boyu kısalarak kuyruk bölgesine doğru yaklaştığı gözlemlenmiştir. Modelin kuyruk kısmının keskin olmasından dolayı akış ayrılması daha belirgin olarak meydana gelmektedir. Oluşan akış yapısının art izi bölgesinde Karman girdap caddelerinin düzenli bir şekilde oluştuğu görülmektedir. Yapılan FFT analizi sonucunda Karman girdap caddeleri frekans (f) değerleri, $Re = 32 \times 10^3$ için 1.84 ve $Re = 64 \times 10^3$ için 4.59 olarak bulunmuştur ve buna karşılık gelen boyutsuz Strouhal sayıları (St) sırasıyla 2.79 ve 3.47 olarak belirlenmiştir. Bu çalışmanın diğer bir amacı da sayısal araştırmaların doğrulanmasında ve tasarım çalışmaları için kullanılmasıdır. Bu nedenle akış özelliklerinin akış alanında maksimum ve minimum olduğu kritik noktalar da belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Aerodinamik, Girdap, Hız vektörü, otonom, PIV, Strouhal sayısı

GİRİŞ

Akışkanlar mekaniğinin en önemli uygulama alanları arasında savunma, ulaşım, inceleme, insanlı/insansız denizaltı araçları, enerjiye yönelik kaynakların araştırılma ve geliştirilmesi, uluslararası enerji

¹ Prof. Dr. Muammer OZGOREN, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uçak Mühendisliği Bölümü, E-posta: mozgoren@erbakan.edu.tr

² Uzman, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, E-posta: omerkenan80@gmail.com

³ Öğr. Gör. Ertugrul SEKEROGLU, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, E-posta: ertugrulsekeroglu@osmaniye.edu.tr

⁴ Prof. Dr. Bülent YANIKTEPE, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, E-posta: byaniktepe@osmaniye.edu.tr

⁵ Araştırma görevlisi, Mehmet ERDEM, Havacılık ve Uzay Mühendisliği Bölümü, Havacılık ve Uzay Mühendisliği Anabilim Dalı, E-posta: mehmederdem@tarsus.edu.tr

⁶ Prof. Dr. Beşir ŞAHİN, Mühendislik Fakültesi, Havacılık ve Uzay Mühendisliği Bölümü, E-posta: besirsahin@aydin.edu.tr

ve iletişim hatlarının akış ile etkileşimleri gibi konularda da yer almaktadır. Türkiye'nin coğrafi konumu ve üç tarafının denizlerle çevrili olması nedeniyle, gelişmiş ülkelerde olduğu gibi, sualtı savunma ve benzeri araçlardaki teknolojik gelişmeleri içeren araştırmalara paralel olarak sanayinin geliştirilmesinde fayda bulunmaktadır.

Akışkanlar mekaniğinde anlık hız ölçme yöntemlerinden birisi olan Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçme (PIV) yöntemi, geometrik yapılar etrafında oluşan karmaşık akış yapılarının belirlenmesine imkan tanımaktadır. Geçmişte otonom hava ve sualtı araçlarına yönelik benzer konularda çok sayıda çalışmalar yapılmıştır [Yanıktepe ve Rockwell, 2004; Yanıktepe ve Rockwell, 2005; Yanıktepe, 2016]. Birçok uygulama alanı bulunan akışkanlar mekaniğinin uygulama alanlarından biri de su altı araçlarıdır. İnsansız sualtı araçlarının geometrik yapılarının birçok uygulamalarında eliptik formun oluşturulmasında Myring'in (1976) denklemleri kullanılmaktadır. Araştırmacılar, üniform akış ortamına yerleştirilmiş, otonom bir araç olan torpido benzeri geometri etrafındaki akış özelliklerini PIV tekniği ile incelemiştir [Kaynarcalıoğlu, 2016; Akbudak ve ark., 2022a; Akbudak ve ark., 2022b]. Üniform akış ortamına yerleştirilen torpido benzeri geometriyi hem PIV tekniği hem de uygun Ortogonal ayrıştırma (Proper Orthogonal Decomposition=POD) tekniği ile değerlendirmişlerdir [Kenan ve ark., 2023]. Bazı araştırmacılar da torpido benzeri geometri için serbest yüzeyin etkisini araştırmışlardır [Kilavuz ve ark. 2022a, 2022b, 2022c; Sarigüzel ve ark. 2022].

Bu çalışma da otonom bir aracı temsilen tasarlanan modelin üniform akış ortamına konumlandırılan eliptik burun küt kanatsız kuyruklu geometri çevresindeki akış özellikleri PIV tekniği ile deneysel olarak incelemiştir. Akış özellikleri incelenmiş ve iki boyutlu görsellerle sunulmaktadır.

YÖNTEM

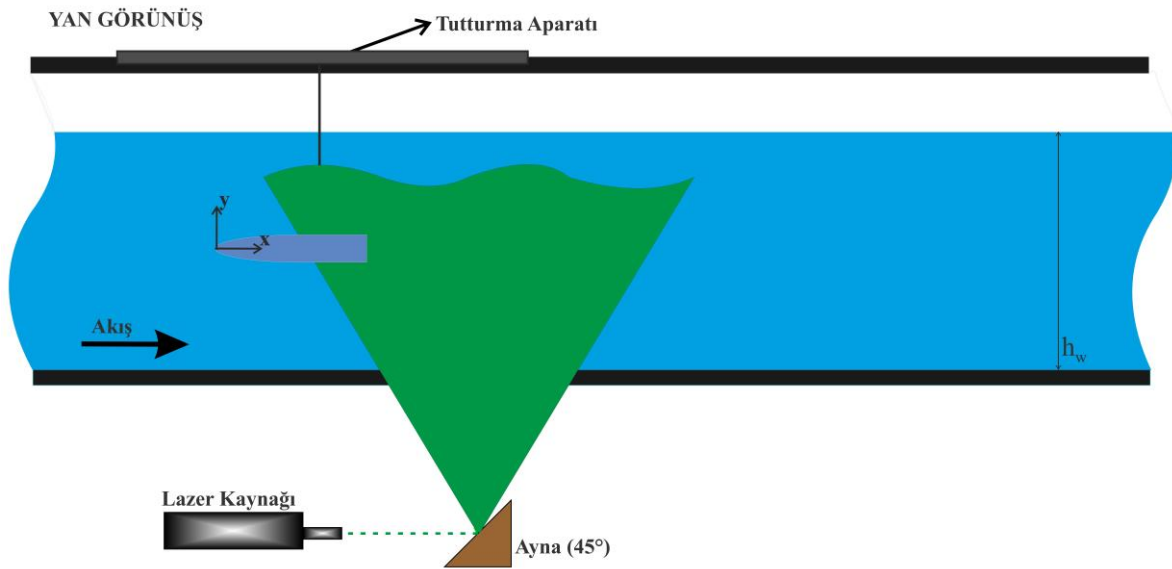
Ogive silindirlerin gövdesi; ön bölüm ya da burun kısmı, orta bölüm ve arka bölüm ya da kuyruk kısmı olmak üzere üçe ayrılır. Burun kısmı çok farklı şekillerden meydana gelebilir. Bunlardan en yaygın olarak kullanılanı ogive silindirleri; eliptik, tanjant, sekant, honest john, von Karman ve power serisidir. Bu çalışmada dikkate alınan model, eliptik geometrisi referans alınarak tasarlanmıştır [Anonim, 2024]. Model geometrinin çapı $D = 40\text{mm}$ ve uzunluğu $L = 220\text{mm}$ 'dir. Deneyler, modelin sadece yatay konumlandırıldığı durumu için $Re = 32 \times 10^3$ ve $Re = 64 \times 10^3$ değerlerinde gerçekleştirilmiştir. Bu Reynolds sayılarının tekabül ettiği akış hızları ise $u = 145\text{ mm/s}$ ve $u = 190\text{ mm/s}$ 'dir. Model geometrinin karakteristik uzunluk çap oranı $L/D = 5.5$ olarak alınmıştır.

Şekil 1'de deney düzeneğinin şematik gösterimi verilmiştir. Lazer kaynağından çıkan lazer ışınları, kanalın alt kısmına yerleştirilen 45° lik ayna yardımıyla görüntüleme alanına gönderilmiştir. Şekil 2'de, üniform serbest akış ortamında, bir otonom sualtı araç modelinin burun ve kuyruk çevresinde, iki farklı görüntü alanı dikkate alınarak, Reynolds sayısının $Re = 32 \times 10^3$ ve $Re = 64 \times 10^3$ değerlerinde akışın hidrodinamik yapısı incelenmiştir. Deneylerin yapıldığı, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi su tüneli ve PIV deneysel sistemi Şekil 3'te görülmektedir.

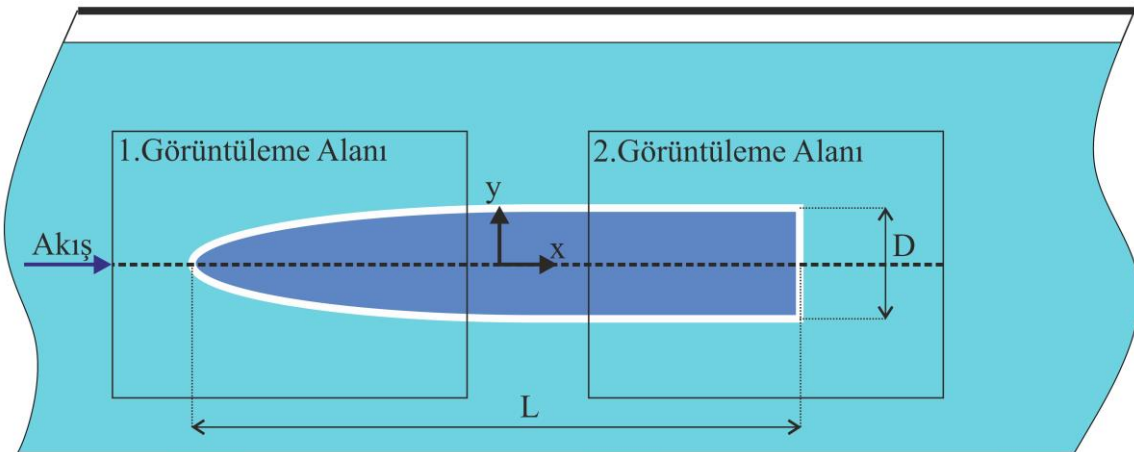
Çift darbeli ve 532 nm dalga boylu, 145 mJ gücünde darbe enerjisine sahip, saniyede maksimum 15 lazer huzmesi çifti gönderebilen lazer ünitesi (Nd: YAG lazer) yardımı ile CCD tabanlı kamera ile akış alanının görüntüsü alınmaktadır. Bu CCD dijital kamera, 1608x1208 çözünürlüklü, 299 fps (kare/saniye) çekim kapasitelidir. Kameraya entegre şekilde 500 mm f/1,4'lük bir lens ve x-y yönlü hareket kabiliyeti olan bir travers sistemi de bulunmaktadır. PIV tekniği ile akış karakteristiğini inceleyebilmek için su kanalının içerisindeki devir daim suyuna, su ile yaklaşık aynı yoğunlukta 12 μm çapında gümüş kaplı plastik partiküller ilave edilmektedir. Bu partiküller, durgun suda çökmesine rağmen akış sırasında suda asılı kalarak su ile aynı hızda hareket edebilmektedirler. Ayrıca, 145 mJ'lik çift darbeli lazer kaynağı, diğer optik elemanların da yardımıyla 1-2 mm kalınlığındaki lazer perdelerini farklı genişliklerde akış görüntü alanına gönderebilmektedir. Lazer kaynağının potansiyeli

gereği saniyede maksimum 15 lazer huzmesi ile aydınlatılan akış, lazer ile kombine şekilde çalışan dijital bir kamera tarafından milisaniyelik periyotlarla çekilen iki fotoğraf bilgisayar sistemine aktarılmaktadır. Bu fotoğraflar arasındaki sürenin (Δt) belirlenmesi tamamen akış hızına bağlıdır. Lazer kaynağı ve dijital Kamara'nın, aynı anda ve istenilen frekansta aktif hale gelebilmesini sağlayan eş zamanlayıcı kontrol kartı vasıtası ile bilgisayar tarafından kontrol edilmektedir. Bilgisayar ortamına aktarılan fotoğraflar daha küçük alt bölgelere ayrılarak, Fourier dönüşümü (FFT) yardımıyla partiküllerin her iki fotoğraf arasındaki yer değiştirmeleri hesaplanır. Dolayısıyla iki fotoğraf arasındaki zaman farkı ve de alt bölgelerdeki partiküllerin aldıkları yol ele alınarak akışın hızı hesaplanabilmektedir. Akış bölgesi içerisindeki hız vektörlerinin maksimum %3'ü genel akış karakteristiğine uymayan bozuk vektörlerden oluşmaktadır. Bozuk olan bu vektörler çeşitli yazılımlar sayesinde bulunarak akış bölgesinden kaldırılarak komşu vektörler dikkate alınıp yenileri atanmaktadır. Deney esnasında, örnekleme frekansı 15 Hz'de toplam 512 adet anlık görüntü alınmıştır.

PIV ölçümleri boyunca Dantec Dynamic Studio ticari yazılımı, anlık ve zaman ortalamalı verileri belirlemek üzere çekilen görüntüleri analiz etmek için kullanılmıştır. PIV ölçümlerinde, yansıtıcı partiküllerin homojen olmayan dağılımı, lazer tabaka düzlemi dışındaki partiküller, görüntü bozulmaları ve partikül örtüşmeleri belirsizlik kaynaklarıdır (Ozgoren, 2006; Kılavuz ve ark., 2022a, 2022b; Ozturk ve ark., 2008).



Şekil 1. Deney düzeneğinin şematik gösterimi



Şekil 2. PIV Görüntüleme alanları



Şekil 3. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi su kanalı ve PIV sistemi görseli [Erdem, 2022]

Akış Karakteristiklerinin Hesaplanması: Denklem 1’de Reynolds sayısının, Denklem 2’de Strouhal sayısının (St), Denklem 3’te ortalama akım yönündeki hız bileşeninin, Denklem 4’te ortalama akım yönüne dik hız bileşeninin denklemi, Denklem 5’te ortalama girdap, Denklem 6’da ortalama akım yönündeki hız bileşeninin normal gerilmesi, Denklem 7’de ortalama akım yönüne dik yönündeki hız bileşeninin normal gerilmesi ve Denklem 8’de ise boyutsuz zaman ortalama türbülans kinetik enerji (TKE) değerinin formülü verilmiştir. Verilen denklemlerde N , toplam anlık görüntü sayısı, n ise deney esnasında kaydedilen anlık fotoğrafın sayısı, (i, j) test alanındaki gridlerin pozisyonu ve sayısı, tüm anlık görüntülerin zaman ortalaması ($\langle \rangle$) alınmış görüntüsünü göstermektedir. Ayrıca, U_∞ sembolü üniform serbest akış hızını ve f sembolü ise girdap kopmasının baskın (Doğal) frekansını ifade etmektedir.

$$Re = \frac{\rho U_\infty L}{\mu} \quad (1)$$

$$St = fL/U_\infty \quad (2)$$

$$\langle u(i, j) \rangle = \frac{1}{U_\infty N} \sum_{n=1}^N u_n(i, j) \quad (3)$$

$$\langle v(i, j) \rangle = \frac{1}{U_\infty N} \sum_{n=1}^N v_n(i, j) \quad (4)$$

$$\langle \omega(i, j) \rangle = \frac{L}{U_\infty N} \sum_{n=1}^N \omega_n(i, j) \quad (5)$$

$$\langle u'u'(i, j) \rangle = \frac{1}{U_\infty^2 N} \sum_{n=1}^N \{u_n(i, j) - \langle u(i, j) \rangle | u_n(i, j) - \langle u(i, j) \rangle\} \quad (6)$$

$$\langle v'v'(i, j) \rangle = \frac{1}{U_\infty^2 N} \sum_{n=1}^N \{v_n(i, j) - \langle v(i, j) \rangle | v_n(i, j) - \langle v(i, j) \rangle\} \quad (7)$$

$$\langle T.K.E \rangle = \frac{1}{2} \left\{ \frac{\langle u'u'(i, j) \rangle}{U_\infty^2} + \frac{\langle v'v'(i, j) \rangle}{U_\infty^2} \right\} \quad (8)$$

UYGULAMALAR VE DEĞERLENDİRME

Şekil 4 ve Şekil 5'te farklı zamanlarda alınan anlık değerler verilmiştir. Her iki görüntü arasındaki zaman aralığı 0,0666 saniyedir ve toplam 512 imaj görüntüsü toplam 34.067 sn kayıt alınmıştır. Temsili olarak anlık görüntüler $N=1, 25, 50, 75$ ve 100 'üncü görüntüde alınan imajları zamanı olarak seçilmiştir. Buna göre $t=0$ s deki imaj $N=1$ 'e, $t=6.667$ s'de $N=100$ 'e karşılık gelen imaj olarak verilerek zamanla art izi bölgesindeki hız vektörleri ve anlık girdapların değişimi sunulmuştur. Farklı zaman değerlerinde alınan anlık hız vektör alanı (V) değişiminin üniform akış ortamında yapılan bir otonom su altı araç modeli geometrisinin burun ve kuyruk kısımlarını çevreleyen akış alanındaki farklı zaman değerlerinde alınan anlık hız vektör (V) dağılımının $Re = 32 \times 10^3$ ve $Re = 64 \times 10^3$ değerlerindeki karşılaştırılması Şekil 4'te verilmiştir. Şekil 4'teki art izi bölgesinde düşük hızlar ters akış bölgesini göstermektedir. Art izi bölgesinin basıncı düşük olduğu için akış hacmi çevresinden cismin arkasına doğru bir momentum transferi gerçekleşmektedir. Hız vektörlerindeki farklılardan dolayı dönümlü akış oluşmaktadır. Zamanla değişen hız vektör alanları akış ayrılması ile hız vektör alanında daralma ve genişlemeleri de göstermektedir. Art izi bölgesindeki ters akış bölgesinin büyüklüğü sürüklenme direnç katsayısının da artmasına neden olduğu bilinmektedir. Akım yönünde ilerledikçe art izinde düşük hızlı vektörler çevreden gelen momentum transferiyle büyümekte ve üniform hız koşullarına doğru yaklaşmaktadır. Reynolds sayısı iki katına çıkarınca Şekil 4b'de görüldüğü gibi ayrılmış akış bölgesi alanı ve uzunluğu azalmaktadır. Art izi bölgesindeki ayrılmış akış bölgesini azaltmak ve sürüklenme direnç katsayısını düşürmek için farklı pasif ve aktif akış kontrol yöntemleri uygulanabilir. Şekil 5'te oluşan anlık girdaplar görülmektedir. Hız vektörlerinde dalgalanmalı yapı Karman girdap caddelerinin oluşumunu sağlamaktadır. Girdap konturlarındaki küçük merkezler akış yapısında türbülanslılık ve dönüm merkezlerinin yoğunluğunu göstermektedir.

Şekil 5'te anlık girdap eşdeğer eğrilerinin ($\omega L/U_\infty$) değişimleri, üniform akış şartlarında yapılan deneylerde, bir otonom araç modelinin burun ve kuyruk çevresindeki dikkate alınan bölgelerde $Re = 32 \times 10^3$ değeri için karşılaştırılması verilmiştir. Pozitif ve negatif girdap eşdeğer eğrilerinin dağılımından anlaşıldığı üzere gözlemlenen akış alanında akış ayrılmasının meydana geldiği ve keskin köşelerin civarında ise bu girdap kümelerinin daha belirgin hale geldiği tespit edilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi modelin arkasında belirli bir mesafede modelin üst ve alt tarafında pozitif ve negatif girdaplar kayma gerilmesi boyunca hareket ederek ve birlerine doğru kavis yaparak modelin merkezi eksenine denk gelen çizginin belirli bir noktasında çarpışarak durma noktasının oluşması ile birlikte daha küçük ve daha belirgin girdap kümelerinin oluşmasına neden olurlar. Toplam anlık girdap görüntülerinin animasyonunu izlenmesinde, bu durma noktası, $x/D = 3.5$ ile $x/D = 5$ koordinatları arasında kararsız olarak yer değiştirdiği gözlemlenmiştir. Bu koordinatlardan sonra, yani modelin kuyruk kısmının hemen arkasında, yok denecek kadar az sayıda küçük ölçekli girdapçık kümelerinin yer aldığı gözlemlenmiştir. Burun kısmını incelediğimizde ise, simetrik yapıya benzer pozitif ve negatif girdap eşdeğer eğrilerinin oluştuğu tespit edilirken, anlık değişimlerde ise fazla değişiklik olmadığı belirlenmiştir. Şekil 5'de anlık girdap eşdeğer eğrileri ($\omega L/U_\infty$) değişiminin üniform akış ortamında yapılan otonom araç modelin geometrisinin burun ve kuyruk çevresindeki anlık girdap akış analiz sonuçları Reynolds sayısının artması ile birlikte akış çalkantılarının arttığı buna paralel olarak kütle ve momentum transferinin de arttığı için çevrinti (girdap) kümelerinin daha belirgin hale geldiği ve art izi bölge uzunluğunun azaldığı, yani durma noktasının kuyruk bölgesine yaklaştığı tespit edilmiştir. Kuyruk kısmının hemen arkasında akış ayrılmasının neden olduğu daha şiddetli girdap yapılanmalarının olduğu görülmektedir. Burun kısmını incelediğinde ise, Reynolds sayısı artışı ile birlikte girdaplı akış yapısı görünümde belirgin bir değişiklik görülmemiştir. Ancak, Reynolds sayısı arttıkça art izinde oluşan girdaplar modelin firar kenarına doğru yaklaşmıştır. Reynolds sayısı arttıkça saat yönünde dönen negatif ve saat yönünün tersine dönen pozitif girdap kümelerinin etkileşimi kuyruk kısmına doğru yaklaşmaktadır. Eliptik burunun tasarımı ile burun kısmından oluşan akış ayrılması azalmıştır ve kuyruk kısmına göre yok denecek kadar azdır. Bu nedenle, modelin kuyruk kısmında elipsoid formunda yapılması akış ayrılmasını azaltacak, art izi

bölgesinde girdapların oluşturduğu modelin izlenebilirlik özelliğini zayıflatacak ve daha düşük seviyede gürültü ve titreşimlerin oluşmasına olumlu yönde katkı sağlayabilecektir.

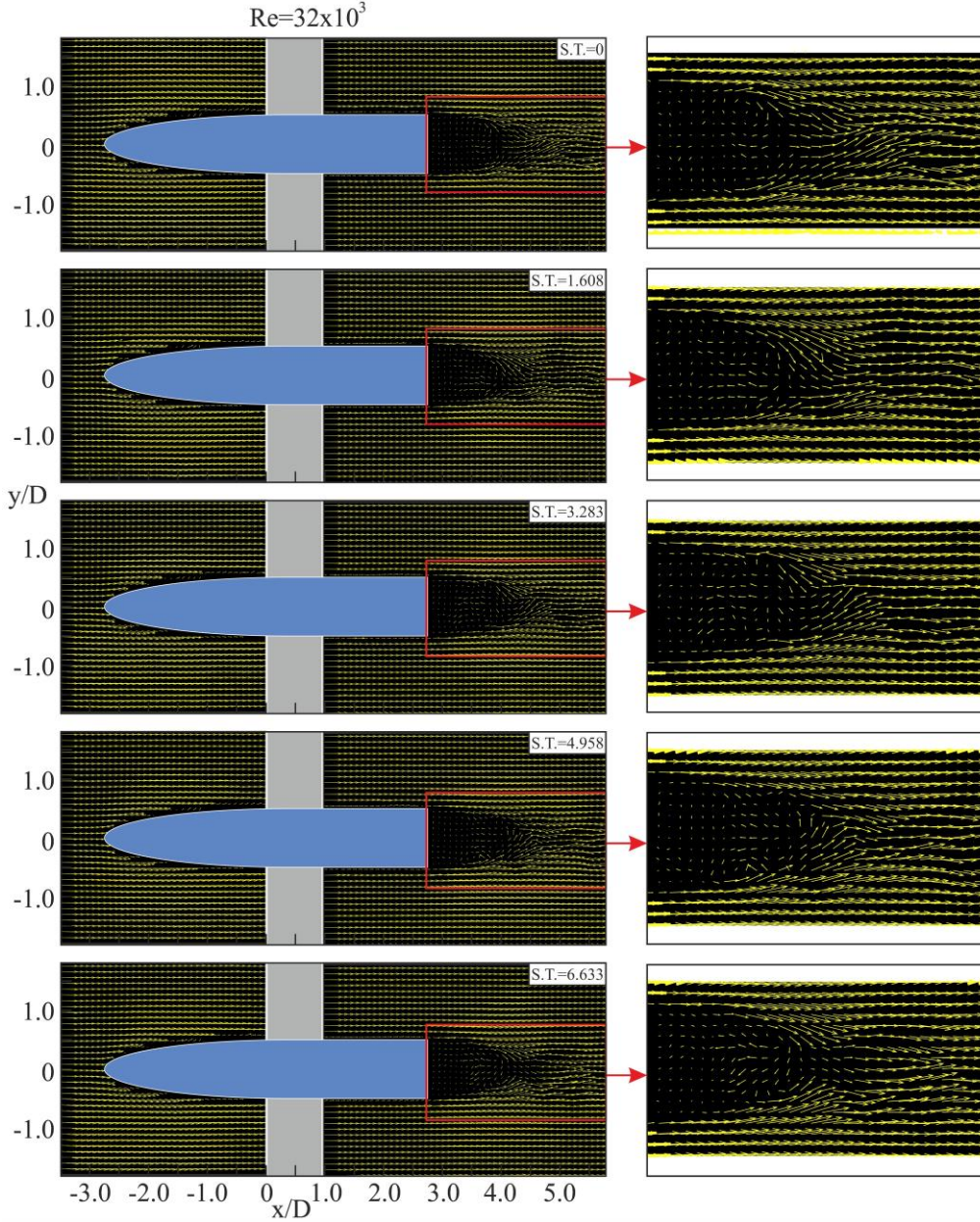
Şekil 6'da, ortalama girdap eşdeğer eğrilerinin ($\omega L/U_\infty$) değişimleri ve ortalama akım çizgileri değişimi üniform akış şartlarında yapılan deneylerde, bir otonom araç modelinin burun ve kuyruk çevresindeki dikkate alınan bölgelerde karşılaştırılması sunulmuştur. Elde edilen pozitif ve negatif girdap yapılarının, zaman ortalama art iz bölgesini not olarak ortaya koyduğu olduğu gözlemlenmiştir. Bu simetrik zaman ortalama girdap yapılarının, modelin simetrik yapısı ile uyumlu olduğu görülmüştür. Reynolds sayısının artması ile birlikte girdap boyunun kısalarak kuyruk bölgesine yaklaştığı belirlenmiştir. Akım çizgilerinin düğüm noktası $Re = 64 \times 10^3$ değerleri için daha kısa mesafede (Geometri sırtından yaklaşık $1.x/D$ mesafede) ve yaklaşık bir görünümde oluşmaktadır ancak $Re = 32 \times 10^3$ (Geometri sırtından yaklaşık $1.x/D$ mesafede) değerlerinde düşük hızdan dolayı aynı zaman aralığında daha az sayıda girdap kopması olduğu için ortalama akım çizgilerinde tam bir simetrik yapı oluşmamıştır. Her iki Reynolds sayısı içinde iki adet odak ve bir adet düğüm noktası belirgin bir şekilde oluşmaktadır. $Re = 32000$ değerine bakıldığında, 2 odak noktası F_1 ; $x/D = 3.01$, $y/D = 0.2$, F_2 ; $x/D = 3.6$, $y/D = -2.29$ ve 1 eğer noktasının S ; $x/D = 3.91$, $y/D = 0.01$ konumlarında olduğu gözlemlenmiştir. $Re = 64000$ değerine bakıldığında ise, 2 odak noktası F_1 ; $x/D = 3.52$, $y/D = 0.32$, F_2 ; $x/D = 3.17$, $y/D = -0.3$ ve 1 eğer noktasının S ; $x/D = 3.73$, $y/D = 0.02$ konumlarında elde edilmiştir. Eliptik burun yapısından dolayı akış ayrılması geometrinin uç kısmında minimize edildiği için cisim geometrisinin art izi bölgesi haricinde üniform bir akım çizgisi yapısı olduğu gözlemlenmiştir. Elde edilen bu kritik noktalar sayısal çalışmaların doğrulama çalışmalarına katkı sağlayabilecektir.

Şekil 7'de, zaman ortalama türbülans kinetik enerji konturlarının ($\langle TKE/U_\infty^2 \rangle$) değişimleri, üniform akış şartlarında yapılan deneylerde, bir otonom araç modelinin burun ve kuyruk çevresindeki dikkate alınan bölgelerde, Reynolds sayısının $Re = 32 \times 10^3$ ve $Re = 64 \times 10^3$ değerlerinde karşılaştırılması sunulmuştur. Ana akış yönüne paralel ve dik u ve v hız bileşenleri, bir akışkan akışındaki türbülanslı kinetik enerjinin (TKE) belirlenmesinde çok önemli bir rol oynar. Türbülanslı kinetik enerji, akışkan parçacıklarının türbülanslı hareketiyle ilişkili enerjinin bir ölçüsüdür. Akış alanındaki kayma ve girdapları etkileyen hızın yönlü bileşenleri TKE'ye önemli ölçüde katkıda bulunduğundan, türbülanslı akışın fiziği hakkında daha fazla bilgi edinmek için TKE'yi 2D akış alanı üzerinde analiz etmek son derece önemlidir. Ayrıca, hız vektörünün kıvrımı olarak bilinen vortisite, dönele akışkan hareketiyle ilişkilidir ve TKE'ye de katkıda bulunabilir. Yapılan deneyler sonucunda, Reynolds sayısının artması ile birlikte TKE değerlerinin arttığı da görülmektedir.

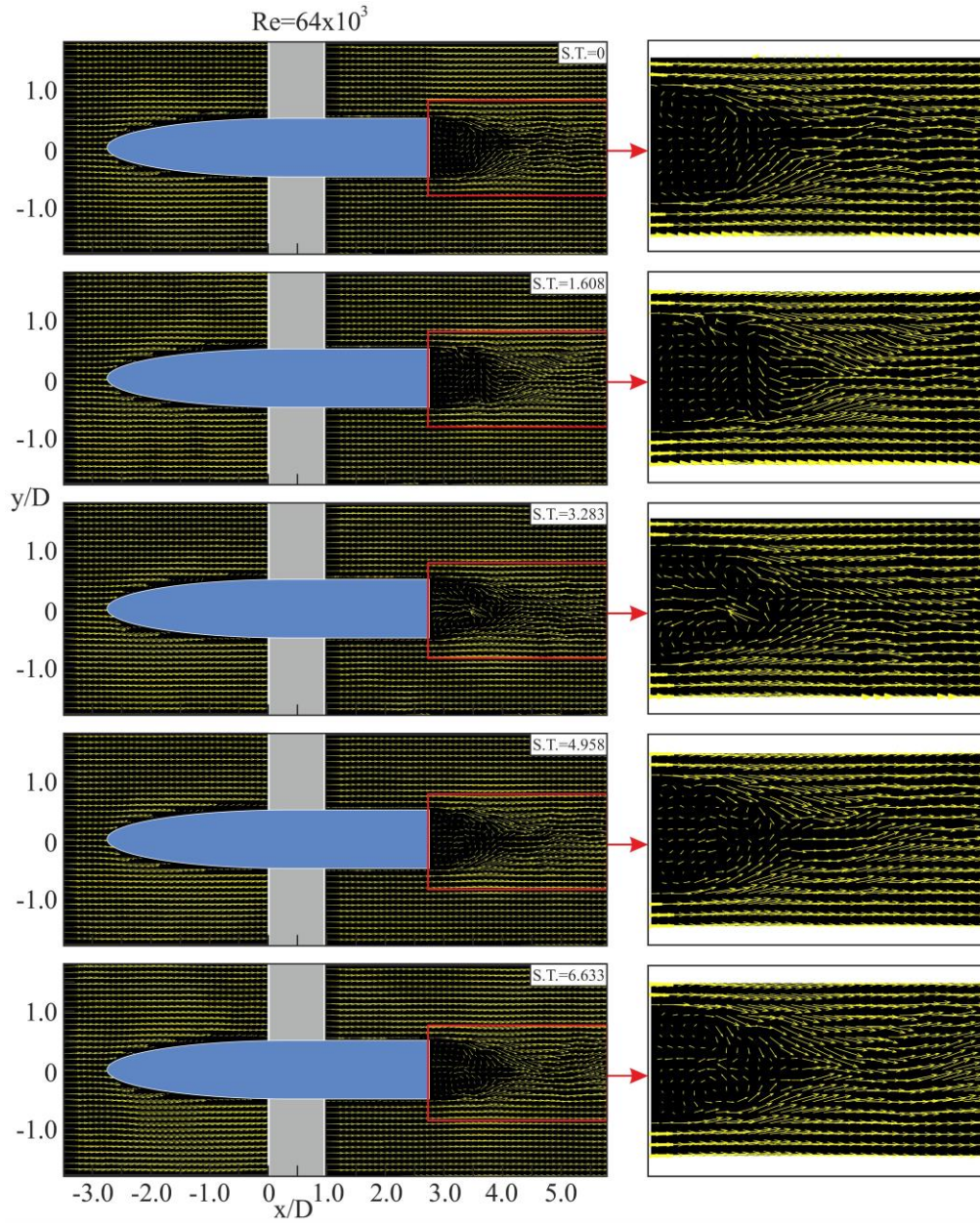
Şekil 8 ve 9'da art izi bölgesinde belirlenen değişik x/D istasyonlarında zaman ortalama boyutsuz TKE ile hız bileşeninin (u/U_∞) değişimleri y/D boyunca değişimleri gösterilmektedir. Değerler, $y/D = 1.5$ ile $y/D = -1.5$ aralığında 3 farklı istasyonda ($x/D = 3.75$, $x/D = 4.25$, $x/D = 4.75$) alınmıştır. Diğer bir ifade ile bu istasyonların kuyruk uçuna olan uzaklıkları $0.5D$, $1D$, $1.5D$ ve $2D$ 'dir. Daha açık ifade ile, şekil 8'de, ilgili akış alanında, zaman ortalama boyutsuz türbülans kinetik enerji ($\langle TKE/U_\infty^2 \rangle$) değişimleri, üniform ve serbest akış şartlarında otonom sualtı araç modelinin art izi bölgesinde değişim değerlerinin karşılaştırılması deneysel verilerle iki boyutlu olarak gösterilmiştir. Genel olarak Reynolds sayısının artması ile TKE değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Aynı zamanda art izi bölgesinden uzaklaştıkça TKE değerlerinde düşüş görülmektedir.

Şekil 9'da ana akım yönündeki zaman ortalama boyutsuz hız bileşeni ($\langle u/U_\infty \rangle$) değişim değeri Reynolds sayısının artışı ile azaldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, art izi bölgesinden uzaklaştıkça ($\langle u/U_\infty \rangle$) değerlerinin değişim oranların düşüş görülmektedir. Reynolds sayısının artmasıyla birlikte, model etrafında akışın türbülans şiddeti ve girdaplı akış yapısı artmaktadır. Bu durum, ayrılmış akış bölgesi ile ana akış bölgesi arasındaki kütle ve momentum transferinin artmasına neden olmaktadır. Bu durum, art iz bölgesinden uzaklaşma esnasında akış yapısı, daha kısa x/D mesafesinde üniform hız profiline sahip olacağını işaret etmektedir.

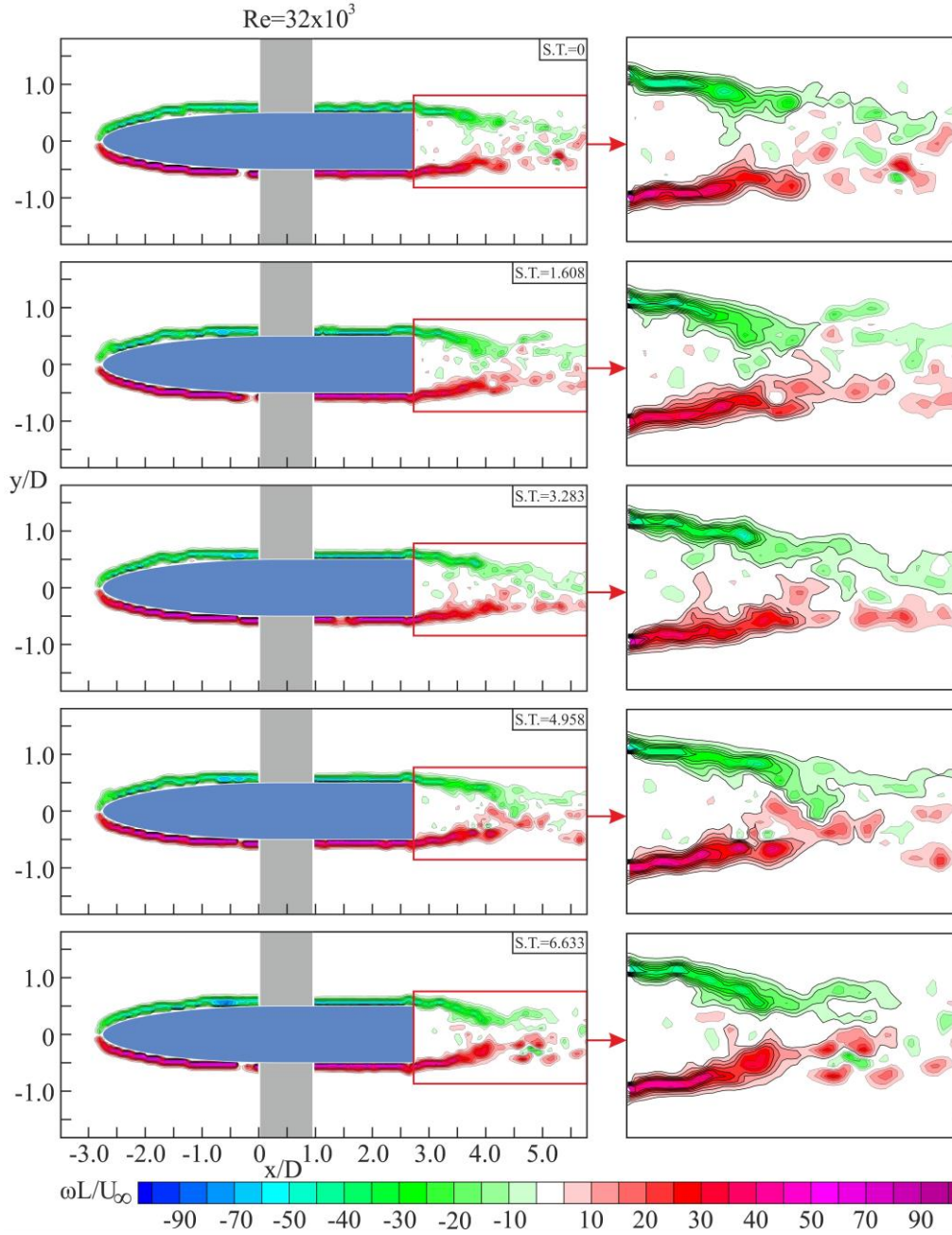
Yapılan FFT analizi sonucunda Karman girdap caddeleri frekans (f) değerleri $Re = 32 \times 10^3$ için 1.84, $Re = 64 \times 10^3$ için 4.59 bulunmuştur ve buna karşılık gelen boyutsuz Strouhal sayıları (2) nolu eşitlikten $Re = 32 \times 10^3$ için $St = 2.79$ ve $Re = 64 \times 10^3$ için $St = 3.47$ olarak hesaplanmıştır. Bu değerler pasif ve aktif kontrol yöntemleri geliştirilmesi ve yükleme etkisinin azaltılması için kullanılabilir.



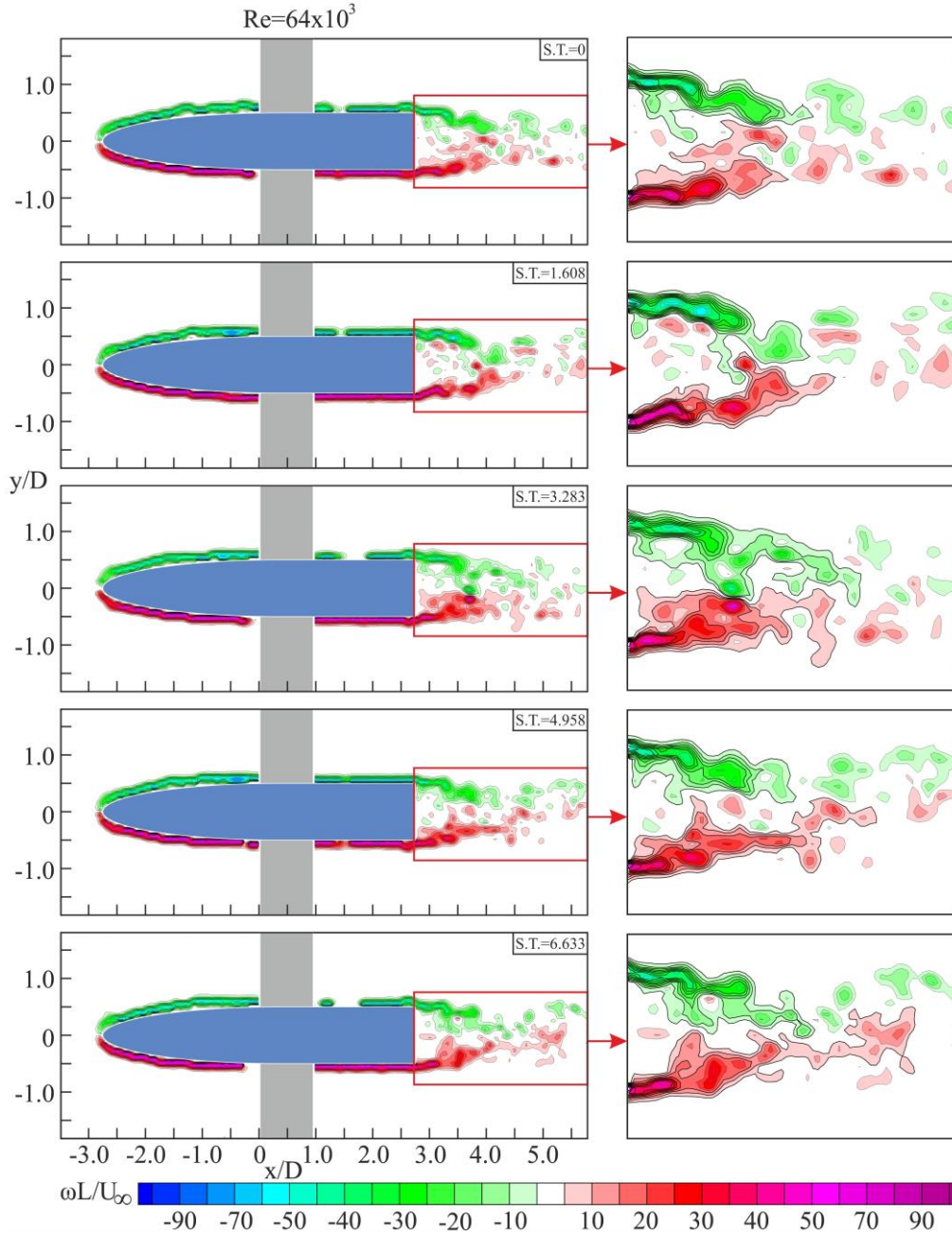
Şekil 4a. Farklı zaman değerlerinde alınan anlık hız vektörleri (V) dağılımının $Re = 32 \times 10^3$ değerlerindeki karşılaştırılması



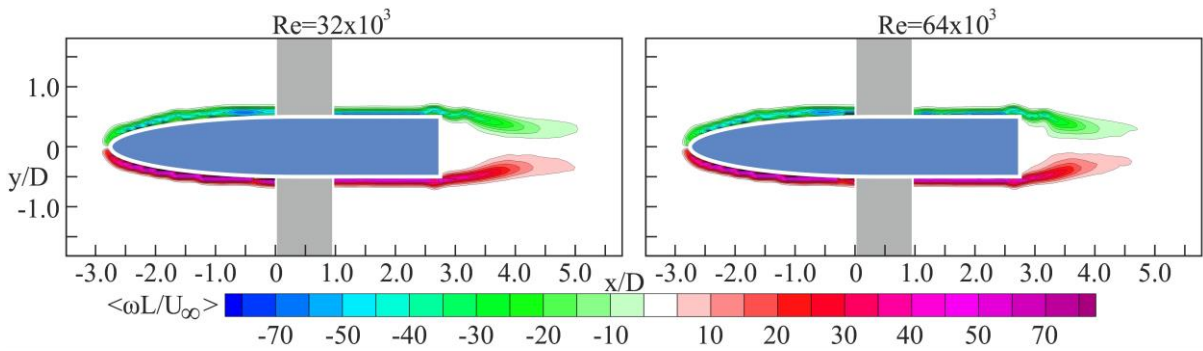
Şekil 4b. Farklı zaman değerlerinde alınan anlık hız vektörleri (V) dağılımının $Re = 64 \times 10^3$ değerlerindeki karşılaştırılması



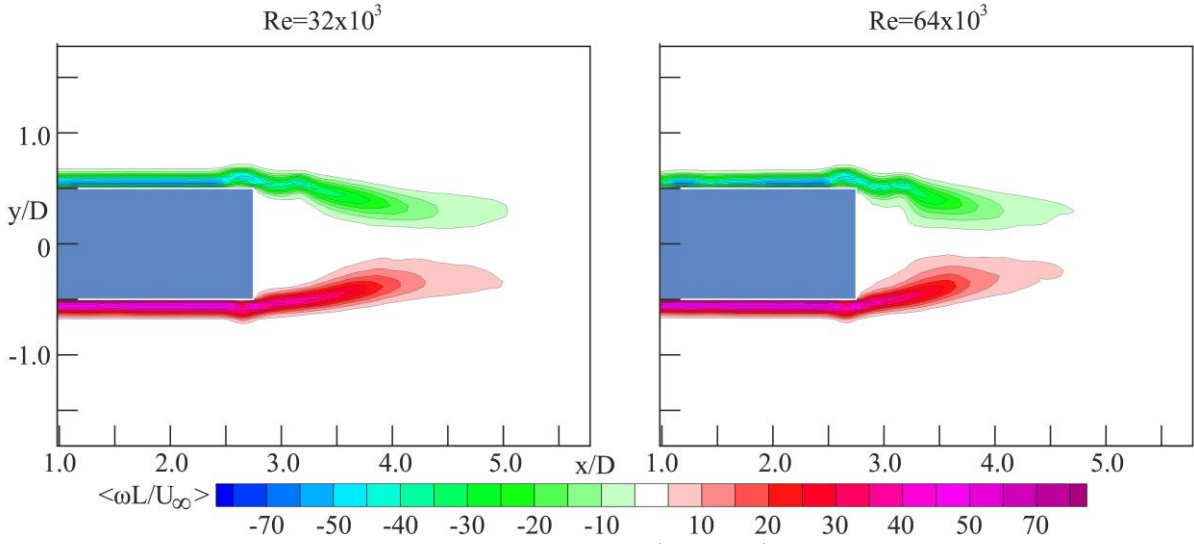
Şekil 5a. Farklı zaman değerlerinde alınan boyutsuz anlık girdap eşdeğer eğrilerinin ($\omega L/U_\infty$) model çevresindeki değişimlerinin $Re = 32 \times 10^3$ değerleri için karşılaştırılması



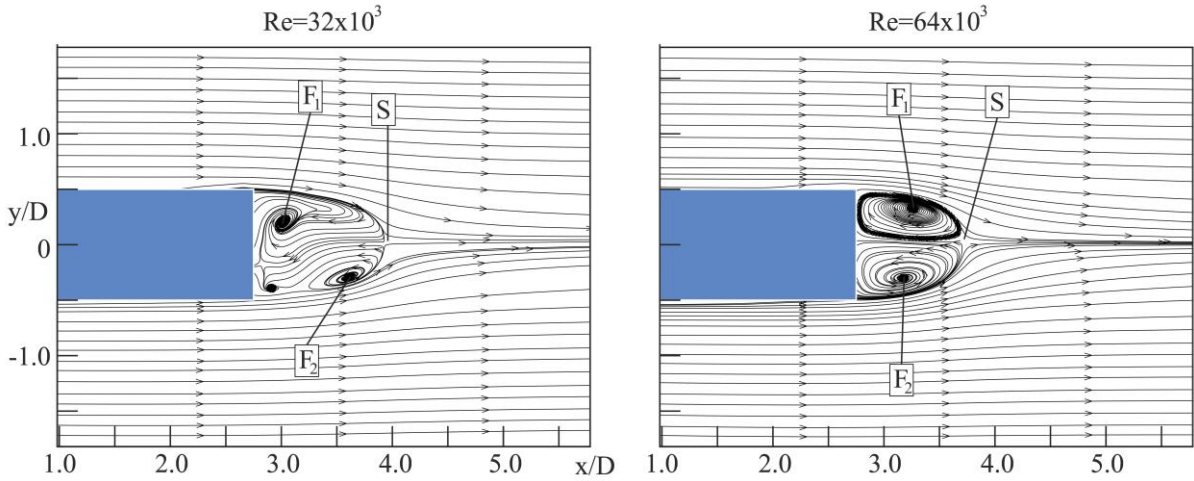
Şekil 5.b. Farklı zaman değerlerinde alınan boyutsuz anlık girdap eşdeğer eğrilerinin ($\omega L/U_\infty$) model çevresindeki değişimlerinin $Re = 32 \times 10^3$ değerleri için karşılaştırılması



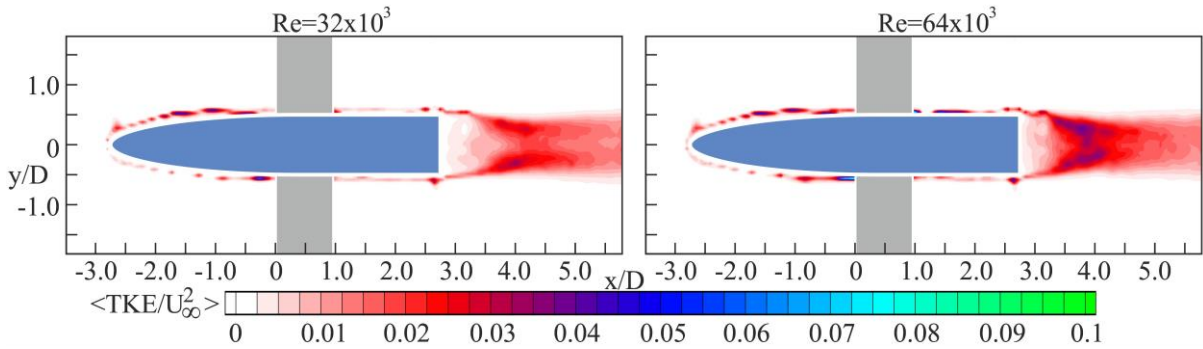
Şekil 6a. Zaman ortalama girdap eşdeğer eğrilerinin ($\omega L/U_\infty$) model çevresindeki değişimlerinin $Re = 32 \times 10^3$ ve $Re = 64 \times 10^3$ değerleri için karşılaştırılması



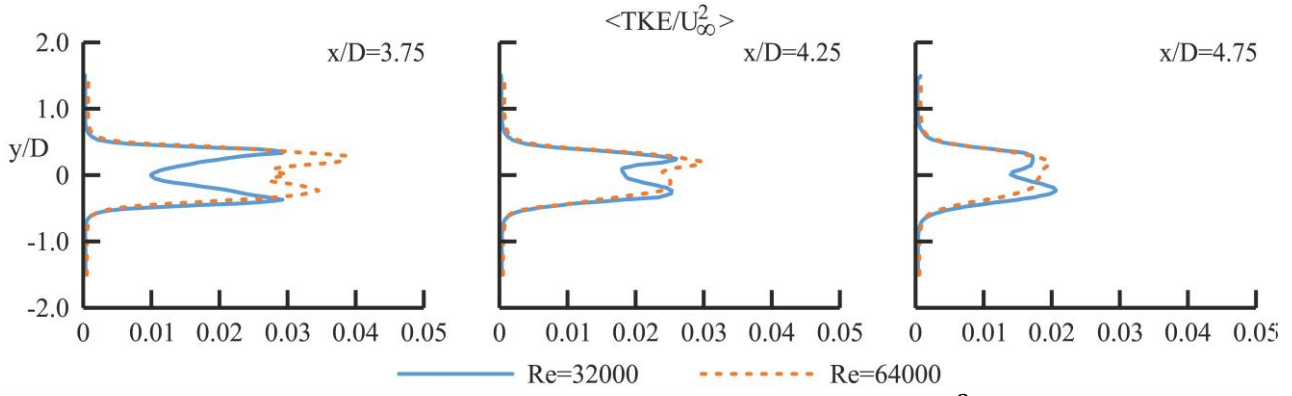
Şekil 6b. Zaman ortalama girdap eşdeğer eğrilerinin ($\omega L / U_\infty$) model çevresindeki değişimlerinin $Re = 32 \times 10^3$ ve $Re = 64 \times 10^3$ değerleri için karşılaştırılması



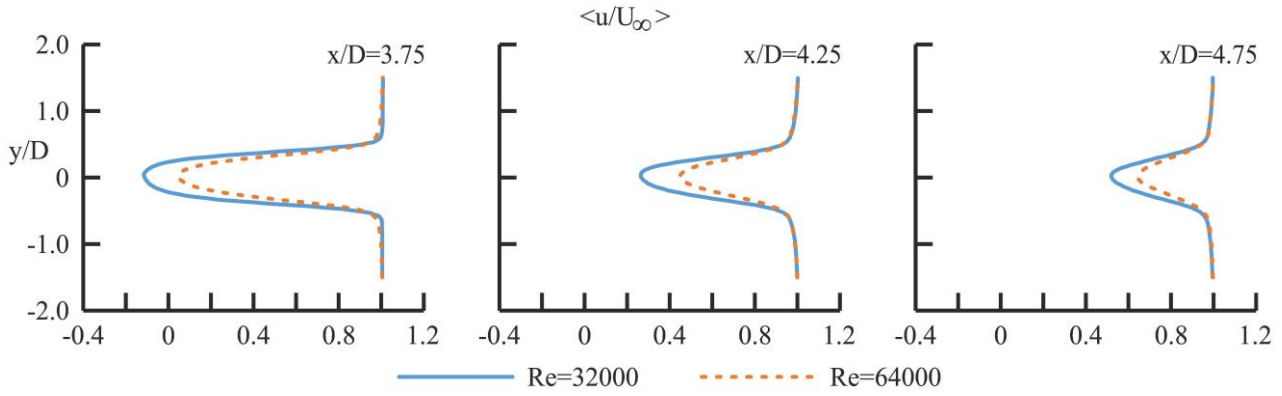
Şekil 6c. Zaman ortalama akım çizgilerinin ($\langle \Psi \rangle$) model çevresindeki değişimlerinin $Re = 32 \times 10^3$ ve $Re = 64 \times 10^3$ değerleri için karşılaştırılması



Şekil 7. Zaman ortalama türbülans kinetik enerji konturlarının ($\langle TKE / U_\infty^2 \rangle$) model çevresindeki değişimlerinin 32×10^3 ve $Re = 64 \times 10^3$ değerl için karşılaştırılması



Şekil 8. Zaman ortalama türbülans kinetik enerji konturlarının ($\langle TKE/U_\infty^2 \rangle$) model çevresindeki değişimlerinin $Re = 32 \times 10^3$ ve $Re = 64 \times 10^3$ değerleri için karşılaştırılması



Şekil 9. Ana akım yönündeki zaman ortalama boyutsuz hız bileşeni ($\langle u/U_\infty \rangle$) model çevresindeki değişimlerinin $Re = 32 \times 10^3$ ve $Re = 64 \times 10^3$ değerleri için art izi bölgesinde belirtilen x/D istasyonları ve y/D koordinatların boyunca karşılaştırılması

SONUÇ

Bu çalışmada, üniform ve serbest akış ortamına yerleştirilmiş, eliptik burunlu küt kanatsız kuyruklu bir otonom sualtı araç modeli etrafında oluşan akış yapısı, Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçme (PIV) yöntemi ile deneysel olarak incelenmiştir. Model, akış yönüne ve lazer hüzmesine paralel olarak yerleştirilerek Reynolds sayısının $Re = 32 \times 10^3$ ve $Re = 64 \times 10^3$ değerlerinde deneyler gerçekleştirilmiştir.

Akış görselleştirme çalışmaları sonuçları modelin burun kısmından başlayarak gelişen kayma tabakası küt kuyruk kısmının alt ve üst uçlarından art izi bölgesine doğru akış yönünde uzadığını göstermiştir. Geometrinin alt ve üst kayma tabakalarından uzanan bu girdaplı akışların etkileşimi ile periyodik girdap kopmaları, anlık girdap animasyonlarında gözlemlenmiştir. Ayrıca, art izi bölgesi ile karşılaştırıldığında, modelin burun bölgesindeki akış karakteristiklerinin, örneğin çevrinti değerlerinin düşük kalması bu bölgedeki model çevrinti etkileşiminin, kuruk bölgesine göre daha zayıf kaldığını göstermektedir.

Art izi bölgelerinde düşük hızlı ve ana akıma yönüne ters yönde anlık hız vektörlerinin (\mathbf{V}) oluştuğu görülmüştür. $Re = 32 \times 10^3$ değeri için, eşdeğer eğrilerinin oluşturduğu pozitif ve negatif girdap kümelerinin etkileşimleri veya çarpışmaları $x/D = 3.5$ ile $x/D = 5$ koordinatları arasında başladığı ve kuyruk kısmının hemen arkasında, yok denecek kadar az sayıda eşdeğer eğrilerden oluşan küçük girdapçık kümeleri olduğu gözlemlenmiştir.

Reynolds sayısının artması ile birlikte, büyük ölçekli girdap kümelerinin parçalanmalarının kuyruk bölgesine daha yakın noktada başladığı tespit edilmiştir. Reynolds sayısının artışı ile akış boyunca artan momentum ve kütle taşınımı sonucunda art izindeki girdap yapılarının azaldığı ve küçüldüğü de belirlenmiştir. Aynı zamanda Reynolds sayısının artması ile birlikte, kuyruk kısmının hemen arkasında daha şiddetli girdap–yapılanmalarının olduğu sonucuna varılmıştır. Burun kısmına bakıldığında ise, Reynolds sayısı artışı ile birlikte akış yapısında belirgin bir değişiklik görülmemiştir.

Ayrıca, y/D koordinatlar boyunca ve ve değişik x/D istasyonlarında zaman ortalama boyutsuz türbilans kinetik enerji (TKE), hız bileşenleri ($\langle u/U_\infty \rangle$) değişimleri ve sunulan diğer sonuçlar, modellerinin doğrulanması, otonom su ve hava araçların pasif veya aktif akış kontrol yöntemlerinin geliştirilmesi ve aerodinamik/hidrodinamik tasarım geliştirme çalışmalarında faydalı olma durumu söz konusudur.

Verilen deneysel sonuçların kritik noktalardaki ortalama akım çizgileri, girdap kopma frekansları dikey ve yatay çizgiler boyunca hız değerlerinin ve TKE verilerinin değişimleri Hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizlerini doğrulama ve tasarım amaçlı kullanılabilir.

Modelin burnunun veya arka kenarının şekli değiştirilerek daha az enerji kayıplarına neden olan modeller elde edilebilir. Mevcut modele kanard, kanat veya kuyruk eklemesi yapılarak akış karakteristiği üzerindeki etkileri, manevra esnasında ve yer etkisi altındaki durumlar, gelecekte incelenebilecek konular olabilir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, TÜBİTAK tarafından 214M318 nolu proje ve Necmettin Erbakan Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından 221316001 nolu proje ile desteklenmiştir. Yazarlar TÜBİTAK'a, NEÜ BAP Koordinatörlüğüne ve deneylerin yapılmasına imkan sağlayan Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi İleri Akışkanlar Mekaniği PIV (Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçme) Laboratuvarı yetkililerine destekleri için teşekkür eder.

Kaynaklar

Anonim, 2024, https://en.wikipedia.org/wiki/Nose_cone_design, ziyaret tarihi: 22.06.2024.

Akbudak, E., Yaniktepe, B., Şekeroğlu, E., Kenan, Ö., Ozgoren, M., Investigation of the Flow Structures for Two Tandem Arrangement of Torpedo-Like Geometries, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 1(5), 135-155, 2022a.

Akbudak, E., Şekeroğlu, E., Yaniktepe, B., Kenan, Ö., Özgören, M. Investigation of flow characteristics around a blunt nose and conical stern geometry with single and tandem arrangements, UNEC Journal of Engineering and Applied Sciences, 2(2), 49-55, 2022b.

Erdem M., Bir Otonom Su Altı Araç Modelinin Hidrodinamik Akış Karakteristiklerinin Deneysel Araştırılması, Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya, 132 sayfa, 2022.

Myring, D.F., A Theoretical Study of Body Drag in Subcritical Axisymmetric Flow, Aeronautical quaterly, 27(3), 186-194, 1976.

Kaynarcalıoğlu, M., Eliptik Burun Kesitli Silindir Çevresinde Oluşan Hidrodinamik ve Aerodinamik Akış Karakteristiklerinin Araştırılması, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya, 136 sayfa, 2016.

Kilavuz A., Ozgoren M., Kavurmacıoğlu LA., Durhasan T., Sarigiguzel F., Sahin B., Akilli H., Sekeroglu E., Yaniktepe B. Flow characteristics comparison of PIV and numerical prediction results for an unmanned underwater vehicle positioned close to the free surface. Applied Ocean Research 2022a; 129: 103399.

- Kilavuz A., Durhasan T., Ozgoren M., Sarigiguzel F., Sahin B., Kavurmacioğlu LA., Akilli H., Sekeroglu, E., Yaniktepe B. Influence of free-surface on wake flow characteristics of a torpedo like geometry. *Journal of Marine Science and Technology* 2022b; 27(3): 1130-1147.
- Kilavuz A., Sarigiguzel F., Ozgoren M., Durhasan T., Sahin B., Kavurmacioğlu LA., Akilli H., Sekeroglu E., Yaniktepe B. The impacts of the free-surface and angle of attack on the flow structures around a torpedo-like geometry. *European Journal of Mechanics-B/Fluids* 2022c; 92: 226-243.
- Kenan Ö, Yaniktepe B, Ozgoren M, Şekeroğlu E, Akbudak E, Durhasan T, Kılavuz A, Şahin B, Akilli H, Kavurmacioğlu L. POD Analysis of Flow around Torpedo-Like Geometry with a Hemispherical Nose. *Osmaniye Korkut Ata University Journal of Natural and Applied Sciences*. December 2023;6(Ek Sayı):555-566. doi:10.47495/okufbed.1371217
- Ozgoren, M., 2006. Flow structure in the downstream of square and circular cylinders. *Flow Meas. Instrum.* 17, 225–235. <https://doi.org/10.1016/J>.
- Ozturk, N.A., Akkoca, A., Sahin, B., 2008. PIV measurements of flow past a confined cylinder. *Exp. Fluids* 44 (6), 1001–1014.
- Sarigiguzel F., Kilavuz A., Ozgoren M., Durhasan T., Sahin B., Kavurmacioğlu LA., Akilli H., Sekeroglu E., Yaniktepe B. Experimental investigation of free-surface effects on flow characteristics of a torpedo-like geometry having a cambered nose. *Ocean Engineering* 2022; 253: 111174.
- Yaniktepe, B., and Rockwell. D. “Flow Structure on a Delta Wing of Low Sweep Angle.” *AIAA Journal*, (2004): 42(3), 513-523., Doi: 10.2514/1.1207.
- Yaniktepe. B., and Rockwell. D. “Flow structure on diamond and lambda planforms: Trailing-edge region.” *AIAA journal*, (2005): 43(7), 1490-1500.
- Yaniktepe, B. “Düşük Süpürme Açısına Sahip Delta Kanat Modeli Üzerinde Oluşan Aerodinamik Karakteristiklerin İncelenmesi.” *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part: C Tasarım ve Teknoloji*, (2016): 4(4), 247-258.