

DPIV VERİLERİNDEN KUVVET ELDE EDİLMESİNDE DENEY PARAMETRELERİ İÇİN HASSASİYET ANALİZİ

Emre TURAM¹, Onur SON² ve Okşan ÇETİNER³
İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul

ÖZET

Bu çalışmada, Particle Image Velocimetry (DPIV – Parçacık Görüntüleyerek Hız Belirleme) sisteminden elde edilen verilerden basınç ve kuvvet tahmini için gerekli olan konum ve zaman parametrelerinin hassasiyet analizleri yapılmıştır. Bu amaçla NACA 0012 profiline sahip kanat modeline su kanalı içerisinde düşey salınım (plunge) hareketi yaptırılıp akım yapıları incelenmiştir. Hareketle eş zamanlı olarak üç eksenli kuvvet ve moment değerleri de bir kuvvet-moment duyargası ile alınmıştır. Anlık girdaplılık dağılımlarının daha yüksek çözünürlük ile görüntülenebilmesi için sadece kanat etrafına odaklanılmış, zaman çözünürlüğü için ise hareketin belirli bir anında veri alma frekansları ve tetikleme sinyali ile oynanarak hareket detaylı olarak yakalanmıştır. Yapılan çalışmanın ileride özellikle çırpan kanat uygulamalarında yapılacak olan DPIV verilerinden kuvvet hesabı çalışmalarına temel olması düşünülmektedir.

GİRİŞ

Mikro Hava Araçları (MAV) ve pratikteki uygulamaları ile ilgili yapılan araştırmalar düşük Reynolds sayılı akışların incelenmesi konusunda ilgi uyandırmaktadır. Kuşlar ve böcekler gibi uçabilen canlıların hareketlerini sürdürebilmek için yaratabildikleri itki kuvveti bu tür hareket mekanizmalarının havacılıkta kullanılabilecek tahrik sistemlerinin uygulama olanakları açısından gittikçe artan şekilde ilgi çekmektedir. Doğal uçabilme yeteneğine sahip canlıların, daimi olmayan aerodinamik akışları kullanım ve kontrol yöntemlerinin anlaşılması, benzer şekilde çırpan kanat sistemlerinden yararlanan mühendislik uygulamalarının tasarımını ve geliştirilmesini sağlayacaktır. Hücum ve firar kenarlarından girdap kopmasına sebebiyet veren akım şartlarının daha iyi anlaşılması, manevra kabiliyeti iyileştirilmiş, daha hafif MAVların geliştirilmesine yardımcı olacaktır.

Günümüzde, hava ve su aracı tasarımlarında çırpan kanat sistemlerinin kullanıldığı birçok proje yürütülmektedir (Delfly-Delft Üniversitesi/Hollanda, SmartBird-Festo/Almanya, Nano Hummingbird-AeroVironment/A.B.D, vb.). Salınım yapan kanat tasarımları mekanik güç üretimine yönelik uygulamalar açısından da ilgi çekmektedir (Stingray-Engineering Business Ltd./İskoçya, bioSTREAM-BioPower Systems Ltd./Avustralya, HFG3-ANIPROP GbR/Almanya, vb.). Teknolojik ve bilimsel birikimler neticesinde çırpan kanatlı hava araçlarının hem boyutları küçülmekte hem de verimlilikleri artmaktadır. Kanat etrafı ve iz bölgesi akış yapılarının incelenmesi, uçuş fiziği mekanizmalarını daha iyi anlamamıza ve daha etkin tasarımlar ortaya koymamıza yardımcı olmaktadır. Detaylı araştırmalar için farklı uçuş fazlarından hareketle araştırmacılar tarafından

¹ Lisans öğrencisi, Uçak Müh. Böl., E-posta: emreturam@yahoo.com

² Araştırma görevlisi, Uzay Müh., E-posta: sono@itu.edu.tr

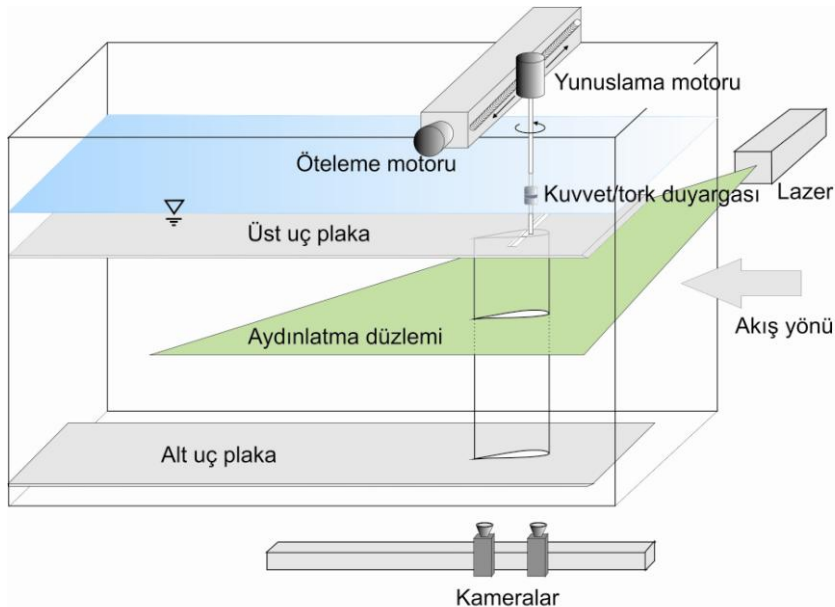
³ Prof. Dr., Uzay Müh. Böl., E-posta: cetiner@itu.edu.tr

çeşitli hareket durumları incelenmiştir. Temel hareketler olarak yunuslama (pitch), düşey hareket (plunge) ve bunların kombinasyonu (pitch & plunge) hareketleri sayılabilir [Jones ve diğerleri, 1996; Fenercioglu ve Cetiner, 2012]. Günümüzde yapılan çalışmalarda akım ve girdap yapılarının niteliksel incelemelerinin yanında, kuvvet-moment duyargası kullanılarak kanat modeline etkiyen kuvvetleri de belirlemek mümkün hale gelmiştir. Son yapılan çalışmalarda ise PIV verilerinden basınç ve kuvvet tahmini üzerinde durulmaktadır [Oudheusden, 2013]. Hız verilerinden basınç değerlerini elde etmek için momentum denkleminde faydalanılmakta, bu yüzden hata miktarını azaltmak için iyi bir zaman ve mekan çözünürlüğü olması gerekmektedir. Bu çalışma sonucu elde edilen değişik zaman ve mekan çözünürlüğüne sahip veriler işlenirken [Violato ve diğerleri, 2011]'de kullanılan yaklaşım esas alınacaktır. Kullanılan geleneksel PIV sistem düzenekleri fotoğraf alma açısından sınırlı bir hıza sahip olduklarından farklı metodlarla bu çözünürlüğü arttırmak hedeflenmektedir. Öte yandan kuvvet belirlenmeye çalışılan söz konusu incelemede kanat hareket halinde olduğu için mekan çözünürlüğünü de arttırmak için değişik yaklaşımlar kullanılmıştır. Bu bildiride hassasiyet belirlemeye yönelik yapılan PIV deneyleri ve incelemeleri üzerinde durulacaktır, kuvvet tahminleri ve kuvvet ölçüm sonuçları karşılaştırılması ileride, halen sürmekte olan 22/08/2013 tarih, 605151 sayı ve NIOPLEX (Non-intrusive Optical Pressure and Loads Extraction for Aerodynamic Analysis) adlı Avrupa Birliği FP7 projesi kapsamında gerçekleştirilecektir.

Bu çalışmada serbest akım hızına maruz ve düşey salınım (plunge) hareketi yapan bir NACA 0012 kanadı için zaman ve mekan olarak çözünürlük arttırılmaya çalışılmış ve alınan PIV verileri kuvvet verileri ile birlikte sunulmuştur.

DENEYSEL YÖNTEM

Deneyel çalışma, İTÜ Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Trisonik Araştırma Laboratuvarı'nda bulunan büyük ölçekli, serbest yüzeye sahip su kanalında gerçekleştirilmiştir. Kanalın deney bölümü genişliği 1010mm, yüksekliği 790mm'dir. Serbest akım hızı 5 mm/s – 14 mm/s aralığında düşük türbülans seviyesi ile düzgün bir şekilde sağlanabilmektedir. Deney düzeneği Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1: Deney düzeneği

Model olarak NACA 0012 profiline sahip, 10 cm veter ve 20 cm açıklığa sahip pleksiglass malzemeden imal edilen kanat modeli kullanılmıştır. Model dikey olarak çeyrek veter noktasından

bağlıdır. Modelin düşey salınım hareketi servo motor sistemi kullanılarak gerçekleştirilmiş, Kollmorgen AKM54K servo motor ve Danaher Motion S700 servo sürücü kullanılmıştır.

Deney bölgesini, su kanalının üst yüzeyinde oluşan serbest yüzey etkilerinden arındırmak için sonlandırma plakası kullanılmıştır. Plaka 150x100 cm ölçülerinde 1cm kalınlığında pleksiglassdan üretilmiştir ve hücum kenarının üst yüzeyi 30° açı ile keskinleştirilmiştir. Plaka DPIV (Digital Particle Image Velocimetry – Parçacık Görüntüleyerek Hız Belirleme) görüntüleri alırken lazerin parlama yapmasını engellemek amaçlı olarak mat siyaha boyanmıştır. Plakanın kendi ağırlığı ve akışın etkisiyle deforme olmaması için üst tarafı alüminyum profiller ile desteklenmiştir. Hareket çubuğunun geçmesi için plaka üzerine serbest akışa dik yönde 2 cm genişliğinde bir yarık açılmıştır. Sonlandırma plakasının alt yüzeyi ile modelin ucu arasında minimum mesafe bırakılmıştır. Kuvvet tahminine yönelik bu çalışmada üç boyutluluk etkileri göz önüne alınamayacağından, kanadın öteki ucu için benzer ama siyaha boyanmamış ikinci bir sonlandırma plakası daha kullanılmıştır.

Kanadın sinusoidal hareketi aşağıdaki denklemle temsil edilmektedir:

$$h(t) = h_0 + A \cos(2\pi ft + \phi)$$

Denklemde h_0 kanadın ilk konumu, A hareket genişliği, f plunge frekansı olarak verilmiştir. Kanat hareketini hücum açısı $\alpha=0^\circ$ olacak şekilde gerçekleştirmektedir. Gerçekleştirilen hassasiyet analizi deneylerinde

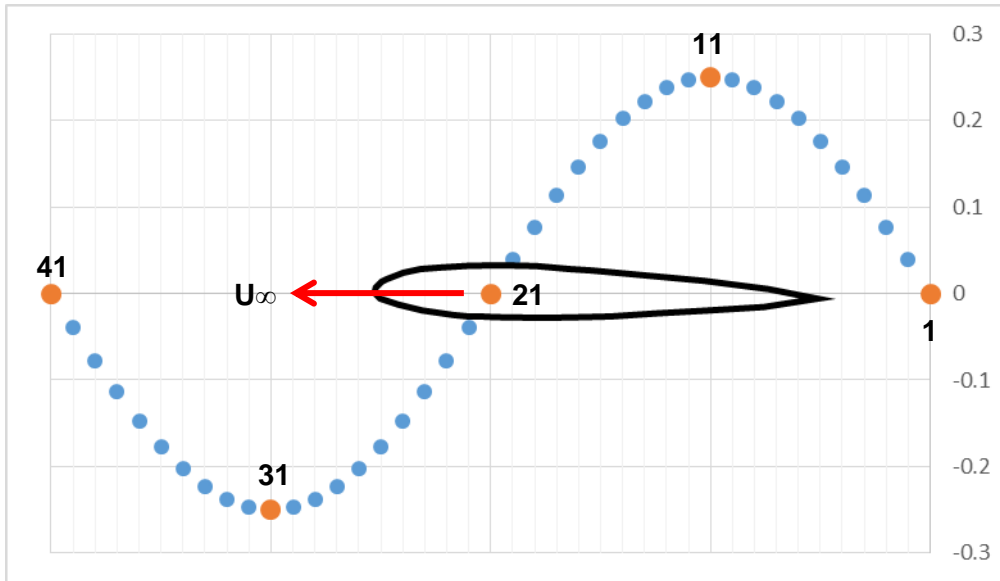
$$h_0 = 0$$

$$A = 0.25 \text{ c}$$

$$f = 0.2 \text{ Hz}$$

$$\phi = -\pi/2$$

değerleri kullanılmıştır. Serbest akım hızı ise $Re=10\,000$ ve $Re=5\,000$ olacak şekilde iki farklı değerde seçilmiştir. Kanadın hareketi bu durumda ve 8Hz veri alma frekansında Şekil 2'de görüldüğü gibi temsil edilebilir. Burada kanat yarı ölçekte temsil edilmiştir ve mavi noktalar 8Hz'de görüntü alınan noktaları göstermektedir.



Şekil 2: Kanadın hareketi ve 8Hz'de elde edilen görüntülerin sıralanışı

Akışın fiziğine etki eden başlıca boyutsuz parametrelerden Strouhal sayısı (St) ve indirgenmiş frekans (k) ise şu şekilde tanımlanmaktadır:

$$St = \frac{2 A f}{U_{\infty}}$$

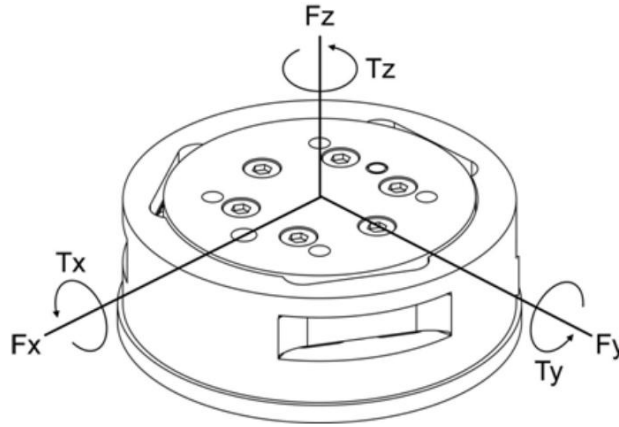
$$k = \frac{2 \pi f c}{U_{\infty}}$$

Burada c veter uzunluğunu, U_{∞} serbet akım hızını tanımlamaktadır. Buna göre, yapılan çalışmada çırpan kanat açısından boyutsuz büyüklükler şu şekildedir:

$$k = 1.257, St = 0.1 (Re = 10\ 000)$$

$$k = 2.513, St = 0.2 (Re = 5\ 000)$$

Kanat üzerinde oluşan kuvvetin ve momentin ölçümü için ATI-IA'nın 6 eksenli eşzamanlı ölçen kuvvet-moment duyargası kullanılmıştır. Duyarga su altında çalışmaya uygun olan Nano25 IP68 modelidir ve kanat ile kanadın dönmesini sağlayan hareket aktarım çubuğunun arasına monte edilmiştir. Bunun için gerekli adaptör parçaları paslanmayı engellemek için pirinç malzemeden CNC kullanılarak imal edilmiştir. Duyarga olabildiğince kanat köküne yakın bağlanmıştır. Duyarganın xy -düzlemi, kanadın taşıma ve sürükleme kuvvetlerinin oluşturduğu, kök keside paralel düzleme konumlandırılmıştır. Aynı şekilde yunuslama momenti de duyarganın z -ekseniyle çakışmaktadır. Duyarga eksenleri Şekil 3'de görülmektedir.



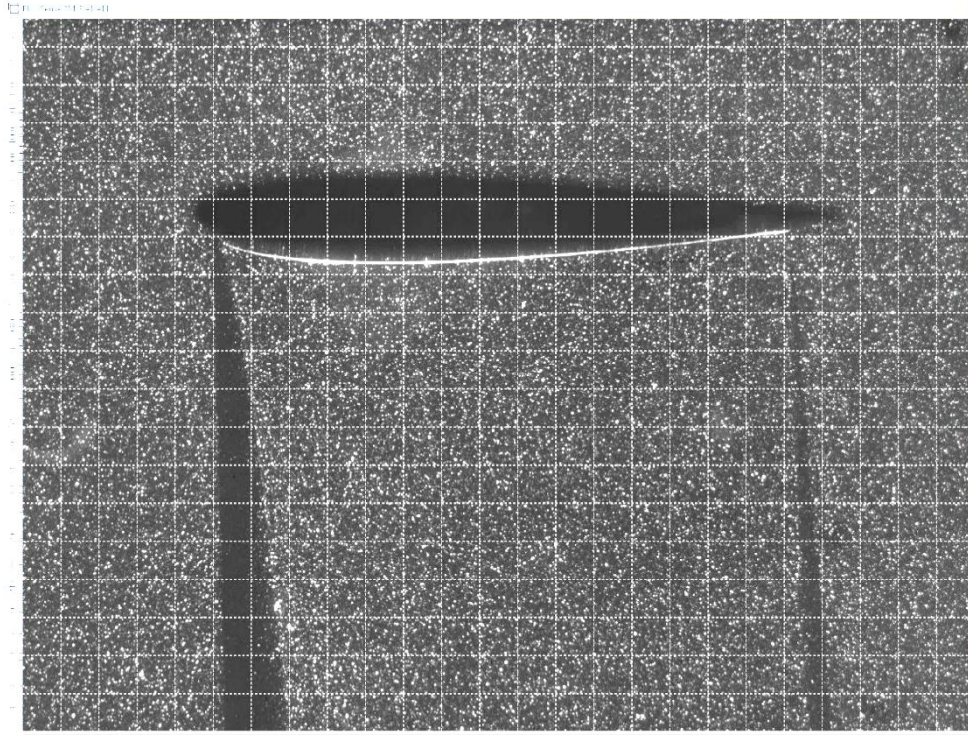
Şekil 3: Duyarga eksenleri

[Ref. http://www.ati-ia.com/app_content/documents/9620-05-DAQ.pdf]

Dinamik ölçümler için hareketin ölçümlerle senkronize edilmesi gerekmektedir. Bunun için LABVIEW'de yazılmış motor kontrol ve duyarga ölçüm kodları (VI-Virtual Instrument) kullanılmıştır. Bir VI motorun hareketini sağlamakta ve tetikleme sinyali üretmektedir. Diğer VI ise tetikleme sinyaliyle beraber istenilen hızda kuvvet verisi toplamaya başlamaktadır. PIV için tetikleme sinyali aksi belirtilmedikçe üçüncü periyot başlangıcında verilmektedir. Kuvvet/moment verileri bu çalışmada 1000Hz'de kanat hareketinin 20 periyodu boyunca alınmıştır.

Model etrafı akış DPIV sistemi kullanılarak incelenmiştir. Akış çift kavite Nd-Yag lazer (max. 120 mJ/vuruş) kullanılarak aydınlatılmış; tohumlama için ortalama çapları 10µm olan gümüş kaplı cam kürecikler kullanılmıştır. Deneyler, kuvvet tahmininin zaman ve mekan çözünürlüğü açısından hassasiyet analizini gerçekleştirebilmek için iki aşamada yapılmıştır:

- 1) Kanadın tüm hareketi iz bölgesi göz önüne alınmaksızın, 10-bit ve 1600×1200 piksel çözünürlüğe sahip, kanalın altına yerleştirilmiş, tek bir CCD kamera ile görselebilmektedir. Elde edilen görüntülerden çapraz korelasyon kullanılarak hız alanları elde edilmiştir. Çapraz korelasyonda sorgulama pencereleri 64 × 64 alınmış ve %50 üst üste bindirme kullanılmıştır. Kanat hareketinin en üst noktasındayken (Şekil 2'de 11 nolu konum) alınan ham PIV görüntüsü Şekil 4'de görülmektedir.



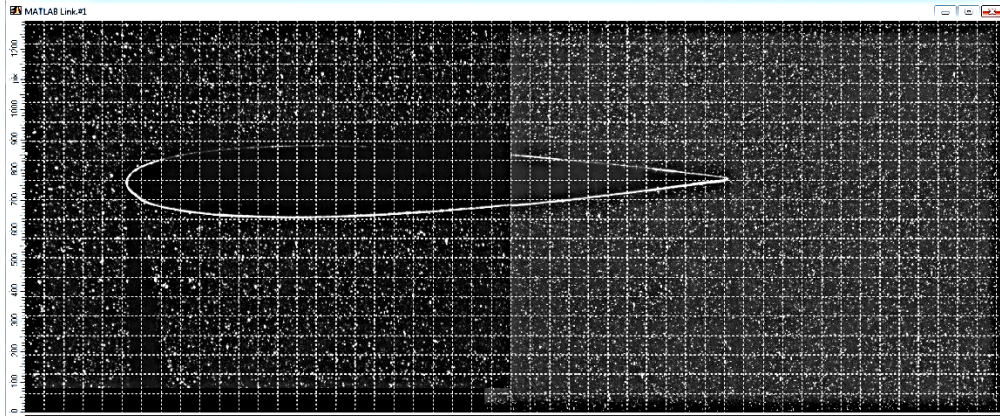
Şekil 4: Kanat hareketinin en üst noktasında 60mm lens ile görüntü alanı

Bu deneylerde 60mm lens kullanılmıştır ve görüntü alanı kanadın tüm hareketini, en uç noktalarda kanat sonrasında en az 3-5 ağ hücresi olacak şekilde içermektedir. Sonuç olarak elde alınan akış düzlemindeki vektör alanının çözünürlüğü 3.4 mm × 3.4 mm şeklindedir. Veriler bu mekan çözünürlüğünde iki ayrı veri toplama frekansı kullanılarak elde edilmiştir. Alışageldik şekilde, hareket periyodunu 4'ün katı değerlerdeki görüntülerle temsil etmek üzere 8Hz ($\Delta t=0.125s$) ve kameralara bağlı limit değer olan 15Hz ($\Delta t=0.067s$) kullanılmıştır. Bir miktar verilerdeki gürültünün belirlenmesine ve/veya etkisinin görülmesine yönelik 8Hz ile alınan veriler 5 periyot boyunca (toplam 200 veri), 15Hz ile alınan veriler 3 periyot boyunca (toplam 225 veri) kaydedilmiştir.

- 2) Geniş bir görüntüleme alanı oluşturmak için adet 10-bit ve 1600×1200 piksel çözünürlüğe sahip CCD kamera kanalın altına yerleştirilmiştir. Kameraların görüntü alanları deneylere başlamadan önce bir kalibrasyon levhası yardımı ile ortak iki noktaya sahip ve bir düzlemde üst üste gelecek şekilde konumlandırılmış ve iki kameradan alınan görüntü çiftleri sorgulama öncesinde laboratuvar yazılımı kullanılarak birleştirilmiştir. Elde edilen görüntülerden çapraz korelasyon kullanılarak hız alanları elde edilmiştir. Çapraz korelasyonda sorgulama pencereleri 64 × 64 alınmış ve %50 üst üste bindirme kullanılmıştır. Kanat hareketinin en üst noktasındayken (Şekil 2'de 11 nolu konum) alınan birleştirilmiş ham PIV görüntüsü Şekil 5'de görülmektedir.

Bu deneylerde 105mm lens kullanılmıştır ve görüntü alanı sadece kanadın hareketinin Şekil 2'de görülen üst yarısını içermektedir. Sonuç olarak elde alınan akış düzlemindeki vektör alanının çözünürlüğü 1.6 mm × 1.6 mm şeklindedir. Bu konumda sadece mekan çözünürlüğünün etkisini görebilmek için öncelikle 8Hz ile alınan veriler 5 periyot boyunca (toplam 200 veri) kaydedilmiştir. Sonrasında görüntüler 4Hz ile 20 deney süresince PIV senkronizasyon anı üçüncü periyot başlangıcı yerine $t = 2T + n \times 0.0125s$ ($n=1,2, \dots, 20$)

alınarak kaydedilmiştir. Böylece veriler $\Delta t=0.0125s$ 'lik bir zaman çözünürlüğünde elde edilmiştir. Bu deneyler 4Hz ile toplam 200 veri alınarak gerçekleştirildiği için, verilerdeki gürültünün belirlenmesine ve/veya etkisinin görülmesine yönelik olarak her bir anlık görüntüden 50 adet mevcuttur.



Şekil 5: Kanat hareketinin en üst noktasında 105mm lens ile görüntü alanı

UYGULAMALAR

Daha önce Fluent kullanılarak akış yapıları ve kanada etkiyen kuvvetlerin belirlendiği çalışmada [Percin 2009] ele alınan hareket parametrelerinde, $h = 0.25c$ ve $k = 1.257$ veya $k = 2.563$ için itki elde edildiği görülmüştür. Aynı çalışmada [Percin 2009] hesaplamalı sonuçların validasyonu için bu çalışma ile aynı deney düzeneğinde PIV ölçümleri de alınmıştır. Hareket parametreleri $h = 0.25c$ ve $k = 2.563$ şeklinde olduğu durum için akış yapılarının detayda dahi oldukça uyumlu elde edildiği görülmüştür. Kanat-kuyruk etkileşiminin incelendiği ve deneysel sonuçların sayısal sonuçlarla karşılaştırıldığı bir başka çalışmada [Tay ve diğerleri, 2013] ise akış yapıları açısından, büyük ölçekte, hesaplamalı ve deneysel sonuçlar uyum gösterse de, deneysel sonuçların özellikle mekan çözünürlüğünün düşüklüğü nedeni ile detayları ortaya koyamadığı görülmüştür. Hatta sayısal çalışma sonuçları mekan çözünürlüğünün etkisini göstermek amacı ile orijinal, 1/6 ve 1/11 oranlarında indirgeme yapılarak sunulmuştur. Öte yandan bu çalışmanın [Tay ve diğerleri, 2013] deneysel kısmında kanat ve kuyruğun iz bölgeleri ile birlikte görsellenmeye çalışıldığı göz önüne alınmalıdır. Dolayısı ile mekan çözünürlüğü açısından, kuvvet tahmini için bu bildiriye sunulan deneylerde sadece kanat göz önüne alınmıştır ve kuyruk kullanılmamıştır.

Şekil 6'da ölçülen taşıma kuvveti değişimi 5 periyot için gösterilmiştir. Kuvvet ölçümleri $Re=5\ 000$ ve $Re=10\ 000$ dışında serbest akım hızı olmadığı durumda da alınmıştır. Taşıma kuvvet katsayısı elde edilirken serbest akım hızı olmadığı durumda karşılaştırma amaçlı olarak boyutsuzlaştırma için hem $Re=5\ 000$ 'deki serbest akım hızı hem $Re=10\ 000$ 'deki serbest akım hızı kullanılmıştır. Serbest akım hızı varolup arttıkça taşıma kuvvetinin kanadın hareketine göre artan bir faz farkı ile değişim gösterdiği görülmektedir. Ayrıca, $Re=5\ 000$ için daha belirgin olmakla beraber, serbest akım hızı olmadığı daha yüksek kuvvet elde edilmektedir. Şekil 7'de ise ölçülen kuvvetler ile birlikte zahiri kütle dolayısı ile elde edilen düşey yöndeki kuvvet ve bunun ölçülen kuvvetten çıkarılması ile elde edilen taşıma katsayısı değişimi de çizdirilmiştir. Zahiri kütle dolayısı ile elde edilen kuvvet hesaplanırken kanat yerine düz levha yaklaşımı yapılmış ve

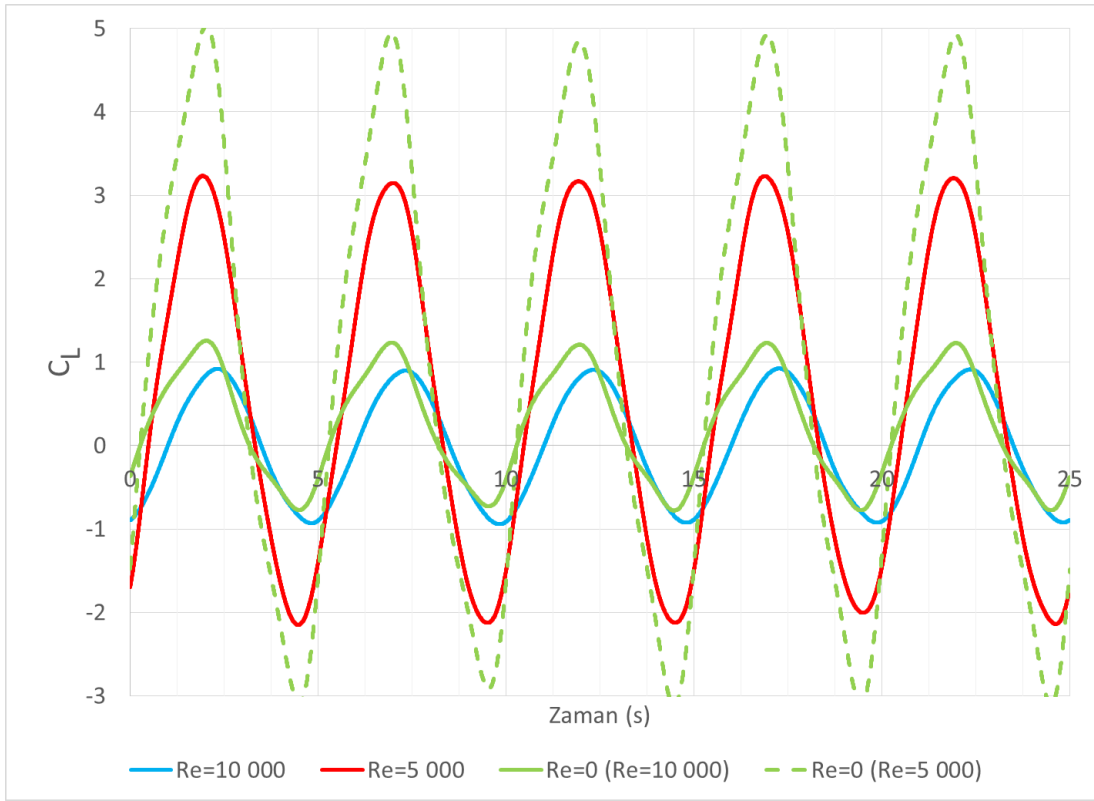
$$F_y = -A'_{yy} y$$

olmak üzere

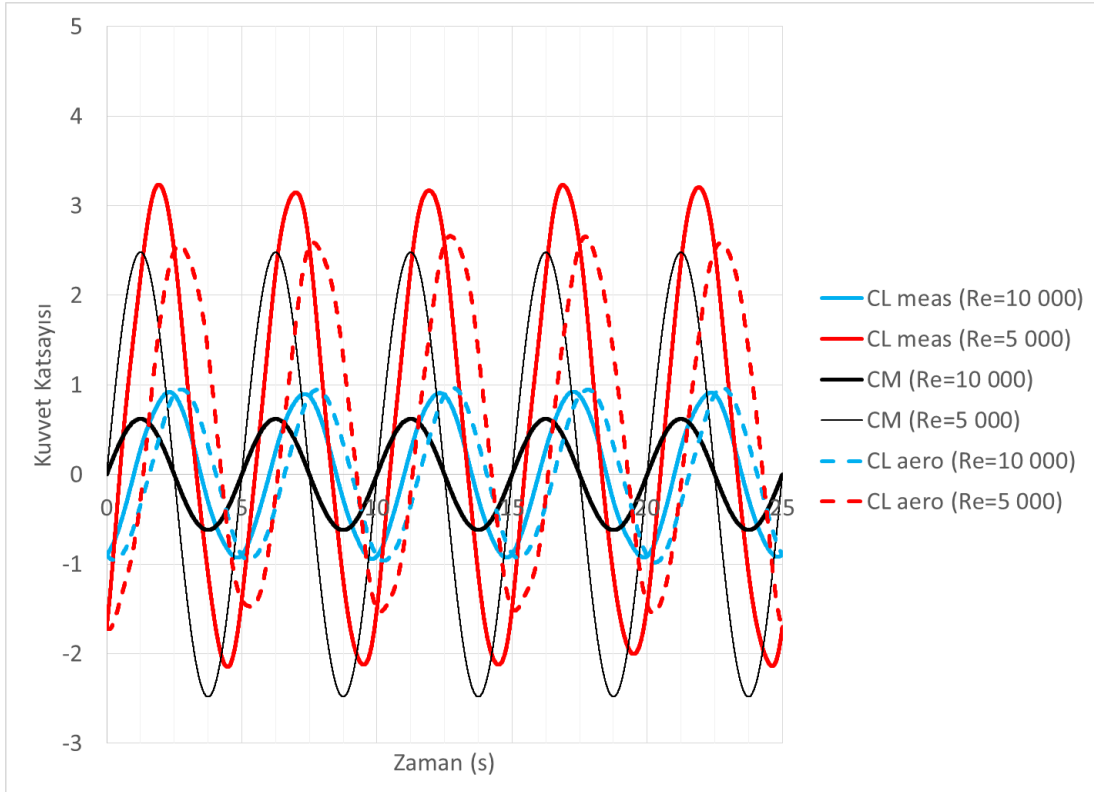
$$A'_{yy} = \rho \pi \frac{c^2}{2} L$$

eşitlikleri kullanılmıştır. Burada y ' kanadın düşey yöndeki ivmesini, ρ suyun yoğunluğunu ve L kanadın açıklığını göstermektedir. Şekilde, zahiri kütle değişiminin doğal olarak kanat hareketi ile aynı fazda değişimi gözlemlenirken, serbest akım hızının artması ile taşıma kuvveti değişiminde

artan bir faz farkı oluşmaktadır. Ölçülen kuvvetten zahiri kütle etkisi ile elde edilen kuvvet çıkarıldığında, taşıma kuvveti maksimumlarına kanat hareketinin orta noktasında aşağı veya yukarı giderken ulaşmaktadır. Bu durumda kuvvet değişimleri arasında serbest akım hızına bağlı bir faz farkı görülmemektedir.



Şekil 6: Kanat hareketinin 5 periyodu boyunca taşıma katsayısının değişimi



Şekil 7: Kanat hareketinin 5 periyodu boyunca düşey yöndeki kuvvet katsayılarının değişimi

(3.2 mm × 3.2 mm) vektör çözünürlüğü ve $\Delta t=0.125s$ zaman çözünürlüğü ile alınan görüntüler Şekil 8 ($Re=10\ 000$ için) ve Şekil 9 ($Re=5\ 000$ için)'da sunulmuştur. Bu şekillerde 5 periyot boyunca kanat, hareketinin 4 kritik noktasında (orta konumda yukarı doğru giderken, en üst noktasında, orta konumda aşağı doğru giderken ve en aşağı noktasında) gösterilmiştir. Her iki serbest akım hızında da alınan görüntüler hareket sonucunda oluşan vorteks yapılarının son derece periyodik olduğunu, farklılıkların bu ölçekte detayda kaldığını göstermektedir. Faz farkı iki şekil arasındaki vorteks oluşumlarından hissedilse de genel olarak, kanadın yukarı doğru hareketi sırasında hücum kenarın vorteksinin alt yüzeyde oluşup ve geliştiği, aşağı doğru hareketi sırasında ise bu sefer hücum kenarı vorteksinin üst yüzeyde oluşup geliştiği görülmektedir. Hücum kenarı vorteksi serbest akım hızının etkisi ile daha fazla oranda süpürüldüğünde ($Re=10\ 000$ için) yaygın olarak gözükmemekte, düşük akım hızında ($Re=5\ 000$ için) yapılan deneylerde ise daha belirgin ve lokal bir döngü olarak gözlemlenmektedir.

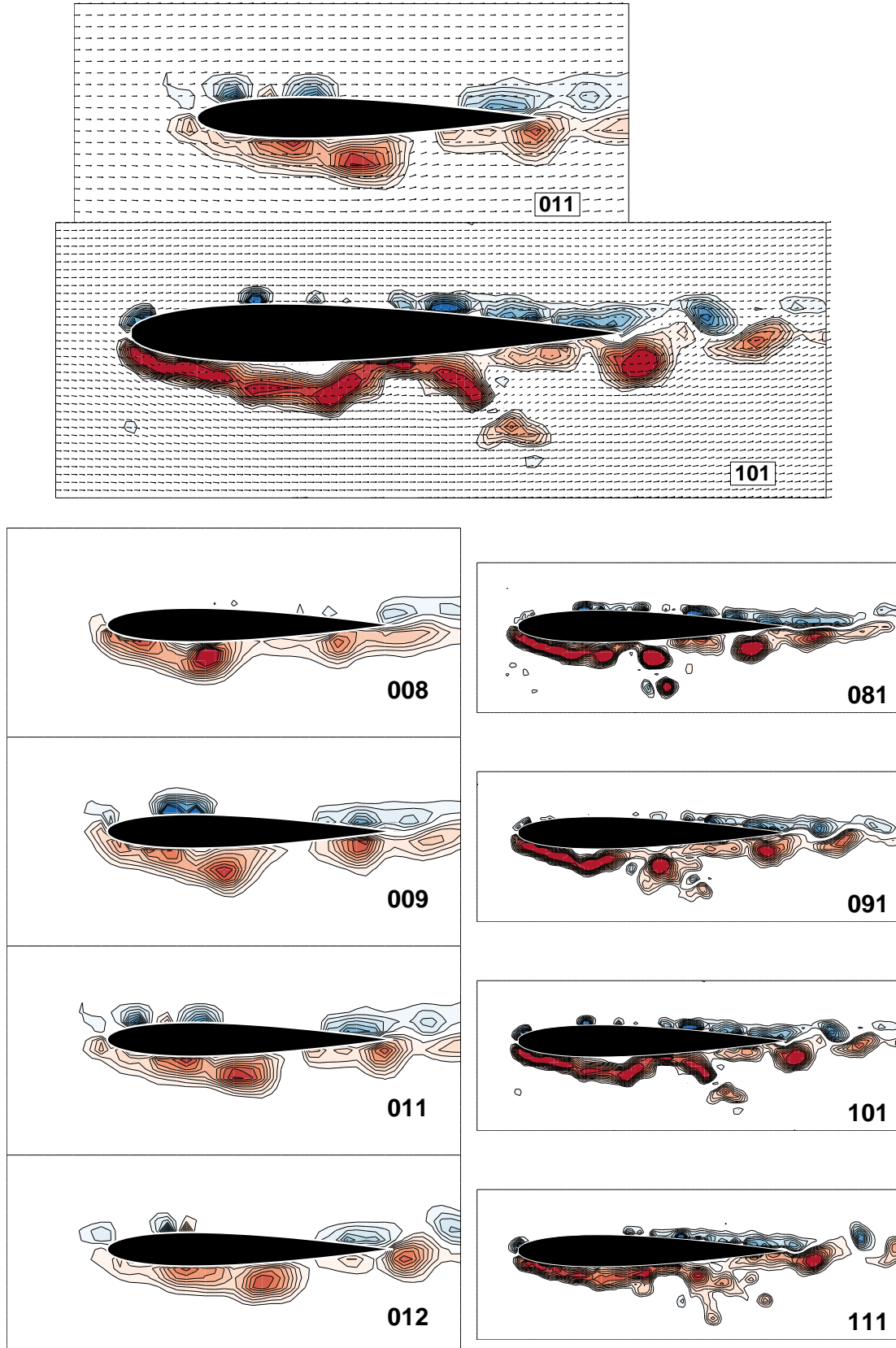


Şekil 8: Kanat hareketinin bir periyodunu gösteren 4 görüntünün 5 periyot boyunca değişimi ($Re=10\ 000$ için)

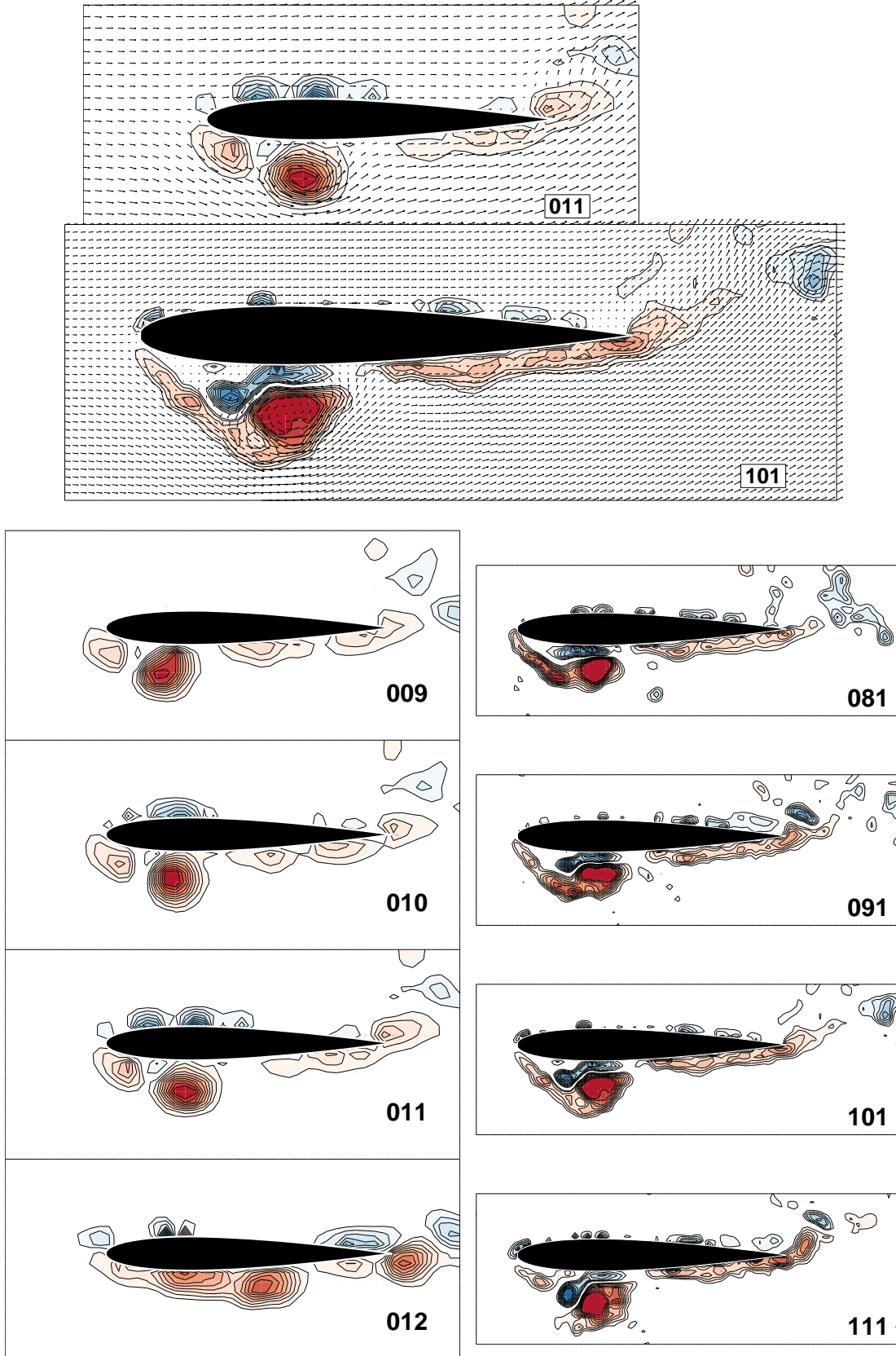


Şekil 9: Kanat hareketinin bir periyodunu gösteren 4 görüntünün 5 periyot boyunca değişimi (Re=5 000 için)

Elde edilen PIV görüntülerinde mekan çözünürlüğünün artırılmasının etkisi Şekil 10 (Re=10 000) ve Şekil 11 (Re=5 000)'de görülmektedir. Şekillerde öncelikle kanat, hareketinin en üst noktasında iken görülmektedir ve her iki mekan çözünürlüğü için elde edilen vektör alanları ile vorteks yapıları üst üste çizdirilmiştir. Daha sonra yine her iki mekan çözünürlüğünde eş zamanlarda kanat hareketinin en üst noktası civarında çıkışın sonunda ve inişin başında görsellenmiştir. Vorteks yapıları genelde aynı gözükse de detayda büyük farklılıklar içermektedir. Örneğin, Re=10 000 durumunda, alt yüzeyde oluşan ve yaygın şekildeki hücum kenarı vorteksinin aslında kanadın ortası civarında püskürdüğü ve Re=5 000 durumunda ise, yine alt yüzeyde oluşan hücum kenarı vorteksinin aslında yüzeyden tam olarak ayrıldığı ve öncesinde yüzey ile arasında ters yönlü bir vorteks yapısının oluştuğu ancak yüksek çözünürlükte belli olmaktadır.

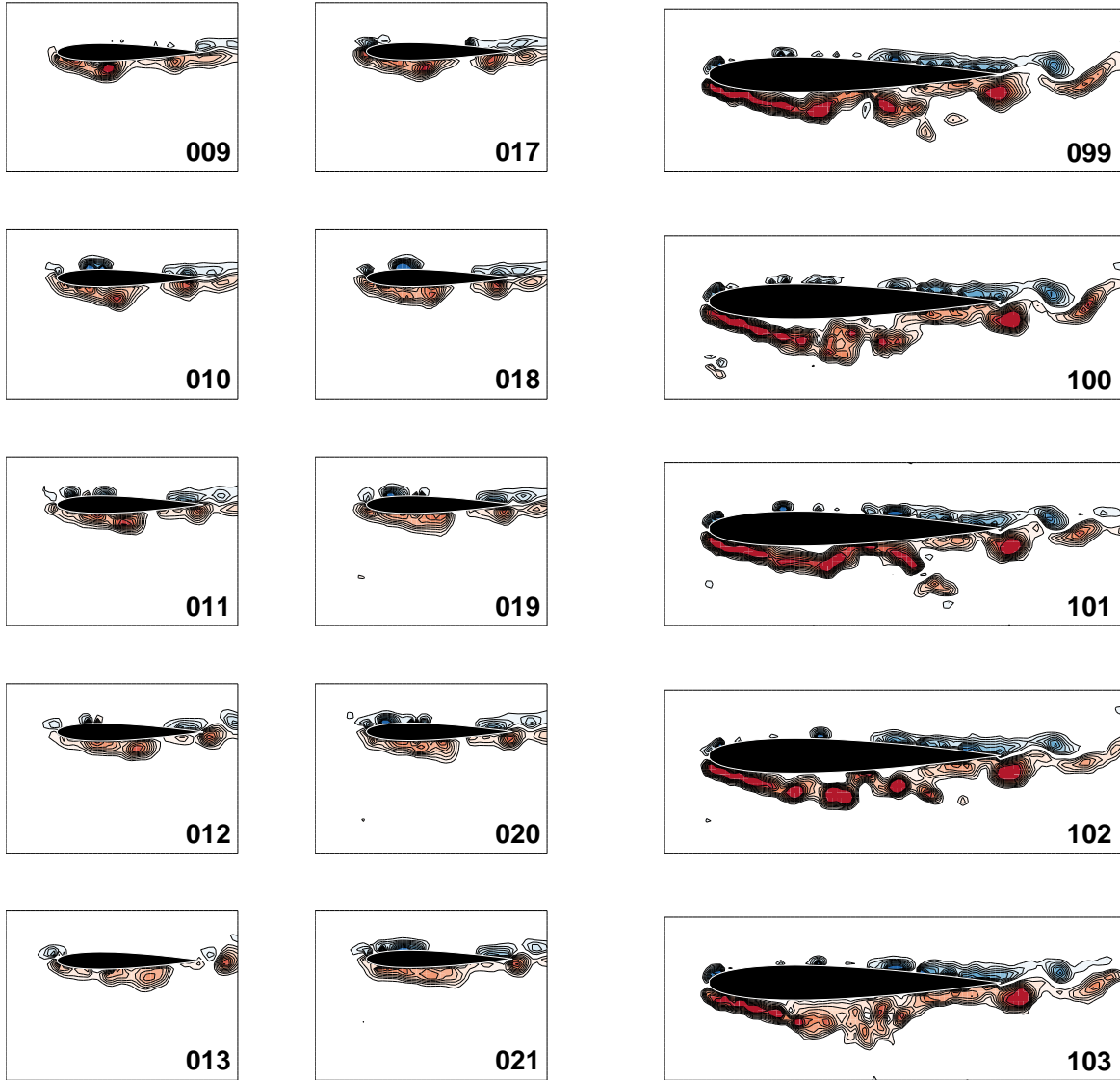


Şekil 10: Kanat hareketinin en üst noktası ve civarında değişik mekan çözünürlüğünde alınan görüntüler ($Re=10\ 000$ için)

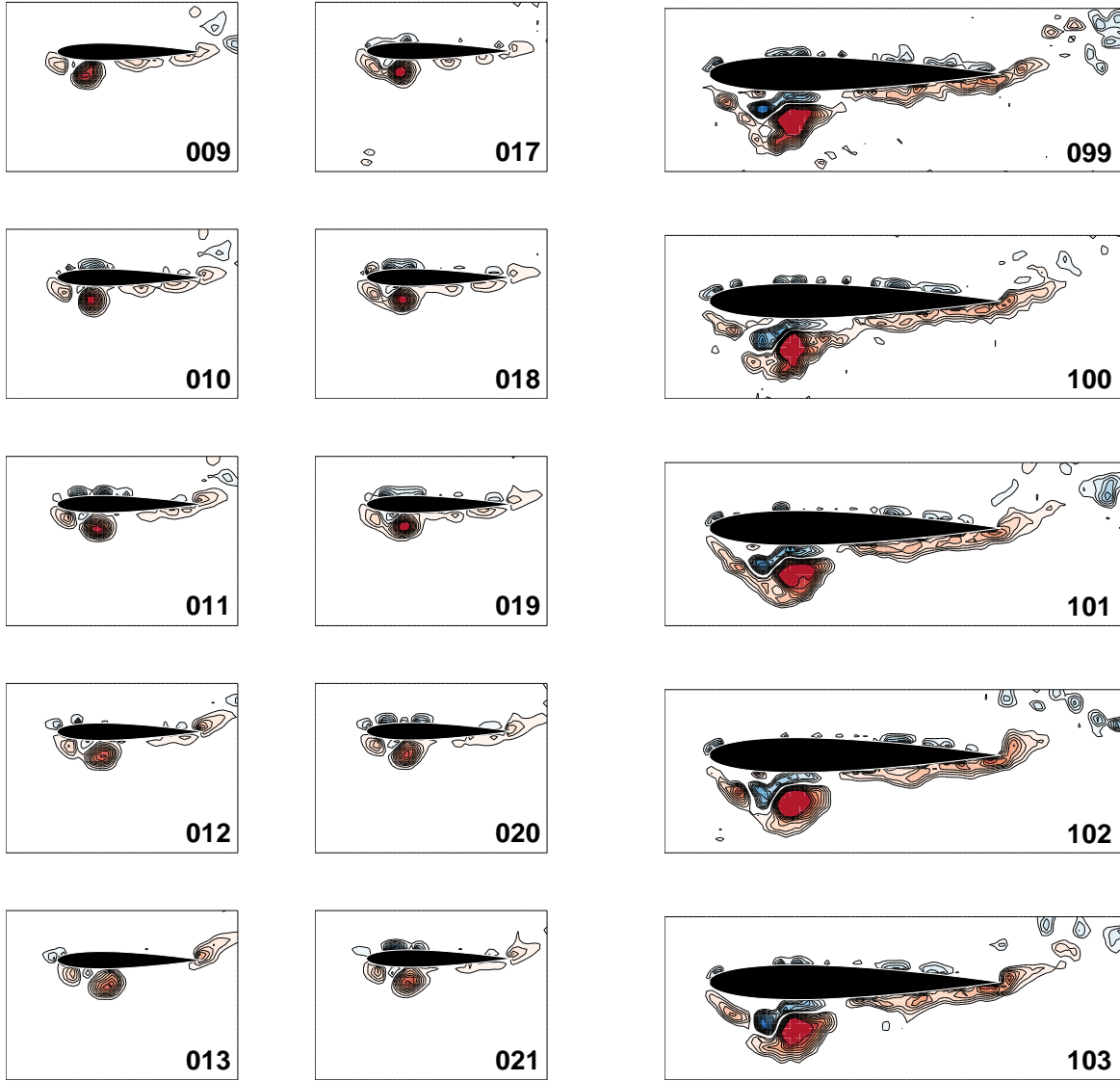


Şekil 11: Kanat hareketinin en üst noktası ve civarında değişik mekan çözünürlüğünde alınan görüntüler ($Re=5\ 000$ için)

Şekil 12 ($Re=10\ 000$ için) ve Şekil 13 ($Re=5\ 000$)'de ise zaman çözünürlüğünün farkı, veri alma hızları 8Hz, 15Hz ve 80Hz için, kanat hareketinin yine en üst noktası civarındayken alınan ardışık veriler ile gösterilmektedir. Her iki serbest akım hızında da, kanat hareketinin frekansı (0.2Hz) çok düşük olduğu için vorteks yapılarının gelişimi çok hızlı olmamaktadır. Zamana bağlı ufak farklılıklar olsa da ancak 8Hz verisinde vorteks gelişimi belirgin olarak gözlenebilmektedir. Özellikle 80Hz verisi, mekan çözünürlüğü açısından detayları göstermekle beraber, zaman çözünürlüğü açısından adeta görüntünün dondurulduğu izlenimini yaratmaktadır.



Şekil 12: Kanat hareketinin en üst noktası ve civarında değişik zaman çözünürlüğünde alınan görüntüler ($Re=10\ 000$ için)



Şekil 13: Kanat hareketinin en üst noktası ve civarında değişik zaman çözünürlüğünde alınan görüntüler ($Re=5\ 000$ için)

SONUÇ

Particle Image Velocimetry (DPIV – Parçacık Görüntüleyerek Hız Belirleme) sisteminden elde edilen verilerden basınç ve kuvvet tahmininde, özellikle çırpan kanat uygulamaları için zaman ve mekan çözünürlüğünün etkisini belirleyebilmek amaçlanmaktadır. Buna yönelik olarak NACA 0012 profiline sahip kanat modeline su kanalı içerisinde düşey salınım (plunge) hareketi yaptırılıp akım yapıları, elde edilen taşıma kuvveti ile birlikte incelenmiştir. Kanadın tüm hareketini içerecek şekilde ve sadece kanat etrafına odaklanılarak iki farklı mekan çözünürlüğü kullanılmıştır. Düşük mekan çözünürlüğünde iki farklı veri alma frekansı kullanılarak ve yüksek mekan çözünürlüğünde tetikleme sinyali ile oynanarak hareket detaylı olarak yakalanmış, böylece değişik zaman çözünürlükleri elde edilmiştir.

Ele alınan kanat hareketinin frekansının çok düşük olması nedeni ile kullanılan en düşük zaman çözünürlüğünün dahi yeterli olabileceği, ancak mekan çözünürlüğünün detayda büyük farklılıkların görsellenmesi için önemli olduğu sonucuna varılmıştır. Hareket hem kuvvet ölçüm sonuçlarında hem değişik periyotlarında aynı konum için alınan DPIV verilerinde oldukça tekrarlı, yakın sonuçlar vermektedir ve gürültünün giderilmesine yönelik zaman ortalaması alınması sadece tavsiye niteliğinde kalmaktadır.

Bu çalışma 112M682 No'lu TÜBİTAK 1001 Projesi desteğinin katkılarıyla gerçekleştirilmiştir.

Kaynaklar

Fenercioglu, I., ve Cetiner, O., 2012. *Categorization of Flow Structures around a Pitching and Plunging Airfoil*, Journal of Fluids and Structures 31, 92–102.

Jones, K.D., Dohring, C.M. ve Platzer, M.F., 1996. Wake Structures behind Plunging Airfoils: A Comparison of Numerical and Experimental Results, AIAA 96-0078

Oudheusden, B.W. van, 2013. PIV-based pressure measurement, Measurement Science and Technology, 24.

Percin, M. 2009, Flow around a Plunging Airfoil in a Uniform Flow, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.

Tay, W. B., Percin, M., van Oudheusden, B. W., Bijl, H., Cetiner, O., ve Unal, M. F. 2013, Numerical and experimental analysis of tandem flapping flight, AIAA 43rd Fluid Dynamics Conference, San Diego, 24 - 27 Haziran.

Violato, D., Moore, P. ve Scarano, F. 2011, Lagrangian and Eulerian pressure field evaluation of rod-airfoil flow from time-resolved tomographic PIV, Experiments in Fluids, 50, 1057-1070.