

## SAĞANAK ÜRETECİNİN DÖNÜŞ HIZI, YÖNÜ VE KANADA GÖRE DİKEY KONUMUNUN OLUŞTURULAN VORTEKS SAĞANAĞIN KARAKTERİNE VE ROTASINA ETKİSİ

Uğur SAVRAN<sup>1</sup>, Murat SARITAŞ<sup>2</sup> ve Okşan ÇETİNER<sup>3</sup>  
İstanbul Teknik Üniversitesi, Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, İstanbul

### ÖZET

*Bu çalışmada deneysel olarak oluşturulan bir vorteks sağanağının şiddet ve genişliğinin kontrol edilebilirliğinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. İncelemede sağanak üreticinin dönüş yönü ve hızı ele alınmaktadır. Ayrıca oluşturulan vorteks sağanağının rotasını belirlemek ve dolayısıyla kontrol edebilmek için sağanak üreticinin kanada göre dikey konumu da parametre olarak ele alınmıştır. Araştırmada sağanak üretici ile kanat arasındaki akış alanı niceliksel akım görüntüleme yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Çalışma sonuçları, sağanak üreticinin dönüş hızının oluşturulan vorteks sağanağının şiddetini doğrusal olarak etkilediği ve dönüş yönünü ile dikey konumlandırmayı değiştirerek kanada göre simetrik sağanaklar elde edilebildiği görülmüştür.*

### GİRİŞ

Son yıllarda, serbest akım hızı mertebesinde şiddete ve kanat veteri mertebesinde genişliğe sahip sağanakların araştırılması güncel konuların başında gelmektedir [Jones ve Çetiner, 2020]. Temel araştırmalar ile bu büyüklükteki sağanakların kuvvet cevabı karakterize edilip, kontrol amaçlı olarak düşük mertebe modellerin geliştirilmesi amaçlanmaktadır [Gehlert ve Babinsky, 2020]. Konu, hem şehir içi hareket eden ve binalardan oluşan kayma tabakalarına maruz kalan Mikro Hava Araçları (MHA) açısından, hem silolar etrafı sağanak durumlarının görüldüğü büyük havaalanlarına iniş yapan uçaklar açısından önem taşımaktadır. Bu araştırma konusu, benzer olarak büyük yapılara sahip hava aracı inişine olanak taşıyan gemi uygulamalarında ve helikopterlerde rotor dinamiği için ilgi çekicidir. Kapsamlı ve güncel literatür için [Jones ve Çetiner, 2020] kaynak olarak verilebilir.

Sağanak kategorilerinden belki de uygulamaya en yakın olanı vorteks sağanaktır. Buna karşın, nispeten incelemeler bu kategoride daha azdır. Zira oluşturulan vorteks sağanağın şiddet ve genişliğine parametrik değişecek şekilde kontrol edebilmek oldukça zordur. Vorteks sağanaklarda bu iki parametre dışında oluşturulan vorteksin izlediği rotanın kuvvet cevabına etkisi olduğu hesaplamalı çalışmalar ile ortaya konmuştur [Barnes ve Visbal, 2017; Chen ve Jaworski, 2020]. Yapılan araştırmalar [Biler ve Jones, 2020] vorteks sağanağın dikey sağanaktakine benzer kuvvet cevabı etkisi verdiğini göstermektedir. Bu benzerlik noktası, dikey sağanak incelemelerinin en geniş araştırılan grup olması nedeni ile önem kazanmaktadır. Öte yandan periyodik vorteks sağanaklarında bir şekilde akım yönlü çalkantı ve etkisinin minimize olduğu, sağanağın dikey bileşeninin önem kazandığı ve aynı dikey sağanaklardakine benzer karakterizasyon yapılabildiği bilinmektedir [Medina, Suresh Babu, Rockwood, Gopalarathnam, Gopalarathnam ve Ahmed,

<sup>1</sup> Lisans öğrencisi, Uzay Müh. Böl., E-posta: ugursavran24@gmail.com

<sup>2</sup> Öğr. Gör. Y. Müh., Uçak Müh. Böl., E-posta: muratsaritas@itu.edu.tr

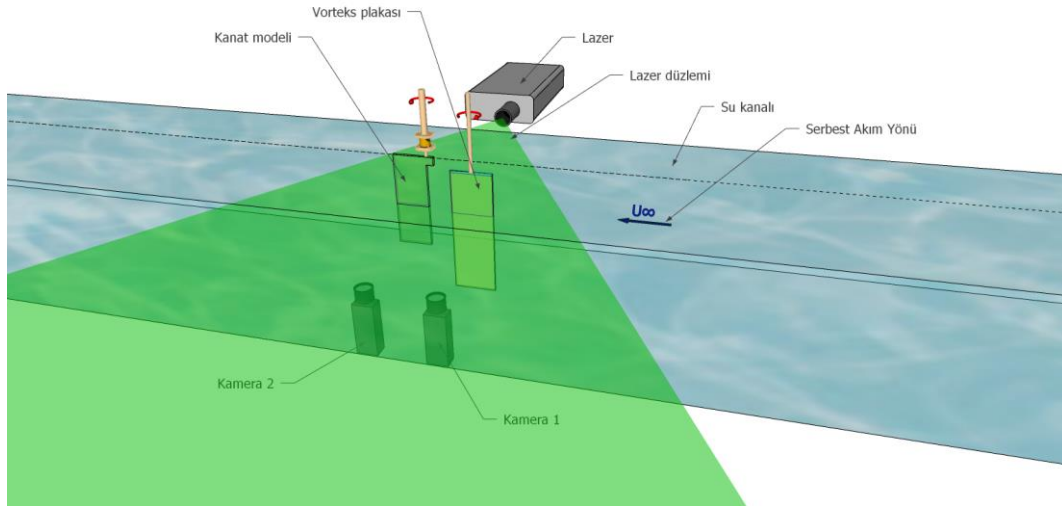
<sup>3</sup> Prof. Dr., Uzay Müh. Böl., E-posta: cetiner@itu.edu.tr

2019]. Dikey ve vorteks sağanıklar arasında yapılan karşılaştırmalı yapılan ilk çalışmada [Biler, Jones, Saritas, Fenercioglu, Cetiner ve Bronz, 2019] uyum sağlanabilmesi açısından vorteksin dönüş yönünün tersi ele alınsaydı kuvvet cevabı etkisinin de tersinin oluşacağı kabulü yapılmıştır. Öte yandan aslında bu durum, yapılmış olan kapsamlı bir hesaplamalı çalışmada [Barnes ve Visbal, 2017] da ortaya konmuştur; öngörüldüğü gibi vorteksin sağanağının yönü kuvvet cevabında oluşan etkinin yönünü de belirlemektedir.

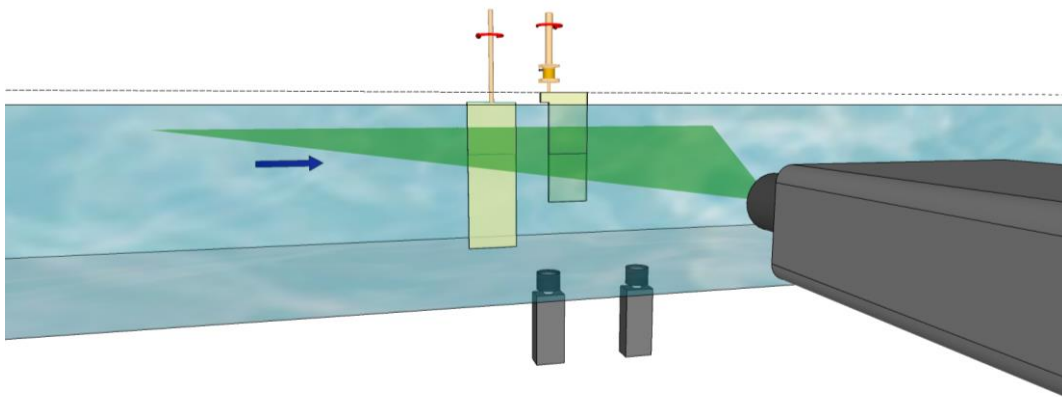
Sonuç olarak bu çalışmada deneysel olarak oluşturulan bir vorteks sağanağının şiddet ve genişliğinin kontrol edilebilirliğinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Buna yönelik olarak sağanak üreticinin dönüş yönü ve hızı ele parametre olarak alınacak ve değişik kanat-üreteç dikey konumlandırmalarına bakılarak vorteks sağanağının rotası belirlenecektir. Bunun için sağanak üretici ve kanat arasında kalan alanda akış yapıları Dijital Parçacık Görüntüleme Hızölçeri (Particle Image Velocimetry - PIV) kullanılarak niceliksel olarak elde edilecektir.

## DENEYSEL YÖNTEM

Deneyler, İstanbul Teknik Üniversitesi Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Trisonik Laboratuvarında bulunan kapalı devre, geniş ölçekli, serbest yüzeyle su kanalında gerçekleştirilmiştir. Deney odası kesit boyutları 1010 mm x 790 mm olup akış düzeneğinin ayrıntılı bilgileri Fenercioglu ve Çetiner [2012, 2014] 'de verilmektedir. Deney düzeneği Şekil 1'de verilmiştir.



(a) Deney düzeneğinin su kanalına göre yandan görünüşü



(b) Deney düzeneğinin su kanalına göre üstten görünüşü

Şekil 1: Deney Düzeneği

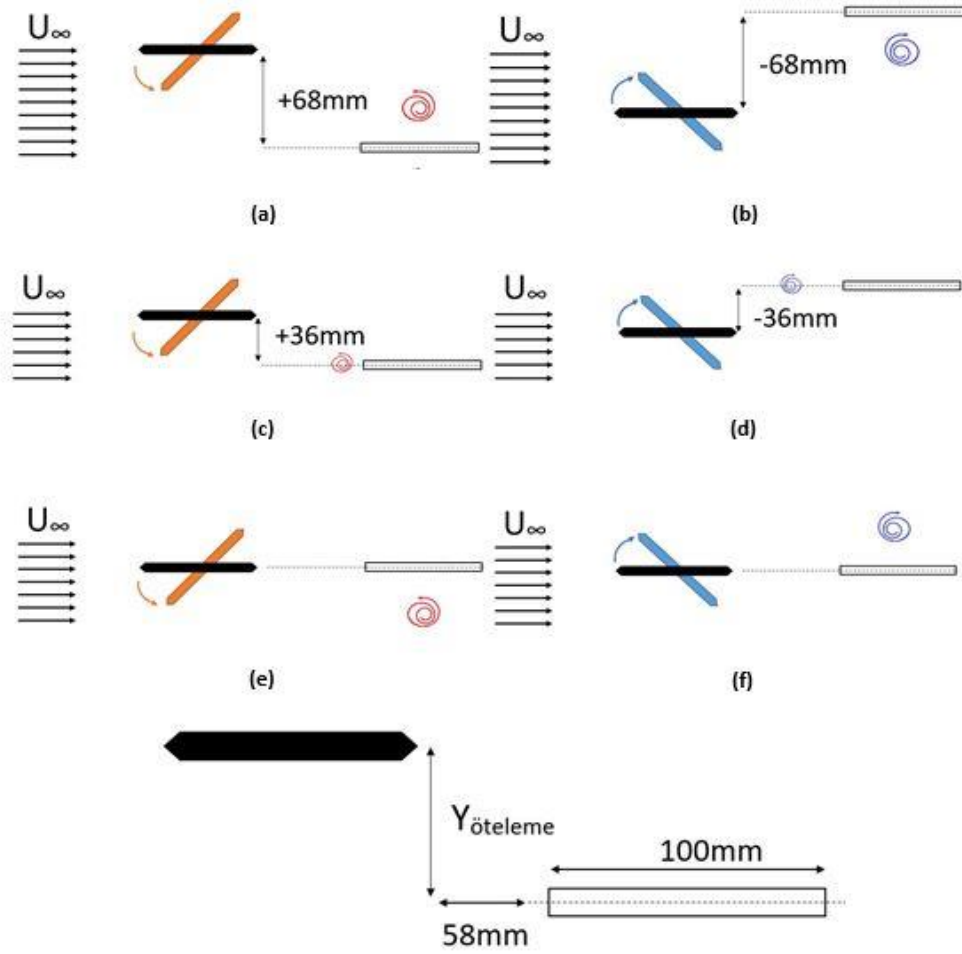
Gerçekleştirilen deneylerde serbest akım hızı 0.1 m/s olup, Reynolds sayısı 10000 değerindedir. Kanat modeli olarak 5mm kalınlığında ve 100mm veter uzunluğunda, 200mm açıklığında pleksiglas düz levha kullanılmıştır. Kanat modeli hücum kenarından dikey olarak yunuslama hareketini veren servo motora bağlıdır. Modelin ötelenme hareketini yapabilmesi için yunuslama hareketini veren servo motor diğer bir servo sürücüyeye bağlanmıştır. Kollmorgen AKM54K servo motor ve Danaher Motion S700 servo sürücü kullanılmıştır.

Deneyisel çalışmada vorteks oluşturmak amacıyla akış yönünde modelden önce bir plaka kullanılmıştır. Plaka 5mm kalınlığında, 100mm veter uzunluğunda uzunluğunda ve 400mm genişliği ölçülerinde pleksiglastan üretilmiştir. Vorteks üreteç plakası yarı veter uzunluğundan yunuslama hareketini veren dikey servo motora bağlıdır. Modelin ötelenme hareketini yapabilmesi için yunuslama hareketini veren servo motor diğer bir servo sürücüyeye bağlanmıştır. Hücum kenarı ve firar kenarları 45° açı ile sivriltilmiştir. Vorteks üreteç plakası modelden 58 mm uzaklıkta konumlandırılmıştır. Vorteks sağanak oluşumu için plaka saat yönünde yarım tur yani 180°'lik bir dönüş gerçekleştirilmektedir.

Deneylerde ölçüm yöntemi olarak Dijital Parçacık Görüntüleme Hızölçeri (Particle Image Velocimetry - PIV) kullanılmıştır. Akış alanı, kanadın yarı açıklığından geçen bir düzlem şeklinde çift kavite Nd-Yag lazeri (maksimum 500 mJ/vuruş) ile aydınlatılmış ve su ortalama 50µm çapında polyamid kürecikler ile tohumlanmıştır. Akış alanını gözlemleyebilmek için iki adet 1600x1200 piksel çözünürlüklü 10-bit kamera kanalın alt tarafında serbest akım yönüne 90 derece açı yapacak şekilde, yani kanal içinde konumlandırılmış olan kanat modeline dik bakacak şekilde, yerleştirilmiştir. Görüş alanını genişletmek için kameralarda Nikon 35mm f/2 AF NIKKOR lensler kullanılmıştır. Bir deneysel veri setinde 240 anlık görüntü bulundurmaktadır. Sayısal görüntü çiftleri  $\Delta t=6000 \mu s$  zaman aralığı ile alınmış; elde edilen çift görüntülerden çapraz korelasyon kullanılarak hız alanları elde edilmiştir. Çapraz korelasyon sorgulama pencereleri 16x16 alınmış ve %50 üst üste bindirme kullanılmıştır. DPIV veri alma frekansı olarak 8Hz kullanılmıştır.

## UYGULAMALAR

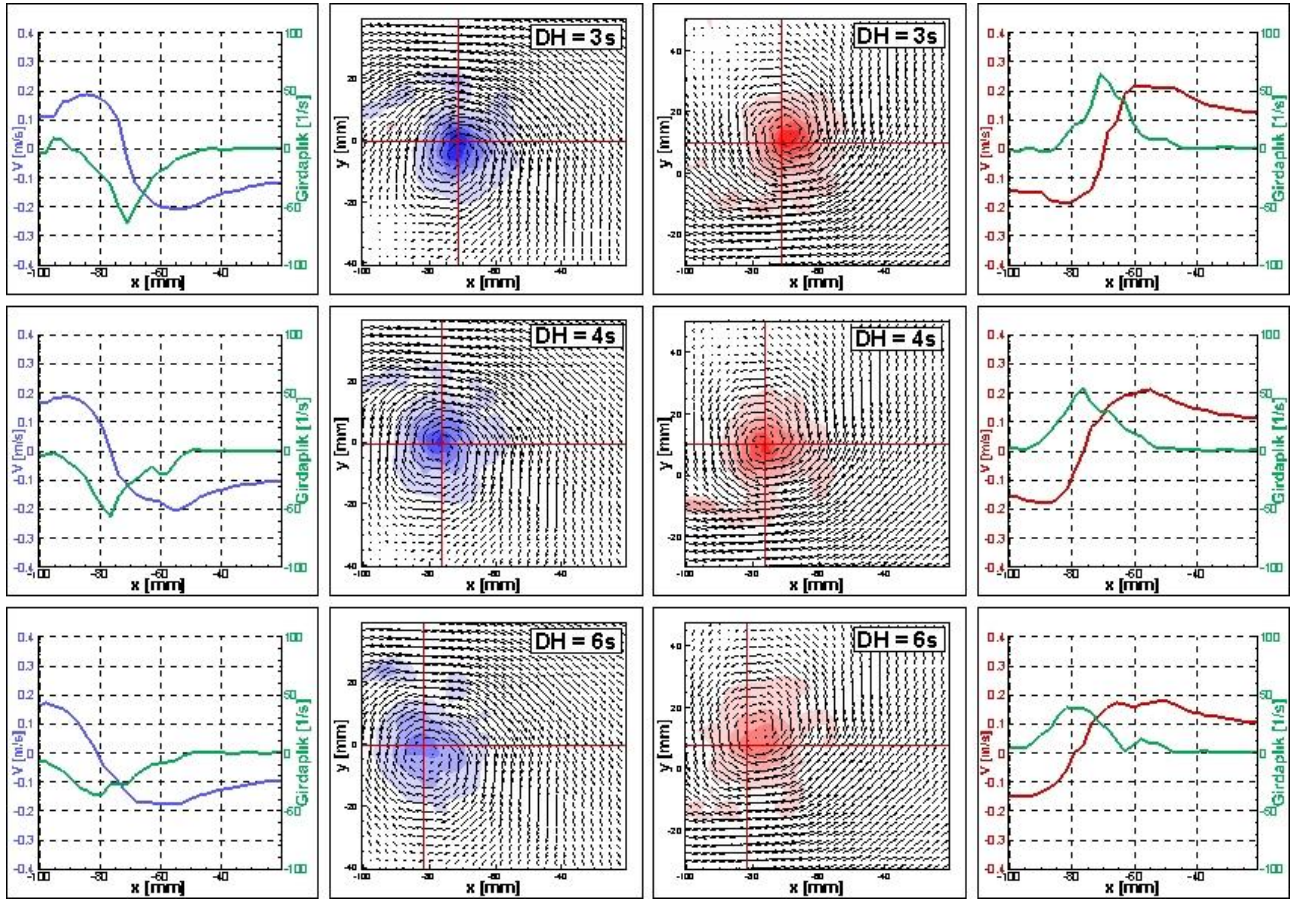
Deneyler üç farklı plaka dönüş hızında ve plakanın iki yönlü dönüşü için gerçekleştirilmiştir. İncelenen test matrisi Şekil 2'de verilmektedir. Daha önce yapılan öncü çalışma ve deneylerde [Engin vd., 2018] plakanın saat yönünde 4s'lik dönüşünde negatif bir vorteks sağanak oluşturulduğu ve bu sağanağın boyutsuz olarak  $GR (V/U_\infty) = 1$  şiddetinde,  $W_e (w/c) = 0.4$  genişliğinde olduğu görülmüştür. Tanımlar için konu taraması niteliğindeki çalışma [Jones ve Çetiner, 2020] esas alınmaktadır. Burada şiddet için sağanak maksimum dikey hızı  $V$ , genişlik için ise vorteksin oluşturduğu maksimum ve minimum dikey hızlar arası mesafe  $w$  ele alınmaktadır. Bu çalışmada  $GR$  değerini kontrollü değiştirebilmek amaçlı, 4s'lik dönüş hızına ek olarak 3s ve 6s dönüş hızları seçilmiştir. Öte yandan aynı araştırma kapsamında yapılan bir diğer çalışmada [Tilki vd., 2020] vorteks sağanağını üreten plakanın kanada göre yaklaşık 36mm uzaklıkta olduğu durumda vorteksin ilk atılıştta rotasının kanat veteri ile eş dikey hatta olduğu görülmüştür. Dönüşe bağlı simetrik durumun elde edilebilmesi için kanat Şekil 2'de görüldüğü gibi kanatla aynı dikey konumda iki yönde incelenmiş, vorteks rotasının kanat veteri ile eş dikey konumda olabilmesi için dönüş yönüne bağlı olarak +36mm veya -36mm durumları ele alınmıştır. Aynı zamanda iki dönüş yönü için vorteks rotasını kanadın diğer tarafına da yönlendirme amaçlı +68 mm ve -68 mm konumlandırması da yapılmıştır.



TEST MATRİSİ						
Yöteleme	Saat Yönü Dönüş			Saat Yönü Tersine Dönüş		
	(b) (-68)mm	(d) (-36)mm	(f) 00mm	(a) 00mm	(c) 36mm	(e) 68mm
180° dönüş süresi	3s	3s	3s	3s	3s	3s
	4s	4s	4s	4s	4s	4s
	6s	6s	6s	6s	6s	6s

Şekil 2: Deneylerde incelenen durumlar ve test matrisi

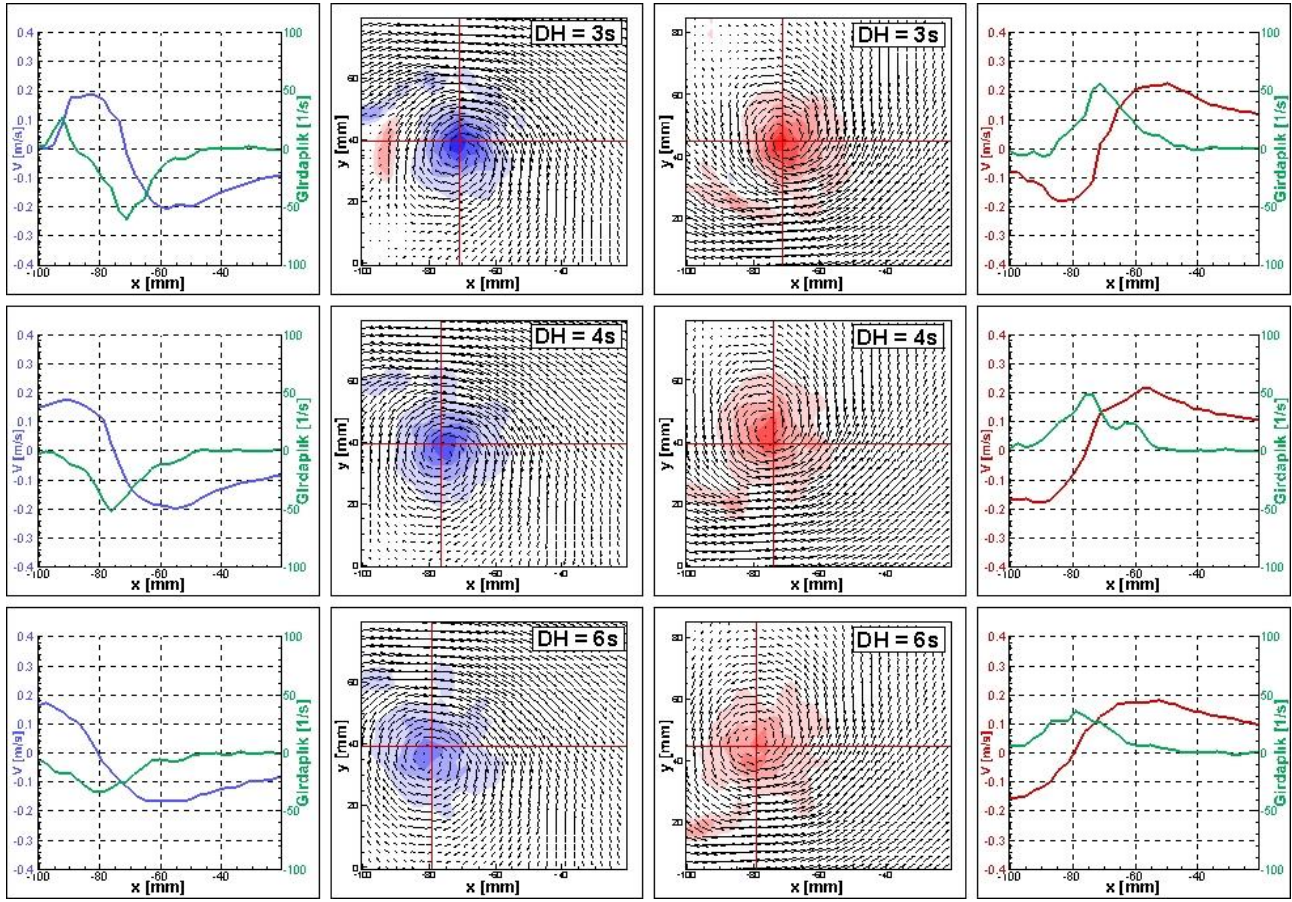
Değişik dönüş hızlarında kanat veteri ile hizalanmış pozitif ve negatif vorteks rotaları durumundaki inceleme sonuçları Şekil 3'de verilmektedir. Sol iki kolonda negatif vorteks sağanağı sonuçları (Şekil 2d durumu), sağ iki kolonda pozitif vorteks sonuçları (Şekil 2c durumu) yer almaktadır. Her ikisi için de vorteks merkezinden geçen yatay hattaki dikey hız ve girdaplılık değişimleri elde edilmiştir. Vorteks merkezi tüm dönüş hızları için negatif vorteks durumunda tam kanat veteri hizasında yakalanabilmiştir. Aynı araştırma kapsamında yapılan diğer çalışmada [Tilki vd., 2020] belirlenen bu üreteç kanat arası öteleme değeri de (-36mm) negatif vorteks sağanağı durumu içindir. Öte yandan pozitif vorteks durumunda ise rota kanat veterinin biraz üstündedir. Ancak her iki durum için de, bariz olarak, sağanak üreticinin hızının artışı ile üretilen vorteks sağanağın şiddetinin arttığı görülmektedir. Bu durum hem renk skalasında girdaplılık dağılımlarından hem yatay hatta ulaşılan maksimum girdaplılık değerlerinden anlaşılmaktadır. Ayrıca oluşturulan vorteks sağanağın şiddeti azaldıkça akım yönünde daha az ilerleyebildiği görülmektedir. Oluşturulan vorteks sağanağın işaretine bakılmaksızın yatayda geldiği konumlar aynı olmaktadır. Genel olarak hem hız hem girdaplılık değişimlerinin pozitif ve negatif vorteks durumlarında simetrik olduğu söylenebilir.



Şekil 3: Değişik dönüş hızlarında kanat veteri ile hizalanmış tarafına vorteks rotaları (Şekil 2c ve Şekil 2d durumları)

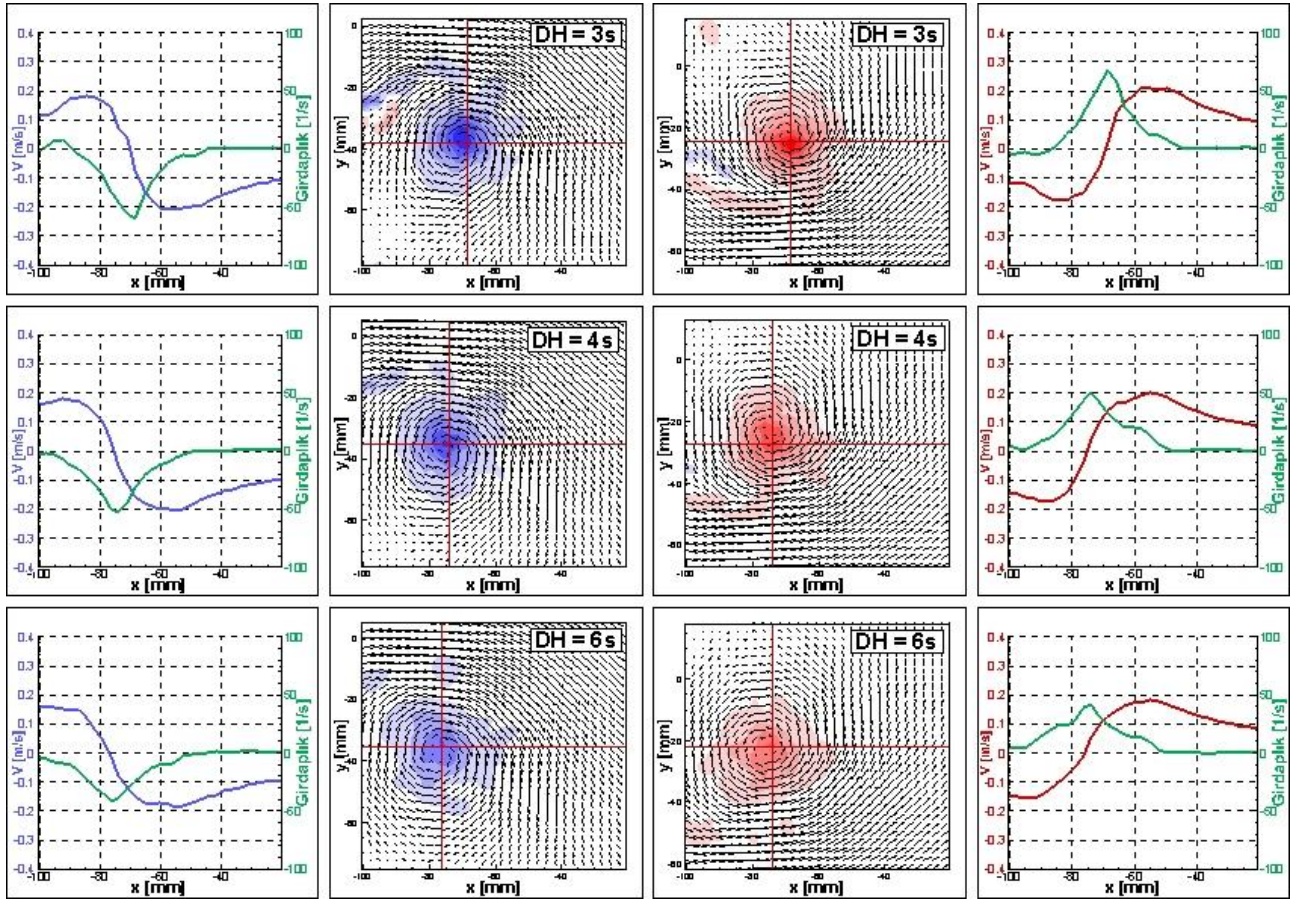
Şekil 4’de ise değişik dönüş hızlarında kanat emme yüzeyi tarafında oluşturulan pozitif ve negatif vorteks sağanağı durumları verilmektedir. Şekil 3’e benzer olarak sol iki kolonda negatif vorteks sağanağı sonuçları (Şekil 2a durumu), sağ iki kolonda pozitif vorteks sonuçları (Şekil 2f durumu) yer almaktadır. Oluşturulan vorteks sağanaklarının merkezlerinin düşey konumları pozitif ve negatif vorteks durumlarında kendi aralarında neredeyse tamamen birbirleri ile aynıdır; karşılaştırılmalı olarak bakıldığında ise birbirlerine oldukça yakındır. Daha önce oluşturulan vorteks sağanağın şiddeti ile ilgili yapılan gözlemler bu görselde de aynıdır. Ek olarak, Şekil 3 ve 4 birlikte ele alınırsa, değişik pozisyon durumlarında, değişik dönüş hızları için elde edilen sonuçların kendi aralarında tutarlı ve benzer olduğu söylenebilir.





Şekil 4: Değişik dönüş hızlarında kanat emme yüzeyi tarafına vorteks rotaları (Şekil 2a ve Şekil 2f durumları)

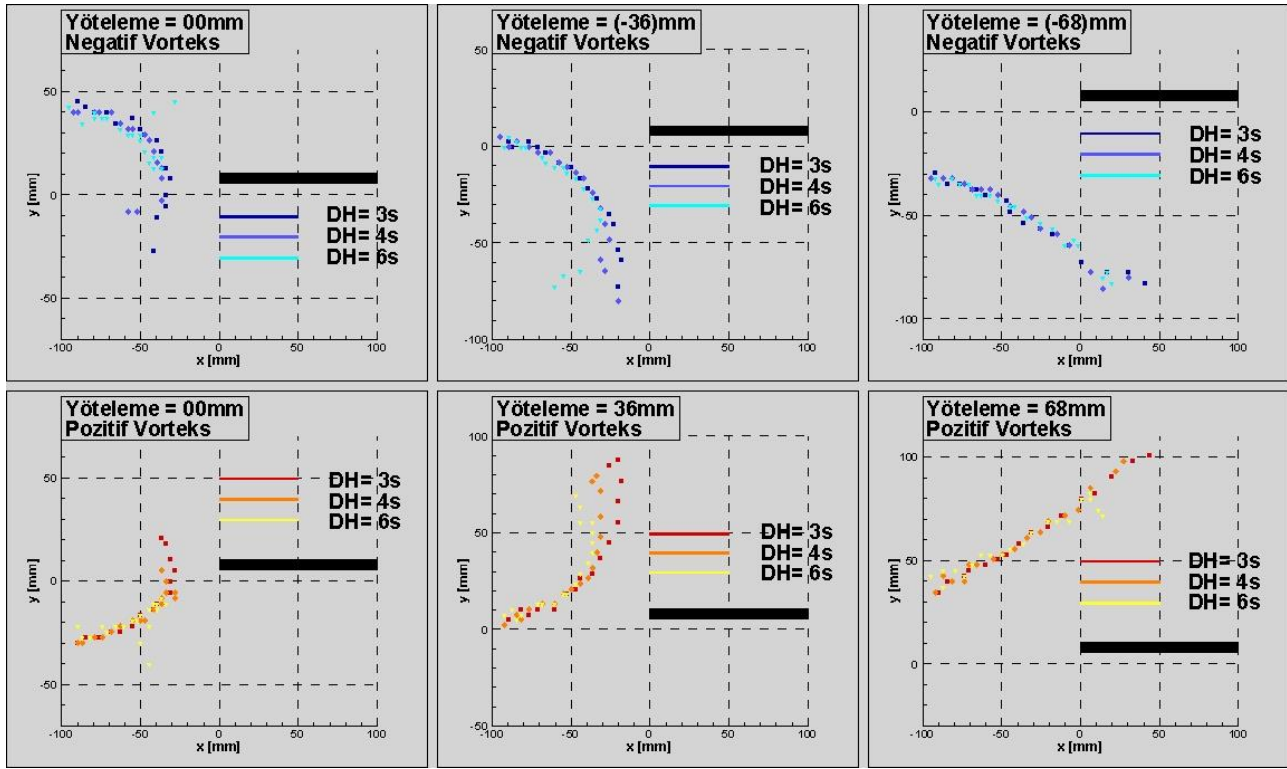
Şekil 5’de ise değişik dönüş hızlarında kanat basınç yüzeyi tarafında oluşturulan pozitif ve negatif vorteks sağanağı durumları verilmektedir. Yine Şekil 3’e benzer olarak sol iki kolonda negatif vorteks sağanağı sonuçları (Şekil 2b durumu), sağ iki kolonda pozitif vorteks sonuçları (Şekil 2e durumu) yer almaktadır. Bu incelemede, oluşturulan vorteks sağanaklarının merkezlerinin düşey konumları pozitif ve negatif vorteks durumlarında karşılaştırılmalı olarak bakıldığında ise birbirlerine biraz farklı olduğu görülmüştür. Öte yandan gerek oluşturulan vorteks sağanağın şiddeti ile ilgili, gerek değişik pozisyon durumlarında, değişik dönüş hızları için elde edilen sonuçların kendi aralarında benzerliği ile ilgili gözlemler bu görselde de geçerlidir.



Şekil 5: Değişik dönüş hızlarında kanat basınç yüzeyi tarafına vorteks rotaları (Şekil 2e ve Şekil 2b durumları)

Tüm veri zaman içerisinde incelenip vorteks sağanağının rotaları elde edildiğinde Şekil 6'daki sonuçlar elde edilmektedir. Burada daha önceki şekillerde gözlemlenen benzerlik ve/veya farklılıklar özet olarak görülmektedir. Örneğin, Şekil 4'de oldukça yakınken Şekil 5'de biraz farklılık gösteren pozitif ve negatif vorteks durumlarında vorteks sağanaklarının merkezlerinin düşey konumları karşılaştırmalı olarak Şekil 6'daki sol kolon sonuçlarından da görülebilmektedir. Şekil 6'daki sağ kolon sonuçları pozitif ve negatif vorteks durumlarında oldukça simetrik iken, sol kolon sonuçlarında rotaların eğriselliklerindeki farklılık ortaya çıkmaktadır. Orta kolon sonuçlarında, kanat veter hattında oluşturulan sağanağın rotasının da kanat etkisi ile eğrisellik kazandığı görülmektedir; ancak pozitif ve negatif vorteks rotalarındaki bu eğriselliğin kanada göre oldukça simetrik olduğu söylenebilir. Sol kolon sonuçlarında oluşturulan vorteks kanada aynı işaretli hücum kenarı vorteksi tarafından yaklaşmakta ve bir noktadan sonra az da olsa yatayda akım yönünün zıttına hareket etmektedir. Bu durum orta kolon kolon sonuçlarında görülmemektedir; çünkü oluşturulan vorteks kanada yatayda yaklaştığı zaman çoktan düşey olarak kanattan uzaklaşmış bulunmaktadır.





Şekil 6: İncelenen tüm durumlarda vorteks sağanağının rotası

## SONUÇ

Bu deneysel çalışmada, niceliksel akım görüntüleme kullanılarak deneysel olarak oluşturulan bir vorteks sağanağının şiddet ve genişliğinin kontrol edilebilirliğinin belirlenmesi amaçlanmıştır, şiddetinin doğrusal olarak sağanak üreticinin dönüş hızı ile kontrol edilebildiği görülmüştür. Oluşturulan vorteks sağanağının genişliğinin ise şiddeti azaldıkça artmaktadır ve bu deneysel düzenekte şiddetten bağımsız olarak değiştirilememektedir.

Ayrıca bu çalışmada değişik kanat-üreteç dikey konumlandırmaları için vorteks sağanağının rotası belirlenmiştir. Dönüş yönünü ile dikey konumlandırmayı değiştirerek kanada göre simetrik sağanaklar elde edilebildiği görülmüştür. Sonuçlar kontrollü vorteks sağanağı üretilmesine yol göstericidir ve ileride kanadın vorteks sağanağı etkisinde kuvvet cevapları da elde edilerek çalışma tamamlanacaktır.

## Kaynaklar

- Barnes, C. J., and Visbal, M. R., 2017. *Effects of vertical position and orientation on a vortical-gust/airfoil interaction at a transitional Reynolds number*, AIAA Akışkanlar Dinamiği Konferansı, Denver, CO, 5-9 Haziran.
- Biler, H., ve Jones, A. R., 2020. *Force prediction during transverse and vortex gust encounters*, AIAA Scitech, Orlando, FL, 6-10 Ocak.
- Biler, H., Jones, A. R., Saritas, M., Fenercioglu, I., Cetiner, O., ve Bronz, M., 2019. *Investigation of force transients during transverse and vortex gust encounters*, AIAA Scitech, San Diego, CA, 7-11 Ocak.
- Chen, H., ve Jaworski, J., 2020. *Aeroelastic encounters of spanwise vortex gusts and the self-rotation of trailing vortices*, AIAA Scitech, Orlando, FL, 6-10 Ocak.
- Engin, K., Aydin, E., Zaloglu, B., Fenercioglu, I., ve Cetiner, O., 2018. *Large scale spanwise periodic vortex gusts or single spanwise vortex impinging on a rectangular wing*, Akışkanlar Mekaniği Konferansı, Atalanta, GA, 25-29 Haziran.



- Gehlert, P., ve Babinsky, H., 2020. *Non-circulatory force on a finite thickness body encountering a gust*, AIAA Scitech, Orlando, FL, 6-10 Ocak.
- Jones A. R. ve Cetiner O., 2020. *Unsteady Aerodynamic Response of Rigid Wings in Gust Encounters: Overview of NATO AVT-282*, AIAA Scitech, Orlando, FL, 6-10 Ocak.
- Medina, A., Suresh Babu, A. V., Rockwood, M. P., Gopalarathnam, A., Gopalarathnam, A., ve Ahmed, A., 2019. *Theoretical and experimental study of wake encounters on unsteady airfoils*, AIAA Scitech, San Diego, CA, 7-11 Ocak.
- Tilki, B., Sarıtaş, M. ve Çetiner O., 2020. *Tekil vorteks sağanıklarda vorteksin rotasının belirlenmesi, etkisi ve kontrolü*, 8. Ulusal Havacılık ve Uzay Konferansı, Bildiri no. UHUK-2020-051, 09-11 Eylül 2020, Ankara, Türkiye.