

TEKİL VORTEKS SAĞANAKLARDA VORTEKSİN ROTASININ BELİRLENMESİ, ETKİSİ VE KONTROLÜ

Bora TİLKİ¹, Murat SARITAŞ² ve Okşan ÇETİNER³
İstanbul Teknik Üniversitesi, Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, İstanbul

ÖZET

Bu çalışmada niceliksel akım görüntüleme yöntemi ile bir sağanak üreticiden oluşturulan vorteksin rotası değişik kanat-üreteç konumlandırmalarında incelenmektedir. Üretilen vorteksin rotasına göre kanadın etrafındaki akış alanı, dolayısı ile kanada gelen yükler, başlangıç sağanak karakteri aynı olsa da farklılık gösterdiği literatürdeki hesaplamalı çalışmalardan bilinmektedir. Dolayısı ile bu deneysel çalışmada, niceliksel akım görüntüleme kullanılarak aynı şiddet ve büyüklükteki vorteks sağanağının rotasının kanadın akıma dik yönlü konumu ve hücum açısına göre nasıl etkilendiği ortaya konulması amaçlanmıştır. Ayrıca elde edilen sonuçlardan vorteks sağanağın rotasının nasıl kontrol edilebileceği de ortaya konulabilmektedir.

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 vse 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. 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. Bu noktada, deneysel olarak, şiddet ve genişlik kontrolünün dikey sağanaklarda mümkün olduğu [Corkery vd. 2018], vorteks sağanaklarda ise çok daha zor olduğu görülmektedir. Ayrıca geçmişte ani dikey sağanaklar için teorik modellerin geliştirilmiş olması önemli bir avantajdır. Her ne kadar bu teorik modeller ayrılmasız akışlar için geçerli olsa da ayrılmalı akışlara da bir şiddete kadar başarılı ön tahmin sağlamaktadırlar [Grubb vd., 2020]. Dolayısıyla bahsi geçen kuvvet cevabı benzerliği bu açıdan da ön plana çıkmaktadır. Ancak düşey sağanak incelemelerinden farklı olarak, vorteks sağanakta oluşturulan vorteksin izlediği rotanın kuvvet cevabına etkisi olduğu hesaplamalı çalışmalar ile ortaya konmuştur [Barnes ve Visbal, 2017; Chen ve Jaworski, 2020]. Aynı şiddet ve genişliğe sahip dikey sağanaklara göre, vorteks sağanaklarda

¹ Lisans öğrencisi, Uzay Müh. Böl., E-posta: tilkib15@itu.edu.tr

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

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

vorteks rotasının kanada göre dikey konumu kuvvet cevabını etkileyen ek bir parametre olarak karşımıza çıkmaktadır. Dolayısı ile şiddet ve genişlik kontrolü deneysel olarak kolay sağlanamayan tekil vorteks sağanaklarda vorteks rotasının kanada göre dikey konumunun incelenmesi ihtiyacı doğmuştur. Dikey sağanaklarda, kanadın sağanağa giriş şartları ile kuvvet cevabının gradyenti farklılık göstermektedir. Sağanak profili ile değişen giriş şartları [Andreu-Angulo, 2020], direkt olarak kanada etki eden efektif hücum açısını değiştirmektedir. Benzer olarak vorteks sağanaklardaki rotanın da efektif hücum açısı ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Ayrıca dikey ve vorteks sağanaklarda kanadın geometrik hücum açısı alması ile kanat-sağanak arasında etkileşim olduğu ortaya konmuştur [Engin, Aydın, Zaloğlu, Fenercioğlu ve Çetiner, 2018; Jones ve Çetiner, 2020].

Sonuç olarak, bu çalışmada deneysel olarak oluşturulan aynı şiddet ve büyüklükteki bir vorteks sağanağının rotasının kanadın akıma dik yönlü konumu ve hücum açısına göre nasıl etkilendiği araştırılacaktır. Akış yapıları Dijital Parçacık Görüntüleme Hızölçeri (Particle Image Velocimetry - PIV) kullanılarak niceliksel olarak elde edilecek, hız alanları kullanılarak vorteks rotaları incelenecektir. Ayrıca detaylı toplanan verinin analizi ile vorteks sağanağının rotasının kontrolü amaçlanmaktadır.

YÖNTEM

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

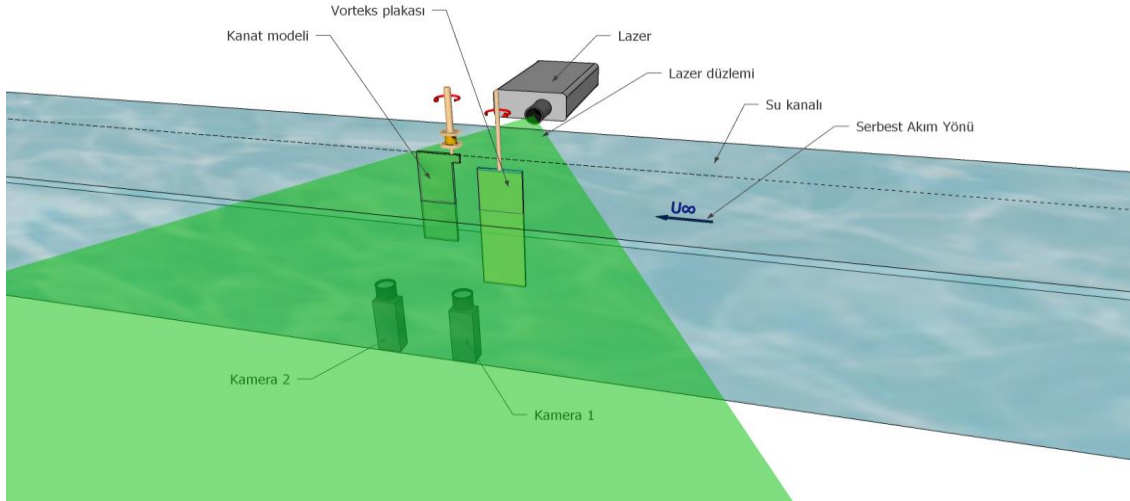
Deneysel çalışmada vorteks oluşturmak amacıyla akış yönünde modelden önce bir plaka kullanılmıştır. Plaka 5mm kalınlığında, 100mm veter uzunluğunda ve 400mm genişliği ölçülerinde pleksiglastan üretilmiştir. Vorteks üreteç plakası yarı veter uzunluğundan yunuslama hareketini veren dikey servo motora bağlıdır. 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 gerçekleştirmektedir.

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.

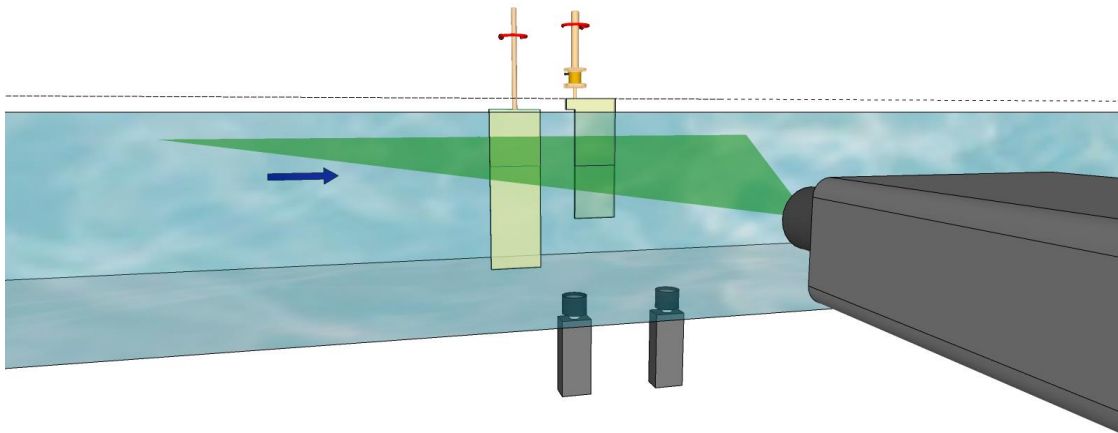
UYGULAMALAR

Deneyler 17 sağanak üretici-kanat konumlandırması için ve kanadın 6 değişik hücum açısında gerçekleştirilmiştir. İncelenen test matrisi Şekil 2a’da 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. Şekil 3'de daha önceki çalışmadakine [Engin vd., 2018] benzer şekilde, kanat olmadığı durumda tekil ve ortalama (5 set veri) veriler arasındaki sağanak karakterizasyon farkı görülmektedir. Kanat olmadığı durum Şekil 2b'de kesikli çizgilerle gösterildiği üzere vorteks sağanağı üreticinin su kanalı yan duvarlarına dayalı olarak elde edildiği durumlarda elde edilmiştir. Şekil 3'de sol kolonda vorteks hız vektörleri ve girdaplılık dağılımı ile görülmektedir. Kırmızı çizgiler vorteks merkezinden geçen dikey ve yataylardır; orta kolonda yatay kırmızı çizgi üzerindeki dikey, v hız ile girdaplılık değişimleri, dikey kırmızı çizgi üzerinde ise yatay, u hız ile girdaplılık değişimleri görülmektedir. Öncelikle tekil ile ortalama verilerde bir miktar beklendiği şekilde filtreleme dışında karakterizasyonu etkileyecek farklılık izlenmemektedir. Hızlar ve girdaplılık değişimleri ile birlikte vorteksin aynı andaki konumuna da dikkat edilmektedir. Hem daha önceki çalışma ile karşılaştırıldığında hem alınan 5 veri seti göz önüne alındığında deneylerin tekrarlanabilirliğinin son derece yüksek olduğu sonucuna varılmaktadır. Bu değerlendirme kanadın hangi duvara yaslı bulunduğundan da bağımsız olduğu görülmektedir. Ayrıca burada sunulamasa da değerlendirmelerin sadece Şekil 3'de görüntülenen anda değil, vorteksin görüş alanına girdiği andan izlediği rotanın sonuna doğru şiddetini iyice kaybettiği ana kadar değişik an ve dolayısıyla konumlarda yapıldığı da belirtilmelidir.

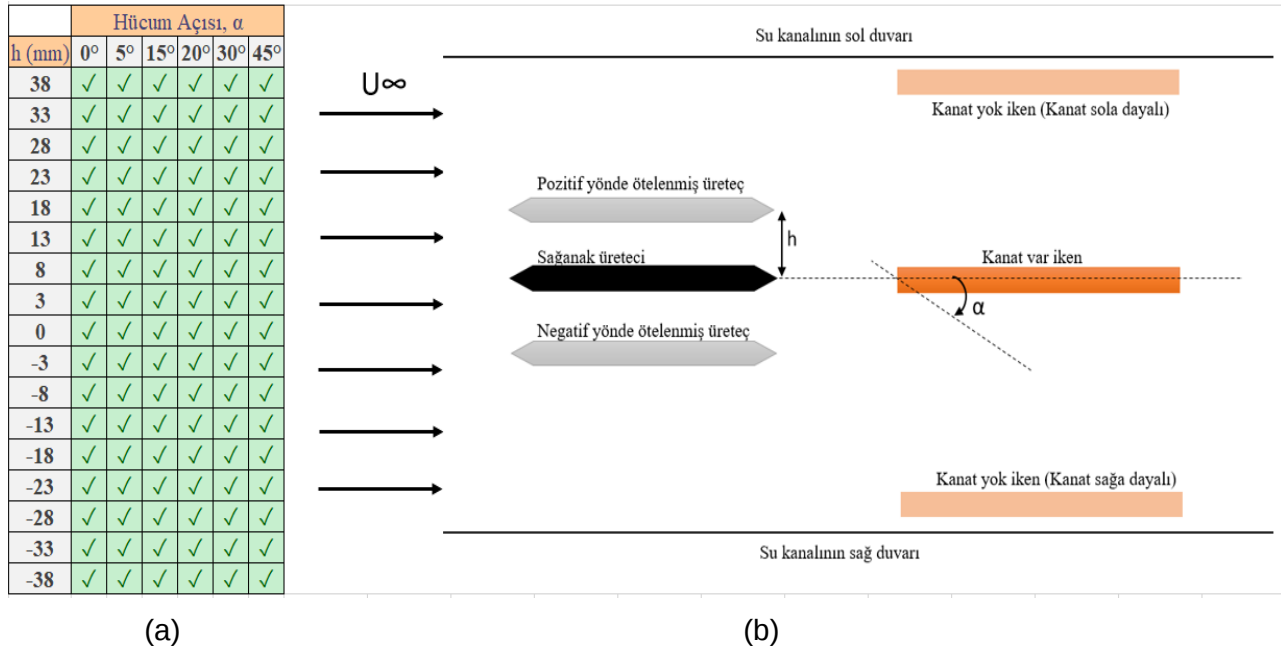


(a) Deney düzeneğinin su kanalına göre yandan görünüşü



(b) Deney düzeneğinin su kanalına göre üstten görünüşü

Şekil 1: Deney Düzeneği



Şekil 2: Test matrisi (a) ve deney parametreleri (b)

Vorteks sağanağın rotasının belirlenmesi için Şekil 2a'daki test matrisindeki her durum ele alınmış, yazılan bir MatLab kodu ile görüntü alanına girişten itibaren şiddetini yitirene dek her anda vorteksin merkezi belirlenmiş ve merkezden geçen yatay ve dikey kesitlerde hız ve girdaplılık değişimleri elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlarda rotanın sadece akış yönündeki ilk kamera görüntüsü içerisinde kaldığı görülmüştür. Bu nedenle sunulacak şekillerde kanat görüntü alanına girmemektedir. Örnek olarak Şekil 4'de kanadın 15° hücum açısında bulunduğu ve $h=38\text{mm}$ olduğu durumda elde edilen sonuçlar görülmektedir. Burada ilk kolondan vorteksin yatayda ilerlerken kanada doğru yaklaştıkça basınç yüzeyi tarafına doğru yönlendiği görülmektedir. Genel olarak vorteksin rotasında izlenebildiği son anda şiddetini iyice yitirdiği söylenebilir. Ancak kanada yaklaşırken düşmekte olan girdaplılık değerinin kanatla etkileşim sonucu artabildiği de açıktır. Ayrıca girdaplılık değerlerindeki değişimin ele alınan kesitten, yatay veya dikey, bağımsız olduğu görülmektedir; görüntü alanına ilk girdiği an hariç, büyük oranda rotanın her yerinde u veya v hız değişimlerinin kendi aralarında limit değerlerinin korunduğu söylenebilir. Öte yandan vorteks genişliği şiddetine bağlı olarak değişmektedir. Dolayısıyla sağanak karakterizasyonunda ele alınacak görüntünün zamanlaması önemli olmaktadır. Bunun için vorteksin büyük oranda yatay olarak ilerlediği ve kanat ile etkileşime girip dikey harekete başlamadığı bir anın seçilmesi uygun olacaktır. Buna yönelik olarak amaçlardakine uygun olarak tüm rotalar elde edilmiş ve Şekil 5'de özet olarak sunulmuştur.

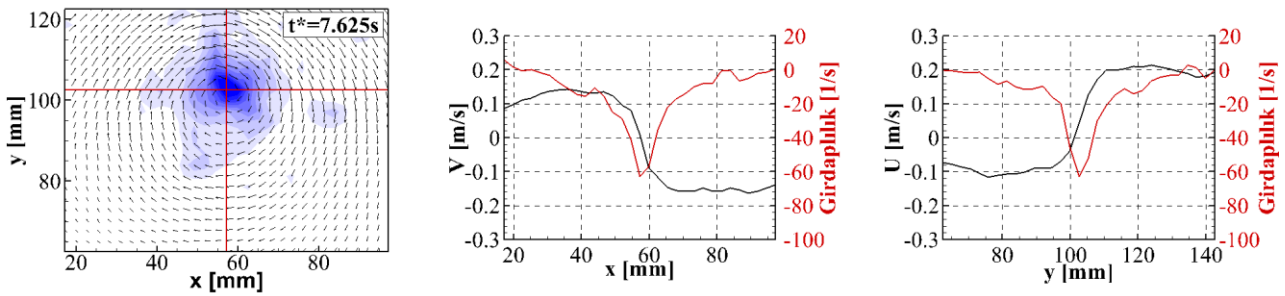
Her ne kadar Şekil 2a'da yer alan test matrisi tümüyle ele alınmış olsa da sonuçların görülmemesinde, Şekil 5'te konumlar atlamalı olarak verilmiştir. Görüldüğü gibi tüm dikey konumlarda kanat ile etkileşime göre az ya da çok, ilk anlarda rota yataydır. Bu durum bazen iki-üç ana kadar azalmakta (örneğin, Şekil 5d: $AoA=20^\circ$ ve $h=-38\text{mm}$), bazen de neredeyse tüm anlarda görülmektedir (örneğin, Şekil 5f: $AoA=45^\circ$ ve $h=+38\text{mm}$). Kanadın ve hücum kenarı vorteksinin etkisi ile kanat veter hattına yakın ilerleyen vorteks sağanağının rotasının kanat basınç yüzeyi doğrultusunda kıvrıldığı görülmektedir. Genellikle düşük hücum açılarındaki kanat için bu durum kanat veter hattından dikey olarak artan konumlarda ilerleyen vorteksler için azalmakla beraber tüm konumlardaki rotalarda görülmektedir. Öte yandan yüksek hücum açılarındaki kanat için ise bu etkinin kanat veter hattından dikey olarak artan konumlarda neredeyse görülmediği, hatta bazen (örneğin, Şekil 5f: $AoA=45^\circ$ ve $h=-8\text{mm}$) kanat veter hattının üstünden ilerleyen vorteks sağanağın rotasının tam tersine emme yüzeyi doğrultusunda kıvrılabildiği söylenebilir. Tüm bunlara ek olarak kanadın hücum açısından bağımsız olarak tüm konumlarda vorteksin ilk görüntülediği andaki konumunun aynı olduğu görülmüştür. Ancak vorteksin ilk görüntülediği andaki konum, üreteç ve kanat arası mesafe incelenen durumlarda simetrik olarak ele alınmış olsa da, aynı şekilde kanat hücum kenarına göre simetrik olarak değişmemektedir. Yapılan değerlendirmelerde ele alınan bu

vorteksin üreteç dönüşünün 130° konumundayken akışa bırakıldığı ve bu andaki üreteç uç noktasından çıkan yatay hatta ilerlediği belirlenmiştir.

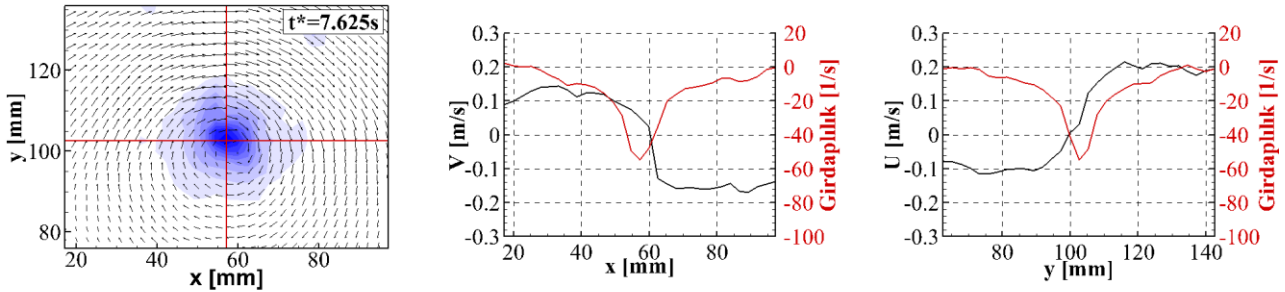
SONUÇ

Bu deneysel çalışmada, niceliksel akım görüntüleme kullanılarak aynı şiddet ve büyüklükteki bir vorteks sağanağının rotası incelenen 17 değişik kanat-üreteç akıma dik yönlü konumu ve 6 değişik kanat hücum açısı için belirlenmiştir. Buna vorteks rotasının nasıl etkilendiği ortaya konulmuştur. Sonuçlarda bariz olarak vorteksin rotasının kanat etkisinden kurtulması, düşük hücum açılarında rotanın kanat basınç yüzeyine doğru dikey olarak kıvrılması, yüksek hücum açılarında ise kanat veter hattının hemen üstünde ilerleyen vorteks rotasının kanat emme yüzeyine doğru kıvrılması görülmektedir.

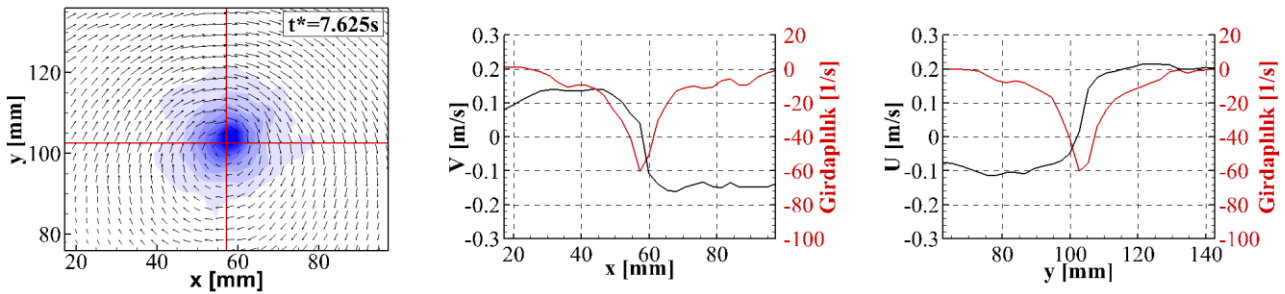
(a) Tekil Veri (Kanat kanalın sol duvarına yash)



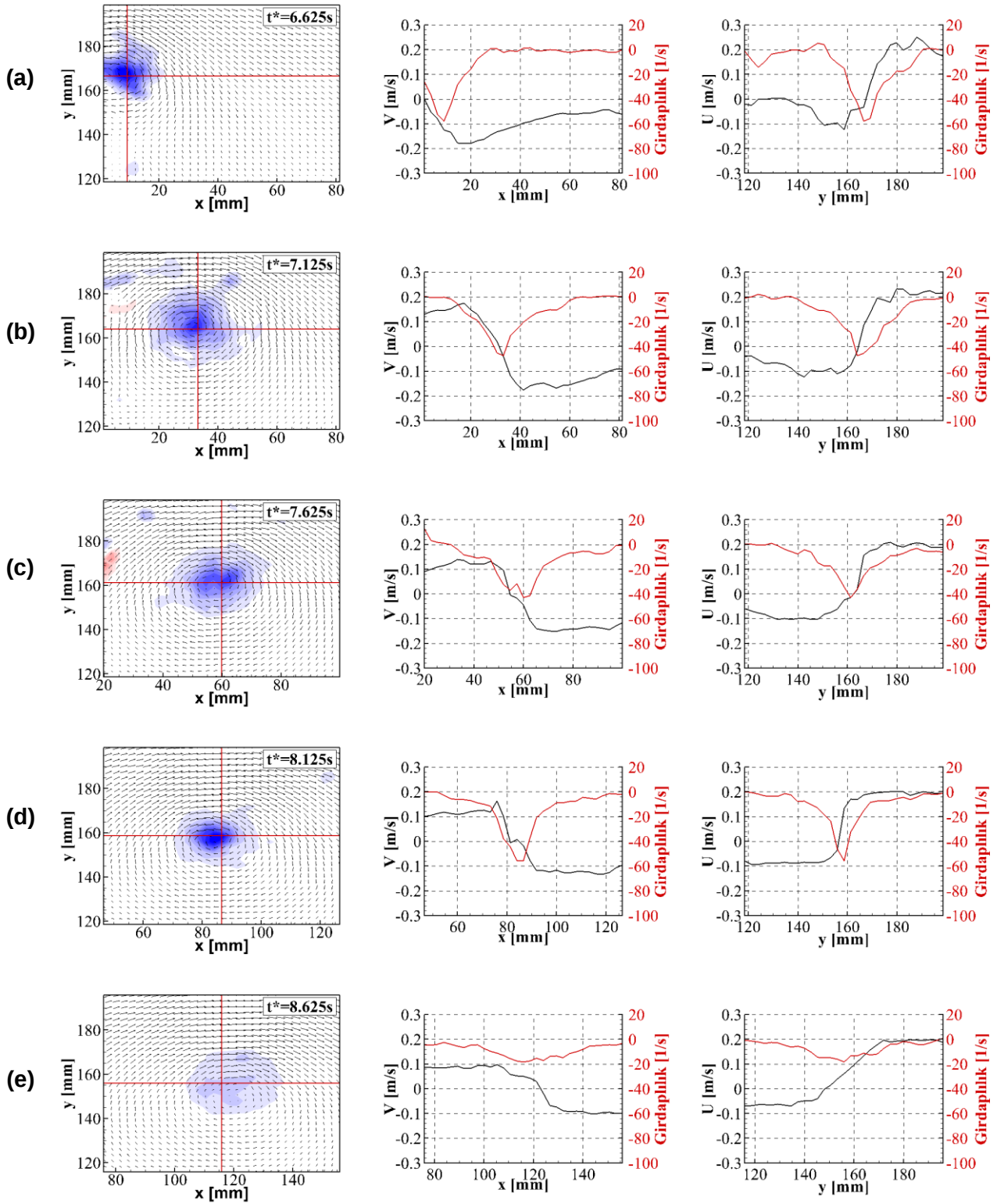
(b) Ortalama Veri (Kanat kanalın sol duvarına yash)



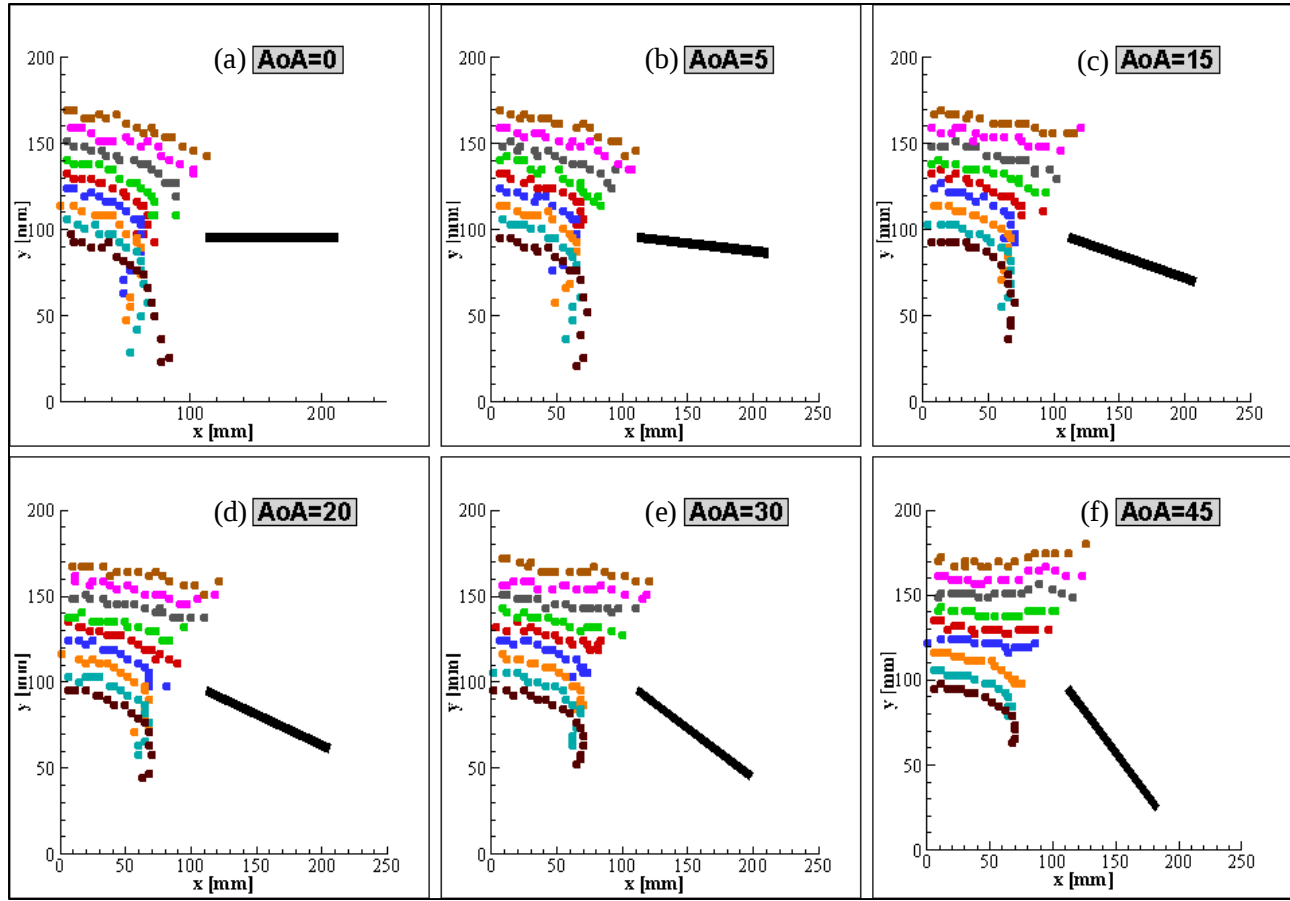
(c) Ortalama Veri (Kanat kanalın sağ duvarına yash)



Şekil 3: Sağanak karakterizasyonunda tekil ve ortalama verinin karşılaştırılması.



Şekil 4: $AoA=15^\circ$ ve $h=38\text{mm}$ için hız alanları ve girdaplılık dağılımları ile merkezden geçen hatlarda U , V hızları ve girdaplılık değişimleri



Şekil 5: Değişik hücum açılarında ve sağanak üreteç dikey konumlarında vorteks rotaları

Ayrıca elde edilen sonuçlardan, vorteks sağanağın rotasının kontrolüne yönelik olarak, kanat hücum kenarına göre dikey konumunun nasıl belirlenebileceği ortaya konmuştur. Buna göre vorteks sağanak üretici dönüşünün 130° 'de iken negatif vorteks akışa bırakılmaktadır ve üretcin uç noktasının bu andaki konumu vorteksin görüntülerde yatay ilerlediği ilk anların konumuna denk gelmektedir.

Kaynaklar

- Andreu-Angulo, I., Babinsky, H., Biler, H., Sedky, G., and Jones, A. R., 2020. "Wing-gust interactions: The effect of transverse velocity profile," *AIAA SciTech*, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Orlando, FL.
- 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," *47th AIAA Fluid Dynamics Conference*, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Denver, CO.
- Biler, H., and Jones, A. R., 2020. "Force prediction during transverse and vortex gust encounters," *AIAA SciTech*, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Orlando, FL.
- Chen, H., and Jaworski, J., 2020. "Aeroelastic encounters of spanwise vortex gusts and the self-rotation of trailing vortices," *AIAA SciTech*, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Orlando, FL.
- Corkery, S. J., Babinsky, H., and Harvey, J. K., 2018. On the development and early observations from a towing tank-based transverse wing-gust encounter test rig, *Experiments in Fluids*, Vol. 59, No. 9.
- Engin, K., Aydın, E., Zaloglu, B., Fenercioglu, I., and Cetiner, O., 2018. "Large scale spanwise periodic vortex gusts or single spanwise vortex impinging on a rectangular wing," *2018 Fluid Dynamics Conference*, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Atlanta, GA.
- Fenercioglu, I. and Cetiner, O., 2014. Effect of unequal flapping frequencies on flow structures, *Aerospace Science and Technology*, Vol. 35, 2014, pp. 39–53.
- Gehlert, P., and Babinsky, H., 2020. "Non-circulatory force on a finite thickness body encountering a gust," *AIAA SciTech*, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Orlando, FL.

- Grubb, A., Moushegian, A., Heathcote, D., and Smith, M., 2020. “Physics and computational modeling of nonlinear transverse gust encounters,” *AIAA SciTech*, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Orlando, FL.
- Jones, A. R., Cetiner, O., 2020. “Overview of NATO AVT-282: Unsteady aerodynamic response of rigid wings in gust encounters” *AIAA Scitech*. American Institute of Aeronautics and Astronautics, Orlando, FL.