

DEĞİŞİK TEKİL SAĞANAK KARŞILAŞMALARINDA KANAT ÜZERİNDE OLUŞAN YÜKLER

Elif Acar¹, Kübra Soy², Murat Sarıtaş³ ve Okşan Çetiner⁴
İstanbul Teknik Üniversitesi, Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, İstanbul

ÖZET

Girdap türü sağanak yapısı gerçekte karşılaşılan tekil ve sürekli sağanakların belki de en yaygını ve dolayısıyla bunları en iyi temsil edenidir. Bu çalışmada deneysel olarak oluşturulan değişik şiddette ve kanada göre değişik karşılaşma rotasındaki tekil sağanakların kanat üzerindeki yükleme etkileri incelenmiştir. Deneyler serbest yüzeye sahip su kanalında, serbest akım hızı $Re=10\ 000$ olacak şekilde gerçekleştirilmiş; kuvvet ve momentler 6 eksenli bir kuvvet/tork sensörü ile ölçülmüştür. Girdap üreticinin dönüş yönü değiştirilerek kanada yaklaşan girdap türü sağanağın pozitif veya negatif bir girdap şeklinde olması, dönüş hızı değiştirilerek de kanada yaklaşan girdap türü sağanağın şiddeti kontrol edilmiştir. Girdap üreticinin kanada göre akıma dik doğrultuda değişik konumlandırılması da karşılaşma etkileşimini farklılaştıran bir başka parametre olarak ele alınmıştır. Ayrıca bu çalışmada kanadın değişik hücum açılarındaki durumu da incelenmiştir. Sonuçlar, pozitif ve negatif girdap karşılaşmalarında, daha önce hesaplamalı çalışmalarda görüldüğü üzere simetrik durumların elde edilebildiğini göstermektedir. Girdap üreticinin dönüş hızının sağanağın etkisi ile taşıma katsayısında görülen en büyük sapma değerini etkilediği gibi bu sapmanın görülmesinde faz yarattığı da belirlenmiştir.

GİRİŞ

Günümüzde küçük boyutlu hava araçları, askeri, arama-kurtarma, haberleşme ve kargo taşımacılığı görevlerinde kullanılmaktadır. Bu görevlerin beraberinde getirdiği olağanüstü hava koşullarında uçuş ve araç manevraları sağanak etkisinin incelendiği çalışmalara olan ilgiyi son yıllarda oldukça arttırmıştır. Konu aslında daimi olmayan akışlar altında çalışılmakta, sağanak etkisi altında kanat yüklemelerini anlamak, modellemek ve oluşan etkiyi indirgemek amaçlanmaktadır [Jones ve Cetiner, 2021].

Sağanak etkisi, daimi olmayan akış aerodinamiğinin temel ve geçtiğimiz yüzyılın başlarından beri çalışılan konularından biridir [Jones vd., 2022]. Ancak büyük çoğunlukla incelemeler, analitiklerde invizid modelleme ile, hesaplamalı ve deneysel olanlarda ise düşük genlik ve genişliğe sahip sağanakların ele alınması ile günümüze dek gelmiştir. Öte yandan, günümüzde küçük boyutlu hava araçları için hem genlik hem de genişlik açısından büyük ölçekli sağanak karşılaşmaları önem kazanmıştır. Sağanaklar tekil ve sürekli (periyodik) olarak ele alınmakla beraber, türlerine göre, akıma dik, girdap ve akım yönlü olarak üç ana başlıkta incelenmektedir [Jones ve Cetiner, 2021].

¹ Yüksek Lisans öğrencisi, E-posta: acare17@itu.edu.tr

² Araştırma görevlisi, Uzay Müh. Böl., E-posta: soy15@itu.edu.tr

³ Öğr. Gör. Y. Müh., Uçak Müh. Böl., E-posta: muratsaritas@itu.edu.tr

⁴ Prof. Dr., Uzay Müh. Böl., E-posta: cetiner@itu.edu.tr

Girdap türü sağanak karşılaşması, hava aracının kayma tabakası ile etkileşime girdiği yerlerde meydana gelir. Bu tür sağanaklar, hava anormalliklerinde olduğu gibi, şehirlerdeki yüksek binaların iz bölgelerinde, hava alanlarındaki silo tipi yapılar etrafında, büyük hava araçlarının iniş kalkış yapabildiği gemiler etrafında ve diğer birçok uçuş ortamında gözlemlenir [Jones vd., 2022]. Dolayısıyla, girdap türü sağanak yapısı gerçekte karşılaşılan tekil ve sürekli sağanakların belki de en yaygını ve dolayısıyla bunları en iyi temsil edenidir. Akıma dik yönlü sağanak türü ise, keskin kenarlı sağanak girişleri ve tekil sağanakları temsil etmesi ve geliştirilen ilk analitik modeller [Küssner, 1932] ile paralellik sağlamasından dolayı son yıllarda hesaplamalı ve deneysel olarak en çok çalışılan [Grubb vd., 2020] sağanak türü olmuştur. Öte yandan her ne kadar gerçekte sürekli girdap türü sağanaklar söz konusu olsa da sağanak karşılaşması ve etkilerinin fiziğinin ortaya konması ve modelleme açısından tekil girdap türü sağanak incelemeleri önem kazanmıştır [Engin vd., 2018]. Ayrıca yapılan çalışmalarda [Biler vd., 2021] akıma dik yönlü sağanak ile girdap türü sağanak arasındaki benzerlikler görülmesi bu ilgiyi arttıran bir faktör olmuştur. Girdap türü tekil sağanaklar için hesaplamalı incelemelere örnek olarak [Barnes ve Visbal, 2017] çalışması gösterilebilir; burada Kanada göre farklı akıma dik yönde başlangıç noktalarına sahip rotalarda ilerleyen, saat yönü ve saat yönünün tersinde dönen girdapların NACA0012 üzerinde oluşturduğu aerodinamik kuvvetler incelenmiştir. Deneysel çalışmalara ise güncel bir örnek olarak [Biler vd., 2021] verilebilir; bu incelemede hem akıma dik yönde başlangıç noktalarına sahip rotalarda ilerleyen girdap türü sağanak ve etkileri, hem de akıma dik yönlü sağanak ile benzerlik ve farklılıkları ortaya konmuştur.

Bu çalışmada ise kapsamlı olarak tekil bir girdap türü sağanak için, akıma dik yönde başlangıç noktalarına sahip girdap rotaları, sağanağa maruz kanadın hücum açısı, girdap türü sağanağın şiddeti ve dönüş yönü parametre olarak ele alınmış, Kanada etki eden kuvvet ve momentler ölçülerek büyük bir veri seti elde edilmiştir. Bu konuda yapılan öncül çalışmalarda [Tilki vd., 2020; Savran vd., 2020] Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçer Sistemi kullanılarak sağanak etkisi altında akım yapıları incelenmiş olup, parametre değer seçimleri bu çalışmaların sonuçlarından elde edilen bilgi ile gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmadaki incelemeler kuvvet ve moment ölçümleri üzerine olup, sadece deney düzeneğinin performans kontrolü amaçlı olarak Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçer Sistemi daha çok niteliksel akım görüntüleme amaçlı kullanılmıştır.

DENEYSEL YÖNTEM

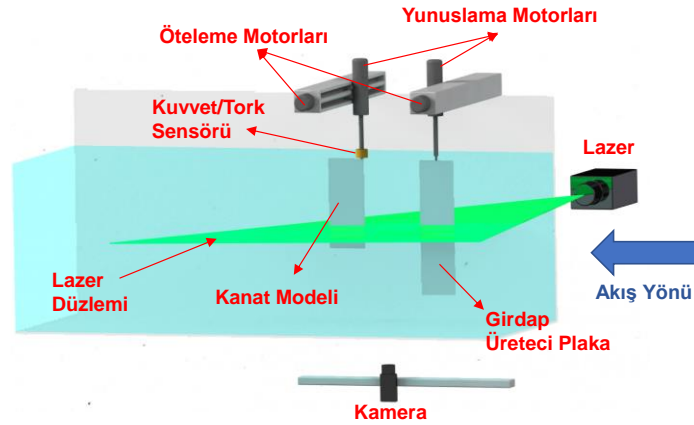
Deneyler, İstanbul Teknik Üniversitesi, Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Trisyonik Laboratuvarı'nda bulunan büyük ölçekli, serbest yüzeyli, kapalı devre su kanalında gerçekleştirilmiştir. Su kanalı boyut ve diğer özellikleri detaylı olarak [Aydın, 2008] çalışmasında verilmiştir. Tüm deneylerde, serbest akım hızı 0.1 m/s, dolayısıyla kullanılan model veterine bağlı Reynolds Sayısı da 10 000 olarak belirlenmiştir.

Bu çalışmadaki deneyler için iki plaka tasarlanmıştır. Bu plakalar, girdap türü sağanak üretici plaka ve kanat modelidir. Girdap üretici serbest akım doğrultusunda kanat modelinin önünde yer almaktadır. Girdap üretici pleksiglastan imal edilmiş olup 5 mm kalınlığa, 100 mm veter uzunluğuna ve 400 mm kanat açıklığına sahiptir. Hücum ve firar kenarları iki yönde 45° açı ile sivriltilmiş olup kama şeklindedir. Kanat modeli pleksiglastan üretilmiş keskin köşeli dikdörtgen şeklinde düz plakadır ve 5 mm kalınlığına, 100 mm veter uzunluğuna ve 200 mm kanat açıklığına sahiptir. Şekil 1'de deney odasında bulunan kanat modeli ve girdap üretici plaka gösterilmiştir.

Girdap üretici plaka ve kanat modeli, Kollmorgen/Danaher Hareket servo motorlarına bağlıdır. Bu motorlar ile plakaların yunuslama ve öteleme hareketleri kontrol edilir. Motorların plakalarla bağlantı şekilleri ve deney odasındaki konumları Şekil 1'de gösterilmiştir.

Deneylerde, kuvvetleri ve momentleri elde edebilmek için altı eksenli ATI NANO-25 Kuvvet/Tork sensörü kullanılmıştır. Bu sensör kanat modeline Şekil 1'de gösterildiği gibi hücum kenarından montaj kirişi ile bağlıdır ve sensörün z eksenini, öteleme düzlemine dik, açıklık doğrultusundadır. NANO-25 sensörü 1/24 N çözünürlüğe sahiptir. Bu değer ile maksimum kuvvet katsayısı belirsizliği ± 0.2083 olarak hesaplanmıştır.

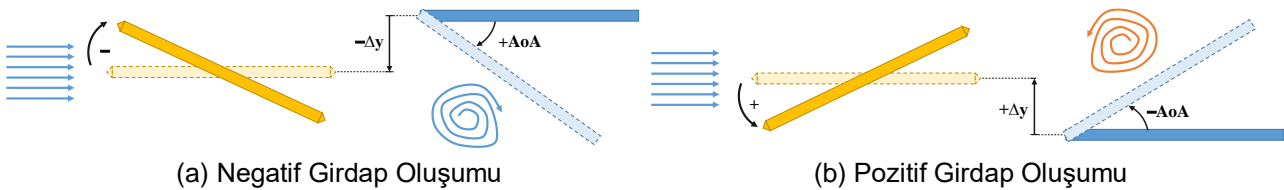
Deneyler sırasında, kuvvet ölçümleri ile birlikte deneyleri denetlemek amaçlı Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçüm Sistemi daha çok niteliksel akım görüntüleme fonksiyonu ile kullanılmıştır. Dolayısıyla Şekil 1’de verilen deney düzeneğinde kamera ve lazer yer almaktadır.



Şekil 1: Deney düzeneği

UYGULAMALAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, değişik şiddetlerdeki, akıma dik yönde değişik başlangıç noktalarına sahip girdap rotaları için, saat yönünde ve saat yönüne zıt dönüş yapan girdap türü tekil sağanakların, kanat modeline aerodinamik kuvvetler açısından etkisi incelenmektedir. Dolayısıyla deney parametreleri bu doğrultuda seçilmiştir ve Şekil 2’de gösterilerek listelenmiştir. Girdap üreticinin dönüş yönü değiştirilerek kanada yaklaşan girdap türü sağanağın negatif (Şekil 2.a) veya pozitif (Şekil 2.b) bir girdap şeklinde olması, dönüş hızı değiştirilerek de kanada yaklaşan girdap türü sağanağın şiddeti kontrol edilmiştir. Girdap üreticinin kanada göre akıma dik doğrultuda değişik konumlandırılması da karşılaşma etkileşimini farklılaştıran bir başka parametre olarak ele alınmıştır. Ayrıca bu çalışmada kanadın değişik hücum açılarındaki (AoA) durumu da incelenmiştir.



Saat Yönü Dönüş (Negatif Girdap)																
Δy (mm)		-100			-68			-36			0			50		
Hücum Açısı (°)	45	■			3s	4s	6s	3s	4s	6s	3s	4s	6s	■		
	30	■			3s	4s	6s	3s	4s	6s	3s	4s	6s	■		
	15	■			3s	4s	6s	3s	4s	6s	3s	4s	6s	■		
	0	3s	4s	6s	3s	4s	6s	3s	4s	6s	3s	4s	6s	3s	4s	6s
Saat Yönü Tersi Dönüş (Pozitif Girdap)																
Δy (mm)		-50			0			36			68			100		
Hücum Açısı (°)	0	3s	4s	6s	3s	4s	6s	3s	4s	6s	3s	4s	6s	3s	4s	6s
	-15	■			3s	4s	6s	3s	4s	6s	3s	4s	6s	■		
	-30	■			3s	4s	6s	3s	4s	6s	3s	4s	6s	■		
	-45	■			3s	4s	6s	3s	4s	6s	3s	4s	6s	■		

Şekil 2: Deneysel olarak incelenen çeşitli parametreler ve test matrisleri

Sadece negatif dönüş yönüne sahip girdap ve kanadın hücum açısının 0° olduğu durumlar ele alınarak girdap üreticinin dik doğrultudaki konumu ve girdap türü sağanağın oluşum süresinin taşıma katsayısına etkisi Şekil 3’de verilmiştir. Bu taşıma katsayısı değişimlerine dayalı olarak şu sonuçlar çıkarılabilir:

- Girdap üreticinin dik doğrultuda kanat modelinin hizasından uzaklaşmasıyla girdabın taşıma kuvveti üzerinde etkisinin azaldığı ortaya çıkmıştır. Aynı zamanda girdap üreticinin

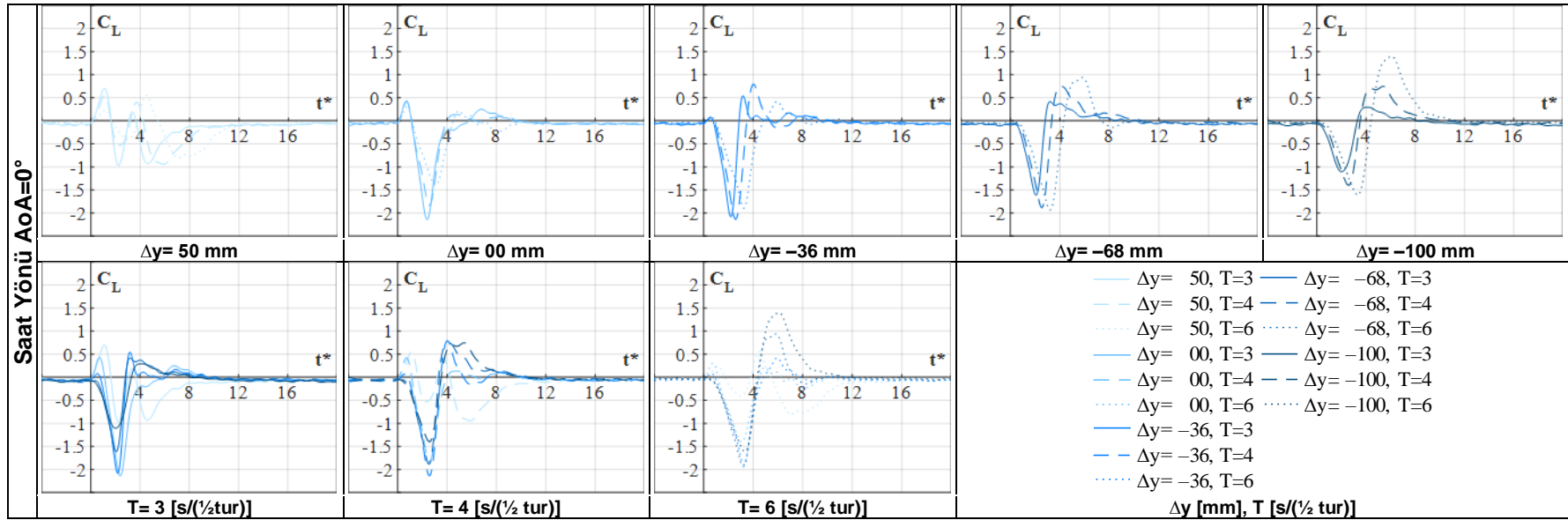
dik doğrultuda kanada yakın olduğu durumlarda, serbest akımda bozuntu olmadığı duruma göre taşıma katsayısında en büyük sapma görülmeden hemen önce, taşıma katsayısı ters yönde genliği çok daha düşük bir başka sapma görülmektedir. Bunun daha önceki çalışmalarda [Biler vd., 2021] girdap üreticinden hareketinin başında kopan düşük şiddetli ve daha uzak girdaba bağlı olduğu bilinmektedir. Nitekim girdabın kanada uzaktan yaklaştığı durumlarda bu sapmanın azalarak yok olduğu gözlemlenmiştir. Bu bulgularla uyumlu olarak, girdap kanat etkileşimi yakın olarak değerlendirildiğinde ve negatif dönüş yönüne sahip girdap kanat veterine göre yukarıdan veya veter doğrultusunda yaklaştığında ($\Delta y=0$ ve $\Delta y=-36\text{mm}$), girdap üreticinden ilk oluşan pozitif girdabın etkisi ile taşıma katsayısında ufak pozitif bir tepe görülmektedir. $\Delta y=50\text{mm}$ durumunda, bu tepenin sağanak etkisi ile oluşan esas negatif sapmaya eşdeğer olduğu görülmektedir. Çünkü girdap üreticinden oluşan pozitif ve esas değerlendirmeye alınan negatif girdaplar sırasıyla kanadın altından ve üstünden benzer uzaklıkta geçmektedir. Dolayısıyla bu durum aslında tekil bir sağanak olayını temsil etmemektedir.

- Girdap kanat etkileşimi yakın olarak değerlendirildiğinde ve negatif dönüş yönüne sahip girdap kanat veterine göre yukarıdan veya veter doğrultusunda yaklaştığında ($\Delta y=0$ ve $\Delta y=-36\text{mm}$), sağanak oluşum süresi kısaldıkça taşıma katsayısında sağanak etkisi ile görülen maksimum sapma değeri artmaktadır. Bunun aksine negatif dönüş yönüne sahip girdap kanat veterine göre aşağıdan yaklaştığında, sağanak oluşum süresi kısaldıkça taşıma katsayısında sağanak etkisi ile görülen maksimum sapma değeri de azalmaktadır.
- Girdap üreticinin dik doğrultudaki konumu fark etmeksizin, sağanak oluşum süresi uzadıkça taşıma katsayısında sağanak etkisi ile görülen maksimum sapmanın da daha geç oluştuğu görülmektedir.
- Aynı sağanak oluşum süresi için, negatif dönüş yönüne sahip girdap ne kadar veter hattına yakın kanada yaklaşırsa, taşıma katsayısında sağanak etkisi ile görülen maksimum sapma da o kadar büyük olmaktadır. Bunun aksine sağanak etkisi yok olmadan görülen taşıma katsayısındaki pozitif sapma da o kadar küçük olmaktadır.

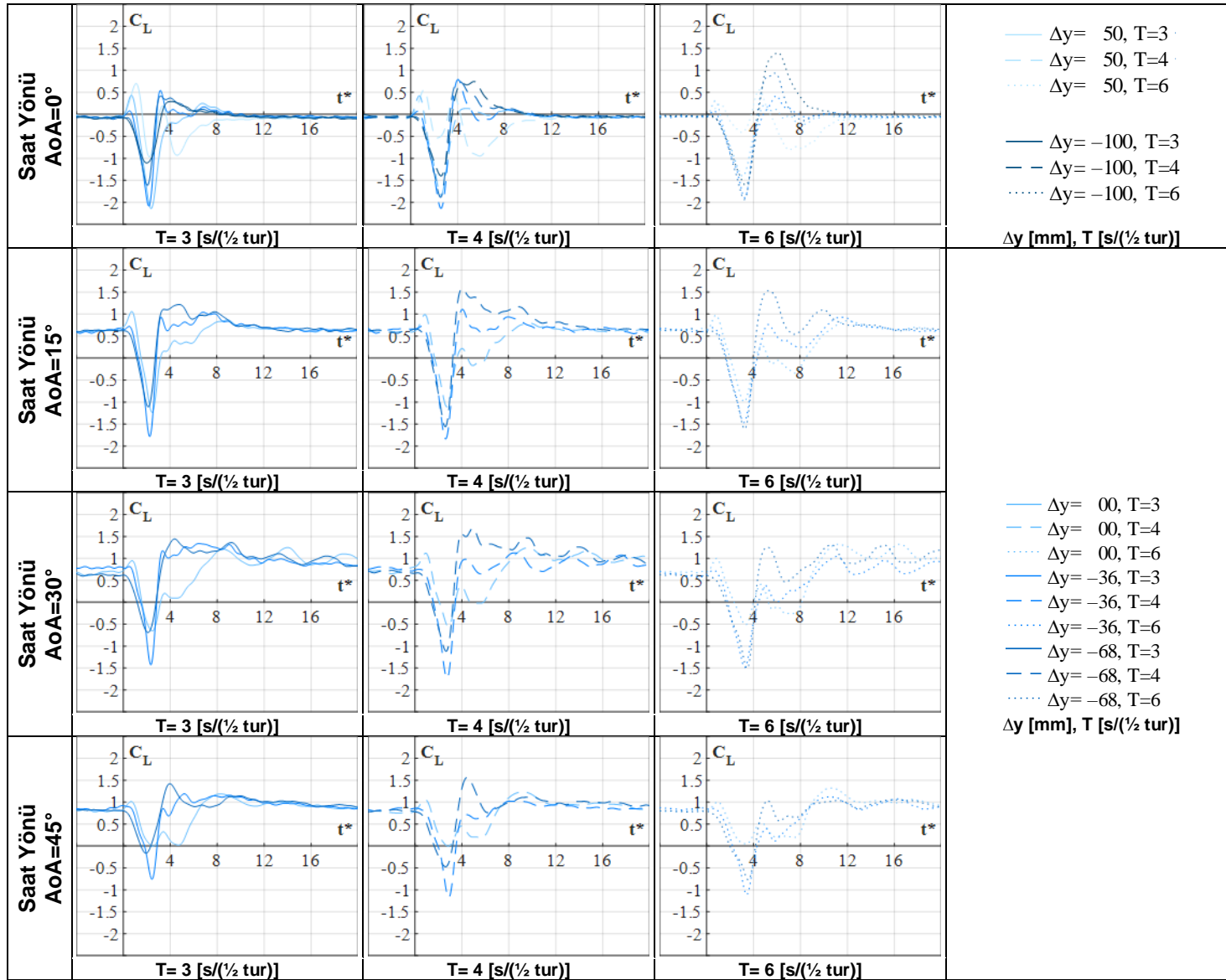
Kanadın değişik hücum açısında olduğu durumlar negatif dönüş yönüne sahip girdap ele alınarak incelendiğinde Şekil 4'deki sonuçlar elde edilmiştir. Bulgular şöyle özetlenebilir:

- Kanadın açılması ile birlikte, aynı sağanak oluşum süresi için veter hattına yakınlığa bağlı taşıma katsayısında sağanak etkisi ile görülen maksimum sapma değerindeki dizilim kaybolmaktadır.
- Genel olarak, aynı hücum açısında taşıma katsayısındaki değişimler, girdap üreticinin değişik dik doğrultudaki konumları için özellikle maksimum sapma bölgesinde aynı karakterdedir. Ancak bazı durumlarda, sağanak etkisi yok olmadan görülen taşıma katsayısındaki pozitif sapma bölgesinde farklılıklar ortaya çıkmaktadır.
- Hücum açısının artması ile, $AoA=30^\circ$ 'ya kadar, sağanak etkisi öncesi duruma göre maksimum sapma değerinde az da olsa artış görülmektedir. Ancak hücum açısı 45° olduğunda sağanak oluşum süresi veya girdap üreticinin dik doğrultudaki konumu fark etmeksizin maksimum sapma değerinde ani bir azalma olmaktadır.

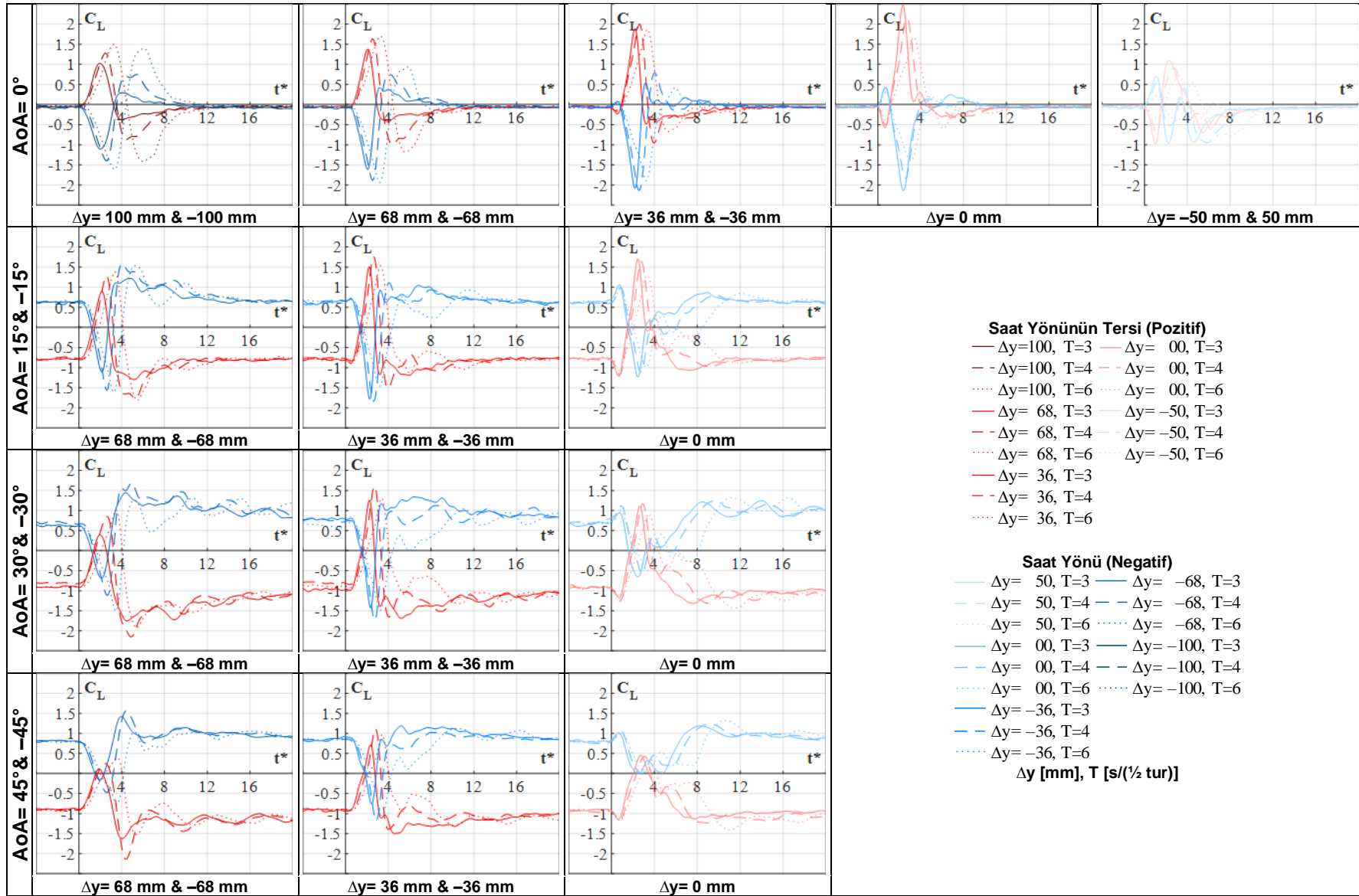
Pozitif ve negatif dönüş yönüne sahip girdapların ele alındığı deneylerde, çeşitli hücum açısı, girdap üreticinin dik doğrultudaki konumu ve girdap şiddeti parametrelerinin taşıma katsayısına etkisi Şekil 5'de verilmiştir. İlk bakışta pozitif ve negatif yön değişimiyle (simetrik parametreler için) neredeyse mükemmel yakın simetrik sonuç verdiği görülmektedir. Simetrik bulgusunda görülen farklılıkların kuvvet sensörünün belirsizlik aralığında kaldığını belirtmek gerekir. Bu simetri durumu akım yapıları ile de doğrulanabilmektedir; Şekil 6'da da gösterildiği gibi elde edilen girdap yapılarının resim simetrisi alındığında eşdeğer olduğu ve bu durumun kuvvet verileri ile eşleştiği açıktır. Pozitif dönüş yönüne sahip girdabın ele alındığı deneylerde, serbest akımda bozuntu olmadığı duruma göre taşıma katsayısındaki en büyük sapma değeri pozitifken, negatif dönüş yönüne sahip girdabın ele alındığı deneylerde bu sapma değerinin negatif olduğu gözlemlenmiştir.



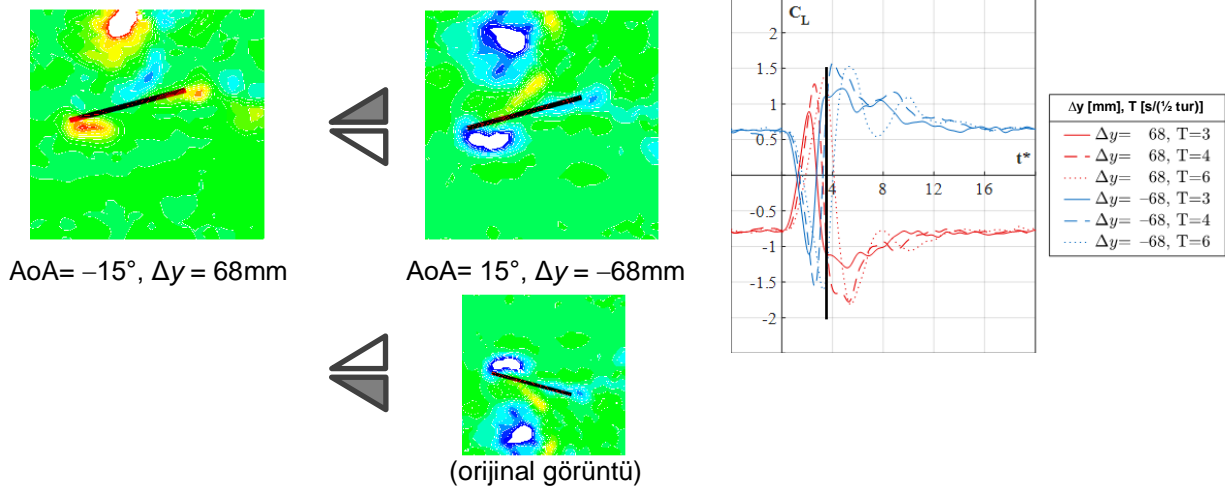
Şekil 3: AoA=0° hücum açılı negatif girdap türü sağanak deneylerinde, çeşitli Δy ve T durumlarına göre taşıma katsayısı değişim sonuçları



Şekil 4: Kanadın değişik hücum açıları için, negatif girdap türü sağanak deneylerinde, T sabit iken, Δy 'nin taşıma katsayısı değişimi üzerinde etkisi



Şekil 5: Pozitif ve negatif girdap türü sağanak deneylerinde, kanadın değişik simetrik hücum açıları için, değişik Δy ve T durumlarına göre taşıma katsayısı değişim sonuçları



Şekil 6: Taşıma katsayısının simetrik değişimine ait $t^*=3.375$ anındaki anlık akış yapıları (orijinal görüntünün düşey simetrisi alınmıştır ve görüntüler kuvvet katsayısı grafiğindeki siyah çizgi ile belirtilen ana aittir.)

SONUÇ

Bu çalışmada deneysel olarak oluşturulan değişik şiddette ve kanada göre değişik karşılaşma rotasındaki tekil sağanakların kanat üzerindeki yükleme etkileri incelenmiştir. Girdap üreticinin dönüş yönü değiştirilerek kanada yaklaşan girdap türü sağanağın pozitif veya negatif bir girdap şeklinde olması, dönüş hızı değiştirilerek de kanada yaklaşan girdap türü sağanağın oluşum süresi ve buna bağlı olarak şiddeti ve büyüklüğü kontrol edilmiştir. Girdap üreticinin kanada göre akıma dik doğrultuda değişik konumlandırılması da karşılaşma etkileşimini farklılaştıran bir başka parametre olarak ele alınmıştır. Ayrıca bu çalışmada kanadın değişik hücum açılarındaki durumu da incelenmiştir.

Sonuçlar, pozitif ve negatif girdap karşılaşmalarında, daha önce hesaplamalı çalışmalarda görüldüğü üzere simetrik durumların elde edilebildiğini göstermektedir. Girdap üreticinin dönüş hızı sağanağın oluşum süresini değiştirmektedir. Buna ve kanada yaklaşan girdabın veter hattına göre konumuna bağlı olarak sağanak etkisi ile taşıma katsayısında görülen en büyük sapma değerinin etkilendiği ve bu sapmanın oluşum süresi arttıkça daha geç ortaya çıktığı belirlenmiştir. Hücum açısının artması ile, $AoA=30^\circ$ 'ya kadar, sağanak etkisi öncesi duruma göre maksimum sapma değerinde az da olsa artış görülmektedir. Ancak hücum açısı 45° olduğunda sağanak oluşum süresi veya girdap üreticinin dik doğrultudaki konumu fark etmeksizin maksimum sapma değerinde ani bir azalma olmaktadır.

İleriye yönelik çalışmalarda, $\Delta y=50\text{mm}$ gibi durumların tekil sağanak olarak göz önüne alınmaması gerekmektedir. Çünkü girdap üreticiden oluşan pozitif ve esas değerlendirmeye alınan negatif girdaplar sırasıyla kanadın altından ve üstünden benzer uzaklıkta geçmektedir. Bunun sonucunda da yakın etkileşim durumlarında girdap üreticinin hareketinin başlarında görülen taşıma katsayısındaki pozitif ufak sapma artarak artık esas negatif sapmaya eşdeğer olmaktadır. Dolayısıyla bu durum aslında tekil bir sağanak olayını temsil etmemektedir.

Kaynaklar:

- Aydın, B. T., 2008. *Effect of self-issuing jets along the span on the near wake of a square cylinder*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Türkiye.
- Barnes, C. J. ve 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, AIAA 2017-3320.
- Biler, H., Sedky, G., Jones, A. R., Saritas, M. ve Cetiner, O., 2021. *Experimental investigation of transverse and vortex gust encounters at low reynolds numbers*, AIAA Journal 2021 59:3, 786-799.

- Engin, K., Aydın, E., Zaloglu, B., Fenercioglu, I. ve Cetiner, O., 2018. *Large scale spanwise periodic vortex gusts or single spanwise vortex impinging on a rectangular wing*, 2018 Fluid Dynamics Conference, AIAA 2018-3086.
- Grubb, A., Moushegian, A., Heathcote, D. J. ve Smith, M. J., 2020. *Physics and computational modeling of nonlinear transverse gust encounters*, AIAA Scitech 2020 Forum, AIAA 2020-0080.
- Jones, A. N. ve Cetiner, O., 2021. *Overview of unsteady aerodynamic response of rigid wings in gust encounters*, AIAA Journal 2021 59:2, 731-736.
- Jones, A. R., Cetiner, O. ve Smith, M. J., 2022. *Physics and modeling of large flow disturbances: discrete gust encounters for modern air vehicles*, Annual Review of Fluid Mechanics, 54:1, 469-493.
- Küssner H. G., 1932. *Stresses produced in airplane wings by gusts*, NACA Tech. Memo. 654, Langley Mem. Aeronaut. Lab., Langley Field, VA.
- Savran, M. U., Saritaş, M. ve Çetiner, O., 2020. *Sağanak üreticinin dönüş hızı, yönü ve kanada göre dikey konumunun oluşturulan vorteks sağanağın karakterine ve rotasına etkisi*, 8. Ulusal Havacılık ve Uzay Konferansı, Bildiri no. UHUK-2020-092, 09-11 Eylül 2020, Ankara, Türkiye.
- Tilki, B., Saritaş, M. ve Çetiner, O., 2020. *Tekil vorteks sağanaklarda vorteksin rotasının belirlenmesi, etkisi ve kontrolü*, 8. Ulusal Havacılık ve Uzay Konferansı, Bildiri no. UHUK-2020-051, 09-11 Eylül 2020, Ankara, Türkiye.