

TEKİL SAĞANAK KARŞILAŞMASINDAN SÜREKLİ SAĞANAK KARŞILAŞMASINA GEÇİŞ: KANAT ETRAFINDA OLUŞAN AKIM YAPILARINA ETKİLER

Kübra Soy¹, Ege Tugan², Elif Acar³ ve Okşan Çetiner⁴,
İstanbul Teknik Üniversitesi, Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, İstanbul

ÖZET

Girdap türü sağanak tekil ve sürekli sağanak durumlarının incelenmesinde hem gerçekteki problemleri karşılamaından dolayı hem olayın fiziğinin anlaşılmasındaki geçiş elverişliliği açısından tercih edilmektedir. Bu çalışmada deneysel olarak, serbest yüzeye sahip bir su kanalına yerleştirilmiş sivriltmiş kenarlı bir plaka girdap üretici olarak kullanılmaktadır. Söz konusu girdap üreticinin kanada göre akıma dik yöndeki konumu ile sağanak karşılaşmasının etkisi, üreticinin dönüş hızı ile de oluşturulan girdap ya da girdapların şiddeti kontrol edilmektedir. Sağanak etkisi altındaki kanat etrafında oluşan akım yapıları Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçüm Sistemi kullanılarak incelenmiş, aynı zamanda 6 eksenli bir kuvvet/tork sensörü kullanılarak kanada gelen yükler ölçülmüştür. Karşılaştırma açısından tekil sağanak durumu ele alınmış olsa da incelemelerde esas olarak aynı özellikteki girdabın değişik aralıklarla çoklu oluşturulması ve kanatla etkileşimi üzerinde durulmuştur. Elde edilen öncül sonuçlara göre girdap sağanak frekansı yüksek olsa da ve kanat üzerindeki yükler serbest akım koşullarına henüz tam anlamıyla ulaşmamış olsa da ardışık olmadığı sürece ikincil etkinin hem akım yapıları hem yükler bakımından oldukça benzer olduğu görülmüştür.

GİRİŞ

Günümüzde, hava araçlarının boyut olarak küçülmesi ve büyük şehirlerde ya da yakınlarında bozuntulu akışlarda uçmak durumunda kalmaları, büyük ölçekli sağanaklar ve etkileri ile bunların modellenmesi ve indirgenmesi üzerine olan çalışmalara ilgiyi arttırmıştır [Jones vd., 2022]. Hem konunun incelenme tarihçesine hem konuyla ilgili askeri [MIL-F-8785C] ve sivil [EASA CS-23] tasarım standartlarına bakılırsa, tekil sağanaklar modellemenin başlangıcını oluşturur, sürekli sağanaklar ise türbülans üzerine çalışmalarla açıklanır [USDOD 1980, EASA CS-23 2020]. Ancak, örneğin büyük şehirlerde küt cisim şeklindeki yapılardan kopan girdaplara maruz mikro hava araçları için yüksek şiddete ve veter mertebesinde genişliğe sahip sürekli sağanakların ve araç üzerindeki etkilerinin incelenmesi, modellenmesi ve hatta indirgenmesi gerekmektedir ve günümüze dek yapılan çalışmalar bu açıdan eksik kalmaktadır. Yüksek şiddete ve veter mertebesinde genişliğe sahip sürekli sağanaklar doğal olarak türbülans çalışmaları kapsamında ele alınamamaktadır ve konu ile ilgili analitik ve modelleme çalışmaları kısıtlı kalmıştır. Her ne kadar geçtiğimiz yüzyılın ilk yarısında [von Kármán ve Sears, 1938] periyodik akıma dik sağanaklar için ilk modeli geliştirmiş olsa da bundan epey sonra Atassi, girdap türü sağanakları modellemeye uygun şekilde bu modele akım yönlü çalkantı bileşenini eklemiştir [Atassi, 1984; Goldstein ve

¹ Araştırma görevlisi, Uzay Müh. Böl., E-posta: soy15@itu.edu.tr

² Lisans öğrencisi, E-posta: tugan17@itu.edu.tr

³ Yüksek Lisans öğrencisi, E-posta: acar17@itu.edu.tr

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

Atassi 1976]. Bu modelde akıma dik ve akım yönlü bileşenlerin genliğinin eşit kabul edilmesi girdap türü sürekli sağanaklar için bir dezavantaj oluşturmaktadır [Jones vd., 2022].

Girdap türü sağanak incelemeleri, rotor aerodinamiği çalışmalarındaki pala – girdap etkileşimi incelemeleri ile benzerlik göstermektedir. Buna yönelik olarak, [Peng ve Gregory, 2015], ses altı bir rüzgâr tüneline gir görüntüleme ile tekil bir girdap ile NACA0012 profiline sahip bir kanadın etkileşimini incelemiştir. İki farklı serbest akım hızı kullanarak Reynolds sayısı etkisini ortaya koymuşlar ve girdap rotası başlangıcı için üç farklı konum kullanarak girdap etkileşimini kategorize etmişlerdir. Daha ileriki bir çalışmalarında aynı yazarlar [Peng ve Gregory, 2017], girdap kanat etkileşimi için simetri oluşturacak şekilde girdap rotası başlangıcı için iki farklı konum kullanmışlardır. Tekil girdap sağanağı çalışmalarında hesaplamalı incelemelere örnek olarak [Barnes ve Visbal, 2017] verilebilir; burada da NACA0012 kanat profili ele alınmış, oldukça düşük bir hücum açısı (4°) için $Re=200\ 000$ 'de üç farklı girdap rotası başlangıcı kullanılarak saat yönünde ve saat yönüne ters girdap türü sağanak etkileri incelenmiştir.

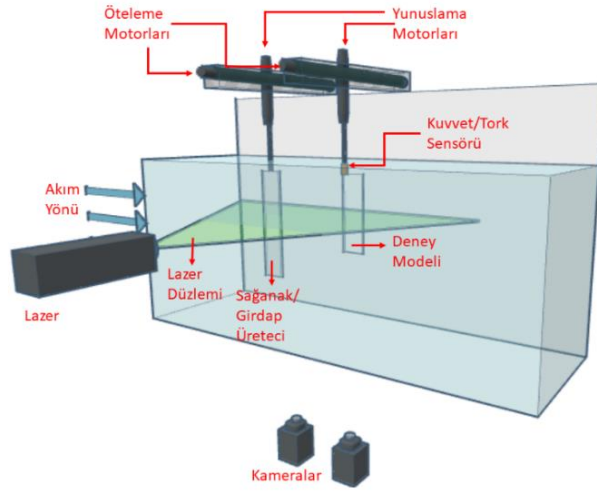
Yüksek şiddete ve veter mertebesinde genişliğe sahip girdap türü sürekli sağanakların deneysel olarak ele alınması ve kontrollü olarak oluşturulmasındaki zorluklar nedeni ile bu konudaki çalışmalar tekil girdap sağanakları üzerine olanlara göre oldukça azdır. [Rockwood ve Medina, 2019] bir çap uzunluğunda bir plaka bağlı dairesel silindirin salınması ile oluşan girdapların karakterizasyonuna odaklanmışlardır. [Engin vd., 2018] ise serbest akımı en az şekilde rahatsız edecek hareket profiline sahip çırpan bir kanadı girdap üretici olarak kullanmıştır. Sürekli girdap türü sağanağın NACA0012 profiline sahip bir kanatla etkileşimini inceleyen söz konusu bu iki inceleme sonuçları [Medina vd., 2020] çalışmasında karşılaştırılabilmiştir. Yine aynı çalışmada hesaplamalı yöntemlerle elde edilen sonuçların deneysel verilerle uyumu üzerinde de durulmuştur.

Bu çalışmada ise amaç tekil girdap kanat etkileşimi ile sürekli girdap kanat etkileşimi arasında bir köprü oluşturmak, modellemeye yönelik geçişi sağlamaktır. Buna yönelik olarak, detaylı olarak incelenmiş ve halen incelenmekte olan [Biler vd., 2021; Savran vd., 2020] tekil girdap türü sağanaklar ele alınmış ve değişik zaman aralıkları ile çoklu olarak oluşturularak kanat üzerindeki etkileri incelenmiştir. İncelemeler daha çok niceliksel akım görüntüleri ile yapılmış, eş zamanlı kuvvet ölçümleri ile desteklenmiştir.

YÖNTEM

Deneyler, İstanbul Teknik Üniversitesi, Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi Trisonik Laboratuvarı'nda bulunan büyük ölçekli, serbest yüzeyli su kanalında gerçekleştirilmiştir. Deney odası kesitleri $1010\text{mm} \times 790\text{mm}$ 'dir. Sağanak üretici ve kanat profili ince dikdörtgen düz plakadır ve su yüzeyine dik olarak yunuslama için kullanılan servo motorlara bağlanmıştır (Bkz. Şekil 1). Servo motorlar modellere yunuslama ile birlikte ötelenme hareketini de sağlamaktadır. Sağanak üretici olan düz plaka, servo motora orta ekseninden bağlı olup, istenilen tekil girdap türü sağanak sayısı kadar saat yönünde yarım tur attırılmaktadır. Bu sağanak üretimini sağlayan plakanın 5 mm kalınlığı, 100 mm veter uzunluğunu ve 500 mm açıklığı vardır ve hücum ve firar kenarları sivriltilmiştir. Kanat profili için kullanılan plakaya ise hücum kenarından bağlı olduğu servo motor ile hücum açısı ayarlamaları yapılabilmektedir ve bu plaka 5mm kalınlığa, 100 mm veter uzunluğuna ve 200 mm açıklığa sahiptir. Bu iki plaka da kullanılan deneysel metodun (Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçüm Sistemi) işlevselliği için ışık geçiren pleksiglastan üretilmiştir. Kanat modelinin orta kesit düzlemi 120 mJ/vuruş maksimum enerjiye sahip Nd-Yag lazeri ile aydınlatılmaktadır. Bu çalışmadaki tohumlama için ortalama $10\mu\text{m}$ çapında gümüş kaplı cam kürecikler tercih edilmiştir. Lazer ile aydınlatılan kesit alanının görüntü alımı için alana dik, 35 mm odak uzaklığına sahip lensler ile iki adet 10-bit ve 1600×1200 piksel çözünürlüğe sahip kamera yerleştirilmiştir. Sonuçlar, akım üstü tarafta olan tek kamera görüntülerine 32×32 piksellik pencere ve Dantec Adaptif PIV algoritması kullanılarak çapraz korelasyon uygulanması ile elde edilmiştir.

Görüntülerin kaydı sırasında eş zamanlı olarak 6 eksenli ATI NANO-25 IP68 kuvvet/tork sensöründen 1000 Hz'de veri alınmaktadır. Sensör kanadın servo motor bağlantı çubuğu üzerindedir. Deneyler incelenen her bir durumun 5 kez tekrarı ile gerçekleştirilmiştir. Dolayısıyla sunulan sonuçlar için öncelikle ortalama alınmış, sonrasında 1 Hz alt geçiren Butterworth filtre kullanılmıştır. Sonuç olarak kuvvet katsayısındaki belirsizlik ± 0.2083 olarak belirlenmiştir.



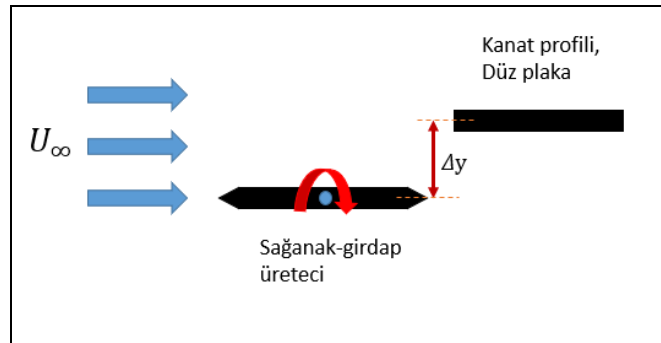
Şekil 1: Deneysel düzenek

UYGULAMALAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada deney odasındaki serbest akım hızı 0.1 m/s olarak ayarlanarak Reynolds sayısının 10 000 olması sağlanmıştır. Deney değişkenleri Tablo 1’de yer almaktadır. Üç farklı şiddette sağanak üretilmektedir; bunlar sağanak üreticinin saat yönünde attığı yarım turu tamamlama süresi değiştirilerek (3s, 4s, 6s) elde edilmektedir. Sürekli sağanak olarak, ardışık iki yarım tur atırılan (t_0) sağanak üretici ile üretilen girdaplar/sağanaklar incelenmiştir. Bu iki sağanak üretimi arasında çeşitli bekleme süreleri (t_1 veya t_2) kullanılmıştır.

Δy (mm)	h/c	T , yarım turu atma süresi	2.sağanak başlama anı		
			t_0	t_1	t_2
-111	-0.75	3s	3s	6s	12s
		4s	4s	8s	12s
		6s	6s		12s
-36	0	3s	3s	6s	12s
		4s	4s	8s	12s
		6s	6s		12s

Tablo 1: Deney değişkenleri

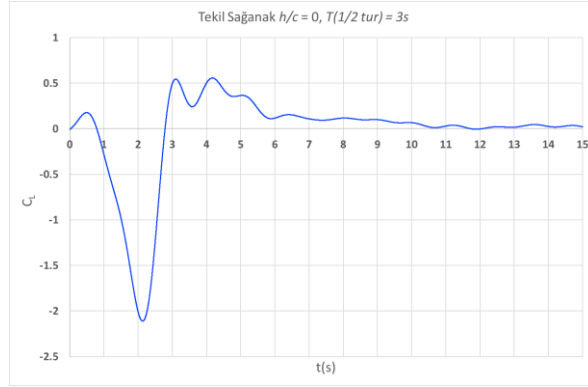


Şekil 2: Kameraların gördüğü kesit alanı

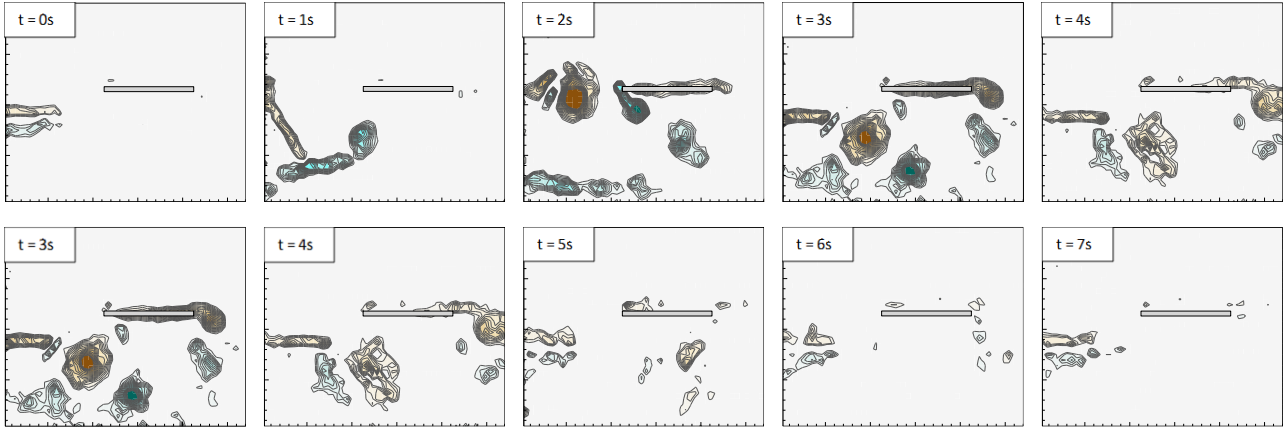
Diğer bir değişken ise oluşturulan girdap türü sağanak merkezi ile kanat arasında serbest akıma dik doğrultudaki uzaklıktır, bu uzaklığın çeşitliliği sayesinde değişik seviye kanat-girdap etkileşimi gözlemlenmek mümkün olmaktadır [Peng ve Gregory, 2015]. Uzak etkileşim için girdap ve kanat arasındaki bu uzaklık kanat veterine oranı $h/c = -0.75$ olarak ele alınıp incelemeler yapılmıştır. Yakın etkileşimin gözlemlenebilmesi için aralarındaki uzaklık 0 mm iken, yani h/c oranı 0 iken, deneyler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca sürekli iki sağanakın tekrar edebilir olup olmadığının anlaşılması için aynı değişkenliklerde tekil sağanaklar ve etkileri de incelenmiştir.

Bulgular çok benzer olduğu için tekil sağanak durumundan çoklu sağanak durumuna geçişteki etkiler, $T(1/2 \text{ tur}) = 3s$ sağanak üzerinden örneklenerek verilecektir. Şekil 3’de, $h/c=0$ için $T(1/2 \text{ tur}) = 3s$ olup tekil sağanak maruz kalan kanatta taşıma kat sayısının zamana göre değişimi görülmektedir. Sağanak üretici harekete başladıktan hemen sonra, kuvvet katsayısı değişiminde ufak bir pozitif tepe, sonrasında ise 2s civarında en yüksek negatif değerine ulaşacak bir düşüş görülmektedir. Kuvvet katsayısı değeri daha sonra benzer bir eğimle yükselmekte, ancak sağanak öncesindeki $C_L = 0$ değerini aşarak geniş pozitif bir tepe yapmaktadır. Bunu izleyen zamanlarda sağanak etkisi kaybolmakta ve kuvvet katsayısı sıfıra yakınsamaktadır. Şekil 4’de ise sağanak etkisi ile akış yapılarının nasıl değiştiği görülmektedir. Bu tip görüntülerde kahverengi-kırmızı tonlar negatif girdabı simgelerken mavi-yeşil tonlar pozitif girdabı simgelemektedir. Kuvvet katsayısındaki

ilk pozitif tepe sağanak üreticinin hareketinin başında oluşan ve kanada uzak ilerleyen pozitif girdap nedeni ile oluşmaktadır ve girdap çifti oluşum sıkıntısı yaşanmayan sayısal çalışmalarda görülmemektedir [Barnes ve Visbal, 2017]. Öte yandan esas sağanak etkisi negatif girdabın kanada yaklaşması ile yaşanmaktadır. Negatif girdap kanada doğru ilerlerken hücum kenarından pozitif bir girdap oluşumuna sebep olmaktadır. Bu hücum kenarı girdabı kanattan ayrılırken maksimum etki yaşanmakta, kuvvet katsayısı minimum değerine ulaşmaktadır. Sağanak ve hücum kenarından ayrılan girdap çiftinin görüntülerde aşağı doğru yönelmesi ile kuvvet katsayısı toparlanmakta, ancak bu sefer firar kenarından oluşan girdapla beraber pozitif değerlere ulaşmaktadır. Firar kenarından oluşan girdabın kopması ile birlikte, 4s sonrasında, akış yapıları sağanak öncesi duruma dönmektedir.



Şekil 3: $h/c=0$, $T(1/2 \text{ tur}) = 3s$ için tekil sağanaka maruz kalan kanatta taşıma katsayısının zamana göre değişimi



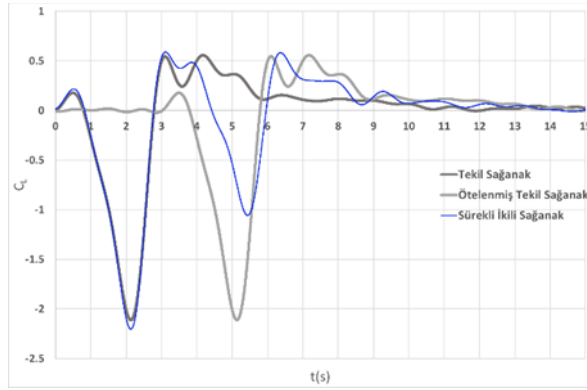
Şekil 4: $h/c=0$, $T(1/2 \text{ tur}) = 3s$ için tekil sağanak kanat etkileşimi ve akış yapıları

Aynı tekil sağanağın ardışık üretilmesi durumunda, kuvvet katsayısı değişimi Şekil 5'de, akış yapıları ise Şekil 6'da görülmektedir. İlk anlarda ($3s < t < 4s$) büyük bir farklılık görülmemekle birlikte, taşıma katsayısı sağanak etkisi ile ikinci pozitif tepe bölgesini tamamlayamadan ikinci sağanağın etkisi ile negatif düşüşe geçmektedir. Maksimum etki daha az ve zamanda biraz ötelenmiş olarak görülmektedir. Nitekim 2s ve 5s anlarındaki akış yapılarına bakılacak olursa sağanak etkisi ile hücum kenarı girdabının oluşumundaki farklılık net olarak anlaşılmaktadır ve kuvvet değişimindeki farklılıkla uyumludur. Sonuçta ikinci sağanak kanat ilkinin etkilerinden tam olarak arınmadan önce etkisini göstermiştir. Ancak ötelenmiş tekil sağanak eğrisine bakıldığında ikinci sağanak etkilerinin sanki tekilmiş gibi maksimum etki anından sonra benzer davranış gösterdiği söylenebilir. Maksimum etki anında ve sonrasında görülen hafif faz farkı da çok hızlı olarak sıfırlanmaktadır.

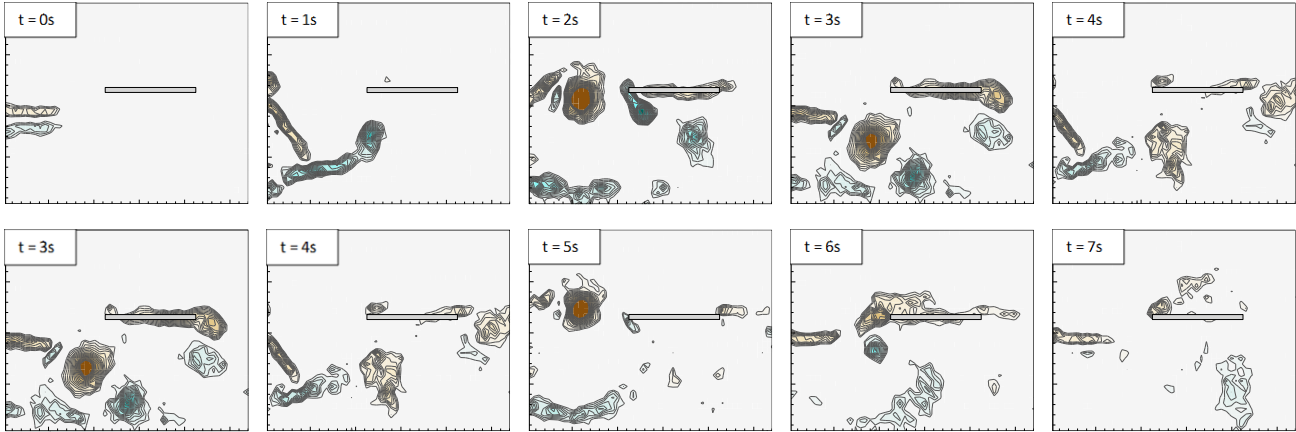
İkinci sağanağın ardışık yerine bir sağanak oluşum periyodu sonrasında gönderilmesi durumu, kuvvet katsayısı değişimi açısından Şekil 7'de, akış yapıları açısından ise Şekil 8'de verilmiştir. Her

ne kadar kanat ilk sağanak etkisi tam geçmeden ikinci sağanak etkisini yaşamaya başlasa da ikinci etki hem kuvvet değişimi açısından hem akış yapıları açısından son derece benzerlik göstermektedir. Kuvvette ve akış yapılarında uyumlu ve çok kısa sürede sıfırlanan bir faz farkı bu incelemede de mevcuttur.

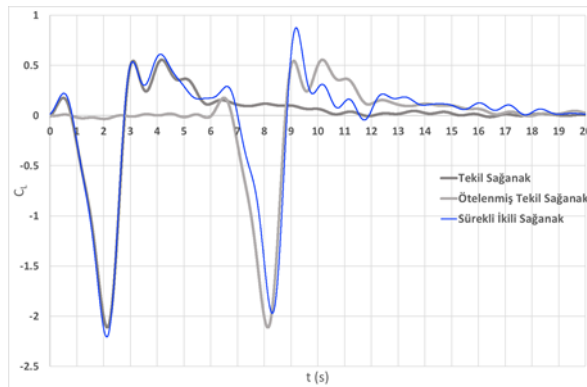
Bu sonuçlar ışığında ikinci sağanağın iki sağanak oluşum periyodu sonrasında gönderilmesi durumunda ise iki sağanak etkisinin tümüyle eşdeğer olması beklenmektedir. Nitekim bu duruma ait kuvvet katsayısı değişimi Şekil 9'da, akış yapıları ise Şekil 10'da görülmektedir ve görsellerde bariz bir farklılık bulunmamaktadır.



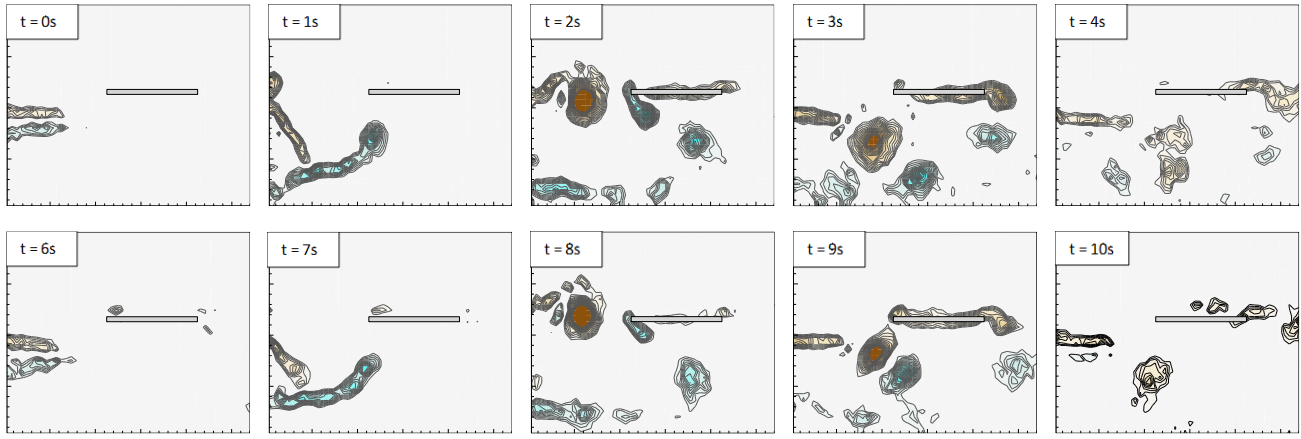
Şekil 5: $h/c=0$, $T(1/2 \text{ tur}) = 3s$ için 3.saniyede (t_0 durumu) ikinci sağanağa maruz kalan kanatta taşıma katsayısının zamana göre değişimi



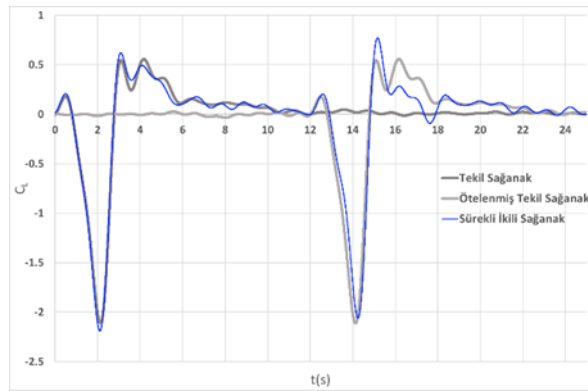
Şekil 6: $h/c=0$, $T(1/2 \text{ tur}) = 3s$ için 3.saniyede (t_0 durumu) ikinci sağanak üretiminin başlamasıyla kanat girdap etkileşimi



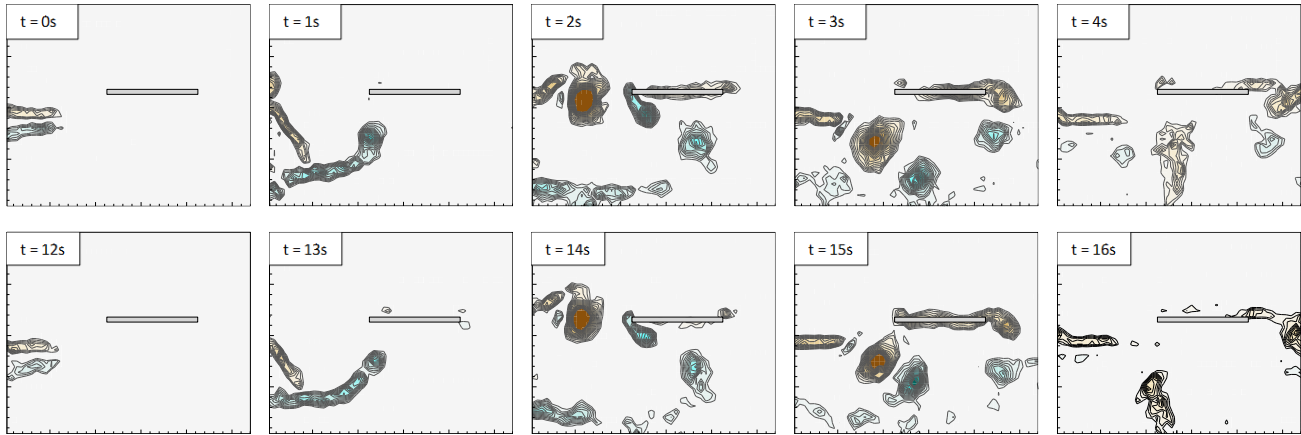
Şekil 7: $h/c=0$, $T(1/2 \text{ tur}) = 3s$ için 6.saniyede (t_1 durumu) ikinci sağanağa maruz kalan kanatta taşıma katsayısının zamana göre değişimi



Şekil 8: $h/c=0$, $T(1/2 \text{ tur}) = 3s$ için 6.saniyede (t_1 durumu) ikinci sağanak üretiminin başlamasıyla kanat girdap etkileşim



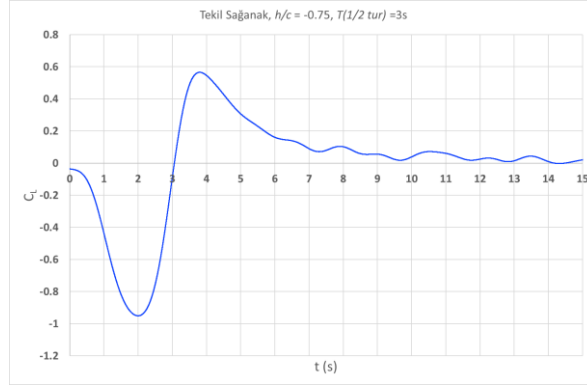
Şekil 9: $h/c=0$, $T(1/2 \text{ tur}) = 3s$ için 12.saniyede (t_2 durumu) ikinci sağanağa maruz kalan kanatta taşıma katsayısının zamana göre değişimi



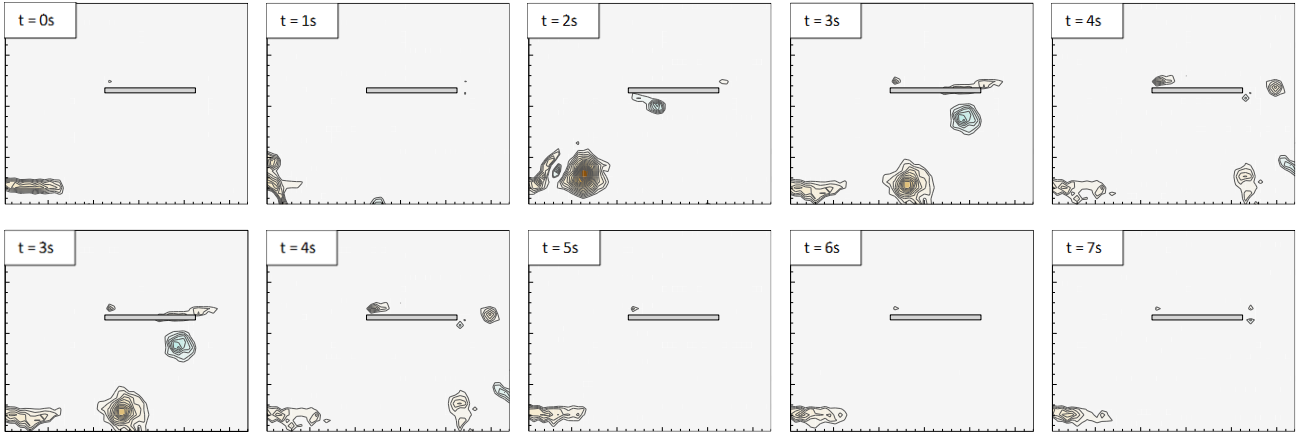
Şekil 10: $h/c=0$, $T(1/2 \text{ tur}) = 3s$ için 12.saniyede (t_2 durumu) ikinci sağanak üretiminin başlamasıyla kanat girdap etkileşimi

Bu noktaya kadar ikinci sağanak zamanlamasının etkileri incelenmiş olup, bundan sonra elde edilmiş olan bulguların girdap tipi sağanağın kanada göre daha az bir etki göstereceği uzak bir hattan gelme durumu incelenecektir. Şekil 11'de, $h/c=-0.75$ için $T(1/2 \text{ tur}) = 3s$ olup tekil sağanağa maruz kalan kanatta taşıma kat sayısının zamana göre değişimi görülmektedir. Şekil 12'de ise sağanak etkisi ile akış yapılarının nasıl değiştiği görülmektedir. Sağanak üreticinden hareketinin ilk anlarında oluşup kuvvetteki etkisini daha önceki durumda ufak bir pozitif tepe olarak gösteren pozitif girdap artık kanadın etki alanının çok dışında kalmaktadır, hatta elde edilen PIV görüntülerinde görülmemektedir. Dolayısıyla Şekil 11'de kuvvette pozitif ufak tepeye rastlanmamaktadır. Buna karşın kuvvette sağanak ana etkisi olarak görülen negatif çukur şiddetini

yitirmiştir. Bununla ilişkili olarak sağanak etkisi ile oluşan pozitif hücum kenarı girdabı zayıf ve küçüktür; kopması ile birlikte de kanat üst yüzeyinde düşük şiddette negatif bir hücum kenarı girdabı görülmektedir. Bunun sonucu olarak da, akış yapıları ve kuvvet katsayısı sağanak etkisi öncesine dönmeden, küçük de olsa bu negatif girdap maksimum boyutuna eriştiği 4s civarında taşıma katsayısı yine pozitif bir tepe oluşumu göstermektedir.



Şekil 11: $h/c = -0.75$, $T(1/2 \text{ tur}) = 3s$ için tekil sağanağa maruz kalan kanatta taşıma katsayısının zamana göre değişimi



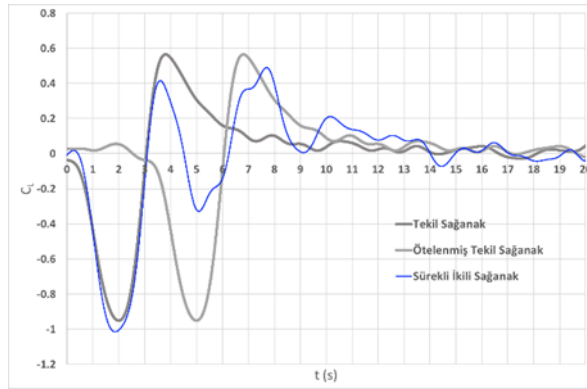
Şekil 12: $h/c = -0.75$, $T(1/2 \text{ tur}) = 3s$ için tekil sağanak kanat etkileşimi ve akış yapıları

Aynı tekil sağanağın ardışık üretilmesi durumunda, kuvvet katsayısı değişimi Şekil 13'de, akış yapıları ise Şekil 14'de görülmektedir. Yine ilk anlarda ($3s < t < 4s$) büyük bir farklılık görülmediği söylenebilir. Bu durumda da, taşıma katsayısı sağanak etkisi ile ikinci pozitif tepe bölgesini tamamlayamadan ikinci sağanağın etkisi ile negatif düşüşe geçmektedir. Daha önce $h/c = -0.75$ için azaldığı belirtilen maksimum etki daha da ve çok az görülmektedir. Nitekim 2s ve 5s anlarındaki akış yapılarına bakılacak olursa sağanak etkisi ile pozitif hücum kenarı girdabının artık oluşmadığı açıktır.

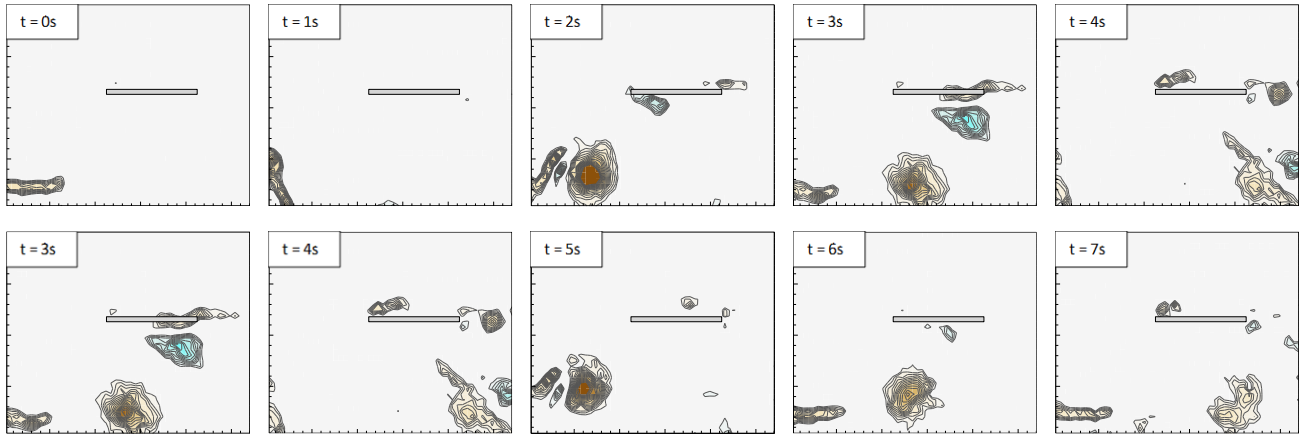
İkinci sağanağın ardışık yerine bir sağanak oluşum periyodu sonrasında gönderilmesi durumu, kuvvet katsayısı değişimi açısından Şekil 15'de, akış yapıları açısından ise Şekil 16'da verilmiştir. Her ne kadar kanat ilk sağanak etkisi tam geçmeden ikinci sağanak etkisini yaşamaya başlasa da her iki sağanak etkisi de, hem kuvvet hem akış yapıları arasında fark hissedilmeyecek derece küçük olduğundan eşdeğer kabul edilebilir. Bu sonuçlardan sonra, ikinci sağanağın iki sağanak oluşum periyodu sonrasında gönderilmesi durumunda ilk ve ikinci sağanak etkisinin etkileşimi olması beklenmemektedir. Nitekim bu duruma ait kuvvet katsayısı değişimi Şekil 17'de, akış yapıları ise Şekil 18'de görülmektedir ve her iki sağanak etkisinin de eşdeğer olduğu ve kanadı tekil bir sağanak gibi etkiledikleri söylenebilir.

Değişik sağanak oluşum sürelerinin yani sağanak üreticinin yarım tur dönüş hızının tekil ve çoklu sağanak durumlarında nasıl farklılık gösterdiği ayrıca incelenmiş olup, karşılaştırmalı sonuçlar tekil

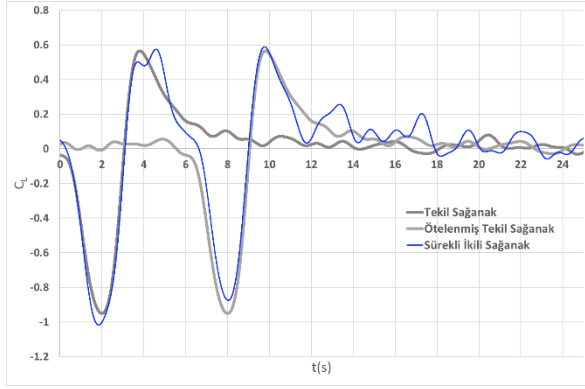
sağanak için Şekil 19'da, çoklu sağanak için Şekil 20'de verilmektedir. Bu şekillerde incelenen, sağanak etkisinin daha yüksek olduğu ve yakın karşılaşmayı temsil eden $h/c=0$ durumudur. Şekil 19'da görüldüğü gibi maksimum etki seviyesi yakın olsa da taşıma katsayısındaki değişim hızı sağanak oluşum süresi kıaldıkça ($T(1/2 \text{ tur})$ azaldıkça) artmaktadır. Çok az da olsa (kuvvet duyargasının belirsizliği mertebesinde) sağanak oluşum süresinin kısalması ile maksimum etki seviyesinin de arttığı söylenebilir. Sağanak üreticinin hareket başlangıcı esas alındığında, farklı dönüş hızları kullanılarak yapılan deneylerde aynı ana bakıldığında, sağanak oluşum süresinin azalmasıyla girdap yapılarının oluşumunun sanki aynı deneydeymiş gibi bir birini takip ettiği görülmektedir. Bu gözlem, taşımadaki maksimum sapmanın zaman içerisindeki oluşum anının kayması ile uyumludur. Çoklu sağanak durumunda ise sağanak oluşum süresi kıaldıkça, ikinci etkinin ilkiyle etkileşimi artmakta ve ikinci sağanak etkisinde maksimum sapma değeri ilkinin göre azalmaktadır. Burada da farklı dönüş hızları kullanılarak yapılan deneylerde aynı ana bakıldığında, benzer olarak sağanak oluşum süresinin azalmasıyla girdap yapılarının oluşumu sanki aynı deneydeymiş gibi bir birini takip etmektedir.



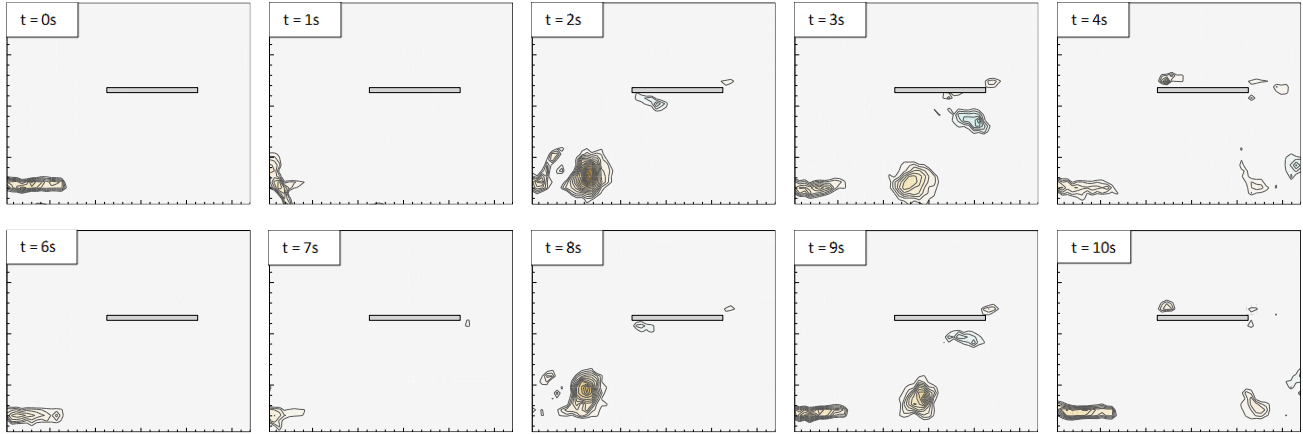
Şekil 13: $h/c = -0.75$, $T(1/2 \text{ tur}) = 3s$ için 3.saniyede (t_0 durumu) ikinci sağanığa maruz kalan kanatta taşıma katsayısının zamana göre değişimi



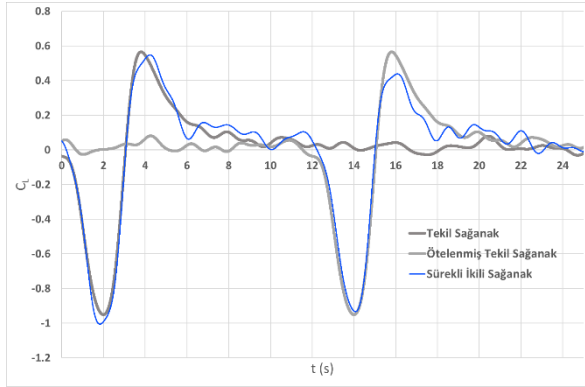
Şekil 14: $h/c = -0.75$, $T(1/2 \text{ tur}) = 3s$ için 3.saniyede (t_0 durumu) ikinci sağanak üretiminin başlamasıyla kanat girdap etkileşimi



Şekil 15: $h/c = -0.75$, $T(1/2 \text{ tur}) = 3s$ için 6.saniyede (t_1 durumu) ikinci sağanağa maruz kalan kanatta taşıma katsayısının zamana göre değişimi



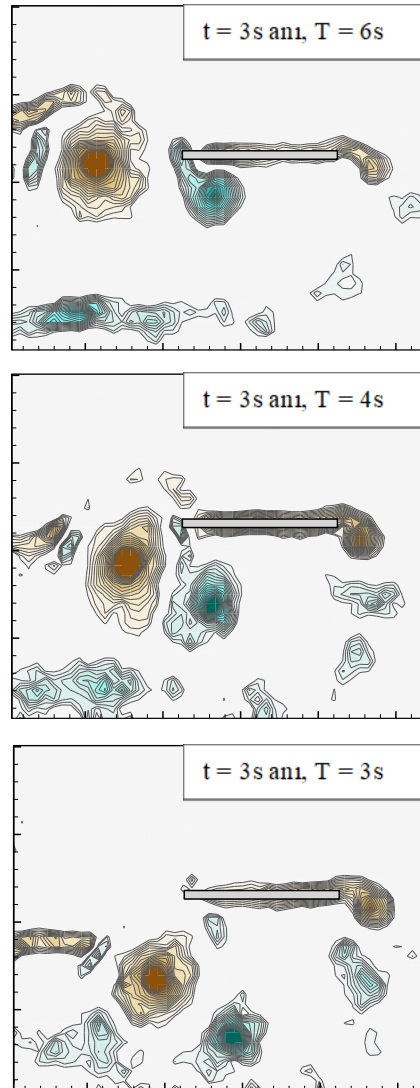
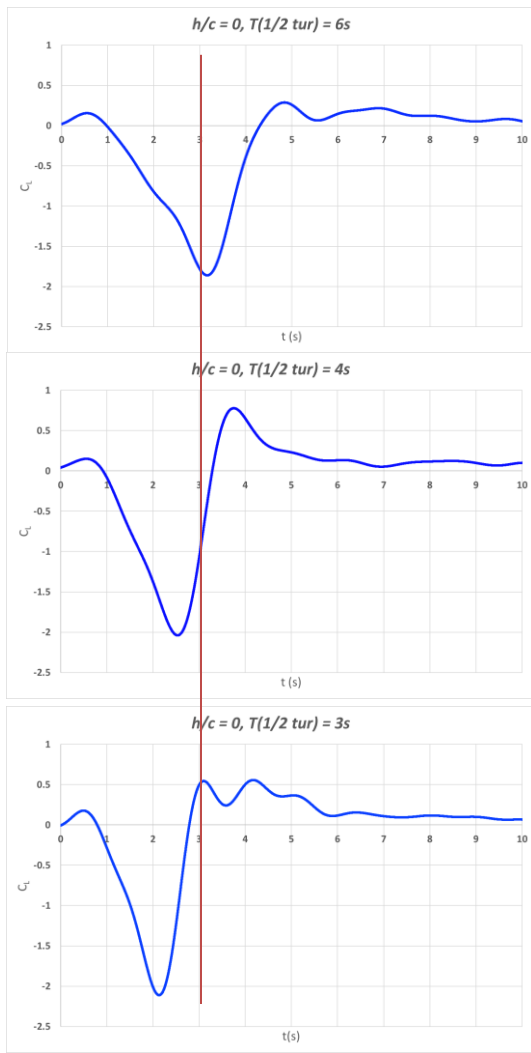
Şekil 16: $h/c = -0.75$, $T(1/2 \text{ tur}) = 3s$ için 6.saniyede (t_1 durumu) ikinci sağanak üretiminin başlamasıyla kanat girdap etkileşimi



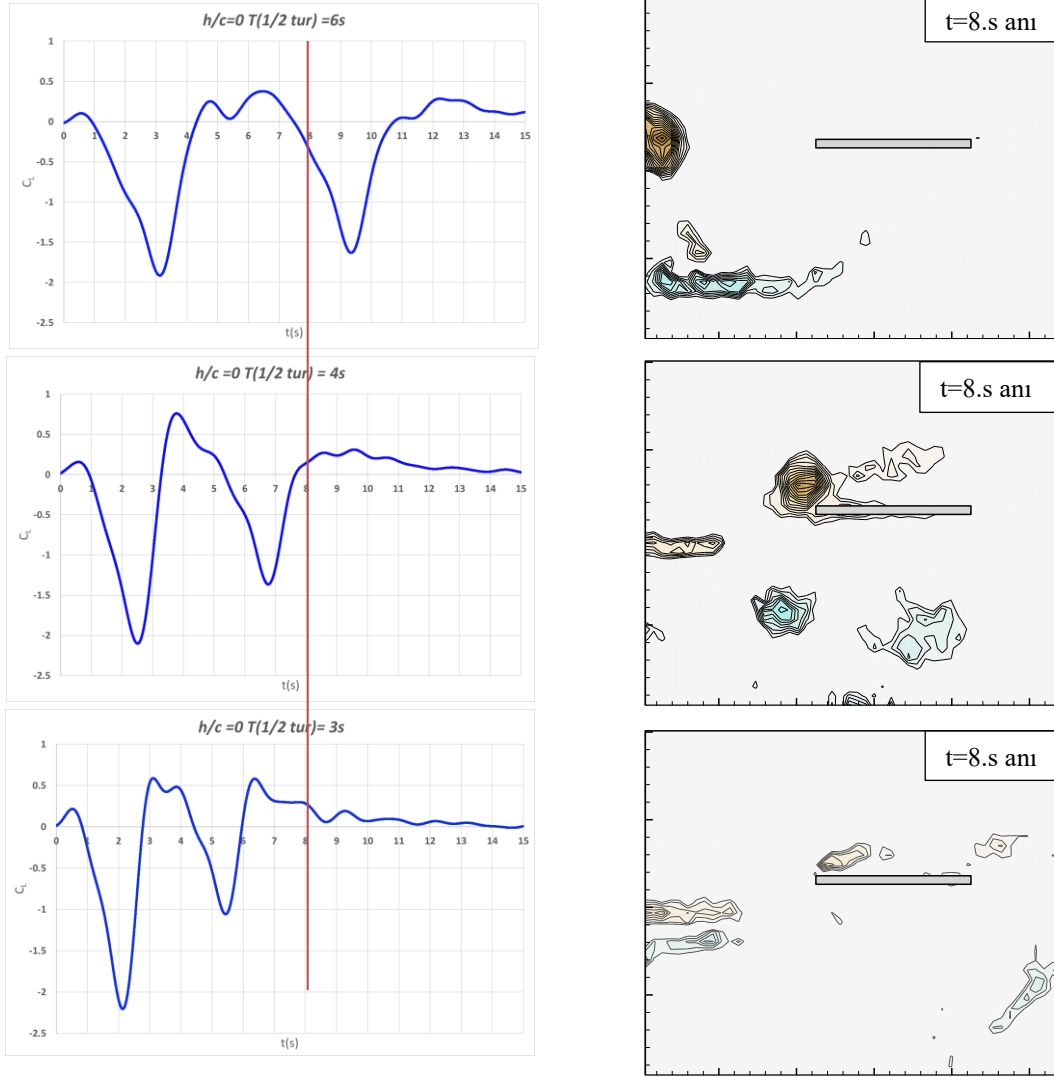
Şekil 17: $h/c = -0.75$, $T(1/2 \text{ tur}) = 3s$ için 12.saniyede (t_2 durumu) ikinci sağanağa maruz kalan kanatta taşıma katsayısının zamana göre değişimi



Şekil 18: $h/c = -0.75$, $T(1/2 \text{ tur}) = 3s$ için 12.saniyede (t_2 durumu) ikinci sağanak üretiminin başlamasıyla kanat girdap etkileşimi



Şekil 19: Tekil sağanak durumunda farklı sağanak oluşum sürelerinin taşıma katsayısı değişimine ve akış yapılarına etkisi



Şekil 20: Çoklu sağanak durumunda farklı sağanak oluşum sürelerinin taşıma katsayısı değişimine ve akış yapılarına etkisi

SONUÇ

Bu çalışmada tekil girdap türü sağanaklar ele alınmış ve değişik zaman aralıkları ile çoklu olarak oluşturularak kanat üzerindeki etkileri incelenmiştir. İncelemeler daha çok niceliksel akım görüntüleri ile yapılmış, eş zamanlı kuvvet ölçümleri ile desteklenmiştir.

Karşılaştırma açısından tekil sağanak durumu ele alınmış olsa da incelemelerde esas olarak aynı özellikteki girdabın değişik aralıklarla çoklu oluşturulması ve kanatla etkileşimi üzerinde durulmuştur. Elde edilen öncül sonuçlara göre

- Aynı tekil sağanağın ardışık üretilmesi durumunda, ilk anlarda büyük bir farklılık görülmemekle birlikte, taşıma katsayısı sağanak etkisi ile ikinci pozitif tepe bölgesini tamamlayamadan ikinci sağanağın etkisi ile negatif düşüşe geçmektedir. Maksimum etki daha az ve zamanda biraz ötelenmiş olarak görülmektedir. Sonuçta ikinci sağanak kanat ilkinin etkilerinden tam olarak arınmadan önce etkisini göstermiştir. Ancak ötelenmiş tekil sağanak eğrisine bakıldığında ikinci sağanak etkilerinin sanki tekilmiş gibi maksimum etki anından sonra benzer davranış gösterdiği söylenebilir.
- İkinci sağanağın ardışık yerine bir sağanak oluşum periyodu sonrasında gönderilmesi durumunda, her ne kadar kanat ilk sağanak etkisi tam geçmeden ikinci sağanak etkisini yaşamaya başlasa da ikinci etki hem kuvvet değişimi açısından hem akış yapıları açısından son derece benzerlik göstermektedir. Hatta sağanağın kanadın yakın etki alanından

geçmediği durumlarda her iki sağanak etkisi de, hem kuvvet hem akış yapıları arasında fark hissedilmeyecek derece küçük olduğundan eşdeğer kabul edilebilir.

- Tüm incelemelerde, ikinci sağanağın iki sağanak oluşum periyodu sonrasında gönderilmesi durumunda ise iki sağanak etkisinin tümüyle eşdeğer olduğu söylenebilir.
- Değişik sağanak oluşum süreleri karşılaştırıldığında, maksimum etki seviyesi yakın olsa da taşıma katsayısındaki değişim hızı sağanak oluşum süresi kısaldıkça ($T(1/2)$ tur) azaldıkça) artmaktadır. Çok az da olsa sağanak oluşum süresinin kısalması ile maksimum etki seviyesinin de arttığı söylenebilir.

Kaynaklar

- Atassi, H.M., 1984. *The Sears problem for a lifting airfoil revisited—new results*. J. Fluid Mechanics 141:109–22.
- 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.
- EASA (E.U. Aviat. Saf. Agency). 2020. *Certification specifications for normal-category aeroplanes and acceptable means of compliance and guidance material to the certification specifications for normal-category aeroplanes*. Certif. Specif. CS-23, EASA, Cologne, Ger.
- 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*, 2018 Fluid Dynamics Conference, AIAA 2018-3086.
- Goldstein, M.E., Atassi, H., 1976. *A complete second-order theory for the unsteady flow about an airfoil due to a periodic gust*. J. Fluid Mechanics 74(04):741–65.
- Jones, A.R., Cetiner, O. ve Smith, M., 2022. *Physics and Modeling of Large Flow Disturbances: Discrete Gust Encounters for Modern Air Vehicles*, Annual Review of Fluid Mechanics 54:1, 469-493.
- Peng, D., Gregory J.W., 2015. *Vortex dynamics during blade-vortex interactions*, Physics of Fluids 27, 053104 (2015).
- Peng, D., Gregory J.W., 2017. *Asymmetric distributions in pressure/load fluctuation levels during blade-vortex interactions*, Journal of Fluids and Structures, 68(2017), 58-71.
- Rockwood, M., Medina A., 2020. *Controlled generation of periodic vortical gusts by the rotational oscillation of a circular cylinder and attached plate*, Experiments in Fluids 61:65.
- 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.
- USDOD (U.S. Dep. Def.). 1980. *Flying qualities of flying airplanes*. Mil. Spec. MIL-F-8785C, DOD, Washington, DC.
- von Karman T., Sears W., 1938. *Airfoil theory for non-uniform motion*. J. Aeronaut. Sci. 5:379–90.
- Zaloglu, B., Saritaş, M., Çetiner, O., Medina, A., ve Gözükar, A. C., 2020. *On the effects of discrete and continuous vortex-gust counters*, AIAA Scitech .