

GİRDAP TÜRÜ TEKİL SAĞANAKLARIN KARAKTERİZASYONU

Bora Tilki¹, Murat Sarıtaş², Okşan Çetiner³
İstanbul Teknik Üniversitesi, Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, İstanbul

ÖZET

Bu çalışmada deneysel oluşturulan girdap türü sağanağın karakterizasyonuna yönelik olarak sistematik ve bir modele dayalı şekilde girdabın genişliği ve şiddetinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Deneyler serbest yüzeye sahip su kanalında, serbest akım hızı $Re=10\ 000$ olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçer Sistemi kullanılarak, kanat modeli olmadığı ve olduğu durumlarda girdap üretici iz bölgesindeki hız ve dolayısıyla girdaplılık alanları nicel olarak elde edilmiştir. Girdap üreticinin dönüş hızı değiştirilerek kanada yaklaşan girdap türü sağanağın şiddeti kontrol edilmiştir. Girdap üreticinin üç farklı dönüş hızı için Taylor ve Lamb-Oseen girdap modelleri kullanılarak sağanak karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir. Üretilen girdapların daha çok Lamb-Oseen türde olduğu anlaşılmıştır. Deneylerde girdap üreticinin akım altında kanat da kullanılarak kanat-girdap etkileşimi de incelenmiş, belirlenen sağanak özelliklerinin nerede nasıl değiştiği ortaya konmaya çalışılmıştır. Girdap türü sağanağın şiddeti belirlenirken kanadın olmadığı durumlarda girdap üreticiden ilk oluşan ters yönlü girdapla etkileşimin, kanadın olduğu durumlarda ise sağanak etkisi ile kanat hücum kenarı girdabı ile etkileşimin göz önüne alınması gerektiği sonucuna varılmıştır. Bu nedenle girdap türü sağanağın üst akım bölgesi tarafındaki akıma dik yönlü hızların da dikkate alınması gerekmektedir. Bu çalışmada ayrıca girdap türü sağanağın akım yönünde ilerleme hızı belirlenmiş, kanadın varlığında bu yaklaşma hızının azaldığı görülmüştür. Ayrıca sanıldığı aksine girdap oluşum süresi uzadıkça girdap şiddeti artmaktadır.

GİRİŞ

Girdap kanat etkileşimleri özellikle helikopter aerodinamiği dolayısıyla uzun zamandır çalışılan bir konudur. Güncel olarak sağanak etkilerinin araştırıldığı çalışmalarda [Jones ve Çetiner, 2021], girdap türü sağanak üç ana inceleme kategorisinden birini oluşturmaktadır. Gerçekte karşılaşılan sağanakların hem akışa dik hem akış yönlü bileşenlerinin olması, dolayısıyla benzetimdeki yakınlık girdap türü sağanak incelemelerinin önemini ortaya koymaktadır. Ancak günümüze dek, özellikle akıma dik doğrultulu sağanıklara göre, deneysel olarak düzgün, tanımlı ve yüksek şiddete ve genişliğe sahip girdap türü sağanak oluşturulmasında çeşitli zorluklar yaşanmıştır; modelin girdap üreticilerinden çok uzakta yer alması deney hacminde istenen büyüklükte bir sağanak gözlemlenememesine, yakında yer alması ise girdap kanat etkileşimi ile net bir girdap yapısının elde edilememesine yol açmıştır. Bu durum özellikle sürekli sağanak incelemelerinde göze çarpmaktadır.

Sağanak etkilerinin incelendiği çalışmalarda, her ne kadar akıma dik yönlü türü esas olarak belirlenmişse de sağanak şiddeti ve genişliği ile tanımlanmaktadır [Jones vd., 2022]. Buna göre şiddet boyutsuz olarak, sağanak oranı, maksimum sağanak hızının serbest akım hızına oranı

¹ Yüksek Lisans öğrencisi, E-posta: tilki15@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

($GR=V/U_\infty$) şeklinde tanımlanmaktadır. Boyutsuz sağanak karşılaşma genişliği (We) ise sağanak hız profili değişim mesafesi (H) ile veter uzunluğunun (c) oranından ($We = H/c$) elde edilmektedir.

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. Bu çalışmada girdaplar için Taylor modeli kullanılmış, girdap boyutu ve şiddeti belirlenmiştir. Deneysel incelemeler için, girdap üretimi ve karakterizasyonu, rotor aerodinamiği çalışmalarındaki pala – girdap etkileşimi incelemesine yönelik gerçekleştirilmiş olan [Peng ve Gregory, 2015] çalışması örnek olarak gösterilebilir. Bu incelemede, ses altı bir rüzgâr tüneline akım görüntüleme ile tekil bir girdap ile NACA0012 profiline sahip bir kanadın etkileşimi ele alınmıştır. 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 çalışmada aynı yazarlar [Peng ve Gregory, 2017], girdap kanat etkileşimi için simetri oluşturacak şekilde girdap rotası başlangıcı için iki farklı konum kullanmışlardır. [Peng ve Gregory, 2015] incelemelerinin başında üretilen girdabın karakterizasyonunu rotor aerodinamiğine uygun Scully'den Oseen-Lamb tipe değişen girdapları temsil edecek şekilde [Vatistas ve Kozel, 1991] modelini kullanarak gerçekleştirmişlerdir.

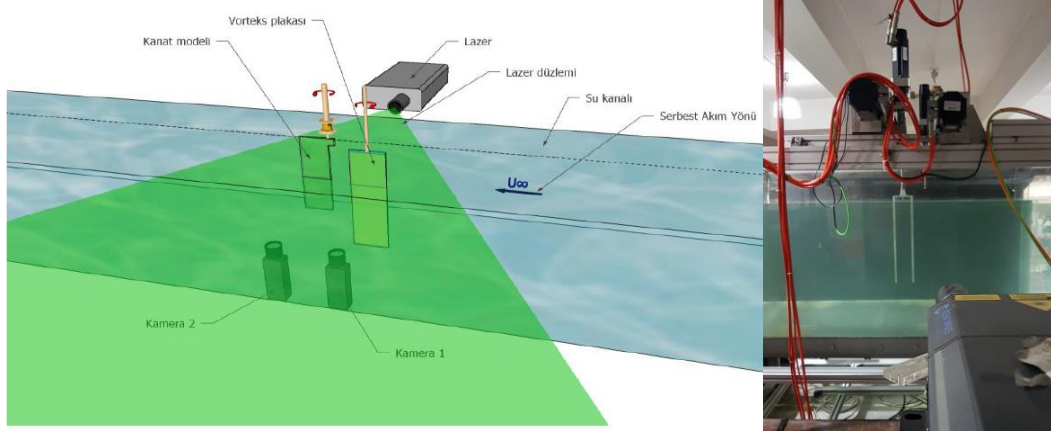
Bu çalışmada deneysel oluşturulan girdap türü sağanağın karakterizasyonuna yönelik olarak sistematik ve bir modele dayalı şekilde girdabın genişliği ve şiddetinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu konuda yapılan öncül çalışmalarda [Tilki vd., 2020; Savran vd., 2020] Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçer Sistemi kullanılarak sağanak etkisi altında akım yapıları incelenmiş olup, parametre değer seçimleri bu çalışmaların sonuçlarından elde edilen bilgi ile gerçekleştirilmiştir. Bu incelemede de benzer olarak Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçer Sistemi kullanılarak, kanat modeli olmadığı ve olduğu durumlarda girdap üretici iz bölgesindeki hız ve dolayısıyla girdaplılık alanları nicel olarak elde edilmiştir. Girdap üreticinin üç farklı dönüş hızı için Taylor ve Lamb-Oseen girdap modelleri kullanılarak sağanak karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir. Deneylerde girdap üreticinin akım altında kanat da kullanılarak kanat-girdap etkileşimi de incelenmiş, belirlenen sağanak özelliklerinin nerede nasıl değiştiği ortaya konmaya çalışılmıştır.

YÖNTEM

Deney Düzeneği

Deneyler, İTÜ Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Trisonik 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.

Girdap üretici pleksiglastan üretilmiş, 5 mm kalınlığa, 100 mm veter uzunluğuna ve 400 mm kanat açıklığına sahip düz bir levhadır. Hücum ve firar kenarları iki yönde 45° açı ile sivriltilmiş olup kama şeklindedir. Bu girdap üretici levha orta ekseninden dönme hareketini sağlayan Kollmorgen/Danaher marka bir servo motora bağlıdır. Deneylerin ikinci aşamasında girdap üretici akım altında kanat modeli kullanılmıştır; bu model de yine pleksiglastan üretilmiş keskin köşeli dikdörtgen şeklinde düz plakadır ve 5 mm kalınlığına, 100 mm veter uzunluğuna ve 200 mm kanat açıklığına sahiptir. Kanat modeli hücum kenarından aynı marka başka bir servo motora bağlıdır ve bu şekilde değişik hücum açılarına getirilebilmektedir. Hem girdap üreticinin hem modelin bağlı olduğu servo motorlar ötelenme hareketinin verildiği iki lineer tablaya bağlıdır ve birbirlerine göre konumlandırılmaları bu şekilde sağlanmaktadır. Deney düzeneği Şekil 1'de gösterilmektedir.

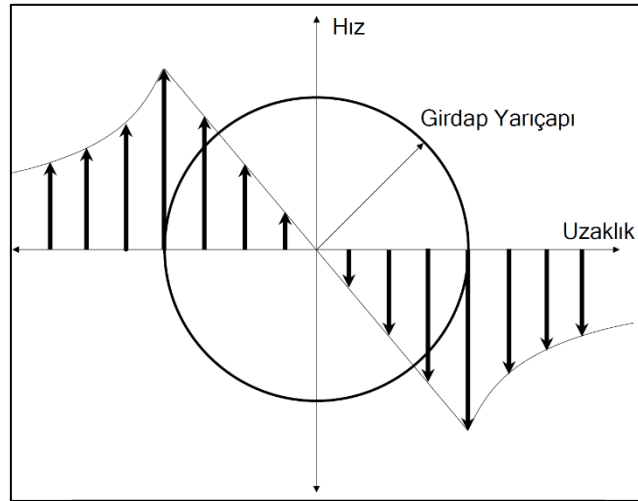


Şekil 1: Deney düzeneği

Üretilen girdabın karakterizasyonu için Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçüm Sistemi kullanılarak niceliksel akım görüntüleme gerçekleştirilmiştir. Bunun için 120 mJ/vuruş maksimum enerjiye sahip Nd-Yag lazeri ile aydınlatma yapılmış, tohumlama için ortalama 10µm çapında gümüş kaplı cam kürecikler kullanılmıştır. Akış alanı görüntüleri 8-bit ve 1600 × 1200 piksel çözünürlüğe sahip kamera ile kaydedilmiştir. Analiz sonuçları, akım üstü tarafta olan tek kamera görüntülerine 32 × 32 piksellik pencere ve Dantec Adaptif PIV algoritması kullanılarak çapraz korelasyon uygulanması ile elde edilmiştir.

Girdap Karakterizasyonu

Bir girdap taslak olarak Şekil 2'deki gibi düşünülürse girdabın oluşturduğu maksimum teğetsel hızın miktarı ve merkeze ($u=v=0$ olan nokta) göre nerede yer aldığı önemlidir.



Şekil 2: Taslak olarak bir girdap ve üzerindeki hız değişimi

Bu çalışmada deneysel olarak elde edilen verilere Taylor (Denklem 1) [Barnes ve Visbal, 2017] ve Lamb-Oseen (Denklem 2) [Fabre vd., 2006] modelleri kullanılarak değişim eğrileri oturtulmuştur.

$$\text{Taylor:} \quad U_v = \left(\frac{U_{rc}}{0.606531} \right) \bar{r} * e^{-\frac{\bar{r}^2}{2}}, \quad \bar{r} = r/r_c \quad (1)$$

$$\text{Lamb-Oseen:} \quad U_v = \left(\frac{1}{1-e^{-1}} \right) U_{rc} \frac{1-e^{-\bar{r}^2}}{\bar{r}}, \quad \bar{r} = r/r_c \quad (2)$$

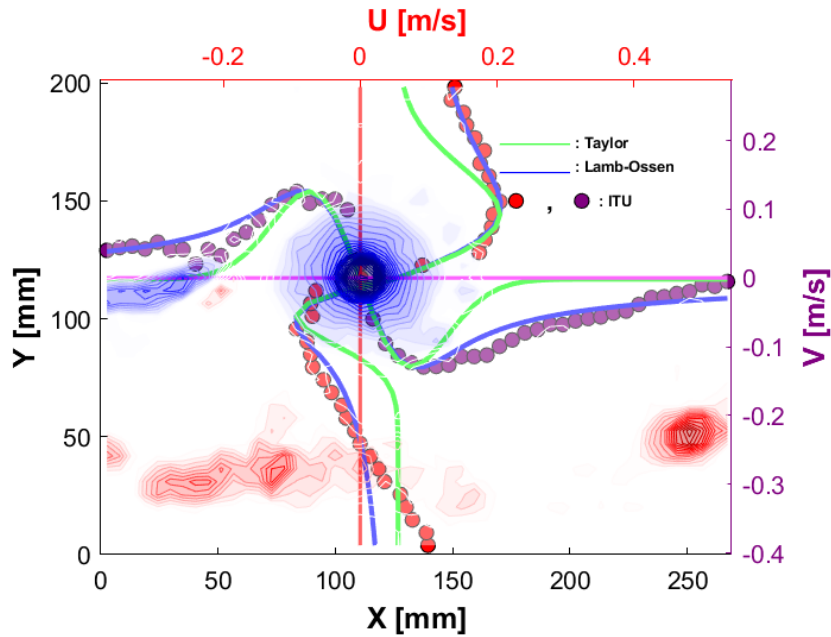
Ancak öncelikle girdabın merkezinin belirlenmesi gerekmektedir. Buna yönelik olarak da Gamma-1 kriteri [Graftieaux vd., 2001] kullanılmış, zaman içerisinde girdabın yörüngesi de belirlenmiştir.

$$\Gamma_1(P) = \frac{1}{N} \sum_s \frac{(PM \wedge U_m)z}{\|PM\| \cdot \|U_m\|} = \frac{1}{N} \sum_s \sin(\theta_M) \quad (3)$$

UYGULAMALAR VE DEĞERLENDİRME

Daha önce aynı konuda ilk yapılan deneylerde [Engin vd., 2018] plakanın saat yönünde 4s'lik yarım tur dönüşünde negatif bir girdap türü sağanak oluşturulduğu ve bu sağanağın boyutsuz olarak $GR=1$ şiddetinde, $W_e = 0.4$ genişliğinde olduğu görülmüştür. Burada şiddet için sağanak maksimum dikey hızı, genişlik için ise girdabın oluşturduğu maksimum ve minimum dikey hızlar arası mesafe ele alınmıştır. Bu çalışmada ise yukarıda bahsedildiği gibi Taylor ve Lamb-Oseen modelleri kullanılmış ve Şekil 3'dekine benzer ve zaman içerisinde girdabın hareketi ve varsa kanat ile etkileşimi ile değişen sonuçlar elde edilmiştir. Buradan da görüldüğü gibi üretilen girdabın daha çok Lamb-Oseen türde olduğu anlaşılmaktadır. Ancak elde edilen karakterizasyon değerleri modelden bağımsızdır. Şekil 3'de örnek bir görsel analiz sonucu verilmiştir.

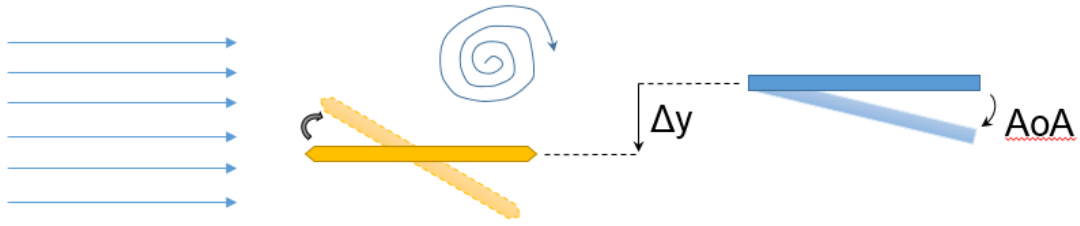
Şekil 4'de bu çalışmada kullanılan deney matrisi verilmiştir. Oluşturulan girdap, pozitif veya negatif, kanada hücum kenarı hattından yaklaşacak veya üstten ve alttan yaklaşacak şekilde Δy parametresi değiştirilmiştir. Ancak bu incelemede girdabın kanada veter doğrultusunda yaklaştığı $\Delta y = -36$ mm durumu ele alınmıştır. Ayrıca diğer bir çalışmada [Engin vd., 2018; Acar vd., 2022] girdap türü sağanak ve kanat etkileşimi sonucu elde edilen taşıma değişimlerinin negatif veya pozitif dönüş yönlü girdaplar için simetrik elde edilmesine dayanılarak, karakterizasyon sadece negatif yönlü girdap için ilerletilmiştir.



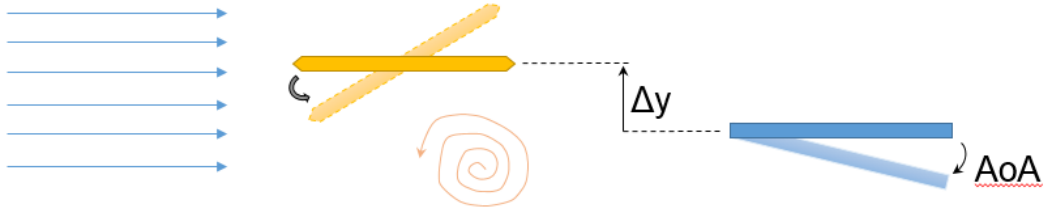
Şekil 3: Örnek görsel analiz sonucu ($t=16.750$ s ve $T(1/2 \text{ tur})=4$ s)

Bu çalışmada öncelikle girdabın şiddetinin belirlenmesine odaklanılmıştır. Şekil 5'de $T(1/2 \text{ tur})=3$ s için girdabın maksimum ve minimum akıma dik yönlü hızının zamanla değişimi görülmektedir. Tüm analiz gerçekleştirilebilen anlarda iki hız da verilmiş, sağlıklı veri bölgesi ayrıca detaylı olarak iki hız için ayrı ayrı incelenmiştir. Herhangi bir davranışı ortaya koymak amaçlı veriye lineer eğri uydurulmuş, denklemi beraberinde verilmiştir. Ayrıca aynı şekilde girdap merkezinin zamana bağlı x koordinatı da çizdirilmiştir. Bu bilgi girdabın akış doğrultusunda ilerleme hızını vermektedir.

Benzer çizim ve incelemeler Şekil 6'da $T(1/2 \text{ tur})=4s$ ve Şekil 7'de $T(1/2 \text{ tur})=6s$ durumları için sunulmaktadır.



(a) Negatif Girdap Oluşumu (CW)



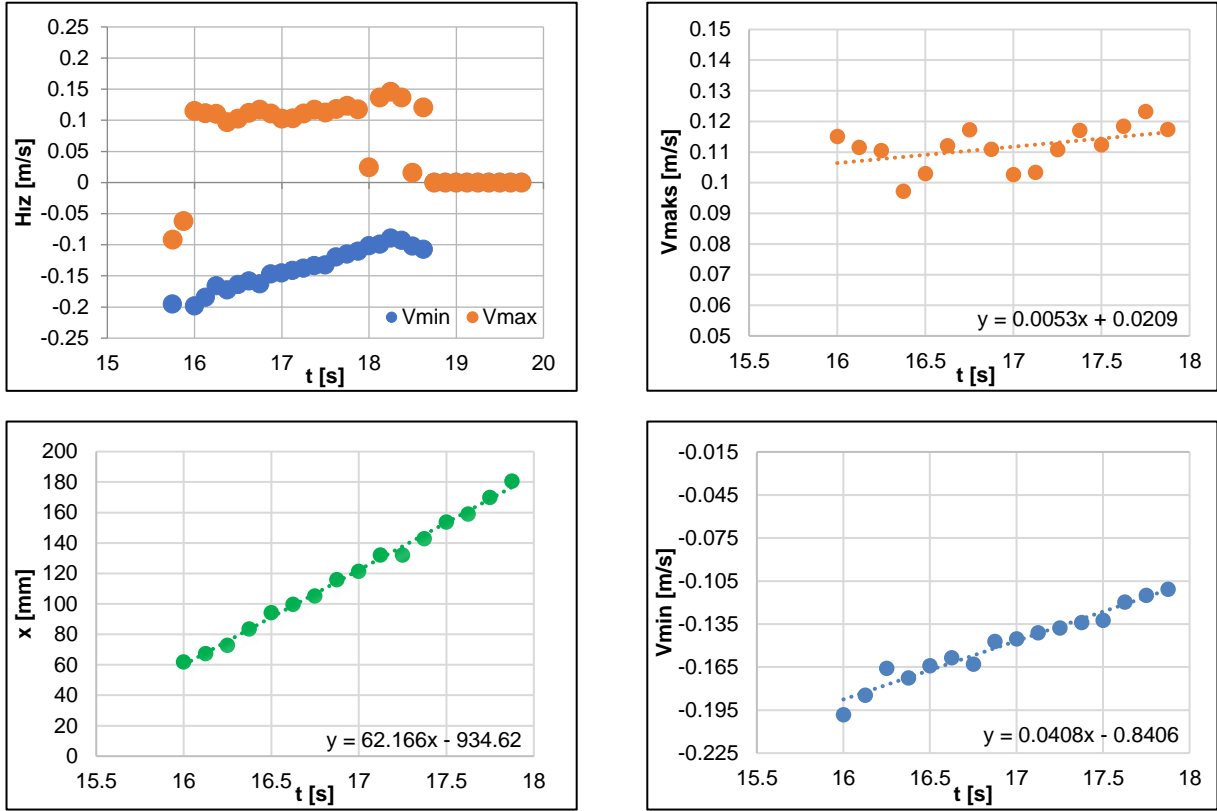
(b) Pozitif Girdap Oluşumu (CCW)

DENEY MATRİSİ	CW(180°)	CCW(-180°)
T (1/2 tur)=3s	✓	✓
T (1/2 tur)=4s	✓	✓
T (1/2 tur)=6s	✓	✓

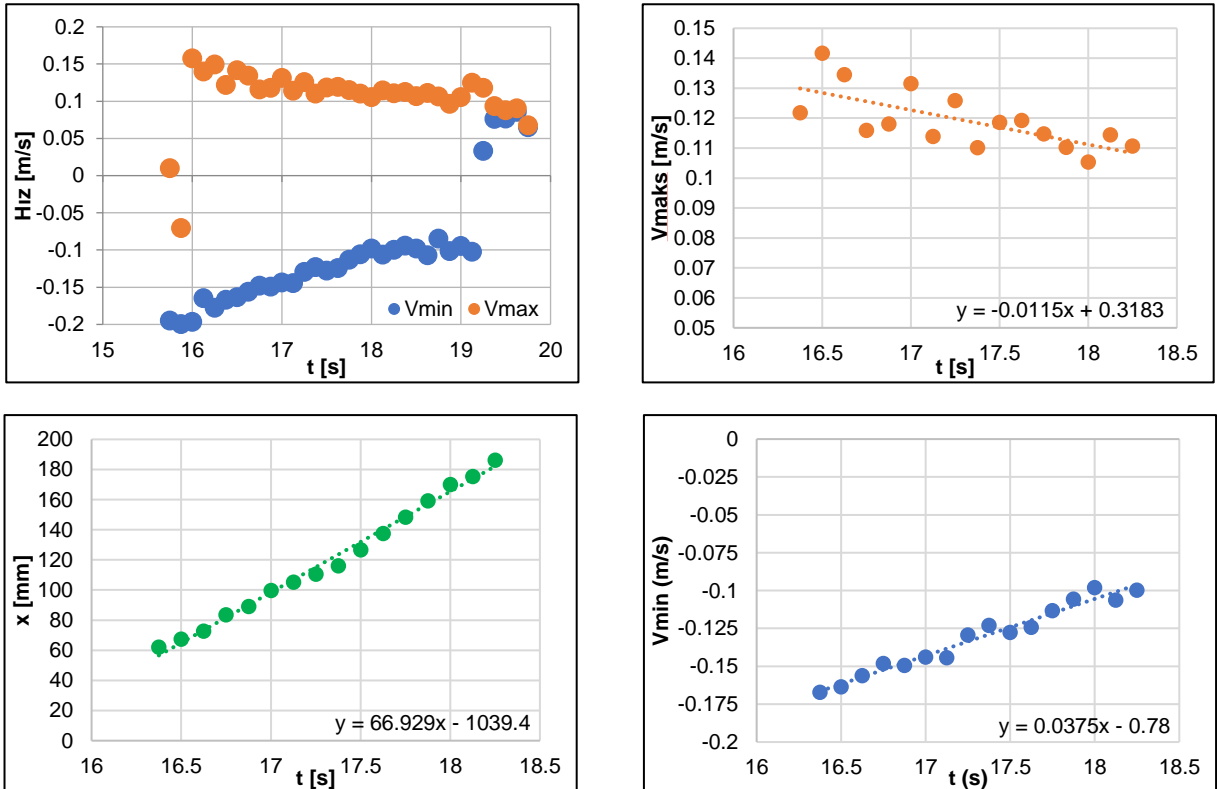
Şekil 4: Deney matrisi ve Girdapların Oluşumu

Girdabın görüntü alanında yakalandığı ilk anlarda hız ölçümlerinin özellikle ve doğal olarak girdap üretici tarafında (V_{max}) yani görüntü sınırında sağlıklı olmadığı açıktır. Genellikle analizde yakalansa da girdabın dağılmakta olduğu son anlarda da verinin dikkate alınmaması gerekmektedir. Zaman içerisinde V_{max} ve V_{min} değerlerinin değişimleri PIV görüntülerine paralel olarak bakarak incelenmelidir. Zira V_{max} incelenen tüm girdap oluşum süreleri için sabit kalmakta iken V_{min} için azalarak yaklaşık aynı değere gelmektedir. Bu durum Şekil 8'de açıklık kazanmaktadır. Sağanak olarak ele alınan negatif girdabın akım yönünde ilerleyen tarafında V_{min} , Girdap üretici tarafında ise V_{max} değerleri ölçülmektedir. Girdap üreticiden ilk başta oluşan pozitif girdap incelemenin ilk anlarında negatif girdabın akım yönünde önünde yer alıp yakın olduğu için V_{min} değerini etkilemektedir. Bu pozitif girdap sağanak olarak ele alınan negatif girdaptan uzaklaştıkça V_{min} değeri V_{max} değerine mutlak olarak yaklaşmaktadır. Akım altı bölgede kanat olmadığı bu durumlarda girdap şiddeti V_{min} değerinin ulaştığı nokta olarak ele alınırsa, yaklaşık olarak $T(1/2\text{tur})=3s$ için $GR \approx 1.1$, $T(1/2\text{tur})=4s$ için $GR \approx 1.0$ ve $T(1/2\text{tur})=6s$ için $GR \approx 0.9$ elde edildiği söylenebilir.

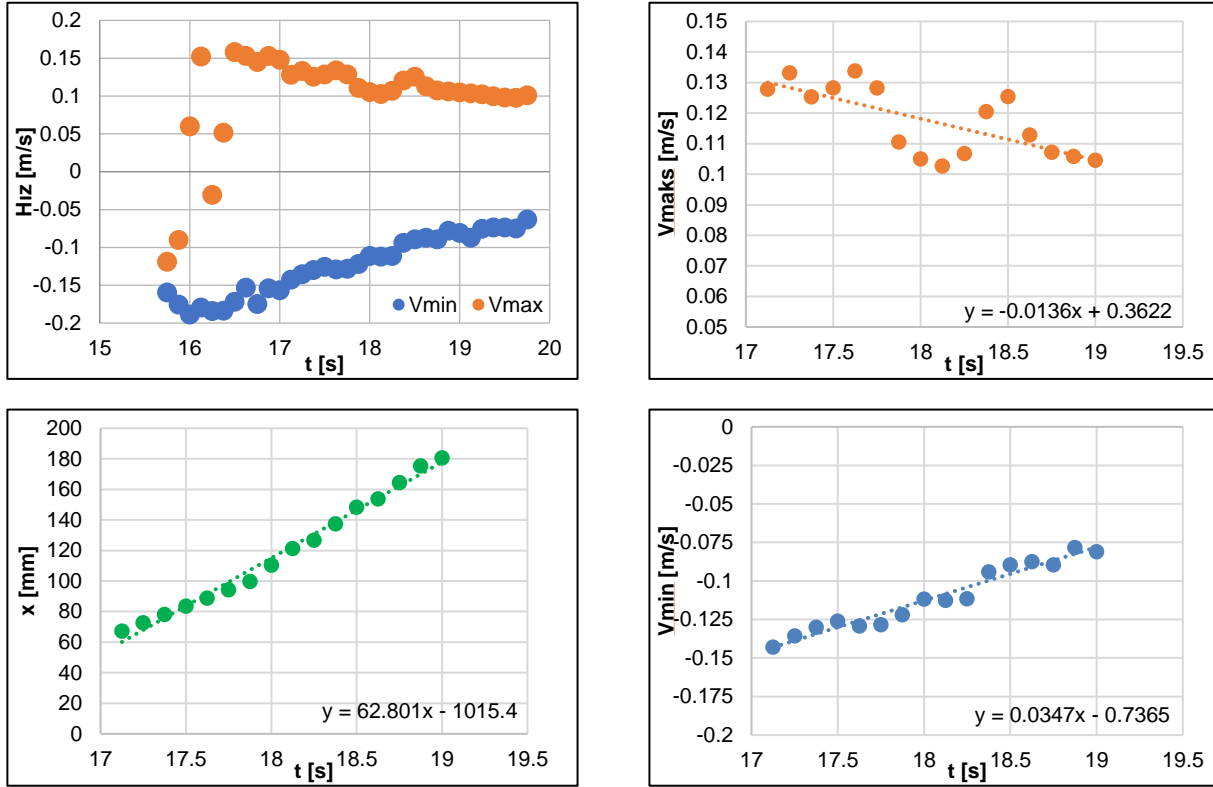
Sağanak olarak ele alınan negatif girdabın akım yönünde ilerleme hızı incelendiğinde $T(1/2 \text{ tur})=3s$ ve $T(1/2 \text{ tur})=6s$ durumlarında yaklaşık olarak 62mm/s olduğu görülmektedir; $T(1/2 \text{ tur})=4s$ için ise 67mm/s olarak belirlenmiştir. Bu değerler beklendiği üzere serbest akım hızının yaklaşık olarak yarısı mertebesindedir.



Şekil 5: $T(1/2 \text{ tur})=3\text{s}$ için kanadın olmadığı durumda, akıma dik yönlü, girdabın maksimum ve minimum hızının zamanla değişimi (ilgililenen zaman aralığında detaylı olarak) ve girdap merkezinin akım yönünde ilerlemesi



Şekil 6: $T(1/2 \text{ tur})=4\text{s}$ için kanadın olmadığı durumda, akıma dik yönlü, girdabın maksimum ve minimum hızının zamanla değişimi (ilgilenilen zaman aralığında detaylı olarak) ve girdap merkezinin akım yönünde ilerlemesi



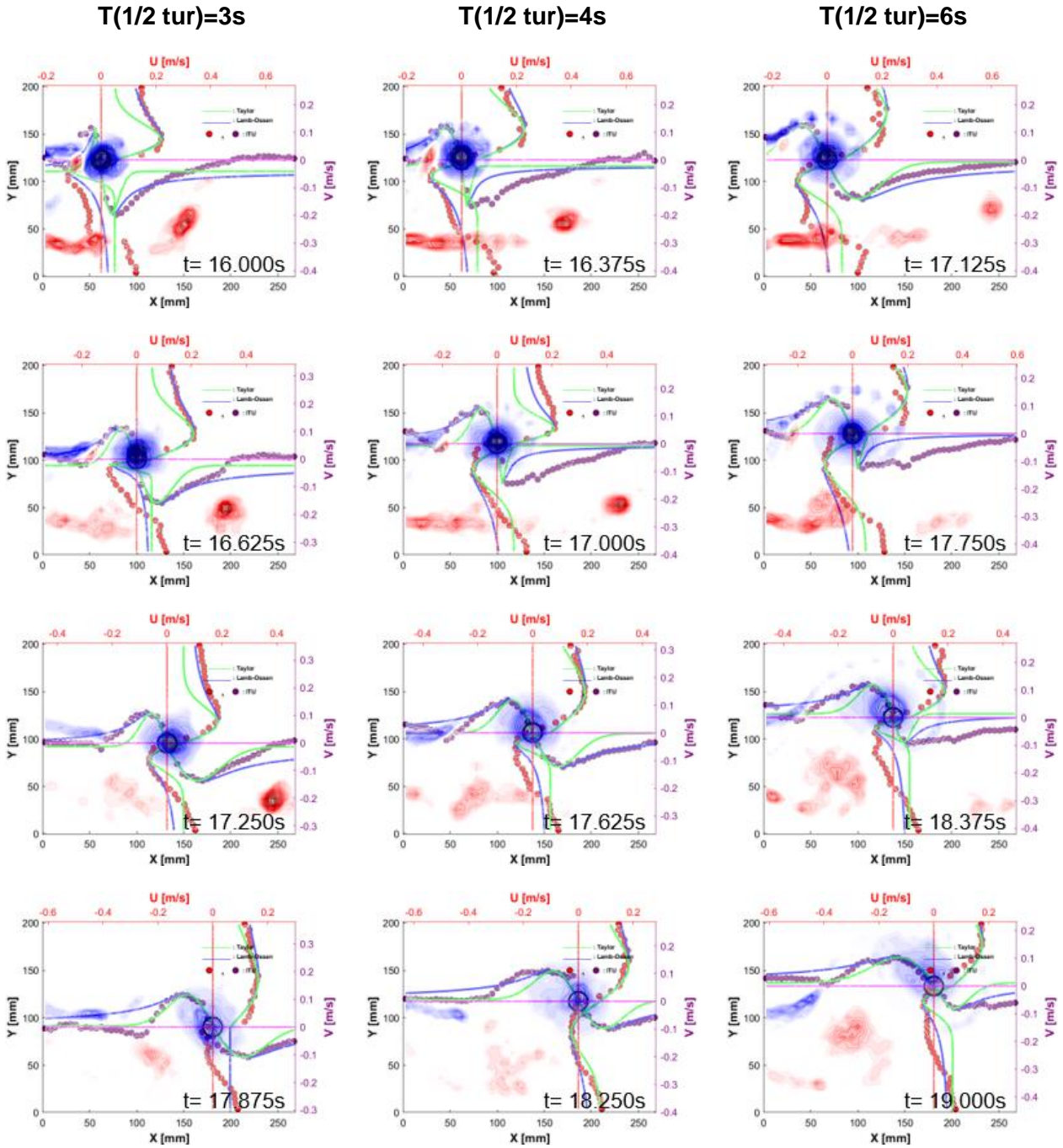
Şekil 7: $T(1/2 \text{ tur})=6\text{s}$ için kanadın olmadığı durumda, akıma dik yönlü, girdabın maksimum ve minimum hızının zamanla değişimi (ilgilenilen zaman aralığında detaylı olarak) ve girdap merkezinin akım yönünde ilerlemesi

Değişik girdap oluşum sürelerinde ele alınan zaman aralıklarının nasıl eşdeğer olarak belirlendiği Şekil 8'de açık olarak görülmektedir. Sağanak olarak ele alınan negatif girdap her bir satırda değişik girdap oluşum süreleri için farklı anlarda yaklaşık aynı x konumunda görsellenmiştir. $T(1/2 \text{ tur})=3\text{s}$ ve $T(1/2 \text{ tur})=4\text{s}$ durumları için 0.375s fark varken, $T(1/2 \text{ tur})=4\text{s}$ ile $T(1/2 \text{ tur})=6\text{s}$ durumları arasında bu değer iki katı yani 0.75s fark bulunmaktadır. İlerleyen zamanda eş zaman aralıkları ile toplam dört an ele alınmıştır. Girdabın bu anlarda akım yönünde konumu yaklaşık aynı olsa da düşey konumu az da olsa değişebilmektedir. Beklenildiği gibi girdap oluşum süresi arttıkça girdabın akım yönünde aynı konuma gelme süresi artmaktadır.

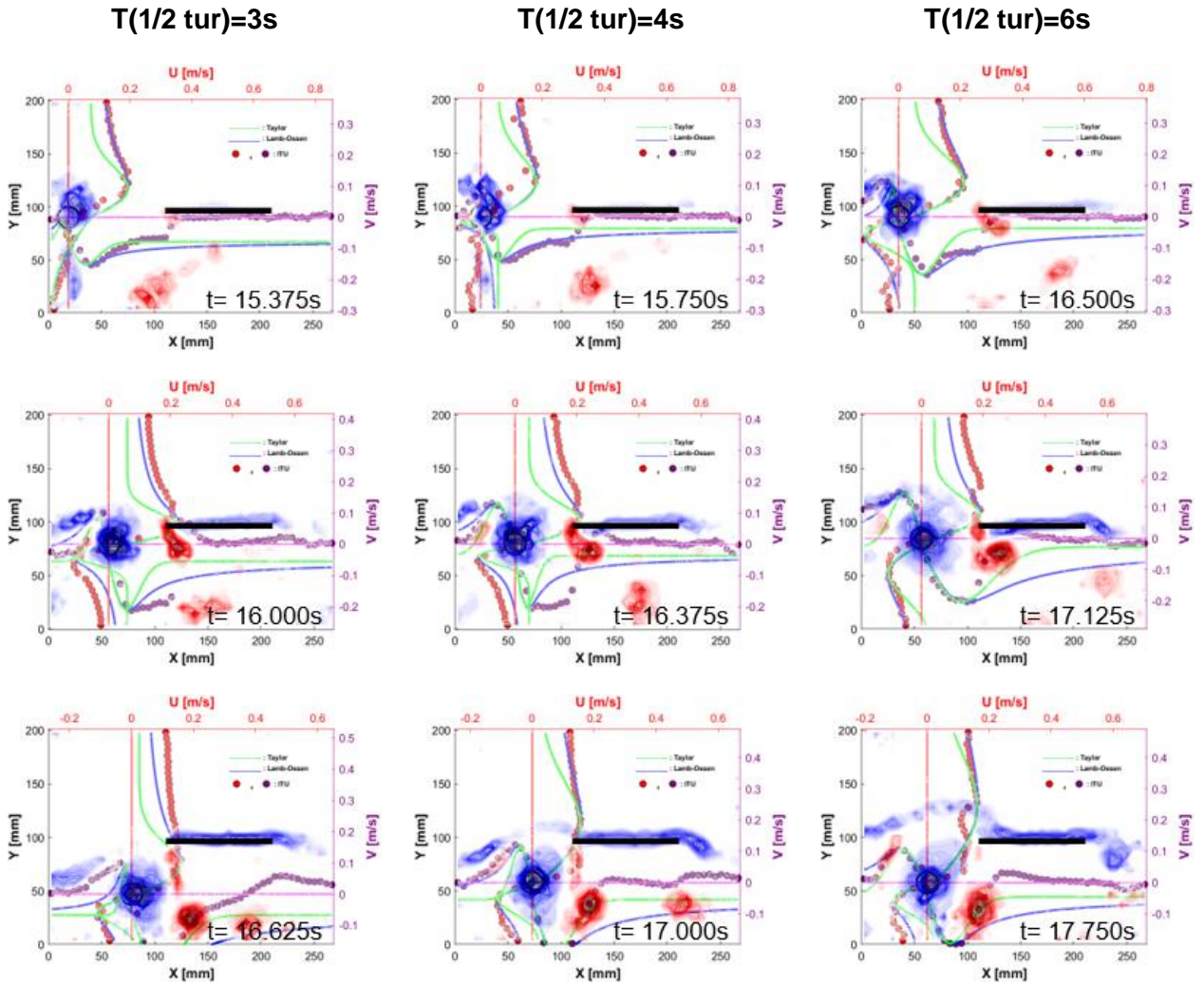
Şekil 8 detaylı olarak incelendiğinde yapılan Taylor ve Lamb-Oseen modellemelerinin bazen başarılı şekilde gerçekleştirilemediği görülmektedir. Dolayısıyla sonuçların sadece sonuç veri tablolarından değerlendirilmesi sakıncalıdır. Olayın fiziğinin anlaşılması açısından şekilde verilen anlık görsellerin önemi vardır.

Şekil 9'da ise kanadın varlığı durumunda sağanak olarak ele alınan negatif girdabın görüntü alanına girdikten sonra kanat ile etkileşerek nasıl kanadın hücum kenarından aşağıya doğru yöneldiği görülmektedir. Kanat yokken zamanla V_{\min} değeri sağlıklı ölçülebilmekteydi. Ancak kanadın varlığıyla ilerleyen anlarda bu yeni etkileşim kaçınılmaz olduğundan V_{\min} değerine bakılarak şiddete karar verilmesi uygun olmayacaktır. Öte yandan girdabın görüntü alanına tam olarak girdikten sonra aşağıya doğru sapmadan görsellenebildiği anlar, yani kanda doğru yatayda ilerlediği anlar kısıtlıdır. Nitekim bu durum kanadın olmadığı haller ile karşılaştırmalı olarak Şekil 10'da görülmektedir. Kanadın varlığıyla girdabın akım yönünde ilerleme hızı bariz olarak düşmüştür. Ayrıca artık yaklaşık aynı değerde kalmayıp, girdap oluşum süresi arttıkça girdabın akım yönünde ilerleme hızı azalmaktadır. Sağanak olarak ele alınan negatif girdabın akım yönünde

ilerleme hızı, yaklaşık olarak $T(1/2 \text{ tur})=3\text{s}$ için 59mm/s , $T(1/2 \text{ tur})=4\text{s}$ için 52mm/s ve $T(1/2 \text{ tur})=6\text{s}$ için ise 41mm/s olarak belirlenmiştir.

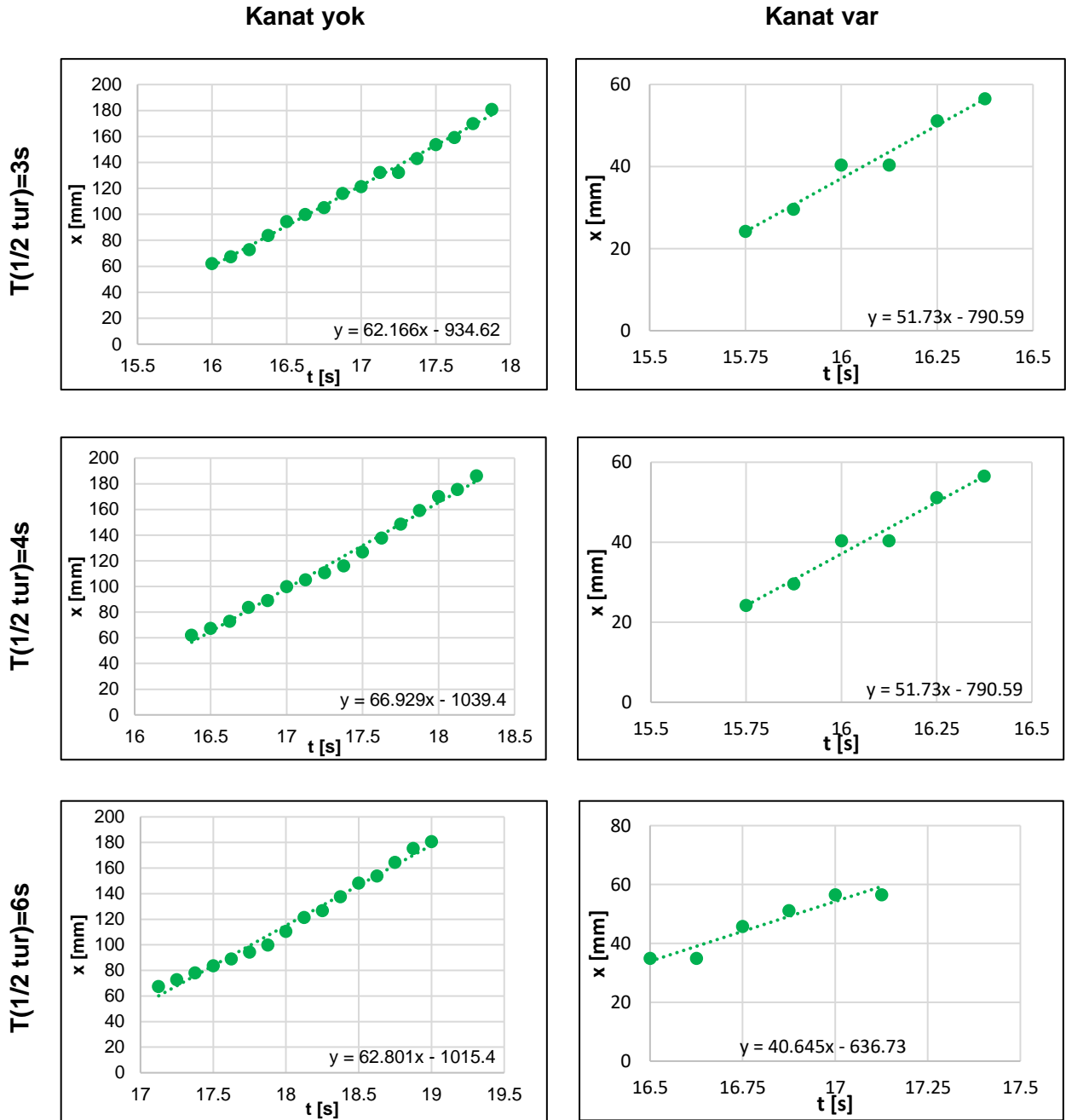


Şekil 8: Kanadın olmadığı durumda, ilgilenilen zaman aralıklarında, değişik girdap oluşum süreleri için görsel analiz sonuçları



Şekil 9: Kanadın bulunduğu durumda, ilgilenilen zaman aralıklarında, değişik girdap oluşum süreleri için görsel analiz sonuçları

Son olarak, kanat olduğu durumda, sağanak olarak ele alınan negatif girdabın şiddeti girdabın akım yönünde yatayda ilerlediği anlardaki V_{max} değeri kullanılarak belirlenmeye çalışılmıştır. Şekil 11'deki verilere dayanarak negatif girdabı şiddetinin yaklaşık olarak $T(1/2tur)=3s$ için $GR \cong 1$, $T(1/2tur)=4s$ için $GR \cong 1.25$ ve $T(1/2tur)=6s$ için $GR \cong 1.5$ elde edildiği söylenebilir. Sağanak olarak ele alınan negatif girdap - kanat etkileşimi sonucu, beklenenin aksine ve kanat olmadığı durumdakine zıt olarak girdap oluşum süresi arttıkça girdap şiddeti de artmaktadır.



Şekil 10: Değişik girdap oluşum süreleri için, kanadın varlığı ile girdap merkezinin akım yönünde ilerlemesindeki değişim

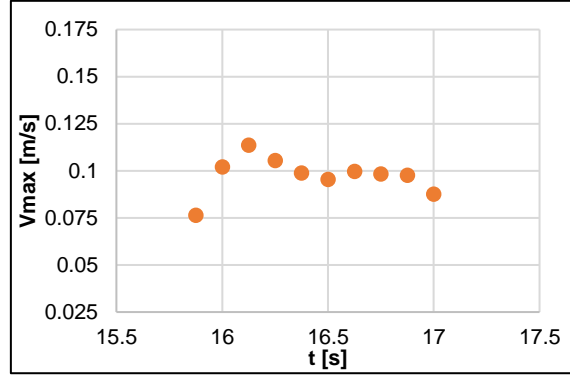
SONUÇ

Bu incelemede Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçer Sistemi kullanılarak, kanat modeli olmadığı ve olduğu durumlarda girdap üretici iz bölgesindeki hız ve dolayısıyla girdaplılık alanları nicel olarak elde edilmiştir. Girdap üreticinin üç farklı dönüş hızı için Taylor ve Lamb-Oseen girdap modelleri kullanılarak sağanak karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir. Deneylerde girdap üreticinin akım altında kanat da kullanılarak kanat-girdap etkileşimi de incelenmiş, belirlenen sağanak özelliklerinin nasıl değiştiği ortaya konmaya çalışılmıştır. Bu incelemede sadece negatif yönlü girdap sağanak olarak ele alınmış ve girdap şiddeti üzerine odaklanılmıştır.

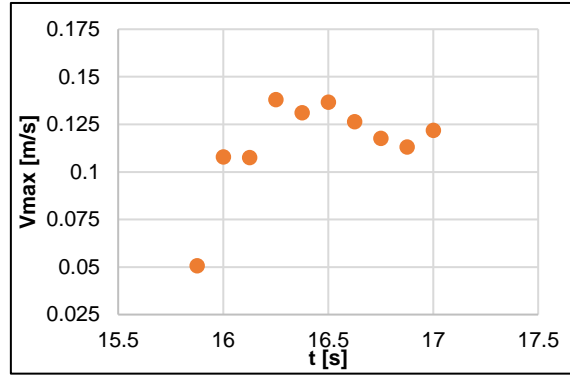
Girdap türü sağanağın şiddeti belirlenirken kanadın olmadığı durumlarda girdap üreticinden ilk oluşan ters yönlü girdapla etkileşimin, kanadın olduğu durumlarda ise sağanak etkisi ile kanat hücum kenarı girdabı ile etkileşimin göz önüne alınması gerektiği sonucuna varılmıştır. Bu nedenle

girdap türü sağanağın üst akım bölgesi tarafındaki akıma dik yönlü hızların da dikkate alınması gerekmektedir. Bu çalışmada ayrıca girdap türü sağanağın akım yönünde ilerleme hızı belirlenmiş, kanadın varlığında bu yaklaşma hızının azaldığı görülmüştür. Ayrıca sanıldığı gibi ve kanat olmadığı durumlarda görüldüğünün aksine kanat varlığında girdap oluşum süresi uzadıkça girdap şiddeti artmaktadır. Ancak bu noktada değerlendirmenin girdap oluşum süresi uzadıkça daha ileri bir zamanda yapıldığı göz önüne alınmalıdır.

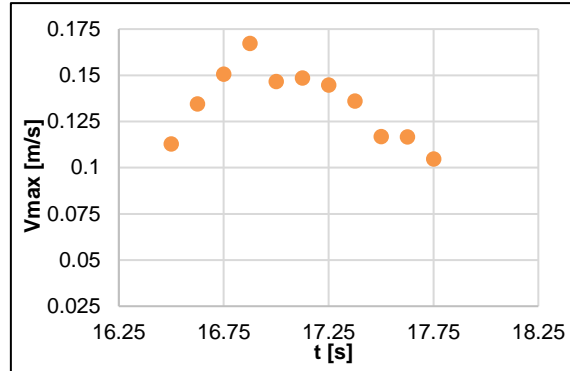
$T(1/2 \text{ tur})=3\text{s} \rightarrow$



$T(1/2 \text{ tur})=4\text{s} \rightarrow$



$T(1/2 \text{ tur})=6\text{s} \rightarrow$



Şekil 11: Değişik girdap oluşum süreleri için, kanadın varlığı ile girdabın maksimum akıma dik yönlü hızının zamanla değişimi (ilgilenilen zaman aralığında)

Kaynaklar:

- Acar, E., Soy, K., Saritaş, M. ve Çetiner, O., 2022. *Değişik tekil sağanak karşılaşmalarında kanat üzerinde oluşan yükler*, 9. Ulusal Havacılık ve Uzay Konferansı, Bildiri no. UHUK-2022-116, 14-16 Eylül 2022, İzmir, Türkiye.
- 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.

- 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.
- Fabre, D., Sipp, D., & Jacquin, L. 2006. *Kelvin waves and the singular modes of the Lamb–Oseen vortex*. Journal of Fluid Mechanics, 551(-1), 235. doi:10.1017/s0022112005008463
- Graftieaux, L., Michard, M., & Grosjean, N. 2001. *Combining PIV, POD and vortex identification algorithms for the study of unsteady turbulent swirling flows*. Measurement Science and Technology, 12(9), 1422–1429. doi:10.1088/0957-0233/12/9/307
- 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.
- 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.
- 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
- Vatistas, G.H., Kozel, V., Mih, W.C., 1991. *A simpler model for concentrated vortices*. Exp. Fluids 11, 73–76.