

## AKTİF VE PASİF AKIŞ KONTROL SİSTEMLERİNİN DUMANLI AKIŞ GÖRÜNTÜLEME TEKNİĞİYLE DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Tayfun Çobanoğlu<sup>1</sup>, Rıdvan Taşcıoğlu<sup>1</sup>, Sefa Şahin<sup>1</sup>, Nursena Sevinç<sup>1</sup>, Mücahit Yazanel<sup>1</sup>,  
Büşra Dobur<sup>1</sup>, Afra Bildik<sup>1</sup>, Mehmet Arslan<sup>1</sup>, Gökçen Jurnal<sup>2</sup>, Ahmet Selim Durna<sup>3</sup>, Cem  
Kolbakır<sup>4</sup>  
Samsun Üniversitesi, Samsun

### ÖZET

*Bu çalışmada, 3-B baskı ile üretilen NACA 0018 kanat profili üzerinde aktif ve pasif akış kontrol sistemlerinden; girdap oluşturma mekanizması, kavite ve DBD plazma aktüatör etkisi dumanlı akış görüntüleme tekniğiyle deneysel olarak incelenmiştir. Bu çalışmalar ile akışın cismin arkasında oluşturduğu girdapların sönmümlenmesi, akışın neden olduğu sürüklemenin azaltılması, akım ayrılmasının gerçekleştiği bölgelerde akımın yüzeye yapışması ve akış karakteristiğinin düzenli hale gelmesi beklenmektedir. Deneyler 35000 Re sayısında ve 5 m/s serbest akış hızında gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalarda 0° ile 20° hücum açıları arasında akış kontrol sistemlerinin etkisi incelenmiştir. Aktif akış kontrol yöntemi olan DBD plazma aktüatör kullanımının pasif akış kontrol yöntemleri olan girdap oluşturma mekanizması ve kavite kullanımına göre daha verimli olduğu gözlemlenmiştir.*

### GİRİŞ

Bir kanat profilinin aerodinamik açıdan yüksek verimliliği için taşıma kuvvetinin yüksek; sürüklenme kuvvetinin düşük olması beklenir. Bu durumu sağlamak sınır tabakanın inceltilecek model üzerindeki akım ayrılmasının geciktirilmesi ile mümkündür. Bu bağlamda akış kontrol yöntemleri önem kazanır. Akış kontrol yöntemleri, akışın özelliklerine göre aktif ve pasif olmak üzere ikiye ayrılır.

Pasif akış kontrolü; girdap üreteçleri, kavite ve yüzey pürüzlülüğünde olduğu gibi çıkıntılı veya girintili yüzey yapılarına sahip şekillerden oluşup akım ayrılmasını geciktirmeye yönelik yöntemlerdir. Pasif akış kontrolünde, sisteme enerji girişi beklenmez. Bu yöntemler ile model üzerinde sürüklemenin azalması sağlanırken net güçte ve aerodinamik verimde bir artış gözlemlenir.

Pasif akış kontrol yöntemlerinden biri girdap oluşturma mekanizmasıdır. Bu mekanizmalarda; karada, havada ve denizde hareket eden canlılar üzerinde biyomimetik biliminden esinlenerek deneysel ve analiz çalışmalar yapılmaktadır. Deniz canlılarının vücut ve yüzgeç oluşumları oldukça ilgi çekici olup havadaki canlılara benzer yapıları dikkat çekmektedir. Çalışmalarda, kuşların kanat yapılarının, ön ve arka kanatlardaki tüylerin dizilişinin ve kanat ucundaki çıkıntıların sürüklemeyi azalttığı ve daha az enerji tüketimini sağladığı gözlemlenmiştir. Mikro İHA gibi küçük boyutlu uçaklarda doğadaki canlılardan ilham alınarak yeni tasarımlar yapılması aerodinamik etkilerin iyileştirilmesi açısından mantıklıdır ve bu alanda gelişmeyi makul kılmaktadır [Anders, 2000]. Bu yüzeyler, düşük hızlarda girdap oluşumunu sağlayarak akışın durmasını önleme prensibine dayanmaktadır. Böylece basınç farkının oluşması nedeniyle akış yüzeye daha fazla tutunarak

<sup>1</sup> Lisans öğrencileri, Havacılık ve Uzay Müh. Böl. Akış Kontrol Grubu

<sup>2</sup> Araştırma Görevlisi, Havacılık ve Uzay Müh. Böl., E-posta: gokcen.jurnal@samsun.edu.tr

<sup>3</sup> Dr. Öğretim Üyesi, Havacılık ve Uzay Müh. Böl., E-posta: ahmetselim.durna@samsun.edu.tr

<sup>4</sup> Dr. Öğretim Üyesi, Havacılık ve Uzay Müh. Böl., E-posta: cem.kolbakir@samsun.edu.tr

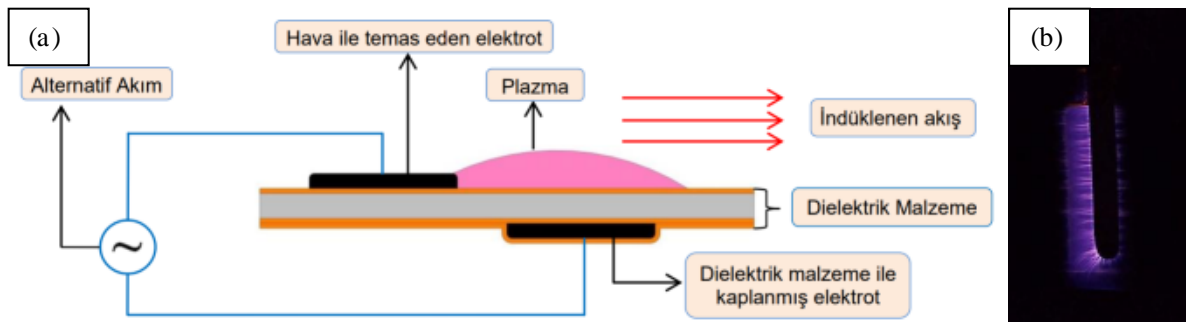
sürüklemeyi azaltıp kaldırmayı artırarak sürekliliğini sağlar. Bu çalışmada, biyomimetik kullanılarak oluşturulan 11 modelle akış kontrolünün etkisi incelenmiştir.

Başka bir pasif akış kontrol yöntemi kavite etkisidir. Kavite akışı, terminolojide belirli bir cisim ve/veya geometri üzerindeki boşluk içerisindeki ve etrafındaki akış tipini ifade eden olgudur. Günlük hayat da dahil olmak üzere pek çok alanda kavite akışı ile karşılaşmaktadır. Araçların camları veya açılır tavanları ve bombardıman uçaklarının açılır mühimmat bölmeleri kavite akışına örnek olabilir. 1950'lerde bir sorun ile karşımıza ilk kez çıkan kavite akışı günümüzde çözülmesi gereken bir problem olmanın yanı sıra bu çalışmada olduğu gibi inovatif projeler için de gerekli tabanı sağlamaktadır.

Uygulama alanının genişliği dolayısıyla kavite akışı araştırmaları, kavite geometrisinin, akış hızının, basıncın ve daha pek çok parametrenin etkilerini halen incelemektedir. Olsman ve Colonius 2011 yılında düşük Reynolds sayılarında NACA 0018 kanat profili üzerinde kavite akışı üzerine karşılaştırmalı deneysel ve sayısal çalışmalar yürütmüşlerdir. Düz NACA 0018'e göre kaviteli profilin taşıma ve taşıma/sürüklenme oranı yönünden daha olumlu olduğu görülmüştür. Teorik olarak kavite akışının çözümü gerçekleştirilmiş olmakla birlikte deneysel olarak yürütülmüş çalışmaların sayısı oldukça azdır. Yapılan çalışmalarda kavite akışının akım ayrılmasını geciktirdiği, daha yüksek taşıma/sürüklenme oranına sahip olduğu ve Karman vorteks caddesini engellediği gösterilmiştir [Chernyshenko, Galletti, Iollo, Zannetti, 2003]. Bu çalışmada, kavitenin akış kontrolüne etkisi 6 farklı geometri üzerinde yapılan deneylerde incelenmiştir.

Pasif akış kontrollerinden farklı olarak aktif akış kontrolleri, akış kontrolü yapılacak sisteme enerji verilmesi tekniğine dayanır. Aktif akış kontrol yöntemlerine yönelik çalışmalara Dielektrik Bariyer Deşarj (DBD) plazma aktüatörü [Thomas, Kozlov, Corke, 2008], yüzey ısıtma veya soğutma [Aris, Owen, Sutcliffe, 2008], akustik uyarma [Hsiao, Shyu, 1991], sisteme salınımlı veya dönen parçalar ekleme [Béra, Michard, Sunyach, Comte-Bellot, 2000; Schulmeister, Dahl, Weymouth, Triantafyllou, 2017] ve sentetik jet [Smith, Amitay, Kibens, Parekh, Glezer, 1998] örnek verilebilir. Literatürdeki bu çalışmalar aktif akış kontrol yöntemleri sayesinde uçakların durma (stall) açısını, taşıma kuvvetini, yakıt verimliliğini ve manevra kabiliyetini artırmasının yanı sıra laminar rejimden türbülanslı rejime geçişin hızlandırılabilirliğini göstermektedir. DBD plazma aktüatör kullanımı diğer aktif akış kontrol yöntemleri ile kıyaslandığında daha avantajlı hale gelmektedir. Bunun başlıca sebebi hareketli parça içermeyip tamamen elektrikle çalışmasıdır. Böylece bakım kontrolleri daha kolay ve hızlı bir şekilde yapılabilmektedir. DBD Plazma aktüatörün çalışma prensibi, sınır tabakasındaki hava akışını hızlandırarak akımın yüzeye yapışmasını sağlamaya yöneliktir.

Yapılan bir çalışmada, kanat profili üzerine yerleştirilen DBD plazma aktüatörün akım ayrılmasını 8 derece geciktirdiği görülmüştür [Post, Corke, 2004]. Benzer bir çalışmada Re sayısı 33000 değerinde silindirik yüzeyine uygulanan DBD plazma aktüatörün iz bölgesi genişliğinde %66 oranında azalma sağlandığı görülmüştür [Thomas, Kozlov, Corke, 2008]. Farklı bir çalışmada NACA 2415 kanat profiline uygulanan DBD plazma aktüatörün akış kontrolüne etkisi duman ile akış görüntüleme tekniği kullanılarak incelenmiştir. Bu çalışmayla birlikte Reynolds sayısı 50000 üzerinde bir değere sahip olduğunda DBD plazmanın etkisini kaybettiği bunun yanı sıra düşük Reynolds sayılarında daha verimli olduğu gözlemlenmiştir [Şanlısoy, 2013]. Bu çalışmada, 4 farklı DBD plazma aktüatör modelinin akış kontrolü üzerindeki etkisi incelenmiştir.



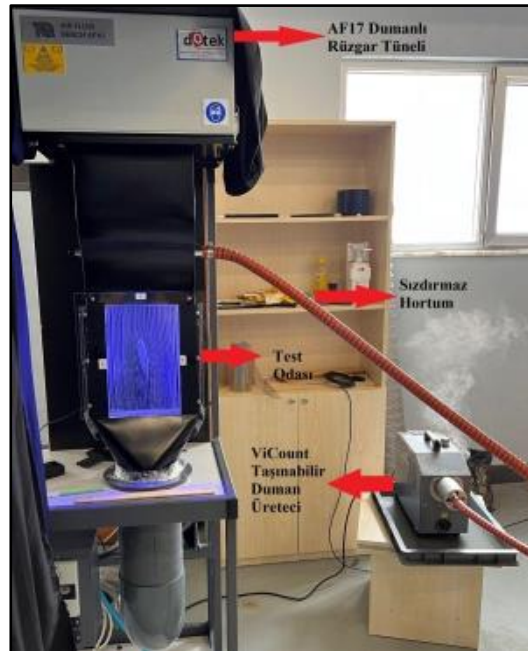
Şekil 1: (a) DBD Plazma aktüatör şeması (b) Plazma deşarj bölgesi

Şekil 1 (a)'da görüldüğü üzere DBD plazma aktüatörler iki elektrot ve bu elektrotlar arasına yerleştirilmiş dielektrik malzemeden oluşmaktadır. Elektrotlardan biri havaya maruz bırakılırken diğeri dielektrik malzeme ile kaplanır. Elektrotlara alternatif akım uygulandığında Şekil 1 (b)'de görülen plazma deşarj bölgesi elde edilerek akış indüklenir ve akışın yüzeye tutunması sağlanır.

Bu çalışmanın amacı NACA 0018 kanat geometrisinin pasif (girdap üretici ve kavite etkisi) ve aktif (DBD plazma aktüatör etkisi) akış kontrol yöntemleri kullanılarak incelenmesidir. Bu amaçla, belirtilen yöntemlerin NACA 0018 kanat profilindeki iz bölgesinin genişliği üzerindeki etkisi dumanlı akış görüntüleme tekniğiyle incelenmektedir.

## YÖNTEM

Akış kontrolü; girdap oluşturma mekanizması, kavite etkisi ve DBD plazma aktüatör olmak üzere üç farklı yöntem kullanılarak yapılmıştır. Deneylerde kullanılan kanat modelleri bilgisayar destekli tasarım programı olan SolidWorks kullanılarak yapılmıştır. Modellerin baskıları Artillery Hornet marka 3B yazıcıdan alınmıştır. Tüm deneysel çalışmalar Samsun Üniversitesi Aerodinamik Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneği için kullanılan dumanlı dikey rüzgar tüneli Şekil 2'de görülen Tecquipment Modular Air Flow Bench (AF17) marka ve modeline sahiptir. Rüzgar tüneline ait test odası sırasıyla boy, derinlik, genişlik olmak üzere 26 cm x 4 cm x 26 cm ölçülerine sahiptir. Kanat profilinin kanat açıklığı uzunluğunun belirlenmesinde test odasının derinliği referans alınmıştır. Çalışmalar, standart atmosfer koşulları baz alınarak 35000 Re sayısında ve 5 m/s serbest akış hızında gerçekleştirilmiştir. Kanat profili için gerekli veter uzunluğu ise bu parametreler den yola çıkılarak belirlenmiştir. Yağ bazlı duman üretici olarak ViCount Compact Smoke Generator markalı sistem kullanılmıştır. 316 derece sıcaklıkta üretilen dumanın daha yoğun bir görüntüye sahip olması için mineral bazlı yağlar yerine parafin içeren madeni yağlar kullanılmıştır. Duman üreticiden gelen dumanı rüzgar tüneli test odasına yönlendirmek için ise sızdırmaz hortum kullanılmıştır. Kullanılan düzeneğin detayları için Karadağ ve ortaklarının çalışması incelenebilir [Karadağ, Kolbakır, Durna, 2021].



Şekil 2: Deney düzeneği

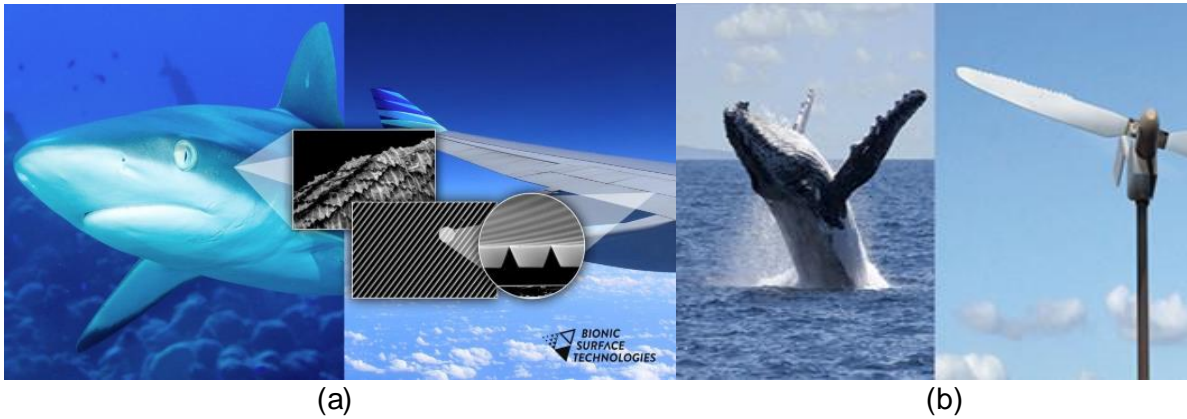
Test odasının arka yüzeyine konumlandırılmış radyal yönde dönebilen ve içerisinde dijital açı ölçer konulacak haznesi bulunan kapak sistemi bulunmaktadır. Üretilen modeller bu kapak sistemine sıkı geçme ile sabitlenmiş ve ardından 0.01 derecelik hassasiyet ile ölçüm alan dijital açı ölçer vasıtasıyla hücum açıları ayarlanmıştır. Simetrik modeller için deneylerde kullanılan pozitif hücum açısı yönü saat yönünün tersi olarak seçilmiştir. Deney odasının içerisine duman hatlarının daha belirgin hale getirilmesini sağlayan LED aydınlatma sistemi tasarlanmış ve yerleştirilmiştir. Böylece akım çizgileri ve girdap oluşumları net bir şekilde gösterilmiştir.

Deney görüntülerinin alınmasında SONY DSC-RX10M3 marka ve modele sahip kamera kullanılmıştır. Kamerayı sabitlemek ve konumlandırmak için kullanılan tripod, daha önce yapılan denemeler sonucunda görüntü almak için en uygun konumun belirlendiği referans noktalarına sabitlenmiştir. Fotoğrafların dış ışıklardan etkilenmemesi için test odası ve kamera arasında kalan alan ışığı geçirmeyen siyah perde ile kapatılmıştır. Daha güvenilir sonuçlar elde etmek için kameranın pozlama süresi 1 saniyeye çıkarılmıştır. Çekilen fotoğrafların detaylı ayarları şu şekildedir: F-Stop: 9, Deklanşör Hızı: 1 s, ISO Hızı: 200, 35mm Odak Mesafesi: 54mm.

Alınan görüntülerin iyileştirilmesi ve iz bölgesi genişliğindeki değişim değerlendirilmesi bilgisayar ortamında yapılmıştır. İyileştirme çalışmaları; elde edilen görüntünün kırılıp gri skala görüntüye dönüştürülmesini, zıtlık ayarlarının kontrolünü, duman belirginliğinin artırılması için renk ve parlaklık dengelenmesini kapsamaktadır. Modellerin "MATLAB" üzerinden görüntüler işlenerek son haline getirilmiştir. Kullanıcı tarafından akım çizgisi üzerinden yeterli görülen sayıda nokta seçilerek bu noktalara birer eğri uydurulur. Ardından sabit bir hızda iz bölgesi ölçümü gerçekleştirilir. İki işlem sonucunda elde edilen iz bölgesi genişliği, poz süresi gibi bilgiler fotoğrafın sol üst köşesine yazılarak programın çıktısı olarak fotoğrafla birlikte çıkar. Görsellerdeki siyah çizgiler iz bölgesi genişliğini temsil etmektedir. Daha detaylı deney sonuçlarının alınması ve sonuç görüntülerin iyileştirilmesi için yapılan işlemler Jurnal ve ortaklarının çalışmasından incelenebilir [Jurnal, Kose, Kolbakır, Durna, Karadağ, 2021].

### Girdap Oluşturma Mekanizması

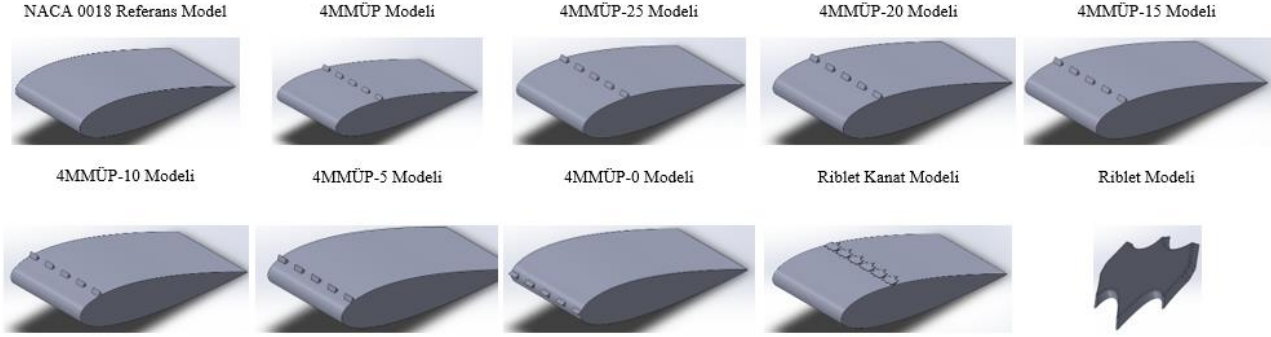
Biyomimetik ve aerodinamik alanında yapılan çalışmalar arasında Domel ve Stark'ın çalışmaları oldukça ilgi çekicidir. Domel ve ortaklarının çalışmasında [Domel Saadat, Weaver, Haj-Hariri, Bertoldi, Lauder, 2018], kanatların aerodinamiğini önemli ölçüde iyileştiren bir dizi profil tasarlamak için köpek balığı derisinden (riblet) ilham aldılar. Ribletlerin, deneysel çalışmalarda hücum kenarı girdabının konumunu ve gücünü değiştirdiği gösterilmiştir. Ayrıca Domel ve ortaklarının çalışmasının ilerleyen bölümünde yüzey çıkıntısının farklı bir versiyonu olan 2 boyutlu tümsek (2-D Bump) çalışması oldukça ilgi çekici olup deneysel konulara farklı bir bakış açısı kazandırmıştır. Stark ve ortağı [Stark, Chi, 2021], bir deniz dümeninin (NACA 0015 profiline sahip) iz akış dinamikleri üzerindeki öncü tüberküllerin  $2.26 \times 10^6$  Reynolds sayısındaki etkisi, Ayrılmış Girdap Simülasyonları kullanılarak sayısal olarak analiz edildi. Havacılık çoğunlukla kuşlardan, böceklerden ve deniz canlılarından ilham alır. Örnek olarak köpek balığındaki çıkıntılı deri yapısı, Şekil 3'de görüldüğü gibi uçak kanatlarının ve rüzgar türbininin kanatlarını örtmek için kullanılır, böylece akışı kanat üzerine bağlayarak aerodinamik performansı artırır [Bechert, Hoppe, Reif, 1985].



Şekil 3: (a) Köpek balığının çıkıntılı gövde yapısının uçak kanadına uygulanması [bionic-surface-technologies @ solarimpulse.com] (b) Kambur balinanın dalgalı kanat yapısının rüzgar türbini kanadına uygulanması [copying-nature-in-design-revisited-9983c9df411f @ medium.com]

Bu çalışmalardaki yöntemler incelenerek; ilk olarak ölçümlerde referans olarak kullanılan NACA 0018 denenmiştir. Veter uzunluğunun %30'unda kanadın en kalın noktasına (18 mm) ulaşılmış olup çıkıntıların bu noktada etkisinin incelenebileceği düşünülmüştür. Ribletlerden esinlenerek üçgen prizma yapısına dönüştürülmüş 4 mm Üçgen Prizmalar (4MMÜP) Modelinde, 5 mm aralıklı olarak dizilmiştir. Üçgenlerin kalınlığı 2 mm olarak ayarlanmıştır. Referans Model üzerine ölçülerin aynı

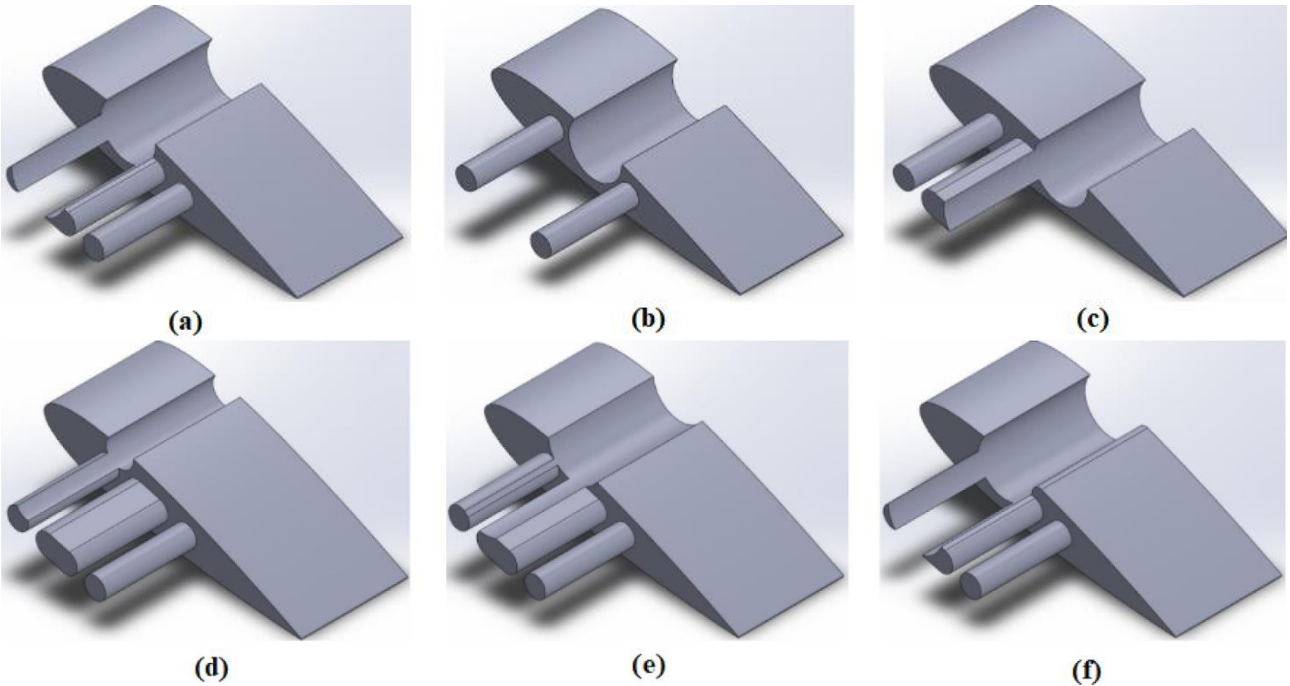
kalması şartıyla bu üçgen çıkıntılar yerleştirilmiştir. Üçgen prizmanın orta noktası, NACA 0018 kanat profilinde maksimum kalınlık noktasında konumlanmıştır. Model 5 prizma yerleştirilerek oluşturulmuştur. 4MMÜP Modeli üzerindeki çıkıntılar hücum kenarına sırasıyla; 30 (4MMÜP Modelinin kendisi), 25, 20, 15, 10, 5 ve 0 (hücum kenarında) mm dikey mesafede ayarlanarak pozisyonlarındaki değişimin etkisi test edildi. Ayrıca, biyomimetiğin tam olarak uygulanmasını sağlamak için Riblet Kanat Modeli, 4MMÜP Modeli ve versiyonları ile karşılaştırılacak şekilde üretilmiştir. Riblet yapılarında, literatürdeki çalışmalardan ve köpek balığından esinlenmiştir. Hücum kenarından 30 mm dikey mesafede konumlandırılmış ve 6 adet riblet dizilerek düzenlenmiştir. 0, 4, 8, 12, 14, 16 ve 20 hücum açılarında deneyler yapılmıştır. Tüm modeller Şekil 4'de gösterilmiştir.



Şekil 4: Girdap oluşturma mekanizmasının tasarlanmış modelleri

### Kavite Etkisi

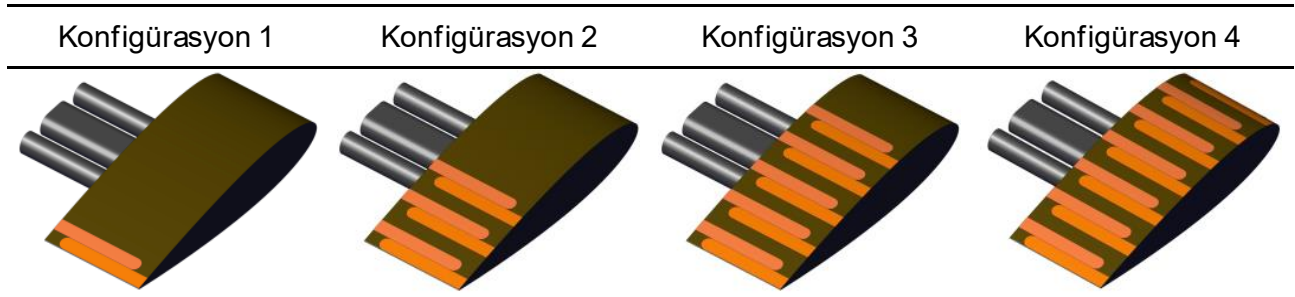
Kavite etkisinin incelenmesinde 3 boyutlu yazıcılardan üretilmiş 6 farklı modelden faydalanılmıştır. Kullanılan modellerin CAD çizimlerine Şekil 5 üzerinde yer verilmiştir. Modeller yazıcıdan çıkarıldıktan sonra sulu zımpara uygulanarak yüzey kalitesi artırılmıştır. Kullanılan modelleri 2 sınıfta incelemek mümkündür: İlk olarak kavitenin kanat üzerindeki konumu 0.22c veter (0.22c), 0.30c ve 0.40c olacak şekilde değiştirilip test edilmiştir. İkinci olarak kavitenin konumu, oluşacak etkinin maksimum olacağı düşünülürken 0.22c konumunda sabitlenip genişliği, derinliği ve firar kenarına yakın kısmının radyuslu olması etkileri incelenmiştir.



Şekil 5: (a) 0.22c, (b) 0.30c, (c) 0.40c konumlarındaki modeller ve (d) 0.22c %50 dar ve sığ, (e) %50 sığ ve (f) 0.22c konumunda firar kenarına yakın kısmı ovalleştirilmiş kaviteli kanat profili modelleri

## Dielektrik Bariyer Deşarj (DBD) Plazma Aktüatör

Bu çalışmada 4 farklı DBD plazma konfigürasyonu kullanılmıştır. Model yüzeyine zımparalama işlemi uygulandıktan sonra elektrot çiftleri şekil 6'da gösterilen konumlarına entegre edilmiştir. Konfigürasyonların her birinde elektrot konumları firar kenarından başlayıp hücum kenarına doğru 11 mm aralıklarla sıralanmaktadır. Elektrotlardan biri dielektrik özelliğe sahip kaptonla gömölü iken diğerisi hava ile temas halindedir. Çalışmada 0.30 mm kalınlığa sahip dielektrik malzeme ve 5 mm genişliğe sahip elektrot görevi gören bakır bantlar kullanılmıştır. Elektrik atlamalarını önlemek amacıyla kapton bantların sarımı sırasında hava kabarcıklarının kalmamasına özen gösterilmiş aynı zamanda bakır bantların keskin köşelerine radyus verilmiştir. Sistemin çalışması için gerekli olan elektrik alternatif akım ile sağlanmıştır. Plazma aktivasyonu için çıkış voltaj değerisi 15 kV olan ve çalışma frekansı 3 kHz olan ozon jeneratörü kullanılmıştır.



Şekil 6: Deneplerde kullanılan DBD plazma modelleri

## UYGULAMALAR VE DEğerLENDİRME

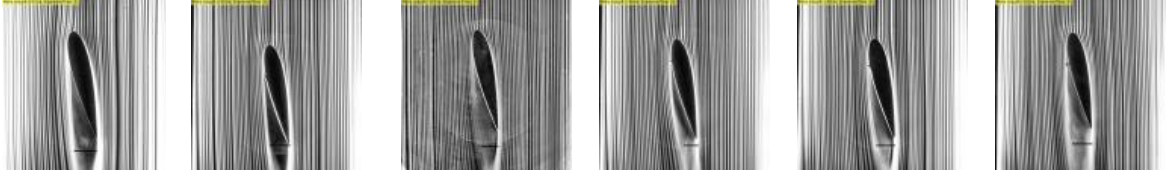
### Girdap Oluşturma Mekanizması

Girdap oluşturma mekanizması için kullanılan modellerin deney görüntülerinin işlenmiş hali Tablo 1'deki gibidir. Görüldüğu üzere; Referans Model NACA 0018, 4MMÜP Modeli, 4MMÜP Modelindeki çıkıntıların hücum kenarına olan dikey uzaklığu değeritirilmif versiyonları (4MMÜP-0, 4MMÜP-20 ve 4MMÜP-25) ve Riblet Kanat Modellerinin deney görüntüleri; hücum açılarına göre işlenmiş ve yan yana düzenlenmiştir. Karşılaştırmadaki farklılıkların daha iyi anlaşılması amacıyla 4MMÜP-5, 4MMÜP-10 ve 4MMÜP-15 Modellerinin sonuçları dahil edilmemiştir.

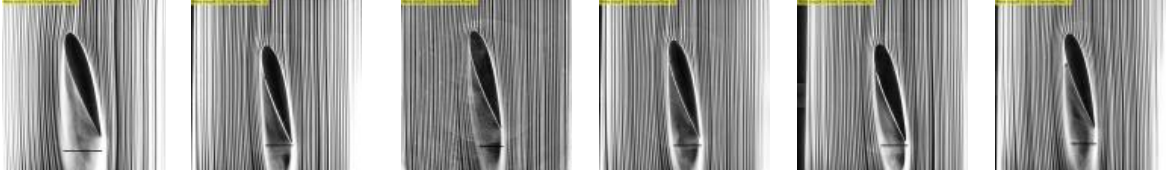
Tablo 1: Farklı hücum açlarındaki modellerin görüntüleri ve iz bölgesi genişlikleri

Hücum açısı	Referans Model (NACA 0018)	4MMÜP Modeli	4MMÜP-0 Modeli	4MMÜP-20 Modeli	4MMÜP-25 Modeli	Riblet Kanat Modeli
0°						
8°						

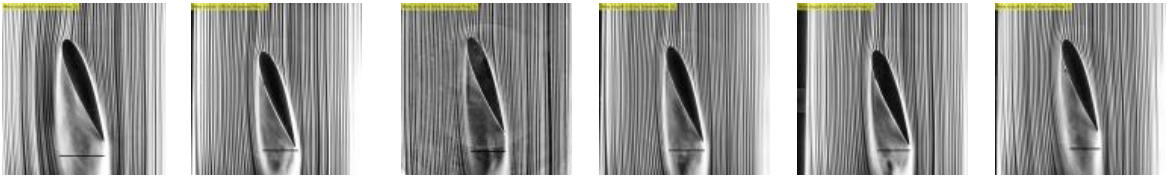
12°



16°




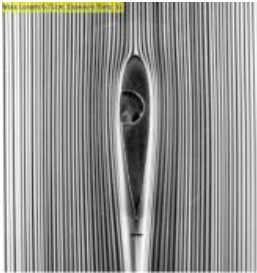
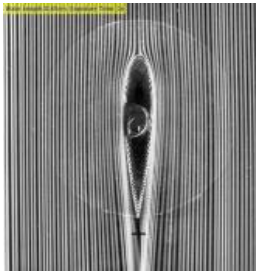
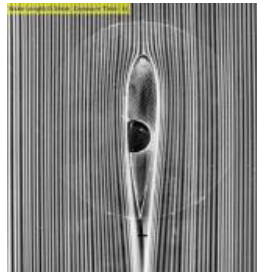

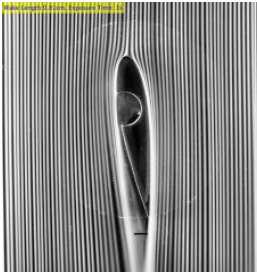
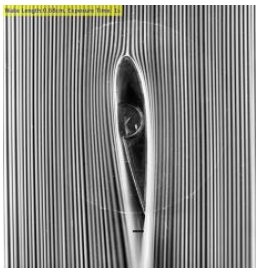
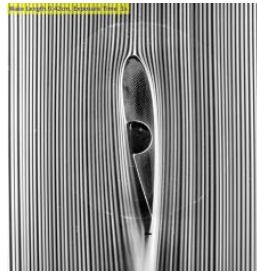
20°



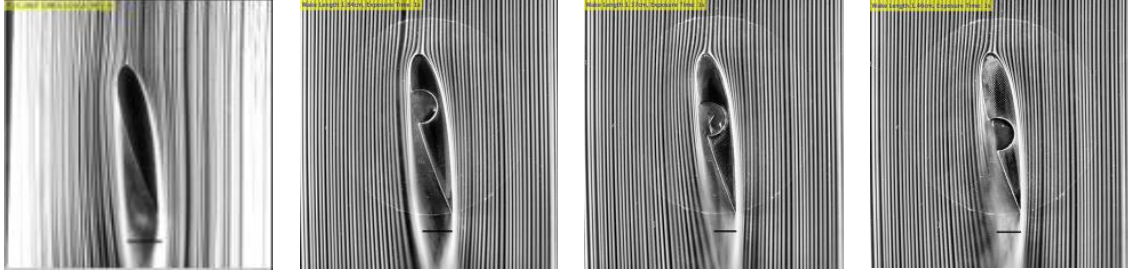
### Kavite Etkisi

Kavite etkisinin daha iyi karşılaştırılabilmesi için sonuçlar iki farklı tabloda verilmiştir. İlk tabloda (Tablo 2) kavitenin yalnızca konumunun değiştiği modellere yer verilirken ikinci tabloda (Tablo 3) kavite boyutu ve yarıçap etkileri gösterilmiştir. Her iki tabloda da verilen fotoğraflar ham görüntüleri değil görüntü işleme ile elde edilen sonuçlara aittir.

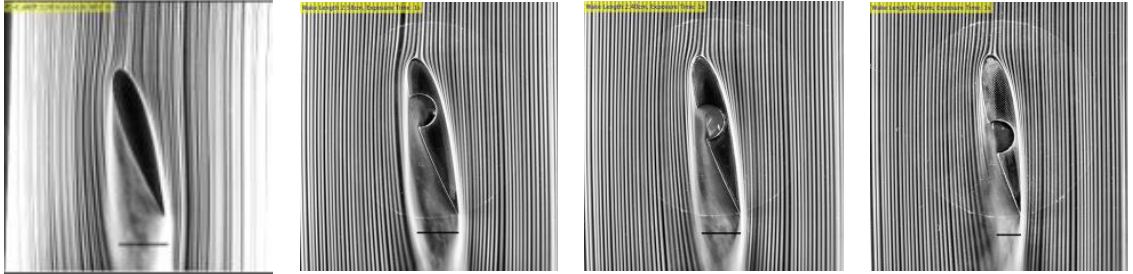
Tablo 2: Referans model, 0.22c, 0.30c ve 0.40c modellerinin deney görüntüleri

Hücum Açısı	Referans Model (NACA0018)	0.22c	0.30c	0.40c
0°				
8°				

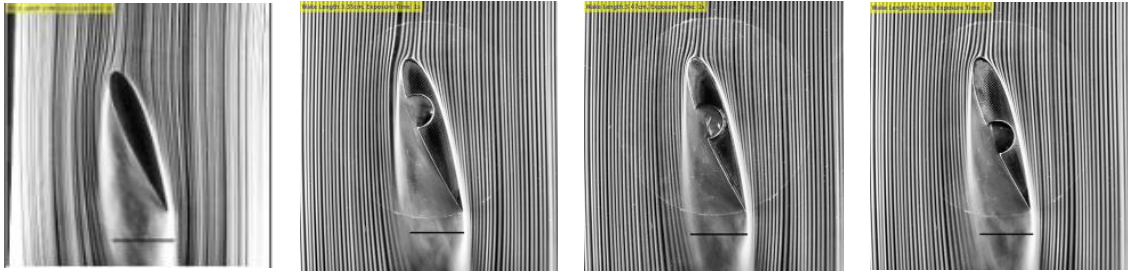
12°



16°



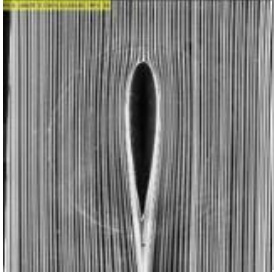
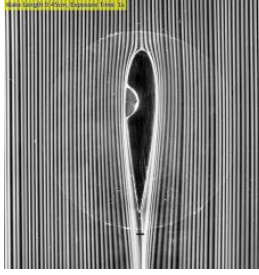
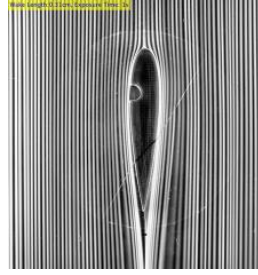
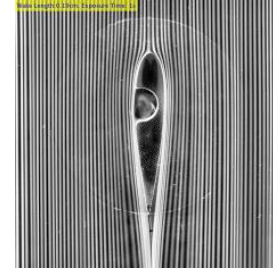
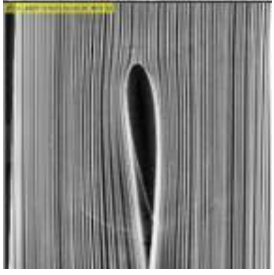
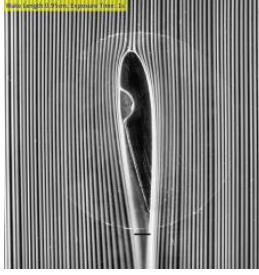
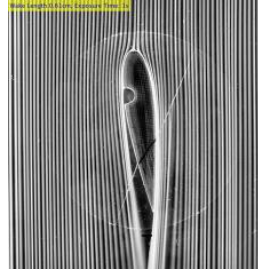
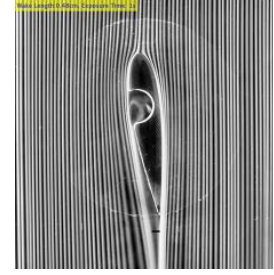

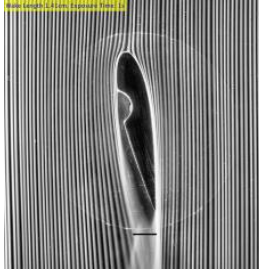
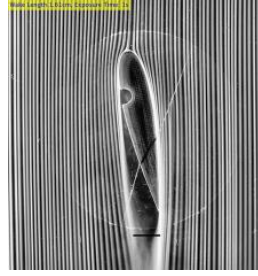
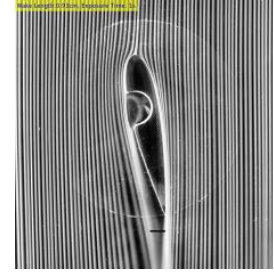

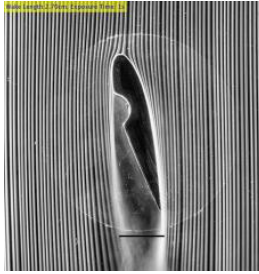
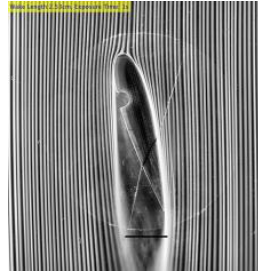
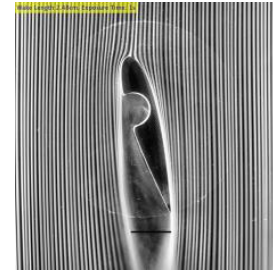

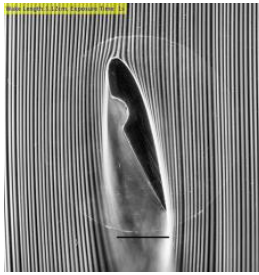
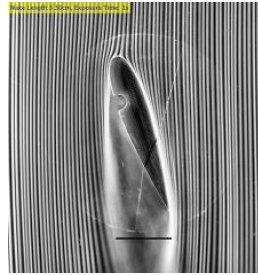

20°



Tablo 2 incelendiğinde tüm hücüm açılarında kaviteli modellerde oluşan akım çizgilerinin kavitesiz NACA 0018 modeline göre daha temiz ve düzgün bir görünüme sahip olduğu görünmektedir. Hücüm açısının artmasıyla birlikte tüm modellerdeki iz bölgesi genişliğini de artmaktadır. 0 Derece hücüm açısında kavitesiz kanat profili modeli en kısa iz bölgesi genişliğine sahip iken 8 derece hücüm açısında en dar iz bölgesi 0.40c modeline aittir. Bununla birlikte bu hücüm açısı değerinde kaviteli tüm modellerin kavitesiz modelden daha dar bir iz bölgesi genişliğine sahip olduğu ilgi çekmektedir. 16 derece hücüm açısında 0.22c modeli ile kavitesiz modeldeki akım ayrılmasının başladığı noktalar diğer modeller ile kıyaslandığında kanadın hücüm kenarına daha yakın konumdadır. 20 Derece hücüm açısında ise kaviteli modellerdeki akım ayrılması noktası kavitesiz modeldekine yaklaşmakta ve kavite etkisi azalmaktadır.



Tablo 3: Referans model, 0.22c sığ, 0.22c hem sığ hem dar ve 0.22c radyus modellerinin deney görüntüleri

Hücum Açısı	Referans Model (NACA 0018)	0.22c sığ	0.22c sığ ve dar	0.22c radyus
0°				
8°				
12°				
16°				
20°				

Tablo 3 üzerinde modeller incelendiğinde radyuslu model kavitesi içerisindeki vorteks ilgi çekmektedir. Bununla birlikte 8 derece hücum açısına bakıldığında etkisi en düşük olan model 0.22c sığ ve dar modelidir. 16 ve 20 derece hücum açılarında da bu model yine en etkisiz olan kaviteli model olarak görülmektedir. 0.22c sığ modeli 8 derece hücum açısında kavitesiz model ile karşılaştırıldığında akım çizgilerini model yüzeyine yaklaştırdığı görülmektedir. Benzer etki 12 ve 16

derecelerde de devam ederken 20 derece hücum açısında bu etki azalmaktadır. 12 derece hücum açısına kadar radyuslu modelde kavite içerisinde vorteks oluştuğu görülmekte ve iz bölgesi genişliğini diğer modellerden çok daha kısa olmaktadır. 16 ve 20 derece hücum açılarında ise etkisi azalmaktadır.

### DBD Plazma Aktüatör

DBD Plazma aktüatör deney görüntülerinin işlenmiş hali Tablo 4'deki gibidir. Tabloda pürüzsüz bir yüzeye sahip olan model görüntülerinin yanı sıra plazmanın kapalı ve açık olduğu durumlar yer almaktadır. Konfigürasyon numaralarının neyi ifade ettiği Şekil 6'da açıklanmıştır.

Tablo 4: Referans model, kaptonlu yüzey ve farklı plazma konfigürasyonlarının deney görüntüleri

$\alpha$	Referans Model	Kaptonlu Yüzey	Konfigürasyon 1	Konfigürasyon 2	Konfigürasyon 3	Konfigürasyon 4
0°						
8°						
12°						
16°						
20°						

Tablo 4'e göre plazmanın aktif olduğu bütün konfigürasyonlarda genel anlamda referans modele göre verim elde edildiği ve akışın yüzeye yaklaştığı görülmektedir. Bunun yanı sıra referans model ile kaptonlu yüzey arasında büyük farklılıklar olmadığı görülmektedir. Farklılıkların temel sebebi ise kaptonlu yüzeyde bulunan elektrotların hava akımında bozuntu oluşturmasıdır. Bu bozuntu ile hava akımı daha erken türbülansa girerek akışın yüzeye yaklaşmasını sağlamaktadır. Türbülans etkisinin 8 derece hücum açısında daha fazla olduğu görülmektedir. Konfigürasyon 1 modeli için referans modele göre 20 derece hariç bütün hücum açılarında plazmanın etkisi görülürken kaptonlu yüzeye göre sadece 12 derece hücum açısında plazmanın etkili olduğu anlaşılmaktadır. Benzer şekilde konfigürasyon 2 modelinde de kaptonlu yüzeye göre sadece 8 ve 12 derece hücum açılarında plazmanın etkili olduğu görülmektedir. Bununla birlikte 0 derece hücum açısında konfigürasyon 2

modeli diğerlerine gore oldukça farklıdır. Bütün durumlarda akış neredeyse bütün yüzeyi takip ederken bu modelde iz bölgesi oluşumu görülmektedir. Konfigürasyon 3 modeli, 16 derece hücum açısına kadar hava akımının yüzeye daha kararlı bir şekilde tutunmasını sağlamıştır. 20 derece hücum açısında etkisi önemli ölçüde azalmış olsa da önceki konfigürasyonlara kıyasla daha dar bir iz bölgesi oluşturmayı başarmıştır. Son olarak Konfigürasyon 4' incelediğimizde 20 derece hücum açısına kadar akım karakteristiği en kararlı olan kanat modeli olmuştur. Her bir hücum açısına karşılık elde edilen iz bölgesi genişliği yok denilecek düzeydedir.

Benzer sonuçlar, havacılıkta yaygın kullanılan NACA 4412 kanat profili kullanılarak düşük hızlarda yapılan dumanlı akış görüntüleme çalışmasında da elde edilmiş olup yüzey üzerindeki elektrot sayısının artışı daha üst düzeyde akış kontrolü sağlamıştır [Jurnal, Kolbakır, Duma, Karadağ, 2021].

## SONUÇ

### Girdap Oluşturma Mekanizması

Tablo 1'de denenen tüm modellerde iz bölgesi genişliğini azaltmaya yönelik etkilerin 12 derece ve sonrasında baskın hale geldiği anlaşılmıştır. 12 derecenin öncesinde modellerin oluşturdukları çıkıntıdan kaynaklı olarak iz bölgesi genişliğini arttırıcı bir etki göstermektedirler. Tablo 1'deki 6 model içerisinde, Referans Model olan NACA 0018'e göre en iyi sonucu 4MMP-0 Modeli sağlamıştır. 12-20 derece hücum açısı aralığında 4MMP-0 Modeli iz bölgesi genişliğini %21, 4MMP-0 Modeliyle neredeyse benzer sonuçları veren 4MMP-25 Modeli 12-20 derece aralığında %20, 4MMP-20 Modeli 12-20 derece aralığında %18, 4MMP-15 Modeli 14-20 derece aralığında %16, 4MMP-10 Modeli 16-20 derece aralığında %16, 4MMP-5 Modeli 16-20 derece aralığında %10, 4MMP Modeli 14-20 derece aralığında %21 ve Riblet Kanat Modeli 16-20 derece aralığında %25 oranında azaltıcı yönde davranış sergilemiştir. Sonuçlar incelendiğinde çıkıntılar hücum kenarından uzaklaştıkkça en etkin olduğu hücum açı değerleri düşmektedir. Biyomimetin optimize edilerek uygulandığı 4MMP Modeli ve biyomimetin tam bir uygulaması olan Riblet Kanat Modeli karşılaştırıldığında 4MMP Modelinin baskın hale geldiği açı 14 derece iken Riblet Kanat Modeli 16 derecede baskın hale gelmeye başlamıştır. 3 boyutlu yazıcının yeterli hassasiyete sahip olmaması ve üretilen riblet parçalarının elle kanat modeli üzerine yapıştırılmasından kaynaklı olarak beklenen hassasiyetin sağlanmadığı düşünülmektedir. Ayrıca riblet yapılarının yerleştirme açılarının da akışı etkilediği bilinmekte, daha düşük açılı olarak yerleştirildiği takdirde iz bölgesi genişliğini azaltıcı davranışının daha etkin olacağı düşünülmektedir.

Girdap oluşturma mekanizması deneyleri, pasif akış kontrolü kullanarak dumanlı rüzgar tünelinde düşük hızlarda (35000 Re) biyomimetik alanında çalışmanın olumlu ve olumsuz sonuçlarını incelenmiştir. Yapılan alışmada NACA 0018 Referans Modeline oranla; 4MMP-0 Modeli başta olmak üzere biyomimetin uygulandığı çıkıntılı kanat modellerinin iz bölgesi genişliğini azaltarak sürükleme kuvvetini azalttığı ve aerodinamik performansı arttırdığı gözlemlenmiştir.

### Kavite Etkisi

Bu alışma kapsamında 6 farklı kaviteli ve bir adet düz NACA 0018 kanat profilinin rüzgar tüneli deneyleri sunulmuştur. Deneyler düşük ses altı hızlarda gerçekleştirilmiş duman ile görselleştirme metodundan faydalanılmıştır. Deneylerde kavitenin kanat üzerindeki konumu, kavite boyutu ve kavite geometrisi incelenmiştir. Re sayısı sabit tutulduğunda düşük hücum açılarında 0.22c modelinin akışı yüzeye yaklaştırma etkisi maksimum iken yüksek hücum açılarında ise 0.40c modeli daha etkin olmaktadır. Siğ ve dar model etkisinin boyut anlamında olumsuz olduğu gözlemlenmiştir. Firar kenarına yakın kısımda ovalleştirme uygulanan 0.22c modelinin olumlu bir etkiye sahip olduğu ilgi çekmiştir.

### DBD Plazma Aktüatör

Yapılan alışma doğrultusunda DBD plazmanın aktif olduğu elektrot çiftlerinin artmasıyla birlikte akış karakteristiğinin daha düzenli hale geldiği grlmştr. Bunun bir diğer sebebi olarak elektrot çiftlerinin kanat profili üzerindeki konumları olduğu düşünülmektedir. Referans modelde akımın ayrıldığı noktadan önceki yüzey üzerinde aktif edilen plazmanın akımı yüzeye daha çok yaklaştırdığı yapılan

çalışmalarda görölmüştür. Akımın ayrıldığı noktadan sonraki yüzeylerde aktif edilen plazmanın ise akımı indüklemesi zorlaşabilmektedir. Dolayısıyla DBD plazma aktüatör kullanımından daha etkili sonuçlar alabilmek için elektrotların entegre edildiği konumlara dikkat edilmelidir. Ayrıca yüzeyinde en fazla elektrot çifti bulunan konfigürasyon 4 modeli için iz bölgesindeki daralma oranının en fazla olduğu ve bütün hücum açılarında akışın yüzeye neredeyse tamamen tutunduğu görölmüştür. Böylece viskoz etkilerin yok denecek kadar azaldığını söyleyebiliriz. Sürüklemenin önemli bir kısmı da viskoz etkilerden kaynaklandığı için DBD plazma aktüatör uygulamaları sayesinde büyük ölçüde aerodinamik verim elde edilebilir.

Yapılan mevcut çalışmaların daha da geliştirilmesi için deney odasına yerleştirilen pitot tüp yardımıyla basınç ölçümleri alınıp sürüklenme kuvveti hesaplamaları yapılabilir. Elde edilen sonuçlar bu çalışmada sunulan görseller ile karşılaştırılarak çıkarımlarda bulunulabilir.

## TEŐEKKÜR

Bu çalışma, TÜBİTAK 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı kapsamında desteklenmektedir (Proje no: 1919B012101047,1919B012102223,1919B012101867).

### Kaynaklar

Anders J. B., "Biomimetic flow control," Fluids 2000 Conf. Exhib., no. June, 2000, doi: 10.2514/6.2000-2543.

Akansu, Y. E., Karakaya, F., & şanlısoy, A., 2013. Active control of flow around NACA 0015 airfoil by using DBD plasma actuator, In EPJ web of conferences (Vol. 45, p. 01008). EDP Sciences.

Aris, M. S., Owen, I., & Sutcliffe, C. J., 2008. The development of active flow control devices from shape memory alloys for the convective cooling of heated surfaces, In ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition (Vol. 48715, pp. 1569-1575).

Bechert D. W., Hoppe G. and Reif W. E., "On the drag reduction of the shark skin," AIAA 23rd Aerosp. Sci. Meet. 1985, 1985, doi: 10.2514/6.1985-546.

Béra, J. C., Michard, M., Sunyach, M., & Comte-Bellot, G., 2000. Changing lift and drag by jet oscillation: experiments on a circular cylinder with turbulent separation, European Journal of Mechanics-B/Fluids, 19(5), 575-595.

"bionic-surface-technologies @ solarimpulse.com." [Online]. Available: <https://solarimpulse.com/companies/bionic-surface-technologies>.

Chernyshenko, S., Galletti, B., Iollo, A., and Zannetti, L., "Trapped Vortices and a Favourable Pressure Gradient," Journal of Fluid Mechanics, Vol. 482 2003, pp. 235-255

"copying-nature-in-design-revisited-9983c9df411f @ medium.com." [Online]. Available: <https://medium.com/@thedsgnr/copying-nature-in-design-revisited-9983c9df411f>.

Domel A. G., Saadat M., Weaver J. C., Haj-Hariri H., Bertoldi K., and Lauder G. V., "Shark skin inspired designs that improve aerodynamic performance," J. R. Soc. Interface, vol. 15, no. 139, pp. 1–9, 2018, doi:10.1098/rsif.2017.0828.

Hsiao, F. B., & Shyu, J. Y., 1991. Influence of internal acoustic excitation upon flow passing a circular cylinder, *Journal of Fluids and Structures*, 5(4), 427-442.

Jurnal, G., Kose, C., Kolbakır, C., Durna, A. S., and Karadağ, B. (2021). Improvement of smoke rakes and the image processing for the flow visualization experiments. 11th Ankara International Aerospace Conference, September 2021.

Jurnal, G., Kolbakır, C., Durna, A. S., and Karadağ, B. (2021). Experimental Analysis of the Effect of Plasma Actuator on Flow Control on NACA 4412 Airfoil. 11th Ankara International Aerospace Conference, September 2021.

Karadağ, B., Kolbakır, C. and Durna, A.S. (2021), Plasma actuation effect on a NACA 4412 airfoil, *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, Vol. 93 No. 10, pp. 1610-1615.  
<https://doi.org/10.1108/AEAT-04-2021-0101>

Post, M. L., & Corke, T. C., 2004. Separation control on high angle of attack airfoil using plasma actuators, *AIAA journal*, 42(11), 2177-2184.

Schulmeister, J. C., Dahl, J. M., Weymouth, G. D., & Triantafyllou, M. S., 2017. Flow control with rotating cylinders, *Journal of Fluid Mechanics*, 825, 743-763.

Smith, D., Amitay, M., Kibens, V., Parekh, D., & Glezer, A., 1998. Modification of lifting body aerodynamics using synthetic jet actuators, In 36th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit (p. 209).

Stark C. and Shi W., "The influence of leading-edge tubercles on the hydrodynamic performance and propeller wake flow development of a ducted propeller," *Proc. Int. Offshore Polar Eng. Conf.*, pp. 2837–2844, 2021.

Şanlısoy, A., 2013. Plazma Aktüatörün NACA2415 Model Uçak Kanadı Etrafındaki Akış Kontrolü Üzerine Etkisinin İncelenmesi (Master's thesis, Niğde Üniversitesi).

Thomas, F. O., Kozlov, A., & Corke, T. C., 2008. Plasma actuators for cylinder flow control and noise reduction, *AIAA journal*, 46(8), 1921-1931.