



Hidrofobik Kaplamanın Kanat Profillerinin Aerodinamik Parametrelerine Etkisinin Deneysel İncelenmesi

Experimental Investigation Of The Effect Of Hydrophobic Coating On Aerodynamic Parameters Of Airfoils

Fevzi Şahin^{1*}, İsmayil İsmailov¹, Hakan Özcan¹

¹Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Samsun/TÜRKİYE

Başvuru/Received: 27/10/2022

Kabul / Accepted: 04/01/2023

Çevrimiçi Basım / Published Online: 31/01/2023

Son Versiyon/Final Version: 31/01/2023

Öz

Bu çalışmada NACA 4418 kanat profili üzerinde deneysel bir çalışma yürütülmüştür. Kanat profili spray kaplama yöntemi ile iki farklı malzeme ile kaplanmış, ıslanırılık derecesi (su damlasının yüzey ile temas açısı, θ) belirlenmiştir. Normal ($\theta=59^\circ < 90^\circ$: hidrofilik), hidrofobik ($\theta=93^\circ > 90^\circ$) ve süperhidrofobik ($\theta=154^\circ > 150^\circ$) olmak üzere üç farklı kanat profile yüzeyi elde edilmiştir. Bu üç farklı durum için, kaldırma ve sürüklenme katsayıları, 15 m/s ($Re=253.196$) serbest akım hızında ve 6 farklı hücum açısında ($-10^\circ, -5^\circ, 0^\circ, 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ$) rüzgar tüneline deneysel olarak belirlenerek birbiriyle karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, normal (hidrofilik) kanat profiline, hidrofobik ve süperhidrofobik özellik kazandırılmasının kanat profilinin kaldırma katsayılarını tüm hücum açıları dikkate alındığında sırasıyla ortalama %15 ve %23 oranında iyileştirdiğini göstermiştir. Ayrıca normal (hidrofilik) kanat profiline, hidrofobik ve süperhidrofobik özellik kazandırılması kanat profilinin sürüklenme katsayılarını tüm hücum açıları dikkate alındığında sırasıyla ortalama %12 ve %20 oranında düşürmüştür.

Anahtar Kelimeler

“Kanat Profili, Sprey Kaplama, Hidrofobik, Süperhidrofobik, Kaldırma Katsayısı, Sürüklenme Katsayısı”

Abstract

In this study, an experimental study was carried out on NACA 4418 wing profile. The airfoil was covered with two different materials by spray coating method, the degrees of wetting (water droplet contact angle with the surface, θ) were determined. The three different surfaces that are as normal ($\theta = 59^\circ < 90^\circ$: hydrophilic), hydrophobic ($\theta = 93^\circ > 90^\circ$) and superhydrophobic ($\theta = 154^\circ > 150^\circ$) were obtained. For these three different situations, the lift and drag coefficients were determined experimentally in the wind tunnel at a free flow velocity of 15 m / s ($Re = 253.196$) and 6 different angle of attack ($-10^\circ, -5^\circ, 0^\circ, 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ$) and compared with each other. The results showed that when the hydrophobic and superhydrophobic properties to the normal (hydrophilic) airfoil were introduced, the lift coefficients of airfoil increased by an average of 15% and 23%, respectively for all the studied attack angles. In addition, adding hydrophobic and super hydrophobic properties to the normal (hydrophilic) airfoil decreased the drag coefficients of the airfoil by 12% and 20%, respectively for all the studied attack angles.

Key Words

“Spray Coating, Hydrophobic, Superhydrophobic, Lift Coefficient, Drag Coefficient”

1. Giriş

Bir uçağın aerodinamik yapısının en önemli elemanı olan kanat profilleri, Wright kardeşler tarafından insanlı ve motorlu bir uçağın ilk defa uçurulduğu tarihten bu yana olağanüstü bir hızla gelişen havacılık endüstrisinde üzerine en fazla çalışma yapılan alanlardan birisi olmuştur. Kanat profillerinin aerodinamiği ile ilgili çalışmalar 19. Yüzyıl sonlarında rüzgâr tünellerinin geliştirilmesi ile başlamıştır. Uçakların kullanım amaçlarına göre uçak kanat profili geometrilerinde çok büyük farklılıklar görülmektedir. Günümüzde çeşitli ülkelerde geliştirilmiş yüzlerce kanat profili şekli bulunmaktadır. Bu profillerin büyük bir çoğunluğu 2.Dünya savaşı öncesinde ve savaş sırasındaki yıllarda Amerika'da NACA(National Advisory Committee for Aeronautics) tarafından ve bir kısmı da İngiltere, Almanya, Rusya gibi bazı ülkelerde üretilmiş olan profillerden hareketle geliştirilmiştir. Kanat profillerinin aerodinamik performansı, genellikle farklı hücum açısı ve serbest akım hızlarında karşılaştırılır. Performans parametresi olarak sürüklenme katsayısı, taşıma katsayısı en önemli olanlarıdır (Güzelbey et al., 2018). Aerodinamik performansın artırılmasında bahsedildiğinde, kanat profili etrafında oluşan kaldırma kuvvetinin artırılması ve sürüklenme kuvvetini azaltılması anlaşılmaktadır. Kaldırma kuvvetini arttırmak kanat profili etrafındaki basınç dağılımını artırmakla sağlanabildiği gibi aynı zamanda profil etrafındaki sınır tabaka kalınlığının düşürülmesi veya türbülanslı sınır tabakanın firar kenarı civarına taşınması ile sağlanabilir. Ayrıca aerodinamik performansı arttırmak için; hücum açısı artırılabilir, kanat profiline kamburluk verilebilir veya yüksek kaldırma aygıtları kullanılabilir (Genç et al., 2008).

Literatürde ayrıca farklı aerodinamik yapılar üzerindeki yağmur ve buz birikiminin etkisinin, bu sistemlerin güvenli çalışmalarına ve performanslarına etkileri üzerine çalışmalar yapılmıştır (Campbell et al., 1989; Wu et al., 2015). Rüzgâr tüneli testi ile uçak aerodinamiği üzerindeki yağmur etkilerinin araştırıldığı ilk çalışmalardan olan Rhode (1941) tarafından gerçekleştirilmiştir. Hava aracının yaklaşık 50 g/m^3 su içeriğine sahip yağmur bulutuyla karşılaşmasında hava hızında % 18 bir azalma olduğunu kaydetmiştir (Rhode, 1941). Farklı aerodinamik yapılarda su itici özelliklere sahip süperhidrofobik yüzeyler kullanılması ile buzlanmanın önlenmesi ve/veya yağmur koruması sağlanmasının ana fikri, korozyonu önlemek, aerodinamiği geliştirmek veya malzemeye kendi kendini temizleme özellikleri kazandırılması olarak ifade edilebilir. Uçak kanatlarında buz birikmesinin, kaldırma kuvveti kaybına ve sürtünmenin artmasına neden olabildiği gösterilmiştir (Okulova et al., 2018). Buzlanmanın önlenmesi ve kanat profillerindeki böcek kalıntılarının temizlenmesi için kanat profil yüzeylerinin hidrofobik/süperhidrofobik özellik kazandırılmasının üzerine yapılan bir çok çalışma vardır (De Pauw et al., 2017; Krishnan et al., 2017). Soğuk koşullarda çalışan uçaklar, önemli ölçüde uçak kanat yapılarını bozan buzlanma riski altındadır, bu da uçuş performansı ve güvenlik için tehlike oluşturabilir (Jung et al., 2011). Mevcut buz çözme sistemlerinin çoğu, kaynak ve enerji yoğun olan ve aynı zamanda çevreyi kirleten buzun fiziksel veya kimyasal olarak uzaklaştırılmasını içerir. İlk buz oluşumunu önlemek için daha arzu edilen bir yaklaşım yüksek dereceli süperhidrofobik malzemeler kullanmaktır (Cao et al., 2009; Liu et al., 2008). Son zamanlarda, süperhidrofobik yüzeyler buzlanma önleyici olarak önerilmiştir. Bu uygulamaların kanat profillerinin aerodinamik özelliklerine etkisi ise sınırlı düzeyde araştırılmıştır. Mahmoodi ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada kanat profillerinin performansını arttırmak için süperhidrofobik yüzeyler kullanımının potansiyelini incelemişleridir (Mahmoodi et al., 2017). Bunun için NACA 4412, 4418 ve 4424 kanat profilleri sayısal olarak incelenmiştir. Çalışmanın sonuçları, küçük hücum açılarında ($<5^\circ$) süperhidrofobik yüzeyler için kaldırma kuvvetinde % 66'ya kadar bir artış ve sürüklenme kuvvetinde ise %45 varan bir düşüşe neden olduğunu göstermiştir. Sonuçlar ayrıca daha büyük hücum açılarında ($>5^\circ$) ise süperhidrofobik kanat profili için kaldırma kuvvetindeki artış ve sürüklenme kuvvetindeki azalmaya daha sınırlı düzeyde gerçekleşmiştir.

Kaldırma kuvvetini arttırmak ve sürüklenme kuvvetini azaltmak, daha iyi kanat profilleri tasarlamının iki temel amacıdır. Bu nedenle, süperhidrofobik kanatların kullanılması, daha verimli kanat profilleri tasarlamada potansiyel olarak yeni bir yol açabilir. Dolayısıyla bu çalışmada seçilen NACA 4418 kanat profili yüzeyi hidrofobik/süperhidrofobik hale getirilerek, bu uygulamaların kanat profiline kaldırma ve sürüklenme katsayıları gibi aerodinamik performanslarına etkilerini farklı hücum açılarında araştırılarak, bu konuda literatüre katkı sağlanması amaçlanmıştır.

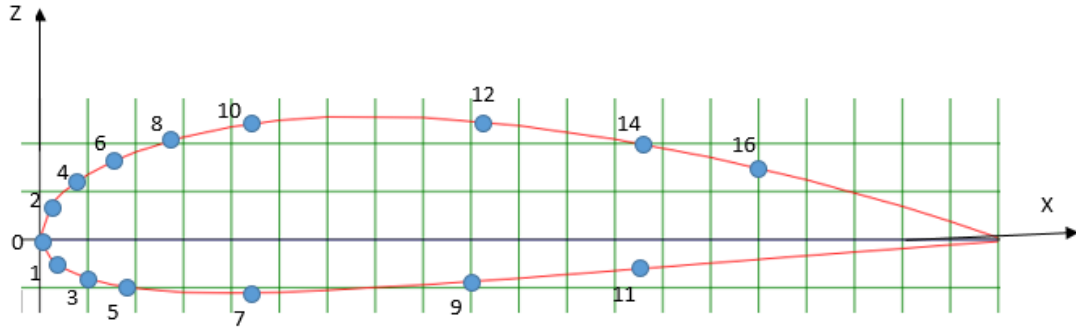
2. Materyal ve Metot

Deneylerde kullanılmak üzere NACA 4418 kanat profili seçilmiştir. Bu kanat profili düşük hızlar ve düşük Re sayıları için NACA tarafından geliştirilmiştir. Bu kanat profilleri yaygın olarak çok hafif insanlı uçaklarda, rüzgâr türbin kanatçıklarında kullanılmaktadır. Aerodinamik performans deneyleri GDJ. INC. Marka FLOTEK 1440 model, maksimum 40 m/s rüzgâr hızı üretebilen, emmeli tip, 30X30 cm deney haznesine sahip rüzgâr tüneline gerçekleştirilmiştir. Şekil 1'de kanat profiline Rüzgâr tüneli test alanındaki görünüşü verilmiştir.



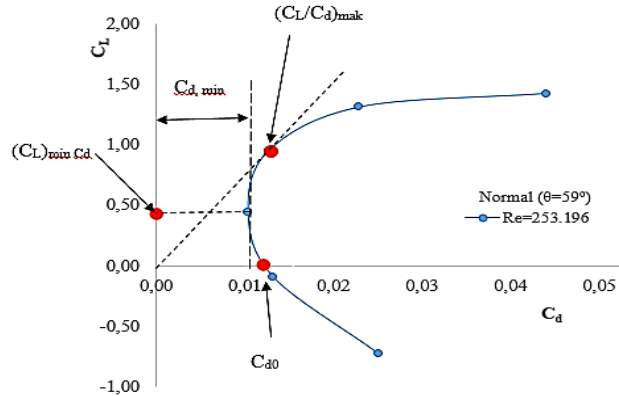
Şekil 1. Deneysel olarak kullanılan kanat profilinin rüzgâr tüneli test alanındaki görünüşü.

Kaldırma ve sürüklenme katsayılarının hesaplanmasında şekil 2’de gösterildiği gibi kanat profilinin üst kısmında 8, alt kısmında 7 olmak üzere toplam 15 noktadaki basınç istasyonlarından ölçülen basınç ölçüm değerleri kullanılmıştır. Ölçüm istasyonları deneylerden önce manometre kullanılarak kalibre edilmiştir. Rüzgâr tüneli içerisinde serbest akım hızı bir anemometre aracılığıyla ölçülmüştür. Ayrıca statik pitot tüpü ile ölçülerek kontrol edilmiştir. Deneyler sırasında laboratuvar sıcaklığının $15\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve nem oranının ise $\%70 \pm \%10$ aralığında olduğu ölçülmüştür.



Şekil 2. Basınç Ölçüm İstasyonları.

Kanat üzerindeki basınç dağılımının uyguladığı toplam kuvvet, toplam yüzey integrali olarak ifade edilebilir. Ölçüm istasyonları belirli aralıklar yerleştirildiğinden sürekli bir basınç dağılımı olmadığından kaldırma ve sürüklenme kuvvetleri sayısal bir toplamla hesaplanmıştır. Şekil 3’te, kaldırma katsayısının sürüklenme katsayısı ile değişimini gösteren bir grafik verilmiştir. Bu grafik üzerinde minimum sürüklenme katsayısı ($C_{d, \min}$), minimum sürüklenme katsayısında kaldırma katsayısı ($C_{L, \min C_d}$), sıfır kaldırmadaki sürüklenme katsayısı (C_{d0}) ve kaldırma katsayısının sürüklenme katsayısına oranının maksimum değeri $(C_L/C_d)_{\max}$ değerleri gösterilmiştir. Deney sonuçları kullanılarak yukarıda sıralanan değerler bulunmuş ve ileri ki bölümde Tablo 1’de sunulmuştur.



Şekil 3. Kaldırma Katsayısının Sürüklenme Katsayısı İle Değişimini Ve Bazı Özel Katsayıların Hesaplanması.

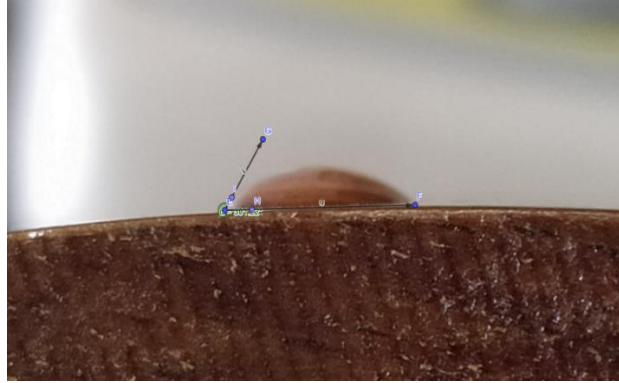
Islanıklık niteliklerinin belirlenmesi için sıvı damlasının yüzeyde temas açısıyla ilgili genel olarak üç farklı durumu belirlenmiştir. Temas açısı 90° ’den az ise ıslanır (hidrofilik), 90° ve 150° arasında ise ıslanmaz (hidrofobik), 150° ’den çok ise süper ıslanmaz

(süperhidrofobik) yüzey olarak adlandırılmaktadır. Hidrofobik yüzeylerin sağlanmasında sprej, kaplama, mikro yüzey işlenmesi ve düzenli yüzey fabrikasyonu gibi çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu çalışmada kanat profil yüzeylerine hidrofobiklik kazandırmak için sprej kaplama metodu kullanılmıştır. Başlangıç deneyleri olan imal edilen kanat profilinin aerodinamik performansının belirlenmesi ile ilişkili deneyler tamamlandıktan sonra profil test alanından çıkarılarak temizlenmiş ve üzerine ticari hidrofobik solüsyon olan "Vodasel" marka şeffaf sprej sıkılarak bekletilmeye bırakılmıştır. Spreyin yüzeyi tam olarak kaplaması için 4 saat sonra ikinci defa sıkılmış ve 1 gün bekletilmiştir. Hidrofobik yüzeyle yapılan deneylerin ardından kanat yüzeyinin süperhidrofobikleştirilmesi aşamasına geçilmiştir. Bunun için sprej kaplama yöntemi seçilmiş ve Mertech İleri Teknoloji Malzemeleri A.Ş tarafından modifiye edilen Mertech-Sol hidrofobik floropolimer esaslı malzeme kullanılmıştır. Bu solüsyon uygulanmadan önce kanat profili yüzeyi iyice temizlenmiştir. Solüsyon profil yüzeyine uygulandıktan sonra 1 gün bekletilmeye bırakılmış ve yüzeyle efektif bir şekilde etkileşimi için ısı işlem uygulanmıştır. Hidrofobiklik derecesinin ölçülmesi için, yüksek çözünürlüklü kamera kullanılarak yüzeyin yakın mesafeden fotoğrafları çekilmiştir. Yüzeyin hidrofobiklik derecesinin belirlenmesine "GeoGebra Classic" yazılımının derece ölçme fonksiyonundan yararlanılmış, yüzeyin yakın mesafeden çekilen fotoğrafları kullanılmıştır. Deneysel çalışmada rastgele hatayı azaltmak basınç ölçümleri için en az 10 ve hız ölçümü için ise en az 3 ölçüm sonucu alınarak bu verilerin ortalama değeri hesaplamalarda kullanılmıştır. Ayrıca deney sonuçlarındaki toplam belirsizlik hesaplanmıştır (Kline ve McClintock, 1953). Basınç ölçümlerinde hata payı (w_p) \pm %0.25 ve serbest akım hız ölçümlerinde hata payı ise (w_v) ise \pm %1'dir. Hesaplanan parametrelerdeki toplam belirsizlik miktarı Denklem 1'de verilmiştir. Toplam belirsizlik Denklem 1'den, 1.03 olarak hesaplanmıştır.

$$W_{toplam} = \sqrt{(w_p)^2 + (w_v)^2} \quad (1)$$

3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada sprej kaplama yöntemi kullanılarak NACA 4418 kanat profilinin alt ve üst kanat yüzeylerinde iki farklı hidrofobiklik derecesine sahip yüzey elde edilmiştir. Hidrofilik (Normal), hidrofobik ve süperhidrofobik yüzeyler olmak üzere üç farklı durum için, kaldırma ve sürüklenme katsayıları, 15 m/s (Re = serbest akım hızında ve 6 farklı hücum açısında (-10°, -5°, 0°, 5°, 10°, 15°) rüzgâr tüneline deneysel olarak belirlenerek birbiriyle karşılaştırılmıştır. Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6'da normal ve sprej kaplama yöntemi kullanılarak yüzeyleri su itici malzeme ile kaplanan kanat profillerinin yüzeylerinin su ile temas açılarının ölçümleri verilmiştir.



Şekil 4. Su Damlasının Normal Kanat Profili Üzerinde Yüzeyle Temas Açısının Belirlenmesi ($\Theta=59^\circ < 90^\circ$: Hidrofilik).

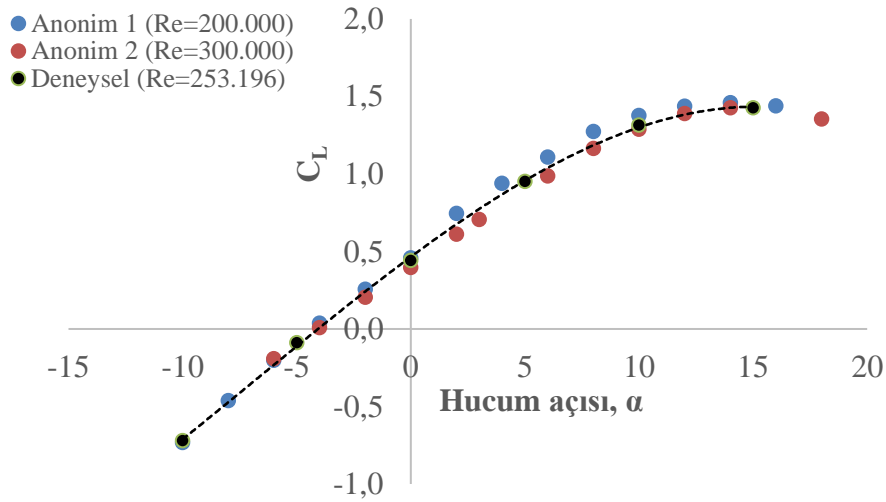


Şekil 5. Ticari Hidrofobik Solüsyon Uygulanan Kanat Profilinde Su Damlasının Yüzeyle Temas Açısının Belirlenmesi ($\Theta=93^\circ > 90^\circ$: Hidrofobik).

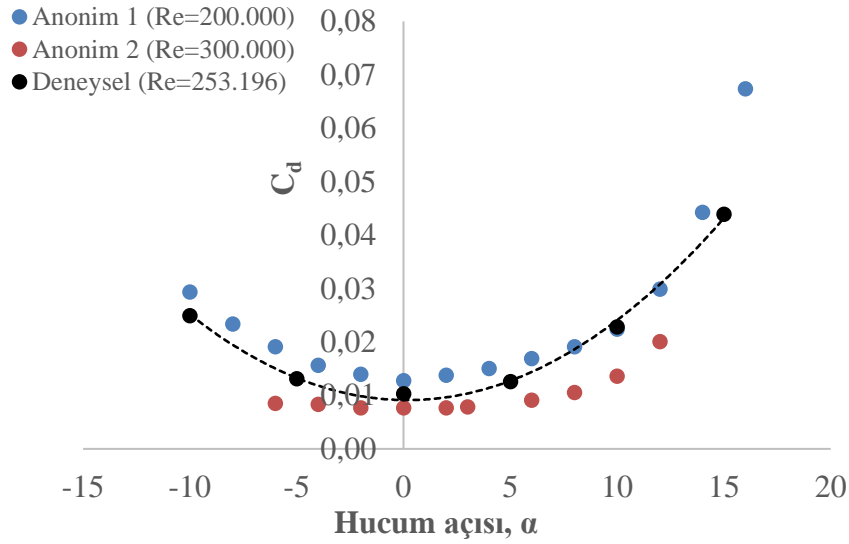


Şekil 6. Floropolimer Esaslı Malzeme İle Kaplanmış Kanat Profilinde Su Damlasının Yüzeyle Temas Açısının Belirlenmesi ($\Theta=154^\circ > 150^\circ$: Süperhidrofobik).

Normal yüzey için temas açısı 59° , ticari hidrofobik solüsyon uygulanan kanat profile için 93° ve floropolimer esaslı malzeme ile kaplanmış kanat profile için ise 154° olarak bulunmuştur. Bu sonuçlara göre normal kanat profil yüzeyi hidrofilik bir karaktere sahip iken, uygulanan kaplamalardan sonra kanat profilinde hidrofobik ve süperhidrofobik özelliğe sahip yüzeyler elde edilmiştir. Rüzgar tünelineki deneylerin ve hesaplamaların güvenilirliği kontrol etmek amacıyla elde edilen veriler Şekil 7 ve Şekil 8’de gösterildiği gibi literatür ile karşılaştırılmıştır (Anonim 1, *Airfoil Tools NACA 4418*, 2020; Anonim 2, Bijl et al., 2020). Şekil 7’de görüldüğü üzere, beklendiği gibi negatif hücum açılarında negatif kaldırma katsayısı elde edilmiş, hücum açısının pozitif değerlere doğru değiştirildiğinde kaldırma katsayısının arttığı ve pozitif değerlere ulaştığı görülmektedir. Şekil 8’de sürüklenme katsayısının hücum açısı ile değişimleri incelendiğinde negatif hücum açılarından pozitif hücum açılara doğru gidildikçe sürüklenme katsayısının azalarak minimum değerine ulaştığı sonra pozitif hücum açısına doğru hücum açısındaki artışla sürüklenme katsayısının artmaya devam ettiği görülmektedir. Deney verileri kullanılarak hesaplanan kaldırma ve sürüklenme katsayısı değerlerinin literatür verileri ile benzer eğilimlere sahip olduğu, ancak büyüklük olarak literatür değerlerinden bir miktar farklı olduğu görülmektedir. Bu fark ise %10’nun altındadır. Bu sonuçlar deney sonuçlarının güvenilir olduğunu göstermektedir. Deney sonuçları ile literatürdeki sonuçların büyüklükleri arasındaki farkın sebebinin, hem bu çalışmada kullanılan kanat profilinin hem de karşılaştırılan literatürde kullanılan kanat profillerinin imalatındaki farklılıklar ile deney koşul ve hassasiyetlerinden kaynaklandığı değerlendirilmiştir.

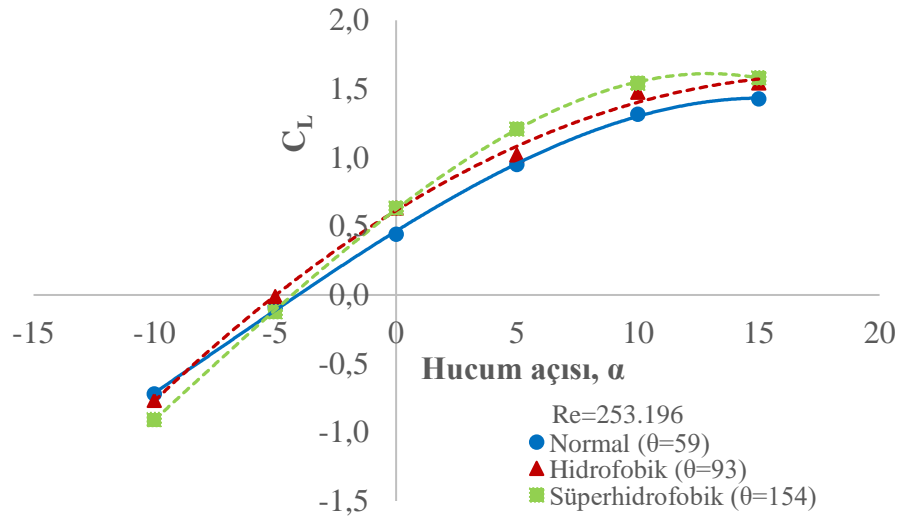


Şekil 7. Deneysel Verileri Kullanılarak Hesaplanan Kaldırma Katsayılarının Literatür İle Karşılaştırılması.



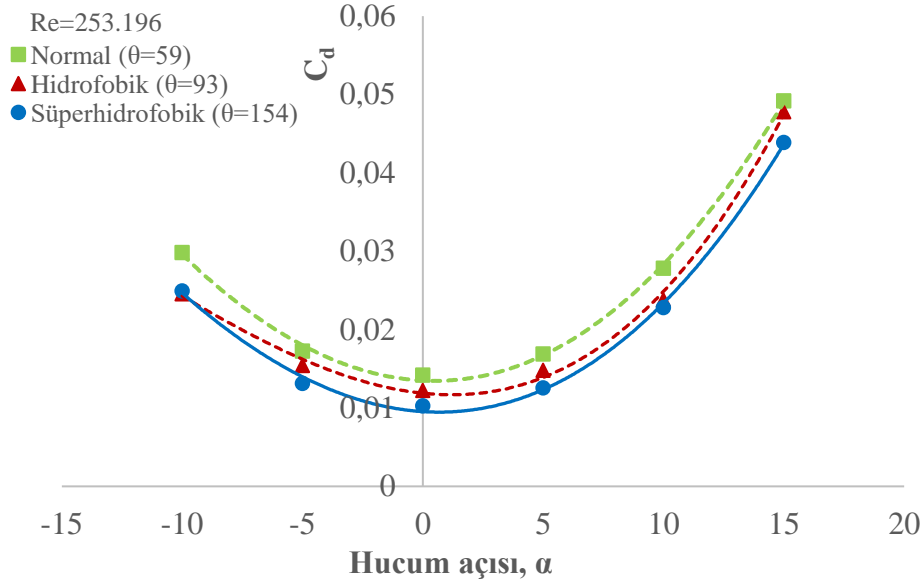
Şekil 8. Deneysel Verileri Kullanılarak Hesaplanan Sürüklenme Katsayılarının Literatür İle Karşılaştırılması.

Şekil 9'da üç durum için [normal orijinal ($\theta=59^\circ$); hidrofobik ($\theta=93^\circ$); süperhidrofobik ($\theta=154^\circ$)] kaldırma katsayılarının hücum açısı ile değişimi verilmiştir. Bu şekle bakıldığında negatif hücum açılarında kaldırma katsayısının negatif değerler aldığı görülmektedir. Hücum açısındaki artışla beraber kaldırma katsayısı da artarak yaklaşık -4° hücum açısında pozitif değere ulaşmaktadır. Daha sonra artan hücum açısı değerleri ile, kaldırma katsayısı artmaya devam etmekte ve 15° 'lik hücum açısı yakınlarında maksimum değerine ulaşmaktadır. Bu grafikteki sonuçlar hidrofobik ve süperhidrofobik uygulamaların kaldırma katsayısı üzerinde olumsuz bir etkisi olmadığı aksine özellikle kaldırma katsayılarında bir miktar artışa neden olduğunu göstermektedir.



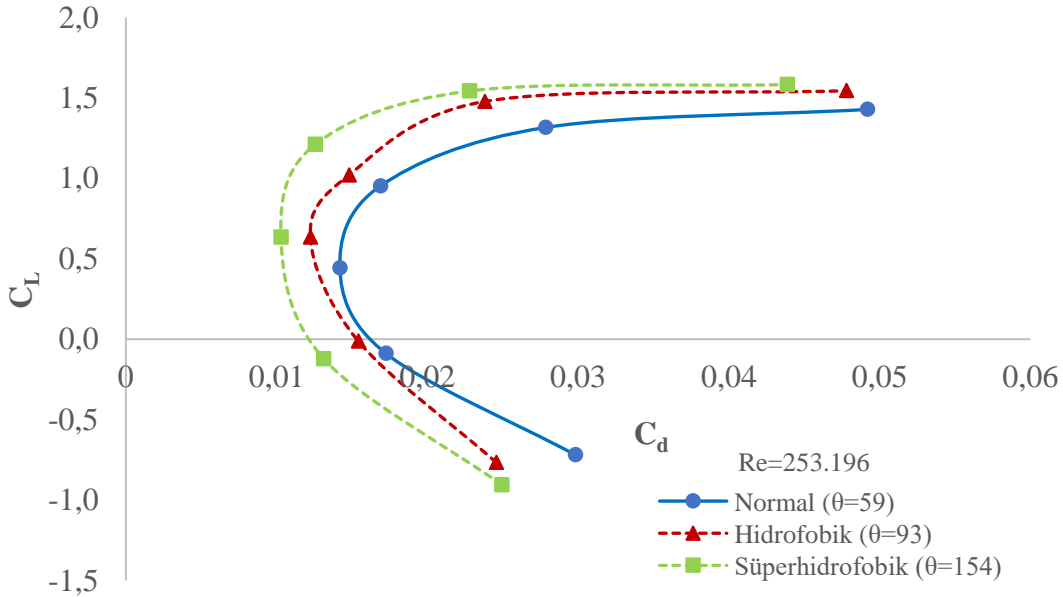
Şekil 9. Kaldırma Katsayısının Üç Farklı Durum İçin [Normal Orijinal ($\Theta=59^\circ$); Hidrofobik ($\Theta=93^\circ$); Süperhidrofobik ($\Theta=154^\circ$)] Hücum Açısı İle Değişimi (Re=253.196).

Şekil 10'da üç durum için [normal orijinal ($\theta=59^\circ$); hidrofobik ($\theta=93^\circ$); süperhidrofobik ($\theta=154^\circ$)] sürüklenme katsayılarının hücum açısı ile değişimi verilmiştir. Bu grafikteki sonuçlar hidrofobik ve süperhidrofobik uygulamaların sürüklenme kuvvetini azaltarak sürüklenme katsayısı düşürdüğünü göstermektedir.



Şekil 10. Sürüklenme Katsayısının Üç Farklı Durum İçin [Normal ($\Theta=59^\circ$); Hidrofobik ($\Theta=93^\circ$); Süperhidrofobik ($\Theta=154^\circ$)] Hucum Açısı İle Değişimi (Re=253.196).

Şekil 9 ve şekil 10'daki sonuçları bakıldığında, özetle hidrofobik ve süperhidrofobik kanat profillerinde, normal kanat profiline göre kaldırma katsayılarında iyileşme eğilimi görünürken, sürüklenme katsayılarında ise düşüş eğilimleri dikkati çekmektedir. Özellikle kanat profili üzerinde kaldırma kuvvetinin oluşumunu sağlayan, kanat alt ve üst yüzeylerinde basınç farkının oluşmasıdır, bu basınç farkının yaratılmasında ise sınır tabakası önemli bir görev üstlenmektedir. Hidrofobik ve süperhidrofobik uygulamanın sınır tabakanın yüzeyden ayrılmasının geciktirdiği bu yüzden de kaldırma katsayılarında arttığı değerlendirilmiştir. Direnç katsayısındaki azalma ise büyük oranda sınır tabakanın uzun bir süre yüzeye tutunmuş olarak kalması ve bu nedenle basınç direncinin azalmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca bilindiği üzere sürtünme direnci viskoziteye önemli ölçüde bağlıdır ve viskozitenin artması ile artar. Hidrofobik ve süperhidrofobik uygulamaların kanat profil yüzeyinde pozitif bir viskozite gradyanı oluşturarak, sürüklenme katsayısındaki düşüşlerde etkili olduğu da değerlendirilmiştir. Şekil 11'de üç durum için [normal orijinal ($\theta=59^\circ$); hidrofobik ($\theta=93^\circ$); süperhidrofobik ($\theta=154^\circ$)] kaldırma katsayısının sürüklenme katsayısı ile değişimi verilmiştir.



Şekil 11. Kaldırma Katsayısının Üç Farklı Durum İçin [Normal ($\Theta=59^\circ$); Hidrofobik ($\Theta=93^\circ$); Süperhidrofobik ($\Theta=154^\circ$)] Sürüklenme Katsayısı İle Değişimi (Re=253.196).

Bu grafik kullanılarak $C_{d, \min}$, $C_{L, \min}$, C_{d0} ve $(C_L/C_d)_{\max}$ hesaplanarak Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Kanat Profillerinin Bazı Özel Durumlar İçin Karşılaştırılması

	$\theta=59^\circ$	$\theta=93^\circ$	$\theta=154^\circ$
$(C_L/C_d)_{\text{mak}}$	59.06	72.93	100.5
$C_{d, \text{min}}$	0,0141	0,0122	0,0102
$C_{L, \text{min } C_d}$	0,4435	0,6562	0,6181
C_{d0}	0,0161	0,0152	0,0119

Şekil 11 ve Tablo 1’de verilen sonuçlara bakıldığında $(C_L/C_d)_{\text{mak}}$ değerinin normal yüzey için, hidrofobik ve süperhidrofobik yüzeyden daha büyük olduğu, süperhidrofobik yüzeyin değerinin ise hidrofobik yüzeyinkinden daha büyük olduğu görülmektedir. C_L/C_d oranı airfoilin verimliliğini gösterir. Yüksek C_L/C_d oranlı airfoilin, düşük C_L/C_d oranlı airfoilden daha verimlidir. Yüzeyle spray yöntemi ile kaplanması ve yüzeyle hidrofobik ve süperhidrofobik özellik kazandırılması kanat profillerinin verimlerini artırmıştır. C_{d0} , sürtünme ve basınç dağılımları ile ilişkilidir. Ayrıca, C_{d0} genellikle bir hava aracının aerodinamik temizliğinin bir göstergesi olarak kullanılır. C_{d0} değerleri karşılaştırıldığında normal kanat profilinin en yüksek, süperhidrofobik kanat profilinin ise en düşük değere sahip olduğu görülmektedir. C_{d0} değerlerindeki değişimlerin, ıslanan alanın (dış hava akışıyla temas eden alan) kanat alanına oranındaki önemli bir farktan kaynaklandığı değerlendirilmiş, hidrofobik ve süperhidrofobik kanat profillerinin aerodinamik iyileşmesinin bir göstergesi olarak yorumlanmıştır. $C_{d, \text{min}}$ ve $C_{L, \text{min } C_d}$ kanat profili seçiminde oldukça önemli parametrelerdir. Sonuçlar $C_{d, \text{min}}$, en düşük değerini süperhidrofobik kanat profili için alırken en yüksek değerini ise normal kanat profili için almaktadır. $C_{d, \text{min}}$ değerinin küçük olması istenir. Bu değer düşük olması, kanat profilinin daha düşük dirençle çevredeki viskoz havada hareket etmesi anlamına gelmektedir. $C_{L, \text{min } C_d}$ değeri normal kanat profili için en düşük, süperhidrofobik kanat profili için en yüksek değere sahiptir. Buda hidrofobik ve süperhidrofobik kanat profilinin, normal kanat profiline göre daha düşük dirençle çevredeki viskoz havada hareket ettiğinde daha fazla kaldırma kuvveti meydana getirebildiğini göstermektedir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada Normal (hidrofilik), hidrofobik ve süperhidrofobik yüzey özelliğine sahip kanat profilinin 15 m/s ($Re=253.196$) serbest akım hızında 6 farklı hücum açısında (-10° , -5° , 0° , 5° , 10° , 15°) kaldırma ve sürüklenme katsayıları deneysel olarak belirlenerek birbiriyle karşılaştırılmıştır. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Normal (hidrofilik) kanat profiline, hidrofobik ve süperhidrofobik özellik kazandırılması kanat profilinin kaldırma katsayılarını tüm hücum açıları dikkate alındığında sırasıyla ortalama %15 ve %23 oranında iyileştirmiştir.
- Normal (hidrofilik) kanat profiline, hidrofobik ve süperhidrofobik özellik kazandırılması kanat profilinin sürüklenme katsayılarını tüm hücum açıları dikkate alındığında sırasıyla ortalama %12 ve %20 oranında düşürmüştür.
- Normal (hidrofilik) kanat profiline, hidrofobik ve süperhidrofobik özellik kazandırılması kanat profilinin $C_{d, \text{min}}$, $C_{L, \text{min } C_d}$, C_{d0} ve $(C_L/C_d)_{\text{mak}}$ değerlerini olumlu yönde değiştirmiştir.

Bu çalışmada, kanat profili üretim kusurları ve pürüzlülük açısından detaylı bir inceleme yapılmamış, tüm iyileşmeler yüzeyin hidrofobiklik/süperhidrofobik özellik kazandırılmasıyla ilişkilendirilmiştir. İleriki çalışmalarda farklı kanat profilleri için farklı hız ve hücum açılarında hidrofobik ve süperhidrofobik yüzey uygulamalarının kaldırma ve sürüklenme katsayıları gibi kanat profilinin aerodinamik performansları incelenebilir, bu incelemelerde kanat profillerinin kusurları da dikkate alınabilir. Ayrıca iklimsel rüzgar tünelleri yani uçuş (gerçekçi) koşullarında hidrofobik/süperhidrofobik yüzeye sahip kanat profillerinin aerodinamik performansları araştırılması daha gerçekçi sonuçlara ulaşılmasını sağlayabilir. Tüm kanat profili yüzeyinin hidrofobik/süperhidrofobik olması mutlaka en iyi performansı vermeyebilir. Bu nedenle, profilin seçici hidrofobik/süperhidrofobikleştirilmesi bir sonraki adım olabilir. Yani, tüm yüzeyi süperhidrofobik yapmaktan ziyade yüzeyin kısmi hidrofobik/süperhidrofobikleştirilmesinin etkileri araştırılabilir.

Referanslar

- Anonim 1, Airfoil Tools NACA 4418. (2020). <http://airfoiltools.com/polar/details?polar=xf-naca4418-il-200000>, Erişim tarihi 10.04.2020
- Anonim 2, Bijl, H., and Timmer, N. (2020). Introduction to Aerospace Engineering Aerodynamics 9 & 10, Erişim tarihi 10.04.2020
- Campbell, B. A., and Bezos, G. M. (1989). Steady -State and Transitional Aerodynamic Characteristics of a Wing in Simulated Heavy Rain. NASA Technical Paper, 2932.
- Cao, L., Jones, A. K., Sikka, V. K., Wu, J., and Gao, D. (2009). Anti-Icing superhydrophobic coatings. Langmuir, 25(21), 12444–12448. <https://doi.org/10.1021/la902882b>

- De Pauw, D., and Dolatabadi, A. (2017). Effect of superhydrophobic coating on the anti-icing and deicing of an airfoil. *Journal of Aircraft*, 54(2), 490–499. <https://doi.org/10.2514/1.C033828>
- Genç, S., Özişik, G., and Kahraman, N. (2008). Düz Flapli Naca0012 Kanat Profilinin Aerodinamik Performansinin İncelenmesi. *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 28(1), 1–8.
- Güzelbey, İ. H., Eraslan, Y., and Doğru, M. H. (2018). Performansı Açısından XFLR5 Kullanılarak Nümerik Olarak İncelenmesi. *The Black Sea Journal of Sciences*, 8(1), 48–65. <https://doi.org/10.31466/kfbd.542566>
- Jung, S., Dorrestijn, M., Raps, D., Das, A., Megaridis, C. M., and Poulikakos, D. (2011). Are superhydrophobic surfaces best for icephobicity? *Langmuir*, 27(6), 3059–3066. <https://doi.org/10.1021/la104762g>
- Kline, S. J. and F. A. McClintock. (1953). "Describing Uncertainties in Single-Sample Experiments," *Mechanical Engineering*, 3-8
- Krishnan, K. G., Milionis, A., Loth, E., Farrell, T. E., Crouch, J. D., and Berry, D. H. (2017). Influence of hydrophobic and superhydrophobic surfaces on reducing aerodynamic insect residues. *Applied Surface Science*, 392, 723–731. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2016.09.096>
- Liu, Z., Gou, Y., Wang, J., and Cheng, S. (2008). Frost formation on a super-hydrophobic surface under natural convection conditions. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 51(25–26), 5975–5982. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2008.03.026>
- Mahmoodi, M., Nosratollahi, M., and Chini, S. F. (2017). The potential of using superhydrophobic surfaces on airfoils and hydrofoils: a numerical approach. *International Journal of Computational Materials Science and Surface Engineering*, 7(1), 44. <https://doi.org/10.1504/ijcmsse.2017.088726>
- Okulova, N., Taboryski, R., Sørensen, J. N., Shtork, S. I., and Okulov, V. L. (2018). Aerodynamic effect of icing/rain impacts on superhydrophobic surfaces. *AIP Conference Proceedings*, 2027(November). <https://doi.org/10.1063/1.5065139>
- Rhode, R. V. (1941). Some effects of rainfall on flith of airplanes and on instrument indications. *NACA TN*, 803. <https://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=19930080785> 2020-06-14T10:52:32+00:00Z
- Wu, Z., and Cao, Y. (2015). Numerical simulation of flow over an airfoil in heavy rain via a two-way coupled Eulerian-Lagrangian approach. *International Journal of Multiphase Flow*, 69, 81–92. <https://doi.org/10.1016/j.ijmultiphaseflow.2014.11.006>