

ATMOSFERİK KOŞULLAR ALTINDA UÇAK KANAT PROFİLİNDE BUZ BİRİKİM VE PERFORMANS KESTİRİMİ

Ömer Akbal¹
Türk Havacılık ve Uzay Sanayi,
İstanbul

Erdem Ayan²
Türk Havacılık ve Uzay Sanayi,
Ankara

Metin Orhan Kaya³
İstanbul Teknik Üniversitesi,
İstanbul

ÖZET

Uçaklar üzerinde oluşan buz birikimi uçağın aerodinamik sürüklenme kuvvetinde artış ve taşıma kuvvetinde azalışa neden olmakla birlikte hava aracının hakimiyetinin kaybedilmesi gibi ciddi sorunlara sebep olabilmektedir. Buzlanma koşullarında uçuşun emniyetli yapılması ve gerekli tedbirlerin alınabilmesi için buzlanma analizleri sertifikasyon ve gereksinim doğrulama aşamalarında uçuş ve atmosferik koşullar altında değerlendirilmektedir. Bu çalışmada, FAR-25 Appendix-C koşullarındaki sıvı su içeriği ve tanecik çapı bağımsız değişken olarak belirlenerek buz birikim faktörleri için buzlanmış alan ve buzun çevresi, performans faktörleri olarak da taşıma ve sürüklenme katsayısı çıktı olarak belirlenmiştir. Çalışmada yanıt yüzeyi regresyon modeli kullanılmıştır. Girdi verilerin elde edilmesi için NACA0012 kanat kesiti için Fensap-Ice 2022 programı kullanılarak buz birikim analizleri yapılmıştır. İlk olarak buz alanı ve buz çevresinin atmosferik değişkenlerle arasındaki ilişki yanıt yüzeyi regresyon modeli kullanılarak belirlenmiştir. Elde edilen model ile sıvı su içeriği ve tanecik çapının buzlanma alanının kestirimindeki ortalama hata oranı yüzde 6.66, buzun çevresindeki ortalama hata oranı ise yüzde 11.15 olarak hesaplanmıştır. Ardından elde edilen şekil parametreleri ile NACA0012 kanat kesiti için taşıma ve sürüklenme katsayıları yanıt yüzey regresyon modeli ile tahmin edilmiş ve analiz verilerinden sapması sırasıyla C_L ve C_D için, yüzde 1.34 ve yüzde 7.96 olarak hesaplanmıştır. Buz birikiminin kestirimi yüksek sıvı su içeriğinde daha fazla sapmayla hesaplandığı gözlemlenmiştir. Sıvı su içeriğindeki artış performans katsayılarına olan etkisinin daha duyarlı olduğu da belirlenmiştir. Yapılan bu çalışma ile atmosferin dinamik yapısı ile değişen koşullarda buz birikiminin modellenmesi ve performans verilerinin hesabı daha hızlı yapılarak gerekli analiz sayısının azaltılması yanıt yüzey regresyon modeli kullanılarak hedeflenmiştir. Ayrıca, atmosferik değişkenlerin uçaklar üzerindeki buz birikimine ve performansı üzerine olan duyarlılıkları da belirli kısıtlar altında çalışma kapsamında incelenmiştir.

GİRİŞ

Buzlanma, hava araçları için önemli bir meteorolojik hadisedir. Bulut içerisinde donma derecesinin altındaki sıcaklıklarda sıvı fazda bulunan suyun hava akışına maruz kalan bölgelere çarparak katılaşmasına buzlanma denir. Uçaklarda buzlanma genellikle kanat hücum kenarları gibi ince yapılarda ve küçük yarıçapa sahip bölgelerin ön kısımlarında görülmektedir. Uçak üzerinde biriken buz, hava akışını bozarak sürüklenme kuvvetinin artmasına ve taşıma kuvvetinin düşmesine, hava aracı ağırlığının artmasına, stabilitenin bozulması ve stall hızının artmasına sebep olabilmektedir [Cebeci ve Besnard, 1994]. Son zamanlarda yapılan çalışmalarda hava aracı dış yüzeyinde de özellikle burun bölgesinde oluşan buz çıkıntıları da sınır tabaka akışının türbülanslı bölgeye geçişine sebep olarak sensörlerin serbest akış hızını yakalamada hatalara neden olduğu

¹ Türk Havacılık Uzay Sanayi., E-posta: omer.akbal@tai.com.tr & akbalom@itu.edu.tr

² Türk Havacılık Uzay Sanayi., E-posta: eayan@tai.com.tr

³ Prof. Dr., Uçak Müh. Böl., E-posta: kayam@itu.edu.tr

gözlemlenmiştir [Airbus Safety First, 2021]. Dolayısıyla, uçaklarda buzlanma hadisesinin etkilerinin farklı uçuş koşulları ve hava koşulları altında belirlenmesi uçuş emniyeti, güvenliği, sertifikasyon süreci ve buzlanma koşullarında hava aracının tepkisinin ve performansının belirlenmesinde önem arz etmektedir.

Hava araçlarında karşı (rime ice) buzlanma, camsı (glaze ice) buzlanma ve karışık tip buzlanma olmak üzere üç farklı buz tipi görülmektedir. Buz birikimi ve çeşidinin belirlenmesinde hava sıcaklığı, damlacık çapı ve içeriği, irtifa, hava hızı, buzlanmaya maruz kalınan süre ve geometri önemli parametrelerdir. Karşı buzlanma genellikle daha düşük sıcaklıklarda suyun tamamen donması ile oluşan buz birikimidir. Camsı buz ise donma derecesine yakın sıcaklıklarda oluşan buzlanma çeşididir ve su damlalarının yüzeye çarpıp tamamen donmadan yüzey üzerinde akması ile farklı şekiller oluşabilmektedir. Buzlanma tünelleri buz şeklinin belirlenmesinde önemli rol oynarken, maliyet ve zaman faktörlerinden dolayı buzlanma modellerinin de gelişimi ve bilgisayar gücünün artması ile sayısal analizlerin etkinliği artmıştır [Myers, 2001]. Buzlanma analizlerinde önemli parametre olan sıvı su içeriği, damlacık çapı ve hava sıcaklığı FAR-25 Appendix-C buzlanma şartlarında önerilen grafiklerden elde edilmektedir [Regulations, F. A., 2013].

Son zamanlarda birçok uygulamada kullanımı artan yanıt yüzeyi regresyon modeli, daha az hesaplama kaynağı kullanırken, anlamlı ve güvenilir bilgiler sağlayabilmektedir [Colaço, Dulikravich, & Sahoo, 2008]. Yanıt yüzeyi regresyon modeli, deneye dayalı verileri tahmin etmek için kullanılan istatistiksel bir yöntemdir ve girdi olarak verilen bağımsız değişkenlerin yanıt olarak bilinen çıktıyla ilişkilendirir. Bu süre hızlı hesaplama ve kestirim yapma açısından verimlidir. Bu nedenle, yanıt yüzeyi regresyon modeli genellikle yüksek maliyetli hesaplama analizlerine ihtiyaç duymadan birden çok tasarım ve tepki oluşturmak için bir eniyileme işlemi sırasında da sıklıkla kullanılmaktadır [Phan, L. ve Lin, C, 2019]. Buzlanma çalışmalarında sayısal analiz yoğun kullanılmaktadır ve deneysel çalışmalara iyi bir alternatiftir. Analiz metodolojisinde oluşan buza karşılık yeniden çözüm ağı oluşturma ve zaman adımının artması analiz süresini arttırabilmektedir ve tüm atmosferik koşullar altında buz şeklinin çıkarımı ve tayini zor olabilmektedir. Appendix-C grafiklerinde önerilen atmosferik değişkenlerin buz birikimi üzerindeki duyarlılığını inceleme, tüm koşullardaki buz birikimini hızlı bir şekilde kestirimini yapma ve hesaplama kaynaklarındaki maliyeti azaltmak amacıyla hesaplamalı akışkanlar dinamiği tabanlı yanıt yüzey metodu bu çalışmada kullanılmıştır. Literatürde uçaklarda buz birikimi üzerine yapılan çalışmalarda deneysel verilerde sıklıkla kullanılan NACA0012 geometrisi bu çalışmada tercih edilmiştir.

YÖNTEM

Sayısal Yöntem

Buz birikim analizi Ansys Fensap-Ice 2022 R1 ticari yazılımı kullanılarak yapılmıştır. İlk olarak akış alanı çözümü Fensap modülü ile gerçekleştirilmiştir. Bu adımda Reynolds Averaged Navier-Stokes çözücüsü kullanılarak kanat kesiti etrafındaki hava hızı ve basınç dağılımı elde edilmiştir. Ardından damlacık yörünge hesabı yapılmıştır. Bu çözücü ile Eulerian hareket denklemleri ile damlacığın hızı hesaplanmıştır. Daha sonra yüzey üzerindeki ısı transfer katsayıların hesabı enerji dengesi ile buz birikim hesapları yapılmıştır. Kayma gerilmesi ve ısı akısı dağılımı ile elde edilen buz kalınlığından sonra bir sonraki buzlanma analizi zaman adımı için yeni bir buzlanmış geometri oluşturulur. Böylelikle buzlanmış geometri üzerinde tekrardan akış alanı çözümü yapılarak damlacık yörünge hesabı yapılır. Bu süreç buzlanma süresi boyunca belirlenen aralıklar ile tekrar edilir ve çoklu adım olarak nitelendirilir.

Doğrulama Çalışması

Bu kısım, çalışmada kullanılan sayısal analiz metodolojisinin doğrulanmasına yönelik yapılmıştır. İki farklı buz tipi ve şeklinin temsil edilmesi amacıyla iki koşulda doğrulama çalışması yapılmıştır. Deneysel çalışma NASA raporunda bulunan NACA0012 kanat kesiti için buz birikim tahmini için kullanılmıştır [Wright, 1997]. Referans alınan hava ve uçuş koşulları Tablo 1 ve Tablo 2 de verilmiştir.

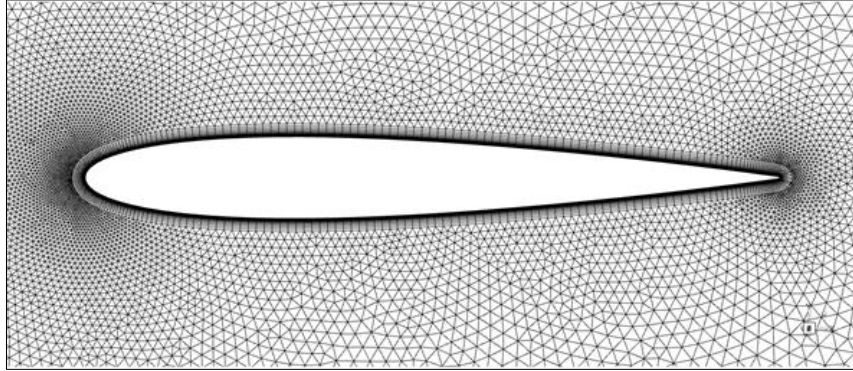
Tablo 1: Karsı buz vakası uçuş ve hava koşulları [Wright, 1997].

Değişken	Deney Sınır Koşulları
Hava Sıcaklığı (T_a)	-26°C
Veter Uzunluğu (c)	0.53 m
Hücum Açısı (AoA)	4°
Serbest Akış Hızı (V_∞)	58.1 m/s
Sıvı Su İçeriği (LWC)	1.3 g/m ³
İrtifa/Basınç (P)	95.61 kPa
Buzlanma Zamanı (t)	480 s
Damlacık çapı (d_o)	20 μ m

Tablo 2: Camsı buz vakası uçuş ve hava koşulları [Wright, 1997].

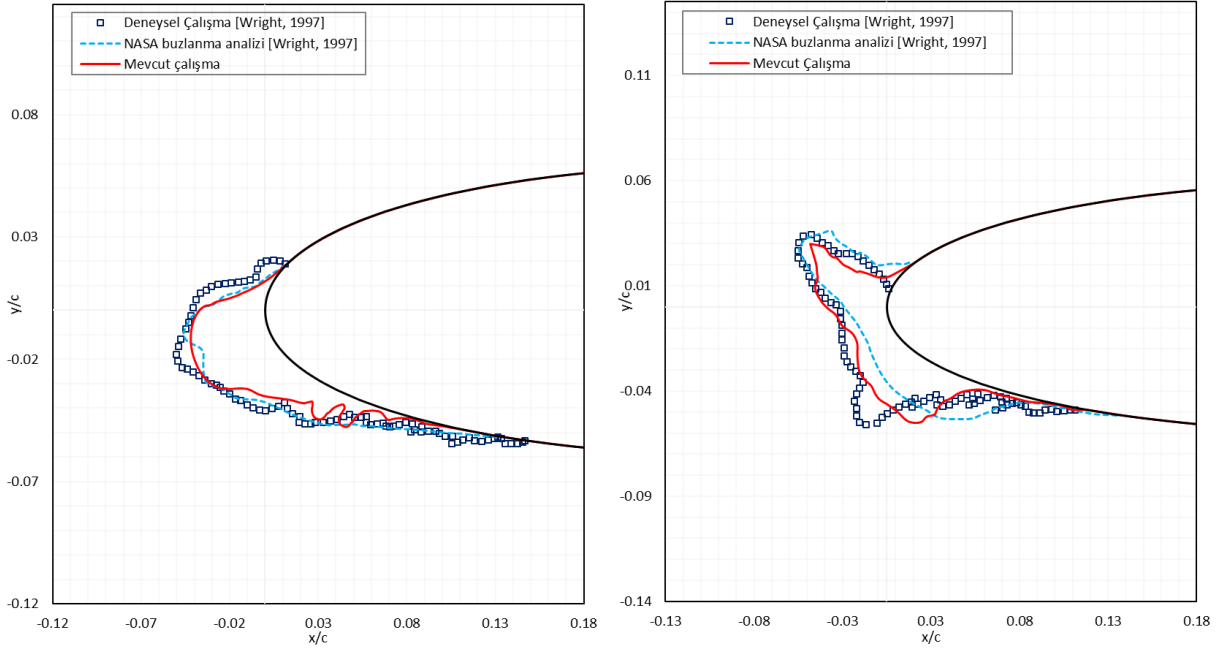
Değişken	Deney Sınır Koşulları
Hava Sıcaklığı (T_a)	-5°C
Veter Uzunluğu (c)	0.53 m
Hücum Açısı (AoA)	4°
Serbest Akış Hızı (V_∞)	58.1 m/s
Sıvı Su İçeriği (LWC)	1.3 g/m ³
İrtifa/Basınç (P)	95.61 kPa
Buzlanma Samanı (t)	480 s
Damlacık çapı (d_o)	20 μ m

Çözüm Ağı: Çalışmada kullanılan çözüm ağı yapısı O-grid yapıdadır ve 20 veter uzunluğunda yarıçapa sahiptir. Çözüm ağının kanat kesiti etrafında daha yoğun bir şekilde tutularak buz birikimini doğru bir şekilde yakalanması hedeflenmiştir. Hazırlanan çözüm ağı iki boyutlu modellenmiştir ve Şekil 1 de gösterilmiştir. Kullanılan k-w SST türbülans modeline uygun olacak şekilde $y+$ değeri kanat kesiti üzerinde 1 olacak şekilde sınır tabaka çözüm ağı oluşturulmuştur.



Şekil 1: NACA0012 kanat kesiti etrafında yoğunlaştırılmış çözüm ağı yapısı

Buz Birikimi Doğrulama: Doğrulama çalışmasının sonuçları Şekil-2 de verilmiştir. Kanat kesitinin hücum kenarında oluşan iki çeşit buz formasyonu deneysel çalışmaya benzer bir eğilim gösterirken kullanılan metodolojinin doğrulama çalışması için yeterli olduğu ve seri analiz için uygunluğu gösterilmiştir.



Şekil 2: NACA0012 Buz birikimi doğrulama çalışması (-26°C, -5°C)

Yanıt Yüzey Metodu

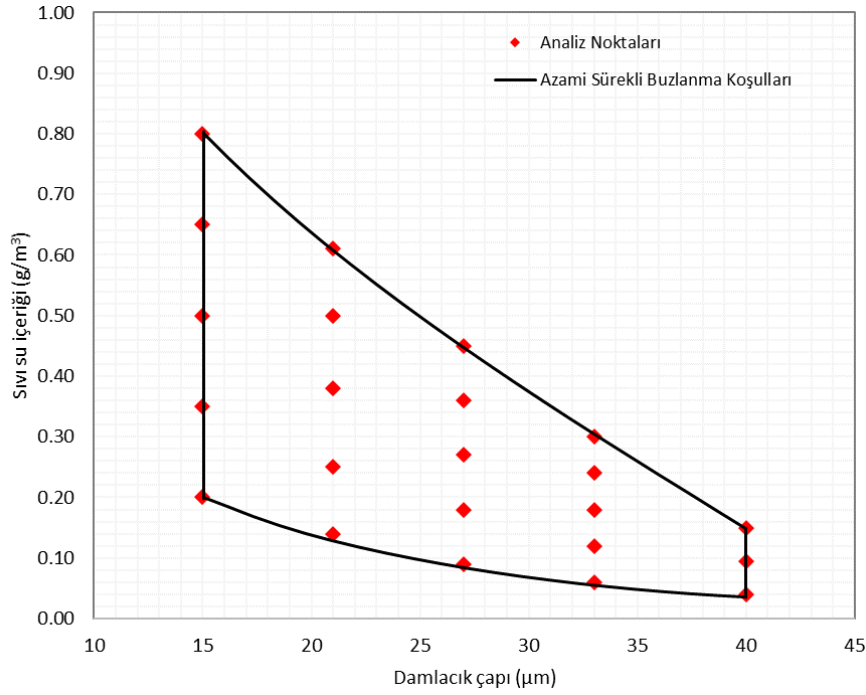
Yanıt yüzey metodu, deneysel veya sayısal analiz teorisi ile bağlantılı olarak veri noktalarının hesaplanması amacıyla bir yanıt modeli oluşturmak için kullanılmaktadır. Genel bağıntı formu aşağıdaki şekilde yazılabilir [Myers ve Montgomery, 1995]:

$$y = F(x_1, x_2, \dots, x_n) + \varepsilon$$

Denklemden ifade edilen y yanıt değişkeni, x_i ise tasarım değişkenleridir ve ε genellikle sıfır ortalamalı normal dağılıma sahip olduğu varsayılan toplam hatayı temsil eder. Yanıt yüzey modeli F , genellikle ikinci dereceden bir polinom olarak kabul edilir. Yapılan çalışmada tasarım değişkenleri sıvı su içeriği ve damlacık çapı olarak belirlenirken, yanıt değişkeni ise buz birikim alanı ve çevresi, performans olarak da taşıma ve sürüklenme katsayısı olarak belirlenmiş olup detay sınır koşulları buzlanma senaryoları başlığında ifade edilmiştir.

Buzlanma Senaryoları

Çalışmada NACA0012 kanat geometrisi 4° hücum açısı ve 70 m/s hava hızında 10000 ft irtifada 480 saniye boyunca 17.6 nm yatay uçuş senaryosu oluşturulmuştur. Hava koşulları FAR-25 Appendix-C grafiği azami sürekli buzlanma koşulundaki sınırlarda oluşturulmuş ve Şekil 3 de gösterilmiştir. Sabit hava sıcaklığı altında grafiğin tüm bölgelerinin taranmasının sağlanması amacıyla 5 farklı damlacık çapında toplam 23 analiz noktası oluşturulmuştur. 23 farklı sıvı su içeriği ve damlacık çapı değeri -5°C incelenerek buzlanma analizi yapılmış ve yanıt yüzeyi regresyon modeli için girdi oluşturulmuştur (Tablo-3).



Şekil 3: Azami sürekli buzlanma koşulu analiz noktaları

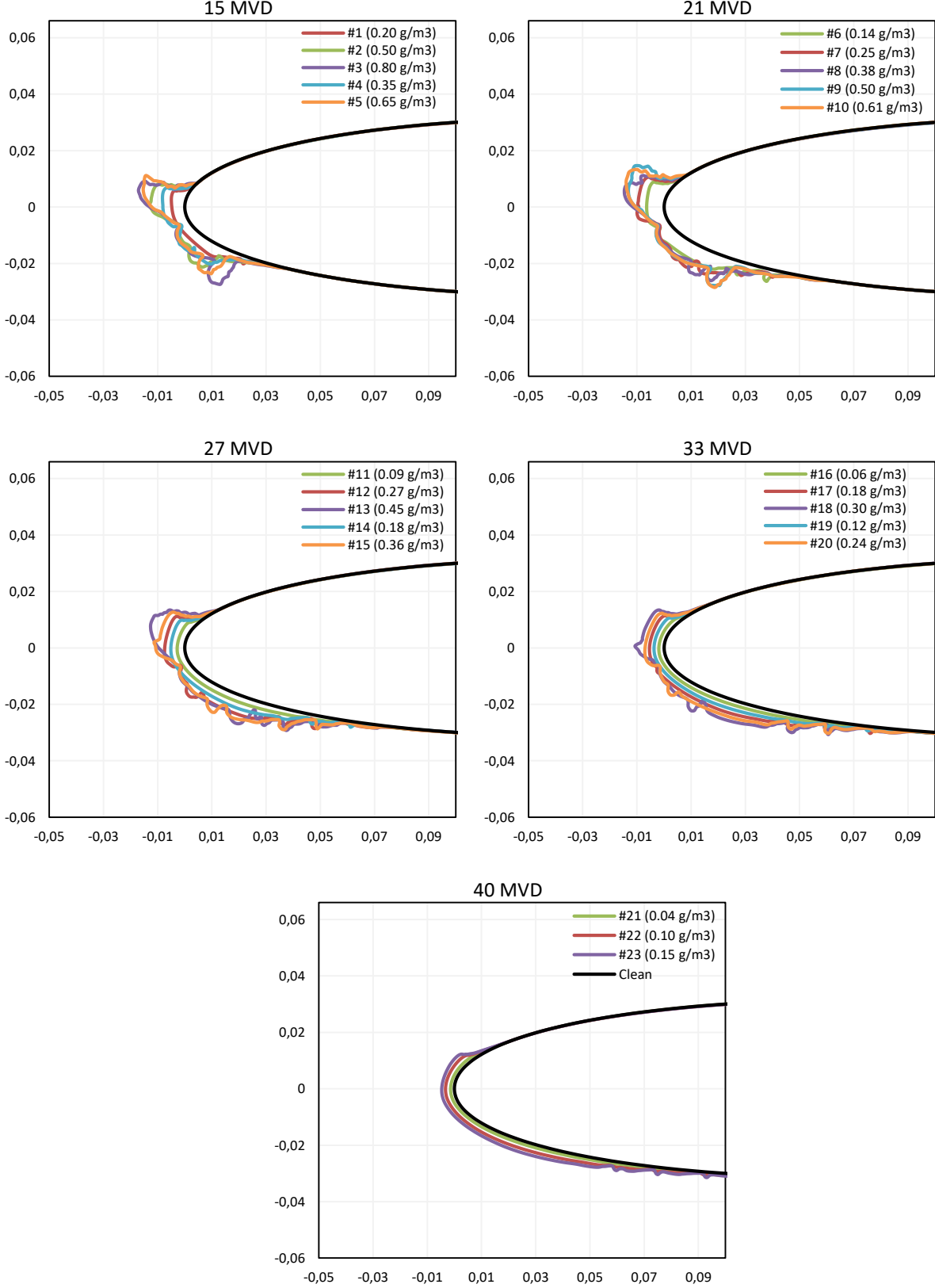
Tablo 3: Buzlanma analizleri için hava koşulu matrisi

Analiz No	Tanecik Çapı	Sıvı Su İçeriği
#1	15 µm	0.20 g/m ³
#2	15 µm	0.50 g/m ³
#3	15 µm	0.80 g/m ³
#4	15 µm	0.35 g/m ³
#5	15 µm	0.65 g/m ³
#6	21 µm	0.14 g/m ³
#7	21 µm	0.25 g/m ³
#8	21 µm	0.38 g/m ³
#9	21 µm	0.50 g/m ³
#10	21 µm	0.61 g/m ³
#11	27 µm	0.09 g/m ³
#12	27 µm	0.27 g/m ³
#13	27 µm	0.45 g/m ³
#14	27 µm	0.18 g/m ³
#15	27 µm	0.36 g/m ³
#16	33 µm	0.06 g/m ³
#17	33 µm	0.18 g/m ³
#18	33 µm	0.30 g/m ³
#19	33 µm	0.12 g/m ³
#20	33 µm	0.24 g/m ³
#21	40 µm	0.04 g/m ³
#22	40 µm	0.10 g/m ³
#23	40 µm	0.15 g/m ³

Çalışmada kullanılan verilerden, uçuş koşulları, geometrik bilgiler ve değişken atmosferik parametreler (sıvı su içeriği ve tanecik çapı) girdi olarak belirlenmiştir. Yanıt yüzeyi regresyon modeli için kullanılan çıktı parametreleri ise buz alanı, buzun kanat kesiti etrafındaki çevresi olarak belirlenmiştir. Daha sonra elde edilen model ile aerodinamik performans katsayıları çıktı olarak hesaplanmış ve analiz sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

UYGULAMALAR VE DEĞERLENDİRME

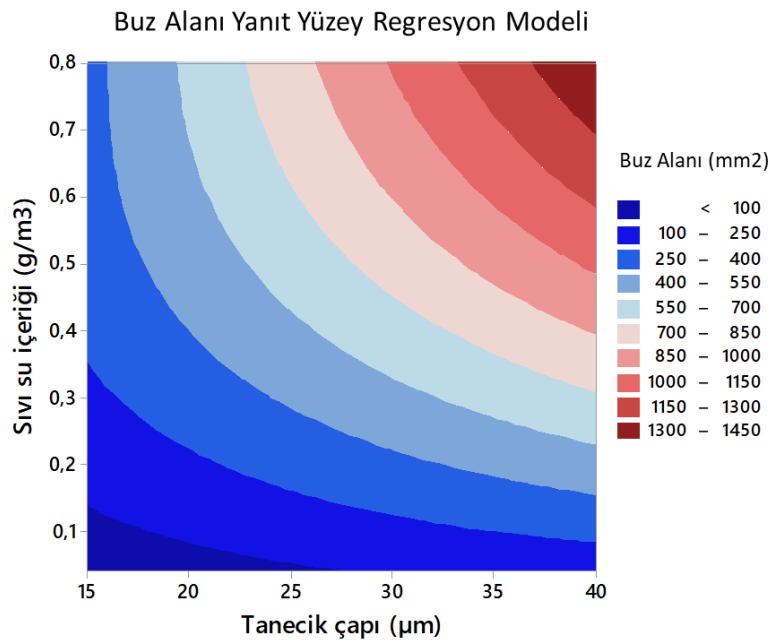
NACA0012 kanat kesiti için 4° hücum açısında 70 m/s hava hızında iki farklı atmosferik değişken kullanılarak toplamda 23 buz birikim analizi yapılmıştır. Buz birikim sonuçları 5 çeşit tanecik çapı; 15, 21, 27, 33 ve 40 μm için yapılmış ve Şekil 4 de verilmiştir. Her bir buz birikiminin buzlanmış alanı ve buzun oluşturduğu çevre hesaplanmıştır. Aynı zamanda 23 analiz için her bir buz şeklinin taşıma ve sürüklenme katsayıları da Fensap-Ice 2022 R1 programı kullanılarak hesaplanmıştır.



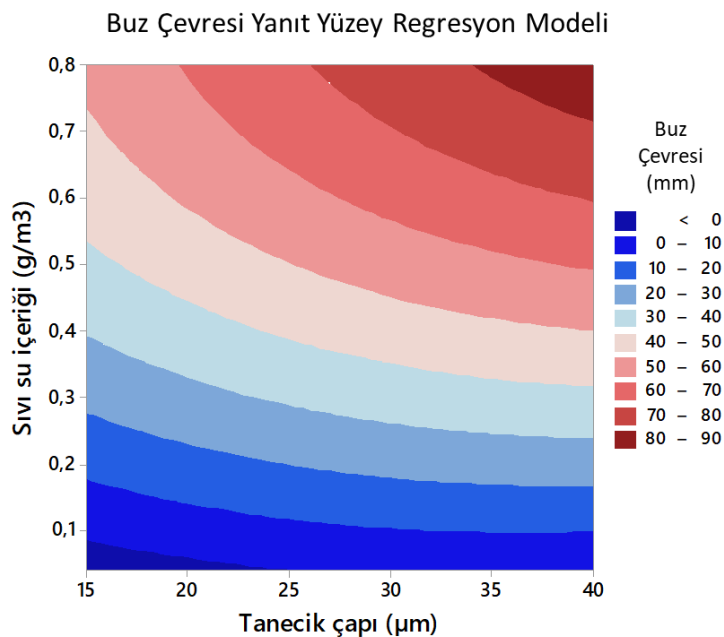
Şekil 4: Çeşitli atmosferik koşullarda buz birikim analizleri

Buz birikim şekillerinden elde edilen buzlanma alanı ve buz çevresi için sıvı su içeriği ve tanecik çapına bağlı olarak yanıt yüzeyi regresyon modeli kullanılmıştır. Elde edilen model ile analiz sonuçlarından elde edilen şekil parametrelerinin arasındaki hata oranı buzlanma alanı için %6.6, buz çevresi için ise %11 olarak hesaplanmıştır. Böylelikle yanıt yüzey regresyon modeli ile atmosferik koşulların girdi olarak kullanılması ile buzlanmış yüzey alanı veya buz kütlesi ortalama %6.6 sapma ile hesaplanabilmektedir. Bu model ile iki farklı atmosferik değişkenin oluşturduğu buz birikimi parametreleri hızlıca hesaplanıp buzun alanı ve çevresi ile ilgili belirli kısıtlar altında bilgi sağlamaktadır.

Regresyon analizlerinde model performansının değerlendirmek için kullanılan R^2 parametresi buz alanı için 0.9623, buz çevresi 0.977 olarak hesaplanmıştır. Böylelikle tanecik çapı ve sıvı su içeriğinin NACA0012 kanat kesitinde buzlanan yüzey alanı ve buz çevresine olan duyarlılıkları ve etkisi belirlenmiştir. Analiz sayısının artırılması ve buz şekillerinin daha detaylı tanımlanması ile daha yüksek bir ilişileşim elde edilmesi mümkün olabilir. Özellikle yüksek sıvı su içeriğinde buz şekillerinin çamsı buz tipine dönüşmesi ile regresyon modelindeki sapma daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bu iki parametre arasındaki ilişki Şekil 5 ve Şekil 6 da yüzey konturu olarak ifade edilmiştir.



Şekil 5: Buz alanının atmosferik parametrelere bağlı değişim konturu



Şekil 6: Buz çevresinin atmosferik parametrelere bağlı değişim konturu

Yapılan çalışmada atmosferik değişkenler ile buz birikimi için elde edilen yüzey regresyon modeli ile kanat kesitinde buzlanmadan kaynaklı taşıma (C_L) ve sürüklenme katsayısı (C_D) performans verilerinin hesabı yapılarak analiz sonuçlarından olan sapması da hesaplanmıştır. Bu kısımda buz alanı ve buz çevresi girdi olarak kullanılarak C_L ve C_D model çıktısı olarak belirlenmiştir. R^2 parametresi C_L parametresi için 0.843, C_D parametresi için 0.865 olarak hesaplanmıştır. Regresyon modeli ile elde edilen ifade aşağıda verilmiştir. Denklemdaki X ifadesi buz alanını (mm^2), Y ifadesi ise buz çevresini (mm) temsil etmektedir.

$$C_L = 0.43 + (3.9 * 10^{-5})X + (1.7 * 10^{-3})Y + (2.4 * 10^{-7})X^2 - (2.5 * 10^{-6})Y^2 - (3.28 * 10^{-6})XY$$

$$C_D = 0.0113 + (6 * 10^{-7})X + (1.33 * 10^{-4})Y + (3 * 10^{-8})X^2 - (6.03 * 10^{-6})Y^2 - (5 * 10^{-7})XY$$

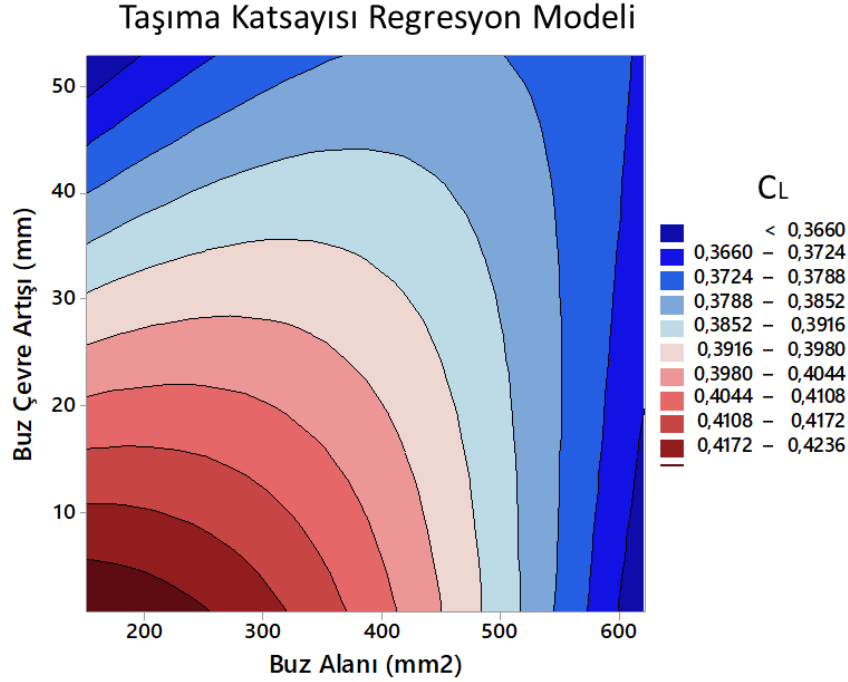
Yanıt yüzeyi regresyon modeli kullanılarak elde edilen katsayıların analiz verisinden sapma değerleri C_L için %1.34 C_D için %7.96 olarak hesaplanmıştır. C_D değerindeki sapma C_L değerine göre daha fazla olmasının sebebi değerlerin 10^{-2} mertebesinde olmasıdır. Buzlanma alanı ve buz çevresi ile hesaplanan taşıma ve sürüklenme katsayı değerleri Tablo 4 de verilmiştir. Ayrıca Şekil 7 ve Şekil 8 de sırasıyla taşıma ve sürüklenme katsayısının değişimi görselleştirilmiştir.

Tablo 4: Yanıt yüzey regresyon model sonuçları ve analiz sonuçları karşılaştırması

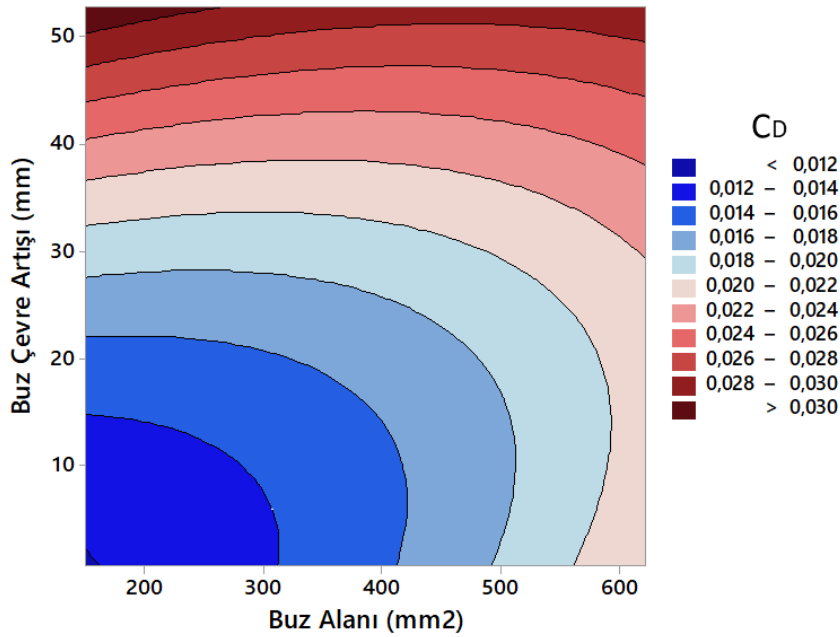
Analiz No	Tanecik çapı (μm)	Sıvı su içeriği (g/m ³)	Regresyon Modeli		FENSAP Sonuçlar		Regresyon Modeli	
			Buz Alanı (mm ²)	Buz Çevre Artışı (mm)	CL	CD	CL	CD
#1	15	0.2	151.3	12.3	0.414	0.014	0.4155	0.0135
#2	15	0.5	315.8	37.7	0.403	0.018	0.3903	0.0219
#3	15	0.8	353.2	52.1	0.380	0.027	0.3794	0.0292
#4	15	0.35	249.4	26.3	0.405	0.017	0.4002	0.0175
#5	15	0.65	350.4	46.2	0.371	0.030	0.3839	0.0260
#6	21	0.14	176.7	10.4	0.412	0.014	0.4177	0.0133
#7	21	0.25	293.6	22.7	0.399	0.018	0.4030	0.0167
#8	21	0.38	409.7	35.4	0.390	0.020	0.3904	0.0214
#9	21	0.5	495.8	45.3	0.403	0.020	0.3824	0.0260
#10	21	0.61	556.8	52.8	0.365	0.034	0.3776	0.0299
#11	27	0.09	170.7	7.0	0.418	0.013	0.4217	0.0127
#12	27	0.27	419.1	29.1	0.381	0.020	0.3930	0.0195
#13	27	0.45	621.7	47.3	0.371	0.026	0.3725	0.0282
#14	27	0.18	300.6	18.6	0.401	0.016	0.4062	0.0158
#15	27	0.36	526.1	38.7	0.383	0.022	0.3818	0.0237
#16	33	0.06	162.9	4.1	0.430	0.011	0.4253	0.0123
#17	33	0.18	374.1	20.8	0.399	0.018	0.4004	0.0170
#18	33	0.3	565.0	35.7	0.379	0.023	0.3781	0.0234
#19	33	0.12	271.0	12.7	0.413	0.014	0.4125	0.0144
#20	33	0.24	472.1	28.4	0.384	0.020	0.3889	0.0200
#21	40	0.04	155.7	0.6	0.433	0.011	0.4297	0.0120
#22	40	0.095	275.6	9.1	0.418	0.013	0.4152	0.0140
#23	40	0.15	391.2	17.3	0.404	0.016	0.4008	0.0167

Şekil 7 ve Şekil 8 de elde edilen konturdan buz alanı ve çevresi ile NACA0012 kesiti için performans sonuçları verilmiştir. Buz alanı ve çevresinin düşük olduğu durumda C_L katsayısı yüksek olurken buz alanı ve çevresinin artması ile C_L katsayısı azalmaktadır. Sürüklenme katsayısı

buzun oluşturduğu çevreye veya mesafeye, pürüzlülük olarak da yorumlanabilir, daha duyarlı olduğu görülmüştür.

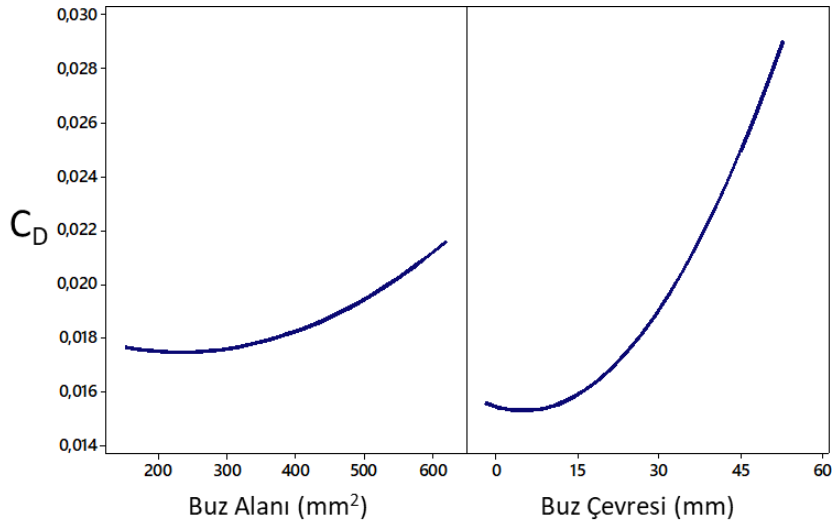


Şekil 7: Taşıma katsayısının buz birikim şekil parametrelerine bağlı değişim konturu
Sürüklenme Katsayısı Regresyon Modeli

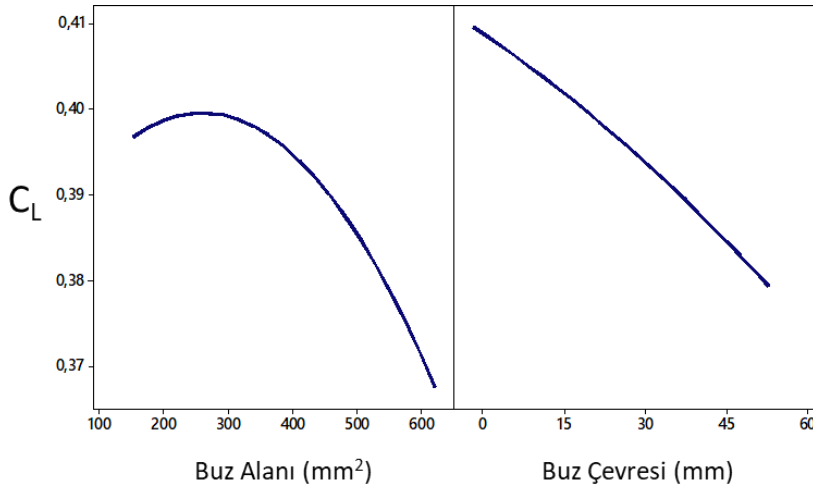


Şekil 8: Sürüklenme katsayısının buz birikim şekil parametrelerine bağlı değişim konturu

Ayrıca, çalışma boyunca elde edilen veriler ile buz alanı ve çevresi parametrelerinin C_L ve C_D üzerindeki duyarlılıkları da hesaplanmış ve Şekil 9 ve Şekil 10 da verilmiştir. Şekil 9 da görüldüğü üzere buz çevresinin artması C_D değerini daha fazla arttırmaktadır. Bu da daha pürüzlü bir buz profilinin sürüklenme katsayısını arttırdığı ile ilişkilendirilmektedir. Şekil 10 da ise C_L katsayısının değişimi buz alanına göre polinom ilişkisi varken buz çevresine göre lineer bir ilişkisi görülmüştür. NACA0012 kanat kesiti 4° hücum açısı 70 m/s hava hızı -5°C ortam sıcaklığında oluşan buz birikiminin aerodinamik katsayı olan sürüklenme katsayısındaki artışı buz alanından daha çok buz çevresine duyarlı olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 9: Sürüklenme katsayısının buz alanı ve çevresine olan duyarlılığı



Şekil 10 Taşıma katsayısının buz alanı ve çevresine olan duyarlılığı

SONUÇ

Bu çalışmada NACA0012 kanat profili için atmosferik değişkenlerden tanecik çapı ve sıvı su içeriği haricinde diğer tüm uçuş ve atmosferik koşulların sabit olduğu kabulüyle yapılmıştır. Sabit olarak alınan hücum açısı, hava hızı, zaman, hava sıcaklığı gibi parametreler örnek bir buzlanma senaryosuyla uyumlu olacak şekilde seçilmiştir. Çalışmanın amacı FAR-25 Appendix-C koşullarına uygun olarak seçilen atmosferik değişkenler ile oluşan buz birikimleri arasında bir ilişkinin kurulabilmesidir. Bu doğrultuda başlangıçta sayısal analiz doğrulaması ve analiz veri tabanı için Fensap-Ice 2022 R1 programı kullanılmıştır. Ardından hesaplanan buz birikimlerinden bir bağıntı elde etmek için her bir analiz sonucundan buz alanı, buz çevresi, taşıma katsayısı ve sürüklenme katsayısı değerleri hesaplanmıştır. Ardından yanıt yüzeyi regresyon modeli kullanılarak sırasıyla önce buz birikim şekil parametreleri sonra da aerodinamik performans katsayıları hesaplanmıştır. Buz alanının model tahmininin analiz verisinden sapması %6, buz çevresinin sapması ise %11 olarak hesaplanmıştır. Buz çevresindeki yüksek sapmanın sebebi buz birikim değerlerindeki aykırı buz şekillerinden kaynaklanabilmektedir. Daha fazla girdi verisi kullanılarak hata oranının azaltılması beklenmektedir. Ayrıca farklı şekil parametreleri ile tanımlamak modelin gelişmesine katkı sağlayabilmektedir. Taşıma ve sürüklenme katsayısını yanıt yüzeyi regresyon model kabul edilebilir hata oranı ile kestirim yapmaktadır. Bu çalışma ile buzlu koşulda gerçekleştirilen uçuş esnasında oluşan buz birikiminin alanı, çevresi ve aerodinamik performansla olan etkisi ikinci dereceden polinom denklemi ile belirli limitler altında kestirimi yapılabilmektedir. Ayrıca buz birikimi açısından sıvı su içeriğinin tanecik çapından daha duyarlı bir parametre olduğu da çalışma kapsamında gözlemlenmiştir. Yapılan çalışmanın nihai amacı çeşitli atmosferik koşullar altında buz şeklinin tahminini yapmak üzeredir. Tamamlanan kısmıyla 2 çeşit atmosferik değişken için buzun alanı ve buzun çevresindeki değişimi regresyon modeli ile hesaplanmıştır. Buz çevresi ve buz alanı direk performans kaybıyla ilişkilendirmek yerine belirlenen parametreler ile bir korelasyon elde

edilmesi hedeflenmiştir. Buz çevresindeki artış kanat kesiti etrafındaki girinti-çıkıntıyı temsil ettiğinden sürükleme kuvvetindeki etkisinin artmasına ilişkilendirilmektedir.

Kaynaklar

- Airbus Safety First, 2021. Look out for Ice Ridges on the Lower Nose Fuselage, The Airbus Safety Magazine. Maurice Bellonte – 31707 Blagnac Cedex/France
- Akbal, Ö., Şahin, A., 2020. Çeşitli İrtifalarda Uçaklar için Buz Birikim Tahmin Yönteminin Türkiye Üzerinde Uygulaması., 8. ULUSAL HAVACILIK VE UZAY KONFERANSI, UHUK-2020-134
- Alegre, N., 2010. Full-scale runback ice: accretion and aerodynamic study. NASA Technical Memorandum.12 Decembe
- Anon, Aircraft Accident Report, 1996. ATR Model 72–212, Roselawn, Indiana, October 31, 1994, NTSB/AAR-96/01, vol. 1.
- Cebeci, T., ve Besnard, E., 1994. Prediction of the performance degradation of aircraft in natural icing conditions, AIAA Paper 94-0487.
- Colaço, M. J., & Dulikravich, G. S. 2009. A survey of basic deterministic, heuristic and hybrid methods for single-objective optimization and response surface generation. Thermal Measurements and Inverse Techniques, 1, 355–405.
- Myers, T.G., 2001. Extension to the Messinger Model for Aircraft Icing, AIAA JOURNAL, Vol. 39, No. 2
- Regulations, F. A. 2013. Part 25-Airworthiness standards: Transport category airplanes. Federal Aviation Administration (FAA), USA
- R. H. Myers and D. C. Montgomery, 1995. Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments, John Wiley & Sons, New York, USA.
- Phan, L. & Lin, C. 2019. CFD-based response surface methodology for rapid thermal simulation and optimal design of data centers, Advances in Building Energy Research, 1751-2549.
- Wright WB, Gent RW, Gu ond D., 1997. Part II. Prediction of Airfoil Ice Accretion, DRA/NASA/ONERA Collaboration on icing research, NASA CR-202349