

Sabit Kanatlı İHA'da Kanat Geometrisinin Aerodinamikteki Etkileri

Melih ALTAY^{1*}, Erol TÜRKEŞ¹

¹Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Kırklareli Üniversitesi, Kırklareli, Türkiye

Geliş: 21.10.2024, Kabul: 12.12.2024, Yayınlanma: 31.12.2024

ÖZ

Hava araçlarının tümünde tüketilen yakıt miktarını azaltmak, faydalı yükü arttırmak için gövdenin ve kanatların geometrisinde değişiklikler yapılmaktadır. Bu makale çalışmasında da sabit kanatlı İHA'lar ve kanatlarında C_L/C_D oranını arttırmak hedeflenmiştir. Üç farklı kanat modeli (NACA-0012, NACA-4415 ve SD-7037) ve yeni bir kanat olan ALTAY kanadı ön tasarımları ve aerodinamik analizleri XFLR5 programında analiz edildi. Kanatların XFLR5 ve ANSYS Fluent programındaki analizleri üç farklı Reynolds sayısında (50.000; 150.000 ve 250.000) ve beş farklı hücum açısındaki (-5° ; 0° ; 5° ; 10° ve 15°) ortam şartlarında gerçekleştirilmiştir. SOLIDWORKS öğrenci programında ALTAY ile SD-7037 kanatları üç boyutlu olarak tasarımları yapıp 3D yazıcıda üretilmiştir. SOLIDWORKS programında biri düz kanatlı diğeri ise dik trapez kanatlı iki adet İHA tasarlanıp, ANSYS Fluent programında Akış hızının (15,5 m/s) olduğu beş farklı hücum açısındaki (-5° ; 0° ; 5° ; 10° ve 15°) ortam şartlarında aerodinamik analizleri gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçlarında ALTAY kanadının SD-7037 kanadına göre daha verimli olduğu, dik trapez kanatlı İHA'nın da düz kanada göre daha verimli olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sabit kanatlı İHA; Tasarım; Aerodinamik analizler; Katlamalı imalat.

Aerodynamic Effects of Wing Geometry on Fixed Wing UAV

ABSTRACT

In order to reduce the amount of fuel consumed in all aircraft and to increase the useful load, changes are made to the geometry of the fuselage and wings. In the article, it is aimed to increase the C_L/C_D ratio in fixed wing UAV's and their wings. Preliminary designs and aerodynamic analyzes of three different wing models (NACA-0012, NACA-4415 and SD-7037) and a new wing, the ALTAY wing, were analyzed in the aerodynamic analyzes were carried out in the ANSYS Fluent student program. The analysis of the wings in XFLR5 and ANSYS Fluent programs was carried out under three different Reynolds numbers (50.000; 150.000 and 250.000) and five different angles of attack (-5° ; 0° ; 5° ; 10° ve 15°). ALTAY and SD-7037 wings were designed three dimensions in the SOLIDWORKS student program and produced on a 3D printer. Two UAV's, one with straight wings and the other with a vertical trapezoidal channel, were designed in the SOLIDWORKS program, and they were designed in the ANSYS Fluent program and five different angles of attack (-5° ; 0° ; 5° ; 10° ve 15°) where the flow speed was (15,5 m/s) aerodynamic analyzes were carried out under ambient conditions. As a result of the analysis, it was concluded that the ALTAY wing is more efficient than the SD-7037 wing, and the vertical trapezoidal wing UAV is more efficient than the straight wing.

Keywords: Fixed wing UAV; Design; aerodynamic analysis; Additive manufacturing.

1. GİRİŞ

Hava araçlarında, rüzgâr türbinlerinde, arabalarda bu gibi mühendislik tasarımlarında oluşan geometriler, sistemi hareket ve verim konusunda önemli bir şekilde etkilemektedir. İHA'nın kullanım alanları gün geçtikçe daha da çok artmaktadır. İnsansız ilk uçaklar dünya tarihine savaşlar dolayısıyla girmiş olmasına rağmen çalışmalarda; Haritacılık, arama-kurtarma faaliyetleri, hava durumu izlenimi, yangın izleme, tarımsal uygulamalar gibi konularda da kullanılmaktadır (Kahveci ve Can, 2017).

İHA'nın askeri konular dışına sivil gündelik konulara çıkmasındaki en önemli faktörler arasında insansız hava araçlarına ihtiyaca uygun olacak şekilde entegre edilen sensörler ve uçuş kontrol cihazları yer almaktadır. Hava aracının ihtiyaca göre ve farklı alanlarda kullanılan İHA'nın yapacağı görev şartlarıyla faydalı yük tipleri meydana çıkartılarak İHA'nın genel yapısına entegre edilir (Villi ve Yakar, 2022).

İHA'nın sivil gündelik konularda kullanılmasının insan hayatına ve sağlığına faydalı olabilecek konuların başında iş sağlığı ve güvenliği konuları gelmektedir. İş sağlığı ve güvenliği konusu insanın çalışma hayatının olduğu her yerde karşılaşılabilecek bir konudur. İHA'nın müdahale edebileceği inşaat ve madencilik meslek dallarında dünya üzerinde gelişmiş ülkelerde iş sağlığı ve güvenliği kullanılır iken ülkemizde ise sadece kurumsal firmalarda kullanılmaya başlanmıştır (Bozkurt, 2022).

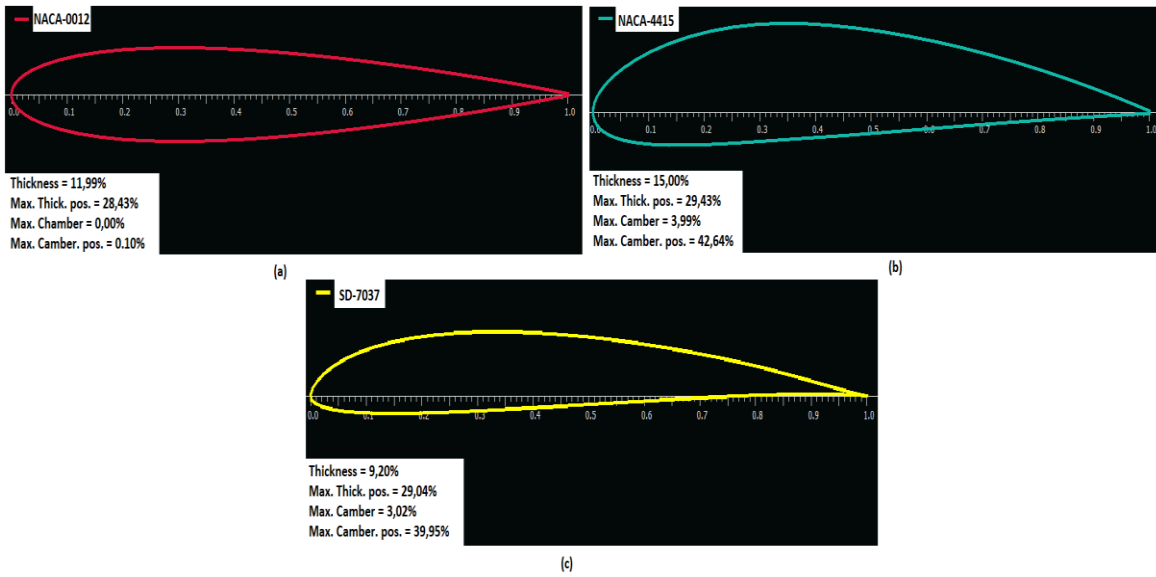
Bu çalışmada da kanatların ve gövdenin geometrisinde meydana gelebilecek değişimlerin hava aracı üzerinden elde edilen aerodinamik analizler ele alınmıştır (Altay, 2024). Hava araçları üzerindeki aerodinamik analizler konusunda bu çalışmada; her zaman arttırılmak için çabalanan kaldırma katsayısı (C_L) değerinin, her zaman azaltmak için çabalanan sürtünme katsayısı (C_D) değeri ile oranlanması sonucu elde edilecek sayıyı arttırmaktır. C_L ve C_D değerinin sınır şartları İHA'nın hava koşullarında irtifasını kaybettiği anlardır. Ön tasarım konusunda XFLR5 programında üç farklı kanat tipi (NACA-0012, NACA-4415 ve SD-7037), üç farklı Re sayısında (50.000; 150.000 ve 250.000) ve beş farklı hücum açısında (-5° ; 0° ; 5° ; 10° ve 15°) analizleri yapılmıştır. Elde edilen analizler sonucunda SD-7037 kanat geometrisi daha verimli kanat olarak tespit edilmiştir. SD-7037 kanat geometrisi üzerinde değişiklikler yaparak ALTAY kanadının ön tasarım aşaması gerçekleştirilmiştir. Ön tasarımın verimli olup çalışma kontrolü ilk olarak XFLR5 programında yapıldıktan sonra geniş kapsamlı olarak ANSYS Fluent öğrenci programında da gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen bu çalışmada da SD-7037 ile ALTAY kanatları üç farklı Re sayısında (50.000; 150.000 ve 250.000) ve beş farklı hücum açısında (-5° ; 0° ; 5° ; 10° ve 15°) analizleri yapılmıştır. Kanat analizlerine ek olarak ALTAY-0020 D ve ALTAY-0020 T İHA'ları tasarlanıp akış hızının 15,5 m/s olduğu beş farklı hücum açısında da analizler gerçekleştirilmiştir.

2. MATERYAL VE METOD

2.1. Kanat Geometrisi

Bu çalışmada ele alınan en önemli parametre C_L/C_D oranının kanat geometrilerinde meydana gelecek değişimlerle artışını sağlayabilmektir. Kanat geometrisi üzerinde meydana gelecek akışı inceleyebilmek ve yorumlayabilmek için XFLR5 programında NACA-0012, NACA-4415 ve SD-7037 Şekil 1'de kanat kesitlerinin geometrileri gösterilmektedir.

XFLR5 programında İHA'ların geometrisi ve aerodinamik analizleri üzerine çalışmalar gün geçtikçe artmaktadır (Kaynak, 2022; Uğur, 2019). NACA-0012 kanat profili geometrisinin kanat uçlarına flaplar (kanat üzerinde aerodinamiği kontrol etmeye yarayan ekipmanlar) eklenerek C_L/C_D oranının artırılması 15° hücum açısına kadar sağlanmıştır. 15° hücum açısından sonra kanatlar türbülansın dolaylı irtifasını kaybetmektedir (Genç, Özışık ve Kahraman, 2008). Bu sebeple bu çalışmada da maksimum hücum açısı 15° olarak seçilmiştir. Kanat geometrisi dışında ana kanat, kuyruk kanadı ve gövde konfigürasyonları İHA'nın tasarım metodolojisinde önemli yerlere sahiptir. Ana kanadın ortadan kanat, kuyruk kanadının V-kuyruk, gövdenin damla model olduğu konfigürasyon tipleri verimde en iyi değerlere sahiptir (Ünler, Dağ ve Öztürk, 2022).



Şekil 1: (a) NACA-0012 kanat profili, (b) NACA-4415 kanat profili, (c) SD-7037 kanat profili.

Kanat profillerinin geometrik olarak belirli bir eksen çizgisine göre kalınlık ve kamburluk oranları bulunmaktadır. Bu üç farklı kanat profilinin de kalınlık ve kamburluk oranları Çizelge 1'de gösterilmektedir. Çizelge 1'e göre üç farklı kanat içinde kalınlık olarak NACA-4415>NACA-0012>SD7037 ve kamburluk yüzdesi olarak NACA-4415>SD-7037>NACA-0012 olarak büyükten küçüğe

doğru sıralanmaktadır. Yapılan çalışmada NACA-4412 kanadı kuyruk kısmına doğru kalınlaştırılarak NACA-4412_1 ve NACA-4412_2 tasarlanmış ve kanat kalınlaşmasıyla C_L/C_D değerinde maksimum seviyenin yakalandığı hücum açısı gitgide düşüş göstermiştir (Göv, Doğru ve Korkmaz, 2019).

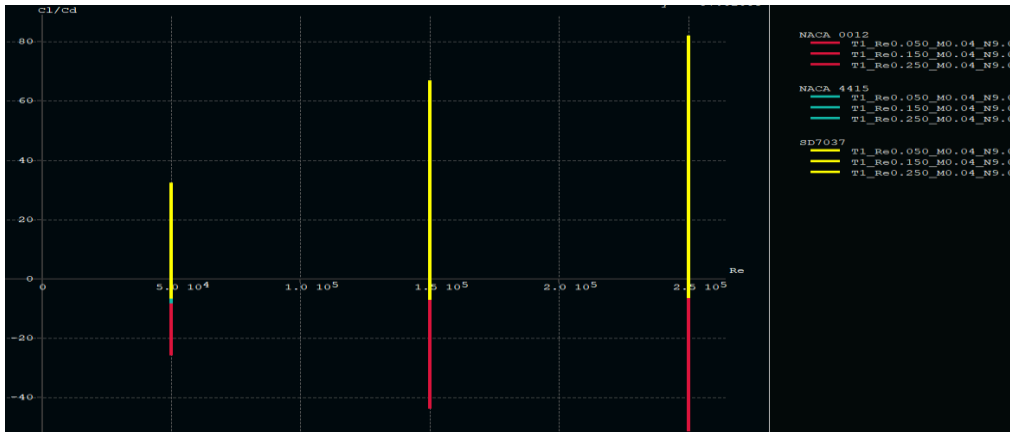
Çizelge 1: Kanat profilleri geometrileri.

Parametre oranları	NACA-0012	NACA-4415	SD-7037
Kalınlık oranı (%)	11,99	15	9,2
Maksimum kalınlık oranı (%)	28,43	29,43	29,04
Kamburluk oranı (%)	0	4	3,02
Maksimum kamburluk oranı (%)	0	39,94	39,95

Osborne Reynolds 1880'li yıllarda yaptığı çalışmalardan sonra Reynolds sayısını tespit etmiştir. Denklem 1'de belirtildiği gibi atalet kuvvetlerine ve Viskoz kuvvetlerine bağlıdır. Atalet kuvvetlerinde ρ -akışkanın yoğunluğu, V - akışkanın hızı, L_c - chord uzunluğunu (kanadın x eksenindeki uzunluğu) ve viskoz kuvvetlere de μ - akışkanın dinamik viskozitesini ifade etmektedir. Bu çalışmadaki analizlerde akışkan olarak kullanılan hava özellikleri $\rho = 1,225$ (kg/m^3), $\mu = 1,5111\text{E}-05$ ($\text{kg}/(\text{m}/\text{s})$) ve kanadın L_c değeri 0,2 (m)'dir. Hesaplanan sonuçlara göre Re 50.000 havanın hızı 3,1 (m/s), Re 150.000 havanın hızı 9,3 (m/s) ve Re 250.000'de havanın hızı 15,5 (m/s) olarak tespit edilmiştir. Hava araçlarında Re_{kr} (sınır bölgesindeki değer) 5000 olarak referans alınmaktadır. Reynolds değeri 5000'den küçükse laminar akış, büyükse türbülanslı akışa geçiş yapmaktadır (Çengel ve Cimbala, 2006).

$$Re = \frac{\rho \times V \times L_c}{\mu} \quad (1)$$

XFLR5 ön tasarım programında üç kanat içinde 50.000; 150.000 ve 250.000 ve -5° 'den 15° hücum açısına kadar analizleri sonuçları Şekil 2'de gösterilmektedir. Şekil 2'ye göre üç farklı Reynolds sayısı değerinde de SD-7037 kanat profili daha iyi C_L/C_D oranına sahiptir.

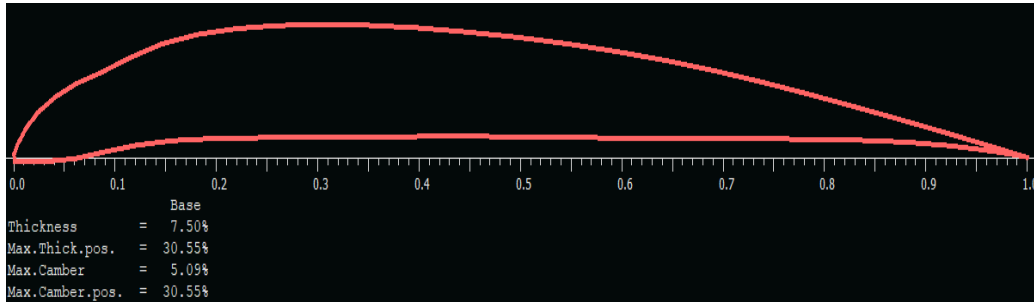


Şekil 2: XFLR5 programında kanatların üç farklı Reynolds sayısındaki C_L/C_D değerleri.

En iyi C_L/C_D oranına sahip olan SD-7037 kanadının geometrisinde değişiklikler yapılarak Şekil 3'te gösterilen ALTAY kanadı tasarlanmıştır.

Durmuş (2023) çalışmasında aynı gövde de 4 farklı kanat profilini (MH60, TL54, Eppler 339 ve TsAGI %12) XFLR5 programında analizleriyle C_L/C_D oranına ve moment değerlerini incelemiştir. En iyi C_L/C_D oranları iki kanat tipinde MH60'ta 5° ve TL54 ise 3° hücum açılarında elde edilmiştir.

Prieto ve diğerleri (2023) çalışmalarında NACA-4412 kanadını farklı kanat uçlarında (düz, trapez ve harmanlanmış) olarak OpenFOAM programında CFD (hesaplamalı akışkanlar dinamiği) ve XFLR5'te VLM (girdap kafes yöntemi) karşılaştırılmış ön tasarım çalışmalarında harmanlanmış kanadın daha verimli olduğu sonucu XFLR5 programı ile daha az maliyetli ve simülasyon süresi açısından daha avantajlı olduğu sonucuna varmışlardır.



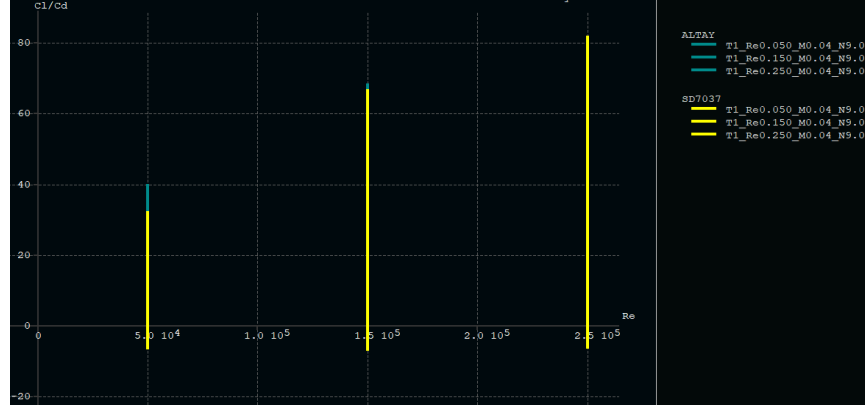
Şekil 3: ALTAY kanat profili.

ALTAY kanat profili SD-7037 kanat profili geometrik farklılıkları Çizelge 2'de belirtilmiştir. ALTAY kanadının geometrisi kalınlık olarak SD-7037 kanadına göre %1,70 incelmış ve % 2,07 kamburluğu artmıştır.

Çizelge 2: SD-7037 ve ALTAY kanat profilleri.

Parametre oranları	SD-7037	ALTAY
Kalınlık oranı (%)	9,20	7,50
Maksium kalınlık oranı (%)	29,04	30,55
Kamburluk oranı (%)	3,02	5,09
Maksimum kamburluk oranı (%)	39,95	30,55

ALTAY ve SD-7037 kanat profillerinin 50.000; 150.000 ve 250.000 Reynolds değerlerinde ve -5° 'den 15° hücum açısına kadar analizleri sonuçları Şekil 4'te gösterilmektedir. ALTAY kanat geometrisi Re 50.000 ve 150.000 değerlerinde aerodinamik verimliliği daha iyiyken 250.000 değerinde aerodinamik verimlilikleri benzerlik göstermektedir.



Şekil 4: ALTAY ve SD-7037 kanatlarının C_L/C_D değerleri.

Aytaç ve diğerleri (2023) çalışmalarında kanat geometrisinin de gerekli koşullarda gerekli kamburluğu ve düzlüğü sağlayabilmesi için İHA'lar da kanat geometrisinin şekil değiştirebilir olarak SOLIDWORKS programında tasarlayıp, 3D yazıcıda üretip XFLR5 programındaki çalışmalarını rüzgâr tüneline de gerçekleştirmişlerdir. Kanadın kamburlaştıkça veriminin arttığı görülmüştür.

2.2 Ansys Fluent

XFLR5 analiz programında yeni bir kanat olan ALTAY tasarımı ve ön analizleri gerçekleştikten sonra XFLR5 programına göre daha iyi bir altyapı ve içeriğe sahip olan ANSYS Fluent analiz programında da ALTAY ve SD-7037 kanadının analizleri üç farklı Re sayısında 50.000; 150.000 ve 250.000 ve beş farklı hücum açısında -5° ; 0° ; 5° ; 10° ve 15° analizleri yapılmıştır. Analizlerin gerçekleştirilmesi için sınır koşulları oluşturulmuştur. Şekil 5'te rüzgâr tünelinin x ve y eksenlerindeki boyutları kanadın chord uzunluğunu (kanadın x eksenindeki uzunluğu) referans alınarak hesaplanmıştır. Kanal C tipi yapısıyla 110.000 ağ yapısından meydana gelmektedir. Kanadın chord uzunluğunun 12,5 katı olarak ölçüler belirlenmiştir. ALTAY kanadının chord uzunluğu 200 mm'dir.

R1; Rüzgâr tüneline akış girişi bölgesi 2.250 mm,

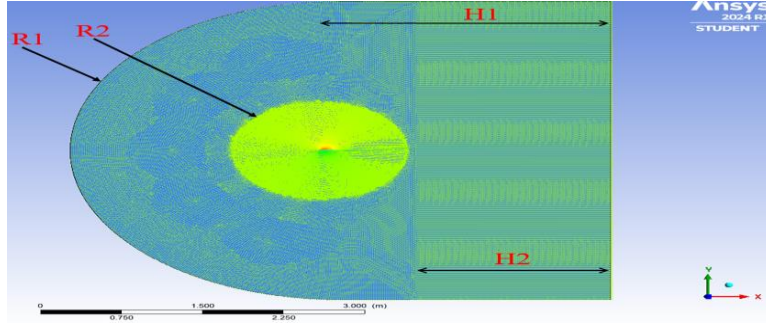
R2; Kanadın etrafında hassas mesh elde edebilmek için oluşturulan bölge 800 mm,

H1; Rüzgâr tüneline daireden sonra dikdörtgen geometrinin bölgesi 2.500 mm,

H2; Rüzgâr tünelinin akış çıkışı kısmında daha hassas mesh elde etmek için oluşturulan bölge 1.800 mm ölçülerindedir.

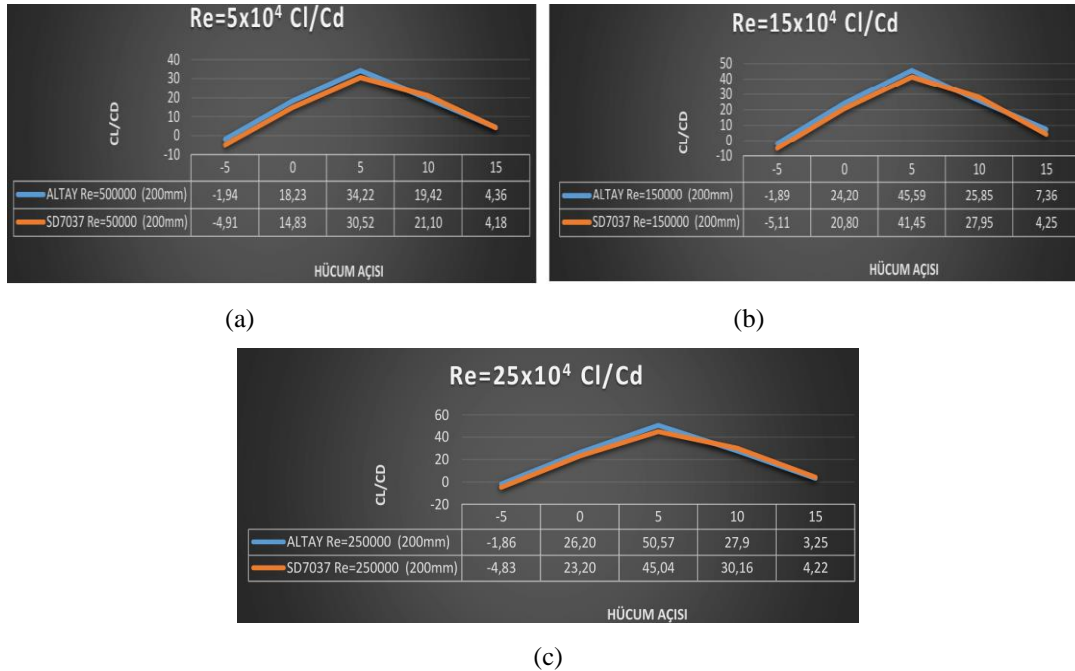
Bu sınır koşulları ölçülerine yani hava tüneline benzer olarak NACA-4415 ve NACA-0012 kanat profillerinin akış analizlerinde chord uzunluğunun 12,5 katı olacak şekilde C tipi ağ yapısıyla çalışılmış çalışmalarda vardır (Akdemir, 2021; Dilmaç, 2024). Diğer bir İHA ve kanat modeli çalışmasında NACA-4412 kanat geometrisi chord uzunluğunun 15 katı olacak şekilde C tipi ağ yapısıyla kanat eksenlerinde

yoğun mesh yapıları akış giriş ve çıkış bölümlerinde ise az yoğunlukta mesh, İHA modelini ise dikdörtgenel bir hava kanalı kullanmışlardır (Zhao ve diğerleri, 2019).



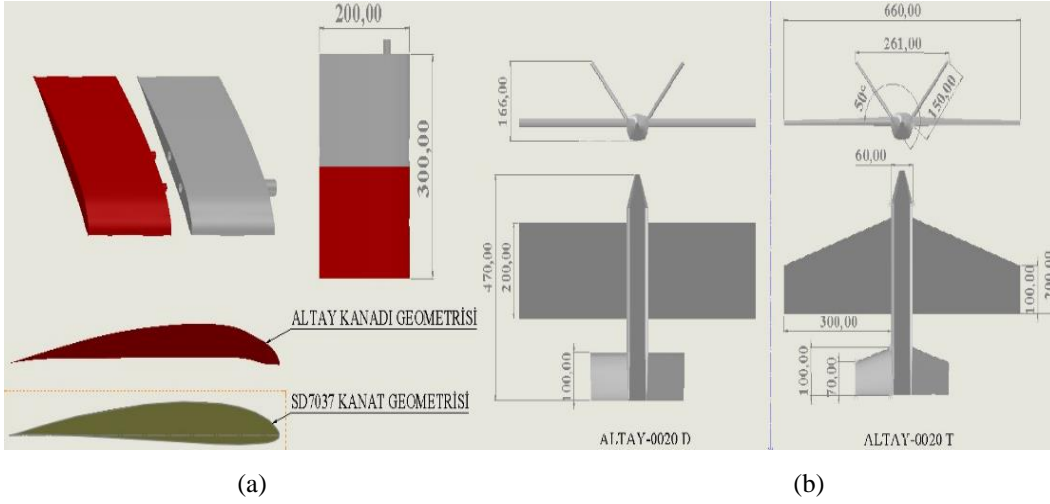
Şekil 5: Rüzgâr tünelinin yapısı ve gerçekleştirilen mesh ve ağları.

Yapılan çalışmada sınır koşulları olarak tünelin girişi, çıkışı ve kanat yüzeyi seçilmiştir. Şekil 5'te gösterildiği gibi oluşturulan üç ayrı bölgede de farklı mesh ölçüleri oluşturulmuştur. En yoğun mesh kanat etrafında, ikinci en yoğun mesh türbülansdan dolayı geri dönüşler meydana gelir diye tünel çıkışında, en az yoğun mesh tünel girişinde meydana getirilmiştir. Meshlerde bir adet kanat etrafında daha yoğun mesh için dairesel alan (body sizing), üç adet belirli bir kenarı parçalara bölme (edge sizing), bir adet belirlenmiş bir yüzeyde ağ oluşturmak (face meshing) ve bir adette yüzeyi katmanlı mesh (inflation) komutu uygulanmıştır. Şekil 6'da ALTAY ve SD-7037 kanat profillerinin üç farklı Re sayısında 50.000; 150.000 ve 250.000 ve beş farklı hücum açısında -5° ; 0° ; 5° ; 10° ve 15° analiz sonuçlarının eğrisel grafikleri gösterilmektedir.



Şekil 6: (a) $Re=5 \times 10^4$ (b) $Re=15 \times 10^4$ (c) $Re=25 \times 10^4$ değerlerinde C_L/C_D değerleri.

Şekil 7'de ki çizimlerde ALTAY-0020 D ve ALTAY-0020 T İHA'larının ölçüleri gösterilmektedir. İHA'lara bu isimlerin verilmesinin sebebi ana kanatlar olan düz ve trapez kanatlardan kaynaklanmaktadır. Ana kanatlar ALTAY kanadı geometrisinde kuyruk kanatları ise SD-7037 kanat geometrisinde tasarlanmıştır. Katı modele dönüştürülen bütün tasarımlar malzeme olarak termoplastik polimer yapıda olan PLA (Polilaktik Asit) yapısındadır. SOLİDWORKS programından alınan kütle özelliklerine göre; ALTAY-0020 D İHA'sı 3,2 kg ve ALTAY-0020 T İHA'sı ise 2,5 kg ağırlığındadır.

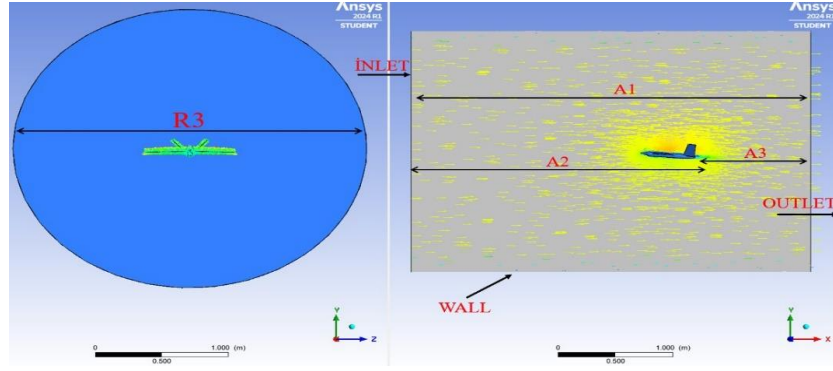


Şekil 7: (a) Altay ve Sd-7037 kanatları (b) Altay-0020 D ve Altay-0020 T İHA geometrileri

SOLİDWORKS öğrenci programında tasarlanan ALTAY-0020 D ile ALTAY-0020 T İHA'ları ilk olarak step formatında ANSYS programına yükleme yapılmıştır. Sonuçların ve analizlerin doğru olabilmesi için tasarımlar birçok parça montaj edilmiş şekilde değil de tek katı gövde olarak tasarlanmıştır. Analizler için İHA modelinin gövdesini çevreleyerek Enclosure komutu ile silindirik bir rüzgâr tüneli tasarlanmıştır. Tasarlanan rüzgâr tünelinin ölçüleri Şekil 8'de A1, A2, A3 ve R3 olarak verilmiştir. Bu isimlendirilen harflerin ölçüleri şu şekildedir; Silindir çapı R3 1.000 mm, silindirin baştan başa uzunluğu A1 3.000 mm, İHA'nın kuyruğundan silindir ucu (hava girişi) mesafesi A2 2.000 mm, İHA'nın kuyruğundan silindir ucu (hava çıkışı) A3 1.000 mm ölçülerinde tasarlanmıştır. Tünelin içine yerleştirilen İHA'lar Boolean komutuyla tasarlanan rüzgâr tüneli modelinden İHA'ların gövdesi çıkarılmıştır.

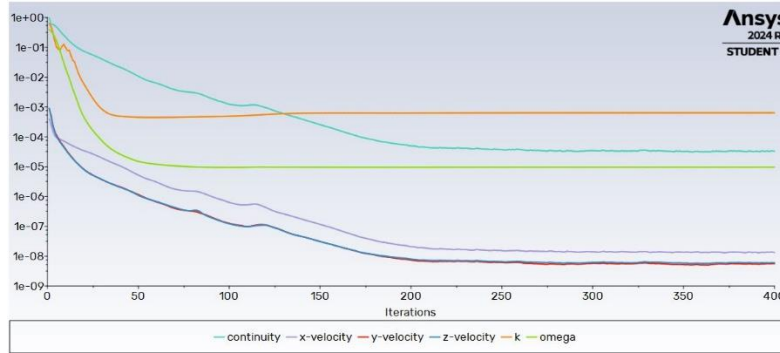
Sınır koşulları Şekil 8'de gösterildiği gibi tünelin bir tarafı giriş (inlet), diğer tarafı çıkış (outlet), tüneli boyu (wall), İHA gövdesi Altay-0020 D ve T olarak belirlenmiştir. Her iki İHA da tünel içinde 501.980 ağ yapısından meydana gelmektedir. Sonuç aşamasında viskoz model olarak k-omega SST modeli kullanılmıştır. Akışkan olarak kullanılan hava özellikleri $\rho = 1,225$ (kg/m³), $\mu = 1,5111E-05$ (kg/(m/s)).

Bu araştırma makalesi gibi silindirik hava tüneline benzer çalışmalar deneysel ve bilgisayar destekli analiz programlarında modelleyerek yapılmaktadır (Zhou ve diğerleri, 2023; Aboelezz ve diğerleri, 2020).

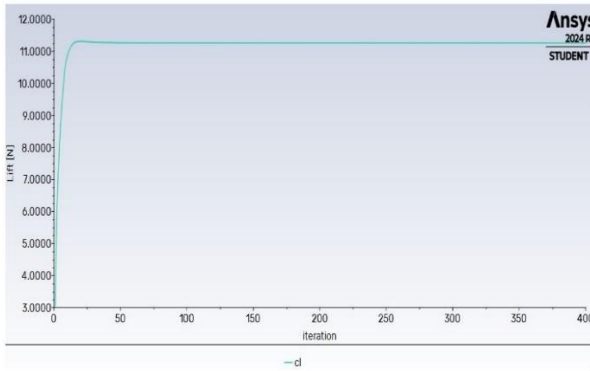


Şekil 8: Altay-0020 D ve Altay-0020 T İHA'larına Uygulanan Mesh yapısı.

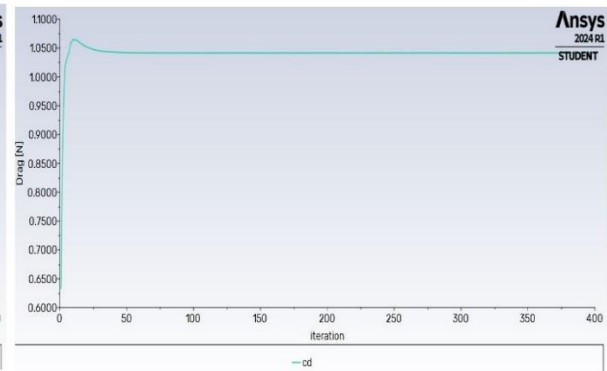
Şekil 8'de gösterilen rüzgâr tüneline 15,5 m/s hava hızında İHA'ların gövde ve kanatlarının üzerlerinde meydana gelen basınç ve hız değerlerinin en iyi sonuçlandığı 5° hücum açısındaki basınç ve hız bölgeleri Şekil 10'da gösterilmektedir. Oluşan basınç ve hız değerlerinden de gözüktüğü gibi en düşük basınçlar ana kanat (ALTAY) üzerinde oluşmaktadır. Trapez kanadın düşük basınç değerleri düz kanada göre kanat ucuna daha çok ilerlemiştir. Basınçları İHA'nın gövde ve kanatları üzerinden elde ederken, hız değerlerini ise İHA'nın tam ortasından bir adet yüzey atayarak bu yüzey üzerinden değerler elde edilmiştir.



(a)



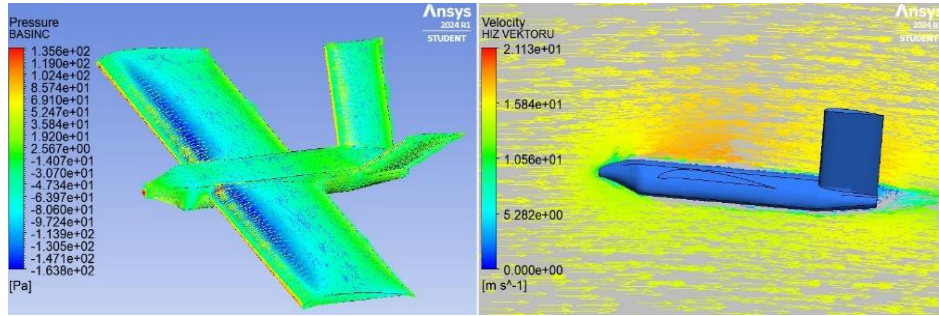
(b)



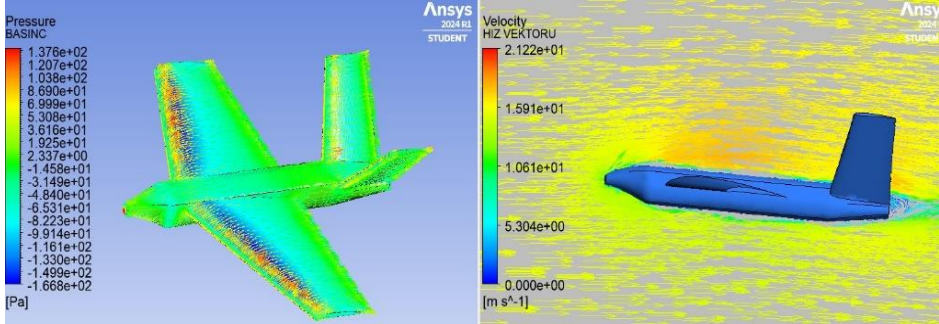
(c)

Şekil 9: (a) k-omega SST modeli iterasyon eğrisi, (b) kaldırma kuvveti eğrisi, (c) sürtünme kuvveti eğrisi.

Şekil 9'da ANSYS Fluent programında Şekil 8'de ki mesh yapısına k-omega SST modelinde 400 iterasyonla bu makale çalışmasında yapılmış bir analiz görülmektedir. ALTAY-0020 T İHA'sının 15,5 m/s hava hızında, 5° hücum açısındaki C_L değeri 11,261 (N), C_D değeri 1.0416 (N) sonuçları alınmıştır. C_L/C_D elde edilen değer Çizelge 3'te 5° hücum açısında gösterildiği gibi 10,8'dir. Diğer tüm analizler de gerekli sınır şartlarına göre bu şekilde hareket edilerek gerçekleştirilmiştir. Şekil 9'da İterasyon değeri yaklaşık olarak 200 değerlerindeki C_L ve C_D eğrileri kendini sonuç değerine sabitlemiştir. Şekil 9 (a)'da eğriler düzenli olarak aşağıya doğru iniş göstererek analizin sonucunun yakınsayarak ilerlediği gözlemlenmektedir. Eğrilerde aşağı-yukarı dalgalanmalar gibi kararsız davranışlarla bu çalışmalarda karşılaşılmaştır.



(a)



(b)

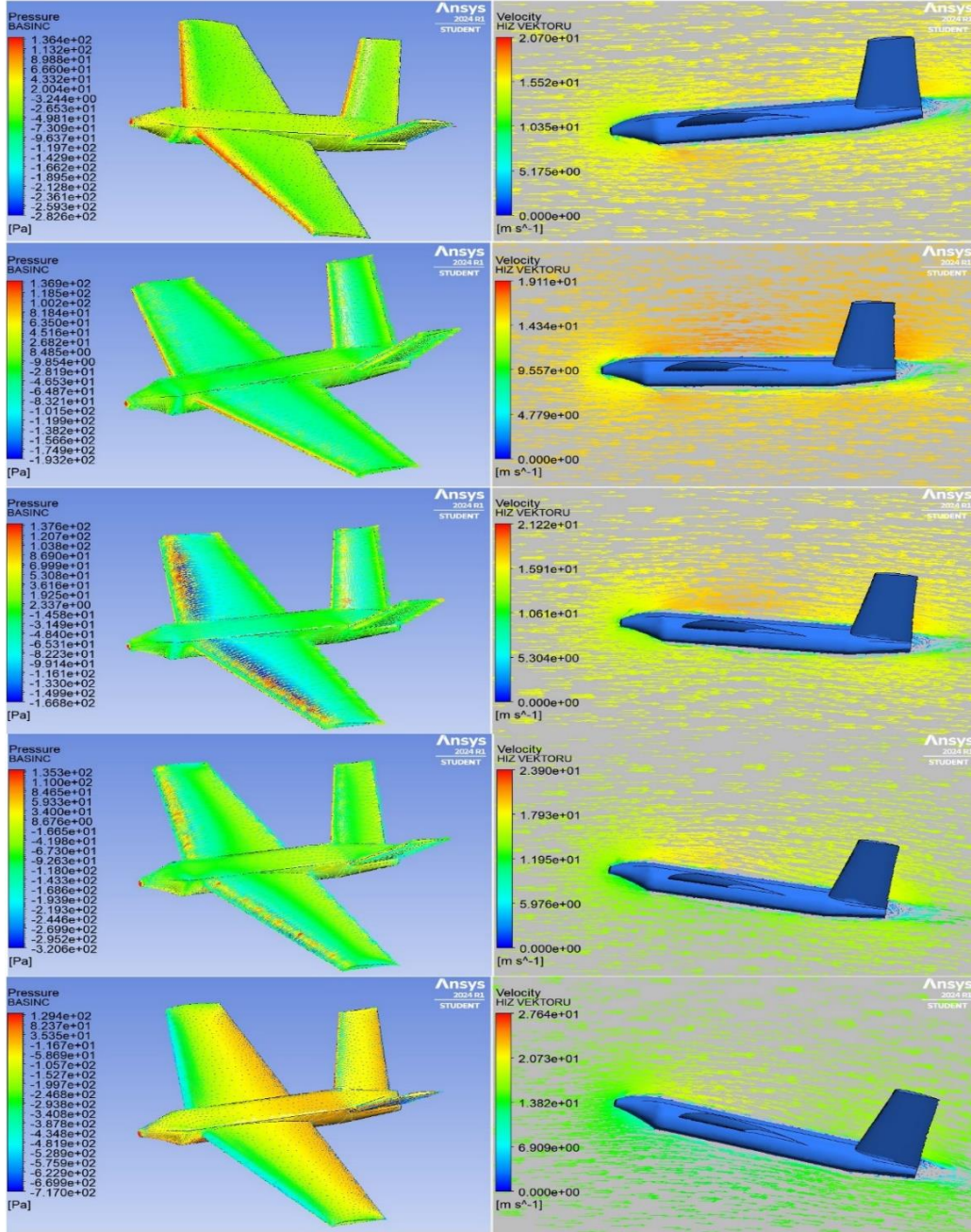
Şekil 10: (a) ALTAY-0020 D ve (b) ALTAY-0020 T İHA'larının 5° hücum açısında 15,5 m/s hava hızındaki basınç ve hız değerleri.

Çizelge 3'te ALTAY-0020 D ile ALTAY-0020 T İHA'larının 15,5 m/s hızındaki beş farklı açıdaki C_L/C_D değerleri eğrisel olarak gösterilmektedir. Bu çalışmada 15,5 m/s hız şartlarında yapılmasıyla en yüksek $Re = 250.000$ değerine uygun analizlerin gerçekleştirilmesi sağlanmıştır.

Düşük Reynolds sayılarında gerçekleştirilen benzer bir çalışmada da SD-7037 kanatlı sabit kanatlı İHA'nın ANSYS Fluent programında 10; 20; 30 ve 40 (m/s) hava hızlarında 0°; 2° ve 5° hücum açılarında bu makale çalışmada sonuçlanan Şekil 10 ve Şekil 11'de gösterildiği gibi kanat ve gövde üst bölgesinde yüksek hız

düşük basınç aynı zamanda kanat ve gövde alt bölgesinde düşük hız ve yüksek basınç değerleri yer almakta ve en iyi C_L/C_D değerine 0° hücum açısında ulaşmışlardır (Ramanan, Krishnan ve Ranjan, 2021).

Şekil 10 ve Şekil 11'de İHA kanat ve gövdelerinde meydana gelen basınç ve hız dağılımları Bernoulli prensibine ele alarak alt bölgelerde düşük hız yüksek basınç ve üst bölgelerde yüksek hız düşük basınç göstererek yapılan bu makalenin çalışmasını doğrulamaktadır (Çengel ve Cimbala, 2006).



Şekil 11: ALTAY-0020-T İHA'sının -5° ; 0° ; 5° ; 10° ve 15° hücum açısında $15,5$ m/s hava hızında ki basınç ve hız değerleri.

3. SONUÇ

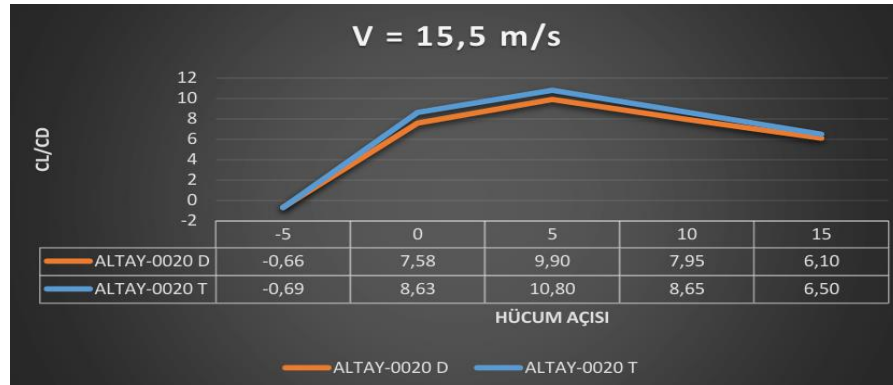
Yapılan çalışmalar düşük Reynolds sayılarında kanat geometrisinin değişiminin aerodinamik özelliklerden biri olan C_L/C_D sayısının üzerinde meydana gelen etkileri incelemek için üç kanat tipinin (NACA-0012, NACA-4415 ve SD-7037) XFLR5 programında üç farklı Re (5×10^4 , 15×10^4 ve 25×10^4) analizleri sonucu SD7037 kanadının bu çalışma koşullarında daha verimli olduğu tespit edilmiştir. XFLR5 programından elde edilen bu sonuçlara göre Re sayısı arttıkça SD-7037 kanadı ALTAY kanadına göre verimliliği daha fazla bir artış göstermekte ama ALTAY kanadı SD-7037 kanadına göre Re (5×10^4 , 15×10^4 ve 25×10^4) değerlerinde daha verimli olduğu tespit edilmiştir. ALTAY kanadı SD-7037 kanadına göre % 1,7 daha ince ve %2,07 oranında daha kambur bir özelliğe sahiptir.

ANSYS programında ALTAY ile SD-7037 kanatlarının Re (5×10^4 , 15×10^4 ve 25×10^4) sayılarında chord uzunluğunun 200 mm ölçülerinde (Bkz. Şekil 6)'da 5° ; 0° ; 5° ; ve 15° hücum açılarında ALTAY kanadının C_L/C_D değerinin SD-7037 kanadına göre daha iyi değerlerde olduğu, 10° hücum açısında ise SD-7037 kanadının daha iyi değerlerde olduğu tespit edilmiştir.

XFLR5 ve ANSYS Fluent programlarında Re (5×10^4 , 15×10^4 ve 25×10^4) değerlerinde en iyi C_L/C_D sayısı 5° hücum açısında en verimli olduğu açıdır.

ANSYS Fluent programında ALTAY-0020 T İHA'sı ALTAY-0020 D'ye göre Çizelge 3'te gösterildiği gibi daha iyi sonuçlar vermektedir. Her iki İHA içinde C_L/C_D değerleri -5° hücum açısında negatif değerlerde, 5° hücum açısına kadar artış göstermekte ve 5° hücum açısından sonra 15° hücum açısına kadar düşüş göstermektedir.

Çizelge 3: ALTAY-0020 D ile ALTAY-0020 T İHA'larının 15,5 m/s hızındaki beş farklı açıdaki C_L/C_D değerleri.



Düşük Reynolds sayılarında yapılan diğer çalışmalarda da 0° ; 5° ; 10° ve 15° hücum açılarından elde edilen grafikler Çizelge 3'te ki elde edilen grafik ile benzerlik göstermektedir (Görgülü, Özgür ve Köse, 2021).

Kanatlar ve tasarlanan İHA'lar üzerinde 15° hücum açısında hava akışkanının yüzey üzerinden erken ayrılmalara bu sebeple dönen düzensiz akışkan yapıları (vorteks) ve türbülanslar oluşmaya başlamıştır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

YAZARLARIN KATKILARI

M.A.: Kavramsallaştırma, üç boyutlu tasarım, aerodinamik analiz, yöntem, yazılım, doğrulama, formel analiz, araştırma, kaynaklar, yazı yazma- orijinal taslak hazırlama.

E.T.: Yöntem, yazılım, doğrulama, araştırma, kaynaklar, yazı yazma- gözden geçirme ve düzenleme.

KAYNAKLAR

- Aboelezz, A., Hassanalıan, M., Desoki, A., Elhadıdı, B., & El-Bayoumi, G. (2019). Design, experimental investigation, and nonlinear flight dynamics with atmospheric disturbances of a fixed-wing micro air vehicle. *Aerospace Science and Technology*, 97, 105636. <https://doi.org/10.1016/j.ast.2019.105636>
- Akdemir A. (2021). *Biyomimetik tabanlı uçak kanadı tasarımı* (Yüksek lisans tezi). Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Altay, M. (2024), *Sabit kanatlı İHA'nın tasarımında kanat geometrisinin etkileri ve aerodinamik analizleri* (Yüksek Lisans Tezi), Kırklareli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırklareli.
- Aytaç F., Çelik Ü. & Gençoğlu M. (2023). *Küçük İHA'lar İçin 3D Baskılı Şekil Değiştirebilir Kanat Tasarımı ve Testleri*. Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi, 35(2), 847-853, 2023.
- Bozkurt A. (2022). *İnsansız hava araçlarının iş sağlığı ve güvenliği alanında kullanılmasının önemi ve muhtemel avantajları*. Yüksek lisans tezi.
- Çengel, Y.A. ve Cimbala, J.M. (2006). *Akışkanlar Mekaniği: Temeller ve Uygulamalar*. McGraw-Hill Bilim/Mühendislik/Matematik.
- Dılmaç E. (2019). *Naca-4415 rüzgâr türbini kanat profilinde firar kenarı etkisinin incelenmesi* (Yüksek lisans tezi). Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya.
- Durmuş S. (2023). *Aerodynamic Performance Comparison of Airfoils In Flying Wings UAV*. International Journal of Innovative Engineering Applications vol. 7, issue 1 (2023). <https://dergipark.org.tr/ijiea>
- Gör, İ., Doğru, H. M., & Korkmaz Ü. (2019). Uçuş esnasında değiştirilebilir kanat profili kullanılarak NACA 4412'nin aerodinamik performansının artırılması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 34:2 (2019) 1109-1125. DOI: 10.17341/gazimmfd.460536.
- Görgülü, Y. F., Özgür, M. A., & Köse, R. (2021). NACA 0009 profilli bir kanadın düşük bir Reynolds sayısında had analizi. *Politeknik Dergisi*, 24(3), 1237-1242. <https://doi.org/10.2339/politeknik.877391>
- Kahveci M. ve Can N. (2017). *İnsansız Hava Araçları: Tarihçesi, Tanımı, Dünyada Ve Türkiye'deki Yasal Durumu*", *Selçuklu Üniversitesi Mühendislik Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5, 511-535.
- Kaynak B. (2022). *Sabit kanatlı insansız hava aracında kanat geometri optimizasyonunun performansa etkisi*. Yüksek lisans tezi.
- Prieto, M., Escarti-Guillem, M. S., & Hoyas, S. (2023). Aerodynamic optimization of a VTOL drone using winglets. *Results in Engineering*, 17, 100855. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100855>

- Ramanan, G., Krishnan, P. R., & Ranjan, H. (2021). An aerodynamic performance study and analysis of SD7037 fixed wing UAV airfoil. *Materials Today Proceedings*, 47, 2547–2552.
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.05.051>
- Uğur M. (2019). *İnsansız hava araçlarında rüzgâr enerjisi yolu ile enerji verimliliğinin arttırılması*. Yüksek lisans tezi.
- Ünler T., Dağ T., & Öztürk M. (2022). Sabit Kanatlı Bir İnsansız Hava Aracının Konsept Tasarımı. 3rd *International Conference On Applied Engineering And Natural Sciences*, ICAES 2022, Konya, Türkiye.
- Villi O. ve Yakar M. (2017). İnsansız Hava Araçlarının Kullanım Alanları ve Sensör Tipleri, *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 2022: 4(2); 73-100.
- Zhao, A., Zou, H., Jin, H., & Wen, D. (2019). Structural design and verification of an innovative whole adaptive variable camber wing. *Aerospace Science and Technology*, 89, 11–18.
<https://doi.org/10.1016/j.ast.2019.02.032>
- Zhou, W., Ma, P., Wei, B., Gao, Y., & Sun, Z. (2023). Experimental study on aerodynamic characteristics of fixed-wing UAV air docking. *Aerospace Science and Technology*, 137, 108257.
<https://doi.org/10.1016/j.ast.2023.108257>