T.C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
SİVİL HAVACILIK ANABİLİM DALI

NACA 65_1-412 KANAT PROFİLİNİN YAPISAL ANALİZİ

Hazırlayan
Burak ÇEKİRDEK

Danışman
Doç. Dr. Veysel ERTURUN

Yüksek Lisans Tezi

AĞUSTOS 2023
KAYSERİ

T.C
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
SİVİL HAVACILIK ANABİLİM DALI

NACA 65_1-412 KANAT PROFİLİNİN YAPISAL ANALİZİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Hazırlayan
Burak ÇEKİRDEK

Danışman
Doç. Dr. Veysel ERTURUN

AĞUSTOS 2023
KAYSERİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Burak ÇEKİRDEK

İmza

“ NACA 65$_1$-412 kanat profilinin yapısal analizi ” adlı Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Hazırlayan	**Danışman**
Burak ÇEKİRDEK	Doç. Dr. Veysel ERTURUN

Sivil Havacılık ABD Başkanı

Prof. Dr. İlke TÜRKMEN

TEŞEKKÜR

Bana lisansüstü çalışmam süresince bilgi ve tecrübelerini paylaşan, desteğini ve sabrını hiçbir zaman esirgemeyen değerli tez danışmanım, kıymetli hocam Doç. Dr. Veysel ERTURUN ‘ a ,

Doktora çalışmaları arasında bana zaman ayırarak yardımlarını esirgemeyen Sayın Arş. Görevlisi Abdülhalim AŞKAN’ a ,

Yoğun iş temposunun yanında bana zaman ayırarak yardımlarını esirgemeyen değerli arkadaşım Makine Mühendisi Sayın Burak BIKMAZ’ a ,

Uzun süren ve sabır gerektiren bu süreçte her zaman beni teşvik ederek başarabileceğime kendimi inandıran THY TEKNİK ‘te görevli değerli çalışma arkadaşlarıma ve yöneticilerime ,

Tüm eğitim – öğretim hayatım boyunca olduğu gibi lisansüstü çalışmam döneminde de bana sabır, koşulsuz sevgi gösteren ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen annem Fethiye Nevin ÇEKİRDEK, babam Cüneyt Erçin ÇEKİRDEK ve ablam Öğr. Görevlisi Gizem ÇEKİRDEK ‘ e teşekkür ederim.

Burak ÇEKİRDEK

Ağustos 2023, KAYSERİ

NACA 65_1-412 KANAT PROFİLİNİN YAPISAL ANALİZİ

Burak ÇEKİRDEK

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Ağustos 2023
Danışman: Doç. Dr. Veysel ERTURUN

ÖZET

Bu çalışmada bir bölgesel yolcu uçağı NACA profili olan NACA 65_1-412 kullanılmış olup tasarım sürecinde SOLIDWORKS programı, sonlu elemanlar yöntemiyle akış ve yapısal analizler de ise ANSYS programı kullanılmıştır. Kanat profili uzunluğu 4 metre alınmış olup tasarımda 9 rib, 2 spar, kanat alt- üst profillerinin tasarımına yer verilmiştir. Statik analiz sürecinde ribler ve sparlar Al 7050-T7451, kanat profiline ise sırasıyla Al 2024-T3 ve Al 7075-T6 malzemeleri atanmıştır ve kanat profili üzerinde yer değiştirme, eşdeğer gerilme, eşdeğer gerinim, çekme gerilme ve basma gerilme gibi yapısal parametrelerin analizlerinin yapılması hedeflenmiştir. Statik analizin amacı, kanadın maruz kaldığı yükler altında deformasyon ve gerilimleri hesaplayıp bu değerlerin emniyet limitleri içinde olmasını sağlamaktır. Analiz kapsamında kanat profili 3°, 6° hücum açılarında standart atmosfer şartları altında ve 141 m/s hız değerleri referans alınarak akış analizi yapılıp, kanat profiline etki edecek basınç değerleri bulunarak statik analiz yapılmıştır. Yapılan akış analizi sonucunda hücum açısı arttıkça kanat profil yüzeyi üzerindeki basıncın arttığı gözlemlenmiştir. Yapılan statik analizde ise hücum açısı arttıkça yer değiştirme, eşdeğer gerilme, eşdeğer gerinim, çekme gerilmesi, basma gerilmesi gibi yapısal parametrelerin arttığı gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler : Sonlu elemanlar yöntemi, Statik Analiz, Uçak Kanadı, Rib ve Spar

STRUCTURAL ANALYSIS OF NACA 65_1-412 WING PROFILE

Burak ÇEKİRDEK

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences
Master Thesis, August 2023
Supervisor: Associate Professor Veysel ERTURUN

ABSTRACT

In this study, NACA 65_1-412, a regional passenger plane NACA profile, was used and the SOLIDWORKS program was used in the design process, and the ANSYS program was used in flow and structural analysis with the finite element method. The wing profile length was taken as 4 meters and the design of 9 rib, 2 spar, wing lower-upper profiles were included in the design. In the static analysis process, ribs and spars are coated with Al 7050-T7451, and the airfoil is coated with Al 2024-T3 and Al 7075-T6 materials respectively and structural parameters such as total deformation, von-mises stress, equivalent strain, maximum principle stress and minimum principle stress were aimed at being carried out on the wing profile. The purpose of the static analysis is to calculate the deformation and stresses under the loads that the blade is exposed to and to ensure that these values are within the safety limits. Within the scope of the analysis, flow analysis and static analysis was performed at 3° and 6° angle of attack under standart atmospheric conditions and 141 m/s velocity values were taken as reference and static analysis was performed by finding the pressure values that would affect the airfoil. As a result of the flow analysis, it was observed that the pressure on the airfoil surface increased as the angle of attack increased. In the static analysis, it was observed that as the angle of attack increased, the structural parameters such as total deformation, equivalent stress, equivalent strain, maximum principle stress, minimum principle stress increased.

Key words : Finite Element Analysis, Static Analysis, Aircraft wing, Rib and Spar.

İÇİNDEKİLER

NACA 65_1-412 KANAT PROFİLİNİN YAPISAL ANALİZİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK ..... **ii**

YÖNERGEYE UYGUNLUK ..... **iii**

KABUL VE ONAY ..... **iv**

TEŞEKKÜR ..... **v**

ÖZET ..... **vi**

ABSTRACT ..... **vii**

KISALTMALAR ..... **x**

TABLOLAR LİSTESİ ..... **xi**

ŞEKİLLER LİSTESİ ..... **xii**

GİRİŞ **1**

1. BÖLÜM

LİTERATÜR ÇALIŞMASI VE GENEL BİLGİLER

1.1. Literatür Araştırması **2**

1.2. Genel Bilgiler **8**

1.2.1. Uçak Tasarım Aşamaları **8**

1.2.2. Sonlu Elemanlar Yöntemi **9**

1.2.3. Uçak Kanatlarının Aerodinamiği **10**

1.2.4. Uçak Yapımında Kullanılan Malzemeler **12**

1.3. Tezin Amacı ve Önemi **15**

2. BÖLÜM

YÖNTEM VE MATERYAL

2.1. Kanat Profili Tasarımı İle İlgili Bilgiler **17**

2.2. Kanat Profili Tasarımında Kullanılan Malzemeler **19**

3. BÖLÜM
BULGU VE TARTIŞMA

3.1. Bulgular……...21
3.1.1.Kanat Profilinin Ansys Programında Akış Analizi……21
3.1.1.1. 3° hücum açısı altında akış analizi……23
3.1.1.2. 6° hücum açısı altında akış analizi……25
3.1.2. Kanat Profilinin Ansys Programında Statik Analizi…….26
3.1.2.1. Temas Tipleri……..27
3.1.2.2. 3° hücum açısı altında Al 2024-T3 malzemesi ile statik analiz……....29
3.1.2.3. 3° hücum açısı altında Al 7075-T6 malzemesi ile statik analiz……...33
3.1.2.4. 6° hücum açısı altında Al 2024-T3 malzemesi ile statik analiz……37
3.1.2.5. 6° hücum açısı altında Al 7075-T6 malzemesi ile statik analiz……41
3.2. Tartışma……...45

4. BÖLÜM
SONUÇ VE ÖNERİ

4.1. Sonuç……..……..49
4.2.Öneri…….....51
KAYNAKÇA……..... 52
ÖZGEÇMİŞ…….. 56

KISALTMALAR

Al : Alüminyum

Cu : Bakır

Mg : Magnezyum

Pa : Paskal

MPa : Megapaskal

CFD : Hesaplamalı akışkanlar dinamiği

TABLO LİSTELERİ

Tablo 2.1.Al Malzemelerin mekanik özellikleri……...20
Tablo 3.1. Standart atmosfer koşulları……..……23
Tablo 3.2. 3° hücum açısında statik analiz sonuçları……37
Tablo 3.3. 6° hücum açısında statik analiz sonuçları……45

ŞEKİL LİSTELERİ

Şekil 1.1. Kanat hücum açısı……...11
Şekil 1.2. Kanat hücum açısı arttırıldığında oluşan stall durumları……..12
Şekil 1.3. Yolcu uçağında istenen malzeme mukavemet özellikleri…….14
Şekil 2.1. Rib tasarımı……..17
Şekil 2.2. Rib tasarımı (9 tane)…….18
Şekil 2.3. Kanat Alt – Üst yüzey tasarımı ve kalınlığı (1 cm kalınlığında)……..18
Şekil 2.4. 2 cm kalınlığındaki 9 adet rib……18
Şekil 2.5. Spar tasarımı (2 adet)……19
Şekil 3.1. Analiz paketi arası etkileşim şeması……21
Şekil 3.2. Hava akımı……...22
Şekil 3.3. Fluent ağ……...……22
Şekil 3.4. Fluent ağ yakınlaştırılmış görüntü……23
Şekil 3.5. 3° hücum açısı altında kanat profili üstündeki basınç dağılımı……24
Şekil 3.6. 3° hücum açısı altında kanat profili altındaki basınç dağılımı…...……...24
Şekil 3.7. 6° hücum açısı altında kanat profili üstündeki basınç dağılımı…….25
Şekil 3.8. 6° hücum açısı altında kanat profili altındaki basınç dağılımı…..….....25
Şekil 3.9. Kanat profili ağı……28
Şekil 3.10. Kanat profili ağı yakınlaştırılmış görüntüsü……...28
Şekil 3.11. 3° hücum açısı altında Al 2024-T3 malzemesinin yer değiştirmesi…..…….29
Şekil 3.12. 3° hücum açısı altında Al 2024-T3 malzemesinin von mises gerilmesi……29
Şekil 3.13. 3° hücum açısı altında Al 2024-T3 malzemesinin eşdeğer gerinimi……...30
Şekil 3.14. 3° hücum açısı altında Al 2024-T3 malzemesinin çekme gerilmesi……...31
Şekil 3.15. 3° hücum açısı altında Al 2024-T3 malzemesinin basma gerilmesi……...32
Şekil 3.16. 3° hücum açısı altında Al 7075-T6 malzemesinin yer değiştirmesi……33
Şekil 3.17. 3° hücum açısı altında Al 7075-T6 malzemesinin von mises gerilimi……33
Şekil 3.18. 3° hücum açısı altında Al 7075-T6 malzemesinin eşdeğer gerinimi.....34
Şekil 3.19. 3° hücum açısı altında Al 7075-T6 malzemesinin çekme gerilmesi……...35
Şekil 3.20. 3° hücum açısı altında Al 7075-T6 malzemesinin basma gerilmesi……...36
Şekil 3.21. 6° hücum açısı altında Al 2024-T3 malzemesinin yer değiştirmesi….....37
Şekil 3.22. 6° hücum açısı altında Al 2024-T3 malzemesinin von mises gerilmesi.....38
Şekil 3.23. 6° hücum açısı altında Al 2024-T3 malzemesinin eşdeğer gerinimi……...38

Şekil 3.24. 6° hücum açısı altında Al 2024-T3 malzemesinin çekme gerilmesi……...39
Şekil 3.25. 6° hücum açısı altında Al 2024-T3 malzemesinin basma gerilmesi……...40
Şekil 3.26. 6° hücum açısı altında Al 7075-T6 malzemesinin yer değiştirmesi….....41
Şekil 3.27. 6° hücum açısı altında Al 7075-T6 malzemesinin von mises gerilmesi……..41
Şekil 3.28. 6° hücum açısı altında Al 7075-T6 malzemesinin eşdeğer gerinimi……...42
Şekil 3.29. 6° hücum açısı altında Al 7075-T6 malzemesinin çekme gerilmesi……...43
Şekil 3.30. 6° hücum açısı altında Al 7075-T6 malzemesinin basma gerilmesi……...44

GİRİŞ

Uçaklar kanatlar tarafından üretilen taşıma kuvveti sayesinde uçmakta olup uçuş esnasında uçak üzerine gelen tüm yüklerin çoğunu kanatlar karşılamaktadır. Bu durum bize uçak tasarımındaki önemli süreçlerden birinin kanat tasarımı süreci olduğunu göstermektedir. Uçak kanadında olması gereken özellikler hafiflik ve maksimum dayanımdır.

Geçmişten günümüze kadar havacılık sektörü büyük gelişmeler göstermiştir ve göstermeye devam etmektedir. Bu gelişmeler sonucunda sektörde talep artmaktadır, bu artan taleple birlikte emniyetin önemi ortaya çıkmaktadır ve bu emniyetin sağlanması önemli bir konudur. Statik analizin amacı, kanadın maruz kaldığı basınç altında deformasyon ve gerilmeleri hesaplayıp bu değerlerin emniyet limitleri içinde olmasını sağlamaktır sağlanmıyor ise uygun yöntemler seçilerek dayanımı arttıracak revize işlemler yapılmalıdır.

Uçak yapılarının tasarımı önemli bir konudur, çünkü uçak yapılarının ağırlığını minimumda tutarken uçak yapıları yeterli mukavemeti sağlamalıdır. Malzeme seçimi yapısal tasarımı, ağırlığı ve kuvveti etkiler. Uçak kanadında kullanılan malzemelerin seçilmesindeki en önemli etkenler olarak malzemenin hafifliği, tokluğu, dış etkenlere dayanımı, elastikliği ve üretim kolaylığı gösterilmektedir [12, 23].

1. BÖLÜM

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI VE GENEL BİLGİLER

1.1. Literatür Araştırması

Kathiravan.T, Mohammed Huda. A, Parthiban. K çalışmalarında ses altı uçuş şartları altında Al alaşımı ve Ti alaşımı kullanarak kanat yapımı için uygun olan malzemeyi bulmayı hedeflemişlerdir. Bu kapsamda çalışmalarında NACA 4412 kanat profilini kullanmış olup ANSYS WORKBENCH programı ile yapısal analizler yapmışlardır. Kanat profil uzunluğunu 5 metre almışlardır ve 500 paskal tekil yük değerinde basıncı kanat profiline uygulamışlardır. Bu veriler kapsamında yer değiştirme, eşdeğer gerilme, çekme gerilmesi, eşdeğer gerinim ve kesme gerilmesi gibi yapısal parametrelerle analiz yapmışlardır. Yapılan analiz sonuçlarına göre yer değiştirme (Al alaşımı 19.623 mm, Titanyum alaşımı 24.145 mm), eşdeğer gerilme (Al alaşımı 9.7216 MPa, Titanyum alaşımı 16.463 MPa), çekme gerilmesi (Al alaşımı 12.818 MPa, Titanyum alaşımı 22.361 MPa), kesme gerilmesi (Al alaşımı 0.45092 MPa, Titanyum alaşımı 0.81411 MPa) ve eşdeğer gerinim (Al alaşımı %0.013766, Titanyum alaşımı %0.017263) değerlerini bulmuşlardır. Al alaşımının yer değiştirme, eşdeğer gerilme, çekme gerilmesi, kesme gerilmesi ve eşdeğer gerinim değerlerinin Ti alaşımlarına göre daha düşük olduğunu tespit etmişlerdir. Ti alaşımlarının bükülmesi ve kesilmesi Al alaşımlarına göre daha zor olduğundan kanat profilini Ti alaşımından yapmanın maliyetinin Al alaşımına göre daha fazla olacağı sonucuna varmışlardır [1].

Sivarama Prasad Peruru, Suman Babu Abbisetti çalışmalarında PRO-ENGINEER WILDFIRE 5.0 programını kullanarak 150 kişilik bölgesel yolcu uçağının kanat yapısını tasarlayıp kanat yapısındaki gerilmeleri hesaplamak için ANSYS programını kullanmışlardır. Çalışmaları kapsamındaki kanat yapısında 15 rib ve 2 spar kullanmışlardır. Çalışmalarında 400 km/h, 600 km/h, 800 km/h hız şartları altında Al 6061-T8, S2 cam ve karbon fiber epoksi malzemeleri ile yer değiştirme, eşdeğer gerilme

ve eşdeğer gerinim gibi yapısal parametrelerle analiz yapmışlardır. Yapılan analiz sonucunda hız değerleri arttırılınca (400 km/h, 600 km/h, 800 km/h) gerilme değerlerinin Al 6061-T8, S2 cam ve karbon fiber epoksi için arttığı gözlemlenmiş olup karbon fiber epoksi malzemesinin daha mukavemetli olduğu sonucuna ulaşmışlardır [2].

Darshak Bhuptani çalışmasında A300 kanat yapısının yapısal ve modal analizi üzerine çalışmıştır. CATIA V5 R18 tasarım programını kullanarak NACA 64-215 profili ile yer değiştirme, eşdeğer gerilme, kesme gerilmesi, gerilme yoğunluğu gibi yapısal parametreleri ANSYS yazılımı aracılığıyla analiz etmiştir. Tasarımda rib kalınlıkları 100 mm'dir. Ön spar çapı 300 mm olup kort hattının %25 aralığına yerleştirilmiş olup, arka spar ise 250 mm çapında olup kort hattının %70'ine yerleştirmiştir. 23 tane rib tasarlamıştır. 28 derecelik ok açısı verilmiş olup kanat profili kalınlığı 0.01 metredir. Kanat profiline yapılan hesaplamalar sonucunda 6736.65 paskal değerinde tekil yük basıncı uygulamıştır. Analizde Al 6061-T6 malzemesini kullanmıştır. Analiz DURUM 1 : Kenar boyutlandırma 1-20 kenar boyutlandırma sizing 2-40 ve DURUM 2: Kenar boyutlandırma 2-40 kenar boyutlandırma 2-80 ağ şartları altında yapılıp kıyaslanmıştır. Durum 1 için yapılan analiz sonucunda yer değiştirme 0.59828 metre, eşdeğer gerilim 180 MPa, kesme gerilmesi 72.481 MPa, gerilme yoğunluğu 203.72 MPa bulunmuştur. Durum 2 için yapılan analiz sonucunda ise yer değiştirme 0.5964 metre, eşdeğer gerilim 234.1 MPa, kesme gerilmesi 70918 MPa, eşdeğer gerilme 268.82 MPa bulunmuştur. Sonuç olarak kullanılan Al 6061-T6'nın mukavemet değeri 290 MPa olup yapılan analiz sonuçlarında elde edilen değer 290 MPa değerinin altında olduğundan kanat profiline yüklenen basınç şartlarında kanat yapısının malzemesinin uygunluğunu kanıtlamıştır [3].

İbrahim Candemir çalışmasında NACA 23015 profilini kullanarak bölgesel yolcu uçağı kanadı yapısal analizini yapmıştır. Tasarım sürecinde CATIA V5 R19 programını kullanıp ANSYS WORKBENCH R15 programı aracılığıyla analiz yapmıştır. Ansys workbench üzerinden CFD analiz yapılarak buradan elde edilen sabit irtifa uçuşu şartı altındaki basınç değeri statik analiz için kullanılarak 10 derecelik hücum açısında yer değiştirme, eşdeğer gerilme gibi yapısal parametrelerin analizi yapılmış olup malzeme olarak Al 7075 – T6 alaşımını kullanmıştır. Seçilmiş olan Al 7075 – T6 alaşımının akma gerilmesi 510 MPa'dır. Analiz sonucunda emniyet faktörü de (1.5) hesaba katıldığında gerilim 340 MPa olarak ortaya çıkmaktadır ve kanat yapısı için kullanılan Al 7075- T6

alaşımının maksimum eşdeğer gerilme değeri analizden elde edilen 340 MPa'lık değeri geçmediği için yapı emniyetli olarak görülmüştür [4].

Ali Salh Sawadi çalışmasında NACA 2412 kanat profilini seçerek yer değiştirme ve eşdeğer gerinim analizi yapmıştır. Uçak kanadı tasarımında 3D modelleme yazılımı Pro / Engineer ile tasarım işlemini gerçekleştirmiştir. Bu makalede, malzeme olarak kompozit malzemeler karbon fiber ve aramid fiber kullanılarak ANSYS programında yapısal analiz işlemlerini yapmıştır. Aramid fiber malzemesi kullanılarak yapılan yer değiştirme analizinde profil maksimum 227.66 mm yer değiştirmiştir, eşdeğer gerinim analizinde ise maksimum %0.38335 değeri bulunmuştur. Karbon fiber malzemesi kullanılarak yapılan yer değiştirme analizinde profil maksimum 127.67 mm yer değiştirmiştir, eşdeğer gerinim analizinde ise maksimum %0.091668 değeri bulunmuştur. Analiz sonucunda karbon fiberin kanat yapısı için daha uygun olduğu sonucuna ulaşmıştır [5].

Salu Kumar Das, Sandipan Roy çalışmalarında airfoil kök kısmında NACA 64-215 ve uç kısmında NACA 64-210 profillerini kullanarak CATIA V5 R20 üzerinden tasarlayıp ANSYS programı aracılığıyla yer değiştirme, eşdeğer gerilme, eşdeğer gerinim gibi yapısal parametrelerinin analizini yapmışlardır. Tasarımda 15 rib, 2 spar ve kanat yüzeyi tasarlamışlardır. Kanat uzunluğu 5500 mm olup kök uzunluğu 2400 mm, uç uzunluğu 700 mm'dir. Ön spar kort hattının %18-25 aralığına, arka spar kort hattının %62-70 aralığına yerleştirmişlerdir. Riblerin kalınlığı 100 mm olup ön spar, arka spar ve riblerdeki delikleri varsayımlara göre belirlemişlerdir. Analizde malzeme olarak karbon fiber takviyeli epoksi matris kompozit malzeme UD (tek yönlü), epoksi S-cam UD (tek yönlü), Al 2024-T3, karbon epoksi dokunmuş kumaş, epoksi E-cam malzemelerini kullanmışlardır. Kanat profiline 500 paskal değerinde tekil yük basınç uygulanmış olup ek olarak 200 km/h, 400 km/h, 600 km/h, 800km/h ve 1000 km/h hız parametrelerini kullanmışlardır. Analiz sonucunda belirlenen parametrelerde tek yönlü karbon fiber takviyeli epoksi matris kompozit malzemesi Al 2024-T3 ve diğer malzemeler ile karşılaştırıldığında daha az deformasyon, yüksek mukavemet ve hafifliğe sahip olduğu sonucuna ulaşmışlardır [6].

Mustafa Başekin, Ramazan Selver çalışmalarında NACA 6412 profilini kullanarak ANSYS programı aracılığıyla basınç ve yapısal analizler yapmışlardır. Kanat profili malzemesini Al 2007-T3 olarak belirlemişlerdir. Kanat profilinin uzunluğu 3 m olarak

kort hattı ise 900 mm olarak almışlardır. Tasarımda 7 adet rib kullanmışlardır. Sınır şartları olarak hız ve hücum açısı belirlemişlerdir. CFD aracılığıyla basınç ve yapısal analizler için standart atmosfer koşulları altında analizler yapmışlardır. Yapısal analiz olarak yer değiştirme analizi üzerine çalışmışlardır. Analizler de hız olarak 500 km/h ve 700 km/h değerlerini kullanmışlardır. Hücum açısı olarak ise 0, 4, 6, 8, 10, 12, 15, 16, 18, 20 dereceleri seçip analiz yapmışlardır. Analizler sonucunda hücum açısı ve hız arttıkça basınç değerlerinin arttığını görmüşlerdir. Yapısal analiz olan yer değiştirme açısından sonuçlar değerlendirildiğinde ise sabit hız değerinde hücum açısı arttıkça yer değiştirmenin arttığı, sabit hücum açısında ise hız değeri arttıkça yer değiştirmenin arttığını tespit etmişlerdir. Ama bu tespitlerinin kanat stall açısı olarak tespit edilen 16 derecelik hücum açısına kadar gerçekleştiğini, 16 derecelik hücum açısından sonra değerlerin düştüğünü görmüşlerdir [7].

Tansel Öztuğ çalışmasında iki kişilik eğitim uçağı verilerini araştırıp NACA 23015 profilini kullanarak CATIA V5R21 programı aracılığıyla tasarım yapmış olup ANSYS programı aracılığıyla ANSYS FLUENT analizi ile kanat üzerine etki eden aerodinamik yükleri hesaplamıştır. Hesaplanan aerodinamik yükler ANSYS STATIC STRUCTURAL' a aktarılarak yapısal analizi yapmıştır. Kanat profili tasarımında 10 adet rib ve 2 adet spar kullanmıştır. Ön spar veter uzunluğunun %25'ine, arka spar ise veter uzunluğunun %75'ine yerleştirmiştir. Kanat uzunluğu 4.85 m olarak belirlemiştir. Ön spar, arka spar ve ribler Al alaşımı, kanat alt ve üst yüzeyi karbon örgülü epoksi elyaf ile kaplamıştır. Analizde yer değiştirme, eşdeğer gerilmesi, çekme gerilmesi, basma gerilmesi yapısal parametreleri ANSYS programı aracılığıyla analiz etmiştir. Yapmış olduğu analizlerde yer değiştirme 18.88 mm, eşdeğer gerilme 139.64 MPa, çekme gerilmesi 73.832 MPa, basma gerilmesi 159.43 MPa olarak bulmuştur. Analiz sonucunda emniyet katsayısını 1.5 kabul ettiğinden kanat üzerinde oluşan gerilmeler Al emniyet mukavemeti değeri olan 186.67 Mpa'dan küçük olduğundan tasarımda herhangi bir iyileştirme yapılmasına gerek olmadığı sonucuna ulaşmıştır [8].

Guguloth Kavya, B.C.Raghukumar Reddy çalışmalarında Pro/Engineer programı kullanarak rib, spar ve kanat yüzeyini tasarlamış olup yapısal analiz için S cam, Kevlar 49 ve Boron Fiber malzemelerini kullanarak ANSYS programı aracılığıyla yapısal analiz yapmışlardır. Yapısal analiz için gerekli olan değerler için CFD analiz yaparak bu analizden elde edilen değerlerle yapısal analiz yapmışlardır. Uçak kanatlarında kullanılan

malzemeler çoğunlukla metal alaşımlardır. Bu çalışmada kompozit malzemeler kullanılmıştır. Analiz sonucunda rib ve spar kullanılan kanat profillerinde deformasyon ve gerilmelerin daha az olduğu sonucuna varılmış olup analiz sonuçlarına göre bor elyaf'ın gerilmesi daha azdır [9].

T.S.Vinoth Kumar, A.Waseem Bash, M.Pavithra, V.Srilekha çalışmalarında süper kritik kanat profili olan NACA 64A215 (root) ve NACA 64A210 (tip) kullanarak tasarımı CATIA V5 R20 programı aracılığıyla yapıp MSC NASTRAN/PATRAN programıyla statik analiz yapmışlardır. Yapısal analiz olarak eşdeğer gerilmesi, çekme gerilmesi, yer değiştirme, kesme gerilmesi parametrelerinin yapısal analizini yapmışlardır. Malzeme olarak Al 2024-T351 malzemesini kullanmışlardır. Yapılan hesaplamalar sonucunda kanat profiline 5912 Pascal değerinde basıncı tekil yük olarak uygulamışlardır. Kanat kök kort uzunluğu 2400 mm, uç kort uzunluğu 700 mm ve kanat uzunluğu 5500 mm olup, kanat ağırlığı 14000 N, yük faktörü 6g, tasarım faktörü 1.5, yüzey alanı 8.525 m^2 'dir. Ön spar chord hattının %18-25 aralığında, arka spar ise %62-70 aralığına yerleştirmişlerdir. Yapılan analiz sonuçlarına göre eşdeğer gerilme 184 MPa, çekme gerilmesi ise 208 MPa bulmuşlardır. Analiz sonucunda gerilmelerin kanat yüzeyindeki maksimum gerilim seviyelerini, minimum gerilim seviyelerini görmüşlerdir ve kanat yapısının mukavemet kriterlerini karşıladığı sonucuna varmışlardır [10].

Muhammed Amir Mirza Bin Mohd Zakuan, Abdul Aabid, Sher Afghan Khan çalışmalarında A320 uçağının verilerini kullanarak ANSYS programı üzerinden yapısal analiz yapmayı amaçlamışlardır. NACA 23015 profili kullanılmış olup analiz sürecinde limit problemleri oluşabileceğinden ¼ oranında gerçek ölçüleri küçültmüşlerdir. Bunun sonucunda kanat profilinin yeni ölçülerini maksimum ağırlık 9750 kg, kanat uzunluğu 4.05 m, kort genişliği 1.05 m olarak belirlemişlerdir. Ek olarak rib ile ilgili kalınlıklar root ve tip kalınlığı 0.4 m, diğer ribler 0.2 m, delikler 0.01-0.05 m'dir. Spar uzunlukları 4 m olup kalınlıkları 0.07 m'dir. Emniyet faktörünü 1.5 kabul etmişlerdir. Yapılan hesaplamalar sonucunda kanat profiline 9626 Paskal değerinde basıncı tekil yük olarak uygulamışlardır. Ribler ve kanat yüzeyi Al alaşımı, sparlar Ti alaşımıyla kaplanmıştır. Analiz de yer değiştirme, eşdeğer gerinim, eşdeğer gerilmesi yapısal parametrelerinin analizi yapılmıştır. Yapılan analizlerde yer değiştirmeyi 0.10125 metre, eşdeğer gerilmeyi ise 193.87 MPa olarak bulmuşlardır. Sonuç olarak kanadın yapısal davranışının simülasyonu yapılmış olup kanat yüzeyindeki deformasyonlar gözlenmiştir [11].

Özgün Günay, Prof. Dr. Mahmut Özbay çalışmalarında NACA 4415 kanat profilini seçmişlerdir. Bu profille ilgili tasarımlarını CATIA V5 R21 programı yardımıyla yapmışlardır. Malzeme olarak Al 2024-T3, karbon fiber takviyeli epoksi matris kompozit malzeme UD (395 GPa), epoksi S-cam UD (tek yönlü), epoksi E-cam UD (tek yönlü), karbon epoksi dokuma (395 GPa-maksimum dayanım) kullanmışlardır. Kanat profili 16 rib ve 2 spardan oluşmaktadır. Rib kalınlıklarını 20 mm seçmişlerdir. Gövde kort uzunluğu 2400 mm, uç kort uzunluğu 700 mm, kanat uzunluğu 5500 mm olup, ön spar kort hattının %18-25 aralığına, arka spar kort hattının %62-70 aralığına yerleştirmişlerdir. Kanadın alt yüzeyine 500 paskal değerinde tekil yük basınç uygulamışlardır. Yapısal parametre olarak yer değiştirme, eşdeğer gerinim, eşdeğer gerilme değerlerini elde etmişlerdir. Elde edilen sonuçlar daha önce yapılan NACA 64-215 ile karşılaştırmışlardır ve yapılan karşılaştırmada NACA 4415 kanat profilinin NACA 64-215'e göre daha az yer değiştirme, eşdeğer gerinim, eşdeğer gerilme değerlerine sahip olduğunu gözlemlemişlerdir. Bunun yanında kanat üzerine hava basıncı uygulandığında elde edilen sonuçlar incelendiğinde kompozit malzemelerin Al 2024-T3'e göre daha iyi değerlere sahip olduğu ortaya çıkmıştır. Tüm malzemeler karşılaştırıldığında tek yönlü karbon fiber takviyeli epoksi matris kompozit malzemenin gerilim değeri daha azdır [12].

Kakumani Sureka, R. Satya Meher çalışmalarında A300 uçağının yapısal analizini yapmayı amaçlamış olup bu kapsamda NACA 64-215 profilini kullanarak CATIA V5 R20 üzerinden tasarımını ve ANSYS programı aracılığıyla da yapısal analizi yapmışlardır. Kanat uzunluğu 22.84 m'dir. Kanat profiline 500 Paskal değerinde tekil yük basınç uygulamışlardır. Malzeme olarak Al alaşımları ve Al 7068 alaşımı malzemeleri kullanmışlardır. Riblerin her birinin kalınlığı 100 mm olup spar ve delikler varsayımlara göre belirlenmiştir. Yapısal parametre olarak yer değiştirme, eşdeğer gerilme, çekme gerilmesi, gerilim yoğunluğu, kesme gerilmesi sonuçları belirlenmiştir. Al alaşımı ile ilgili yapılan analizlerde yer değiştirme 0.44915 m, eşdeğer gerilme 19.411MPa, çekme gerilmesi 15.04 MPa, gerilme yoğunluğu 19.861 MPa, kesme gerilmesi 4.858 MPa bulmuşlardır. Al 7068 alaşımı ile ilgili yapılan analizlerde ise yer değiştirme 0.44215 m, eşdeğer gerilme 19.411 MPa, çekme gerilmesi 15.034 MPa, kesme gerilmesi 4.858 MPa olarak bulmuşlardır. Yapılan analiz sonucu Al alaşımı ve Al 7068 alaşımından elde edilen sonuçlar da yer değiştirme, eşdeğer gerilme, çekme gerilmesi, gerilim yoğunluğu, kesme gerilmesi değerleri arasındaki farkın minimum olduğu sonucuna varılmıştır. Al

7068’ in mukavemet değeri 290 MPa olmakta olup analiz sonucu elde edilen değerler 290 MPa değerinin altında olduğundan ve analiz sonucu elde edilen değerler arasındaki fark minimum olduğundan yapıya daha fazla mukavemet sağlamak için Al alaşımı yerine Al 7068 alaşımı kullanılabileceği sonucuna varılmıştır [13].

Nur Yıldırım ve arkadaşları çalışmalarında insansız hava aracı kanat profili tasarlamışlardır. Kanat yüzey malzemesi olarak karbon fiber T300 / Epoksi kompozit malzemesi seçilmiş olup rib ve spar malzemesi olarak Al 6063-T6 ve Al 5086-H116 alaşımları kullanılmıştır. Bu çalışmada rib sayıları 9 ribli ve 12 ribli olarak tasarlayarak sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak kanat profiline statik yükleme yapılarak toplam gerilme ve gerinim değerlerini analiz etmişlerdir. Kanat profiline yapılan hesaplamalar sonucunda 2207.25 N basınç uygulamışlardır. Rib sayısındaki artışla ile her iki Al alaşımında toplam deformasyon ve eşdeğer gerinim değerlerinde azalma ve eşdeğer gerilme miktarında artma görmüşlerdir [14].

1.2. Genel Bilgiler

1.2.1. Uçak Tasarım Aşamaları

Tasarım süreci sürekli yenileme gerektiren bir süreçtir. Tasarım süreci kavramsal tasarım, ön tasarım ve detay tasarım olmak üzere 3 aşamaya ayrılır [15].

Kavramsal tasarım, kanat ve kuyruk geometrilerini, gövde şeklini ve motor şeklini, kokpit, yolcu bölmesi, iniş takımı ve yakıt depoları gibi ana bileşenlerin bilgisini ve düzenlemesini içermekte olup kavramsal tasarım sonucunda hava aracının genel görünümü elde edilir. Hava aracı tasarımındaki esas amaç hava aracının tasarım gereksinimlerini karşılaması ve istenen performansı sağlayarak hafif ve düşük maliyetli olmasıdır. Kavramsal tasarım tasarımın önemli safhasıdır, çünkü kavramsal tasarım sürecinde olabilecek bir yanlış tercih geri dönülmesi zor sonuçlar doğurabilmektedir. Bundan dolayı kavramsal tasarım önemli bir süreçtir [15, 16, 17].

Ön tasarımın aşamasına tasarımdaki değişiklikler bittiği zaman başlanır. Yapılan tasarımlarda bazı değişiklikler olabilir. Büyük değişiklik gerektiği zaman kavramsal tasarım tekrar gözden geçirilmeli bu da sürecin yeniden başlatılması anlamına gelmektedir. Ön tasarım sırasında yapılar, iniş takımı ve kontrol sistemleri, aerodinamik,

itki gibi alanlardaki uzmanlar uzmanlık alanları ile ilgili yerleri tasarlarlar ve analiz ederler. Ön tasarım sürecindeki asıl amaç, tasarımı detay tasarım süreci aşamasına hazırlamaktır [15, 16, 17].

Detay tasarım, ön tasarım sürecindeki tam ölçekli tasarımın geliştirilmesine yönelik karar alındığında, üretilecek olan parçaların tasarlanacağı detay tasarım aşaması başlar. Örneğin, kavramsal ve ön tasarım sırasında kanat kutusu bir bütün olarak tasarlanıp analiz edilecektir. Detay tasarımı sırasında ise her biri ayrı ayrı tasarlanıp analiz edilmesi gereken ayrı ayrı riblere, sparlara ve stringerlara ayrılır [15, 16, 17].

1.2.2. Sonlu Elemanlar Yöntemi

Mühendislik alanında kullanılan malzemelerin ömürleri hakkında bilgi sahibi olmak önemlidir. Örnek olarak havacılık sektörünü düşünürsek uçaklardaki parçaların yorulma sebebiyle kopmaya maruz kalması uçağın düşmesine neden olabilir. Bu tür olayları engellemenin yolu ise parçaların ve bağlantı elemanlarının ömrü tükenmeden değiştirilmesidir [18].

Malzemelerin ömürleri hakkında bilgi sahibi olabilmek için çeşitli deneyler ve deney düzenekleri mevcuttur, fakat deney ve deney düzeneklerinde yapılan çalışmalar ekonomik olarak fazla yük gerektirebilmektedir ve çalışmamızda farklılık yapmak istediğimizde deneyi tekrardan yapmamız gerekebilir. Yapılması planlanan deneyler ve analizler için sonlu elemanlar yöntemi adlı analiz programları mevcuttur. Bunlardan biri de bu tez kapsamında kullandığım ANSYS programıdır. ANSYS ve benzeri sonlu elemanlar yöntemi yazılımları ile gerçek ortam şartları altında bilgisayar aracılığıyla analizler yapılabilmektedir. Bu sayede ekonomik fayda sağlanmış olup istenilen veriler elde edilince üretim aşamasına geçilebilir [18].

Sonlu elemanlar yöntemi, mühendislik problemlerinin çözülmesinde etkin olarak kullanılan bir yöntemdir. 1956 yılında uçak gövdelerinin gerilme analizi için kullanılmaya başlanan sonlu elemanlar yöntemi, daha sonraki yıllarda çeşitli mühendislik bilimlerinde de kullanılmaya başlanmıştır [19].

Sonlu elemanlar yöntemindeki amaç karmaşık bir problemi basit parçalara ayırarak çözüm bulmaktır. Bu sayede doğru sonuçlara daha kısa sürede ve doğru şekilde ulaşılır [19].

Yaygın olarak kullanılan sonlu elemanlar yöntemi yazılımları Ansys, Abaqus, Adina, Feflow, Jmag, Ls-dyna, Nastran, Sap2000'dır [20].

Sonlu elemanlar yönteminin kullanım alanlarından bazıları aşağıda verilmiştir ;

- Sonlu elemanlar yöntemi uçak mühendisliğinde gövde ve kanatların statik analizinde, roket ve füzelerin statik analizinde kullanılmaktadır.

- Sonlu elemanlar yöntemi inşaat mühendisliğinde çerçevelerin, levhaların, köprülerin, kirişlerin statik analizinde kullanılmaktadır.

- Sonlu elemanlar yöntemi nükleer mühendislikte nükleer basınçlı kapların ve yapıların analizinde, reaktör parçalarının sıcaklık dağılımında kullanılmaktadır.

- Sonlu elemanlar yöntemi biyomedikal mühendisliğinde kemiklerdeki, dişlerdeki gerilmelerin analizinde, protezler için yük taşıma kapasitesi analizinde kullanılmaktadır.

- Sonlu elemanlar yöntemi otomotiv sektöründe araç gövdelerinin analizinde, çarpışma simülasyonlarında ve eğilme yorulma analizlerinde kullanılmaktadır [19].

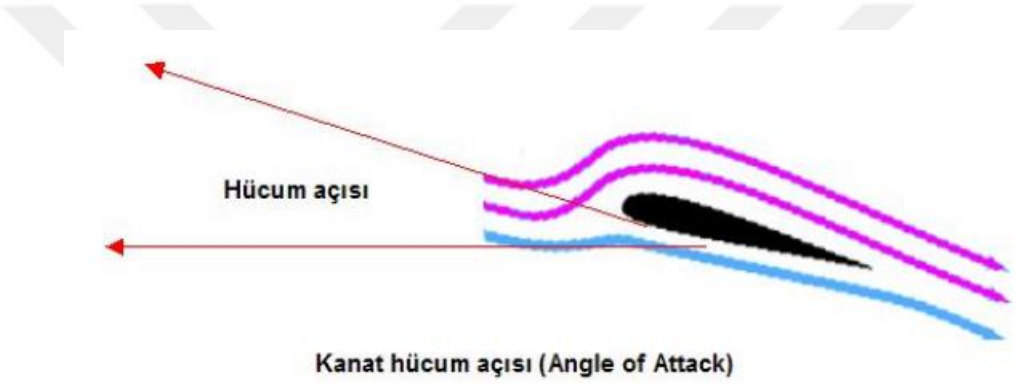
1.2.3. Uçak Kanatlarının Aerodinamiği

Bir cismi çevreleyen hareket halindeki hava akımının içindeki hareketli bir katı cismin üzerindeki kuvvetleri ve hava akımının durumunu inceleyen bilim dalına aerodinamik denir. Kanat profili (airfoil) yapı uçak kanadı ve helikopter pervane kanadı için geçen hava akımına tepki verecek şekilde dizayn edilmiş özel şekilli yapılardır. Kanat kesitleri en az hava direnci (geri sürükleme kuvveti – drag) ile en fazla taşıma kuvveti (lift) sağlayacak şekilde tasarlanmış olmalıdır [21, 22].

Uçak kanadı etrafında belirli hızın üzerinde hava akımı oluştuğunda kanat üset yüzeyinde kanat alt yüzeyine göre daha düşük basınç oluşur. Alt yüzeydeki basıncın üst yüzeydeki basınçtan fazla olması durumunda taşıma kuvveti elde edilir [21, 22].

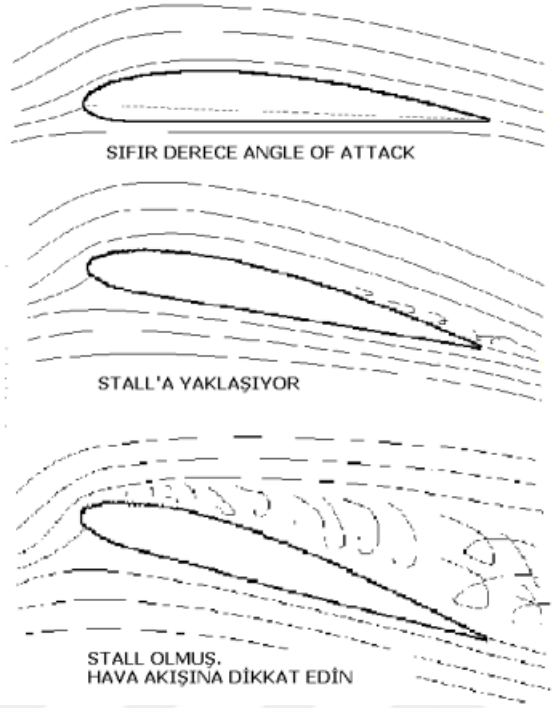
Kanat profili kanadın enlemesine kesiti alındığında ortaya çıkan şekildir. Kanat profilinde taşıma kuvvetini etkileyen faktörler kanat kalınlığı ve kanat alt – üst yüzeyindeki bombeliktir [21, 22].

Kanat hücum açısı aerodinamikte akış çizgileri ile kanat profilinin veter çizgisi arasında kalan açıdır. Hava aracı sabit hızdayken hücum açısı arttırıldığında taşıma kuvveti arttırılabilir. Bu artış hava aracının kritik hücum açısına kadar geçerlidir. Hücum açısındaki artış kritik hücum açısını geçerse kanat üst yüzeyindeki hava akımı kanat yüzeyini takip edemez ve girdaplar oluşur. Bu girdaplar sonucunda da hava aracı havada tutunamaz irtifa kaybeder [21, 22].



Şekil 1.1. Kanat hücum açısı [21]

Uçaklarda taşıma kuvvetini arttırmak amacıyla kanat hücum açısı gövdenin boylamasına eksenine göre bir miktar artırılarak tasarlanmaktadır. Bu açıya havacılıkta “Geliş açısı (Angle Of Incidence)“ denir. Böylece kanat alt yüzeyine çarpan hava ile oluşan basınç ile ek bir taşıma kuvveti elde edilmektedir.



Şekil 1.2. Kanat hücum açısı arttığında oluşan stall durumları [21]

1.2.4. Uçak Yapımında Kullanılan Malzemeler

Havacılıkta kullanılmakta olan malzemeler metal malzemeler ve metal dışı malzemeler olarak ikiye ayrılır. Metal malzemeler alüminyum ve alüminyum alaşımları, titanyum ve titanyum alaşımları, nikel ve nikel alaşımları, magnezyum ve magnezyum alaşımlarıdır. Metal dışı malzemeler ise kompozitlerdir.

Alüminyum ve alüminyum alaşımları mukavemetlerinin iyi ve yüksek korozyon direnci nedeniyle havacılıkta yaygın olarak kullanılmaktadır. Alüminyumun havacılıkta kullanımının ilk zamanlarında Al-Cu-Mg serisi alaşım kullanılmıştır. İlerleyen yıllarda havacılıkta mukavemeti arttırmak amacıyla 7178-T6 alaşımı kullanılmaya başlanmıştır, fakat 7178-T6 alaşımlarında kırılma tokluğu problemi ortaya çıkmıştır. Kırılma tokluğu problemin ortadan kalkması için Boeing 7075-T6 alaşımını Boeing-747 uçaklarında kullanarak yüksek korozyon direnci sağlamıştır [23].

Uçak kanatlarında kullanılan alüminyum alaşımları ;

- Hava aracı kanadının üst kısmı basma gerilmesine maruz kalmakta olup bundan dolayı hava aracı kanadı mukavemeti yüksek, burulmaya karşı dirençli, kırılma tokluğu ve korozyon direnci yüksek malzemelerden oluşmalıdır. Bundan dolayı 7075-T6/T651 alüminyum alaşımı ve 7050-T7451 alüminyum alaşımı kullanılmaktadır [24, 25].
- Hava aracı kanadının alt kısmı çekme gerilmesine maruz kalmakta olup bundan dolayı hava aracı kanadı mukavemeti, yorulma dayanımı ve hasar toleransı yüksek malzemelerden oluşmalıdır. Bundan dolayı 2024-T3/T351 alüminyum alaşımı malzemesi kullanılmakta olup yorulma dayanımı ve hasar toleransı gibi mekanik özelliklerinin yüksek olması nedeniyle son dönemlerde kanat profilinin alt kısmında Airbus 2124-T3/T351 alüminyum alaşımını, Boeing ise 2324-T39 alüminyum alaşımını kullanmaktadır [24, 25].

Havacılıkta kompozit malzemelerin kullanımı 1970'li yıllardan sonra artmış olup havacılıkta kompozit malzemeler yüksek mukavemet/ağırlık oranından dolayı yaygın olarak kullanılmaktadır. Ağırlığın azaltılmasıyla daha fazla yolcu taşınıp uçağa daha fazla miktarda yakıt alınabilmektedir. Kompozit malzemeler havacılıkta kullanılan metal malzemelere göre daha mukavemetli ve hafiftir. Kompozitler metaller gibi korozyona uğramamaktadır [23].

Geçmiş yıllarda havacılıkta alüminyum ve alüminyum alaşımları yaygın olarak kullanılmakta olup günümüzde alüminyum ve alüminyum alaşımlarının kullanılma oranları düşmüştür. Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının yerine günümüzde termoset matrisli kompozit, termoplastik matrisli kompozit ve alüminyum – lityum alaşımları kullanılmaktadır [23].



Şekil 1.3. Yolcu uçağında istenen malzeme mukavemet özellikleri [25]

Havacılık endüstrisinde termoplastik matrisli kompozitler tek yönlü bantlar ve pregreg kumaş formunda kullanılmaktadır. Karbon elyaf takviyeli termoplastik matrisli kompozitler havacılıkta daha çok kullanılmaktadır. Karbon elyaf takviyeli termoplastik matrisli kompozit malzemeler ağırlık azaltma, yüksek mukavemet, yüksek çekme ve basma dayanımı, düşük ısıl genleşme katsayısı ve yüksek yorulma direnci gibi özelliklerinden dolayı havacılıkta yaygın olarak kullanılmaktadır [26].

Alüminyum-lityum alaşımı yüksek özgül modül, yorulma direnci gibi özelliklere sahiptir. Uçaklarda alüminyum-lityum alaşımının kullanılması sonucunda hava aracının yorulma dayanımı artar ve bu da bakım maliyetlerinde düşüşe yol açar. Uçak kanatlarında alüminyum-lityum alaşımının kullanılmasıyla ağırlık ve yakıt tüketimi düşecek ve hava araçları düşük maliyet ile uçma imkanına sahip olacaktır. Alüminyum- lityum alaşımı havacılık sektöründe yeni kullanılmaya başlamış olup hava araçlarının daha hafif olması sonucunda yolcuları ve yükleri taşımada daha fazla dayanıma sahip olmasını sağlamaktadır.

Günümüzde uçak gövdelerinin büyük bir kısmı karbon elyaf takviyeli polimerik kompozitlerden imal edilmektedir. Yeni nesil uçaklarda Airbus A350XWB, Boeing B787, Bombardier, Bae Systems, GE Aviation ve Lockheed Martin gibi şirketler de uçaklarında yüksek oranlarda kompozit malzeme kullanmaktadır. Kompozitlerin

havacılık sanayinde kullanımına başlanmasıyla birlikte genellikle termoset matrisli kompozitler kullanılmaktadır. Düşük üretim maliyeti ve hızlı üretimin hedef olarak belirlenmesiyle termoplastik matrisli kompozit malzemeler yeni bir alternatif olarak ortaya çıkmaya başlamıştır ve termoplastik matrisli kompozitler, metallerin ve termoset esaslı kompozitlerin yerini alabilecek potansiyele sahiptir.

Termoplastik matrisli kompozitlerin avantajları ;

- *Üretim esnekliği & Geri dönüştürülebilirlik* : Termoplastik matrisli kompozitlerin kullanımıyla yapıştırıcı ve vidalama işlemleri olmadan bileşenler kaynak edilebilmektedir. Hatalı üretimlerde veya ömrünü tamamlayan parçalarda elyaf ve matrisler ayrıştırılarak geri dönüşümleri sağlanabilmektedir.
- *Zorlu ortamlara karşı direnç* : Kimyasal yapıları sayesinde zorlu alev, duman gibi etkenlere karşı yüksek performanslı termoplastik matrisli kompozitler mevcuttur. Yüksek performanslı termoplastik matrisli kompozitler yüksek sıcaklığa, aşınma, yıpranma ve korozyona karşı dayanımı alüminyum ve alüminyum alaşımlarından daha iyidir.

1.3. Tezin Amacı ve Önemi

Bu çalışmanın amacı kanat profiline 3°, 6° hücum açıları altında CFX aracılığıyla akış analizi yapılarak buradan elde edilen basınç değerleri altında kanat profiline Al 2024-T3 ve Al 7075-T3 malzemeleri atanıp yer değiştirme, eşdeğer gerilme, eşdeğer gerinim, çekme gerilmesi, basma gerilmesi gibi, yapısal parametrelerin analizi yapılarak, değişen hücum açıları altında bulunan basınç ve yapısal parametrelerini sonuçlarının değerlendirilmesidir.

Uçaklar kanatlar tarafından üretilen taşıma kuvveti sayesinde uçmaktadır. Havacılıkta emniyet önemli faktördür, uçak kanatları ise uçuş esnasında basınca maruz kalmaktadır ve bu nedenle emniyetli olmalıdır. Statik analizin amacı kanadın maruz kaldığı basıncın altında gerilme değerlerini hesaplayıp bu değerlerin emniyet limitleri içinde olmasını sağlamaktır. Bu nedenden dolayı statik analiz önemlidir. Statik analizi emniyetli kılan en önemli faktörlerden biri malzeme seçimidir. Hava araçlarında kanat profillerinde önceki yıllarda alüminyum alaşımları kullanılmaktaydı günümüzde ise termoset matrisli

kompozit malzemeler yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. 3° ve 6° hücum açılarında Al alaşımları ile yapısal analizleri yapılan kanat profilinin gerilme değerlerini emniyet açısından karşılaştırıp malzemelerin emniyet limitleri içinde olduğunun belirlenmesi tasarım ve statik analiz açısından önemli bir konudur.

2. BÖLÜM

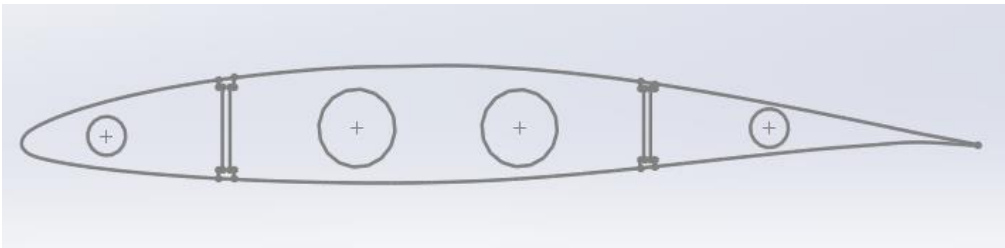
YÖNTEM VE MATERYAL

2.1. Kanat Profili Tasarımı İle İlgili Bilgiler

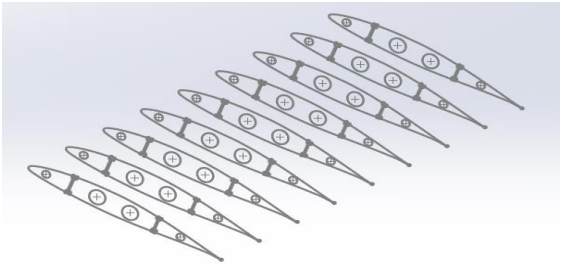
Bu çalışmada bölgesel yolcu uçağı NACA profili NACA 65_1-412 kullanılmıştır [27, 28, 30]. Rib sayısı ve kalınlığı, spar sayısı ve kalınlığı ile ilgili gerekli olan parametreler statik analiz yapılan yayınlardan elde edilen bilgiler doğrultusunda belirlenmiştir. Kanat profili uzunluğu 4 metre alınmıştır. Bu tasarım sırasında yapısal olarak 9 rib, 2 spar ve kanat alt-üst yüzeyi tasarlanmış olup profilimize ok açısı verilmemiştir. Kanat alt-üst yüzeyine 1 cm kalınlık, riblere ise 2 cm kalınlık atanmıştır. Riblerin kök ve uç kısımları 1.5 m uzunluğundadır (root - uçak gövdesine yakın olan kısmı, tip - kanat profili uç kısmı).

Tasarımda kullanılan NACA 65_1-412 profilinin koordinatları alınmış olup bu koordinatlar sayesinde damla modeli oluşturulmuştur [29].

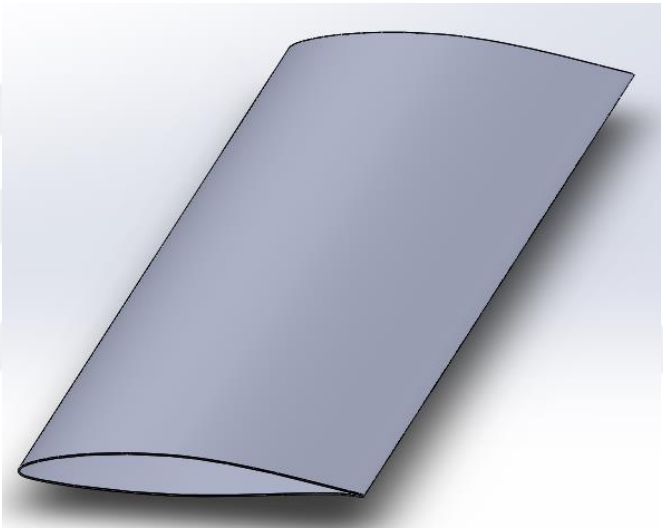
Kanat profilimizde ön spar flapların hareketi için gerekli sistemlerin bulunması nedeniyle kanat profili kort hattının %18-25 aralığına, arka spar ise slatların hareketi için gerekli sistemlerin bulunması nedeniyle kanat profili kort hattının %62-70 aralığına yerleştirilmiştir.



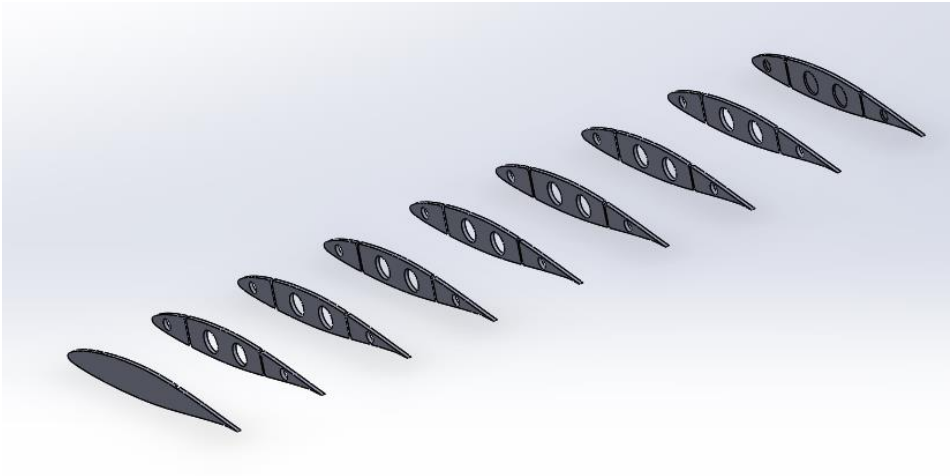
Şekil 2.1. Rib Tasarımı



Şekil 2.2. Rib tasarımı (9 tane)



Şekil 2.3. Kanat Alt – Üst Yüzey Tasarımı Ve Kalınlığı (1 cm kalınlığında)



Şekil 2.4. 2 cm kalınlığındaki 9 adet rib



Şekil 2.5. Spar tasarımı (2 adet)

2.2. Kanat Profili Tasarımında Kullanılan Malzemeler

Kanat profilimizin tasarımında kanat profiline statik analiz sürecinde Al 2024-T3, Al 7075-T6 atanmış olup, rib ve sparlarda ise Al 7050-T7451 malzemesi kullanılmıştır.

Hava aracı kanadının üst kısmı basma gerilmesine, kırılma tokluğuna, korozyon direncine karşı dayanıklı olması gerektiğinden Al 7075-T6 alüminyum alaşımı hava aracı kanat profilinde kullanılmıştır. Al 7075-T6 malzemesi yüksek mukavemet, yorulma ve korozyon direncinin iyi olması ve dayanıklılık gerektiren yerlerde tercih edilmektedir.

Hava aracı kanadının alt kısmı çekme gerilmesine, kırılma tokluğuna karşı dayanıklı olması gerektiğinden Al 2024-T3 alüminyum alaşımı hava aracı kanat profilinde kullanılmıştır. Al 2024-T3 malzemesi yorulma dayanımı ve hasar toleransı yüksek olduğundan dolayı tercih edilmektedir.

Rib ve sparlarda ise basma ve çekme gerilmesine, kırılma tokluğuna dayanıklı olması gerektiğinden Al 7050-T7451 alüminyum alaşımı kullanılmıştır. Al 7050-T7451 alaşımı çok yüksek mekanik özelliklere, yüksek kırılma tokluğuna, yüksek mukavemete sahip olduğundan dolayı tercih edilmektedir.

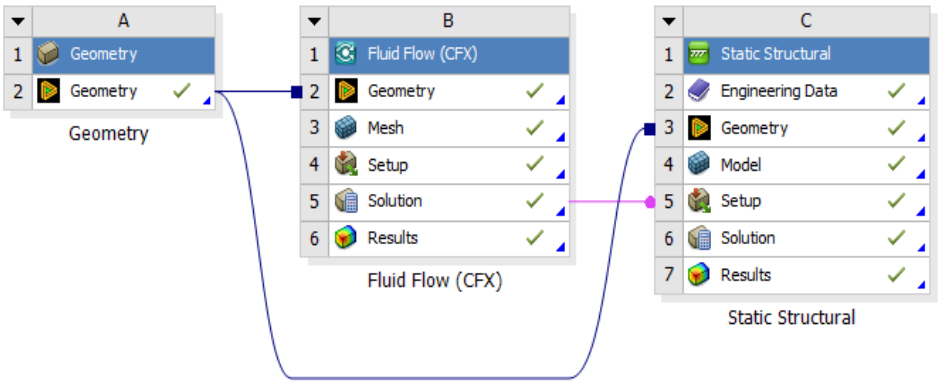
Tablo 2.1. Al Malzemelerin mekanik özellikleri [3, 4, 12, 31, 32, 33]

Malzeme Mekanik Özellikleri			
	Al 2024-T3	Al 7075-T6	Al 7050-T7451
Poisson Oranı	0,33	0,33	0,33
Elastik Modulu (Young's Modulu)	73.1 GPa	71.7 GPa	71.7 GPa
Kayma Mukavemeti	283 MPa	331 MPa	269 MPa
Maksimum Çekme Mukavemeti	483 MPa	572 MPa	524 MPa
Akma Mukavemeti	345 MPa	503 MPa	469 MPa
Yoğunluk	2780,0 kg/m^3	2810,0 kg/m^3	2830 kg/m^3

3. BÖLÜM
BULGU VE TARTIŞMA

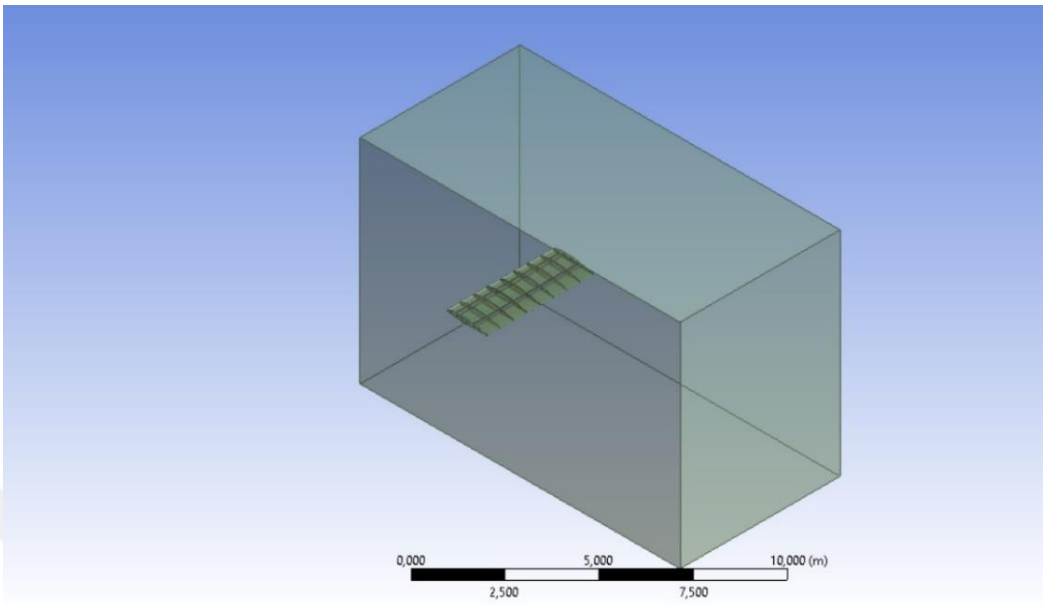
3.1. Bulgular

3.1.1. Kanat Profilinin ANSYS Programında Akış Analizi



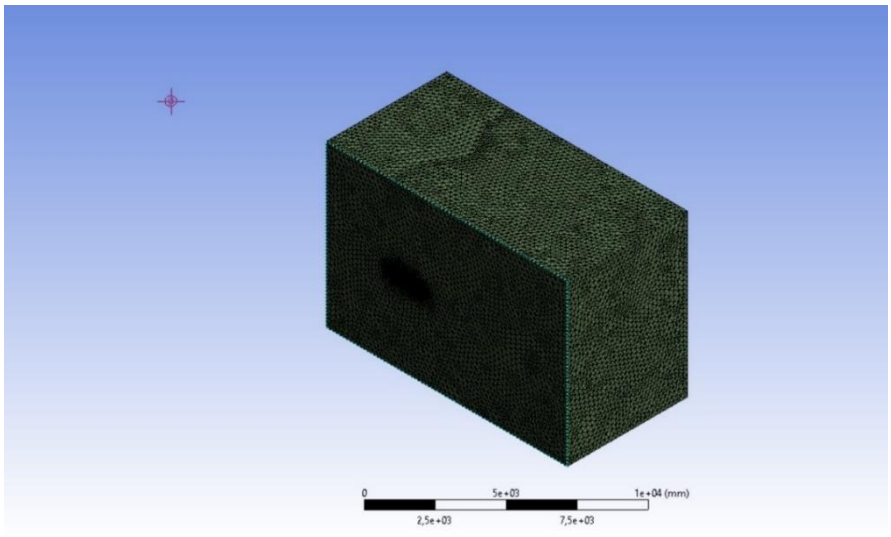
Şekil 3.1. Analiz paketleri arası etkileşim şeması

Tasarımı yapılan kanat geometrisinin ANSYS programı kullanılarak analizleri yapılmıştır. Kanat etrafındaki basınç değeri CFX ile hesaplanmış olup buradan elde edilen değerler aracılığıyla statik analiz ise STATIC-STRUCTURAL ile hesaplanmıştır. Statik analiz için gerekli olan kanat yüzeyi yük değerleri CFX sekmesi kullanılarak standart atmosfer koşullarında ve 141 m/s hızda kanat yüzeyi üzerindeki basınç değerlerinin analizi yapılmıştır. Tasarımda hava aracının kanat profili uzunluğu 4 metre uzunluğunda analiz için oluşturulan hava akımı kanat uçlarındaki akışlarda analize dahil olması gerektiğinden 4 metreden daha fazla olmalıdır. Çalışmada hava akımı derinliği 6 metre olarak oluşturulmuştur.

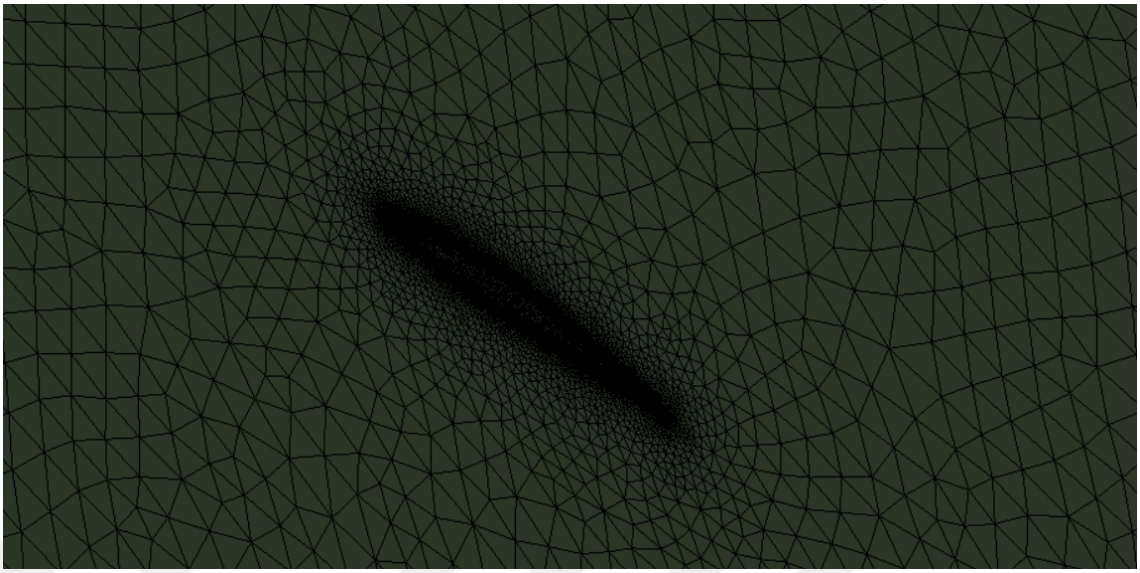


Şekil 3.2. Hava akımı

Hava akımı oluşturulduktan sonra analiz öncesi çalışmaya ağ atanması gerekmektedir. Bu ağ hem oluşturulan hava akımına hem de kanat profili boşluğuna atanmalıdır. Kanat profili üzerinde analiz yapılacağı için hava akımında oluşturulan kanat profili boşluğuna daha yoğun bir ağ atılmalıdır. Bundan dolayı hava akımındaki kanat profilinin boşluğuna eleman boyutu olarak 5 mm'lik ağ atılmış olup, hava akımına ise eleman boyutu değeri 200 mm olarak atanmıştır. Toplamda 333566 düğüm noktası ve 1820409 elemandan oluşmaktadır.



Şekil 3.3. Fluent ağ



Şekil 3.4. Fluent ağ yakınlaştırılmış görüntü

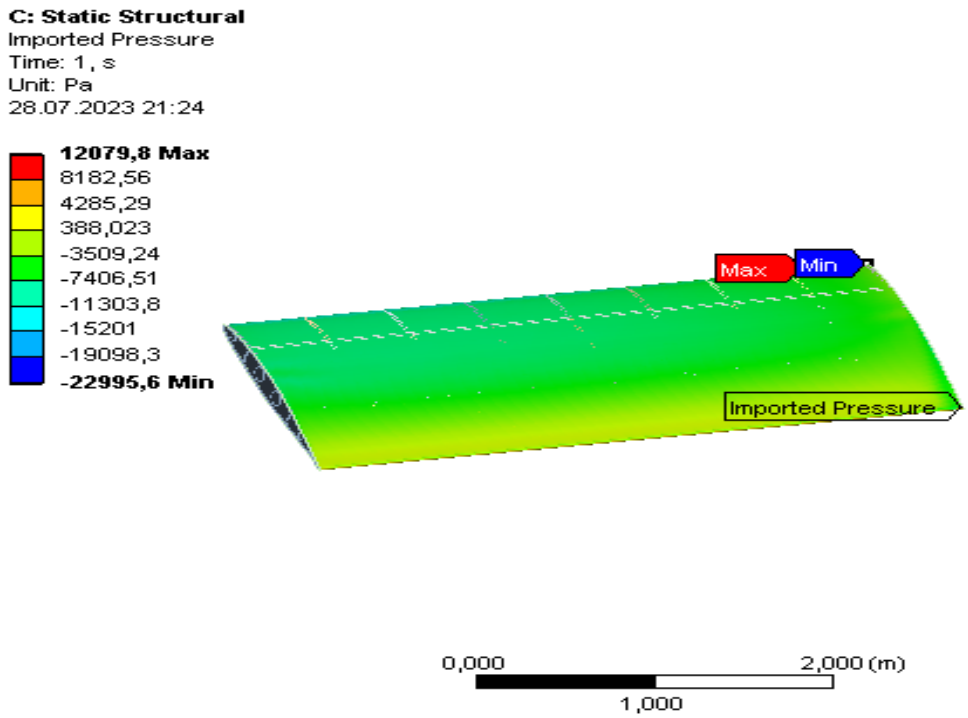
Hava aracının hız verisi olarak ülkemizde de faaliyet göstermiş olan ATR 72-600 turboprop bölgesel yolcu uçağının maksimum seyir hızı olan 510 km/s (141 m/s) değeri alınmıştır [34]. Çalışmada standart atmosfer koşulları referans alınmıştır ve bu değerler aşağıdaki Tablo 3.1 ‘de gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Standart atmosfer koşulları [35]

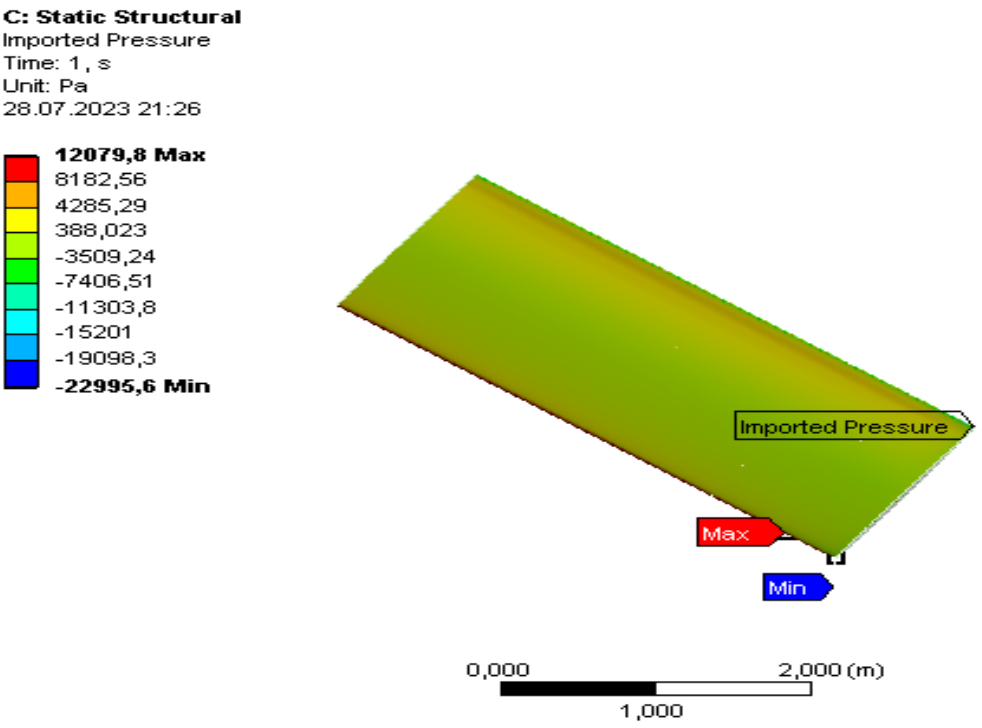
Hız (m/s)	Basınç (Pa)	Yoğunluk (kg/m^3)	Sıcaklık (K)	Kinematik vizkozite (m^2/s)
141	101325	1,225	288,2	$1.46*10^{-5}$

3.1.1.1. 3° hücum açısı altında akış analizi

Mesh işlemi tamamlanmış çalışmadan sonra Şekil 3.1’de CFX kısmında ‘setup’ aşamasına geçilir. Bu aşamada analiz için gerekli olan hız, basınç, yoğunluk, sıcaklık, kinematik vizkozite gibi değerler girilir. Bu değerler girildikten sonra ‘ solution’ kısmında analiz sonuçları elde etmek için çözümlemeler yapılır ve elde edilen sonuçlar ‘result’ aşamasında görünür.



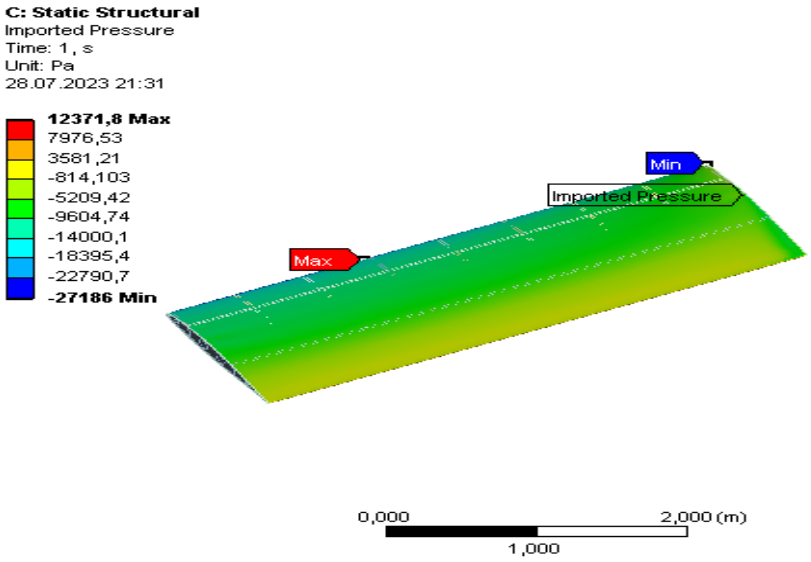
Şekil 3.5. 3° hücum açısı altında kanat profili üstündeki basınç dağılımı



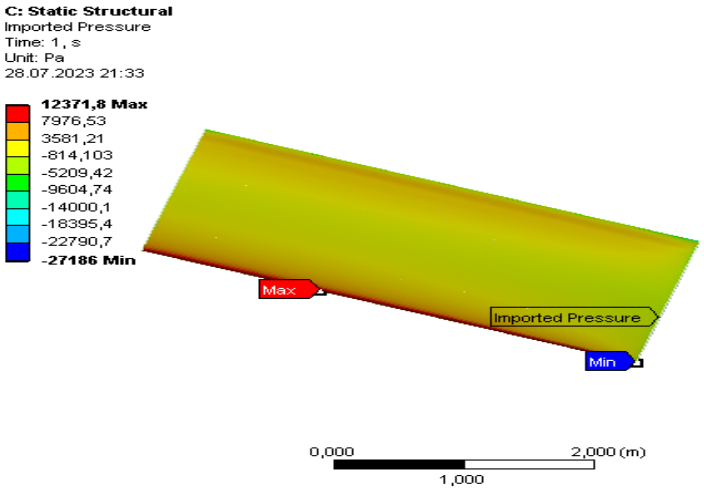
Şekil 3.6. 3° hücum açısı altında kanat profili altındaki basınç dağılımı

Kanat profilinin ön yüzeyinde kırmızı bölgede 12079,8 Paskallık yüksek basınç değeri gözükmektedir. Kanat profilinin alt yüzeyine ise yeşil ve sarı renkler hakim olmakta olup maksimum basınç değeri en düşük 388,023 paskal değerinde, en büyük 4285,29 Paskal değerinde basınç bulunmaktadır. Kanat profilinin üst yüzeyinde ise mavi ve yeşil renkler hakim olmakta olup basınç değeri en düşük -3509 Paskal değerinde negatif basınç, en yüksek ise -7406 Paskal değerinde negatif basınç bulunmaktadır.

3.1.1.2. 6° hücum açısı altında akış analizi



Şekil 3.7. 6° hücum açısı altında kanat profili üstündeki basınç dağılımı



Şekil 3.8. 6° hücum açısı altında kanat profili altındaki basınç dağılımı

Kanat profilinin ön yüzeyinde kırmızı bölgede 12371,8 Paskallık yüksek basınç değeri gözükmektedir. Kanat profilinin alt yüzeyine ise sarı ve turuncu renkler hakim olmakta olup maksimum basınç değeri en düşük 3581,21 paskal değerinde, en büyük 7976,53 Paskal değerinde basınç bulunmaktadır. Kanat profilinin üst yüzeyinde ise mavi ve yeşil renkler hakim olmakta olup basınç değeri en düşük -5209 Paskal değerinde negatif basınç, en yüksek ise -9604 Paskal değerinde negatif basınç bulunmaktadır.

3.1.2. Kanat Profilinin ANSYS Programında Statik Analizi

Statik analize başlamadan önce kanat profiline ağ işlemi atanmalıdır. Ağ işlemi her tasarıma özgün bir şekilde atanmaktadır. Şekil 3.9'da ve Şekil 3.10'da kanat profiline atanmış ağ gözükmektedir. Sonlu elemanlar yöntemi ile kanat profilleri analizleri ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde genellikle ağ türü olarak otomatik metot ve dörtyüzlü metot yaygın olarak kullanıldığı gözlenmiştir. Literatürde referans olarak gösterdiğim okr açısı verilmemiş olan çalışmalarda ağ türü olarak otomatik metot kullanıldığından çalışmada ağ türü olarak otomatik metot tercih edilmiştir. Ağ istatistikleri 3 derece hücum açısında 505069 düğüm, 80935 eleman oluşmaktayken, 6 derecelik hücum açısında 498164 düğüm ve 80288 elemandan oluşmaktadır.

Ağ kalitesi analizlerin doğruluğu için önemli bir faktördür. Bu kapsamda 3 derecelik hücum açısında eleman kalitemiz minimum 0,10, maksimum 0,99199, ortalama, 0,76993 olup, 6 derecelik hücum açısında ise minimum 0,110 maksimum 0,98697, ortalama 0,76933 değerlerindedir.

Ağ kalitesi için önemli olan faktör minimum değerin 0,2 değerine yakın olması, maksimum değerin ise 1 değerine yakın olmasıdır. Bilgisayarın bellek kapasitesi de göz önüne alınıp en ideal ağ değerini sağlayabilecek eleman boyutu değeri 16 mm olarak belirlenmiştir.

Tablo 2.2'de bulunan Al 2024-T3, Al 7075-T6, Al 7050-T7451 malzemelerin mekanik özellikleri ANSYS programında engineering data bölümünde bulunmaktadır, fakat ANSYS programındaki engineering data bölümündeki malzemelerin bazı mekanik özellikleri eksik olduğundan malzemelerin mekanik özellikleri yayınlanmış makale yayınlarından bulunup kütüphanede yeniden oluşturulup tanımlanmıştır [3, 4, 12, 31, 32, 33].

Yapısal analiz için kanat profiline akış analizi aracılığıyla hesaplanan basınç değerleri uygulanmıştır. Normalde kanat profilinin bir ucunun gövdeye bağlantısı olmaktadır, tasarımda gövde tasarımı yapılmadığından kanat profilimizin bir ucuna (root-sol taraf) sabit mesnet (fixed support) atanmıştır. Kanat profilinin diğer ucu (tip- sağ taraf) ise serbesttir.

Yapısal analiz için gerekli olan malzeme tanımlaması ve mesh işlemleri tamamlandıktan sonra Şekil 3.1'deki CFX aracılığıyla yapılan basınç analizi sonucu yapısal analiz için aktarılır. Yapısal analiz için model açılır. Yapısal analiz (C5) sekmesinden 'imported load (B5) aracılığıyla kanat profiline CFX aracılığıyla elde edilen basınç değerleri aktarılır.

3.1.2.1. Temas Tipleri

Sonlu elemanlar yönteminde beş tane temas tipi kullanılmaktadır. Bu temas tipleri Ansys yazılımında bağlı (bonded), ayırma yok (no seperation), sürtünmeli (frictional), sürtünmesiz (frictionless), pürüzlü (rough) olarak adlandırılmaktadır [36].

Bağlı (bonded) kontak tipinde tasarlanan geometriler tek parça gibi davranmaktadır. Parçalar kendi aralarında hareket etmezler [36].

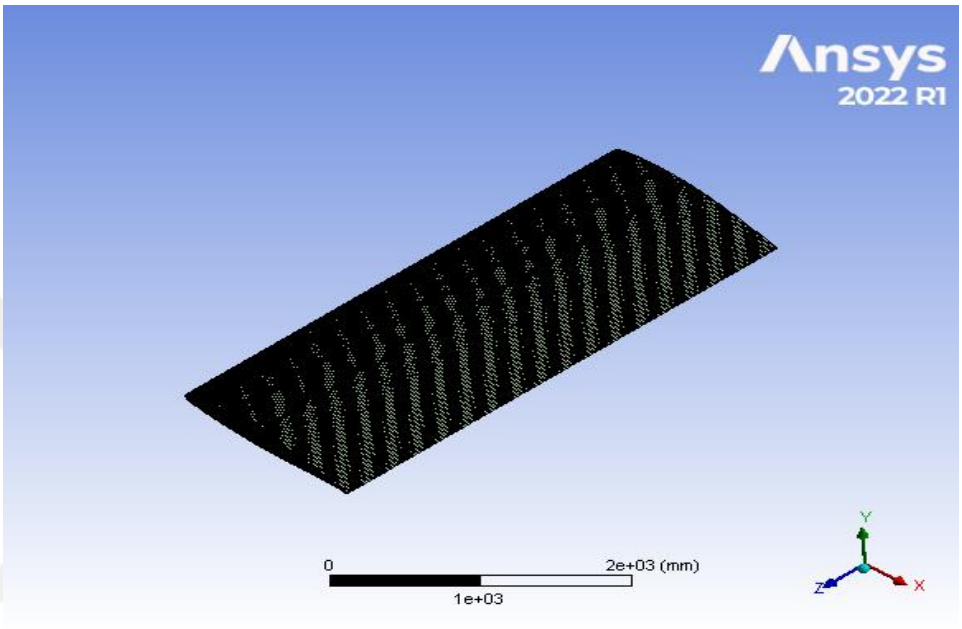
Ayırma yok (no seperation) kontak tipinde temas tanımlandıktan sonra hedef ve temas yüzeyi birbirine bağlanır. Kayma/teğetsel hareket mümkündür, ancak temas halindeki düğümler hedef yüzeye normal yönde bağlanır ve normal yönde hareket mümkün değildir [36].

Sürtünmeli (frictional) kontak tipinde temas çifti hedef yüzey üzerinde teğetsel kayabilir ve normal yönde ayrılabilir. Sürtünme katsayıları teğetsel hareketleri etkiler [36].

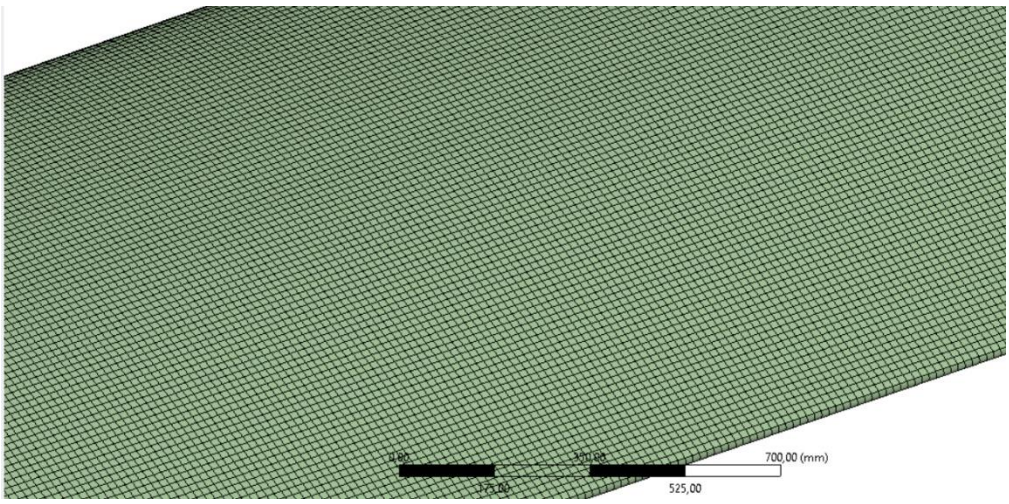
Sürtünmesiz (frictionless) kontak tipinde temas çifti, hedef yüzey üzerinde teğetsel kayabilir ve normal yönde ayrılabilir. Sürtünme katsayısı tanımlanmaz [36].

Pürüzlü (Rough) kontak tipinde sürtünme katsayısı gövde üzerinde sonsuz olma eğilimindedir. Temas çifti normal yönde birbirlerinden ayrılabilir, fakat teğetsel yönde hareket edemez, çünkü temas halindeki düğümler hedef yüzeye teğetsel yönde yapıştırılır [36].

Uçak kanatlarında sparlar kanat profiline binen yükün büyük kısmını taşımaktadır. Ribler ise kanat profiline aerodinamik şekli veren, kanat profilinin dış kaplamasını destekleyen ve kanadın yapısını koruyan elemanlardır. Bu parçalar kendi aralarında hareket etmez ve tek parça gibi davranmaktadır. Bu nedenlerden dolayı rib, spar ve kanat profili tasarımında temas tipi olarak bağlı (bonded) kontak tipi kullanılmıştır.

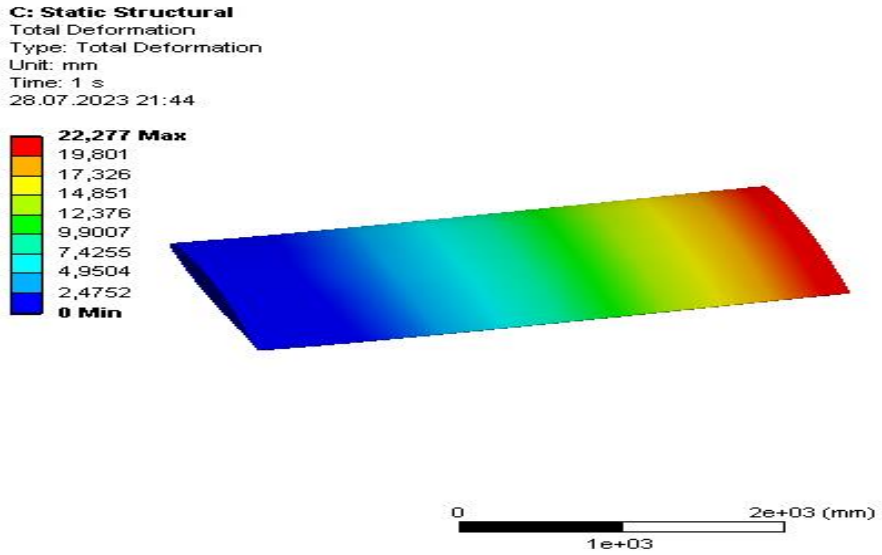


Şekil 3.9. Kanat profili ağı



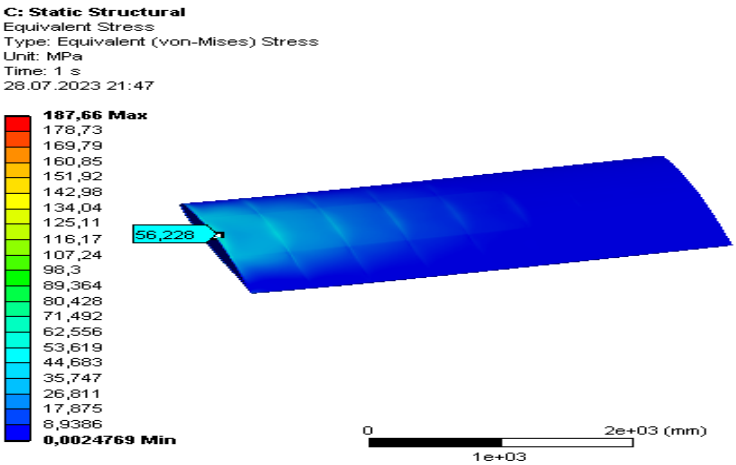
Şekil 3.10. Kanat profili ağı yakınlaştırılmış görüntü

3.1.2.2. 3° hücum açısı altında Al 2024-T3 malzemesi ile statik analiz



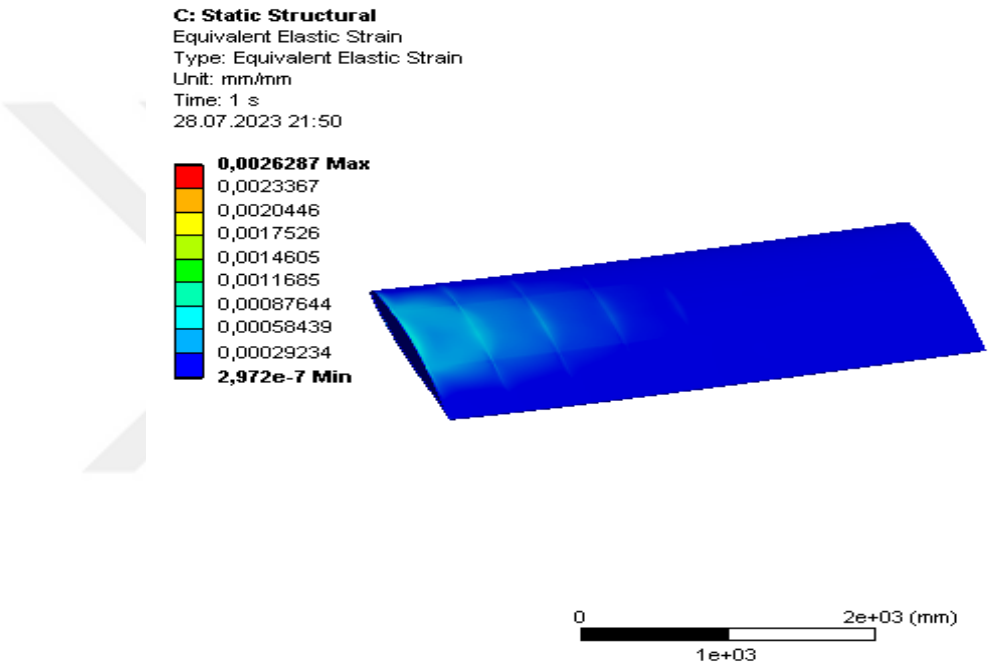
Şekil 3.11. 3° hücum açısı altında Al 2024-T3 malzemesinin yer değiştirmesi

Şekil 3.11'de kanat profiline Al 2024-T3 alaşımı atanmış olup kanat profiline basınç yükü etki edip yapısal olarak toplam deformasyon (yer değiştirmesi) değerini göstermektedir. Bu analizde kanadın gövdeyle bağlantısının olduğu kısım bir sabit mesnet ile sabitlenmiştir ve kanat profiline akış analizi sonucu elde edilen basınç değerleri uygulandığında en yüksek yer değiştirmenin 22,277 mm ile kanat ucunda olduğu görülmektedir.



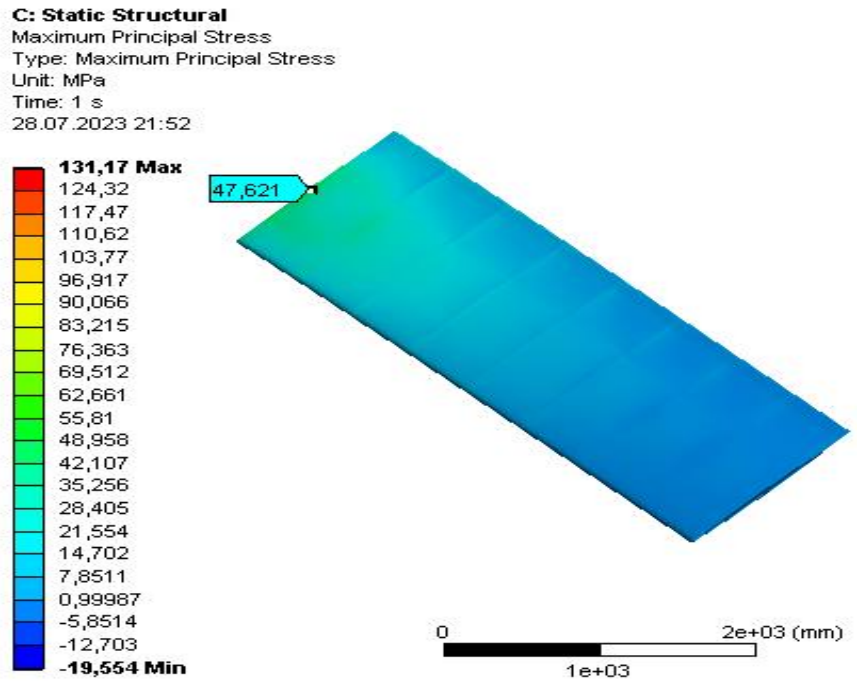
Şekil 3.12. 3° hücum açısı altında Al 2024-T3 malzemesinin eşdeğer gerilmesi

Şekil 3.12'de kanat profiline Al 2024-T3 alaşımı atanmış olup kanat profiline basınç yükü etki edip yapısal olarak eşdeğer gerilmesi değerini göstermektedir. Bu analizde kanadın gövdeyle bağlantısının olduğu kısım bir sabit mesnet ile sabitlenmiştir ve kanat profiline akış analizi sonucu elde edilen basınç değerleri uygulandığında en yüksek 56,228 MPa değerinde eşdeğer gerilme değeri görülmektedir. Kırmızı renk olup en yüksek değeri ifade eden 187,66 MPa değeri ise riblerin firar kenarındaki eşdeğer gerilme değerini göstermektedir. Ortalama eşdeğer gerilme değeri ise 7,8302 MPa bulunmuştur.



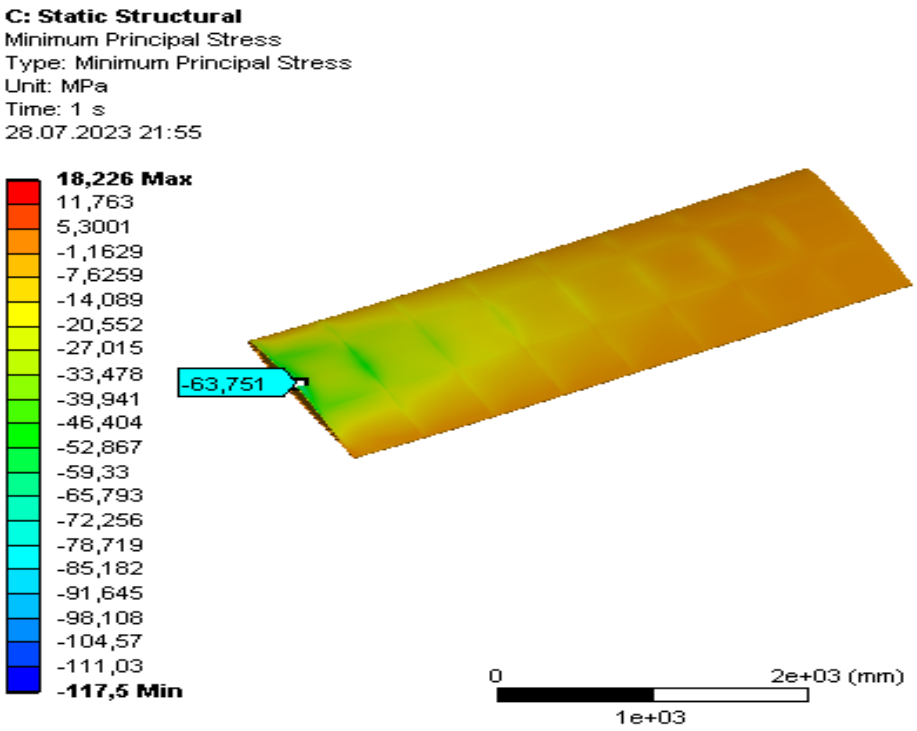
Şekil 3.13. 3° hücum açısı altında Al 2024-T3 malzemesinin eşdeğer gerinimi

Şekil 3.13'de kanat profiline Al 2024-T3 alaşımı atanmış olup kanat profiline basınç yükü etki edip yapısal olarak eşdeğer gerinim değerini göstermektedir. Bu analizde kanadın gövdeyle bağlantısının olduğu kısım bir sabit mesnet ile sabitlenmiştir ve kanat profiline akış analizi sonucu elde edilen basınç değerleri uygulandığında kanat profiline etki eden en yüksek % 0,087644 değerinde eşdeğer gerinim değeri görülmektedir. Kırmızı renk olup en yüksek değeri ifade eden %0,26287 değeri ise riblerin firar kenarındaki eşdeğer gerinim değerini göstermektedir.



Şekil 3.14. 3° hücum açısı altında Al 2024-T3 malzemesinin çekme gerilme

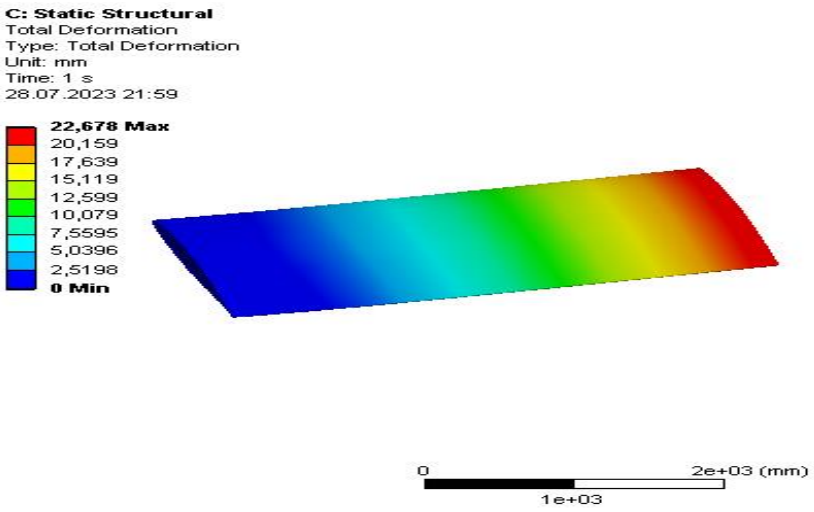
Şekil 3.14'de kanat profiline Al 2024-T3 alaşımı atanmış olup kanat profiline basınç yükü etki edip yapısal olarak maximum principal stress değerini göstermektedir. Maximum principal stress çekme gerilme değerini ifade etmektedir. Kanat profilinin alt kısmında çekme kuvvetine maruz kaldığından dolayı kanat profili ters çevrilmiştir. Bu analizde kanadın gövdeyle bağlantısının olduğu kısım bir sabit bir mesnet ile sabitlenmiştir ve kanat profiline akış analizi sonucu elde edilen basınç değerleri uygulandığında kanat profiline etki eden en yüksek 47,621 MPa değerinde çekme gerilmesi değeri görülmektedir. Kırmızı renk olup en yüksek değeri ifade eden 131,17 MPa değeri ise riblerin firar kenarındaki çekme gerilmesi değerini göstermektedir. Ortalama çekme gerilmesi ise 4,1626 MPa olarak bulunmuştur.



Şekil 3.15. 3° hücum açısı altında Al 2024-T3 malzemesinin basma gerilmesi

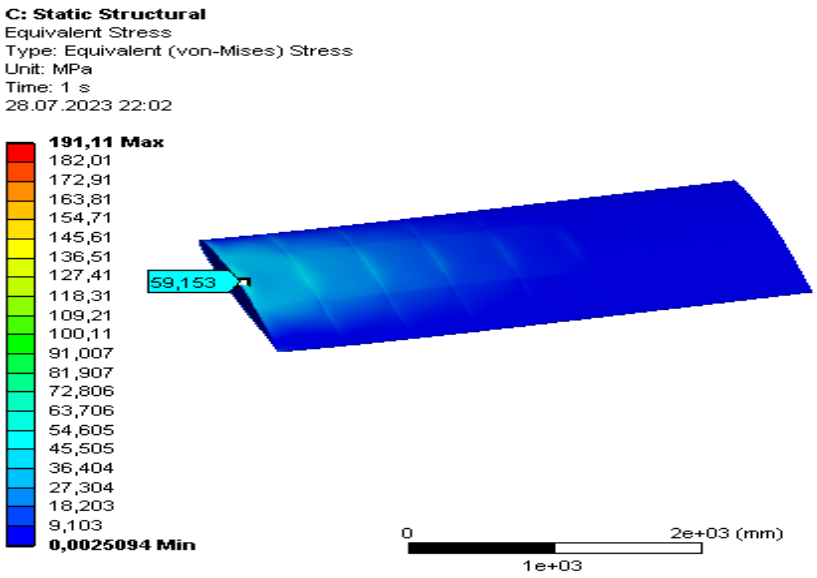
Şekil 3.15'de kanat profiline Al 2024-T3 alaşımı atanmış olup kanat profiline basınç yükü etki edip yapısal olarak minimum principal stress değerini göstermektedir. Minimum principal stress basma gerilme değerini ifade etmektedir. Kanat profilinin üst kısmında basma kuvvetine maruz kalmaktadır. Bu analizde kanadın gövdeyle bağlantısının olduğu kısım bir sabit mesnet ile sabitlenmiştir ve kanat profiline akış analizi sonucu elde edilen basınç değerleri uygulandığında kanat profiline etki eden en yüksek 63,751 MPa değerinde basma gerilmesi değeri görülmektedir. Mavi renk olup en yüksek değeri ifade eden 117,5 MPa değeri ise riblerin firar kenarındaki basma gerilmesi değerini göstermektedir. Ortalama basma gerilmesi ise 4,0995 MPa olarak bulunmuştur.

3.1.2.3. 3° hücum açısı altında Al 7075-T6 malzemesi ile statik analiz



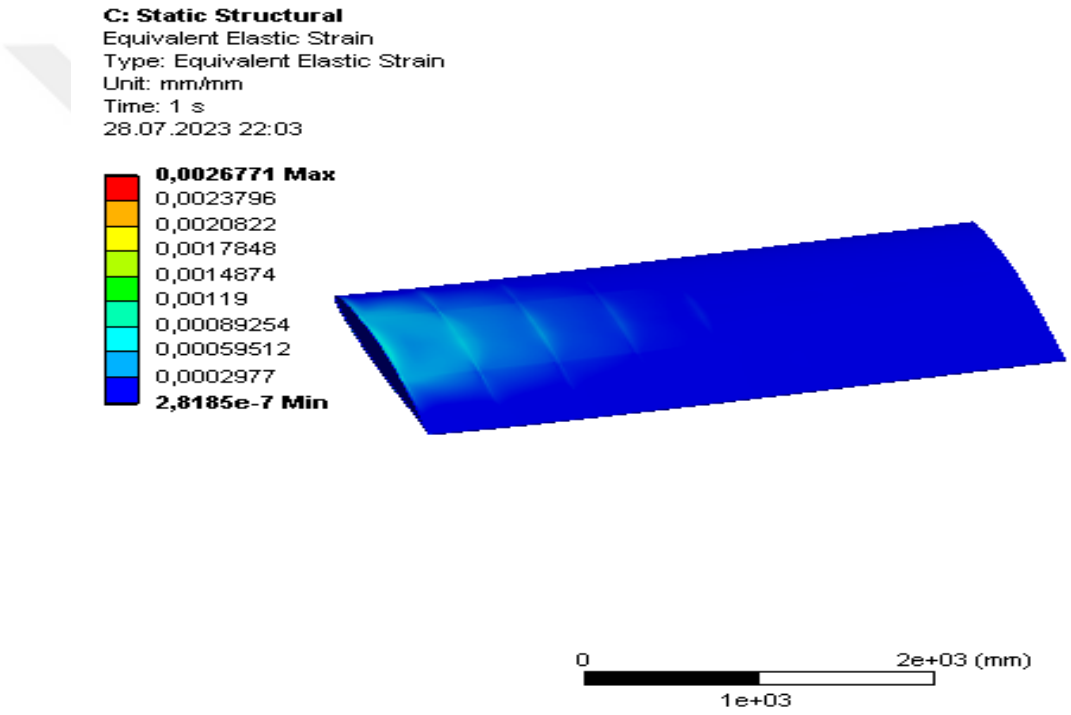
Şekil 3.16. 3° hücum açısı altında Al 7075-T6 malzemesinin yer değiştirmesi

Şekil 3.16'da kanat profiline Al 7075-T6 alaşımı atanmış olup kanat profiline basınç yükü etki edip yapısal olarak yer değiştirme değerini göstermektedir. Bu analizde kanadın gövdeyle bağlantısının olduğu kısım bir sabit mesnet ile sabitlenmiştir kanat profiline akış analizi sonucu elde edilen basınç değerleri uygulandığında en yüksek yer değiştirmenin 22,678 mm ile kanat ucunda olduğu görülmektedir.



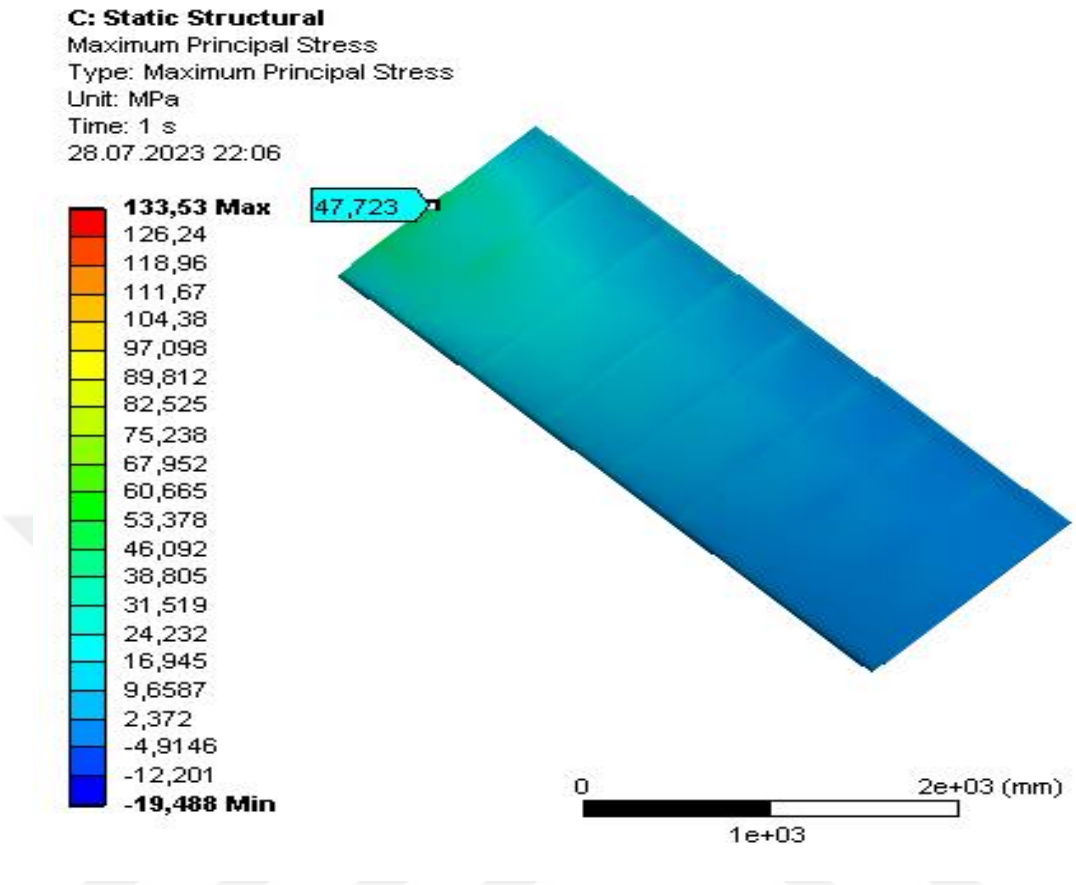
Şekil 3.17. 3° hücum açısı altında Al 7075-T6 malzemesinin eşdeğer gerilmesi

Şekil 3.17'de kanat profiline Al 7075-T6 alaşımı atanmış olup kanat profiline basınç yükü etki edip yapısal olarak eşdeğer gerilim değerini göstermektedir. Bu analizde kanadın gövdeyle bağlantısının olduğu kısım bir sabit mesnet ile sabitlenmiştir ve kanat profiline akış analizi sonucu elde edilen basınç değerleri uygulandığında kanat profiline etki eden en yüksek 59,153 MPa değerinde eşdeğer gerilim değeri görülmektedir. Kırmızı renk olup en yüksek değeri ifade eden 191,11 MPa değeri ise riblerin firar kenarındaki eş değer gerilim değerini göstermektedir. Ortalama eşdeğer gerilim değeri ise 7,8396 MPa olarak bulunmuştur.



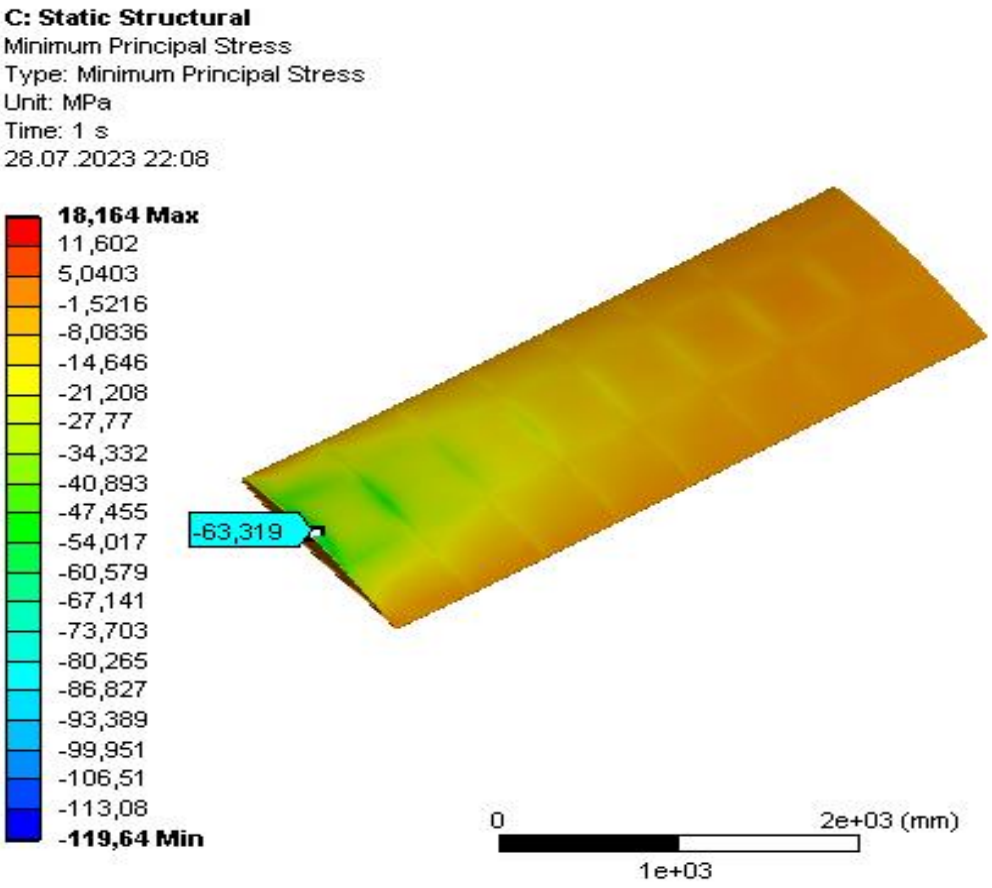
Şekil 3.18. 3° hücum açısı altında Al 7075-T6 malzemesinin eşdeğer gerinim

Şekil 3.18'de kanat profiline Al 7075-T6 alaşımı atanmış olup kanat profiline basınç yükü etki edip yapısal olarak eşdeğer gerinim değerini göstermektedir. Bu analizde kanadın gövdeyle bağlantısının olduğu kısım bir sabit mesnet ile sabitlenmiştir ve kanat profiline akış analizi sonucu elde edilen basınç değerleri uygulandığında kanat profiline etki eden en yüksek %0,089254 değerinde eşdeğer gerinim değeri görülmektedir. Kırmızı renk olup en yüksek değeri ifade eden %0,26771 değeri ise riblerin firar kenarındaki eşdeğer gerinim değerini göstermektedir.



Şekil 3.19. 3° hücum açısı altında Al 7075-T6 malzemesinin çekme gerilmesi

Şekil 3.19'da kanat profiline Al 7075-T6 alaşımı atanmış olup kanat profiline basınç yükü etki edip yapısal olarak maximum principal stress değerini göstermektedir. Maximum principal stress çekme gerilme değerini ifade etmektedir. Kanat profilinin alt kısmında çekme kuvvetine maruz kaldığından dolayı kanat profili ters çevrilmiştir. Bu analizde kanadın gövdeyle bağlantısının olduğu kısım bir sabit mesnet ile sabitlenmiştir ve kanat profiline akış analizi sonucu elde edilen basınç değerleri uygulandığında kanat profiline etki eden en yüksek 47,273 MPa değerinde çekme gerilmesi değeri görülmektedir. Kırmızı renk olup en yüksek değeri ifade eden 133,53 MPa değeri ise riblerin firar kenarındaki eşdeğer gerilme değerini göstermektedir. Ortalama çekme gerilmesi ise 4,1674 MPa olarak bulunmuştur.



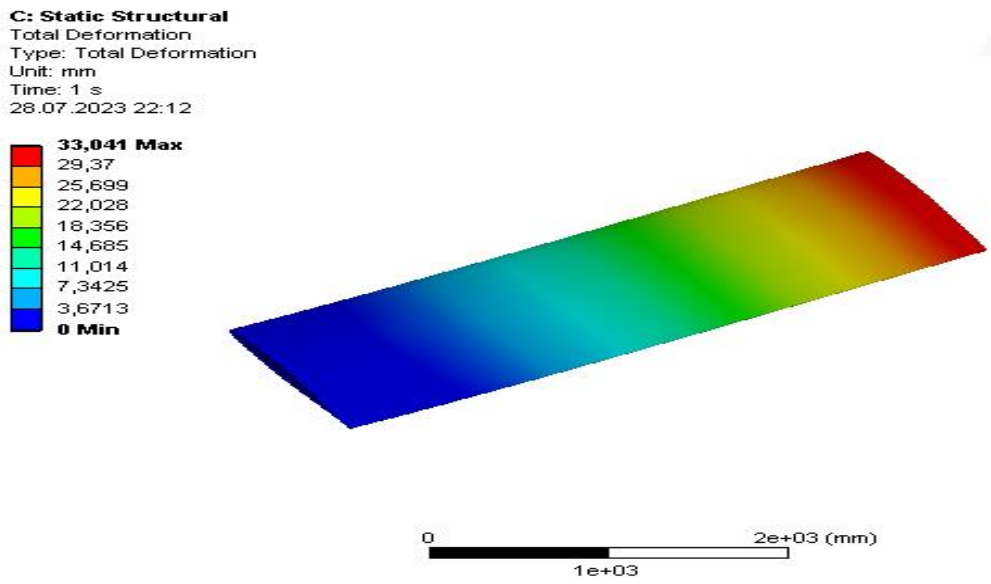
Şekil 3.20. 3° hücum açısı altında Al 7075-T6 malzemesinin basma gerilmesi

Şekil 3.20'de kanat profiline Al 7075-T6 alaşımı atanmış olup kanat profiline basınç yükü etki edip yapısal olarak minimum principal stress değerini göstermektedir. Minimum principal stress basma gerilme değerini ifade etmektedir. Kanat profilinin üst kısmında basma kuvvetine maruz kalmaktadır. Bu analizde kanadın gövdeyle bağlantısının olduğu kısım bir sabit mesnet ile sabitlenmiştir ve kanat profiline akış analizi sonucu elde edilen basınç değerleri uygulandığında kanat profiline etki eden en yüksek 63,319 MPa değerinde basma gerilmesi değeri görülmektedir. Kırmızı renk olup en yüksek değeri ifade eden 119,64 MPa değeri ise riblerin firar kenarındaki eşdeğer gerilme değerini göstermektedir. Ortalama basma gerilmesi değeri ise 4,1047 MPa olarak bulunmuştur.

Tablo 3.2. 3° hücum açısında statik analiz sonuçları

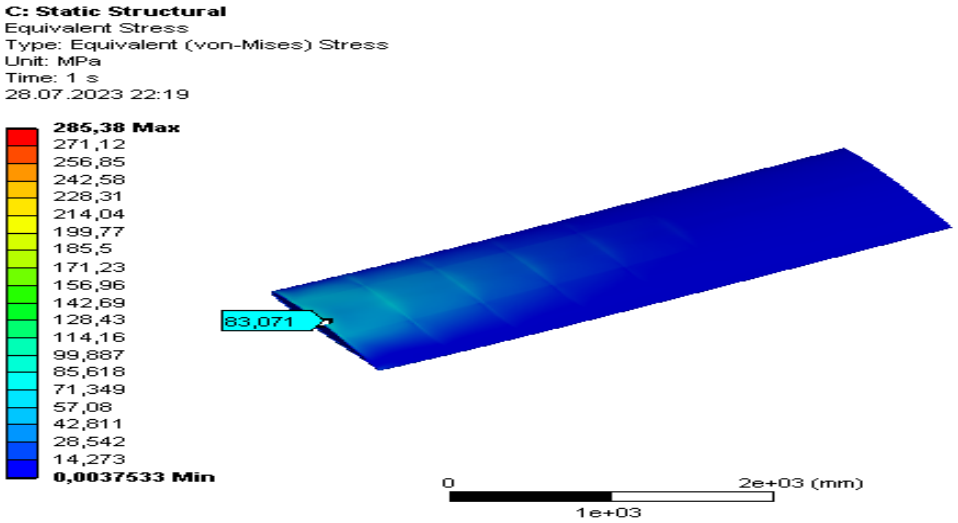
MALZEMELER	STATİK ANALİZ DEĞERLERİ				
	Yer Değiştirme (mm)	Eşdeğer Gerilmesi (MPa)	Eşdeğer Gerinim (mm/mm)	Çekme Gerilmesi (MPa)	Basma Gerilmesi (MPa)
Al 2024-T3	22,277	56,228	% 0,087644	47,621	63,751
Al 7075-T6	22,678	59,153	%0,089254	47,273	63,319

3.1.2.4. 6° hücum açısı altında Al 2024-T3 malzemesi ile statik analiz



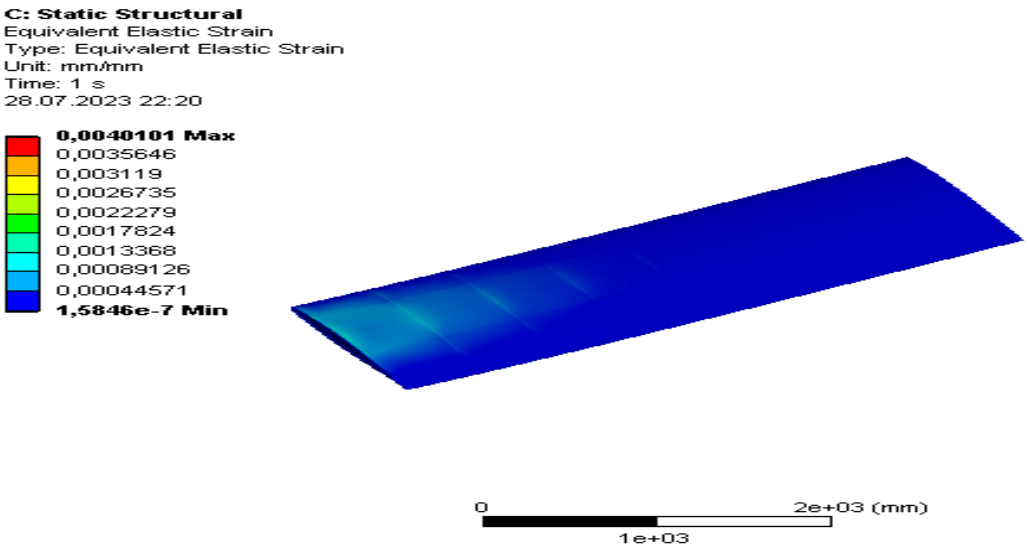
Şekil 3.21. 6° hücum açısı altında Al 2024-T3 malzemesinin yer değiştirmesi

Şekil 3.21'de kanat profiline Al 2024-T3 alaşımı atanmış olup kanat profiline basınç yükü etki edip yapısal olarak yer değiştirme değerini göstermektedir. Bu analizde kanadın gövdeyle bağlantısının olduğu kısım bir sabit mesnet ile sabitlenmiştir ve kanat profiline akış analizi sonucu elde edilen basınç değerleri uygulandığında en yüksek yer değiştirmenin 33,041 mm ile kanat ucunda olduğu görülmektedir.



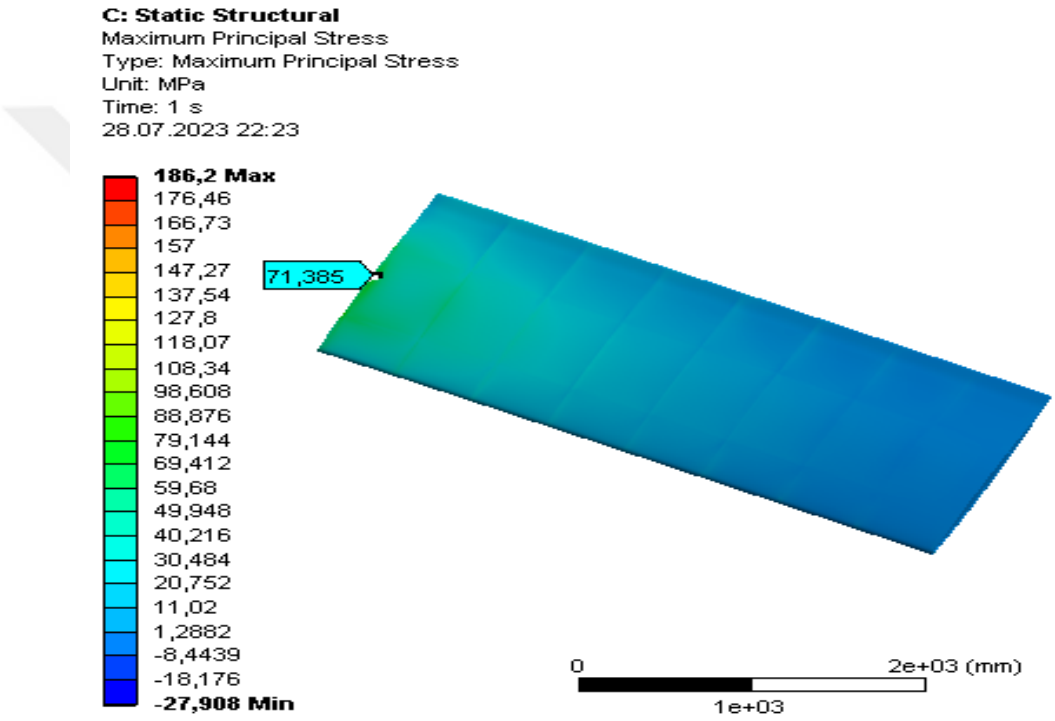
Şekil 3.22. 6° hücum açısı altında Al 2024-T3 malzemesinin eşdeğer gerilmesi

Şekil 3.22'de kanat profiline Al 2024-T3 alaşımı atanmış olup kanat profiline basınç yükü etki edip yapısal olarak eşdeğer gerilme değerini göstermektedir. Bu analizde kanadın gövdeyle bağlantısının olduğu kısım bir sabit mesnet ile sabitlenmiştir ve kanat profiline akış analizi sonucu elde edilen basınç değerleri uygulandığında kanat profiline etki eden en yüksek 83,071 MPa değerinde eşdeğer gerilim değeri görülmektedir. Kırmızı renk olup en yüksek değeri ifade eden 285,38 MPa değeri ise riblerin firar kenarındaki eşdeğer gerilim değerini göstermektedir. Ortalama eşdeğer gerilme ise 11,607 MPa bulunmuştur.



Şekil 3.23. 6° hücum açısı altında Al 2024-T3 malzemesinin eşdeğer gerinim

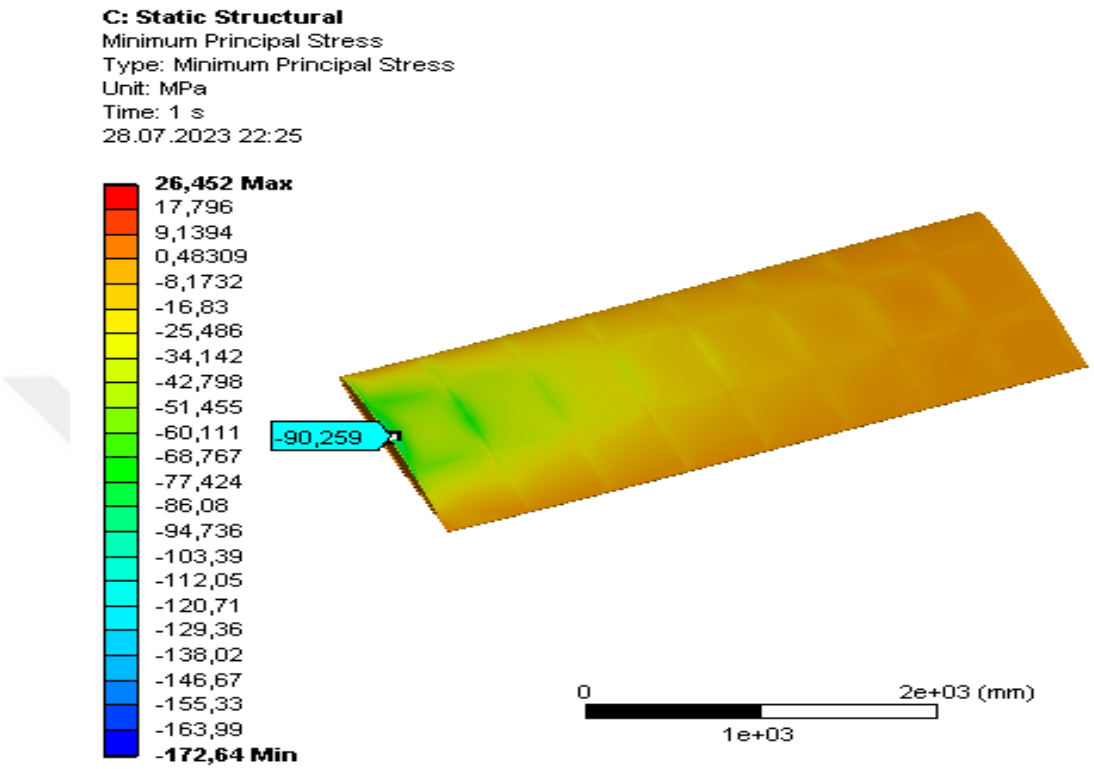
Şekil 3.23'de kanat profiline Al 2024-T3 alaşımı atanmış olup kanat profiline basınç yükü etki edip yapısal olarak eşdeğer gerinim değerini göstermektedir. Bu analizde kanadın gövdeyle bağlantısının olduğu kısım bir sabit mesnet ile sabitlenmiştir ve kanat profiline akış analizi sonucu elde edilen basınç değerleri uygulandığında kanat profiline etki eden en yüksek %0,13368 değerinde eşdeğer gerinim değeri görülmektedir. Kırmızı renk olup en yüksek değeri ifade eden %0,40101 değeri ise riblerin firar kenarındaki eşdeğer gerinim değerini göstermektedir.



Şekil 3.24. 6° hücum açısı altında Al 2024-T3 malzemesinin çekme gerilmesi

Şekil 3.24'de kanat profiline Al 2024-T3 alaşımı atanmış olup kanat profiline basınç yükü etki edip yapısal olarak maximum principle stress değerini göstermektedir. Maximum principal stress çekme gerilme değerini ifade etmektedir. Kanat profilinin alt kısmında çekme kuvvetine maruz kaldığından dolayı kanat profili ters çevrilmiştir. Bu analizde kanadın gövdeyle bağlantısının olduğu kısım bir sabit mesnet ile sabitlenmiştir ve kanat profiline akış analizi sonucu elde edilen basınç değerleri uygulandığında kanat profiline etki eden en yüksek 71,385 MPa değerinde çekme gerilmesi değeri görülmektedir. Kırmızı renk olup en yüksek değeri ifade eden 186,2 MPa değeri ise

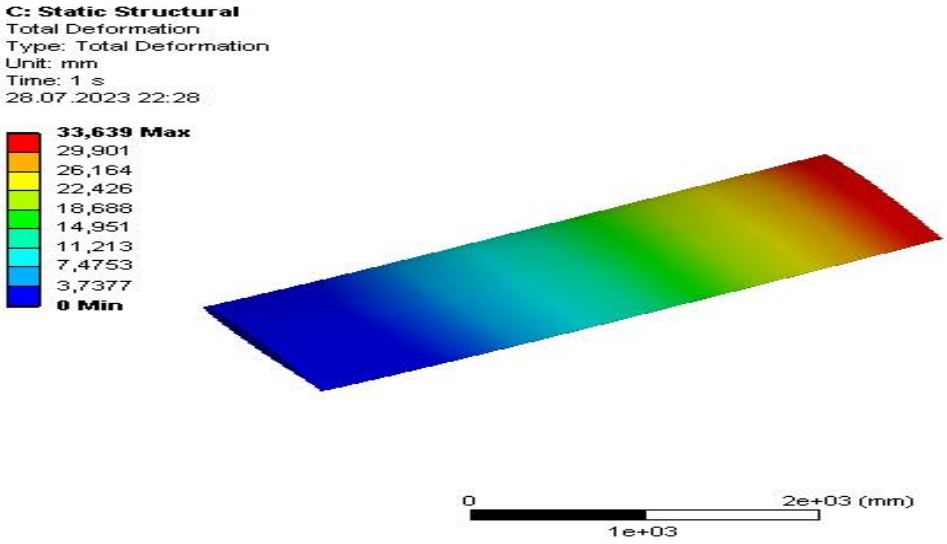
riblerin firar kenarındaki eşdeğer gerilme değerini göstermektedir. Ortalama çekme gerilmesi değeri ise 6,1795 MPa olarak bulunmuştur.



Şekil 3.25. 6° hücum açısı altında Al 2024-T3 malzemesinin basma gerilmesi

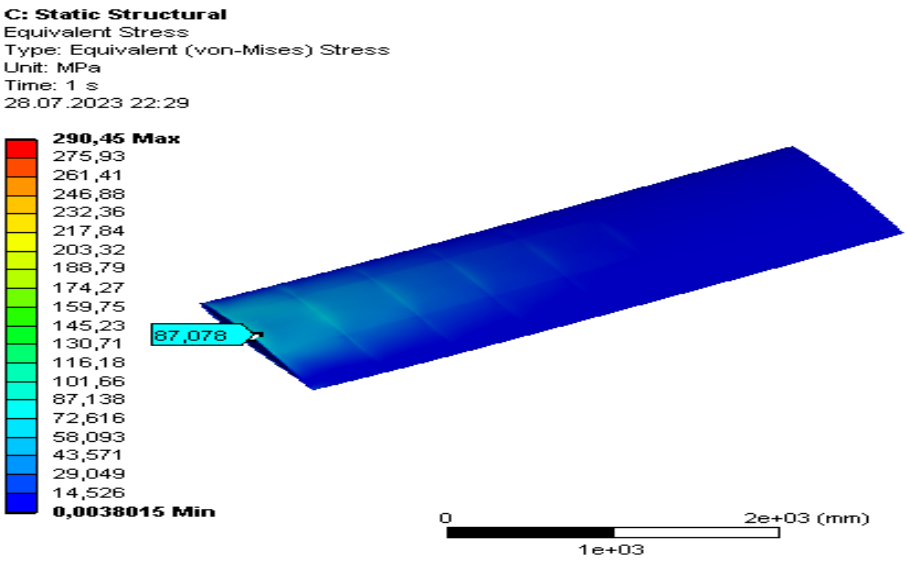
Şekil 3.25'de kanat profiline Al 2024-T3 alaşımı atanmış olup kanat profiline basınç yükü etki edip yapısal olarak minimum principal stress değerini göstermektedir. Minimum principal stress basma gerilme değerini ifade etmektedir. Kanat profilinin üst kısmında basma kuvvetine maruz kalmaktadır. Bu analizde kanadın gövdeyle bağlantısının olduğu kısım bir sabit mesnet ile sabitlenmiştir kanat profiline akış analizi sonucu elde edilen basınç değerleri uygulandığında kanat profiline etki eden en yüksek 90,259 MPa değerinde basma gerilmesi değeri görülmektedir. Mavi renk olup en yüksek değeri ifade eden 172,64 MPa değeri ise riblerin firar kenarındaki eşdeğer gerilme değerini göstermektedir. Ortalama basma gerilmesi değeri ise 6,0524 MPa olarak bulunmuştur.

3.1.2.5. 6° hücum açısı altında Al 7075-T6 malzemesi ile statik analiz



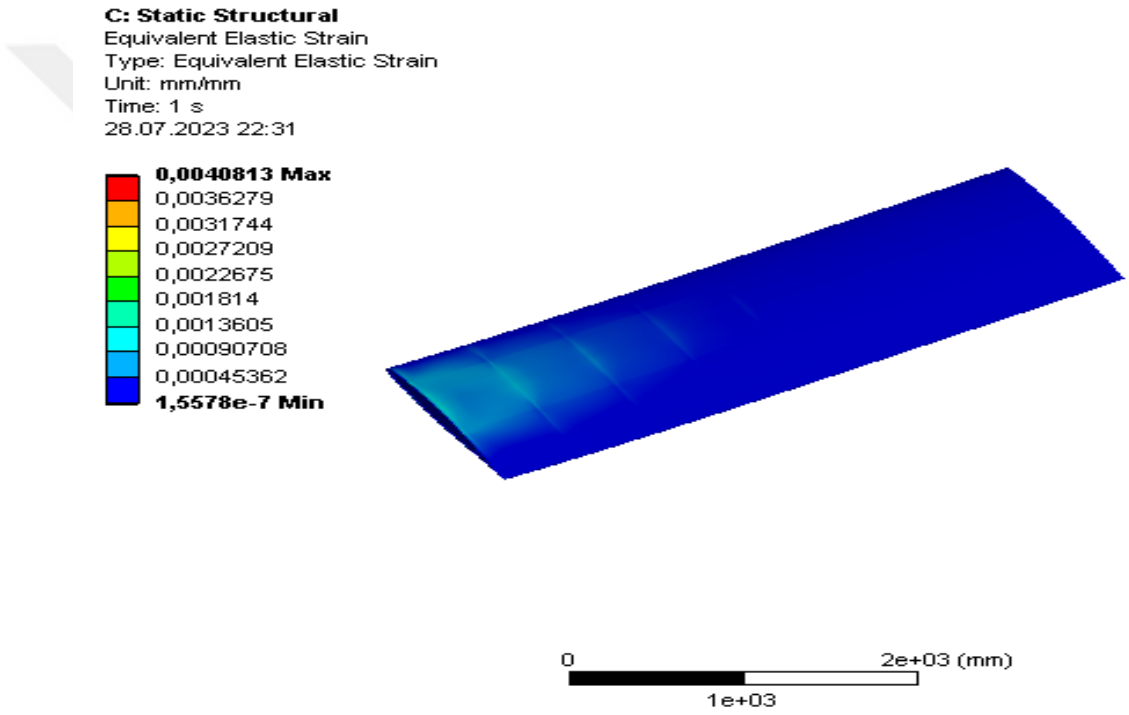
Şekil 3.26. 6° hücum açısı altında Al 7075-T6 malzemesinin yer değiştirmesi

Şekil 3.26'da kanat profiline Al 7075-T6 alaşımı atanmış olup kanat profiline basınç yükü etki edip yapısal olarak yer değiştirme değerini göstermektedir. Bu analizde kanadın gövdeyle bağlantısının olduğu kısım bir sabit mesnet ile sabitlenmiştir ve kanat profiline akış analizi sonucu elde edilen basınç değerleri uygulandığında en yüksek yer değiştirmenin 33,639 mm ile kanat ucunda olduğu görülmektedir.



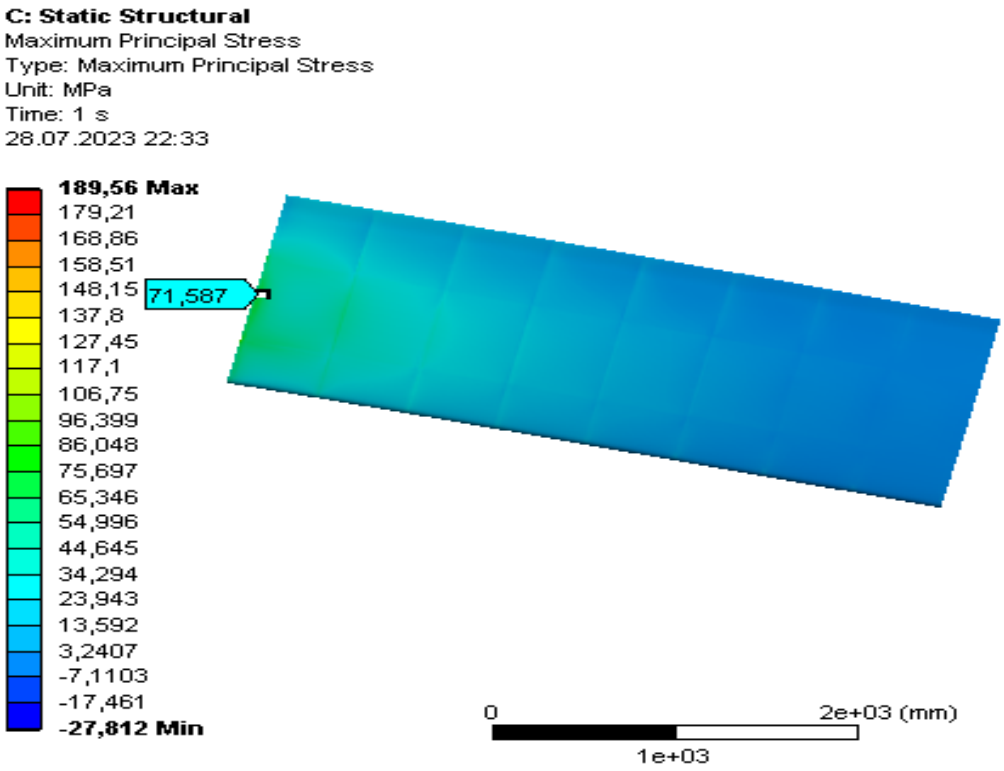
Şekil 3.27. 6° hücum açısı altında Al 7075-T6 malzemesinin eşdeğer gerilmesi

Şekil 3.27'de kanat profiline Al 7075-T6 alaşımı atanmış olup kanat profiline basınç yükü etki edip yapısal olarak eşdeğer gerilme değerini göstermektedir. Bu analizde kanadın gövdeyle bağlantısının olduğu kısım bir sabit mesnet ile sabitlenmiştir ve kanat profiline akış analizi sonucu elde edilen basınç değerleri uygulandığında kanat profiline etki eden en yüksek 87,078 MPa değerinde eşdeğer gerilme değeri görülmektedir. Kırmızı renk olup en yüksek değeri ifade eden 290,45 MPa değeri ise riblerin firar kenarındaki eşdeğer gerilme değerini göstermektedir. Ortalama eşdeğer gerilme değeri ise 11,619 MPa olarak bulunmuştur.



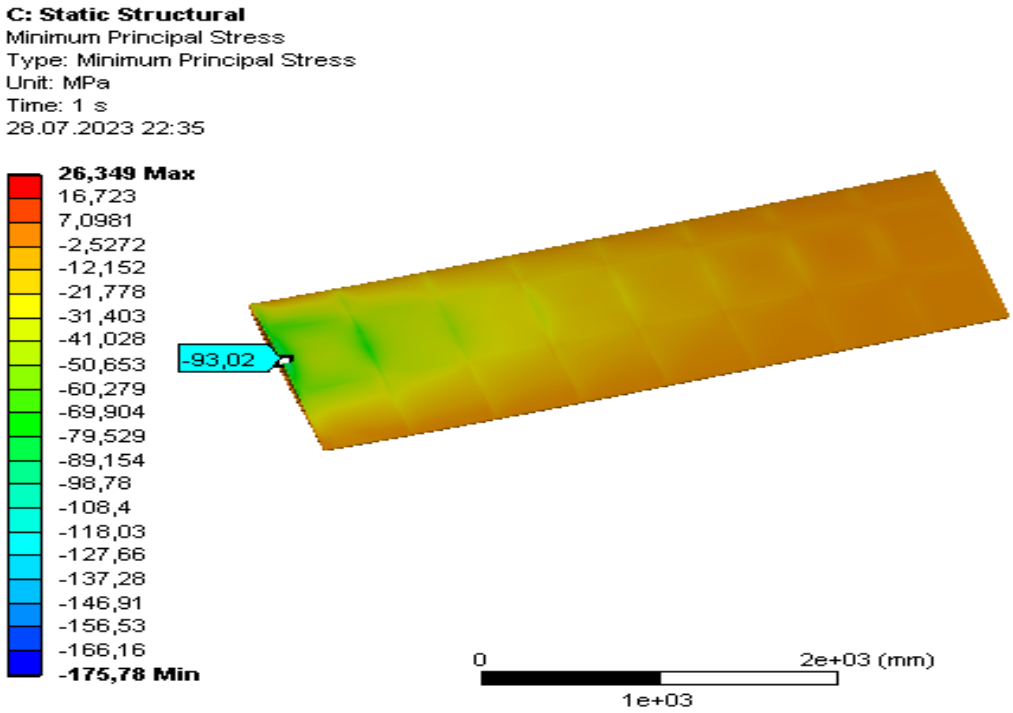
Şekil 3.28. 6° hücum açısı altında Al 7075-T6 malzemesinin eşdeğer gerinim

Şekil 3.28'de kanat profili Al 7075-T6 alaşımı atanmış olup kanat profiline basınç yükü etki edip yapısal olarak eşdeğer gerinim değerini göstermektedir. Bu analizde kanadın gövdeyle bağlantısının olduğu kısım bir sabit mesnet ile sabitlenmiştir ve kanat profiline akış analizi sonucu elde edilen basınç değerleri uygulandığında kanat profiline etki eden en yüksek %0,13605 değerinde eşdeğer gerinim değeri görülmektedir. Kırmızı renk olup en yüksek değeri ifade eden %0,40813 değeri ise riblerin firar kenarındaki eşdeğer gerinim değerini göstermektedir.



Şekil 3.29. 6° hücum açısı altında Al 7075-T6 malzemesinin çekme gerilmesi

Şekil 3.29'da kanat profiline Al 7075-T6 alaşımı atanmış olup kanat profiline basınç yükü etki edip yapısal olarak maximum principal stress değerini göstermektedir. Maximum principal stress çekme gerilme değerini ifade etmektedir. Kanat profilinin alt kısmında çekme kuvvetine maruz kaldığından dolayı kanat profili ters çevrilmiştir. Bu analizde kanadın gövdeyle bağlantısının olduğu kısım bir sabit mesnet ile sabitlenmiştir ve kanat profiline akış analizi sonucu elde edilen basınç değerleri uygulandığında kanat profiline etki eden en yüksek 71,587 MPa değerinde çekme gerilmesi değeri görülmektedir. Kırmızı renk olup en yüksek değeri ifade eden 189,56 MPa değeri ise riblerin firar kenarındaki eşdeğer gerilme değerini göstermektedir. Ortalama çekme gerilmesi ise 6,1863 MPa olarak bulunmuştur.



Şekil 3.30. 6° hücum açısı altında Al 7075-T6 malzemesinin basma gerilmesi

Şekil 3.30'da kanat profiline Al 2024-T3 alaşımı atanmış olup kanat profiline basınç yükü etki edip yapısal olarak minimum principal stress değerini göstermektedir. Minimum principal stress basma gerilme değerini ifade etmektedir. Kanat profilinin üst kısmında basma kuvvetine maruz kalmaktadır. Bu analizde kanadın gövdeyle bağlantısının olduğu kısım bir sabit mesnet ile sabitlenmiştir ve kanat profiline akış analizi sonucu elde edilen basınç değerleri uygulandığında kanat profiline etki eden en yüksek 93,02 MPa değerinde basma gerilmesi değeri görülmektedir. Mavi renk olup en yüksek değeri ifade eden 175,78 MPa değeri ise riblerin firar kenarındaki eşdeğer gerilme değerini göstermektedir. Ortalama basma gerilmesi ise 6,0588 MPa olarak bulunmuştur.

Tablo 3.3. 6° hücum açısında statik analiz sonuçları

MALZEMELER	STATİK ANALİZ DEĞERLERİ				
	Yer Değiştirme (mm)	Eşdeğer Gerilme (MPa)	Eşdeğer Gerinim (mm/mm)	Çekme Gerilmesi (MPa)	Basma Gerilmesi (MPa)
Al 2024-T3	33,041	83,071	% 0,13368	71,385	90,259
Al 7075-T6	33,639	87,078	%0,13605	71,587	93,02

3.2. Tartışma

Yapılan analizle ilgili elde edilen veriler ile literatürden elde edilen veriler aşağıda değerlendirilmiştir :

1) Mustafa Başekin ve Ramazan Selver NACA 6412 profili ile yapmış oldukları aerodinamik analizde 500 km/h ve 700 km/h hızla birlikte 0, 4, 6, 8, 10, 12, 16, 18, 20 derece hücum açılarında yapmış oldukları analizlerde 0° hücum açısı ve 500 km/h hızda en yüksek 11500 Paskal, 700 km/h hızda ise en yüksek 22600 Paskal basınç değeri bulmuşlardır. 16° hücum açısı ve 500 km/h hızda ise en yüksek 12100 Paskal basınç bulmuşlardır. Elde ettikleri sonuçlar değerlendirildiğinde hücum açısı ve hız değerleri artış gösterdikçe basınç değerinin yükseldiğini tespit etmişlerdir.

Yapmış olduğum çalışmada ise 510 km/h hızda 3° hücum açısında en yüksek 12079,8 Paskal basınç, 6° hücum açısında ise 12371 Paskal değerinde basınç değeri bulunmuştur. Hücum açısı arttıkça basınç değerinin arttığı tespit edilmiş olup literatürle de desteklenmiştir.

2) Salu Kumar Das ve Sandipan Roy NACA 64A215 profili ile yapmış oldukları yer değiştirme analizlerinde kanat profiline 500 Paskal değerinde tekil yük basınç uygulamışlardır. Çalışmada Al 2024-T3 malzemesini kanat profiline atamışlardır. Yapmış oldukları yer değiştirme analizinde 200 km/h hızda 6.6401 mm, 600 km/h hızda 7.0510 mm, 1000 km/h hızda ise 462.41 mm yer değiştirme değerini bulmuşlardır. Hız değeri arttıkça yer değiştirme değerlerinin arttığını gözlemlemişlerdir.

Mustafa Başekin ve Ramazan Selver NACA 6412 profiline Al 2007-T3 malzemesi atamışlardır. 500 km/h ve 700 km/h hızla birlikte 0, 4, 6, 8, 10, 12, 16, 18, 20 derece hücum açılarında yapmış oldukları yer değiştirme analizlerinde 500 km/h ile 0° hücum açısında yapılan analizde 18,421 mm yer değiştirme, 10° hücum açısı ile yapılan analizde 40.556 mm yer değiştirme, 18° hücum açısı ile yapılan analizde 49,331 mm, 20° hücum açısında yapılan analizde ise 49,165 mm yer değiştirme tespit etmişlerdir. Hücum açısı arttıkça yer değiştirme artmıştır. 20° hücum açısında ise düşüş tespit edilmiştir nedeni ise hava aracı stall'a maruz kalmaktadır. 700 km/h ile 0° hücum açısında yapılan analizde 36,342 mm yer değiştirme, 10° hücum açısı ile yapılan analizde 80,229 mm yer değiştirme, 18° hücum açısı ile yapılan analizde 97,619 mm, 20° hücum açısında yapılan analizde ise 95,816 mm yer değiştirme tespit etmişlerdir. Hücum açısı arttıkça yer değiştirme artmıştır. 20° hücum açısında ise düşüş tespit edilmiştir nedeni ise hava aracı stall'a maruz kalmaktadır. Hücum açısının sabit kalıp hız değerlerinde değişim olduğunda ise yüksek hızda yer değiştirmenin arttığını tespit etmişlerdir.

Yapmış olduğum çalışmada ise 510 km/h hızda 3° hücum açısında Al 2024-T3 malzemesinin kanat profiline atanması ile yapılmış analizde yer değiştirme 22,277 mm bulunmuştur. 6° hücum açısında ise yer değiştirme 33,041 mm bulunmuştur. Hücum açısı arttıkça yer değiştirme değeri artmış olup literatürle desteklenmiştir. Aynı analiz 3° hücum açısında Al 7075-T6 malzemesinin kanat profiline atanması ile yapılmış analizde yer değiştirme 22,678 mm bulunuştur. 6° hücum açısında ise yer değiştirme 33,639 mm bulunmuştur. Al 7075-T6 malzemesi içinde hücum açısı arttıkça yer değiştirme değeri artmış olup literatürle desteklenmiştir.

3) Salu Kumar Das ve Sandipan Roy NACA 64A215 profili ile yapmış oldukları yer değiştirme analizlerinde kanat profiline 500 Paskal değerinde tekil yük basınç uygulamışlardır. Çalışmada Al 2024-T3 malzemesini kanat profiline atamışlardır. Eşdeğer gerilme açısından değerlendirildiğinde 200 km/h hızda 25,051 MPa değerinde eşdeğer gerilme, 600 km/h hızda 183,79 MPa eşdeğer gerilme, 1000 km/h hızda ise 502,04 MPa eşdeğer gerilme bulmuşlardır. Hız değeri arttıkça eşdeğer gerilmenin arttığını tespit etmişlerdir.

Yapmış olduğum çalışmada ise 3° hücum açısında kanat profiline Al 2024-T3 malzemesi atanarak 510 km/h hızda yapılan analizde 56,228 MPa eşdeğer gerilme değeri bulunmuştur. Al 7075-T6 malzemesi ile yapılan analizde ise 59,153 MPa eşdeğer gerilme değeri bulunmuştur. 6° hücum açısında kanat profiline Al 2024-T3 malzemesi atanarak 510 km/h hızda yapılan analizde 83,071 MPa eşdeğer gerilme değeri bulunmuştur. Al 7075-T6 malzemesi ile yapılan analizde ise 87,078 MPa eşdeğer gerilme değeri bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde sabit hızda hücum açısı değişimi ile eşdeğer gerilim değerleri artmıştır.

4) Yapmış olduğum çalışmada ise 3° hücum açısında kanat profiline Al 2024-T3 malzemesi atanarak 510 km/h hızda yapılan analizde 47,621 MPa çekme gerilme değeri bulunmuştur. Al 7075-T6 malzemesi ile yapılan analizde ise 47,273 MPa çekme gerilme değeri bulunmuştur. 6° hücum açısında kanat profiline Al 2024-T3 malzemesi atanarak 510 km/h hızda yapılan analizde 71,385 MPa çekme gerilme değeri bulunmuştur. Al 7075-T6 malzemesi ile yapılan analizde ise 71,587 MPa çekme gerilme değeri bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde sabit hızda hücum açısı değişimi ile çekme gerilmesi değerleri artmıştır.

5) Yapmış olduğum çalışmada ise 3° hücum açısında kanat profiline Al 2024-T3 malzemesi atanarak 510 km/h hızda yapılan analizde 63,751 MPa basma gerilme değeri bulunmuştur. Al 7075-T6 malzemesi ile yapılan analizde ise 63,319 MPa basma gerilme değeri bulunmuştur. 6° hücum açısında kanat profiline Al 2024-T3 malzemesi atanarak 510 km/h hızda yapılan analizde 90,259 MPa basma gerilme değeri bulunmuştur. Al 7075-T6 malzemesi ile yapılan analizde ise 93,02 MPa basma gerilme değeri bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde sabit hızda hücum açısı değişimi ile basma gerilmesi değerleri artmıştır.

6) Tablo 3.2'deki 3° hücum açısı durumunda kanat profili üzerindeki statik analiz sonuçları karşılaştırıldığında ;

- Al 2024-T3 alaşımının akma dayanımı 345 MPa' dır. Emniyet faktörü hava aracı verilerinde 1.5 olduğundan Al 2024-T3 alaşımının emniyet gerilimi 230 MPa'dır. Tablo 3.2'de Al 2024-T3 alaşımı için statik analiz sonuçlarına baktığımızda elde ettiğimiz tüm gerilme değerleri emniyet gerilimi olan 230 MPa değerinin altında olduğundan modellenen kanat profili 3^0 hücum açısı

altında Al 2024-T3 alaşımı için emniyetli olmakta olup tasarımda herhangi bir iyileştirme yapılmasına gerek kalmamıştır.

- Al 7075-T6 alaşımının akma dayanımı 503 MPa'dır. Emniyet faktörü hava aracı verilerinde 1.5 olduğundan Al 7075-T6 alaşımının emniyet gerilimi 335 MPa'dır. Tablo 3.2'de Al 7075-T6 alaşımı için statik analiz sonuçlarına baktığımızda elde ettiğimiz tüm gerilme değerleri emniyet gerilimi olan 335 MPa değerinin altında olduğundan modellenen kanat profili 3^0 hücum açısı altında Al 7075- T6 alaşımı için emniyetli olmakta olup tasarımda herhangi bir iyileştirme yapılmasına gerek kalmamıştır.
- Rib ve Spar larda kullanılan Al 7050-T7451 alaşımının akma dayanımı 469 MPa'dır. Emniyet faktörü hava aracı verilerinde 1.5 olduğundan Al 7050-T7451 alaşımının emniyet gerilimi 313 MPa'dır. Analiz sonuçlarından elde edilen gerilim değerlerine bakıldığında tüm gerilme değerleri emniyet gerilimi olan 313 MPa değerinin altında olduğundan modellenen kanat profilinin rib ve sparların 3° hücum açısı altında Al 7050-T7451 alaşımı için emniyeti olmakta olup tasarımda herhangi bir iyileştirme yapılmasına gerek kalmamıştır.

7) Tablo 3.3'deki 6° hücum açısında kanat profilindeki statik analiz sonuçlarına bakıldığında gerilme değerlerinin emniyet gerilimi değerlerinin altında olduğundan emniyetli olmakta olup tasarımda herhangi bir iyileştirme yapmaya gerek kalmamıştır.

Sonlu elemanlar yöntemi ile kanat profilleri üzerinde yapılan analizler genellikle kanat profiline uygulanan tekil yük basınç değerleri ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği aracılığıyla elde edilen basınç değerleri ile ilgilidir. Bunun yanında, mesh aşamasında mesh sayısının ve mesh türleri değiştirilerek aynı tasarım şartları altında NACA profilleri değiştirilerek atıf yapılarak analizler yapılmaktadır.

4. BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1. Sonuç

- Bu çalışmada bölgesel yolcu uçağı NACA profili olan NACA 65_1-412 koordinatları aracılığıyla model oluşturulup riblere ve sparlara yer verilerek SOLIDWORKS programı aracılığıyla tasarım yapılmıştır.
- Hava araçlarında kullanılmakta olan Al 2024-T3, Al 7075-T6 alaşımları kanat profili dış yüzeyinde, Al 7050-T7451 alaşımı ise riblerde ve sparlarda kullanılmıştır.
- Çalışmada kanat profilimize 3°, 6° hücum açılarında kanat profiline akış analizi yapılarak basınç değerleri bulunup, bu basınç değerleri uygulanarak statik analiz çalışmaları yapılmıştır. Akış analizi ve statik analiz için ANSYS programı kullanılmıştır.
- Statik analiz kapsamında yer değiştirme, eşdeğer gerilmeleri, eşdeğer gerinim, çekme gerilmeleri ve basma gerilmeleri deneyleri sonuçları gözlemlenmiştir.
- 3°, 6° hücum açılarında akış analizi sonucu elde edilen basınç değerleri karşılaştırıldığında her iki hücum açısında da kanat profilinin altında kalan yol üst yola göre daha kısa olduğundan, hava akımı kanat profilinin alt yüzeyini daha düşük hızla terk etmekte olup bu durum bize kanat profilinin alt yüzeyinde bir basınç bölgesi oluşacağını göstermektedir. Bunun sonucu olarak yapılan analizlerde kanat profilinin alt kısmında daha yüksek basınç oluştuğu gözükmekte olup ortaya çıkan basınç farkından kaynaklı taşıma kuvveti oluşmaktadır.
- Aerodinamik analizde hız ve hücum açısı arttıkça stall durumuna kadar basınç miktarı artmaktadır.

- 3°, 6° hücum açıları ve kanat profiline akış analizi sonucu elde edilen basınç değerleri uygulandığında hücum açısı arttıkça yer değiştirmenin arttığı gözlemlenmiştir.
- 3°, 6° hücum açıları ve kanat profiline akış analizi sonucu elde edilen basınç değerleri uygulandığında hücum açısı arttıkça eşdeğer gerilmenin arttığı gözlemlenmiştir.
- 3°, 6° hücum açıları ve kanat profiline akış analizi sonucu elde edilen basınç değerleri uygulandığında hücum açısı arttıkça çekme gerilmesinin arttığı gözlemlenmiştir.
- 3°, 6° hücum açıları ve kanat profiline akış analizi sonucu elde edilen basınç değerleri uygulandığında hücum açısı arttıkça basma gerilmesinin arttığı gözlemlenmiştir.
- 3°, 6° hücum açıları ve kanat profiline akış analizi sonucu elde edilen basınç değerleri uygulandığında eşdeğer gerilmesi değeri Al 2024-T3 malzemesinin daha azdır. Bu deney sonucu bizlere Al 2024-T3 malzemesinde daha az gerilme olduğunu ve Al 2024-T3 malzemesinin daha mukavemetli olduğunu göstermektedir.
- 3°, 6° hücum açıları ve kanat profiline akış analizi sonucu elde edilen basınç değerleri uygulandığında yer değiştirme analizi yapıldığında Al 2024-T3 malzemesi daha az yer değiştirmeye uğramaktadır.
- 3°, 6° hücum açıları ve kanat profiline akış analizi sonucu elde edilen basınç değerleri uygulandığında eşdeğer gerilmesi analizine göre sonuçlar değerlendirildiğinde, analizde kullanılan Al 2024-T3, Al 7075-T6 ve Al 7050-T7451 malzemelerinin gerilim değerleri emniyet gerilmeleri değerlerinin altında olduğundan tasarım emniyetli olup tasarımda herhangi bir iyileştirme yapmaya gerek kalmamıştır.

4.2. Öneriler

Bu çalışma ülkemizin de hedefi bölgesel yolcu uçağı olan Dornier 728 uçağının kanadının tasarımıdır. Bu çalışmada kanat üzerindeki kontrol yüzeyleri yer almamaktadır. Ayrıca kanadın gövde kısmı ile olan bağlantısı modellenmemiş olup analiz kısmında gövde ile bağlantı noktasına sabit mesnet aracılığıyla sabitlenmiştir. Tasarımın gelecek kısmında kontrol yüzeyleri, gövde bağlantı kısımları tasarlanıp sweep açısı verilerek analiz yenilenebilir. Bunun yanında kanat profil kalınlıkları, rib ve spar kalınlıkları değiştirilerek analiz tekrar edilebilir. İlerleyen süreçlerde istenirse kanat bölgesine etki eden iniş takımları yakıt tankları ve motorlar tasarlanıp eklenerek statik ve dinamik analizler yapılabilir. Yapısal analizler için günümüzde kullanılan ve gelecekte kullanılması beklenen alüminyum – lityum alaşımları ve termoplastik esaslı kompozit malzemelerin mekanik özellikleri değerleri kullanılarak analizler yapılıp, alüminyum alaşımları ve termoset esaslı kompozitler ile sonuçları karşılaştırılabilir.

KAYNAKÇA

1. Kathiravan, T., Mohammed, H.A., Parthiban, K., October 2018. " Structural and modal analysis of subsonic aircraft wing using ansys workbench" **International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)**, Volume: 05, Issue: 10, pp: 823-827

2. Peruru, S.P., Abbisetti, S.B., June 2017. " Design and finite element analysis of aircraft wing using ribs and spars" **International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)**, Volume: 4, Issue: 6, pp: 2133-2139

3. Bhuptani, D., December 2012. " Structural and modal analysis of A300 wing wtructure" **Havacılık mühendisliği lisans bitirme çalışması**, Indira Gandhi National Open University, New Delhi

4. Candemir, İ., Mayıs 2015. " Bir bölgesel yolcu uçağı kanadının yapısal tasarım ve analizleri, **Uçak mühendisliği lisans bitirme çalışması**, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul

5. Sawadi, A.S., Apr - May 2017. " Analysis of composite material for wing of aircraft" **International Journal of Mechanical Engineering (IJME)** ISSN (P): 2319-2240; ISSN (E): 2319-2259 Volume: 6, Issue: 3, pp: 19-26

6. Das, S.K., Roy, S., 2018. " Finite element analysis of aircraft wing using carbon fiber reinforced polymer and glass fiber reinforced polymer**" 2nd International conference on Advances in Mechanical Engineering** (ICAME 2018) IOP Publishing IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 402, pp: 1-12

7. Başekin, M., Selver, R., 2023." NACA 6412 uçak kanadının aerodinamik parametrelerinin araştırılması" **Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi,** pp: 566-580

8. Öztuğ, T., Mayıs 2018. " Sonlu elemanlar yöntemi ile kanat yapısal analizi ve tasarımı**" Uçak mühendisliği lisans bitirme çalışması**, İstanbul Teknik Üniversitesi

9. Kavya, G., Raghukumar, B.C., November 2015. " Design and finite element analysis of aircraft wing using ribs and spars" **International Journal & Magazine of Engineering, Technology, Management and Research**, Volume: 2, Issue: 11, pp: 1443 – 1455

10. Vinoth, K.T. S., Waseem, B.A., Pavithra, M., Srilekha, V., August 2015. " Static & Dynamic analysis of a typical aircraft wing structure using MSC Nastran" **International Journal of Research In Aeronautical And Mechanical Engineering**, Volume: 3 Issue: 8, pp: 1-12

11. Muhammed Amir Mirza Bin Mohd Zakuan, Aabid, A., Khan, S.A., October 2019. " Modelling and structural analysis of Three-Dimensional wing" **International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)** Volume: 9, Issue: 1, pp: 6820 – 6828

12. Günay, Ö., Özbay, M., April 19-21, 2019. " Uçak kanatlarının tasarımı ve sonlu elemanlar yöntemiyle yapısal analizi" **3. International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies** pp : 660 – 666, Ankara, Turkey

13. Sureka, K., Satya, M.R., April 2015 " Modeling and structural analysis an A300 flight wing by using ansys " **International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research**", Volume: 4, Issue: 2, pp: 123-130

14. Yıldırım, N., Kurtar, S., Bedenli,G., Dağ, T., Öztürk, M., Ünler, T., July 20-23, 2022 " İnsansız hava aracı kanadında rib sayısındaki ve malzemesindeki değişime bağlı deformasyonun incelenmesi " **3. International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences**

15. Raymer, D., 1992. Aircraft Design : A Conceptual Approach Second Edition. AIAA Education Series, USA.

16. Anderson, J.,1999. Aircraft Performance and Design McGraw-Hill International Editions, USA.

17. Pehlivanoğlu, Y.V., 2013. Havacılık Ve Uzay Bilimlerine Giriş, 3.Baskı Hava Harp Okulu Yayınları, İstanbul

18. Özdemir, N.Ö., " Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Yorulma Mekaniği Ve Uygulamaları " Karadeniz Teknik Üniversitesi, Bitirme Çalışması, TRABZON, pp: 55

19.**https://silo.tips/download/sonlu-elemanlar-metodunun-mhendslkte-uygulamalari** (Erişim Tarihi: Mart 2021)

20. **https://slideplayer.biz.tr/slide/10199802/** (Erişim Tarihi: Mart 2021)

21. Oral, M.F., "Uçuş Kumandaları" Mng Technic Training Center, Turkey

22. Esi,E., " Uçuş Kumandaları" Thy Eğitim Merkezi Teknik Eğitim Müdürlüğü, Turkey

23. Güler, K.A., " Uçak Yapımında Kullanılan Malzemeler Ve Özelliklerinin İncelenmesi " Yıldız Teknik Üniversitesi, Bitirme Tezi, İSTANBUL, pp: 88

24. Havacılıkta Kullanılan Alüminyum Alaşımları (aluminyumburada.com) (Erişim Tarihi: Şubat 2021)

25. Kılıç, S., Kaçar, İ., Öztürk, F., 2019 "Havacılık endüstrisinde yeni trend: Al-Li esaslı alaşımlar" Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University pp : 275-296

26. **https://bit.ly/2Y9dw6E** (Erişim Tarihi: Temmuz 2019)

27. **https://stringfixer.com/tr/Fairchild_Dornier_728_family (Erişim Tarihi:** Ocak 2021)

28. **Birrenbach (icas.org)** (Erişim Tarihi: Ocak 2021)

29. **http://airfoiltools.com** (Ocak 2021)

30. FLUGZEUGBAU. Flugzeugentwurf am Beispiel einer Fairchild Dornier 728JET. Theoretische Arbeit - PDF Kostenfreier Download (docplayer.org) (Erişim Tarihi: Ocak 2021)

31.**https://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=ma2024t3** (Erişim Tarihi: Ekim 2020)

32.**https://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=ma7075t6** (Erişim Tarihi: Ekim 2020)

33**.https://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=ma7050t745** (Erişim Tarihi: Ekim 2020)

34. **https://www.kokpitteyiz.com/bolgesel-yolcu-ucagi-atr-72/** (Erişim Tarihi: Ocak 2021)

35.**https://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/ozcanh/71141/B%C3%B6l%C3%BCm%201.%20Giri%C5%9F%20ve%20Temel%20Kavramlar.pdf** (Erişim Tarihi: Mayıs 2023)

36. **https://yasincapar.com/tr/yapisal-analizde-kontak-turleri-ve-davranislari-2/**

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Burak ÇEKİRDEK

Uyruğu : Türkiye (T. C)

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Sivil Havacılık ABD	Devam ediyor
Lisans	Erciyes Üniversitesi Sivil Havacılık Yüksekokulu – Uçak Gövde Motor Bakım	2017
Ön Lisans	Ege Üniversitesi Havacılık Meslek Yüksekokulu	2012
Lise	Bayraklı Anadolu Teknik Lisesi	2010

İŞ YERİ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2011	ATLASGLOBAL (STAJ)	1 AY
2011	TUSAŞ - TEI (STAJ)	1 AY
2012	THY TEKNİK (STAJ)	1 AY
2012	TUSAŞ – TAI (STAJ)	1 AY
2016	PEGASUS (STAJ)	2 AY
2017 – GÜNÜMÜZ	THY TEKNİK (UÇAK BAKIM TEKNİSYENİ)	6 YIL

YABANCI DİL

İngilizce