



BİYOMİMETİK TABANLI UÇAK KANADI TASARIMI

Anıl AKDEMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİYEL TASARIM MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OCAK 2021

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Anıl AKDEMİR

24/01/2021

BİYOMİMETİK TABANLI UÇAK KANADI TASARIMI
(Yüksek Lisans Tezi)

Anıl AKDEMİR

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Ocak 2021

ÖZET

Gökyüzünde uçan tüm canlıların ve nesnelerin aerodinamik performansı en çok kanat şekliyle etkilenmektedir. Bu nedenle, tasarım yapılırken en kritik aşama aerodinamik verimliliği yüksek bir kanat tasarlamaktır. Bu süreçte oluşturulan tasarımların yüksek kaldırma kuvvetine, düşük rüzgâr direncine ve dengeli bir uçuşa sahip olmaları amaçlanmaktadır. Tez çalışması kapsamında, amaçlanan tasarıma ulaşabilmek için Biyomimetik bilim dalından faydalanılmış ve doğada aerodinamik performansı en yüksek olan kuş türlerine benzetilerek yeni kanat tasarımları oluşturulmuştur. Tasarımlar oluşturulurken aerodinamik ve yapısal analizlerde kıyaslama yapılabilmesi için kanat geometrisinde, kullanılan malzemede ve seçilen kanat kesitinde Cessna 172 uçak kanadı referans alınmıştır. İki boyutlu kanat kesiti seçimi için literatür araştırması sonucunda en çok tercih edilen kesitler ile Cessna 172 uçağının kanat kesiti olan NACA2412 akış analizinde karşılaştırılmıştır. XFLR5 programında yapılan akış testinde 10^6 Reynold değerindeki ve 0° - 20° hücum açısı aralığındaki kanat kesitlerinin aerodinamik performansları incelenmiştir. Bu incelemeye göre NACA2412 kesitinin aerodinamik verimi diğer kesitlere göre daha yüksek çıkmıştır. Üç boyutlu akış analizinde ise Biyomimetik kanat tasarımları ile Cessna 172 uçağının kanadı, XFLR5 programında -8° ve 8° hücum açısı aralığında 63 ms^{-1} seyir hızında incelenmiştir. Albatrosa benzetilerek oluşturulan kanat tasarımının aerodinamik veriminin diğer tasarımlara göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Akış analizleri sonucunda albatros kanat tasarımı, Cessna 172 uçak kanadı tasarımına göre kaldırma katsayısında %6,26, sürükleme katsayısında %15,73, süzülme oranında %15,16 iyileşme sağlamıştır. Ayrıca kanat ucunda oluşan girdaplı hava akışında da iyileşme olduğu gözlemlenmiştir. Yapısal analiz için Ansys programında Albatrosa benzetilen kanat ve Cessna 172 uçağının kanadının tekrar analizleri gerçekleştirilmiştir. Akış analizi sonuçlarında elde edilen basınç değerleri, yapısal analizde kanat üzerinde yük dağılımı olarak kullanılmıştır. Aynı malzeme kullanılarak oluşturulan tasarımlarda, albatrostan esinlenerek oluşturulan kanadın ağırlığının halihazırda kullanımda olan Cessna 172 uçağının kanat ağırlığına göre %34,156 daha az olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca albatros kanat tasarımının kanat ucunda oluşan deformasyonun da Cessna 172 uçağında oluşan deformasyona göre %50,902 daha az olduğu görülmüştür.

Bilim Kodu : 91406
Anahtar Kelimeler : Biyomimetik, Kanat Tasarımı, Kanat Kesiti, Akış Analizi
Sayfa Adedi : 77
Danışman : Prof. Dr. Hüdayim BAŞAK

BIOMIMETIC BASED AIRCRAFT WING DESIGN

(M. Sc. Thesis)

Anıl AKDEMİR

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

January 2021

ABSTRACT

The aerodynamic performance of all living things and objects that fly in the sky is most affected by the shape of their wings. Therefore, the most critical step in design is to achieve a wing with a high aerodynamic efficiency. The designs which have been created in this process are expected to have high lift, low drag and stable flight. Within the scope of the thesis study, in order to reach the intended design, the science of Biomimetics was used and new wing designs were created by simulating numerous the bird species' wings which have the highest aerodynamic performance in nature. The most preferred sections were defined as a result of the literature search for two-dimensional wing section selection and they were compared with the wing section of Cessna 172 aircraft, NACA2412, in flow analysis. In the flow test performed in the XFLR5 program, the aerodynamic performances of the wing sections at 10^6 Reynolds value and 0° - 20° angle of attack were investigated. According to this analysis, the aerodynamic efficiency of the NACA2412 section was higher than the other sections. In the three-dimensional flow analysis, biomimetic wing designs and the wing of Cessna 172 aircraft were examined in the XFLR5 program at a cruising speed of 63 ms^{-1} between -8° and 8° angle of attack. It has been observed that the aerodynamic efficiency of the wing design, which is inspired by the albatross, is higher than the other designs. As a result of the flow analysis, the albatross wing design provided %6,26 improvement in lift coefficient, %15,73 in drag coefficient and %15,16 improvement in glide ratio compared to Cessna 172 aircraft wing design. For structural analysis, the wing which was inspired by the albatross and the wing of Cessna 172 aircraft were redrawn in the Ansys program. The pressure values obtained from the flow analysis results were used as the load distribution on the wing in the structural analysis. In the designs created using the same material, it was observed that the weight of the wing inspired by the albatross was %34,156 less than the wing weight of the Cessna 172 aircraft. In addition, the deformation of the wing tip of the albatross wing design was %50,902 less than the deformation of the Cessna 172 aircraft.

Science Code : 91406
Key Words : Biomimetics, Wing Design, Wing Cross Section, Flow Analysis
Page Number : 77
Supervisor : Prof. Dr. Hüdayim BAŞAK

TEŐEKKÖR

Bu tez çalışmasında konu seçiminden çalışmanın olgunlaőıp sonuçlandırılmasına kadar geçen tđm sđrete desteğini ve rehberliğini benden esirgemeyen sayın hocam Prof. Dr. Hđdayim BAŞAK'a teőekkđrđ bir borç bilirim. Ayrıca her zaman olduğu gibi beni bu tez çalışmasında da yalnız bırakmayan anneme, babama, kardeőime, eőime ve kızıma minnet ve őđkranlarımı sunarım.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR.....	3
3. METOT.....	15
3.1. Referans Kanat Alanı	19
3.2. Kanat Sayısı	20
3.3. Kanadın Dikey Pozisyonu.....	20
3.4. Kanat Kesiti (Airfoil) Seçimi	21
3.4.1. Kanat aerodinamiği	21
3.4.2. İki boyutlu akış analiz yöntemi	26
3.5. Kanat Açıklık Oranı	34
3.6. Sivrilme Oranı.....	35
3.7. Dihedral Açısı	36
3.8. Ok Açısı	37
3.9. Büküm Açısı.....	37
3.10. Kanatçık	39
3.11. Biyomimetik.....	40

Sayfa

4. BİYOMİMETİK TABANLI ÜÇ BOYUTLU TASARIM	43
5. ANALİZ SONUÇLARI.....	49
5.1. Kanat Kesiti Akış Analizi	49
5.1.1. Kanat kesiti için kaldırma katsayılarının kıyaslanması	50
5.1.2. Kanat kesiti için sürüklenme katsayılarının kıyaslanması.....	51
5.1.3. Kanat kesiti için süzülme oranlarının kıyaslanması	52
5.1.4. Yunuslama momenti değerlerinin kıyaslanması.....	53
5.2. Kanat Profili Akış Analizi.....	54
5.2.1. Kanat profili için kaldırma katsayılarının kıyaslanması	55
5.2.2. Kanat profili için sürüklenme katsayılarının kıyaslanması.....	56
5.2.3. Kanat profili için süzülme oranlarının kıyaslanması	57
5.2.4. Kanat profili için yunuslama momenti katsayılarının kıyaslanması.....	58
5.3. Statik Analiz Karşılaştırması.....	60
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	71
KAYNAKLAR	73
ÖZGEÇMİŞ	77

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Cessna 172 uçağının kanat ölçüleri	19
Çizelge 3.2. Uçak tiplerine göre kanat açıklık oranları	35
Çizelge 3.3. Tasarımda kullanılacak olan parametreler	39
Çizelge 4.1. Cessna 172 uçağının kanat çiziminde kullanılan ölçüler.....	44
Çizelge 5.1. NACA2412 kanat kesitinin noktasal koordinatları.....	61
Çizelge 5.2. Kanatların statik analiz sonuçlarının karşılaştırılması.....	69



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Çalışmada uygulanacak ilk method	17
Şekil 3.2. Çalışmada uygulanacak ikinci method	18
Şekil 3.3. Kanat sayısına göre üç seçenek (Önden görünüm).....	20
Şekil 3.4. Kanadın dikey pozisyonuna göre dört farklı tip (Önden görünüş)	21
Şekil 3.5. Kanat Profili üzerinde havanın akışı.....	22
Şekil 3.6. Hücum açısının iki boyutlu görünüşü.....	23
Şekil 3.7. Farklı hücum açılarında kanat üzerindeki hava akışının görünüşü	24
Şekil 3.8. Kaldırma kuvvetinin hücum açısına göre değişimi	25
Şekil 3.9. Kanat kesitinin ölçü parametreleri	26
Şekil 3.10. Kaldırma katsayısının hassasiyeti ile mesh sayısı arasındaki ilişki.....	28
Şekil 3.11. Programlara göre kanat üzerindeki basınç dağılım grafiği karşılaştırması ..	33
Şekil 3.12. Programlara göre kaldırma katsayısı karşılaştırması	33
Şekil 3.13. Kanat açıklık oranı ile kaldırma katsayısı arasındaki ilişki	34
Şekil 3.14. Sivrilik oranlarının eliptik yük dağılımına yakınsaması.....	36
Şekil 3.15. Pozitif ve negatif dihedral açısı	36
Şekil 3.16. Pozitif Ok açısı	37
Şekil 3.17. Geometrik büküm	38
Şekil 3.18. Aerodinamik büküm	38
Şekil 3.19. Kanat ucunda oluşan hava akışı.....	39
Şekil 3.20. Biyomimetik çalışma süreci	41
Şekil 3.21. Süzülme oranlarına göre kuş türleri.....	42
Şekil 4.1. Kanat kesitlerinin kanat profili üzerindeki görünümü.....	43
Şekil 4.2. Cessna 172 uçağının kanat tasarımı.....	45
Şekil 4.3. Martıların kanatlarından esinlenilerek oluşturulan kanat tasarımı	46
Şekil 4.4. Akbabaların kanatlarından esinlenilerek oluşturulan kanat tasarımı.....	46

Şekil	Sayfa
Şekil 4.5. Güvercinlerin kanatlarından esinlenilerek oluşturulan kanat tasarımı	47
Şekil 4.6. Albatrosların kanatlarından esinlenilerek oluşturulan kanat tasarımı	48
Şekil 5.1. İki boyutlu akış analizi hücum açısı kaldırma katsayısı grafiği	51
Şekil 5.2. İki boyutlu akış analizi hücum açısı sürüklenme katsayısı grafiği	52
Şekil 5.3. İki boyutlu akış analizi hücum açısı süzülme oranı grafiği	53
Şekil 5.4. İki boyutlu akış analizi hücum açısı yunuslama momenti katsayısı grafiği ...	54
Şekil 5.5. Kaldırma katsayısının hücum açısına göre değişimi	56
Şekil 5.6. Kanat üzerindeki sürüklenme katsayısının hücum açısına göre değişimi	57
Şekil 5.7. Hücum açısına göre süzülme oranları.....	58
Şekil 5.8. Hücum açısı değerine göre yunuslama momenti değişimi	59
Şekil 5.9. Kanat ucunda oluşan hava akışı kıyaslaması.....	59
Şekil 5.10. Kanat ölçülerinin ölçeklendirilmiş ve eksenlere konumlandırılmış durumu	60
Şekil 5.11. Kanat iskeleti ve kanat kirişinin yapısı	62
Şekil 5.12. Kanat geometrisi ve analizde kullanılacak alan.....	63
Şekil 5.13. Oluşturulan ağ yapısı	64
Şekil 5.14. Kanat üzerindeki basınç dağılımı	64
Şekil 5.15. Statik analiz ile akış analizi arasında kullanılan bağlantı	65
Şekil 5.16. Kanat üzerinde oluşturulan analiz şartları	65
Şekil 5.17. Cessna 172 uçak kanadında analiz sonucunda kanatta oluşan deformasyon	66
Şekil 5.18. Cessna 172 uçak kanadında oluşan Von-Misses gerilme değerleri.....	66
Şekil 5.19. Cessna 172 uçak kanadında analiz sonucunda oluşan maksimum gerilme değeri	67
Şekil 5.20. Albatros kanat üzerinde oluşan maksimum basınç değeri.....	67
Şekil 5.21. Albatros kanadında analiz sonucunda kanatta oluşan deformasyon.....	68
Şekil 5.22. Albatros kanadında oluşan Von-Misses gerilme değerleri.....	68
Şekil 5.23. Albatros kanadında analiz sonucunda oluşan maksimum gerilme değeri	69

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Baykuşların kanat yapısına benzetilerek oluşturulan kanat tasarımları	3
Resim 2.2. Baykuşların kanat yapısına benzetilerek oluşturulan pervane tasarımları....	4
Resim 2.3. Frigata kuşunun kanat yapısı ve çizimi	5
Resim 2.4. Pelikan kuşunun kanat yapısının model görüntüsü	6
Resim 2.5. Uçan balık türüne benzetilen hava aracı tasarımı	6
Resim 2.6. Farklı kuş türlerinin kanat açıklık resimleri ve tasarımları.....	7
Resim 2.7. Kanatların sweep açılı geometrik yapıları	8
Resim 2.8. Kambur Balinaların süzgeçlerine benzetilerek oluşturulan tasarım	9
Resim 2.9. Yarasaların kanat yapısından esinlenerek oluşturulan tasarımlar	11
Resim 2.10. Köpek balıklarının yüzeylerine benzetilerek oluşturulan tasarım	12
Resim 3.1. Cessna 172 uçağının iki boyutlu görüntüleri	19
Resim 3.2. Test ortamının kanadın ölçülerine göre boyutları.....	27
Resim 3.3. Test için oluşturulan ağ yapısı	27
Resim 3.4. Mesh çarpıklık tablosuna göre ağ kaliteleri.....	28
Resim 3.5. Kanat kesit ve panel sayısı seçimi	29
Resim 3.6. XFLR5 NACA 0012 kanat kesiti çizimi	29
Resim 3.7. XFLR5 akış analizi test şartları	30
Resim 3.8. Kanat kesiti akış analizi test sonucu	30
Resim 3.9. Kanat kesiti üzerinde basınç katsayı değişimi	31
Resim 3.10. Kanat kesiti akış analizlerinin hücum açısına göre sonuçları	32
Resim 5.1. Kanat kesitlerinin çizimleri.....	50
Resim 5.2. XFLR5 Analiz Metotları.....	55

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

°	Derece
A	Alan
AR	Aspect Ratio
b	Kanat açıklığı
C_D	Sürükleme katsayısı
C_L	Kaldırma katsayısı
C_M	Yunuslama momenti katsayısı
D	Sürükleme kuvveti
kg/m^3	Yoğunluk birimi
L	Kaldırma kuvveti
m^2/s	Viskozite birimi
Pa	Pascal
Re	Reynold Değeri
S	Kanat alanı
λ	Sivrilme oranı
ρ	Yoğunluk

Kısaltmalar

Açıklamalar

3-D	Üç boyutlu
CFD	Computational Fluid Dynamics
LLT	Lifting Line Theory
NACA	National Advisory Committee for Aeronautics
VLM	Vortex lattice method
dB	Desibel
kg	Kilogram

Kısaltmalar	Açıklamalar
kHZ	Kilohertz
m	Metre
mm	Milimetre
MPa	Megapascal
s	Saniye



1. GİRİŞ

Yüzyıllar boyunca insanlar gökyüzünde uçabilmeyi hayal etmiş ve bu amaçla sayısız deneme yapmıştır. Bu amaç doğrultusunda pek çok konuda olduğu gibi insanlığa en büyük yol gösterici yine doğa olmuştur. ‘Kuş gibi uçmak’ eski bir kavram olmasına rağmen günümüz havacılık dünyasında yapılan tasarım çalışmaları uçabilen canlılardan esinlenmeye devam etmektedir. Çünkü kuşlar ve diğer uçabilen canlı türleri çok düşük hızlarda uçabilme, havada süzülme, keskin dönüşler yapabilme ve geriye doğru uçuş gibi olağanüstü uçuş yeteneklerine sahiptir. Uçabilen canlı türlerinin kanat geometrisi; kanadın kaldırma kuvveti, rüzgâr karşısında ilerleyişine engel olan sürüklenme kuvveti ve süzülme oranı gibi uçuş performansını doğrudan belirleyen faktörleri etkilemektedir. Bu canlıların aerodinamik uçuş performansları büyük oranda kanatlarının şekillerine bağlıdır. Aerodinamik uçuş performansı açısından doğadaki en gelişmiş canlı türü Albatros kuşlarıdır. Bu kuş türü kanatlarındaki aerodinamik yapıyı rüzgârın ve denizin oluşturduğu hava dirençleri ile iyi bir şekilde değerlendirip kilometrelerce mesafeyi çok az kanat çırparak ve dolayısıyla minimum enerji sarfiyatıyla gidebilme özelliğine sahiptir. Bu yapıları sayesinde uzun süre hiç dinlemeden yol kat edebilmektedirler. Uçabilen canlılar genellikle irtifa kazanmak için deniz üzerinde oluşan hava dalgalarından, topraktaki sıcak havanın gökyüzüne çıkması durumunda oluşan dairesel hava akışlarından ve dağların eteklerinden tepelerine doğru oluşan rüzgâr akışlarından faydalanırlar. Doğadan öğrenilen bu bilgiler havacılık alanındaki tasarım aşamalarında, problem çözümlerinde ve yeni fikirlerin bulunmasında büyük rol oynamaktadır.

Günümüzde havacılık sektöründe her zaman amaçlanan hedef; uçağın düşük oranda yakıt tüketimine, emisyonu ve gürültüye sahip olmasıdır. Bu amaçlar doğrultusunda bir hava aracının tasarımında en kritik bölüm kanat tasarımıdır. Bu nedenle, bir tasarımcının tasarımın gerekliliklerine uygun verimli bir kanat geometrisi elde edebilmesi için çok sayıda kanat geometrisi parametresini optimize etmesi gerekir. Geometrik olarak, üç boyutlu profil yapısı ve kesit geometrisi bir kanadı tanımlayan ana terimlerdir. Yüksek performanslı hesaplamaların ilerlemesiyle, karmaşık ve büyük ölçekli uçak tasarım problemlerinin sayısal simülasyonu ve optimizasyonu mümkün hale gelmiştir. Bu gelişmeler sayesinde yeni uçak modellerinin tasarım iyileştirmeleri, aerodinamik performans incelemeleri, malzeme dayanım testleri ve ağırlık değerlerinin tespiti daha uçak üretimi gerçekleşmeden önce

incelenebilmektedir. Elde edilen sonuçlar havacılık şirketlerine zaman, maliyet ve işçilik açısından büyük avantaj sağlamaktadır.

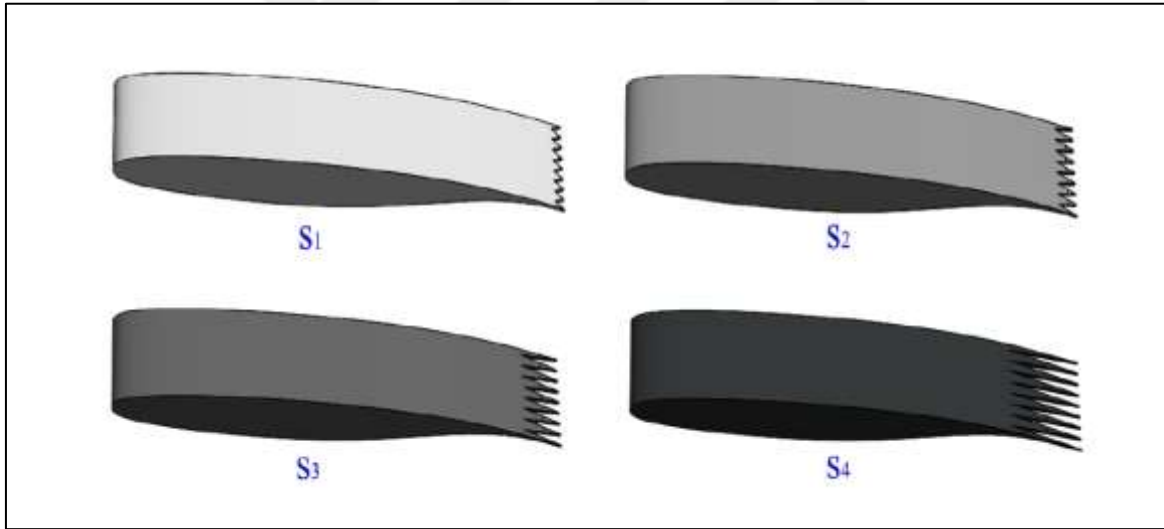
Bu tez çalışmasında kanat kesiti ve üç boyutlu kanat profilinin aerodinamik performansa etkisi incelenecektir. Ayrıca kanat şeklinin kanat üzerinde oluşan stres ve deformasyon dağılımına etkisi de irdelenecektir. Kanat tasarımlarında doğadaki canlıların kanat şekillerinden faydalanılacaktır.

Çalışmanın ilerleyişi:

- Literatür araştırması sürecinde kanat kesitlerinin aerodinamik yapısı, üç boyutlu kanat profillerinin aerodinamik yapısı, XFLR5 ortamında yapılan kanat çizim ve akış analizleri, doğadan esinlenerek oluşturulan kanat tasarımları incelenerek tasarım ve analiz sürecinde yöntem oluşturulması,
- Kanadın uçuş performansını etkileyen tasarım parametrelerinin avantaj ve dezavantajlarının belirlenmesi, kıyaslama yapabilmek amacıyla günümüzde kullanılan bir uçak kanadı tasarımının oluşturulması,
- Çalışmanın yapılacağı en verimli analiz ve tasarım programlarının tespit edilmesi ayrıca bu programların gerçek test sonuçlarına yakınsamasının incelenmesi,
- İki boyutlu kanat kesiti alternatiflerinin belirlenmesi ve performans kıyaslamalarının yapılarak en uygun kesitin seçilmesi,
- Biyomimetik problem çözme aşamalarının incelenmesi ve bu aşamalara göre çalışmanın irdelenmesi,
- Doğada bulunan canlılar arasında aerodinamik performansı en yüksek olan canlı türlerinin belirlenmesi ve bu türler örnek alınarak üç boyutlu kanat profilinin Cessna 172 uçağının kanat boyutlarında tasarlanması,
- Oluşturulan üç boyutlu kanat profillerinin kendi aralarında ve Cessna 172 uçağının kanadı ile aerodinamik performans açısından kıyaslanması,
- Cessna 172 uçağının kanadının, aerodinamik performansı en yüksek olan biyomimetik tasarım ile Ansys programında yeniden tasarlanarak akış analizlerinin yapılması ve elde edilen basınç değerlerine göre statik analiz ortamında tasarımların dayanımlarının incelenmesi.

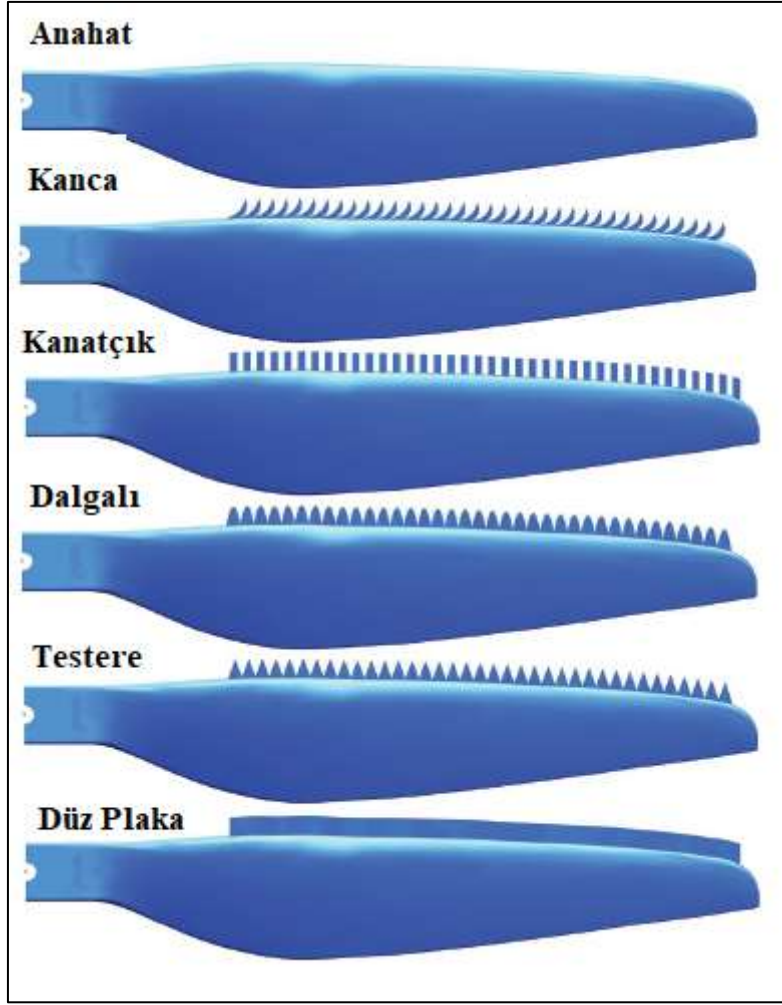
2. LİTERATÜR

Aryal ve arkadaşları (2019) yaptığı çalışmada kanatlarda oluşan aerodinamik sesi azaltma ve L/D (kaldırma katsayısı/ sürüklenme katsayısı) oranını artırmayı hedeflemiştir. Doğada bulunan canlılar incelendiğinde, baykuşların kanat yapıları sayesinde çok düşük frekans değerlerinde (2-20 kHz arasında) uçtukları ve üstün aerodinamik uçuş kabiliyetine sahip oldukları gözlemlenmiştir. Baykuşların kanat uçlarındaki tırtıklı yüzeyden esinlenerek Solidworks programı aracılığıyla Resim 2.1.'de gösterildiği gibi farklı uzunluklarda tırtıklı yüzeye sahip uçak kanadı modelleri tasarlanmış ve Ansys programı ile akış testinde performansları gözlemlenmiştir. Kanat kesiti olarak NASA SC (2)-0714 kullanılmıştır. 50ms^{-1} hızında ve 3.423×10^6 Reynold değerinde yapılan akış analizi sonucunda; bu yapının kanatta oluşan sesi 12db azalttığı, kaldırma katsayısını ise 0° hücum açısında 14% azalttığı gözlemlenmiştir [1].



Resim 2.1. Baykuşların kanat yapısına benzetilerek oluşturulan kanat tasarımları [1]

Wei ve arkadaşları (2020) mini drone tasarımında, pervanelerin sesini azaltmak için baykuş kanat yapısından esinlenerek pervanelerin uç kısımlarına Resim 2.2.'de gösterildiği gibi girintili çıkıntılı kanca, testere, plaka, kanatçık ve dalgalı yapı gibi farklı geometriler uygulamışlardır. Bu farklı geometrili pervanelerin performansları incelendiğinde, testere diş şeklindeki geometrinin ortalamada sesi 2,43dB azaltırken itme gücünü 3,53% arttırdığı görülmüştür [2].

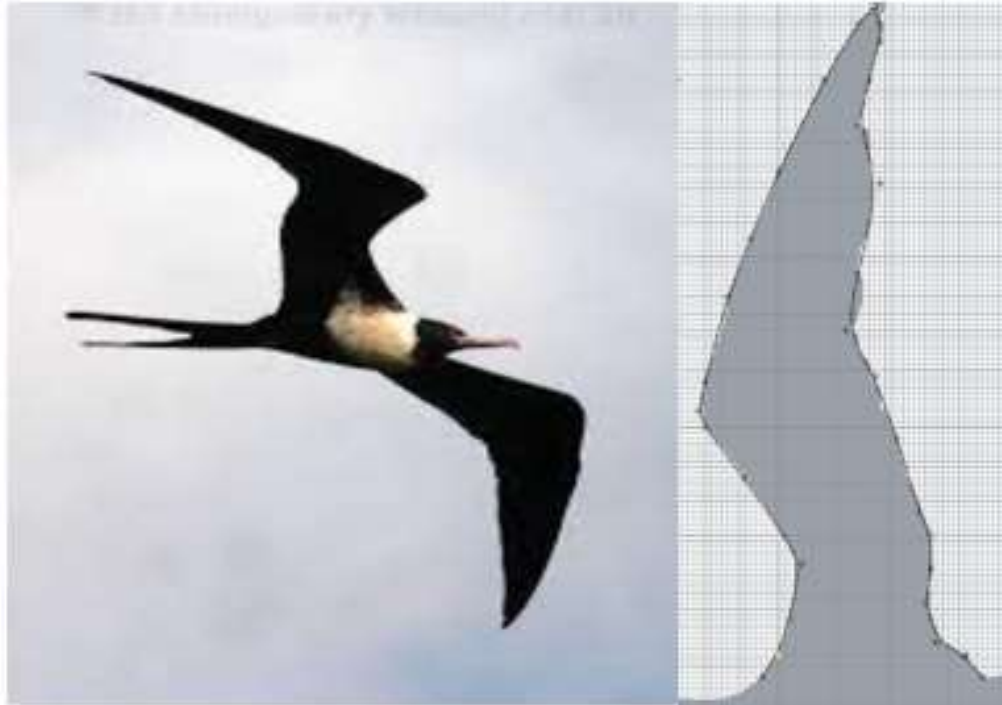


Resim 2.2. Baykuşların kanat yapısına benzetilerek oluşturulan pervane tasarımları [2]

Pan ve ekibi (2017) hayalet vatoz canlılarından esinlenerek mevcut insansız su altı gözetim aracının 3-D tasarımını, kaldırma-direnç oranını artırmayı amaçlayarak yeniden oluşturmuşlardır. Kanat kesiti olarak NACA0016 kesitinden türetilmiş yeni bir tasarım kullanılmıştır. Yeni kesit tasarım, Reynold sayısı 10^6 varsayılan çalışmada 0° ile 10° hücum açısı aralığında yapılan akış testleri sonucunda NACA0016'dan daha iyi aerodinamik sonuçlar göstermiştir. Yeni tasarımla aracın kalınlığı 9% artmıştır. Bu artış aracın daha fazla yük taşıyabilmesini sağlamıştır. Ayrıca ilk tasarıma göre 10% daha fazla kaldırma-direnç oranına ulaşıldığı gözlemlenmiştir [3].

Abeygoonewardene (2019), Frigata kuşlarının kanat yapısını incelediğinde kanadın geriye doğru açısının bu kuş türüne uzun mesafe uçuşlarda yüksek süzülme kabiliyeti sağladığını gözlemlemiştir. Bu kanat yapısını Resim 2.3.'de gösterildiği gibi üç boyutlu kanat çiziminde kullanırken iki boyutlu kesit için NACA-4412 kanat profilini seçmiştir. -16° ve 30° hücum

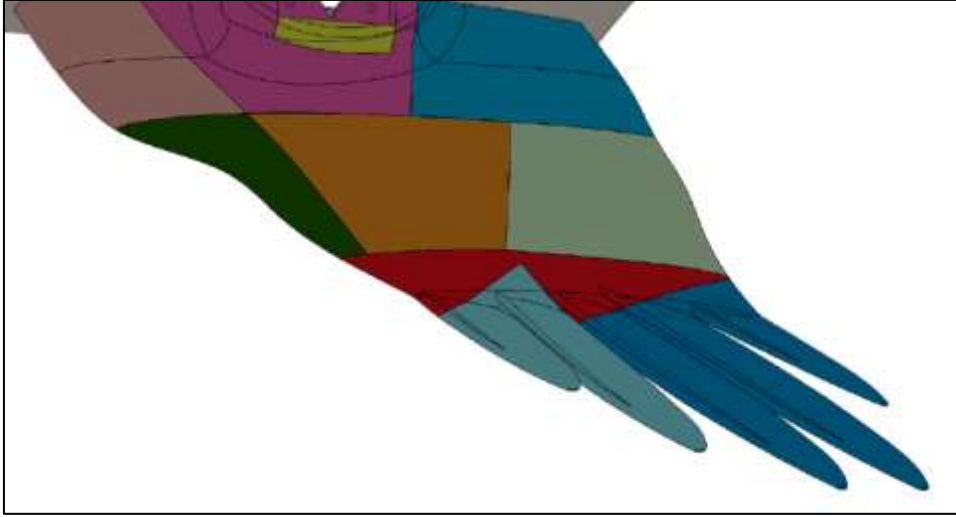
açısı aralığında yapılan testlerde, bu tasarımın yüksek kaldırma-rüzgâr direnci oranı sağladığı ve düşük kanat yükü oluşturduğu sonucuna ulaşmıştır [4].



Resim 2.3. Frigata kuşunun kanat yapısı ve çizimi [4]

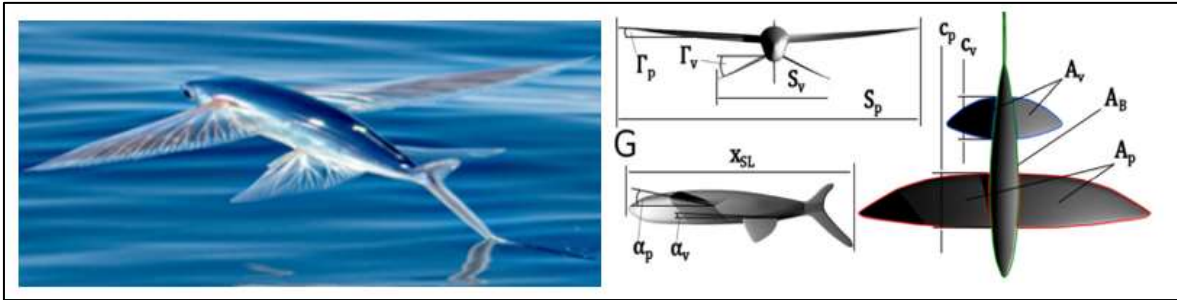
Aydın ve arkadaşları (2020), Akçaağaç tohumunun şeklinden esinlenerek kanat kesiti tasarımını incelemişlerdir. Doğadan buldukları tohum örneğini üç boyutlu tarayıcı aracılığı ile ANSYS programına aktarmışlardır. Yine bu tohum kesitinden esinlenerek iki boyutlu kanat profili tasarımını oluşturmuşlardır. 3° ve 30° hücum açısı değerlerinde yapılan akış analizinde, kanadın stall açısının 23° gibi yüksek bir değere sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca kanat bu açıdayken kaldırma katsayısının 2,33, rüzgâr direnci katsayısının 0,983 olduğu gözlemlenmiştir. Süzülme oranı (kaldırma direnci / rüzgâr direnci) ise maksimum değerine 5 derecelik kanat açısında ulaşmıştır [5].

Martin (2017), kanat ucundaki küçük çıkıntı şeklindeki kanatçıkların uçuş performansına etkisini incelemiştir. Doğada kanat açıklığı 2,5 metreyi bulan pelikan kuşlarının kanatlarının uç kısmından esinlenerek yapılan bu çalışmada, bahsi geçen kanat yapısı üç boyutlu tarayıcı yardımı ile CAD programına aktarılmıştır. Resim 2.4.'de elde edilen kanat geometrisi görselleştirilmiştir. Üç boyutlu yazıcıda üretilerek rüzgâr testi tüneline 5 ms^{-1} hızında ve $1,21 \times 10^5$ Reynold değerinde incelenen prototiplerde, kanat ucunda oluşan dalgalanmanın sıradan kanatlara göre daha düzenli akış sağladığı gözlemlenmiştir [6].



Resim 2.4. Pelikan kuşunun kanat yapısının model görüntüsü [6]

Focke ve arkadaşlarının (2017) yaptığı çalışmada, Rhino 5 programı kullanılarak oluşturulan küçük ölçekteki hava aracı tasarımında uçan balık yapısı örnek alınmıştır. Oluşturulan tasarımın görseli Resim 2.5.'de gösterilmiştir. Ön kanadında NACA 2806, kuyruk kanadında NACA0006 kanat kesiti kullanılmıştır. Yer etkisinin incelenmesi için araç, denizden farklı yüksekliklerde incelenmiştir. Reynold sayısı 10^6 kabul edilen çalışmada; deniz seviyesine yakın olan analiz sonuçları diğer yüksekliklerle kıyaslandığında, kaldırma katsayı değeri 24,5% artarken rüzgar direnci katsayı değeri 1,56% azalmıştır [7].



Resim 2.5. Uçan balık türüne benzetilen hava aracı tasarımı [7]

Murphy (2008) çalışmasında, küçük ölçekte bir hava aracı için Yusufçukların kanatlarından esinlenerek oluşturduğu kanat tasarımında iki boyutlu kesit olarak düz plaka, sarılı kanatçık ve dalgalı yapılı şekiller kullanmıştır. Bu şekilleri 0° ile 20° hücum açılarında aerodinamik teste tabi tutmuştur. Sonuçlar incelendiğinde diğer kanat tiplerinde 12° 'de stall oluşurken dalgalı yapılı kanat tipinde daha yüksek hücum açısında stall (kanat üstündeki hava akışının kanat yüzeyinden kopma durumu) meydana geldiği görülmüştür [8].

Yang ve arkadaşları (2018), su yüzeyindeki gel gitten faydalanıp enerji üretmek için kullanılan türbin bıçaklarının tasarımında deniz canlılarının yüzey yapısını örnek olarak küçük yarım küreler kullanmışlardır. Türbin bıçaklarının üzerindeki bu yarım kürelerin Ansys CFD programındaki analizi sonucunda $3,2 \text{ ms}^{-1}$ hızda hücum açısı 0° iken 'kaldırma kuvveti / sürüklenme kuvveti' oranında 1,6% artış sağladığı görülmüştür [9].

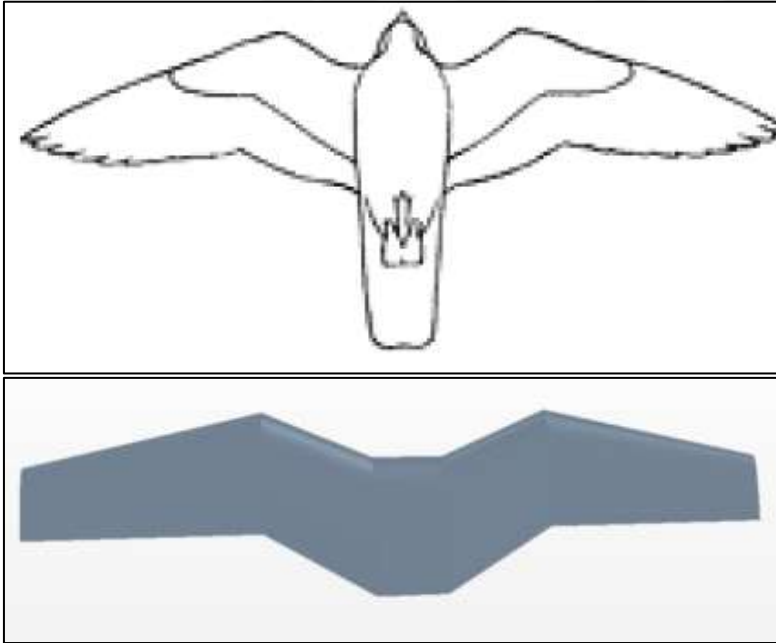
Wang (2019), uçabilen araç için kanat çalışması yapmıştır. Bu çalışmada biyomimetik bilim dalından yararlanarak doğadaki farklı canlıların kanat yapılarını incelemiştir. Aerodinamik yapıları verimli olan kuş tiplerinin kanat açıklıkları Autodesk programı yardımı ile Resim 2.6.'daki gibi oluşturulmuştur. MH60 kanat kesidi kullanılarak hazırlanan iki boyutlu tasarımlar, XFLR5 programı ile üç boyutlu tasarımlara dönüştürülmüştür. Javan Cucumber'e benzetilerek tasarlanan kanat tipi, diğer kanat tiplerine göre daha yüksek L/D oranına sahip olmuştur. Bahsi geçen yapı üç boyutlu yazıcıda üretilerek rüzgar testinde incelenmiştir. Test sonuçları XFLR5 ve Ansys uygulaması ile kıyaslanmıştır. Ayrıca Javan Cucumber kanat ile yaygın kullanımı olan XT912 tip kanat kıyaslanmıştır. $5,4^\circ$ hücum açısında 20 ms^{-1} hızda yapılan analizde, biyomimetik kanat tipi 257 kg taşıyabilme özelliğine sahipken XT912 ise 223 kg taşıyabilmiştir [10].



Resim 2.6. Farklı kuş türlerinin kanat açıklık resimleri ve tasarımları [10]

Park ve arkadaşları (2010), kelebeklerde bulunan kayan kırlangıç kuyruğu örnek alınarak tasarlanan kanat modelinin aerodinamik performansını incelemiştir. Kanat kesidi olarak NACA0024 seçilmiştir. 5 ms^{-1} hızda yapılan testlerde 5° hücum açısında L/D oranının en yüksek değere ulaştığı ve stall açısının 15° olduğu gözlemlenmiştir. V şeklindeki kuyruk ile kuyruksuz yapı kıyaslanmıştır. V yapılı kuyruğun statik stabiletayı sağladığı ve kaldırma katsayısını çok yüksek oranda artırdığı gözlemlenmiştir [11].

Kuşların kanatları hızlı uçuş durumlarında ileri ve geri yönde farklı açılarda durur. Nay Lin çalışmasında (2015), kanadın ileri ve geri doğru farklı açılardaki yapısını inceleyerek benzer yapıdaki kanat geometrisini Catia programı aracılığı ile tasarlamıştır. Tasarımın görseli Resim 2.7.'de gösterilmiştir. Ayrıca akış analizleri Ansys programında gerçekleştirilmiştir. Ansys programından elde edilen sonuçlar, rüzgar tüneli testi sonuçları ile kıyaslanmıştır. İki boyutlu kanat kesidi olarak NACA 23012 seçilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda, farklı açılardaki tasarımlarda geriye doğru 20° ve ileriye doğru $17,5^\circ$ değerleri beraber kullanıldığında optimum sonuçların elde edildiği görülmüştür. Kıyaslama yapabilmek için benzer kanat geometrisine sahip standart kanat yapılı Cessna 550 uçağının kanat yapısı, açılı kanat geometrisi ile karşılaştırılmıştır. Bu kıyaslama sonucunda, açılı kanadın standart kanada göre kaldırma katsayısının $3,7\%$, rüzgar direnci katsayısında $6,2\%$ daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca L/D oranında ise $3,6\%$ iyileşme olduğu sonucuna varılmıştır [12].



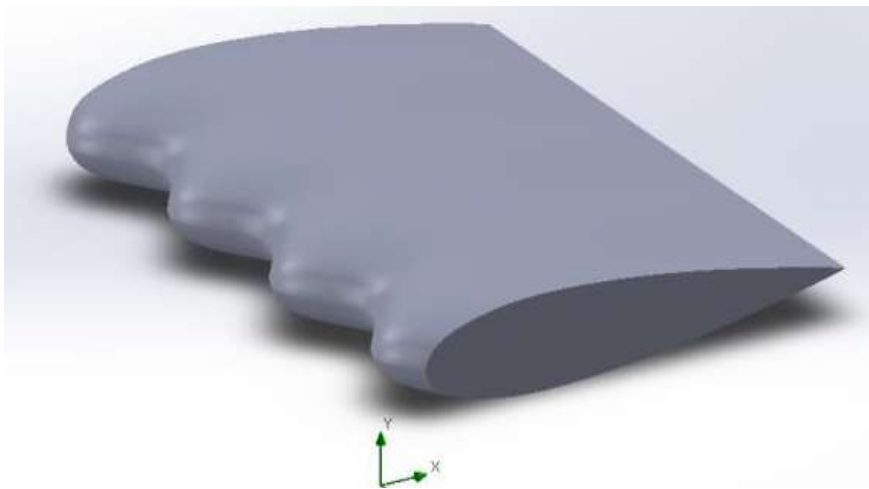
Resim 2.7. Kanatların sweep açılı geometrik yapıları [12]

Sevillano ve arkadaşları (2019) kuşların kanat uçlarındaki girdaplı yapıdan etkilenerek oluşturdukları aracın kanat ucuna benzer yapıda ızgaralı yapı tasarlamışlardır. Tasarlanan yapıyı ızgarasız yapı ile kıyaslayabilmek için Ansys akış analizi ve rüzgar tüneli testleri yapılmıştır. Reynold sayısı 5×10^4 ve akış hızı 10 ms^{-1} varsayılan çalışmada hücum açısı sadece 0° de incelenmiştir. Yapılan test sonuçlarına göre ızgaralı geometride kalkış hızında 3% iyileşme ve rüzgar direnci katsayısında $12,5\%$ azalma görülmüştür. Bununla birlikte

ızgaralı yapının kanat ucunda oluşan girdaplı hava akışının ızgarasız yapıya göre daha düzenli olduğu sonucuna varılmıştır [13].

Guerrero ve arkadaşları (2012), kuşların kanat ucu yapısından esinlenerek kanatçık tasarımlarını incelemiştir. 360° açığa sahip kanatçık geometrisi ile standart kanat akış analizinde karşılaştırılmıştır. -3° ve 8° hücum açısı aralığında yapılan analiz sonucunda kanatçıklı yapının, kaldırma katsayısını %9 artırdığı, rüzgâr direnci katsayısını ise %28 azalttığı gözlemlenmiştir. Standart kanadın stall açısı 12° iken, biyomimetik yapıya sahip kanadın stall açısının 16° 'ye kadar ulaştığı görülmüştür. Kanatçıklı yapı sayesinde L/D oranında %10 iyileşme olmuştur. Bununla birlikte kanat ucunda görülen dalgalı akış yapısı kanatçıklı yapıda düzenli akışa dönüşmüştür [14].

Demirhan ve Başak'ın yaptığı çalışmada (2017); Kambur Balinanın yüzgeçlerinde bulunan formdan esinlenerek yapılan kanat tasarımı, standart kanat tasarımıyla kıyaslanmıştır. Her iki kanat tasarımında da NACA0020 kesiti kullanılmıştır. Tasarım ve analiz sürecinde Solidworks programından yararlanılmıştır. Oluşturulan tasarım Resim 2.8.'de gösterilmiştir. Bu tasarımlar üzerinde yapılan farklı hız değerlerindeki CFD analizleri sonucunda; kanatlarda oluşan sıcaklık, hız ve basınç verileri karşılaştırılmıştır. Bu parametreler yüzdelik verim oranları üzerinden kıyaslanmıştır. Elde edilen bulgularda kambur balina yüzgeç formuna sahip olan tasarım, standart kanat tasarımına göre tüm parametrelerde daha yüksek verimlilik göstermiştir. Ayrıca bu tasarımda standart tasarıma göre daha az gerilme olduğu için mukavemeti ve ağırlığı daha az olan malzemelerin kullanılabilceği sonucuna varılmıştır [15].



Resim 2.8. Kambur Balinaların süzgeçlerine benzetilerek oluşturulan tasarım [15]

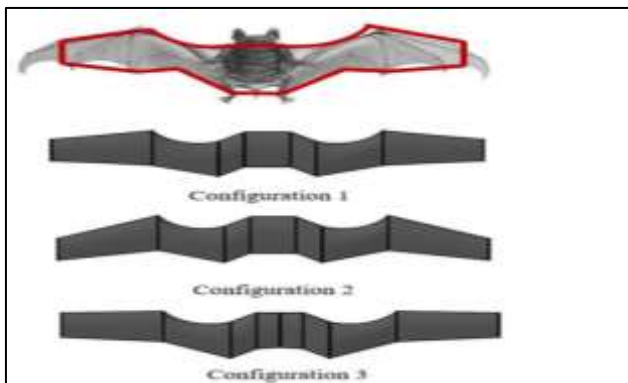
Nithiyapathi ve arkadaşlarının (2020) yaptığı çalışmada; biyomimetik tabanlı insansız hava aracı kanat tasarımı için kuzey sumrusu, beyaz pelikan, kaya kartalı ve albatros kuşlarının kanat yapıları tasarlanarak aerodinamik performans açısından karşılaştırılmışlardır. İki boyutlu kanat kesiti olarak literatür araştırmalarında en çok karşılaştıkları NACA 4412, NACA 2412, NACA 23012, NACA 0012, NACA 0006, MH60 ve GOE 174 kanat tipleri XFLR5 programı yardımı ile iki boyutlu akış analizinde incelenmiştir. Reynold sayısı 5×10^4 varsayılmış, kanatların aerodinamik performansı 2° ile 8° arasındaki hücum açılarında incelenmiştir. İnceleme sonucunda GOE 174 en iyi performansı gösterdiği için kanat kesiti olarak kullanılmasına karar verilmiştir. Üç boyutlu test için kuzey sumrusu, beyaz pelikan, kaya kartalı ve albatros kuşlarının kanat yapıları XFLR5 ve Solidworks programları ile tasarlanmıştır. Analiz için ise XFLR5 ve Ansys programları kullanılmıştır. Tasarımları aynı şartlarda kıyaslayabilmek için kanat uzunlukları ve kanatların alanları aynı değerlerde tutulmaya çalışılmıştır. Kaldırma katsayısı/rüzgâr direnci katsayısı oranı karşılaştırma parametresi olarak kullanılmıştır. 15 m/s akış hızında yapılan analiz sonucunda, bahsi geçen kuş türleri arasında albatros kuşunun kanat yapısı en iyi performansı sunmuştur. Bu performansa göre 6° ve 8° hücum açılarında maksimum kaldırma katsayısı değerine ulaşılmıştır. Ayrıca 3° hücum açısında C_L/C_D oranı 27,4 değerine ulaşmış ve maksimum uçuş verimliliği sağlanmıştır [16].

Bektaş ve arkadaşlarının (2020) yaptığı çalışmada, yaban arısı ve sphinx kelebeğinin kanat yapısından esinlenerek Solidworks programında tasarlanan kanatlar, Ansys programı yardımı ile akış analizine ve statik analize tâbi tutulmuştur. Analizlerde karşılaştırma yapabilmek için farklı materyaller denenerek sonuçlar gözlemlenmiştir. Ayrıca mesh sayısının analize olan etkisi de farklı mesh yapıları ile karşılaştırılarak incelenmiştir. Akış test sonuçları farklı kaynaklardan elde edilen rüzgâr tüneli test sonuçları ile karşılaştırılmış, yakınsamaları grafik üzerinde görselleştirilmiştir. Farklı hücum açılarında yapılan akış analizi sonucunda, her iki kanat türünde de 5° hücum açısında maksimum C_L/C_D oranına ulaşılmıştır. Maksimum kaldırma katsayılarının görüldüğü hücum açısı ise yaban arısı şeklinde 40° , sphinx kelebeği şeklinde ise 30° olmuştur. Her iki kanat tipinde de 0° 'de kaldırma katsayılarının da sıfır olduğu görülmüştür. Rüzgâr direnci katsayısı ise 0° ile 90° arasında hücum açısı artışı ile doğru orantılı şekilde artmış ve maksimum değerine 90° 'de ulaşmıştır. Akış analizinde; maksimum akış veri değerini veren, 5° hücum açısında yapılan statik testlerin sonucunda kanat uçlarında oluşan deformasyon miktarı incelenmiştir. Farklı malzemeleri karşılaştırarak yapılan bu mukavemet testi sonucunda, titanyum malzeme diğer

malzemelere göre daha iyi sonuç vermiş ve kelebek şeklindeki kanatta arı şeklindeki kanada oranla 11 kat daha fazla kanat ucu deformasyonu oluşmuştur. [17].

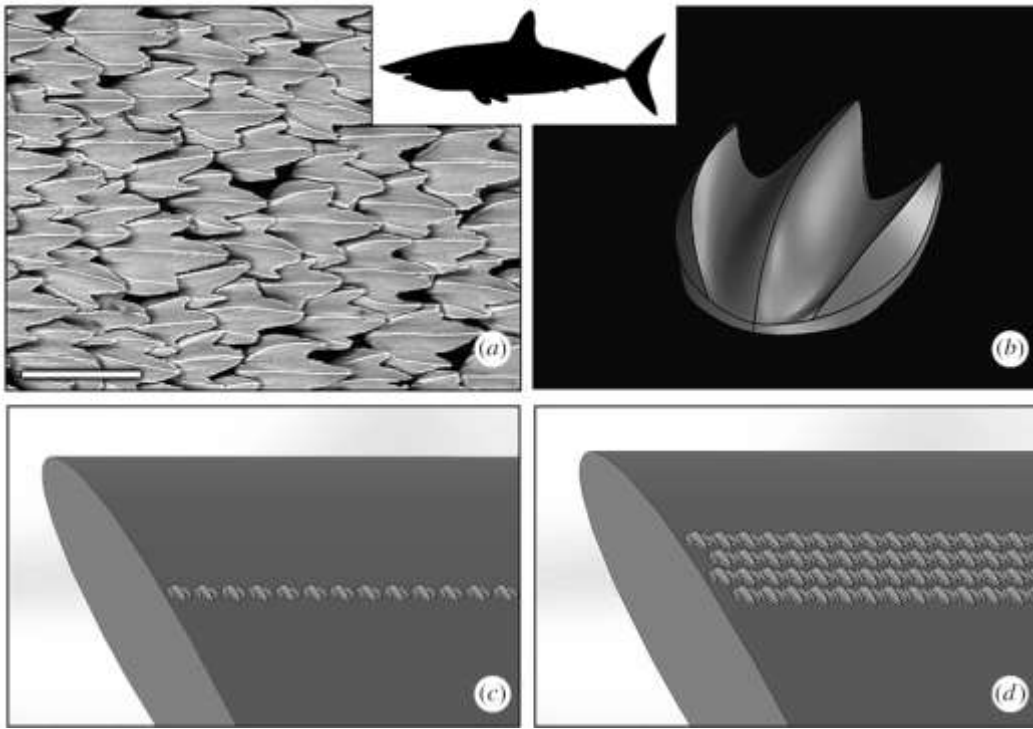
Suhami ve arkadaşlarının (2019) yaptığı çalışmada, yarasaların kanat ucu şeklinden esinlenerek küçük ölçekli hava araçları için kanat tasarlanmıştır. Çizimler için Catia programı, farklı hücum açılarında aerodinamik performansı incelemek için ise Ansys CFD modülü kullanılmıştır. 1 ms^{-1} hızda incelenen üç boyutlu kanat analizinde, kaldırma katsayısının maksimum değerinin 0,0014 olduğu ve kritik hücum açısı değeri olan 16° 'de meydana geldiği görülmüştür. Hücum açısı 0° olduğunda kaldırma direnci katsayısının da sıfır olduğu gözlemlenmiştir. Minimum rüzgâr direnci 3° hücum açısında oluşurken, L/D oranının en yüksek olduğu açı 12° olarak gözlemlenmiştir [18].

Stankoski ve arkadaşları çalışmalarında (2020), yarasaların kanat yapısından esinlenerek oluşturulan bir drone kanadı tasarımını incelemiştir. Öncelikle tasarımsal yapıları yarasa kanadına benzeyen, kanat açıklık oranları birbirinden farklı üç adet kanat tasarlamışlardır. Tasarımlar Resim 2.9.'da gösterilmiştir. Oluşturulan bu kanat tasarımlarını, kıyaslayabilmek için standart bir kanat ile birlikte üç boyutlu akış analizinde incelemiştir. Akış analizleri için Autodesk programının CFD ara yüzü kullanılmıştır. Standart kanat yapısı da dahil olmak üzere tüm kanat tiplerinde kanat kesiti olarak E386 kullanılmıştır. 10 ms^{-1} hızda yapılan akış testlerinde, Reynolds sayısı '100 000' olarak kabul edilmiştir. Oluşturulan üç kanat tipinin de kaldırma katsayıları standart kanattan daha yüksek değere sahipken, rüzgâr direnci katsayılarının standart kanada oranla daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. En iyi sonucu veren biyomimetik tabanlı kanat yapısında elde edilen bulgulara göre stall açısı 22° iken, L/D oranı açısının en yüksek (yani en verimli hücum açısı) 6° olduğu, minimum sürtünme katsayısının ise $1,5^\circ$ 'de meydana geldiği görülmüştür [19].



Resim 2.9. Yarasa kanat yapısından esinlenerek oluşturulan tasarımlar [19]

Domel ve arkadaşları (2018), su altı araçlarının kanat yapılarının aerodinamik performansını arttırmak için köpek balıklarının yüzeylerindeki çıkıntılı yapıyı Resim 2.10.'da gösterildiği gibi tasarımlarına uyarlamışlardır. Kanat kesiti NACA0012 kullanılmıştır. Köpek balığı derisinden uyarlanan parçanın farklı sayılarda versiyonlarını kıyaslamak için 20 adet küçük ölçekte kanat üretilmiştir. 0° ve 24° hücum açısı aralığında, $0,58 \text{ ms}^{-1}$ hızda su altında yapılan test sonuçları Ansys akış analizi sonuçları ile kıyaslanmıştır. Standart kanat ile yapılan kıyaslamalara göre C_L/C_D oranında tüm açılarda daha iyi performans elde edilirken en yüksek verime 0° ve 4° aralığında ulaşıldığı gözlemlenmiştir [20].



Resim 2.10. Köpek balıklarının yüzeylerine benzetilerek oluşturulan tasarım [20]

Uçuş esnasında kanat, kaldırma kuvvetini oluştururken aynı zamanda uçağın dengeli uçmasına engel teşkil eden yunuslama momentini ve rüzgârın uçuş yönüne ters yönde etki eden sürüklenme kuvvetini de oluşturmaktadır. Bu iki etken uçağın aerodinamik performansını da olumsuz etkilemektedir. Bu tez çalışmasında bu olumsuz aerodinamik etkenleri minimize etmek için biyomimetik bilim dalından faydalanılmıştır. Çalışmanın diğer biyomimetik kanat tasarımı çalışmalarından farkları aşağıdaki gibidir;

- 1- Kanat tasarımında farklı canlı türlerinden esinlenilmiştir,
- 2- Diğer çalışmalardan farklı olarak akış analizleri sonuçlarına göre yapısal analizler gerçekleştirilmiştir,
- 3- Referans alınan uçak türünün kanat ölçüleri ve kanat malzemesi baz alınarak yeni biyomimetik tasarımlar oluşturulmuştur,
- 4- Akış analizlerinde kanat ucundaki rüzgâr akışı incelenmiştir,
- 5- Çalışma sonucunda referans alınan uçak türünün kanadı ile biyomimetik bilim dalından faydalanılarak oluşturulan kanat tasarımının ağırlığı, maksimum basınç değeri, maksimum deformasyon değeri, maksimum Von-Mises gerilim değeri ve maksimum stres değeri kıyaslanmıştır,
- 6- Ansys ve XFLR5 programında elde edilen akış analizi sonuçları rüzgâr tüneli test sonuçları ile kıyaslanmıştır,
- 7- Yapısal analiz sürecinde daha gerçekçi sonuçlar elde edebilmek için yer çekimi ivmesi de analize dahil edilmiştir,
- 8- Kanat kesit seçimi için literatürde en çok kullanılan kanat kesitleri ve referans alınan uçak türünün kanat kesiti iki boyutlu akış analizinde kıyaslanmıştır.

Bu çalışmanın sonucunda biyomimetik bilim dalının havacılık sektöründeki tasarım süreçlerinde ve kullanımda olan uçakların kanat tasarımlarının iyileştirme süreçlerinde kullanılabileceği görülmüştür.

3. METOT

Kanadın ana işlevi, uçağı havada tutmak için aerodinamik kaldırma kuvveti oluşturmaktır. Fakat uçuş esnasında kanat, kaldırma kuvvetini oluştururken aynı zamanda uçağın dengeli uçmasına engel teşkil eden yunuslama momentini (uçuş sırasında kanadın rüzgâr direnci karşısında oluşturduğu yatay düzlemdeki moment) ve rüzgârın uçuş yönüne ters yönde etki eden sürüklenme kuvvetini de oluşturmaktadır. Bu iki etken uçağın aerodinamik performansını da olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle yapılan tüm kanat tasarımlarında asıl amaç, yüksek kaldırma kuvveti elde ederken düşük değerlerde yunuslama momenti ve sürüklenme kuvveti elde etmektir. Bu değerler uçağın yakıt tüketimi, taşıdığı yolcu veya mühimmat yükü, uçağın havalanması için gerekli olan kalkış mesafesi, çıkabileceği maksimum irtifa değeri ve uçağın manevra kabiliyeti gibi uçuş performansını oluşturan ana konuları etkilemektedir.

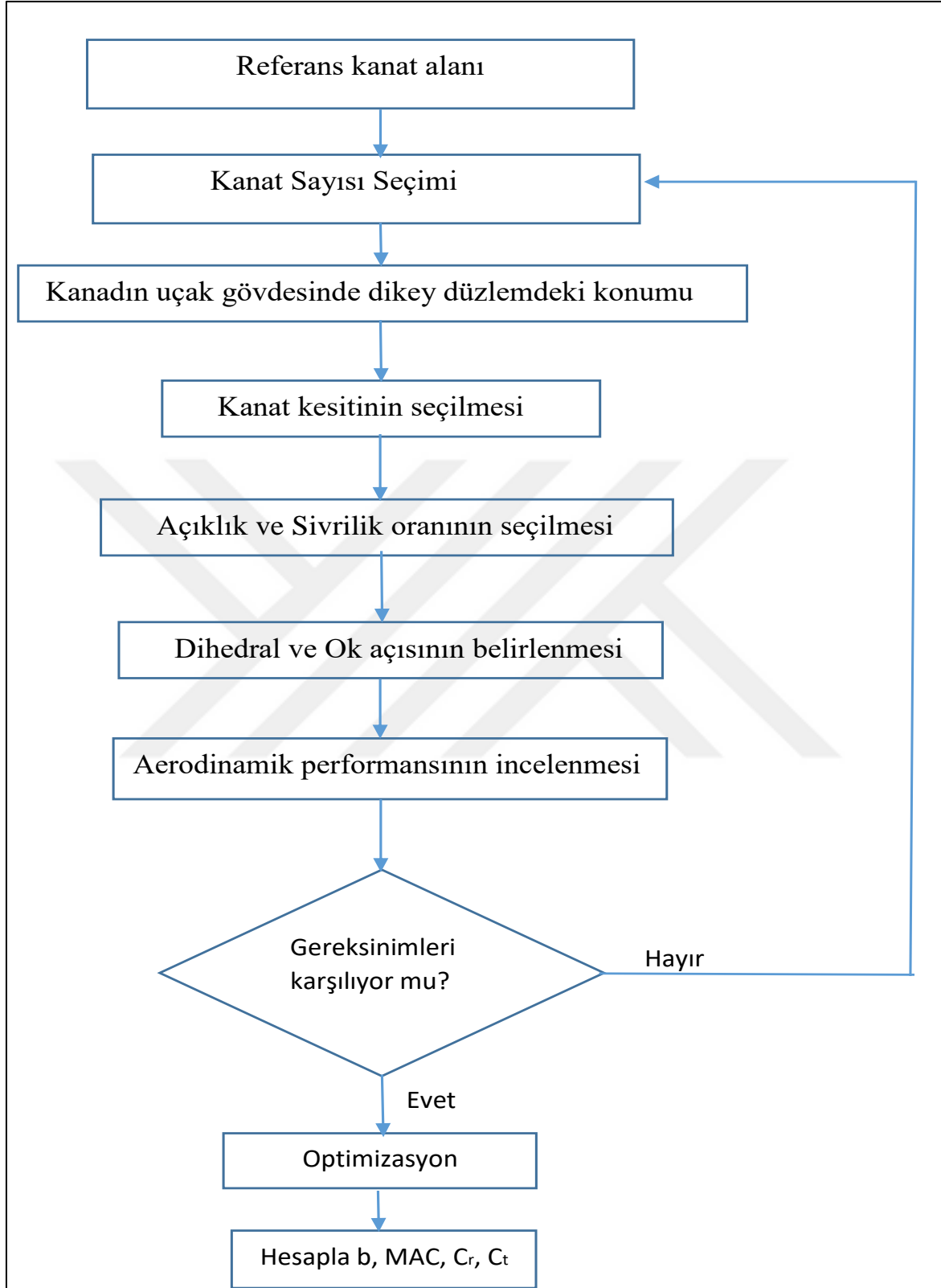
Tasarım gereksinimlerini karşılamak için kanat tasarımında belirlenmesi gereken önemli parametreler bulunmaktadır. Tasarım sürecinde ilerlemeler bu parametreler doğrultusunda gerçekleştirilir [21]. Bu parametreler şu şekilde sıralanabilir;

- 1- Referans kanat alanı
- 2- Kanat sayısı
- 3- Kanadın uçak gövdesinde dikey düzlemdeki konumu
- 4- Kanat kesitinin seçilmesi
- 5- Açıklık oranı
- 6- Sivrilik oranı
- 7- Dihedral açı değeri
- 8- Ok açısı
- 9- Büküm açısı
- 10- Kanatçık kullanımı

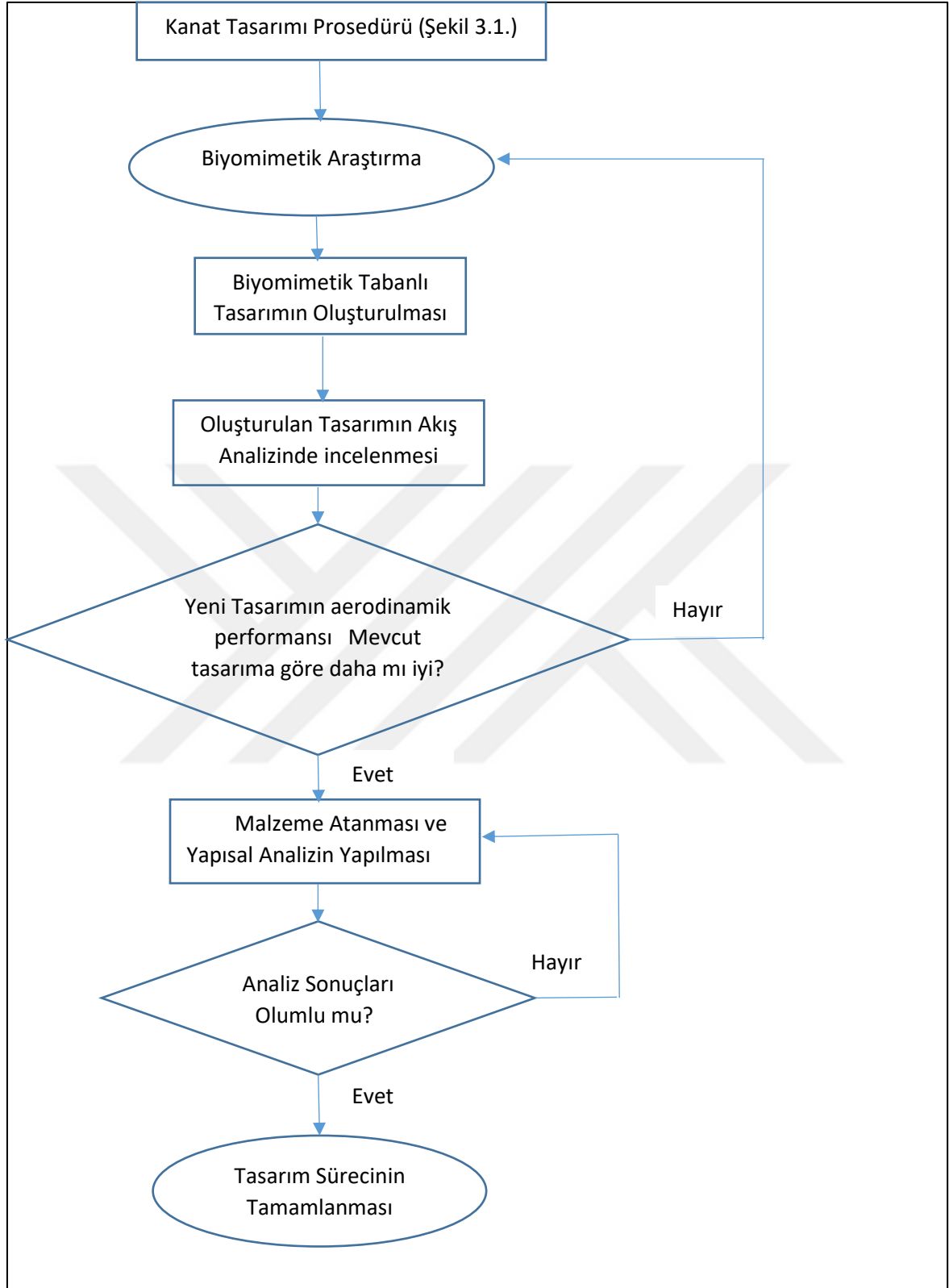
Bu çalışmada yukarıdaki parametreler incelenerek kanat tasarımı oluşturulmuştur. Oluşturulan tasarımı mevcut durumdaki kanat tasarımları ile kıyaslayabilmek adına uzun yıllardır kullanımda olan Cessna 172 uçağının kanat yapısı ele alınmıştır. Biyomimetik tabanlı kanat tasarımı için doğadaki uçabilen canlılar incelenmiş, yüksek aerodinamik verime sahip olan canlıların kanat yapısından esinlenerek tasarımlar yapılmıştır. Tasarım

için XFLR5 ve Catia V5 programları kullanılmıştır. Oluşturulan yeni tasarımın aerodinamik performansı Ansys CFD ve XFLR5 programları yardımı ile incelenmiştir. Sonrasında aerodinamik performansı, referans kanat tipi ile kıyaslanmıştır. Akış performanslarının incelenmesi ve iyileştirilmesi sonrasında yeni tasarlanan parça için malzeme seçimi gerçekleştirilmiştir. Malzeme seçimini takip eden süreçte, kanadın belirli hücum açılarında oluşan yüksek basınç değerlerinin kanat üzerindeki etkisi Ansys yapısal analiz modülü aracılığı ile incelenmiştir. Yapılan inceleme sonucunda parçanın dayanımının yeterli olup olmadığı gözlemlenmiştir. Açıklanan metodolojinin görselleştirilmiş hali Şekil 3.1. ve Şekil 3.2.'deki gibidir.





Şekil 3.1. Çalışmada uygulanacak ilk method



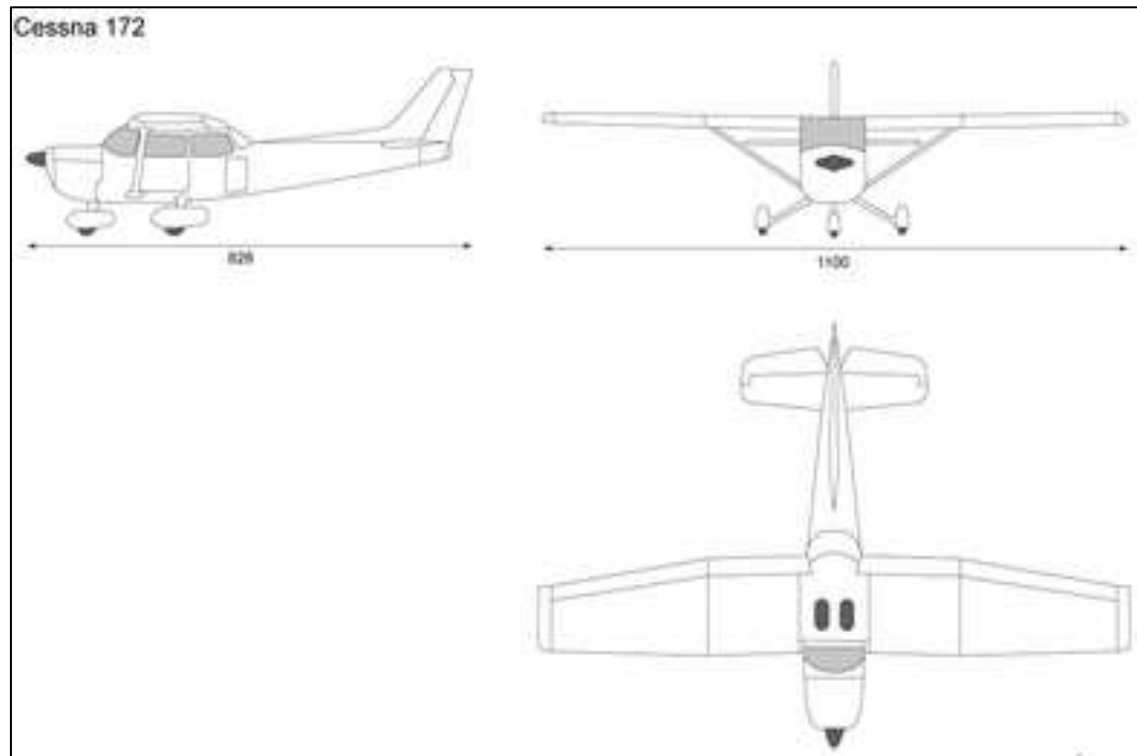
Şekil 3.2. Çalışmada uygulanacak ikinci method

3.1. Referans Kanat Alanı

Çalışmanın bu bölümünde Biyomimetik kanat tasarımını güncel bir uçak kanadıyla kıyaslayabilmek için referans kanat modelleri incelenmiştir. Yapılan inceleme sonucunda Cessna 172 uçak tipinin kanat ölçüleri ve uçuş şartları bilgisine ulaşılmıştır. Çizelge 3.1.'de Uçağın kanat yapısının ölçüleri ve uçuş bilgileri görülmektedir. Resim 3.1.'de Cessna 172 uçak tipinin yan, ön ve üst görüntüleri görülmektedir.

Çizelge 3.1. Cessna 172 uçağının kanat ölçüleri [22]

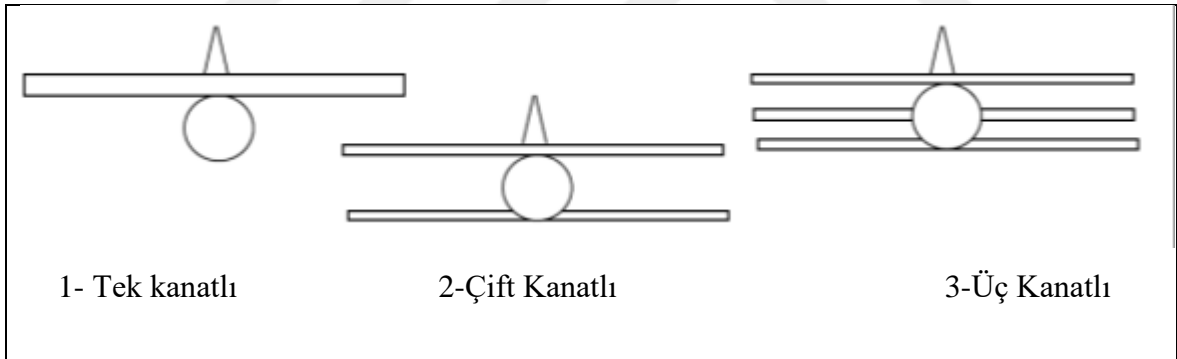
Cessna 172 Kanat Ölçüleri	
Kanat Kesiti	NACA2412
Kanat Uzunluğu	11 m
Gövde Kanat Genişliği	1,63 m
Kanat Ucu Genişliği	1,13 m
Dihedral	1,7°
Açıklık Oranı	7,5
Seyir Hızı	63 m/s
Hava Yoğunluğu	1,007 kg/m ³
Havanın Viscosite Değeri	1,714x10 ⁻⁵ m ² /s



Resim 3.1. Cessna 172 uçağının iki boyutlu görüntüleri [23]

3.2. Kanat Sayısı

Geçmiş dönemlerde, üretim koşullarından dolayı çok kanatlı yapılar yaygın olarak kullanılırken günümüz uçaklarında en çok tek kanatlı yapılar kullanılmaktadır. Bunun esas sebebi ise tek kanatlı yapılar genellikle çok kanatlı yapılara göre daha uzun kanat ölçüsüne sahiptir. Geçmiş üretim teknolojilerinde, kullanılan malzemeler uzun bir kanadın düz ve dayanımlı kalmasını yapısal olarak desteklemiyordu. Fakat gelişen üretim teknolojilerinin yanı sıra havacılıkta kullanılan hafif alüminyum ve kompozit gibi malzemeler sayesinde tek kanatlı uçak yapısına geçiş sağlanmıştır. Kısa ve çok kanatlı yapıların manevra kabiliyeti daha yüksek olduğu için bu yapılar günümüzde sadece akrobasi gösterisi yapan uçak tiplerinde tercih edilmektedir. Tek kanatlı yapılar daha yüksek kaldırma kuvvetine sahiptir ve daha az kanat yapısı kullanıldığı için ağırlıkları daha azdır [21]. Referans alınan Cessna 172 uçak tipinde tek kanatlı yapı kullanıldığı için bu çalışmada da tek kanatlı yapı kullanılmıştır. Şekil 3.3.'de uçaklarda kullanılan kanat sayılarına göre farklı konfigürasyonlar gösterilmiştir.

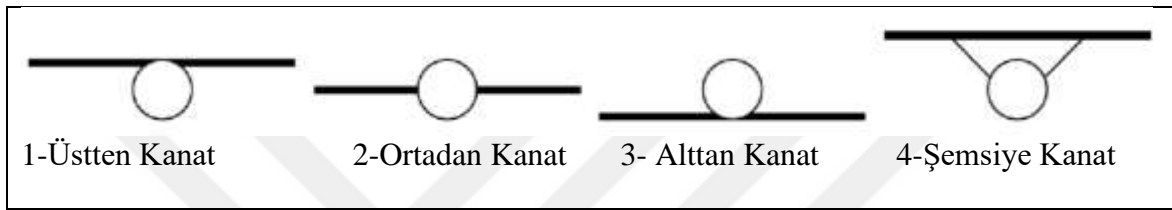


Şekil 3.3. Kanat sayısına göre üç seçenek (Önden görünüm)

3.3. Kanadın Dikey Pozisyonu

Kanat tasarımı aşamasında karar verilmesi gereken önemli parametrelerden bir diğeri de kanadın uçak gövdesine göre dikey konumudur. Bu konuma bağlı olarak dört farklı yapı bulunmaktadır. Bu yapıların önden görünüşleri Şekil 3.4.'de gösterilmiştir. Günümüz uçaklarında kanat pozisyonuna kullanım amacına göre karar verilmektedir. Kargo uçaklarında genellikle üstten kanat yapısı, savaş uçaklarında ise ortadan kanat yapısı kullanılmaktadır. Üstten kanat yapısında kaldırma kuvveti daha yüksek değere ulaşırken stall açısı daha düşük değere sahiptir. Kanat hava akımına karşı hareket ederken, uçağın burnu

yukarı doğru yunuslama momenti üretir. Bu nedenle uzunlamasına dengesizlik meydana gelir. Diğer kanat konumlarına göre üstten kanat tiplerinde kanadın konumundan dolayı uçağın ağırlık merkezi yukarı kayar. Ayrıca bu yapı uçağın ön kesitinde daha fazla alana sahip olduğu için uçağın maruz kaldığı sürüklenme kuvveti daha fazla olur. Bunların sonucunda yunuslama moment değeri üstten kanatlarda daha yüksek değere sahip olur ve dengesizlik diğer kanat tiplerine göre daha fazla hissedilir [21]. Kanat kesiti seçiminde bu bilgiler göz önünde bulundurulmalıdır. Bu çalışmada referans alınan Cessna 172 uçak tipinde üstten kanat yapısı kullanıldığı için benzer yapı kullanılmıştır.



Şekil 3.4. Kanadın dikey pozisyonuna göre dört farklı tip (Önden görünüş)

3.4. Kanat Kesiti (Airfoil) Seçimi

Kanat kesiti kanadın yüzey alanından sonra en önemli ikinci parametredir. Kanat kesiti, uçuş için gereken kaldırma kuvvetinin oluşturulabilmesi için kanadın üst ve alt yüzeylerinde optimum basınç dağılımının üretilmesinden sorumludur.

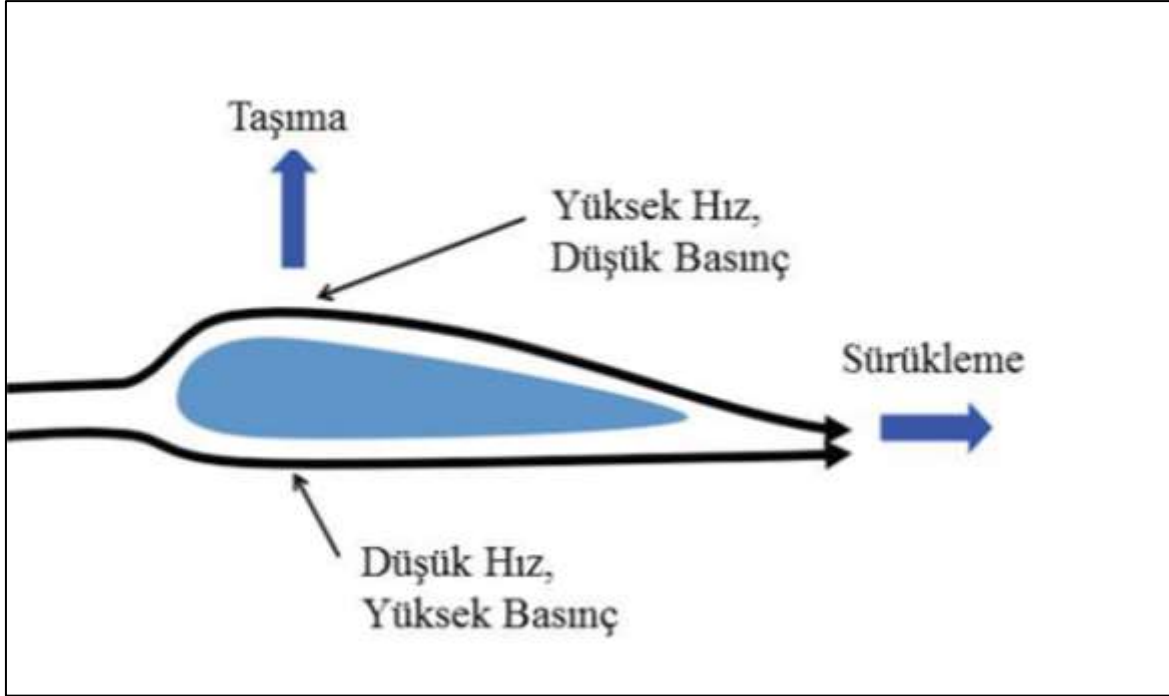
Kanat kesiti seçiminin yapılabilmesi için kanat üzerinde oluşan aerodinamik etkilerin incelenmesi gerekmektedir. Bu nedenle kesit seçiminden önce kanat aerodinamiğini etkileyen faktörler ve akış analizi yöntemleri incelenmiştir.

3.4.1. Kanat aerodinamiği

Aerodinamik, hava ve diğer gaz halindeki akışkanların hareketini ve bu akışkanların cisimler üzerinde oluşturduğu etki kuvvetlerini inceleyen bir bilim dalıdır. Aerodinamik kuvvet iki nedenden kaynaklanır; cismin yüzeyindeki basınçtan kaynaklanan normal kuvvet ve gazın viskozitesinden kaynaklanan kesme kuvveti. Basınç, yüzeye dik yönde kesme kuvveti ise yüzeye paralel yönde etki eder. Bir kanat profili havanın içinde hareket ederken göreceli hareket yönü ile belirli bir açıda arkaya doğru bir aerodinamik kuvvet üretir. Bu aerodinamik

kuvvetin bağıl hareket yönüne paralel kuvvet bileşeni “sürüklenme kuvveti”, dikey kuvvet bileşeni ise “kaldırma kuvveti” olarak tanımlanmaktadır [1].

Havanın Şekil 3.5.’de gösterildiği gibi kanadın üst yüzeyinde alt yüzeyine göre daha hızlı olması durumunda, Bernoulli denkleminde göre basınç farkları oluşmaktadır. Üst yüzeyde hava akış hızı yüksek değere sahipken basınç değeri düşük olmaktadır. Alt yüzeyde ise hava akış hızı üst yüzeye göre daha az değere sahipken basınç değeri daha yüksek olmaktadır. Bu basınç farkından dolayı kanat yukarı yönlü kuvvet kazanır. Bu kuvvete kaldırma kuvveti denir ve L sembolü ile gösterilir. Kaldırma kuvveti; kanadın hücum açısı, kanat kamberi, açıklık oranı, sivrilik oranı ve ok açısı ile bağlantılıdır [6]. Kanat üzerinde oluşan kaldırma kuvveti Eş. 2.1’de gösterildiği gibi formülize edilmektedir.



Şekil 3.5. Kanat Profili üzerinde havanın akışı [24]

$$L = \frac{1}{2} \rho A v_{\infty}^2 (C_L) \quad (2.1)$$

$$D = \frac{1}{2} \rho A v_{\infty}^2 (C_D) \quad (2.2)$$

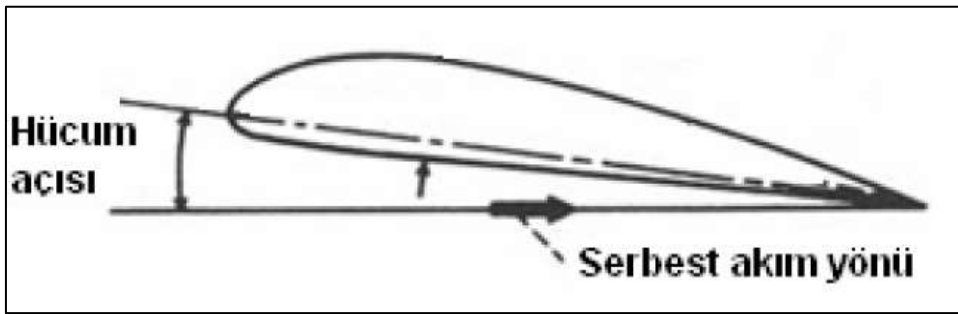
$$M = \frac{1}{2} \rho A v_{\infty}^2 (C_M) \quad (2.3)$$

ρ havanın yoğunluğu (kg/m^3), A yüzey alanı (m^2), V_∞ havanın akış hızı (m/s), C_L ölçsüz kaldırma katsayısı, C_D ölçsüz sürüklenme katsayısı ve C_M ölçsüz moment katsayısını ifade etmektedir.

Bir uçağın serbest akış hızına paralel ve uçuş yönüne zıt olan aerodinamik kuvvet, sürüklenme kuvveti olarak bilinir. Sürüklenme kuvveti, bir uçak için birçok dezavantajı beraberinde getiren en güçlü kuvvetlerden biridir. Sürüklenme kuvvetindeki artış; uçuş menzilin azalması, kalkış mesafesinin artması vb. gibi birçok dezavantajı beraberinde getirir. Sürüklenme kuvveti; uçağın uçuş hızına, kanat alanına, uçuş yüksekliğinin yoğunluğuna ve Sürüklenme katsayısına (C_D) bağlı olarak değişkenlik gösterir. Kanat üzerinde oluşan sürüklenme kuvveti Eş. 2.2’de gösterildiği gibi formülize edilmektedir.

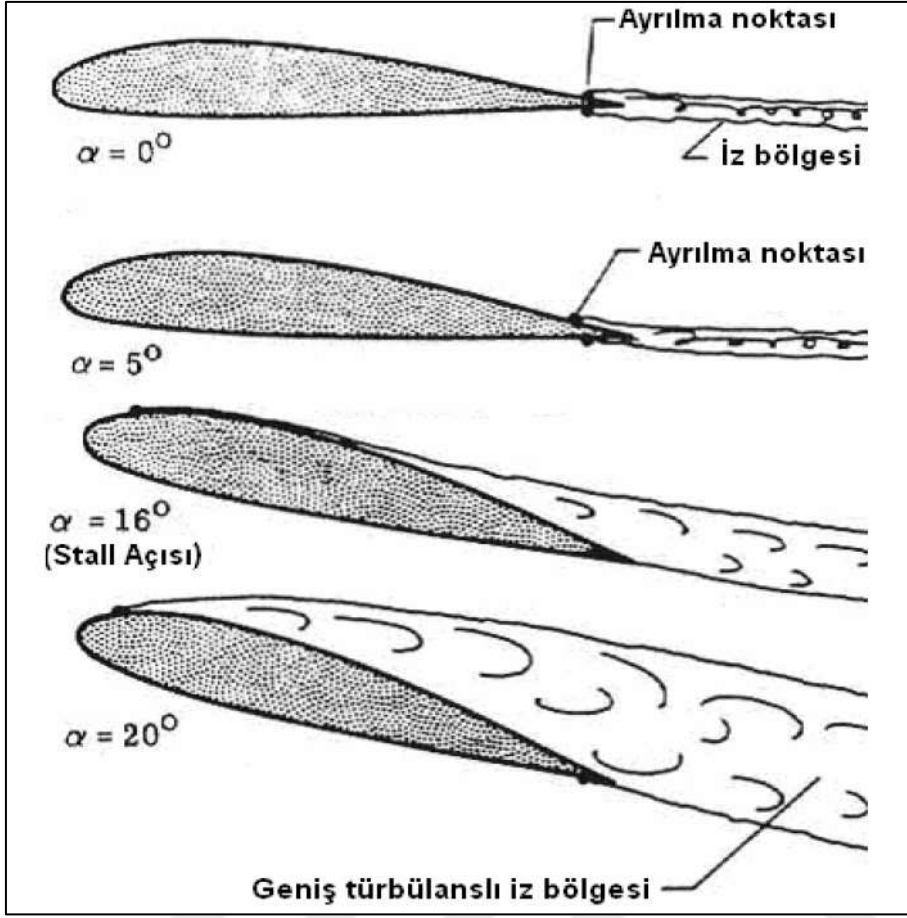
Uçuş sırasında kanadın rüzgâr direnci karşısında oluşturduğu yatay düzlemdeki moment Yunuslama momenti olarak tanımlanmaktadır. Kanat üzerinde oluşan yunuslama momenti Eş. 2.3’da gösterildiği gibi formülize edilmektedir.

Şekil 3.6.’da gösterildiği gibi rüzgârın akış yönü ile uçak kanadının merkez çizgisi arasında oluşan açığa “Hücum Açısı” denir. Bu açının kanat tarafından oluşturulan kaldırma kuvveti üzerinde büyük etkisi vardır. Hücum açısı arttıkça kanada etki eden kaldırma katsayısı (C_L) ve sürüklenme katsayısı (C_D) doğru orantılı olarak artar.



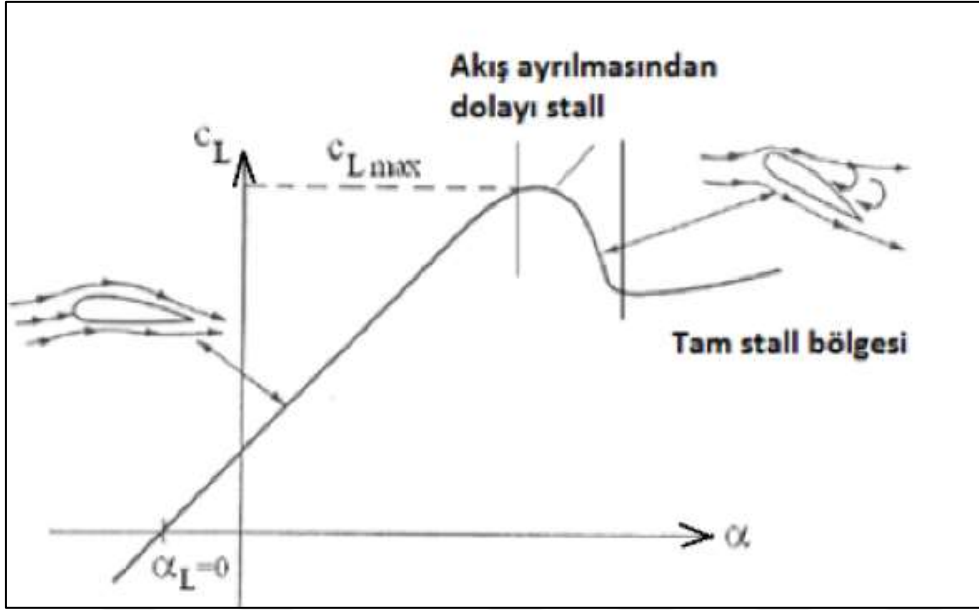
Şekil 3.6. Hücum açısının iki boyutlu görünüşü [25]

Düşük hücum açılarındaki kanadın üst kısmındaki hava akışı düzgün bir şekilde akar. Belli bir açıdan sonra hava akışı kanadın üst yüzeyinden ayrılmaya başlar ve kanat üzerinde Şekil 3.7.’de gösterildiği gibi girdaplı bir akış oluşur. Bahsi geçen bu açığa “stall açısı” ismi verilir.



Şekil 3.7. Farklı hücum açılarında kanat üzerindeki hava akışının görünüşü [25]

Kullanılan hücum açısının Stall açısı değerinden yüksek olması durumunda, kanat üzerindeki hava akışının ayrılmasından dolayı Şekil 3.8.'de de görüldüğü üzere kaldırma katsayısında ani düşüş meydana gelirken sürüklenme katsayısında artış görülür. Stall açısı kaldırma kat sayısının maksimum olduğu noktadır. Bu noktada maksimum kaldırma katsayısı stall açısının meydana geldiği hız ile ters orantılıdır. Bu nedenle yüksek kaldırma katsayısı daha düşük stall olma hızını sağladığı için daha güvenli bir uçuş sağlar. Stall açısı doğrudan uçuş güvenliği ile ilgilidir, çünkü uçak seyir halindeyken güç dengesini kaybedecektir. Bu durum sağlıklı bir şekilde kontrol edilmediği takdirde, uçak irtifa kaybedip düşecektir. Çoğu kanat profili için tipik stall açıları 12 ile 16 derece arasındadır. Uçuş esnasında bu kritik değer üzerine çıkılmamalıdır. Bundan dolayı yüksek stall açısına sahip olan kanat tasarımı daha güvenlidir. Diğer bir önemli nokta ise stall davranışıdır. Kanatın hücum açısına bağlı kaldırma katsayısı grafiğinde stall olduğu bölge ani geçişe sahip olması uçuş esnasında anlık stall olacağı için uçuş riskini arttırmaktadır. Bundan dolayı bu geçişin yumuşak olması amacı ile grafik değerlerindeki kaldırma katsayısı azalışı Şekil 3.8.'de gösterildiği gibi, keskin değil parabolik bir azalışa sahip olmalıdır [21].



Şekil 3.8. Kaldırma kuvvetinin hücum açısına göre değişimi [26]

Süzülme oranı, Eş. 2.4'de gösterildiği gibi kanadın kaldırma ve sürüklenme kuvvetleri ya da katsayıları arasındaki orandır. Ayrıca belirli bir zamanda yatay olarak kat edilen mesafenin irtifa kaybına oranıdır [27]. Örneğin süzülme oranı 5 olan bir planör 1 km yükseklikten uçuşa başladığında 5 km menzil kat edebilir. Bu nedenle uçakların aerodinamik performansın kıyaslanmasında süzülme oranı değeri çok önemlidir.

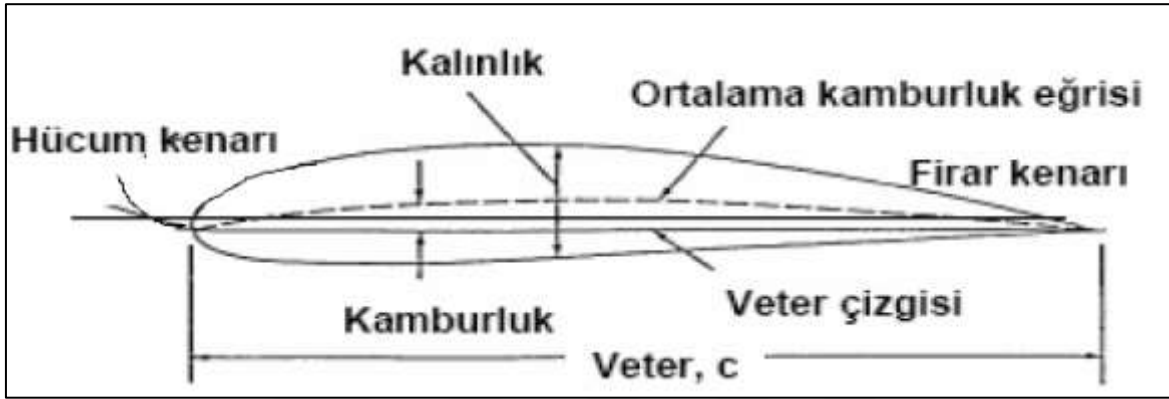
$$E = \frac{L}{D} = \frac{C_L}{C_D} \quad (2.4)$$

Kanat aerodinamik performansı incelendiği zaman kıyaslama yapabilmesi için en önemli parametreler; C_L , C_D , C_M değerleri, süzülme oranı ve stall açısı değeridir. İki boyutlu kanat kesiti analizinde ve üç boyutlu kanat analizinde bu değerler üzerinden aerodinamik performans karşılaştırmaları yapılmaktadır.

Reynolds sayısı, bir sıvı akışında atalet kuvvetlerinin viskoz kuvvetlere oranını tanımlar ve test koşulları oluşturulurken en önemli parametrelerden biridir. Reynold sayısının formülü Eş. 2.5'de gösterildiği gibidir. Bu eşitlikte ρ akışkan yoğunluğu, V akışkanın hızı, L karakteristik uzunluk, μ akışkanın dinamik viskozitesidir. [6]

$$Re = \frac{\rho v L}{\mu} \quad (2.5)$$

Kanat profilinin şekli ve tasarımı, görev gereksinimine ve uçağın performansına bağlı olarak her tip uçak için farklıdır. Kanat profili; uçuşun tüm aşamalarında seyir hızını, kalkış ve iniş mesafelerini, stall hızını, yol tutuş özelliklerini, yakıt tüketimini ve aerodinamik verimliliği etkiler. Bir kanat profili kesitinin tam geometrisini belirlemek için Şekil 3.9.'da görüldüğü üzere kanat uzunluğu, ortalama kamburluk çizgisi, kalınlık ve hücum kenarı yarıçapı gibi parametreler kullanılır.

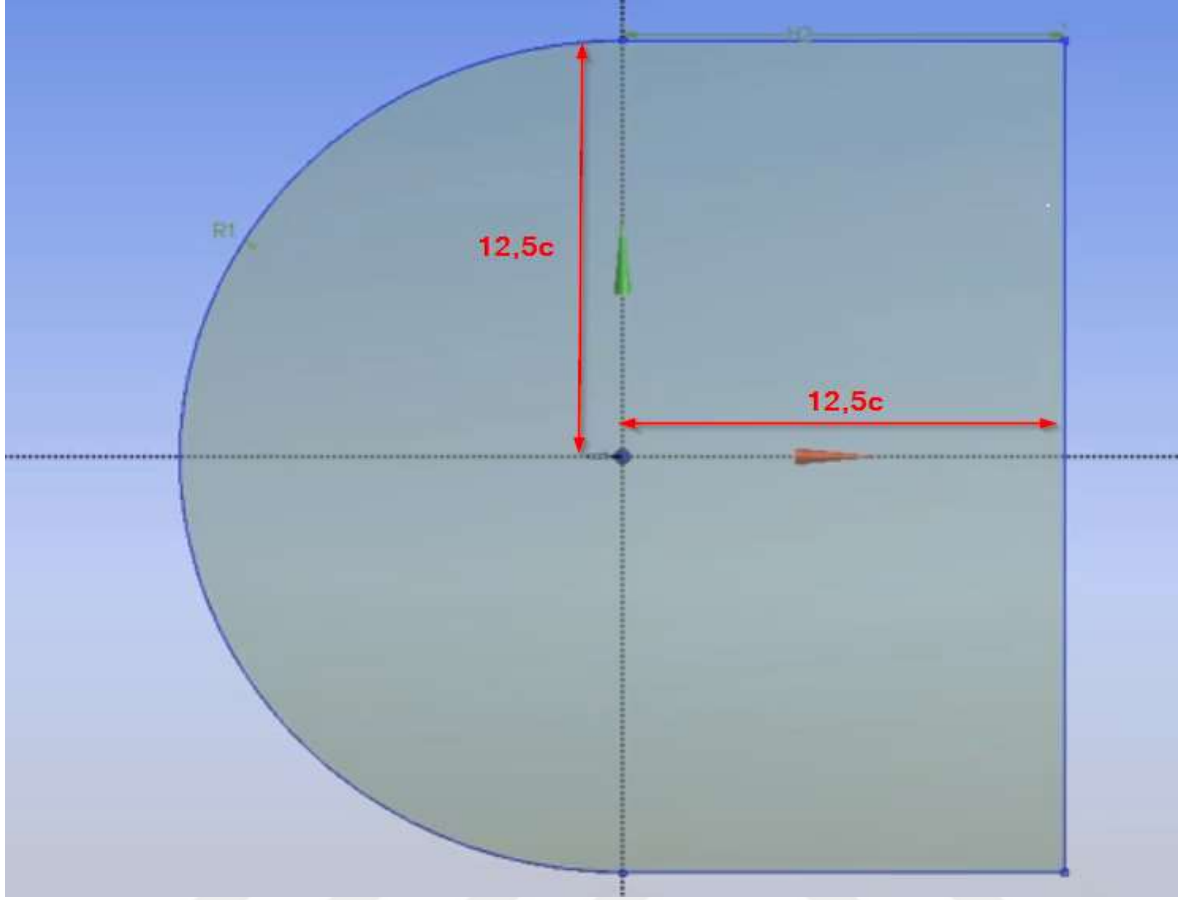


Şekil 3.9. Kanat kesitinin ölçü parametreleri [27]

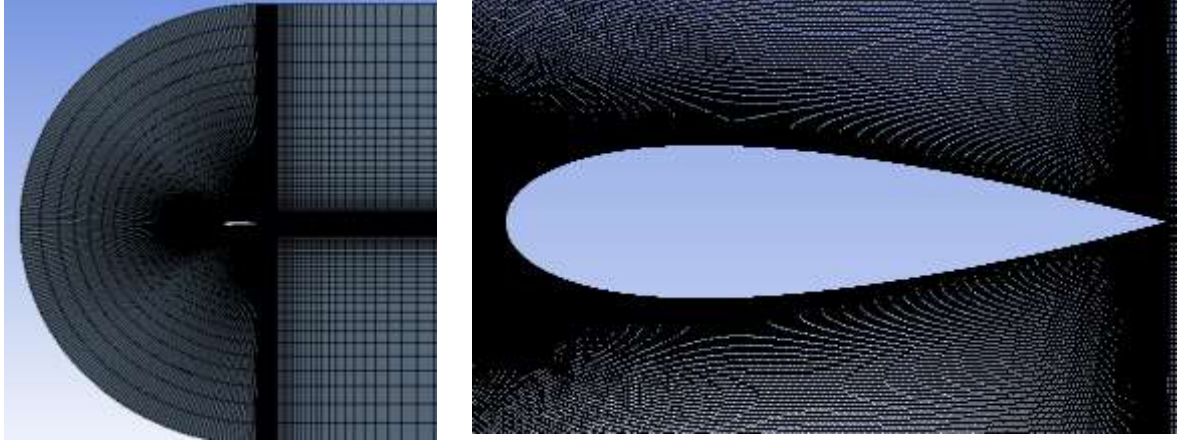
Dört, beş ve altı basamaktan oluşan Naca kanat kesit isimleri, 1930'ların başında Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi'nin (NASA) öncülüğünde Ulusal Havacılık Danışma Komitesi (NACA) tarafından sistematik olarak oluşturulmaya başlanmış ve kanat profillerinin kapsamlı testleri sırasında geliştirilmiştir [6]. Örneğin NACA2412 için ilk rakam olan "2", bu kanat profilinin maksimum $0,02c$ kambere sahip olduğunu, İkinci basamak olan "4", maksimum bombesinin hücum kenarının $0.4c$ arkasında bulunduğunu belirtir. Son iki basamak olan "12" ise, kanat kesitinin maksimum kalınlığının $0.12c$ olduğunu belirtir. Bu parametrelerde belirtilen " c (veter)" değeri ise kanat kesitinin uzunluğunu ifade etmektedir.

3.4.2. İki boyutlu akış analiz yöntemi

Çalışmanın bu kısmında NACA0012 kanat kesitinin aerodinamik performansı incelenmiştir. Ansys 2021 R1 sürümünde yapılan incelemede C tipi ağ yapısından faydalanılmıştır. Resim 3.2.'de gösterildiği gibi kanat uzunluğunun 12,5 katı ölçüde uzunluk ve yükseklikte test ortamı oluşturulmuştur. Resim 3.3.'de gösterildiği üzere kanat kesiti etrafında daha sık ağ yapısı kullanılarak test sonucundaki hassasiyet oranı artırılmaya çalışılmıştır.

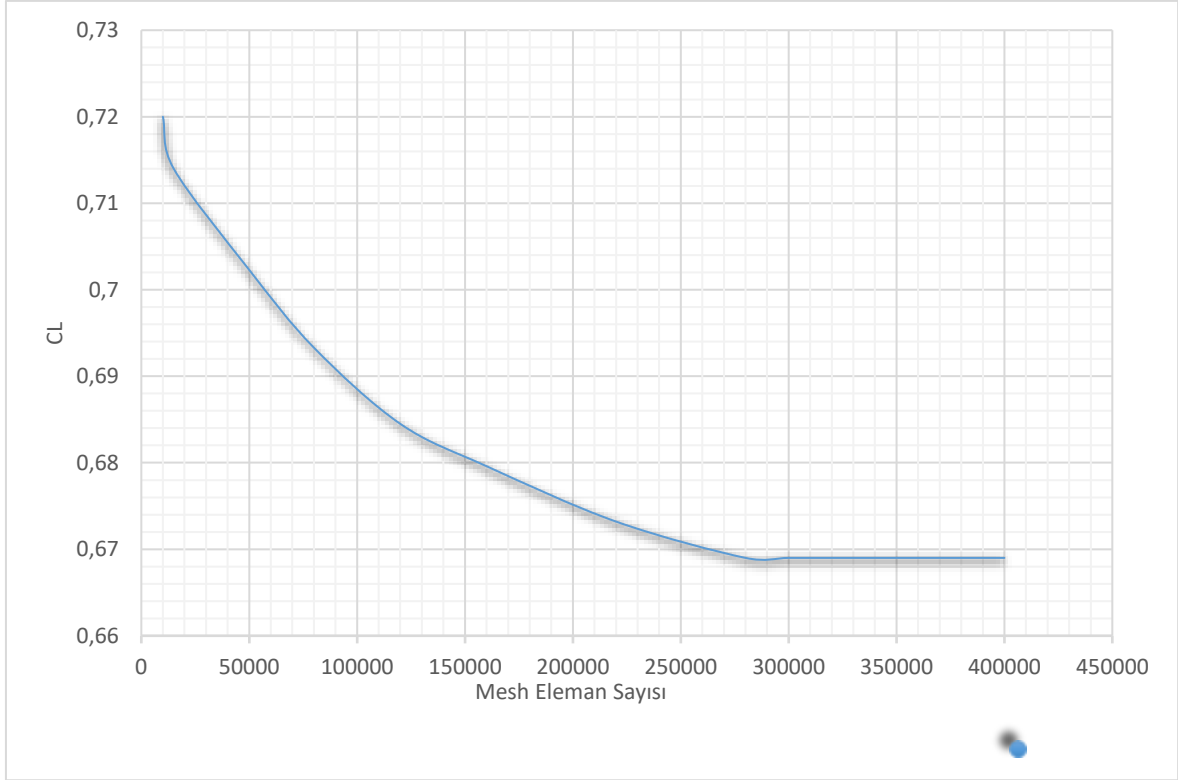


Resim 3.2. Test ortamının kanadın ölçülerine göre boyutları



Resim 3.3. Test için oluşturulan ağ yapısı

Oluşturulan ağ yapısında optimum mesh eleman sayısına ulaşabilmek için farklı mesh eleman sayısında test edilen kaldırma kuvveti değerleri Şekil 3.10.'da gösterildiği gibi grafiksel olarak incelenmiştir. 300 000 üzerinde kullanılan mesh eleman sayısında sonuçların birbirine yakınsandığı gözlemlenmiştir. Bu bulgu sonucunda eleman sayısının 300 000 kullanılmasına karar verilmiştir.



Şekil 3.10. Kaldırma katsayısının hassasiyeti ile mesh sayısı arasındaki ilişki

Kullanılan ağ kalitesinin incelenmesi için çarpıklık değeri üzerinden yapılan incelemede, 300.000 mesh elamanı kullanılarak oluşturulan ağ yapısının maksimum çarpıklık değerinin 0,676 olduğu gözlemlenmiştir. Resim 3.4.'de gösterilen mesh çarpıklık tablosuna göre maksimum çarpıklık değerinin iyi seviyede olduğu görülmüştür.

Mesh Çarpıklık Tablosu					
Muhteşem	Çok iyi	İyi	Kabul edilebilir	Kötü	Kabul edilemez
0-0.25	0.25-0.50	0.50-0.80	0.80-0.94	0.95-0.97	0.98-1

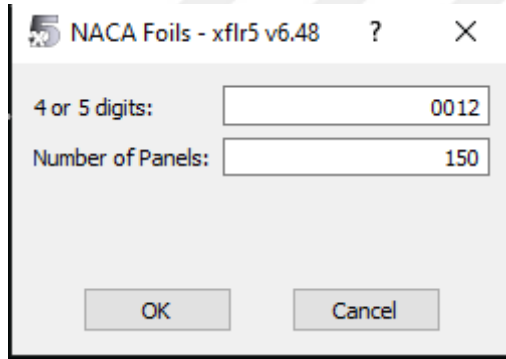
Resim 3.4. Mesh çarpıklık tablosuna göre ağ kaliteleri

Ağ kalitesinin sonuç hassasiyetini ve Ansys CFT analizinin sonuç yakınsamasını incelemek için 6° hücum açısında 1 ms^{-1} hızda NACA0012 kanat kesitinin rüzgâr tüneli test sonuçları Cornell Üniversitesinin kaynaklarında incelenmiştir. Hız bileşen değerleri CFT analiz programına girilirken hücum açısının sinüs ve kosinüs değerleri kullanılmıştır. Rüzgâr tüneli testi sonucunda kanat kesitinin kaldırma katsayısının 0,6630 olduğu görülmüştür [32]. Yapılan CFT analizi sonucunda ise bu değer 0,6690 bulunmuştur. Elde edilen bu sonuca

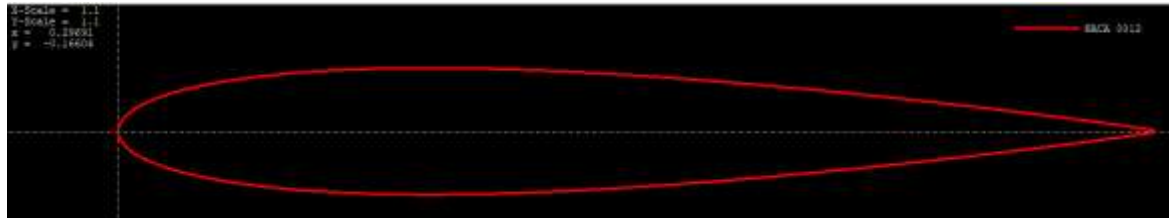
göre ANSYS akış analizi ve rüzgâr tüneli test sonucu arasında 0,9%'luk bir sapma olduğu gözlemlenmiştir.

Yapılan literatür araştırmalarına göre kanat çizimi ve akış analizi kapsamında yaygın kullanılan bilgisayar programlarından biri de XFLR5'tir. Programın kullanımını diğer analiz programlarına kıyasla daha basit yapıya sahiptir. Program; kanat profillerinin kaldırma katsayısını, sürüklenme katsayısını, yunuslama momentini, basınç katsayılarını iki boyutlu ve üç boyutlu analizlerde hesaplayıp karşılaştırabilmektedir.

'Direct Foil Design' modülü ile iki boyutlu NACA profillerinin tasarımları oluşturulur. Resim 3.5.'de gösterildiği gibi 'NACA Foil' komutu ile seçilecek olan NACA profil numarası yazılır ve 'Number of Panels' komutunda profil üzerindeki nokta sayısı seçilir. Bu nokta sayısı 150 olarak seçilmiştir, çünkü literatürde yapılan araştırmalara göre panel sayısının 150 olması durumunda sonucun daha hassas olduğu ve 150'den fazla olması durumunda ise sonuçların değişmediği görülmüştür [27]. Bu değerlerin girilmesiyle Resim 3.6.'daki gibi NACA0012'nin iki boyutlu çizimi oluşmaktadır.



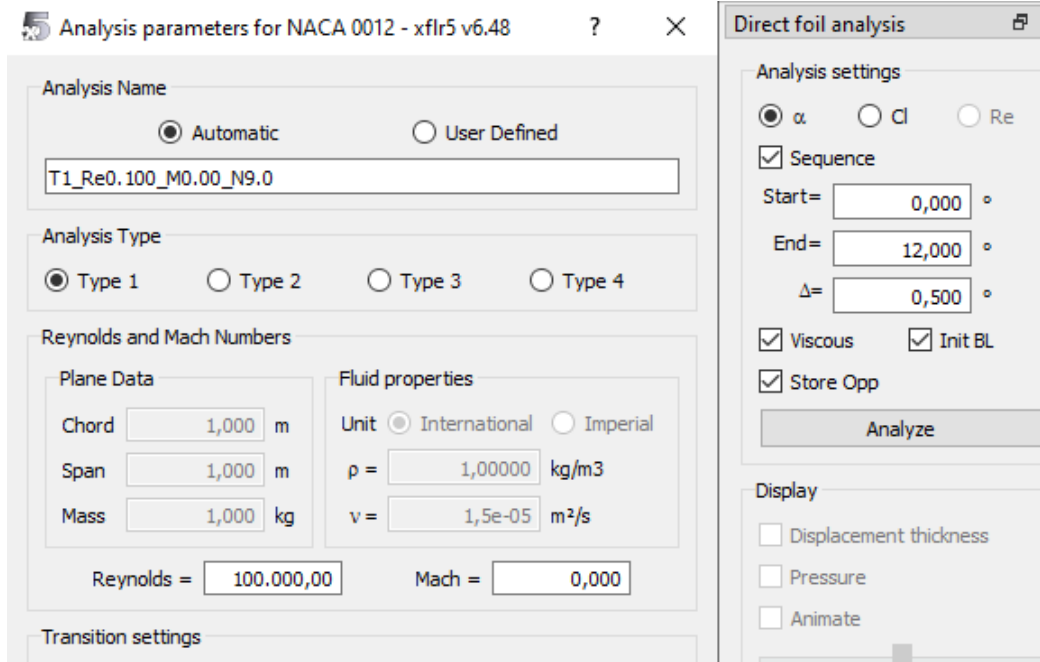
Resim 3.5. Kanat kesit ve panel sayısı seçimi



Resim 3.6. XFLR5 NACA 0012 kanat kesiti çizimi

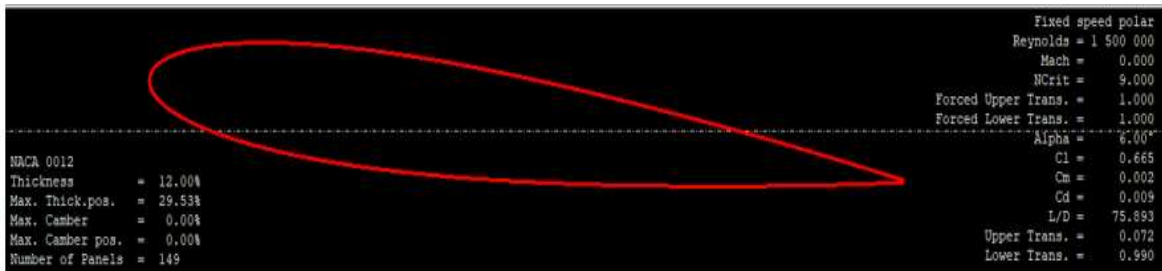
'XFOIL Direct Analysis' komutu ile iki boyutlu kanat akış analizi yapılabilmektedir. Bu bölümde analiz şartları oluşturulmaktadır. 'Define an Analysis' ikonu seçilir, Resim 3.7.'de

gösterildiği gibi Reynold sayısı veya akışın hızı girdi değer olarak yazılır ve hücum açısı değeri belirtilir. Bu bilgiler doğrultusunda yapılan test sonucunda kaldırma kuvvetinin, sürüklenme kuvvetinin, yunuslama momentinin ve süzülme oranının grafikleri elde edilebilmektedir. Ayrıca kanat kesiti üzerindeki basınç dağılımının (C_p) kanat kesitinin farklı bölgelerinde oluşturduğu basınç değerleri incelenebilmektedir.



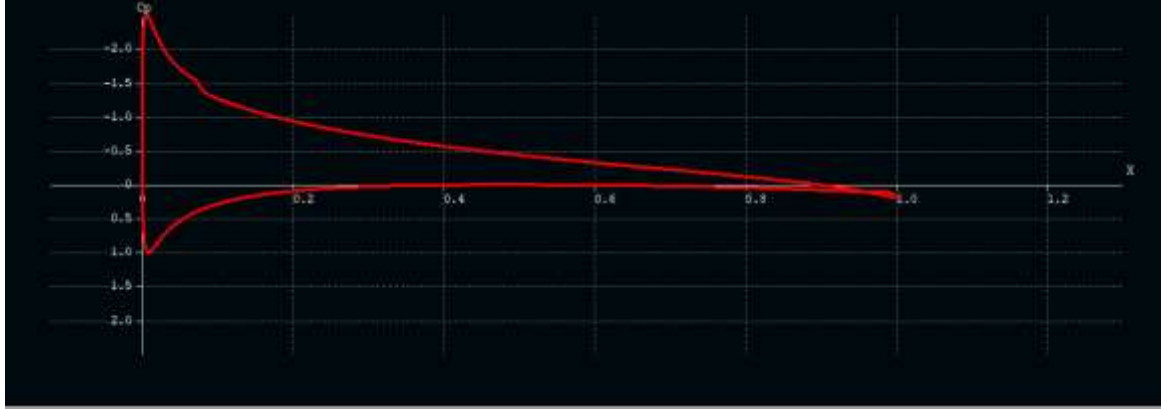
Resim 3.7. XFLR5 akış analizi test şartları

XFLR5 programında 6° hücum açısında 1 ms^{-1} hızda yapılan akış analizi, Cornell Üniversitesinin gerçekleştirdiği NACA0012 kanat kesitinin rüzgâr tüneli test sonuçları ile kıyaslanmıştır. Rüzgâr tüneli testi sonucunda kanat kesitinin kaldırma katsayısının $0,6630$ olduğu görülmüştür [32]. Resim 3.8.'de görselleştirilen test sonuçlarında kaldırma katsayısı (C_L) değerinin 0.665 olduğu gözlemlenmiştir. Elde edilen bu sonuca göre XFLR5 akış analizi ve rüzgâr tüneli test sonucu arasında $0,3\%$ 'luk bir sapma olduğu gözlemlenmiştir.



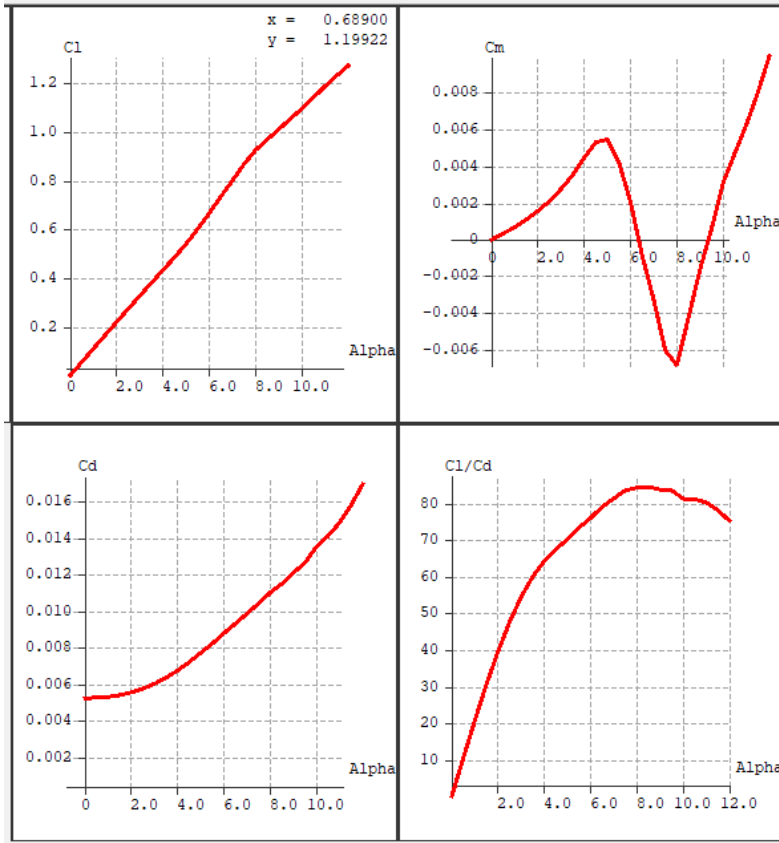
Resim 3.8. Kanat kesiti akış analizi test sonucu

Resim 3.9.'da hücum açısı 6° ve akış hızı 1 ms^{-1} iken NACA 0012 kanat kesitinin ucundan kuyruk kısmına kadar olan alandaki basınç değişimi görselleştirilmiştir. Resim 3.9.'da x değerinin 0 olması durumu kesitin ucunu ve 1 olması durumu kanadın kuyruk bölümünü simgeler. Kanat kesiti ilk uç kısmında rüzgarla karşılaştığı için kanatın bu bölümünde basınç değeri çok yüksek olurken kuyruk kısmına doğru bu basınç değeri düşmektedir.



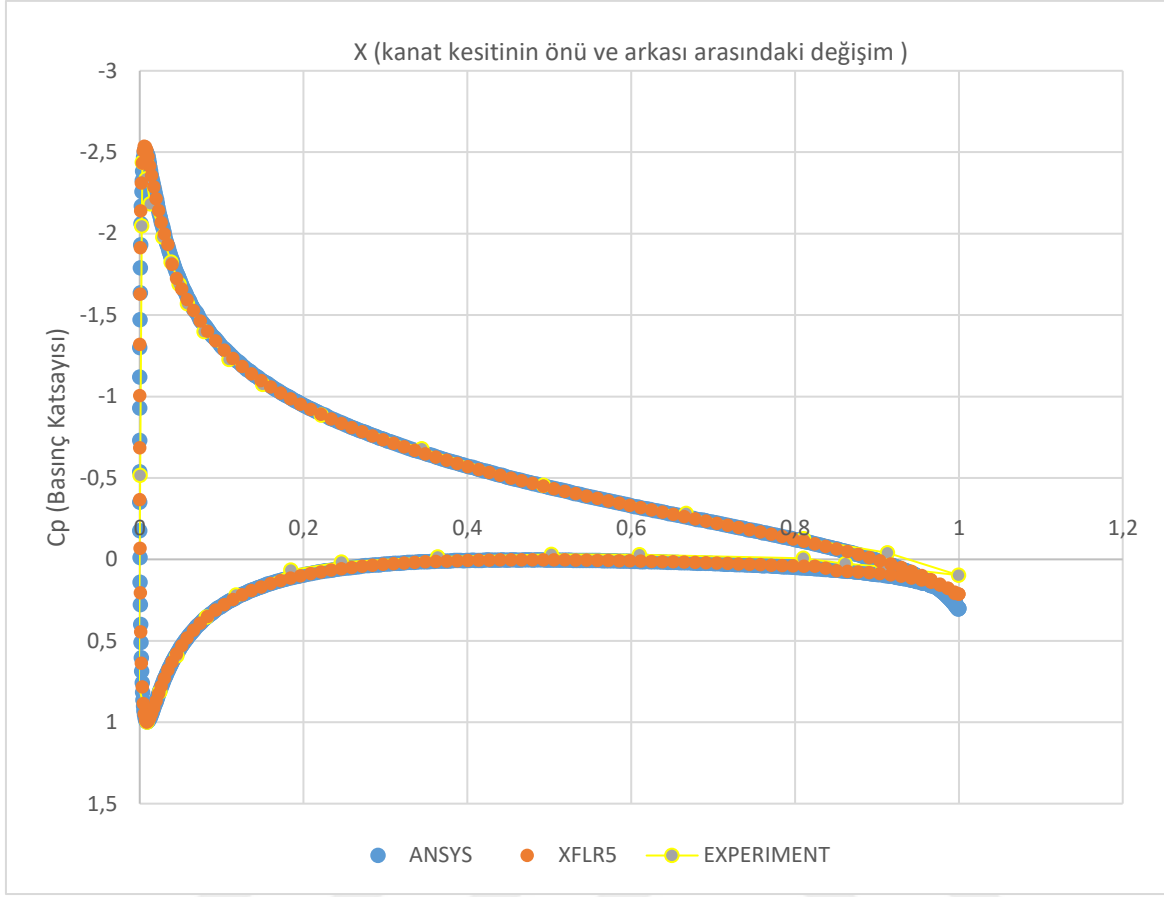
Resim 3.9. Kanat kesiti üzerinde basınç katsayı değişimi

Resim 3.10.'da hücum açısı 6° ve akış hızı 1 ms^{-1} iken NACA 0012 kanat kesitinde oluşan kaldırma kuvvetinin (C_L), sürüklenme kuvvetinin (C_D), yunuslama momentinin (C_M) ve süzülme oranının (C_L/C_D) hücum açısına (α) göre değişimleri görselleştirilmiştir.

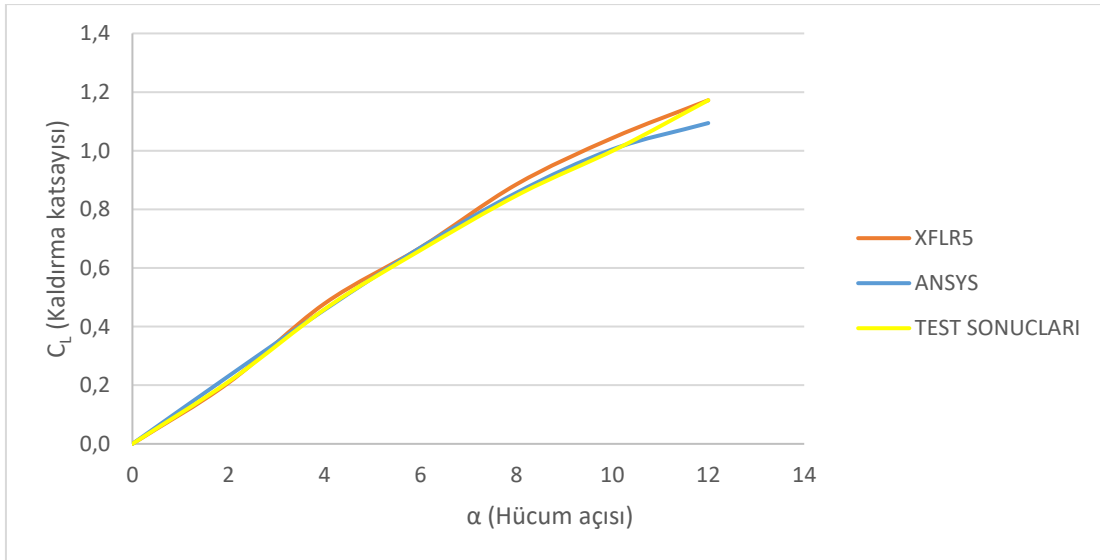


Resim 3.10. Kanat kesiti akış analizlerinin hücum açısına göre sonuçları

XFLR5 ve Ansys CFT analiz sonuçlarının yapılan rüzgâr tüneli test sonuçlarıyla yakınsamasını karşılaştırabilmek için Korea Advanced Institute of Science & Technology firmasının NACA0012 kesiti üzerinde yaptığı test sonuçları incelenmiştir [28]. $1,5 \times 10^6$ Reynold değerinde ve 6° hücum açısında yapılan rüzgâr tüneli test sonuçları XFLR5 ve ANSYS programlarında aynı şartlar altında tekrarlanmıştır, bu sonuçların karşılaştırması Şekil 3.11 ve Şekil 3.12’de gösterilmiştir. Şekil 3.11.’de kanat üzerinde basınç dağılım grafiği karşılaştırması ve Şekil 3.12.’de kaldırma katsayıları karşılaştırması yapılmıştır. Bu programlardan alınan sonuçlar, rüzgâr tüneli testi sonuçlarına yakın değer verdiği için çalışmada Ansys CFT ve XFLR5 programlarının kullanılmasına karar verilmiştir.



Şekil 3.11. Programlara göre kanat üzerindeki basınç dağılım grafiği karşılaştırması

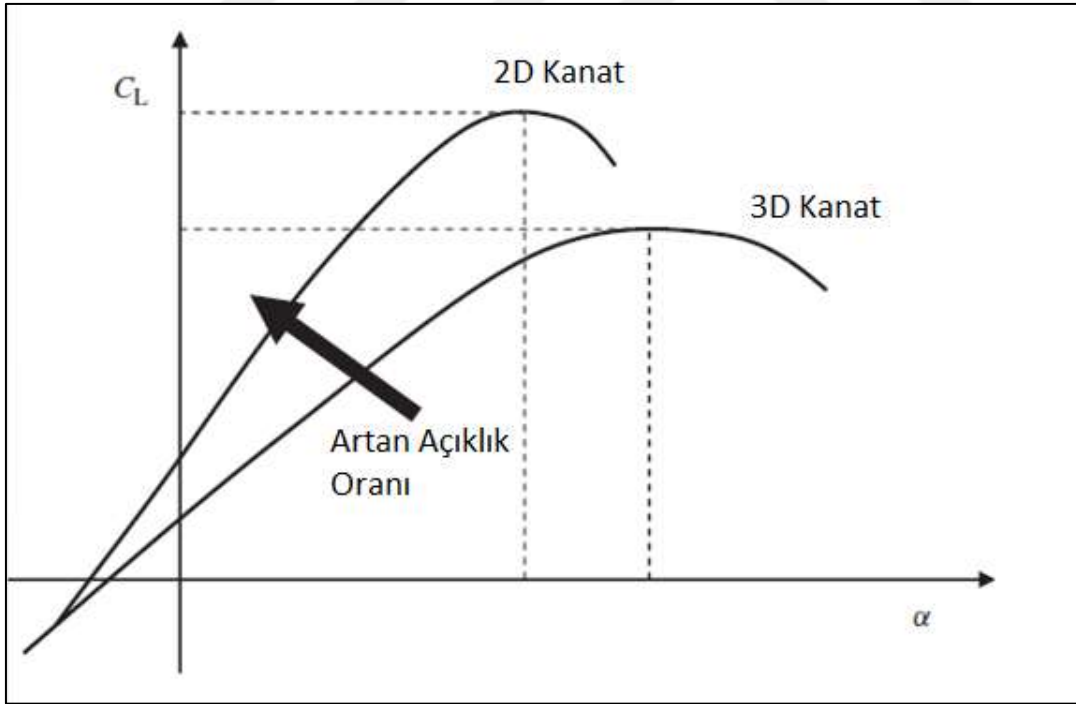


Şekil 3.12. Programlara göre kaldırma katsayısı karşılaştırması

3.5. Kanat Açıklık Oranı

$$AR = \frac{b^2}{S} \quad (3.2)$$

Bir kanadın açıklık oranı Eş.3.2’de belirtildiği gibi kanat açıklığı (b) ve kanat alanı (S) kullanılarak elde edilir. Şekil 3.13.’de görüldüğü üzere daha yüksek bir açıklık oranı, daha fazla kaldırma kuvveti oluşmasını sağlar. Bunun nedeni ise kanat en-boy oranındaki (AR) artış, indüklenen sürüklemeyi azaltır, dolayısıyla C_L ve L/D artar. Ancak bu kanat açıklığı artışı, x ekseninde kütle atalet momentini artırır. Bunun sonucunda uçağın manevra kabiliyeti azalır. Örneğin planörlerin kanat açıklık oranı savaş uçaklarına kıyasla çok fazla olduğu için manevra kabiliyetleri savaş uçaklarına göre daha düşük seviyededir. Bu nedenle manevra kabiliyeti istenen gereksinimlerde kanat açıklık oranı düşük değerlerde tutulmaktadır [21]. Çizelge 3.2.’de günümüzdeki uçak tiplerinin kanat açıklık oranları gösterilmiştir. Bu çalışmada referans olarak kullanılan Cessna 172 uçak tipinin kanat açıklık oranı 7,5 olduğu için yeni tasarımlarda bu orana yakın değerler kullanılmaya çalışılacaktır.



Şekil 3.13. Kanat açıklık oranı ile kaldırma katsayısı arasındaki ilişki [21]

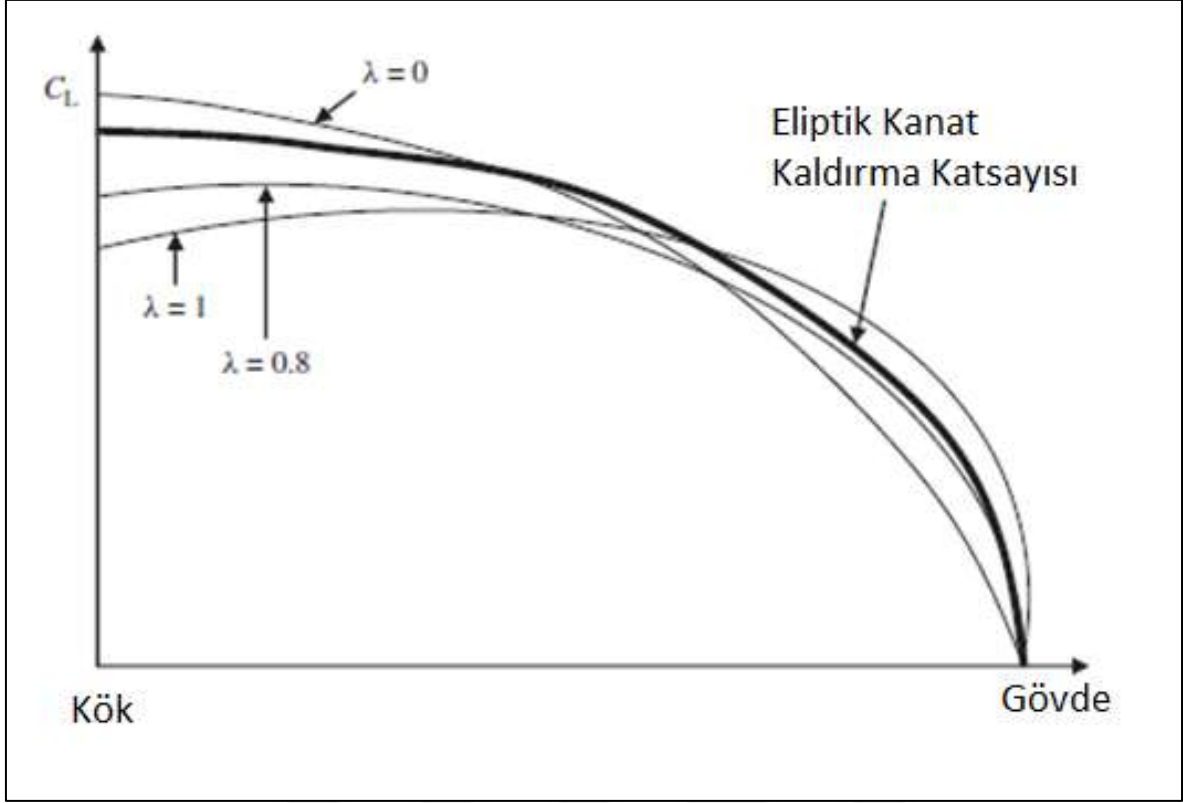
Çizelge 3.2. Uçak tiplerine göre kanat açıklık oranları [21]

No	Uçak Tipi	Açıklık Oranı
1	Yelken Kanat	4-8
2	Planör	20-40
3	Genel Havacılık	5-9
4	Jet Eğitim Uçakları	4-8
5	Ses hızının altında uçabilen uçaklar	6-9
6	Ses hızının üstünde uçabilen uçaklar	2-4
7	Taktik Misilleme Uçakları	0,3-1
8	Hipersonik Uçaklar	1-3

3.6. Sivrilme Oranı

$$\lambda = \frac{c_g}{c_u} \quad (3.3)$$

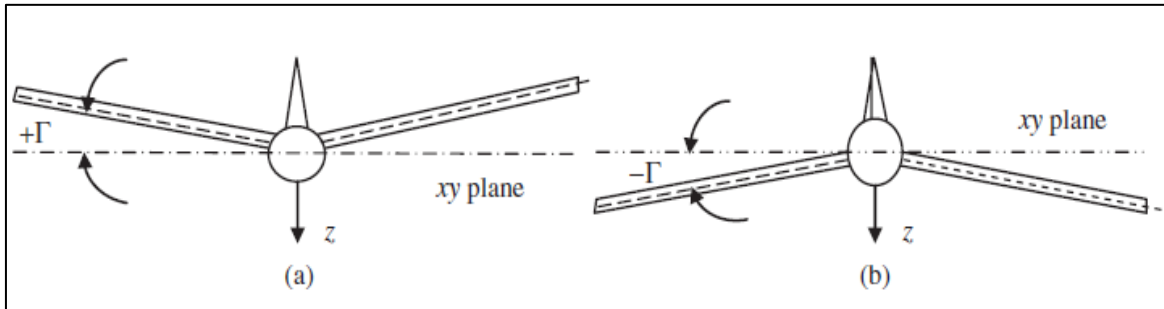
Sivrilme oranı (λ) Eş.3.3'de belirtildiği gibi kanadın gövdeye bağlandığı noktadaki veter uzunluğu (C_g) ile kanadın uç kısmındaki veter uzunluğunun oranına eşittir (C_u). Bu oran birimsizdir ve sıfır ile bir sayıları arasında değer alır. Sivrilme oranı kanat üzerindeki kaldırma katsayı dağılımının değişken olmasını sağlar. Kanat üzerindeki yük dağılımının etkisinin azaltılabilmesi için dikdörtgen yapı yerine eliptik yapıya sahip tasarımlar optimum yük dağılımı performansı sağlamaktadır. Şekil 3.14.'de sivrilik oranı değerlerinin eliptik yük dağılımına yakınsaması ve kaldırma kuvvetine olan etkileri görselleştirilmiştir. Sivrilik oranı azaldıkça kanadın ağırlığı da azalır. Ayrıca oluşan sivrilmeden dolayı kanadın ağırlık merkezi uçağın gövdesine yaklaşır. Bu yaklaşma uçağın yatay dengesini arttırdığı için uçuş dengesine olumlu etkide bulunur. Bu avantajlardan dolayı tasarımda sivrilik oranının sıfıra yakın tutulması arzulanır. Fakat bu tasarımın dezavantajı, kanat içerisinde kullanılan profil iskelet yapısının sivrilme oranından dolayı kanadın farklı alanlarında farklı ölçelerde olması ve üretim maliyetini artırmasıdır [21].



Şekil 3.14. Sivrilik oranlarının eliptik yük dağılımına yakınsaması [21]

3.7. Dihedral Açısı

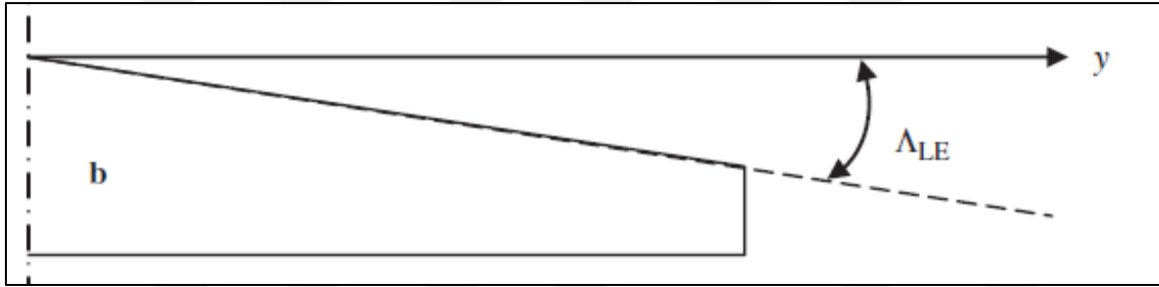
Uçağa önden bakıldığında kanadın gövdeye bağlandığı kök bölgesi ile uç bölgesinin arasındaki mesafenin xy düzlemi ile oluşturduğu açıya dihedral açısı denir. Dihedral açısı xy düzleminin üzerinde ise pozitif, altında ise negatif değer alır. Uçuş dengesini etkileyen bu açı, uçaklarda sağ ve sol kanat için aynı değere sahip olmalıdır. Uçağın yatayda dengesi için önemli olan bu açı, referans alınan uçakta $1,7^\circ$ değerine sahip olup yapılacak tasarımlarda bu açı değeri kullanılmıştır. Şekil 3.15.'de pozitif ve negatif dihedral açıları görselleştirilmiştir.



Şekil 3.15. Pozitif ve negatif dihedral açısı [21]

3.8. Ok Açısı

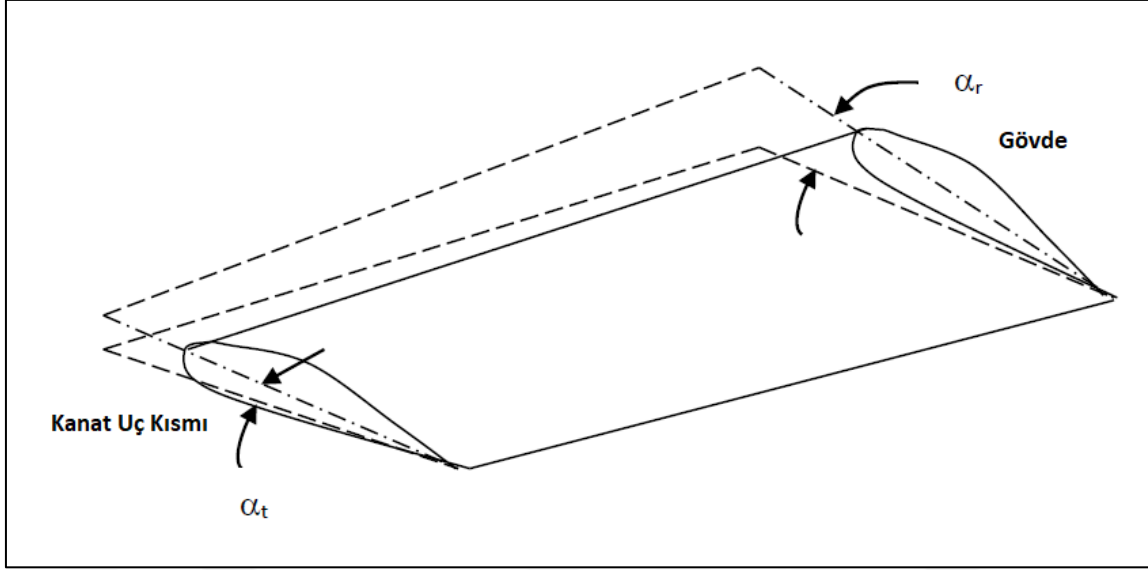
Kanadın uçağın gövdesine birleştiği kök noktası ile uç noktası arasındaki açı ok açısı olarak tanımlanır. Şekil 3.16.'da ok açısı görselleştirilmiştir. Ok açısının, uçağın kaldırma kuvveti ve sürüklenme kuvveti gibi aerodinamik performansı etkileyen faktörlere olumlu etkisi vardır. Ok açısı uçuş esnasında yatay ve dikey yöndeki momenti azaltarak uçuş dengesini artırmaktadır. Yüksek ok açısı uçağın manevra kabiliyetini artırır. Ok açısının bahsedilen avantajları yüksek hızlarda gözlemlendiği için bu açının 0,3 Mach (100 m/s) değerinden düşük hızlarda kullanılması önerilmemektedir [21]. Referans alınan Cessna 172 uçağında sivrilik açısı 0° 'dir. Ayrıca bu uçak tipinin seyir hızı 63 m/s'dir. Bundan dolayı yapılacak tasarımlarda ok açısı kullanılmamıştır.



Şekil 3.16. Pozitif Ok açısı [21]

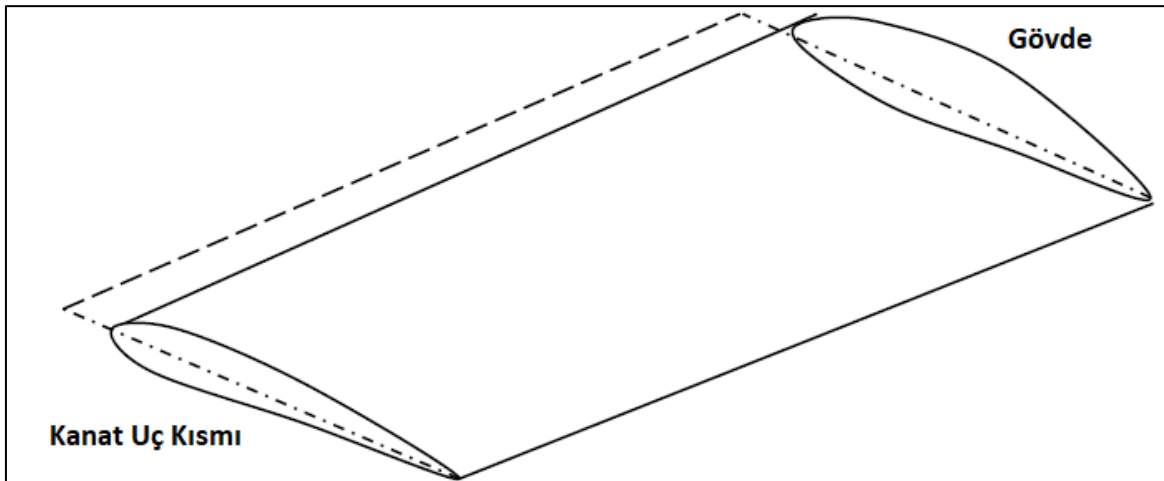
3.9. Büküm Açısı

Uçak kanatlarında iki tip büküm şekli bulunmaktadır. Bunlardan ilki olan Geometrik büküm, kanadın gövde ve uç kısmının farklı hücum açılarında olması ile oluşur. Tasarımdaki geometrik büküm genellikle negatiftir, yani Şekil 3.17.'de gösterildiği gibi kanat ucu hücum açısı, kök hücum açısından daha düşük değere sahiptir.



Şekil 3.17. Geometrik büküm [21]

Bir diğer büküm şekli ise aerodinamik bükümdür. Bu büküm şeklinde ise kanat gövdesinde kullanılan kanat kesiti ile kanat ucunda kullanılan kesit farklı geometridedir. Şekil 3.18.'de aerodinamik kesit yapısı görselleştirilmiştir. Bu görsele göre hücum açısı 0° 'de iken farklı kesit kullanımından dolayı geometrik farklılık oluşmaktadır. Büküm açısı kullanılmasıdaki temel amaç, stall oluşumunun öncelikle kanadın uçağın gövdesine yakın bölgesinde gerçekleşmesini sağlamaktır. Çünkü kanat ucunda oluşacak stall, uçuşun dengesinin daha çok bozulmasına neden olacaktır [21]. Referans olarak karşılaştırılan Cessna 172 uçak tipinde, tek tip kanat kesiti kullanıldığı için aerodinamik büküm bulunmamaktadır. Ayrıca bu uçak tipinde geometrik büküm açısı da kullanılmamıştır. Bundan dolayı biyomimetik tabanlı tasarım çalışması sürecinde büküm açısı kullanılmamıştır.



Şekil 3.18. Aerodinamik büküm [21]

3.10. Kanatçık

Kanatçıklar, uçak kanatlarının uç kısmında bulunan dikey kanat uzantı geometrileridir. Bir uçağın kanadı, uçak ileri doğru hareket ederken üst yüzeyde negatif basınç ve alt yüzeyde pozitif basınç oluşturacak biçimde şekillendirilmiştir. Bu eşit olmayan basınç, üst yüzey boyunca bir kaldırma kuvveti oluşturur ve uçak yerden ayrılmaya başlar. Bununla birlikte, basınç farkından dolayı Şekil 3.19.'da gösterildiği gibi bir uçağın kanadının altındaki yüksek basınçlı hava, kanat ucunun üzerinden kanadın üst bölgesindeki alçak basınçlı havanın bulunduğu alana doğru kıvrıldığında bir girdap etkisi oluşturur. Oluşan bu girdap hava akışından dolayı sürüklenme artar ve kaldırma kuvveti azalır. Bunların sonucunda uçağın yakıt tüketimi artar ve kat edebileceği mesafe azalır. Kullanılan kanadın uç kısmındaki bu kanatçık yapısı bu olumsuz etkiyi azaltır [6]. Bu çalışmada referans olarak alınan Cessna 172 uçak tipinde kanatçık olmadığı için tasarımda da kanatçık kullanılmamıştır. Tasarımda kullanılacak olan ölçüler ve parametreler Çizelge 3.3.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.19. Kanat ucunda oluşan hava akışı

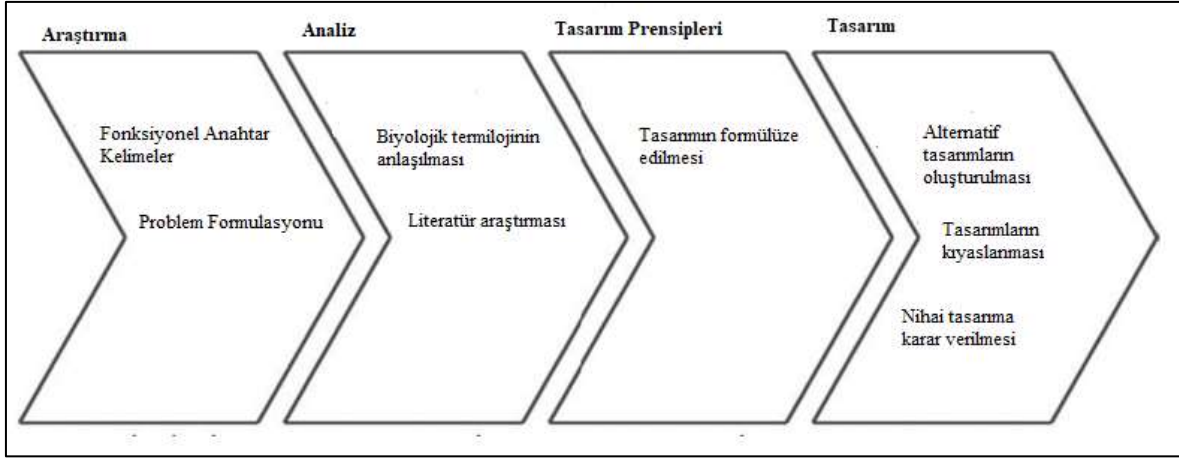
Çizelge 3.3. Tasarımda kullanılacak olan parametreler

Kanat Sayısı	1
Kanadın Dikey Pozisyonu	Üstten Kanat
Kanat Kesiti	NACA 2412
Kanat Açıklık Oranı	7,5
Dihedral Açısı	1,7°
Ok Açısı	0°
Büküm Açısı	0°
Kanatçık Kullanımı	Yok
Kanat Uzunluğu	11 m

3.11. Biyomimetik

Biyomimetik ya da diğer bir tanımı ile biyomimikri, doğadaki temel mekanizmaların ilkelerini anlamak ve bu yapıları mühendislik sorunlarında çözüm olarak kullanmak için başvurulan bir bilim dalıdır. İnsanoğlu geçmişten günümüze dek ortaya çıkardığı buluşların çoğunda ya da çözüm aradığı kompleks mühendislik sorunlarında doğadan gözlemlediği bulgulardan faydalanmıştır. Biyomimetik, yeni bir şey geliştirmek için doğadan daha iyi bir model olmadığı fikrine odaklanır. Daha spesifik olarak biyomimetik, insan yaşamını iyileştirmek için doğayı kullanan veya taklit eden yaratıcı bir teknoloji biçimidir. Doğada bulunan milyonlarca canlı, çözüm aradığımız problemin ipuçlarını barındırmaktadır. Ayrıca daha çevreci çözümler bulmak içinde doğanın hali hazırda bünyesinde bulunan yapıyı taklit etmek gerçekçi bir yaklaşımdır. Literatürde çok fazla biyomimetik çalışma bulunduğu için yapılacak incelemelerde, sonuca daha kısa sürede ulaşabilmek adına aşağıdaki sıralamaya göre süreç kurgulanmıştır. Şekil 3.20.'de bu sürecin görsel hali yer almaktadır.

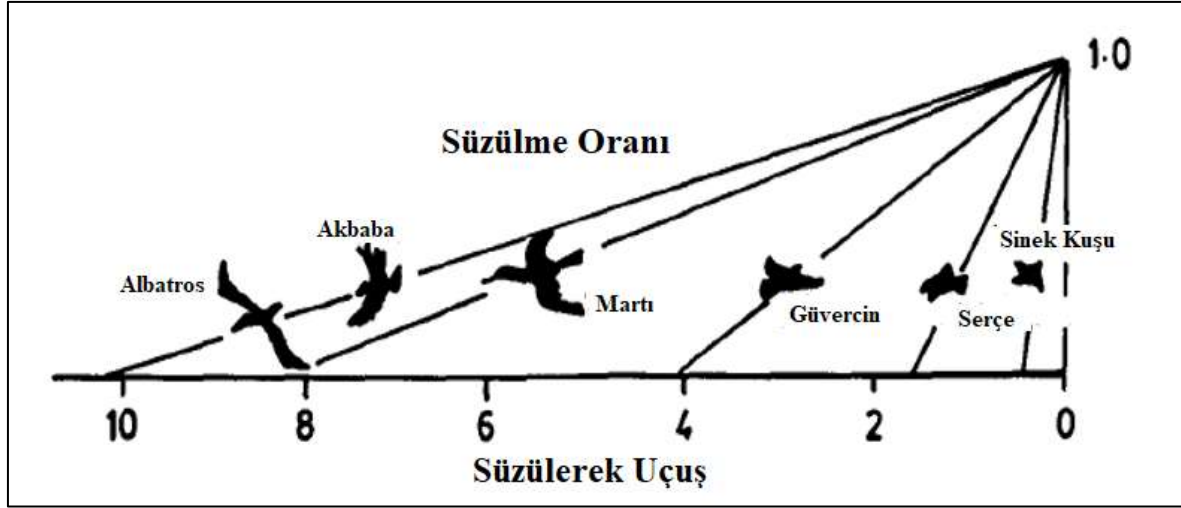
- 1- Araştırma; problemin tanımı ve araştırmanın yapılabilmesi için problemin biyolojik terminolojideki karşılığını bulmak,
- 2- Analiz; biyomimikri taksonomisinden faydalanarak problemin biyolojik literatürdeki tanımını bulmak ve bulunan tanım ile literatür araştırması yapmak.
- 3- Teknik tasarım prensipleri; Yapılan araştırmalar sonucunda elde edilen bulgulara göre tasarım prensiplerini oluşturmak.
- 4- Tasarım; Kararlaştırılan prensiplerine göre alternatif tasarımların oluşturulması ve bu alternatiflerin birbirlerine göre avantaj ve dezavantajlarını inceleyerek karar vermek.



Şekil 3.20. Biyomimetik çalışma süreci

Doğadaki kuşlar gibi uçabilmek insanoğlunun geçmişten günümüze en büyük arzularından biri olmuştur. Kuşlardan esinlenerek yapılan tasarımlar geçmişten günümüze havacılık sanayinin gelişimini hızlandırmıştır. Bu çalışmada amaçlanan hedef; yüksek kaldırma kuvvetine sahip, düşük sürükleme kuvvetine maruz kalan bir kanat tasarlamak olduğu için doğadaki aerodinamik yapısı gelişmiş canlılar incelenecektir. Araştırma yapılabilmesi için biyolojik tanıma ihtiyaç duyulmaktadır ve bunun için biyomimetik taksonomisi incelenmelidir. Kanat gazın içinde hareket eden bir yapı olduğu için bu taksonomiye göre çalışmamızın grubu: hareket et veya dur, alt grubu: hareket, fonksiyonu: gaz içerisinde hareket olarak sıralanabilir. Bu biyolojik terimlere göre çalışma yapmak için ‘doğadaki canlılar gaz içerisinde nasıl hareket eder?’ sorusu araştırılmalıdır. [29]

Yapılan literatür araştırmasında biyologların kuşların aerodinamik yapılarını incelemeleri sonucunda elde ettikleri bulgular incelenmiştir. Bu bulgularda karşılaştırılması gereken en önemli nokta süzülme oranıdır. Çünkü bu oran, canlıların rüzgâr direnci karşısında ne kadar mesafe kat edebildiğini ve aerodinamik performans özelliklerini göstermektedir. Şekil 3.21.’de süzülme oranlarına göre aerodinamik performansları karşılaştırılmış olan canlıların süzülme oranı değerleri görülmektedir. Şekil 3.21.’e göre süzülme oranı en yüksek olan dört kuş türü olan albatros, akbaba, martı ve güvercinin kanat yapılarından esinlenerek biomimetik tasarımlar oluşturulacaktır.

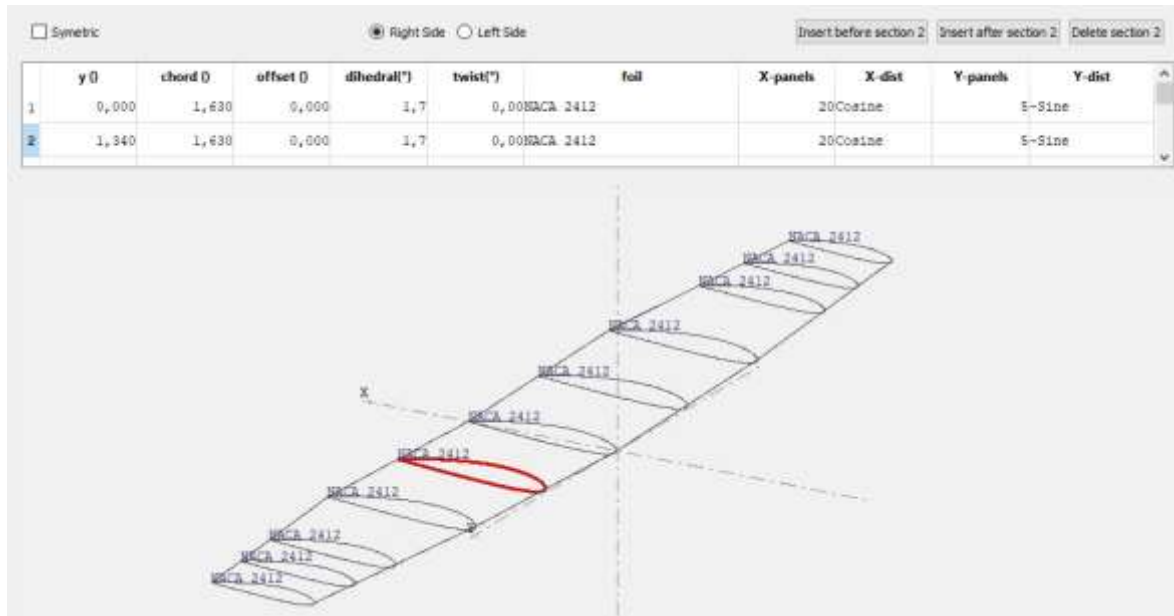


Şekil 3.21. Süzülme oranlarına göre kuş türleri [31]

4. BİYOMİMETİK TABANLI ÜÇ BOYUTLU TASARIM

Çalışmanın bu kısmında biyomimetik bilim dalından yararlanılarak doğadaki kuş türlerinin kanat yapıları taklit edilip XFLR5 programı kullanılmıştır ve tasarım süreci oluşturulmuştur. Ayrıca çalışmada referans uçak kanat yapısı olarak kullanılan Cessna 172 uçak tipinin de kanat yapısı çizilmiştir.

XFLR5 programının üç boyutlu tasarım sürecinin oluşturulabilmesi için öncelikle kanat kesiti 'Direct foil design' modülü ile (Bkz. Resim 3.6.) oluşturulur. Sonrasında 'XFoil Direct Analysis' modülü ile test şartlarının seçilmesi ve Resim 3.10.'daki gibi kanat kesiti akış analizlerinin, hücum açısına göre sonuçlarının elde edilmesi gerekmektedir. Bu aşamalardan sonra 'Wing and Plane Design' modülü ile üç boyutlu kanat tasarımı oluşturma sürecine başlanabilir. Bu modül içerisindeki 'Define a new plane' komutu ile kanadın ölçüleri kullanılarak üç boyutlu kanat tasarımı oluşturulur. Tasarım orta ekseninde seçilen kanat kesitini referans olarak başlar. Şekil 4.1.'de gösterildiği gibi y ekseninde ölçüler seçilerek kanat kesitleri arasındaki mesafeler ve kanat kesitlerinin uzaklıkları girilir. Bu işlemler esnasında program girilen bilgilere göre üç boyutlu kanat profilini oluşturmaktadır.



Şekil 4.1. Kanat kesitlerinin kanat profili üzerindeki görünümü

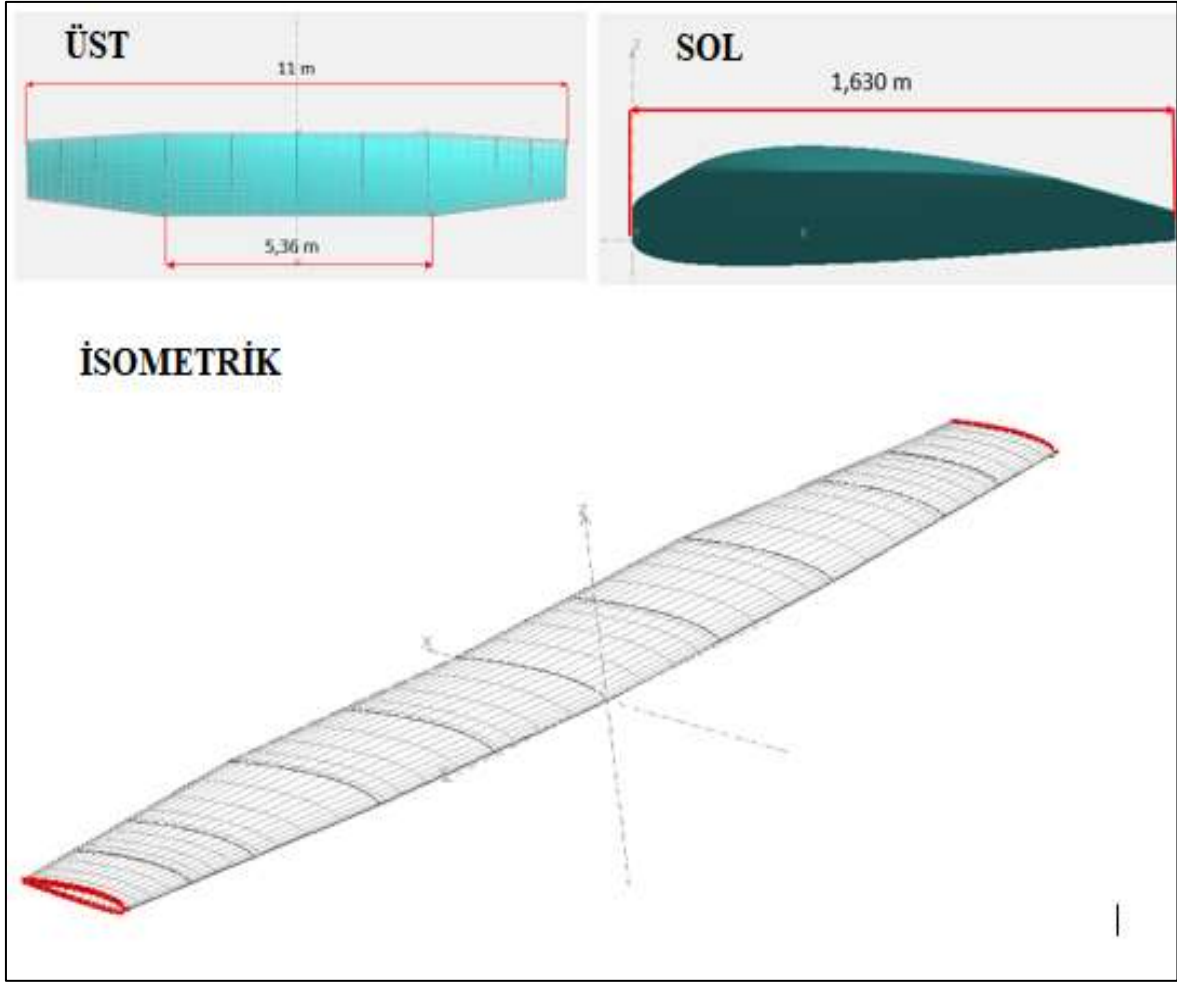
Çizelge 4.1'de Cessna 172 uçak kanadının çizimi için kullanılan ölçüler görselleştirilmiştir. Bu ölçüler Cessna 172 uçağının ölçüleri (bkz. Çizelge 3.1.) referans alınarak oluşturulmuştur.

“Y” değeri kesitler arasındaki yatay mesafeyi göstermektedir. Çizelge 3.1.’de gösterildiği üzere kanat uzunluğu 11m uzunluğundadır. Uygulamada kanadın orta eksene göre öncelikle sağ tarafı çizilmiş ve merkez eksene göre aynalama özelliği kullanılarak simetrisi oluşturulmuştur. Bu nedenle yatay mesafe değeri 5,5m değerine sahiptir. “Chord” değeri kanat kesitinin başı ve ucu arasındaki mesafedir. “Offset” ölçüsü kanatın ileriye ya da geriye doğru ne kadar ölçüde ana eksenden ötelendiğini göstermektedir. “Dihedral” değeri Cessna 172 uçak tipinde $1,7^\circ$ değerine sahip olduğu için bu değer kullanılmıştır. “Twist” değeri büküm açısıdır, Cessna 172 uçak kanadı tasarımında bu değer 0° olduğu için aynı tasarım yapısı kullanılmıştır. “Foil” kısmında kanat kesiti tipi seçilmiştir. X ve Y panel değerleri baz alınarak kanat üzerinde yapılacak analizde oluşturulacak ağ yapısı için gereken değerler girilmiştir.

Çizelge 4.1. Cessna 172 uçağının kanat çiziminde kullanılan ölçüler

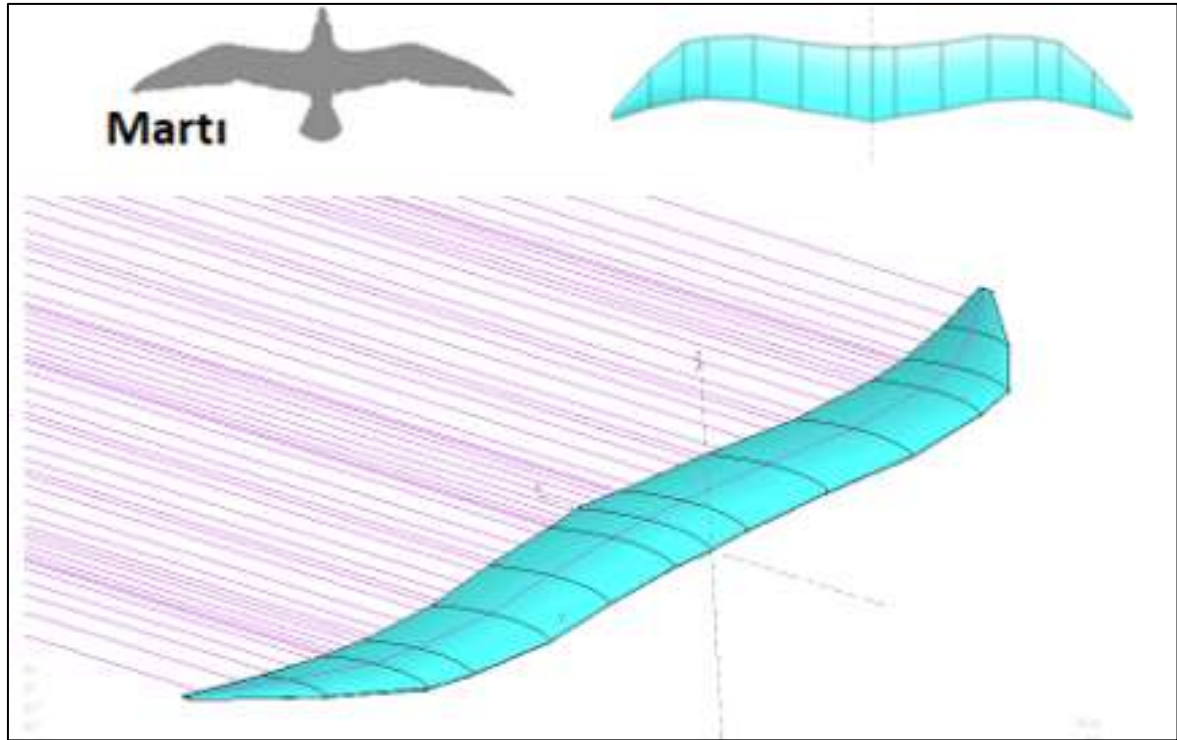
Y (m)	chord (m)	offset (m)	dihedral (°)	twist (°)	foil	spanwise	X-start	Y-panel	Y-start
1,000	1,400	0,100	1,7	0,000000 2402			20Cessna		5-Start
1,500	1,400	0,100	1,7	0,000000 2402			20Cessna		5-Start
2,000	1,400	0,100	1,7	0,000000 2402			14Cessna		5-Start
4,000	1,300	0,170	1,7	0,000000 2402			20Cessna		5-Start
4,700	1,200	0,110	1,7	0,000000 2402			20Cessna		5-Start
5,000	1,100	0,100		0,000000 2402					

Girilen değerlere göre oluşturulan üç boyutlu kanat tasarımı Şekil 4.2.’de gösterildiği gibidir.

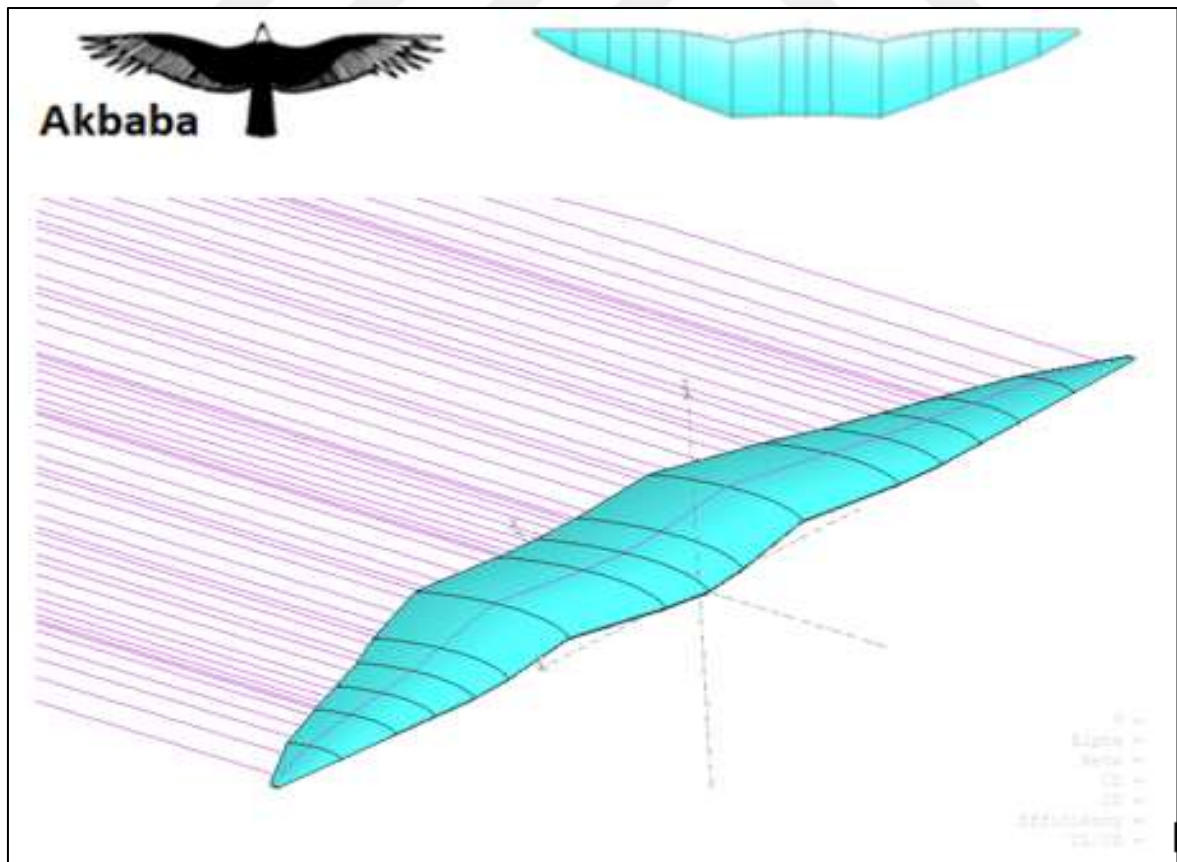


Şekil 4.2. Cessna 172 uçağının kanat tasarımı

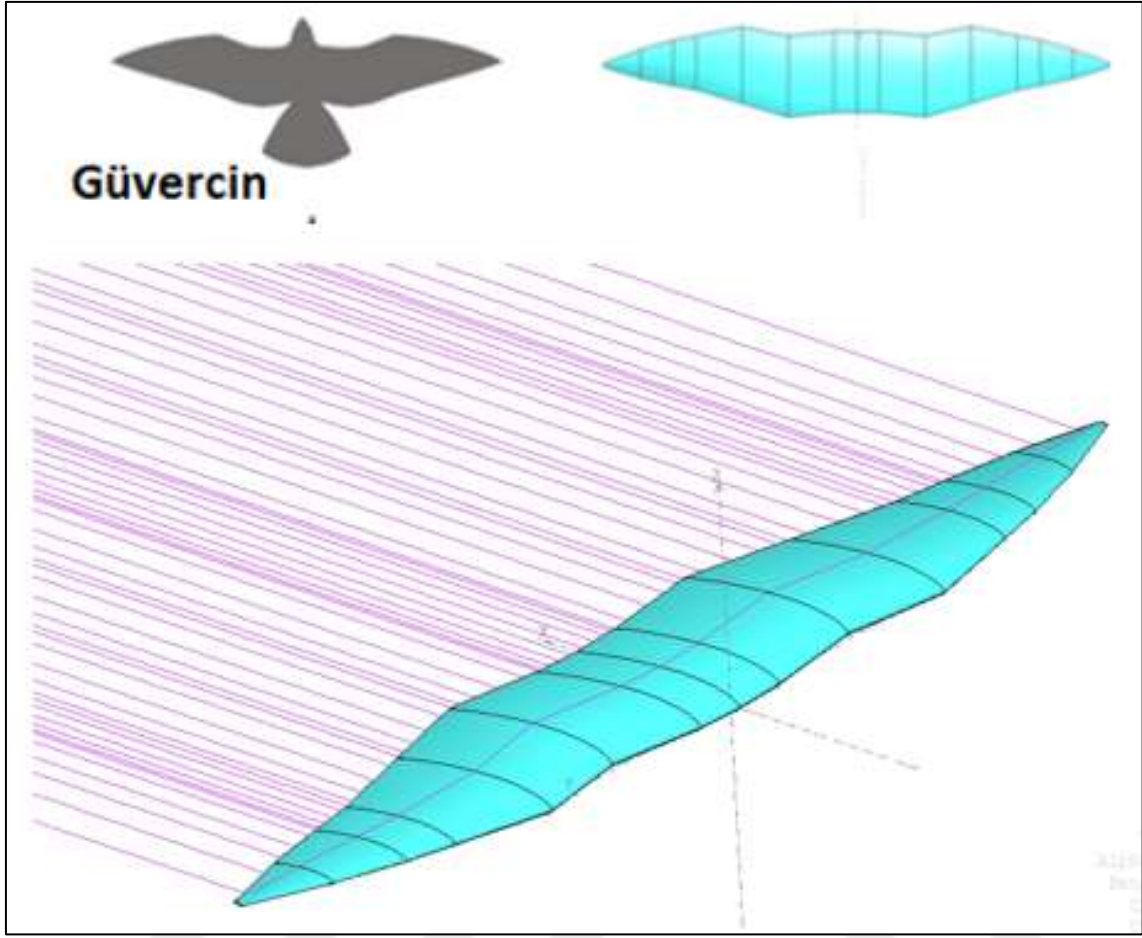
Yukarıda belirtilen yöntemlerle biyomimetik tabanlı kanat tasarımları XFLR5 programında çizilmiştir. Kanat yapısı taklit edilen albatros, akbaba, martı ve güvercin kuş türlerinin kanat açılım resimlerine göre benzetilerek oluşturulan tasarımlar Şekil 4.3., Şekil 4.4., Şekil 4.5. ve Şekil 4.6.'da gösterilmiştir. Çalışmada referans olarak kullanılan Cessna 172 uçak kanadı ile benzer kanat açıklığı, kanat uzunluğu, kanat kesiti, büküm açısı ve dihedral açısı kullanılmıştır.



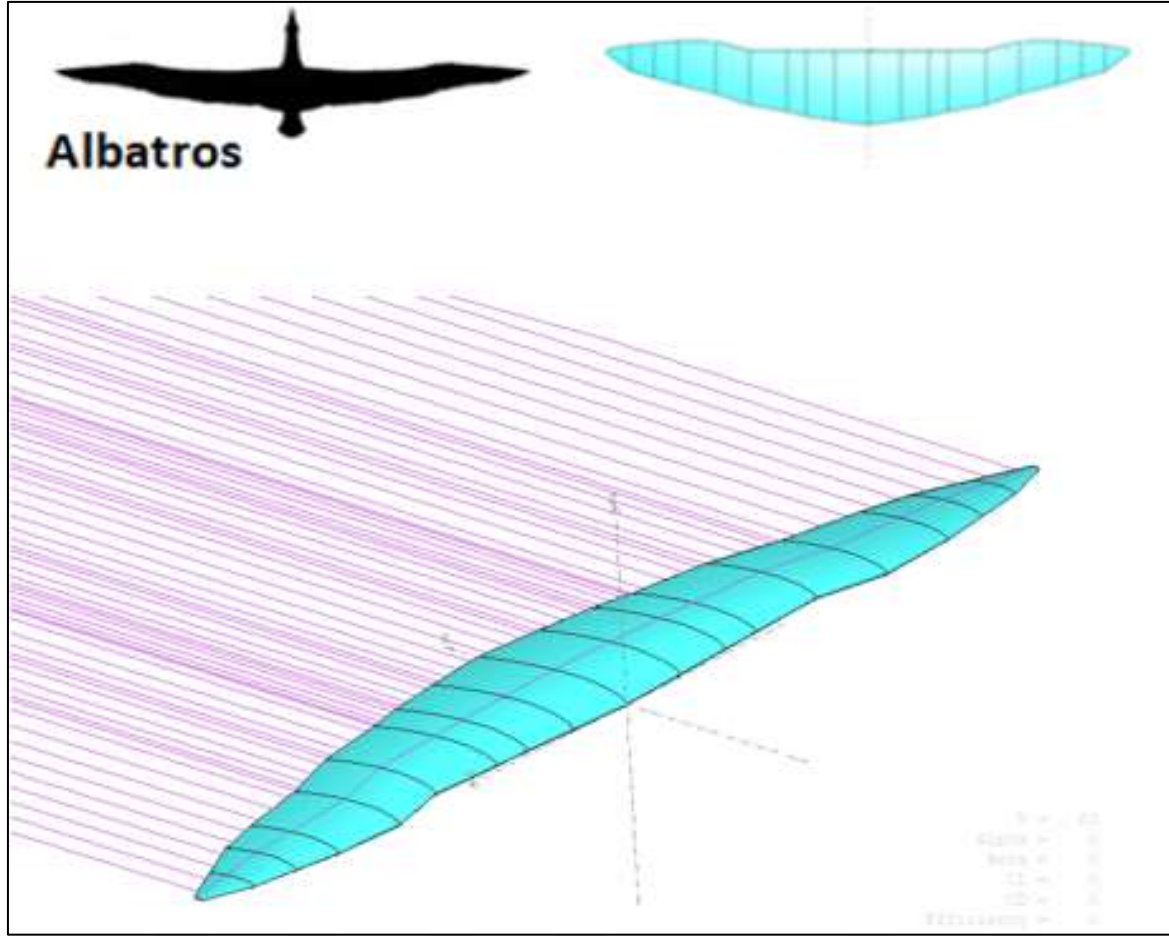
Şekil 4.3. Martıların kanatlarından esinlenilerek oluşturulan kanat tasarımı



Şekil 4.4. Akbabaların kanatlarından esinlenilerek oluşturulan kanat tasarımı



Şekil 4.5. Güvercinlerin kanatlarından esinlenilerek oluşturulan kanat tasarımı



Şekil 4.6. Albatrosların kanatlarından esinlenilerek oluşturulan kanat tasarımı

5. ANALİZ SONUÇLARI

Kanat profili seçimi sürecinde, sadece kanat profili geometrisine veya basınç dağılımına bakılmamaktadır. Bunlara ek olarak, tasarım gereksinimlerini karşılamak için aerodinamik performans ve uçuş dengesi hakkında daha bilgilendirici olan kanat profilinin ve kanat kesitinin operasyonel çıktılarını gösteren bazı grafikler de incelenmektedir [21]. Bu grafikler esas olarak boyutlandırılmamış kaldırma, sürüklenme ve yunuslama momentinin hücum açısına bağlı varyasyonlarıdır. Kanat kesiti ve kanat profili seçiminde incelenmesi gereken grafik türleri aşağıdaki gibidir;

1. Kaldırma katsayısının hücum açısına göre değişimleri.
2. Sürüklenme katsayısının hücum açısına göre değişimleri.
3. Süzülme oranının hücum açısına göre değişimleri.
4. Yunuslama momenti değerinin hücum açısına göre değişimleri.

Çalışmanın bu kısmında yukarıda belirtilen grafik türleri oluşturularak aerodinamik performansı en yüksek olan kanat kesitleri ve kanat profilleri belirlenmiştir. Devamında ise bu tasarım parametreleri baz alınarak oluşturulan tasarımlar statik analiz ortamında incelenmiştir.

5.1. Kanat Kesiti Akış Analizi

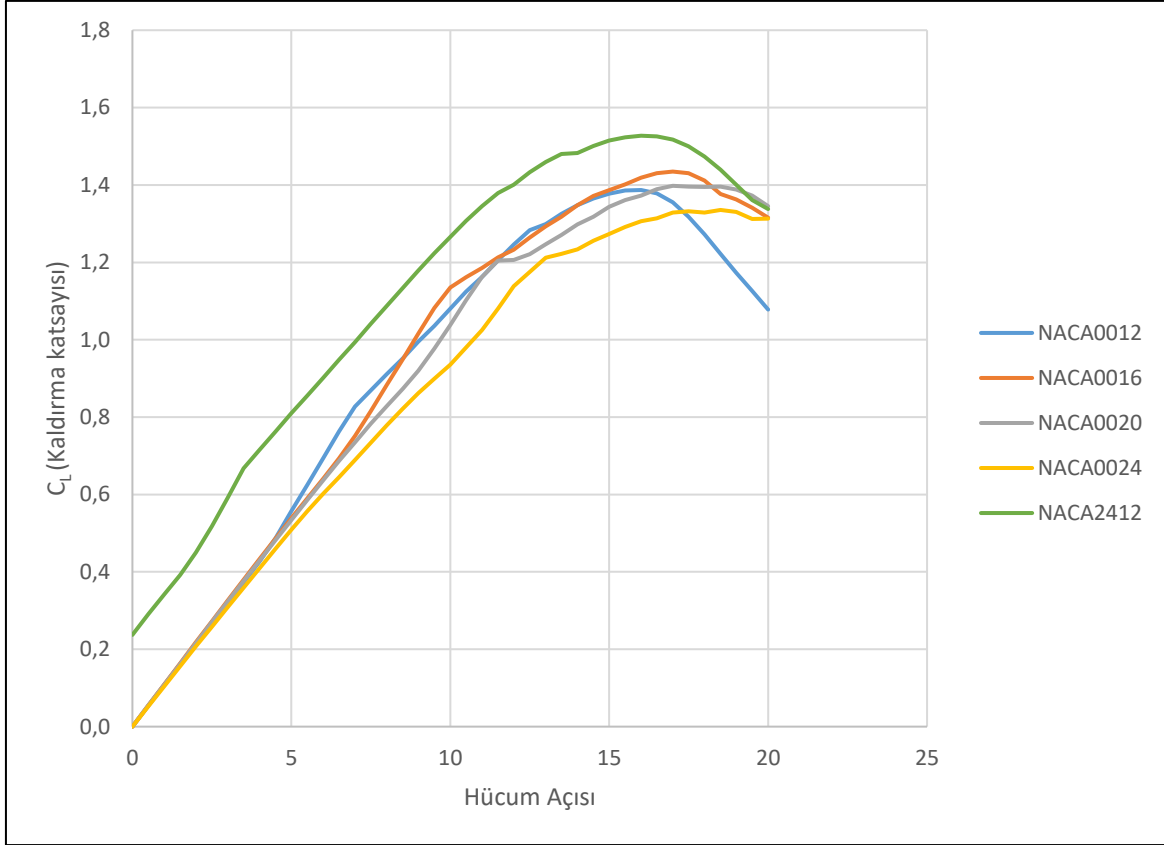
Kanat kesiti seçimi için literatür kısmında belirtilen diğer çalışmalarda aerodinamik verimi yüksek olan kanat tipleri ve referans olarak kullandığımız Cessna 172 uçak modelinin kanat kesiti olan NACA2412 kıyaslanmıştır. Akış testleri sonucunda grafiksel karşılaştırmada kullanılan kanat kesitleri: NACA0012, NACA0016, NACA0020, NACA0024 ve NACA2412'dir. XFLR5 programında iki boyutlu kanat analizi için batch analiz modülü kullanılmıştır. 10^6 Reynold değerinde yapılan akış testinde, 0° ve 20° hücum açısı aralığında kanatların aerodinamik performansları incelenmiştir. Kesitlerin çizimleri Resim 5.1.'de görselleştirilmiştir.



Resim 5.1. Kanat kesitlerinin çizimleri

5.1.1. Kanat kesiti için kaldırma katsayılarının kıyaslanması

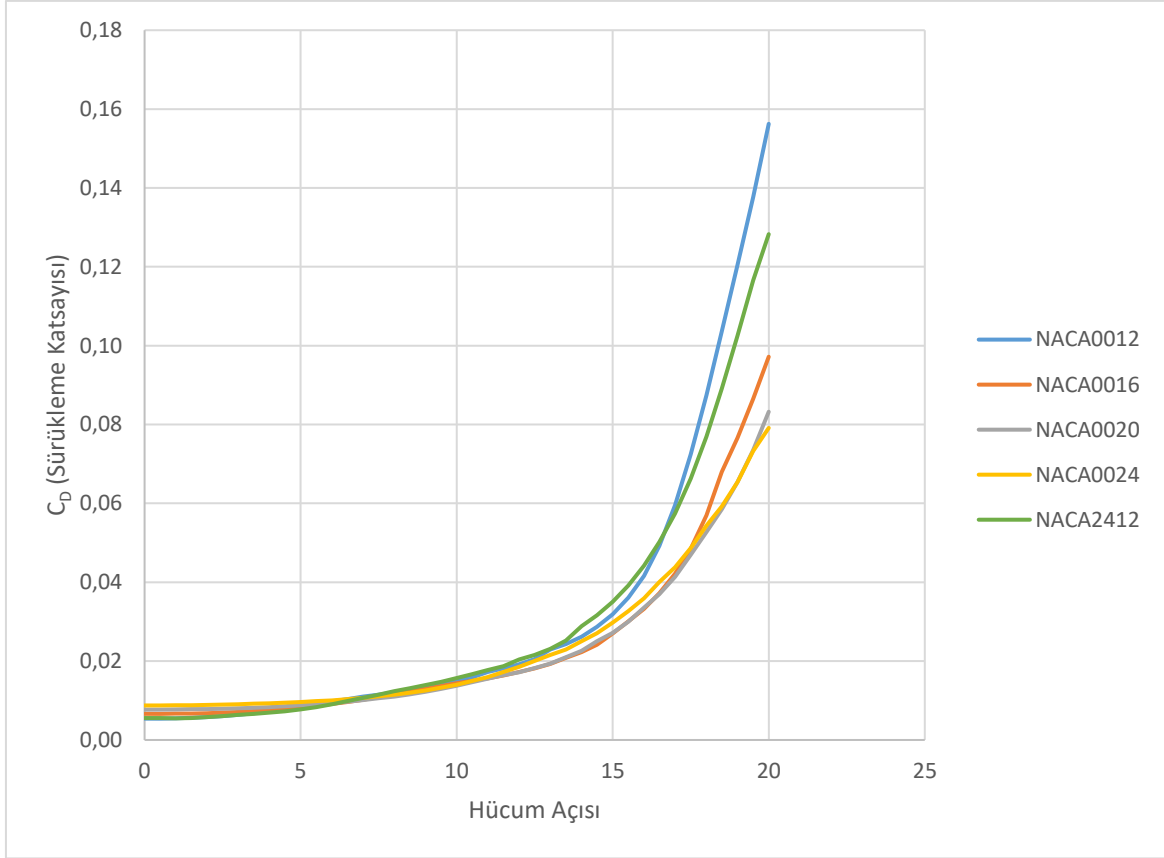
Şekil 5.1., tüm kanat profilleri için kaldırma katsayısı ve hücum açısının grafiklerini göstermektedir. Hücum açısı 0° iken NACA2412 kesitinin kaldırma katsayı değeri 0,21, diğer kanat tiplerinin kaldırma katsayı değeri ise 0'dır. Hücum açısı 0° ile 16° arasında artış gösterirken tüm kanat profillerinde kaldırma katsayı değeri artmıştır. Kaldırma katsayıları sırası ile NACA0012 16° 'de, NACA0016 ve NACA2412 17° 'de, NACA0020 ve NACA0024 18° 'de düşmeye başlamıştır. Bahsi geçen bu açı değerleri kanatların stall açılarını ifade etmektedir. NACA2412 tüm hücum açı değerlerinde daha fazla kaldırma katsayısı değerine sahip olmuştur ve stall açısı diğer kanatlara göre iyi seviyededir.



Şekil 5.1. İki boyutlu akış analizi hücum açısı kaldırma katsayısı grafiği

5.1.2. Kanat kesiti için sürükleme katsayılarının kıyaslanması

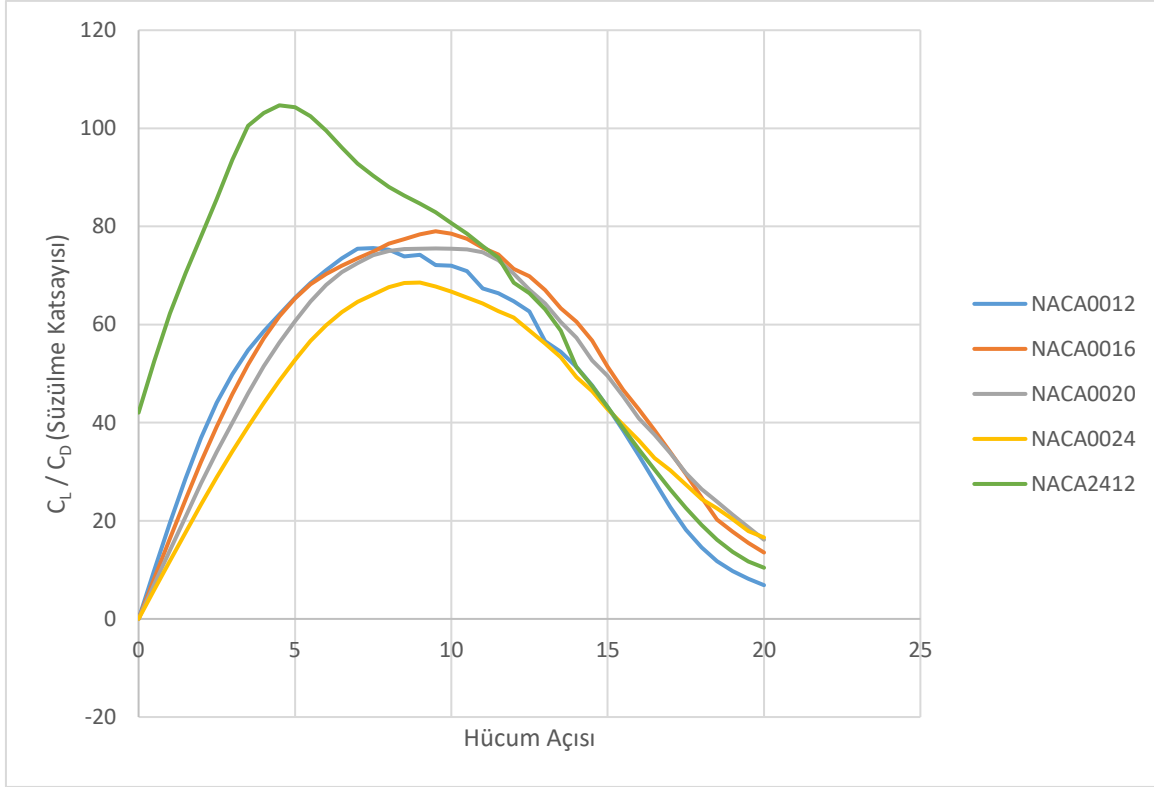
Sürükleme katsayılarının karşılaştırması Şekil 5.2.'de gösterilmiştir. Sürükleme katsayısının 0° hücum açısında bütün kanat tiplerinde 0'dan büyük olduğu ve hücum açısı değeri arttıkça değerinin arttığı görülmüştür. Stall açısına ulaşıldıktan sonra sürükleme katsayısının çok daha hızlı bir şekilde artış gösterdiği gözlemlenmiştir. En düşük sürükleme katsayısı NACA0024'de gözlemlenmiştir.



Şekil 5.2. İki boyutlu akış analizi hücum açısı sürüklenme katsayısı grafiği

5.1.3. Kanat kesiti için süzülme oranlarının kıyaslanması

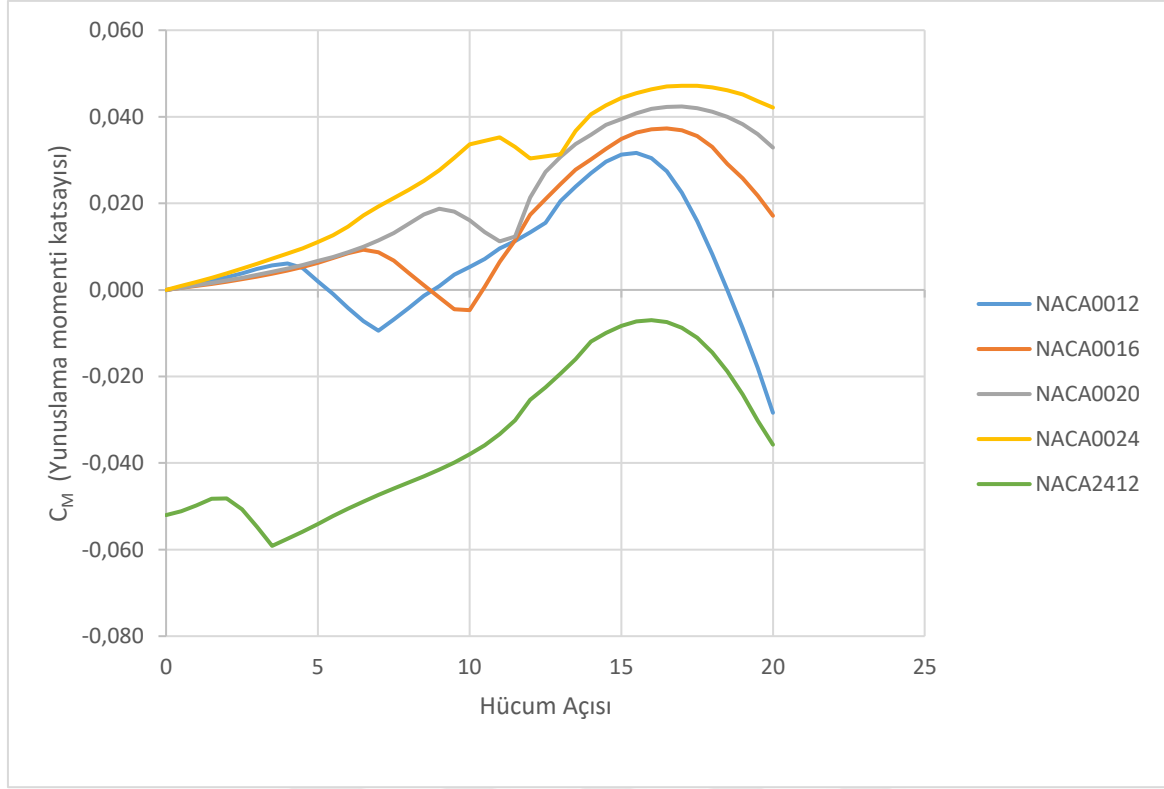
Şekil 5.3.'de kanatların farklı hücum açılarında kaldırma katsayılarının sürüklenme katsayılarına oranı (C_L/C_D) yani süzülme oranı incelenmiştir. Kanatlar için bu oran kanadın aerodinamik verimliliğini gösteren en önemli parametredir. Bu oran ne kadar yüksek olursa uçak yatay düzlemde o kadar çok mesafe kat edebilir. Tüm kanat tiplerinin süzülme oranı hücum açısının artışı ile artmış belirli bir noktadan sonra düşmeye başlamıştır. 0° hücum açısında tüm kanat tipleri yaklaşık 0 süzülme oranı değerine sahipken NACA2412 42 değerine sahiptir. Tüm hücum açısı değerlerinde bu kanat tipi diğer kanat tiplerine göre daha fazla süzülme oranına sahiptir. NACA2412 kanat tipinin hücum açısı 5° 'deyken maksimum aerodinamik verime ulaştığı görülmektedir.



Şekil 5.3. İki boyutlu akış analizi hücum açısı süzülme oranı grafiği

5.1.4. Yunuslama momenti değerlerinin kıyaslanması

Uçuş esnasında rüzgâr direncinden dolayı uçağın ön bölümü geriye doğru bir moment ile dönmek ister. Bunu engellemek için orta kanatlı uçaklarda yunuslama momenti (C_M) değeri eksi değere sahip olmalı ve sifıra yakın olmalıdır. Bu şartlar gerçekleşirse uçağın burnu aşağı gelecek şekilde moment oluşur. Üstten kanat yapısında, uçağın ağırlık merkezi orta veya alttan kanatlı uçak türüne göre daha yukarıdadır. Ayrıca üstten kanatlı uçaklar daha fazla sürüklenme kuvvetine maruz kalmaktadır. Dolayısıyla C_M değeri, üstten kanatlı uçaklarda orta kanatlı uçaklara göre daha fazla eksi değere sahip olmalıdır. Şekil 5.4.'de kanatların farklı hücum açılarındaki C_M değerleri gösterilmiştir. NACA2412 kanat tipinin C_M değeri diğer kanat tiplerine göre daha büyük bir negatif değere sahiptir. Bundan dolayı bu kanat tipinin üstten kanatlı uçak tasarımı için daha uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

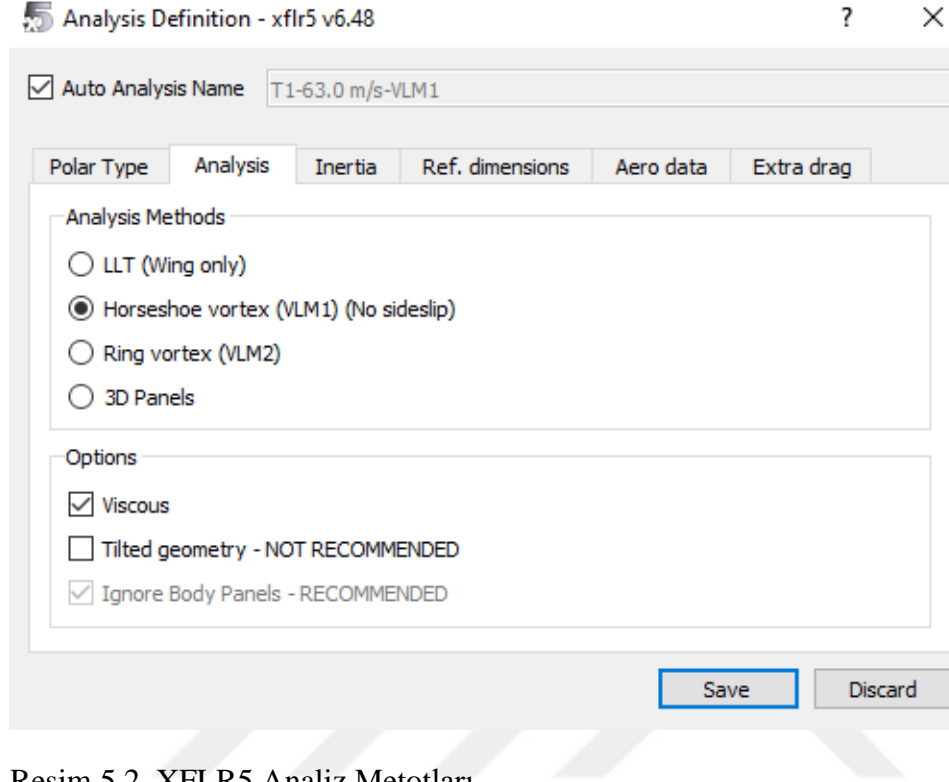


Şekil 5.4. İki boyutlu akış analizi hücum açısı yunuslama momenti katsayısı grafiği

5.2. Kanat Profili Akış Analizi

XFLR5 ortamında akış analizi için Resim 5.2.'de gösterildiği gibi üç farklı metot bulunmaktadır. Bu metotlar sırası ile LLT, VLM ve 3D panel yöntemidir. Bu yöntemlerin akış analizlerinde kendine özgü avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. LLT metodu akışı XY düzleminde inceler. Dolayısıyla bu metot eliptik veya düz geometrili kanatlarda kullanılabilirken düşük kanat açıklığına, ok açısına ve delta tipine sahip kanat tiplerinde kullanılamaz. LLT metodu yüksek hücum açılarında ve stall açısında güvenilir sonuçlar vermektedir. LLT analiz tipinin limitleri için geliştirilen VLM metodu; tüm kanat geometri tiplerinde, düşük açıklık oranlarında, yüksek ok açılarında kullanılabilir. VLM metodunun LLT metodundan bir diğer farkı ise kanat hızını ve havanın viskozite özelliğini de analize dahil etmesidir. VLM metodunun dezavantajı ise bu yöntemin sadece düşük hücum açılarında kullanılabilmesidir. Bunun nedeni analizlerde havanın hızını ve viskozitesini hesaplarken stall açısına yakın değerlerde bu değerleri yakınsayamamasıdır. VLM metot, kanat kesiti boyunca aerodinamik performansı inceler ve gerçekçi sonuçlar verir. 3D panel yöntemi ise kanatların kalınlıklarını da hesaba katar ve kanatlarla birlikte gövdelerin

analizlerini de içeren tasarımlarda kullanılır. Bu metot sayesinde kanatların üst ve alt yüzeylerindeki basınç dağılımları daha yakın sonuçlarda gözlemlenebilmektedir [30].



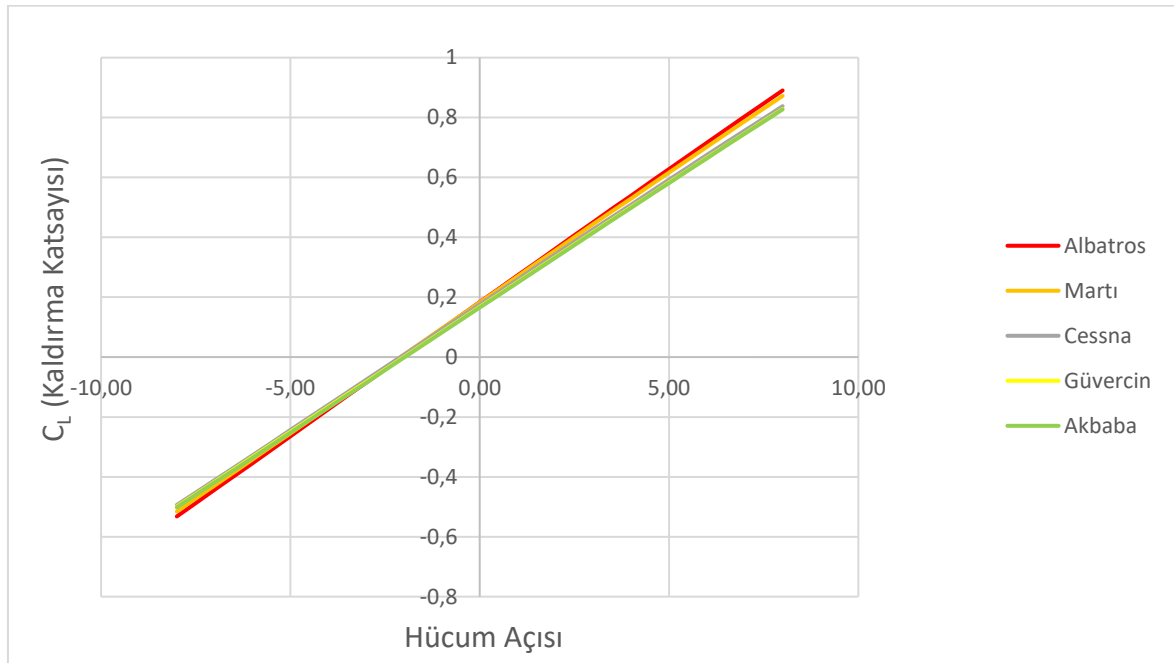
Resim 5.2. XFLR5 Analiz Metotları

Bu çalışmada kanat üzerindeki basınç dağılımları ve basınç değerlerine göre yapılacak statik analizler Ansys programında yapılacaktır. Çalışmamızda kanat açıklıkları küçük değerlere sahiptir ve kanat tasarımları dikdörtgen yapıda değildir. Ayrıca yapılacak akış analizi testinde hücum açısı değeri yüksek değildir. Bu nedenlerden dolayı XFLR5 ortamında yapılacak olan akış analizi testlerinde VLM metot kullanılmıştır. Ayrıca analiz girdilerinde akış hızı 63 ms^{-1} , yoğunluğu $0,996 \text{ kgm}^{-3}$ ve dinamik yoğunluğu $1,74 \times 10^{-5} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ seçilmiştir. Kanat tasarımları -8° ile 8° hücum açısı aralığında incelenmiştir.

5.2.1. Kanat profili için kaldırma katsayılarının kıyaslanması

Doğadaki kuş türlerinden esinlenerek oluşturulan albatros, martı, güvercin ve akbaba kanat geometrisine sahip tasarımlar ile Cessna 172 uçağının kanat yapısı kaldırma katsayısına (C_L) göre şekil 5.5.'de kıyaslanmıştır. Yapılan incelemede hücum açısı arttıkça kaldırma katsayısının da doğru orantılı bir şekilde arttığı gözlemlenmiştir. Tüm kanat tiplerinde hücum açısı 0° iken kaldırma katsayısının pozitif bir değerde olduğu gözlemlenmiştir. Kanat

tasarımlarının kaldırma katsayıları, maksimum değerlerine hücum açısının 8° iken ulaşmışlardır. Bu hücum açısı değerinde albatros, martı, güvercin, akbaba ve Cessna 172 kanatları sırası ile 0,890286; 0,872116; 0,8284655; 0,8170196; 0,8377896 kaldırma katsayısı değerlerine ulaşmıştır. Değerlerden anlaşıldığı üzere kaldırma katsayısı değerine göre en yüksek aerodinamik performansı albatros kanat yapısı sağlamıştır. Ayrıca albatros ve martı kanat yapısı referans uçak tipinin kaldırma katsayısından daha yüksek değere sahipken güvercin ve akbaba kanatlarının kaldırma katsayısının daha düşük değere sahip olduğu gözlemlenmiştir.

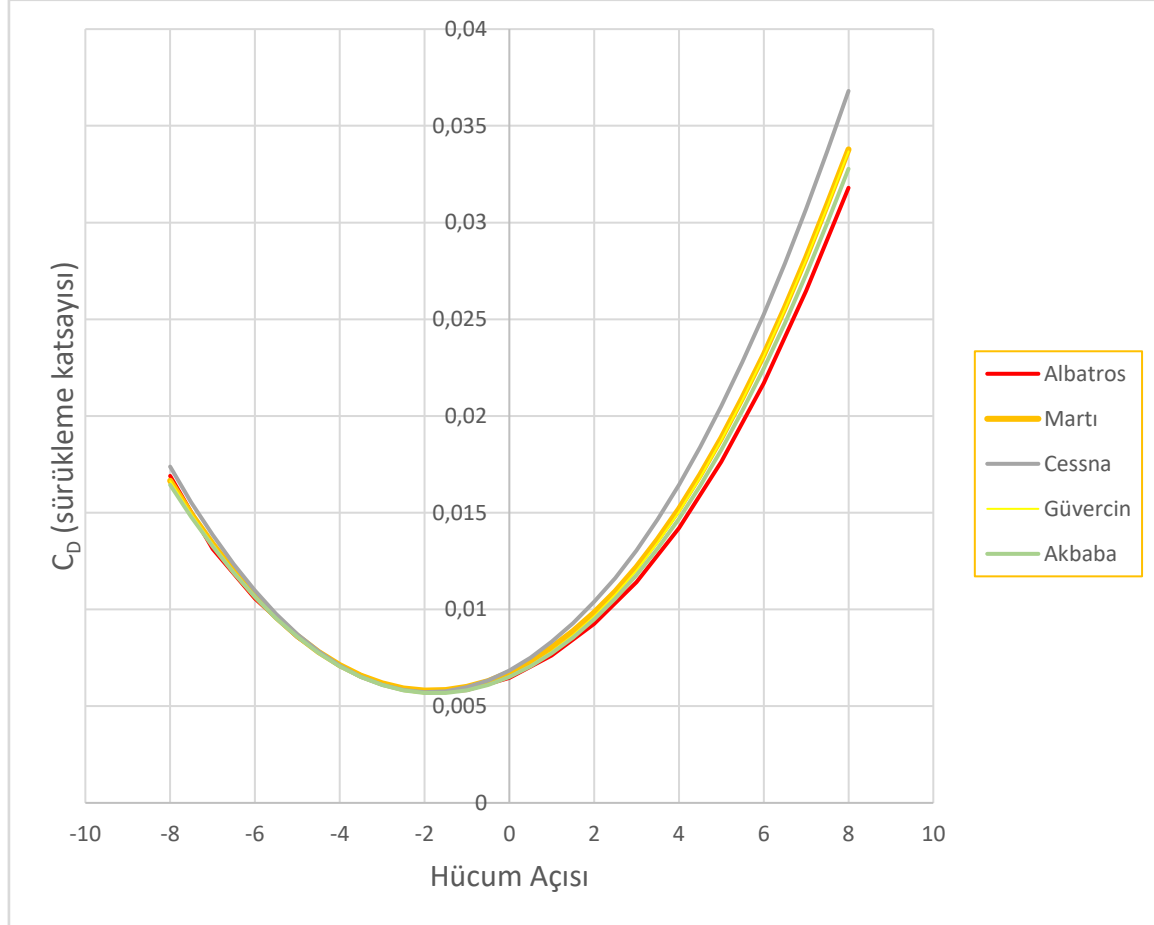


Şekil 5.5. Kaldırma katsayısının hücum açısına göre değişimi

5.2.2. Kanat profili için sürüklenme katsayılarının kıyaslanması

Şekil 5.6.'da biyomimetik tasarımların ve referans uçağın kanat yapısının hücum açısına bağlı sürüklenme katsayıları (C_D) karşılaştırılmıştır. Sürüklenme katsayısı en düşük değerlere sahip tasarım, aerodinamik verimi en yüksek tasarımdır. -8° ile 0° hücum açısı değerleri aralığında tasarımların sürüklenme katsayıları yakın değerler gösterirken 0° ile $+8^\circ$ aralığında farklı değerler göstermiştir. Kanat tasarımlarının sürüklenme katsayılarının farkları 8° hücum açısı değerinde daha net gözlemlenmiştir. Bu hücum açısı değerinde albatros, martı, güvercin, akbaba ve Cessna 172 kanatları sırası ile 0,03179765; 0,03378288; 0,03368016; 0,03277768; 0,0368023 sürüklenme katsayısı değerlerine ulaşmıştır. Biyomimetik kanat tasarımlarının hepsi sürüklenme katsayısı değerine göre kıyaslandığında Cessna 172 uçak

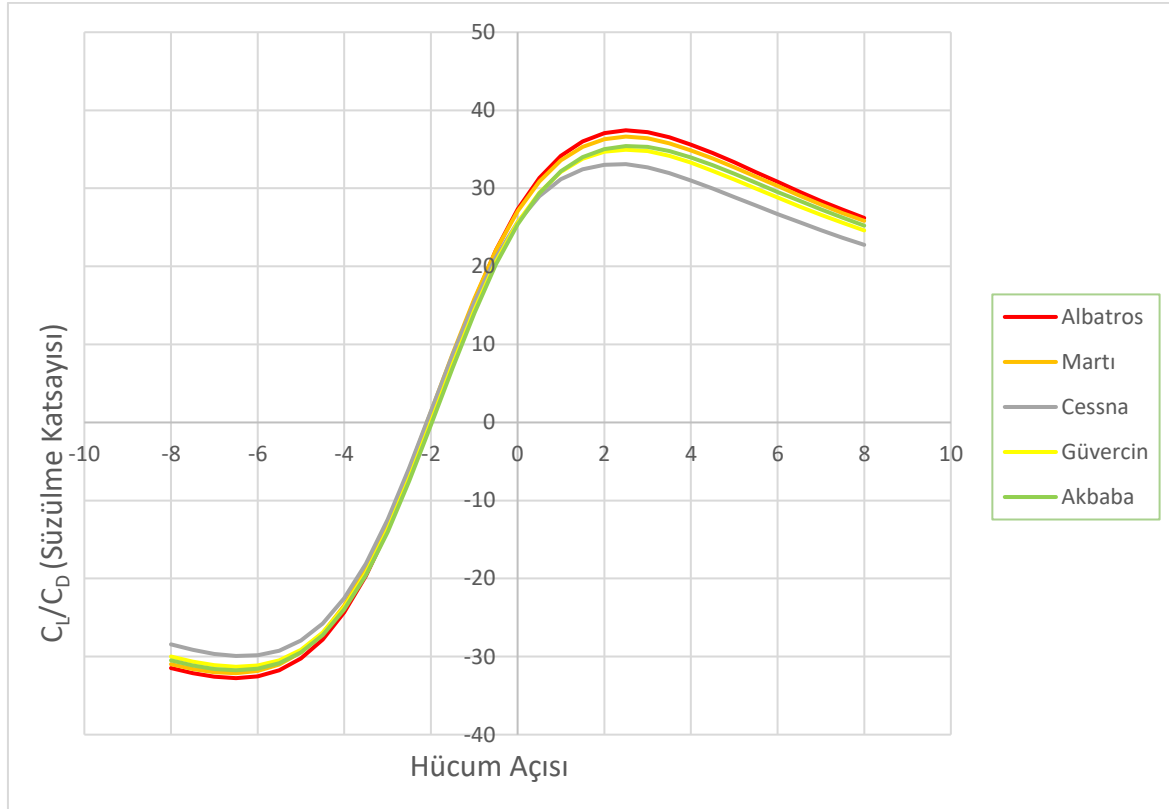
kanadı tipine göre daha iyi performans göstermiştir. Ayrıca kaldırma katsayı değerinde olduğu gibi sürüklenme katsayı değerlerinde de albatros kuşunun kanadına benzetilerek oluşturulan tasarımın diğer kanat tasarımlarına göre daha iyi aerodinamik performans sunduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 5.6. Kanat üzerindeki sürüklenme katsayısının hücum açısına göre değişimi

5.2.3. Kanat profili için süzülme oranlarının kıyaslanması

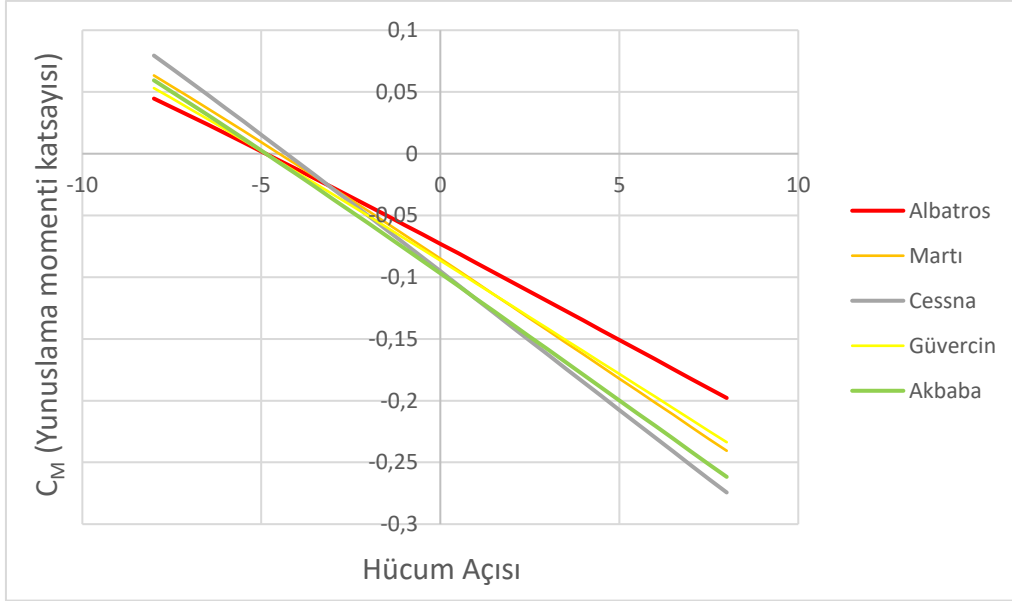
Biyomimetik ve Cessna 172 uçağının kanat yapılarının süzülme oranları (C_L/C_D) Şekil 5.7.'de görselleştirilmiştir. Süzülme oranı, bir kanat tasarımının aerodinamik performansını gösteren en önemli parametredir. Karşılaştırma incelendiğinde -8° ile -4° hücum açısı aralığında Cessna 172 uçak kanadının süzülme oranı daha yüksek değere sahiptir. -4° ile 8° hücum açısı aralığında ise biyomimetik kanat tasarımları daha yüksek performans sunmuştur. Bu aralıkta incelendiğinde albatros kanat yapısının süzülme oranı değeri diğer kanat tiplerine göre daha iyi bir aerodinamik performans göstermiştir.



Şekil 5.7. Hücüm açısına göre süzülme oranları

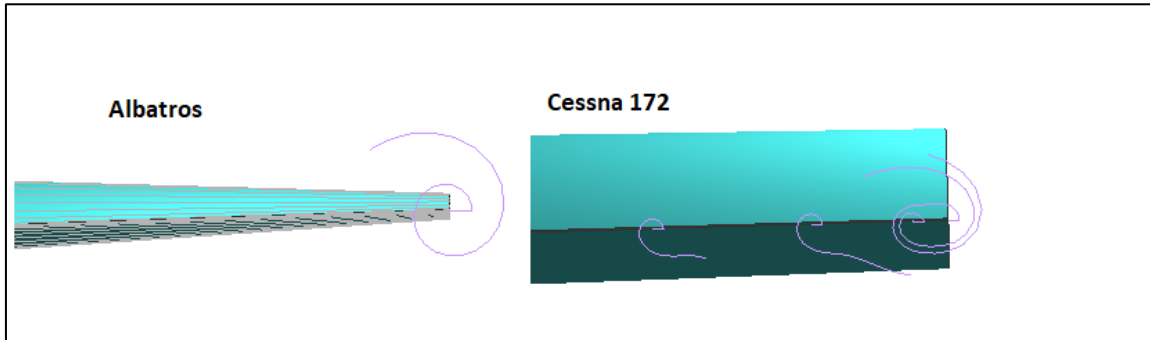
5.2.4. Kanat profili için yunuslama momenti katsayılarının kıyaslanması

Yunuslama momenti katsayısının pozitif olması durumunda uçağın burun kısmı yukarı yönde hareket etme eğilimindedir. Eksi olması durumunda ise uçağın burnu aşağı yönde hareket etme eğilimindedir. Bundan dolayı dengeli uçuş için hücüm açısı sıfır dereceyken yunuslama momentinin katsayısının eksi değere sahip olması ve sifira yakın değerde olması istenilir. Şekil 5.8.'de tasarlanan kanatların yunuslama momenti katsayılarının (C_M) karşılaştırması görselleştirilmiştir. Hücüm açısı 0° 'ye sahip olduğunda; albatros, martı, güvercin, akbaba ve Cessna 172 kanatlarının yunuslama momenti katsayıları sırası ile -0,1978113; -0,2336351; -0,2405375; -0,2616895 ve -0,2743365 değerlerindedir. Eksi ve sifira yakın değere sahip olması nedeniyle albatros kanat yapısının uçuş dengesinin diğer kanat tasarımlarına göre daha stabil olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 5.8. Hücüm açısı değerine göre yunuslama momenti değişimi

Şekil 5.9.'da kanatçık başlığı altında anlatılan, kanat ucunda oluşan girdap hava akışının Cessna 172 uçağının kanat yapısında ve albatros kanat yapısında karşılaştırması görselleştirilmiştir. Albatros kanat tasarımı referans uçak yapısına göre daha az kanat ucu girdabına maruz kalmaktadır. Bu nedenle daha yüksek kaldırma kuvveti kazanmakta ve daha az sürükleme kuvvetine maruz kalmaktadır. Bunların sonucunda uçağın yakıt tüketimi azalır ve kat edebileceği mesafe artar.



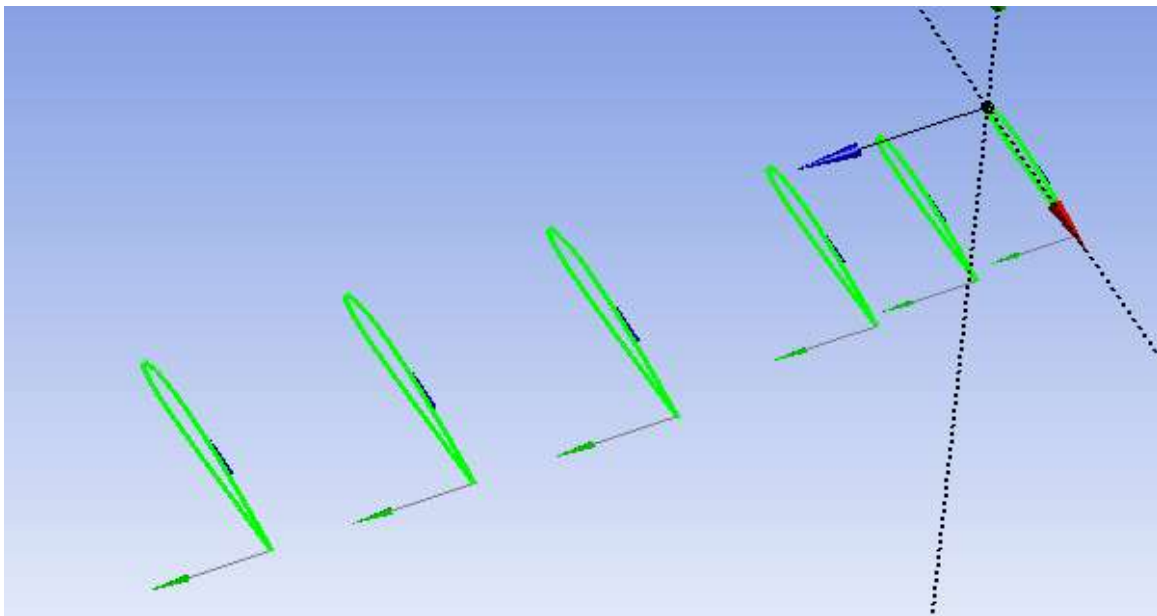
Şekil 5.9. Kanat ucunda oluşan hava akışı kıyaslaması

Yapılan Aerodinamik testler sonucunda Albatros kanat tasarımı diğer biyomimetik kanat tasarımlarına ve Cessna 172 uçağının kanadına göre daha iyi performans sunmuştur. Akış analizleri sonucunda albatros kanat, Cessna 172 uçak kanadına göre kaldırma katsayısında %6,26, sürükleme katsayısında %15,73, süzülme oranında %15,16 iyileşme sağlamıştır. Bu nedenle çalışmada albatros kanat tasarım yapısı ile ilerlenecektir.

5.3. Statik Analiz Karşılaştırması

Çalışmanın bu bölümünde Cessna 172 uçağının ve albatros kanat yapısının statik analiz sonuçları karşılaştırılacaktır. XFLR5 programında statik analiz modülü bulunmadığı için Ansys programından faydalanılacaktır. Tasarım sürecinde malzeme seçimi yapılacak ve tasarımın ağırlığı hesaplanacaktır. Tasarım aşamasından sonra ağ yapısı oluşturulup akış analizinde sınır şartları oluşturulacaktır. Akış analizini gerçekleştirdikten sonra basınç değerleri statik analiz modülünde kaynak bilgi olarak kullanılacak, kanadın farklı noktalarındaki basınç değerlerinin kanat üzerindeki stres ve deformasyon etkileri incelenecektir.

Ansys programında geometri modülü üzerinden kanat çiziminin gerçekleştirilmesi için öncelikle NACA2412 kanat kesitinin noktasal koordinatları gerekmektedir. Ansys programına aktarılabilmesi için koordinatların belli bir formatta işlenmesi gerekmektedir. Çizelge 5.1.'de gösterildiği gibi ilk sütunda sadece 1 değeri girilir, ikinci sütunda koordinat sayısı kadar numaralandırma yapılır. Üçüncü ve dördüncü sütunda koordinatların x ve y düzlemindeki değerleri girilir. Son sütunda ise koordinat sayısı kadar sıfır değeri girilir. Text formatında oluşturulan bu koordinatlar Ansys geometri modülünde “3d curve” komutu ile yüklenip iki boyutlu kesit profili oluşturulur. Şekil 5.10'da kanadın kesitlerinin ölçeklendirilmiş ve konumlandırılmış görselleri gösterilmiştir.



Şekil 5.10. Kanat ölçülerinin ölçeklendirilmiş ve eksenlere konumlandırılmış durumu

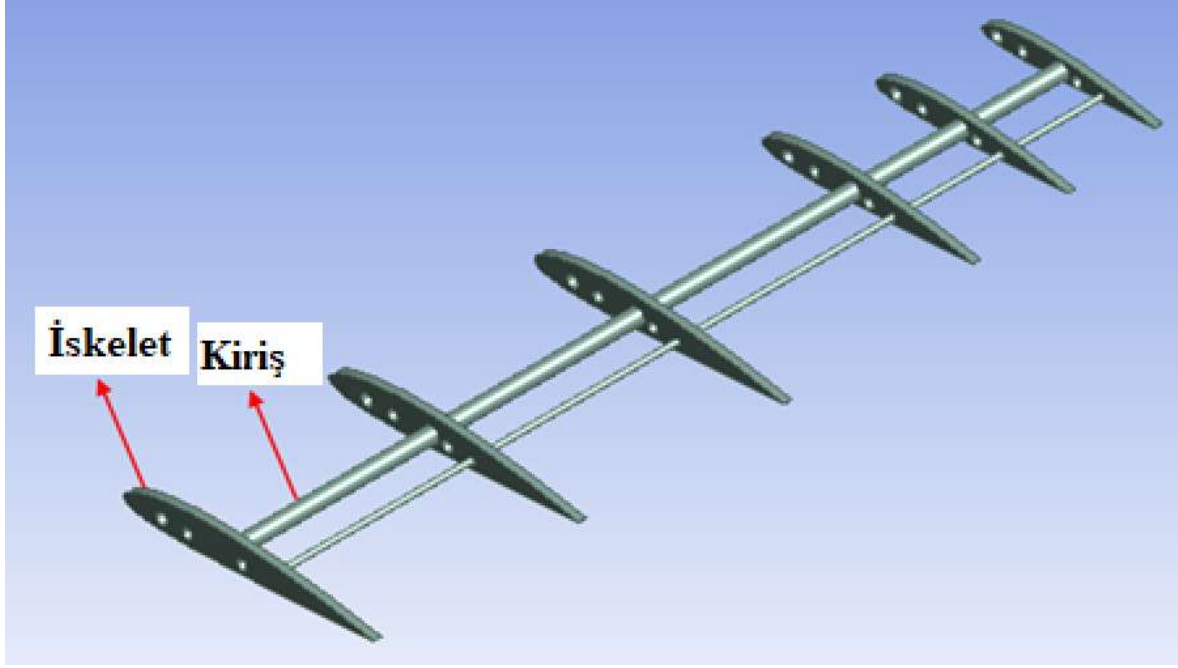
Çizelge 5.1. NACA2412 kanat kesitinin noktasal koordinatları

1	1	1	0,0013	0
1	2	0,95	0,0114	0
1	3	0,9	0,0208	0
1	4	0,8	0,0375	0
1	5	0,7	0,0518	0
1	6	0,6	0,0636	0
1	7	0,5	0,0724	0
1	8	0,4	0,078	0
1	9	0,3	0,0788	0
1	10	0,25	0,0767	0
1	11	0,2	0,0726	0
1	12	0,15	0,0661	0
1	13	0,1	0,0563	0
1	14	0,075	0,0496	0
1	15	0,05	0,0413	0
1	16	0,025	0,0299	0
1	17	0,0125	0,0215	0
1	18	0	0	0
1	19	0,0125	-0,0165	0
1	20	0,025	-0,0227	0
1	21	0,05	-0,0301	0
1	22	0,075	-0,0346	0
1	23	0,1	-0,0375	0
1	24	0,15	-0,041	0
1	25	0,2	-0,0423	0
1	26	0,25	-0,0422	0
1	27	0,3	-0,0412	0
1	28	0,4	-0,038	0
1	29	0,5	-0,0334	0
1	30	0,6	-0,0276	0
1	31	0,7	-0,0214	0
1	32	0,8	-0,015	0
1	33	0,9	-0,0082	0
1	34	0,95	-0,0048	0
1	35	1	-0,0013	0

Oluşturulan iki boyutlu kesitlerde Cessna 172 uçağının kanat geometrisinin kesit, mesafe ve ölçülerini gösteren Çizelge 5.1. kullanılarak veter uzunlukları ölçeklendirilmiştir. Ölçeklendirilen kesitler yine Çizelge 5.1.'de belirtilen mesafe bilgilerine göre eksen atanarak konumlandırılmışlardır.

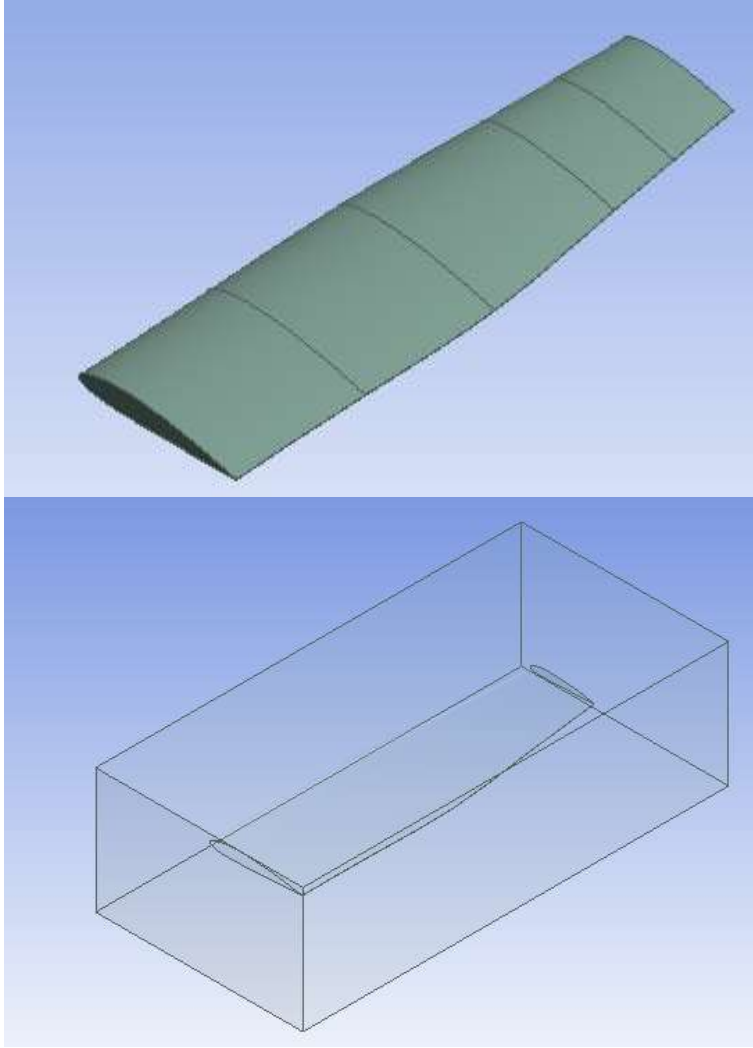
Kanat iskeleti yapısı kanatların yapısal elementidir. Kanadın fazla yüke maruz kalması durumunda şeklini korumasını ve kanat üzerinde oluşan basınçların kirişler ile aktarmını

sağlar. Tasarımı yapılan iki boyutlu kesit geometrilerine yüzey eklenmiş, bu yüzeylere kalınlık atanmış ve kanadın iskelet yapısı oluşturulmuştur. Kanadın ağırlığını azaltmak için üzerlerine delik geometrileri oluşturulmuştur. Kanat iskeletlerini birbirine bağlayan kanat kirişlerinin tasarımı gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.11.'de tasarlanan kanat iskeleti ve kanat kirişinin yapısı görselleştirilmiştir.



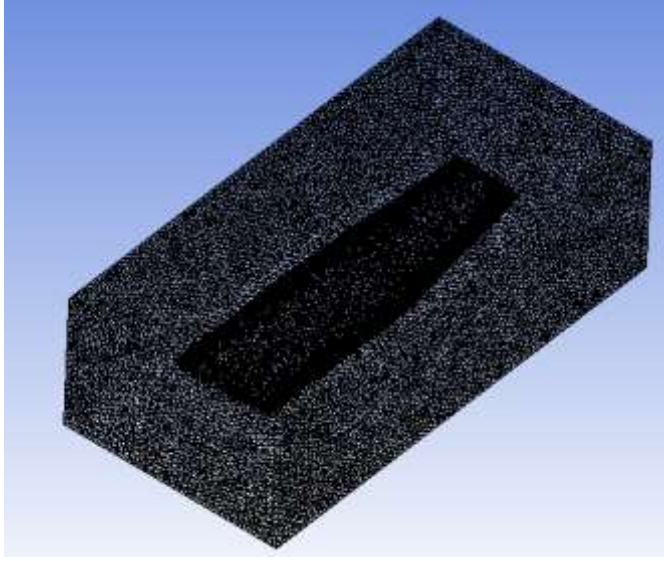
Şekil 5.11. Kanat iskeleti ve kanat kirişinin yapısı

Tasarlanan kanat iskeletinin yüzey geometrileri 'Skin' komutu ile birleştirilerek kanadın dış geometrisi oluşturulmuştur. 'Enclosure' komutu ile kanadın etrafını kaplayan dikdörtgen bir yapı oluşturulmuştur. Oluşturulan kanat geometrisi ve çevresini kaplayan dikdörtgen yapı Şekil 5.12.'de görselleştirilmiştir. Akış analizinde bu tasarım yapısını tanımlayabilmek için dikdörtgenin ön yüzeyi 'hava giriş', arka yüzeyi 'hava çıkış', kanat geometrisi 'ana gövde' ve dikdörtgen geometrisinin geri kalan yüzeyleri 'duvar' olarak tanımlanmıştır.



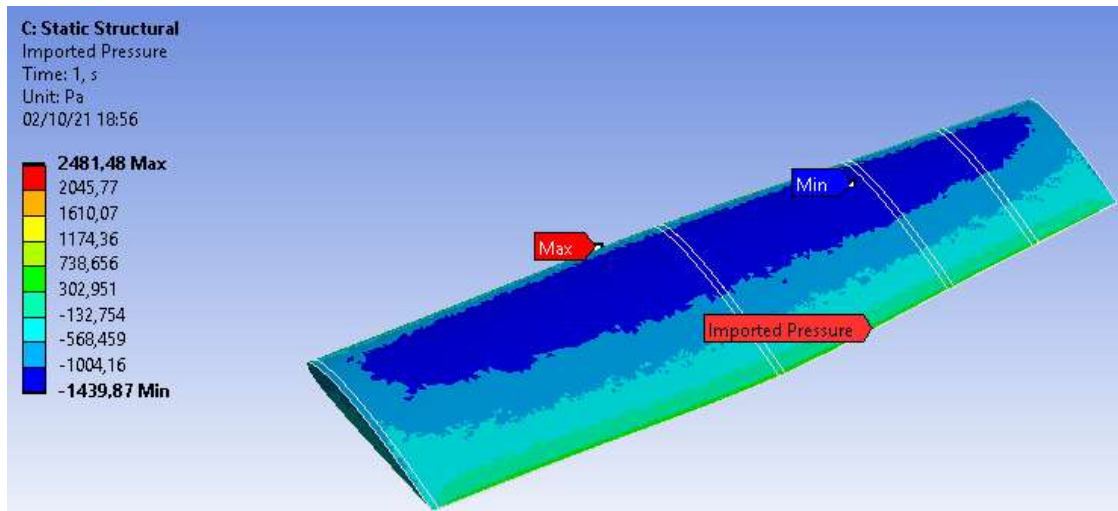
Şekil 5.12. Kanat geometrisi ve analizde kullanılacak alan

Tasarım sürecinden sonra analiz ortamına hazırlık için ağ yapısının örülmesi gerekmektedir. Oluşturulan geometride element alanı 200mm'dir. Ağ kalitesinin incelenmesi için çarpıklık değeri üzerinden yapılan incelemede, 461765 mesh elamanı kullanılarak oluşturulan ağ yapısının maksimum çarpıklık değerinin 0,78 olduğu gözlemlenmiştir. Mesh çarpıklık tablosuna göre (Bkz. Resim 3.4.) maksimum çarpıklık değerinin iyi seviyede olduğu görülmüştür. Şekil 5.13.'de oluşturulan ağ yapısı gösterilmiştir.



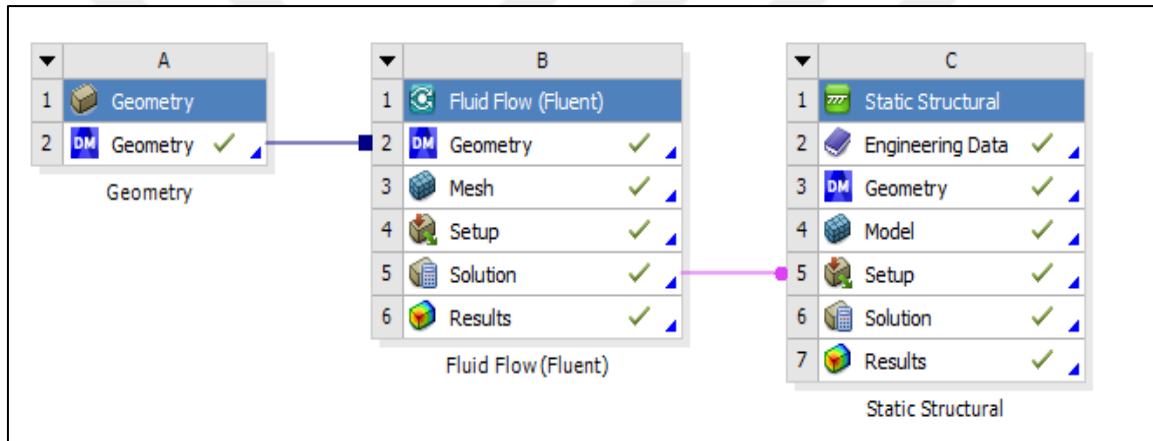
Şekil 5.13. Oluşturulan ağ yapısı

Analiz şartlarının oluşturulurken hız girişi için Cessna 172 uçağının seyir hızı olan 63 ms^{-1} değerinin 8° hücum açısındaki karşılığı olan $\sin(8^\circ)$ ve $\cos(8^\circ)$ değerleri baz alınmıştır. Ayrıca analiz girdilerinde akışın yoğunluğu $0,996 \text{ kgm}^{-3}$ ve dinamik yoğunluğu $1,74 \times 10^5 \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ seçilmiştir. Kanat üzerinde oluşan basınç dağılımı Şekil 5.14.'de gösterilmiştir. Maksimum basınç $2481,48 \text{ Pa}$ değerindedir ve kanadın ön bölgesinde oluşmuştur. Bunun nedeni kanadın ön bölümü hava akımı ile ilk karşılaşan kısımdır. Kanadın ön kısmındaki bombeli geniş yüzey nedeniyle hava akımı kanadın arka kısımlarına akmadan önce kısa bir süre ön bölgede yavaşlar ve yüksek basınca neden olur. En düşük basınç değeri ise kanadın arka ucunda oluşmuştur. Kanadın farklı noktalarında oluşan farklı basınç değerleri statik analizde kanat üstündeki yük bilgisi için kaynak niteliğinde kullanılacaktır.

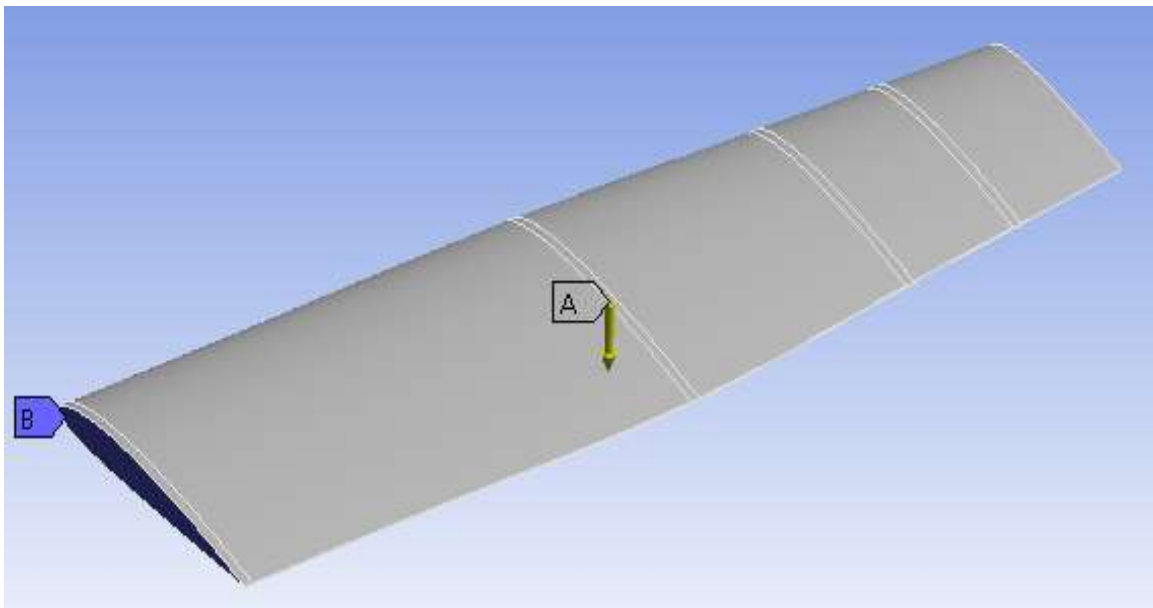


Şekil 5.14. Kanat üzerindeki basınç dağılımı

Statik analiz için akış analizinde ilk oluşturulan tek kanat yapısı (çevresini kaplayan dikdörtgen yapı olmadan) tekrar çizilmiştir. Malzeme atamasında Cessna 172 uçağının kanat malzemesi olan Alüminyum materyali seçilmiştir. Atanan malzeme sonrası kanadın ağırlığının 2876,8 kg olduğu gözlemlenmiştir. Mesh yapısı kanat için yeniden oluşturulmuştur. Oluşturulan ağ yapısının eleman alanı 500mm, mesh eleman sayısı 500 000 ve maksimum çarpıklık değeri 0,70'dir. Statik analiz şartları için kanat üzerindeki basınç değerleri akış analizi sonuçlarından alınmıştır. Akış analizi ve statik analiz arasında kurulan bağ Şekil 5.15.'deki gibidir. Ayrıca şekil 5.16.'da B sembolü ile gösterilen alan, kanat ve uçağın gövdesinin birleştiği yüzeydir ve bu yüzey sabitlenmiştir. Gerçekçi sonuç elde edebilmek için analiz şartlarına A sembolü ile gösterilen yer çekimi de eklenmiştir.

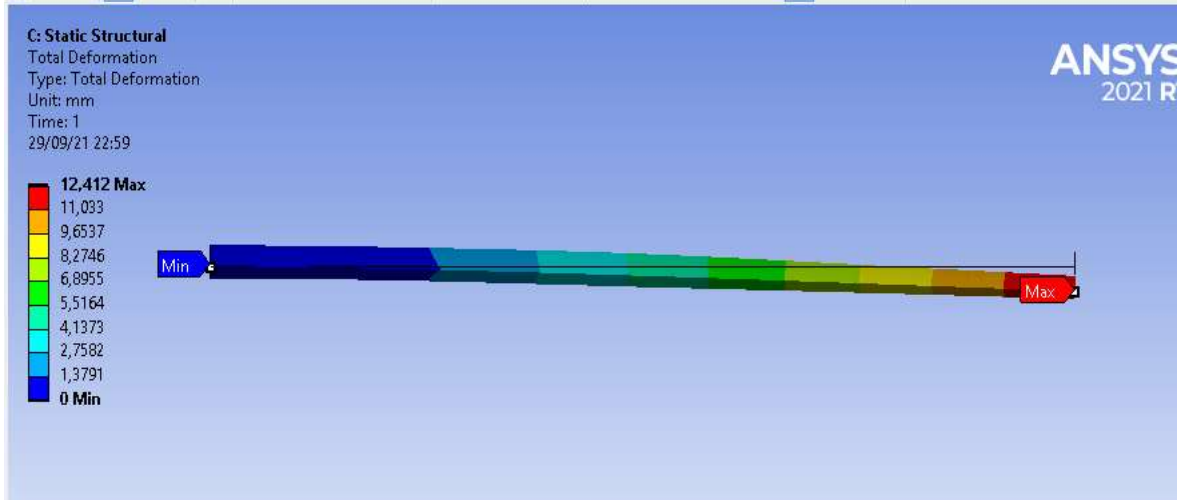


Şekil 5.15. Statik analiz ile akış analizi arasında kullanılan bağlantı

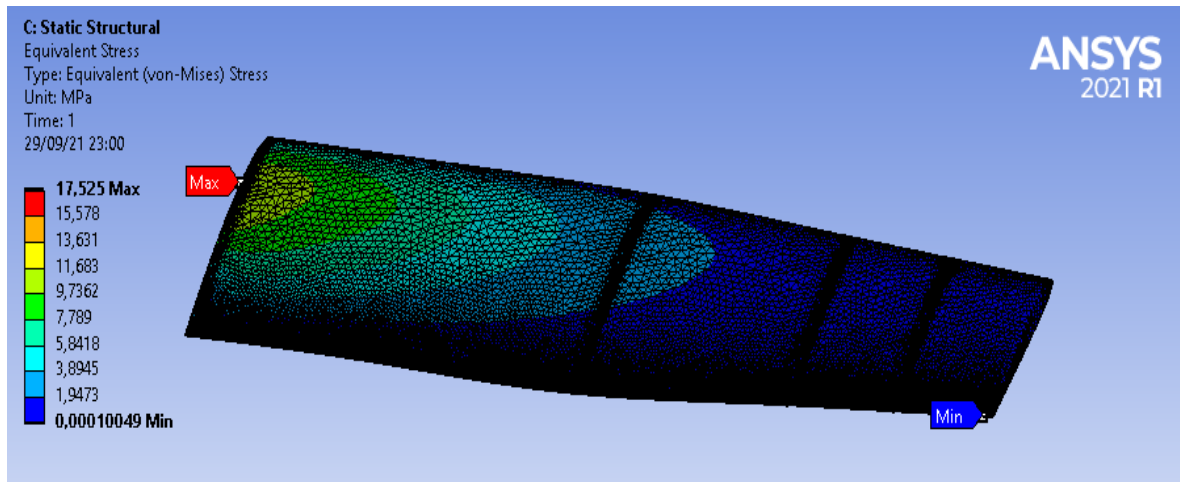


Şekil 5.16. Kanat üzerinde oluşturulan analiz şartları

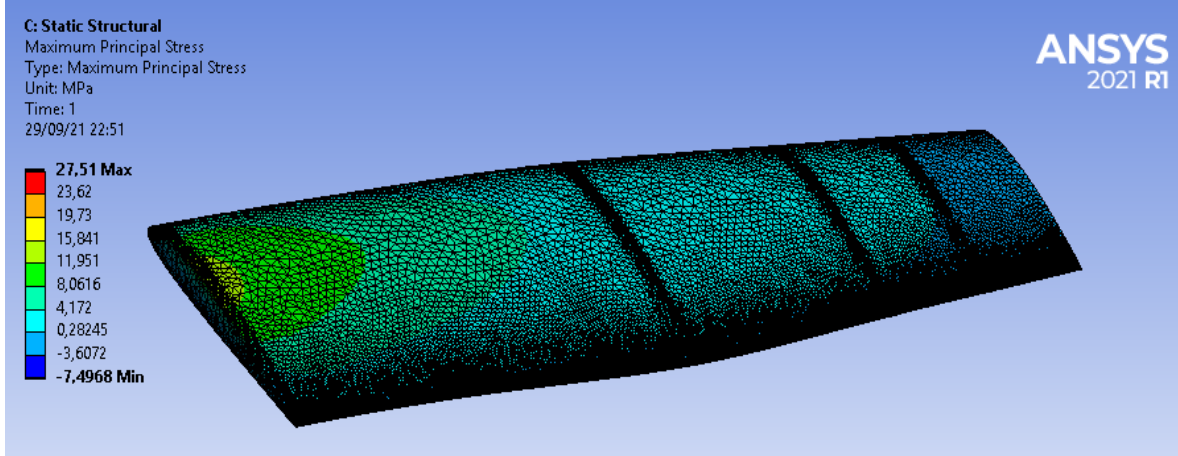
Statik analiz sonuçlarını incelemek için test sonuçlarında toplam deformasyon, maksimum stress ve Von-Mises gerilme değerleri analiz şartlarına eklenmiştir. Şekil 5.17.'de akış analiz sonuçlarına göre elde edilen basınç dağılımından dolayı oluşan kanat üzerindeki deformasyon gösterilmiştir. Kanat ucunda oluşan maksimum deformasyon, kanadın gövde ile birleştiği alanda minimumdur. Kanatta oluşan maksimum defarmasyonun 12,412mm olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 5.18.'de kanat üzerinde oluşan Von-Mises gerilme değerleri görselleştirilmiştir. Maksimum Von-Mises gerilme, kanat ile gövdenin birleştiği bölgede meydana gelmiştir ve 17,525 MPa değerindedir. Maksimum gerilme Şekil 5.19.'da gösterilmiştir. Von-Mises gerilme değerinde gözlemlendiği gibi maksimum gerilme değeri de kanadın gövde bölgesinde maksimum değere ulaşmıştır. Maksimum gerilme değeri ise 27,51 MPa değerindedir.



Şekil 5.17. Cessna 172 uçak kanadında analiz sonucunda kanatta oluşan deformasyon

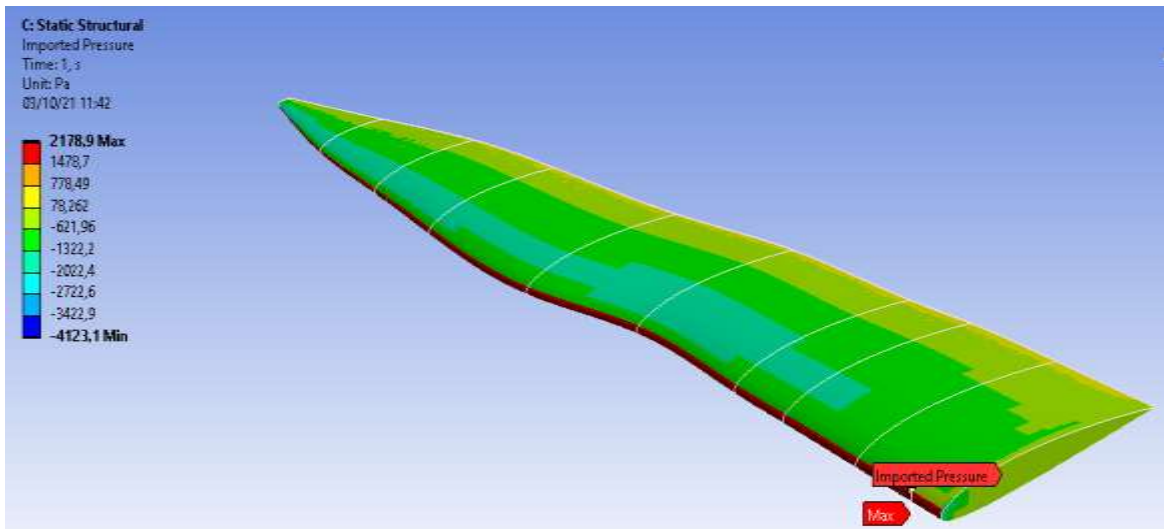


Şekil 5.18. Cessna 172 uçak kanadında oluşan Von-Misses gerilme değerleri



Şekil 5.19. Cessna 172 uçak kanadında analiz sonucunda oluşan maksimum gerilme değeri

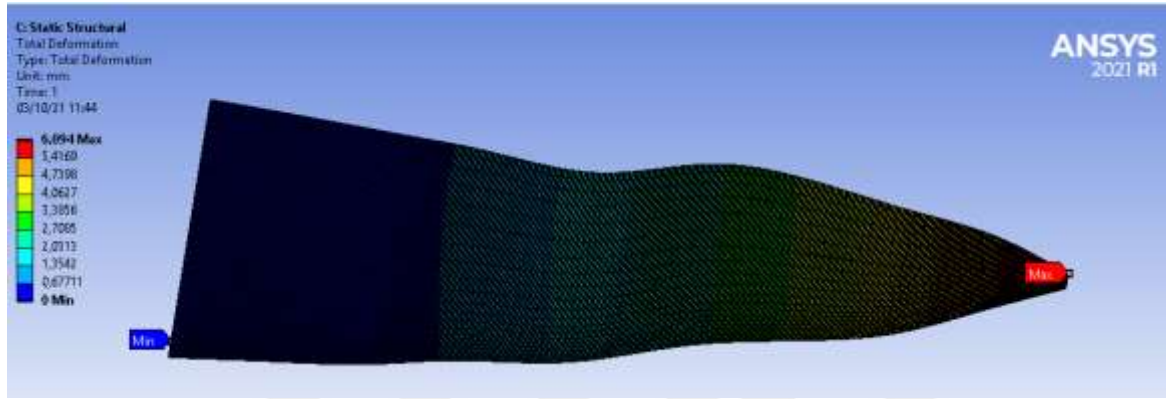
Cessna 172 uçak kanadının Ansys programında tasarımı, akış analizi ve statik analizi çalışmaları aynı şekilde albatros kanat yapısı için de uygulanmıştır. Karşılaştırma yapabilmek için malzeme tanımlamada Alüminyum malzeme tipi kullanılmıştır. Alüminyum malzeme kullanımı ile geometrinin ulaştığı ağırlık 1894,2 kg değerindedir. Şekil 5.20.'de albatros kanat tipinde akış analizi sonucu kanat üzerinde oluşan basınç dağılımı gösterilmiştir. Oluşan maksimum basınç 2178,9 Pa değerindedir ve Cessna 172 uçağının kanadında olduğu gibi yine kanadın ön bölgesinde maksimum değere ulaşmıştır. Minimum basınç değeri de yine diğer kanat tipinde olduğu gibi kanadın en uç bölgesindedir.



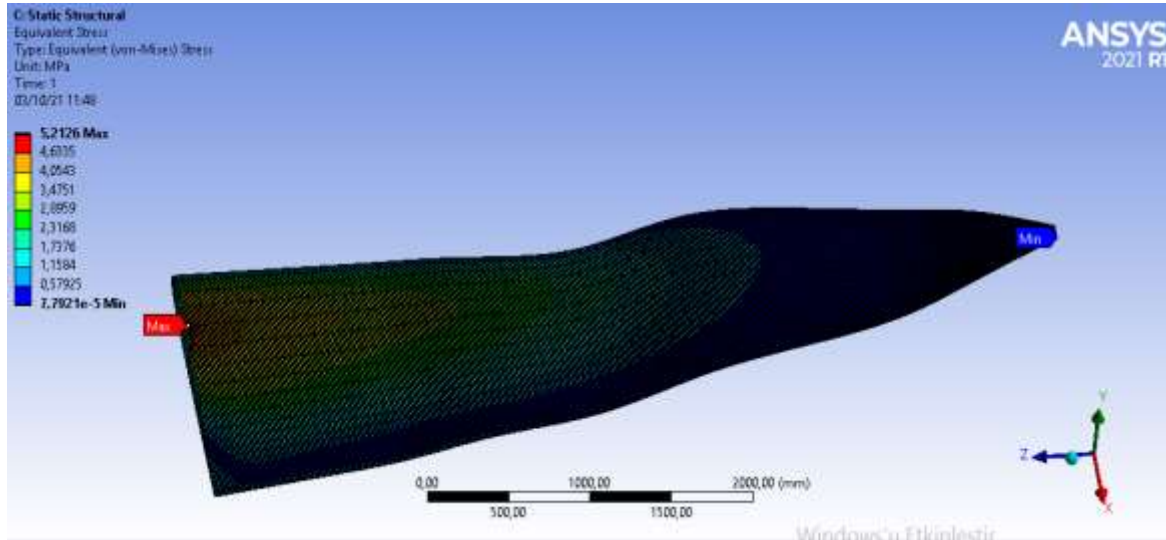
Şekil 5.20. Albatros kanat üzerinde oluşan maksimum basınç değeri

Şekil 5.21.'de kanat üzerinde oluşan basınç değerlerinden kaynaklanan deformasyon değerleri gözükmemektedir. Maksimum deformasyon, Cessna 172 uçağının kanat tasarımında

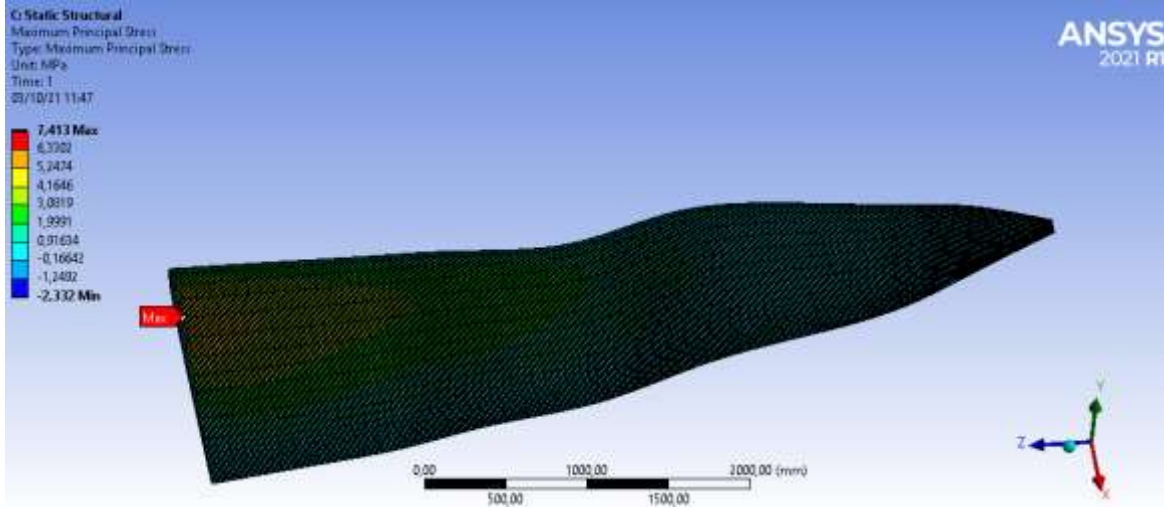
olduğu gibi kanadın en uç bölgesinde oluşmuştur ve 6,094 mm değerindedir. Minimum deformasyon ise kanadın gövde ile birleştiği alanda yani kanadın kök bölgesinde meydana gelmiştir. Maksimum Von-Mises gerilme değerleri Şekil 5.22.'de gösterilmiştir. Kanat kök bölgesinde oluşan bu maksimum Von-Mises gerilmesi 5,2126 MPa değerindedir. Minimum Von-Mises gerilmesi ise kanadın uç kısmında oluşmuştur. Kanat üzerinde oluşan maksimum gerilmeler Şekil 5.23.'de gösterilmiştir. Kanat kök bölgesinde oluşan maksimum gerilme 7,413 MPa değerindedir.



Şekil 5.21. Albatros kanadında analiz sonucunda kanatta oluşan deformasyon



Şekil 5.22. Albatros kanadında oluşan Von-Mises gerilme değerleri



Şekil 5.23. Albatros kanadında analiz sonucunda oluşan maksimum gerilme değeri

Çizelge 5.2.'de albatros kanat yapısı ile Cessna 172 uçağının kanat yapısı statik analiz sonuçlarına göre kıyaslanmıştır. Albatros kanat tasarımı ile kanat ağırlığı, maksimum basınç, maksimum deformasyon, maksimum Von-Mises gerilimi, maksimum stres değerlerinde Çizelge 5.2.'de belirtildiği gibi sırası ile %34,156, %12,193, %50,902, %70,256 ve %73,053 iyileşme olmuştur.

Çizelge 5.2. Kanatların statik analiz sonuçlarının karşılaştırılması

	Cessna 172 Kanat	Albatros Kanat	İyileşme Oranı
Ağırlık (kg)	2876,8	1894,2	%34,156
Maksimum Basınç Değeri (Pa)	2481,48	2178,9	%12,193
Maksimum Deformasyon Değeri (mm)	12,412	6,094	%50,902
Maksimum Von-Mises Gerilim Değeri (MPa)	17,525	5,2126	%70,256
Maksimum Stres Değeri (MPa)	27,51	7,413	%73,053



6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Uçağın tasarım süreci; seyir mesafesi, hızı, uçuş konforu, yakıt tüketimi, taşıyabileceği yolcu veya yük miktarı, yükselebileceği irtifa, operasyonel anlamda kullanabileceği alan ve manevra kabiliyeti gibi kritik uçuş fonksiyonlarına doğrudan etki etmektedir. Bu kapsamda tasarım sürecinde en önemli yapı kanat tasarımıdır. Kanadın geometrisi bahsedilen tüm uçuş fonksiyonlarında kritik rol oynamaktadır.

Kanat tasarımı esnasında göz önünde bulundurulması gereken iki boyutlu kesit seçimi, açıklık oranı, sivrilik oranı, dihedral açısı, ok açısı, büküm açısı ve kanatçık kullanımı gibi bir çok etken vardır. Bu etkenlerin her biri nihai kanat tasarımının performansında ciddi farklar yaratmaktadır. Uçak havanın içinde akışın ters yönüne doğru hareket ederken rüzgar direnci ve bu dirençten dolayı oluşan moment etkisi uçuş performansına olumsuz etki etmektedir. Tasarım çalışmalarında, bu iki olumsuz etken minimize edilerek aerodinamik performansın artırılması amaçlanmaktadır.

Bu tez çalışmasında, kanat tasarımına etki eden tüm faktörler ayrıntılı olarak incelenmiştir. Bu faktörler arasında en kritik parametrelerden biri olan kanat kesiti seçimi için geçmişte yapılmış benzer çalışmalar incelenmiş ve aerodinamik performansı en yüksek olan kanat kesitleri tespit edilmiştir. Yapılan tasarımların aerodinamik performansını kıyaslayabilmek için günümüzde kullanımı devam eden Cessna 172 uçağının kanat geometrisi referans alınmıştır. Bu uçak tipinin kanat yapısında NACA2412 kesiti kullanılmaktadır. Literatür araştırmalarında tespit edilen kanat kesitleri ile NACA2412 kesiti XFLR5 programında iki boyutlu akış analizi ortamında test edilmiştir. Yapılan akış analizinde kanat kesitleri 10^6 Reynold değerinde ve 0° - 20° hücum açısı aralığında incelenmiştir. Test sonucunda NACA2412'nin diğer kanat kesitlerine göre daha yüksek süzülme oranına sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca uçuş dengesinin diğer kanat kesitlerine göre daha stabil olduğu gözlemlenmiştir. Kanat kesiti seçildikten sonra üç boyutlu kanat tasarımında Cessna 172 uçağının kanat geometrisi referans alınarak benzer ölçülerde yeni tasarımlar çalışılmıştır. Bu tasarım çalışmalarında biyomimetik bilim dalından faydalanılmıştır. Doğada uçabilen canlılar arasında aerodinamik performansı en yüksek olan canlılar belirlenmiş ve bu canlıların kanat açıklık görselleri örnek alınarak alternatif kanat tasarımları oluşturulmuştur. Oluşturulan bu biyomimetik kanat tasarımları martı, albatros, akbaba ve güvercin kuş türlerinden esinlenilmiştir. Biyomimetik tasarımları kendi aralarında ve Cessna 172 uçağının

kanadı ile aerodinamik performans açısından kıyaslayabilmek için XFLR5 programında üç boyutlu akış analizi gerçekleştirilmiştir. -8° ile 8° hücum açısı aralığında, 63 ms^{-1} hızında, VLM metot kullanılarak yapılan analizler sonucunda albatros kanat tasarımı diğer biyomimetik tasarımlardan daha yüksek performans sunmuştur. Ayrıca bu kanat yapısının Cessna 172 uçak kanadına göre kaldırma katsayısında %6,26, sürüklenme katsayısında %15,73, süzülme oranında %15,16 iyileşme sağladığı gözlemlenmiştir. Yapılan incelemede, kanat ucunda oluşan girdaplı akışın da albatros kanat tasarımında daha az olduğu görülmüştür.

Akış analizinde yüksek performans gösteren albatros kanat tasarımının uçuş sırasındaki malzeme dayanımını inceleyebilmek için çalışmanın devamında statik analize ihtiyaç duyulmuştur. XFLR5 programında statik analiz modülü olmadığı için Ansys programında Cessna 172 uçağının kanadı ile albatros kanat tasarımı tekrar çizilmiş ve her iki tasarımda da alüminyum malzeme kullanılmıştır. CFD modülü ile akış analizi tekrar yapılmıştır. Akış analizi sonucunda elde edilen kanat üzerindeki basınç değerleri, statik analiz için yük kaynağı olarak kullanılmıştır. Statik analiz sonucunda elde edilen bulgulara göre albatros kanat tasarımının Cessna 172 uçağının kanadına göre ağırlığı %34,156, maksimum basınç değeri %12,193, maksimum deformasyon değeri %50,902, maksimum Von-Mises gerilim değeri %70,256 ve maksimum gerilim değeri %73,053 daha az olduğu gözlemlenmiştir.

Çalışmanın sonucunda, biyomimetik bilim dalından faydalanılarak doğadaki canlıların günümüz mühendislik sorunlarına nasıl çözümler sunabileceği ya da tasarım iyileştirmelerine nasıl uyarlanabileceği incelenerek kanat tasarımı iyileştirme sürecinde kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar bir çok mühendislik alanında olduğu gibi havacılıkta da biyomimetikten faydalanarak yeni tasarım fikirlerinin geliştirelebileceğini göstermiştir.

Çalışmada kısıtlı zamandan ve pandemi şartlarından dolayı tasarımların üretimi ve rüzgar tüneline akış analizinin yapılması gerçekleştirilememiştir. İleriki çalışmalarda, oluşturulan biyomimetik tasarımlar ve Cessna 172 uçak kanadı tasarımı üç boyutlu yazıcı ile üretilerek rüzgar tüneli testinde aerodinamik performans açısından incelenebilir.

Bu çalışmada sadece biyomimetik kanat tasarımı üzerinde çalışılmıştır. İleride yapılacak çalışmalarda; uçağın gövdesi, kuyruk kanadı, kokpiti gibi diğer ana parçaları da biyomimetik bilim dalından faydalanılarak tasarlanabilir.

KAYNAKLAR

1. İnternet: Performance Analysis of Airfoil Using Biomimicry: Serrated Trailing Edge And Denticles Inspired Surface URL: https://www.researchgate.net/publication/342706278_Performance_Analysis_of_Airfoil_Using_Biomimicry_Serrated_Trailing_Edge_And_Denticles_Inspired_Surface, Son Erişim Tarihi: 29.10.2021.
2. Wei, Y., Xu, F., Bian, S. and Kong, D. (2020). Noise Reduction of UAV Using Biomimetic Propellers with Varied Morphologies Leading-Edge Serration. *Journal of Bionic Engineering*, 17(4), 767-779.
3. Luo, Y., Pan, G., Huang, Q., Shi, Y. and Lai, H. (2019). Parametric Geometric Model and Shape Optimization of Airfoils of a Biomimetic Manta Ray Underwater Vehicle. *Journal of Shanghai Jiaotong University*, 24(3), 402-408.
4. İnternet: Design of a New Aircraft Wing Inspired by the Magnificent Frigate Bird URL: https://www.researchgate.net/publication/343336468_Design_of_a_New_Aircraft_Wing_Inspired_by_the_Magnificent_Frigate_Bird, Son Erişim Tarihi: 20.10.2021.
5. Aydın, N., Çalışkan, M. and Karagoz, I. (2020). A Study on a New Bio-Inspired Wing Design and 2d Analysis of Its Aerodynamic Characteristics. *Euroasia Journal of Mathematics, Engineering, Natural and Medical Sciences* 7(8), 126-136.
6. Martin, D. S. (2017). *An Investigation of Avian Wing Tip Vortex Generation Using a Biomimetic Approach*, Yüksek Lisans Tezi, California State Polytechnic University, San Luis Obispo, 30-32.
7. İnternet: A. Flying fish: Biomimetic Potential For Wing in Ground Effect Crafts? URL: https://www.researchgate.net/publication/312219814_Flying_fish_Biomimetic_potential_for_wing_in_ground_effect_crafts, Son Erişim Tarihi: 20.10.2021.
8. Murphy, J. T. (2008). Experimental Investigation of Biomimetic Wing Configurations for Micro Air Vehicle Applications, *Journal of Intelligent Material Systems and Structures* 19(3), 423-431.
9. Yang, W., Alexandridis, T., and Tian, W. (2018). Numerical Research of the Effect of Surface Biomimetic Features on the Efficiency of Tidal Turbine Blades. *Energies*, 11(4), 1014.
10. İnternet: Investigating the Aerodynamic Performance of Biomimetic Gliders for Use in Future transportation URL: https://www.researchgate.net/publication/336933999_Investigating_the_Aerodynamic_Performance_of_Biomimetic_Gliders_for_Use_in_Future_Transportation, Son Erişim Tarihi: 20.10.2021.
11. Park, H., Bae, K., Lee, B., Jeon, W. P., and Choi, H. (2010). Aerodynamic Performance of A Gliding Swallowtail Butterfly Wing Model. *Experimental mechanics*, 50(9), 1313-1321.

12. İnternet: Bionic Wing Design. URL: https://www.researchgate.net/publication/348372672_Bionic_Wing_Design, Son Erişim Tarihi: 16.09.2021.
13. Bardera-Mora, R., Garcia-Magariño, A., Barroso, E., and Rodriguez-Sevillano, A. (2019). Experimental Determination of Profile and Induced Drag Components in a Biomimetic Design MAV with Grids. In AIAA Aviation 2019 Forum, Dallas, Teksas (3580).
14. Guerrero, J. E., Maestro, D., and Bottaro, A. (2012). Biomimetic Spiroid Winglets for Lift and Drag Control. *Comptes Rendus Mecanique*, 340(1-2), 67-80.
15. Başak, H., Demirhan, H. (2017) Kambur Balina'nın Yüzgeçlerinden Esinlenerek Oluşturulan Kanat Profil Veriminin CFD Analizi ile İncelemesi. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 3(2), 15-20.
16. Nithiyapathi, C., Sreelakshmy, P. S., and Suman, M. (2021). Aerodynamic Characterization Of An Albatross Wing For Bio-Inspired Unmanned Aerial Vehicle. *Materials Today: Proceedings*, 37, 1659-1664.
17. Bektaş, M., Güler, M. A., and Kurtuluş, D. F. (2020). One-way FSI Analysis Of Bio-Inspired Flapping Wings. *International Journal of Sustainable Aviation*, 6(3), 172-194.
18. İnternet: Aerodynamic Performance of a Flapping Wing Inspired by Bats. URL: https://www.researchgate.net/publication/342307532_Aerodynamic_Performance_of_a_Flapping_Wing_Inspired_by_Bats, Son Erişim Tarihi: 27.09.2021.
19. İnternet: Design and Analysis of a Modular VTOL Drone With Bat-Inspired Wings. URL: https://www.researchgate.net/publication/346687464_Design_and_Analysis_of_a_Modular_VTOL_Drone_With_Bat-Inspired_Wings, Son Erişim Tarihi: 21.09.2021.
20. Domel, A. G., Saadat, M., Weaver, J. C., Haj-Hariri, H., Bertoldi, K., and Lauder, G. V. (2018). Shark Skin-Inspired Designs That Improve Aerodynamic Performance. *Journal of the Royal Society Interface*, 15(139), 120-122.
21. Sadraey, M. H. (2012). *Aircraft Design: A Systems Engineering Approach*. John Wiley and Sons. (First edition), New Hampshire: John Wiley & Sons, 250-300.
22. Jane, Fred T. and Jackson, Paul (2013). *Jane's All The World's Aircraft*. (First Edition) New York: Arco Publishing Company, 120-122.
23. İnternet: Cessna 172 Uçağının İki Boyutlu Görüntüleri URL: https://www.the-blueprints.com/vectordrawings/show/706/cessna_172_skyhawk/, Son Erişim Tarihi: 16.05.2021.
24. Çoban, A. B. (2019). İnsansız Hava Araçlarında Kullanılan Kanatçıkların Sayısal İncelenmesi, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 7(2), 393 – 402.
25. Genç, M. S., Özışık, G., ve Kahraman, N. (2008). Düz Flaplı NACA0012 Kanat Profilinin Aerodinamik Performansının İncelenmesi. *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 28(1), 1-8.

26. Bakırcı, M., Ceylan, H., ve Yılmaz, S. (2015). NACA 23012 ve NREL S 809 kanat kesitlerinin HAD ile analizi. *Electronic Journal of Vocational Colleges*, 5(1), 52-61.
27. Eraslan, Y. (2018). *A Training Sailplane Design*, Yüksek Lisans Tezi, Gaziantep Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gaziantep, 22-32.
28. Choi, D. H., Sohn, C. H., and Oh, C. S. (1992, January). *Prediction of airfoil stall using Navier-Stokes Equations In Streamline Coordinates*. Paper presented at the Fifth Symposium on Numerical and Physical Aspects of Aerodynamic Flows, California.
29. İnternet: Biyomimetik taksonomisi URL: <https://asknature.org/resource/biomimicry-taxonomy/>, Son Erişim Tarihi: 12.05.2021.
30. İnternet: XFLR5 Analysis of foils and wings operating at low Reynolds numbers URL:https://engineering.purdue.edu/~aerodyn/AAE333/FALL10/HOMEWORKS/HW13/XFLR5_v6.01_Beta_Win32%282%29/Release/Guidelines.pdf, Son Erişim Tarihi: 12.05.2021.
31. Dhawan, S. (1991). Bird flight. *Sadhana*, 16(4), 275-352.
32. İnternet: Cornell Üniversitesi rüzgâr tüneli test sonuçları URL: <https://confluence.cornell.edu/pages/viewpage.action?pageId=144976461>, Son Erişim Tarihi: 12.05.2021.





GAZİ GELECEKTİR..