

## KANATÇIK AÇISININ İNSANSIZ HAVA ARACININ AEROELASTİK DAVRANIŞINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Tolga VERGÜN  
Türk Hava Kurumu  
Üniversitesi, Ankara<sup>1</sup>  
<sup>2</sup>

Şule ÖZTÜRK  
İstanbul Teknik Üniversitesi,  
İstanbul<sup>3</sup>

Melike NİKBAY  
İstanbul Teknik Üniversitesi,  
İstanbul<sup>4</sup>

### ÖZET

*Bu çalışmada kanat profili NACA 4412 olan İHA kanadının çarpınma hızının maksimize edilmesi amaçlanmıştır. Çarpınma hızını maksimize etmek için kanatçığin kanat ile olan açısı 3 farklı açı için incelenmiştir. Ansys ticari yazılımı kullanılarak tek yönlü akışkan yapı etkileşimi analizi yapılmıştır. Bunun ardından hem akış hemde yapısal kuvvetlerin hesaba katıldığı aeroelastik analiz ZAERO ticari yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Son olarak bu yapılan iki analiz sonuçları yorumlanmıştır.*

### GİRİŞ

Aeroelastisite hava aracı yapısındaki aerodinamik, elastik ve atalet kuvvetlerinin bileşke etkilerini inceler. Modern hava aracı yapıları oldukça esnektir ve bu farklı çeşitteki aeroelastik fenomene yol açmaktadır. Bakıldığında temel neden sadece esneklik değil; esnek olan yapıda yapısal deformasyonların fazladan aerodinamik yük indüklenmesine neden olmasıdır. Bu aerodinamik yükler, yapısal deformasyonların artmasına ve dolayısıyla daha da fazla aerodinamik yük indüklenmesine neden olmaktadır. Bu tür etkileşimler ya azalarak denge durumuna varmaya ya da ıraksamaya ve yapının tahribatına yol açmaya eğilimlidir [Ashley v.d., 1996].

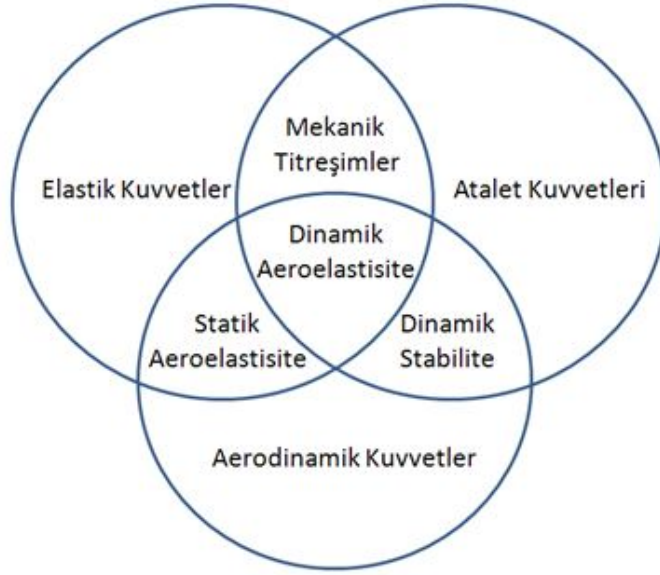
<sup>1</sup>Arş. Gör., Uçak Mühendisliği Bölümü E-posta: tvergun@thk.edu.tr

<sup>2</sup>Yüksek Lisans Öğrencisi, Uçak ve Uzay Mühendisliği Bölümü, E-posta: vergun19@itu.edu.tr

<sup>3</sup>Yüksek Lisans Öğrencisi, Uçak ve Uzay Mühendisliği Bölümü, E-posta: ozturksu15@itu.edu.tr

<sup>4</sup>Prof. Dr., Uzay Mühendisliği Bölümü, E-posta: nikbay@itu.edu.tr

Çırpınma (flutter) uçuş esnasında uçağın taşıma yüzeylerinin kendi kendine büyüyen dengesiz salınımlarıdır ve bir dinamik aeroelastisite problemi olarak aeroelastisite şemasının tam ortasında yer alır. Çırpınmanın olduğu bu hıza, çırpınma hızı ve bu hıza karşılık gelen salınım frekansı da çırpınma frekansı olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 1: Aeroelastisite Şematik Gösterimi [Hodges ve Pierce, 2002]

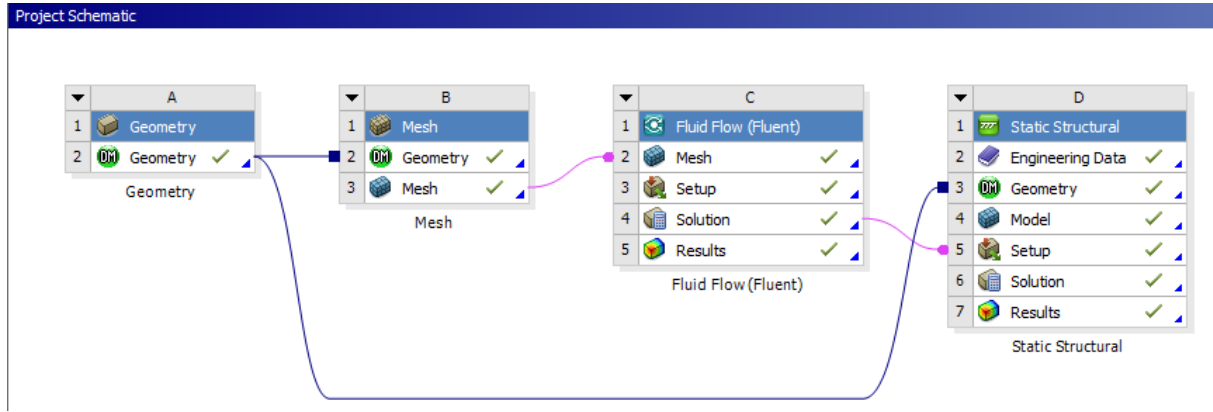
Kanatçık, indüklenmiş sürüklenme kuvvetinin ve kanadın ucunda oluşan girdabın etkisini azaltarak kanadın aerodinamik verimliliğini artırmaya yarayan yapıdır. Literatürde kısa bir araştırma sonucu anlaşılacağı üzere kanatçığın şeklinin, profilinin, açısının, ve malzemesinin değişimi gibi etmenler kanadın aerodinamik karakteristiğinin iyileştirilmesinde kullanılmaktadır. Beechok ve Wang'ın yayınladığı "Air Craft Winglet Design and Performance: Cant Angle Effect" adlı araştırması gösteriyor ki, kanatçığın açısının kanat performansı üzerinde küçük de olsa etkisi bulunmaktadır [Beechok ve Wang, 2013]. Bilindiği üzere havacılıkta performansın çok küçük derecede olumlu olarak etkilenmesi ciddi kazançlar elde edilmesini sağlayabilmektedir. Bunun yanı sıra kanatçığın çırpınma hızı üzerindeki etkisini araştırmak için Doggett ve Farmer "Preliminary Study of Effects of Winglets on Wing Flutter" adlı çalışmayı gerçekleştirdiler [Doggett ve Farmer, 1977]. Bu çalışmalarında kanadın, kanatçık olmadan ilk 5, ağır kanatçık varken ilk 5, ve hafif kanatçık varken ilk 7 mod şekillerini kullanarak doğal frekansı hesapladılar. Fazelzadeh ve Mazidi ise 2015 yılında farklı açılarla montaj edilen kanatçığın çırpınma hızına etkisini incelediler.[Fazelzadeh ve Mazidi, 2015] Yaptıkları çalışmaya göre kanatçığın kanat ile olan açısı arttıkça, çırpınma hızı azalmaktadır.

## YÖNTEM

Çalışma sırasında temel olarak üç ticari yazılım kullanılmıştır. Öncelikle yüksek duyarlılıkla sonuç elde edilebilen ANSYS ticari yazılımında tek yönlü akış-yapı etkileşimi gerçekleştirilmiştir. Sonrasında Abaqus ticari yazılımı kullanılarak modal analiz yapılmış ve elde edilen modal analizler

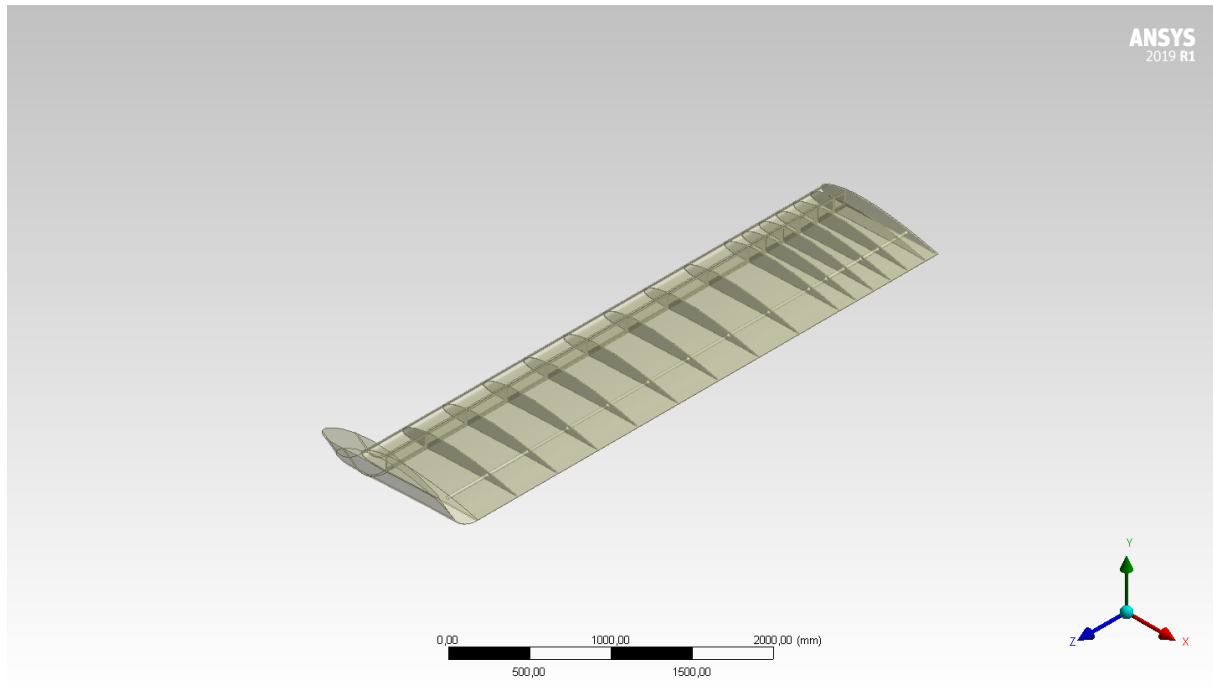
dinamik aeroelastisite problemi olan çırpınma (flutter) hızına ulaşmak için ZAERO programına gömülmüş ve aeroelastik analizler gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada kullanılacak olan Ansys Workbench bağlantıları Şekil-2’de gösterilmiştir.

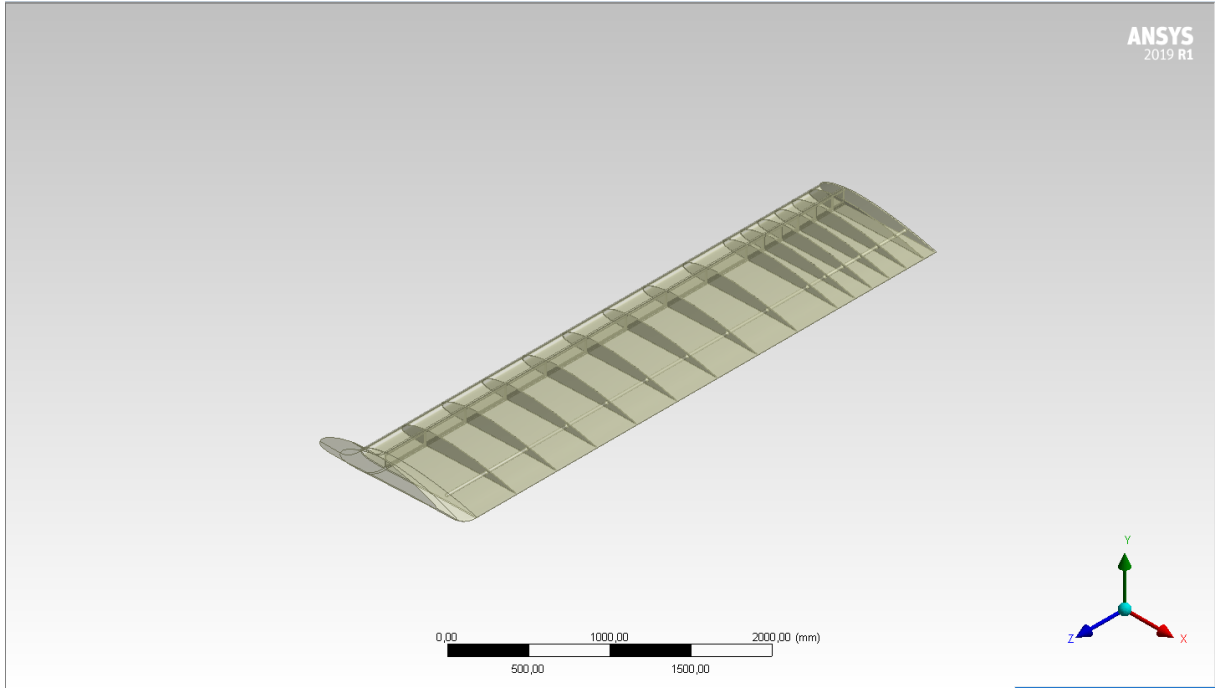


Şekil 2: Ansys Workbench Bağlantıları

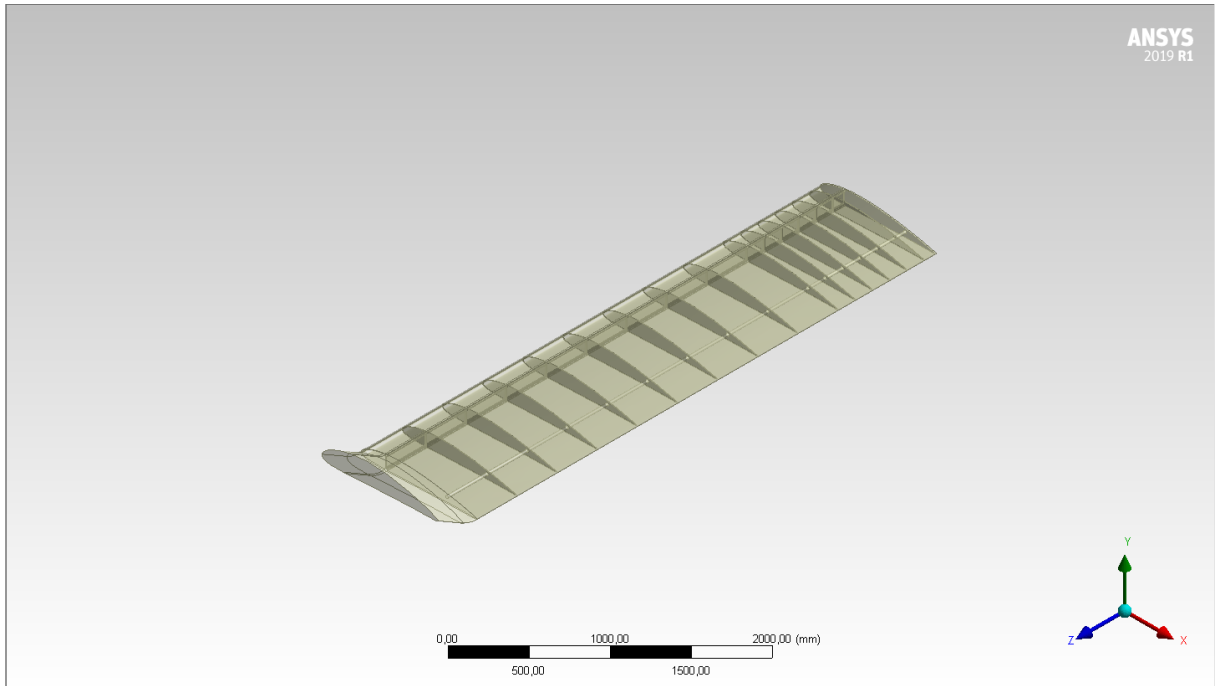
Uygulama sırasında 120, 135 ve 150 olmak üzere 3 farklı kanatçık açısı kullanılmıştır. Kanat geometrisinin veter uzunluğu 1 m ve kanat açıklığı 4 m olup farklı kanatçık açılarına sahip kanat geometrileri sırasıyla Şekil-3, Şekil-4 ve Şekil-5’te gösterilmiştir.



Şekil 3: 120 ° Kanatçık Açısına Sahip Kanat Modeli



Şekil 4: 135 ° Kanatçık Açısına Sahip Kanat Modeli



Şekil 5: 150 ° Kanatçık Açısına Sahip Kanat Modeli

Aeroelastik analizler için kullanılan ZAERO ticari yazılımında flutter hesaplamaları iki metod kullanılarak yapılmaktadır. Çarpınma analizlerinde kullanılan hareket denkleminin genellenmiş koordinatlarda yazılmış hali aşağıda verilmiştir.

$$(-\omega^2 * [\tilde{M}] + i * \omega * [\tilde{C}] + (1 + i * g) * [\tilde{K}] - q * [\tilde{Q}] * U_h) = 0 \quad (1)$$

Bu denklemde;

$[\tilde{M}] = [\phi]^T * [M] * [\phi]$  genelleşmiş kütle matrisini,

$[\tilde{C}] = [\phi]^T * [C] * [\phi]$  genelleşmiş sönüm matrisini,

$[\tilde{K}] = [\phi]^T * [K] * [\phi]$  genelleşmiş direngenlik matrisini,

$[\tilde{Q}] = [\phi]^T * [Q] * [\phi]$  genelleşmiş aerodinamik kuvvetler matrisini simgelemektedir.

$[\phi]$  matrisi sistemin düşük mertebeli titreşim biçimlerinden oluşur,  $g$  yapay yapısal sönüm değerini,  $q$  dinamik basıncı,  $\omega$  salınım frekansını ve  $U_h$  ise genellenmiş yer değiştirmeler simgelemektedir.

Denklem (1)'in çözümünde temel olarak frekans bölgesi (frequency domain) çözüm yöntemleri ve Laplace bölgesi çözüm yöntemleri olmak üzere iki ana yöntem kullanılmaktadır.

Analiz sonucunda elde edilen sonuçlarla hız-sönüm (V-g) ve hız-frekans (V-f) grafikleri belirlenir ve bu grafikler incelenerek çarpınma ya da ıraksama olasılıkları saptanır. V-g grafiklerinde eğrinin yatay eksenini keserek işaret değiştirdiği (negatiften pozitifte geçtiği) nokta, olası çarpınma hızını vermektedir.

## UYGULAMALAR

Çalışmanın bu kısmında aeroelastik analizler için sonlu elemanlar ve aerodinamik modelin hazırlanması, modal frekansların hesaplanması, çarpınma analizleri sonuçları ve yapı-akış etkileşimi için hazırlanan sonlu elemanlar modeli ile yapı-akış etkileşimi analizlerinde kullanılan akış özellikleri sunulmuştur.

Yapılan çalışmada malzeme özellikleri aşağıdaki tabloda verilen AL7075 kullanılmıştır.

Tablo 1: AL7075 Malzeme Özellikleri

|                |                        |
|----------------|------------------------|
| Yoğunluk       | 2810 kg/m <sup>3</sup> |
| Elastik Modülü | 71,7 GPa               |
| Poisson oranı  | 0,33                   |

Abaqus ticari yazılımında sonlu elemanlar modeli hazırlanan kanat modelinin doğal frekans değerleri Tablo-2'de verilmiştir.

Tablo 2: Farklı Kanatçık Açılarının Modal Analiz Sonuçları

|              | Winglet Açısı |       |       |
|--------------|---------------|-------|-------|
| Mod Numarası | 120°          | 135°  | 150°  |
| 1            | 3,54          | 3,74  | 3,96  |
| 2            | 21,21         | 22,75 | 24,37 |
| 3            | 30,22         | 30,99 | 31,79 |
| 4            | 34,36         | 35,98 | 37,81 |
| 5            | 84,49         | 87,51 | 90,07 |

Aeroelastik analiz yapılabilmesi için yapısal sonlu elemanlar modelinin yanı sıra aerodinamik çözümlerde kullanılmak üzere ikinci bir sonlu elemanlar modeline de ihtiyaç vardır. Panel

boyutlarının hesaplanmasında Mach numarası, referans chord uzunluğu ve maksimum incelenen frekans değeri kullanılır. İzin verilen maksimum panel boyutları ( $\Delta X$ ) aşağıda belirtilen denklemler kullanılarak hesaplanır[Zonatech, 2008].

$$\Delta X < 0.08 \frac{V}{f} \frac{1}{A} \quad (2)$$

$$A = \begin{cases} \left(\frac{M}{\beta}\right)^2, & \frac{M}{\beta} > 1 \\ 1, & \frac{M}{\beta} \leq 1 \end{cases} \quad (3)$$

$$\beta = \sqrt{|M^2 - 1|} \quad (4)$$

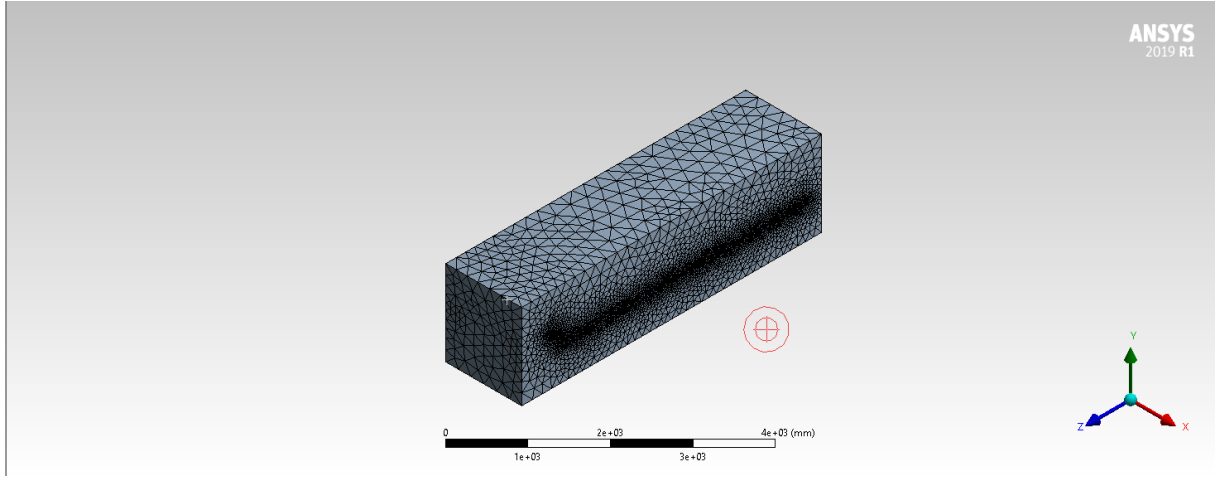
f maksimum incelenen frekans değerini,

V incelenen minimum hız değerini,

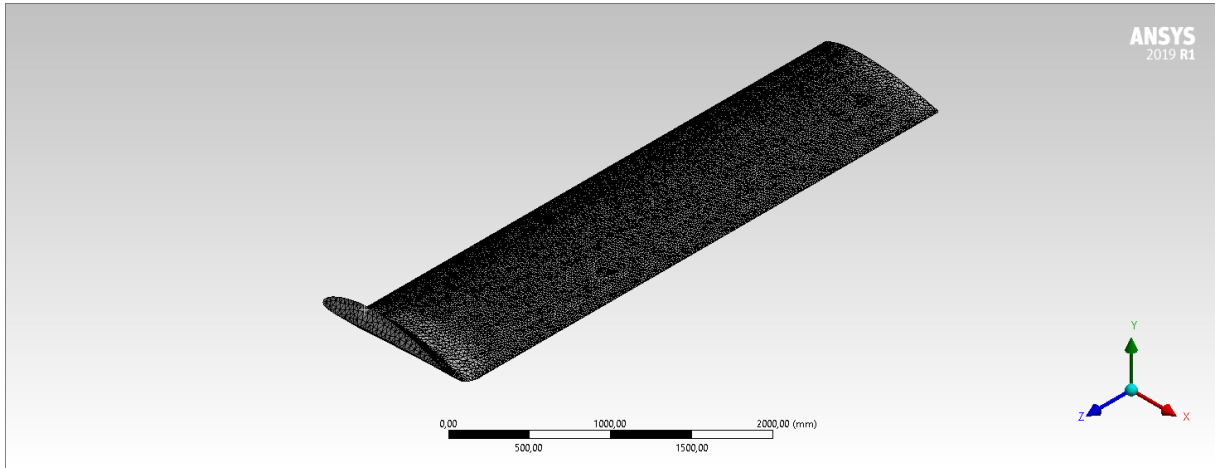
M Mach sayısını temsil eder.

İlk oluşturulduklarında birbirinden tamamen bağımsız olan sonlu elemanlar ve aerodinamik model daha sonra ZAERO içerisinde tanımlı özel bağlayıcılarla (spline) birbirine bağlanmıştır. Bu bağlayıcı modüller sayesinde, yapısal modelde hesaplanan yer değiştirmeler aerodinamik modele aktarılırken aerodinamik modelde hesaplanan kuvvetler de yapısal modele aktarılabilmektedir. Böylelikle yapı ve akış arasındaki deformasyonlar karşılıklı olarak güncellenebilmektedir. Çırpınma analizleri deniz seviyesinde üç ayrı model için de gerçekleştirilmiştir.

Çırpınma analizi tamamlandıktan sonra kanadın aeroelastik davranışını gözlemlemek için yapı-akış etkileşimi analizi yapılmıştır. Yapı-akış analizi için öncelikli olarak Ansys Fluent Ticari yazılımında Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği analizleri gerçekleştirilmiştir. HAD analizleri için yaklaşık 1307000 çözüm ağı ve 237000 düğüm noktasından oluşan 5,14m x1,3m x1,46m boyutlarında bir akış alanı oluşturulmuştur. Analizler SST- kw Türbülans modeli kullanılarak 2000 ft. irtifada kabul edilen hava koşullarında gerçekleştirilmiştir. Yapısal analizler için de yine aynı şekilde Ansys ticari yazılımı kullanılmıştır. Statik Yapısal analizler sırasında kanatlar kök ucundan ankastre olacak şekilde 6 serbestlik derecesinden bağlanmıştır. Sonlu elemanlar modelinde yaklaşık 220000 çözüm ağı kullanılmıştır. Şekil-6 ve Şekil-7’de sırasıyla akış alanı ve kanat sonlu elemanlar çözüm ağı görülmektedir.



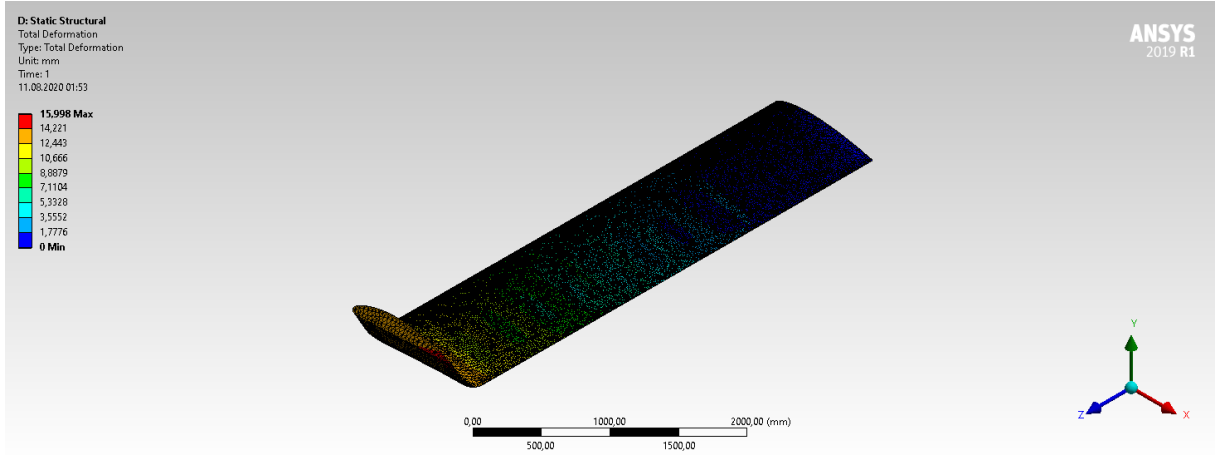
Şekil 6: Akış Alanı Çözüm Ağı



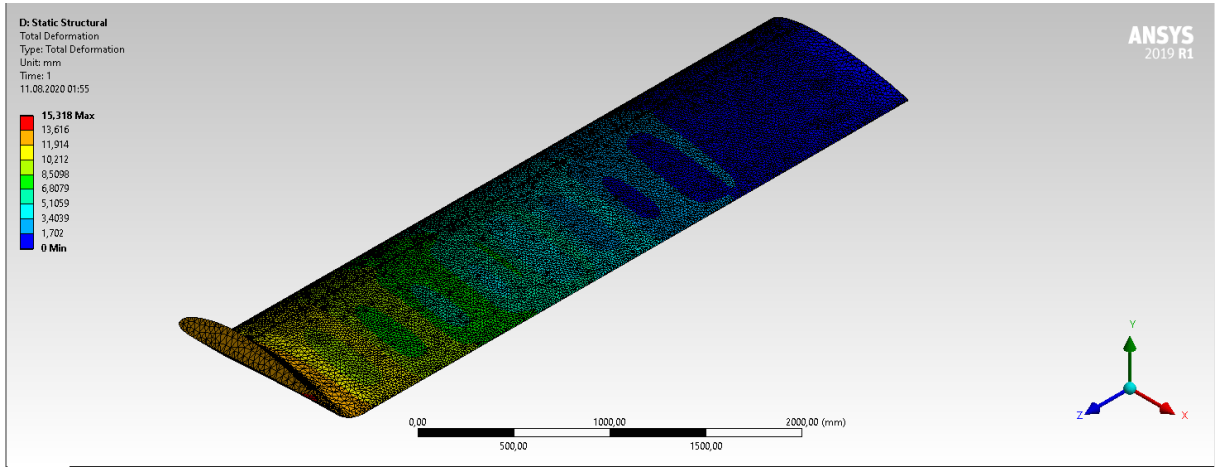
Şekil 7: Kanat Sonlu Elemanlar Çözüm Ağı

## SONUÇ

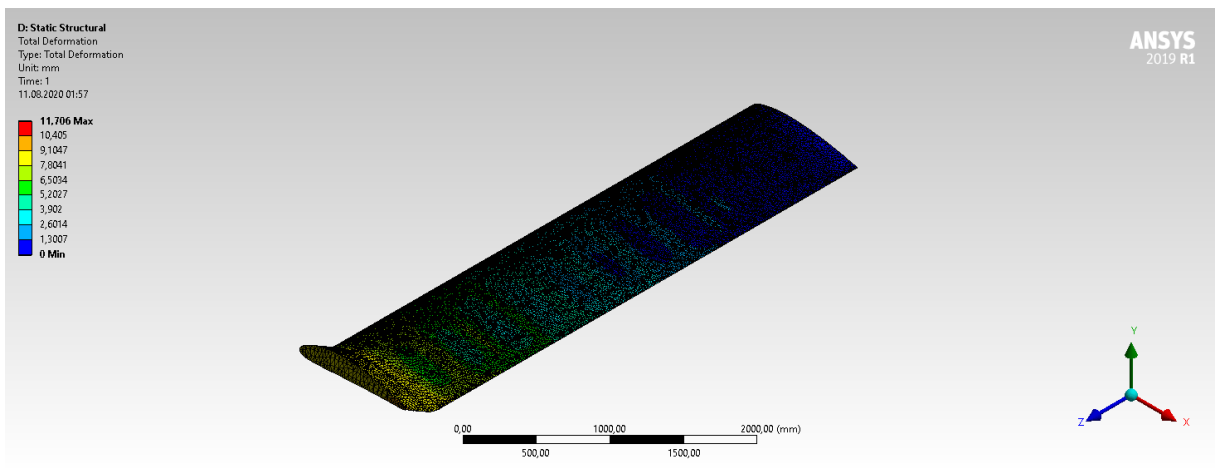
Bu çalışma da İHA kanadının kanatçık etkisindeki aeroelastik davranışları incelenmiştir. Sırasıyla 120-135-150 derecelik kanatçık açısına sahip kanat geometrilerinin hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizi sonucu basınç dağılımı ve bu basınç altında kanat ucunda oluşan deformasyonlarının sonuçları Şekil-8, Şekil-9 ve Şekil-10'da sırasıyla verilmiştir.



Şekil 8: 120 ° Kanatçık Açısına Sahip Kanat Deformasyonu

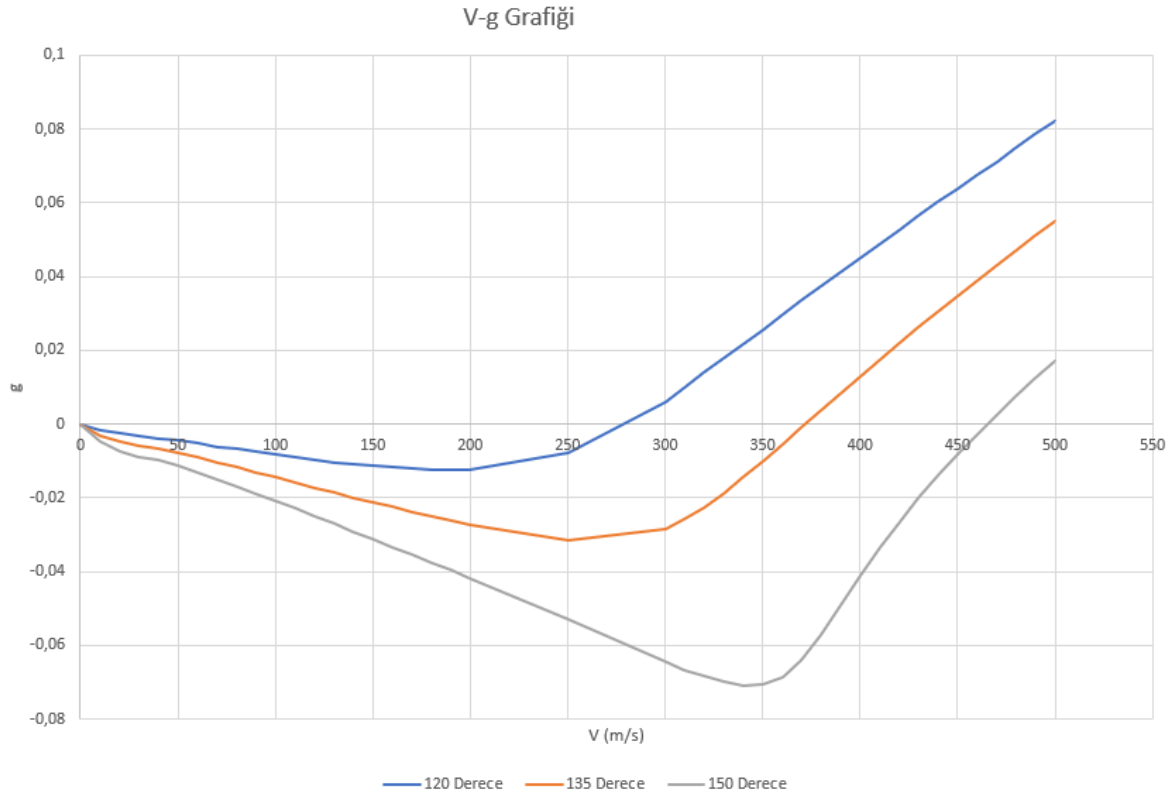


Şekil 9: 135 ° Kanatçık Açısına Sahip Kanat Deformasyonu



Şekil 10: 150 ° Kanatçık Açısına Sahip Kanat Deformasyonu

120-135-150 derecelik winglet açısına sahip İHA kanatlarını aeroelastik analizi sonucunda elde edilen çarpınma (flutter) hızları - sönümlleme grafiği Şekil-11'de verilmiştir.



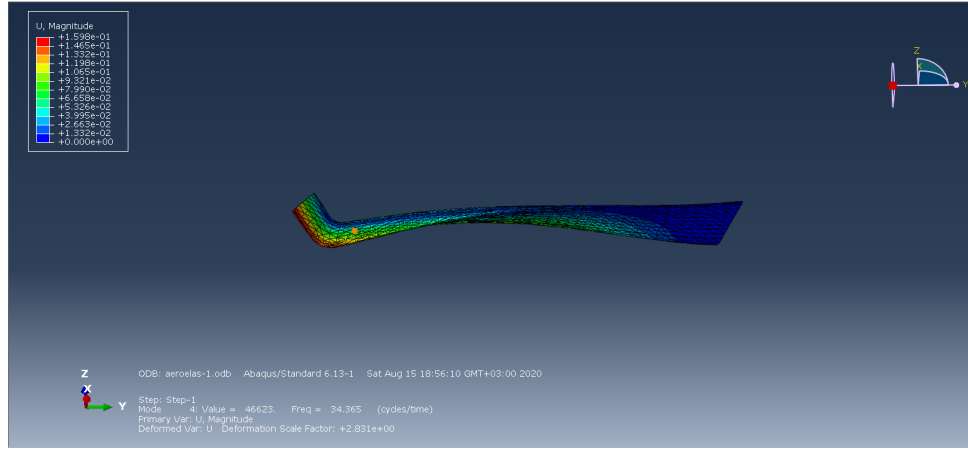
Şekil 11: 3 Farklı Açının Çırpınma Hızı - Sönümleme Grafiği

Grafikte görülen çizgilerin X eksenini tam olarak kestiği noktalar olan çırpınma hız değerleri ve bu değerlerde oluşan çırpınma frekans değerleri Tablo-3'te verilmiştir.

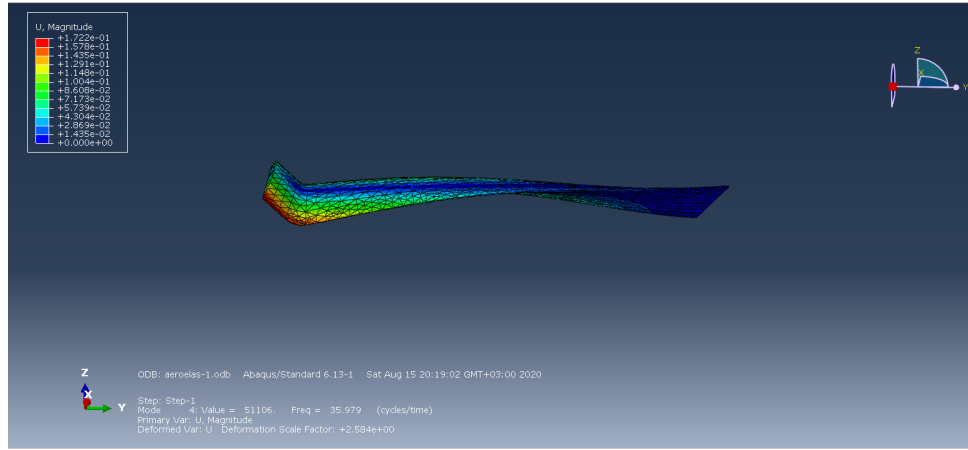
Tablo 3: Farklı Kanatçık Açılarının Çırpınma Hızları ve Çırpınma Frekansları

| Kanatçık Açısı | Çırpınma Hızı (m/s) | Çırpınma Frekansı (Hz) |
|----------------|---------------------|------------------------|
| 120            | 278,04              | 33,52                  |
| 135            | 371,88              | 34,47                  |
| 150            | 465,31              | 35,35                  |

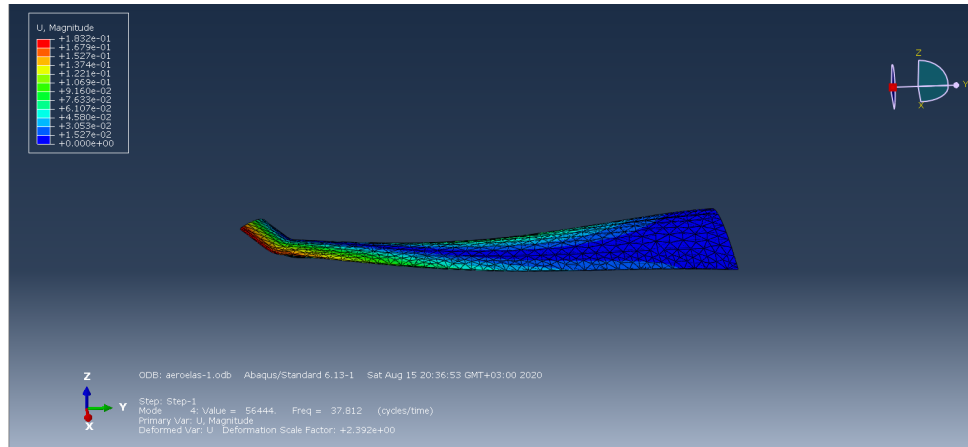
Ayrıca 3 kanat modeli de 4. mod olan ikinci burulma mod şeklinde fluttera girmektedir. Kanatların 4. mod şekilleri sırasıyla Şekil-12, Şekil-13 ve Şekil-14'te gösterilmiştir.



Şekil 12: 120 ° Kanatçık Açısına Sahip Kanadın 4. Mod Şekli



Şekil 13: 135 ° Kanatçık Açısına Sahip Kanadın 4. Mod Şekli

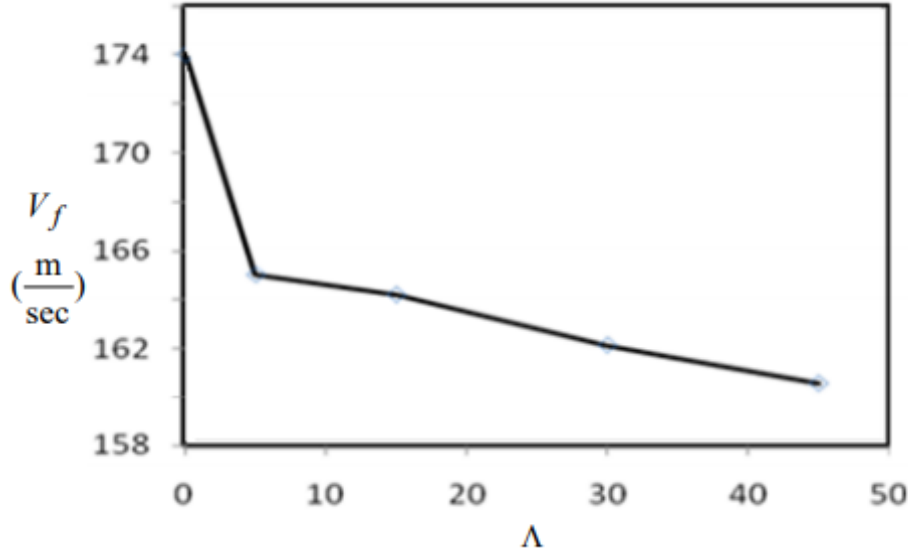


Şekil 14: 150 ° Kanatçık Açısına Sahip Kanadın 4. Mod Şekli

[Fazelzadeh ve Mazidi, 2015]

Sonuçlara göre aynı kanat için kanatçık açısının artışıyla beraber flutter (çırpınma) hızının da artışı gözlenmektedir. Yapılan aeroelastik analiz sonuçlarına göre çırpınma hızı 3 kanat arasında en

yüksek olanın, 150°'lik kanatçık açısına sahip kanat olduğu ve bu hız değerinin 465,31 m/s olduğu hesaplanmıştır. Tek yönlü yapı akış analizinin sonuçlarında da 150° kanatçık açısına sahip kanattaki deformasyonun en az olduğu belirlenmiştir. Öngörülen 3 kanat seçeneği arasında 150 °'lik kanatçık açısına sahip kanadın aeroelastik açıdan en uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Çalışmanın sonucu Şekil-15 ile kıyaslandığında eğilim olarak beklendiği gibi çıkmıştır.



Şekil 15: [Fazelzadeh ve Mazidi, 2015]

İleriye dönük hedeflenen çalışmalarda kanatçık açısını belirledikten sonra aynı kanat üzerinden maksimum taşıma kuvveti ve maksimum çırpınma hızı için eniyileme çalışmalarının yapılması amaçlanmaktadır.

## Kaynaklar

- Ashley, H., Bisplinghoff, R.L., ve Halfman, R., 1996. *Aeroelasticity*, New York: Dover Publications, Inc.
- Beehook, A. ve Wang, J., 2013. *Aerodynamic Analysis of Variable Cant Angle Winglets for Improved Aircraft Performance*, 19th International Conference on Automation & Computing At Brunel University London, UK, September 2013
- Doggett R.V.Jr., ve Farmer M.G., 1977. *Preliminary Study of Effects of Winglets on Wing Flutter*, National Aeronautics and Space Administration
- Fazelzadeh S. A. ve Mazidi A., 2015. *Aeroelastic Concepts in Civil Aircraft Wing Design*, Challenges in European Aerospace
- Hodges, D.H. ve Pierce, G.A., 2002. *Introduction to Structural Dynamics and Aeroelasticity*, Cambridge Aerospace Series
- ZONA Technology Inc., 2008. *ZAERO Theoretical Manual* 82