

**UHUK-2024-045**

18-20 Eylül 2024, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Ankara

**Baykuş Kanat Yapısı ve Gurney Flap Aerodinamiğinin Aeroakustik karakteristiğe etkisinin incelenmesi**

Barış SİLAV<sup>1</sup>, Abdulkadir ALTINTAŞ<sup>2</sup>,  
Sercan YAĞMUR<sup>3</sup>  
Konya Teknik Üniversitesi, KONYA

**ÖZET**

*Bu çalışmada, havacılık alanında simetrik kanat profili üzerinde uygulanan pasif akış kontrolünün aeroakustik performansa etkisi araştırılmıştır. Bu kapsamda, yapılan literatür taraması sonucu elde edilen baykuş kanadı ve gurney flap yapısı uygulanmış ve uygulanmamış NACA 0012 kanat profili için akış karakteristiği ve aeroakustik performansına ait sonuçlar karşılaştırılarak incelenmiştir. Yapılan çalışmada hem akış alanı değişkenleri hem de akustik sinyal verileri için analizler SST k- $\omega$  türbülans modeli kullanılarak Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yöntemi ile yapılmıştır. The Boundary Layer Noise Source modelinin kullanıldığı aeroakustik çözümlerinde akış kontrol yönteminin kullanılmadığı NACA 0012 modeline kıyasla baykuş kanat yapısının uygulandığı model için akustik performansta iyileşme elde edilirken, gurney flap yapısının kullanıldığı kanat modelinde akustik performansın azaldığı görülmüştür. Kanat aerodinamik performansı açısından da gurney flap modelinin konfigürasyonlar içerisinde en yüksek performansa sahip olduğu belirlenmiştir.*

**GİRİŞ**

Gürültü problemi, havacılık alanının başlıca problemlerinden biridir. Kanat profillerinin oluşturduğu akış ayrılmaları ve girdapların etkisiyle ortaya çıkan gürültü problemi, akustik ve aerodinamik analiz yöntemleriyle araştırılmaktadır. Literatürde yer alan çalışmalarda, gelişim süreci devam eden aerodinamik ve buna bağlı aeroakustik problemlerin daha hızlı, etkin ve ekonomik bir şekilde çözülmesini mümkün kılan Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yöntemi ve Akustik Analoji (AA) yaklaşımı önemli bir yer tutmaktadır.

Sahan H. Wasala ve diğerleri (2015), LES türbülans modelini kullanarak 4 farklı hücum açısında ( $\alpha$ ) NACA 0012 kanat profilinin 3 boyutlu analizlerini yapmıştır. Hücum açılarının  $\alpha=0^\circ$ ,  $\alpha=5.4^\circ$ ,  $\alpha=10.8^\circ$ ,  $\alpha=14.4^\circ$  olarak konfigüre edildiği kanatların aerodinamik analizleri sonucunda; hücum açısı arttıkça hücum kenarında oluşan türbülansın ve statik basınç değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Bu durumu rüzgar türbini kanadındaki aeroakustik enerjiye olan etkisi bakımından inceleyen araştırmacılar, hücum açısının artmasıyla akustik verimin düştüğünü görmüştür. Bu durumda, oluşan türbülansın ve hava ayrımlarının artmasının akustik enerjinin yükselmesi ile ilişkili olduğu vurgulanmıştır.

Doğadaki biyolojik çeşitlilik gözlemlendiğinde baykuş türlerinin aeroakustik açıdan en yüksek verime sahip olduğu tespit edilmiştir. Justin W. Jaworski ve diğerleri (2019), baykuşların gürültüsüz uçuşunu sağlayan ve kanat yüzeyini oluşturan özel yapıyı incelemiştir. Bir kanadın

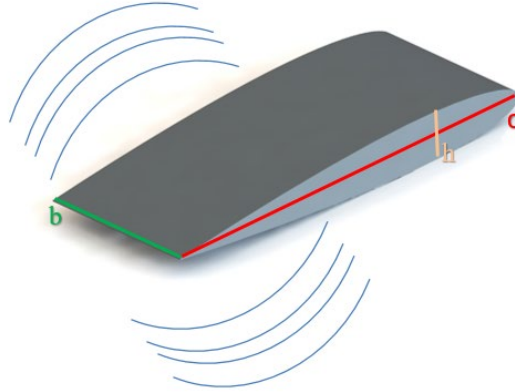
<sup>1</sup> Öğrenci, Makine Müh. Böl., E-posta: barissilav27@gmail.com

<sup>2</sup> Öğrenci, Makine Müh. Böl., E-posta: abdulcadiralintas294@gmail.com

<sup>3</sup> Dr. Öğr. Üyesi, Makine Müh. Böl., E-posta: syagmur@ktun.edu.tr

en yüksek akustik enerjiye sahip olan bölgesinin, firar kenarındaki türbülans ve akış ayrılmaları olduğu tespit edilmiştir. Baykuş kanat yapısının, üzerindeki akışın tutunarak yumuşak geçiş yapmasını sağlayan dalgalanmalar ve firar kenarındaki türbülansı azaltan özel geometrik şekli ile akustik enerjiyi olabildiğince azaltmakta olduğu vurgulanmıştır. Ancak bu durum literatürdeki çalışmalara göre fiziksel olarak tam anlamıyla açıklanamamıştır. Mirza Ali Amir ve diğerleri (2018), baykuş kanat yapısının aeroakustik verime olan etkisi ve kanadın flap bölümündeki 10°'lik açının aerodinamik verime olan etkisini incelemişlerdir. Dört farklı kanadı inceleyen araştırmacılar, baykuş kanadının hücum kenarında bulunan tırtıklanmayı ve flap açısını üç ayrı konfigürasyona uygularken diğerini düz kanat olarak sabit tutmuşlardır. Tasarımlarda kanadın hücum kenarında 0 – 0 – 3 – 6 tırtık kullanılmış olup flap açısı sabit tutulmuştur. Analizler neticesinde flap açısının aerodinamik açıdan taşıma ve sürüklenme kuvvetlerini, basınç değerlerini ve türbülansı arttırdığı görülmüştür. Aeroakustik açıdan ise kanadın hücum kenarındaki tırtık arttırıldıkça akustik enerji azalmıştır.

Mevcut çalışmada, NACA 0012 kanat profili üzerinden; düz kanat modeli, baykuş kanat modeli ve gurney flap entegrasyonlu baykuş kanat modeli olmak üzere üç farklı konfigürasyon oluşturulmuştur. Aynı türbülans modeli ve boyutlandırmalarla yapılacak olan incelemede üst kanat ve firar kenarında gerçekleştirilen baykuş kanat yapısı uygulamasının yanı sıra gurney flap yapısının akustik enerji verimine olan etkisinin incelenmesi hedeflenmiştir. Gurney Flap yapısı, 1960'larda yarış arabası sürücüsü Dan Gurney tarafından icat edilmesinden itibaren, kanatların aerodinamik performansını arttırmak için kullanılmaktadır. Bu proje de ise gurney flapın bu özelliğinin yanı sıra akış ayrılması noktasını geciktirdiği için türbülanslı akış sonucu oluşan gürültüyü önleme konusunda ne kadar etkili olduğu araştırmaya değer nitelikte olduğu belirlenmiştir.



**Şekil 1:** Sınır tabaka tarafından oluşturulan gürültü görseli

Sınır Katmanı Gürültü Kaynağı Modeli (Broadband Noise Sources), düşük mach sayılarında katı bir cisim üzerindeki türbülanslı sınır katmanı akışı tarafından üretilen uzak alan sesini tahmin etmek ve akışın ürettiği toplam akustik güce yerel katkıyı (birim yüzey alanı veya hacim başına) ölçmek için kullanılmaktadır. Kanat profilinin ölçüleri;  $c=250$  mm,  $b=150$  mm,  $h=30$  mm'dir. Katı modelin boyutları doğru bir karşılaştırma yapılabilmesi için sabit tutulmuştur. Verilen ölçü değerlerinin ifade ettiği kenarlar ve gürültü görseli Şekil 1'de verilmiştir.

### Amaç ve Hedefler

Havacılık sektörünün farklı alanlarında ortaya çıkmış bazı problemlere, yapılacak olan mühendislik çalışmalarıyla çözüm üretilmesi gerekmektedir. Bu projede, edinilen amaç doğrultusunda havacılık sektöründe halen devam eden ses kirliliği ve gürültü problemlerine cevap aranmıştır. Bahsedilen başlıca problemlerden bazıları şunlardır; Uçak kanat yapısının türbülanslı

akış sonucu oluşturduğu gürültü, jet motorlarda türbin soğutma sistemlerinin oluşturduğu gürültü ve rüzgâr türbinlerindeki pervane kanatçıklarının yarattığı gürültü.

Uçak gürültüsü, havacılık alanındaki en zararlı problemlerden biridir. Özellikle havaalanı çevresinde oluşan yüksek gürültü, yakın yerleşim alanları ve bu alanları kullanan insanlar için çok daha önemli bir problemdir. Toplum içerisinde rahatsızlık yaratan bu problem aynı zamanda, uyku düzeninde bozulmalara, öğrenim performanslarının düşmesine ve havaalanı yakınlarında yaşayan insanlarda kardiyovasküler hastalıklara yakalanmasına neden olabilir [Basner, M., Clark, C., Hansell, A., Hileman, J. I., Janssen, S., Shepherd, K., & Sparrow, V., 2017].

Bahsedilen bu olumsuz aeroakustik enerjinin bir diğer etkilediği alan operasyonel güçtür. İnsansız Hava Aracı (İHA) sistemleri, hem silahlandırılarak belirlenen hedefi etkisiz hale getirmek için hem de belirli bir alanın görüntü aktarım sistemleriyle gözlemlenebilmesi için kullanılmaktadır. Özel geliştirilmiş bu İHA'ların düşman radar sistemlerinden kaçınması ve fark edilebilirliğinin en az seviyeye indirilmesi için Ar-Ge faaliyetleri sürdürülmektedir. Operasyonel gücün daha üst seviyelere çıkarılabilmesi için radar sistemlerinin yanı sıra çevre etkisinin de göz ardı edilmemesi gerekir. Bu proje kapsamında çalışılan aeroakustik konusu çevre etkisinin en az seviyeye indirilmesi için önemlidir.

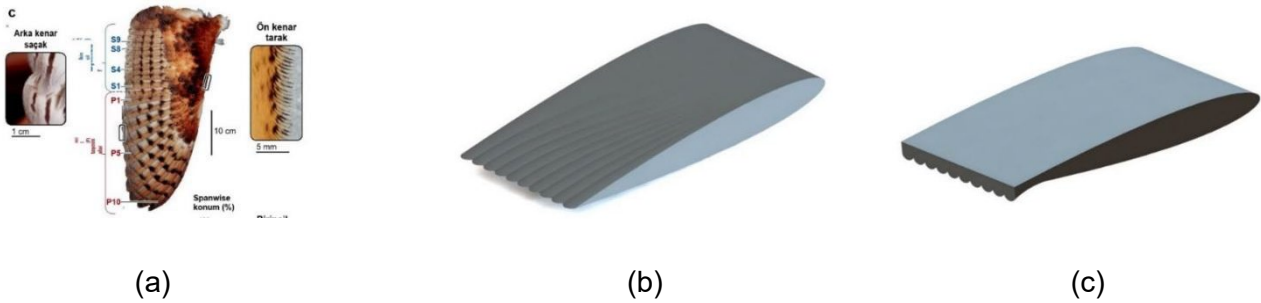


**Şekil 2:** Havacılıkta Gürültünün İnsan Hayatına ve Operasyonel Güce Etkisi

Amaç; hazırlanan konfigürasyonların aeroakustik değerlerini hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) analizleriyle kıyaslayarak bir havacılık sektörü problemi olan gürültünün hem insan hayatına olumsuz etkisini düşürmek hem de operasyonel güce yapacağı katkıyı göstermektir.

### YÖNTEM

Aeroakustik açıdan yüksek performansa sahip olan baykuş kanadının Şekil 3(a)' de görülen yapısı, fiziksel özellikleri ve boyutları bakımından incelenerek Şekil 3(b)' da görülen katı modelin firar kenarına uygulanmıştır [Jaworski, Peake, 2020]. Ayrıca Şekil 3(c)'de gurney flap yapısının baykuş kanat modeline entegrasyonu görülmektedir. Baykuş kanadının firar kenarında görülen dairesel yapının merkezinde sapma görülmüş ve yapılan tasarımda 20° sapma verilmiştir.



**Şekil 3:** a) Baykuş kanadının fiziksel yapısı, b) Baykuş kanat modeli, c) Gurney Flap entegrasyonlu baykuş kanat Modeli

Bu çalışmada yapılan bütün simülasyonlar hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılımı ANSYS-Fluent ile yapılmıştır. Çalışma kapsamında yapılan analizlerde incelenen tüm durumlar için akışın sıkıştırılamaz olduğu kabul edilmiştir. Analizler için; Reynolds sayısı  $Re=1.5 \times 10^6$ , serbest akış hızı  $V_{int}=71.3 \frac{m}{s}$ , sabit değerler olarak seçilmiş olup referans ses basıncı seviyesi  $SBS=2 \times 10^{-5}$  Pa alınmıştır. Verilen sıcaklık ve atmosfer basıncı değerleri için belirlenen ses hızı ise  $C=340 \frac{m}{s}$ 'dir.

### Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği – (HAD)

Sıkıştırılabilir akışlar için Navier Stokes denklemlerinin kapalı formu kullanılır, sırasıyla kütle korunumu, momentum korunumu ve enerji korunumu Denklem 1'de sırasıyla verilmiştir.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho u_j}{\partial x_j} = 0$$

$$\frac{\partial \rho u_i}{\partial t} + \frac{\partial \rho u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \rho}{\partial x_i} = \frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j}$$

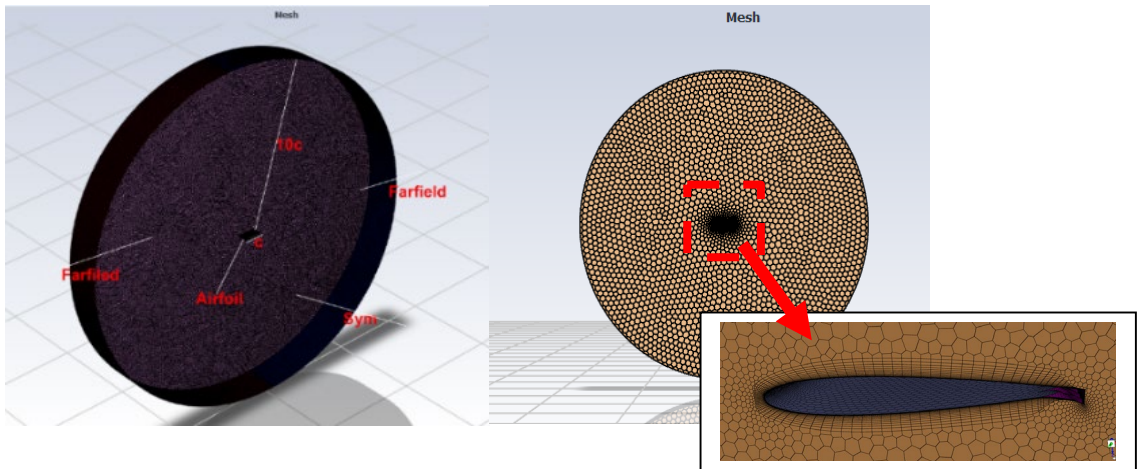
$$\frac{\partial \rho E}{\partial t} + \frac{\partial (\rho E + p) u_j}{\partial x_j} = \frac{\partial \sigma_{ij} u_i}{\partial x_j} - \frac{\partial q_j}{\partial x_j}$$

### Denklem 1: Navier Stokes denklemlerinin kapalı formu

Denklemler, bir dizi birleştirilmiş diferansiyel denklemdir. Teorik olarak, kalkülüs yöntemleri kullanılarak belirli bir akış problemi için çözülebilir. Ancak pratikte, bu denklemlerin analitik olarak çözülmesi zordur. Kullanılan yazılım sonlu hacimler metodunu kullanan bir HAD çözücüsüdür. Sonlu hacimler metodu; kısmi diferansiyel denklemleri, sonlu hacimler üzerinde ayırık cebirsel denklemlere dönüştürür [Moukalled, Mangani, Darwish, 2016]. Analiz çözümlemesi için SST k –  $\omega$  türbülans modeli tercih edilmiştir. Bu türbülans modeli, bir harmanlama fonksiyonu kullanarak cidar yakınlarında orijinal Wilcox modelini ve cidarlardan uzakta k– $\epsilon$  modelini kullanılması için birleştirir.

### Geometrik Model ve Ağ Yapısı

ANSYS-Fluent Meshing modülü üzerinden aerodinamik ve aeroakustik analiz için en uygun ağ yapısı olduğu düşünülen yapısal polyhedra ağ yapısı oluşturulmuştur. Ağ bağımsızlığını belirlemek için üç ağ seti oluşturulmuştur. Boyutları; kaba, orta ve ince ağ yapıları için sırasıyla  $1.8 \times 10^6$ ,  $2.5 \times 10^6$  ve  $5 \times 10^6$  milyon eleman sayıları ile analizler tamamlanmıştır. Mesh bağımsızlaştırma çalışması sonucunda  $2.5 \times 10^6$  eleman sayısından itibaren kuvvet parametrelerinin yakınsadığı görülmüş ve bu ağ yapısı diğer analizlerde de kullanılmıştır. Kanat profiline yakın duvardaki ilk katman için  $0.5 < y^+ < 1$  gerekliliği sağlanmıştır. Bahsedilen ağ yapısına ait çalışmaların son hali Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4: Ağ yapısı Uygulaması

### Hesaplamalı Aeroakustik

Düşük mach sayılarında katı bir cisim üzerinde türbülanslı sınır tabakası akışı tarafından üretilen uzak alan sesi, akustik analogiye dayanan kanat yüzeyindeki toplam akustik güce yerel katkıyı yaklaşık olarak tahmin etmek için kullanılabilir. Uzak alandaki ses yoğunluğu ve tüm akış yüzeyinden yayılan toplam akustik güç Denklem 2'de sırasıyla verilmiştir.

$$\rho'^2 \approx \frac{1}{16\pi^2 a_0^2} \int_S \frac{\cos^2 \theta}{r^2} \left[ \frac{\partial p}{\partial t}(y, t) \right]^2 A_c(y) dS(y) \quad - \quad I(y) \equiv \frac{A_c(y)}{12p_0 \pi a_0^3} \left[ \frac{\partial p}{\partial t} \right]^2$$

**Denklem 2:** Uzak alandaki ses yoğunluğu ve toplam akustik güç

### UYGULAMALAR VE DEĞERLENDİRME

#### Aerodinamik Sonuçlar:

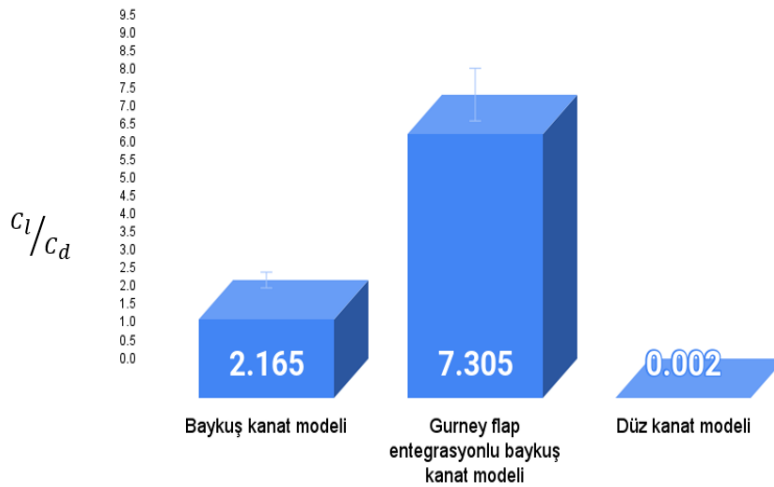
Çalışmada aerodinamik sonuçlar her bir konfigürasyon için girdi verilerinde değişikliğe gidilmeden sonuçları listelenmiş ve karşılaştırılmıştır. Kaldırma ( $F_L$ ) ve sürükleme ( $F_D$ ) kuvvetleri üç farklı kanat konfigürasyonuna göre HAD yöntemi ile elde edilerek kuvvet katsayıları ( $C_L$ ,  $C_D$ ) karşılaştırmalı olarak Tablo 1'de sunulmuştur. Kuvvet katsayıları bulunurken; aerodinamik katsayı denklemlerinde HAD yöntemi ile elde edilen kuvvet değerleri kullanılmıştır. Katsayı hesaplamalarında kullanılan formüller Denklem 3'te verilmiştir.

$$C_L = \frac{F_L}{(1/2)\rho V^2 c} \quad , \quad C_D = \frac{F_D}{(1/2)\rho V^2 c}$$

**Denklem 3:** Aerodinamik denklemler

$\alpha=0^\circ$	$F_D$ (N)	$F_L$ (N)	$C_D$	$C_L$
Baykuş kanat modeli	1.45	0.000314	2.37	0.000513
Gurney flap entegrasyonlu Baykuş kanat modeli	3.734	27.28	6.096	44.534
Düz kanat modeli	1.474	0.002749	2.40	0.004488

**Tablo 1:** Kanat Konfigürasyonlarının aerodinamik sonuçları

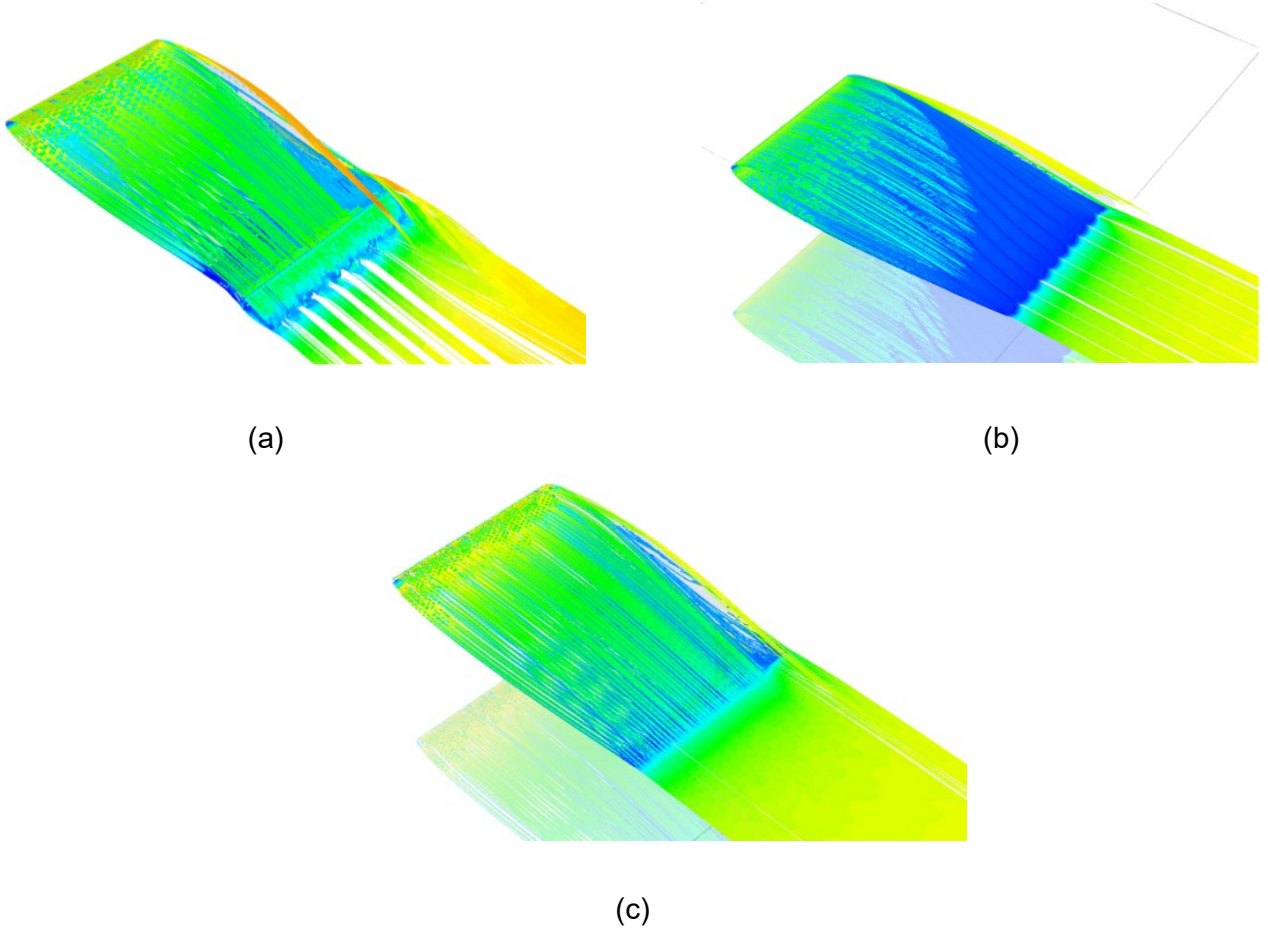


**Şekil 5:** Kanat konfigürasyonlarının  $C_l/C_d$  oranları



Baykuş kanat modeli, gurney flap entegrasyonlu baykuş kanat modeli, NACA 0012 olmak üzere üç konfigürasyonun  $C_l/C_d$  oranları Şekil 5'te görüldüğü gibi sırasıyla 2.165, 7.305, 0.002 olmuştur. Ön görülen değerlere yakınsayan sonuçlar, aerodinamik açıdan karşılaştırıldığında gurney flap entegrasyonlu baykuş kanat modelinin en yüksek verime sahip olduğu görülürken düz kanat modeli en düşük verime sahip olmuştur.

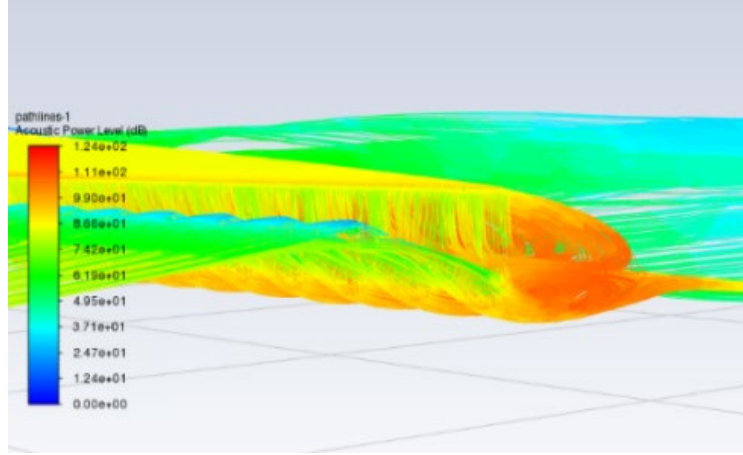
İncelenen üç farklı kanat konfigürasyonuna ait akış hızı çizgileri Şekil 6'da verilmiştir. Aerodinamik performans değerleri ve akış hızı çizgilerinin oluşturduğu girdaplar göz önünde bulundurularak akustik verime olan etkileri incelenmiştir.



**Şekil 6:** a) Gurney flap entegrasyonlu baykuş kanat modeli, b) Baykuş kanat modeli, c) Düz kanat modeli üzerindeki akış hızı çizgileri

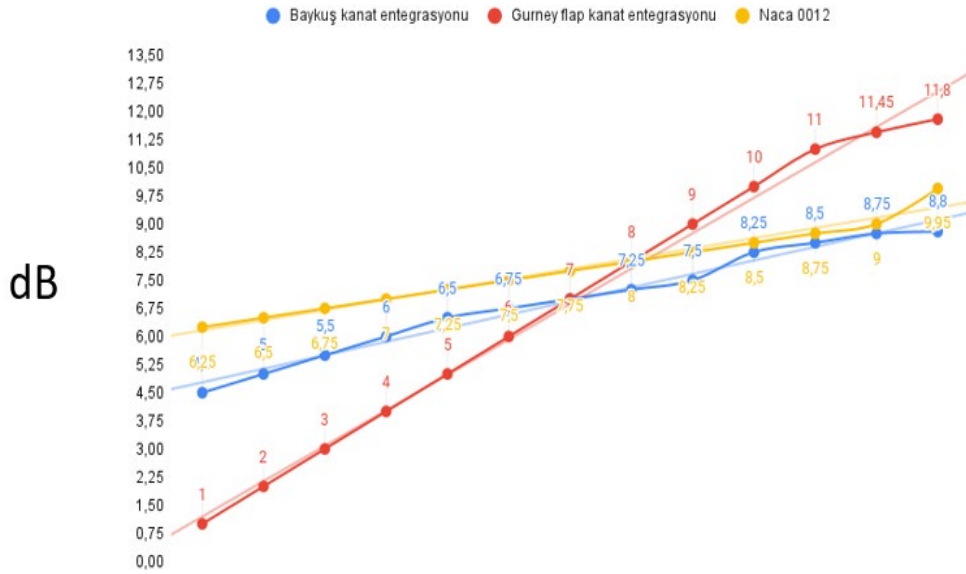
### Aeroakustik Sonuçlar:

Analizler sonucunda aeroakustik çıktılar karşılaştırılmıştır. Gurney flap entegrasyonlu baykuş kanat modeli, aerodinamik açıdan yüksek performansa sahipken aeroakustik açıdan olumsuz sonuç vermiştir. Baykuş kanat modeli için girdaplar kanat profilinin firar kenarına yakın bölgede küçük döküntüler halinde oluşmuştur. Gurney flap entegrasyonlu baykuş kanat modelinde ise kanat profilinin hücum kenarına yakın bölgeden girdaplı yapılar ve kopmaların oluştuğu görülmektedir. Bu durum akışkanın hızında ani bir değişiklik veya akışkanın dönme hareketi nedeniyle oluşmuştur. Bahsedilen bu durumun akım çizgileri formundaki görünümü Şekil 7'de verilmiştir.

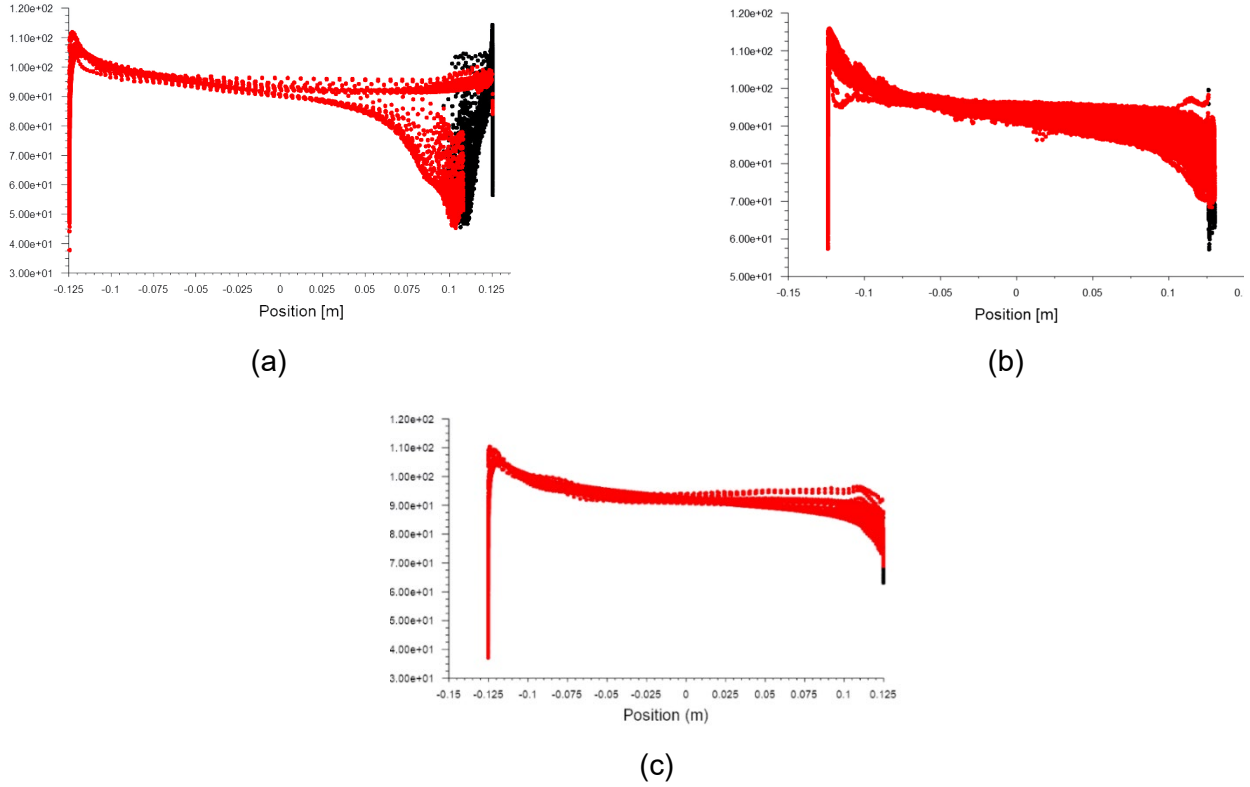


**Şekil 7:** Von Karman girdaplarının gurney flap entegrasyonu üzerinde görselleştirilmesi

Aeroakustik güç seviyesi, bir hava aracının veya parçasının ürettiği sesin gücünü ifade etmek için kullanılan bir terimdir. Bu değer genellikle desibel (dB) değeri ile ifade edilir. İncelenen üç farklı kanat konfigürasyonuna ait giriş ve çıkış desibelleri Şekil 8’de, yüzey akustik seviyesi Şekil 9’da verilmiştir.



**Şekil 8:** Firar kenarı giriş ve çıkış desibel(dB) seviyesi karşılaştırması



**Şekil 9:** a) Gurney flap entegrasyonlu baykuş kanat modeli, b) Baykuş kanat modeli, c) Düz kanat modeli yüzey akustik dB seviyesi

Baykuş kanat modeli, Gurney Flap entegrasyonlu Baykuş Kanat modeli, düz kanat modeli olmak üzere üç konfigürasyonun oluşturdukları dB seviyeleri sırasıyla 8.8, 11.8, 9.95 olmuştur. Aeroakustik değerler karşılaştırıldığında baykuş kanat modeli en yüksek verime sahip olduğu görülürken gurney flap entegrasyonlu baykuş kanat modeli düşük verime sahip olmuştur.

### SONUÇ

Mevcut çalışmada, farklı kanat konfigürasyonları için analizler yapılmış, aerodinamik ve aeroakustik sonuçlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda, yüksek aerodinamik performansa sahip olan gurney flap yapısının baykuş kanat modeline entegresi, aeroakustik performans olarak diğer konfigürasyonlardan daha verimsiz bir sonuç ortaya koymuştur. Baykuş kanat modeli, kanadın aerodinamik performansında gurney flap kadar etkili rol oynamamış olup, aeroakustik performans yönünden ön görülen değerlere yakınlık göstermiştir. Bu durumun temel sebepleri; gurney flap yapısına sahip kanat modelinde firar kenarı boyutlarının büyütülmesiyle artan kaldırma ve sürükleme kuvvetleri, yüksek türbülans değerlerine ve basınca neden olması olarak değerlendirilmiştir. Oluşan türbülans, her ne kadar akış ayrılmasını geciktirmiş olsa da daha yüksek akustik enerji meydana getirmiştir. Baykuş kanat modelinde ise oluşturulan hava kanallarından dolayı hacimde azalma olması her ne kadar aerodinamik açıdan etkili olsa da düzgün akış ve hava tutunmaları nedeniyle akustik enerji düz kanat modeline göre %11.55 oranla olumlu yönde artmıştır.

Tüm bunlar dikkate alındığında yapılacak bir tasarımda üründen beklenen özellikler bakımından konfigürasyonlar arasındaki tercihin yapılması gerekmektedir. Bu durum; tasarımın yüksek hızlarda daha sessiz uçuş kabiliyetine sahip olmasının istenmesi, yük görevinden dolayı kaldırma kuvveti gerekliliğinin yüksek olması, üretim proseslerini uygulayacak teknik altyapının bulunması gibi parametreler açısından değerlendirilmelidir.

### TEŞEKKÜR

Bu proje; TÜBİTAK 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı 2023/2 çağrısına yapılan başvuru sonucunda kabul alarak desteklenmiştir.



### **Kaynaklar**

Aamir, M. A., & Zaheer, S. Q. (2018, January). *Aeroacoustics analysis of 2D UAV wing at different flap deflections and incorporation of bio inspired aeroacoustics reduction techniques*. In *2018 15th International Bhurban Conference on Applied Sciences and Technology (IBCAST)* (pp. 593-599). IEEE.

Wasala, S. H., Storey, R. C., Norris, S. E., & Cater, J. E. (2015). *Aeroacoustic noise prediction for wind turbines using Large Eddy Simulation*. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 145, 17-29.

Jaworski, J. W., & Peake, N. (2020). *Aeroacoustics of silent owl flight*. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 52, 395-420.

Yağmur, S., & Doğan, S. (2022). *KAVİTE ÇIKIŞ KENARININ GÜRÜLTÜ SEVİYESİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI*. *Konya Journal of Engineering Sciences*, 10(3), 719-731.

Moukalled, F., Mangani, L., Darwish, M., Moukalled, F., Mangani, L., & Darwish, M. (2016). *The finite volume method* (pp. 103-135). Springer International Publishing.

YUDAR, S. (2023). *Uçak Kanatlarının Değişiminin Geçmişten Geleceğe İncelenmesi*. *Havacılık ve Uzay Çalışmaları Dergisi*, 3(2/1), 89-109.

Basner, M., Clark, C., Hansell, A., Hileman, J. I., Janssen, S., Shepherd, K., & Sparrow, V. (2017). *Aviation noise impacts: state of the science*. *Noise & health*, 19(87), 41.

Neuhart, D. H. (1988). *A water tunnel study of Gurney flaps* (Vol. 4071). National Aeronautics and Space Administration, Scientific and Technical Information Division.

Iqbal, M. Y., Shah, S. I. A., & Hassan, A. (2019, August). *CFD Analysis of NACA-0012 Airfoil with Various Porous Gurney Flap Geometries*. In *2019 International Conference on Applied and Engineering Mathematics (ICAEM)* (pp. 231-236). IEEE.

Lamb, M., & Morris, O. A. (1968). *Aerodynamic characteristics in pitch of a modified half ring wing body combination and a swept wing body combination at Mach 2.16 to 3.70* (No. NASA-TM-X-1551).