

SES-ÜSTÜ KANARD KONTROLLÜ FÜZELER İÇİN SERBEST DÖNEN KUYRUĞUN ŞEKİL OPTİMİZASYONU

Erhan Feyzioğlu¹
TAI, Ankara

İ. Hakkı Tuncer²
ODTÜ, Ankara

ÖZET

Bu çalışmada, ses-üstü hızlarda görev yapan kanard-kontrollü füze için serbest dönen kuyruğun yuvarlanma dönü hızını azaltmaya yönelik hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) yöntemleri ile kuyruk şekil (planform) optimizasyonu yapılmıştır. Serbest dönen kuyruğun geometrik parametrelerinin kuyruğun yuvarlanma dönü hızına etkisinin hesaplandığı gradyan tabanlı optimizasyon modeli kullanılmıştır. Füzenin statik kararlılığının korunması için kuyruğun yeri ve kuyruk üzerindeki aerodinamik kaldırma kuvvetinin değeri korunmuştur. Denek-taşı (baseline) modelinde yapılan optimizasyon çalışmasında füzenin dönü hızı yüzde 27 oranında azaltılmıştır.

GİRİŞ

Ses-üstü hızlarda uçan kanard-kontrollü füzelerde, kanardlardan kaynaklanan simetrik olmayan girdaplar kuyruklarda indirgenmiş yuvarlanma momenti oluşturmaktadır. İndirgenmiş yuvarlanma momenti füzenin kontrol karakteristiğini olumsuz yönde etkilemekte ve kontrol edilebilirliğini azaltmaktadır. Bu istenmeyen yuvarlanma momenti, serbest dönen kuyruk takımı kullanılarak giderilebilmektedir [Murman, 2003].

Serbest dönen kuyruk füze gövdesine rulman vasıtası ile bağlanmaktadır. Bu sebeple serbest dönen kuyruğun yuvarlanma dönü momentinin bir kısmı gövdeye transfer olmaktadır. Harekete duyarlılığı yüksek olan gövde içerisinde bulunan güdüm ve kontrol sistemlerinin kuyruk yüzeylerinden aktarılan bu yuvarlanma momentinden en az şekilde etkilenmesi için kuyruk yuvarlanma dönü hızının en aza indirilmesi gerekmektedir.

Serbest dönen kuyruğun HAD yöntemleri ile zamana bağlı analizleri gerçekleştirilerek, kuyruk şekil parametrelerinin kuyruk yuvarlanma dönü hızına etkisi incelenmiştir. Bu etkilerden gradyan vektörünün yönü hesaplanmakta ve vektör uzunluğu dönü hızının azalmasının sonlandıracak en uygun şekilde hesaplamalara katılmaktadır.

DENEK TAŞI MODELİ

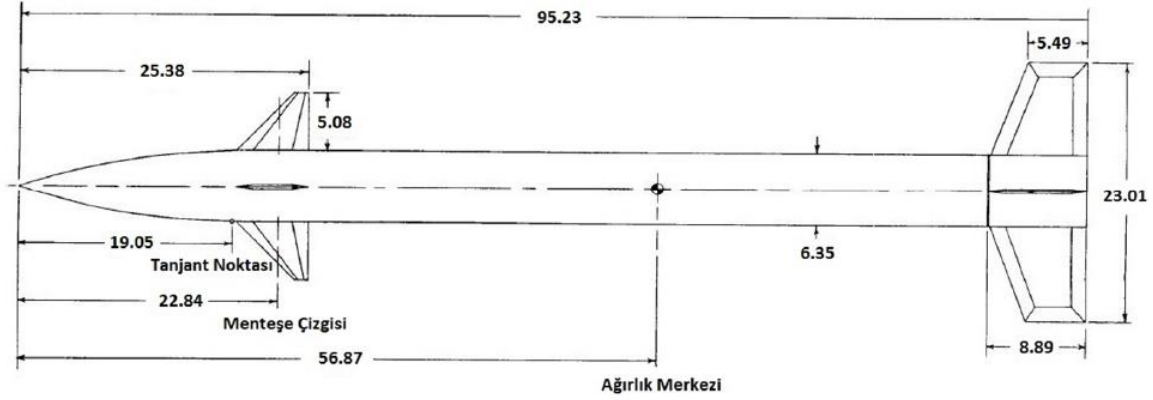
NASA tarafından Langley Unitary Plan Rüzgar Tünelinde [Blair,1985]; kanard kontrollü, sabit ve dönen kuyruklu füzelerin aerodinamik karakteristiğinin incelenmesine yönelik testler gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, söz konusu testlerde kullanılan 'Tandem-Control' denek-taşı

¹ Müh., Uçuş Bilimleri, E-posta: erhan.feyzioglu@tai.com.tr

² Prof. Dr., Havacılık ve Uzay Müh. Böl., E-posta: ismail.h.tuncer@ae.metu.edu.tr

modeli baz alınarak bu model ile aynı normal kuvveti sağlayacak dikdörtgen kuyruk planformu ile optimizasyon analizlerine başlanmıştır.

Denek-taşı modeline ait geometrik bilgiler Şekil 1’de sunulmuştur. Füze; ojev burun, silindirik gövde, kanard ve kuyruktan oluşmaktadır. Model çapı 6.35 cm’dir. Serbest dönen kısım füze burnundan 86.34 cm uzaklıkta başlamakta, arka silindirik gövdeyi ve kuyrukları kapsamaktadır.

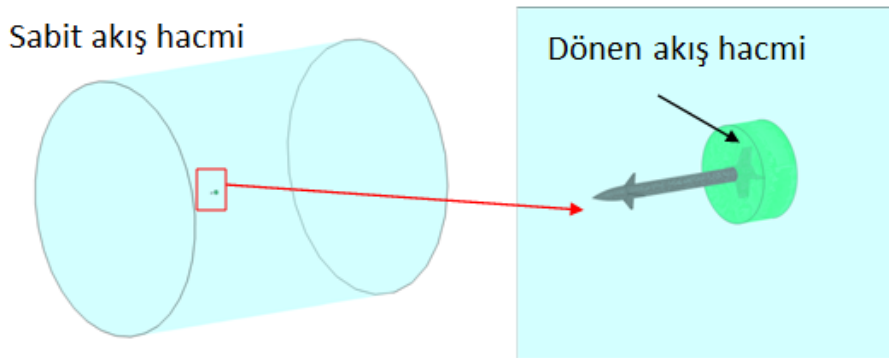


Şekil 1: Model Ölçüleri (Boyutlar cm cinsindendir.)

HAD analizleri için $\delta\alpha = -5^\circ$ kanard yuvarlanma sapma açısına sahip denek taşı modeli seçilmiştir. Yatay kanard yüzeylerine negatif 5° sapma açısı verilmiş olup, dikey kanard yüzeylerine ise sapma açısı verilmemiştir.

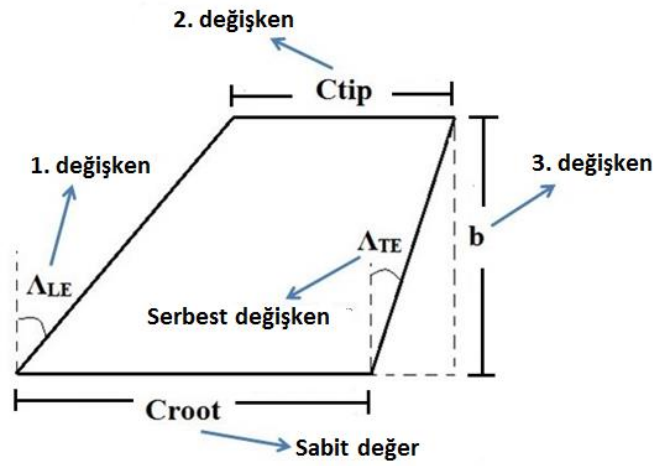
HAD MODELLEME, ANALİZ VE OPTİMİZASYON ÇALIŞMALARI

HAD analizlerinin tamamı Fluent programı kullanılarak yapılmıştır. HAD analizleri 2.86 Mach sayısında gerçekleştirilmiştir. Füze yüzeyleri için duvar sınır koşulu uygulanmıştır. Analizlerde SST k- ω türbülans modeli kullanılmıştır. Dış akış hacminin (sabit akış hacmi) dış yüzeyleri füze yüzeylerinden yeterince uzakta bulunduğundan dolayı sınır koşulu olarak sabit basınç, sıcaklık ve hız tanımlanmıştır. Dış akış hacmi ile iç akış hacminin (dönen akış hacmi) kesişim yüzeylerine ise arayüzey('interface') sınır koşulu tanımlanmıştır. Zamana bağlı gerçekleştirilen HAD analizlerinde iç akış hacminin yuvarlanma yönünde kuyruk yüzeylerine etkiyen kuvvetler ile serbest dönmesi sağlanmıştır[Feyzioğlu, 2003]. Sabit ve dönen akış hacimleri Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2: Sabit ve Serbest Dönen Akış Hacimleri

Optimizasyon analizlerinde kullanılan serbest dönen kuyruk planformuna ait değişkenler, uç veter uzunluğu, kuyruk açıklığı ve hücum kenarı süpürme açısıdır. Firar kenarı süpürme açısı bu uç değişkene bağlı olarak değişmektedir. Kök veter uzunluğu sabit alınmıştır. Parametrelere ait bilgi Şekil 3’te verilmiştir.

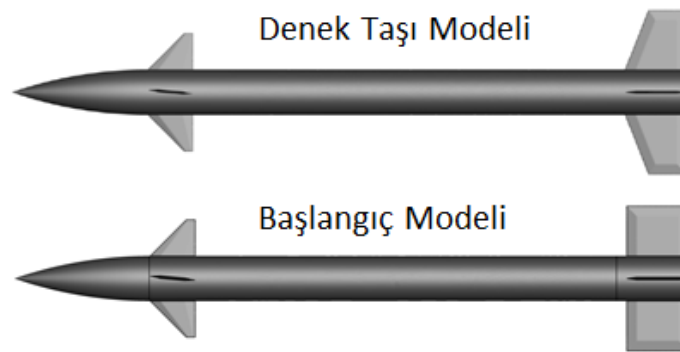


Şekil 3: Optimizasyon Parametreleri

Optimizasyon analizlerinde en aza indirilmeye çalışılan hedef fonksiyonu aşağıda verilmiştir. Hedef fonksiyonu kuyruk yüzeylerine ait yuvarlanma dönü hızını, ω_{tail} , temel almaktadır. Hedef fonksiyonunda kuyruk yüzeylerinden kaynaklı normal kuvvetteki değişim, ΔC_N , penaltı olarak tanımlanmıştır.

$$f(\omega_{tail}, \Delta C_N) = \frac{1}{2} \left(\frac{\omega_{tail}}{1000} + \left\{ \begin{array}{ll} \frac{\Delta C_N(\%)}{10000} & \text{if } \Delta C_N(\%) > 3 \\ \frac{\Delta C_N(\%)}{1000} & \text{if } \Delta C_N(\%) < -1 \\ 0 & \text{diğer koşullar} \end{array} \right. \right) \quad (1)$$

Optimizasyon analizlerinde başlangıç geometrisi olarak denek taşı modeli ile aynı normal kuvvet katsayısını veren dikdörtgen kuyruk planformuna sahip model kullanılmıştır. Denek-taşı ve başlangıç geometrilerine ait katı modeller Şekil 4'te, bu modellere ait geometrik bilgi ve normal kuvvet katsayıları Çizelge 1'de verilmiştir.



Şekil 4: Denek-Taşı ve Başlangıç Geometrilerine ait Katı Modeller

Çizelge 1: Denek-taşı ve Başlangıç Modellerine ait Kuyruk Ölçüleri ve Normal Kuvvet Katsayıları

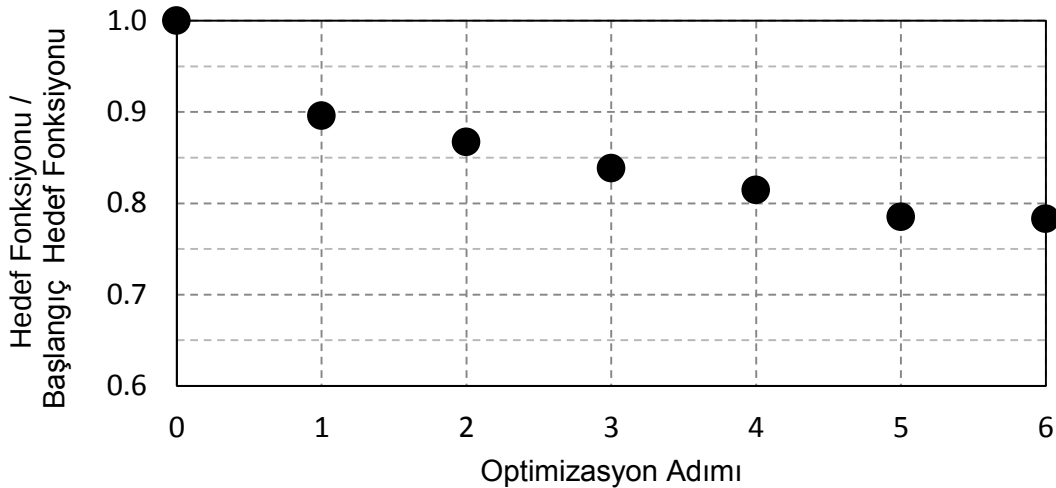
	Λ_{LE}	C_{tip}	b	$C_N@ \alpha=4^\circ$	$C_N@ \alpha=8^\circ$
Denek Taşı Modeli	21.6°	54.9 mm	83.3 mm	0.947	2.057
Başlangıç Modeli	0.0°	87.9 mm	70.0 mm	0.944	2.059

Optimizasyon çalışmasında kullanılan üç parametre için (hücum kenarı süpürme açısı, uç veter uzunluğu ve kuyruk açıklığı) artış ve azalış verilerek HAD analizleri gerçekleştirilmiştir [Feyzioğlu, 2014]. Bu sonuçlar doğrultusunda her bir parametrenin hedef fonksiyon üzerindeki etkisi incelenerek gradyan vektörünün yönü hesaplanmıştır. Gradyan vektörü yönünde parametreler farklı oranlarda değiştirilerek elde edilen gradyan vektörü yönünde hedef fonksiyonunu en aza indiren adım uzunluğu hesaplanmıştır (line-search). Bu süreç optimizasyon adımı olarak adlandırılmıştır. Her bir optimizasyon adımı gradyan vektörünü hesaplamak için 6 adet, bu yöndeki adım uzunluğunu belirlemek için en az 3 adet (toplamda en az 9 adet) zamana bağlı HAD analizi gerçekleştirmek gereklidir.

SONUÇLAR VE YORUMLAR

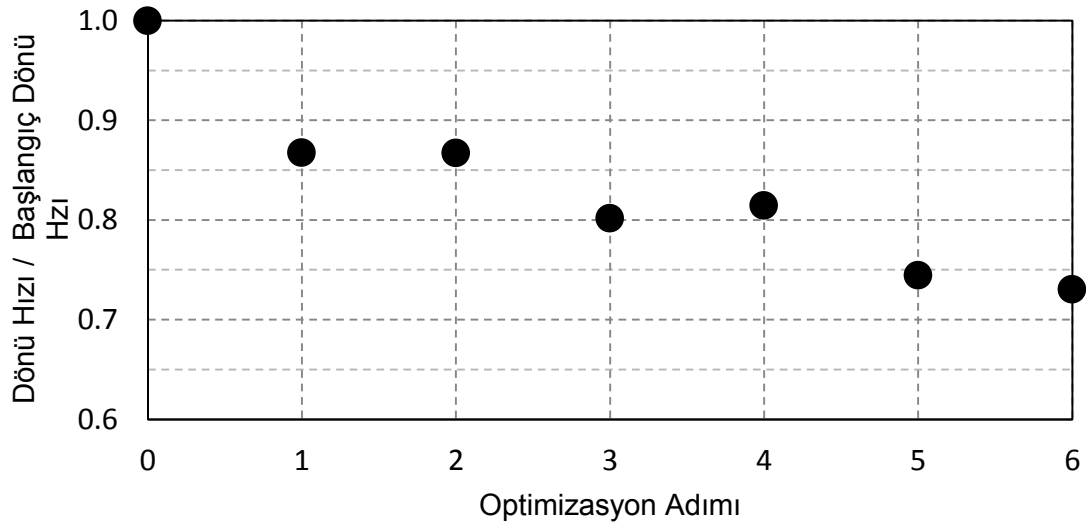
Denek-taşı modelini temel alan başlangıç kuyruk geometrisi için belirlenen üç parametre için optimizasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Tanımlanan hedef fonksiyonunu en aza indirmeyi amaçlayan bu çalışma altı optimizasyon adımı yakınsamıştır. Her bir optimizasyon adımı sonrasında eksenel kuvvet katsayısının denek-taşı modelindekinden az olduğu kontrol edilmiştir. Optimizasyon adımları boyunca füze dönü hızı ve ilgili parametrelere ait veriler aşağıda verilmiştir.

Optimizasyon çalışması sonucunda hedef fonksiyonunun değişimi Şekil 5'te verilmiştir. Hedef fonksiyonu başlangıç değerine göre %22 azalmıştır.



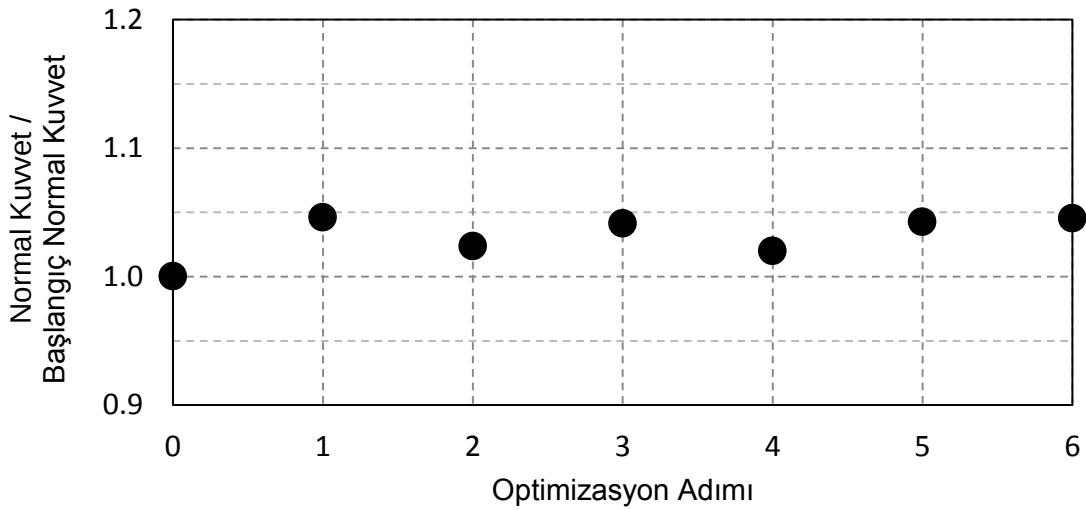
Şekil 5: Optimizasyon Adımı Boyunca Hedef Fonksiyonunun Değişimi

Hedef fonksiyonu normal kuvvet değişiminden kaynaklı penaltı değerini de içermektedir. Optimizasyon adımları boyunca serbest dönen kuyruğun dönü hızında ise %27 azalma görülmüştür. Dönü hızının optimizasyon adımları boyunca değişimi Şekil 6'da gösterilmiştir.

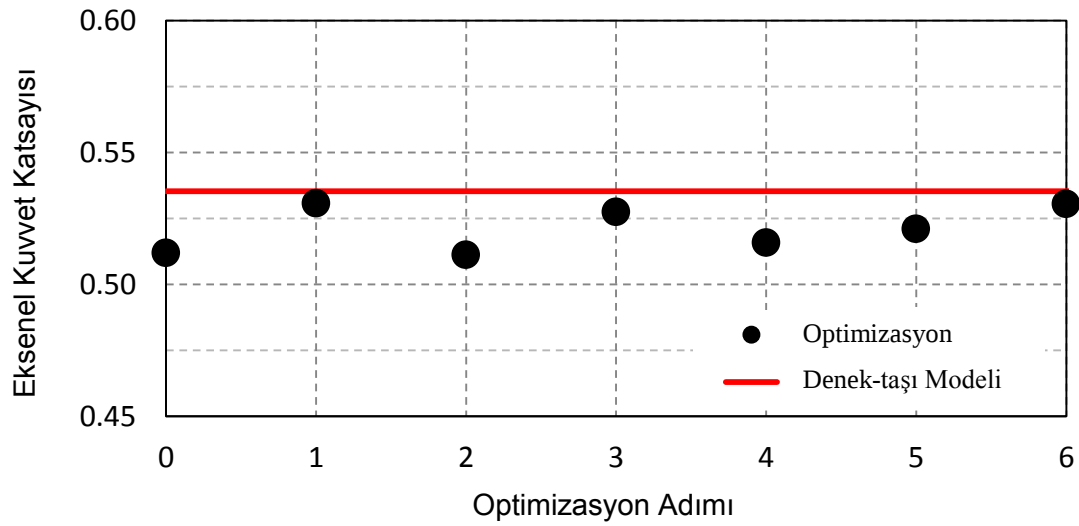


Şekil 6: Kuyruk Dönü Hızının Değişimi

Yuvarlanma dönü hızındaki bu azalmaya karşılık normal ve eksenel kuvvette ciddi bir değişiklik gözlenmemiştir. Optimizasyon adımları boyunca normal kuvvetin değişimi Şekil 7'de, eksenel kuvvetin değişimi Şekil 8'de gösterilmiştir.

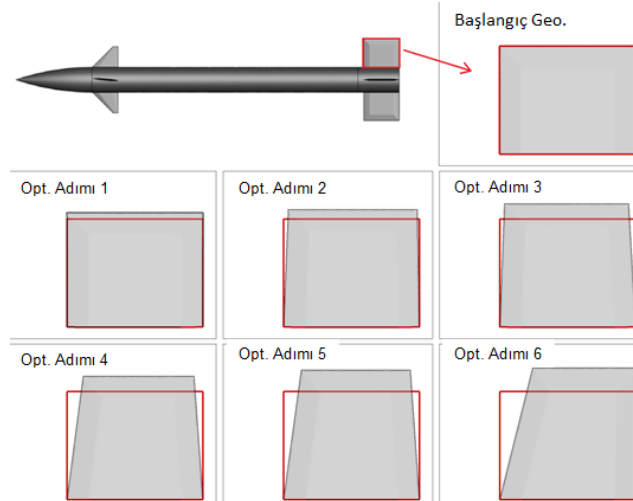


Şekil 7: Optimizasyon Adımları Boyunca Normal Kuvvetin Değişimi

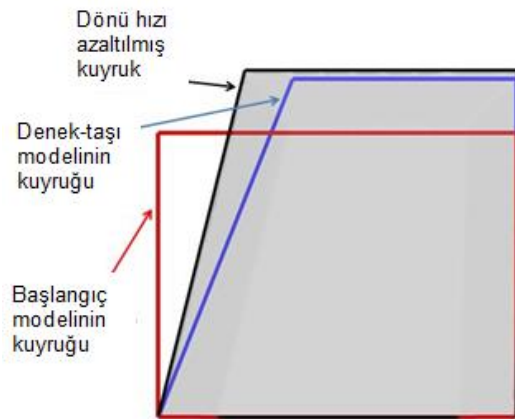


Şekil 8: Optimizasyon Adımları Boyunca Eksenel Kuvvetin Değişimi

Optimizasyon adımları boyunca kuyruk planformundaki değişim Şekil 9'da gösterilmiştir. Dönü hızı azaltılmış kuyruğun, denek-taşı ve başlangıç modelleri ile karşılaştırılması Şekil 10'da verilmiştir.

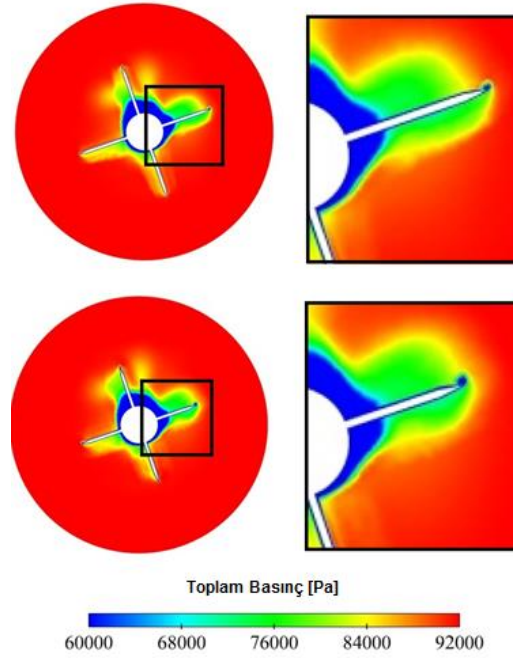


Şekil 9: Optimizasyon Adımı Boyunca Kuyruk Planformunun Değişimi



Şekil 10: Denek-taşı, Başlangıç ve Dönü Hızı Azaltılmış Modellere ait Kuyruk Planformları

Dönü hızı azaltılmış kuyruk ile başlangıç modeline ait kuyruğun etrafındaki toplam basınç dağılımı Şekil 11’de gösterilmiştir. Optimizasyon adımları sonrasında uç veteri etrafındaki girdabın azaldığı açıkça gözlenmektedir.



Şekil 11: Başlangıç ve Dönü Hızı Azaltılmış Modellere ait Kuyruk Etrafındaki Basınç Dağılımı

Kanard-kontrollü füzelerde kanard yüzeylerinden kaynaklanan asimetric girdaplar füze üzerinde indirgenmiş yuvarlanma momenti oluşturmaktadır. Bu momentin füze yuvarlanma karakteristiğine etkisini azaltmak amacıyla serbest dönen kuyruk yüzeyleri kullanılmaktadır. Ön gövde içerisindeki sistemlerin en az etkilenmesi için serbest kuyruk yüzeylerinin olabildikçe düşük dönü hızına sahip olması gerekmektedir.

Gerçekleştirilen optimizasyon çalışması sonucunda, ses-üstü hızlarda uçan kanard-kontrollü füze için kuyruk şekil parametreleri değiştirilerek kuyruk yüzeylerine ait dönü hızı %27 azaltılmıştır. Bu sayede füze ön gövdesine aktarılan moment büyüklüğü de aynı oranda azaltılmıştır. Dönü hızındaki bu azalmaya karşılık aksenal kuvvet ve normal kuvvet üzerinde ciddi bir değişim gerçekleşmemiştir.

Kaynaklar

Blair, A. B. Jr., 1985. *Wind-Tunnel Investigation at Supersonic Speeds of a Remote-Controlled Canard Missile with a Free-Rolling-Tail Brake Torque System*, NASA TP-2401, Mart

Feyzioğlu, E., Gülay, E., Tuncer İ. H. 2014. *Ses-Üstü Kanard Kontrollü Füzeler İçin Serbest Dönen Kuyruğun Dönü-Karakteristiğinin Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Yöntemleri ile İncelenmesi*, UHUK, Kayseri, Eylül

Feyzioğlu, E. 2014. *Roll Characteristics and Shape Optimization of the Free-To-Rotate Tail-Fins on a Canard-Controlled Missile*, Y.Lisans Tezi, ODTÜ

Murman S. M., 2003. *Cartesian-Grid Simulations of a Canard-Controlled Missile with a Spinning Tail*, 21th AIAA Applied Aerodynamics Conference, Florida, Haziran