

AERODİNAMİK ÖRTÜ (“SHROUD”) AYRILMASINA YÖNELİK YAPILAN HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ (HAD) ANALİZLERİ

Hasan Erkan Çeliker* Emrah Gülay†
Roketsan A.Ş., Ankara

ÖZET

Yüksek hızlarda görev yapan uzun menzilli füze sistemlerinde yeni nesil kızıl ötesi arayıcılar kullanılmaktadır. Füzelerin yüksek hızlarda uzun süre seyir yapmaları, arayıcıların uçuş boyunca aerodinamik ısınma kaynaklı yüksek sıcaklıklara maruz kalarak işlevlerini yerine getirmesini engellemektedir. Bu problemin çözüm yöntemlerinden bir tanesi arayıcıların önünde aerodinamik örtü (“shroud”) kullanılmasıdır. Fakat kullanılan aerodinamik örtünün belli bir uçuş zamanından sonra gövdeden güvenli bir şekilde ayrılması gerekmektedir. Aerodinamik örtünün ayrılma sırasında izleyeceği yörüngenin tahmini ve güvenli ayrılma analizlerinin yapılması önemli ve bilgisayarlı hesaplama süresi uzundur. Farklı uçuş koşullarında, zamana bağlı HAD analizleri yapılarak aerodinamik örtünün izleyeceği yörünge tahmin edilmeye çalışılmış ve ayrılma sırasında füze-aerodinamik örtü etkileşimi aerodinamik açıdan incelenmiştir. Analizlerde “chimera” çözüm ağı kullanılmıştır.

GİRİŞ

Yüksek hızlarda uçan füze sistemlerinde kullanılan arayıcıların yüksek sıcaklıklardan etkilenmesini önlemek amacıyla kullanılan yöntemlerden bir tanesi de arayıcının önünde aerodinamik örtü kullanılmasıdır. Aerodinamik örtü uçuşun belli bir zamanından sonra atılmakta ve yüksek sıcaklıklardan korunan arayıcı bu süreden sonra aktif duruma gelmektedir. Aerodinamik örtünün füze gövdesine zarar vermeden güvenli bir şekilde ayrılması ise kritik bir süreçtir. Günümüzde güvenli ayrılma analizleri uçuş testleri, rüzgar tüneli testleri ve gelişen HAD analiz yöntemleri ile modellenmektedir. Fakat uçuşlu testlerin ve rüzgar tüneli testlerinin maliyetli ve uygulanabilirliğinin zor olması aerodinamik örtünün güvenli ayrılma analizleri için HAD modelleme çalışmalarının kullanımını ve önemini arttırmaktadır. Bu çalışmada jenerik bir füzeden aerodinamik örtünün güvenli bir şekilde ayrılmasına yönelik yapılan HAD analiz yöntemi ve sonuçları yer almaktadır.

Yüksek hızlarda görev yapan füze sistemlerinin aerodinamik analizlerinde kullanılan modelleme araçların doğrulama ve geçirme çalışmaları için literatürde bulunan HB-1 standart denek taşına ait veriler kullanılmıştır. HAD analiz sonuçları ve deney sonuçları birbiriyle kıyaslanarak aerodinamik modelleme sonuçlarının deney verileri ile uyumlu olduğu gözlenmiştir[Çeliker, 2012]. Harici yük ayrılma çalışmalarında kullanılan modelleme yönteminin doğruluğu ise literatürde bulunan EGLIN denek taşı kullanılarak tamamlanmıştır. EGLIN denek taşı için durağan olmayan HAD analiz sonuçları ile deney verileri kıyaslanarak modelleme yöntemi doğrulanmıştır[Sunay, 2012].

Bu her iki doğrulama sonucunda kullanılan modelleme ve analiz yöntemlerinin hem aerodinamik katsayıların hesaplanmasında hem de çoklu gövde (“multi-body”) analizlerinde kullanılabilirliği

* Müh., Aerodinamik Tasarım ve Analiz Müdürlüğü, E-posta: eceliker@roketsan.com.tr

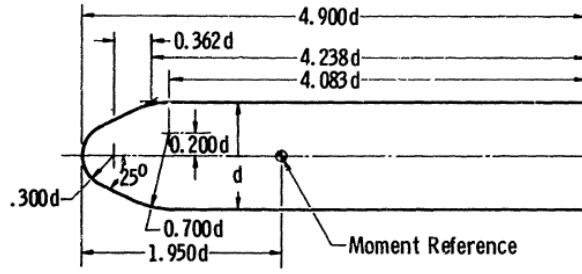
† Kıd. Uzm. Müh., Aerodinamik Tasarım ve Analiz Müdürlüğü, E-posta: egulay@roketsan.com.tr

incelenmiştir. Çalışmalar sonucunda füze sistemlerindeki aerodinamik örtünün güvenli ayrılmasına yönelik yapılan analizlerde kullanılan modelleme yöntemlerinin güvenli bir şekilde kullanılabileceği gösterilmiştir.

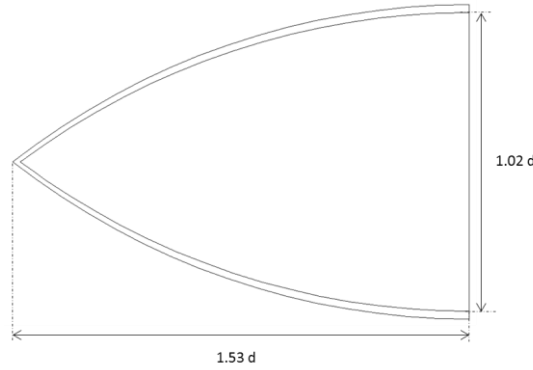
Bu raporda, jenerik bir füze modeli olan HB-1 denek taşı ve bu füzenin arayıcısına uygun aerodinamik örtünün güvenli ayrılma çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

DENEK-TAŞI MODELİ

HAD analizleri için HB-1 jenerik füze modeli ve bu füzenin arayıcısına uygun aerodinamik örtü modeli kullanılmıştır. Jenerik füze modeli, silindirik bir gövde ve küt-konik burun şeklinden oluşmaktadır. Aerodinamik örtü modeli ise küt-konik burun ile uyumlu olacak şekilde tanjant-objiv olarak belirlenmiştir. Jenerik füze ve aerodinamik örtü modeline ait geometrik bilgiler Şekil 1 ve Şekil 2' de gösterilmiştir.



Şekil 1: HB-1 Modeline ait Geometrik Bilgiler [Garay, 1964]



Şekil 2: Aerodinamik Örtü Modeline ait Geometrik Bilgiler

HAD MODELLEME ARACI

CFD++

CFD++, bünyesinde birleştirilmiş çözüm ağı, birleştirilmiş fizik ve birleştirilmiş hesaplama olmak üzere üç prensibin kullanıldığı bir ticari HAD programıdır[CFD++ User Guide]. Birleştirilmiş çözüm ağı sayesinde farklı hücre şekil ve yapılarına ait akış çözümlerini bütün hücrelerde gerçekleştirebilmektedir. Birleştirilmiş fizik ile genel denklem setlerini kullanarak sıkıştırılmaz akıştan hipersonik akışa kadar türbülans, kimyasal tepkimeli akışlar, akustik vs. denklem setlerini de içeren fiziksel olayları modelleyebilmektedir. Birleştirilmiş hesaplama kabiliyetiyle de farklı hesaplama platformları arasında ve birden fazla işlemciyi paralel kullanarak hesaplama yapma olanağı sunmaktadır.

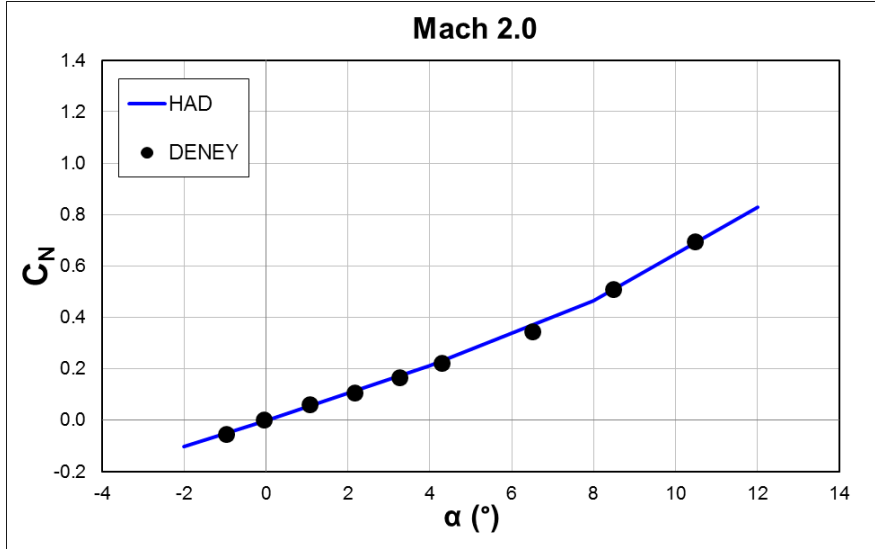
HAD DOĞRULAMA ÇALIŞMALARI

1. HB-1 ve HB-2 Ses-Üstü ve Hipersonik Denek Taşları Aerodinamik Model Doğrulaması

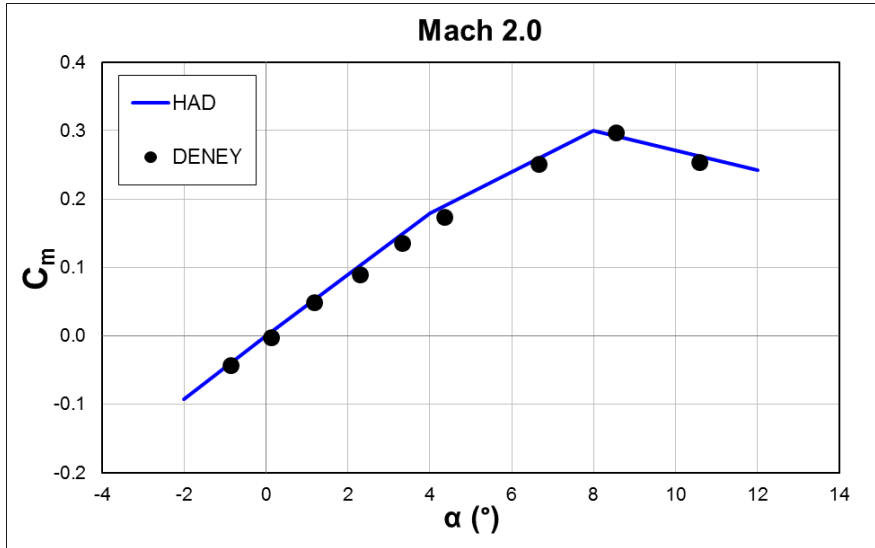
Yüksek hızlarda görev yapan füze sistemlerinin aerodinamik analizlerinde kullanılan araçların doğrulama ve geçirme çalışmaları için literatürde bulunan HB-1 standart denek taşına ait veriler kullanılmıştır. HAD analiz sonuçları ve deney sonuçları birbiriyle kıyaslanarak aerodinamik modelleme sonuçlarının deney verilerine yakın olduğu gözlenmiştir[Çeliker, 2012].

1.1. HB-1 Modeli Sonuçları

HB-1 modelinin 2.0 Mach'daki normal kuvvet katsayısının (C_N) ve yunuslama momenti katsayısının hücum açısı ile değişimleri Şekil 3 ve Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 3: HB-1 Modeline ait Normal Kuvvet Katsayısının Hücum Açısı ile Değişimi



Şekil 4: HB-1 Modeline ait Yunuslama Momenti Katsayısının Hücum Açısı ile Değişimi

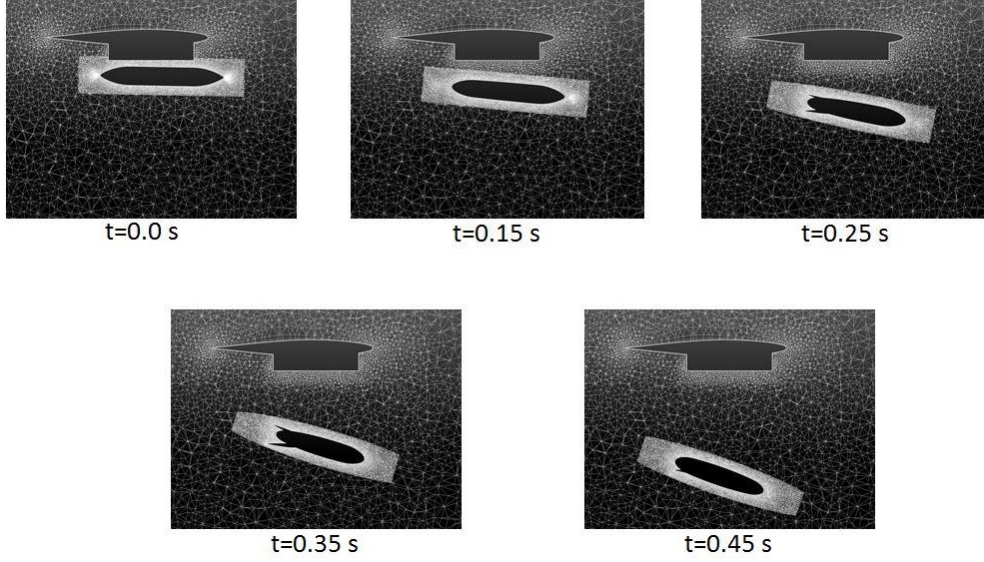
Her iki katsayının hücum açısı ile değişimleri incelendiğinde HAD analizlerinin deney sonuçlarıyla uyumlu olduğu görülmektedir.

2. Harici-Yük Ayrılmasına Yönelik HAD Analizleri ile Gerçekleştirilen Doğrulama Çalışmaları

EGLIN denek taşı için yapılan harici yük ayrılması çalışmalarına ait analiz sonuçları bu kısımda sunulmuştur. Bu denek-taşı için deney verileri kullanılarak, HAD ve 6 Serbestlik Dereceli uçuş benzetiminin birlikte modellenmesinin doğrulanması amaçlanmıştır.

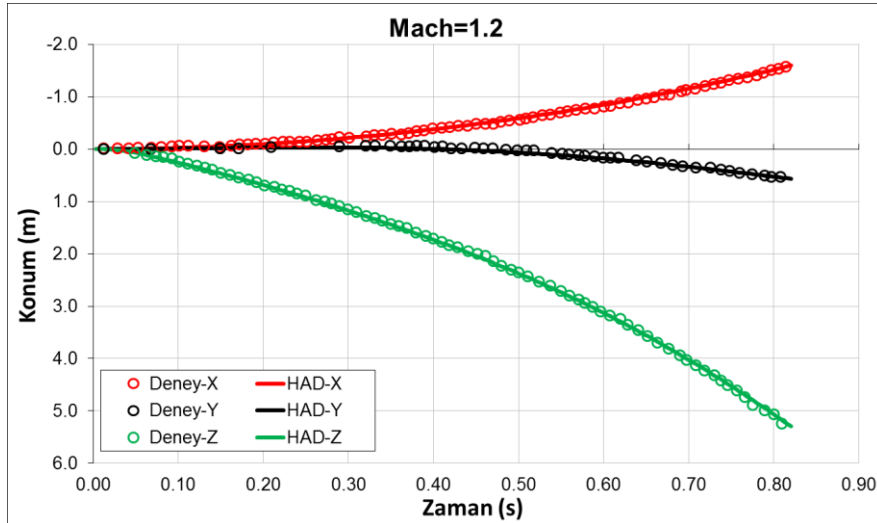
2.1. Analiz Sonuçları

Harici yük ayrılmasına yönelik HAD analizleri “*chimera*” çözüm ağı metodu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. 1.2 Mach sayısı için zamana bağlı çözümler sırasında oluşan çözüm ağına ait kesitler Şekil 5’te gösterilmiştir.

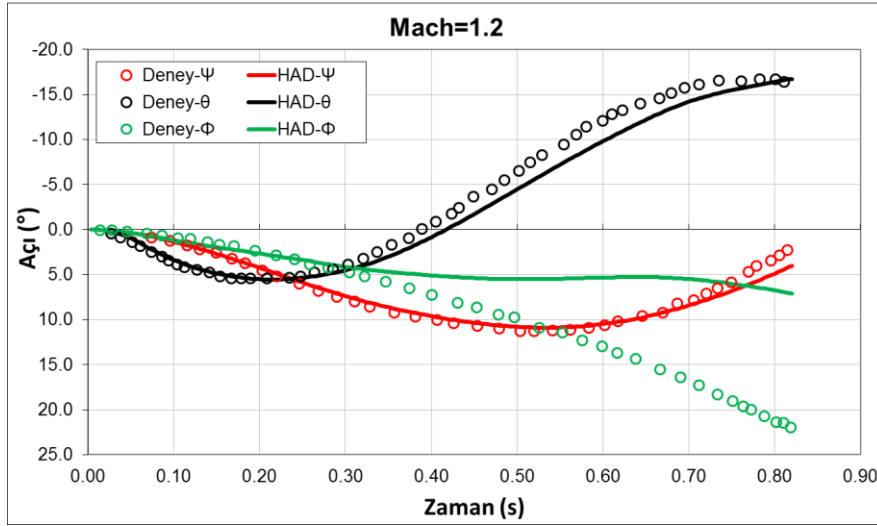


Şekil 5: “Chimera” Çözüm Ağı Sistemine ait Farklı Zamanlardaki Çözüm Ağı Kesitleri

Ses-üstü uçuş koşuluna ait analiz ve deney sonuçları karşılaştırmalı olarak Şekil 6 ve Şekil 7’de sunulmuştur. Mühimmat ağırlık merkezinin ve açılma konumunun zamana bağlı değişimine ait sonuçların oldukça uyumlu olduğu görülmektedir.



Şekil 6: Mühimmatın Ağırlık Merkezinin Zamana Göre Değişimi



Şekil 7: Mühimmatın Ağırlık Merkezinin Açısal Konumunun Zamana Göre Değişimi

HAD analiz sonuçlarından elde edilen yunuslama ve yalpalama açılarının deney verileri ile oldukça yakın olduğu görülmektedir. Fakat yuvarlanma açısı için analiz ve deney verileri arasında farklılıklar görülmektedir. Yuvarlanma eksenindeki atalet momentinin yunuslama ve yalpalama eksenlerindeki atalet momentlerine göre çok düşüktür. Bu sebepten dolayı yuvarlanma momentinde oluşan küçük farklılıklar, yuvarlanma eksenindeki ölçüm verilerinde göreceli olarak yüksek görülmektedir.

AERODİNAMİK ÖRTÜ AYRILMASINA YÖNELİK YAPILAN HAD MODELLEME ÇALIŞMALARI

Katı Model

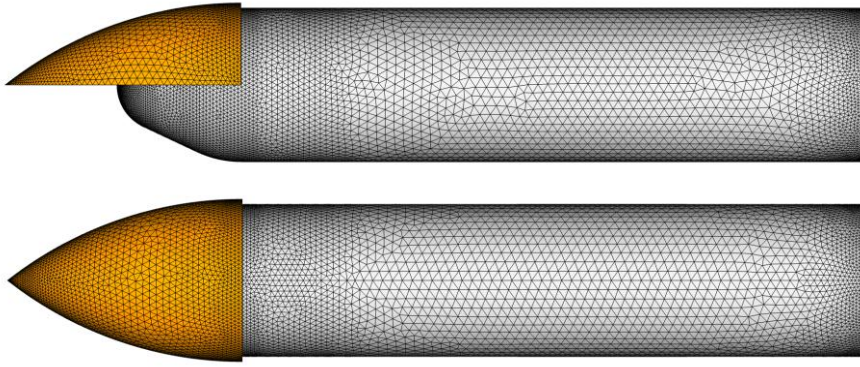
Şekil 8'de analizlerde kullanılan Jenerik füze ve aerodinamik örtü yerleşimi gösterilmiştir.



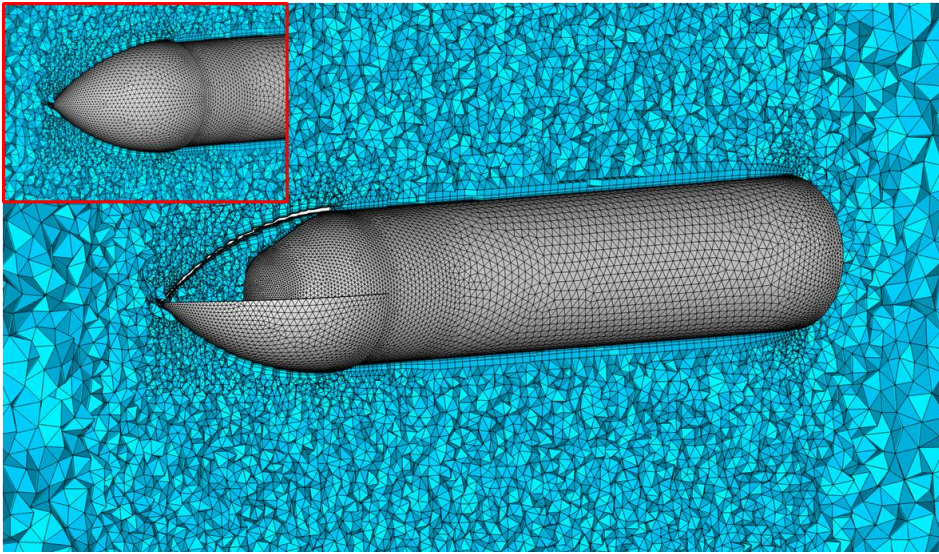
Şekil 8: HB-1 Jenerik Füze ve Aerodinamik Örtü Katı Modeli

Çözüm Ağı

HAD analizleri Navier-Stokes denklem çözücüsü olan CFD++ kullanılarak gerçekleştirilmiştir. HAD analizlerinde kullanılan çözüm ağları GAMBIT ve TGRID yazılımları kullanılarak oluşturulmuştur. HAD analizleri için kullanılan çözüm ağı, prizmatik elemanlardan oluşan sınır tabaka ile düzgün geçişli yapısız elemanlardan oluşturulmuştur. Modellere ait yüzey ve hacim çözüm ağları Şekil 9 ve Şekil 10'da gösterilmiştir.

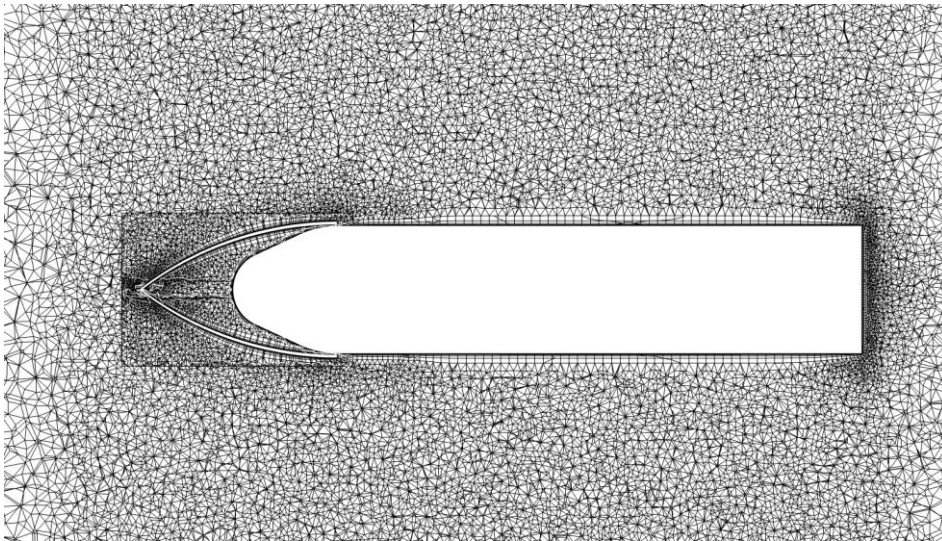


Şekil 9: HB-1 Jenerik Füze ve Aerodinamik Örtü Parçalarının Yüzey Çözüm Ağı (Yandan ve Üstten Görünüm)



Şekil 10: Hacim Çözüm Ağına ait Kesit

CFD++ çoklu gövde analizlerinde “*chimera*” çözüm ağı metodunu kullandığı için hacim çözüm ağları bu metoda uygun olarak hazırlanmıştır. Bu sebeple aerodinamik örtü parçalarına ve jenerik füze modeline ayrı ayrı çözüm ağı hazırlanarak birleştirilmiştir. Böylece “*chimera*” çözüm ağı sistemi oluşturulmuştur. “*Chimera*” çözüm ağı sistemine ait kesit Şekil 11’de gösterilmiştir.



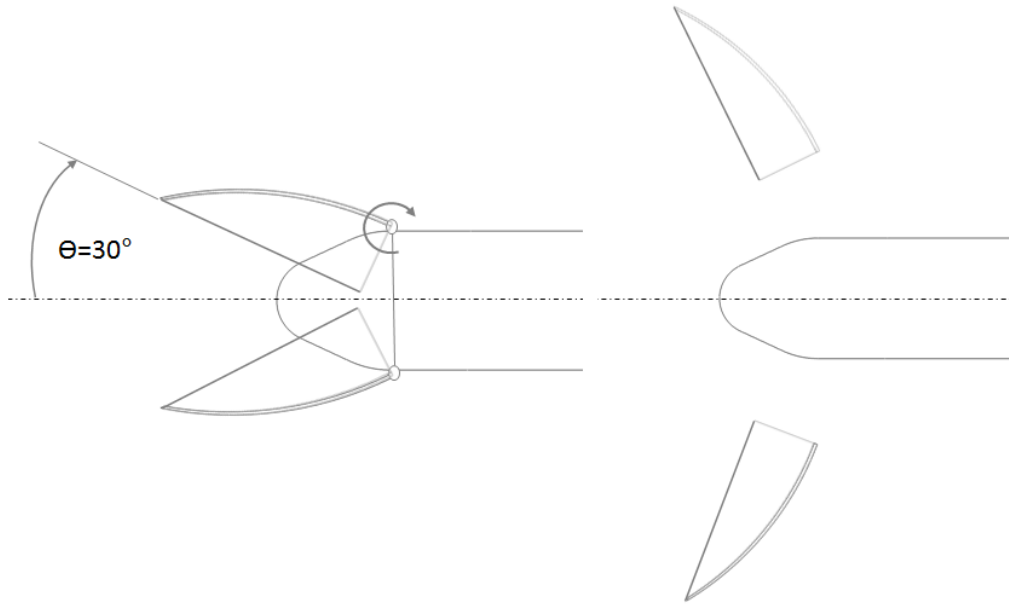
Şekil 11: “Chimera” Çözüm Ağı Sistemine ait Çözüm Ağı Kesiti

Akış Modellemesi

Aerodinamik örtünün füze üzerinden ayrılışını modellemek için yapılan HAD analizlerinde Navier-Stokes denklemleri zamana bağlı olarak çözülmüştür. Navier-Stokes analizlerinde $k-\epsilon$ türbülans modeli kullanılarak türbülanslı akış modellemesi yapılmıştır. Belirli bir Mach sayısında sıfır derece hücum açısında aerodinamik örtü parçalarının izleyeceği yörünge belirlenmiştir. Farklı zamanlarda aerodinamik örtü parçalarının konumu ve füze üzerindeki aerodinamik etkileri incelenmiştir.

Analizler boyunca aerodinamik örtü parçalarının konumu zamana bağlı olarak değişmektedir. Aerodinamik örtü parçalarının konumuna bağlı olarak da "chimera" çözüm ağı sisteminin güncellenmesi gerekmektedir. Çözüm ağları değiştirilmeden, yeni konumdaki aerodinamik örtü parçalarına ait çözüm ağları jenerik füze etrafındaki çözüm ağına bağlı olarak kesme işlemleri yaparak bir önceki zaman adımına ait değişkenler interpolasyon yardımıyla yeni konumdaki çözüm ağına aktarılmaktadır. Aerodinamik örtünün yeni konumu 6 serbestlik dereceli uçuş denklemleri kullanılarak hesaplanmaktadır. Yeni zaman adımı için aynı işlemler tekrarlanmaktadır [CFD++ User Guide].

Aerodinamik örtü parçalarının aerodinamik yükler etkisinde ayrılması için iki aşamalı işlem uygulanmıştır. İlk aşamada aerodinamik örtü parçaları menteşe etrafında 30° dereceye kadar dönmektedir (1 serbestlik dereceli uçuş benzetimi). İkinci aşamada ise aerodinamik örtü parçaları menteşeden kurtularak 6 serbestlik dereceli uçuş denklemleri kullanılarak modellenmiştir. Ayrılma aşama işlemleri Şekil 12'de şematik olarak gösterilmiştir.

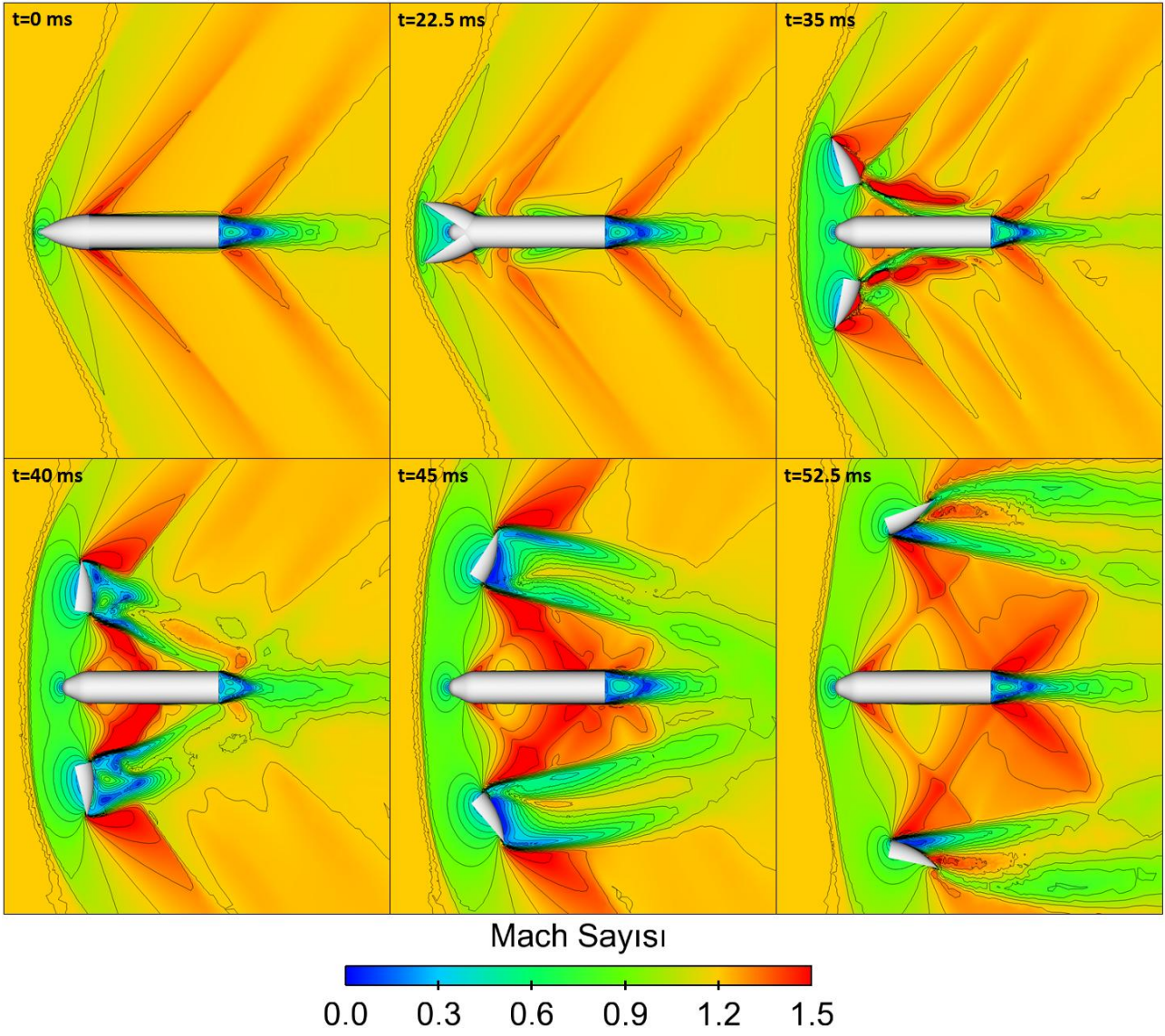


Şekil 12: Aerodinamik Örtü Parçalarının Ayrılma Aşamalarının Şematik Çizimi

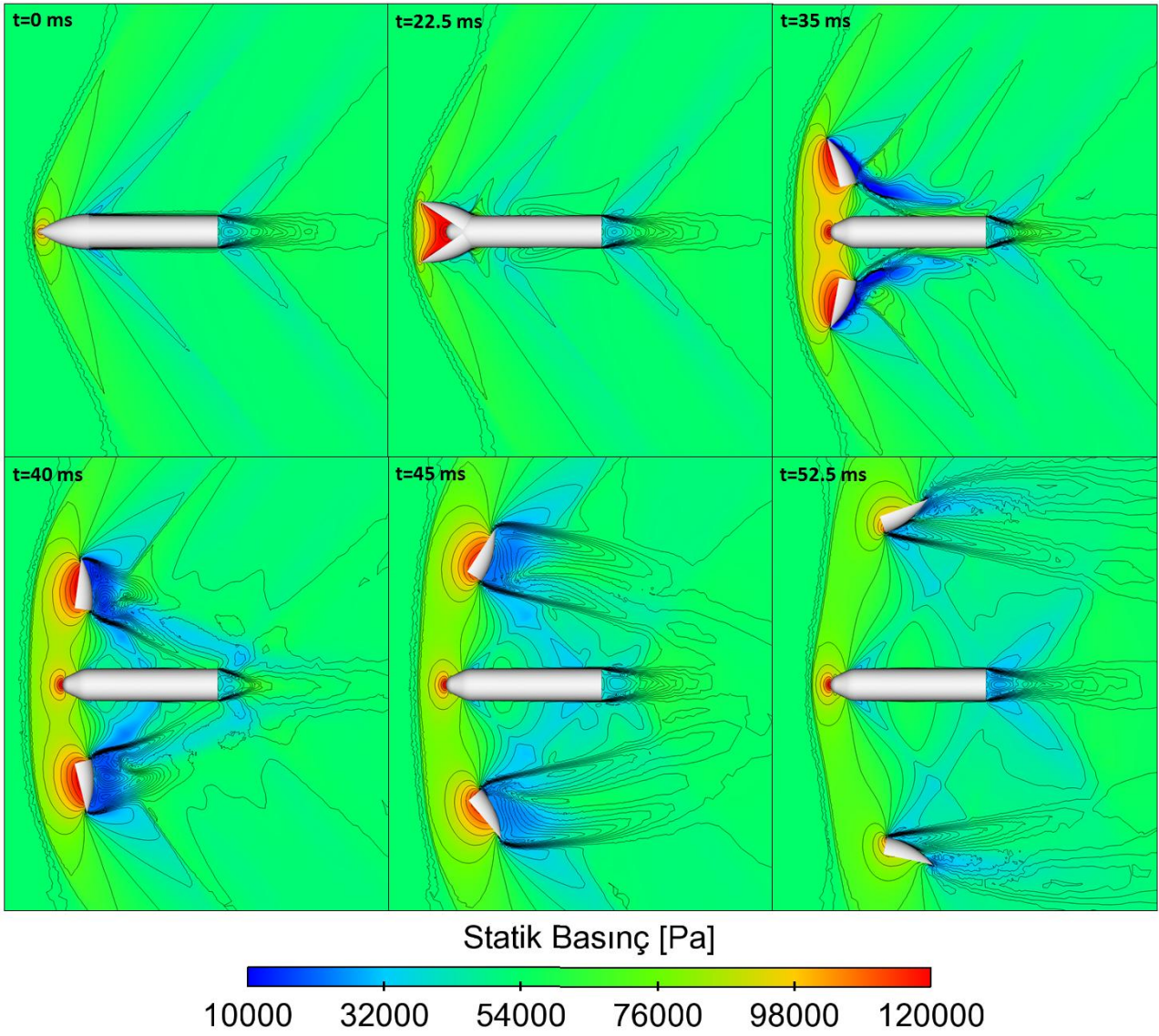
Aerodinamik örtü parçalarının ayrılma işlemini başlatmak için dönme noktasında harici moment uygulanarak ilk hareket verilmelidir. Bu sebeple zamana bağlı olmayan analiz sonuçları yardımı ile aerodinamik örtü parçalarının üzerine etkiyen aerodinamik kuvvetleri yenebilecek patlatma kuvveti uygulanarak, menteşe üzerinde moment oluşturulmalıdır. Her iki Mach sayısında, dönme noktasına göre $1.25D$ önden harici bir kuvvet 10 ms boyunca uygulanmıştır. 1.2 Mach sayısındaki analizler için 1750 N kuvvet uygulanarak 500 Nm'lik moment değeri ve 2.0 Mach sayısındaki analizler için de 3500 N kuvvet uygulanarak 1000 Nm'lik moment değeri menteşe noktalarına uygulanmıştır.

Analiz Sonuçları

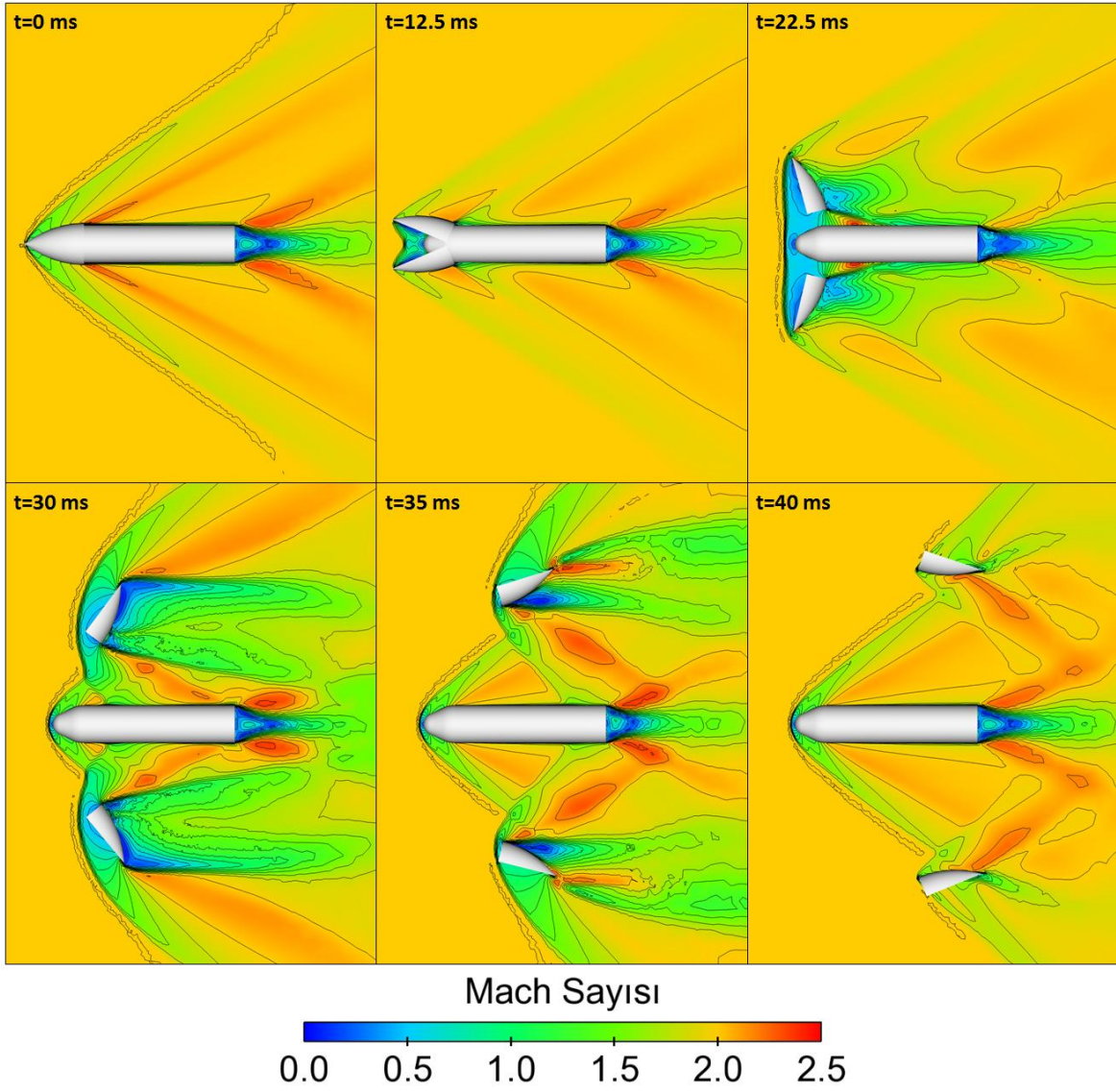
Aerodinamik örtü ayrılma analizleri 5000 m irtifadaki atmosfer koşulları kullanılarak 0° hücum açısında 1.2 ve 2.0 Mach sayılarında gerçekleştirilmiştir. Farklı zamanlar için aerodinamik örtünün konumu, çözüm alanındaki Mach sayısı ve statik basınç değişimleri Şekil 13-16'da gösterilmiştir.



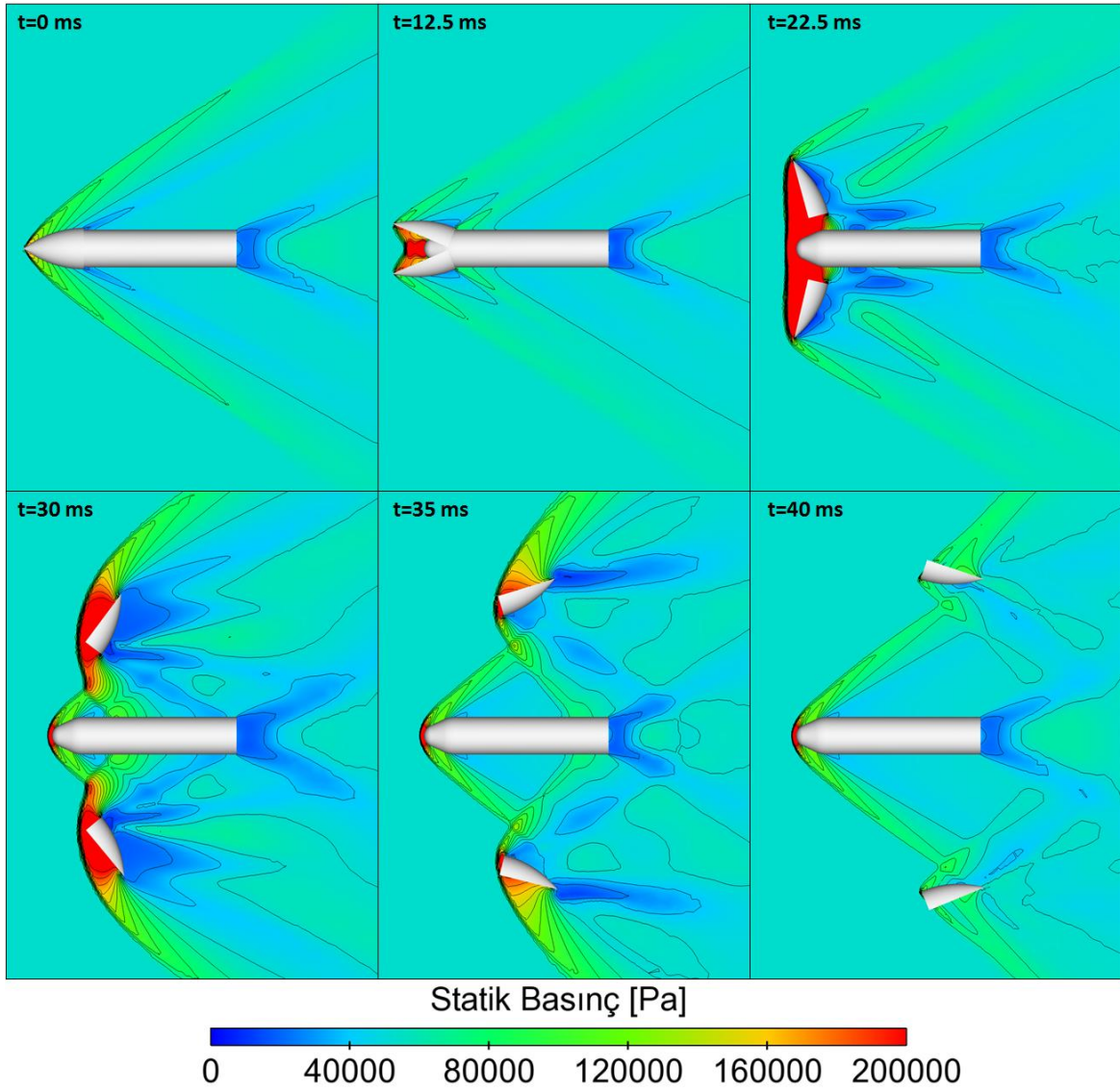
Şekil 13: Uçuşun Farklı Zamanlarındaki Aerodinamik Örtü Konumu ve Akış Alanındaki Mach Sayısı Eş-Değer Yüzeyleri ($M=1.2$)



Şekil 14: Uçuşun Farklı Zamanlarındaki Aerodinamik Örtü Konumu ve Akış Alanındaki Basınç Eş-Değer Yüzeyleri ($M=1.2$)

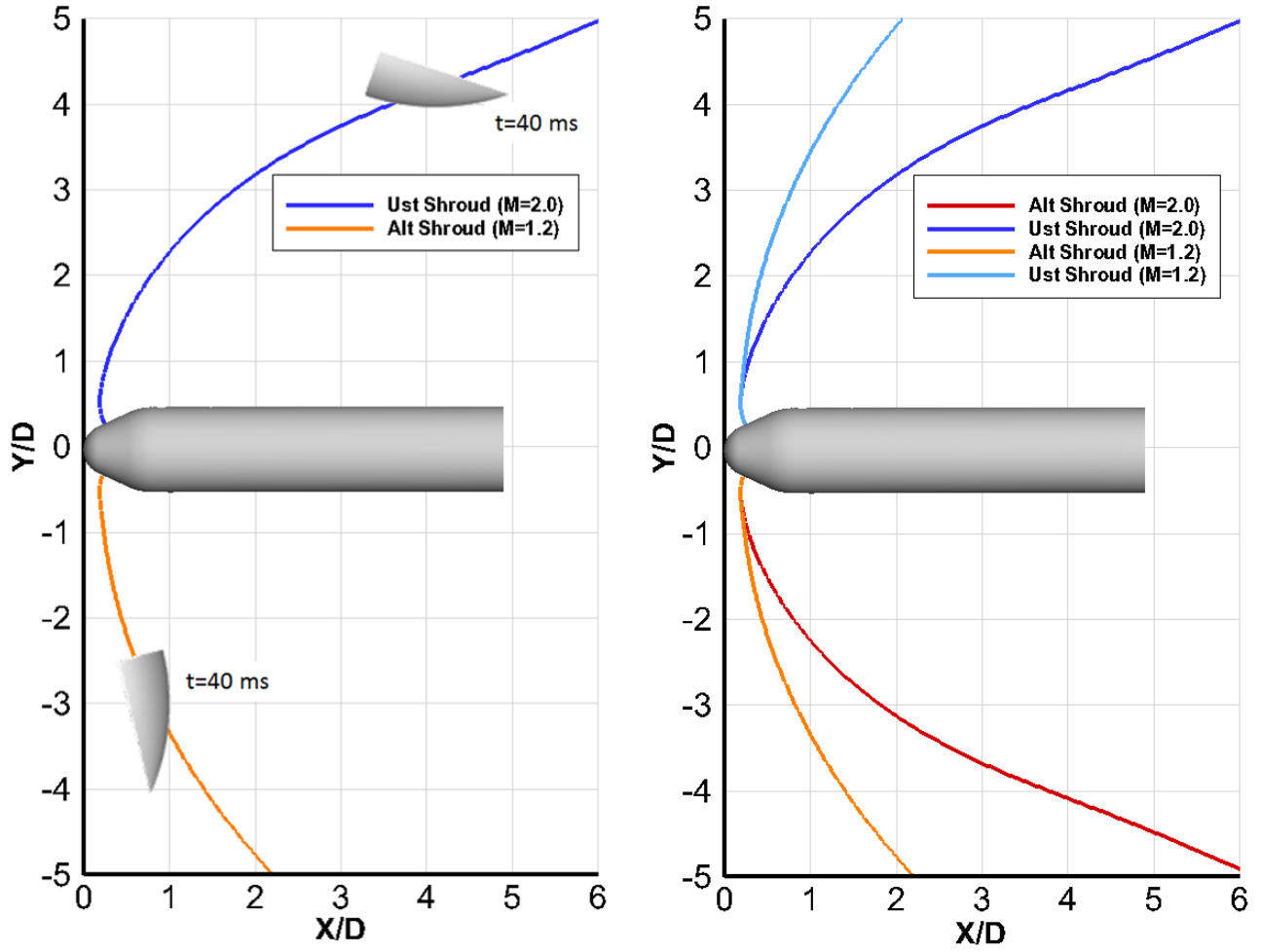


Şekil 15: Uçuşun Farklı Zamanlarındaki Aerodinamik Örtü Konumu ve Akış Alanındaki Mach Sayısı Eş-Değer Yüzeyleri (M=2.0)



Şekil 16: Uçuşun Farklı Zamanlarındaki Aerodinamik Örtü Konumu ve Akış Alanındaki Basınç Eş-Değer Yüzeyleri (M=2.0)

Uçuşun belirli bir zamanında ayrılan aerodinamik örtü parçalarının farklı Mach sayıları için izlediği yörüngeler karşılaştırmalı olarak Şekil 17’de gösterilmiştir. Yüksek Mach sayısında aerodinamik örtü parçaları daha hızlı bir şekilde füzeden ayrılmakta ve düşük Mach sayısında gerçekleştirilen analize göre füzeye daha yakın bir yörünge izlemektedir. Düşük Mach sayısında ise aerodinamik örtü parçaları daha düşük aerodinamik kuvvetlere maruz kaldığı için füzeden ayrılma süresi daha uzun olmuştur. Aerodinamik örtü parçalarının izlediği yörüngeler incelendiğinde her iki Mach sayısı için aerodinamik örtü parçalarının güvenli bir şekilde ayrıldığı gözlenmiştir.



Şekil 17: Uçuş Boyunca Aerodinamik Örtü Parçalarının İzlediği Yörünge

DEĞERLENDİRMELER

Aerodinamik katsayıların hesaplanmasında ve çoklu gövde analizlerinde kullanılan modelleme ve analiz yöntemleri doğrulanmıştır. Füze arayıcı başlığını korumak için kullanılan aerodinamik örtünün güvenli ayrılmasına yönelik çalışmaların aynı modelleme ve analiz yöntemleri kullanılarak yapılabileceği değerlendirilmiştir.

Bu doğrultuda, jenerik bir füze modeli olan (HB-1 denek taşı) ve füze arayıcısına uygun aerodinamik örtünün güvenli ayrılmasına yönelik HAD ile birlikte 6 serbestlik dereceli uçuş benzetim analizleri gerçekleştirilmiştir. Farklı uçuş koşullarında aerodinamik örtü ayrılma analizleri ile aerodinamik örtü parçalarının izlediği yörüngeler incelenmiş ve aerodinamik örtü parçalarının füzeden güvenli bir şekilde ayrıldığı gösterilmiştir.

Beklenildiği gibi farklı Mach sayılarında aerodinamik örtü parçalarına etkiyen aerodinamik yüklerin farklı olduğu gözlemlenmiştir. Yüksek Mach sayılarında aerodinamik kuvvetlerin büyük olması sebebiyle Mach sayısı 2.0 için uygulanan harici moment değeri Mach sayısı 1.2 için uygulanan harici moment değerinden büyüktür. Aerodinamik örtü parçalarının füzeden uzaklaşarak ayrılması için uçuş koşuluna bağlı olarak gerekli ve yeterli harici kuvvet/moment değerleri belirlenmelidir.

Bu çalışmada uygulanan modelleme teknikleri kullanılarak; aerodinamik-örtünün iç şekil tasarımı, malzeme seçimi ile birlikte ataleti, örtü ayırma sisteminde uygulanacak itme kuvveti, hangi hız rejiminde ve hangi hücum açılarında örtünün güvenli ayrılabilmesinin analizleri yapılarak, aerodinamik örtü tasarımı yapılabilecektir.

Füzeden uçuşun belirli bir zamanında ayrılan aerodinamik örtünün ayrılma sırasında izleyeceği yörüngenin belirlenmesi ve güvenli bir şekilde ayrılması kritik ve uzun bir süreçtir. Güvenli ayrılma

analizleri için kullanılan uçuşlu testlerin ve rüzgar tüneli testlerinin maliyetli ve uygulanabilirliğinin zor olması bu analizler için HAD modelleme çalışmalarının kullanımını ve önemini artırmaktadır. Bu çalışmada kullanılan modelleme yönteminin güvenli ayrılma çalışmalarında kullanılabileceği gösterilmiştir.

Kaynaklar

CFD++ 10.5.1 Users Guide, Metacomp Technologies, Inc.

Çeliker, H. E., et al., 2012. *HB-1 ve HB-2 Ses-Üstü ve Hipersonik Denek Taşları Aerodinamik Model Doğrulaması*, 4. Ulusal Havacılık ve Uzay Konferansı, UHUK-2012-074.

Garay, J. D., 1964. *Summary Report On Aerodynamic Characteristics Of Standart Models HB-1 And HB-2*, Arnold Engineering Development Center, July.

Sunay, Y. E., et al., 2012. *Harici Yük Entegrasyonu/Ayrılmasına Yönelik Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) Analizleri ile Gerçekleştirilen Doğrulama Çalışmaları*, 4. Ulusal Havacılık ve Uzay Konferansı, UHUK-2012-031.