

RÜZGAR TÜNELİ TESTİNDE YAĞ İLE AKIM GÖRÜNTÜLEME ÇALIŞMALARI

Engin TAŞKIRAN¹
Ankara Yıldırım Beyazıt
Üniversitesi / Makine
Mühendisliği, Ankara - Türk
Havacılık Uzay Sanayii A.Ş.,
Ankara

Dr. Erdem AYAN²
Türk Havacılık Uzay Sanayii
A.Ş., Ankara

Murat CANİBEK³
Türk Havacılık Uzay Sanayii
A.Ş., Ankara

ÖZET

Bu çalışmada bir jet uçağı kanatları üzerindeki yüzey akım çizgileri, yağ görüntüleme deneyi ile incelenmiş olup; deney gözlemleri, tecrübeler ve sonuçlar paylaşılmıştır. Yağ ile akım çizgileri görüntüleme çalışmaları transonik bir rüzgar tüneline icra edilmiştir. Yüksek hızlarda kanat üzerinde şok ve perdövites oluşumunun gözlemlenebilmesi için farklı hız rejimlerinde deneyler gerçekleştirilmiştir. Yağ görüntüleme deney sonuçlarından elde edilen akım çizgileri, HAD (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği) analiz sonuçları ile karşılaştırılmış ve sonuçlar paylaşılmıştır. Akım ayrılma bölgeleri, şok oluşumları ve şok bölgesi yerinin tahmininde HAD sonuçlarının yağ görüntüleme deney sonuçları ile tutarlılığı değerlendirilmiştir.

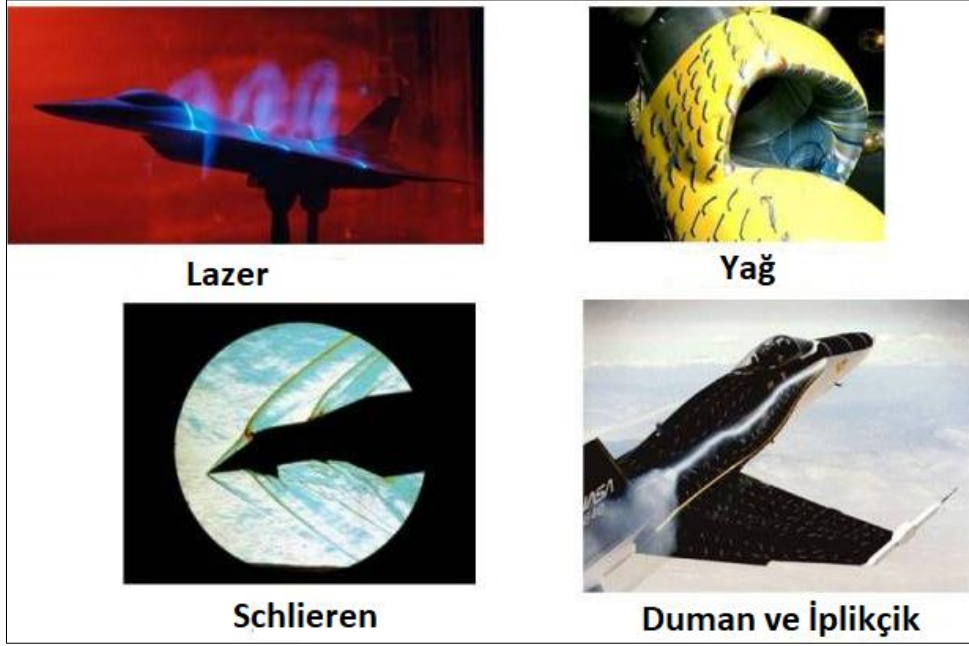
GİRİŞ

Akışkanlar dinamiğinde sınır tabaka ayrılması olayı, kabaca sınır tabakasının çeşitli sebeplerle bulunduğu yüzeyden ayrılarak iz haline gelmesi şeklinde ifade edilebilir. Akış ayrılmaları, girdap oluşumları, şok dalgalarının oluşumları, şok dalgalarının lokasyon tahmini, perdövites oluşumu gibi fenomenlerin görsel olarak deneylerde incelenmesi aerodinamik açıdan önem teşkil etmektedir [Mielke, A., Klatt, D., Leopold, F., & Mundt, C., 2023]. Empirik ve sayısal yöntemler ile bu fenomenlerin elde edilmesi oldukça zor ve zaman isteyen süreçlerdir. Bu yüzden rüzgar tüneli deneylerinde belirli yöntemler kullanılarak akım çizgilerinin görüntülenmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yöntemlerden bazılarını örnek olarak; duman, akım iplikçığı, yağ, buhar, lazer ve elektrik akımı ile görüntüleme çalışmaları verilebilir [Settles, Gary S., 1982]. Şekil 1'de [www.nasa.gov.tr, Erişim Tarihi: 19.07.2024] akım görüntüleme çalışmalarından bazı örnekler gösterilmiştir.

¹ Doktora öğrencisi, Lider Aerodinamik Tasarım Mühendisi, E-posta: engin.taskiran@tai.com.tr

² Görev Uçakları Modifikasyon Müdürü, E-posta: eayan@tai.com.tr

³ Kıdemli Aerodinamik Uzmanı, E-posta: mcanibek@tai.com.tr



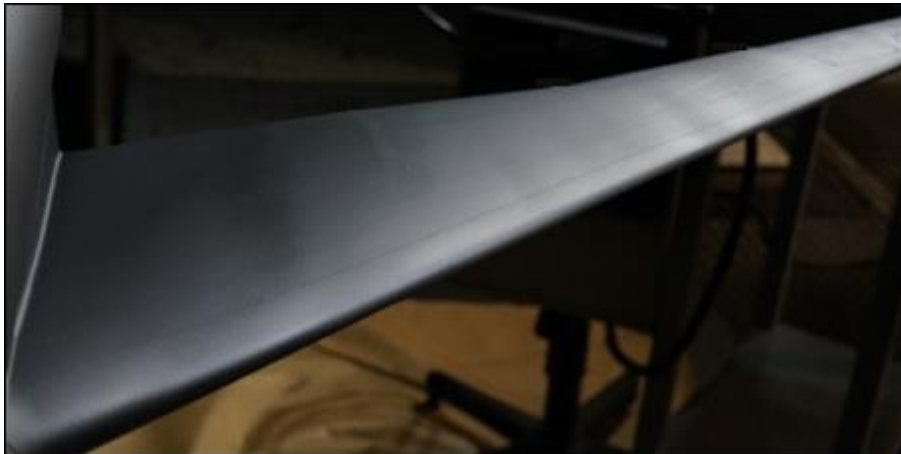
Şekil 1: Akım görüntüleme çalışmaları

Farklı akım görüntüleme teknikleri ile yapılan çalışmalar, icraları ve amaçlarına göre farklılıklar göstermektedir. Örneğin akım iplikçikleri kullanılan deneylerde özellikle akım ayrılmaları ve perdövites oluşumlarının gözlemlenmesi amaçlanmaktadır. Yağ görüntüleme deneylerinde ise bu fenomenlere ek olarak şok oluşumu ve şok bölgesinin yer tahmini de amaçlanmaktadır. Bu çalışmada bir jet uçağı kanatları üzerindeki yüzey akım çizgileri, yağ görüntüleme deneyi ile elde edilmiştir.

YÖNTEM

Transonik bir rüzgar tüneline belirli hız rejimlerinde yağ ile akım görüntüleme testleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçların güvenilirliği için test öncesi hazırlıklar önem arz etmektedir. Bu hazırlık süreçlerinden elde edilen tecrübeler bu bölümde aktarılacaktır.

Test öncesi yapılması gereken hazırlıklar; test edilecek rüzgar tüneline model yüzeyinin temizlenmesi ve yüzeyinin pürüzsüz hale getirilmesi ile başlamaktadır. Daha sonra rüzgar tüneline modeli koyu siyah bir tabaka ile kaplanmalıdır. Bu tabaka, model yüzeyine yağın daha iyi bir şekilde yapışmasını ve görüntüleme çalışmaları başladığında parlaması ve kaliteli bir görüntü elde edilmesini sağlayacaktır. Şekil 2'de kaplama uygulaması yapılan bir kanat geometrisi gösterilmiştir. Kaplama işlemi yapıldıktan sonra belirli bir süre boyunca kaplamanın tamamen kurumaması dikkat edilmesi gereken bir diğer önemli süreçtir. Eğer bu kaplama tamamen kurumazsa tünel basınçlandırıldığında kaplama yüzeyden ayrılıp, yanlış görüntüleme sonuçlarına sebep olabilir.



Şekil 2: Kaplama uygulaması yapılan bir kanat

Kaplama işlemi tamamlanan yüzeye, basınca duyarlı özel olarak üretilen oksijen geçirgen bir yağ uygulama işlemi yapılır. Bu işlemin uygulaması; fırça, püskürtme veya damlatma yöntemleri ile yapılabilir. Yağın modelin her yüzeyine eşit ve düzgün bir şekilde yayılması önemlidir. Eğer yağ, modelin yüzeylerine eşit ve homojen olarak dağılmazsa beklenmeyen sonuçlarla karşılaşılabilir. Akım görüntüleme yapılmak istenen model parçaları ve/veya modelin tamamına yağ uygulandıktan sonra test aşamasına geçilir. Şekil 3'de yağ uygulaması gerçekleştirilen bir kanat geometrisi gösterilmiştir.



Şekil 3: Yağ uygulaması yapılan bir kanat

Yağ ile akım görüntülemesi, rüzgar tünellerinden alınan kuvvet ve moment ölçümleri gibi çok sık ve üst üste icra edilememektedir. Çünkü belirli bir test sayısından sonra kaplama ile yüzeydeki yağ etkileşime girmekte ve yüzeyin pürüzlüğü artarak; akışı olumsuz yönde etkilemektedir. Bu yüzden icra edilecek test matrisi ve planının detaylı bir şekilde rüzgar tüneline gitmeden ayarlanması gerekmektedir. Böylece maliyet etkin bir test süreci planlanmış olur.

Yağ ile homojen olarak kaplanmış model rüzgar tüneline yerleştirilir ve test başlatılır. Test esnasında yüksek çözünürlüklü kameralar ile model üzerindeki yağ hareketi gözlemlenir. Yağ izlerinin şekli, yönü ve yoğunluğu sonuçların değerlendirilmesi açısından elzemdir. Test icrası yapılırken istenilen akış koşullarına ulaşıldığında bir veya iki adet lazer kamera ile akışın anlık fotoğrafları alınarak istenilen koşul için akım çizgilerinin davranışı belirlenmektedir. Kamera konumlama ve tünel ışıklandırması da ayrıca özen gösterilmesi gereken konular arasındadır. Test edilmek istenen her bir koşul için tünel durdurularak, yüzeye yağ uygulaması tekrarlanır. Belli hızlarda bir yağ uygulaması ile birkaç farklı koşul test edilebilmektedir. Yağın anlamlı bir şekilde akım çizgileri oluşturabilmesi ve birikme yapmaması için yüzeye uygulanan yağın kalınlığı önemlidir. Her bir koşul için hesaplanan sınır tabaka kalınlığı her deney için ayrı şekilde uygulanmalıdır.

UYGULAMALAR VE DEĞERLENDİRME

Bu bölümde yüksek hızlı rüzgar tünelde yapılan yağ ile akım görüntüleme sonuçları ile aynı koşullarda çözülen HAD analizleri karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma yapılan akış koşulları Tablo 1'de gösterilmiştir. Bu koşulların seçilme nedeni yüksek hız ve düşük hücum açılarında kanat bölgesinde şok oluşumu beklentisidir.

Tablo 1: Rüzgar tüneli ve HAD analiz akış koşulları

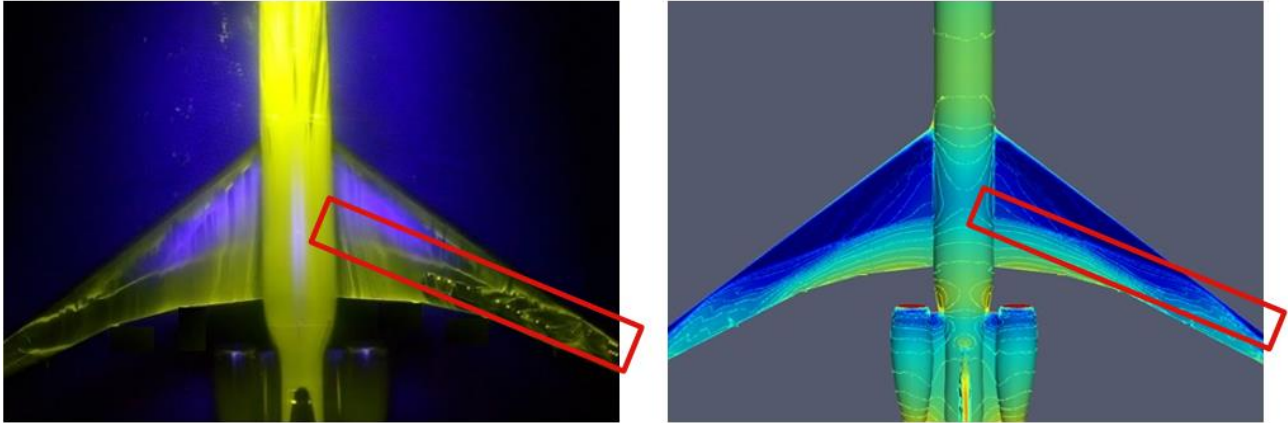
Mach	AoA	AoSS
0.82, 0.85	4	0

Yağ ile akım görüntüleme sonuçları ile karşılaştırılacak olan HAD analizlerinin parametreleri Tablo 2'de gösterilmiştir.

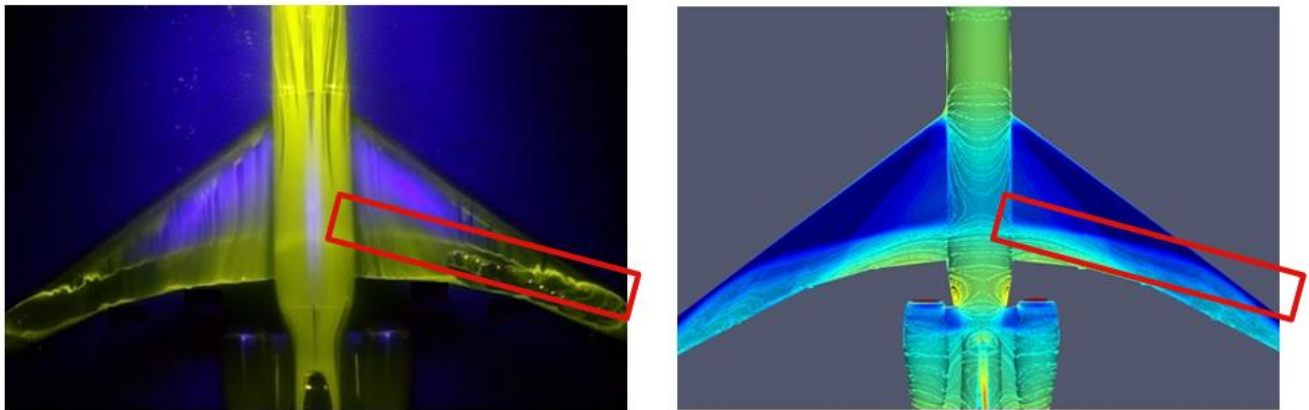
Tablo 2: HAD Analiz Parametreleri

Hücre sayısı	26 milyon
Hücre tipi	Polihedron
Denklemler	Steady RANS
Türbülans Modeli	SST K- ω
Çözüm metodu	İkinci dereceden uzay ayrıklaştırılması
y^+ Değeri	$y^+ < 1$

Şekil 4 ve Şekil 5’de kanat üzerinde oluşan şok oluşumu ve yerinin tahmini hem yağ akım görüntülemesi ile hem de HAD analiz sonuçlarıyla paylaşılmıştır. Şok oluşumunun yer tahmini olarak HAD sonuçları; deney sonuçları ile kıyaslandığında tutarlı görünmektedir. Akış hızı arttıkça şok lokasyonunun; kanadın hücum kenarından firar kenarına doğru ilerlediği gözlemlenmektedir. Bu durum HAD ve deneysel çalışma sonucunda benzer şekilde görülmektedir. Ek olarak sağ kanatta kanat ucuna doğru girdapların oluşumu gözlemlenmektedir. Bu durum HAD analizlerinde gözlemlenmemiştir. Bu farklılığın nedeni olarak deneysel modelin aileron ve spoiler gibi kontrol yüzeylerinde olan vida ve perçinlerin HAD modelinde modellenmemiş olmasıdır. Bu sebeple, akış görüntüleme testlerinde kullanılacak rüzgar tüneli modellerinin kanat üst yüzeylerinin mümkün olduğunca pürüzsüz ve az parçalı olarak tasarlanıp üretilmesi daha kaliteli ve doğru sonuçlar alınmasını sağlayacaktır. Ayrıca deneysel çalışmada sağ ve sol kanat ucu farklı girdap oluşumlarına sebep olurken, HAD analizlerinde bu durum gözlenmemektedir. Bunun sebebi olarak test yapılırken modelin akış koşuluna ulaşırken izlediği yolun akışı bozmayacak şekilde simetrik olmaması yorumu yapılabilir.



Şekil 4: Jet uçağı yağ akım testi (solda), Jet uçağı HAD görselleştirmesi (sağda)
Mach 0.82, AoA = 4 AoSS = 0



Şekil 5: Jet uçağı yağ akım testi (solda), Jet uçağı HAD görselleştirmesi (sağda)
Mach 0.85, AoA = 4 AoSS = 0

SONUÇ

Bu çalışmada bir jet uçağı kanatları üzerindeki yüzey akım çizgileri, yağ görüntüleme deneyi ile elde edilmiştir. Deney yapılırken elde edilen tecrübeler ve sonuçlar paylaşılmıştır. Bu tecrübeler ışığında yüksek maliyetli olan bu deneylere yapılacak olan ön çalışmalar ve test prosedürü konusunda tecrübeler aktarılmıştır. Ayrıca deneyin doğruluğunun ve verimliliğinin artması için gereken bilgi ve deneyimler paylaşılmıştır. Daha sonra yağ görüntülenmesi deneyi ile elde edilen sonuçlar, HAD çalışmaları ile kıyaslanmıştır. Gerçekleştirilen deneyler ile HAD çalışmalarında kanat üzerinde oluşan şok bölgesi ve yerinin tahmini tutarlıdır.

Kaynaklar

- Mielke, A., Klatt, D., Leopold, F., & Mundt, C. (2023). Advanced surface oil flow visualization technique applied to complex transonic flows for verification of viscous effects in CFD. *Journal of Visualization*, 26(1), 131-141.
- Settles, Gary S., (1982). The state of the art of conventional flow visualization techniques for wind tunnel testing. NASA. Langley Research Center Flow Visualization and Laser Velocimetry for Wind Tunnels.
- National Aeronautics and Space Administration (NASA) Flow Visualization Image. www.nasa.gov.tr
Erişim Tarihi: 19.07.2024