

İNSANSIZ HAVA ARACI PERVANELERİNİN TASARIM, ANALİZ VE TEST YETENEKLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Oğuz Kaan ONAY*, Javid KHALILOV†, Yashar OSTOVAN‡, Ali Ruhşen ÇETE§
Turbotek Turbomakina Teknolojileri Ltd Şti, ODTÜ Teknokent/ANKARA

Resul AÇIKYOL**, Mete BUZKIRAN††, Evren YORTUÇBOYLU‡‡
Vestel Savunma Sanayi

ÖZET

Bu çalışmada, pervane tasarım kabiliyeti kazanmak amacıyla tasarlanmış olan mini insansız hava araçlarında kullanılabilecek iki adet pervanenin tasarımından, analitik tabanlı bir yöntem kullanılarak yapılmış olan analiz sonuçlarından, HAM (Hesaplamalı Akışkanlar Mekaniği) ile yürütülmüş analiz sonuçlarından ve performans test sonuçlarından bahsedilmiştir. Ayrıca Vestel Savunma Sanayii'ne ait iki adet insansız hava aracı pervanesinin rüzgar tüneline dinamik testleri gerçekleştirilmiş ve yapılmış olan HAM analiz sonuçları ile karşılaştırılmış ve özet halinde sunulmuştur.

GİRİŞ

Özgün olan perv3 ve perv4 olarak isimlendirilecek olan pervaneler aynı sınıftaki diğer pervanelerden daha yüksek performans elde etmek amacıyla tasarlanmışlardır ve tasarım aşamasında taşıyıcı çizgi yöntemi tabanlı bir metod kullanılmıştır [1],[3]. Tasarımlarda 2 boyutlu aerodinamik veri tabanı kullanan [4] taşıyıcı çizgi yöntemi ile analiz ve analiz yöntemi yardımıyla kısıtlı parametre kullanan simplex araştırma optimizasyon algoritması tasarım metodu olarak kullanılmaktadır. Tasarım yazılımı, verilmiş bir profil ile verilmiş temel geometri bilgileri (çap, hatve) ve çalışma şartlarında (devir sayısı, en fazla üç ilerleme oranında) belirlenmiş kesitlerde optimum veter boyu ve konum açısını bulmaktadır. Optimizasyon fonksiyonu yani en küçüklenecek değerin tanımı da çıktı değerleri (İtki Kuvveti, Gerekli Güç, Verim, İtki ve Güç Katsayısı) kullanılarak kolayca tanımlanabilmektedir.

Tasarlanmış olan pervanelerden perv3 0,406x0,254 m çap ve hatveye perv4 ise 0,355x0,152 çap ve hatveye sahiptir.

Pervane tasarımı, analizi ve deneyi konusunda gerekli kabiliyetler kazanıldıktan sonra özgün olan bu pervanelerden başka VSS'e (Vestel Savunma Sanayii) ait insansız hava araçlarında kullanılması planlanan XOAR 26x16 ve XOAR 28x18 pervanelerinin rüzgar tüneline dinamik testleri de yürütülmüş ve HAM analiz sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Pervanelerin dinamik testleri

* Makine Mühendisi, E-posta: o.onay@turbotek.com.tr

† Makine Mühendisi, E-posta: cavid@turbotek.com.tr

‡ Yüksek Havacılık ve Uzay Mühendisi, E-posta: yasar@turbotek.com.tr

§ Dr. Uçak Mühendisi, E-posta: arcete@turbotek.com.tr

** İHA Grubu Aerodinamik Sorumlusu, E-posta: resul.acikyol@vestel.com.tr

†† Aerodinamik Mühendisi, E-posta: mete.buzkiran@vestel.com.tr

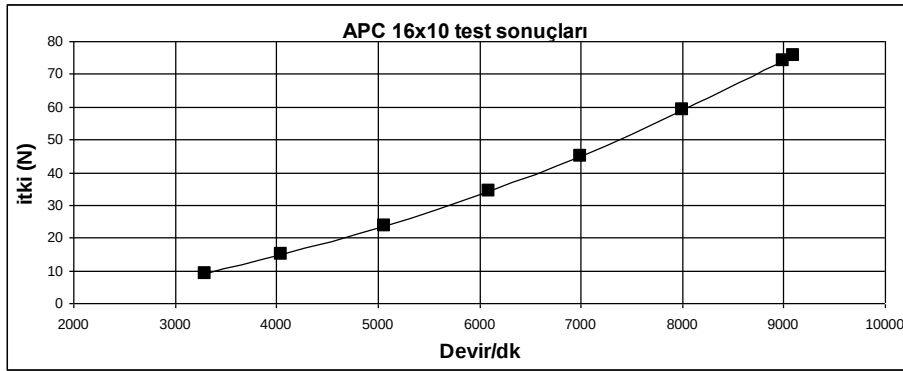
‡‡ Aerodinamik Mühendisi, E-posta: evren.yortucboyly@vestel.com.tr

ise açık jet odalı ve açık kesitli bir rüzgar tüneline (GSR Enerji Rüzgar Tüneli, GSRRT) maksimum 15 m/s rüzgar hızına çıkacak şekilde yürütülmüştür [2]. VSS'in pervaneleri yaklaşık 45 m/sn ve 6000 dev/dk'da maksimum performanslarını vermekle birlikte, test düzeneği ve rüzgar tüneli şartları nedeniyle 3000 dev/dk ve 15 m/sn'e kadar testler yapılmıştır. Testlerde amaç pervanelerin performans değerlerinin eldesidir.

YÖNTEM VE TASARIM SÜRECİ

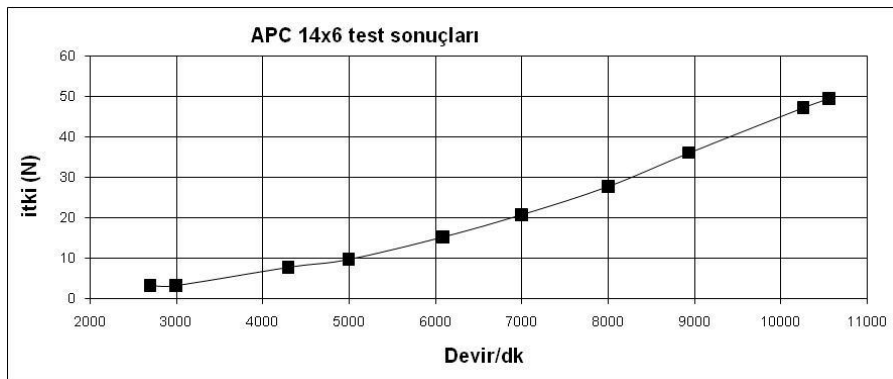
Pervane tasarımı için geliştirilen yazılımda, taşıyıcı çizgi yaklaşımı tabanlı [1], [3] ve iki boyutlu deneysel profil verisi [4] kullanan bir yöntem, optimizasyon içinse SIMPLEX yöntemi kullanılmıştır.

Perv3 tasarımının genel hedefi **Şekil 1**'de verilmiştir. Tasarımdaki amaç APC 16x10 olarak isimlendirilen rakip pervaneden daha performanslı 16x10'luk (16 inç çapına ve 10 inç hatveye sahip olan) bir tasarım yapılmasıdır. Perv4 tasarımının hedefi ise APC 14x6 isimli pervaneden daha performanslı 14x6'lık (14 inç çapında, 6 inç hatvede) bir tasarım yapılmasıdır ve perv4'e rakip olarak seçilen bu pervanenin performans eğrisi **Şekil 2**'de verilmiştir.



Şekil 1 Rakip pervane APC 16x10'nın itki test sonuçları.

Tasarımlarda genel kriterin belirli çap ve hatve olması nedeniyle gerçekte tasarımların performansını seçilen profil belirlemektedir ve itki ile doğrusal ilişkisi olan **0.75R**'deki C_L , profilin seçilmesi ile ortaya çıkmaktadır. Elbette veter boyları ve **0.75R** bölgesi dışındaki konum açıları da kısmen etkindir, fakat daha çok verimi etkilemektedir.



Şekil 2 Rakip pervane APC 14x6'nın itki test sonuçları.

Tasarımlarda, optimizasyonu yapılacak kesit sayısı 4 olarak alınmıştır ve bu kesitler $r/R=0.35, 0.55, 0.75, 0.95$ yarıçaplarında konumlandırılmışlardır.

$0.75R$ 'de hatve açısı (konum açısı), perv3 için aşağıda denklem 1'de verildiği gibi hesaplanır.

$$\psi_{0,75R} = \text{Arctan}\left(\frac{p}{2\pi(0.75R)}\right) = \text{Arctan}\left(\frac{0.254}{2\pi(0.75 \cdot 0.2032)}\right) = 14.856^\circ \quad \text{Dnk. 1}$$

Perv4 için ise aşağıda denklem 2'de verildiği gibi hesaplanır.

$$\psi_{0,75R} = \text{Arctan}\left(\frac{p}{2\pi(0.75R)}\right) = \text{Arctan}\left(\frac{0.152}{2\pi(0.75 \cdot 0.1778)}\right) = 10.3089^\circ \quad \text{Dnk. 2}$$

Parametreler dört kesitte veter boyu ve 3 kesitte konum açısı olmak üzere 7 tanedir (**0,75R**'de konum açısı sabit verilir). Tasarım metodu 3 adet ilerleme oranı girdisi almaktadır. Tasarımlar 1,2 ve 3 ilerleme oranı için gerçekleştirilmiştir. Perv3 için GO 624, GO 625, GO 797, NACA 4412, NACA 6412, NACA 6712, NACA 8318 profilleri ile tasarımlar gerçekleştirilmiştir. Perv4 için ise NACA 6412, NACA 6712, NACA 8318 profilleri ile tasarım yapılmıştır.

TASARIM SONUÇLARI

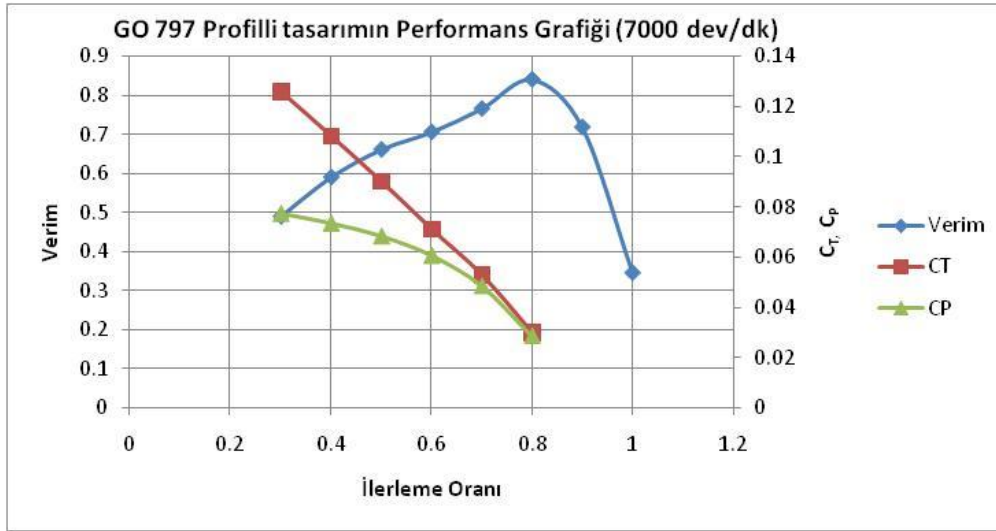
Perv3 Tasarım sonuçları

Performans karşılaştırmaları sonucunda Perv3 olarak GO 797 profil tasarımlar seçilmiştir. Tasarımın geometrik verileri aşağıda **Tablo 1**'de verildiği gibidir.

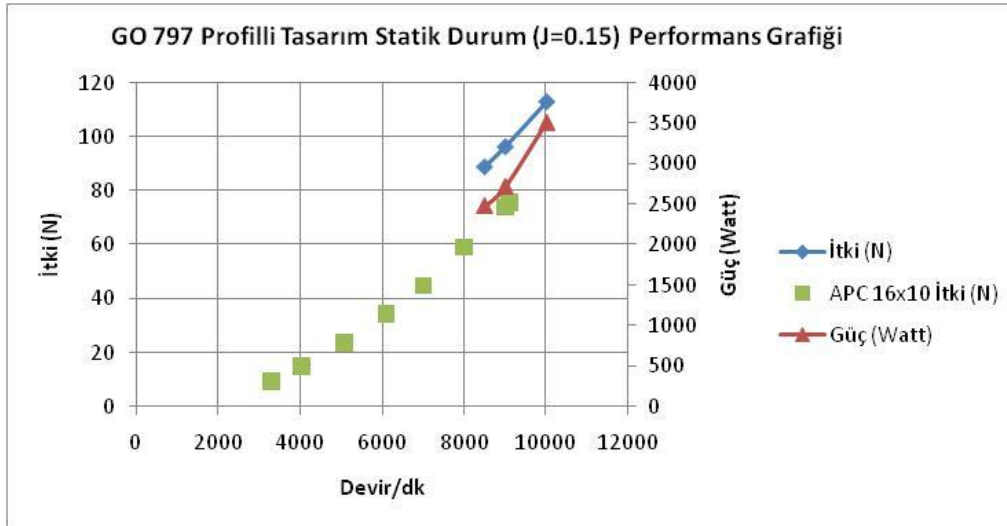
Tablo 1 GO 797 profili ile yapılan tasarımın geometrik verileri

r/R	$r \text{ (m)}$	$\psi (^\circ)$	Veter boyu (m)
0.35	0.071120	10.012518	0.029614
0.55	0.111760	17.686095	0.038884
0.75	0.152400	14.856000	0.034129
0.95	0.193040	11.510410	0.014067

Bu tasarımın 7000 dev/dk'de analitik tabanlı yöntemle elde edilmiş verim eğrisi **Şekil 3**'te verildiği gibidir. Statik duruma yakın itki eğrisi, bu itkinin rakip pervaneye karşılaştırılması ve tasarımın devire göre güç eğrileri ise **Şekil 4**'te verilmiştir.



Şekil 3 GO 797 profili kullanılarak tasarlanmış pervanenin 7000 dev/dk'daki performans değerleri.



Şekil 4 GO 797 profili kullanılarak tasarlanmış pervanenin statik duruma yakın (J=0,15) İtki ve gerekli güç grafiklerinin devir sayılarına göre eğrileri

Tablo 2 Tasarlanmış pervanelerin 0.075 ilerleme oranında ve 9000 devir/dkdaki performans değerleri.

Profil Adı	İlerleme Oranı	Devir/dk	İtki (N)	Güç (Watt)	Verim	C_T	C_P
G625	0.075	9000	98.5229	2747.793	0.1639	0.1307	0.059
G797	0.075	9000	103.0058	2688.882	0.1751	0.1367	0.0585
N6412	0.075	9000	95.1391	2678.486	0.1624	0.1262	0.0583
N8318	0.075	9000	102.8117	2777.588	0.1692	0.1364	0.0605

Seçilmiş olan tasarımının diğer bazı tasarımlarla karşılaştırması yukarıda **Tablo 2**'de gösterilmiştir.

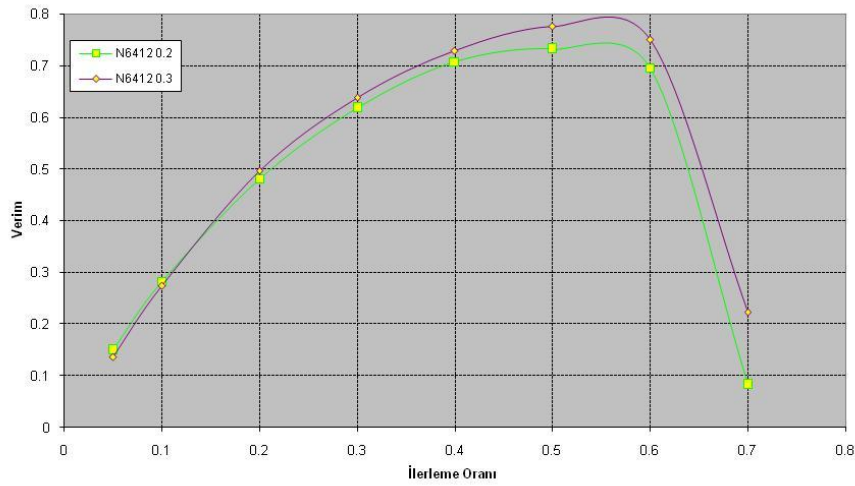
Perv4 Tasarım sonuçları

Performans karşılaştırmaları sonucunda Perv4 olarak NACA 6412 profilli tasarım seçilmiştir. Tasarımın geometrik verileri aşağıda **Tablo 3**'te verildiği gibidir.

Tablo 3 NACA 6412 profili ile yapılan tasarımın geometrik verileri

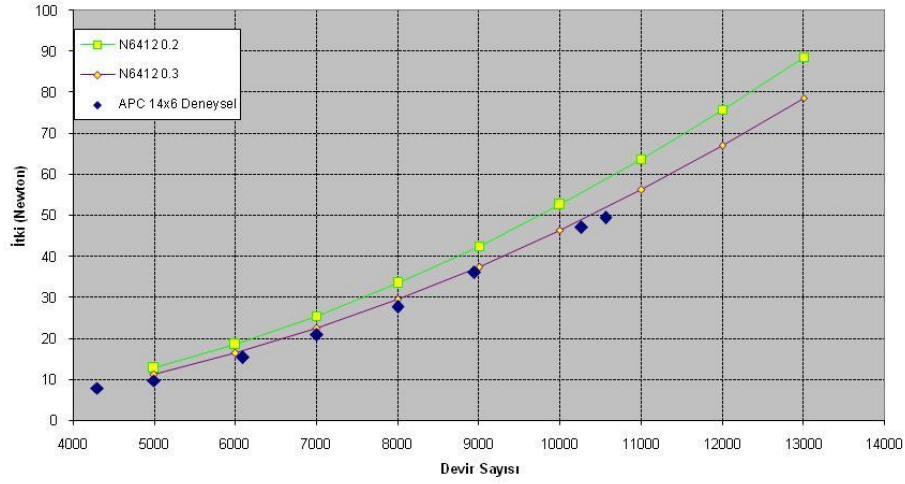
r/R	r (m)	ψ (°)	Veter boyu (m)
0.35	0.062	13.005127	0.02207
0.55	0.098	15.414509	0.030281
0.75	0.133	10.3089	0.025428
0.95	0.169	11.80921	0.008573

İlerleme katsayısı $J=0.2$ ve $J=0.3$ için olmak üzere NACA 6412 profil ile tasarlanmış olan pervanelerden $J=0.2$ için tasarlanmış olan seçilmiştir. Bu iki tasarımın analitik tabanlı yöntemle elde edilmiş olan verim eğrileri aşağıda **Şekil 5**'te verildiği gibidir.



Şekil 5 NACA 6412 profilli kullanılarak tasarlanmış pervanelerin 12000 dev/dk'daki verim eğrileri

Statik duruma yakın itki eğrileri, bu itkinin rakip pervaneyle karşılaştırılması ise **Şekil 6**'da verilmiştir.

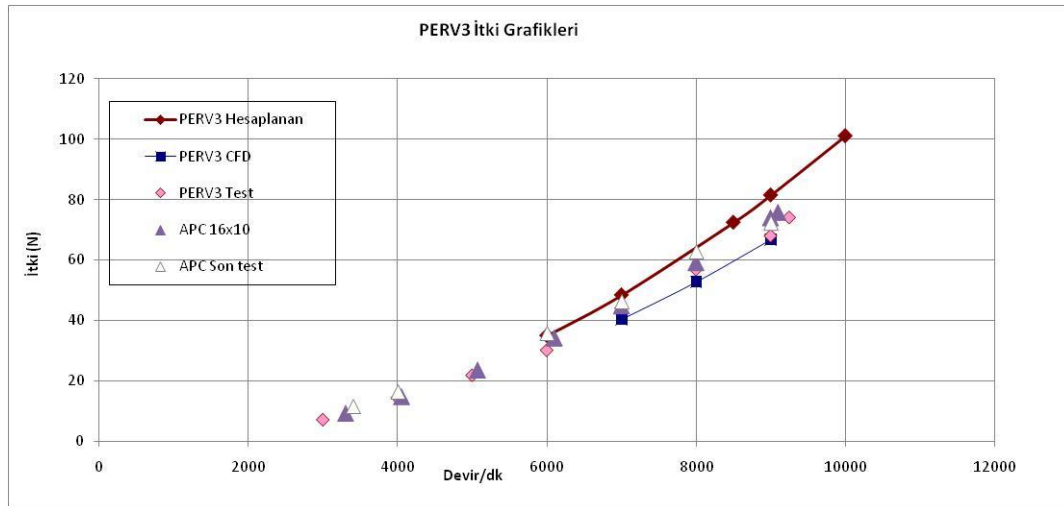


Şekil 6 NACA 6412 profili kullanılarak tasarlanmış pervanelerin statik duruma yakın ($J=0,05$) itki değerlerinin devir sayılarına göre eğrileri

Test ve HAD Analiz Sonuçları

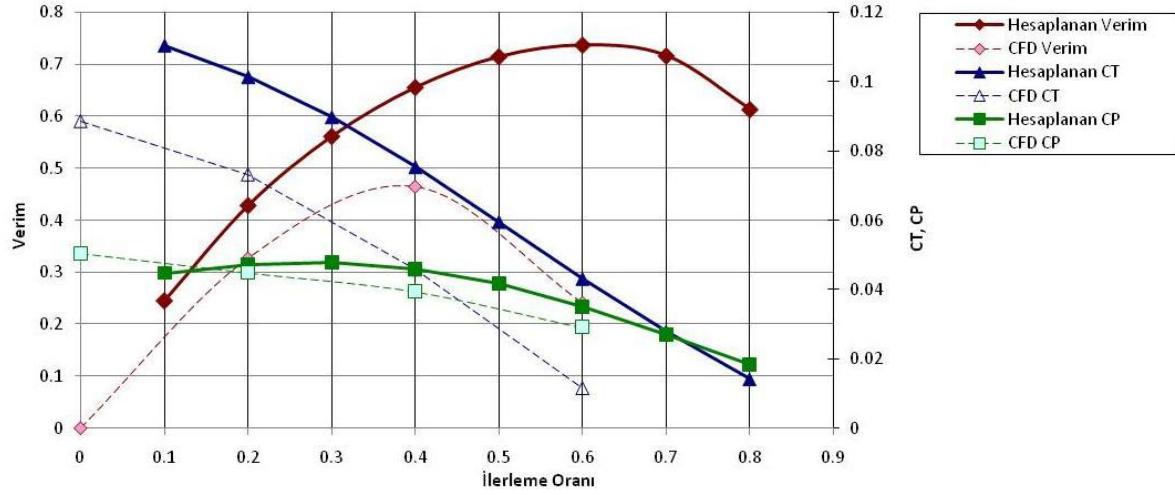
Perv 3 ve rakip pervanenin statik durumlar için yürütülmüş olan test, HAD analiz ve analitik tabanlı analiz sonuçlarından elde edilmiş itki değerleri aşağıda **Şekil 7**'de gösterilmiştir.

HAM ile performans analizlerinde perv3 pervanesi için çözüm ağında 2.600.000 eleman perv4 pervanesi içinse 1.600.000 eleman kullanılmıştır.



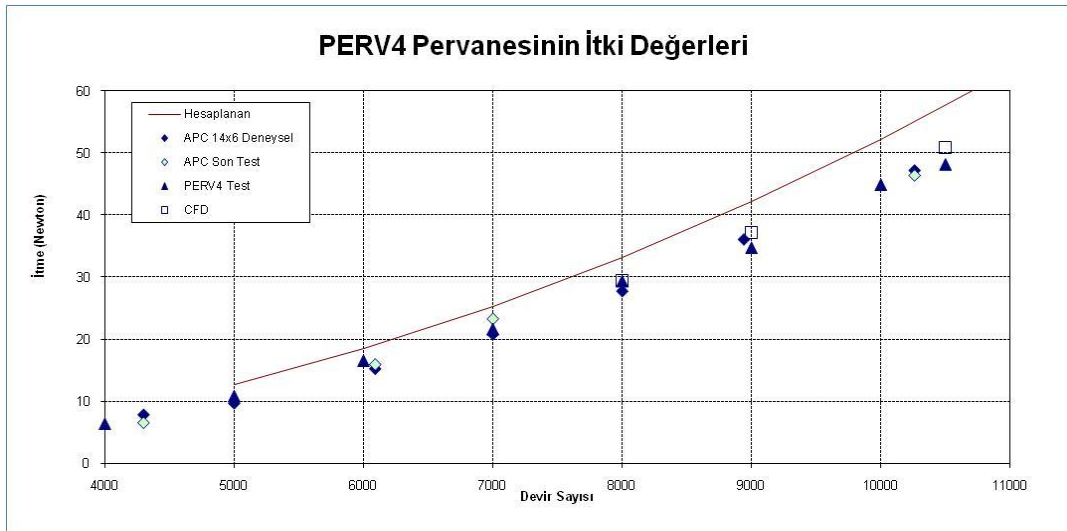
Şekil 7 Perv3 pervanesi ile APC 16x10 pervanesinin test, analiz ve detay analiz (CFD) itki sonuçlarının karşılaştırılması.

Dinamik durum için ise HAD ve analitik tabanlı yöntem kullanılarak elde edilmiş performans eğrileri aşağıda **Şekil 8**'de verildiği gibidir.



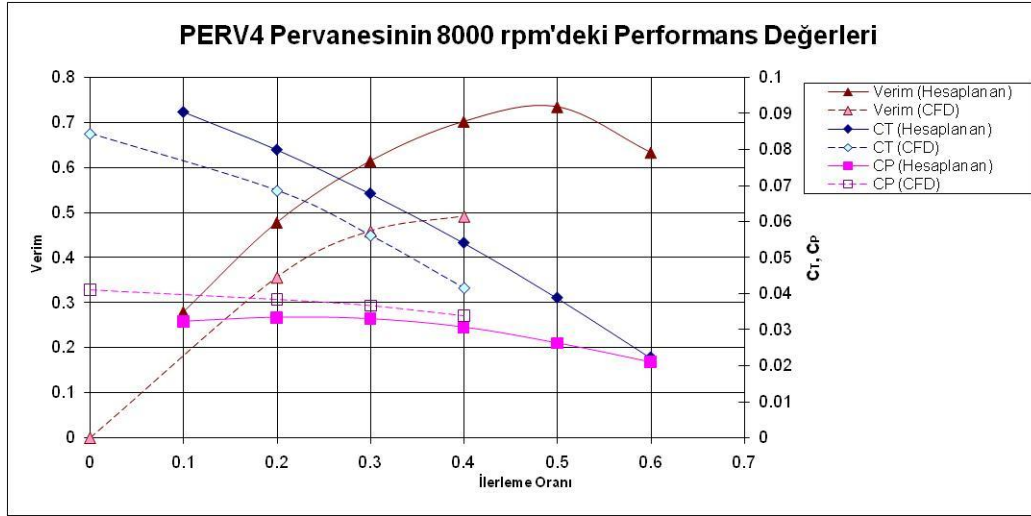
Şekil 8 Perv3'ün dinamik durum için HAD ve analitik tabanlı yöntem ile hesaplanmış itki katsayısı, kuvvet katsayısı ve verim değerleri

Perv 4 ve rakip pervanenin statik durumlar için yürütülmüş olan statik test, HAD analiz ve analitik tabanlı analiz sonuçlarından elde edilmiş itki değerleri aşağıda **Şekil 9**'da gösterilmiştir



Şekil 9 PERV4 pervanesi ile APC 14x6 pervanesinin test, analiz ve detay analiz (CFD) itki sonuçlarının karşılaştırılması.

Dinamik durum için ise HAD ve analitik tabanlı yöntem kullanılarak elde edilmiş performans eğrileri aşağıda **Şekil 10**'da verildiği gibidir.



Şekil 10 Perv4'ün dinamik durum için HAD ve analitik tabanlı yöntem ile hesaplanmış itki katsayısı, kuvvet katsayısı ve verim değerleri

Perv3 ve Perv4 pervaneleri tanımlanmış olan başarı kriterlerini sağlamaktadır. Tasarımların ikisi de statik testlerde APC pervanelerinden daha yüksek devirlerde çalışmakta ve daha yüksek itki kuvveti oluşturmaktadır. Ayrıca statik test değerleri ile yüksek uyum gösteren analiz sonuçlarına göre genel performans değerleri de iyi görünmektedir. HAD sonuçlarında itmede bir faz farkı oluşmaktadır. Bunun kök bölgesindeki sürüklemekten (analiz metodunda bu bölgenin etkisi ihmal ediliyor) ve düşük Reynolds sayılarında akışın (türbülans geçiş Reynolds sayıları civarlarında) HAD metodu ile çözülme zorluğundan olduğu tahmin edilmektedir.

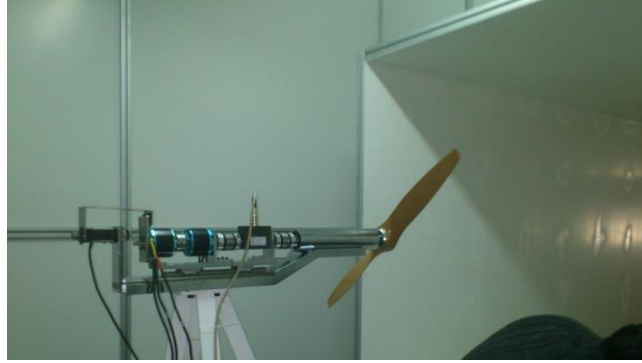
XOAR 26x16 ve XOAR 28x18 PERVANELERİNİN RÜZGAR TÜNELİ TEST SONUÇLARI

Pervanelerin dinamik testleri GSR Enerji firmasına ait açık jet odalı ve açık kesitli GSRRT rüzgar tüneline gerçekleştirilmiştir [2]. Tünelin görüntüsü aşağıda **Şekil 11**'de görüldüğü gibidir.



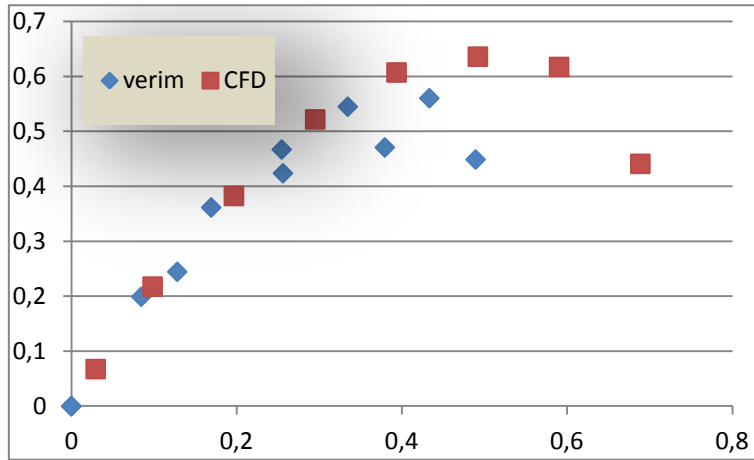
Şekil 11 GSRRT Tünelinin görünümü

Test sonuçları HAD analiz sonuçları ile de karşılaştırılmıştır. Test öncesi düzeneğin görüntüsü aşağıda **Şekil 12**'de görüldüğü gibidir. Bu pervaneler yaklaşık 45 m/sn ve 6000 dev/dk'da maksimum performanslarını vermekle birlikte, test düzeneği ve rüzgar tüneli şartları nedeniyle 3000 dev/dk civarında ve 15 m/sn'ye kadar testler yapılmıştır. Testlerde amaç pervanelerin performans değerlerinin eldesidir.

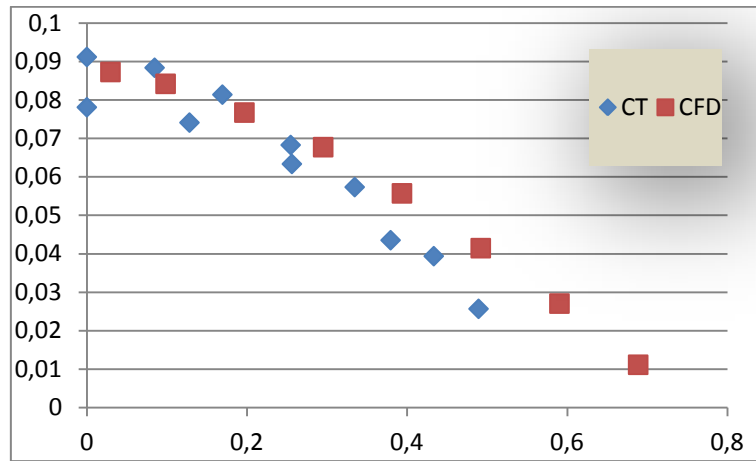


Şekil 12 XOAR 26x16 pervanesinin testi öncesi test düzeneğinin görünümü

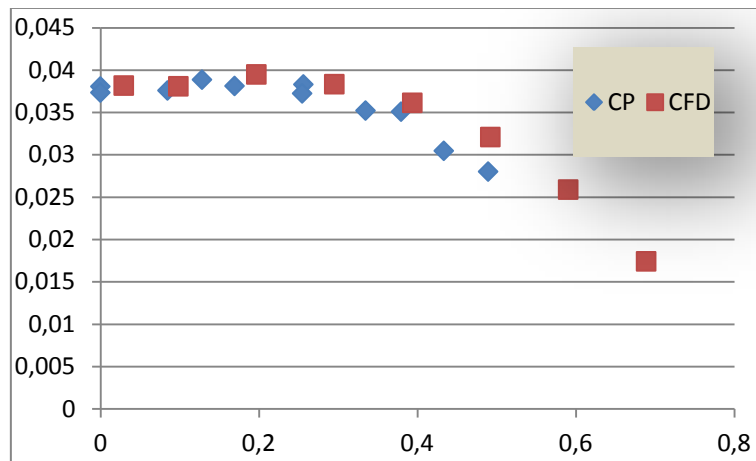
XOAR 28x18 pervanesinin 2000 ve 3000 dev/dk'de HAM ve deneyle elde edilmiş verim, itki katsayısı ve güç katsayısı sonuçlarının karşılaştırmaları aşağıda sırasıyla **Şekil 13**, **Şekil 14** ve **Şekil 15**'te verilmiştir.



Şekil 13 XOAR 28x18 pervanesinin deneysel olarak ve HAM ile elde edilmiş verim değerlerinin karşılaştırılması

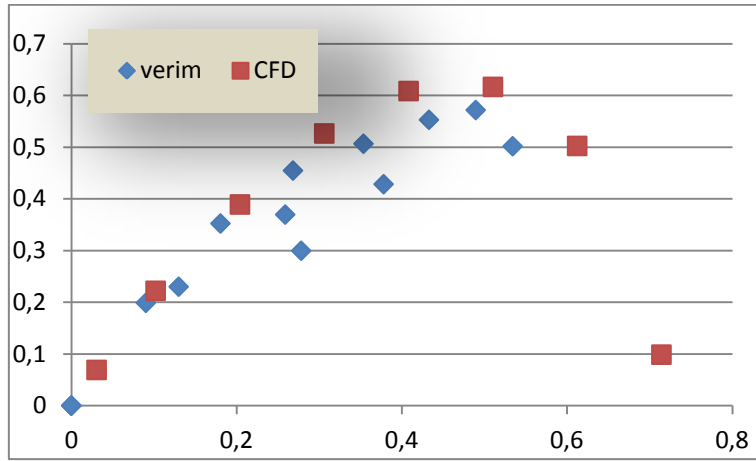


Şekil 14 XOAR 28x18 pervanesinin deneysel olarak ve HAM ile elde edilmiş itki katsayısı değerlerinin karşılaştırılması

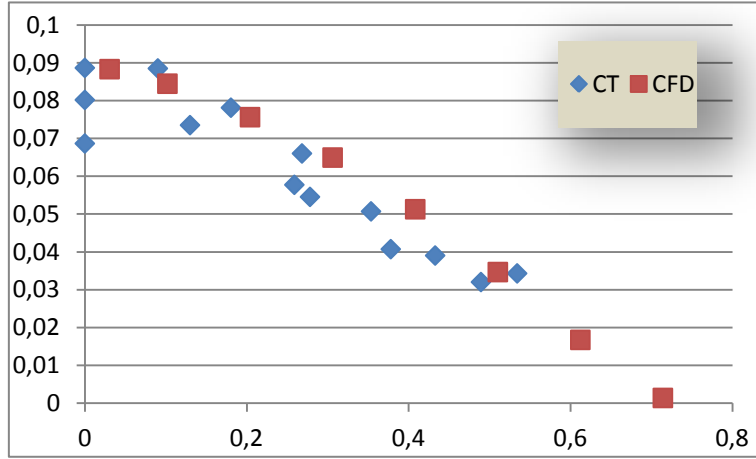


Şekil 15 XOAR 28x18 pervanesinin deneysel olarak ve HAM ile elde edilmiş güç katsayısı değerlerinin karşılaştırılması

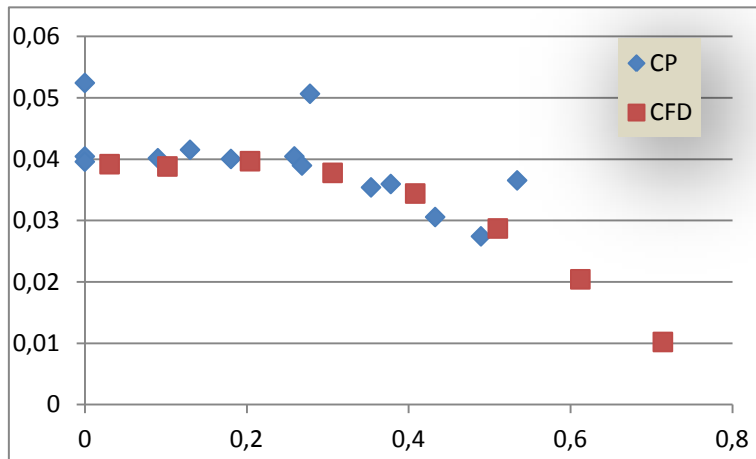
XOAR 26x16 pervanesinin 2000 ve 3000 dev/dk'de HAM ve deneyle elde edilmiş verim, itki katsayısı ve güç katsayısı sonuçlarının karşılaştırmaları aşağıda sırasıyla **Şekil 16**, **Şekil 17** ve **Şekil 18**'te verilmiştir.



Şekil 16 XOAR 26x16 pervanesinin deneysel olarak ve HAM ile elde edilmiş verim değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 17 XOAR 26x16 pervanesinin deneysel olarak ve HAM ile elde edilmiş itki katsayısı değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 18 XOAR 28x18 pervanesinin deneysel olarak ve HAM ile elde edilmiş güç katsayısı değerlerinin karşılaştırılması

SONSÖZ

Bu bildiride mini İHA pervanelerinin tasarım, üretim, analiz ve test kabiliyetlerinin kazanılması amacıyla yürütülmüş olan uzun soluklu bir çalışma özetlenmiş ve bir takım tasarım, analiz ve test sonuçları sunulmuştur. Bu süreçte önceden başarı kriteri belirlenmiş olan Perv3 ve Perv4 pervanelerinin sözkonusu kriteri sağlamış olduğu ve bunun HAD analizleri ve performans testleri ile de gösterilmiş olduğu söylenebilir.

Kazanılmış olan kabiliyet VSS'ye ait pervanelerin dinamik testlerinin gerçekleştirilmesi amacıyla kullanılmış ve HAD analiz sonuçlarıyla oldukça uyumlu test sonuçları elde edilmiştir.

Kaynaklar

- [1] VYRIOTES, P., “*Preliminary Design and Analysis of Propellers*”, Ms Thesis of Carleton University , 1991.
- [2] Miley, S.J., “A Catalog of Low Reynolds Number Airfoil Data For Wind Turbine Applications”, U.S. Department of Commerce National Technical Information Service, DE82-021712 , 1982.
- [3] KERWIN, J., “Hydrodynamic Theory for Propeller Design and Analysis”, Lecture Notes , 1981.
- [4] STACK, J., “The NACA High Speed Wind Tunnel and Tests of Six Propeller Section”, NACA Report 463, 1933.