

TEK MOTORLU BİR İHA İÇİN PERVANE PERFORMANS VE İTKİ HESABI

Coşkun TUNCA*
TUSAŞ Motor Sanayi, Eskişehir

Mehmet Şerif KAVSAOĞLU†
Anadolu Üniversitesi, Eskişehir

ÖZET

Bu çalışmanın amacı pervane performansına etki eden önemli faktörlerin belirlenmesi ve bir insansız hava aracı uygulaması için seçilen 1.8 m ve 2.0 m çaplarında, değişken hatveli, iki farklı pervanenin analizlerinin yapılarak hangisinin tanımlanan görev için daha uygun olduğunu belirlemektir. Yapılan incelemede bilinen pervane teorilerinden ve pervane performansına yönelik mevcut Hamilton Standart pervane grafiklerinden yararlanılmıştır. Bu çalışmada pervane pal açısı, pervane pal geometrisi, pervane pal yükü, pervane kök geometrisi (shank form), sıkışabilirlik etkisi ve blokaj etkisi gibi parametrelerin pervane performansı üzerindeki etkileri araştırılmış ve elde edilen sonuçlar grafikler halinde sunulmuştur. Pervanelere ait statik itki değerleri önce teorik olarak hesaplanmış sonrasında ise test sisteminden alınan gerçek verilerle kıyaslanmıştır.

GİRİŞ

Bir pervane göbeği etrafında eşit açısal aralıklarla konumlandırılmış ve pala (blade) adı verilen kanatçıklardan meydana gelir. Pervane iki veya daha fazla palanın bir göbeğe (Hub'a) birleştirilmesinden meydana gelir. Basit şekliyle düşünüldüğünde sabit ve değişken hatveli olmak üzere 2 tip pervane olduğu söylenebilir.

Hatve açısı pervane performansını etkileyen önemli bir parametredir. Değişken hatveli pervanelerde farklı uçuş hızlarında, uçuş hızının pervane ucunun dönme düzlemindeki çizgisel hızına oranı sabit tutulmaya çalışılır. Bu şekilde her uçuş hızında pervane veriminin maksimum olması hedeflenir. Sabit hatveli pervanelerde blade angle (pala açısı) isminden de anlaşıldığı gibi sabittir. Pervane üretildikten sonra bu açı değiştirilemez. Bu tip pervaneler sadece tek bir pervane devri ve uçak hızı için ideal verimle çalışacak şekilde tasarlanmaktadır. Bu noktanın dışında kullanıldığında hem pervanenin hemde motorun verimi düşecektir [AEHC, 2016].

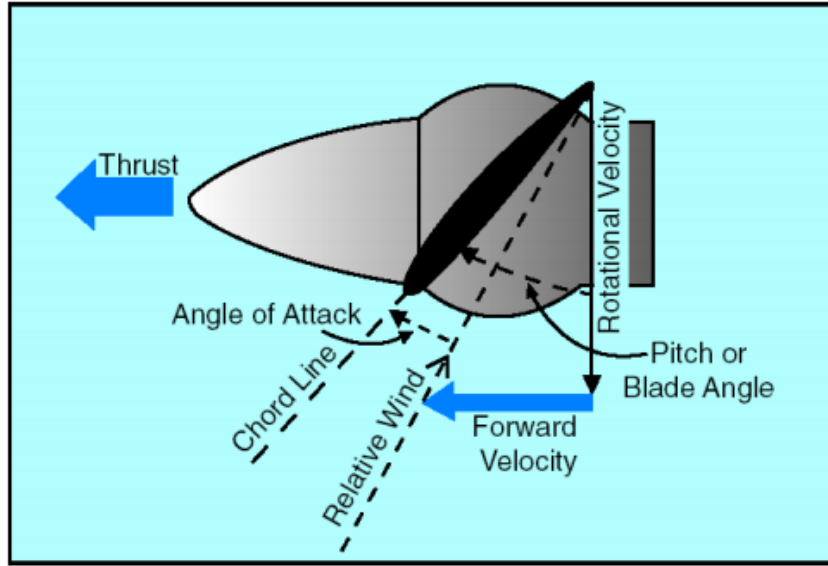
Değişken açılı pervanelerde ise durum oldukça farklıdır. Bu pervanelerin 3 tipi bulunmaktadır;

- Yerde hatvesi ayarlanabilen pervaneler
- Kontrollü hatveli pervaneler
- Sabit hızlı pervaneler

* Test ve validasyon Mühendisi Coşkun Tunca ,coskun.tunca@tei.com.tr

† Prof.Dr.Mehmet Şerif Kavsaoglu,Uçak Gövde Motor Bakım Bölümü,mskavsaoglu@anadolu.edu.tr

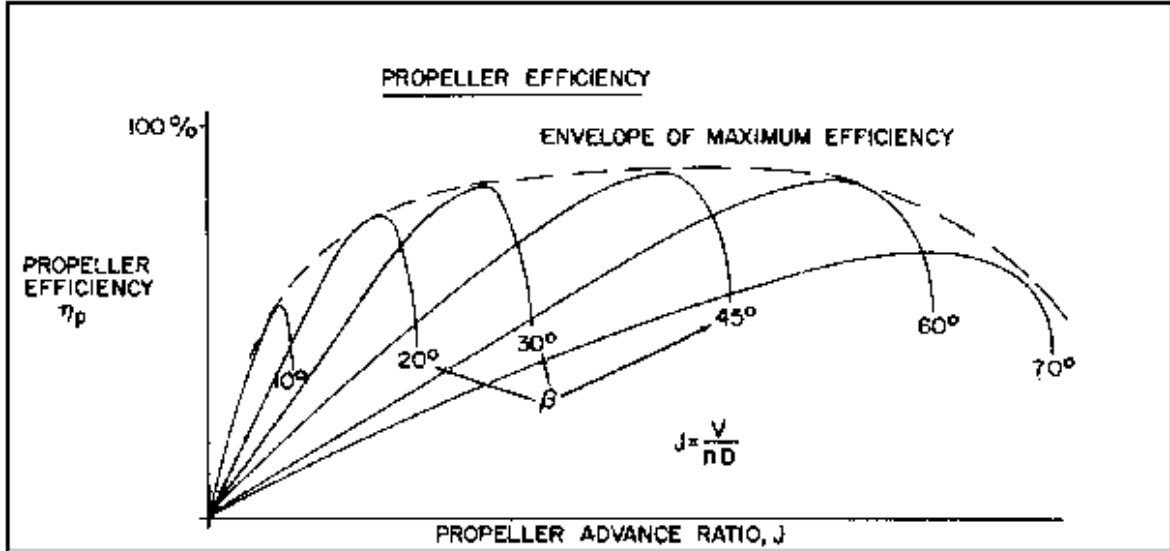
Bunlar arasında günümüzde en yoğun olarak kullanılanı sabit hızlı pervanelerdir. Bu tür pervanelerin kullanıldığı uçaklarda, motor devri ideal motor devrinde sabit tutulur. Farklı uçuş hızlarında pervane hatvesi (pala oturma açısı) otomatik olarak değişir ve pala üzerinde, radial yönde her istasyonda, yerel hücum açısının ideal değerinde, sabit kalması sağlanır. Bu işlem düzenleyici ya da regülatör (governor) adı verilen ekipmanla yapılmaktadır. Düzenleyici, pervane hatvesini düşürerek yada yükselterek pervane devrini sabit tutabilmektedir [ASB, 2016]. Örneğin uçak tırmanışa geçtiğinde, motor devrinin düşmesini engellemek için pervane açısı düşer ve motor güç durumunu korumuş olur. Ayrıca motor güç kolu artırıldığında veya azaltıldığında yine pervane açısı değiştirilerek sabit pervane devri sağlanır. Özet olarak sabit hızlı pervanelerde düzenleyici pervane açısını otomatik olarak değiştirerek devri sabit tutar.



Şekil 1:Pervane üzerindeki hız vektörleri [FAA, 2003]

Şekil 1' de pervane üzerindeki bir yarıçap istasyonunda hem dönmeden kaynaklanan çizgisel hız vektörü (rotational velocity, Ωr) hemde uçağın ileri yönlü hızından dolayı bir hız vektörü (Forward Velocity, V_∞) görülebilmektedir. Bunların bileşkesi pala kesidine doğru gelen akımı oluşturur (relative wind). Bu akım ile pala kesidinin veteri arasındaki açı hücum açısıdır (angle of attack). Eğer bu pervane, sabit devirde dönen, sabit hatveli bir pervane olsaydı ve uçuş hızı sıfırdan itibaren, kademeli olarak artırılsaydı hücum açısı azalacaktı. Bu durum belli bir seviyeye kadar istenen durum olduğundan verim önce artacak, ancak hücum açısı sıfıra geldiğinde artık pervane itki (thrust) üretmeyecek duruma gelmiş olacaktı. İşte bu nedenden dolayı değişken hatveli, sabit hızlı pervanelere ihtiyaç duyulmaktadır [FAA, 2003].

Bu durum Şekil-2 deki grafikte daha net bir şekilde görülebilmektedir. Bu grafik pervane verimi ile ilerleme oranı (advance ratio) arasındaki ilişkiyi göstermektedir. İlerleme oranı, pervane devri başına uçağın öne doğru ilerlemesini temsil eder ve $J = \frac{V}{nD}$ formülü ile verilir. Burada V , pervaneye doğru gelen akımın hızı, n [1/s] devir sayısı, D ise pervane çapıdır. Şekil 2' de β hatve açısıdır. Sabit hatveli bir pervanenin, sabit devirde döndüğünü varsayarsak pervane veriminin uçak hızıyla değiştiği görülür.



Şekil 2: Pervane verimi ve ilerleme oranı grafiği [EPI, 1994]

Pervane performansına direkt olarak etki eden 6 adet faktör bulunmaktadır. [Roskam, 2003]

- Pervane geometrisi
- Pervane pal açısı
- Pervane pal yükü
- Pervane kök geometrisi (shank form)
- Sıkışabilirlik etkisi
- Blokaj etkisi

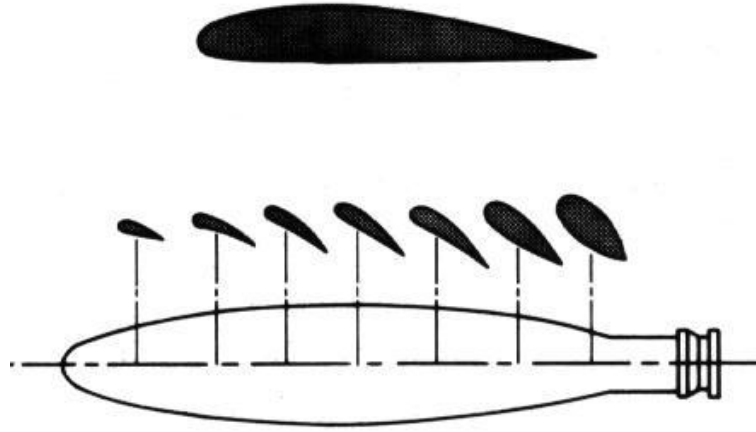
Aşağıdaki bölümlerde, bu faktörler tek tek incelenmiş ve seçilen 2 farklı pervane, bu faktörler temel alınarak, kıyaslanmıştır.

PERVANE GEOMETRİSİ ETKİNLİK DEĞERİ (ACTIVITY FACTOR) HESABI

Etkinlik Değeri (Activity factor) ve pala sayısı parametreleri pervane tarafından çekilen güç ile yakından alakalıdır. Pervanenin güç çekme yeteneği olarak bilinir. Tipik olarak bu değer 70-200 arasında değişmektedir. Aşağıdaki 1 nolu formül kullanılarak hesaplanabilir. Veter (Chord) uzunluğu pervane çapı boyunca değişmekte olduğundan aşağıdaki integralin alınabilmesi için aralarındaki ilişkinin bilinmesi gerekmektedir. Bu ilişki bilinmiyorsa trapezoidal kuralı uygulanıp 2 nolu formülden AF'ye ulaşılabilir. [Lowry, 1999]

Şekil 3' de olduğu gibi pervane pali radyal olarak düşünüldüğünde farklı bölgelerde farklı chord değerlerine sahiptir, bunun için pervane üzerinde r/R oranının 0,2 ile 1 arasında olduğu yerlerde 0,05r aralıklarla veter ölçümü yapılmalı ve bu değerler BAF formülüne yazılmalıdır. İncelenen 2 pervane için BAF hesabı yapılmış olup aşağıdaki değerlere ulaşılmıştır. Çap değişmesine rağmen AF için %3.6 lık bir fark ortaya çıkmıştır.

Bu konuda yapılan deneysel çalışmalarda aynı AF ye ve aynı J'ye sahip pervanede maksimum verimin görüldüğü J değerinin altındaki noktalarda, uca doğru daralan (tapered) palanın sabit veter uzunluğuna sahip palaya göre daha yüksek verim sağladığı görülmüştür. [Reid, 1945]



Şekil 3:Pervane pali üzerindeki kesitler [ASB, 2016].

$$AF = \frac{10^5}{D^5} \int_{0.2R}^{1.0R} cr^3 dr = \frac{10^5}{16} \int_{0.2R}^{1.0R} \frac{c}{D} x^3 dx \quad (1)$$

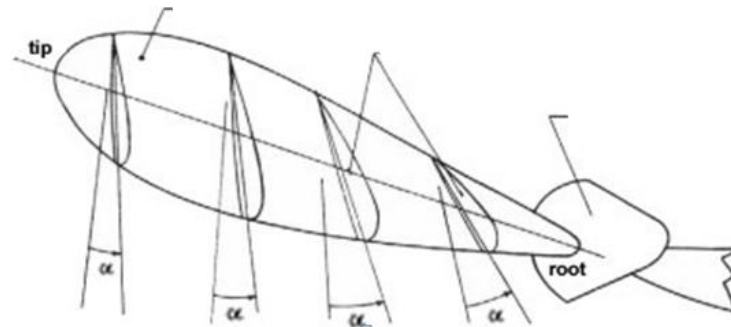
$$BAF = \frac{78125}{R} \{f(0.2) + 2[f(0.25) + f(0.3) + \dots + f(0.95)] + f(1.0)\} \quad (2)$$

D	BAF	TAF
1.8m	83.59	250.77
2.0m	80.65	241.95

Çizelge 1

PERVANE PALA AÇISI (HATVE AÇISI)

Pervane pala açısı performansa direk etki eden parametreler arasındadır. Uçuş sırasında artıp azalarak sürekli verimli bölgede kalınmasına yardımcı olmaktadır. Bir pervane verim grafiği incelendiğinde neden bu kadar kritik olduğu rahatça görülebilmektedir.

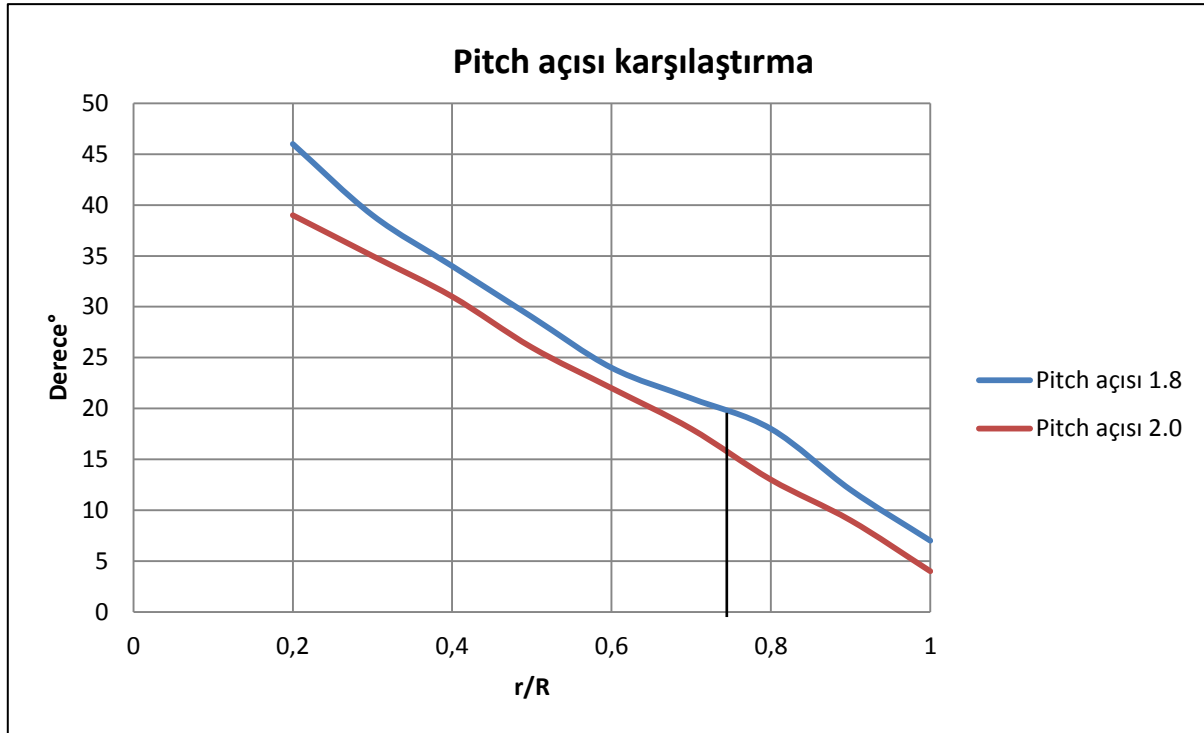


Şekil 4:Pervane pala açısı [Roskam,2003]

Pervane pala açısı kökten uca doğru azalır. Bunun nedeni herhangi bir yarıçaptaki pala kesitine (airfoil) gelen akım dönmeden kaynaklı çizgisel hız ile pervaneye doğru gelen rüzgâr hızının vektörel toplamıdır. Yarıçap boyunca dönmeden kaynaklı çizgisel hız arttıkça, yerel hücum açısını sabit tutmak için pala açısının azalması, yani palanın burulması gerekir. Bir pervanenin geometrik hatve açısı (pitch angle, β) pervane palasının $\frac{r}{R} = \frac{3}{4}$ değerindeki pala açısı olarak tanımlanmıştır. Bu çalışmaya konu olan iki pervanenin pala açıları açı ölçer kullanılarak ölçülmüş ve Şekil 5' te sunulmuştur. İki pervane arasında sürekli olarak 2 - 6 ° arasında bir fark görülmektedir. Bu grafiğe bakılarak büyük çaptaki pervanenin pitch açılarının diğerine göre daha küçük olduğu görülebilmektedir. Bunun nedeni çapın büyümesiyle çizgisel hızda meydana gelen artıştır. Şekil 5' te siyah çizgiye karşılık gelen açılar geometrik hatve (pitch) açılarıdır.

D	Geometrik pitch açısı (0.75r)
1.8m	19°
2.0m	15°

Çizelge 2



Şekil 5: Pala açıları karşılaştırması

PERVANE PALA YÜKÜ

Pervane pal yükü aşağıda verilen basit formül ile bulunabilmektedir. Formülde yer alan güç (P) kalkış gücü olan maksimum güçtür. B , ise pala sayısıdır.

$$P_{bl} = \frac{4P}{\pi B D^2} \quad (3)$$

D	Pbl (shp/ft ²)
1.8m	1.89
2.0m	1.48

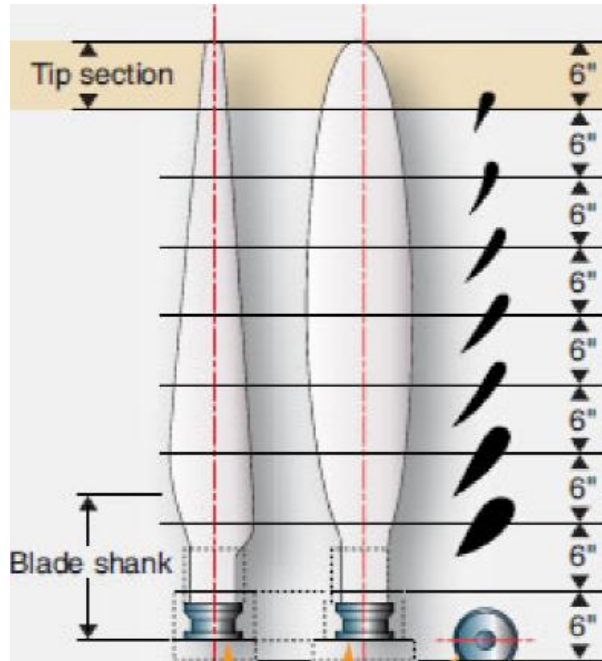
Çizelge 3

Referans 6'ya göre kıyaslama yapılırsa bu değerlerin çok yüksek olmadığı verilen diğer uçaklar incelenerek anlaşılabılır. Pervane pal yükü hesabındaki parametreleri değiştirerek optimum değerler bulunabilir. Özellikle düşük ilerleme oranlarında yüksek pala yüküne sahip bir pervanenin, pervane verimine olumsuz etkisi olduğu görülmektedir. [Roskam, 1989]

PERVANE KÖK GEOMETRİSİ (SHANK FORM)

Pervane palinin şekli pervanenin kök kısmında göbeğe (hub'a) bağlanmasından dolayı oldukça farklı bir form almaktadır. Palin yuvarlaklaşmaya başladığı kısımdan göbeğe kadar olan mesafe kök mesafesidir. Aşağıdaki resimde pervane palinin kök kısmı ölçekli bir şekilde gösterilmiştir. Deneysel çalışmalara dayanarak pervanenin bu kısmının performans üzerinde şu gibi etkileri olduğu söylenebilir [Roskam, 1989] ;

- Kök kısmında geçiş ne kadar yumuşak olursa verimlilik artacaktır.
- Kök kısmındaki tasarım hatve açısı 90°'yi geçmemelidir.
- Kök profiller, mümkün olabildiğince yüksek kaldırma katsayısına sahip olmalıdır. İnce kök profilleri istenmeyen bir durumdur.



Şekil 6: Pervane şank formu [ASB, 2016].

İki pervanenin kök geometrileri (shank form) karşılaştırıldığında;

- 2.0 metrelik pervanenin kök formunun diğer pervaneye göre göbeğe geçişinin çok daha yumuşak olduğu görülmüştür.

- 1.8 metrelik pervanede kök kısmının tam anlamıyla silindirik bir yapıya dönüştüğü rahat bir şekilde anlaşılmaktadır.
- İki pervane palasında da tasarım hatve açısı 90 dereceyi geçmemektedir.
- 2.0 metrelik pervanede geçişin yumuşak ve kanat profiline yakın kesitli oluşu kaldırma katsayısının bu pervanede kök kısmında daha büyük olduğunu göstermektedir.
- Pervane kök formu yüzdeleri çapa göre aşağıdaki gibidir

D	Kök (shank) formu yüzdesi
1.8m	13,4
2.0m	10,8

Çizelge 3



Şekil 7: 2 metre çapındaki pervane pali ve kök (shank) formu

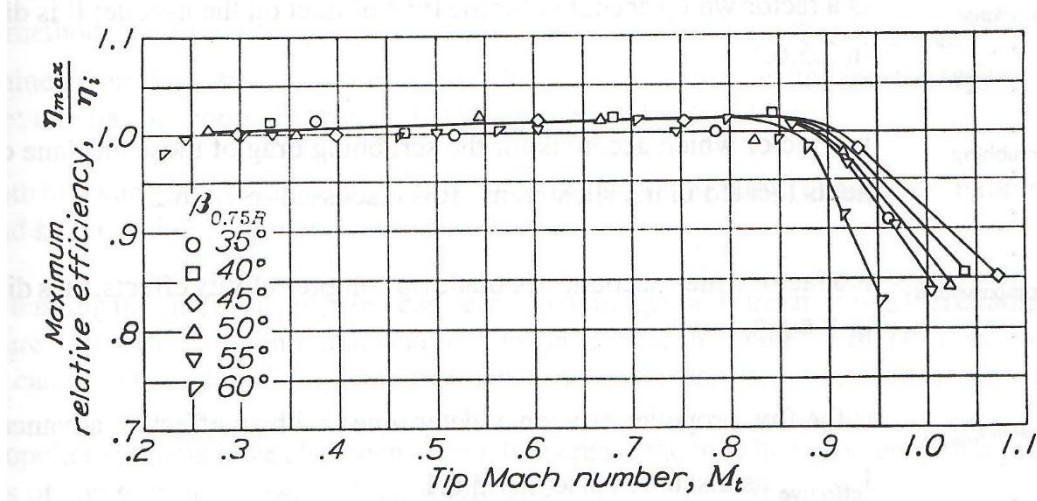


Şekil 8: 1.8 metre çapındaki pervane pali ve kök (shank) formu

SIKIŞABİLİRLİK ETKİSİ

Pervane uç hızı ve uçağın ileri yönlü hızının bileşkesi pervane uç kısmını sıkışabilirlik etkisi altına sokabilmektedir. Bu durumun verim üzerindeki etkisiyle ilgili grafik aşağıda paylaşılmıştır. [Stack, 1950]

Grafik incelendiğinde Mach sayısı (M) 1.0 değerini az bir miktar geçtiğinde çok büyük verim kaybı olmamaktadır çünkü itkinin büyük çoğunluğu iç taraftaki kesitlerden elde edilmektedir. Ancak bu noktada kabul edilemeyecek düzeyde gürültü oluşmaktadır. Bu gürültüyü bertaraf edebilmek için pervane uç hızı deniz seviyesinde standart atmosfer koşullarında 245 m/s ($M=0.72$) altında tutulmalıdır.



Şekil 9: Sıkışabilirlik etkisi [Roskam,2003]

Aşağıdaki formülle pervane üzerindeki maksimum hız Mach cinsinden hesaplanabilmektedir.

$$M_{tip} = \sqrt{\left(\frac{\pi D n}{a}\right)^2 + M^2} \quad (4)$$

İki pervanenin deniz seviyesinde maruz kalabileceği maksimum hızlara göre uç hızları aşağıda hesaplanmıştır. Bu durumda biri gürültü açısından sınır şartlarda kalsa da ikisinin de çalışma aralığının verim konusunda bir olumsuzluk yaratmayacağı görülmektedir.

D (m)	Max rpm	Max hız (knot)	Mtip
1.8	2300	117	0.66
2.0	2300	117	0.73

Çizelge 4

BLOKAJ ETKİSİ

Uçak gövde kesiti, motor yerleşimin sağlandığı kapamalar ve hava girişinin olduğu bölgenin yeri pervanenin yerleşim verimini etkilemektedir. Bu noktada iki önemli nedenin yerleşik verime negatif etkisi bulunmaktadır;

- Pervanenin göbeğe yakın tarafındaki alanda yerel hızlarda düşüşler meydana gelir.
- Zayıf akıştan dolayı göbeğe yakın alanda hücum açılarındaki değişkenlikler meydana gelir.

Bu durumun etkisi aşağıda verilen deneysel (ampirik) formüllerle tanımlanmıştır. Bu metodun uygulamasında efektif ilerleme oranı J_{eff} kullanılması gerekmektedir. h hava akışının yavaşlamasına karşılık gelen katsayıdır ve aşağıdaki formülle belirlenebilir. [Torenbeek, 1982].

J ilerleme oranı

S_{body} pervane arkasında yer alan blokaj alanının kesiti olarak ifade edilmiştir.

D pervane çapı olarak ifade edilmiştir.

h hava akışı yavaşlama katsayısı

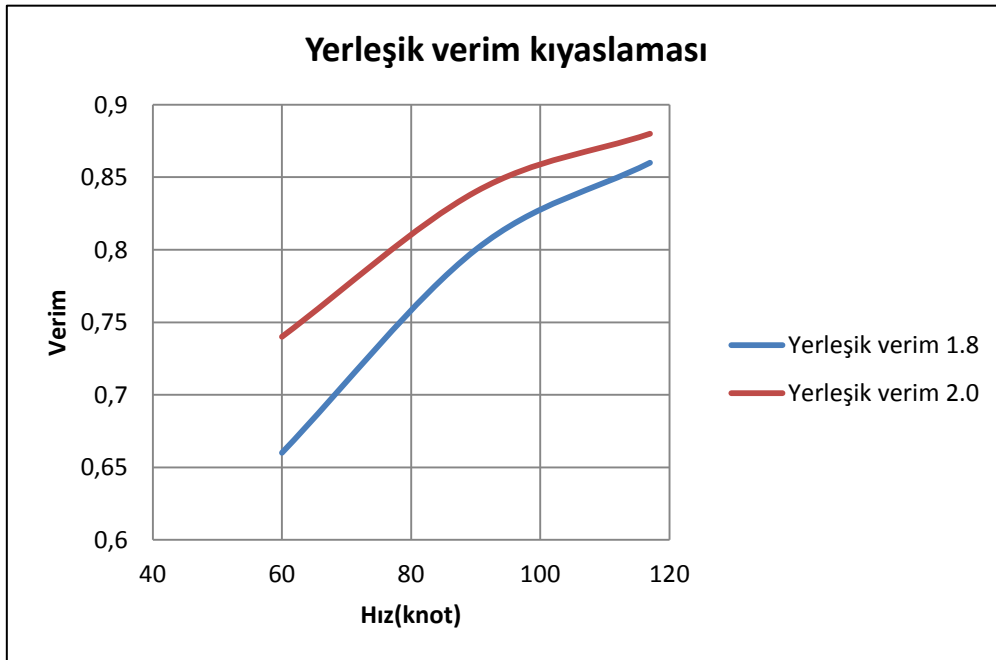
$$j_{eff} = (1 - h) j \quad (5)$$

$$h = 0,329 \frac{S_{body}}{D^2} \quad (6)$$

Bu formüllere dayanarak 2 farklı pervane için sabit devirde değişen hızlara karşılık gelen J_{eff} hesaplandıktan sonra Hamilton standart pervane verim grafiği kullanılması gerekmektedir. Bu grafikte C_p güç katsayısına karşılık gelen J_{eff} ilerleme oranı bulunup bu noktadaki verim değeri alınmıştır.

AF: 80

B: 3 olan grafik C11'e göre yerleşik verim hesaplaması yapıldığında aşağıdaki gibi bir davranış görülmektedir.



Şekil 10: Yerleşik verim grafiği

Bu grafiğe göre değerlendirme yapılacak olursa pervane arkasında kalan blokaj alanı yerleşik verime düşük hızlarda daha fazla olmak üzere negatif etkisi bulunmaktadır. Pervanenin çapları farklı olduğundan çapı küçük olan pervane bu negatif etkiden daha fazla etkilenmektedir. Buda pervanenin göbek kısmında yaşanan kaybın ne seviyede olduğunu ortaya koymaktadır.

STATİK İTKİ HESABI

Teorik olarak statik itki hesabı yapılırken şu parametrelerin belirlenmesi gerekir;

- İrtifa
- Motor şaft gücü
- Pervane devri (Motor devri pervane devrinden farklı olabilir)
- Pal Activity factor sayısı
- C_{Li} integrated lift katsayısı
- Pal sayısı

Bu değerler bilindiği durumda Hamilton standart pervane statik itki grafiklerinden yukarıda mevcut katsayılara uygun olanlar seçilirse pervaneye ait o durumdaki statik itki hesaplanabilir. Burada ilk olarak 2 pervaneye ait teorik olarak statik itki hesabı yapılmış ve bu sonuçlar değerlendirilmiştir.

Daha sonra motor test bremzesinde yapılacak 2 ayrı pervaneye ait test ile bu pervanelerin gerçek durumdaki statik itki grafikleri çıkarılmıştır. Pervane itki ve güç katsayıları aşağıda tanımlanmıştır.

$$C_T = \frac{T}{\rho n^2 D^4} \quad (7)$$

$$C_P = \frac{P}{\rho n^3 D^5}$$

Hesaplamalar, birbirleriyle kıyaslanabilmesi amacıyla, Eskişehir irtifası 2500 feet şartlarına göre yapılmıştır. 7 nolu formüle ;

- Motor şaft gücü watt cinsinden
 - Pervane dönüş sayısı n rps cinsinden
 - Pervane çapı D metre cinsinden
- yazılarak C_p (güç katsayısı) elde edilir.

Pala etkinlik değeri (activity factor) üst bölümlerde 2 pervane içinde hesaplanmıştır. C_{Li} lift katsayısı pervane geometrisiyle direkt alakalı bir katsayı olup hesaplanması için ayrıntılı pervane kesit geometrisi gerekli olduğundan referanslar içerisinde bulunan farklı uçaklara ait pervanelerinin C_{Li} katsayılarına göre yaklaşım yapılarak elde edilmiştir. Pala sayısı 3 ve 4 olan pervaneler için Hamilton standart pervane grafikleri kullanılabilir. Bu çalışmada ele alınan pervaneler 3 palaya sahiptir.

Böylelikle bütün bilinmeyenler bilinir hale gelmiş olur. 8 nolu statik itki formülüne C_t/C_p değerleri uygun grafiklerden (Hamilton C1-C2 grafikleri) alınıp yerleştirildiğinde istenen durumdaki statik itkiye ulaşılmış olur.

$$T_{\text{statik}} = 33000 \left(\frac{C_t}{C_p} \right) \left(\frac{SHP}{ND} \right) \quad (8)$$

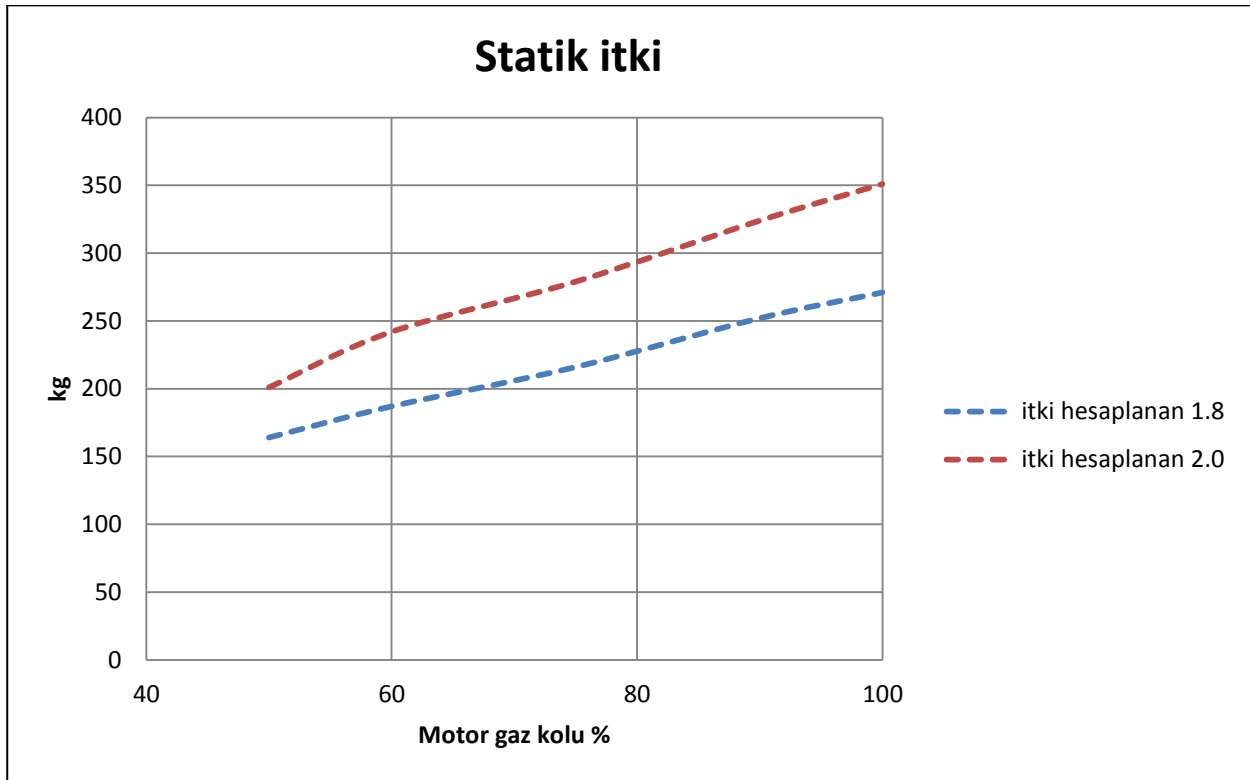
8 numaralı denklemde SHP beygir gücü cinsinden şaft gücü, N , devir/dakika cinsinden, devir sayısı, D ise feet cinsinden çaptır. Seçilen pervaneler için farklı motor yüklerine (güç durumuna) göre hesaplamalar yapıldığında aşağıdaki grafik elde edilmiştir. Pervanelere ait kritik katsayılar aşağıdaki gibi alınmıştır.

Çap	1,8 m
İrtifa	2500 ft
Motor gücü	Max 155 hp
Devir	Max 2300 rpm
BAF	83,6
C _{Li}	0,5
Pal sayısı	3
Yoğunluk	1,134 kg/m ³
Grafik	Hamilton C1&C2

Çizelge 5

Çap	2.0 m
İrtifa	2500 ft
Motor gücü	Max 155 hp
Devir	Max 2300 rpm
BAF	80
C _{Li}	0,45
Pal sayısı	3
Yoğunluk	1,134 kg/m ³
Grafik	Hamilton C1

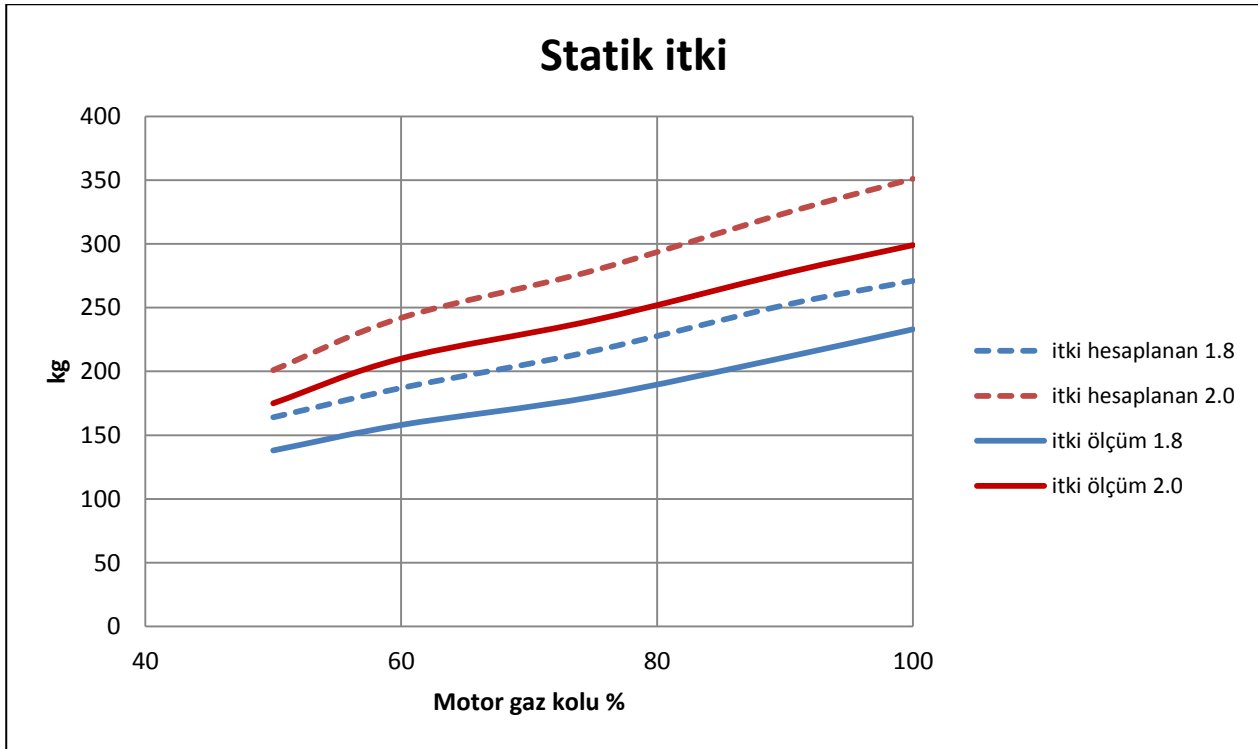
Çizelge 6



Şekil 11: Statik itki (teorik olarak)

Grafiklere göre 2.0 metrelik pervanenin 1.8 metrelik pervaneye göre aynı motor yük durumlarında daha fazla itki oluşturduğu görülmektedir. Ayrıca düşük motor güçlerinde birbirlerine daha yakın değerler mevcutken motor gaz kolu %100 olduğunda bu fark daha da belirginleşmektedir.

Daha sonra raylı bir sistemle motor test standına bağlı olan motorun, bu sisteme uygun itki sensörü kullanılarak iki farklı pervane ile testleri gerçekleştirilmiştir. Alınan itki verileri, aynı şekilde grafiğe döküldüğünde Şekil 12 elde edilmiştir.



Şekil 12: Statik itki (teorik ve ölçümsel olarak)

Ölçümlerden elde edilen itki verileri teorik olarak hesaplanan verilerden her durum için daha alt seviyede çıkmıştır. Bu sonuç beklenen bir durumdur çünkü teorik hesaplamalar serbest pervaneye ait sonuçlar vermektedir. Yerleşik pervanede yukarıda bahsedilen kayıplardan dolayı düşüş olabilmektedir. Yüzde olarak hesaplandığında 1.8 metrelik pervanede daha fazla kayıp olduğu görülmüştür.

D	Ortalama kayıp %
1.8 m	15.6
2.0 m	13.6

Çizelge 7

SONUÇ

Bu çalışmada, iki, farklı pervane geometrisi ayrıntılı bir şekilde incelenmiş, mevcut test düzeneğinde (bremze) itki sensörü yardımıyla motorun farklı gaz kolu durumlarındaki itki verileri toplanmıştır.

Uygun pervane seçimi, hem motor, hem de pervane açısından oldukça kritiktir. Çalışma sonucunda 2 farklı çaptaki pervanenin performansa etki edecek önemli 6 ana parametre üzerinden incelemesi yapılmıştır. İlk olarak etkinlik değerleri (activity factor) elde edilmiş ve hesaplanan bu değerlerin birbirlerine oldukça yakın sayılar çıktığı görülmüştür. Daha sonra, pervane pala açısı incelendiğinde yüksek çapa sahip olan pervanenin çap boyunca daha düşük pala açısına sahip olduğu belirlenmiştir. Sonrasında pervane pal yükü ve sıkışabilirlik etkisi incelenmiş bu parametrelerin pervanelerin performansı üzerinde çok büyük bir etkiye sahip olmadığı görülmüştür.

Devamında incelenen pervane kök geometrisi (shank form) etkisi ve blokaj etkisi performans üzerinde ne kadar önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Özellikle blokaj etkisinden yola çıkılarak yapılan hesaplamalarda elde edilen yerleşik verim katsayısı 2.0 metrelik pervanenin aynı koşullarda daha verimli çalışabileceğini net bir şekilde göstermiştir.

Tüm bu elde edilen parametrelerin ortak bir şekilde birleştirilip teorik olarak statik itki hesabı yapıldığında yukarıda varılan fikri destekler sonuç ortaya çıkmıştır. Bu esnada, sadece teorik hesapta kalınmayıp test sonuçları değerlendirilmiş ve statik itkinin 2.0 metrelik pervanede daha yüksek değere sahip olduğu grafikler yardımıyla gösterilmiştir. Aynı şartlarda itki değerinin yüksek olması beklenen bir durumdur ancak bir önceki paragrafta bahsedilen 2 etkeni düşündüğümüzde Bu noktada birçok açıdan üstünlüğü olan 2.0 metrelik pervanenin kullanılmasının performans ve verim açısından daha uygun olacağına karar verilmiştir.

Kaynaklar

Aviation safety bureau (ASB) internet sitesi, 2016, Chapter 7

<http://content.aviation-safety-bureau.com/allmembers/faa-h-8083-32-amt/powerplant/sections/chapter-7.php/>

Aircraft engine history society (AEHC) internet sitesi, 2016.

<http://www.enginehistory.org/Propellers/Governors/hydgov.shtml/>

EPI Inc.internet sitesi, 1994

http://www.epi-eng.com/propeller_technology/selecting_a_propeller.htm

FAA, 2003, *Pilot's handbook of aeronautical knowledge*, FAA-H-8083-25,U.S., Department of transportation, Federal Aviation Administartion Washington D.C

Frank Hitchens Propeller, 2015, *Aerodynamics: The History, Aerodynamics & Operation of Aircraft*,

Jan Roskam,Chuan-Tau Edward Lan, 2003, *Airplane Aerodynamics and Performance*, Chapter 7

John T. Lowry, 1999, *Performance of Light Aircraft*

Jan Roskam, 1989, *Airplane design Part II*

McCormick, B.W., 1979, *Aerodynamics Aeronautics and Flight Mechanics*, Wiley

Ralp D.Kimberlin, 2003, *Flight Testing of Fixed Wing Aircraft*, ,Chapter 6

Reid E G, 1945, *Studies of blade shank form and pitch distrubution for constant speed propellers*

Torenbeek E, 1982, *Synthesis of subsonic airplane design*

Yükselen A. M., 2015, *Pervane teorisi ders notları*