

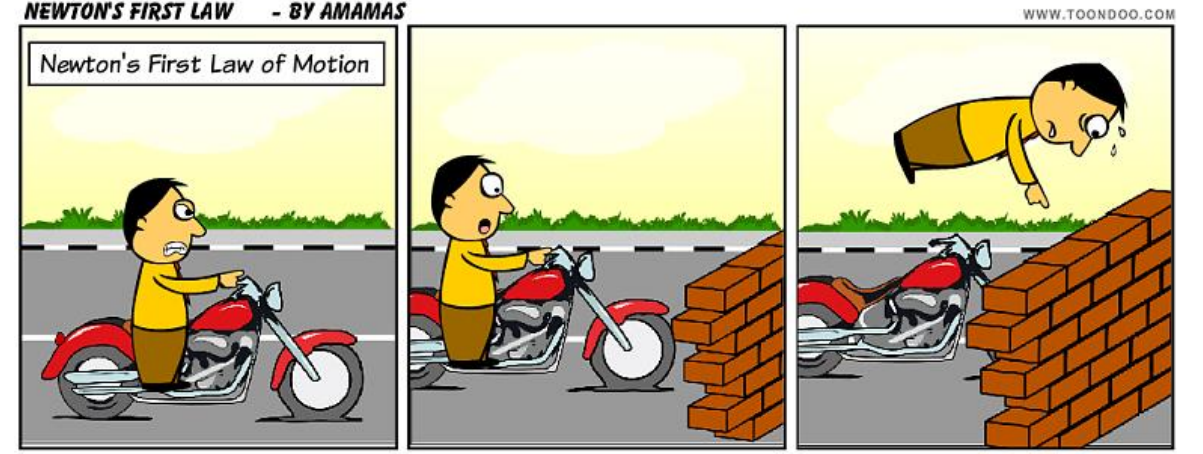
PERVANE

- Öğr. Görevlisi:Tahir SOYUGÜZEL

Newton Yasaları

1. Yasa: Eylemsizlik Yasası

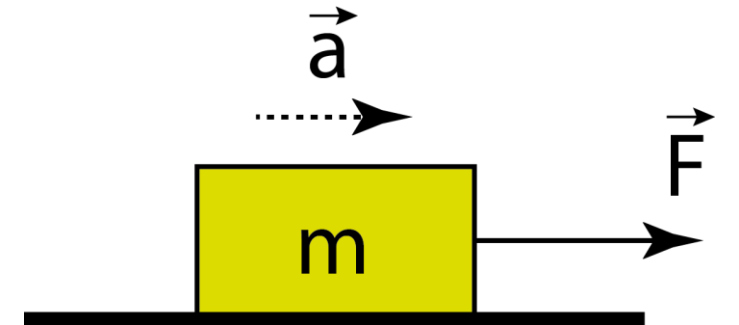
Eylemsizlik: Cismin durumunu koruma isteğine denir. Örnek verecek olursak hareket halindeki arabanın şoförü aniden frene basınca şoförün önceki durumunu korumak isteyip öne doğru hareketlenmesi veya durgun arabada aniden gaza basan şoförün geri doğru hareketlenmesidir.



2. Yasa: Dinamiğin Temel Prensibi

Bir cisme etki eden kuvvetlerin bileşkesi sıfır değilse, cisim bu kuvvetin doğrultu ve yönünde ivme kazanır. Kuvvetin, cisme kazandırdığı ivmeye oranı sabit olup, bu sabit değer cismin kütlesine eşittir ve aşağıdaki formülle ifade edilir.

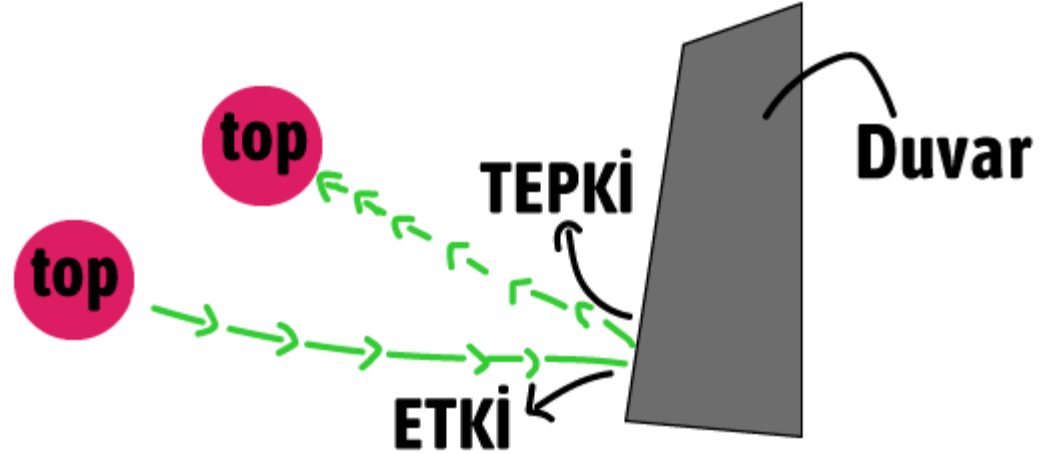
$$F = ma$$



Newton Yasaları

3. Yasa: Etki Tepki Prensibi

Bir cisme kuvvet uygulandığında cisim de kuvvet kaynağına aynı büyüklükte ve zıt yönde kuvvet uygular. Bunlardan birincisine etki ,ikincisine tepki denir. Örnek verecek olursak; Elimizi masaya vurunca elimizin ağrması, kaza yapan araçta hasar oluşması gibi örnekler verilebilir.Etki tepki kuvvetleri birbirine eşittir fakat cisimler farklı olduğu için birbirlerini dengeleyemez. Dengelediğini düşünelim bir futbol topuna vurduğumuz zaman hareket etmezdi.



TEMEL BİLGİLER

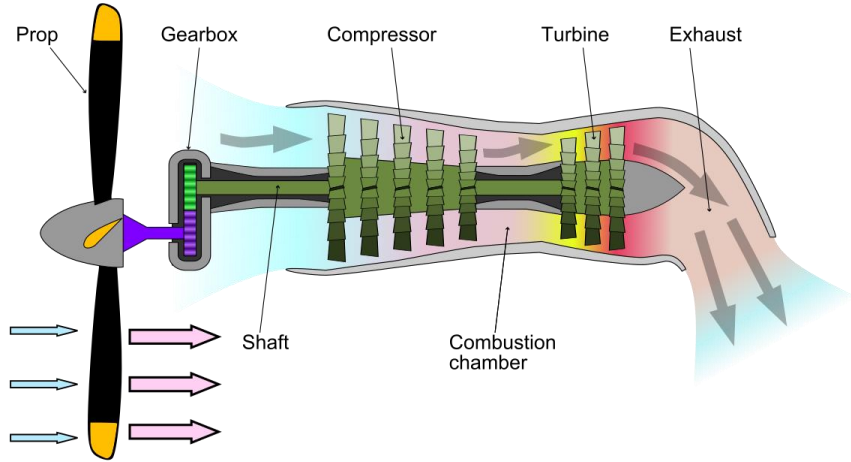
Pervane iki veya daha fazla palin motor krank şaftına bağlı olan merkez göbeğe bağlanmasıyla oluşan bir kanat profilidir.

Pervanelerin görevi, motorun çıkış gücünü alarak uçağa çekme veya itme kuvveti sağlayıp hava aracının havada tutunabilmesini ve ilerlemesini sağlamaktır.

Aradaki tek fark kanadın kaldırıcı kuvveti sağlamak üzere yatay bir düzlemde hareket etmesi, pervanenin ise ileri çekici kuvveti sağlamak için dikey düzlemde hareket etmesidir.



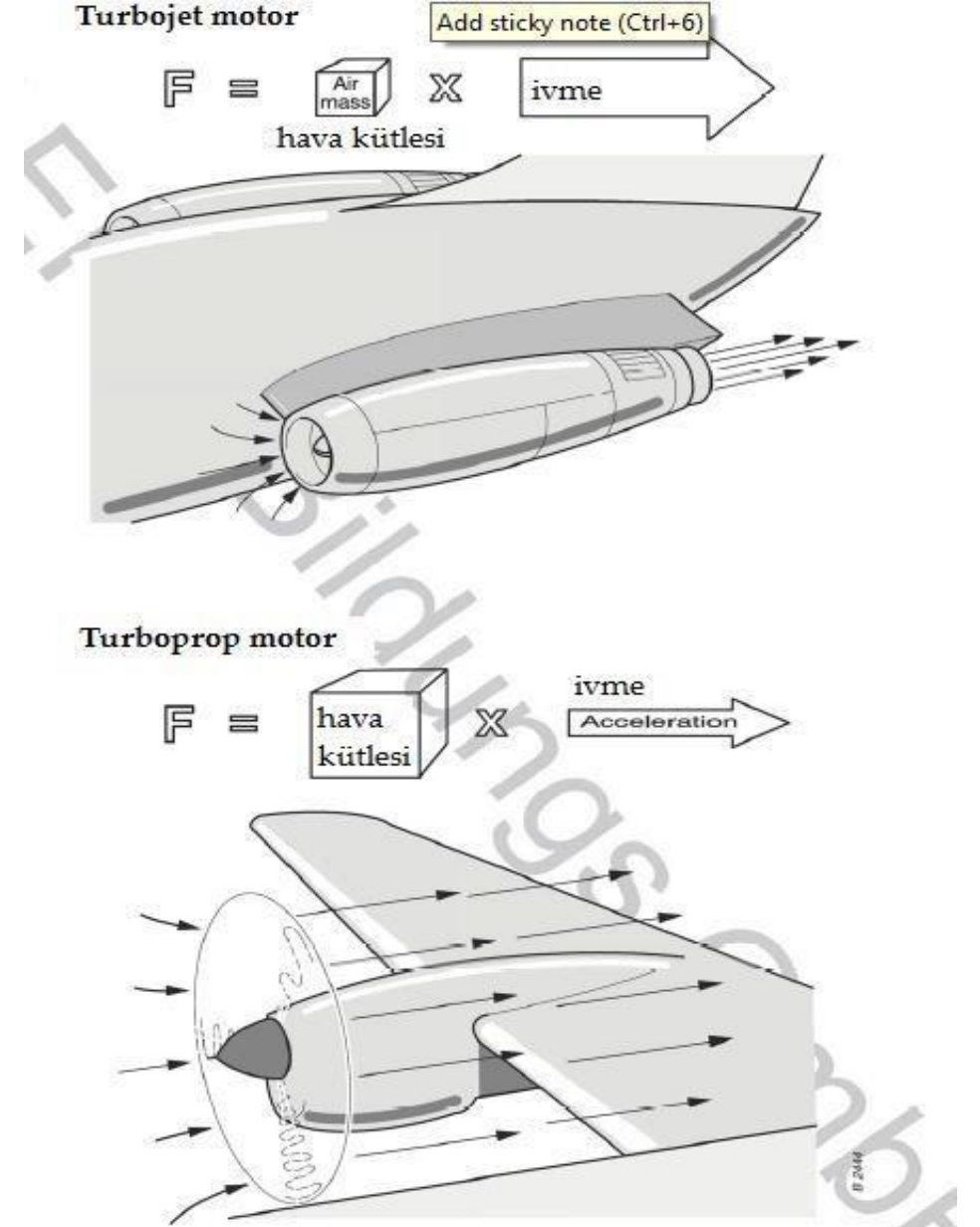
Motor, ürettiği gücü içindeki motor ana miline aktarır. Aktarılan bu güce tork gücü denir.



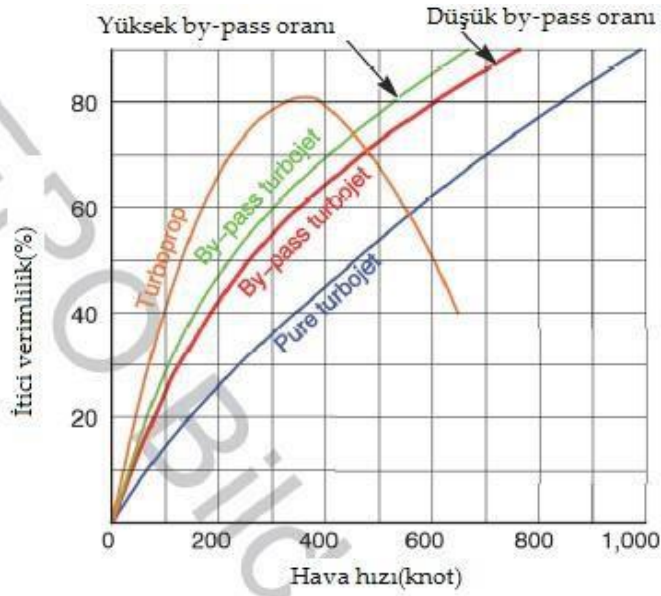
Tork gücünün mile uygulanması tek başına hava aracına itme veya çekme kuvveti yaratmaz. Dolayısıyla pervane, motor tarafından üretilen mekanik enerjiyi, kullanılabilir itki (thrust) yani ileri çekiş - itiş kuvvetine dönüştürür.

➡ Jet motoru pervaneli bir pistonlu motordan çok farklı görünüyor olsa da itici güç üretmek için aynı temel prensibi uygular. Her ikisi de sadece büyük bir hacimdeki havayı arkaya doğru hareket ettirerek uçağı ileri sürükler.

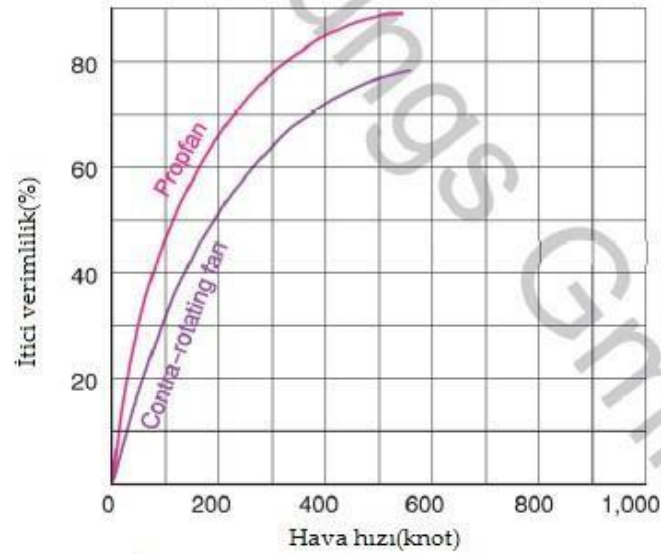
➡ Bugünün jet tahriki genelde gaz türbinli motora bağlansa da ramjet (dinamik tazyikli), pulsejet (kesik çalışan), roket, turbo-ramjet ve turbo-roket gibi diğer jet-pervaneli motor tipleri mevcuttur.



Şekil 2 İtici Sistemlerin Kıyaslanması



- ➡ Düşük hızlarda en verimli motor turboprop motorlardır.
- ➡ Turboprop motorlar yüksek hızlara çıkamazlar. Maksimum 650 knot.
- ➡ Turboprop motorlarda gürültü seviyesi çok yüksektir. Aynı zamanda yüksek irtifada düşük verimliliğe sahiptir.

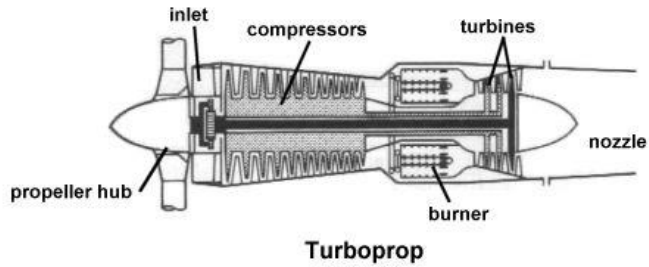


Şekil 8 İtici Verimliliklerinin Kıyası

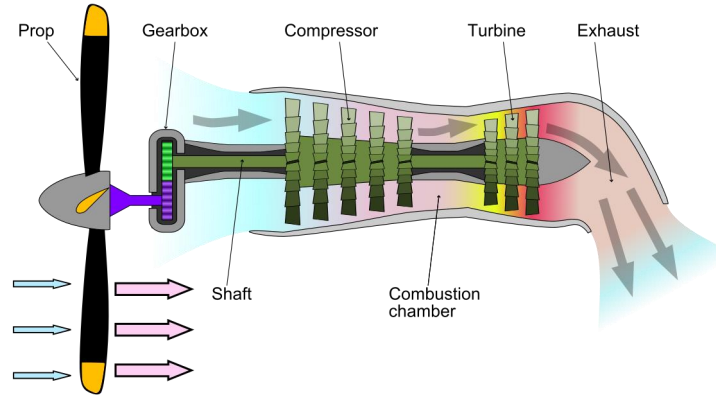
1.Blade Eleman Teorisi

Bir uçağı ileri doğru çeken kuvvet akışkan kütlesinin geriye doğru, momentumun arttırılarak sevk edilmesi suretiyle elde edilir. Sözü edilen momentumun artımı genellikle:

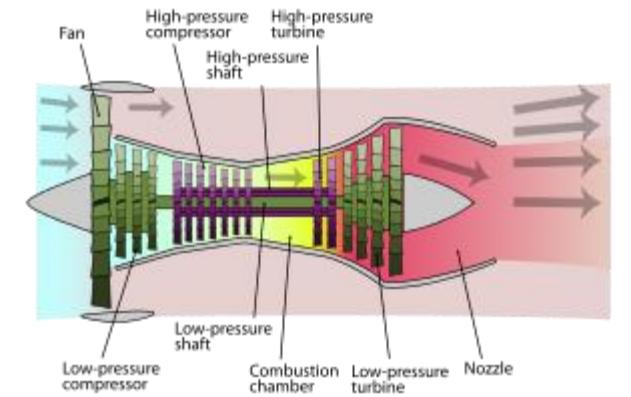
- Bir turbojet motorunda havanın önce sıkıştırılıp sonra ısıtılarak genişletilmesiyle,
- Bir pervane ile havanın geriye doğru hızlandırılmasıyla,
- Modern, yüksek by-pas'lı turbojet motorlarında kısmen türbinde genişlemeyle ve kısmen de pervane ile hızlandırmak suretiyle elde edilir.



Turboprop Motor



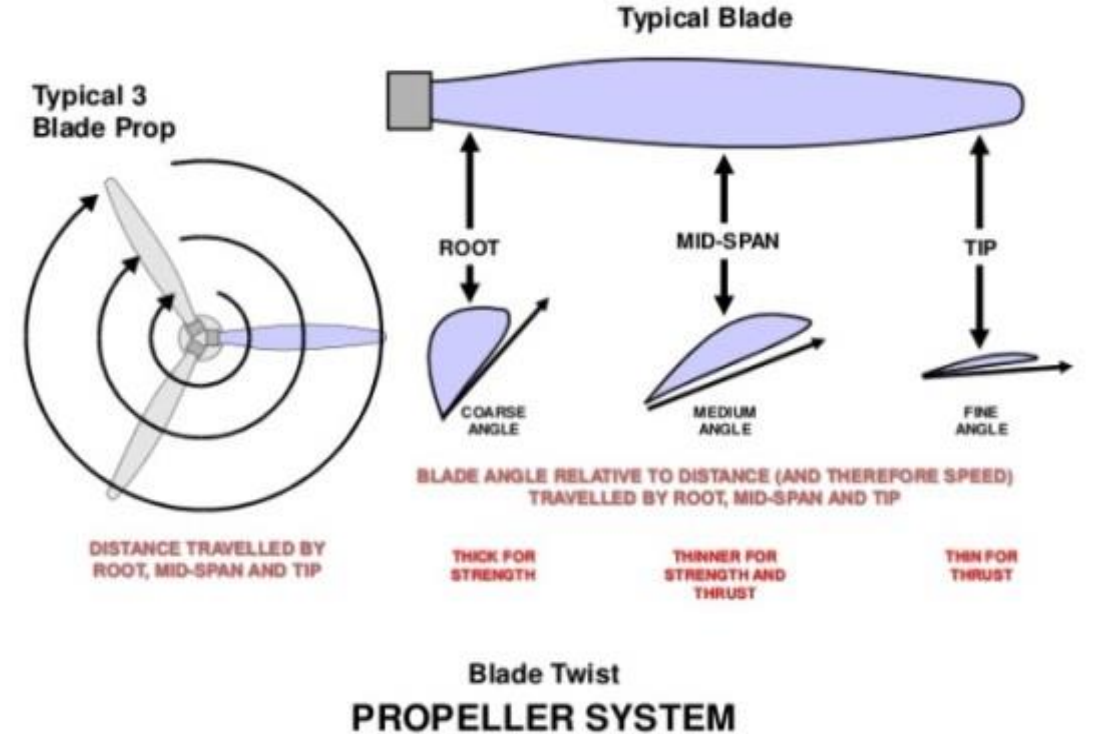
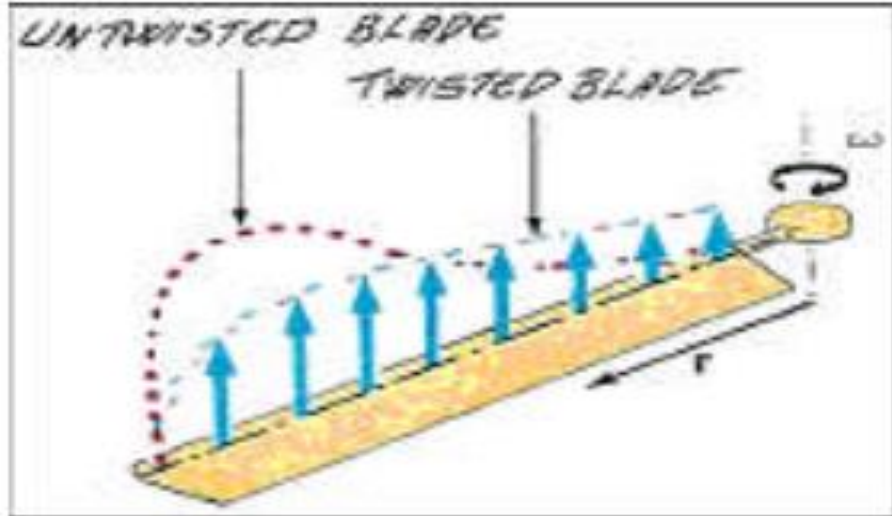
Turboşaft Motor



Turbofan Motor

Pervane, içten yanmalı bir motorun veya türbinli bir motorun (turbo-prop) ürettiği mekanik enerjiyi, önündeki havayı uçağın hareket yönüne zıt yönde hızlandırmak suretiyle itme ve çekme gücüne çevirir.

Pervane aslında düz veya burkulmuş bir kanat kesitidir (airfoil). Burkulmuş (twisted) olmasının ve uca doğru incelerek gitmesinin sebebi pervane boyunca düzgün dağılmış bir itme gücü oluşturmaktır.

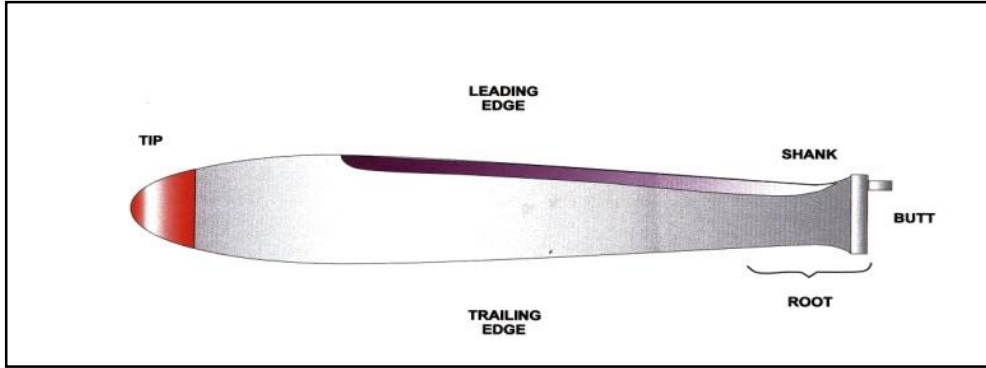


Pervane döndüğü zaman, pallerin ucuna yakın kısımları göbeğe yakın kısımlarından daha büyük bir daire çizerler, bundan dolayı uca yakın kısımlar daha yüksek süratle hareket ederler. Böylece pervanenin üzerinden akan hava akımı uç kısımda en yüksek hızına ulaşır. Bu durumda sabit kesitli bir pervane yüksek devirle kullanıldığında uç kısımlarda büyük sorunlara yol açar. Palin tamamının eşit miktarda hava akımı çekmesini sağlamak için pal; uçtan pal boynuna doğru gittikçe büyüyen bir açı verilmek suretiyle dizayn edilir.

Blade elemanı teorisi pervane palasının pala kökünden ucuna kadar sonsuz sayıda çok ince genişliklere sahip profillere (kanat kesim biçimlerine) bölünebileceğini kabul eder. Blade elemanı teorisine göre yan yana getirilerek birleştirilmiş çok sayıda profil bir düzlem içinde bir merkez etrafında döndürüldüğünde itme /çekme kuvveti üretebilecek bir pala meydana getirir. Pal en iyi tasarım hızında dönerken, her bir blade elemanı kendisinin en iyi hücum açısında itme/çekme kuvveti üretecek şekilde tasarlanır.

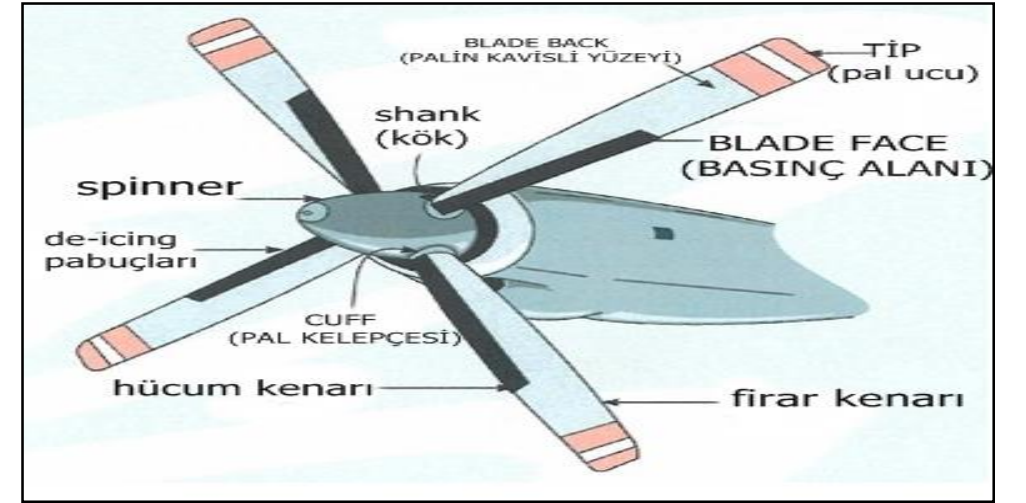
2. Pervane Terimleri

Kanat yapısına benzer olarak tasarlanmış olan pervane blade'leri kök (root), uç(tip), hücum ve firar kenarına sahip kamburluklu bir yapıdır. Ayrıca hücum ve firar kenarının merkezlerinden geçen bir veter (chord) hattına sahiptir. Blade'in kambur olan tarafına blade back, düz olan basıncın oluştuğu tarafa ise blade face denir.



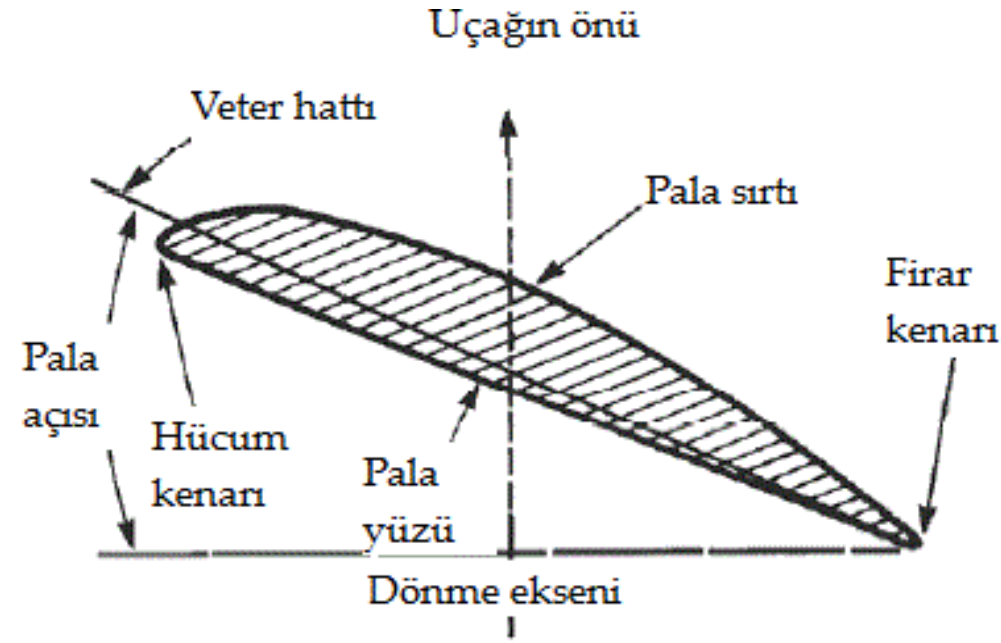
Pal (blade) yapısı

Palın kök kısmı silindirik bir şekildedir ve bu kısma blade shank denilmektedir. Hatve (pitch) değişim mekanizması olan uçaklarda pitch ayarı yapabilmek için şekilde görülen blade butt tasarlanmıştır.



Pervane elemanları

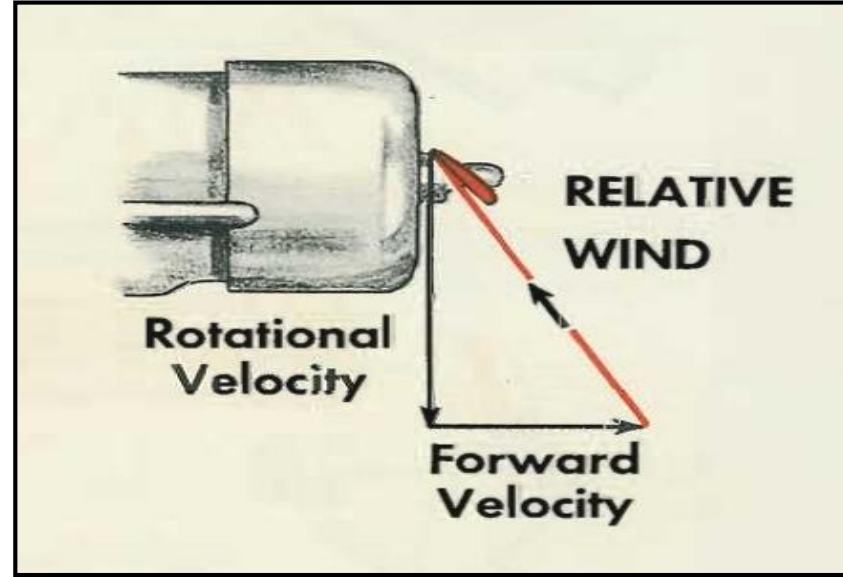
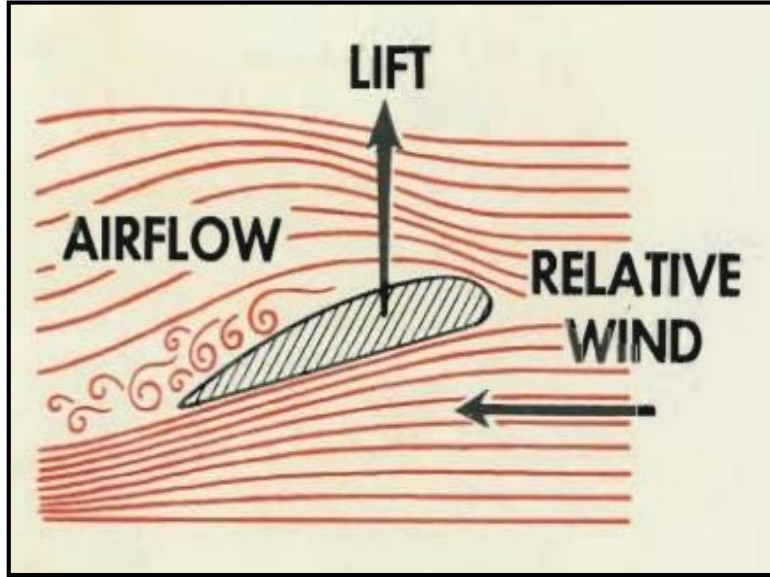
Pal kesitinde, hücum kenarı ortasından firar kenarı ortasına uzanan hayali düz hatta korda (veter) hattı denir. Korda hattı, ileri çekici kuvvetin hesaplanmasında veya pervanelerin balans ayarının yapılmasında önemli bir unsurdur.



Pal (blade) korda hattı

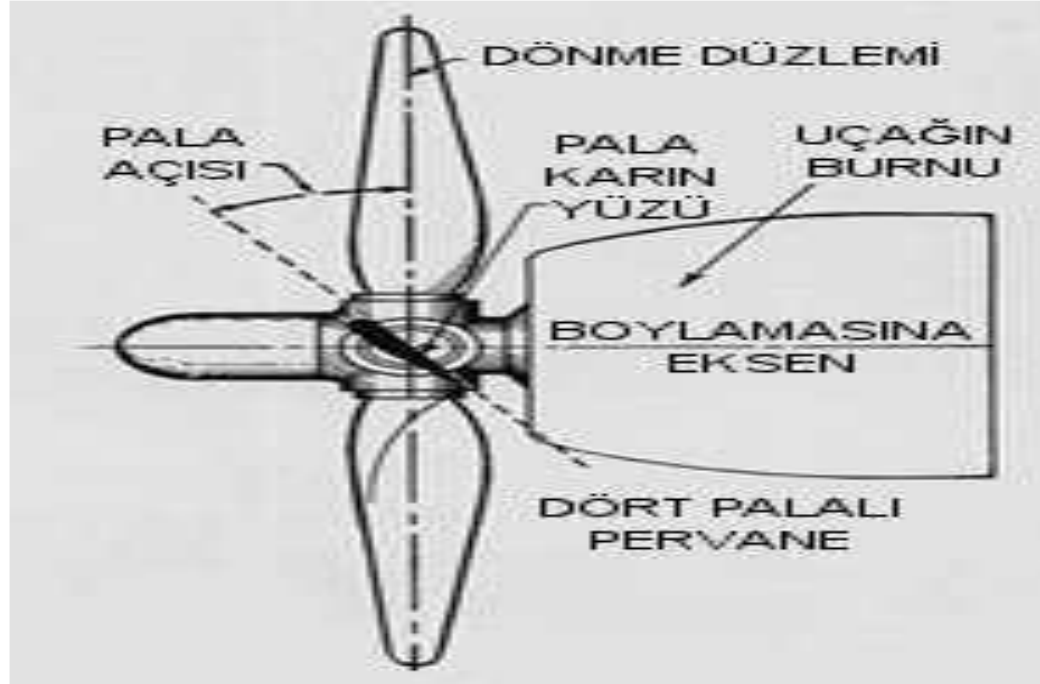
Nispi (Bağıl) Rüzgar

Pal kesitinde, hücum kenarı ortasından firar kenarı ortasına uzanan hayali düz hatta korda (veter) hattı denir. Korda hattı, ileri çekici kuvvetin hesaplanmasında veya pervanelerin balans ayarının yapılmasında önemli bir unsurdur.



Bağıl rüzgar

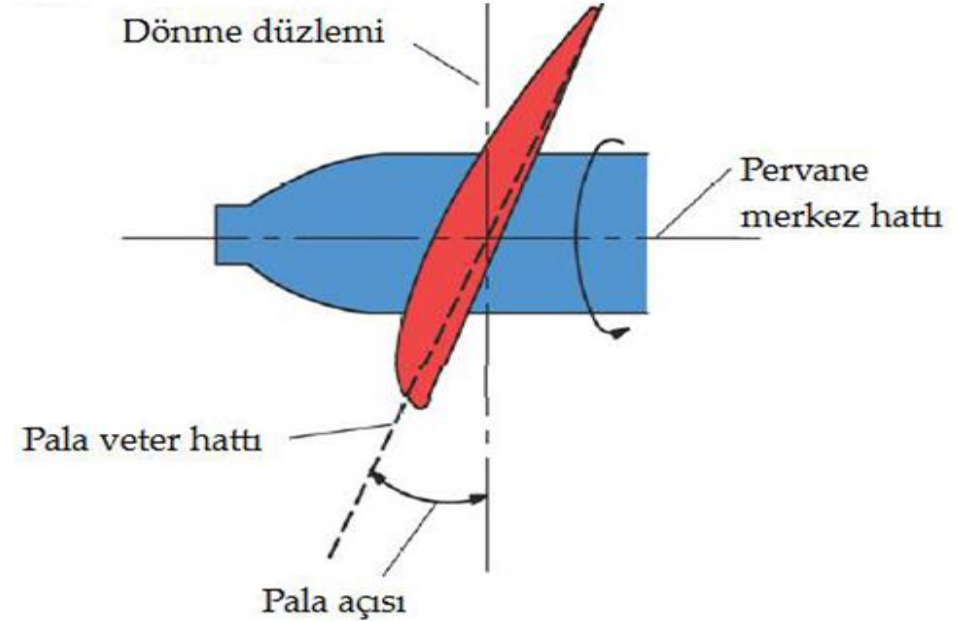
Pal uclarının merkezinden geçen ve motor shaftına dik olan hayali bir hattır



Pervane dönü düzlemi

Yüksek/Alçak Blade Açısı

Blade elemanları airfoil biçimde yan yana birleşerek blade airfoilini oluşturur. Blade açısı pal kordası (veter) ile dönü eksenine dik bir düzlem arasındaki açıdır. Pal boyunca uzanan pal açısı tüm pal istasyonlarında aynı değildir. Pal boynunda pal açısı en büyükken, pal ucuna doğru bu açı küçülür. Bunun nedeni palin çeşitli bölümlerinin hareketinin farklı hızlarda olmasıdır



Pala (blade) açısı

Yüksek/Alçak Blade Açısı

Blade'in kök bölümü uç bölümüne göre daha yavaş hareket eder. Eğer bütün elemanlar bir blade boyunca aynı pal açısında ise bağıl rüzgâr (relative wind) bu elemanlara aynı hücum açısıyla çarpmayacaktır. Çünkü farklı hızlardaki blade elemanları dönüş merkezinden uzakta olmalıdır. Blade parçalarının her biri yüksek hızda döndüğü zaman paller, en iyi hücum açısında en iyi thrust oluşturabilmeleri için dizayn edilir.

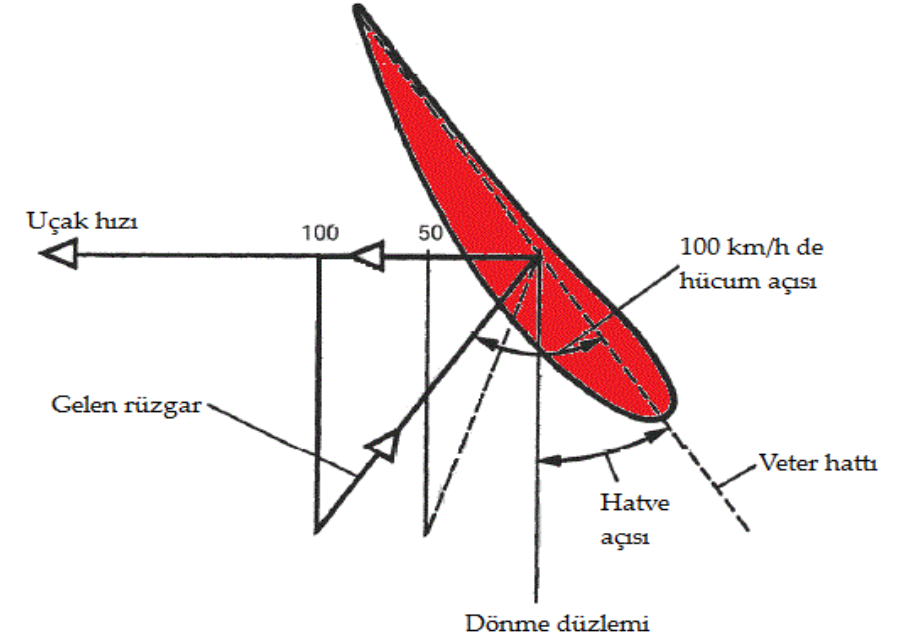
Yüksek blade açısında, pal'e çarpan hava miktarı fazla olacağı için, pervanenin motora bindirdiği yük fazla olacak ve motor devrinin azalmasına, dolayısıyla itkinin azalmasına sebep olacaktır. Düşük Pal açısında ise pervanenin motora bindirdiği yük azalacak ve buna bağlı olarak motorun devri artarak kritik seviyelere ulaşabilir. Bu bağlamda;

- Pervane hatvesi, kalkışta (take off) ve tırmanışta (climb) itkinin azalmasını önlemek için düşük hatve (fine pitch) durumu seçilir.
- Düz uçuşta, yüksek hızlı uçuşlarda ve iniş esnasında kritik devirlerden korumak için yüksek hatve (coarse pitch) durumu seçilir.

Ters Açı

Pervane pal açıları genel olarak hava aracını öne doğru hareket ettirecek şekilde ayarlanır. Ancak bazı durumlarda hava aracının geriye doğru çekiş gücüne ihtiyacı olabilir. Bu işlemin yapılabilmesi için pervane pal açısı negatif yönde ayarlanır. Bu durumda pervane, aynı yönde dönmesine rağmen hava aracının arka kısmından almış olduğu hava kütlesini öne doğru iter. Bu şekilde hava aracına geriye doğru bir hareket kabiliyeti kazandırır

Ters Açı (Reverse Pitch) kullanıldığı durum iniş anı olup, hava aracının tekerleri piste konulduktan sonra fren mesafesini kısaltmak için bu konuma alınır. Bu şekilde çok motorlu uçakların fren mesafesine katkı sağlayarak, hem fren sisteminin hem de lastiklerin ömrünü uzatır.

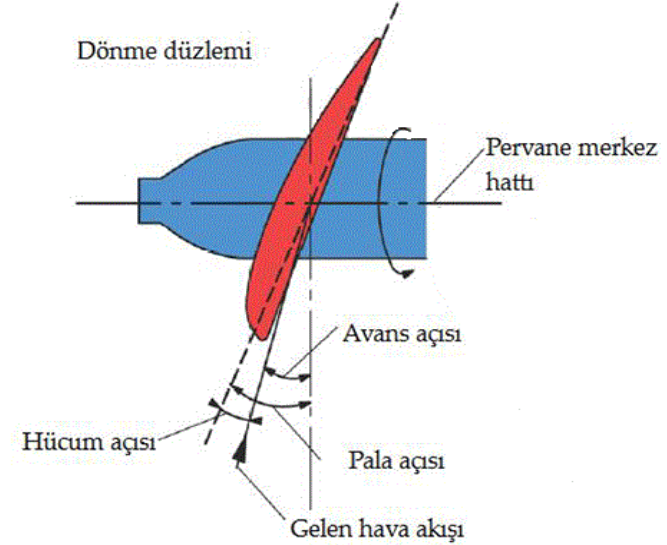


Ters pala (blade) açısı

Hücum Açısı

Bir pervane kanadındaki kanat hücum açısının açısı formunu, kanat kiriş hattı ve bağıl (nispi) rüzgâr belirler. Hücum açısı (angle of attack) pal korda hattı ile nisbi rüzgarın yönü arasındaki açıdır. Hücum açısı pervanenin dönüş hızını uçağın ileri hızına dönüştürür

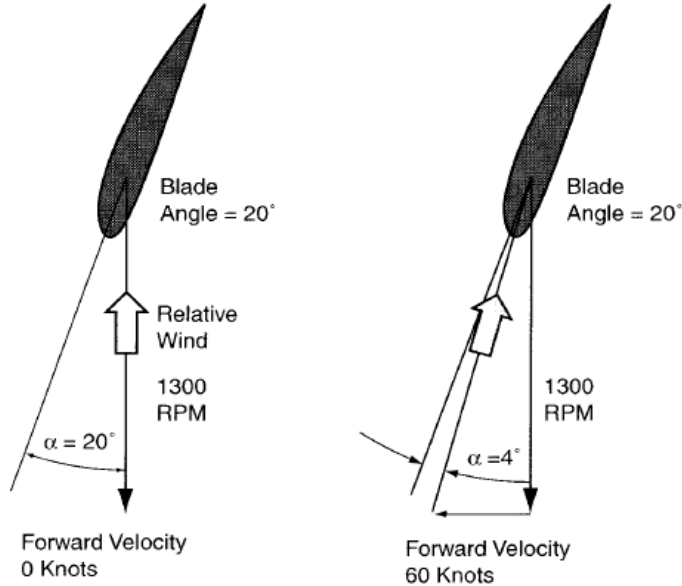
Hücum açısı, pal hatve açısına bağlıdır, fakat hücum açısı sabit değildir. Hücum açısı uçağın öne doğru hızı ve pervanenin RPM'i ile değişir.



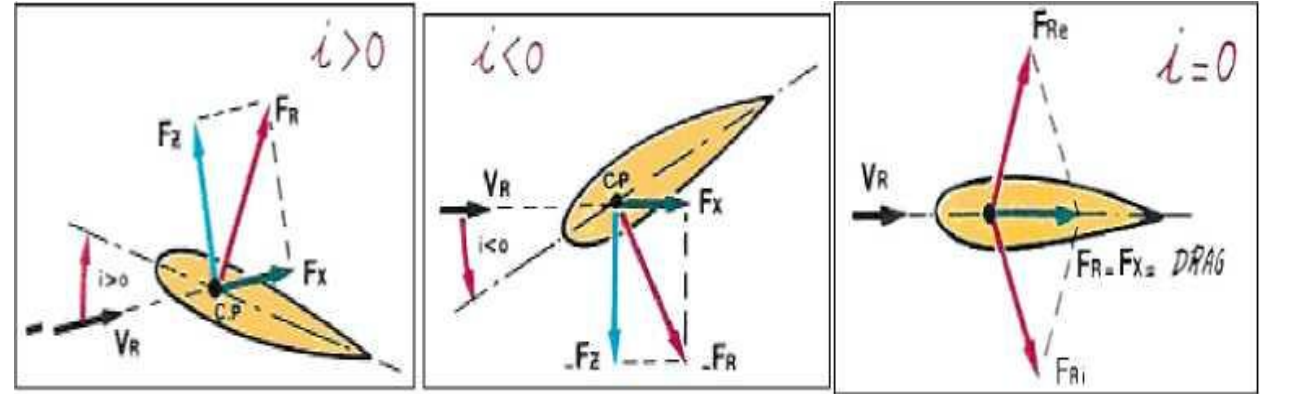
Hücum (angle of attack) açısı

Hücum Açısı

Pervane palinin bir helix şeklindeki hava içinde takip ettiği yol, bağıl hava akışını hangi yönden alacağını belirler. Bu yol pal dönme hızı ile uçak ileri yönündeki hızının bileşkesidir. Pal açısı öyle seçilmiştir ki hücum kenarı bağıl hava akışına doğru küçük bir hücum açısında olacak şekildedir. Pal boyunca uzanan hücum açısı tüm pal boyunca aynıdır. Çünkü tüm pal boyunca itkinin eşit olması gerekmektedir. Hücum açısı sıfır olan bir aerokesit üzerindeki kaldırma kuvvetinin değeri de sıfır olur. En iyi pervane etkinliği **2** ile **4** derecelik hücum açısında elde edilir.

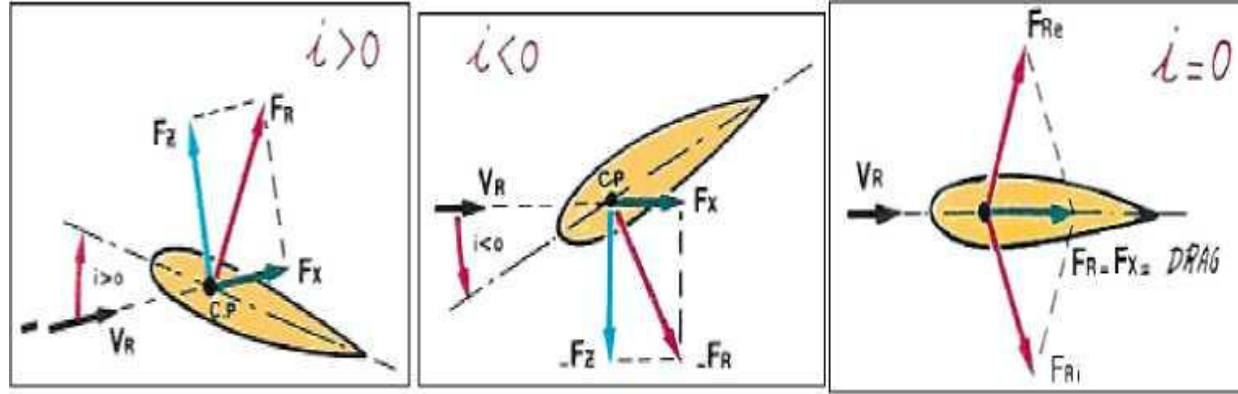


Pervane hücum açısı



Hücum açısının aerodinamik kuvvete etkisi

Hücum Açısı



Hücum açısının aerodinamik kuvvete etkisi

Hücum açısı pozitif olduğu zaman basınç merkezine etki ettiği farz edilen F_R aerodinamik kuvvetinin yönü yukarıya ve arkaya doğrudur. Eğer hücum açısı negatifse olay tersine döner. F_R aşağı ve geriye doğrudur ve kanat profilini aşağı doğru çeker. Bu durumda F_R 'nin aşağı doğru olan bileşeni F_z , negatif taşıma olarak isimlendirilebilir. Eğer hücum açısı sıfır olursa, simetrik kanat profilinde akış alt ve üst yüzeyde simetriktir. Alt ve üst yüzeydeki basınç kuvvetleri eşittir ve bunların bileşkesi olan F_R akıma paraleldir. Bu durumda sadece sürüklenme vardır, taşıma yoktur.

Dönme Hızı

Bir uçağın kanatları, uçak hareket etmeye başladığında bir kaldırma kuvveti yaratır. Pervanenin dönme hızı " V_R " pala boyunca yarıçap ile artış gösterir. Dönme hızı (W) bağlı rüzgâr hızının blade yarıçapına oranıdır ($W = V_R / r$).

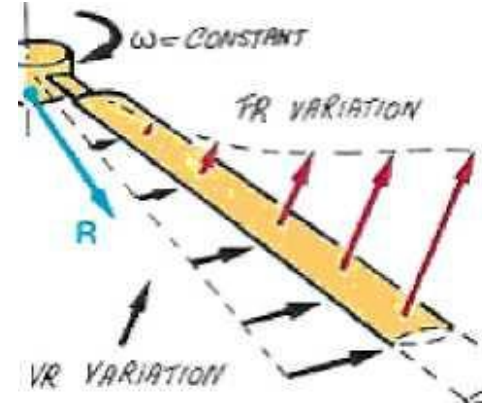
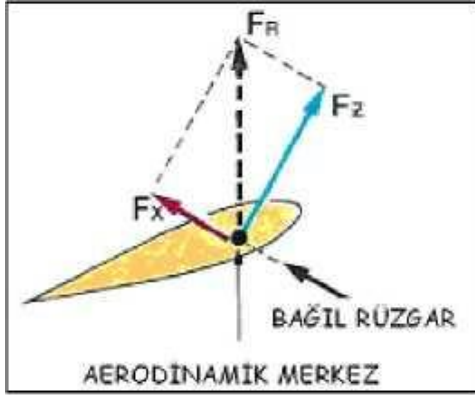
$$V_R = \omega \cdot r$$

Burada, ω , pervanenin açısal hızı olup, pervane devir sayısı (n) ile orantılıdır:

- **Yüksek dönme hızı:** Uçak irtifası değiştiğinde ve motor gücü arttığında veya artırılmak üzereyken yüksek dönme hızı durumu meydana gelir.
- **Düşük dönme hızı:** Motor hızı RPM'in altına doğru düşürüldüğünde düşük dönme hızı meydana gelir

Pervanelerde dönü hızı motor devir parametrelerine göre değişir. Fakat gelişen pervane teknoloji ile beraber değişken motor devirlerinde, pervane dönme hızını sabitleyen sistemler vardır. Pervanenin dönü hızı arttıkça elde edilen ileri çekici kuvvet miktarı da artar. İleri çekici kuvvet dönü hızının karesi kadar artar. Yani, 100 mil/saat hızla dönen bir pervane, 50 mil/saat hızla dönen bir pervanenin sağladığı ileri çekici kuvvetin dört katı fazla ileri çekici kuvvet sağlar.

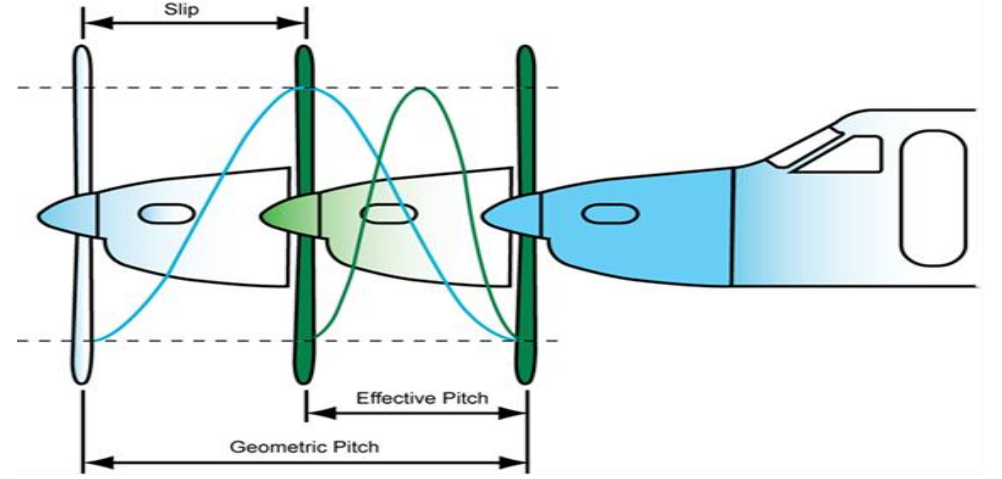
Pal Hücum Açısında Bağlı Hava Akışı



F_Z ve F_X kuvvetleri de pala kökünden ucuna doğru artarlar. Ancak, pala ucu civarında alt ve üst taraftaki basınçların dengelenmeye çalışması nedeniyle pala ucu kaybı meydana gelir ve bu bölgede taşıma azalır, sürüklenme artar. F_R kuvvetinin pala üzerindeki durumu incelendiğinde bu kuvvetin bileşkelerinden F_Z (taşıma) bağli rüzgara dik, F_X (sürüklenme) ise bağli rüzgarla aynı doğrultudadır.

Pervanede Kayıp (Slip)

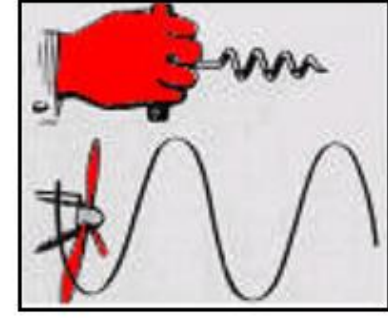
Hava katı bir cisim olarak kabul edildiği takdirde, pervanenin böyle bir ortamda her dönüşünde kat edeceği toplam mesafeye **geometrik hatve (geometric pitch)** denir. Diğer bir anlatımla, pervanenin geri sürüklenme kuvveti dikkate alınmadığında bir tam dönüşünde alabileceği en fazla yoldur.



Geometrik ve efektif pitch

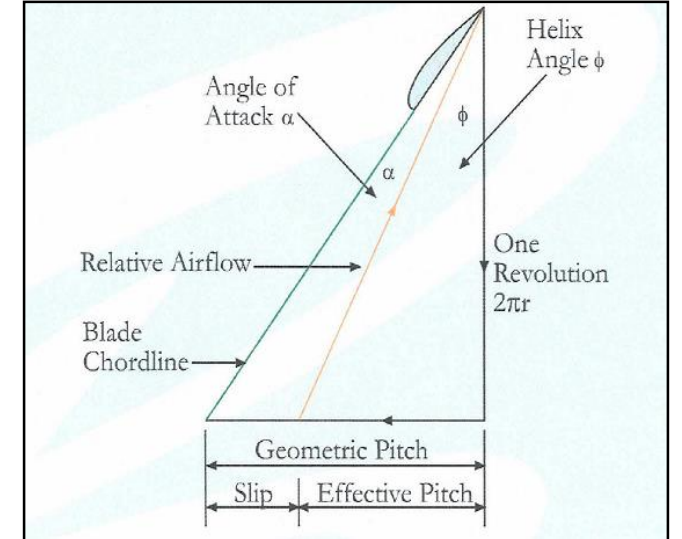
Pervanenin kat ettiği gerçek mesafeye **etkin hatve (effective pitch)** denir. Yani, pervanenin geri sürüklenme kuvveti dikkate alındığında bir dönü hareketinde aldığı etkin hatvedir. Geometrik hatve ile etkin hatve arasındaki farka ise **kayma (slip)** denir.

Pervanenin hareketiyle ortaya çıkan daire ve ileriye bükümlü olan vida adımına benzeyen yola ise pervane yolu denir.



Pervane yolu

Geometirk pitch ile efektif pitch birbirine eşit olduğu zaman pervane uçağın ilerlemesi için verim üretmez. Bu olay bir otomobilin durduğu yerde patinaj çekmesine benzer. Yani pervanenin verim üretmesi içi slip'e ihtiyaç vardır. Aşağıdaki şekilde pervanelerde kullandığımız hücum açısı, helix açısı ve blade açısının nelere karşılık geldiği görülmektedir

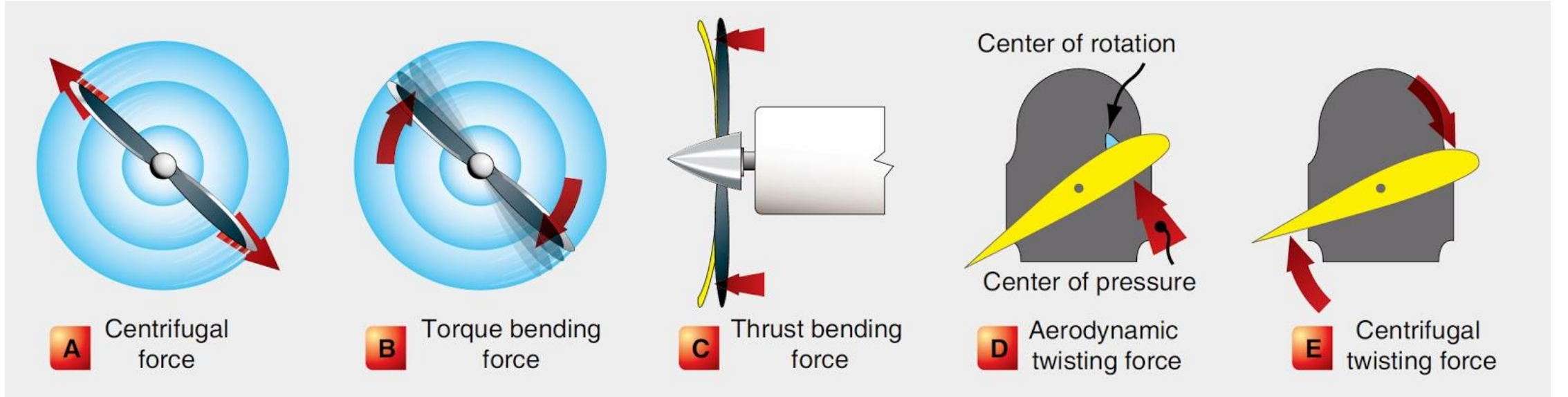


Açılar ve karşılıkları

Şekilden de görüleceği üzere hücum açısı slip'e, helix (avans) açısı efektif pitch'e, blade açısı ise geometrik pitch'e karşılık gelir. Görüldüğü gibi pervanede verim üretilebilmesi için slip'e yani hücum açısının verilmesine ihtiyaç vardır.

3.Pervaneye Etki Eden Kuvvetler

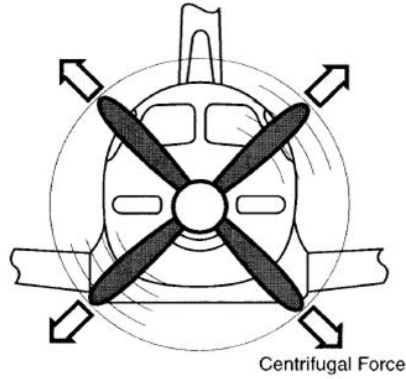
Pervane dönerken birçok kuvvet birbirini etkiler ve pervane içinde gerilme, bükülme, eğilme gibi zorlamalar meydana getirir.



3.Pervaneye Etki Eden Kuvvetler

Merkezkaç Kuvveti

Pervane dönüsü esnasında, pallerin göbekten dışarı doğru çekilmesidir. Merkez kaç kuvveti pervane üzerindeki en fazla strese sahip kuvvettir. Bu olay pervanelerde, pervane ağırlığının birkaç bin katı olarak etki yapar.



Pervane merkezkaç kuvvet



$$v = \omega r$$

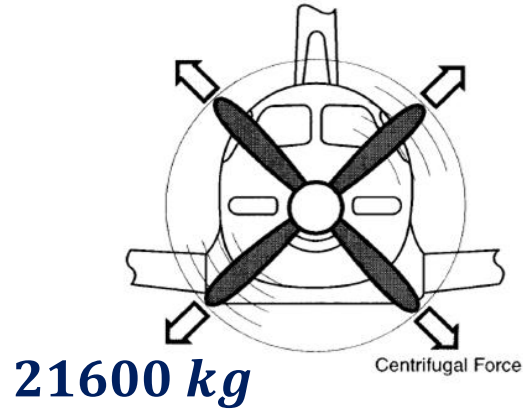
$$\vec{F}_{\text{merkezcil}} = m \frac{v^2}{r}$$

$$\vec{F}_{\text{merkezcil}} = m \frac{\omega^2 r^2}{r} = mr\omega^2$$

3.Pervaneye Etki Eden Kuvvetler

Merkezkaç Kuvveti

Örnek: Bir pal uzunluğu 60 cm olan bir pervane 3000 Rpm ile dönmektedir. Pal kütlesi 4 kg ise, pale atki eden merkez kaç kuvvetini bulunuz.



$$F = mr\omega^2$$

$$\omega = 3000 \text{ Rpm} = 3000 \times (2\pi/60) = 300 \text{ rad/sn}$$

$$r = 0.6 \text{ m}$$

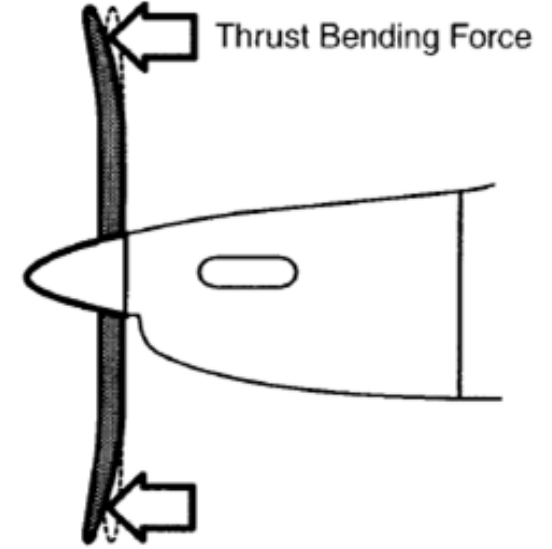
$$F = 4 \times 0.6 \times (300)^2 = 216000 \text{ N}$$

$$F = 21600 \text{ kg}$$

3.Pervaneye Etki Eden Kuvvetler

Thrust Bükme Kuvveti:

Pervane çalışması esnasında paller üzerinde ileri doğru oluşan kaldırma etkisi, pal üzerindeki en ince kısım olan pal uçlarını öne doğru eğmeye çalışmasıdır. Çünkü kaldırma kuvveti, uca doğru palin incelmesinden dolayı pali esnetir.

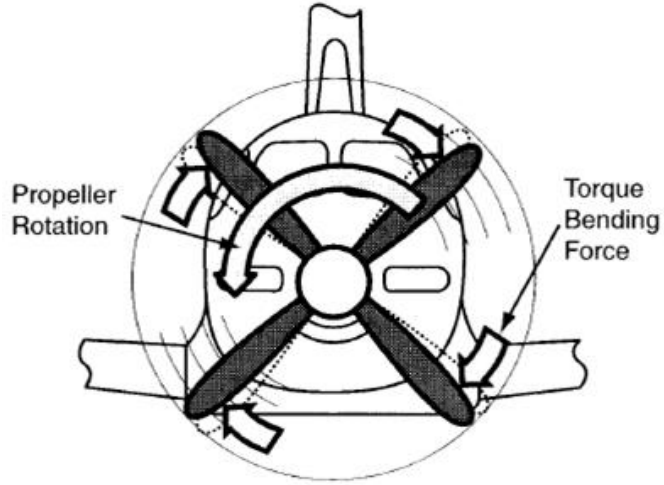


Trust bükme kuvveti

3.Pervaneye Etki Eden Kuvvetler

Tork Bükme Kuvveti:

Pervane dönü hareketine ters yönde oluşan ve pervaneyi aksi istikamette zorlayan kuvvettir

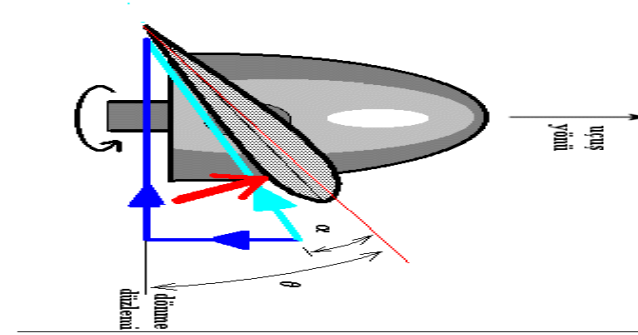
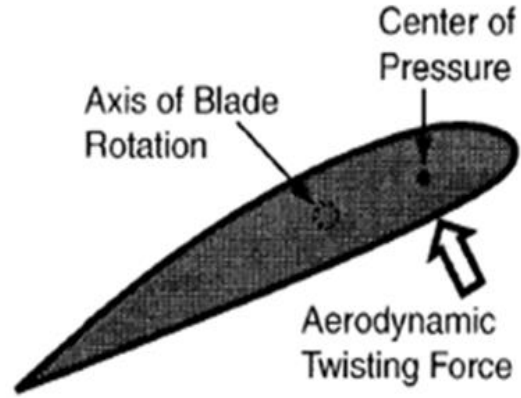


Tork bükme kuvveti

3.Pervaneye Etki Eden Kuvvetler

Aerodinamik Burkma Kuvveti:

Pali yüksek hatvelere çevirmeye çalışan kuvvettir. Kaldırma merkezi pervane dönü ekseninin önündeyken oluşmaya başlar ve pal açılarını artırmaya zorlar. Feder (feather) açısının veya yüksek pal açısının elde edilmesi için faydalıdır.

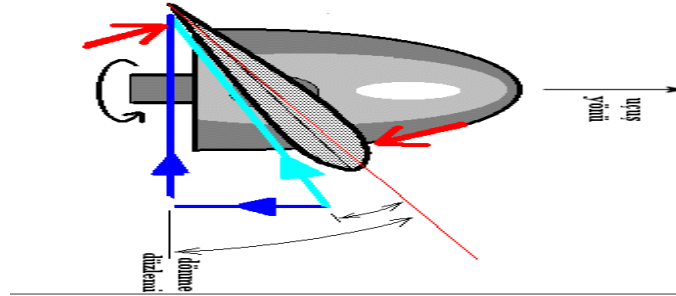
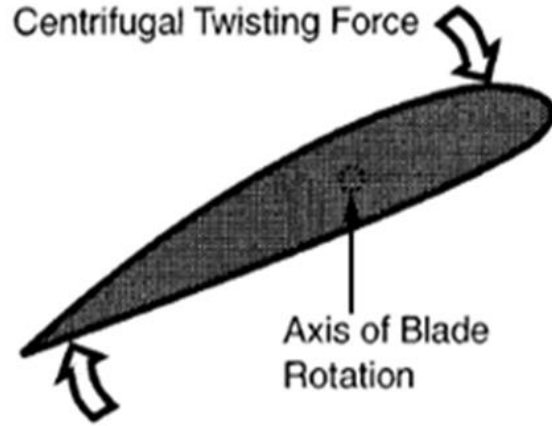


Aerodinamik burkma kuvveti

3.Pervaneye Etki Eden Kuvvetler

Merkezkaç Burkma Kuvveti:

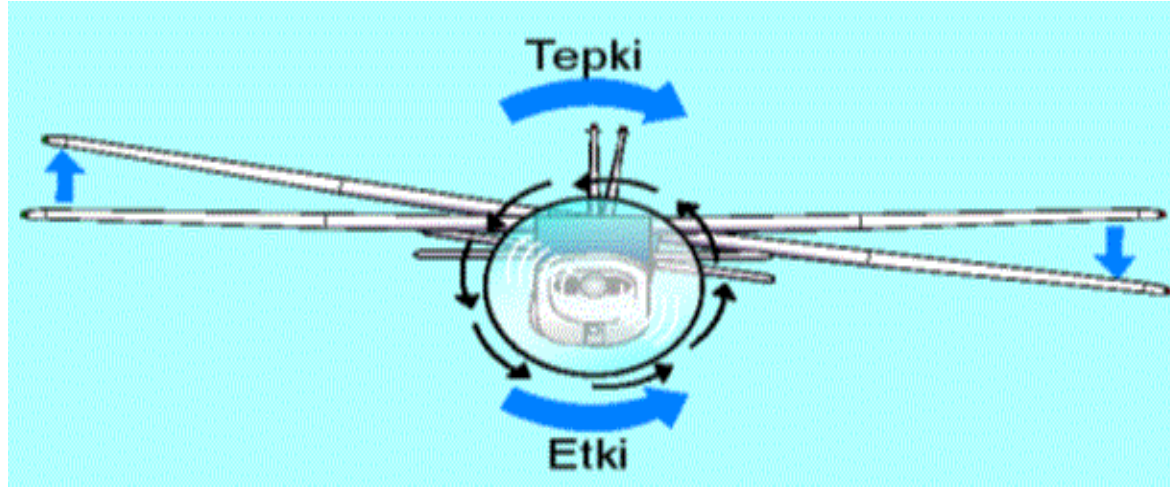
Aerodinamik burkma kuvvetinin aksine pal açısını düşürmeye çalışan kuvvettir. Pervane dönerken merkezkaç etki, pal kütlesini dönü merkezinde tutmaya çalışacaktır. Çalışma devirlerinde merkezkaç burkma kuvveti, aerodinamik burkma kuvvetinden büyüktür.



Merkezkaç burkma kuvveti

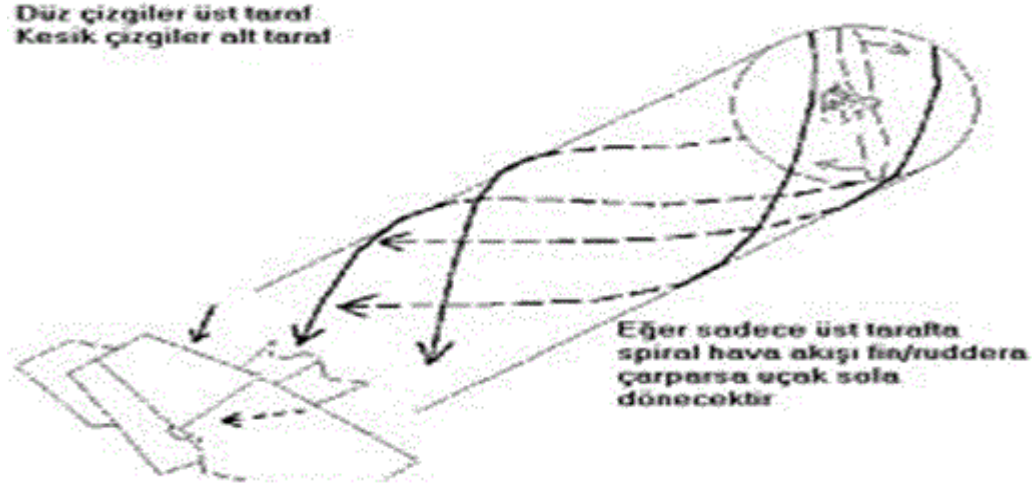
4. Tork Ve Hava Akımı

Pilot tarafından bakıldığında saat yönünde dönen bir pervane ve motora karşılık, Newton'un etki-tepki prensibiyle uçağın gövdesi saat yönünün tersine dönmeye çalışacaktır. Bu nedenle pervaneleri saat yönünde dönen uçaklarda sol kanadın gövdeye takılma açısı sağ kanada göre daha yüksektir. Bu da sol kanat da daha fazla taşıma kuvveti yaratarak uçağın pervane dönüş yönünün tersi olan sola doğru yatma eğilimini kaldırır.



Pervane torkunun uçak gövdesine etkisi

Pervanenin geriye doğru üflediği hava bir vida gibi gövdenin etrafını dolaşır. Pervanesi saat yönünde dönen bir uçakta hava akımı gövdenin etrafından dolaşıp dikey stabilizeye sol taraftan çarparak kuyruk yüzeyi üzerinde bir kuvvet oluşturur. Bu kuvvet de uçağın burnunu sola çevirmek ister.



Pervane hava akımının uçak gövdesine etkisi

Uçak tasarım ve yapımcıları dikey yön dümenini (rudder) hafif sağa doğru çıkıntılı takarak ya da sabit trim tab bu durumu karşılayacak şekilde bükerek ayarlarlar ve uçağın düz gitmesi sağlanır.

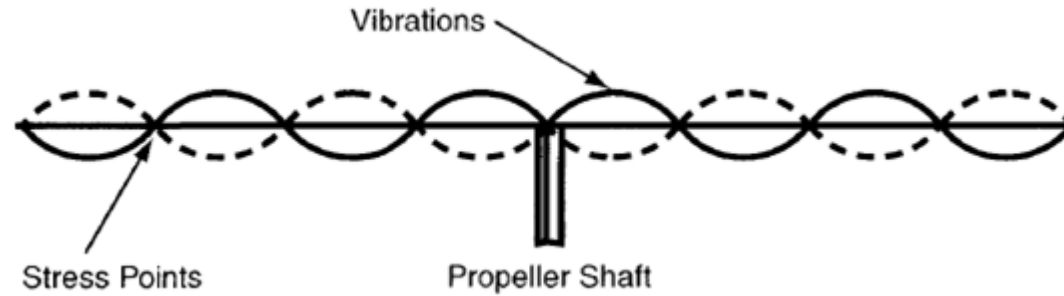
5. Vibrasyon Ve Rezonans

Pervane; thrust, aerodinamik kuvvet ve mekanik kuvvet ürettiği zaman pallerde titreşime yol açmaktadır. Pervane dizaynlarında bu husus göz önünde bulundurulmalı. Şayet bu göz önünde bulundurulmazsa, bu titreşimler aşırı esnemeye sebep olur, metali sertleştirir ve sonuç olarak çalışma süresi boyunca kırığa uğrayabilir.

Mekanik titreşimler pistonlu motorlarda güç darbelerine sebep olur ve aerodinamik titreşimlerden daha çok yıkıcı etkiye sahiptir. Bu güç darbeleri pervane palinin titreşmesine ve metal yorulması ve arızalarına neden olan kalıcı dalga desenlerinin oluşmasına neden olur. Gerilme noktalarının yeri ve sayısı, farklı RPM ler için değişir fakat bu gerilme yoğunlaşmaları için en kritik yer pal ucundan yaklaşık 6 inch mesafedeki yer olacaktır.

5. Vibrasyon Ve Rezonans

Birçok gövde-motor-pervane kombinasyonlarında titreşimden kaynaklanan gerilimlerin etkilerini yok etmek problem değildir. Ancak bazı kombinasyonlar hassastır. Örneğin takometrede rpm aralığı kritik olan aralıklar kırmızı ile gösterilir. Motor bu aralıklarda çalıştırılırsa yüksek olasılıkla, pervane titreşimden kaynaklanan gerilimden dolayı yapısal zarar görecektir.



Pervane titreşimi

5. Vibrasyon Ve Rezonans

Titreşimin frekansı bilindiği üzere birim zamanda veya bağımlı olduğu başka bir hareketin bir saykıl, konu olan titreşimin tamamladığı döngü sayısıdır. Örneğin helikopterlerde frekans ölçümüne temel, helikopterin ana rotorunun %1 devirde bir turu olarak alınır. Titreşimin her frekanstaki büyüklüğü ona sebep olan malzemenin ürettiği güce veya bağımlı olduğu diğer bir malzemenin gösterdiği tepkiye bağlıdır.

Titreşim, büyüklüğüne bağlı olarak zaman içinde gövde ve bağlantılarında problemlere aşırı metal yorgunluğuna, güç kaybına, pilot ve yolcularda rahatsızlığa neden olur. Bu nedenle hesaplanan makul, kabul edilebilir değerlere düşürülmesi gerekir. Dönme düzlemini oluşturan palalar değişik düzlemlerde hareket ettikleri zaman, yani pala uç noktaları aynı noktadan geçmedikleri zaman, 1/1 ve 2/1 titreşimler, istikrarsızlığın artması gibi istenmeyen durumlara sebebiyet verir.

5. Vibrasyon Ve Rezonans

Değişik frekanstaki titreşimlerin kaynağı dönen ve hareket eden parçalar olup, diğer parçaların titreşimi mevcut olan bu titreşimden doğar. Uçuşta ve yer alan çalıştırmasında hissedilen pervane titreşimleri, genel olarak aşağıdaki frekanslara ayrılmıştır:

- ➡ Çok Alçak Frekans: Bir devirde birden az titreşim.(Paylon sarsıntısı)
- ➡ Alçak Frekans: Bir devirde bir veya iki titreşim.
- ➡ Orta Frekans: Bir devirde dört, beş veya altı titreşim.
- ➡ Yüksek Frekans: Kuyruk rotor frekansı veya daha fazlası.

Titreşimin birçoğu daima alçak titreşim olarak ortaya çıkar. Esas problem titreşimin ne zaman en fazlaya ulaştığına karar vermektir. Çok alçak ve çoğu orta frekanslı titreşimlere pervane ve dinamik kontroller sebep olurlar. Sabit parçalardaki değişik arızalar mevcut olan titreşimlerin absorbe edilmesine veya titreşimine tesir edebilir ve tüm yüzey boyunca artmasına sebep olur. Mevcut bazı titreşimler normal olarak kabul edilir. Bunlardan en önemlisi bir devirde iki defa olanıdır.