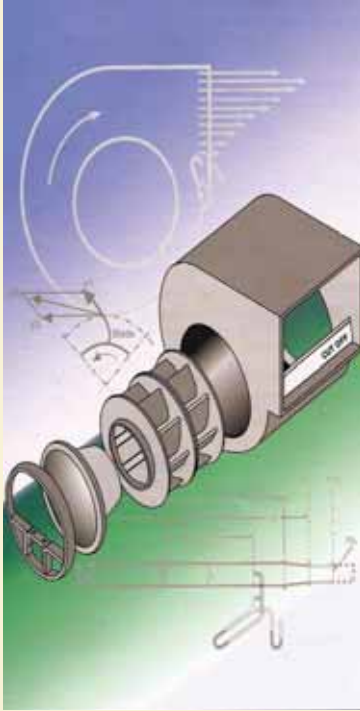


Sayın Okurumuz,

Bu bültenle, çalışma alanımızda Alarko Carrier ve iş ortaklarımızın teknik ve geliştirme çalışmalarımızın açıkladığı makaleleri sizlerle paylaşmak istiyoruz. Amacımız bir süre sonra okurlarımızın bilgisayarlarında her zaman başvurabilecekleri bir Alarko Carrier kütüphanesi oluşturmaktır.

Bülten konusundaki düşünceleriniz bizler için yol gösterici olacaktır. Haberleşme adresimiz aşağıda verilmiştir. Yararlı görürseniz bültenimizi çevrenizde duyurmanızdan memnun oluruz. Bültenin gönderilmesini istemiyorsanız aşağıdaki adresimize tıklamanız yeterlidir.

Saygılarımızla...



www.alarko-carrier.com.tr

ALARKO CARRIER BÜLTENLERİ

- Yeni Ürün
- Haberler
- Gerçek Konfor

Bu bültenleri e-bülten olarak e-mail ile almak isterseniz, lütfen www.alarko-carrier.com.tr adresinden abone olunuz.

Bu bülteni almak istemiyorsanız lütfen ebulden@alarko-carrier.com.tr adresine boş e-posta gönderiniz.

Haberleşme Adresi:
info@alarko-carrier.com.tr

FANLAR: ÖZELLİKLERİ ve ANALİZ

"Commercial HVAC Air-Handling Equipment Fans: Feature and Analysis", Carrier Technical Development Program, TDP-612, 2005

Fan Tipleri

Fan, hava debisi üretmek için kullanılan bir cihazdır. Fanlar genel olarak 2 tiptir: *Santrifüj ve Eksenel*.

Santrifüj (Merkezkaç, Radyal) Fanlar

Santrifüj fanlar kanat tasarımına göre sınıflandırılır. Konfor hava koşullandırmasında en fazla kullanılan santrifüj fanlar, *öne eğik kanatlı*, *geriye eğik kanatlı* ve *uçak kanatlı* (airfoil). Bu bölümde fanlar ve uygulamaları incelenecektir.



Şekil 1 -Santrifüj (radyal) fan



Şekil 2 – Hava toplama kutusu (Plenum) tipi fan



Şekil 3– Eksenel (aksiyal) fan

Hava, santrifüj fan pervanesinin bir ya da her iki tarafından emilir ve fan miline dik bir açı ile basılır. Santrifüj fan çarkı genellikle salyangoz (scroll) veya fan gövdesi adı verilen bir muhafaza ile çevrelenmiştir. Çarktan basılan hava, salyangozun çıkış ağzından geçerek dışarıya atılır. Bu muhafaza yalıtılmış bir kabin içine yerleştirildiği zaman klima santralinin fan bölümünü oluşturur.

Hava Toplama Kutusu (Plenum) Fanları

Santrifüj uçak kanatlı (airfoil) fanlar muhafazasız olarak bir kabin içine yerleştirildiği zaman "*plenum fan*" olarak adlandırılır. Plenum fanlar ilerde incelenecektir.

Eksenel Fanlar (Kanal Tipi, Aksiyal, In-Line)

Eksenel fanlarda hava, fan miline, santrifüj fanlardaki gibi dik açıda değil, paralel olarak akar ve dışarıya atılır. Eksenel fanlar *pervaneli*, *kovanlı tip* ve *yönlendirici kanatlı* olarak sınıflandırılır. Kovanlı ve yönlendirici kanatlı eksenel tip fanlara, boru biçiminde bir düzenlemeye sahip oldukları için "kanal tipi, in-line" da denir. Kanatlı ya da kovan tipi eksenel fanlar içeriye yerleştirilmiş fana doğrudan bağlantılı ya da dışarda boru kılıfına yerleştirilmiş motor ile çalıştırılabilir.

Bu bölümde aksel fanların iki tipi incelenecektir. Birincisi silindirik boru şeklindeki bir kanal içine yerleştirilen santrifüj çarklı fanıdır. Hava pervaneden basılır ve kanat boyunca akmadan önce kılıf içinde 90 derece döner.

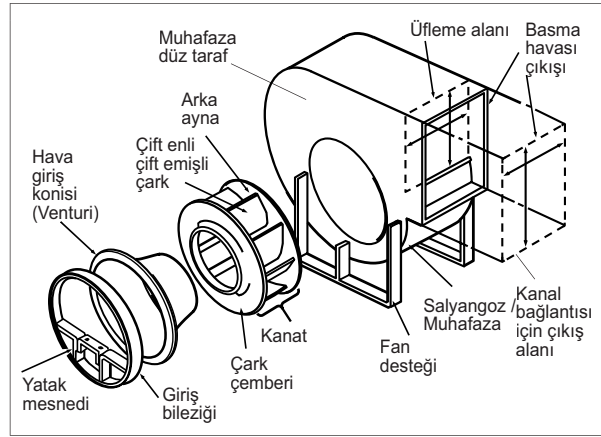
İkincisi santrifüj ve aksel tiplerin karışımıdır. *Karışık akışlı* fan adı verilir. Hava, dik açılı kanatlara sahip santrifüj tipte pervane ile atılır. Hava içinde fanın yer aldığı silindirik borudan çıkar.

Santrifüj Fanlar

Şekil 4'de çift enli çift emişli (kısaca çift emişli) fan sisteminin parçaları gösterilmiştir. Bu fan, aslında, iki tek emişli fanın yan yana getirilmesi ile oluşur. Bu nedenle çift hava girişi vardır. Ancak hava salyangozu tek çıkıştan terk eder. Tek emişli fanlar, genellikle fan motorunun hava akışının dışına monte edilmesi gereken yerlerde, örneğin havanın aşındırıcı özellikte olması gibi kullanılır. Çift emişli fanlar hava koşullandırma cihazlarında daha fazla kullanılır.

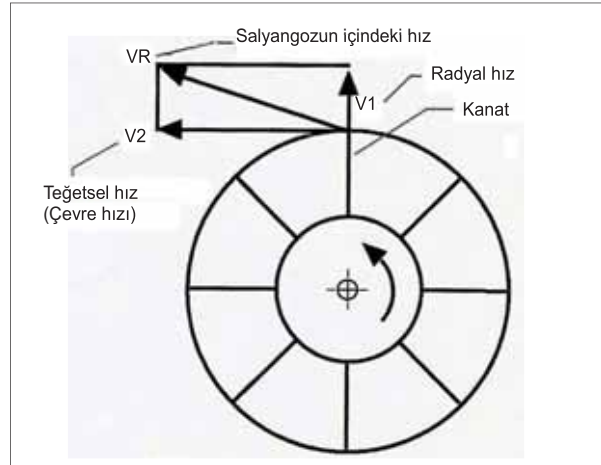
Fan sisteminde kullanılan ana parçalardan bazıları aşağıda açıklanmıştır:

- Yatak Mesnedi- Fan muhafazasının iki tarafında fan milini ve yatağını taşır.
- Giriş Bileziği- Yatak mesnedini fan muhafazasına bağlar.
- Giriş Konisi- Arkaya eğimli ve uçak kanatlı (aerofil) fanlarda aerodinamik giriş tasarımı ile fanın giriş kayıplarını azaltır.
- Çark/Pervane- Fan miline bağlı, birden çok sayıda fan kanatının olduğu çark. Pervane dönerek havayı girişten çıkışa doğru hareket ettirir.
- Kanatlar- çark göbeğine bağlı kanatlar havayı harekete zorlar. Kanatların tipi fanın kapasitesini ve uygulamalarını belirler.
- Çark Aynası ve Göbeği- Çark kanatlarını tutar ve fan çark sisteminin fan miline bağlanmasını sağlar.
- Fan Mili- Bir kayış kasnak sistemi ile motordan alınan dönme hareketini çarka ileterek onun dönmesini sağlar. Hassas işlenmiştir. Fan mili motora doğrudan bağlı da olabilir. Buna "doğrudan tahrikli" adı verilir.



Şekil 4 – Santrifüj fanın yapısı ve ana parçaları

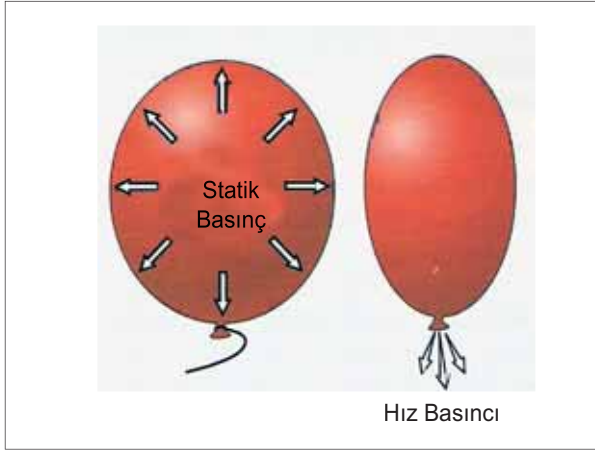
- Fan Muhafazası (Salyangoz)- Fana giren havayı fan çarkının girişinden çıkışına doğru yönlendirir. Aynı zamanda fan parçalarını taşır.
- Kısmi Plakası- Fanın istenen çıkış karakteristiğini ve performansını sağlamak için basınçlı alanın altında yerleştirilen plaka.
- Basınç Alanı- Kısmi plakasını üstünde bulunan, fan muhafazasından çıkan havanın basınçlandırıldığı alan.
- Fan Çıkışı- Fan muhafazasını çıkış kanalına bağlar.



Şekil 5 – Çark hız vektörleri

Çark Tasarımı

Şekil 5'de santrifüj fanlarda kullanılan düz kanatlı radyal bir çark gösterilmiştir. Düz kanatlı tasarım, fan kanatlarındaki hava hareketini vektörel olarak incelemek için seçilmiştir. Düz kanat tasarımlı santrifüj çark genellikle endüstride havayı taşımak için kullanılır. Daha sonra, hava koşullandırma uygulamalarında kullanılan bükülmüş fan tiplerinin hız vektör özellikleri incelenecektir. Bu vektör grafiklerinde "V1" çarkı terkeden radyal hız

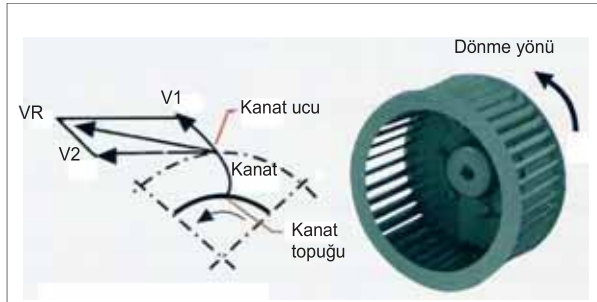


Şekil 6 – Statik ve hız basınçları

bileşenini, "V2" çarkı terkeden teğetsel hızı gösterir. V2 kanatın çevre hızına eşittir. V1 ve V2 vektörlerinin bileşeni "VR" hızı ise fan muhafazasının içindeki hızdır. VR vektörünün görelî uzunluğu kanat tasarımının ve çevre hızın bir fonksiyonudur. Çevre hızı fan dönüş hızının bir fonksiyonudur. Bazı çark tasarımları aynı hava akımını üretmek için diğerlerinden daha düşük hızda döndürülebilir. Örneğin, öne eğik kanatlar, uçak kanatlı (airflow) tiplerin aksine, çevre hızına bağlı olarak daha büyük VR üretir. Böylece, öne eğik kanatlar, uçak kanatlı (airflow) tiplerden daha düşük dönme hızında çalıştırılabilir.

Tüm fanlar için kullanılan çark tipi, giriş ve çıkış hava akımı arasındaki toplam basınç farkını oluşturur. Toplam basınç (P_T) artışı iki bileşenden oluşur. İlk bileşen kanatın profiline, sayısına, açısına ve fan pervanesinin/çarkının diğer aerodinamik özelliklerine bağlı olan statik basınçtır (P_s). Diğer bileşen, hava akımına verilen hız ya da kinetik enerjiden ötürü gelişen hız (dinamik) basıncıdır (P_v).

Statik basınç, kanal içinde tüm yönlerde yaratılan "patlama basıncı"dır. Hız basıncı hava akımı yönündeki basıncıdır.



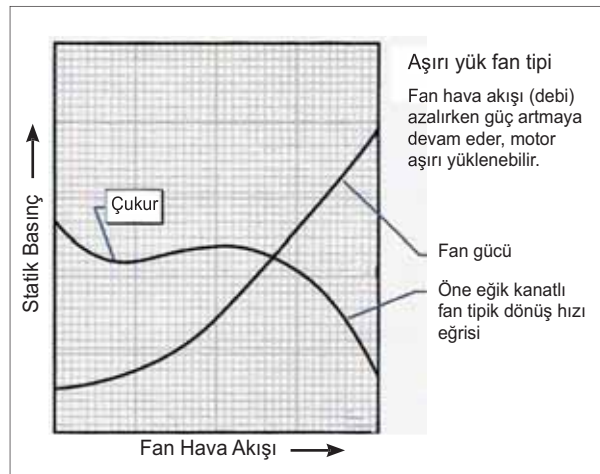
Özellikleri:

- Hava koşullandırma uygulamalarında en çok kullanılan çark
- Hafif – düşük maliyetli
- Statik basıncı 1250 Pa'a (125 mmss, 5 inwg) kadar olan uygulamalar için uygun
- 24 – 64 kanat

Şekil 7 – Öne eğik kanatlı fan çarkı

Öne Eğik Kanatlı Santrifüj Fanlar

Öne eğik kanatlı santrifüj fan üstündeki pervane kanatları Şekil 7'de görüldüğü gibi eğilimlidir. Çarkı terkeden havanın hızı (VR) kanatların çevre hızından (V2) daha büyüktür. Çevre hızı çarkın dönüş hızının bir fonksiyonudur. Bu pervane kanat tasarımı büyük VR'ye yol açtığından çarkın dönüş hızı azaltılabilir ve buna rağmen diğer kanat tasarımları ile karşılaştırılabilecek bir hız üretilebilir. Uçak kanadı tipi (airfoil) ve daha sonra incelenecek arkaya eğimli fan kanatlarının daha yüksek hızda döndürülmesi zorunludur. Verilen hava debisinde, öne eğimli fan kanadı, genellikle daha küçük çaplı çark çapı sağlar.



Şekil 8– Öne eğik kanatlı santrifüj fan karakteristikleri

Öne eğik kanatlı fan daha düşük hıza sahip olduğu ve daha düşük statik basınçta kullanıldığı için diğerlerinden daha hafif bir tasarımdır ve dolayısıyla daha ucuzdur. Fan çarkı, 24 ile 60 arasında, fazla derin olmayan öne eğimli kanata sahiptir. Bu fan öncelikle düşük basınçlı hava koşullandırma uygulamalarında kullanılır. Öne eğik kanatlı fanlar, statik basıncı 1250 Pa'a (125 mmss, 5 inwg) kadar olan uygulamalar için en iyi seçenektir.

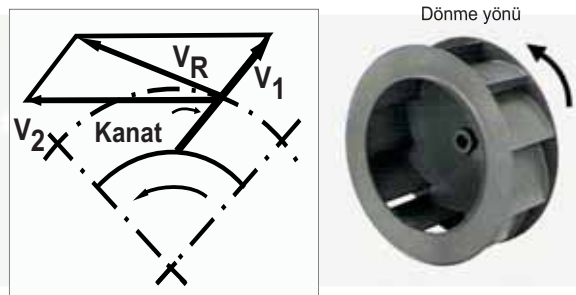
Not: Öne eğik kanatlı fan çarkı, görünümü nedeniyle "sincap kafesi -squirral cage" olarak da adlandırılır

Öne eğimli çark tasarımları, tüm santrifüj fan çarklarında olduğu gibi, temiz bir çevrede kullanılmalıdır. Tozlu ya da kirli ortamlarda fanın çalıştırılması fan çarkında dengesizliklere neden olur.

Öne eğik kanatlı santrifüj fanlar, fandan geçen hava akışı sabit hızda artarken aşırı yük gücü karakteristiğine sahiptir. Bu nedenle, öne eğik kanatlı santrifüj fanlara "aşırı yüklenilebilir fanlar" adı da verilir.

Öne eğik kanatlı fanların henüz tamamlanmamış bir bina da geçici ısı yükünü karşılamak için kullanılabilmesi aşırı yüklenme durumuna tipik bir örnek olarak verilebilir. Eğer kanal sisteminin yapımı bitirilmemişse, kanalın direnci tasarlanandan daha düşük olabilir ve fan gereksinden daha fazla hava verebilir, motor aşırı yüklenebilir.

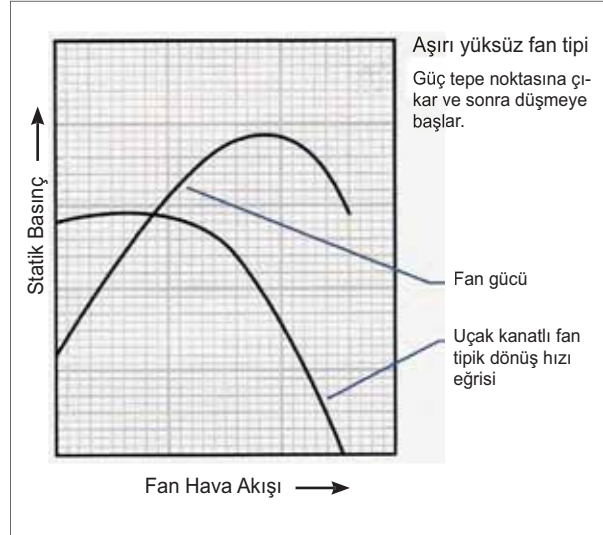
Öne eğimli çark kullanan fanın "Statik Basınç-Dönüş Hızı" grafiği oldukça düşük bir eğime ve aynı zamanda bir "çukur"a (dip) da sahiptir. Böylelikle, öne eğik kanatlı fanlar, fan karakteristik eğrileri daha dik eğimli olan ve çukuru olmayan uçak kanatlı (airfoil) ya da arkaya eğik kanatlı fanlardan kolaylıkla ayırt edilebilir. Öne eğik kanatlı santrifüj fan eğrisindeki çukur, tepe (peak) basıncının solundadır. Öne eğik kanatlı fan seçimi, kararsız fan çalışmasından kaçınmak için çukurun sağında yapılmalıdır.



Özellikleri:

- Kanatlar dönme yönüne ters eğimlidir
- Statik basıncı 2.500 Pa'a (250 mmss, 10 in.wg) kadar olan uygulamalar için uygun
- 8 – 18 kanat
- Yüksek hız (1.500 – 3.000 d/d)

Şekil 9 – Airofil çark tasarımı



Şekil 10– Uçak kanatlı (Airfoil) santrifüj fan karakteristikleri

Santrifüj Fan Muhafazası (Salyangoz)

Salyangoz şeklindeki aerodinamik muhafaza, çarktan gelen hız basıncının kanal sistemi için statik basınca dönüşümünü sağlar. Fan muhafazasının genişliği, fan çarkının "tek en tek giriş" (tek emişli) ya da "çift en çift giriş" (çift emişli) olmasına bağlı olarak değişir. Öne eğik kanatlı fanlar ile salyangoz tasarımı hız basıncının statik basınca dönüşümü için kritiktir ve giriş tasarımı ikincil bir öneme sahiptir.

Uçak Kanatlı (Airfoil) ve Arkaya Eğik Kanatlı Fanlar

Uçak kanatlı (airfoil) bir fan çarkı Şekil 9'da gösterilmiştir. Bu kanatların kesiti uçak kanatlarına benzediği için bu şekilde adlandırılır. Uçak kanatlı çarkların kanat kalınlığı öne eğik kanatlı ve arkaya eğik kanatlı fanların kanat kalınlıklarından farklıdır. Arkaya eğik kanatlı fan çarkının kanatları tek kalınlıktadır ve uçak kanatlıdan (airfoil) incedir. Arkaya eğik kanatlı fanların verimi uçak kanatlı fanlardan biraz düşüktür. Arkaya eğik kanatlı çarklar, dönme yönünde bükülmüş tek kalınlıklı kanatlara sahiptir. Uçak kanatlı (airfoil) ve arkaya eğik kanatlı fanlar santrifüj fanlar içinde en yüksek verimliliğine sahiptir.

Uçak kanatlı ve arkaya eğik kanatlı çarklarda, dönme yönünün tersine arkaya eğimli yaklaşık 8 ile 18 kanat bulunur. Bu nedenle hava, çarkı kanat çevre hızından (V2) daha düşük bir hız (VR) ile terkeder. Bu fanlar en yüksek çark hızına sahiptir. Uçak kanatlı çarklı fanlar, fanın boyutları ve üreticisine bağlı olarak 2.500 Pa (250 mmss) ya da daha yüksek statik basınçlara kadar çalışabilecek biçimde tasarlanır. Uçak kanatlı çarklı fanlar statik basıncın 1.250 Pa'dan (125 mmss, 10 in.wg) daha az olduğu durumlarda, öne eğik kanatlı santrifüj fanların en iyi çözüm olduğu yerlerde kullanılmaz.



Şekil 11– Plenum fan karakteristikleri

Uçak kanatlı fanlar, tipik olarak, yüksek statik basınca ihtiyaç duyulan sistemlerdeki büyük klima santrallerinde kullanılır. Daha yüksek statik basınçta ve daha yüksek hızlarda çalışacağı için, maliyeti ve ağırlığı etkileyen daha dayanıklı bir yapıya gerek vardır.

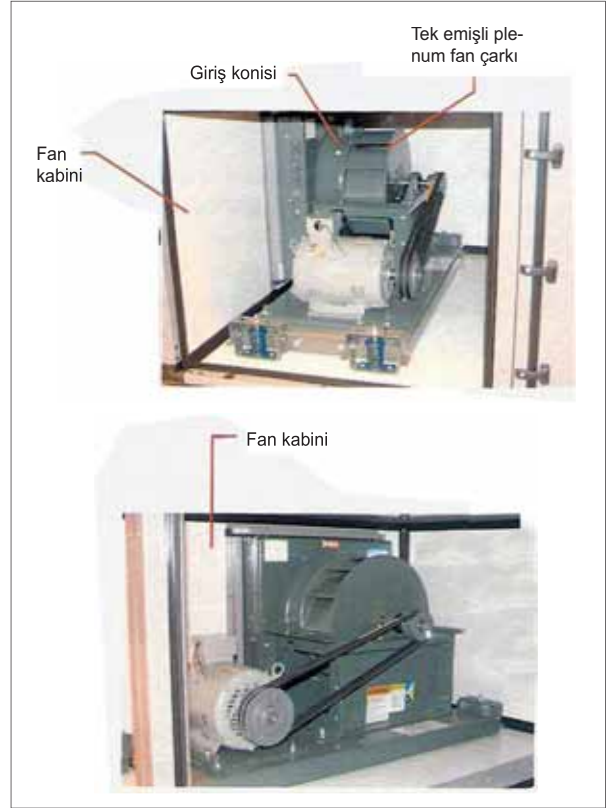
Arkaya eğik kanatlı ve uçak kanatlı fan çarklarının “aşırı yüklemesiz” özellikleri göz önünde bulundurulmalıdır. Çünkü, bu fanlar aynı çalışma hızında hemen hemen sabit güç tüketimine sahiptir. Bu nedenle bazı mühendisler seçim yapabilecekleri yerlerde, daha maliyetli olmasına rağmen öne eğik kanatlı santrifüj fanlar yerine uçak kanatlı fanları kullanmayı tercih ederler. Her iki tip fanın da kullanılabilmesi için uygulama alanlarında seçim ve karşılaştırma yapılırken dikkatli olunmalıdır.

Santrifüj Uçak Kanatlı ve Arkaya Eğik Kanatlı Fan Muhafazası

Uçak kanatlı ve arkaya eğik kanatlı santrifüj fan için muhafaza tasarımı, öne eğik kanatlı fan için tasarlanan muhafazaya benzer. Bununla birlikte, yüksek verim sağlamak için çark ile giriş arasındaki açıklığın az olması ve hizalama daha kritiktir.

Hava Toplama Kutusu (Plenum) Fanları

Hava toplama kutusu (kısaca “kutu”, “plenum”) fanlarında, her kanadın, çarkın konik girişine kesiksiz olarak kaynatıldığı, sertleştirilmiş çelikten yapılmış, aşırı yüklemesiz, tek emişli, merkezkaç (santrifüj) uçak kanatlı çark kullanır. Fan ve motoru basınçlandırılmış hava toplama kutusu (plenum) ya da kabin içinde muhafazasız



Şekil 12– Kabinli plenum fanlar

yerleştirilir. Bu tip fanlar hava toplama kutusunun dışına yerleştirilen bir motorla tahrik edilirse “plug fan” olarak adlandırılır. Merkezi klima santralinde hava toplama kutusu üretici tarafından sağlanan ünite kasasıdır. Kanal sistemi ara geçişler olmaksızın doğrudan hava toplama kutusuna bağlanır. Gerçekten plenum fanları hava toplama kutusunu fanın salyangozu gibi kullanır.

Plenum fanları havayı doğrudan pervanelerine ve çıkış kanalına göndermez. Fan içine yerleştirildiği hava toplama kutusunu basınçlandırır ve hava kutunun içine açılmış deliklerden dışarı atılır. Bu nedenle, fanın basma sesi hava toplama kutusunun içinde soğurur. Bu nedenle, plenum fan, ses açısından hassas olan uygulamalarda ideal bir seçimdir.

Tek emişli uçak kanatlı (airfoil) fanlarda çarka giriş konisinin tasarımı önemlidir. Gelişmiş bir koni tasarımı statik basıncın çark içinde verimli bir şekilde oluşmasını sağlar.

Plenum fanların yaygın kullanımının önemli bir nedeni de hava atış düzenlemelerinde esneklik yaratmasıdır. Plenum fanlar, klima santrali ve besleme kanal sistemi için makina dairesinde gerekli alanı azaltır.

Plenum fanlar, bağlanan tek kanal çıkışına havayı ivmelendirmek yerine klima santralinin hava toplama kutusunu basınçlandırılır. Sahada bağlanmış kanal havalandırmaları, alan kullanımında tasarruf ve besleme havasında düşük ses seviyesi sağlar. Sahada yapılan bağlantılardan oluşacak plenum hava atış kayıpları kanal sisteminin dış statik basıncına mutlaka eklenmelidir.



Pervane tipi çark

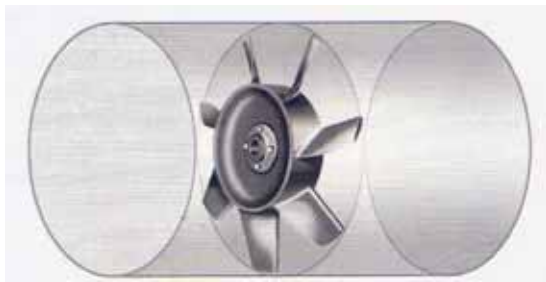
Özellikleri

- Yüksek hava debisi uygulamalarında kullanılır
- Kabinsiz olduğu için kanalda alan tasarrufu sağlar
- Genellikle endüstriyel hava koşullandırma ve havalandırma uygulamalarında kullanılır
- Pervanesi uçak pervanesine benzer, fakat kanatlar daha aerodinamiktir
- Genellikle hava koşullandırma uygulamalarında dönüş fanı olarak kullanılır

Şekil 13– Eksenel (kanal tipi) fanlar

Eksenel Fanlar

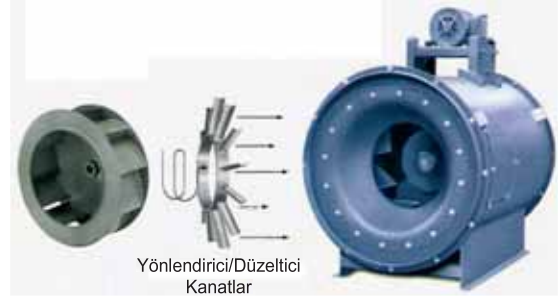
Yönlendirici kanatlı eksenel fanların tasarımı borulu eksenel fanlara benzer. Farklı olarak bu fanlar, havanın yeniden yönlendirilmesine yardım eden ve verimi artıran çıkışın üzerindeki yönlendirici kanatlara sahiptir. Bazı yönlendirici kanatlı eksenel fanların kanatları ayarlanabilir. Kanatların açısı statik basınca ve gerekli hava debisine bağlı olarak değişir. Kanat açısı el ile ya da otomatik olarak değiştirilebilir.



Eksenel Çark

- Hava akışı mile paraleldir
- Hava genellikle yönlendirici kanatlarla yeniden yönlendirilir

Şekil 14– Eksenel çark tasarımı



Yönlendirici/Düzeltilici Kanatlar

- Santrifüj çarkları nedeniyle verimli
- Hava çarktan çıktıktan sonra yönlendirici kanatlar vasıtasıyla düzeltilir.

Şekil 15. Borulu santrifüj kanal tipi (in-line) fan

Eksenel fan çarkının pervane tasarımı, kanatların daha fazla aerodinamik olması dışında pervaneye benzer.

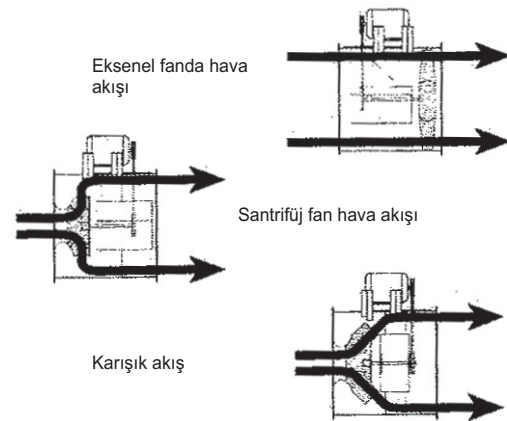
Eksenel fanlara genellikle "*kanal tipi*" ya da "*kovanlı*" fanlar da denir. Bununla birlikte, tüm kanal tipi ya da kovanlı fanlar geleneksel eksenel pervaneleri kullanmaz.

Örneğin, santrifüj çark kullanan kanal tipi fanın değişik bir tipi, "*kovanlı santrifüj*" olarak adlandırılır. Bu fan, santrifüj çark kullanıyor olmakla birlikte genel kovanlı eksenel fan tasarımına benzer. Bu nedenle bu tip fanlar, bu bölümde eksenel fanların içinde ele alınmıştır.

Santrifüj çarklı kanal tipi (kovanlı) fanlar muhafaza içine yerleştirilir ve eksenel yönlendirici kanatlı fanlarda olduğu gibi hava yönlendirici/doğrultucu kanatlar aracılığıyla dışarıya yönlendirilir. Kovanlı santrifüj fanlar, santrifüj çarkların verimliliğine sahiptir ve kanal tipi tasarımları nedeniyle yerden de kazandırır.

Karışık Akışlı Fan

Karışık akışlı fanlar, düşük ses seviyesi ve yüksek verimin önemli olduğu dönüş havası, besleme havası ya da genel havalandırma uygulamalarında kullanılır.



Şekil 16. Kanal tipi (In-line) fanlar ve hava akışları



- Hava çıkışı dikey değil açılı
- Yüksek verim, düşük ses seviyesi
- Çark düşük hıza göre tasarlandığı için yatak ömrü uzun
- Eksenel fanların yüksek hacim karakteristiğine sahip

Şekil 17. Karışık akışlı fan

Karışık akışlı çark tasarımı, eksenel ve kovanlı santrifüj fanların çalışma ilkelerinin birleşiminden oluşur. Karışık akışlı fan havayı içeri çeker ve daha doğrusal bir biçimde dışarı atar. Bu da sistemin daha verimli çalışmasını sağlar ve motor gücünü düşürür.

Karışık akış tasarımının diğer bir üstünlüğü de düşük ses seviyesidir. Karışık akışlı fanlar aynı miktardaki hava akışını sağlamak için daha düşük hızda çalışırlar. Düşük çark hızının sonucu olarak ses üretimi önemli ölçüde düşer.

Eksenel Fan Muhafaza Tasarımı (Kovan)

Eksenel fanların muhafazası silindirik bir borudur. Kovanlı eksenel ve yönlendirici kanatlı eksenel fanlarda kanat uçları ile boru ya da kovan duvarları arasında çok küçük bir açıklık vardır. Kovanlı santrifüj ve karışık akışlı fanlarda çark-duvar açıklığı çok önemli değildir. Çünkü, hava bu pervanelerden çıktıktan sonra kovanın çıkışında yönü döndürülür.

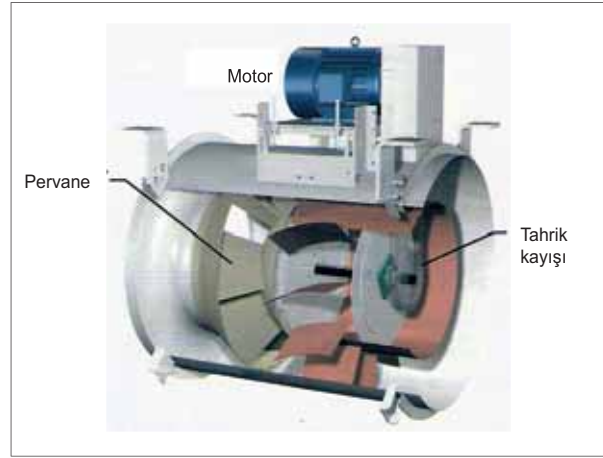
Eksenel fanın motoru kovan içinde doğrudan tahrikli ya da kovanın dışındaki kayış-kasnak tahrikli olabilir. Doğrudan tahrikte daha az parçaya gerek vardır. Çünkü, kasnak ve kayış yoktur. Aynı zamanda, tüm ünitenin boyutları, eşdeğeri olan kayış-kasnaklı modele göre daha küçüktür. Doğrudan tahrik sisteminde kovanın içindeki motor üzerinden akan hava tarafından soğutulur ve ısınma nedeniyle verim düşmesi olmaz.

Kayış-kasnak tahrikli ünitelerde kolay erişim ve servis için motor hava akışı dışına yerleştirilir. Aynı zamanda, sistemin hava akışı ayarları kasnakları kolaylıkla hareket ettirerek değiştirilebilir.

Havanın çıkış ses düzeyi kayış-kasnaklı modellerde daha azdır.



Şekil 18. Doğrudan tahrikli eksenel fan



Şekil 19. Kayış tahrikli eksenel fan

Yönlendirme kanatlı eksenel, kovanlı eksenel ve karışık akışlı fanlar değişken hava hacimli sistemler içinde kullanıldığında zaman "değişken frekanslı sürücü- VFD" ile kontrol edilir. Bir başka deyişle, giriş kanatlı damperleri ve/veya kontrol damperleri kullanılmaz. VFD kontrolün yaygınlaşmasıyla birlikte bu cihazların kullanımı da azalmaktadır.

AMCA Fan Sınıfları

AMCA (Air Movement and Control Association- Hava Hareketi ve Kontrol Birliği) fanların, damperlerin ve diğer klima santrali donanımlarının performans değerlerinin belirlendiği kamusal nitelikte uluslararası bir kuruluştur. AMCA, fan üreticilerinin sağladığı cihazların verim değerlerini doğrular.

AMCA tarafından yürütülen sekiz sertifika programı vardır. Bu bölümde hava ve ses performansları incelenecektir.

AMCA, santrifüj fanları tanımlı çalışma kriterlerine dayanarak üç performans/yapı sınıfına (I., II. ve III. Sınıf) ayırır. Her farklı sınıf fanın çalışacağı maksimum toplam basınca karşılık gelir.



Şekil 20. AMCA

AMCA Fan Sınıfları	Maksimum Sistem Statik Basıncı
I	1.000 Pa (100mmss, 4in.wg)
II	1.750 Pa (175mmss, 7 in.wg)
III	3.000 Pa (300mmss, 12 in.wg)

Şekil 21. AMCA fan sınıfları

Şekil 21'deki tabloda ve Şekil 22'deki diyagramda her fan sınıfı için maksimum basınç sınırlarını gösterilmiştir.

Fan yapısı sınıf değerleri, fan çıkış hava hızına ve sistemin toplam statik basıncına bağlıdır. Çoğunlukla fan çıkış hızları 13 – 15 m/s (2500-3000 ft/m) olarak tasarlanır.

Üreticiler üst sınıfa geçmek için farklı yöntemler kullanır. Bazıları sac masterını, mil çapını artırabilir, uç malzemesi ekleyebilir, malzemenin direncini değiştirebilir.

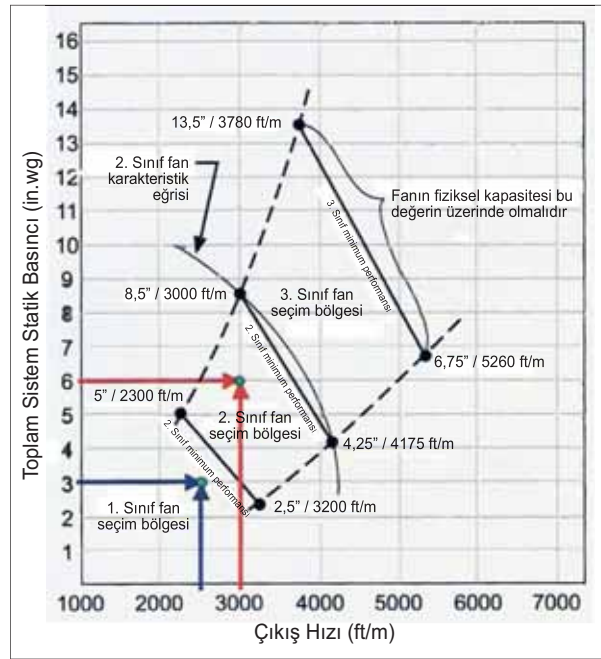
II. Sınıf bir fan I. Sınıf koşullarında çalıştırılırsa II. Sınıf koşullarda çalışmasından daha uzun süre çalışır.

II. Sınıf fanın II. Sınıf koşullarda çalışması I. Sınıf fanın I. Sınıf koşullarda çalışmasından daha uzun değildir.

Burada Şekil 22'deki diyagramı kullanarak fan sınıfının nasıl belirlendiğine ilişkin iki örnek verilmiştir.

Eğer fanın çıkış hızı 3000 ft/m (15 m/s) ve toplam sistem statik basıncı 6 in.wg (1500 Pa) ise çalışma koşulları AMCA II. Sınıf içindedir ve bu uygulama için II. Sınıf fan düşünülmelidir.

Eğer fan çıkış hızı 2500 ft/m (13 m/s) ve toplam sistem statik basıncı 3 in.wg (750 Pa) ise çalışma koşulları AMCA I. Sınıf içindedir ve bu uygulama için I.Sınıf fan kullanılabilir.



Şekil 22. AMCA santrifüj fan yapı sınıfları

Performans Oranları ve Statik Verimlilik

Hava koşullandırma uygulamalarındaki santrifüj fanların değerleri için kullanılan en eski yöntemlerden biri çok-verili (multi-rating) tablodur. Tipik bir çok verili tablo çark hızını (d/d), fren gücünü (bhp), fanın farklı birleşimleri için hava debisini (f^3/m), çıkış hızını (ft/m) ve statik basıncı (sp) gösterir.

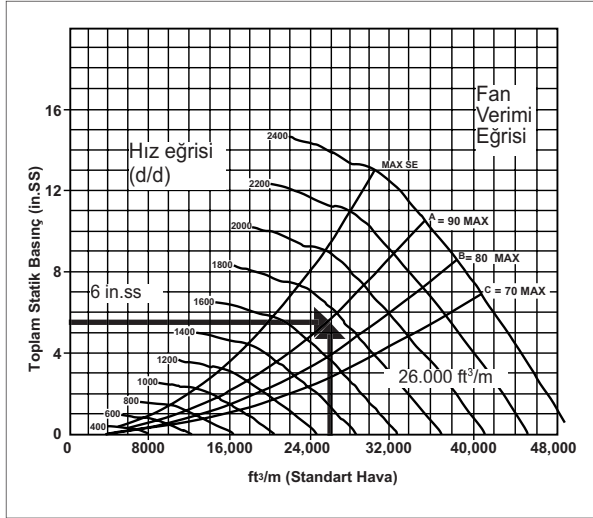
Çok verili tabloların bir eksikliği fan hızı gibi özel değerleri bulmak için enterpolasyona sıklıkla ihtiyaç duyulmasıdır. Bu tip liste halindeki veriler kullanıcıya fan karakteristiğinin, performansının ya da veriminin grafiksel açılımını göstermez.

Çok verili tablolara tercih edilen bir alternatif fan eğrileridir. Şekil 24' te fan eğrisi örneği verilmiştir. Yatay ekseninde hava debisi (f^3/m), düşey ekseninde statik basınç (in.wg) gösterilmiştir. İstenen iki değer kesişim noktasında fan hızı hız eğrilerinden okunabilir.

Örnek olarak 26000 f^3/m (12,3 m/s) ve 6 in.wg (1500 Pa) statik basınç 1800 d/d fan hızını gerektirir.

VOL	VEL	1/4" SP	3/8" SP	1/2" SP	5/8" SP	3"				
8032	800	391	0.36	431	0.48	471	0.60	515	0.76	557
7450	1000	448	0.52	484	0.68	517	0.82	549	0.98	580
9048	1200	508	0.74	541	0.92	571	1.11	600	1.29	627
10596	1400	573	1.02	601	1.23	629	1.44	655	1.66	681
12064	1600	639	1.38	664	1.61	689	1.85	713	2.10	736
13572	1800	706	1.82	729	2.08	752	2.35	774	2.62	790
15080	2000	774	2.36	796	2.65	816	2.94	836	3.24	856
16588	2200	843	3.01	863	3.33	882	3.65	901	3.97	919
18096	2400	913	3.78	931	4.12	949	4.47	966	4.82	982
19604	2600	982	4.67	999	5.00	1017	5.36	1033	5.70	1048

Şekil 23. Santrifüj Fan Çok Verili Tablo



Şekil 24. Santrifüj fan eğri örnekleri

Fren gücü bu diyagramda gösterilmeyen bir başka eğri üzerinde gösterilir.

Eğrileri seçmenin birkaç avantajı vardır. Statik verimlilik eğrileri bulunabilir. Maksimum statik verimlilik yüzde olarak ölçülür. Bu değer fanın en verimli çalışma aralığını belirler, verimliliğin gerçek değerini göstermez. Bu örnekte, C eğrisinin altında gerçek statik verimlilik kabul edilebilir performans sınırlarının altına düşer.

Örnekteki 26000 f³/mve 6 in.wg noktası %90 statik verim eğrisine denk gelir. Bu verimli bir çalışma noktasıdır.

Hava koşullandırma sisteminde fan tipi seçilirken amaç, kararlı bir seçim yapılırken enerji girişini de düşük tutmaktır.

Santrifüj fanları içinde öne eğik kanatlı fan yaklaşık %65-70 verim ile en düşük statik verimliliğe sahiptir. Geriye eğik kanatlı fanın statik verimi %75-80'dir.

Geriye eğik kanatlı fan tasarımını yeniden düzenlenmesiyle elde edilen uçak kanatlı (airfoil) fan, yaklaşık %80-85 statik verimliliğe sahiptir.

Fan Kanunları

Fan kanunları herhangi bir çalışma koşulunda fan performansını belirleyebilen bir seri denklemdir. Öte yandan, fan kanunlarını kullanmak için başlangıç noktası olarak çalışmanın herhangi bir koşulunun bilinmesi gerekir.

Fan kanunları ile, hava debisi, statik hız ya da toplam basınç, değişik hava yoğunluğu ve fan hızlarında gereken fren gücünü ön görülebilir.

Hava koşullandırma sistem tasarımcıları genellikle belirli bir kanal sistemi içinde çalışan belirli bir fanın hareket şeklini bilmek isterler.

Bu koşullar altında burada belirtilen fan kanunları kullanılabilir.

Fan kanunları aşağıdaki gibi basitleştirilebilir:

- Hava debisi fan devri ile doğru orantılı olarak,
- Statik basınç fan devrinin karesi ile doğru orantılı olarak,
- Fren gücü fan devrinin küpü ile doğru orantılı olarak DEĞİŞİR.

Şekil 25. Üç ana fan kanunu

1. Fan Kanunu:

Hava debisi fan devri ile doğru orantılıdır.

Q = Hava (debi) (ft³/m veya m³/s)

N = Fan devri (devir/dakika)

P = Toplam/Statik basınç

Hp = Fan güç girdisi

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2} \longrightarrow N_2 = N_1 \times \left[\frac{Q_2}{Q_1} \right]$$

2. Fan Kanunu:

Toplam sistem statik basıncı fan devrinin karesi ile orantılıdır.

$$\frac{P_1}{P_2} = \left[\frac{N_1}{N_2} \right]^2 = \left[\frac{Q_1}{Q_2} \right]^2 \longrightarrow P_2 = P_1 \times \left[\frac{N_2}{N_1} \right]^2$$

3. Fan Kanunu:

Fren gücü fan devrinin küpü ile orantılıdır.

$$\frac{Hp_1}{Hp_2} = \left[\frac{N_1}{N_2} \right]^3 = \left[\frac{Q_1}{Q_2} \right]^3 \longrightarrow Hp_2 = Hp_1 \times \left[\frac{N_2}{N_1} \right]^3$$

Hava Yoğunluğunun Etkileri

Sabit fan devrinde, fan havanın yoğunluğuna bağlı olmaksızın aynı miktarda sabit bir hava debisi sağlar; sabit bir yer değiştirme işlemi yapar.

Fanlar standart hava koşullarına göre sınıflandırılır. Standart havanın yoğunluğu 0.075lb/ft³dür (1,2 kg/m³). Bu yoğunluk 69,8 F (21°C) ve 29,92 in Hg (1013,2 mbar ya da 14,696 psia) barometrik basınçtaki kuru havanın yoğunluğuna eşittir.

Örneğin, bir fan standart hava koşullarında 5.000 ft³/m (2,4 m³/s) hava debisi sağlıyorsa, aynı hızda, 200 F'da (93°C) da 5.000 ft³/m (2,4 m³/s) hava debisi sağlar. Öte yandan, 200 F'da (93°C) havanın yoğunluğu 69,8 F'daki standart hava yoğunluğunun %80'idir. Bu nedenle, 200 F'da (93°C) aynı miktarda havayı hareket ettirmek için standart koşullardaki gücün %80'ni gerektirir.

	70	100	200	300
0	1.000	.946	.803	.697
1000	.964	.912	.774	.672
2000	.930	.880	.747	.648
3000	.896	.848	.720	.624
4000	.864	.818	.694	.604
5000	.832	.787	.668	.580
6000	.801	.758	.643	.558
7000	.772	.730	.620	.538

Şekil 26. Hava Yoğunluk Faktörleri

200 F'daki (93°C) havanın kütle akışı 69,8 F'daki (21°C) havanın kütle akışının yalnızca %80'i (Şekil 26'daki Hava Yoğunluk Faktörü tablosundan 0,801) olduğu için, fan hız ve statik basınçın yalnızca %80'nini üretebilir. Statik basınçtaki azalma güç ile orantılı olduğu için, fanın statik verimi değişmeyecektir. Yukarıda gösterildiği gibi, deniz seviyesinden 6.000 ft (1.800 m) yükseklikte, 69,8 F'daki (21°C) havanın yoğunluğu standart hava yoğunluğunun yaklaşık olarak %80'idir (tabloda 0,801). Bu yükseklikteki fan performansı, deniz seviyesinde 200 F'daki (93°C) havanın koşullandırması ile aynıdır.

Fan tasarımcılarının fanların temel karakteristiklerini anlaması önemlidir. İhtiyaç duyulan hava akımı bilindiğinde (yeniden dolaşım ya da dışarıya atma) sistemi standart hava koşullarında değerlendirmek en iyi yoldur. Fandan geçen havanın yoğunluğu standart hava yoğunluğundaki fan ölçüm değerinden belirgin olarak saptığında ihtiyaç duyulan kütle akışının sağlanması için sistemde gerekli düzeltmeler yapılabilir.

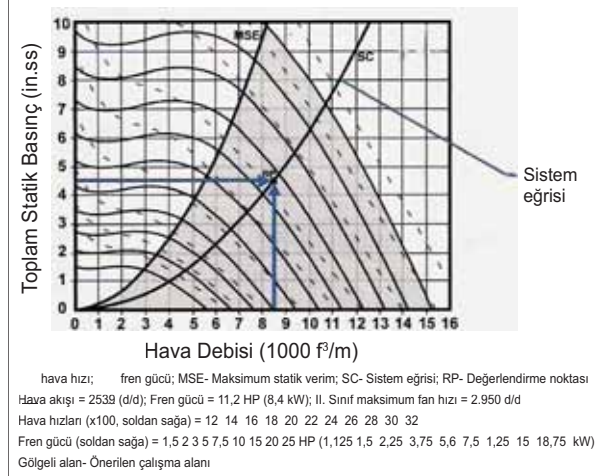
Diğer Fan Kanunları

Havanın yoğunluğunda yükseklik ya da sıcaklık nedeniyle düzeltme yapıldığında uygulanacak ek fan kanunları bu bölümün sonunda açıklanmıştır.

Örnek: Fan Kanunlarının Kullanımı

Bir huzur evine monte edilen 8.500 ft³/m (4 m³/s) kapasiteli klima santrali için kanal statik direnci 2,5 in.ss (620 Pa) olarak değerlendirilmiştir. Filtre direnci 0,5 in.ss (125 Pa), soğutma serpantin direnci 1,1 in.wg (275 Pa), ve ısıtma serpantin direnci 4,5 in.ss'dir (1,1 Pa). Uçak kanatlı (airfoil) santrifüj fan seçilmiştir. Fanın karakteristik eğrisi Şekil 27'deki gibidir. Eğriden fan hızı 2,539 d/d ve fren gücü 11,2 HP'dir (278 kW).

Kanal sisteminin montajı sırasında tavanın asma tavadan daha estetik olması nedeniyle lamel tavana değiştirmeye karar verilmiştir. Buna göre besleme kanalının statik direncini 0,75 in.ss (185 Pa) yükselten dört tane daha dirsek ve diğer kanal elemanlarının besleme ve dönüş kanal sistemine eklenmesini gerekecektir. Yeni toplam statik basınç 5,25 in.ss (1.300 Pa) olacaktır. Fan



Şekil 27. Örnek fan karakteristik eğrisi

kanunlarını kullanarak yeni fanın dönüş hızı ve motor gücü aşağıdaki gibi belirlenir:

İkinci fan kanunu kullanılarak yeni hız bulunur:

$$N_1 = \text{Verilen fan hızı}; N_2 = \text{Aranan fan hızı (d/d)}$$

$$P_1 = \text{Verilen toplam basınç}; P_2 = \text{Aranan toplam basınç (inss / Pa)}$$

$$Hp_1 = \text{Verilen fan gücü}; Hp_2 = \text{Aranan fan gücü (HP / kW)}$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \left[\frac{N_1}{N_2} \right]^2 \rightarrow \sqrt{\frac{P_1}{P_2}} = \frac{N_1}{N_2} \rightarrow N_2 = N_1 \times \sqrt{\frac{P_2}{P_1}}$$

$$N_2 = 2539 \times \sqrt{\frac{5,25}{4,5}} \rightarrow N_2 = 2742 \text{ d/d}$$

Üçüncü fan kanunu kullanılarak yeni motor gücü bulunur:

$$\frac{Hp_1}{Hp_2} = \left[\frac{N_1}{N_2} \right]^3 \rightarrow Hp_2 = Hp_1 \times \left[\frac{N_2}{N_1} \right]^3$$

$$Hp_2 = 11,2 \times \left[\frac{2742}{2539} \right]^3 \rightarrow Hp_2 = 14,1 \text{ HP}$$

Yeni fan hızı ve fan gücü hesaplandıktan sonra fanın ya da motorun kapasitesinin aşılmadığının bilinmesi gerekir. II. Sınıf fanların maksimum fan hızı 2.950 d/d olduğuna göre yeni hız ($N_2 = 2.742 \text{ d/d}$) seçim sınırları içindedir. Orijinal fan seçiminde fan gücü 11,2 HP gerektirdiği için 15 HP motor seçilmesi gerekir. Yeni beygir gücü ihtiyacı 14,1 BG olarak bulunduğu için motor değiştirilmez.

Analiz bir adım daha ileriye götürülürse, tavan değişimi nedeniyle ek enerji maliyetinin araştırılması gerekir. Bunun için örnekteki gerekli veriler aşağıdaki gibidir:

Günlük çalışma süresi:	18 saat
Çalışma günü:	365 gün
Ek motor gücü:	2,9 HP
Motor verimliliği:	% 92
Elektrik ücreti:	0,10435 USD/kWs

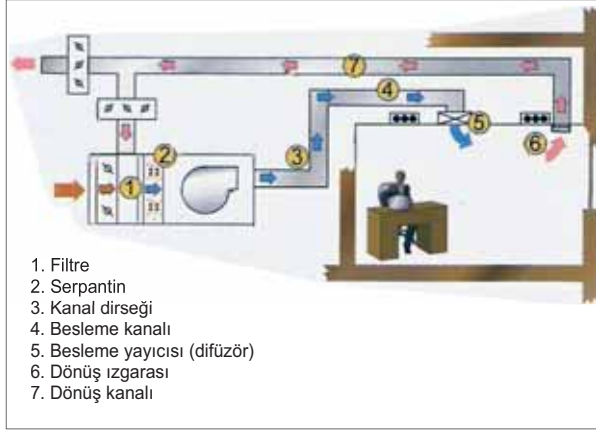
$$\text{Ek maliyet} = \frac{18 \text{ saat} \times 365 \times 2,9 \text{ HP} \times 0,746 \text{ kW/HP} \times 0,10435}{0,92}$$

$$\text{Yıllık ek enerji maliyeti} = 1.612 \text{ USD}$$

Sistem Eğrisi, Fan İstikrarı, Sistem Etkisi

Sistem Eğrisi

Basit bir hava sistemi, kanal sistemi ile girişe ya da çıkışa ya da her ikisine bağlı olan bir fandan oluşur. Daha karmaşık bir sistem ise bir fan, besleme ve dönüş kanalı, soğutma ve/veya ısıtma serpantinleri, filtreler, hava karıştırıcılar, karışım kutuları, yayıcılar (difüzör), alanlama terminalleri, damperler, susturucular gibi elemanlardan oluşur. Fanın işlevi, tüm sistem bileşenlerinin hava akışına direncini dengelemek ve üzerine hava akımı için gerekli enerjiyi sağlamaktır.



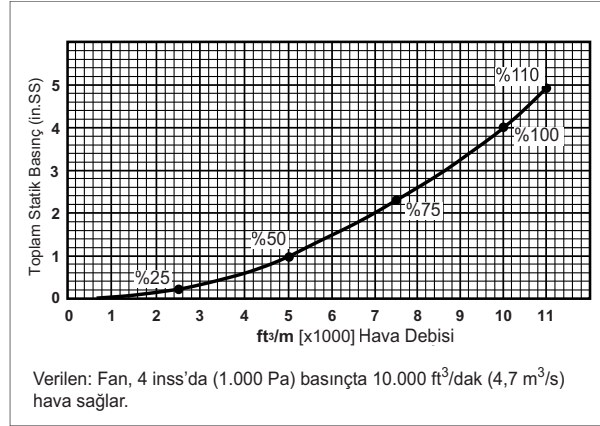
Şekil 29. Direnç gösteren sistem bileşenleri

Sistem bileşenlerinin üreticileri genellikle bağımsız bileşenlerin basınç kaybı ya da akış kaybı bilgilerini verir. Buna ek olarak, kanal sisteminin basınç kayıpları da mutlaka belirlenmelidir. Kanal direncini hesaplamak için gerekli bilgiler kanal tasarımına ilişkin esasları açıklayan kaynaklarda bulunabilir. Bu bölümde, bu elemanların son fan verimine etkilerini değerlendirmek için tasarımcıya yardımcı olacak saha bağlantılarının etkileri tartışılacaktır. Bu dirençlerin toplamı "fan toplam statik basınç"ı oluşturur.

Sistem eğrisi fanın yerleştirileceği kanal sisteminin basınç özelliklerine karşın akış debisini tanımlar. Uygulamaların çoğunda, hava akışı ile sistemin basınç ilişkisi "kanal kanunu" denilen denklem tarafından belirlenir. Bu noktada "ikinci fan kanunu"nu hatırlayalım.

$$\frac{P_1}{P_2} = \left[\frac{N_1}{N_2} \right]^2 = \left[\frac{Q_1}{Q_2} \right]^2 \longrightarrow P_2 = P_1 \times \left[\frac{N_2}{N_1} \right]^2$$

Sistem tasarımcıları önce bir hava akışı için toplam sistem statik basınç kaybını (P_s) belirler, bundan sonra herhangi bir akışa karşılık gelen basınç kaybını hesaplamak kolay olur. Sistem eğrisi fan üreticisi tarafından verilen fan verim eğrisi üzerinde yoktur ve belirlenmesi sistem tasarımcısına bırakılmıştır.



Şekil 30. Sistem eğrisi

Fan belli bir hızda çalışırken sistem eğrisi boyunca sonsuz sayıda çalışma noktasına sahip olur. Tek bir çalışma noktasını belirlemek için fan hız doğrusu ile kesiştirmek gerekir. Sistem eğrisi ile fan eğrisi kesiştiği zaman tek bir çalışma noktası bulunur.

Örnek: Sistem Eğrisi

Fanın, 4 in. ss (1.000 Pa) toplam statik basınca karşı 10.000 ft³/dak (4,7 m³/s) hava taşıdığını varsayalım.

%110, %75, %50 ve %25 hava akışlarında kanal sisteminin statik basınç direncini bulmak için fan ikinci kanunundan yararlanılır:

$$P_2 = P_1 \times \left[\frac{N_2}{N_1} \right]^2$$

%110 hava akışında (11.000 ft³/dak (5,2 m³/s):

$$P_2 = 4,0 \times \left[\frac{11.000}{10.000} \right]^2 = 4,0 \times (1,21) = 4,84 \text{ inss (1,2 kPa)}$$

%75 hava akışında (7.500 ft³/dak (3,5 m³/s):

$$P_2 = 4,0 \times \left[\frac{7.500}{10.000} \right]^2 = 4,0 \times (0,5625) = 2,25 \text{ inss (0,56 kPa)}$$

%50 hava akışında (5.000 ft³/dak (2,35 m³/s):

$$P_2 = 4,0 \times \left[\frac{5.000}{10.000} \right]^2 = 4,0 \times (0,25) = 1,0 \text{ inss (0,25 kPa)}$$

%25 hava akışında (2.000 ft³/dak (2,35 m³/s):

$$P_2 = 4,0 \times \left[\frac{2.500}{10.000} \right]^2 = 4,0 \times (0,0625) = 0,25 \text{ inss (0,06 kPa)}$$

Fanlar birbiriyle aynı üretildiği ve aynı hava akışına sahip olmadığı sürece fanların sistem eğrileri birbirine benzemez.

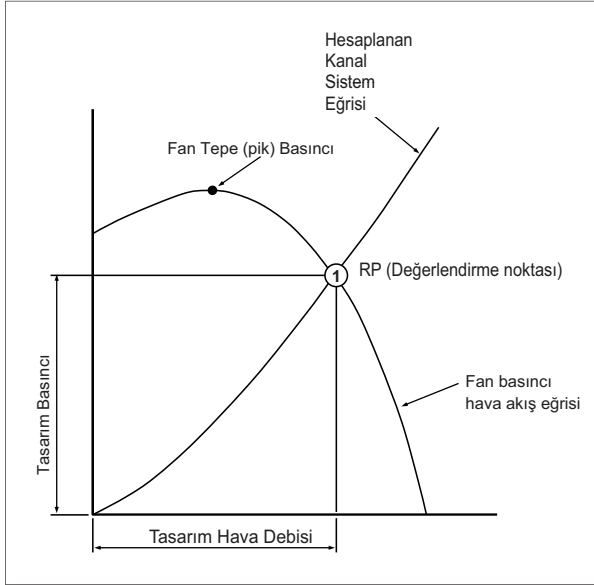
Sistem Eğrileri

Statik verim eğrilerine benzemesine rağmen birbirlerinden tamamen farklı kavramlardır ve her ikisi de fan sistem analizinde çok yararlıdır.

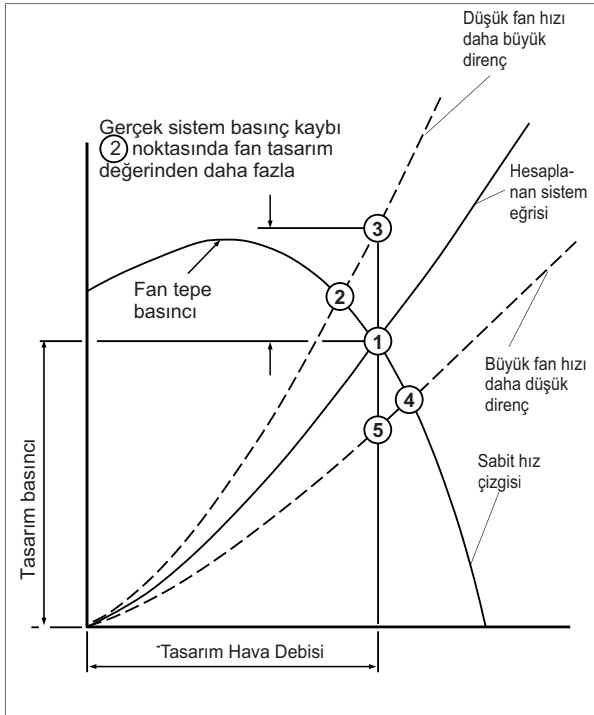
Sistem Eğrisinin Kullanımı

Hesaplanmış sistem eğrisi ve fan basınç hava akışı eğrisinin (hız çizgisi) kesişimi değerlendirme noktasıdır (RP) (Şekil 31). Sonuçta fan akışı ve basınç grafikten okunabilir.

Öte yandan, gerçekte, sistem eğrisi içinde gösterilen kanal sistemi ve diğer etkenlerin direnci (nokta nokta gösterilen doğrular) tahmin edilenden daha az ya da daha büyük olabilir (Şekil 32).



Şekil 31. Sistem eğrisi ve fan hızının kesişme noktası



Şekil 32. Hesaplanan sistem eğrisindeki değişimler

Şekil 31'de kanal sisteminin tahmin edilenden daha büyük dirence sahip olduğu bir durum gösterilmiştir. Hesaplanan çalışma noktası ① noktasıdır. Öte yandan, aynı fan hızında ve daha büyük statik basınçta fan ② noktasında çalışır. Daha yüksek statik basınçta tasarım hava akışı elde etmek için fanın hızını arttırmak gerekir ve böylece fan ③ noktasında çalışır. ② noktasında hava miktarının tasarımın %90'ı olduğu varsayıldığında fan hızını %10 arttırmak gerekir. Bu da "Üçüncü Fan Kanunu"na göre fan gücünde büyük bir artışla sonuçlanır. Eğer fan motoru nominal gücünde çalıştırılırsa daha büyük bir motorla değiştirilmesi gerekecektir.

Sistem tasarımcıları sistem hatalı ya da eksik tahmin edilen statik basınç kayıplarını karşılamak için bir "güvenlik faktörü" eklenir. Eğer sonuçta sistem direnci tahmin edilenden daha az ise, fan ④ noktasında çalışır. Bu durumda fan daha düşük verimle çalışabilir ve tasarım akışından daha fazla beygir gücü gerekebilir. Bu durumda, fan hızı, fan ⑤ noktasında çalışacak şekilde azaltılır.

Fan Dengesi

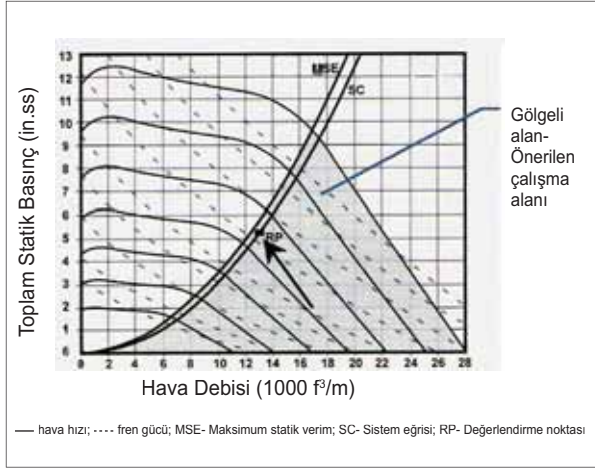
Fan dengesini incelemek için, önce fanın dengesizliğine neden olabilecek etkenleri değerlendirmek yararlıdır. Fan dengesizliği hava akışı türbülans koşulları nedeniyle aniden arttığı zaman oluşur. Fanda türbülans hava akışı iki nedenle oluşur.

Birinci neden fanın çıkışında yanlış kanal bağlantısıdır. Bu durumda fanın kısma plakası alanında türbülans oluşur.

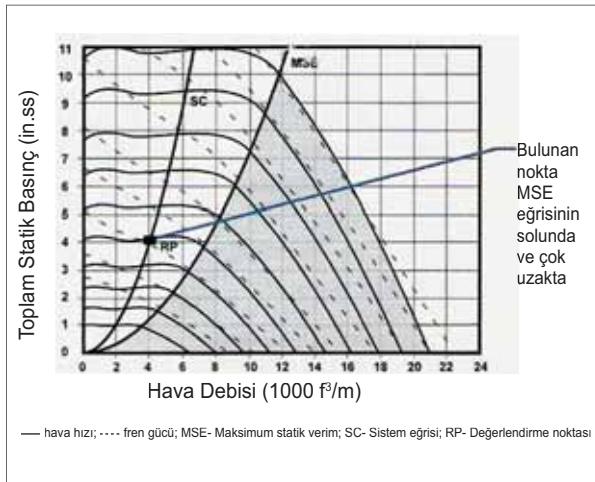
İkinci neden fanın doğal denge bölgesi dışında seçilmesidir. Eğer bir fan maksimum statik verim doğrusunun solundan çok uzakta çalıştırılırsa fan kanatlarının arasından düzensiz bir akış olur. Fan, bu düşük hava akışı ve yüksek statik basınç koşullarında dengeli akışı sağlayamaz. Bu durumda türbülans kanat bölümünde oluşur.

Dengesizlikten kaçınmak için, fanı seçerken maksimum verim noktasına yakın sabit bir hava haciminde çalışabilecek özellikte olmasına dikkat edilmelidir. Değişken hava hacimli sistemlerde ise, fanlar tasarım çalışma noktası için maksimum verim eğrisinin sağında seçilmelidir. Değişken hava hacimli sistemlerde fanlar çalışma saatlerinin çoğunu kısmi yükte harcadığı için bu yaklaşımla fan en verimli şekilde çalıştırılır ve fan çalışmasının denge bölgesinin soluna kaymamasına yardım eder.

Uygun olmayan seçim ve montaj durumunda klima santrali içindeki fandan gürültü gelir ve titreşim oluşur. Şekil 34'de maksimum verim çizgisinin solunda, önerilen çalışma alanının dışında seçildiği için dengesiz çalışan bir fan örneği verilmiştir. Kısmi yükte fan dengesi için daha ayrıntılı bilgi "Değişken Hava Hacimli Sistemler" ile ilgili kaynaklarda bulunabilir.



Şekil 33. Fan dengesi- Doğru seçim



Şekil 33. Fan dengesi- Kötü seçim

Sistem Etkisi

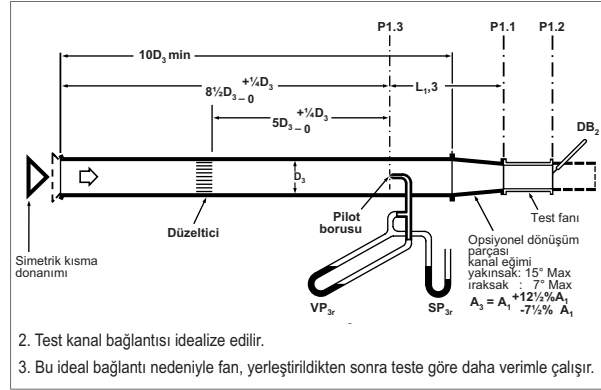
Eğer kağıt üzerinde söylenen fan değerleri ile sahada gerçekleşen değerler arasında bir fark varsa bunun nedeni sistem etkisine bağlanabilir. Sistem etkisi, kanal sistemi içinde fan verimi ve ilgili test, ayarlama ve dengeleme işlerini etkileyen koşullara işaret eder. Sistem etkisi, genellikle, kanal sistemi bağlantısının fan verimi üzerindeki etkisi incelendikten sonra belirlenebilir.

Başarılı bir fan seçimi yapabilmek için sistem etkisinin doğru olarak ön görülmesi gerekir.

Fan Test İstasyonu

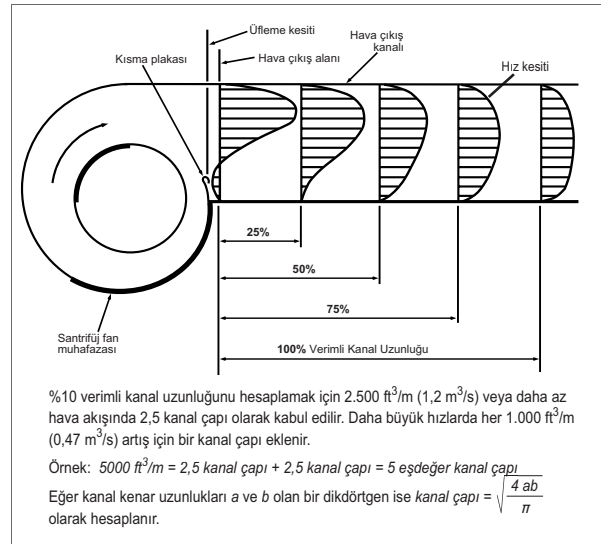
Amerika ve Kanada'da üreticilerin çoğunluğu fan performans testlerini en son AMCA standartları ile uyum içinde yapar.

AMCA test işlem sırasını ve standart fan test koşullarını belirlemiştir. Testler bu standartlara göre yapılır. Böylece farklı üreticilerden sağlanan fan değerlerinin aynı ilkelerle değerlendirildiği için birbirleriyle karşılaştırılmalarına olanak sağlanır.



Şekil 35. İdeal fan test istasyonu

Genel olarak, giriş kanalına yerleştirilen fan test kurulumu Şekil 34'te gösterilmiştir. Santrifüj fanlar AMCA tarafından belirlenmiş tahliye kanalı ile test edilir. Fanın kanal bağlantısı doğru, tutarlı ve maksimum fan verimini sağlamak için idealleştirilir. Bu ideal giriş kanal bağlantısından farklı bir fan bağlantısında teste sağlanan verim gerçekleşmez. Sistem etkisi fan verimini düşürür.



Şekil 36. Fan çıkış hızı profili

Fan Hız Profili

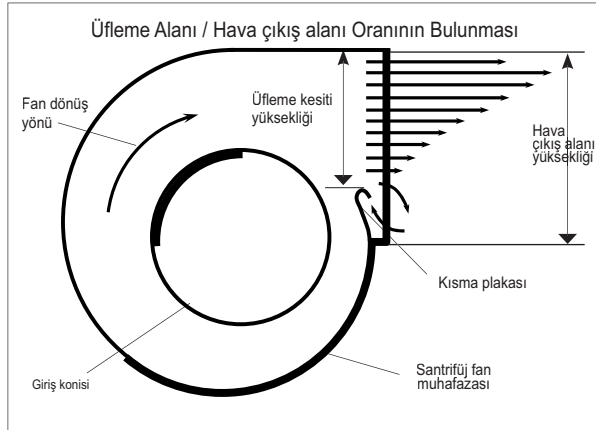
Fanın çıkışında hız profili türdeş (homojen) değildir. Hava fan muhafazasının dış bölümünü, hava çıkış alanının üst kısmında yüksek hızlar ve alt kısmında daha düşük hızlar sağlayarak tümüyle doldurmak eğilimindedir. Daha türdeş hava hızı profili oluşturmak için fanın çıkışında kanalın düz bir bölüme sahip olması gerekir. %100 etkili kanal boyu kanal çapının minimum 2,5 katı olarak kabul edilir. Türdeş hız profili %100 etkili kanal uzunluğunda ve AMCA standart test kurulumunda oluşturulur. Fandan çıkış kanalında düz bir bölümün olmaması hava türbülansının oluşması ve fan performans kaybı ile sonuçlanacaktır.

Çıkış Kanallarına Geçiş

Kanal sistemin ilk bölümünü fan çıkışından ana kanal boyutlarına geçiş oluşturur. Bu geçişin, fan kayıplarını azaltmak için AMCA kurallarına uygun olması gerekir. Çıkış kanal alanı fan çıkış alanının %87,5'inden daha az ya da %107,5'inden daha fazla olmamalıdır. Bundan başka, geçiş eğimi yakınsak (converging) kanal için 15 dereceden daha çok ya da ıraksak (diverging) kanal için 7 dereceden daha fazla olmamalıdır (Şekil 35).

Türdeş (homojen) kanal hızının %100 verimli hava yayılım bölgesi olarak, ilk geçiş bölümü artı ana kanal bölümünde, 2.500 ft/m (13 m/s) kanal hızında ilk geçiş bölümünün uzunluğu kanal çapının en az iki katı, ana kanal bölümünün uzunluğu kanal çapının 1,5 katı olarak kabul edilir. %100 verimli hava yayılım bölgesinin uzunluğu bu iki uzunluğun toplamıdır.

2.500 ft/m'den (13 m/s) büyük hızlarda, %100 verimli hava yayılım uzunluğuna, her 1.000 ft/m (5 m/s) hız için bir kanal çapı eklenir. Dörtgen bir kanal için %100 verimli hava yayılım uzunluğunun hesaplanması için Bkz. Şekil 35 açıklamaları.



Şekil 37. 1. Adım- Fan çıkış düzenlemelerinin belirlenmesi

Kayıplar – Çıkış Kanalları

Fanın test edildiği kanal sisteminin aynısını tasarlamak neredeyse imkansız olduğundan, sistem etki faktörü belirlenmeli ve beklenen direnç kayıplarına eklenmelidir.

Örnek: Tek enli tek emişli fan üzerindeki çıkış kanalı için sistem etkisinin belirlenmesi.

1. Adım: Fanın üfleme alanının hava çıkış alanına oranı bulunur (Şekil 37).

Fanın "Üfleme alanı/Hava çıkış alanı" oranı kullanılarak Şekil 37'deki tablodan sistem etki faktörü bulunur. Eğer oran okunamıyorsa 6,0 olarak kabul edilir.

2. Adım: Sistem Etki Faktörü'nü bulmak için Şekil 38'deki Çıkış Kanal Tablosu kullanılır.

Kanalın durumu uygun verimli kanal uzunluğunun yüzdesi bulunur. Bunun için Şekil 38'deki tablodan ve kullanılacak Sistem Faktör Eğrisi(leri) belirlenir.

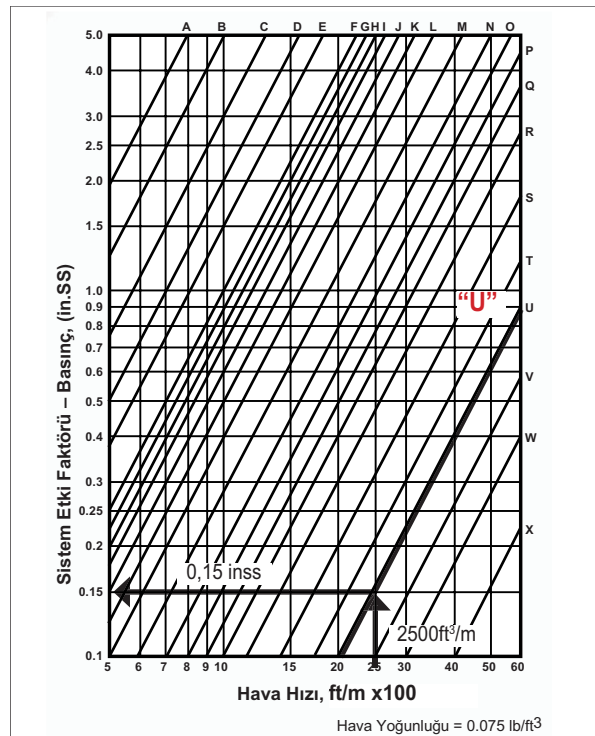
	Kanal Yok	12% Verimli Kanal	25% Verimli Kanal	50% Verimli Kanal	100% Verimli Kanal
Geri Alınan Basınç	0%	50%	80%	90%	100%
Üfleme Alanı Çıkış Alanı	Sistem Etki Eğrisi				
0.4	P	R-S	↓	W	-
0.5	P	R-S	↓	W	-
0.6	R-S	S-T	U-V	W-X	-
0.7	S	U	W-X	-	-
0.8	T-U	V-W	X	-	-
0.9	V-W	W-X	-	-	-
1.0	-	-	-	-	-

Sistem Etkisinin Bulunması:

- 1. Adım'a göre Üfleme Alanı/Çıkış Alanı oranı bulunur, bilinmiyorsa 0,6 kabul edilir.
- Verimli kanal uzunluğu bulunur.
- Yukarıdaki tablodan bu değerlere karşılık gelen Sistem Etki Eğrisi okunur.
- Örnek: 0,6 alan oranı ve %25 verimli kanal için "U veya V" Sistem Etki Eğrisi kullanılır.

Şekil 38. Kayıplar ve Çıkış Kanal Faktörü

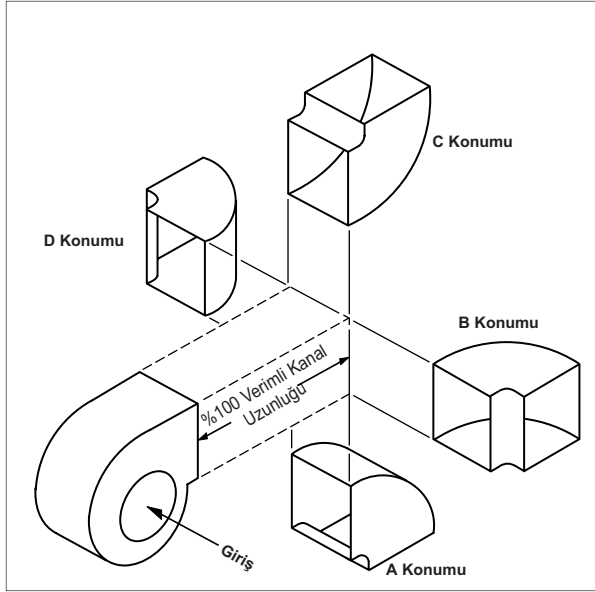
3. Adım: Sistem Etki Eğrilerini Kullanarak Sistem Etki Faktörü'nün bulunması: Çıkış kanal hızı hesaplanır. Şekil 39'da gösterilen Sistem Verim Eğrisleri Diyagramı'nda, verilen 2.500 ft/m (13 m/s) hava hızı ile 2. Adım'da bulunan Sistem Etki Eğrisi'nin (U) kesim noktasına karşılık gelen Sistem Etki Faktörü (0,15 in.wg) ordinat üzerinden okunur. Bulunan bu faktör fan seçiminden önce toplam sistem statik basınca eklenmelidir.



Şekil 39. Sistem Etki Eğrisleri Ek Basınç

Çıkış Dirsekleri

SMACNA (Sheet Metal and Air Conditioning Contractors' National Association- Metal Plaka ve Hava Koşullandırma Yüklenicileri Ulusal Topluluğu) ya da ASHRAE'ye göre yayınlanmış ya da hesaplanmış dirsek basınç



Şekil 40. Çıkış dirsekleri

kayıpları dirseğe giren türdeş (homojen) hava hızı profiline bağlıdır. Dirsek fan çıkışından en az %100 eşdeğer uzaklığa yerleştirilmelidir. Bu olanaklı değilse, dirsek kayıpları beklenenden daha fazla olacaktır.

Dirsek %100 eşdeğer uzaklıktan daha yakına yerleştirilirse, dirsek içinde dönüş kanatları kullanılmamalıdır. Dönüş kanatları dirseğin gerisinde türdeş olmayan hız profillerini sürdürmeye eğilimlidir.

Daha önce verilen örnekteki veriler esas alınır ve dirsek, Şekil 41'deki tabloda gösterilen %25 eşdeğer uzaklıktaki "B" noktasına yerleştirilirse dirsekteki basınç kaybı ne olur?

Sistem Etkisi – Çıkış Dirseği

Şekil 41'deki tablodan, fanın çıkışındaki dirseğin yeri ve bükümü ile eklenecek basınç kaybını belirlemek için kullanılacak uygun Sistem Etki Eğrisi bulunur.

Verilen örnekteki verilerden hareketle eklenecek dirsek kayıplarını bulunmasında, %25 eşdeğer uzaklık ve "B" tipi dirseğin 0,6 oranı için "R" eğrisinin kullanılacağı görülmüştür.

Dirsek Kayıpları

Şekil 38'deki tablodan "R" eğrisi ve kanal hızı 2500 f/m ile "B konumunda" dirsek için eklenecek basınç kaybı 0,42 in.wg olarak bulunur.

Sistem Etkisinin Sonucu

Görüldüğü gibi, sistem etkisini azaltmanın ya da yok etmenin en kolay yolu dirseklerin çıkışa çok yakın olması nedeniyle oluşacak türdeş (homojen) olmayan hava akışlarının engellenmesi için çıkış kanalının uygun uzaklıkta yerleştirilmesidir.

Üfleme Alanı Çıkış Alanı	Çıkış Dirsek Konumu	Çıkış Kanalı Yok	12% Verimli Kanal	25% Verimli Kanal	50% Verimli Kanal	100% Verimli Kanal
0.4	B C D	M L-M L-M	M-N M M	P Q	R Q Q	S T T
0.5	A B C D	N-O M-N M-N	O O-P N-O N-O	P O-P O-P N-O	T S R-S R-S	T S R-S R-S
0.6	A B C D	Q P N-O O	Q-R Q O-P P	R Q O-P Q-R	U T S S-T	U T S S-T
0.7	A B C D	S-T R-S Q-R R	T S R R-S	U T S S-T	W V U-V U-V	W V U-V U-V
0.8	A B C D	S R Q Q-R	S-T R-S R-S R	T S S S	U T S S	V U-V U-V U-V
0.9	A B C D	S-T R-S R-S	T S R-S S	U T S-T S	W V U-V U-V	W V U-V U-V
1.0	A B C D	R-S S-T R-S R-S	S T S S	T U T T	V W V V	V V V V

Tek Enli-Tek Emişli Fanlar İçin Sistem Etkisi Faktör Eğrileri:

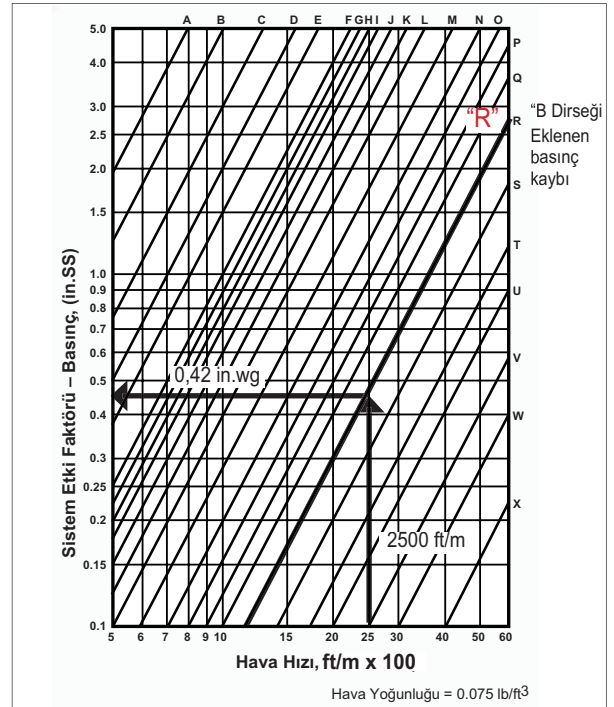
Dirseklerin Etkisi:

- Tabloda örnekteki Üfleme Alan Faktörü olan 0,6'ı bulunur.
- %25 Verimli Kanal sütunu bulunur.
- 0,6 oran satırından Çıkış Dirsek Konumu "B" satırına geçilir ve bu satırın %25 Verim sütununu kestiği noktada faktör eğrisi olarak "R" belirlenir.
- Bundan sonra basınç kaybını bulmak için Sistem Verim Eğrileri'ne geçilir.

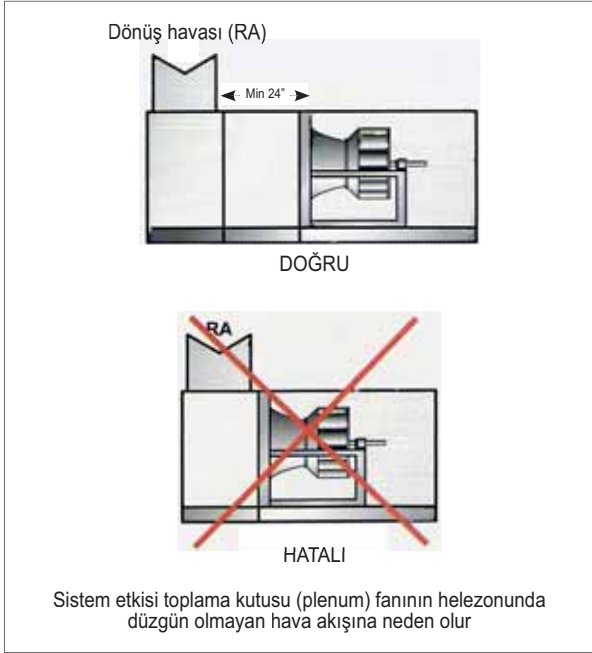
Çift Enli-Çift Emişli Fanlar İçin Çarpanlar:

- "B" konumu için = $\Delta P_s \times 1,25$
- "D" konumu için = $\Delta P_s \times 0,85$
- "A" ve "C" konumu için = $\Delta P_s \times 1,00$

Şekil 41. Çıkış dirsekleri için Sistem Etki Faktörleri



Şekil 42. Dirsek kayıpları



Şekil 43. Hava toplama kutulu (plenum) fan girişinde sistem etkisi

Aynı ilke giriş hava akış düzenlemelerinde de uygulanır. Çıkış için yapılan işlemler gibi giriş sistem etkisini belirlemek için kullanılabilir sistem etki grafikleri vardır. AMCA bu tür grafiklerin bulunabileceği bir kaynaktır.

Burada hava toplama kutulu (plenum) fanın emme hattına çok yakın olan dönüş kanalı tarafından yaratılan homojen olmayan giriş akımı örnek olarak verilebilir.

Sistem etkisi tartışması fan verimini etkileyen daha yaygın düzenlemelerle sınırlandırılmıştır. Daha ayrıntılı inceleme için SMACNA (Sheet Metal and Air Conditioning Contractors' National Association- Metal Plaka ve Hava Koşullandırma Yüklenicileri Ulusal Topluluğu) ya da AMCA kaynaklarına başvurulabilir.

Diğer Fan Parçaları

Yataklar

Fan üreticileri üretim hatlarında farklı tiplerde yataklar kullanır. Bu nedenle küçük bir gaz fırınındaki yatak büyük merkezi klima santralinde kullanılanlardan çok farklıdır. Önemli yatak terimleri bütün yatak tipleri için geçerli olmalıdır. Fan üreticileri havalandırma endüstrisinin gerektirdiği kalite ve güveni oluşturmak için yatak üreticileri ile çalışır.

Yatak Ömrü

Yatağın ömrü, hareketli parçalar içinde yorgunluk oluşmadan önceki dönme sayısının bir fonksiyonudur. B₁₀, L₁₀ ya da B₅₀, L₅₀ bu endüstride kullanılan terimlerdir.

B₁₀ ve L₁₀ terimleri B₅₀ ve L₅₀ de aynı anlama gelir. Günümüzde daha çok kullanılan terimler L₁₀ ve L₅₀'dir.



Şekil 44. Bilyalı yatak ömrü

Amerikan Yatak Üreticileri Birliği (ABMA) L₁₀ 'nu normal çalışma koşullarında %90 güvenilirlikte yatak ömrü olarak tanımlar. Normal çalışma koşullarından, yatağın temiz tutulduğu, yağlandığı, uygun sıcaklıklarda çalıştırıldığı ve tozdan uzak ve mükemmel hizalandığı anlaşılır. Gerçekte, çalışma koşulları böyle olmadığı için yatağın ömrü uygulama koşullarına göre kısalabilir. Öte yandan, üreticilerin montaj ve bakım şartlarına uyulması yatağın ömrünün belirtilen değerlere ulaşmasını sağlar.

L₅₀ tanımı yatağın bir arıza olmadan beklenen çalışma süresinin (saat) yarısını (% 50) gösterir. Kalan sürede ise yatakta arıza olması beklenilebilir.

Sonuç olarak, bir uygulamada, daha uzun L₅₀'ye sahip olan bir yatağın ömrünün, daha kısa L₅₀'ye sahip olan bir yataktan daha uzun olması beklenilir.

L₅₀ ömrü L₁₀ ömrünün beş katına eşittir.

Buna göre L₅₀ ömrünün L₁₀ 100.000 ömrüne eşit olması için 500.000 saat olması gerekir.

Yatak ömrü yatak yapısının belirlenmesi için de kullanılır. Verilen L₁₀ ömrünü sağlamak için üreticiler aynı uygulama için aynı dayanıklılığa sahip parçaları sağlamalıdır.

100.000 saat L₁₀ ömürlü yatak, 40.000 saat L₁₀ ömürlü yataktan iki kat daha uzun bir ömüre sahip olacaktır ve benzer koşullardaki uygulamalarda daha uzun kullanılabilir.

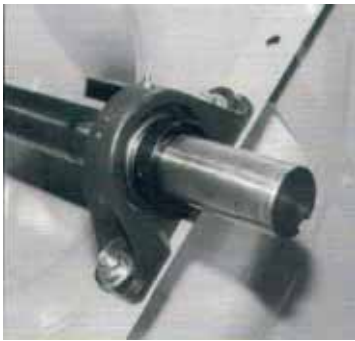
Yatak Seçimi

Üreticilerin çoğu kendi yataklarını klima santralinin fan tasarımını bütünleyen bir parçası gibi seçerler. Ana seçim ölçütleri mil çapı ve ağırlığı, motor gücü aralığı, milin üzerindeki ağırlık ve yeri, maksimum fan hızı, fan çark ağırlığı ve kayış kasnağının yönüdür.

Kapalı çelik muhafazalı bilya yatakları küçük cihazlarda daha hafif yüklerle yapılan uygulamalar için oldukça uygundur. Bu yatakların kullanımı $\frac{3}{4}$ " ve daha küçük çaplı millerle bir beygir gücü ya da daha küçük motora sahip fan ürünleri ile sınırlıdır.

Klima santrallerinde kullanılan bilyalar, genellikle küresel ya da konik, yataklı ya da flanş bağlantılıdır. Klima santrali uygulamaları için tek parça muhafazalı yatakların sızdırmazlığı ve yağlanma kapasitesi hız sınırlarına uygun değildir ve bilyalı yatak muhafazalarının kullanılması gerekir. Bilyalı yatak muhafazalarının tasarımı sürtünmesiz sızdırmazdır ve yağ boşluğu daha geniştir. Böylece bilyalı yataklar daha yüksek hızlara çıkabilir ve bu noktada sızdırmazlık değil bilyalar sınırlandırıcı etki yapar.

Erişimi kolaylaştırmak için, genellikle, yatak yağlama hatları fanın tahrik tarafına doğru uzatılır. Bazı durumlarda kullanıcılar yağlama hatlarının ve bağlantıların dış kabine kadar uzatılmasını ister. Böylelikle, üniteyi durdurmadan yağlama işlemi gerçekleştirilebilir. Ancak kullanıcılar aynı zamanda, uzatılmış madeni yağ hatlarının alt tarafını da dikkate almalıdır. Yataklar yağlama sırasında çalışma koşulları ve olası arıza işaretleri açısından incelenmelidir. Eğer madeni yağ hatları bozulmuşsa ya da titreşim varsa yağ yatağa ulaşamayabilir ve erken yatak bozulmasını yaratabilir. Aynı zamanda, yataklar aşırı yağlanırsa contalar yerinden oynayabilir ve fazla yağ dışarıya kaçar.



Bir arıza olana kadar bilyalı yatağın ömrünün uzunluğu (çalışma zamanı ya da dönme sayısı olarak) aşağıdaki etkenlere bağlıdır:

1. Yük
2. Hız
3. Çalışma sıcaklığı
4. Bakım koşulları
5. Kirlilik düzeyi

Şekil 45. Bilyalı yatak ömrünün bağlı olduğu etkenler

Motorlar

Hava koşullandırma fan motorları tipik olarak iki çeşit muhafazaya sahiptir: "su sızdırmaz açık - open drip proof" ve "tam kapalı fan soğutmalı- totally enclosed. Bu iki isim de kullanılan motor sargılarını soğutma yöntemine atıfta bulunur ve motor muhafaza tipini ve iç yapısını ta-

Tam Kapalı Fan Soğutmalı (Totally enclosed fan-cooled) Motor



Su sızdırmaz açık (Open drip) Motor



Şekil 46. Hava koşullandırmada kullanılan motor tipleri nımlar.

Motorun elektrik sargılarının direnci nedeniyle ısı oluşur. Bu ısı sürekli artar ve sargıların sıcaklığı sargı yalıtımını yakıncaya kadar yükselir. Bu nedenle bu sıcaklığın sürekli olarak giderilmesi gerekir. Açık damlatmaz ve tam kapalı motorları sargılardaki ısıyı almak için farklı yöntemler kullanır.

Açık damlatmaz motorların içine, motorun bir ucundaki menfezden alınan, sargılardan geçen ve daha sonra motor muhafazasının diğer ucundaki menfezden atılan ortam havasını çeken bir fan yerleştirilmiştir. Bu menfezler yağmur sularının motor muhafazasına doğrudan girişini engeller.

Açık damlatmaz motorlar düşük fiyatları, bulunabilirliği ve aşırı ısınmaya dirençleri ile yaygın olarak kullanılır. Öte yandan, açık motorlar içinde, hava doğrudan sargılara gider ve orada toz, duman ve nemi bırakarak kirlilik birikimine neden olur. Aynı zamanda, su sıçrayabilir ya da rüzgarda yağmur ve hatta böcekler motorun içine girebilir.

Tam kapalı motorlarda dışarıya yerleştirilen fan, dış ortam havasını kapalı motorun gövdesinin yüzeyine üfler ve yüzeyi bir örtü gibi kaplar. Sargılarda biriken ısı motor gövdesinin arasından dışarıya ve sonra motor muha-

fazasının yüzeyi boyunca hareket eden havaya iletilir. Motor muhafazası ısıyı motorun içinden dışarıya doğru çeken bir ısı alıcısı rolü oynar. Tam kapalı motorlarda motor muhafazasının üzerinde havaya ısı iletimini çoğaltan kanatlar vardır.

Tam kapalı motorları soğuturken hava motorun içine çekilmediği için sargılar temiz ve kuru kalır. Böylece sargılar doğrudan rüzgarın, yağmurun ve yerden çamurun motorun içinde girmesine karşı korunur. Aynı zamanda, haşarat ve böcek motorun içine giremez. Tam kapalı motorların sargıları temiz ve kuru tutularak tek fazlı kontaktörde korunur.

Bazı tek fazlı motorlar sargıların yakınına yerleştirilen, başlatma kapasitörlerini ve sargıları çalıştıran kontaktör mekanizmasına sahiptir. Bu kontaktör toz, kum, kir ve korozyondan kolaylıkla etkilenir ve bu da tek fazlı motorların en büyük sorunudur. Açık motorlarda devamlı olarak bu kontaktör üzerinden kirli hava çekilir. Tam kapalı motorların tek fazlı kontaktörü temiz ve kuru olarak kalır ve böylece tek fazlı tam kapalı motorlar, tek fazlı açık motorlardan daha az soruna yol açar.

Tam kapalı motorlarda muhafazanın arasından ısı yayılımı ile soğutma, açık motorlarda sargıların doğrudan hava ile soğutulmasına göre daha az verimlidir. Bu da tam kapalı motorların yapımının daha pahalı olmasına neden olur.

Tam kapalı motorların açık motorlara göre daha pahalı olmasına neden olan yapım farklılıkları aşağıda açıklanmıştır:

- Yüksek sıcaklıklara dayanması için fan örtüsü ve yüksek dereceli sargı yalıtımı kullanılır.
- Tam kapalı motor muhafazası genellikle açık motorların muhafazalarından daha geniştir.
- Kanatlı motor muhafazaları daha maliyetlidir.

Tam kapalı motorların da "sızdırmaz" ya da suyla yıkanabilir olmadığı dikkate alınmalıdır. Tam kapalı motorlar doğrudan su püskürtülmesine dirençlidir. Ancak, bu motorlar doğrudan yıkanamaz. Kostik ya da oksitleyici buharlarla yüklü hava tam kapalı motora girebilir, ancak açık motora göre giriş daha yavaştır.

Fan Tahrik Sistemleri

Fan tahrik sistemlerinde göreceli verimli olan standart "V" tahrik kayış sistemi esas alınır ve yaygın olarak kullanılır. Tahrik kayışının seçimi fan dönüş hızına, motor dönüş hızı bileşimlerine ve tahrik kasnağı oranlarına göre kolaylıkla seçilebilir. Daha büyük güç isteklerini karşılamak için çoklu kayış ve çok oluklu kasnak gere-

$$\text{Tahrik Oranı} = \frac{\text{Motor dönüş hızı (d/d)}}{\text{İstenen fan dönüş hızı (d/d)}}$$



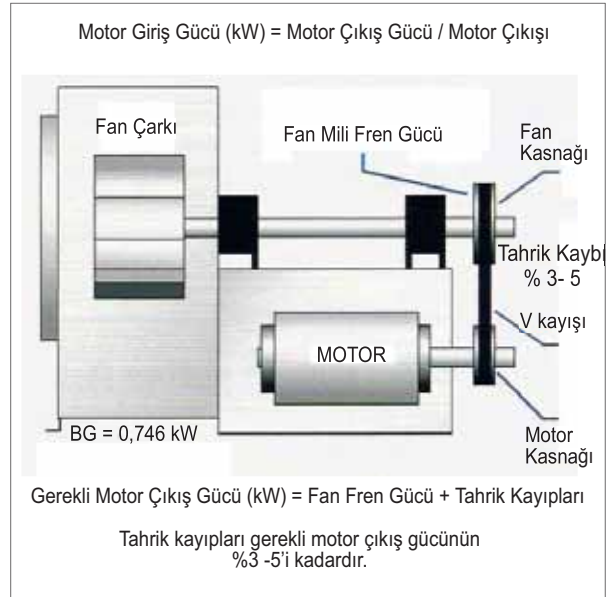
Şekil 47. Değişken kasnak

kir. Tahrik oranı aşağıdaki gibidir:

Fan kasnakları ya sabit ya da ayarlanabilir tiptedir. Ünite ayarlanabilir kasnak ile donatıldığında fan hızını ve performansını arttırmak için fan kasnak çapı ince ayarla değiştirilir.

Tahrik kayıpları, fan çarkı ile motor arasında kasnağın ve kayışın sürtünme etkilerinden doğan verim kayıplarını gösterir.

Aynı güçte, daha yüksek kayış hızlarında daha düşük kayış hızlarına göre verim kaybı daha fazladır.



Şekil 48. Motor ve Tahrik Sistemi Şeması

Tahrik kayıpları için endüstride yaygın olarak kullanılan geleneksel V kayışları esas alınır.

Örnek: Fan fren gücü çıkışı 17,1 bhp ise gerekli motor gücü (hp) nedir?

Kayışlar V-tip, tahrik kaybı %5.

Tahrik kaybı = 0,05 x 17,1 hp = 0,86 hp
 Motor güç çıkışı = 17,1 bhp + 0,86 bhp = 18 bhp.

Yaylı Yalıtıcılar



Şekil 49. Fan yaylı titreşim yalıtıcıları

Herhangi bir mekanik parçada titreşimin olması istenmeyen bir durumdur ve fanlar için de titreşim ciddi bir sorun oluşturur.

Aşırı fan titreşimi kritik parçaların erken bozulmasına ve dolayısıyla bakım giderlerinin yükselmesine ve zaman kaybına neden olur. Sonuç olarak, fan şartnamelerinin çoğunda "titreşim maddesi"ne oldukça sık rastlanır.

Titreşim, dengesiz fan çarkından ya da motor hizalamasının yanlışlığından, kayış geriliminden, fan milinin bükülmesi vb gibi nedenlerle oluşabilir.

Titreşimden kaynaklanan sorunları hafifletmek için üreticiler fan sisteminin bir parçası olarak iç yaylı yalıtıcılar kullanırlar.

Ekler

Diğer Fan Kanunları

Kütle Akış Sabiti İle İlgili Fan Kanunları:

Hava yoğunluğu ile debi, devir sayısı ve basınç ters orantılı olarak değişir. Yani barometrik basınçla ters, mutlak sıcaklıkla doğru orantılıdır.

Q = Hava debisi

N = Fan devri

P_s = Toplam/Statik basınç

bhp = Fren gücü

ρ_1 = Standart hava yoğunluğu

ρ_2 = Gerçek hava yoğunluğu

T_1 = Standart sıcaklık (Kelvin)

T_2 = Gerçek sıcaklık (Kelvin)

$$a. Q_2 = Q_1 \times \left[\frac{\rho_1}{\rho_2} \right] \quad \text{veya} \quad Q_2 = Q_1 \times \left[\frac{T_2}{T_1} \right]$$

$$b. N_2 = N_1 \times \left[\frac{\rho_1}{\rho_2} \right] \quad \text{veya} \quad N_2 = N_1 \times \left[\frac{T_2}{T_1} \right]$$

$$c. P_{s2} = P_{s1} \times \left[\frac{\rho_2}{\rho_1} \right] \quad \text{veya} \quad P_{s2} = P_{s1} \times \left[\frac{T_2}{T_1} \right]$$

$$d. bhp_2 = bhp_1 \times \left[\frac{\rho_1}{\rho_2} \right] \quad \text{veya} \quad bhp_2 = bhp_1 \times \left[\frac{T_2}{T_1} \right]$$

Sabit Hacim ve Fan Hızı ile İlgili Fan Kanunları:

Güç ve basınç hava yoğunluğuna bağlı olarak değişir. Yani barometrik basınçla doğru, mutlak sıcaklıkla ters orantılıdır.

$$a. bhp_2 = bhp_1 \times \left[\frac{\rho_2}{\rho_1} \right] \quad \text{veya} \quad bhp_2 = bhp_1 \times \left[\frac{T_1}{T_2} \right]$$

$$b. P_{s2} = P_{s1} \times \left[\frac{\rho_2}{\rho_1} \right] \quad \text{veya} \quad P_{s2} = P_{s1} \times \left[\frac{T_1}{T_2} \right]$$

Sabit Statik Basınç İle İlgili Fan Kanunları:

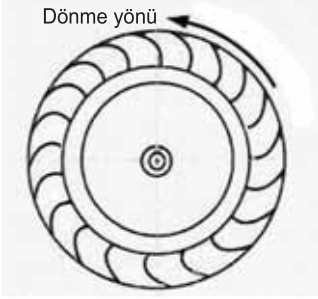
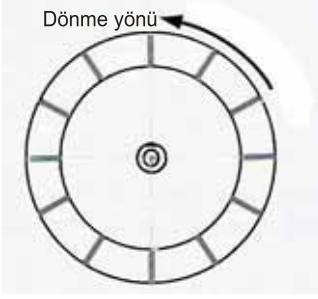


Hız, akış hacmi hava yoğunluğunun kare kökü ile ters orantılır. Yani barometrik basınçın karekökü ile ters, mutlak sıcaklığın kare kökü ile doğru orantılıdır.

$$a. bhp_2 = bhp_1 \times \sqrt{\frac{\rho_1}{\rho_2}} \quad \text{veya} \quad bhp_2 = bhp_1 \times \sqrt{\frac{T_2}{T_1}}$$

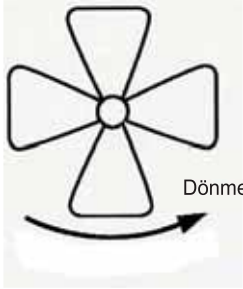
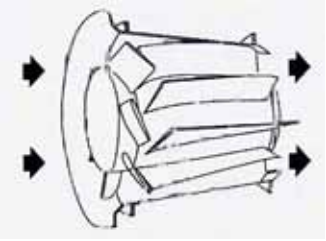
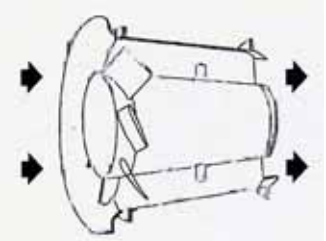
$$b. Q_2 = Q_1 \times \sqrt{\frac{\rho_1}{\rho_2}} \quad \text{veya} \quad Q_2 = Q_1 \times \sqrt{\frac{T_2}{T_1}}$$

$$d. bhp_2 = bhp_1 \times \sqrt{\frac{\rho_1}{\rho_2}} \quad \text{veya} \quad bhp_2 = bhp_1 \times \sqrt{\frac{T_2}{T_1}}$$

Santrifüj Fanlar: Çark Karşılaştırması

Tipler	Karakteristikler	Uygulamalar
<p>Öne Eğik Kanatlı Fanlar</p> <p>Dönme yönü</p> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Düşük ve orta basınçta çok iyi verim. (yaklaşık 0-5 inss / 0-1.250 Pa) 2. Aşırı yükte statik basınç düşerken hava miktarının artmasıyla güç de sürekli artar. 3. Geriye eğik kanatlı fan ve uçak kanatlı (airfoil) fana göre daha ekonomik. 4. Göreceli olarak devri düşüktür; 800-1.200 d/d. 5. Kanatların eğimi dönme yönündedir. 	<p>Düşük ve orta basınçlı klima santrali uygulamaları için.</p>
<p>Düz (Radyal) Kanatlı Fanlar</p> <p>Dönme yönü</p> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Kendini temizleyen kanatlar; toz ve kir kanatlarda birikmez. 2. Aşırı yükte statik basınç düşerken hava miktarının artmasıyla güç de sürekli artar. 3. Yüksek hız ve basınçta çalışır; 2.000 - 3.000 d/d. 4. Kanatlar fanın yarıçapı boyunca merkezden düz olarak çıkar. 	<p>Ahşap işlerinin yapıldığı, toz ve parçacıkların havada hareket ettiği iş yerlerinde.</p> <p>Havalandırma amaçlı veya tozlu ortamlar için.</p>
<p>Arkaya Eğik Kanatlı Kanal Tipi Fanlar</p> <p>Dönme yönü</p> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Orta basınçta en iyi verim. 2. Hava kalitesinin artmasıyla güç sürekli artar. 3. Öne eğik kanatlı fana göre daha pahalıdır. 4. Yüksek hızda çalışır; 1.200 - 2.400 d/d. Tek bir arkaya eğik kanatlı kanatlı fan, çift öne eğik kanatlı kanatlı fanla aynı hava miktarını sağlar. 5. Kanatların eğimi dönme yönünün tersinedir. 	<p>Orta basınçlı klima santrali uygulamaları için.</p>
<p>Uçak Kanadı Kesitli (Airfoil) Fanlar</p> <p>Dönme yönü</p> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Yüksek kapasite ve yüksek basınçlı uygulamalarda en iyi verim. (4-10 in.ss / 1.000 - 2.500 Pa) 2. Yüksek kapasitede güç tepe noktasında. 3. Santrifüj fanlara göre daha pahalıdır. 4. Yüksek hızda çalışır; 1.500 - 3.000 d/d. Tek bir airofoil fan, çift öne eğik kanatlı fanla aynı hava miktarını sağlar. 5. Kanatlar uçak pervaneleri ile aynı kesite sahiptir. Kanatların eğimi dönme yönünün tersine ve arkaya doğrudur. 	<p>Orta ve yüksek basınçlı klima santrali uygulamaları için.</p>

Eksenel Fanlar: Pervane Karşılaştırması

Tipler	Karakteristikler	Uygulamalar
<p>Uçak Pervaneli</p>  <p>Dönme yönü</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Serbest çıkışta yüksek verimli. (0-1/2 inss / 0 - 125 Pa) 2. Hava direnci artarken hava debisi azalır. 3. Ucuz. 4. Göreceli olarak düşük hızda çalışır; 900-1.800 d/d. 5. Kanatların dönme yönü hava akış yönüne diktir. 	<p>Kanalsız veya düşük dirençli sistemler için.</p>
<p>Kovanlı Aksiyal Fanlar</p> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Yüksek hava hacminde pervaneler daha yüksek verimli. 2. Pervaneli fana benzer, fakat kanatların aerodinamik düzenlemesiyle ayrılırlar. 3. Ses susturucu gerektirebilir. 4. Yüksek hızda çalışır; 2.000 - 3.000 d/d. 5. Eksenel fanlar aşırı yüklü ya da yüksüz tiplerde yapılabilir. Aşırı yüksüz tipler daha fazla kullanılır. 	<p>Yüksek hava hacimli boru veya kanal tipi uygulamalarda.</p> <p>Ses seviyesini azaltmak için ses susturucu gerekebilir.</p>
<p>Ayarlanabilir Kanatlı Eksenel Fanlar</p> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Kovanlı aksiyal tip fana benzer. Ancak verimi iyileştirmek için çıkış tarafında kılavuz kanatlara sahiptir. Ayarlanabilir kanatlar havanın yeniden yönlendirilmesini sağlar. 2. Kovanlı aksiyal fanlardan daha pahalıdır. 	<p>Kovanlı aksiyal fanlarla aynı uygulamalarda kullanılır, fakat verimi daha iyidir.</p>