



**Bu bir MMO
yayıdır**

MMO bu yayındaki ifadelerden, fikirlerden, toplantıda çıkan sonuçlardan, teknik bilgi ve basım hatalarından sorumlu değildir.

HAVALANDIRMA VE İKLİMLENDİRME SİSTEMLERİNDE GÜRÜLTÜ KONTROLÜ

AYHAN ÇAKIR
İZOCAM



HAVALANDIRMA VE İKLİMLENDİRME SİSTEMLERİNDE GÜRÜLTÜ KONTROLÜ

Ayhan ÇAKIR

ÖZET

Bir binadaki başlıca gürültü kaynaklarından birisi, havalandırma ve iklimlendirme sistemi bileşenleridir. Ofislerde konfor açısından en çok şikayetçi olunan konuların başında sıcaklık sorunlarından sonra iklimlendirme sisteminden kaynaklanan gürültü gelmektedir. Bu rahatsız edici gürültüye çeşitli tasarım ve uygulama hatalarının yanı sıra, gürültü sorunu dikkate alınmaksızın gerçekleştirilen, sistem maliyetini düşürmeye yönelik önlemler neden olmaktadır. Oysa unutulmamalıdır ki, bir sorunun, tasarım aşamasında alınan önlemlerle çözümü, üretimden sonra, onarım ve eklemelerle çözülmesinden genellikle çok daha ekonomik ve daha uygulanabilir ve daha estetik bir ürünle sonuçlanır.

Bu bildiriye söz konusu sistem bileşenlerinden fan gürültüsü, kanallardaki oluşan gürültü, diğer iklimlendirme elemanlarının yaydığı gürültü ele alınacak ve oluşan gürültünün kaynağında tutulması ve yapı elemanlarına geçmesinin önlenmesi; akışkan yollarına yerleştirilen susturucular; kanal ve boru elemanlarının yaptığı sönümlenme ile sesin yayılmasının önlenmesi; diğer elemanların akustik olarak yalıtılması ile bunların cidarlarından mahallere geçişinin önlenmesi durumlarına bakılacak; aktif gürültü kontrolü ile özellikle hava kanallarında etkin olan gelişmeler aktarılacaktır.

Anahtar kelimeler: Fan ve fan gürültüsü, havalandırma kanalı gürültüsü, susturucular, hava terminal cihazları, kompakt çatı ekipmanları, klima sistemi gürültüleri

ABSTRACT

One of the main noise sources in a building is the components of the ventilation and air conditioning systems. In terms of comfort, the most complained problem in offices is the noise coming from the air-conditioning system. In addition to the various design and implementation mistakes, some measures taken to reduce the system cost is the cause of this disturbing noise. However, it should be noted that the solution of a problem is generally more applicable and more economical during the design phase taking appropriate measures rather than making repairs and additions after production. And it results in a more aesthetic product.

In this paper, the fan noise of these system components in question, consisting of duct noise and other climate elements will be considered and to keep the noise at its source and prevent it from passing through the structural elements. And other topics to be discussed include silencers placed in the air path, prevention of sound propagation by damping the duct and its isolation, acoustical isolation of other elements and communication of noise between adjacent rooms via supply or return duct; and emphasized active noise control in ducts.

Key words: Fan and fan noise, duct noise, silencer, air terminal device, packaged rooftop air-conditioning systems, terminal device noise.

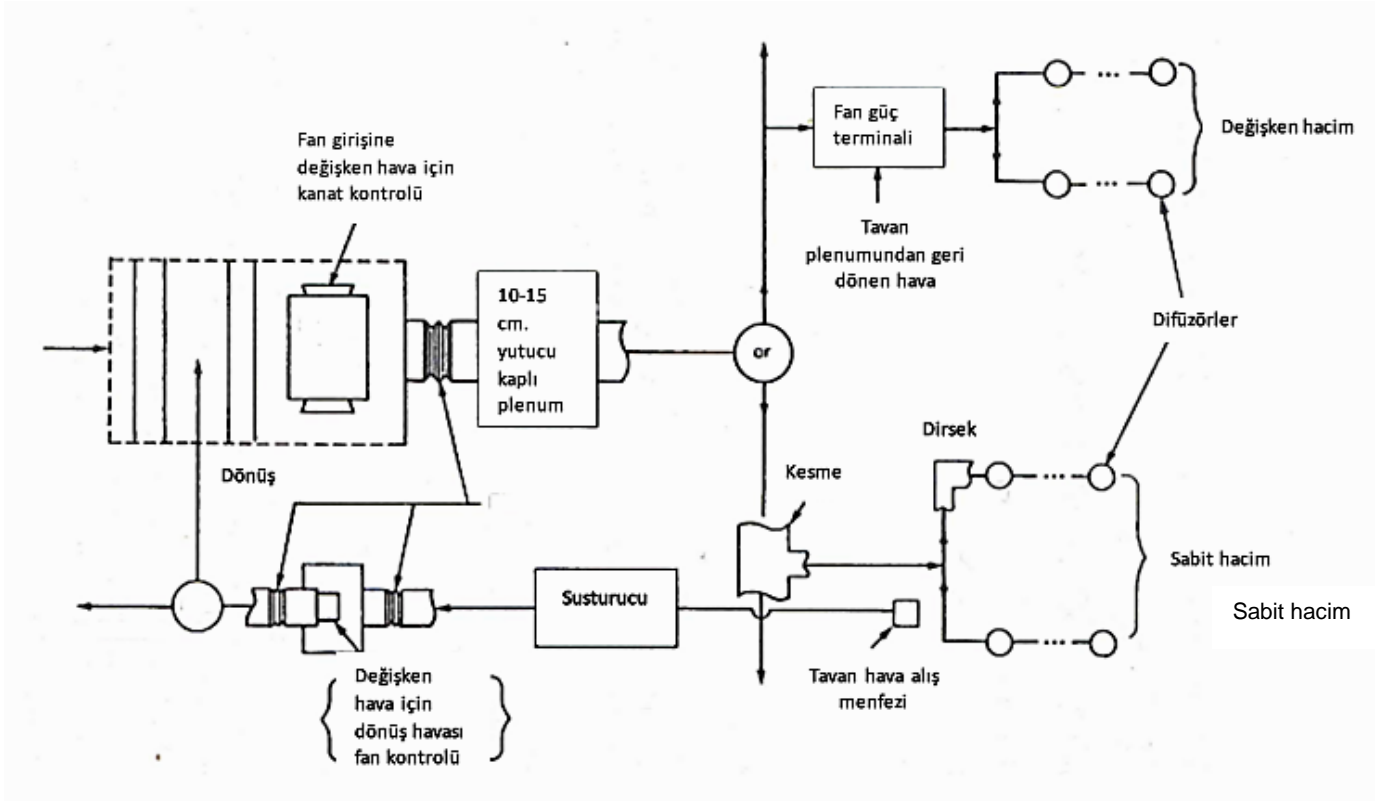
GİRİŞ

Isıtma, havalandırma ve iklimlendirme sistemlerinin hizmet verdiği mekanlara yarattıkları istenmeyen sesin neler olabileceği ve bu tip gürültü geçişlerinin nasıl kontrol altına alınabileceği konusu aşağıdaki başlıklar çerçevesinde ele alınabilir.

- HVAC sistemleri planlaması
- Fanlar ve fan gürültüleri
- Havalandırma kanalları ve kanal sistemi
- Susturucular (ses tutucular, ses düşürücüler)
- Hava terminal cihazları (difüzörler, menfezler ve akustik panjurlar)
- Klima santralleri ve plenum fanı ekipmanları dahil olmak üzere yerleşik fan ekipmanları
- Kompakt çatı klima ünitesi
- Kompakt iklimlendirme sistemleri, değişken hava debili üniteler ve hava terminal kontrol üniteleri (fan güç terminaleri gibi).
- Bir mekanda üretilen hava terminal cihazlarının ses gücü seviyesi ile mekanda oluşan ses düzeyi seviyesi arasındaki dönüşüm.

Tipik şematik diagram ve terminoloji

Bir HVAC sisteminin ses yayılımına ve gürültünün kontrolüne yönelik ana bileşenleri Şekil 1.'de gösterilmiştir.



Şekil 1. HVAC sisteminin ses yayılımı ve gürültü kontrolü bileşenlerini gösteren şematik çizim.

1. HVAC SİSTEMİ PLANLAMASI

HVAC sistemi tasarlarken, HVAC sistemi gürültü etkisinin bina sakinleri için kabul edilebilir bir seviyede olması gerektiği önkoşulu ile, HVAC tasarımcısı, mimar, mühendis arasındaki çalışmaya ek olarak, bina sahibi ve bina yönetim kadrosuyla gürültüye duyarlı sorunların çözümüne müdahil olacak bir etkileşim içinde olunması gereklidir. HVAC sisteminin düzgün planlanması ile sadece maliyet azaltımı değil aynı zamanda sessiz bir sistem de elde edilecektir.

HVAC sistemi için yeterli bir alan tahsis edilmelidir ki sonuçta enerji tasarruflu fan ekipmanı kullanılabilin. Böylece aşağıda daha ayrıntılı olarak tarif edilen, sistemin çeşitli bileşenleri (örneğin, kanal sistemi, sistem kontrolü, susturucular ve hava terminal cihazları) hava akışı boyunca uygun şekilde bu bileşenler tarafından üretilen gürültüyü en aza indirmek için boyutlandırılmış olsun.

Genel olarak iki tip HVAC sistemi düşünülür;

1. Merkezi bir konumda bulunan *merkezi sistem* içinde fanlar hizmet verdikleri alandan ayrı büyük ve merkezi bir konumda yer almaktadır; hava bu alanlara kanal sistemleri tarafından temin edilir. Bu sistemde havalandırma kanalları tarafından işgal edilen hacim ne kadar büyük ise kullanım alanı o kadar küçülmektedir.

2. Paket tipi fan ekipmanından [*iklimlendirme sisteminin bileşenlerinin kurulumu (soğutma bobinleri, filtreler, fan, nemlendirici, damperler vb.) tek bir üniteye toplanmıştır (örneğin tuvalet, merdiven, asansör ve diğer üretim dışı alanları da içerebilir).*] oluşmuş *dağıtılmış sistem* her katta yer alacak şekilde dizayn edilir.

Dağıtılmış sistem merkezi bir konumda bulunan sistemden daha fazla üretim veya kullanım alanı sağlar ki bu da bina sahibine çekici gelir. Kapsamlı bir kanal sisteminin binanın çeşitli yerlerine hava taşınması gibi bir gereklilik ortadan kalkar. Ancak, her katta bulunan paket tipi fan ekipmanları merkezi bir konumda bulunan ekipmanlardan daha az enerji verimlidir. Bundan başka, her kat üzerinde ayrı bir fan ekipman kullanımı nispeten sakin koşullar gerekli olan bir bölgeye bitişik bir odada ise gürültü sorununa yol açabilir. Bu durumda, gerekli gürültü izolasyonunu sağlamak için çok pahalı ve komplike yapılar gerekli olabilir. Fan ve hava çıkışları arasındaki kanallar veya temiz hava tedarikini sağlayan dönüşler fan yakınlarında olup görece kısa mesafede oluşları nedeniyle ayrıca gürültü problemine neden olurlar. Akustik olarak yalıtılmış kanallar ise odadaki fan gürültüsünü azaltmakta kabul edilebilir bir seviyeye için yeterli olmayabilir. Bu nedenle *susturucuların (yani ses tuzakları veya kanal susturucuları olarak da adlandırılan) eklenmesi* gerekli olabilir. Böyle susturucular sadece sistemin maliyetine ek yük getirmekle kalmayıp elektrik tüketimini artırarak, fan sistem basıncını düşürürler.

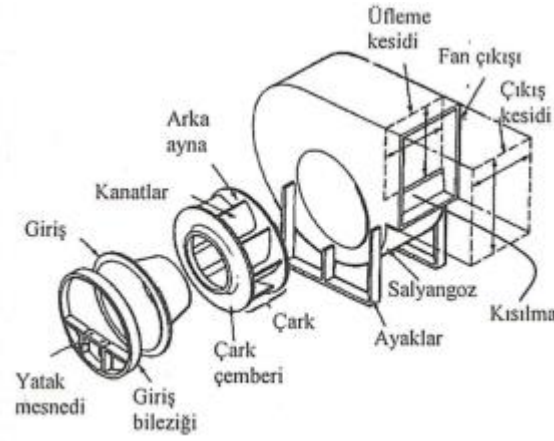
Yukarıdaki nedenlerden dolayı, birçok durumda bir HVAC sistemi için yetersiz alanın tahsisinin hem gürültü kontrol çözümleri hem de rastgele bir süre boyunca sistemin çalışması için gerekli elektrik enerjisinin tüketime ne ölçüde etkidiğini belirlemek yararlıdır. Böyle bir analiz; havalandırma sistemi için ayrılan alanın azalması ve üretim alanının artışıyla gelen net gelirin getirdiği tahmini ekonomik avantaj göz önüne alındığında, gürültü kontrol çözümleri ile sistem operasyonu için öngörülen kalıcı maliyetlerin telafi edilebilir olduğunu gösterebilir.

Bir havalandırma sisteminde, ses güçlerinin çoğu **besleme fanı** (hava besleme sistemi içerisinde) ve **dönüş fanı** (dönüş havası sistemi) tarafından üretilmektedir. Tanım olarak; fan, güç kaynağı ile çarkın döndürülmesi yardımıyla havayı hareket ettiren bir cihazdır. Bir fanda, en az bir giriş ve en az bir çıkış açıklığı bulunur. Açıklıklar, kanal sistemi ile bağlanabilir ya da bağlanmayabilir. Dönen çark, mekanik enerjiyi fan milinden hava akımına transfer eder; havadaki enerji, hava hızı ve hava basıncı formunda bulunur. Tüm enerjinin güç kaynağı ile çarkın döndürülmesi yardımıyla havaya eklendiğinin not edilmesi önemlidir. Bu bölümde; fan tipleri, fan ses karakteristikleri, kanat geçiş gürültüsü (*kanadın belirtilen noktadan geçerek havaya uyarı vermesinden kaynaklanan ses*), oluşan seste operasyonel verimliliğin etkisi, fandaki hava akımı koşulları ve pürüzsüz hava akımının önemi açıklanmaktadır.

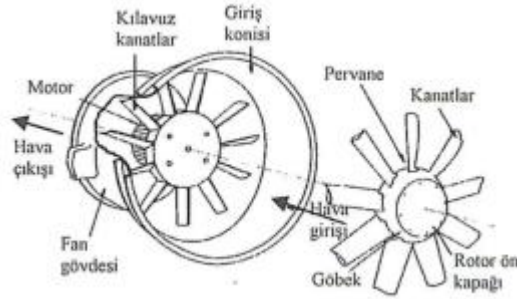
2. FANLAR VE FAN GÜRÜLTÜLERİ

Fan Tipleri

Genel fan yapısı ve çeşitli fan tipleri için yaygın olarak kullanılan terminoloji; santrifuj fanları için 2 nolu şekilde, aksenal akımlı fanlar için 3 nolu şekilde gösterilmiştir. Farklı fan uygulamaları, farklı performans karakteristiklerine sahip fanları gerektirmektedir. Bir fanın ses karakteristiklerini de içeren işletme karakteristikleri, dönen çarkın tasarımı ile belirlenir. Bu bölümde anlatılan santrifuj ve aksenal akımlı fanlar; merkezi klima sistemlerinde, endüstriyel havalandırma sistemlerinde ve endüstriyel süreç uygulamalarında kullanılır. Fanların performans karakteristiklerindeki bu farklılıklar, farklı tiplerde farklı ses karakteristiklerini doğurmaktadır. Fan tipi, boyutları ve hızı belirtilen performans ve yapısal gerekliliklerini karşılayacak şekilde seçildiği zaman, o tipteki fandan istenen ses karakteristikleri de sağlanmış olmaktadır.



Şekil 2. Santrifüjlü fan bileşenleri



Şekil 3. Aksenal fan bileşenleri

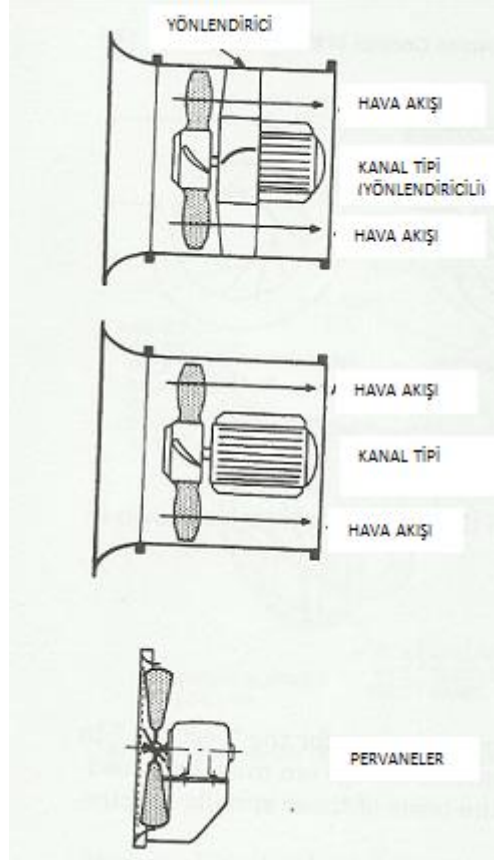


Şekil 4. Yüksek verimlilikteki üç tip santrifüjlü fan prensip tipleri

Santrifüj fanları, 4 nolu şekilde gösterilen profil tipi kanat, geri eğimli kanatlı veya geri doğrusal kanatlı gibi, kullanılan bıçak tipine göre karakterize edilmektedir.

Eksenel akımlı fanlar ise Şekil 5'de gösterildiği şekilde 3 ana kategoriye ayrılır.

1. Radyal fan
2. Eksenel fan
3. Pervaneli fan



Şekil 5. Eksenel fanda üç ana tip

“En iyi fan” için genel tavsiyeler vermek imkansızdır. Fan seçerken her uygulama için o uygulamaya özel gereklilikler düşünülmelidir ve en iyi fan, bu özel gerekliliklere göre belirlenmelidir.

Bir fan için birincil seçim ölçütü, akustik özellikleri olmamakla birlikte gerekli basınca istenilen miktarda havayı taşıma kabiliyeti üzerine dayanır. Bir fanın ilk maliyeti makul olmalıdır. İşletim gereksinimleri karşılandıktan sonra fanın tipi, boyutu ve hızı tamamen belirlenir; daha sonra ses özellikleri de belirlenir. Çoğu zaman, daha az ses oluşturan fan tercih edilmez. Bunun sebebi, bu daha sessiz çalışan aynı tipteki tasarım, fanın sağlaması gereken diğer işletim özellikleri sağlayamayacaktır. Bu nedenle, doğru seçilmiş bir fan tarafından üretilen ses gücü seviyesi, akustik tasarım hesaplamalarında kullanılacak ses gücü seviyesi olarak kabul edilmelidir. O zaman, kanalda oluşan sesi kontrol etmek için kullanılan mühendislik yaklaşımı, belirtilen akustik gereksinimleri karşılamak için yeterli ses zayıflamasını sağlamaya yöneliktir.

Fan Gürültüsü Özellikleri

Tipik fan tasarımlarının geniş bant ses özellikleri Tablo 1’de karşılaştırılmıştır. Bu tablo, maksimum verimde çalışırken, karşılaştırılabilir boyuttaki iyi tasarlanmış santrifüj ve eksenel fanların birbirleriyle kaba bir karşılaştırma yapılmasını sağlar.

**Tablo 1.** Gürültü açısından havalandırmada kullanılan çeşitli tipte karakteristikleri (G'nin fazlalığı gürültünün artımını anlatır)

Fan Tipi	Gürültü
Santrifüjlü Fanlar	
Profil kanatlı, geri eğimli kanatlı, geri doğrusal kanatlı	G
Radyal Fanlar:	
Düşük basınçlı	GGG
Orta Basınçlı	GGGG
Yüksek Basınçlı	GGGGG
Öne eğik kanatlı	GG
Eksenel Fanlar	
Kanal Tipi (Yönlendiricili)	
Fan göbek oranı 0.3-0.4	G
Fan göbek oranı 0.4-0.6	G
Fan göbek oranı 0.6-0.8	GG
Kanal Tipi	GGG
Pervaneler	GGGG

Kritik bölgelerdeki akustik tasarım için, sisteme monte edilecek fanın gerçek ses verileri üretici tarafından sağlanmalıdır. Oktav bandı ses seviyeleri, hava işleme sistemi hesaplamalarında kullanılmalıdır; fan sesi değerlendirilirken, tek sayı değerlerinin kullanımından kaçınılmalıdır. Farklı fan tipleri için üretici tarafından verilen ses güç seviyesi değerleri, giriş kanalı ve/veya çıkış kanalına yayılan gücü yansıtabilir.

Kanat Geçiş Frekansı. Kanat, belirtilen noktadan her geçtiğinde, o noktadaki hava belirli bir etkiye maruz kalır. Kanat geçiş frekansı olarak adlandırılan bu etkinin tekrarlanma hızı üretilen temel tonu belirler. Bu kanatların sayısının ya da dönme hızlarının iki katına çıkarılmasıyla temel ton da iki katına çıkar. Bu temele ek olarak, hava etkisinin şekline bağlı olarak farklı harmoniler üretilebilir.

Fanın ürettiği tonlar, fan sisteminin ses kontrolünde çok önemli bir role sahiptir. Fanlar ile ilgili birçok ses probleminde ana problem, bıçak sıklığının da katkıda bulunduğu ayırık frekans bileşenidir. Kulağın arka plandaki genel sesin tonunu algılayabilmesinden dolayı, bıçak sıklığını da içeren oktav bandına özel bir önem verilmesi gerekmektedir. Sonuç olarak, nu bir insan için rahatsız edicidir. Sistemin sönümlenme özelliklerinin oradaki oktav banı ile tamamen uyumlu olması zorunludur.

Kanat frekansının formülü aşağıda gibi verilmiştir;

$$f_B = n \times N$$

f_B =kanat frekansı , hertz

n = fan hızı, saniyedeki dolanımı

N= Fan çarkındaki kanat sayısı

Tahmini fan hızı, fan seçiminde kullanılmakta olan katalogdan ve kanatların sayısı da katalog veya üreticiden elde edilebilir.

Fan sesinin analizi incelenirken merkez oktav bant aralığı oldukça düzenli iken, 1/3 oktav bant aralığında ise önemli iniş çıkışlar görülebilir. 1/3 oktav bandı ses gücü seviyeleri verilerinin, tüm fan üreticilerinde mevcut olmamasından dolayı, bu tonların var olduğu ve sistem tasarımında dikkate alınması gerektiği varsayılmalıdır.

Geriye doğru meyilli ve ileri doğru meyilli santrifüj fanları ve eksenel fanlar, binalardaki havalandırma sistemlerinde en sık karşılaşılan fan tipleridir. Frekansın bir fonksiyonu olarak ses seviyeleri, her fan tipi için farklılık göstereceğinden, tümü genel bir faktöre sahiptir; en düşük ses seviyesi, fanın performans eğrisindeki maksimum verim bölgesinde çalıştığı zaman üretilmektedir.

Santrifuj fanları, genellikle 31.5 ile 250 hertz arasındaki düşük frekanslı oktavlardaki en yüksek seviyelere sahip tüm ses frekansı aralıklarında ses üretir. Kısmen bu nedenle, tipik bir havalandırma sistemindeki santrifuj fanları genellikle düşük frekanslı ses limitlerine göre ayarlanır.

İşletme Verimliliğinin Üretilen Sesteki Etkisi

Bir fanın tahliyesinde ya da girişindeki ses güç seviyesi L_w , üretici tarafından özel işletme şartları göz önüne alınarak sağlanabilir ya da literatürde verilen çizelgedeki veriler ve metotlar yardımıyla belirlenebilir. Böylece elde edilen değerler, yalnızca fan maksimum verimde çalıştığında ve fanın bağlı olduğu kanaldaki hızın düzenli olduğu durumlarda kullanılır.

Havalandırma kanalındaki akışı kontrol etmek için giriş kontrol damperleri ya da yönlendirme kanadı kullanıldığı zaman, fanın çalışma noktası değişecektir ve fanın verimi düşecektir. Bunun üzerine, her oktav frekans bandındaki ses güç seviyesi aşağıdaki yöntemle hesaplanan miktar kadar artacaktır.

Aşama 1. Öncelikle, statik verim hesaplanır.

Akış hızı x Statik Basınç

$$\text{Statik Verim} = \frac{k \times \text{Giriş Gücü}}{k \times \text{Giriş Gücü}}$$

SI birimlerinde, eğer akış hızı litre/saniye ve statik basınç paskal cinsinden ifade edilirse, sabit sayı k, 1'e eşit olacaktır ve giriş gücü kilowatt cinsinden ifade edilecektir.

Aşama 2. Yukarıdaki denklem ile elde edilen statik verimin kullanılması ile fan kanadı tipi için 2. tablodan ses güç seviyesindeki artış belirlenir. Not: Eksenel pervaneli fan için denklemdeki basınç toplam basınç olmalıdır; statik basınç ile hız basıncının toplamı. (Hız basıncı, hareket eden hava akımının hızından kaynaklanan basınçtır.) Örneğin, fanın tahliye kanalında 1 dakikada (20 m/s) olan hızı, hız basıncı (249 pascal) ile sonuçlanmaktadır.

Tablo 2. Fan verimliliği ayarlaması

<i>Profil kanatlı ve yönlendiricili kanat tipi santrifüjlü fan</i>		<i>Geri eğimli kanatlı santrifüjlü fan</i>		<i>Öne eğik kanatlı santrifüjlü fan</i>	
<u>Verimlilik,</u>	<u>Artış,</u>	<u>Verimlilik,</u>	<u>Artış,</u>	<u>Verimlilik,</u>	<u>Artış,</u>
%	dB	%	dB	%	dB
80-72	0	75-67	0	65-58	0
71-68	3	66-64	3	57-55	3
67-60	6	63-56	6	54-49	6
59-52	9	55-49	9	48-42	9
51-44	12	48-41	12	41-36	12

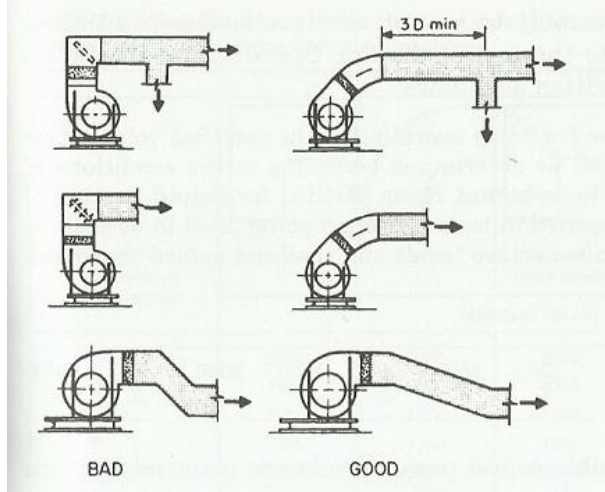
Fanlardaki Hava Akımı Şartları; Pürüzsüz Hava Akımının Önemi

Bir havalandırma sistemi iyi aerodinamik tasarıma ve farklı bileşenlerin verimli çalışmasına sahip olmaz ise; özellikle fanların düşük verimde ya da değişen çalışma sistemlerinde çalıştığı zaman, yukarıda tarif edilen fan ses kaynaklarının ses seviyesi artabilir, aynı zamanda spektrumları da genişleyebilir (özellikle düşük frekans aralığına doğru). Bu nedenle, fanların giriş ve çıkışları oluşacak türbülans minimumda tutmak için olabildiğince pürüzsüz olmalıdır ki; türbülans, sistemde ses üretimine ve artan statik basınç kayıplarına sebep olacaktır.

Fanın çıkışındaki iyi ve kötü hava akımı şartlarının örneklerinin gösterildiği 6. şekil bu durum içindir, ikinci durumdaki ses üretimi ilk duruma göre 10 ile 30 dB arasında daha fazla olabilir. Tavsiye edilen;

- Bağlantı parçaları (dirsekler ve geçiş noktaları), fanın aşağısına 3-6 kanal çaplarından daha yakın yerleştirilmemelidir.
- Sabit hava akımı hacmine sahip bir havalandırma sistemi için, fanları maksimum verimde olacak şekilde çalıştır.

- Değişken hacim sistemleri için, düşük hacimdeki çalışma verimini korumak için değişken hızlı sürücü düşünülmelidir.
- Fanın giriş ve çıkışına yakın olan herhangi bir tıkanıklıktan kaçınılmalıdır.
- Fanın giriş ve çıkışında 1,5 kanal çaplarında minimum açıklık sağlanmalıdır.
- Fanda iyi bir hava akımı sağlanması için çan biçimli girişin kurulması düşünülmelidir.
- Kanal sisteminde, çıkıntılardan, çok dik veya asimetrik geçişlerden, çıkıntılı esnek kanal bağlantılardan kaçınılmalıdır, çünkü bu belirtilenler türbülans kaynaklarıdır.



Şekil 6. Fan çıkışı halleri

Fan Spesifikasyonları

Fan tarafından üretilen sesi kapsayan spesifikasyonlar, genelde 2 formda yazılabilir.

1 Nolu Spesifikasyon Formu. *Bu form, belirtilen şartlarda çalıştığı zaman fanın ürettiği ses güç seviyeleri için test aşamalarının ve verilerin raporlanması özelliklerini içerir.*

Bu bilgi ile özel bir fan montajı için sonuçta oluşan ses basınç seviyesini hesaplamak mümkündür. Eğer, bu basınç seviyeleri çok yüksek ise, uygun ses sönmüleme tesisatları sisteme eklenmelidir. Bu gerekliliği dikkate almada bakılması gereken özellik aşağıda belirtilmiştir:

Belirtilen hacim akış hızı ve basınçta çalışan fan tarafından üretilen ses, *AMCA Standard 300ve Reverbant Room Method for Sound Testing of Fans*'daki şartlara göre belirlenecektir ve belirlenen oktav bantlarındaki ses güç seviyesi bakımından raporlanacaktır.

2 Nolu Spesifikasyon Formu. *Bu form, çalışma şartlarındaki izin verilecek fanın ürettiği oktav bantı ses güç seviyeleri üst limitinin özelliklerini içerir.*

Bu tarz bir spesifikasyon, o işte izin verilen ses güç seviyesinin belirlendiği durumlarda kullanılır. Fan için maksimum ses seviyeleri belirtilmiştir. Fan üreticisi bu seviyelerin karşılanmasını fan kurulumunun bir parçası olarak temin etmelidir.

3. HAVALANDIRMA KANALLARI VE KANAL SİSTEMİ

Bu bölüm, havalandırma kanalı sistemlerindeki hava kanalı ile ilgili aşağıda belirtilen konuları tanımlar: Kanaldaki hava akımının tavsiye edilen azami hızı; odalar arasındaki sesin 'çapraz geçişi'nin kaynağı olarak kanallar; kanallar tarafından duvar ve zemin geçişleri; kaplamalı ve kaplamasız kanallardaki



sesin sönümlenmesi; kanalların dallanma noktalarındaki ses gücünün dağıtımı; dirseklerde sesin sönümlenmesi; uç yansıma kaybı.

Montaj sırasında, ses kontrolü bakışı açısından, kanalların döşemelere, giriş ve kolonlara ya da diğer ağır ve masif yapı elemanlarına iliştilmesinin belirtilmesi uygun olacaktır. Buna ek olarak, tüm kanalların askıda olması ve diğer harici işler ile bağımsız olma(örneğin boru havalandırma kanalı üzerinde asılı olmamalıdır) konularının sahada belirtilmesi ve kontrol edilmesi önemlidir. Düşük ses seviyelerinin öncelikli olduğu uygulamalarda, kanalın vibrasyon izolasyonu ile ilgili prensiplere bağlı olarak yalıtımı düşünülmelidir.

Kanallardaki Hava Akımı Şartları; Tavsiye Edilen Maksimum Hava Akımı Hızı

Havalandırma kanalındaki havanın akışı, türbülans üretimini minimize etmek için olabildiğince pürüzsüz olmalıdır. Türbülans üretimi, ses seviyesini arttırmakla kalmaz, ayrıca sistem verimini düşürür. Bu tarz türbülanslar, hava akımı hızının artmasıyla önemli ölçüde artar.

Orta ve yüksek hızlı sistemlerde, dönüş kanatları pürüzsüz hava akışını kolaylaştırmak için genellikle dikdörtgen kanal dirseklerinde belirtilir. Böylece, ses üretimi azalır.

Kanallarda Sesin Sönümlenmesi

Kanal sisteminde ses, yayılım kayıpları ile sönümlenir: (1) kaplamasız kanallarda, (2) kaplamalı kanallarda, (3) kaplamalı dirseklerde, (4) güç ayırımından kaynaklanan dallanma noktalarında, (5) uç yansımasının sonucu olarak, (6) susturucularla ve (7) plenumlarda.

Kaplamasız Kanallar. Kaplamasız bir kanaldaki gürültünün azaltımı öncelikle kanal duvarları yoluyla (kanal duvarlarının titreşimi ile) akustik enerjinin azaltılması ile olur. Sonrasında kanal etrafındaki alana bu sesi yayarak doldurur; böylece ses kanal boyunca yayılım ile zamanla azalır.

Tablo3.Sacdan mamul dikdörtgen tip kaplamasız hava kanallarında metredeki ses azaltımı (dB/m)*

Çevre/Alan oranı (P/A) cm/cm ²	Oktav-bandı merkez frekanslar,HZ			
	31.5†	63	125	250
0.31 üzeri	0.3	0.3	1.0	0.3
0.31 - 0.13 arası	0.3	1.0	0.3	0.3
0.13 altı	1.0	0.3	0.3	0.3

*Bu değerler kanal dışarıdan kaplı ise iki misli artırılmalıdır.

†Ekstrapole edilmiş değerler.

Sacdan mamul kaplamasız hava kanallarından sağlanan ses indirimi nolu tabloda verilmiştir. Kaplamasız bir kanal düşük gürültü seviyesinde tutulmanın zorunluluk arzettiği bir alandan geçerse oldukça aşırı düşük frekanslı ses ortama yayılabilir-özellikle mekan fana yakın bir konumda ise. Yayılan sesin ses gücü seviyesi,

- (1) Kanal içindeki sesin güç seviyesine,
- (2) Kanalın kesit alanına,
- (3) Kanalın geçtiği mekan içindeki boyuna,
- (4) Kanal duvarlarından kaçan ses iletimine bağlıdır.

Bir kenarı diğer kenarından 3 kat büyük olan dikdörtgen sacdan mamul kanallarda fan atış ağzında veya kanal ayırım yerlerinde türbülansın dolaylı titreşimler meydana gelebilir. Bu tip bir kaynak 16Hz den 125 Hz.'e kadar düşük frekans gürültüsü yayar. Bu durum oluştuğunda tekil kaynakların katkısını tanımlamak veya ayırmak çoğunlukla zor olur.

Kaplamalı kanallar

Ses yutum malzemesi ile kaplı bir kanaldaki ses düşümü Tablo 'de verilmektedir. Şekil ise 25 mm ve 50 mm. kalınlıktaki bir malzeme ile kaplanmış kanalın frekanslara göre ses yutumunu göstermektedir. 63 ve 125 Hz.lerde ses düşümü kısmen kanal duvarlarının yayınımlıdır. Ses düşümü yüksek frekanslıya göre alçak frekanslarda daha düşüktür. Bu yüzden dengesiz gürültü spekturumu iklimlendirme sisteminin hizmet verdiği alanlarda gümbürtülü sesi ile karakteristiktir.

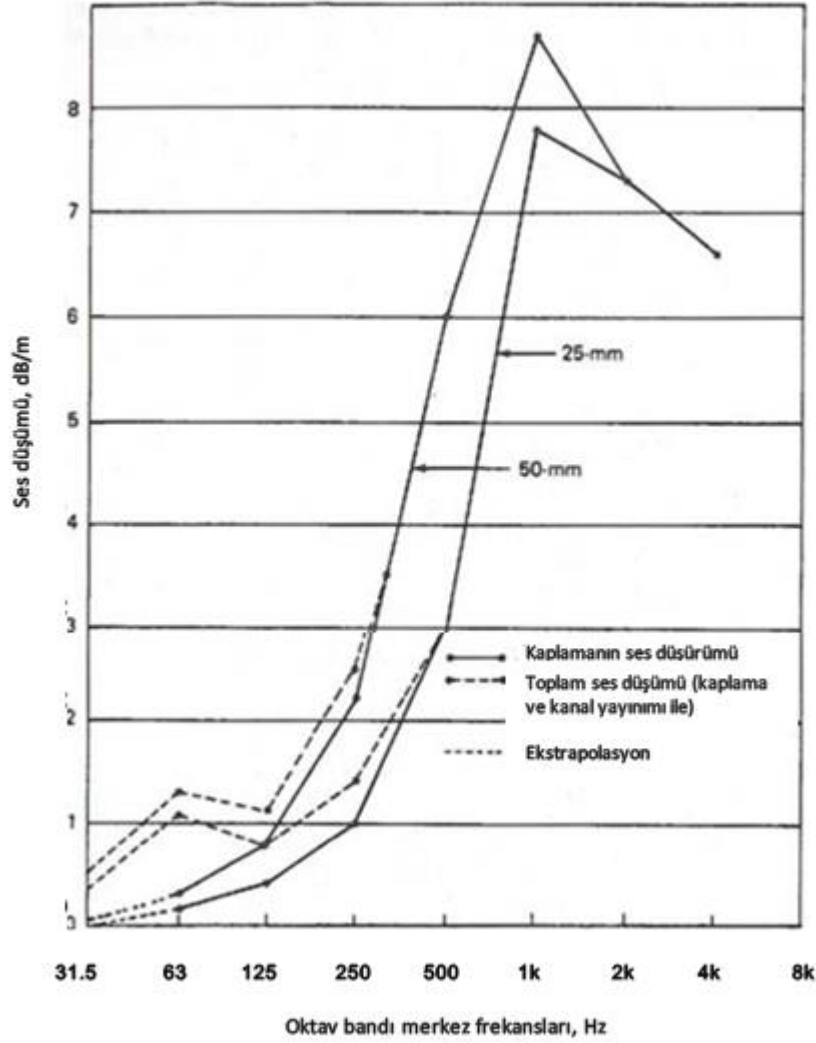
Kanal kaplamasının özellikleri.

Kanal kaplaması hava akış yönündeki yüzü neopren kaplı camyünüdür. Malzemenin yoğunluğu 24-48 kg/m³ arası olacak şekilde 25 veya 50 mm. kalınlıktadır. Ses yutum katsayıları merkez oktav bandı frekanslarına göre test edilerek belirlenir.

Tablo 4. Kaplamalı kanallarda metrede desibel olarak ses azaltımı
25 mm kalınlıkta 24-48 kg/m³ camyünü kaplaması ve kanal yayılımı nedeniyle ses azaltımı değerleri.

		Octave-band center frequency, Hz						
		63	125	250	500	1000	2000*	4000*
Dikdörtgen Kanal								
Boyutlar (cm X cm)	Çap/alan							
	oranı (cm/cm ²)							
(10 X 20)	(0.3)	0.7	2.1	3.3	8.2	22.4	21.2	8.4
(15 X 30)	(0.2)	0.6	1.9	2.6	6.3	17.3	15.7	7.6
(20 X 30)	(0.17)	0.6	1.8	2.4	5.8	15.9	16.3	8.7
(25 X 41)	(0.13)	0.5	1.7	2.1	4.9	13.5	13.3	7.9
(30 X 30)	(0.13)	0.6	1.7	2.3	5.4	14.8	14.9	8.8
(30 X 61)	(0.10)	1.2	0.8	1.8	4.1	11.1	9.5	6.5
(30 X 91)	(0.09)	1.2	0.8	1.6	3.6	9.8	5.8	4.2
(38 X 38)	(0.11)	1.2	0.9	2.0	4.7	12.7	12.6	8.3
(38 X 76)	(0.08)	1.2	0.8	1.6	3.5	9.5	8.1	6.1
(46 X 71)	(0.07)	1.2	0.8	1.5	3.4	9.3	8.8	7.0
(46 X 91)	(0.07)	1.2	0.7	1.4	3.1	8.5	7.1	5.8
(61 X 91)	(0.05)	1.1	0.7	1.3	2.9	7.8	7.3	6.6
(61 X 122)	(0.05)	1.1	0.6	1.3	2.6	6.3	5.8	5.5
(76 X 76)	(0.05)	1.1	0.7	1.4	3.0	8.2	7.6	7.0
(76 X 152)	(0.04)	0.4	0.6	1.3	2.2	4.4	4.9	5.1
(91 X 91)	(0.04)	0.4	0.7	1.3	2.7	6.6	6.7	6.7
(91 X 182)	(0.03)	0.4	0.6	1.0	2.0	3.3	4.3	4.9
(107 X 107)	(0.04)	0.4	0.6	1.2	2.4	5.2	5.9	6.5
(122 X 122)	(0.03)	0.4	0.6	1.1	2.2	4.3	5.4	6.2
Silindirik Kanal								
Çap, (cm)								
(15)		0.7	1.6	3.3	5.9	7.2	7.2	6.6
(30)		0.5	1.0	2.3	4.9	7.2	7.2	4.9
(61)		0.3	0.7	1.6	3.3	5.6	3.0	1.6
(122)		0.1	0.3	1.0	2.0	2.0	1.6	1.6

*Bu değerler 3 m.'den büyük kanallara uygulanabilir. Daha büyük uzunluklar için birim uzunluktaki azaltım değeri yukarıdaki değerlerden daha küçük olur.



Şekil. 7 Kaplama ve kanal yayını ile ses düşümü

Kanal ayrımlarında ses gücünün bölünmesi

Şekil 7'deki gibi kanal ayırma bölümlerinde ses dağılımı yaklaşık olarak ana kanal ve ayrılan kanal alanları oranında bölünür. Bu bölünme ayırma bölgesinde ses gücünün azalmasına sebep olur. Örneğin hava kanalı alanları iki eşit alana ayrılarak devam ederse, ses şiddeti de yarı yarıya azalarak kanallar boyunca devam edecektir.

Bu gücün ayrışımından sebep ses düşümü, aşağıdaki şekilde tanımlanır:

Ses düşümü =

Bu eşitlik tali kanaldaki ses gücü seviyesini bulmak için ana kanal ses gücü seviyesinden çıkarılması gereken desibel sayısını temsil eder. Bu ilişki Tablo 5'de gösterilmiştir. Örneğin tali kanal ile ana kanal oranı %4 ise; %4 lük bir oranla ses kanaldan geçecektir. Bu itibarla aşağıdaki tabloya göre tali kanaldaki gürültünün ses gücü seviyesi ana kanaldaki ses gücü seviyesinden 14 dB daha az olacaktır.

Tablo 5. Ana kanal ile tali kanal arasındaki ses bölünmesi*

Oran (tali kanal alanı/ana kanal alanı)	0.01	0.02	0.04	0.06	0.08	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8
Çıkarılması gereken dB değeri	20	17	14	12	11	10	7	4	2	1

*Bu bölünme tali kanallarda önemli düşümler sağlar. Bu tablodaki rakamlar tali kanaldaki ses gücü seviyesini bulmak için ana kanal ses gücü seviyesinden çıkarılması gereken desibel sayısını temsil eder.

Kanal dirseklerinde ses düşümü

Dik açılı dirsekler gelen sesin bir kısmını geri gönderir. Bununla beraber sesin kanal boyunca yayılımı azalacaktır. Kaplamalı ve kaplamasız dirseklerde yaklaşık ses azalmaları tabloda görülmektedir. Yüksek hava akım hızlarında (10mt/saniye) oluşan türbülans sebebiyle dirsekler yeni bir ses kaynağı gibi davranırlar. Dairesel kesitli kanallardaki türbülans dörtgen kesitlilere göre daha azdır. Hava kanalları dirseklerinde oluşan türbülans kanatlar kullanılarak azaltılabilir. Kanatlar çok dikkatli yerleştirilmelidir. Kanatların çevresinde oluşacak kıvrımlar ses kaynağı olabilirler.

Tablo 6. 90° dönüş kanatlı dikdörtgen dirsek kanalların, 25 mm camyünü ile kaplamalı ve kaplamasız ses düşümleri (dB)

Dönüş düzleminde kanal genişliği (cm)	Octave-band center frequency, Hz						
	63	125	250	500	1000	2000	4000
Kaplamalı dirsekler							
(12.5 - 25)	0	1	1	2	3	4	6
(27 - 51)	0	1	2	3	4	6	8
(53 - 102)	1	2	3	4	5	6	8
(104 - 203)	2	3	3	5	6	8	10
Kaplamasız dirsekler							
Tüm ebatlar	0	1	2	3	3	3	3

Kanallarda son yansıma kayıpları

Bir kanal odaya açıldığında sesin bir kısmı geriye doğru kanala ve fana doğru yansyarak kanal çıkışında kayba uğrar. Bu kanal sonlarındaki yansıma çoğunlukla sesin dalga boyunun kanal boyutlarına göre çok büyük olduğu küçük kanallar için düşük frekanslarda olur. Bu ses kayıpları sadece frekans ve kanal boyutlarına değil aynı zamanda çıkışların duvara göre yerleşimlerine de bağlıdır. Tabloda kanal boyutlarına bağlı olarak açık bölgeye verilen çıkışlar için uç nokta yansıma kayıpları verilmiştir.

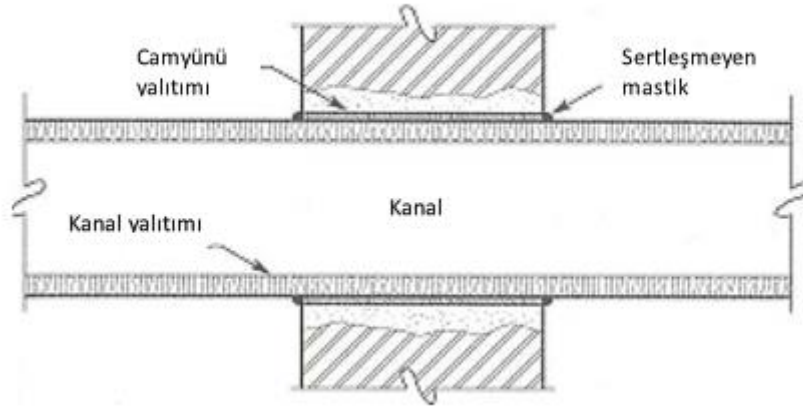
Bu şekilde son yansıma kayıplarına ilişkin verilen datalar kanal ağızlarına monte edilmiş difüzer veya ızgaralara da uygulanabilir. Ancak kanalın lineer tip bir difüzere (strip difüzer) bağlanması halinde son yansıma kayıplarının plenuma bağlananların yarısı kadar olduğu söylenebilir.

Tablo 7. Son yansıma kayıpları sonucunda kanallardaki ses düşümü, (dB)

Kare kanal boyutu, dairesel kanal çapı, (cm)	Oktav bandı merkez frekansları, Hz				
	63	125	250	500	1000
(15)	18	12	8	4	1
(30)	13	8	4	1	0
(60)	8	4	1	0	0
(120)	4	1	0	0	0

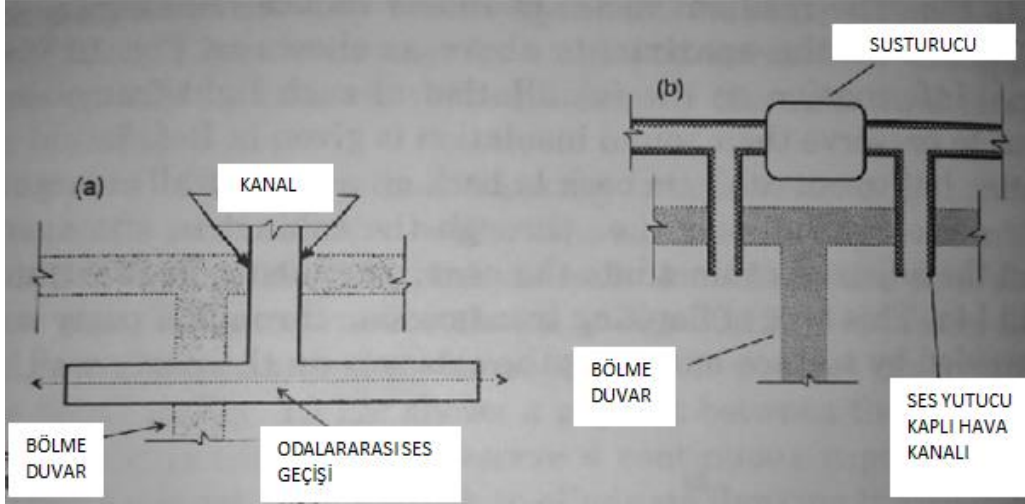
Kanalların döşeme ve duvar geçişleri

Kanalların çevre aksamlarıyla temas ettiği yerlerde istenmeyen sesler oluşacaktır. 1-) Kanal çevresinde çatlaklar olabilir ve ses diğer odalara bu çatlaklar vasıtasıyla yayılabilir. 2-) Kanal titreşimi temas ettiği malzeme üzerine intikal ederek titreştirip, sesin yayılmasına sebep olabilir. 3-) Titreşim kanal üzerine tekrar gelerek bütün HVAC sistemine dağılıma sebep olacaktır. Bu etkilerden kaçınılabilmesi için kanal sisteminin temas yerlerinden 8. şekildeki gibi camyünü gibi esnek bir malzeme ile yalıtılması gerekmektedir. Bölmenin her iki tarafının sertleşmeyen dolgu ile kapatılması gerektiğini not edelim.

**Şekil 8.** Bir bölmeyi geçen kanalın dizaynı.

Odalar arasında "Çapraz-iletim" gürültüsü kaynağı olarak kanallar

Aşağıda 9. şekilde gösterildiği gibi "çapraz-iletim", iki odası ortak olan besleme veya dönüş kanalı aracılığıyla aktarılan bitişik odalar arasındaki gürültü iletişimidir. Bu çizimde, bir odadaki gürültü hava çıkış ağzından girip, kanal boyunca yoluna devam ederek yan odanın hava çıkış ağzından aktarımı görülebilir. Kanalın kaplanması bu etkiyi azaltır, ancak kanal uzunluğu nispeten kısa ise, kaplama tarafından sağlanan zayıflama kabul edilebilir bir seviyeye ses iletimini azaltmak için yetersiz olabilir. Bu durumda, Şekil b'de gösterildiği gibi ses düşürücü gerekebilir.



Şekil 9. Kanallar vasıtasıyla gürültünün odalararası taşınımı

Bir kanalın gürültülü bir odadan geçtiği yerlerde, söz konusu gürültü kanal duvarları boyunca taşınabilir. Gürültü, sonra kanal düşümü boyunca taşınarak bitişik odalardaki hava terminal cihazlarınınca iletilebilir. Bu durum sacdan mamul kanal duvarları tarafından sağlanan ses yalıtımının (kaplamalı olsun veya olmasın) yeterli olmamasındandır.

Bu geçiş kaybı yeterli olmadığı zaman, kanalların ses yalıtımı aşağıda 10. şekilde gösterildiği gibi yalıtılarak artırılmalıdır. Ayrıca dikdörtgen bir kanaldaki iletim kaybı çeşitli şekillerde de artırılabilir. Camyünü levha dıştan kaplanarak mekanik bağlantı elemanları ile izolasyon sağlandıktan sonra, camyünü üzeri rabitz teli gibi bir donatı ile sarılarak üzeri sıvanabilir. Ancak bu metot dairesel kanallarda kullanıma göre düşük frekanslarda az etkili olmasına rağmen dikdörtgen kesitli kanalların ses izolasyonunda pratik iyileştirmeler sağlar.

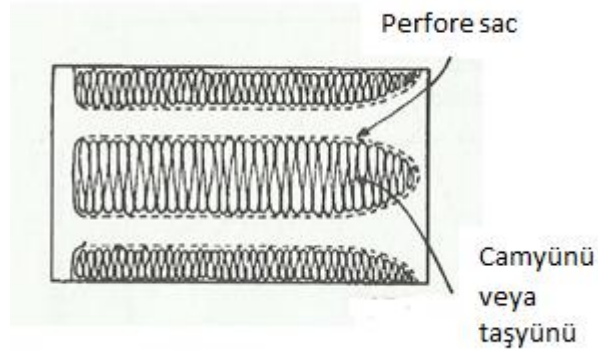


Şekil 10. Kanalların dıştan kaplanması örnekleri

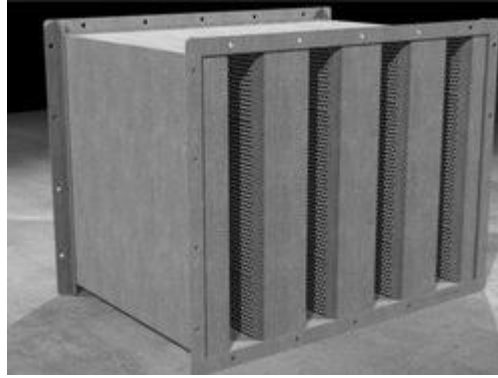
4. SUSTURUCULAR (SES KAPANLARI)

Projelerde SA kısaltmasıyla tanımlanan susturucular (*ses kaparı, ses tutucu, kanal susturucusu veya prefabrike susturucu olarak da anılan*) HVAC kanalları arasında aynı uzunluktaki kanala kıyasla çok daha yüksek ses düşümü sağlayan cihazlardır. Bir susturucunun kesiti kanal genişliğine eşit veya ondan büyüktür. Şekilde görüldüğü gibi kesiti oldukça geniş bir ses bandında yutum yapmayı temin edecek şekilde içleri ses yutucu elemanlarla doldurulmuş ve daha küçük kanallarla ayrılmıştır.

Susturucular kesitleri genellikle modüler formlarda ve uzunlukları 0.90, 1.5, 2.1 ve 3.0 m değişen yapıdadırlar. Dairesel kanallar için de kanal çapının 2 veya 3 katı olacak şekilde dizayn edilirler.



Şekil 11. Bir susturucunun kesiti



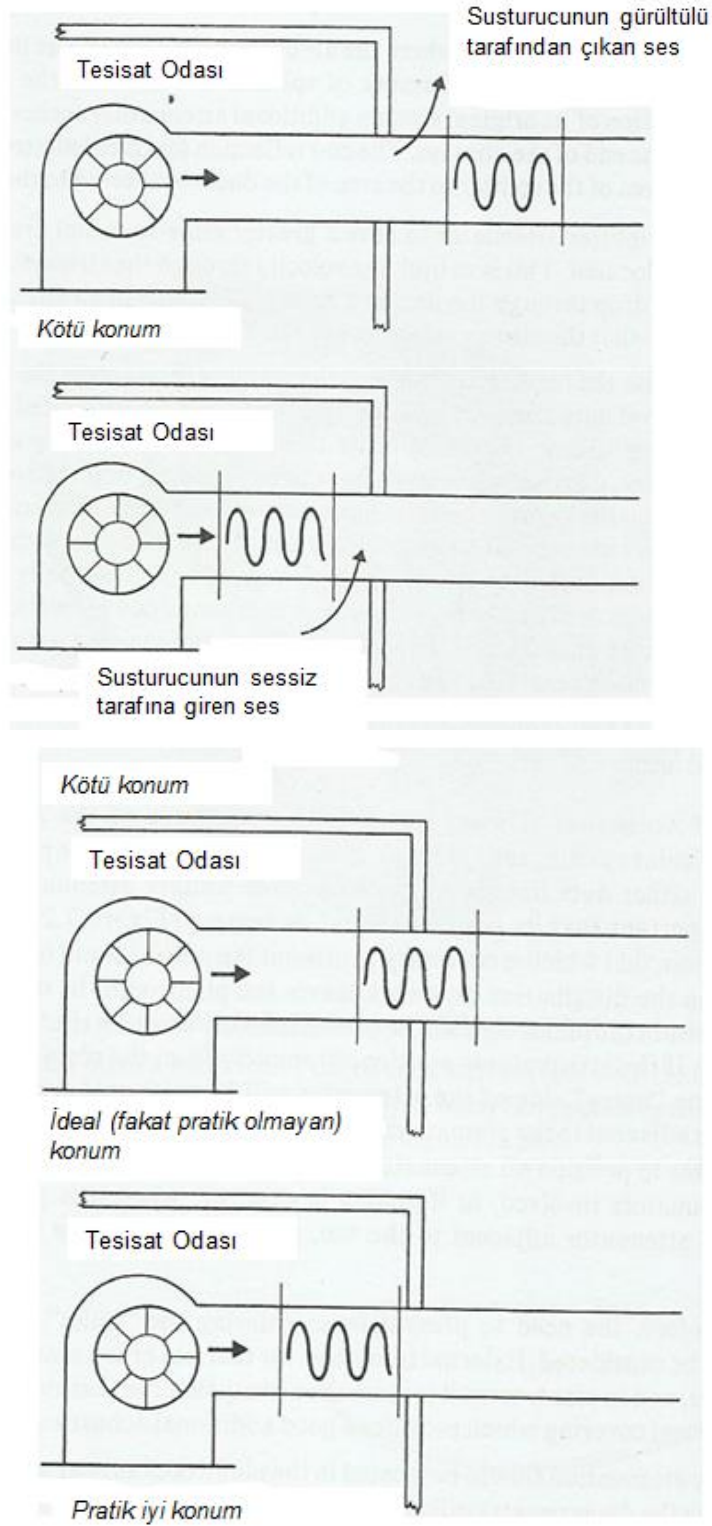
Şekil 12. Dikdörtgen susturucu

Bir susturucunun susturucu yüzündeki hava hızının bir fonksiyonu olarak üç önemli karakteristiği vardır: 1) giriş kaybı, 2) basınç düşüşü, 3) kendi öz gürültüsü. Bu faktörler arası ilişki aşağıdaki 8. Tabloda 1,5 m. uzunlukta ve 0.30 x 0.30 m. kesitli tipik bir susturucu için verilmektedir.

Tablo 8. Tipik bir susturucunun yutumlama ve öz gürültü seviyeleri

		Oktav bandı merkez frekansı, Hz							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Giriş kaybı	dB	4	11	20	37	44	44	38	22
Öz gürültü	dB	48	42	39	35	36	37	35	30

Susturucuların üretici data ve özellikleri en son standartlara uygun test prosedürlerine dayalı olarak belirtilmelidir. Bu koşullar uygulama yerinde sağlanamazsa, basınç düşüşü artarken, akustik performans azalabilir. Bu sebepten susturucular fan çıkışı veya kanal dirseklerinden kanal boyutlarının 2 ila 3 katı kadar ayrı tutulmalıdır.

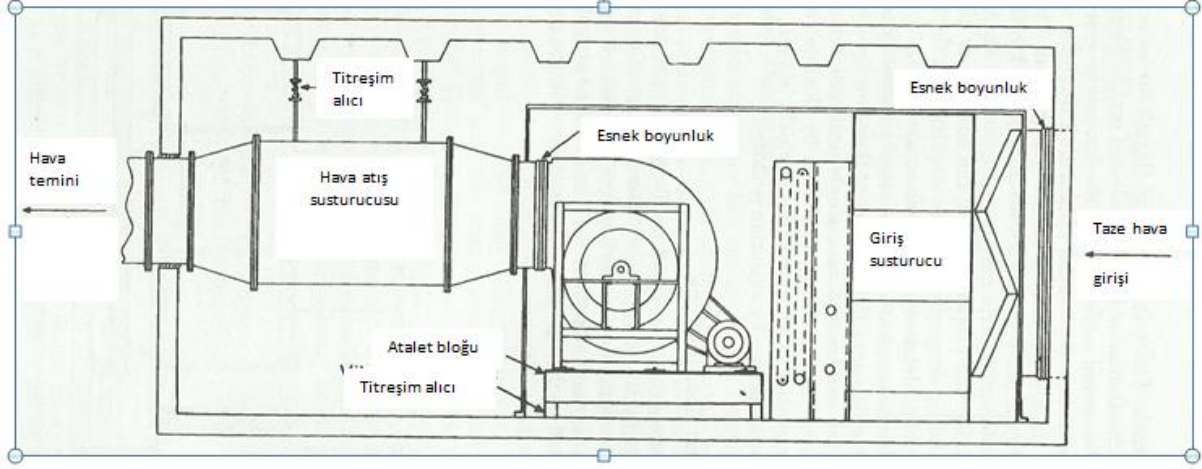


Şekil 13. Susturucu konumları

Uygun susturucu konumları 13 nolu şekilde görülmektedir.

14. Şekil merkezi havalandırma sisteminde kullanılan santrifüjlü bir fanın hava giriş ve atışlarında kullanılan susturucuları göstermektedir. Fan çıkışı susturucu ile teçhiz edilerek akustik enerji

azaltılmıştır. Bu susturucunun gereken giriş kaybı fanın ses gücü seviyesi (susturucu olmaksızın) kullanılarak odada oluşacak kritik ses seviyesi hesaplanarak tanımlanmıştır. Hesaplanan ses seviyesi izin verilen ses düzeyini aştığı miktar bulunarak gereken susturucu için giriş kaybı temin edilmiştir.



Şekil 14. Santrifüjlü fan yerleşiminde susturucular

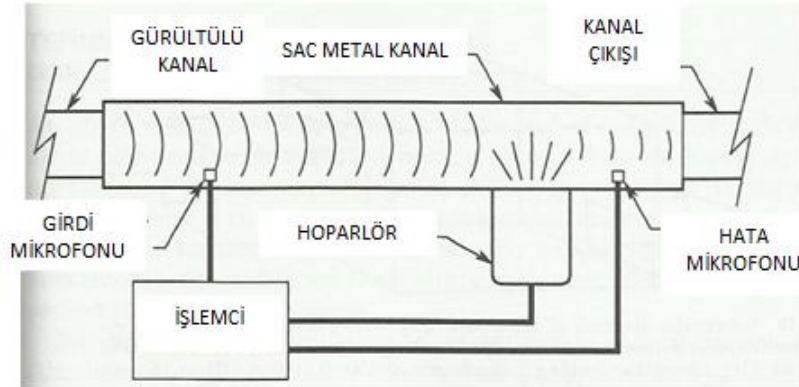
Susturucu seçmenin kuralı yoktur. Susturucular kendi öznel ihtiyaçlara göre seçilirler. Figürde gösterilen giriş sisteminden gelen gürültüyü azaltmak için kullanılan ses azaltıcı dışarı uygun ses düzeyi çıkarmaktadır. Bu ses düşürücü çıkış kısmına koyularak da aynı şekilde uygulanabilir. Tanımlanan her oktav bandı için farklı kriterler uygulanabilir. Figürde ses düşürücüler direkt olarak aksiyal fanın giriş ve çıkış bölgelerine uygulanmıştır. Ses düşürücü ve fan tek unite olarak giriş ve çıkış kanallarından esnek bileziklerle ayrılarak yalıtılmıştır. Ayrıca ünite bina yapısından ağırlaştırılmış blokla titreşim izolatörleri ile yalıtılmıştır.

Susturucu Şartnameleri

Susturucular veya prefabrik susturucular dB olarak tanımlı basınç değerlerini geçmeyen hava akım bölgesinde belli giriş kayıpları sağlayacaktır. Susturucuların giriş kayıpları, basınç azaltması ve kendi öz gürültü değerleri belli hava akımlarında ASTM E477 ye göre tanımlanarak yayınlanmıştır.

Aktif Susturucular

Aktif ses yutucu özel tip bir düşürücü olup hoparlör gibi ses kaynağı kullanarak, hava kanallarında oluşan istenmeyen gürültü ile aynı şiddette ses oluşturulması esasına dayanır. Bu ses yok etme tekniği dalga boyu hava kanalı boyutlarından büyük olan yerlerde kullanılmalıdır. Bu yüzden uygulama yaklaşık 250 Hz altında olan frekanslarla sınırlıdır.



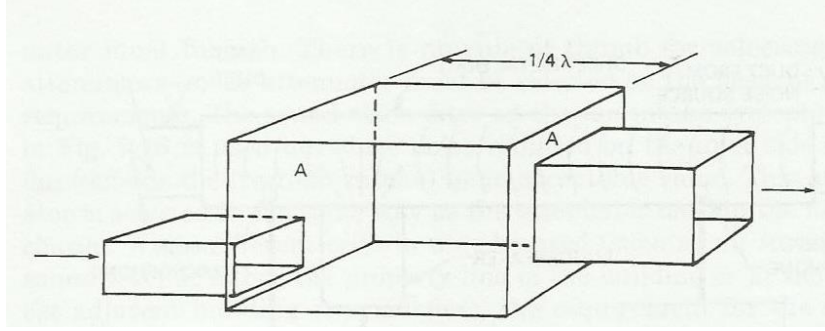
Şekil 15. Aktif gürültü kontrolünün prensip yapısı

Bu tür ses azaltma sisteminde gelen sesi tanımlamak için giriş mikrofonu, gelen sinyali işlemek için sinyal işlemcisi vardır. Bu işlemci hava kanalı üzerine monte edilmiş olan hoparlöre elektrik sinyali göndermektedir. Hoparlör kanala giriş gürültüsü ile aynı şiddette, 180 derece ters yönlü ikinci ses dalgası göndermektedir. Gerçek azaltma sağlanamazsa hata mikrofonu işlemciye tekrar ilgili sinyali gönderir.

5. SES YUTUCU BOŞLUKLAR (PLENUMLAR)

İklimlendirme sistemi besleme ünitesinde boşluk veya plenum, atmosfer basıncından yüksek basınçlı havayı bir veya daha çok kalana bağlayan kapalı bir hacmi; geri dönüş ünitesinde ise daha düşük basınçlı olup birkaç ızgaraya ileten kapalı hacmi tanımlar. Bu anlamda fan çıkışındaki ve hava dağıtım kanallarına girişten önceki türbülanslı akışı azaltmak ve dolayısıyla ses seviyesini düşürmek için kullanılırlar. Örnekleri;

- Kanal sistemine giren genişleme hacmi hava kanalı kesitinden altta 16. şekilde görüldüğü gibi 4-6 kat büyük olmalıdır.



Şekil 16. Akustik olarak yalıtılmış düşük frekans yutumlu bir plenumun şematik görünümü. Tüm plenumun iç duvarları 10-15 cm. kalınlıkta camyünü ile donatılmıştır. İki plenumun duvar alanı A, kanal kesit alanının 4-5 katı olmalıdır; λ yutulacak en düşük frekansın dalga boyudur.

- Dönüş sistemi için asma tavan ve yapı arasında kalan boşluk kullanılır.
- Emiş ve atıştaki türbülansı düzeltmek için bir sac metal kabinle tanımlanır.
- Hava dönüş sisteminin bir parçası olarak kullanılan oditoryumun eğimli oturma alanı altı da plenum kutusu için bir yer olarak kullanılır.

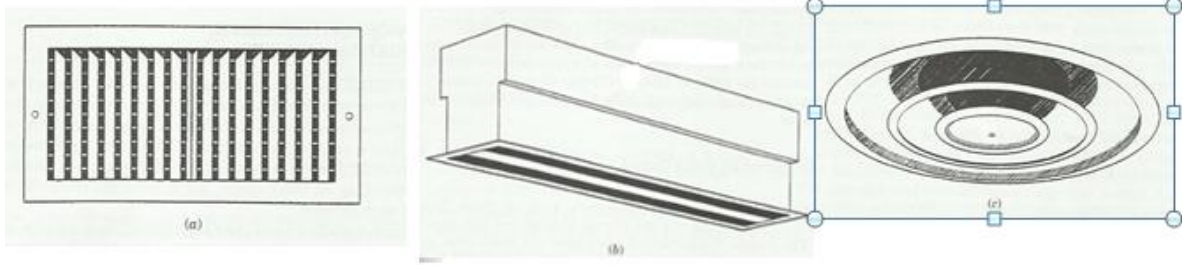
İç duvarları yalıtım ile kaplanmış plenumlar önemli ses azaltımı sağlarlar. Örneğin duvarları 10 cm camyünü ile kaplı plenum boşluk bölgesi 31.5 Hz e kadar en az 12 dB giriş ses kayıpları sağlar. Yüksek frekanslarda da kayda değer kayıpları temin etmede faydalıdır.

Söz konusu tipte bir yalıtım uygulamasında cam yünü 10 cm – 15 cm ve neoprenkaplı olmalıdır. Genelde camyünü duvara yapıştırma klipleri ile tutturmak kolaydır. Yapıştırma klipleri metal ve sert disklerdir. Disklerin altı epoksi ile plenum duvarlarına yapıştırılır. Camyünü kliplere tutturulur ve klip rondelası takılarak yalıtım güvenceye alınır.

6. TERMİNAL CİHAZLARI (HAVA DAĞITICILAR, IZGARA VE PANJURLAR)

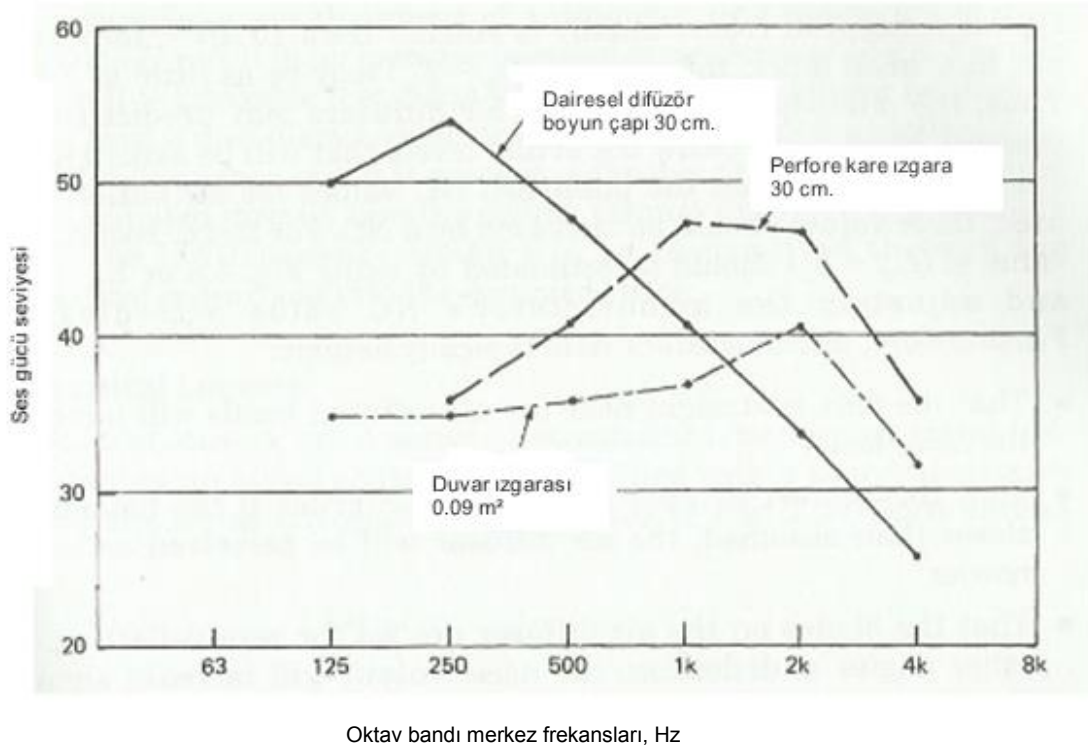
Hava terminal cihazı hava kanalı sonunda havanın alındığı veya verildiği bölümlerdir. Terminal cihazları (dağıtıcılar; *kanatlı ve damperli kanatlı menfezler, yarık yayıcılar, tavan yayıcıları*) ortama

hava sağlamak ve dağıtmakta kullanılır. Geri dönüşüm sisteminde terminal sistemleri şekline göre ızgara tipi vb. şekilde isimlendirilirler ve hava bu bölgelerden geri çekilir. Hava dağıtıcılar yuvarlak dikdörtgen ve uzun dar şekilde olabilirler. Spektrum ve seviye tamamen dağıtıcının tipine ve yansıtıcının tipine bağlıdır.



Şekil 17. Çeşitli tipte difüzörler a) Dikdörtgen difüzör b) Lineer difüzör c) Dairesel difüzör

17 nolu figürde farklı 3 tip hava dağıtıcı görülmektedir. 18 nolu şekil farklı tipte difüzör ve ızgaralrın merkez oktav bandları spektrumunu vermektedir. Herbiri 0.4 m³/s hava temini sağlamaktadır ve ses gücü seviyelerinin doğrudan doğruya hava dağıtıcı tipine bağlı olduğu görülmektedir.



Şekil 18. Üç tipte hava dağıtıcısının oktav bant ses seviyesi örnekleri

Hava dağıtıcılarının (difüzörler) çıkış seslerine hava saptırıcıların etkisi

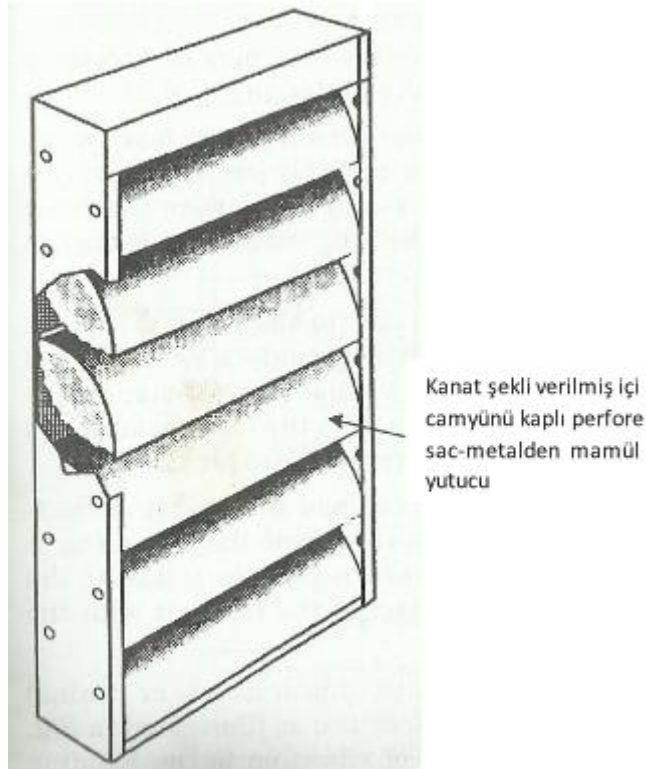
Hava dağıtıcılar genellikle hava saptırıcılar ile oluşturulur. Kanatçık, yüzgeç ve koni yapısı havanın dağıtılmasına yardımcı olur. Yüksek yönlü saptırıcı yüksek ses seviyeli saptırıcı üretimidir. Hava akımının hızı ile dağıtıcıdan gelen ses de yükselir. Örneğin 500 Hz oktav bandında dağıtıcının sesi hava hızının 2 katına çıkmasıyla 16 dB yükselir, 1000 Hz oktav bandında ise 18-24 dB yükselir.

Gürültü üreten hava dağıtıcılarına damperlerin etkisi

Hava akış miktarını düzenleyen damperler hava çıkışında veya difüzör veya ızgaraların arkalarına kurulabilirler. Damperler yansıyan sesleri yükseltirler. (genelde 1000-8000 Hz arasında). Fazla sayıda damper uygulamak hava akışını engeller ve yüksek ses üretir.

Akustik Panjurlar

Akustik panjurlar içi camyünü veya taşıyünü kaplı uçak kanadı şeklinde perfore metallerden mamul bir seri ses yutucunun içinde tutulduğu modüllerdir. Örneği 19 nolu şekilde görülebilir. Bu tip cihazlar bazen bir HVAC sisteminin doğrudan dışarıya açılan yerlerinde (örneğin temiz hava girişlerinde) 500-2000 Hz.lik orta frekans bölgelerinde ses düşümünde kullanılırlar. Bazen de ses içeren bir kaynağın kabininin havalandırmasında kullanılırlar.

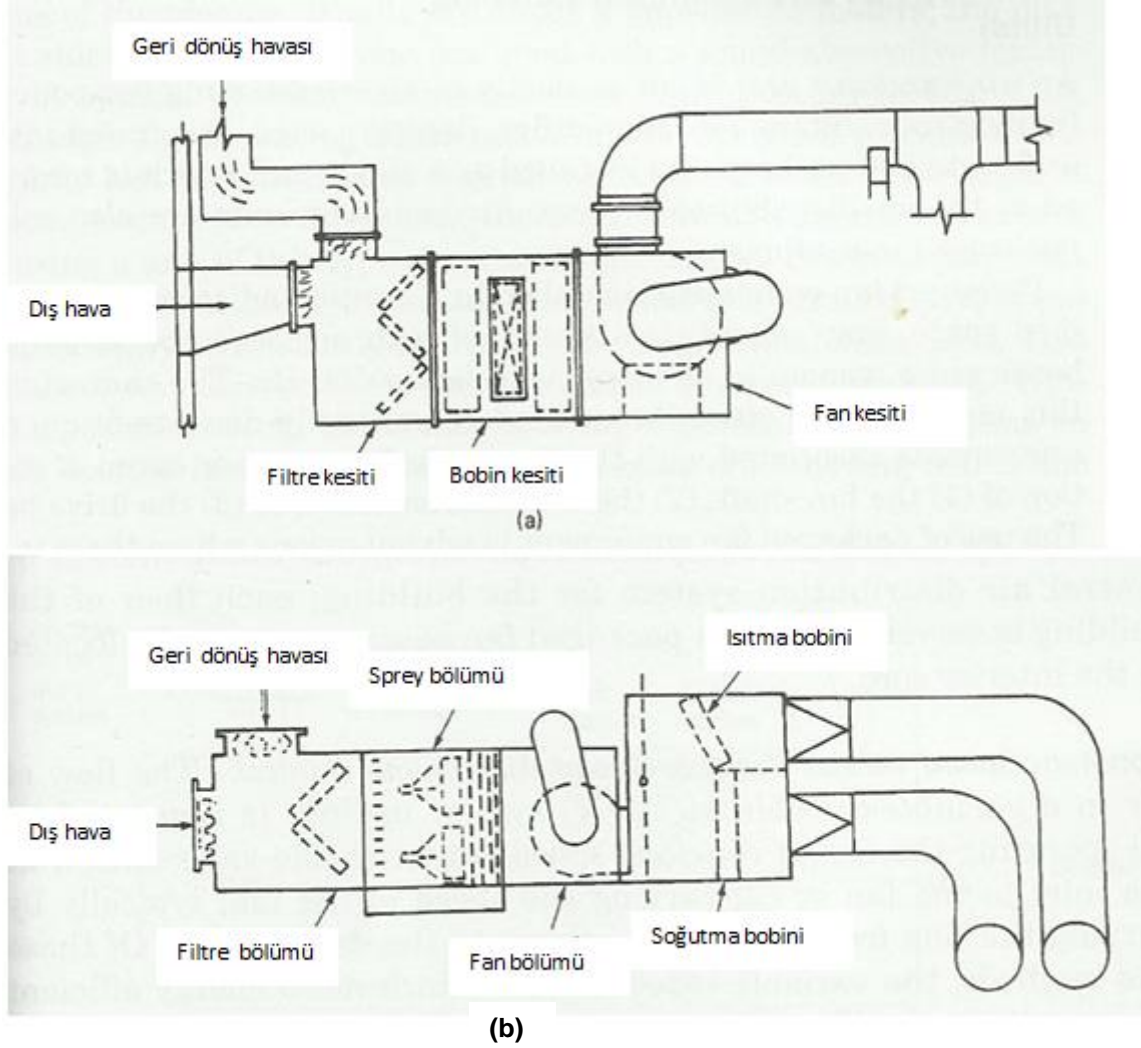


Şekil 19. Akustik panjur

7. BÜTÜNLEŞİK FAN EKİPMANI

Bütünleşik fan ekipmanı terimi fan seçiminin ayrı komponentleri ve sistemin diğer elemanlarının tek üniteye entegre edildiği cihazı anlatır. Fan böylece hava performans eğrisinin en etkili bölgesinde işlem yapacak konuma erişerek elektrik tüketimini ve fan gürültüsünü en aza indirir. Mekanik oda hacminin artması başlangıç maliyeti için dezavantajdır.

İki tip konfigürasyonu vardır: Emme ve üfleme tipi olarak. Farkları aşağıdaki şekilde belirtilmiştir.



Şekil 19. Bütünleşik fan a) Emme birimi, b) Üfleme birimi

Emme tipinde hava fan ağzına ısıtma ve soğutma bobinlerinden çekilir ve fanın atma kısmı doğrudan doğruya ana dağıtıcı klima sistemine yönlendirilir. Bu düzenlemede, ses yutucu genellikle ana kanaldaki ses kontrol tasarımında ilk eleman olarak gerekmektedir. Üfleme tipi yapılandırmada ise, besleme fanına giren hava filtreler arasından geçer; fanın atış yönü, ısıtma ve soğutma bobinleri ve plenum kutusunun ana dağıtım kanalı ile birleşmesinden önceki geçiş bölümleri boyunca hava sağlar. Plenum ses yutucu kalıba sahipse, 5-10 desibel arasında ses azalması sağlar. Dolayısıyla, düşük frekanslarda, emme tipi yapılandırmada kullanılan aynı fanda daha düşük ses güç seviyesi olacaktır. Dahası, yüksek frekanslarda, daha yüksek ses azalması sağlayabilir.

Genellikle; üfleme tipi yapılandırma, emme tipi geometriye göre ana kanal sistemine çok daha az fan sesi aktarır. Bazı durumlarda, sesin bu şekilde az aktarılması sayesinde, emme tipi yapılandırmada alışılmış olan ana kanal ile besleme fanı bağlantısındaki ses sönümleyici ihtiyacı azalabilir ya da hiç ihtiyaç kalmayabilir.

Paket Tipi Fan Ekipmanları (Hava-işleme Üniteleri)

Hava işleme ünitesi, bağımsız pakete entegre olan ve hava dağıtım sistemine tek bir ünite ile bağlanan havalandırma parçalarının (soğutma bobinleri, filtreler, fan, nemlendiriciler, damperler vs.) birleşimidir. Hava işleme üniteleri, paket tipi fan ekipmanları olarak da adlandırılır.

İskan edilen mahale bitişik monte edilen paketlenmiş fan ekipmanı, genellikle 500 Hertz frekans altındaki hava ve yapı kaynaklı sesin kaynağını oluşturabilir. Bu sesin karakteri, fan kanat geçiş

frekans veya (1) fan şaftının, (2) sürücülü motor şaftının, (3) tahrik kayışının dönme hızı ile ilişkili olan geniş bantlı veya öncelikli belirgin frekans bileşenleri olabilir. Merkezi havalandırma sistemi olmayan binalarda; genellikle iç çekirdekte konumlanmış, her bina katının kendi paketlenmiş fan ekipmanları ile hizmet verildiği durumlarda paketlenmiş fan ekipmanlarının kullanımı avantajlı olacaktır.

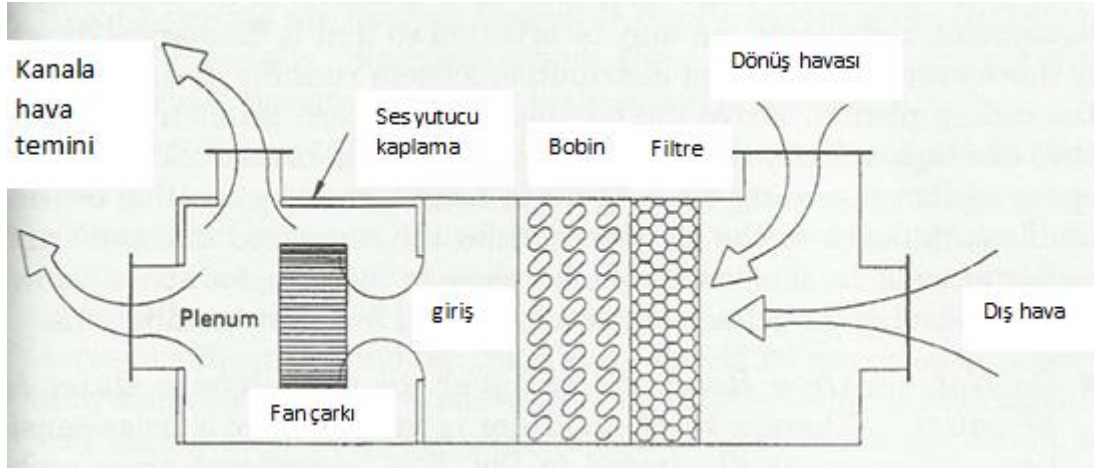
Sabit Hıza Karşı Değişken Hız Hava Hacim Kontrolü

Değişken hava hacim (VAV) sistemindeki hava akışı, genellikle (1)fan girişindeki değişken vana kontrolü ile fanın sabit hızda çalıştırılması, (2) tipik olarak çalıştırma motorundaki gücün çizgi frekansını değiştirerek fanın hızının değiştirilmesi ile düzenlenir. Bu iki yöntem içerisinde, fan hızının değiştirilmesi çok daha fazla enerji verimlidir ve çok daha düşük ses seviyeleri (15 desibel kadar daha düşük).

Bu tarz ekipman için olan uygulamaların çoğu ve ses kontrol problemleri, (fan hızı düzenlenmesi yerine, değişken giriş vanası kullanılması ile) kararsız hal alan, büyük boy fan seçiminden kaynaklanmaktadır. Diğer problemler, hava akımını düzenlenmesi amaçlı değişken giriş vanalarını kullanan ileri eğimli fan ile döşenmiş paketlenmiş fan ekipmanları ile meydana gelmektedir. Bu tipteki fanlar kararsız hale gelirse, özellikle düşük frekanslardaki (31,5 hertz ve aşağısı) dalgalanan ses ve titreşim seviyesinde 10 ile 15 desibel arasında artış olabilir. Fanı stabilize etmek için yapılan değişiklikler dışında, bu nitelikteki ses problemlerini düzeltmek genellikle mantıklı değildir. En genel çözüm, giriş vanasını çıkarmak ve değişken hızlı fan monte etmektir.

Plenum Kutusu Fan Ekipmanları

Plenum fanı, tipik kıvrımlı sarmal yapı içerisinde bulunmayan; onun yerine kanallı giriş ve çıkış bağlantılarına sahip dikdörtgen plenum kutusuna yerleştirilmiş geriye doğru meyilli kanat pervanesi kullanır. Plenum kutusunun boyutları, genellikle 2 pervane çapı civarındadır; plenum kutusunun iç yan duvarları, ses yutucu malzeme ile kaplıdır. Tipik bir plenum kutusu fan montajı, aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 20. Plenum fanı

İyi tasarlanmış plenum kutusu fanının operasyonel verimi; aynı görevdeki eş değer, kıvrımlı, kanat santrifüjlü olana göre bir miktar daha düşük olmasına karşın (yüzde 3 ile 5 arasında), belirli uygulamalarda bu tipin kullanımının birçok avantajı fark edilmiştir. Örneğin, kıvrımlı santrifüj yerine plenum kutusu fanı kullanan paketlenmiş ekipman; doğası gereği boylamsal boyutta önemli ölçüde daha kısadır. Bu da, her katta ayrı havalandırma sistemleri bulunan binalardaki tipik mekanik oda gibi sınırlanmış bölgelerde kullanımı için çok caziptir. Aynı mekan sınırlamaları içerisinde, daha verimli bir fan seçmek ve sistemi çalıştırmak için gerekli elektrik gücü kazancını maddi kazanca çevirmek de mümkündür. Dahası, çevrelenmiş hava toplama kutusu ile ortaya çıkan ses yutma sebebiyle, plenum kutusu; boşaltma yönünde, eş değer direkt bağlantılı kıvrımlı santrifüj fanına kıyasla önemli ölçüde daha az ses üretir. Ancak, hava toplama kutusu fanı girişinden ışıyan ses, kıvrımlı santrifüjlü olan ile

temelde aynıdır. Bu sebeple, hava dağıtım sisteminin dönüş yönünde benzer ses kontrol ölçümleri gerekmektedir.

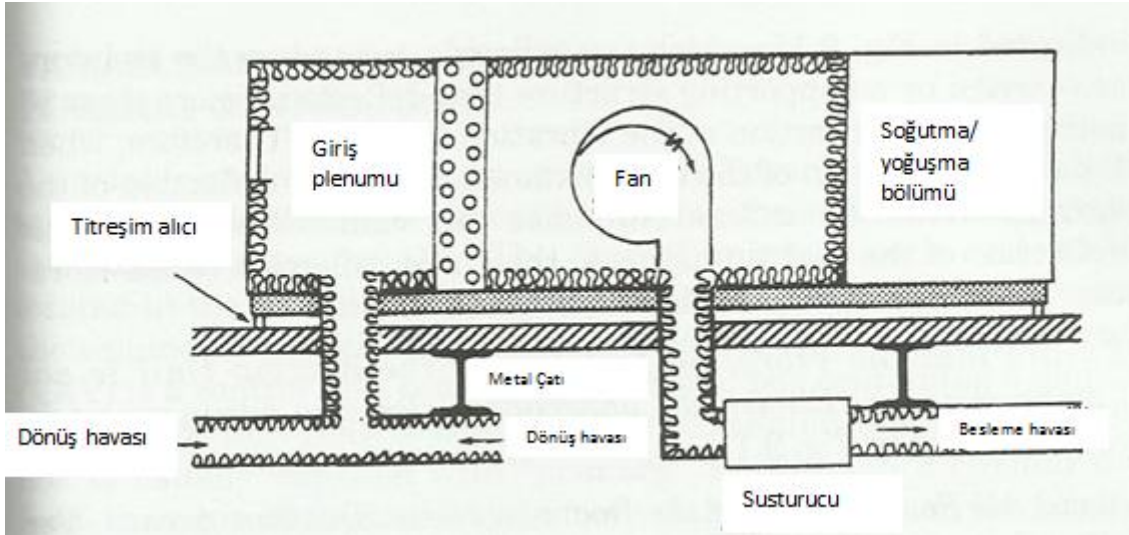
Paket Tipi Havalandırma Sistemleri

Paketlenmiş çatı tipi havalandırma sistemi, çatı montajına yönelik, tek gövdede toplanmış ve şartlandırılmış havayı genellikle direkt olarak altındaki odaya ya da kısa kanal sistemi boyunca yakınındaki boşluklara aktaran eksiksiz bir havalandırma ünitesidir. Çatı üniteleri, alçak binalarda (1) havalandırma sisteminin ilk maliyetini azaltmak, (2) montaj problemlerini azaltmak ve (3) mekanik ekipman odalarının ortadan kalkması ile artan kat alanından gelen geliri arttırmak amaçlarıyla sıklıkla kullanılır. Bina çatısı konumu, doğrudan buharlaşmalı soğutma serpantinini, soğutma kulesi ve ilgili pompaların ve su soğutma ekipmanı ile birlikte gerekli boruların ihtiyacını ortadan kaldıran hava soğutmalı sıkıştırıcı-yoğuşturucu sistemin kullanımına izin vermektedir. Doğrudan genişleme sistemlerinde, yoğuşturucu ve buharlaştırıcı arasındaki soğutucu çizgiyi olabildiğince kısa tutmak oldukça istenen bir durumdur; bu bina hava dağıtımının besleme ve dönüş fanlarının, uzaktan konumlandırma yerine ekipman paketinin bir parçası olarak entegre edilmesini gerektirmektedir.

Bu tipteki çatı ünitelerinin kullanımı; özellikle, ünite ses duyarlı alan ya da hafif bina yapı elemanlarının üzerine yerleştirilirse; çözmesi zor ve maliyetli olan ses ve titreşim kontrol problemleriyle sonuçlanabilir. Örneğin, çoğu paket tipi ekipmanın boy kesitini minimize etmek için; besleme fanı, direkt iskan edilen mahalın üstündeki tavan hava toplama kutusundaki yatay çalışan kanal dağıtımına aşağı yönde boşaltacak şekilde yönlendirilebilir. Bu şekilde bir geometri, fan boşaltımında yüksek hızlı havanın, 1 metre yüksekliği biraz aşacak alanda 90 derece dönmesini gerektirmektedir, dolayısıyla bağlantılı kanal sistemine akan havada ciddi oranda türbülansa ve iskan edilen mahalın altında düşük frekanslı sesin ciddi miktarda ışımasına sebep olacaktır.

Birçok uygulamada, aşağıdaki prensipler tavsiye edilmektedir.

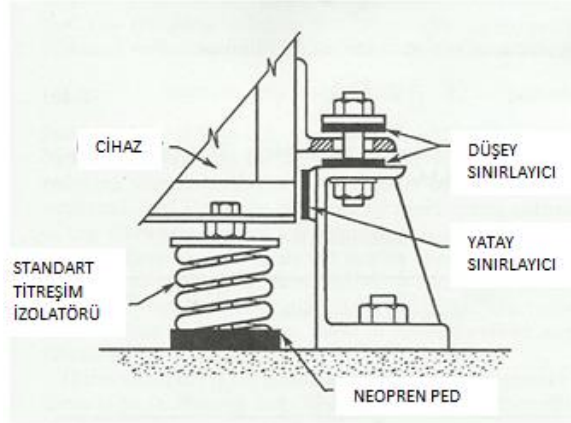
- Sessizliğin önemli olduğu alan üzerine çatı ünitesini yerleştirme: Şekilde gösterildiği gibi, çatı ünitesinin sese hassas kullanım yerinin üzerine konumlandırıldığı yerlerde, önemli ses problemleri oluşabilir.



Şekil 21. Çatı üstü birimi

Özellikle, (1) çatı ünitesi cam giydirmeye sahip binaların kenarına yerleştirilirse veya (2) alttaki mahalın tavanı; özellikle yüksek türbülanslı hava akımı taşıyan kanallar tarafından düşük frekans gürültüyü yayan akustik sarkmalı tavan sistemi ise bu tarz ses problemlerinin gerçekleşme eğilimi vardır. Buna ek olarak, çatı havalandırma sisteminin üzerine konulduğu tipik bir çatı, genellikle uygun bir ses izolasyonu sağlamaz.

- **Çatı ünitesini çatının en sağlam bölgesine yerleştir:** (örneğin, en iyi yöntem ünitenin direkt kolon üzerine yerleştirilmesi, ikinci en iyi yöntem ise kolona olabildiğince yakın yerleştirilmesi). Çatı ünitesinin yerleştirilmesinde, çatının sağlamlığını arttırmak için ekstra kirişlerin eklenmesi ve/veya çatının kütlesini ve sağlamlığını arttırmak için çatı altına ağır destekleyici dolgu eklenmesi düşünülür.
- **Çatı ünitesini bina çeperi yakınına yerleştirmekten kaçının:** Bu durum, özellikle düşük ses yalıtım performansına sahip perde duvarların olduğu binalar için önemlidir.
- **İlgili metotlar kullanarak tüm paket tipi çatı ünitesine etkili titreşim yalıtımı sağlayın:** Tipik bir çatı ünitesinin gövdesi genellikle, tek bir dış titreşim izolatörü ile desteklenecek kadar sağlam değildir. Ünitenin tabanı, sert bir trabzan üzerine yerleştirilmelidir, aksi takdirde; ünite, genellikle aşırı bükülmeye maruz kalacaktır. Bu tarz trabzanlar, şekilde gösterilen, neopren dolgu üzerindeki metal-helezon yayın kombinasyonu tipindeki titreşim izolatörlerinin üzerine yerleştirilmelidir.
- Abaklarda belirtilen ve sapma yüzdesi, titreşim izolatörlerine göre %10'dan daha fazla olmayan taşıyıcı strüktür tarafından taşınan izolatörlerin statik sapma değerine göre titreşim izolatörlerinin statik saptması bir şekilde daha fazla olmalıdır. Bu nedenle, çatının statik saptmasının bilindiği durumlarda, yayların statik saptmalarının bu değer en az 10 katı olması gerekir. Çatının statik saptmasının bilinmediği durumda, titreşim izolatörlerinin (Şekil 22.deki gibi) statik sapma değeri en az 5 cm olmalıdır.



Şekil 22. Bir titreşim izolatörü

- **Çatı ünitesi titreşim izolasyonunun elektrik bağlantıları tarafından tehlike altında kalmayacağından emin olun:**
- **Odanın sese hassas bölgelerinde geçişlerden kaçının:** Örneğin, kablo kanalı, borular, kanallar, kanalizasyon şebekesi geçişlerinden kaçının.
- **Çatı ünitesi altındaki akustik asma tavan üzerinde yüksek yoğunluklu destek kullanın:** Bu, yüzey ağırlığı minimum 7.3 kg/m^2 olan yüksek yoğunlukta bir destek olmalıdır. Sarkmalı akustik tavan sistemi ile bu destek, 12.5 mm kalınlığında alçı levha ile sağlanabilir.
- **Sese hassas bölgelerden geçen ana kanal sisteminin ses yalıtımını, kanal kaplama ya da kanalın etrafını çevirerek artırın:** Ancak, ana kanal sisteminin çatı ünitesine yakın olduğu bölgede, kanal kaplama ya da kanalın etrafını çevirmenin etkili olabilmesi için kanal sisteminin titreşimi(dinamik türbülans kaynaklı) azaltılmak zorundadır. Bu tipik olarak 16 mm alçı levhanın havalandırma kanalının yan duvarlarına vidalanması ile sağlanır. Kanal duvarlarının sağlamlaştırılmasından sonra, kaplamanın aldığı form; 25 ile 50 mm kalınlığının da fiberglas şilte şeklinde dış sargı ile 9.8 kg/m^2 birim ağırlığında alçı katman veya alçı levhanın toplamı şeklindedir. Ana kanal sisteminin, kanal duvarı titreşiminin kaynağı olan çatı ünitesi ile arasındaki mesafenin yeterli olduğu yerlerde, kanal yan duvarlarının sağlamlığı ihmal edilebilir. Kanal sisteminin kaplanmadığı yerde, dikdörtgen yerine dairesel kanal sisteminin kullanımı



oldukça avantajlıdır. Bu kriter, kanal sisteminin işgal ettiği alanların duvarlardaki sesin taşınımını azaltacaktır.

- *Ses sönümleyici ve astarlı hava toplama kutusu tesis edin:* Mümkün olan yerlerde, ses sönümleyiciler çatı üstünde olmalıdır, bu sayede; kanal binaya girmeden önce kanaldaki ses seviyesi azalmış olur.
- *Alışılmış havalandırma kapakları tarafından taşınan sesin komşulara verilen rahatsızlığın kaynağı olduğu yerlerde, çatı ünitesindeki hava emme ve boşaltmalarda akustik havalandırma kapağı kullanımını düşünün.*

8. DEĞİŞKEN HAVA HACİM SİSTEMLERİ VE HAVA TERMİNALİ KONTROL ÜNİTELERİ

Değişken hava hacim sistemi, emilen havanın(sabit sıcaklıkta) hacmini değiştirerek boşluktaki sıcaklığı kontrol eden bir havalandırma sistemidir. Bu tip sistemler için kontrol üniteleri, kanal dağıtım sisteminin farklı çıkışlara gönderilen hava hacmini kontrol etme hizmeti sağlayan bölgelerine konumlandırılır. Değişken hava valfi; damper, damper pozisyon kontrol ekipmanı, kontrollör ve sensör içeren metal kutuya sahip bir kontrol ünitesidir. Kutu, genellikle esnek bağlantı ile kutudan izole edilen ana dağıtım sisteminden gelen birincil hava ile dairesel kanal boyunca beslenir. Kutunun çıkışı; havayı, hizmet verilen boşlukta bulunan bir veya birden fazla hava difüzörlerine ileten kanala esnek bağlantı vasıtasıyla bağlanır. Bu tip bir ünite, sessiz ortam şartı olan yerler yerine, koridor gibi yerlere konulmalıdır.

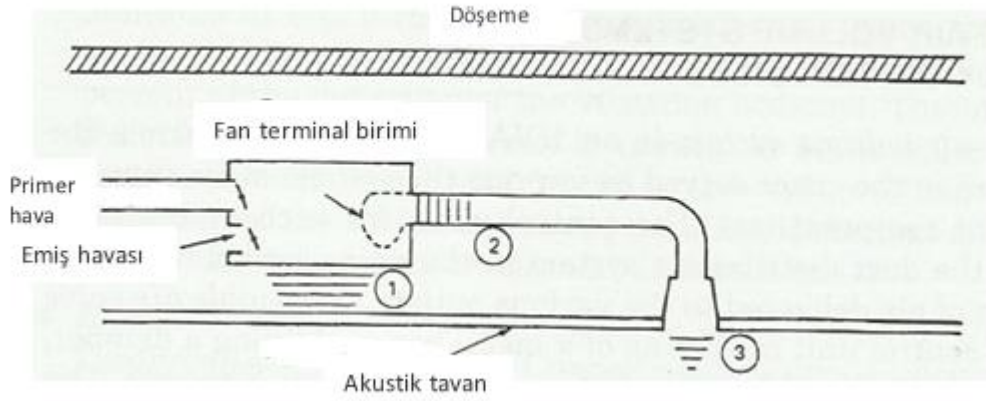
Karışım Kutusu

Karışım kutusu, orta veya yüksek basınçlı, yüksek hız sistemli kanallarda, havanın hızını düşürmek için kullanılan bir alettir; kutu, odaya dağıtılan akış hacmini kontrol eden ve sıcak ve soğuk havayı karıştırmak için kullanılan kapakçığı da içermektedir. Karıştırıcı kutu, (1) hava giriş kaybı getirir, (2) ağırlıklı olarak 250 ile 2000 hertz arasındaki orta frekanslar olmak üzere ses kaynağıdır ve (3) kasasından ses yayar. Genelde, daha geniş bir kutu demek, daha çok hava tutmak ve daha çok ses yaymak demektir.

Fan ile Çalışan Terminaller

Fan ile çalışan kutu, tavandaki plenum kutusundan gelen endüklenmiş hava ile birincil havayı karıştıran yardımcı fan ile desteklenen değişken hava kapakçığıdır. Böylece, bazı değişken hava kapaklarında, hava toplama kutusundan gelen endüklenmiş hava ile birincil havayı karıştırarak havanın taşınmasını tamamlamak için damper sistemi boyunca bir veya birden fazla yardımcı fan, kutuya monte edilir. Bu tarz bir ünite, fan ile çalışan terminal olarak tayin edilmiştir. Fan ile çalışan terminaller 2 farklı tipte bulunmaktadır: (1) Fanın sabit çalıştığı ve birincil ve dönüş havasının fan tarafından karıştırıldığı ve boşaltıldığı, sabit hacimli fan ile çalışan terminaller ve (2) fanın sadece hizmet veren boşluktan gelen endüklenmiş havayı işlediği ve sadece gerekli olduğu zamanlarda sıcak dönüş havası ile birincil havayı karıştırma işlevi gösterdiği fan ile çalışan terminaller. Fanın çalışması sürekli olmadığı için; bu, kontrol ünitesinin duyarlılık oranını artırır.

Bu tip terminallerde damper ve yardımcı fan sesin mekana yayılmasında en etkin bölgelerdir. Aşağıdaki şekil bu durumu özetlemektedir.



Şekil 23. Asma tavan boşluğundaki terminal birimi. (1) Fan beslemeli terminal ünitesinin kabin yayınımlı iletilen sesi; (2) Kabin ağzından taşınan ses; (3) Atış ağzından iletilen ses.

KAYNAKLAR

- [1] Noise Control in Buildings, Cyril M.Harris
- [2] Noise Control in Building Services, Sound Research Laboratories Ltd.

ÖZGEÇMİŞ

1967'de Kdz. Ereğli'de doğdu. İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi'ni bitirdi. Aynı üniversitenin Yapı Analizi ve Boyutlandırma Kürsüsü'nde yüksek lisansını tamamladı. Halen İzocam Tic.ve San. A.Ş.'de bölge sorumlusu olarak çalışmaktadır.