

2. HAVALANDIRMA VE İKLİMLENDİRME SİSTEMLERİNDE GÜRÜLTÜ KONTROLÜ

Genel olarak havalandırma tesisatında ses ve titreşim problemleri önemli bir tasarım parametresidir. Bu kapsam içinde mimari ile birlikte ele alınması gerekli çok çeşitli konular bulunmaktadır. Bunlar içinde kanal tasarımı ile doğrudan ilgili üç ana problem bulunmaktadır. En önemli problem klima veya havalandırma santralındaki gürültünün kanallar yolu ile yaşanan mahallere taşınmasıdır. İkinci problem, yaşanan bir mahalden geçen ve üzerinde menfez bulunmayan bir kanaldan bu mahalle yayılan sestir. Son hal ise iki mahal arasında kanallar tarafından taşınan sestir. Burada bu son hal üzerinde durulmayacaktır. Ayrıca titreşim problemi de ele alınmayacaktır.

Burada üzerinde durulmayan, tesisatla ilişkili gürültü ve titreşim problemlerinin çözümü için ASHRAE Handbook'larına ve SMACNA yayınlarına başvurulabilir.

2.1. TEMEL TARİF VE KAVRAMLAR

Ses elastik bir ortamın titreşimidir ve esas olarak bir basınç olayıdır. Havada doğan ses, ortalama atmosferik basınç etrafında hava basıncının değişimi veya titreşimidir. Elastik ortam içerisinde, bu titreşim şeklindeki basınç dalgalanmaları ortamın karakterine bağlı bir hızla yayılırlar. Ses bir basınç olayı olduğu kadar aynı zamanda bir enerji olayıdır. Sesin doğması ve yayılması aynı zamanda bir enerjiyi gerektirir. Aşağıda sesle ilgili bazı temel kavramların tanımları verilmiştir:

Sesin frekansı: Frekans titreşimlerin veya dalgalanmaların bir saniyedeki sayısına verilen isimdir. Birimi Hertz (Hz) olarak isimlendirilir.

Sesin şiddeti: Sesin şiddeti ses dalgalarının birim alanındaki enerjisi olarak tarif edilir. Ses şiddeti kaynaktan itibaren mesafenin karesi ile orantılı olarak azalır.

Saf tonlar, rastgele ses ve kompleks ses: Tek bir frekansta verilen sese saf ton denir. Belirli bir tonu olmayan su sesi gibi seslere rastgele ses denir. Kompleks ses ise saf tonlar ve rastgele seslerin birarada bulunduğu seslere denir ki tabiattaki seslerin hemen hepsi bu karakterdedir.

Oktav bantları: Ses kontrolü çalışmalarında herhangi bir kompleks ses, birleşenlerine ayrılarak incelenir. Bu konuda en geçerli yol duyulabilir ses frekanslarını oktav bantlarına bölmektir. İnsan kulağı 16-20000 Hz arası frekanstaki sesleri duyabilir. Bir sesin bir oktav üstündeki ses iki katı frekansta olacak şekilde, bu frekans aralığı 8 oktav bandına bölünmüştür. Her bir oktav bandı o bandın ortasındaki ses frekansı ile sembolize edilir. **Tablo 2.1**'de oktav bantları, frekans aralıkları ve orta frekansları belirtilmiştir.

Ses güç düzeyi L_w : Bu düzey esas olarak ses kaynağından yayılan toplam akustik gücü ifade eder. Desibel [dB] cinsinden ses güç düzeyinin matematik ifadesi;

$$L_w = 10 \text{ Log}(W/W_0)$$

şeklinde. W_0 referans güç düzeyi olup, $W_0 = 10^{-12}$ watt değerindedir. Ses güç düzeyi doğrudan ölçülemez. Ancak standart odalarda yapılan ölçümlerden hesapla bulunur. Tamamen kaynağa bağlı bir değerdir, alınan yolla değişmez.

Ses basınç düzeyi L_p : Bu seviye, söz konusu bir yerdeki ses basıncı-

OKTAV BANDI	FREKANS ARALIĞI (Hz)	ORTA FREKANS (Hz)
1	45 / 90	63
2	90 / 180	125
3	180 / 355	250
4	355 / 710	500
5	710 / 1400	1000
6	1400 / 2800	2000
7	2800 / 5600	4000
8	5600 / 11200	8000

Tablo 2.1. FREKANS BANTLARI

nı belirler (veya o yerdeki müsaade edilebilecek ses basınç seviyesini ifade eder). Yine [dB] biriminde ifade edilir.

$$L_p = 10 \text{ Log}(P^2/P_0^2) = 20 \text{ Log}(P/P_0)$$

P_0 referans basıncı 20 μ paskal (μ Pa) değerindedir. Yukarıdaki her iki log ifadesi de 10 tabanına göre logaritmadır.

İki ses kaynağını mukayese etmek için sadece ses basınç düzeylerini karşılaştırmak yetmez. Çünkü bu değer aynı zamanda mesafeye bağlıdır. Böyle bir mukayese için ses güç seviyelerini karşılaştırmalıdır. Öte yandan ses basınç seviyeleri doğrudan ölçülebilen değerlerdir.

Ses seviyeleri dB cinsinden logaritmik olarak ifade edildiklerinden, iki ses düzeyinin toplanması aritmetik toplama işlemi ile yapılamaz. Gerekli matematik işlemler uzun olduğu için iki sesin toplanması **Tablo 2.2** yardımı ile yapılabilir.

Örneğin 46 ve 50 [dB] şiddetindeki iki ses toplanırsa, toplam ses düzeyi 52 olarak bulunur. 50 ile 46 arasındaki fark 4 [dB] olup tablodan üst seviyeye eklenmesi gerekli sayı 2 olarak okunur. 50 + 2 = 52 [dB] olarak sonuç bulunur.

Aynı şekilde 46 + 50 + 55 [dB] şiddetindeki üç ses toplanırsa toplam seviye 57 [dB] olarak bulunur. 50+46 [dB] = 52 [dB] ve 52+55 [dB] = 57 [dB] şeklinde hesap yapılır.

Toplanacak iki seviye arasındaki dB cinsinden fark	0-1	2-4	5-9	10 ve üzeri
Toplam seviyeyi bulmak üzere üst ses seviyesine eklenecek dB sayısı	3	2	1	0

Tablo 2.2. İKİ SES DÜZEYİNİN TOPLAMI

2.2. AKUSTİK TASARIM HEDEFLERİ, SES KRİTERLERİ

Bir iklimlendirme veya havalandırma sisteminin akustik tasarımında, yaşanan ortamda mekanik tesisat dolayısıyla rahatsız edici bir gürültünün veya sesin olmaması esas alınır. Bu tanım karakter itibariyle subjektiftir ve öncelikle bu ortamdaki mekanik tesisat dışı gürültü düzeyine bağlıdır. Mekanik tesisat çalışmazken ortamda mevcut ses basınç düzeyine, geri plan gürültüsü adı verilir. Ortamdaki mekanik tesisat kaynaklı sesin rahatsız edici olması, geri plan gürültüsünün düzeyine, kişilere ve aktivitelere bağlıdır. Ayrıca sesin rahatsız edici olması sadece ses basınç düzeyine bağlı değildir. Aynı zamanda sesin kalitesi de önemli bir rol oynar. Ses kalitesi sesin frekans spektrumu ile ilgilidir. Bir ortamdaki sesin rahatsız edici olmamasıyla ilgili kalite özellikleri olarak aşağıdaki genel doğrular sıralanabilir:

- Sesin geniş bir frekans aralığında dengelenmiş bir ses enerjisi da-

ğılımı olmalıdır.

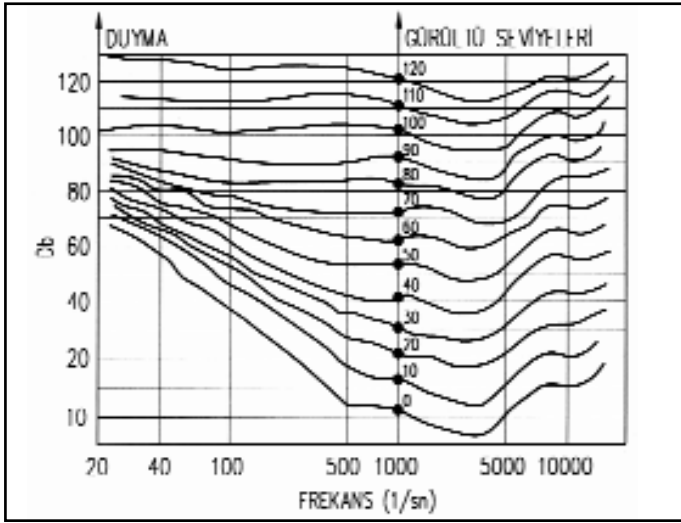
- Zırlıtı, ıslık, vınlama veya gurultu gibi işitilebilir tonal karakteristik taşımalıdır.
- Ses basıncında farkedilebilir zamana bağı düzey değışimleri olmalıdır. Özellikle ani değışimler (durup, çalışma gibi), vuruntu ve darbelerden kaçınılmalıdır.

Doğal olarak bunlarla birlikte ses basınç düzeyi yüksek olmamalıdır. Buradan hareketle iklimlendirme sistemleri akustik tasarımında dört farklı tip akustik tasarım kriteri kullanılmaktadır. Bu kitapta bu kriterler içinde en yaygın kullanılan iki kriter üzerinde durulacaktır. Diğer iki kriterle konser salonu gibi özel yapıların değerlendirilmesinde ve akustik tasarımında karşılaşılmaktadır.

1. Gürültü Kriteri (NC) Eğrileri

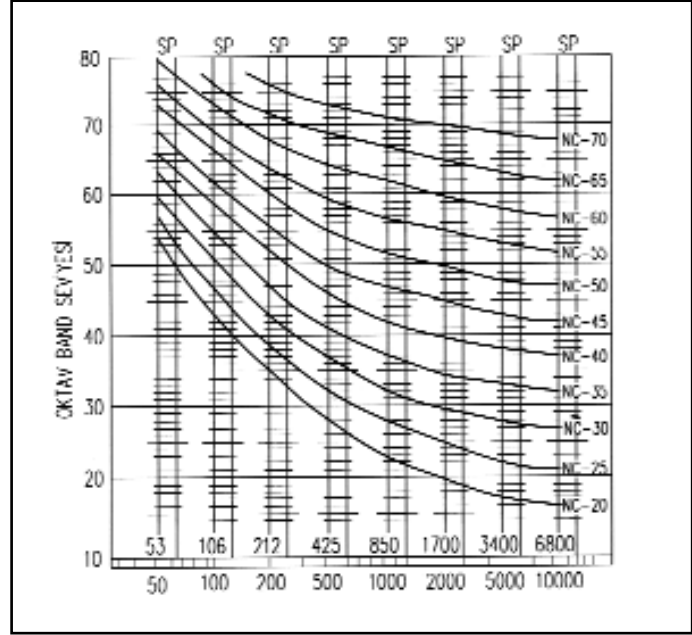
İnsan kulağına aynı etkiyi yapan sesler, frekansa karşılık ses basınç düzeyi eksen takımında işaretlenirse, Şekil 2.3'deki eğriler elde edilir. İnsan kulağı bütün frekanslarda aynı şekilde duyarlı olmadığı için farklı frekanslarda farklı ses basınç düzeyleri aynı etkiyi bırakmaktadır.

İnsan kulağı yüksek frekanslara daha duyarlıdır. 20 dB düzeyinde frekansı 1000 (Hz) olan ses ile çok daha şiddetli 50 dB fakat 100 (Hz) frekansındaki ses aynı etkiyi bırakmaktadır. Buna karşılık ses basınç düzeyi arttıkça kulak duyarlılığı frekansa göre düzleşmektedir. 100 dB düzeyinde artık 100 (Hz) ile 1000 (Hz) frekansta aynı etki algılanmaktadır. Dolayısı ile ses kriterlerini tek bir frekansta vermek doğru değildir. Yani farklı hacimlerde gerçekleşmesi istenen ses düzeyini sadece bir frekanstaki ses düzeyi ile belirlemek uygun değildir. Buna göre kriter frekansa bağı olarak verilmelidir. Ses basınç düzeylerini sınırlandırmada en çok kullanılan kriter NC eğrileri olarak bilinir.



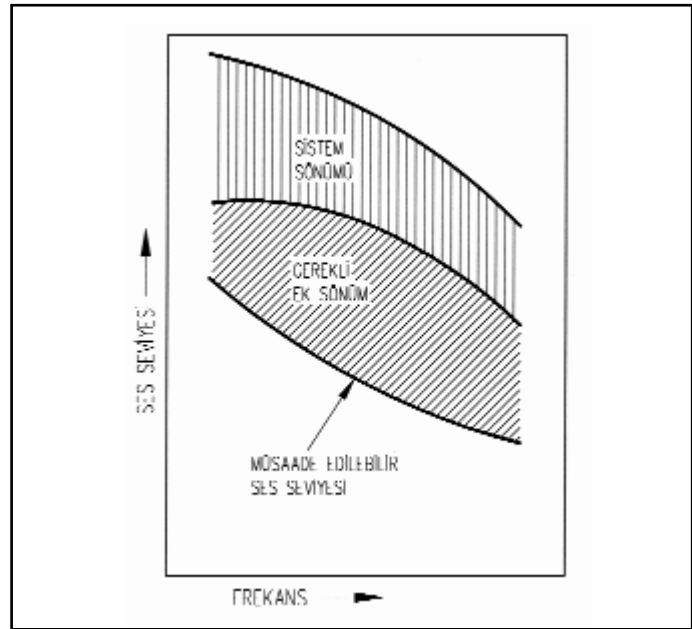
Şekil 2.3. KULAK DUYARLILIĞI

Bu eğrilerin belirlenmesinde yukarıda belirlenen eşit ses yüksekliği değışimi esas alınmıştır. Şekil 2.4'de NC eğrileri verilmiştir. Buna göre genel bir büro hacminde NC 40 düzeyi sağlanması yeterlidir denildiğinde, bütün duyulur frekans aralığında ses basınç düzeyinin aşmaması gereken değerleri oktav bandı esasına göre belirlenmiş olur. Neyin kabul edilebilir ses düzeyi olduğunu bilmeleri halinde, mühendisler cihazların ses gücü seviyeleri değerlerini kullanarak yaşanan hacimdeki ses basıncı seviyelerini istenilen düzeyde tutmayı başarabilirler. Eğer yaşanan hacimdeki istenen ses basıncı düzeyi, hacimle



Tablo 2.4. NC EĞRİLERİ

iklimlendirme santrali arasındaki beklenen sönüm ve hacmin kendi sönümü biliniyorsa buradan cihazın kabul edilebilecek en büyük ses gücü düzeyi belirlenebilir. Veya cihaz belirli ise arada gerekli ek sönümleyici değerleri belirlenebilir ve susturucu seçimi yapılabilir. Şekil 2.5'de bu söylenenler şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.5. EK SÖNÜMLEYİCİ SEÇİMİNİN PRENSİBİ

2. A- ağırlıklı Ses Düzeyi

Ses kriterinin oktav bandı esasına göre belirlenmesi durumunda hem ölçüm daha zordur, hem de ilgili hesaplar daha uzundur. Bu nedenle ses kriterinin tek rakamla ifadesi için toplam değerler kullanılır. Kullanılan toplama tekniği, ağırlıklı toplam olup, ağırlık faktörlerine göre değışik isimler alır. Havalandırma işlerinde daha çok A-ağırlıklı toplama kullanılır. Bu toplamada düşük frekanstaki sesler daha küçük

ağırlık faktörleri ile hesaba katılır. A-ağırlık toplamının biriminin gösterimi dBA şeklindedir. Bu değer basit ses basıncı ölçen aletler tarafından belirlenebilmektedir. Dolayısı ile bir hacimde ses düzeyi 40 dBA değerini aşmaması demek, bu hacimdeki sesin, frekanslara göre ağırlıklı toplamının 40 dBA değerini aşmaması anlamına gelir ve basitçe ölçülebilir. Ancak yine de unutmamak gerekir ki dBA cinsinden tanımlanan değer, sesin karakteri hakkında fikir vermez. Sadece aynı karakterde iki ses basınç düzeyini karşılaştırmaya yarar. **Tablo 2.6'da** çeşitli hacimler için NC değerleri ve dBA olarak verilen ses basınç düzeyi limitleri görülmektedir.

2.3. GENEL AKUSTİK TASARIM KURALLARI

Tecrübe ve mühendislik sağduyusu gürültü kontrolünde en önemli hususlardır. Genel doğruların uygulanması ve tekniğine uygun bir sistem gerçekleştirilmesi aynı zamanda sesle ilgili pek çok sorunun da baştan çözümü anlamına gelir. Gürültü kontrolü ile ilgili tasarım esasları aşağıda anlatılacaktır. Burada mühendislik yaklaşımıyla ilgili bazı temel doğrular, esaslar ve tavsiyeler üzerinde durulacaktır.

Ses üreten cihazları ofisler, konferans odaları ve sınıflar gibi duyarlı alanlardan uzağa yerleştirmek gerekir. Mekanik tesisat odaları veya ekipman odalarının duvarlarını mümkün olduğu kadar kalın tutmak gerekir. Ekipman odalarını merdiven boşlukları, tuvaletler ve depolar gibi kritik önemi olmayan alanlarla çevrelenecek şekilde yerleştirmek mimarın görevidir. Ayrıca VAV kutuları, kanal tipi cihaz fanları ve hızların yüksek olduğu kanallar hizmet verdikleri odalara değil, bu odalara açılan koridorlara yerleştirilmelidir.

Fan seçimi, çalışma noktası fan eğrisinin maksimum verim noktasında fan en sessiz çalışır. Egzoz fanları, kanal tipi fanlar gibi daha küçük kapasitede olan fanlarda düşük ses seviyelerini sağlamak için daha düşük devir sayıları ve daha büyük çıkış ağzları tercih edilmelidir.

Farklı uzunlukta ve dirençte kollardan oluşan kanal sistemlerinde basınç dengelenmesi amacıyla damper kullanmak yerine booster fan kullanarak sistemi dengelemek daha uygun ve ekonomiktir. Birinci durumda en yüksek basınç düşümü olan kritik kola göre yüksek basınçlı fan seçilecektir. Daha düşük basınç düşümü olan kollarda ise küçük çaplı kanallar ve damperlerle basınç düşümü artırılarak sistem dengelenmeye çalışılır. Bunun tersi bir yaklaşımda, sistem ana fanı basınç düşümü küçük olan kola göre seçilecektir. Basınç düşümü daha yüksek olan kollara ise booster fan takılarak takviye yapılacaktır. Böylece toplamda daha az enerji tüketen ve hızların uygun değerlerde tutulabileceği, dolayısıyla daha sessiz kanal sistemleri oluşabilecektir.

Bütün dönen ve hareketli parçaları olan ekipman, titreşim izolatörleriyle yapıdan izole edilmelidir. Cihazlar titreşim yalıtıcıları üzerine oturmalı ve cihazla kanal veya boru bağlantısında esnek titreşim yalıtıcı parçalar kullanılmalıdır. Kanal ve boru sistemi de özellikle ilk bölümlerinde binaya titreşim izolatörü elemanlarla asılmalı veya bağlanmalıdır.

Kanal sistemi standartlara uygun olmalıdır. Kanal sisteminde yanlış yöne döndürmeler, keskin dirsekler, ani genişleme ve daralmalardan kaçınılmalıdır. Fanın hemen çıkışında fittings bulunmamalıdır.

İçten camyünü kaplı esnek veya rijit kanallar veya kendisi camyünü kanallar ses sönümlemesinde en ucuz ve etkin uygulamalardır. Ancak 25 mm kalınlıkta izolasyon yüksek frekanslarda çok iyi sönüm sağlarken, düşük frekanslarda fazla etkili olmaz. Düşük frekanslarda

Hacim Cinsi	NC-RC Seviyesi	Yaklaşık dBA
KONUTLAR		
Villa tipi ev (kırsal alanda)	20-30	25-35
Şehirde özel ev	25-35	30-40
Apartman dairesi	30-40	35-45
OTELLER		
Odalar	30-40	35-45
Balo salonu	30-40	35-45
Holler, koridorlar	35-45	40-50
Garaj	40-50	45-55
Mutfak, çamaşırhane	40-50	45-55
HASTANELER		
Hasta odası	25-35	30-40
Ameliyathane	30-40	35-45
Koridorlar	30-40	35-45
Laboratuvarlar	35-45	40-50
Lobi, bekleme odası	35-45	40-50
Banyo, tuvaletler	40-50	45-55
İŞYERLERİ		
Konferans odası	25-35	30-40
Yönetici ofisleri	30-40	35-45
Genel ofisler	30-45	35-50
Kabul odaları	30-45	35-50
Açık ofisler	35-45	40-50
Koridorlar	45-60	45-65
Hesap merkezleri	40-50	45-55
TIYATRO VE KONSER SALONLARI		
Konser salonu	15-25	20-30
Ses kayıt stüdyosu	15-25	20-30
Tiyatro	25-30	30-40
Çok amaçlı salonlar	25-30	30-35
Sinemalar	30-35	35-40
TV stüdyoları	30-35	35-40
Amfityatrolar	30-35	35-40
Konferans salonları	30-35	35-40
Lobiler	35-45	40-50
CAMİLER VE OKULLAR		
Camiler	20-30	25-35
Kütüphaneler	30-40	35-45
Dershaneler	30-40	35-45
Laboratuvarlar	35-45	40-50
Dinlenme salonları	35-50	40-55
Koridorlar	35-50	40-55
HALK KÜTÜPHANELERİ		
Müze ve kütüphane	30-40	35-45
Postane	35-45	40-50
Banka	35-45	40-50
Tuvaletler	40-50	45-55
LOKANTA - KAFETERYA		
Lokantalar	35-45	40-50
Barlar	35-40	40-45
Gece kulüpleri	35-45	40-50
Kafeteryalar	40-50	45-55
ALIŞVERİŞ MERKEZLERİ		
Giyim kuşam	35-45	40-50
Katlı alışveriş (üst)	35-45	40-50
Katlı alışveriş (alt)	40-50	45-55
Küçük dükkanlar	40-50	45-55
Süper marketler	40-50	45-55
SPOR SALONLARI		
Kapalı salon	30-40	35-45
Bowling alanı	35-45	40-50
Kapalı spor salonu	35-45	40-50
Yüzme havuzu	40-55	45-60
TERMİNALLER		
Bilet satış	30-40	35-45
Bekleme salonu	35-50	40-55

Tablo 2.6. ÇEŞİTLİ HACİMLERDE TAVSİYE EDİLEN SES KRİTERİ NC SEVİYELERİ

etkin cam yünü kalınlığı 50 veya 100 mm olmalıdır. İçten izoleli dirsekler ses yutumunda çok etkilidir. İzoleli bir dirsek merteye olarak, 1-2,5 m uzunlukta izoleli düz kanal veya 30 m uzunlukta izolesiz düz kanalın yarattığı yutuma eş bir etkiye sahiptir.

Havalandırma şaftları sese duyarlı alanlardan geçirilmelidir. Kanallar mümkün olduğu kadar şaft duvarlarından aralıklı olacak bir biçimde monte edilmelidir.

Kanallarda hava akışı sırasında ses oluşur. Bu üretim hava hızı ile yakın ilişkidir. Ses açısından 10-15 m/s hız orta; 15 m/s üzeri yüksek hız olarak bilinir. Kanallarda oluşan ses özellikle düşük frekanslı olmasıyla tehlikelidir. Düşük frekanslı sesleri yutmak veya sönmek çok zordur. Bu açıdan hızları kanal sisteminde 9 m/s altında tutmak en güvenli yoldur. Yüksek hızlara çıkmak zorunda kalındığında, kanal tasarımına çok önem verilmeli, standartlarda verilen kanal konstrüksiyonu ve montajı kurallarına sıkıca uyulmalıdır. Ayrıca kanal üretiminde kalın saç kullanmak kanallardaki ses üretimini azaltan bir etkidir. Zorunlu durumlarda daha kalın saç tercih edilebilir. Kanal kritik durumlarda mümkün olduğu kadar rijit olmalıdır.

Gürültü problemlerine katkısı açısından difüzörler özel önem taşır. Kanal sisteminin son elemanı olan difüzörlerde doğacak gürültüyü artık sönmekle imkanı bulunmamaktadır. Örneğin hedef gürültü düzeyi NC30 olan bir hacim ele alınmışsa ve bu hacimde 4 difüzör gerekiyorsa, difüzör ses gücü düzeyleri NC 30 olarak alınmamalıdır. Çünkü difüzör üreticileri ürünlerinin ses gücünü tanımlarken, odada tek difüzör olduğunu, başka kaynak olmadığını ve insanların difüzöre yakın olmayacağını kabul ederler. Halbuki kanaldan gelen gürültü, diğer difüzörlerin gürültüsü ve hacimdeki başka gürültü kaynakları toplanarak insanlara etki ederler. Bu durumda NC 30 difüzör rahatsız edicidir. Bunun için iyi bir yaklaşım, difüzör NC düzeyinin, oda NC düzeyinden 3 dB daha az seçilmesidir. Eğer iki difüzör varsa 6 dB kadar düşük seçilmelidir. Örnek durumda dört difüzör varken, 9 dB daha az, yani NC 21 difüzör seçilmesi tavsiye edilir. Difüzör sayısının her katlanmasında 3 dB azaltma yapılmalıdır.

Difüzörlerle ilgili diğer tavsiyeler hacim damperlerinin mümkün olduğu kadar geriye, en iyisi kol ayırımına yerleştirilmesi, difüzör bağlantılarında akustik esnek bağlantı kanalı kullanılması ve mümkünse difüzörden evvel 3 çap uzunlukta düz bir kısım bırakılmasıdır.

Kanal dizayn ve konstrüksiyonunda dikkat edilmesi gerekli, ASHRAE'den alınan genel kurallar, aşağıda maddeler halinde verilmiştir:

1. Kanallar hava akışına karşı direnci ve türbülansı minimumda tutacak şekilde dizayn edilmelidir.
2. Fanlar mümkün olduğu kadar maximum verim noktasında çalışacak şekilde seçilmelidir. Gerekli yüke göre çok büyük veya çok küçük seçilmiş fanlar gürültülü çalışır.
3. Fan giriş ve çıkışındaki kanal bağlantıları üniform ve düzgün bir hava akışı olacak şekilde gerçekleştirilmelidir.
4. Kanal tipi susturucu seçiminde dikkatli olmalıdır. Susturucular gerekli statik fan basıncını artırır. Ayrıca dikkörtgen kesitli kanallarda susturucudan sonra en az 3 m. uzunlukta kanal en az 25 mm. kalınlıkta cam yünü ile içten akustik izole edilmelidir.
5. V.A.V. sistemlerinden fan kontrollü karıştırma kutuları (kontrol kutuları) sese duyarlı odaların üstüne yerleştirilmemelidir.
6. Aynı şekilde çatı üstü santralleri (roof top units) sese duyarlı hacimlerin üstünde olmamalı ve ilk menfezden önce en az 7-8 m.

kanal bulunmalıdır. (Ayrıca titreşim izolasyonu çok iyi yapılmalıdır)

7. Dirsekler ve kanalda kol ayrılmalar birbirinden en az 3-4 kanal çapı kadar uzaklıkta olmalıdır.
8. Sese çok duyarlı hacimlere yaklaşıırken kanal kesitleri artırılarak hız düşürülebilir. Böylece potansiyel ses kaynaklarının gücü azalır.
9. Menfezler, anemostatlar gibi çıkışlar, dirseklerden ve kol ayrılmalardan olabildiğince uzak yerleştirilmelidirler.
10. Anemostatlardaki damperler mümkün olduğu kadar dengeleme amacıyla kullanılmamalıdır.
11. Dönen veya hareketli parçaları olan ekipmanların kanal ve boru bağlantılarında mümkünse esnek parçalar kullanılmalıdır.
12. Böyle ekipmandan sonraki ilk 10 m.lik kanal veya boru hattında yaylı veya neopren askılar kullanılmalıdır. (Özellikle bağlantıda esnek parça kullanılmadı ise)
13. Askılar yaylı veya neopren cinsi olmalıdır. Ancak ikisi birden aynı kanalda kullanılmamalıdır.

2.4. KANAL SİSTEMLERİNİN AKUSTİK TASARIMI

Kanal sisteminde ses fanda, kanal sisteminde, bağlantı elemanlarında ve terminal ünitelerinde doğar. Buna karşılık, kanal sisteminde ve odada bir miktar sönmelenir. Bu doğal sönmü yeterli ise ilave bir işleme gerek yoktur. Aksi halde Şekil 2.5'de görüldüğü gibi ek sönmü gerekir. Bu ek sönmü kanallar içten ses yutucu malzeme ile kaplanarak ve/veya susturucu kullanılarak gerçekleştirilir.

Akustik tasarım aşağıdaki sıra ile yapılır:

1. Ses kaynağının gücü ve yaşanılan ortamda istenilen gürültü kriteri NC değeri belirlenir.
2. Kanal sistemindeki ve odadaki sönmü hesaplanır.
3. Kaynaktan, yoldaki sönmü çıkartılarak, kriterin sağlanıp, sağlanmadığı kontrol edilir.
4. Gerekliyse, susturucu seçimi yapılır.

Bu nedenle önce ses kaynakları üzerinde durulacak, daha sonra kanaldaki ve odadaki doğal sönmü anlatılacak ve en son gerekli ek sönmü hesabı verilecektir.

2.4.1. Fanlar

Belirli bir uygulama için seçilmiş fanın çalışması sırasında ürettiği ses gücü, en iyi üretici firmanın onaylanmış gerçek test verileri ile belirlenir. Fan kataloglarında böyle bir bilgi yoksa fan ses güç düzeyi oktav bandına göre aşağıdaki yaklaşık formülle belirlenir:

$$L_w = K_w + 10 \text{ Log} (Q/Q_1) + 20 \text{ Log} (P/P_1)$$

Burada;

L_w = Fanın hesaplanan ses güç düzeyi (dB)

K_w = Özgül ses güç düzeyi (Tablo 2.7'den)

Q = Fan debisi (L/s)

Q_1 = 0,472 L/s

P = Fan basıncı (Pa)

P_1 = 249 Pa

Not: log N değerleri tablo halinde Tablo 2.8'de verilmiştir.

Örnek:

Öne eğimli kanatlı radyal bir fanda debi 4154 L/s ve basınç 374 Pa değerindedir. Frekans bandına göre fanın ses güç düzeyi spektrumu-

Fan tipi	Çark çapı (mm)	Oktav bandı merkez frekansları (Hz)						
		63	125	250	500	1 kH	2 kH	4 kH
Radyal geriye eğimli	900 mm üzeri	32	32	31	29	28	23	15
	900 mm altı	36	38	36	34	33	28	20
Radyal öne eğimli	Hepsi	47	43	39	36	34	32	28
Radyal düz kanatlı ve yüksek basınçlı	1000 mm üzeri	45	39	42	39	37	32	30
	1000 - 500 mm	55	48	48	45	45	40	38
	500 mm altı	63	57	58	50	44	39	38
Eksenel kanatlı	1000 mm üzeri	39	36	38	39	37	34	32
	1000 mm altı	37	39	43	43	43	41	28

Tablo 2.7. FARKLI FAN TİPLERİ İÇİN ÖZGÜL GÜÇ SEVİYESİ, KW (dB) DEĞERLERİ

N	Log	N	Log	N	Log	N	Log	N	Log
.01	-2.00000	.50	-.30103	1	0.00000	50	1.69897	100	2.00000
.02	-1.69897	.51	-.29243	2	0.30103	51	1.70757	125	2.09691
.03	-1.52288	.52	-.284	3	0.47712	52	1.71600	150	2.17609
.04	-1.52288	.53	-.27572	4	0.60206	53	1.72428	175	2.24304
.05	-1.39794	.54	-.26761	5	0.69397	54	1.73239	200	2.30103
.06	-1.22185	.55	-.25964	6	0.77815	55	1.74036	225	2.35218
.07	-1.1549	.56	-.25181	7	0.84510	56	1.74819	250	2.39794
.08	-1.09691	.57	-.24413	8	0.90309	57	1.75587	275	2.43933
.09	-1.04576	.58	-.23657	9	0.95424	58	1.76343	300	2.37712
.10	-1.00000	.59	-.22915	10	1.00000	59	1.77085	325	2.51188
.11	-.95861	.60	-.22185	11	1.04139	60	1.77815	350	2.54407
.12	-.92082	.61	-.21467	12	1.07918	61	1.78533	375	2.57403
.13	-.88606	.62	-.20761	13	1.11394	62	1.79239	400	2.60206
.14	-.85387	.63	-.20066	14	1.14613	63	1.79934	425	2.62839
.15	-.82390	.64	-.19382	15	1.17609	64	1.80618	450	2.65321
.16	-.79588	.65	-.18709	16	1.20412	65	1.81291	475	2.67669
.17	-.76955	.66	-.18046	17	1.23045	66	1.81954	500	2.69397
.18	-.74473	.67	-.17393	18	1.25527	67	1.82607	525	2.72016
.19	-.72125	.68	-.16749	19	1.27875	68	1.83251	550	2.74036
.20	-.69897	.69	-.16115	20	1.30103	69	1.83885	575	2.75967
.21	-.67778	.70	-.1549	21	1.32222	70	1.84510	600	2.77815
.22	-.65758	.71	-.14784	22	1.34242	71	1.85126	625	2.79588
.23	-.63827	.72	-.14267	23	1.36173	72	1.85733	650	2.81291
.24	-.61979	.73	-.13668	24	1.38021	73	1.86332	675	2.82930
.25	-.60205	.74	-.13077	25	1.39794	74	1.86923	700	2.84510
.26	-.58503	.75	-.12494	26	1.41497	75	1.87506	725	2.85034
.27	-.56864	.76	-.11919	27	1.43136	76	1.88081	750	2.87506
.28	-.55284	.77	-.11351	28	1.44716	77	1.88649	800	2.90309
.29	-.5376	.78	-.10791	29	1.46240	78	1.89209	850	2.92942
.30	-.52288	.79	-.10237	30	1.47712	79	1.89763	900	2.95424
.31	-.50864	.80	-.09691	31	1.49136	80	1.90309	950	2.97772
.32	-.49485	.81	-.09151	32	1.50515	81	1.90849	1.000	3.00000
.33	-.48149	.82	-.08619	33	1.51851	82	1.91381	2.000	3.30103
.34	-.46852	.83	-.08092	34	1.53148	83	1.91908	3.000	3.47712
.35	-.45593	.84	-.07572	35	1.54407	84	1.92428	4.000	3.60206
.36	-.4437	.85	-.07058	36	1.55630	85	1.92942	5.000	3.6897
.37	-.4318	.86	-.0655	37	1.56820	86	1.93450	6.000	3.77815
.38	-.42022	.87	-.06048	38	1.57978	87	1.93952	7.000	3.84510
.39	-.40894	.88	-.05552	39	1.59106	88	1.94448	8.000	3.90309
.40	-.39794	.89	-.05061	40	1.60206	89	1.94939	9.000	3.95424
.41	-.38722	.90	-.04576	41	1.61278	90	1.95424	10.000	4.00000
.42	-.37675	.91	-.04096	42	1.62325	91	1.95905	20.000	4.30103
.43	-.36653	.92	-.03621	43	1.63347	92	1.96379	30.000	4.47712
.44	-.35655	.93	-.03152	44	1.64345	93	1.96848	40.000	4.60206
.45	-.34679	.94	-.02687	45	1.65321	94	1.97313	50.000	4.69897
.46	-.33724	.95	-.02228	46	1.66276	95	1.9772	60.000	4.77815
.47	-.3279	.96	-.01773	47	1.67210	96	1.98227	70.000	4.84510
.48	-.31876	.97	-.01323	48	1.68124	97	1.98677	80.000	4.90309
.49	-.3098	.98	-.00877	49	1.69020	98	1.99123	90.000	4.95424
		.99	-.00436			99	1.99564	100.000	5.00000

Tablo 2.8. BEŞ HANELİ LOGARİTMA CETVELİ

nu bulunuz.

$$L_w = K_w + 10 \log (4154 / 0,472) + 20 \log (374 / 249)$$

$$L_w = K_w + 10 \log 8800 + 20 \log 1,5$$

$$L_w = K_w + 39,5 + 3,6 = K_w + 43$$

öne eğimli kanatlı radyal fanlar için **Tablo 2.7'den** okunan K_w değerleri ve bunlara 43 ilavesi ile bulunan L_w seviyeleri **Tablo 2.9'da** verilmiştir.

2.4.2. Kanallarda Üretilen Ses

Ana kanallarda 7,5 m/s hız, kollarda ise 4 m/s hızın altında kanal elemanlarında doğan ses önemsizdir. Sonuç olarak iyi dizayn edilmiş bir kanal sisteminde hava akışı nedeniyle doğan ses hesaplarında ihmal edilebilir.

Frekans Bandı	63	125	250	500	1 K	2 K	4 K
K_w	47	43	39	36	34	32	28
L_w	90	86	82	79	77	75	61

Tablo 2.9. K_w ve L_w DÜZEYLERİ

2.4.3. Kanal Terminal Elemanlarında Doğan Ses

V.A.V. sistemlerinde karışım veya kontrol kutularında doğan ses genellikle kataloglarda belirtilir. Ayrıca kutu ile çıkış ağız elemanı arasındaki kanalın içten akustik izole edilip edilmeyeceği de belirtilir. Odaya hava veren menfez, difüzör gibi elemanlar için de ses üretim değerleri kataloglarında belirtilmiştir. Bu kataloglarda yer alan test sonuçları düzgün bir hava akış hali içindir. Eğer menfezler akışı bozan dirsek, kol ayrılma v.s. gibi elemanlardan hemen sonra yerleştirilirse üretilen ses 12 dB'e kadar daha fazla olacaktır. Ayrıca difüzörle kanal arasında esnek bağlantı kanalları kullanılması yararlıdır. Katı bağlantı kanallarındaki eksen kaçıklıkları önemli ses kaynaklarıdır. Bir difüzördeki ses düzeyi kataloglarda verilmemiş ise yaklaşık olarak,

$$L_w = 10 \log [S] + 30 \log [P] + 60 \log [u] - 8,7 + C$$

ifadesi ile bulunabilir. Burada,

S = Menfezden önceki kanal kesit alanı (m²)

u = Menfezden önceki kanalda hava hızı (m/s)

P = Menfezde normalize edilmiş basınç düşümü

$$(P = 2 \cdot \Delta P / \rho \cdot u^2)$$

(ΔP = Basınç düşümü (Pa), ρ yoğunluk (kg/m³))

$$C = -5,82 - 0,15A - 1,13A^2$$

Buradaki A değeri f_p değerine göre **Tablo 2.10'da** verilmiştir. ($f_p = 160$. u formülü ile belirlidir.)

Örnek: Kesiti 300 x 400 mm olan dikdörtgen kanala takılı difüzörde, hava debisi 2000 m³/h ve basınç düşümü 75 Pa değerindedir. Bu difüzördeki oktav bandına göre ses üretimini bulunuz. ($\rho = 1,2$ kg/m³)

$$S = 300 \times 400 = 0,12 \text{ m}^2$$

$$u = 2000 / (0,12 \times 3600) = 4,6 \text{ m/s}$$

$$P = 2 \cdot 75 / (1,2 \cdot (4,6)^2) = 59$$

$$L_w = 10 \log (0,12) + 30 \log (5,9) + 60 \log (4,6) - 8,7 + C$$

f_p	63	125	250	500	1 kH	2 kH	4 kH
177 - 355	-2	-1	0	1	2	3	4
355 - 710	-3	-2	-1	0	1	2	3
710 - 1420	-4	-3	-2	-1	0	1	2

Tablo 2.10. A DEĞERLERİ

$$L_w = -9 + 23,4 + 39,6 - 8,7 + C = 63 + C$$

$f_p = 160 \cdot 4,6 = 736$ olup, A değerleri **Tablo 2.10'dan** alınarak C ifadesinde yerine konur ve oktav bant değerlerine göre L_w bulunur. Hesaplanan değerler **Tablo 2.11'de** verilmiştir.

	63	125	250	500	1 K	2 K	4 K
C	-23.3	-15.54	-10.02	-6.8	-5.82	-7.1	-10.64
L_w	39.7	47.5	53	56.2	57.2	55.9	52.4

Tablo 2.11. HESAPLANAN L_w DEĞERLERİ

2.4.4. Kanal Elemanlarında Sesin Sönümü

Kanal sisteminde sesin absorpsiyonu için hiçbir önlem alınmasa bile fittingste, kol ayrılmalarda ve terminal elemanlarında sönüm meydana gelir. Burada sırasıyla izoleli ve izolesiz kanallarda, dirseklerde, kol ayrılmalarda ve son elemanlarında ortaya çıkan sönüm üzerinde durulacaktır.

2.4.4.1. İzolesiz Kanallarda Sönüm

Gerek dikdörtgen kesitli, gerekse yuvarlak metal izolesiz kanallarda meydana gelen sönüm burada ihmal edilecektir.

2.4.4.2. Akustik İzoleli Kanallarda Sönüm

Kanallarda akustik izolasyon içten yapılır. İzolasyon malzemesi olarak cam yünü kullanıldığında, izolasyon kalınlığı 2 - 5 cm arasında değişir. Cam yünü akustik izoleli kanallarda birim uzunluk başına sönüm değerleri **Tablo 2.12 ve 2.13'de** verilmiştir. İzolasyon kalınlığı 25 mm, için **Tablo 2.12** ve izolasyon kalınlığı 50 mm. için **Tablo 2.13** hazırlanmıştır. Bu tablolardan sönüm, frekans bandına göre okunabilir. **Tablo 2.14 ve 2.15'de** ise içten akustik izoleli yuvarlak kanallardaki sönüm değerleri verilmiştir. Örneğin; Tablo 2.14'den 600 mm. çaplı 9 m. uzunluktaki içten 25 mm. cam yünü izolasyonlu yuvarlak kanalda sönüm **Tablo 2.16'da** verildiği gibi okunur.

Ancak içten cam yünü kaplı kanallarda izolasyon malzemesinin erozyonu söz konusudur. Hava akışı, önlem alınmamış durumda, lifleri kopararak birlikte sürükler. Bu hem izolasyon tabakasının aşınmasına neden olur, hem de hava ile sürüklenen lifler solunmaları halinde sağlık açısından olumsuz etki yaratırlar. İçten cam yünü akustik izolasyon halinde liflerin sürüklenmemesi için önlem alınmalıdır. Bu amaçla cam yünü tabakası üzerine uygulanacak koruyucu tabaka, akustik açıdan ses yutumuna etki etmemelidir. Cam yünü malzemenin bu sakıncası nedeniyle, kanal içerisinde akustik amaçla lif erozyonu olmayan, yanmaz, yağdan ve tozdan etkilenmeyen, yüksek ses yutuculuğuna sahip poliüretan köpük malzemeler geliştirilmiştir. **Tablo 2.16A'da** 25 mm kalınlığında, **Tablo 2.16B'de** 50 mm kalınlığında yanmaz poliüretan köpük malzemenin farklı kanal ebatlarında, birim uzunluk (m) başına sönüm (ses yutma) değerleri verilmiştir.

2.4.4.3. Akustik İzolesiz Dirseklerde Sönüm

Tablo 2.17A'da içten izoleli ve izolesiz dikdörtgen kanal dirseklerindeki sönüm değerleri verilmiştir. İzoleli dirseklerde önemli bir sönüm olmaktadır. Yuvarlak kanallarda 90° izolesiz dirseklerde sönüm değerleri ise **Tablo 2.17B'de** verilmiştir.

2.4.4.4. Kanal Kol Ayrılmalarda Ses Enerjisi Bölünmesi

Kanal sisteminde bir ayrılma noktasında, gelişteki ana kanaldaki ses

Boyutlar cm x cm	Özgül sönümler (dB/0.3 m) Oktav bandı merkez frekansları (Hz)							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
15x15	1.08	1.24	1.60	2.98	7.62	7.48	3.98	2.60
15x25	0.82	0.96	1.35	2.66	6.52	6.26	3.59	2.46
15x30	0.77	0.90	1.29	2.57	6.23	5.94	3.49	2.42
15x45	0.69	0.79	1.18	2.42	5.74	5.41	3.31	2.36
20x20	0.77	0.90	1.29	2.57	6.23	5.94	3.49	2.42
20x30	0.65	0.74	1.12	2.34	5.49	5.13	3.21	2.32
20x45	0.60	0.67	1.04	2.22	5.10	4.72	3.06	2.26
20x60	0.56	0.60	0.96	2.09	4.70	4.29	2.90	2.20
25x25	0.63	0.71	1.09	2.29	5.34	4.97	3.15	2.30
25x40	0.55	0.59	0.94	2.06	4.62	4.21	2.86	2.19
25x50	0.53	0.55	0.89	1.98	4.37	3.94	2.76	2.15
25x75	0.51	0.51	0.82	1.87	4.02	3.59	2.62	2.09
30x30	0.56	0.60	0.96	2.09	4.70	4.29	2.90	2.20
30x45	0.51	0.52	0.85	1.90	4.14	3.71	2.67	2.11
30x60	0.50	0.48	0.79	1.81	3.85	3.41	2.54	2.06
30x90	0.40	0.43	0.74	1.70	3.54	3.10	2.41	2.00
45x45	0.40	0.43	0.74	1.70	3.54	3.10	2.41	2.00
45x70	0.33	0.35	0.64	1.54	3.09	2.65	2.20	1.91
45x90	0.30	0.32	0.59	1.47	2.90	2.46	2.11	1.87
45x135	0.27	0.28	0.54	1.38	2.67	2.24	2.00	1.82
60x60	0.30	0.32	0.59	1.47	2.90	2.46	2.11	1.87
60x90	0.25	0.26	0.51	1.34	2.55	2.13	1.94	1.80
60x120	0.23	0.24	0.47	1.27	2.37	1.95	1.85	1.76
60x180	0.21	0.21	0.43	1.20	2.19	1.78	1.75	1.71
75x75	0.24	0.25	0.49	1.31	2.48	2.06	1.91	1.78
75x110	0.21	0.21	0.43	1.20	2.19	1.78	1.75	1.71
75x150	0.19	0.19	0.39	1.13	2.03	1.63	1.67	1.67

Tablo 2.12. 25 mm CAM YÜNÜ KAPLI AKUSTİK İZOLELİ KANALLARDA 0.3 m UZUNLUK BAŞINA SÖNÜM (dB)

Boyutlar cm x cm	Özgül sönümler (dB/0.3 m) Oktav bandı merkez frekansları (Hz)							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
15x15	1.78	2.23	3.27	6.20	7.62	7.48	3.98	2.60
15x25	1.27	1.69	2.74	5.54	6.52	6.26	3.59	2.46
15x30	1.16	1.56	2.61	5.36	6.23	5.94	3.49	2.42
15x45	1.00	1.35	2.38	5.05	5.74	5.41	3.31	2.36
20x20	1.16	1.56	2.61	5.36	6.23	5.94	3.49	2.42
20x30	0.93	1.25	2.26	4.89	5.49	5.13	3.21	2.32
20x45	0.83	1.11	2.08	4.64	5.10	4.72	3.06	2.26
20x60	0.74	0.98	1.90	4.37	4.70	4.29	2.90	2.20
25x25	0.88	1.20	2.19	4.79	5.34	4.97	3.15	2.30
25x40	0.72	0.95	1.87	4.32	4.62	4.21	2.86	2.19
25x50	0.68	0.87	1.76	4.15	4.37	3.94	2.76	2.15
25x75	0.62	0.78	1.61	3.91	4.02	3.59	2.62	2.09
30x30	0.74	0.98	1.90	4.37	4.70	4.29	2.90	2.20
30x45	0.64	0.81	1.66	3.99	4.14	3.71	2.67	2.11
30x60	0.60	0.73	1.53	3.78	3.85	3.41	2.54	2.06
30x90	0.48	0.64	1.42	3.56	3.54	3.10	2.41	2.00
45x45	0.48	0.64	1.42	3.56	3.54	3.10	2.41	2.00
45x70	0.38	0.51	1.21	3.23	3.09	2.65	2.20	1.91
45x90	0.34	0.46	1.12	3.08	2.90	2.46	2.11	1.87
45x135	0.30	0.40	1.02	2.91	2.67	2.24	2.00	1.82
60x60	0.34	0.46	1.12	3.08	2.90	2.46	2.11	1.87
60x90	0.28	0.37	0.97	2.81	2.55	2.13	1.94	1.80
60x120	0.26	0.33	0.89	2.67	2.37	1.95	1.85	1.76
60x180	0.23	0.29	0.81	2.51	2.19	1.78	1.75	1.71
75x75	0.27	0.35	0.94	2.76	2.48	2.06	1.91	1.78
75x110	0.23	0.29	0.81	2.51	2.19	1.78	1.75	1.71
75x150	0.21	0.26	0.74	2.38	2.03	1.63	1.67	1.67
90x90	0.23	0.29	0.81	2.51	2.19	1.78	1.75	1.71

Tablo 2.13. 50 mm CAM YÜNÜ KAPLI AKUSTİK İZOLELİ KANALLARDA 0.3 m UZUNLUK BAŞINA SÖNÜM (dB)

Çap (cm)	Özgül sönümler (dB/0.3m) Oktav bandı merkez frekansları (Hz)							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
15	0.38	0.59	0.93	1.53	2.17	2.31	2.04	1.26
20	0.32	0.54	0.89	1.50	2.19	2.17	1.83	1.18
25	0.27	0.50	0.85	1.48	2.20	2.04	1.64	1.12
30	0.23	0.46	0.81	1.45	2.18	1.91	1.48	1.05
35	0.19	0.42	0.77	1.43	2.14	1.79	1.34	1.00
40	0.16	0.38	0.73	1.40	2.08	1.67	1.21	0.95
45	0.13	0.35	0.69	1.37	2.01	1.56	1.10	0.90
50	0.11	0.31	0.65	1.34	1.92	1.45	1.00	0.87
60	0.07	0.25	0.57	1.28	1.71	1.24	0.85	0.80
70	0.03	0.19	0.49	1.20	1.46	1.04	0.74	0.74
80	0.01	0.14	0.42	1.12	1.20	0.87	0.66	0.69
90	0	0.08	0.35	1.02	0.93	0.71	0.60	0.64
100	0	0.03	0.28	0.91	0.68	0.57	0.55	0.58
125	0	0	0.15	0.55	0.19	0.29	0.41	0.40
150	0	0	0.08	0.06	0.10	0.14	0.09	0.07

Tablo 2.14. 25 mm CAM YÜNÜ AKUSTİK İZOLELİ YUVARLAK KANALLARDA 0.3 m UZUNLUK BAŞINA SÖNÜM (dB)

Çap (cm)	Özgül sönümler (dB/0.3m) Oktav bandı merkez frekansları (Hz)							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
15	0.56	0.80	1.37	2.25	2.17	2.31	2.04	1.26
20	0.51	0.75	1.33	2.23	2.19	2.17	1.83	1.18
25	0.46	0.71	1.29	2.20	2.20	2.04	1.64	1.12
30	0.42	0.67	1.25	2.18	2.18	1.91	1.48	1.05
35	0.38	0.63	1.21	2.15	2.17	1.79	1.34	1.00
40	0.35	0.56	1.17	2.12	2.08	1.67	1.21	0.95
45	0.32	0.56	1.13	2.10	2.01	1.56	1.10	0.90
50	0.29	0.52	1.09	2.07	1.92	1.45	1.00	0.87
60	0.25	0.46	1.01	2.00	1.71	1.24	0.85	0.80
70	0.22	0.40	0.93	1.93	1.46	1.04	0.74	0.74
80	0.20	0.34	0.86	1.84	1.20	0.87	0.66	0.69
90	0.18	0.29	0.79	1.74	0.93	0.71	0.60	0.64
100	0.16	0.24	0.73	1.63	0.68	0.57	0.55	0.58
125	0.09	0.12	0.60	1.28	0.19	0.29	0.41	0.40
150	0	0	0.53	0.79	0.10	0.14	0.09	0.07

Tablo 2.15. 50 mm CAM YÜNÜ AKUSTİK İZOLELİ YUVARLAK KANALLARDA 0.3 m UZUNLUK BAŞINA SÖNÜM (dB)

Oktav bandı	63	125	250	500	1 k	2 k	4 k	8 k
Sönüm (dB)	2.1	7.5	17.1	38.4	51.3	37.2	25.5	24

Tablo 2.16.

gücü ayrılan kollar arasında bölünür. Bu şekilde ana kanaldan kol ayrılması halinde, ayrılan kola geçen sesteki sönüm yaklaşık olarak, $\Delta L = 10 \text{ Log } [A_i / \sum A_i]$ ifadesi ile bulunabilir. Burada

$A_i =$ Ayrılan kolun kesit alanı (m^2)

$\sum A_i =$ Ayrılan ve devam eden kolların kesit alanı toplamı (m^2)

Örneğin; 450 mm. çapındaki kanal, 150 mm. çapındaki kol ayrıldıktan sonra 300 mm. çapında devam ediyorsa, ayrılan kolda seste meydana gelen sönümü bulunuz.

$$A_i = \pi (0,150)^2 / 4$$

$$\sum A_i = \pi (0,150)^2 / 4 + \pi (0,300)^2 / 4$$

$$A_i / \sum A_i = 0,2$$

$$\Delta L = 10 \text{ log } 0,2 = 7 \text{ dB}$$

Kanal ebatları	Frekans (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
(mm)	125	250	500	1000	2000	4000
900x600	0,5	1,2	3	9	6,5	4,9
450x600	0,7	1,8	3,8	10,1	9,1	6
300x600	0,9	2,4	4,4	10,7	13,8	6,3

Tablo 2.16-A. 25 mm kalınlığında yanmaz poliüretan köpük malzemenin farklı kanal ebatlarında, birim uzunluk (m) başına sönüm (ses yutma) değerleri.

Kanal ebatları	Frekans (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
(mm)	125	250	500	1000	2000	4000
900x600	0,8	2,9	7,2	11	7,1	6,2
450x600	1,6	3,1	8,7	16,6	8,8	8,6
300x600	2,6	5,4	10,5	19,5	15,1	11,6

Tablo 2.16-B. 50 mm kalınlığında yanmaz poliüretan köpük malzemenin farklı kanal ebatlarında, birim uzunluk (m) başına sönüm (ses yutma) değerleri.

	Ses Kaybı, dB	
	Kaplanmamış Dirsek	Kaplanmış Dirsek
$f_w < 48$	0	0
$48 \leq f_w < 96$	1	1
$96 \leq f_w < 190$	5	6
$190 \leq f_w < 380$	8	11
$380 \leq f_w < 760$	4	10
$f_w > 760$	3	10

Tablo 2.17.A KAPLAMALI VE KAPLAMASIZ KANATSIZ DİKDÖRTGEN DİRSEKLERDE SES KAYIPLARI

f_w	Sönüm (dB)
$f_w < 1.9$	0
$1.9 < f_w < 3.8$	1
$3.8 < f_w < 7.5$	2
$f_w > 7.5$	3

$f_w = f \times w \times 40$ olarak tariflenmiştir. Burada f oktav bandı merkez frekansı (kHz) ve w dirseğin genişliği (m) olarak verilmiştir.

Tablo 2.17-B. YUVARLATILMIŞ DİRSEKLERDE SÖNÜM

2.4.4.5. Kanal Çıkış Yansıması

Düşük frekanslı düzlemsel ses dalgaları, büyük bir odaya açılan küçük bir difüzör veya menfez alanı ile karşılaştıklarında önemli ölçüde bir ses enerjisi bu kesitteki girişim sonucu tekrar kanala geri yansıtılır. Buna çıkış yansıması denir. Bu olay sonucu meydana gelen sönüm özellikle düşük frekanslarda etkilidir ve **Tablo 2.18'den** çıkış kesit alanına göre yaklaşık olarak okunabilir.

2.4.5. Oda Etkisi

Bir odaya açılan menfezden yayılan ses enerjisi odada bulunan kişi-

Alan cm^2	Oktav bandı merkez frekansı (Hz)					
	63	125	250	500	1k	
100	20				3	
	19	15	10	6	2	
	18	14	9	5		
	17	13	8	4	1	
	16	12	7	3		
	15	11	6	2		
	500	14	10	5	1	0
		13	9	4		
		12	8	3		
		11	7	2		
10		6	1			
1000	9	5	2	0	0	
	8	4	1			
	7	3	0			
	6	2	0			
	5	1	0			
5000	4	0	0	0	0	
	3	0	0			
10000	2	0	0	0	0	
	1	0	0			

Tablo 2.18. ÇIKIŞ YANSIMASI

ye aynen ulaşmaz. Oda içinde ses enerjisinde bir yutulma meydana gelir. Bu yutulma oda hacmine, yüzeylerdeki kaplamanın cinsine, eşyanın durumuna, menfezle kişi arasındaki mesafeye bağlıdır. Menfezi terk eden ses güç düzeyi L_w ile kritik kişinin bulunduğu noktadaki ses basınç düzeyi arasındaki fark (odanın yutma etkisi)

$L_p - L_w = -10 \log(r) - 5 \log(V) - 3 \log(f) + 10 \log(N) + 12$ ifadesi ile yaklaşık olarak bulunabilir. Burada;

r = Ses kaynağı ile alıcı arasındaki mesafe (m)

V = Oda hacmi (m^3)

f = Oktav bandı merkez frekansı (Hz)

N = Odada bulunan aynı güçteki kaynakların (menfezlerin) sayısı.

Örneğin; 5 x 4 x 3 m. boyutlarında bir odadaki tek bir menfezden çıkan ses ile menfeze 3 m. uzaklıktaki dinleyicinin algıladığı ses ara-

Oktav bandı	63	125	250	500	1 k	2 k	4 k	8 k
-10 Log (3)	-4.8	-4.8	-4.8	-4.8	-4.8	-4.8	-4.8	-4.8
-5 Log (60)	-8.9	-8.9	-8.9	-8.9	-8.9	-8.9	-8.9	-8.9
-3 Log (f)	-5.4	-6.3	-7.2	-8.1	-9.0	-9.9	-10.8	-11.7
	+12	+12	+12	+12	+12	+12	+12	+12
Lp-Lw, dB	-7.1	-8	-8.9	-9.8	-10.7	-11.6	-12.5	-13.4

Tablo 2.19.

sındaki farklı frekans bandına göre bulunuz (Oda hacmi 60 m³). Hesaplar aşağıda Tablo 2.19'da özetlenmiştir.

2.4.6. Susturucular veya Paket Tipi Sönümleyiciler

Paket tipi sönümleyiciler, geniş bir frekans aralığında yüksek bir sönüm gerektiğinde ve sönüm için kullanılacak kanal uzunluklarının kısıtlı olduğu hallerde özellikle elverişlidirler. Bu tür sönümleyiciler (ki bazen susturucu olarak da anılır), dikdörtgen veya yuvarlak formda olabilirler. Sönümleyiciler esas olarak Şekil 2.20'de görüldüğü gibi metal bir dış kabuk ve perfore levhalardan oluşan çeşitli iç geçiş düzenlemelerinden ibarettirler. Şekil 2.21'de ise yuvarlak tip sönümleyiciler görülmektedir. Bu perfore metal iç düzenlemelerin üzeri daha yüksek yoğunlukta, inorganik, fiberli, ses yutan malzeme ile kaplanmıştır. Hava geçişleri ve yutucu elemanlar aerodinamik ve akustik olarak farklı sönüm ve farklı basınç düşümleri yaratacak şekilde tasarlanmıştır. Sönümleyici seçimleri imalatçı firmaların hazırladıkları abaklara göre yapılır. Bu abaklar ya tablolar halinde ya da diyagramlar halindedir. Bir sönümleyicinin seçiminde çok miktarda bağımsız değişken vardır. Bu değişkenleri 5 grupta toplamak mümkündür. Bunlar hava debisi, basınç düşümü, ses sönümü, boyutlar ve ekonomi, yani 1 dB sönüme karşılık gerekli maliyettir. Bu açıdan belirli hava debisi ve sönüm için çok sayıda çözüm, daha doğrusu çok sayıda sönümleyici şekli vardır. Seçim optimum tipin bulunmasıdır.

Şekil 2.22 ve 2.23'de dikdörtgen susturucular için bir imalatçı firma kataloğundan alınan abaklar verilmiştir. Belirli bir tip sönümleyici Şekil 2.20'deki büyüklüklerle belirlenmektedir.

Şekil 2.22 ve 2.23'deki abak $D = 100$ mm. için verilmiştir. Bunun için sipariş kodunda D yerine 1 yazılacaktır. Şekil 2.22'deki abaktan sırası ile müsaade edilebilecek basınç düşümü, hava debisi, susturucu yüksekliği ve S (mm) boşluk genişliği değerleri ile B (mm) susturucu genişliği ve n levha sayısı belirlenir. Susturucu uzunluğu L (mm) değeri ise Şekil 2.23 yardımı ile bulunur. Kritik frekans bandında [örneğin 250 (Hz)], gerekli olan sönüm değeri yardımı ile susturucu uzunluğu bulunur. Bunun için S (mm) değerine göre çizilmiş abağın sol yanındaki kırık çizgilerden ilgili olanı ile kritik frekansın kesiminden sağa gidilir ve gerekli sönüm değeri ile kesim noktasından aşağı inilerek susturucu boyu okunur. Susturucu boyu belirlendikten sonra diğer frekanslardaki sönümler bu abaktan okunabilir.

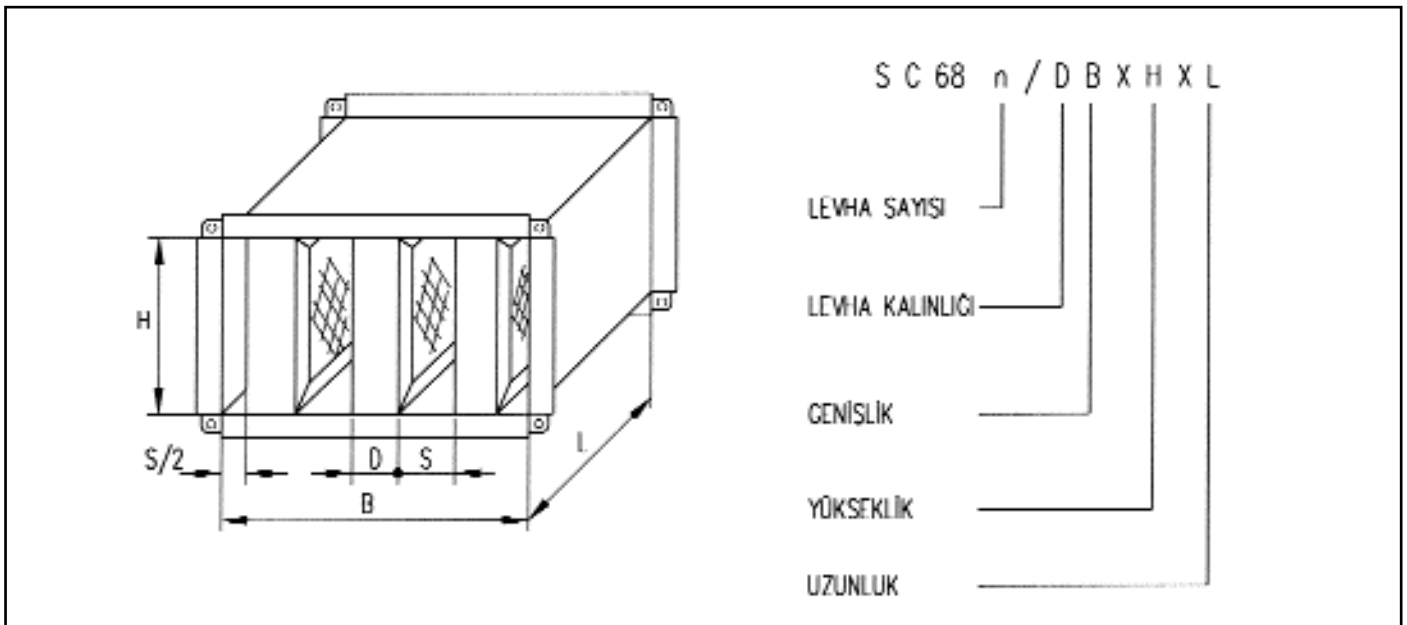
2.4.6.1. Yuvarlak Susturucu Seçimi

Yuvarlak susturucularla ilişkili bir firma kataloğunda ise bilgiler tablolar halinde verilmiştir. Şekil 2.21'den de görülebileceği gibi bu firma üretiminde ara levhalı ve ara levhasız olarak iki temel tip vardır (Örneğin SLU ve SLBU). Öncelikle hangi tipin kullanılacağına karar verilmelidir. Siparişte SLU - aaa - bbb şeklinde iki büyüklük belirlenmelidir. Seçim aşağıdaki adımlardan oluşur:

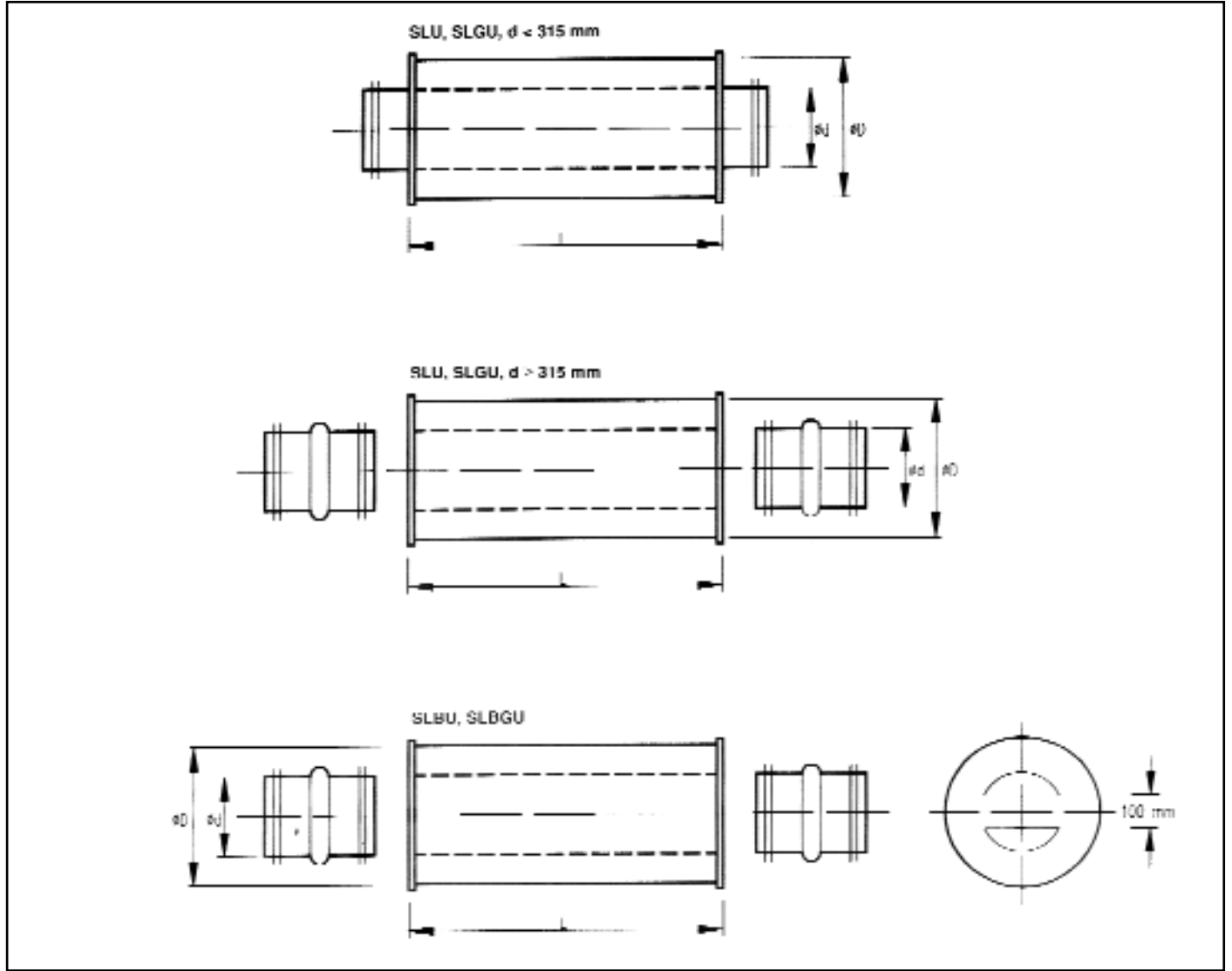
1. Hava debisine göre aşağıdaki tablolardan susturucu anma çapı belirlenir.
2. Seçilen çaptaki susturucu için Tablo 2.26, 2.27 ve 2.28'de verilen boya bağlı sönüm değerleri ve basınç düşümleri incelenir. Frekans bandına göre gerekli sönüm değerleri, bu tablolarda söz konusu çap için verilen sönüm değerleri ile karşılaştırılır. Bütün frekans bandında gerekli sönümden daha fazla sönüm veren susturucu boyu seçilir. Böylece seçim tamamlanmış olur. Gerekirse basınç düşümü kontrolü yapılır. Öte yandan eğer gerekli sönüm sağlanamıyorsa farklı çap değerlerindeki susturuculara bakılmalıdır.

2.4.7. Örnek Hesap

Bir kanal sisteminin akustik hesabının nasıl yapıldığını görmek üzere, Şekil 2.29'daki örnek göz önüne alınacaktır. Burada 12000 m³/h debisindeki besleme fanından çıkan hava 2 adet 90° dirsekten sonra



Şekil 2.20. PAKET TİPİ SÖNÜMLEYİCİLER



Şekil 2.21. YUVARLAK TİP SÖNÜMLEYİCİLER

bir susturucuya girmektedir. Hesap sırasında önce susturucu göz önüne alınmayacak, hesap sonucu susturucu gereksinimi görülerek, gerekli susturucu seçimi yapılacaktır. 3 m sonra ayrılan bir kol ile V.A.V. kutusuna bağlantı yapılmakta, kutu sonrası 1 m kanal ve 90° dirsek ile difüzöre bağlantı yapılmaktadır. Difüzör hava debisi 1400 m³/h değerindedir.

Kanallar dikdörtgen kesitli olup boyutları şekil üzerinde verilmiştir. Difüzör kare şeklinde olup 300 x 300 mm boyutundadır. Oda ise 6 x 6 m boyutunda 3 m yüksekliktedir. Difüzör ile kritik dinleyici arası mesafe 2 m değerindedir. Yapılan hesaplarda sadece besleme fanından kritik dinleyiciye ulaşan ses dikkate alınmıştır. Odada sağlanılması gerekli ses kriteri ise NC 35 olarak belirlenmiştir.

Yapılan hesaplar oktav bandına göre **Tablo 2.30'da** özetlenmiştir. Buna göre üretici kataloğundan alınan fan ses güç düzeyi değerleri 1. satıra işlenmiştir. 2. ve 3. satırlara 90° dirsekteki kayıp değerleri **Tablo 2.17** yardımı ile işlenmiştir. Bu dirseklerde kanal genişliği 650 mm. değerindedir. Düz kanallardaki sönüm ihmal edilmiştir.

5. satıra kol ayrılma kayıpları işlenmiştir. Devam eden kol kesiti değışmemiştir. Buna göre,

$$A_i = 0,050 \text{ m}^2 ; \sum A_i = 0,050 + 0,260 = 0,310 \text{ m}^2 \text{ olup,}$$

$$\Delta L = 10 \log 0,16 = -8 \text{ dB bulunur.}$$

6. 7. ve 8. satırlarda düz kanaldaki ve V.A.V. kutusundaki sönümler ihmal edilerek sıfır sönüm değerleri işlenmiştir.

9. satıra 90° dirsek sönümü ve 10. satıra **Tablo 2.18'den** yararlanarak kesit değeri 30 x 30 = 900 cm² için çıkış yansıması kaybı değerleri işlenmiştir.

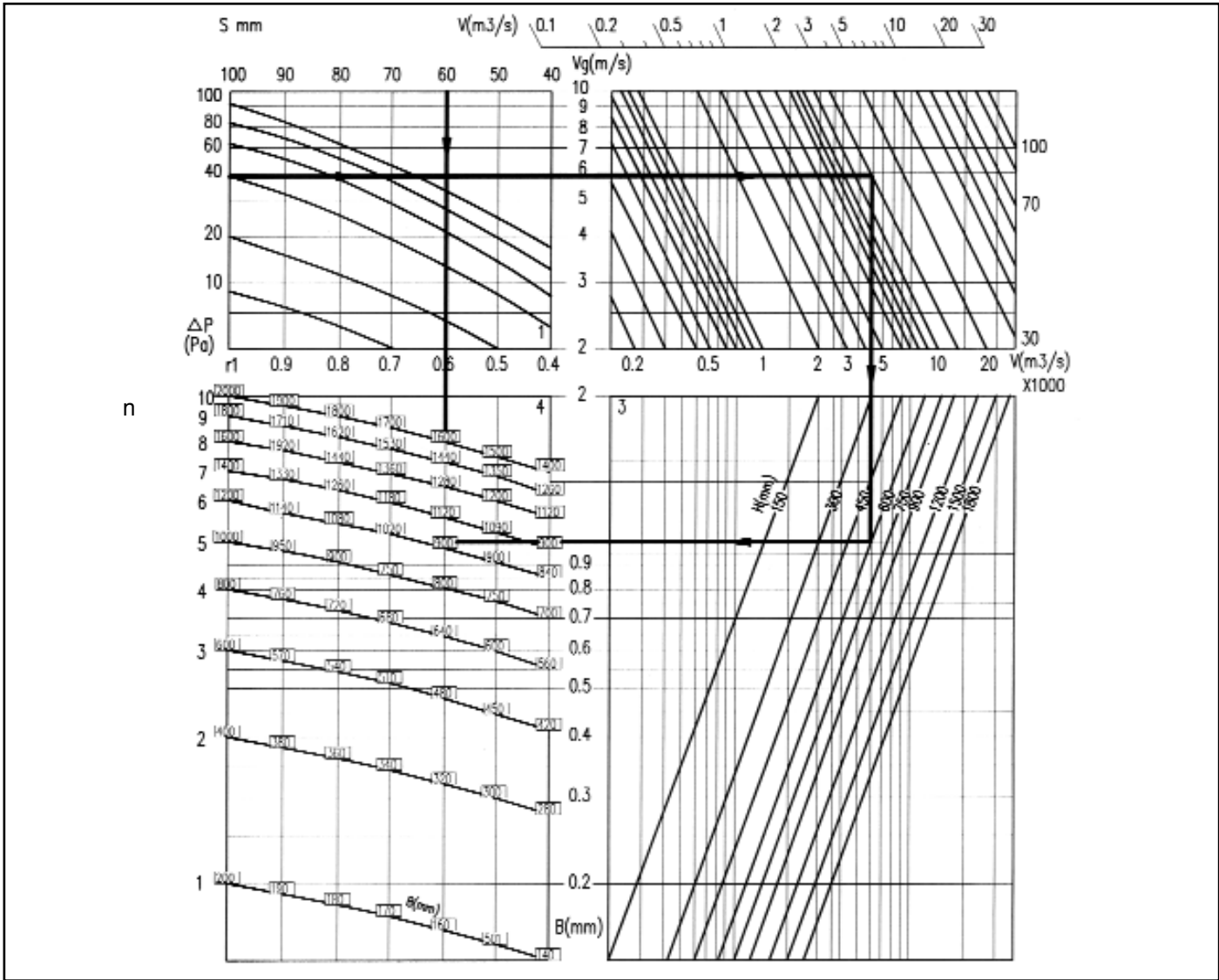
11. satırda ilk 10 satırın cebrik toplamı ile bulunan, fandan odaya yayılan ses değeri görülmektedir.

12. satıra difüzör üreticisinden alınan ses üretim değerleri işlenmiştir. 11. ve 12. satırdaki değerler **Tablo 2.2'de** verilen dB cinsinden iki değerin toplam kaidesine göre toplanarak, satır 13'de odaya yayılan toplam ses olarak ifade edilmiştir. Odaya yayılan sesin kritik dinleyiciye ulaşana kadar uğradığı kayıp olan oda etkisi 14. satırda görülmektedir. Burada,

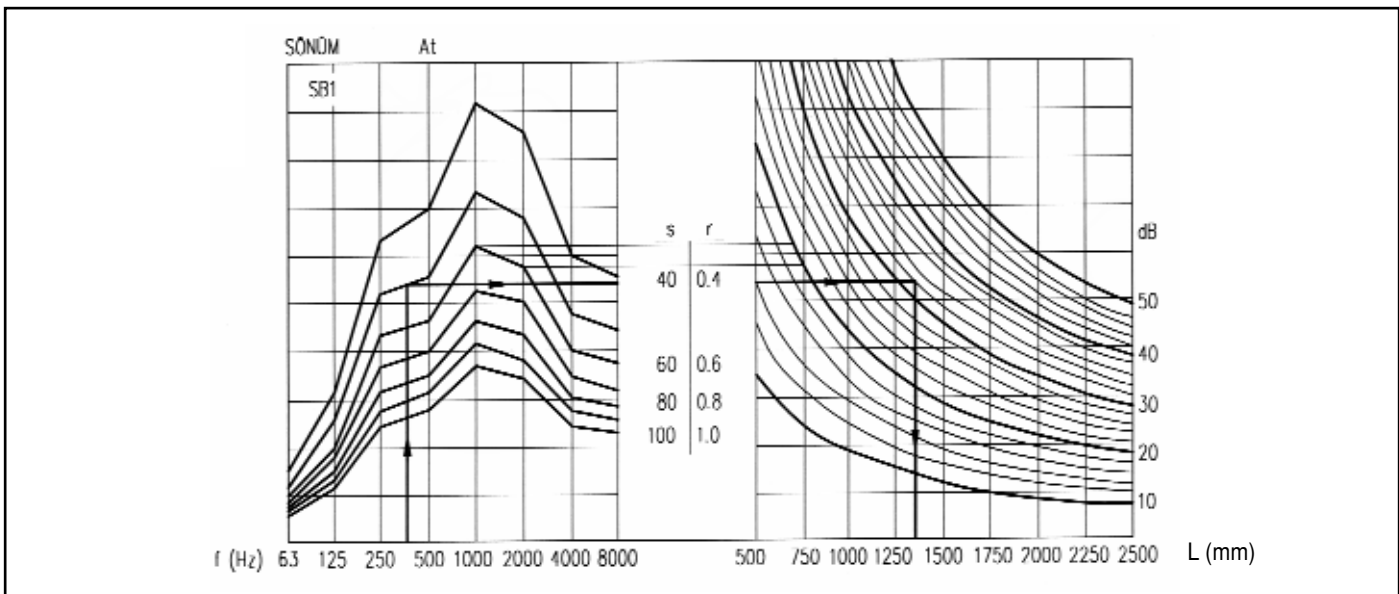
$$r = 2 \text{ m, } v = 6 \times 6 \times 3 = 108 \text{ m}^3, N = 1 \text{ olup,}$$

$$L_p - L_w = 10 \log 2 - 5 \log 108 - 3 \log (f) + 10 \log (1) + 12$$

$$L_p - L_w = 3 \log (f) - 1,2 \text{ olup değerler } \text{Tablo 2.30'da} \text{ verilmiştir.}$$



Şekil 2.22. ÖRNEK BİR SÖNÜMLEYİCİ SEÇİM ABAĞI



Şekil 2.23. SÖNÜM ABAĞI

Debi (m ³ /h)	180	280	475	725	1080	1800	2880	4500	7070	11200	18000
Anma çapı (mm)	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800

Tablo 2.24. ARA LEVHASIZ SUSTURUCU ÖN SEÇİM TABLOSU:

Debi (m ³ /h)	1650	3080	5290	8950	15210
Anma çapı (mm)	315	400	500	630	800

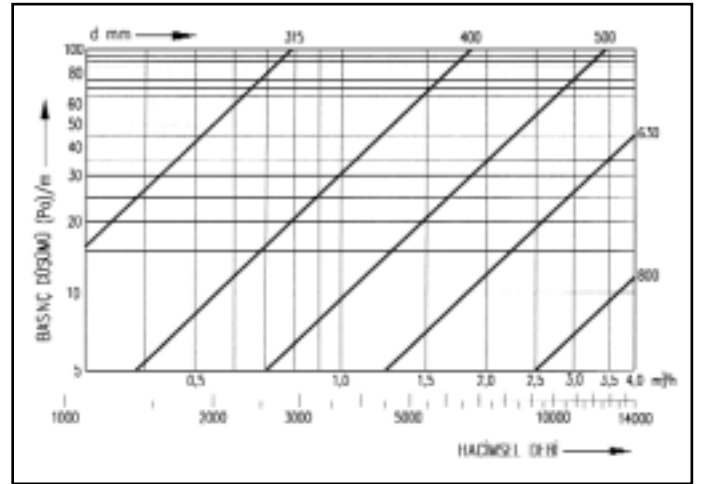
Tablo 2.25. ARA LEVHALI SUSTURUCU ÖN SEÇİM TABLOSU

Tanım	ø d nom mm	ø D mm	L mm	Ağırlık kg	Sönüm (dB) Oktav bandları (Hz)					
					125	250	500	1000	2000	4000
SLU 80 - 300	80	180	300	2	5	11	15	25	28	23
80-600	80	180	600	3	7	18	26	29	29	24
80-900	80	180	900	5	9	26	38	33	30	26
80-1200	80	180	1200	7	11	30	36	37	31	27
SLU 100-300	100	200	300	2	5	9	12	20	25	17
100-600	100	200	600	3	7	15	25	33	29	24
100-900	100	200	900	5	9	22	32	36	33	31
100-1200	100	200	1200	6	11	25	36	39	37	38
SLU 125-300	125	224	300	3	3	7	14	19	16	19
125-600	125	224	600	4	5	13	21	37	37	31
125-900	125	224	900	7	7	16	28	38	38	35
125-1200	125	224	1200	9	9	20	34	39	39	36
SLU 160-300	160	280	300	3	2	8	12	15	15	14
160-600	160	280	600	6	3	11	22	33	42	29
160-900	160	280	900	8	8	14	23	39	37	25
160-1200	160	280	1200	10	11	19	35	38	47	41
SLU 200-300	200	315	300	4	2	4	8	15	18	13
200-600	200	315	600	7	4	8	15	31	28	20
200-900	200	315	900	10	8	9	20	32	35	23
200-1200	200	315	1200	12	11	17	26	34	40	26
SLU 250-600	250	355	600	9	6	9	13	24	15	15
250-900	250	355	900	12	8	11	20	33	24	18
250-1200	250	355	1200	15	10	13	25	38	29	24
SLU 315-600	315	500	600	12	5	5	11	19	12	10
315-900	315	500	900	18	7	9	16	30	18	14
315-1200	315	500	1200	24	9	12	21	36	18	17
SLU 400-600	400	600	600	16	5	6	9	13	10	7
400-900	400	600	900	22	7	7	14	22	15	13
400-1200	400	600	1200	32	7	10	14	22	18	13
SLU 500-900	500	710	900	26	6	8	14	16	13	13
500-1200	500	710	1200	39	8	11	22	24	17	16
SLU 630-900	630	800	900	42	4	7	12	12	12	10
630-1200	630	800	1200	56	5	10	16	15	15	11
SLU 800-1200	800	1000	1200	69	4	5	10	9	15	12
800-1500	800	1000	1500	86	4	7	13	12	15	12

Tablo 2.26. YUVARLAK TİP ARA LEVHASIZ SUSTURUCULARDA SÖNÜM

Tanım	ø d nom mm	ø D mm	L mm	Ağırlık kg	Sönüm (dB) Oktav bandları (Hz)					
					125	250	500	1000	2000	4000
SLBU 315-600	315	500	600	15	7	15	18	26	34	24
315-900	315	500	900	22	11	18	26	37	40	28
315-1200	315	500	1200	29	15	21	33	41	46	40
SLBU 400-600	400	600	600	20	8	9	16	22	24	19
400-900	400	600	900	30	11	14	22	34	32	23
400-1200	400	600	1200	40	11	21	30	38	43	28
SLBU 500-900	500	710	900	40	8	12	19	27	21	19
500-1200	500	710	1200	53	10	16	26	35	29	22
SLBU 630-1200	630	800	1200	62	8	11	23	28	23	19
630-1500	630	800	1500	78	10	15	23	39	26	20
SLBU 800-1200	800	1000	1200	80	5	9	17	23	21	16
800-1500	800	1000	1500	99	5	12	19	26	23	18

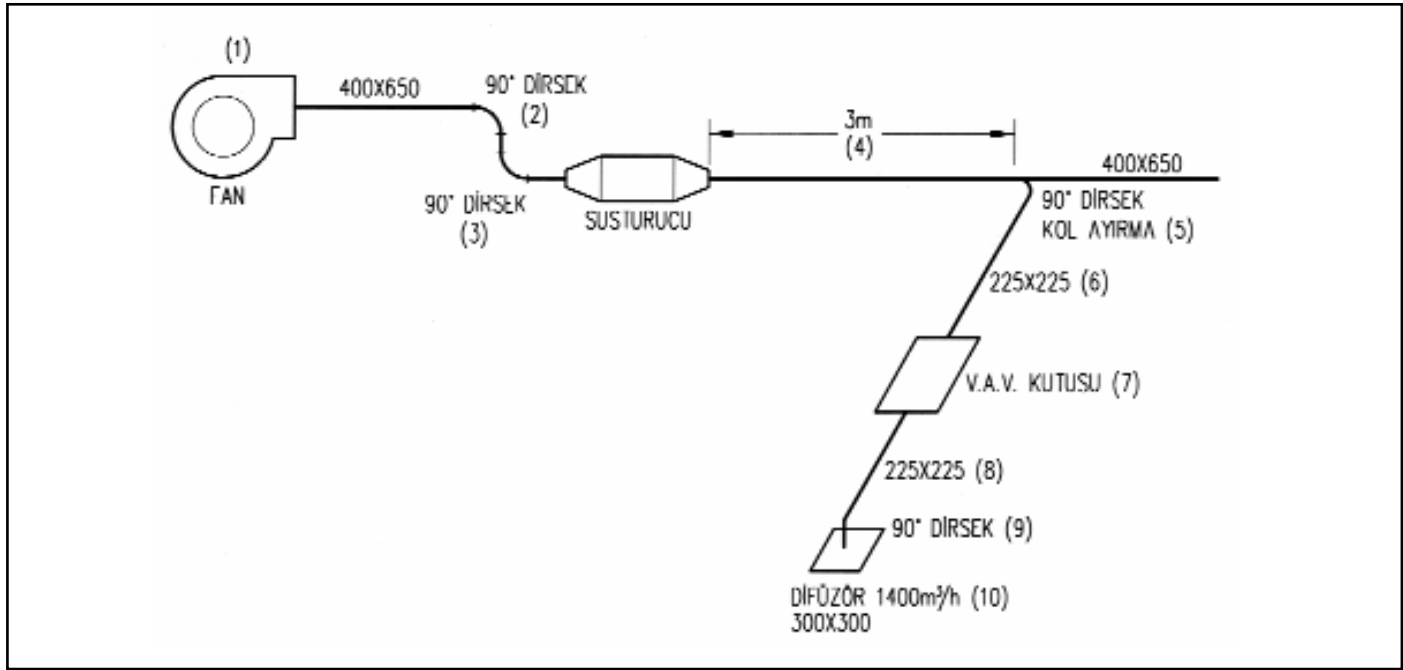
Tablo 2.27. YUVARLAK TİP ARA LEVHALI SUSTURUCULARDA SÖNÜM



Şekil 2.28. SUSTURUCUDA BASINÇ DÜŞÜMÜ

Oda etkisi çıkarılarak bulunan kritik dinleyiciye ulaşan ses düzeyi 15. satırdadır. Halbuki bu oda için ses kriteri NC 35 değerleri 16. satıra görülmekte olup, bunlar aşılmıştır. Gerekli ilave sönüm 17. satıra işlenmiştir. İlave sönüm paket tipi bir susturucu ile sağlanacaktır. A. İlave sönüm paket tipi dikdörtgen susturucu ile sağlanacak ise, Seçim Şekil 2.22 yardımı ile yapılacaktır. Debi = 12000 m³/h, basınç kaybı = 40 Pa, susturucu yüksekliği, H = 600 mm. ve hava geçiş kanal genişliği, S = 600 mm. seçilerek, Şekil 2.22'deki abaktan B = 960 ve n = 60 okunur.

Buna göre susturucu tipi, SC686/1 960x600xL olarak belirlenir. L değerinin belirlenmesi için Şekil 2.23'deki abak kullanılacaktır. Satır 17'deki gerekli sönüm değerlerine bakıldığında 125 frekans bandı kritik görülmektedir.(Genellikle kritik band 250 Hz olmaktadır) Şekil



Şekil 2.29. SİSTEM ŞEMASI

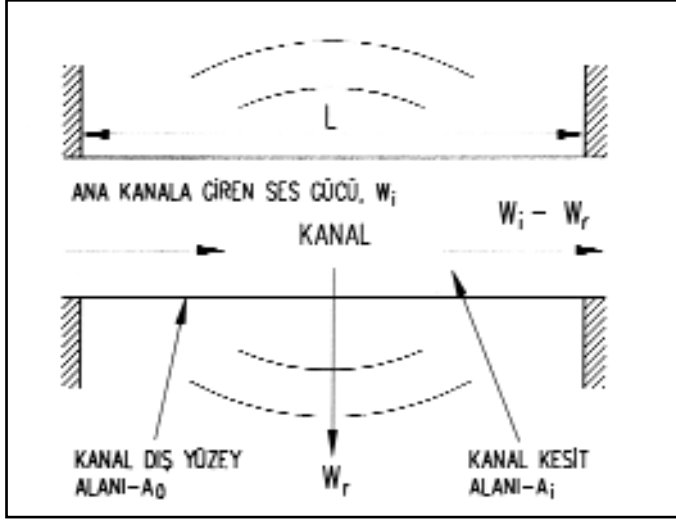
No.	Tanım	Oktav bandı merkez frekansları						
		63	125	250	500	1k	2 k	4 k
1	Fan 1200 m ³ /h, 650 Pa	92	86	80	78	78	74	71
2	90° dirsek (Tablo 2.17)	0	-1	-4	-6	-4	-4	-4
3	90° dirsek (Tablo 2.17)	0	-1	-4	-6	-4	-4	-4
4	3 m izolesiz kanal	0	0	0	0	0	0	0
5	Kol ayrılma	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8
6	2 m izolesiz kanal	0	0	0	0	0	0	0
7	V.A.V. kutusu (ses üretimi veya sönümü ihmal edilmiştir.)	0	0	0	0	0	0	0
8	1 m izolesiz kanal	0	0	0	0	0	0	0
9	90° dirsek (Tablo 2.17)	0	0	-1	-4	-6	-4	-4
10	Difüzörde çıkış yansımaları	-12	-8	-4	-1	0	0	0
11	Ses düşümleri sonucu toplam	72	68	59	53	56	54	51
12	Difüzörde üretilen ses	31	36	39	40	39	36	30
13	Odaya yayılan ses	72	68	59	53	56	54	51
14	Oda etkisi	-6,6	-7,5	-8,4	-9,3	-10,2	-11,1	-12
15	Odadaki ses basıncı seviyesi	65,4	60,5	50,6	43,7	45,8	42,9	39
16	Odada sağlanması gerekli kriter	60	52	45	40	36	34	33
17	Gerekli ilave sönüm	5,4	8,5	5,6	3,7	9,8	12,9	6
18	Seçilen susturucudaki sönüm	9	15	26	32	40	38	26
19	(Yuvarlak tip SLU 630 - 1500 susturucu sönümleri)	-	10	15	23	39	26	20

Tablo 2.30. HESAP TABLOSU

2.23'deki abakta 125 frekansından çıkılarak $S=60$ kırık çizgisi ile keşişim noktası bulunur. Buradan sağa gidilerek 15 dB sönüm için $L=1500$ mm. boy gerektiği bulunur. Bu boydaki diğer frekans bantlarıdaki sönümler satır 18'e işlenmiştir. Buna göre susturucu bütün bantlarda gerekli sönümü sağlamaktadır. Seçilen susturucu SSC 686/1

960x600x1500 olacaktır.

B. İlave sönüm yuvarlak tip ara levhalı susturucu ile sağlanacak olsa idi; İlgili tablodan debi 12000 m³/h için anma çapı küçük değer olan $d=630$ mm. seçilebilir. SLBU 630 - bbb tipi susturucuların sönüm değerleri ile satır 17'deki gerekli sönüm değerleri karşılaştırıldığında



Şekil 2.31. KANAL CİDARLARINDAN SES GEÇİŞİ

$L = 1500$ mm. boyundaki susturucu uygun görülmektedir. SLU 630 - 1500 tipi susturucu sönüm değerleri 19. satıra işlenmiştir. Bu susturucuda 125 Hz frekans bandında gerekli sönümle, susturucunun sönümü arasında 1,5 dB kadar fark görülmektedir. Bu durum kabul edilebilir. Bu susturucuda meydana gelen özgül basınç düşümü ise Şekil 2.28'den 30 Pa/m ve toplam basınç düşümü, $\Delta P = 1,5 \times 30 = 45$ Pa olarak bulunur. Bu düşüm de kabul edilebilir.

2.5. KANALLARDAN VEYA V.A.V. KUTULARINDAN ÇEVREYE SES YAYIMI

Bir kanalın içindeki sesin cidarlarından etrafındaki hacme geçişine kanal ses yayımı denilebilir. Genellikle bu olay düşük frekanslarda etkilidir. Kanaldan yayılan sesin iki ana kaynağı vardır. Birincisi kanalda taşınan sesin (genellikle fan sesidir) dışarı yayılması, ikincisi ise kanal içindeki türbülanslı akışın kanal cidarlarını titreştirmesidir. Özellikle santral yakınlarında her iki kaynak da etkili olmaktadır. Şekil 2.31'de görüldüğü gibi burada ele alınan kanal içindeki sesin çev-

reye yansımadır. Kanala giren ses enerjisi L_{wi} ile gösterilmiştir. Bu enerjinin L_{wr} kadari göz önüne alınan hacme yansır ve oda çıkışında kanaldaki ses enerjisi $L_{wi} - L_{wr}$ değerindedir. Buna göre [dB] cinsinden kanaldan çevreye yayılan ses enerji düzeyi,

$$L_{wr} = L_{wi} + 10 \log (A_o/A_i) - TL_{out}$$

Burada,

$$L_{wr} = \text{Çevreye yayılan ses enerji düzeyi (dB)}$$

$$L_{wi} = \text{Oda girişinde kanaldaki ses enerji düzeyi (dB)}$$

$$A_o = \text{Sesin yayıldığı kanal dış yüzey alanı (m}^2\text{)}$$

$$A_i = \text{Kanal iç kesit alanı (m}^2\text{)}$$

$$TL_{out} = \text{Kanal cidarlarındaki ses geçiş kaybı (dB)}$$

1. Dikdörtgen Kanallar

Dikdörtgen kesitli kanallarda kenar uzunlukları a ve b olmak üzere $A_i = a \cdot b$ ve $A_o = L \cdot (a+b) \cdot 2$ olacaktır. Ayrıca sac kalınlığına bağlı olarak dikdörtgen kanal cidarlarındaki ses geçiş kaybı değerleri TL_{out} Tablo 2.32'de verilmiştir.

Örnek:

0,30 x 0,60 m. boyutunda ve 6 m. boyundaki kanalda ses düzeyi, L_{wi} Tablo 2.33'de verilmiştir. 0,70 mm. kalınlıkta sactan yapılan bu kanaldan çevreye yayılan sesi (L_{wr}), bulunuz.

Çözüm:

$$A_i = 0,30 \times 0,60 = 0,18 \text{ m}^2$$

$$A_o = 6 \times 0,90 \times 2 = 10,8 \text{ m}^2$$

$$10 \log (10,8/0,18) = 17,8 \text{ dB}$$

Buna göre çözüm Tablo 2.33'de verilmiştir.

2. Yuvarlak Kanallar

Yuvarlak kanallarda A_i ve A_o değerleri yerine konulunca, $A_o/A_i = d/4 \cdot L$ haline gelir. Burada d kanal çapıdır. Yuvarlak kanallar için TL_{out} cidar kayıp değerleri ise Tablo 2.34'de verilmiştir.

3. Dıştan Akustik İzole Edilmiş Kanallar

Yuvarlak kanallarda TL_{out} değeri daha büyük olduğu için genellikle bir dış akustik izoleye gerek yoktur. Ancak dikdörtgen kesitli kanallarda çevreye yayılan sesin azaltılması için cam yünü gibi ses yutucu

Kanal boyutu mxm	Sac kalınlığı mm	Oktav bandı merkez frekansları - Hz							
		63	125	250	500	1 kH	2 kH	4 kH	8 kH
0.30x0.30	0.70	21	24	27	30	33	36	41	45
0.30x0.60	0.70	19	22	25	28	31	35	41	45
0.30x1.20	0.85	19	22	25	28	31	37	43	45
0.60x0.60	0.85	20	23	26	29	32	37	43	45
0.60x1.20	1.00	20	23	26	29	31	39	45	45
1.20x1.20	1.30	21	24	27	30	35	41	45	45
1.20x1.40	1.30	19	22	25	29	35	41	45	45

Tablo 2.32. DİKDÖRTGEN KESİTLİ KANALLARDA CİDAR GEÇİŞ KAYIP DEĞERLERİ, TL_{out} (dB)

Merkez frekansı (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Kanaldaki ses seviyesi, L_{wi}	87	81	75	73	73	69	66	63
$10 \log (A_o/A_i)$	17.8	17.8	17.8	17.8	17.8	17.8	17.8	17.8
TL_{out}	19	22	25	28	31	35	41	45
Çevreye yayılan ses, L_{wr}	85.8	76.8	67.8	62.8	59.8	51.8	42.8	35.8

Tablo 2.33 ÖRNEK ÇÖZÜM HESAPLARI

Kanal çapı m	Uzunluğu m	Et kalınlığı mm	Oktav bandı merkez frekansları - Hz							
			63	125	250	500	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
Boyuna Dikişli Kanallarda										
0.20	4.5	0.55	45	53	55	52	44	35	34	26
0.35	4.5	0.70	50	60	54	36	34	31	25	38
0.55	4.5	0.85	47	53	37	33	33	27	25	43
0.80	4.5	0.85	51	46	26	26	24	22	38	43
Spiral Dikişli Kanallarda										
0.20	3.0	0.55	48	64	75	72	56	56	46	29
0.35	3.0	0.55	43	53	55	33	34	35	25	40
0.65	3.0	0.70	45	50	26	26	25	22	36	43
0.65	3.0	1.60	48	53	36	32	32	28	41	36
0.80	3.0	0.85	43	42	28	25	26	24	40	35

Tablo 2.34. YUVARLAK KESİTLİ KANALLARDA DENEYSSEL OLARAK ÖLÇÜLEN CİDAR GEÇİŞ KAYIP DEĞERLERİ, TL_{out} (dB)

malzemelerle kanalın dıştan izolesi yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Burada izolasyon tabakasının dışı geçirgen olmayan daha rijit, örneğin metal sac tabaka, alçı tabaka, kurşun levha veya kalın vinil gibi bir tabaka ile kaplanır. Metal sac rijit kaplamaların kanal cidarındaki titreşimlerle rezonansa gelme tehlikesi vardır.

Akustik izolasyon sonucu TL_{out} değerine ilave edilen kayıp değeri, düşük frekanslarda IL(df) olarak gösterilirse,

$IL(df) = 20 \log(1 + M_2/M_1 \cdot P_1/P_2)$ olarak tanımlanır. Burada,

P_1 ve P_2 sırası ile kanalın ve dış izolasyonun çevresi (m), M_1 ve M_2 sırası ile kanalın ve dış rijit kaplamanın alan yoğunluğudur (kg/m^2). Oktav bandına göre ilave kayıp, IL değerlerini bulmak için öncelikle IL (df) değeri hesaplanır.

İkinci adım kritik frekans bandının bulunmasıdır. Bunun için,

$fr = 54 \cdot [(P_1/P_2 + M_2/M_1) \cdot P_1/(M_2 \cdot S)]^{0.5}$ ifadesi kullanılır.

Burada S dış izolasyonun kesit alanıdır. Hesaplanan fr değerine en yakın oktav bandı merkez frekansı kritik bant olarak ele alınır.

Bu bandın altındaki frekanslar için,

$IL = IL(df)$

Kritik frekans bandı için,

$IL = IL(df) - 5 \text{ dB}$

Kritik frekansın üzerindeki bantlar için,

$IL = IL(df) + 29,9 \log[f/1,41 \cdot fr]$

olacaktır. Ancak bu kayıp değerleri 25 dB ile sınırlıdır. Daha yüksek kayıp bile bulursa, 25 dB kayıp ele alınır.

Örnek:

0,20 x 0,20 m. boyutunda 1,3 mm. kalınlıkta sactan mamul kanal, 25 mm. cam yünü ile izole edilmiş ve izolasyonun üzeri 12,5 mm. alçı tabakası ile kaplanmıştır. Bu kaplama sonucu ilave edilen kayıp IL değerlerini oktav bandına göre bulunuz.

Çözüm:

1,3 mm. kalınlıktaki sacın alan kütlesi, $M_1 = 10,14 \text{ kg/m}^2$

12,5 mm. kalınlıktaki alçının alan kütlesi, $M_2 = 10,64 \text{ kg/m}^2$

$P_1 = 0,8 \text{ m}$, $P_2 = 1,0 \text{ m}$ olup,

$IL(df) = 20 \log[1 + (10,64 / 10,14) \cdot (0,8/1)] = 5,3 \text{ dB}$

$S = 0,0225 \text{ m}^2$

$$fr = 54 \left[\left(\frac{1}{0,8} + \frac{10,64}{10,14} \right) \times \frac{0,8}{10,14 \cdot 0,0225} \right]^{0.5} = 154 \text{ Hz}$$

154 Hz frekansı merkez frekansı olarak 125 Hz değerine yakındır. Bu durumda kritik oktav bandı 125 Hz bulunmuştur. Kritik frekansta sönüm $IL = 5,3 - 5 = 0,3 \text{ dB}$ bulunur. Daha yüksek frekanslarda sönüm,

$$IL = 5,3 + 29,6 \log \left(\frac{f}{1,41 \times 154} \right)$$

ifadesi ile bulunacaktır. Oktav bandına göre hesaplanan ilave sönüm değerleri **Tablo 2.35'de** verilmiştir.

4. V.A.V. Kutularından Çevreye Yayılan Ses

V.A.V. kutularında iki türlü ses problemi vardır. Birincisi kutuda doğan sesin kanal ve menfez yolu ile odaya ulaşmasıdır. Daha önce belirtildiği gibi bu kutuların kataloglarında bu yolla üretilen ses değerleri verilir. Çoğu zaman bu problem önemsizdir ve nasıl ele alınacağı kanal sistemi ses kontrolü bölümünde anlatılmıştır.

İkinci problem ise, oda içinde asma tavan üstüne yerleştirilen V.A.V. kutuları için geçerlidir. Bu kutuların kendisinden yayılan ses asma tavanı geçerek odaya ulaşır. V.A.V. kutularından yayılan ses kataloglarda deneysel veri olarak sunulur. **Tablo 2.36'da** örnek olarak bir V.A.V. kutusu katalogundan alınan değerler görülmektedir. Bu tabloda ΔP_{st} kutuda meydana gelen basınç düşümünü ifade etmektedir.

Kutudan yayılan ses enerji düzeyi L_w (dB), oktav bandı merkez frekanslarında, boyuta ve debiyeye göre verilmiştir. Bu tabloda ayrıca her oktav bandında, asma tavanda 4 dB ve odada 4 dB olmak üzere, 8 dB ses düşümü göz önüne alınarak odadaki - ortalama ses basınç düzeyi L_{pA} değeri de verilmiştir.

Kutudan yayılan ses sadece asma tavan malzemesinin direncine bağlı olarak biraz sönümlenir ve doğrudan odaya yayılır. Çeşitli asma tavan malzemelerinin sönüm değerleri **Tablo 2.37'de** verilmiştir. Hiçbir önlem alınmamış asma tavan için başka veri yoksa, sönümü bütün frekanslarda 4 dB almak mümkündür.

Eğer kutudan yayılan ses odada istenen ses kriterini aşıyorsa, bu durumda dıştan izoleli kutu kullanmak gerekir. Çoğu zaman ses izoleli kutularda alternatif olarak firma tarafından sunulmakta ve

Oktav bandı merkez frekansı	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
IL (df)	5.3							
IL (kritik)		0.3						
IL (yl)			7.1	16.1				
IL (max)					25	25	25	25
IL. dβ	5.3	0.3	7.1	16.1	25	25	25	25

Tablo 2.35. ÖRNEK ÇÖZÜM HESAP TABLOSU

Size	l/s	m ³ /h	ΔP _{st} = 200 Pa											ΔP _{st} = 500 Pa											ΔP _{st} = 1000 Pa										
			L _w in dB/oct.											L _w in dB/oct.											L _w in dB/oct.										
			f _m in Hz											f _m in Hz											f _m in Hz										
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	LpA in dB(A)	NC	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	LpA in dB(A)	NC	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	LpA in dB(A)	NC			
12	15	54	27	31	27	26	27	20	<	<	22	17	20	35	28	27	28	25	24	22	25	19	36	37	29	27	29	27	27	27	27	23			
	35	126	34	40	32	30	27	21	<	16	24	17	29	41	36	34	32	29	26	23	29	22	37	42	37	35	36	34	33	30	33	27			
	60	216	38	42	35	30	27	23	16	20	26	18	38	46	40	37	34	31	27	25	32	24	42	47	41	40	40	37	35	26	36	30			
	95	342	42	46	40	33	29	26	21	21	29	20	46	50	43	40	36	33	29	27	35	26	47	51	46	43	42	39	37	34	39	32			
	145	522	47	49	45	40	34	31	25	25	34	27	51	54	46	43	38	34	32	29	37	30	52	56	49	46	44	40	40	37	42	34			
14	20	72	27	30	26	27	27	20	<	<	22	17	25	35	26	26	29	27	26	18	26	21	35	36	29	28	30	29	29	27	28	24			
	50	180	35	40	33	28	26	21	<	19	24	17	32	41	37	35	33	30	26	22	30	23	40	43	38	37	38	36	34	30	35	29			
	80	288	37	43	35	29	27	24	16	19	26	18	42	46	40	37	34	32	28	24	32	25	45	47	42	40	40	38	35	31	37	31			
	140	504	46	41	41	33	29	28	21	<	29	20	49	52	44	41	36	33	30	25	35	27	50	54	47	45	42	39	38	34	40	32			
	195	702	49	44	47	42	35	31	26	31	35	28	53	55	50	46	39	35	34	32	40	33	55	57	52	49	44	40	40	38	43	36			
16	25	90	25	28	25	26	24	18	<	16	20	<	21	33	28	28	29	28	24	24	26	21	29	31	29	28	32	27	27	30	28	25			
	65	234	34	38	34	30	26	22	15	22	25	19	35	41	37	35	33	31	27	27	31	24	39	42	39	37	39	35	33	33	35	29			
	100	360	39	42	37	31	27	25	19	22	27	18	44	46	41	38	35	32	28	29	33	25	46	47	43	41	41	38	36	35	38	31			
	170	612	48	45	42	35	29	28	23	27	30	22	49	50	46	42	37	35	32	32	36	28	52	52	48	46	43	41	40	38	41	34			
	250	900	51	49	48	42	35	32	28	32	36	28	55	54	51	47	40	36	35	35	40	34	58	56	53	51	45	42	42	40	44	38			
20	45	162	31	32	30	29	25	21	18	22	23	18	27	34	34	36	33	30	26	26	30	23	30	32	33	34	38	30	28	31	32	28			
	110	393	40	42	38	32	28	24	21	25	27	20	45	43	41	40	36	32	29	30	34	26	40	44	42	42	40	38	35	36	38	31			
	180	648	46	44	41	33	29	27	27	29	30	25	49	48	46	42	37	34	32	33	36	29	52	50	48	46	44	40	33	39	41	35			
	280	1008	51	47	46	36	31	30	28	30	33	26	55	52	50	44	39	37	35	37	39	32	58	55	53	50	46	42	35	42	44	37			
	445	1602	56	53	53	46	38	36	35	38	40	33	60	56	54	51	43	40	40	42	44	38	63	56	57	54	48	44	45	46	48	42			
25	70	252	28	33	32	30	27	21	<	<	24	17	36	36	35	34	33	31	26	23	30	24	35	37	39	38	37	36	33	32	35	28			
	170	612	46	42	39	32	28	24	17	19	27	18	47	46	44	41	36	33	29	27	35	27	50	48	46	44	42	40	38	36	40	32			
	280	1008	52	46	40	33	29	26	21	23	29	19	53	51	47	42	37	35	32	32	37	28	56	54	51	48	48	41	40	40	44	39			
	470	1692	54	51	44	37	31	30	27	28	33	24	58	56	51	44	39	38	36	37	40	32	61	59	55	50	49	43	43	44	46	40			
	665	2394	58	54	51	45	35	36	32	34	39	31	62	59	55	50	42	40	40	41	44	37	65	63	59	54	51	45	46	47	50	43			
31	105	378	35	36	31	29	26	20	<	<	23	16	40	38	38	37	34	32	28	22	32	25	39	38	41	39	37	36	36	32	36	31			
	265	954	46	44	38	33	29	24	20	<	28	19	50	49	46	42	38	35	33	29	37	28	49	51	50	48	44	42	41	39	43	36			
	420	1512	52	46	42	34	29	27	24	20	30	21	56	53	50	45	40	38	36	33	40	32	59	56	55	51	48	44	44	42	46	39			
	720	2592	58	51	47	42	33	33	29	30	36	28	61	58	55	48	42	41	40	37	44	36	64	61	59	54	50	46	47	44	49	42			
	1055	3798	64	55	53	44	36	39	35	34	41	34	68	62	57	51	43	42	43	39	46	38	71	65	62	56	50	47	49	46	51	44			
40	180	648	40	40	36	33	30	26	19	15	27	20	44	42	42	39	37	36	32	22	35	39	47	44	46	44	41	41	40	36	40	35			
	445	1602	52	45	43	35	30	28	23	15	31	22	57	53	52	46	39	39	38	30	41	33	57	54	56	54	48	46	46	39	47	41			
	710	2556	56	47	43	35	32	32	27	30	33	25	59	56	55	47	41	40	40	31	43	36	62	59	59	55	49	46	48	40	49	43			
	1250	4500	67	52	47	39	34	37	32	30	38	32	67	59	55	48	42	42	43	31	44	37	69	63	61	56	50	47	50	41	51	44			
	1775	6390	77	62	55	48	37	41	37	36	46	48	79	63	58	51	42	44	46	36	49	51	79	66	62	57	48	47	50	43	52	51			

Tablo 2.36. ÖRNEK BİR V.A.V. KUTUSUNDAN YAYILAN SES SEVİYESİ

Tanım	Merkez frekansı						
	63	125	250	500	1 kH	2 kH	4 kH
Tipik taş yünü akustik izoleli tavan	4	5	6	8	10	12	14
Tipik cam yünü akustik izoleli tavan	2	3	4	5	7	9	11
Tipik alçı tavan	9	13	20	25	31	33	27

Tablo 2.37. ASMA TAVAN SÖNÜM DEĞERLERİ

bunlara ait deneysel veriler kataloglarda bulunmaktadır.

Eğer odadaki tek ses kaynağı V.A.V. kutusundan yayılan ses ise **Tablo 2.36'dan** alınan ses düzeyi değerlerinden tavandaki sönüm ve odanın sönümü çıkarılarak kritik dinleyiciye ulaşan ses düzeyi bulunur. Bunun belirlenen ses kriterinden az olması gerekir.

Örnek:

Tablo 2.36'da verilen "Size 20" bir kutuda, basınç düşümü 500 Pa ve debi 1000 m³/h değerinde iken toplam A-ağırlıklı ses basınç düzeyi 39 dBA olarak tablodan okunur. Bu oda için ses kriteri eğer 35 dBA ise, kutuda akustik izolasyon gerekecektir. Eğer odada başka ses kaynakları da varsa bu durumda kutudan gelen ses ile diğer seslerin toplanması gerekecektir.

Örnek olarak daha önce hesaplanan kanal sistemi ele alınsın. Buradaki V.A.V. kutusundan yayılan ses "size 20" kutu için 1600 m³/h ve ΔPst

1.	63	125	250	500	1000	2000	4000
L_{wf}	56	53	53	46	38	36	35
Tavan Sönümü	-2	-3	-4	-5	-7	-9	-11
Oda Sönümü	-6.6	-7.5	-8.4	-9.3	-10.2	-11.1	-12
L_{w2}	47.6	42.5	40.6	31.7	20.8	15.9	12

2.	63	125	250	500	1000	2000	4000
L_{w1}	59.4	48.5	32.6	30.7	28.8	24.9	18
L_{w2}	47.6	42.5	40.6	31.7	20.8	15.9	12
L_{wt}	59.4	49.5	41.6	34.7	29.8	25.9	19

Tablo 2.38. KUTUDAN KRİTİK DİNLEYİCİYE ULAŞAN SES HESABI

= 200 Pa değerleri ile **Tablo 2.36'dan** okunabilir. Asma tavanın tipik cam yünü akustik izoleli tavan olduğu kabul edilerek yukarıda verilen Tablo 2.37.'den sönüm değerleri alınabilir. Oda sönüm etkisi ise örnekteki **Tablo 2.30 satır 14'ten** alınabilir. Kutudan kritik dinleyiciye ulaşan ses L_{w2} **Tablo 2.38'de** 1 numara ile verilmiştir.

Buna karşılık örnekte susturucu ilavesinden sonra menfezlerden kritik dinleyiciye ulaşan ses L_{w1} ve her iki sesin dB cinsinden toplamı olan L_{wt} değerleri **Tablo 2.38'de** 2 numara ile verilmiştir. Görüldüğü gibi odada sağlanması gerekli kriter yine sağlanmaktadır. Kutudan yayılan sesin kritik frekanslarda önemli bir katkısı olmamıştır.