



MAHFAZALAR VE KABİNLER

Acoustic Enclosures And Cabins

Ayhan ÇAKIR

ÖZET

Endüstriyel yapılarda gürültü yalıtımı için kullanılması ulusal şartnamelerde de gerekli görülen ürünlere mahfaza ve kabinleri de ekleyebiliriz. Mahfaza ve kabinler fabrika gibi endüstri tesislerinde makine gürültüsünün azaltılmasını, insan sağlığı için gerekli seviyeye indirilmesini sağlamaktadır.

Mahfazaların boyutları gürültü kaynağının dalga boyu büyüklüğü ile bağlantılı olarak üretilmelidir. Düşük frekansların yalıtılabilmesi için mahfazaların boyutları büyük tutulmalıdır. Mahfazalar zemine değişik metodlarla doğrudan monte edildiği gibi, gürültü kaynağının şasesine de, bağlantıları yalıtıma uygun malzemeler kullanılarak monte edilebilmektedir. Buna kamyon motorunun üzerine monte edilen şöför kabinini örnek olarak verebiliriz.

Genellikle panellerde kullanılan taş ve cam yünleri, metal kaplama malzemeleri kalınlık ve yoğunluk değerleri de göz önünde tutulmalıdır.

Kabinlerde de aynı şekilde zemin bağlantılarının malzemeleri ve şekilleri, kapı ve pencere bağlantı ve malzemeleri, panellerin malzeme ve bağlantılarının gürültü yalıtımına uygun şekilde yapılması, gürültü seviyesini istenen değerlere getirebilmek için dikkat edilmesi gereken çalışmalardır.

Anahtar Kelimeler: Mahfaza, Kabin, Endüstriyel gürültü yalıtımı, Fabrika gürültü yalıtımı, Mahfaza ve Kabin özellikler, Mahfaza ve kabin bağlantı ve montajı

ABSTRACT

We can mention about cabins and enclosures as the products that are deemed necessary in the national specifications for the use of noise insulation in industrial buildings. The enclosures and cabins enable the reduction of machine noise in industrial facilities such as factories to the level required for human health.

The dimensions of the enclosures must be produced related to the wavelength of the noise source. As the enclosures are mounted directly to the floor by various methods, they can also be mounted to the chassis of the noise source by using the suitable materials for insulation. An example of this is the driver's cab which is mounted on the truck engine.

Stone and glass wool used in panels, metal coating materials thickness and density values should be considered.

In the same way, the materials and shapes of the floor connections, door and window connections and materials, the materials and the connections of the panels in accordance with the noise isolation regulations, are the works that should be taken into consideration in order to bring the noise level to the desired values.

Keywords: Enclosures, Cabins, Industrial noise insulation, Factory noise insulation, Enclosure and cabin features, Enclosure and cabin connection and installation

MAHFAZALAR VE KABİNLER

Akustik mahfazalar ses kaynağının yapı içine alınarak yayılan gürültüden çevrenin korunması için yapılırlar. Kabinler ise insanları yapı içine alınarak çevre gürültüsünden korunması için yapılır. Kabin içine alınarak korunan kişiler makine operatörleri, üretim yerlerinde bulunan süpervisörler, otoyol girişlerindeki çalışanlar olabilir.

Son yayımlanan 'tst EN ISO 15667 (ISO 15667-2000)' "Akustik Mahfaza ve Kabinlerle Gürültü Kontrolü için Kılavuz" uluslararası veri toplanması, planlanma performans değerlendirmesi ile ilgili değerli bilgiler içermektedir. Ek A panel bağlantıları ile ilgili detay çizimleri, Ek B okuyucunun kolayca anlayabileceği uygulanmış örnekler içermektedir.

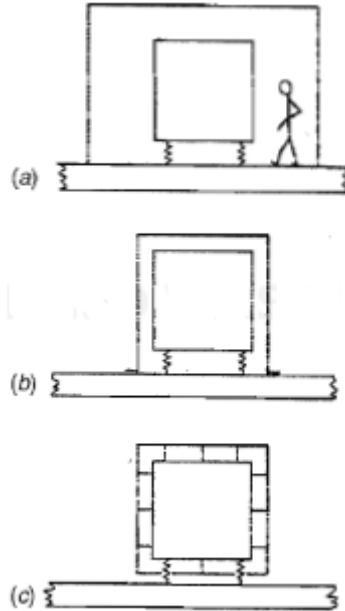
Kaplama ile mahfazalar arasındaki fark mahfazaların titreşen ekipmanın yüzeyi ile teması olmamasıdır. Kaplama sistemi çok iyi bir yalıtım olmamakla birlikte dış yüzeyin titreşimini alarak yüksek frekanslarda ciddi oranda yalıtım etkisi yaratır. Kaplama sistemi daha çok boru ve kanallarda uygulanır.

Akustik Mahfazalar

Boyutlarına bağlı olarak (akustik ve bükülme dalga boyu olarak karşılaştırıldığında) akustik mahfazalar küçük veya büyük olabilirler. Eğer bükülme dalga boyu mahfazanın en uzun iç açıklığından büyük ve akustik dalgaboyu mahfaza iç hacminden geniş ise mahfaza küçüktür. Küçük akustik mahfazalarda iç hacimde akustik rezonans olmaz. Eğer mahfazanın iç boyutları akustik dalga boyu ile karşılaştırıldığında geniş ve ilgili frekans bölgesinde çok sayıda akustik rezonans var ise mahfaza geniş olarak kabul edilir. Düşük frekanslarda fiziksel olarak büyük mahfazalar akustik olarak küçük, yüksek frekanslarda fiziksel olarak küçük boyutlu mahfazalar akustik olarak büyük olarak yorumlanabilir.

Mahfazanın yalıtılan ekipmanla mekanik olarak bağlantısı yoksa serbest durumlu, bağlantılı olursa ekipman bağlantılı, yakın olarak (ekipman hacmi boşluktan büyük ise) monte edilmişse yakın bağlantılı olarak adlandırılır.

Şekil 1'de değişik bağlantılı mahfaza tipleri görülmektedir.

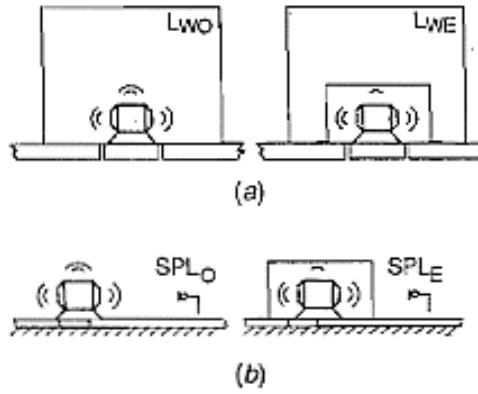


Şekil 1 Mahfaza Tipleri

- a) serbest durumlu
- b) serbest-yakın bağlantılı
- c) ekipman bağlantılı; yakın bağlantılı

Akustik Performans Ölçümü ile Ekleme Kaybı

Ekleme kaybı mahfazaların akustik performansını tanımlamada en uygun ölçüdür. Ekleme Kaybı (IL) uygulaması Şekil 2’de görülmektedir. Fabrikalar gibi iç hacimlerde yerleştirilen gürültü kaynakları için ses gücü esaslı mahfaza ekleme kaybı daha anlamlıdır (Şekil 2a).



Şekil 2. Mahfaza ekleme kaybı (IL) operasyonel tanımı

a) güç temelli; $IL_w \equiv L_{w0} - L_{wE}$, b) ses basıncı temelli; $IL_p \equiv SPL_0 - SPL_E$.

$$IL_w = 10 \log \left(\frac{W_0}{W_E} \right) = L_{w0} - L_{wE} \text{ dB}$$

Burada W_0 mahfaza ile kapatılmamış ses gücü, L_{w0} ilgili ses gücü seviyesidir. W_E ise mahfaza ile kapatılmış ses gücü ve L_{wE} ilgili ses gücü seviyesidir.

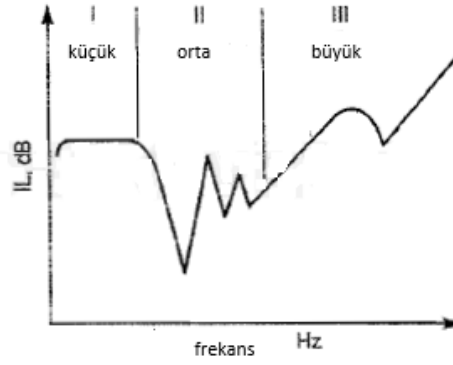
Açık alanlarda kullanılan mahfaza ekleme kaybı için kesin olmayan, fakat kolay uygulanabilir ölçümleme sistemi, basınç esaslı ekleme kaybı kullanılarak yapılır ve Şekil 2b’de görüldüğü gibidir.

$$IL_p = SPL_0 - SPL_E \text{ dB}$$

Burada SPL_0 mahfazasız olarak yapılan belli sayıda ses basınç ölçümlerinin ortalamasıdır. SPL_E ile mahfaza ile kapatılmış şekilde yapılan ses basınç seviyesi ölçümleridir. Ölçümler ses kaynağından belli uzaklıkta daire çizgisi üzerinde yapılabilir. Ölçme uzaklığı en az mahfazanın en uzun kenarının üç katı olmalıdır.

Akustik Performansın Nitelik Açıklaması

Şekil 3 yalıtımlı ve serbest bağlantılı bir mahfazanın tipik ekleme kaybı-frekans grafiğini göstermektedir. I.bölge küçük mahfaza alanı olarak tariflenmiş olup içindeki hava hacmi ve duvar panelleri rezonans oluşturmazlar. Bu bölgede ekleme kaybı frekanstan bağımsız olup içerdikleri hava hacminin ve duvar panellerinin hacimsel esnekliği (hacimsel sertliğin tersi) ile kontrol edilebilirler.



Şekil 3. Yalıtımlı, serbest akustik mahfazanın tipik ekleme kaybı-frekans eğrisi. I.Bölge: Panel sertliği etkin; sönüm ve içsel yutuculuk etkisiz. II. Bölge: rezonans kontrollü; sönüm ve yutuculuk etkin. III.Bölge: Ses iletim kaybı bölgesi; ses iletim kaybı ve iç yutuculuk etkin; genellikle kaçaklarla sınırlı

II.bölge orta bölümdür; ekleme kaybı mahfaza yapısı ve içinde bulundurduğu akustik hacmin rezonans etkileşimiyle kontrol edilir. Bu bölge ekleme kaybında bir çok maksimum ve minimumla karakterize edilen bir bölgedir. Ekleme kaybının ilk ve en önemli minimum değeri; içinde bulundurduğu havanın hacimsel esnekliği ve duvar panellerinin hacimsel esnekliğinin, duvar panellerinin kütleli esnekliği ile aynı olduğu yerde oluşur. Bu rezonans aşamasında ekleme kaybı çoğunlukla mahfazanın düşük frekansta ekleme kaybını kontrol eder ve bazen negatif değerlere inebilir. Bu durumda cihaz mahfazalı olarak daha fazla gürültü çıkarıyor demektir. Mahfazanın hacminin akustik rezonansında da minimum ekleme kaybı olur. Ayrıca duvar panelinin yapısal rezonans frekansı ve mahfaza hacminin akustik rezonansı aynı olursa yine minimum ekleme kaybı olacaktır. Transformatör, kompresör, dişli sistemleri gibi tonal karakterde gürültü yayan ses kaynakları için mahfaza tasarımlarında yapısal veya akustik rezonanslar ses kaynağının ağırlıklı malzeme frekansları ile uyumlu olmamalıdır.

III. bölge geniş mahfaza bölgesidir. Mahfaza panelleri ve iç hava hacmi çok sayıda akustik rezonans gösterir. Burada mahfaza içi ses alanını ve duvar ses iletiminin tahmini için istatistiksel metodlar kullanılır. Bu frekans bölgesinde ekleme kaybı iç ses sönümlenme ve mahfazanın duvar panellerinin ses geçiş kayıp değerleri ile kontrol edilir. Eğrideki çukur, duvar panellerinin frekanslarına tesadüf eden, genellikle 1-2 mm kalınlıklı çelik ve alüminyum panellerde oluşan ilgili frekans alanının üzerine düşen bölgedir. Panellerin sertlik oranı malzemenin birim alanının kütlelerinden yüksekse (delikli paneller gibi) bahsedilen tesadüf gerçekleşecektir.

Küçük, Yalıtımlı Akustik Mahfazalar

İçinde homojen dağılmış ses basıncı olan küçük, yalıtımlı akustik mahfazalar için ekleme kaybı şu şekilde hesaplanır;

$$IL_{SM} = 20 \log \left(1 + \frac{C_v}{\sum_{i=1}^n C_{wi}} \right) \text{ dB}$$

Burada

$$C_v = \frac{V_0}{\rho c^2} \text{ m}^5/\text{N}$$

hava hacminin hacimsel esnekliği, V_0 mahfaza hacmi içindeki gaz hacmi, ρ gazın yoğunluğu, c gaz içinde sesin hızıdır. C_{wi} her bir duvar plakasının hacimsel esnekliğidir ve şöyle tanımlanır.

$$C_{wi} = \frac{\Delta V_{pi}}{p} \quad \text{m}^5/\text{N}$$

burada ΔV_{pi} , p üniform basıncı altında, i' inci mahfaza duvar panelinin hacimsel yer değiştirmesidir. Burada mahfazanın dikdörtgen ve n adet ayrı, homojen, isotropik parçadan yapılmış olduğu ve her birinin kendine özgü hacim esnekliği olduğu varsayılmıştır.

Yapılan çalışmalar kısa kenarlı, yüksek kalınlıkta, kenarları sabitlenmiş ve Young modülü yüksek olan panellerin yüksek ekleme kaybına sahip olduğunu ortaya koymuştur. Kısaca, düşük frekanslarda mahfaza duvarları olabildiğince sert yapıda olmalıdır.

Çelikten yapılmış kenar uzunluğu 300 mm, $E = 2 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$, $\rho = 1.2 \text{ kg/m}^3$ ve $c = 340 \text{ m/s}$ olan kalınlıkları farklı mahfazanın ekleme kaybı aşağıda görülmektedir.

Duvar Kalınlığı h	Kenetli		Serbest Bağlantılı	
	IL_s	f_0	IL_s	f_0
3 mm	35.5 dB	296 Hz	24 dB	162 Hz
1.5 mm	18.5 dB	148 Hz	9 dB	81 Hz

Burada f_0 , her bir benzer, homojen, izotropik kenetli panelin rezonans frekansıdır. Ekleme kayıpları f_0 ' in altındaki frekanslar için geçerlidir. Kenetli bağlantılı durumun basit kenar bağlantıya göre daha yüksek ekleme kaybı yarattığı görülmektedir. Pratikte kenetli bağlantı sistemi tam olarak oluşturmak mümkün değildir. Dolayısı ile tasarım aşamasında basit bağlantılı sistem ile çalışma yapılır ve tasarım performansı elde edilir.

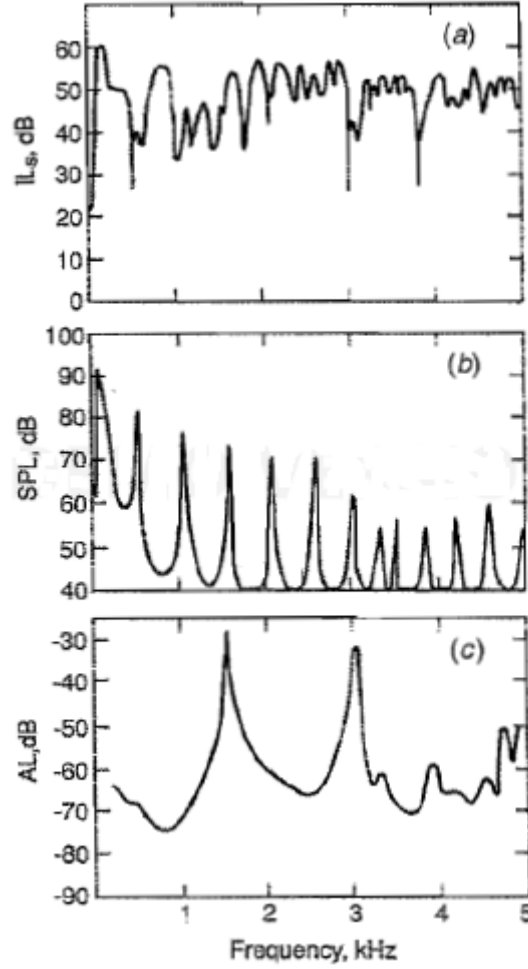
Tablo 1'de, düşük frekanslarda ekleme kaybının alüminyum ve cam malzemeler için çok iyi, çelik ve kurşunun ise çok kötü olduğu görülmektedir. Bu sonuçların büyük boyutlu mahfazalar için esneklik frekansının ilgili olduğu frekansta tam tersi olduğunu da eklememiz gerekli.

Tablo 1. Farklı inşaat malzemeleri için düşük-frekans ekleme kaybı ΔIL ve c_L/ρ_N oranı^a

	Kurşun	Çelik	Beton	Pleksiglas	Alüminyum	Cam
$c_L/\rho_N, \text{m}^4/\text{kg}\cdot\text{s}$	0.11	0.65	1.5	1.6	1.9	2.1
$\Delta IL, \text{dB}$	-31	0	+14	+15	+19	+20

Sert şekilli küçük mahfazalar

Küçük ve yalıtımlı mahfazalarda ekleme kaybı düşük frekanslarda ($L_{maks} < \frac{1}{10} \lambda$) mahfaza duvarlarının hacimsel esnekliği ile kontrol edildiği için malzeme seçimi yüksek duvar sertliği olan yapıda ve mahfazanın izin verdiği ağırlıkta olmalıdır. Yuvarlak, silindir şeklinde ve uçları iki yarım küre ile kapatılmış sert yapıda olan mahfazaların aynı hacim ve ağırlıktaki dikdörtgen şeklindeki mahfazalara göre daha yüksek ekleme kaybı vardır. Şekil 4'te küçük, silindirik mahfazanın iç sönümleyici malzeme olmadan akustik karakterleri görülmektedir. A eğrisinde dış kaynakla ölçülen ekleme kaybı- frekans grafiğinde ekleme kaybının çoğunun 55 dB' den yüksek olduğu görülüyor. B eğrisinde dış kaynaklı ses ile iç hacimdeki ses basınç seviyelerinin 550 Hz ve üzerinde güçlü bir akustik rezonans oluşturduğunu göstermektedir. C eğrisinde dış kaynaklı ses tarafından silindirik kabuğun uyarılması ile titreşimdeki ivmelenmenin artışı görülmektedir. Grafikte ekleme kaybının minimum olduğu yerler mahfaza iç hacminin reonans değerine veya mahfaza yapısının rezonans değeri ile aynı olduğu yerde olmaktadır. Eğrinin minimuma yakın olduğu yerler olan 1.5, 3 ve 3.75 kHz frekans bölgeleri, mahfazanın yapısal rezonans ile iç hava hacminin akustik rezonansının olduğu yerlerdir.



^a **AIL** benzer kenarları olan kübik mahfaza içindir.

Şekil 4. Küçük ebatlı, yalıtımlı, iç yutumu olmayan silindirik mahfaza: a) Ekleme kaybı IL; b) iç hacmin rezonans akustik tepkisi, SPL; c) mahfaza duvarının sese bağlı titreşim ivmelenme tepkisi

Dar ve Sıkı Kapatılmış, Yalıtımlı Akustik Mahfazalar

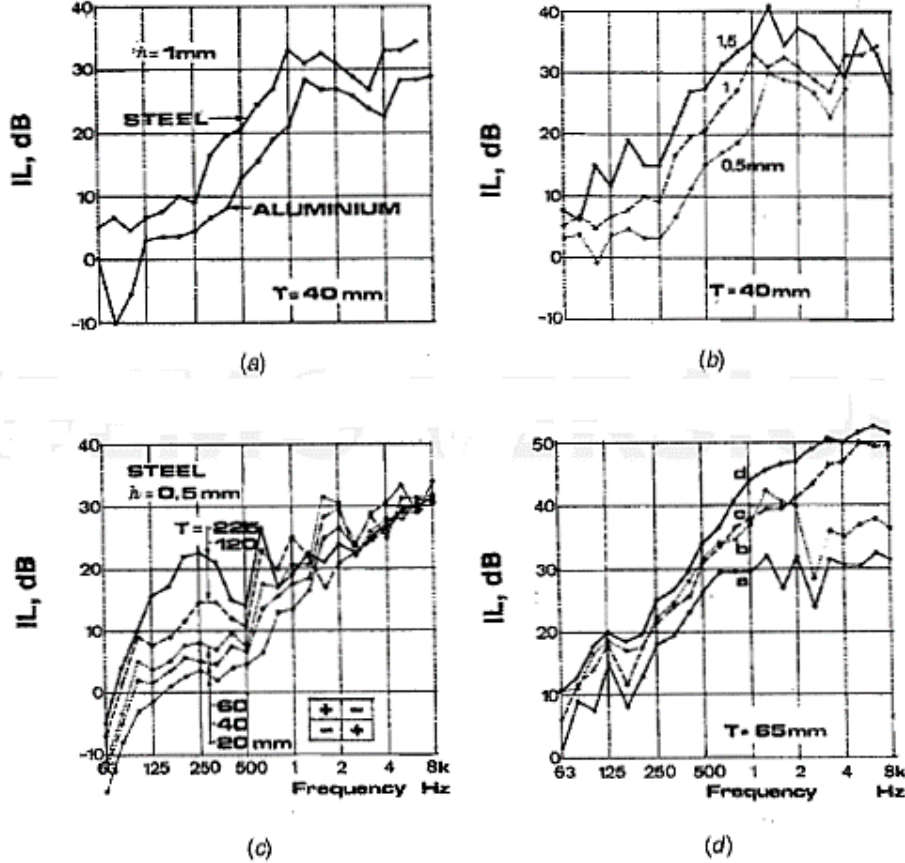
Sıkı kapalı mahfazalarda, mahfaza içinde bulunan hacmin önemli bir kısmı sesi azaltılacak ekipman tarafından doldurulmuştur. Bu mahfazalar az hacim kullanılarak yayılan sesin azaltılması için kullanılır. Araç motor kaportaları, portatif kompresörler, taşınabilir trafomatörler bu kategoride değerlendirilirler.

Serbest bağlantılı ve sıkı kapatılmış mahfazalarda (Şekil. 1b) titreşen kaynak ile mahfaza arasında herhangi mekanik bağlantı bulunmamaktadır. Sadece hava doğuşlu ses ile uyarılmaktadır. Ters olarak makine üzerine bağlantılı, sıkı ve dar mahfazalar (Şekil. 1c) için ses iletimi hava ve yapı yoluyla olacaktır.

Dar mahfazaların karakteristik özelliği makinenin titreşen yüzeyi ve mahfaza duvarı arasında dik kesen mesafede akustik dalga boyu, geniş frekans aralığı için düşüktür. Mahfaza duvarları genellikle ince, düz metal plaka ile ses yutucu malzeme tabakadan (iç yüzeye uygulanan cam yünü gibi) oluşur. Ses yutucu malzemenin amacı havada oluşan akustik rezonansları düşürmektir.

Serbest Bağlantılı, Dar Yapılı Akustik Mahfazalar

Serbest bağlantılı, dar mahfazaların titreşen ekipman ile yapısal olarak bağlantısı yoktur. Daima makineye montajlı mahfazalara göre yüksek ekleme kaybı elde edilir. Mahfaza mükemmel şekilde yalıtılırsa ekleme kaybı (1) kalınlık, boyut ve mahfaza malzemesine; (2) duvar plakalarının kenar bağlantı durumlarına ve bunların kayıp faktörüne; (3) makine yüzeyinin titreşim örüntüsüne; (4) duvar ile makine arasında kalan ortalama hava boşluğu kalınlığına; ve (5) ses yutucu malzemenin tipine bağlıdır.

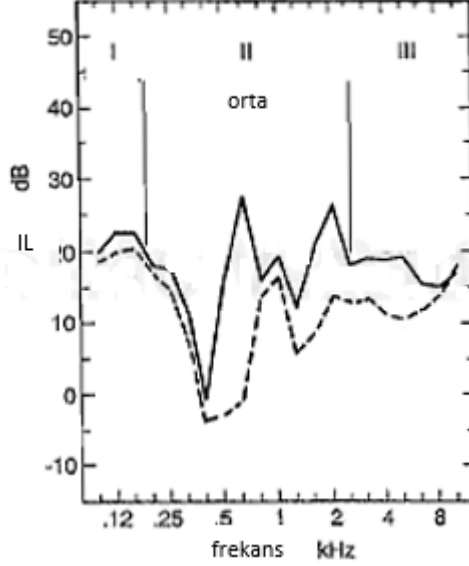


Şekil 5. Dar ve sıkı tip model mahfazada anahtar parametrelerin güç kaynaklı ekleme kaybı üzerine etkisi

Şekil 5 güç esaslı olarak ekleme kayıplarını, dar ve sıkı şekilde monte edilmiş 60 cm x 40 cm duvar elemanlarında, h kalınlıklı ve hava boşluğu T olan mahfazalar için göstermektedir. Bu dataların elde edilmesinde makine yüzey titreşimi hoparlör serisi ile sağlanmış olup, farklı titreşim örüntüleri elde edilmiştir. Şekil 5a' da 1 mm kalınlıkta alüminyum ve çelik duvar plakaları ile elde edilen ekleme kaybı değerleri görülmektedir. Çelik ve alüminyum plakaların pratik olarak aynı dinamik davranışları olduğu için, çeliğin daha yüksek ekleme kaybı sağlaması, ağır olmasına dayandırılabilir. 300 Hz ve 1 kHz aralığında her iki malzeme arasındaki 9 dB'lik ortalama fark, iki malzemenin yoğunluk farkına dayandırılabilir. Şekil 5b duvar kalınlığının etkisini göstermektedir. 250 Hz altında havanın sertliği ve duvar panellerinin sertlikleri ve sönümlenmeleri ile kontrol edilen ekleme kaybı (IL_w) yükselen frekansla az miktarda değişmiştir. 200 Hz ve 1 kHz aralığında IL_w ekleme kaybı, havanın hacim sertliği ve duvar panellerinin birim alan kütleleri ile kontrol edilir. IL_w , 40 dB değerine kadar lineer artış göstermiştir. 1 kHz üzerinde ekleme kaybı hava boşluğunun akustik rezonansı ile sınırlandırılmıştır. Şekil 5c hava boşluğunun artması ile ekleme kaybının arttığını göstermektedir. Şekil 5d' de hava boşluğunda yer alan ses yutucu malzemesinin ve mahfaza duvarlarında yapılan sönümlenme işleminin ekleme kaybına etkisi görülmektedir. Hava boşluğu içindeki ses emici işlem, bu boşluktaki akustik rezonansları önler ve 1 kHz'in üzerindeki ekleme kaybında önemli bir artışa neden olur.

Orta boyutlu Mahfazalar

Orta frekans bölgesi Şekil 3 ve Şekil 6'da II. bölge olarak ve mahfaza duvarları veya hava hacmi veya ikisi birden rezonans oluşturan bölge olarak gösterilmiştir.



Şekil 6. 1.6 mm kalınlıktaki akustik mahfazada ekleme kaybında mikروفon pozisyonlarının etkisi. Düz çizgi: merkez mikروفon lokasyonu. Kesikli çizgi: köşe mikروفon lokasyonu

Şekil 6'da mikروفonun yerine bağlı olarak iç ve dış yönlü ölçülen ekleme kaybının nasıl değiştiği dolu ve kesikli çizgi ile gösterilmektedir. Mahfaza içinde 400 Hz altında homojen dağılımlı ses basıncı, merkeze yerleştirilen mikروفon ile kenarda yerleştirilen mikروفonun da aynı ses basınç değerleri ölçülmüştür. İlk akustik rezonans 565 Hz de oluşmuş, bu da şekildeki gibi 500 ve 800 merkez frekans bandında kenarda çok düşük ekleme kaybına sebep olmuştur, ama aynı bantda merkezde yüksek ekleme kaybı elde edilmiştir. İnişli çıkışlı yapısal rezonans kaynaklı hareketin azaltılması mahfaza panellerinin sönümle işlemleri ve ses yutucu kaplaması ile yapılabilir.

Orta frekans bölgesinde ekleme kaybının frekans ve mekana bağlı değişim göstermesi, geçerli analiz ve tahmin yapılmasını zorlaştırmaktadır. Çoğunlukla sonlu metod analizleri, modellemeler veya tam ölçekli denemeler veya kaba yaklaşımlar kullanılmaktadır.

Ses yutum malzemesi kullanılmayan mahfazalar

Bakteri oluşmasına veya yanıcı parçacıkların toplanmasına sebep olan yerlerde mahfaza içlerine delikli veya fiber ses yutucu malzemelerin kullanılması zorlaşır. Buralarda mahfazalar, yutum malzemesi olmadan kullanılmalıdır. Basit analitik metodlarda bu tip mahfazalarda ekleme kaybı sıfır değerini verir. Teorik olarak bu durumlar elden geçirilmelidir.

Ses yutum malzemesi kullanılmayan büyük mahfazaların akustik performans tahmini

Mahfazalar homojen, ses yalıtım malzemesi olmayan isotropik panellerden yapılmış olsa bile, iç ses basıncı sonsuz derecede yüksek olmayacak ve ekleme kaybı sıfır olmayacaktır.

İç ses basıncı sonsuza gitmez. Çünkü iç ses alanı (1) dalgaların zorlanmış bükülme kuvveti ile oluşan duvarlarda ses dağılımı (2) serbest bükülen dalgaların oluşturduğu duvarlarda ses dağılımı (3) serbest bükülen dalgaların panellerde yayılan enerjisi ve (4) geçirimsiz mahfaza iç yüzeylerinde oluşan enerji dağılımı dolayısıyla güç kaybeder.

Yukarıda tanımlanan 3. ve 4. aşamalar dolayısıyla mahfaza ekleme kaybı sonsuza gitmeyecektir.

İç ses bölgesinde güç dengesi şu şekildedir.

$$W_{\text{kaynak}} = W_{\text{zorlanmış yayılım}} + W_{\text{serbest yayılım}} + W_{\text{serbest dağılım}} + W_{\text{kesme dağılımı}}$$

Burada W_{kaynak} = Kaynak ses gücü

$W_{\text{zorlanmış yayılım}}$ = zorlanmış bükülen dalga tarafından yayılan ses gücü

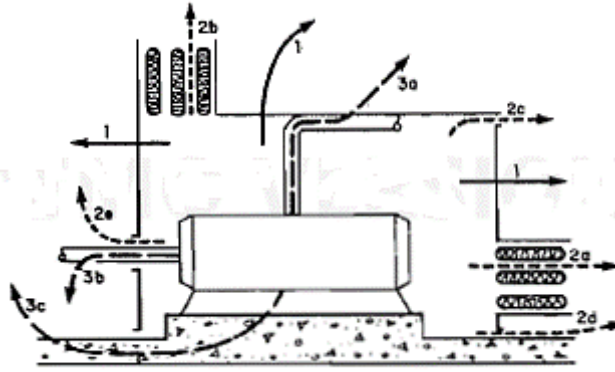
$W_{\text{serbest yayılım}}$ = serbest bükülen dalga tarafından yayılan ses gücü

$W_{\text{serbest dağılım}}$ = plakada dağılan serbest bükülen dalga ses gücü

$W_{\text{kesme dağılımı}}$ = geçirimsiz, sert duvarların iç yüzeyinde kesme ve ısı iletimi ile oluşacak ses gücü kaybı

İç Ses Yutum kaplamalı Geniş Akustik Mahfazalar

Akustik mahfazalar, mahfaza duvar panelleri ve mahfaza hacminin verilen frekans aralığında çok sayıda modal rezonans göstermesi ile geniş olarak tanımlanır. Ayrıca iç ses alan seviyesi, titreşim tepkileri, mahfaza panellerinin ses yayılımlarını tahmin etmek için istatistiksel metodlar uygulanabilmelidir.



Şekil 7. Tipik bir akustik mahfazada ses geçiş yolları

1. Mahfaza duvarları yolu ile
2. Açıklıklar boyunca
3. Yapısal iletim ile

Endüstriyel gürültü kontrolünde kullanılan geniş akustik mahfazalar akustik enerji transferi için birçok yola sahiptir. Şekil 7'de görüldüğü gibi bu yollar temel olarak üç kategoriye ayrılır. 1) Mahfaza duvarlarından 2) açık aralıklardan 3) yapı ile temasta olduğu yerlerden. Birinci grup iç ses alanı ile mahfaza duvarlarının uyarılmasıdır. İkinci grup mahfaza duvarlarında açılmış olan hava girişleri, eksoz çıkışları, paneller arası kapılarda ve duvar panel aralarında kalan boşluklardır. Üçüncü grup dinamik kuvvet titreşimleri ile uyarılan sert yüzeylerde oluşan yayılımdır. Kaynak ile sert yüzey bağlantılarından olabildiğince kaçınılmalıdır. Dengeli bir tasarım yapılabilmesi için her bir gürültü kaçağı kontrol edilmeli ve gereksiz tasarımlardan kaçınılmalıdır.

Akustik Mahfazalarda Ekleme Kaybını Etkileyen Anahtar Parametreler

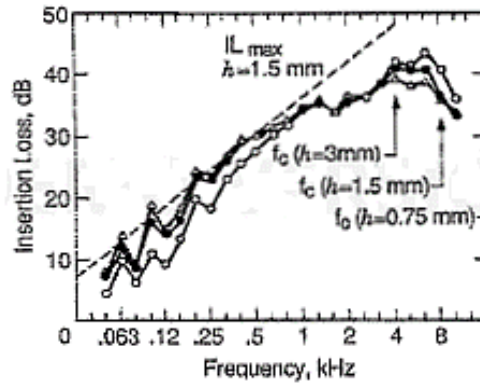
Ekleme kaybını etkileyen anahtar faktörler Tablo 2'de özetlenmiştir. Çeşitli bilim insanları bu konuda sistematik deneysel araştırmalar yapmışlardır. 1) panel parametrelerinin seçilmesi 2) iç sönüleme kaplaması 3) kaçaklar ve 4) mahfazanın akustik duvarlarının makineye yakınlığı ve bunun akustik performansını etkileyen titreşim örüntüsü etkilerinin nasıl davrandığı ile ilgili deneyler yapmışlardır.

Tablo 2. Geniş Mahfazaların Ekleme kaybında Anahtar Parametrelerin Etkileri

Parametreler	Sembol	Ekleme Kaybına Etkisi
Kaplama Malzemesi sönüm katsayısı	α	Yansımının azalması ile yükselir.
Makine ve mahfaza duvarı arasındaki uzaklık	d	Eğer d belli bir değerin altına düşerse, düşük frekanslarda azalır.
Duvar panellerinin kalınlığı	h	Yükselir
Duvar panel malzemesinin yoğunluğu	ρ_M	Yükselir
Panel malzemesinin boyuna dalga hızı	$c_L = \sqrt{E/\rho_M}$	Kritik frekansın altında azalır
Duvar panelinin kayıp faktörü	η	Kritik frekansa yakın, yüksek bölgelerde ve ilk panel rezonansında yükselir.
Duvar panelinin kritik frekansı	$f_c = c^2/1.8c_L h$	Verilen birim alan kütlesi için f_c yükseldikçe yükselir.
Duvar panelinin yayılım verimliliği	σ_i, σ_0	İç yönde σ_i ve dış yönde σ_0 yayılım verimliliği yükseldikçe yükselir.
Sertlik	-	σ değerinin yükselmesi ile düşer.
Kaçaklar	-	Kapı contaları ve kasalar uygun yapılırsa yükselir.
Yapı yoluyla ses iletimi	-	makine ve mahfaza ve zemin arasında sert bağlantılar uygun şekilde yapılırsa yükselir.

Duvar Paneli Parametreleri

Şekil 8 üç farklı duvar kalınlıkları (h) için ölçülmüş ekleme kayıplarını göstermektedir. Kalınlıkların artması düşük frekanslarda önemsiz ekleme kaybı (*insertion loss*) artışına sebep olmuştur. Şekil 8'de kesikli çizgilerle 1.5 mm kalınlıkta çelik plakanın ses iletim kaybının da karşılaştırması görülebilir.

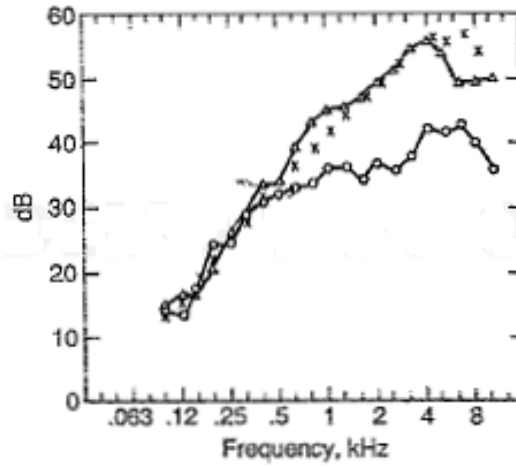


Şekil 8. Farklı kalınlıklarda (h) saclardan yapılmış büyük mahfazaların ekleme kaybı karşılaştırması; 70 mm ses yutum levhası ekli, kapı yalıtımlı; f_c , rastlaşma frekansı; $IL_{max} = R_f$ maksimum ekleme kaybını belirtir. (Δ) $h=3$ mm; (\bullet) $h=1.5$ mm; (\circ) $h=0.75$ mm.

9 nolu şekilde 2.1 x 1.2 m ebatlarındaki duvar panellerinin ölçülmüş ekleme kayıpları ile panelin ses iletim kaybının karşılaştırması görülmektedir.

Genel kural olarak duvar panelleri ilgili frekans alanının üzerinde olacak şekilde yeteri kadar yüksek frekanslarla çakışacak şekilde seçilmelidir ve ilk yapısal rezonans değerleri ilgili frekans değerlerinin yeteri kadar altında olacak şekilde seçilmelidir. Ama sözkonusu panelin ses geçiş kaybı ekleme kaybı ihtiyacını karşılayacak kadar da ağır olmalıdır. 1.5 mm kalınlıklı çelik plakalar çoğu zaman bu ihtiyaçları karşılamaktadırlar.

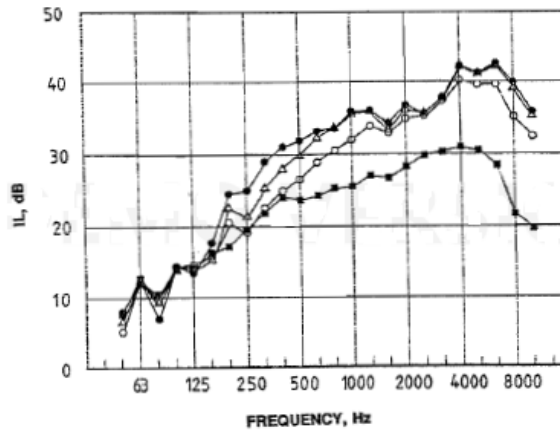
Sert ve hafif paneller (petek delikli) 500 Hz gibi kritik frekanslarda kullanılabilir ve bu frekansta çok az ses geçiş kaybı sağlamaktadır. Sonuç olarak, eğer mahfazadan düşük frekanslarda yüksek ekleme kaybı istenip, orta ve yüksek frekanslar için istenmiyorsa butip paneller kullanılabilir.



Şekil 9. Duvar paneli ekleme kaybı (R) ve ses iletim kaybı (IL) karşılaştırması: 1.5 mm sac panel, 70 mm ses yutucu; (Δ) R, ölçülmüş; (x) R, hesaplanmış; (o) ölçülmüş IL

Ses yutum malzemesi etkisi

Şekil 10'da görüldüğü üzere uygun ses yutum malzemesi kaplaması , duvar malzemesi ve kalınlığı seçminden daha önemli rol oynamaktadır. Ses yutum kaplaması ekleme kaybının yükselmesine yardımcı olur. 1) Orta ve yüksek frekanslarda mahfaza içerisinde yansımanın azalmasına, 2) yüksek frekanslarda mahfaza duvarlarının ses geçiş kayıplarının yükselmesine ve 3) farkına varılmadan oluşan paneller arası, panel ve çerçeve arası kaçışların önlenmesini sağlamaktadır.



Şekil 10. 1.5 mm sac ve çeşitli kalınlıklarda ses yutum levhasından oluşturulmuş paneller için ölçülmüş ekleme kaybı: (■) 0 mm (yutum levhası yok); (○) 20 mm; (Δ) 40 mm; (●) 70 mm.

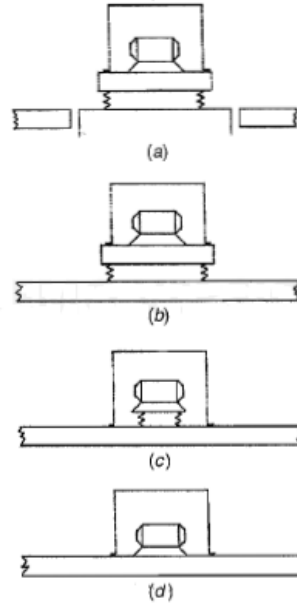
Makine Pozisyonu: Bilim insanları tarafından yapılan araştırma ve deneyler göstermiştir ki, düşük frekanslarda ekleme kaybı, mahfazanın içinde bulunan makinenin pozisyonuna da bağlıdır. Düşük frekanslarda düz makine duvarı ve düz mahfaza duvarı arasında kalan mesafe (d) akustik dalga boyunun sekizde birinden ($d < 1/8$ lambda) daha küçük olduğu yerde, gözlenebilen azalış 5 dB'e kadar olmaktadır. Makine duvarı uzaklığı (d) mahfaza yutum malzemesi kalınlığını kapsamaktadır. Genel kural olarak çokyönlü olan ses yayılımı eksene yerleştirilmelidir. Makinenin çok gürültülü bölümlerini mahfaza duvarına, kapılarına, pencerelerine ve havalandırma açıklıklarına yakın koymaktan kaçınılmalıdır.

Bağlantılı zemin geçişleri. Mahfazanın olası ekleme kayıpları en çok bağlantılı olduğu zemin koşulları ile olur. Eğer zemin titreşim kuvvetlerini, Mahfaza iç ses alanına direkt maruz kalıyorsa veya her ikisi etkili ise zemin üzerinden ses taşınacaktır. Şekil 11 tipik mahfaza yerleştirmelerini yanıl iletimler açısından en kötüden en iyiye olacak şekilde göstermektedir. Birçok makina için zorunlu olarak titreşim yalıtımı, zemin ile bağlantının kesilmesi, veya her ikisinin de uygulanması gerekmektedir.

İçten dışa ve dıştan içe geçişlerin birbiri ile ilişkisi. Akustik mahfazalar çoğunlukla mahfaza dışındaki alıcıya gelen gürültünün azaltılması için gürültülü makinelerde kullanılmaktadır. Bazen de mahfaza alıcıyı kaplayarak (buna **kabin** diyoruz) dışardan gelen gürültüden korunmak amacıyla kullanılırlar. Kaynak ve alıcının yerlerinin değiştirilmesi geçiş fonksiyonunu etkilemeyecektir.

Kısmi Mahfazalar: Makinenin çalışma sistemi, güvenlik ve bakım gerekliliklerinden dolayı tam kapalı mahfaza yerine kısmi mahfaza yapılması (10% dan büyük alanın açık olması) gerekebilir.

Kısmi mahfaza ses kaynağından yeterli uzaklıkta ise parçalı duvarların kenarları ile kaynağın yakın alanlarının bağlantılı olmaması durumunda 5 dB veya daha az ekleme kaybı sağlayacaktır.



Şekil 11. Yanal yollar aktarımı açısından mahfaza montajı sınıflandırması: a) en iyi; b) iyi; c) kötü; d) çok kötü

KAYNAKLAR

Noise and Vibration Control Engineering Principles and Applications / Istvan L.Ver, Leo Beranek, 2006



ÖZGEÇMİŞ

Ayhan ÇAKIR

1991'de İTÜ İnşaat Müh. bölümünden mezun olduktan sonra, aynı üniversitenin Yapı Analizi ve Boyutlandırma Kürsüsü'nde yüksek lisansını tamamlamıştır. İzocam Tic.ve San. A.Ş.'nde ürün yöneticisi olarak çalışmaktadır.