

Makale

PENCERELERDE SES YALITIMI

Oktay ALPTEKİN

1950 Ankara doğumlu olup, İ.T.Ü.den mezun Makina Yüksek Mühendisi'dir. 19 yıldır PİMAŞ Plastik İnşaat Malzemeleri A.Ş.'de çalışmakta ve halen Genel Müdür Yardımcısı olarak şu anda PİM AŞ'm yan kuruluşu PİMAPEN MOSKOVA A.O.'nun Genel Müdürlüğü görevini yürütmektedir. İngilizce ve Almanca bilmektedir.

1. GÜRÜLTÜ

Gürültünün insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri, özellikle başlangıçta meslek hastalıkları ile ilgili olarak yapılmış olan ve daha sonra genelleştirilen çalışmalarla kesinlik kazanmış ve gürültüye karşı önlem alma çalışmaları ön plana çıkmıştır.

Gürültü hastalığa neden olmaktadır ve sanılanın aksine, hasta olmak için yüksek şiddette gürültüye maruz kalmaya gerek yoktur. Gürültünün özellikle uyku sırasındaki olumsuz etkisi ciddi sağlık sorunları yaratmaktadır. Tıp uzmanlarının konusuna girmeden, İsviçre'de yapılmış olan bir sosyopsikolojik araştırmanın çarpıcı sonucunu inceleyelim. Gece sokaktan gelen gürültülerden en çok hangisi rahatsız ediyor, sorusuna verilen cevaplar Tablo 1'de görülmektedir.

Tablo 1	
Gürültü Kaynağı	Çok Rahatsız Olan Kişilerin Oranı
Hızla geçen otomobiller	% 22
Hızla geçen kamyonlar	% 7
Fren, vites değiştirme, ani hızlanma	% 12
Araba kapısı kapatma, hareket etme	% 25
Motorsikletler	% 17
Mobiletler	% 11
Tramvay	% 4
Diğerleri	% 3

Bu tablodan görüldüğü gibi, trafik gürültüsü sadece işlek caddelerin sorunu olmayıp, sakin konut alanları diyebileceğimiz bölgeleri de etkilemektedir. İnsanları gece uyurken en çok rahatsız eden gürültü, arabaların sürekli olarak gidip gelmeleri ve buna bağlı olarak kapıları çarpmaları ve arabanın çalıştırılmasında çıkan gürültüdür.

Gürültüye karşı önlem almak için gürültünün nesnelleştirilmesi gereklidir. Yani gürültü ölçülmeli, değerlendirilmeli, analiz edilip karşılaştırılabilmelidir. Bu amaçla kullanılan elektroakustik cihazlara desibelmetre adı verilmekte ve gürültü, ses basınç şiddeti cinsinden ölçülmektedir.

2. SES DALGASI VE dB(A)

Ses dalgası, hava ortamından geçerek kulağımıza ulaşır ve beynimizde belli tepkiler ve duygular oluşturan sinyallere dönüşür. Kulağımızı kapadığımızda gerçi çok daha az duyarız ama gene de biraz duyarız. Bunun nedeni, vücudumuzun da uyarılması ve sesin kemiklerimiz üzerinden iletilmesidir. Teypten dinlediğimiz sesimiz ile kendi kulağımızla duyduğumuz sesin birbirinden farklı olmasının nedeni de budur.

Konuşurken veya şarkı söylerken vücudumuzu da titretiriz ve titreşimler kemik sesi olarak tekrar kulağımızı besler. Diğer insanlar bu kemik sesi bileşenini duymaz.

Ses basıncı hava basıncına eklenir. Havada oluşan ses periyodik bir basınç dalgalanmasıdır; yani ses basıncı

hava basıncını daima aynı miktarda arttırır ve azaltır.

İnsan kulağı çok küçük basınç değişmelerini bile algılar; hava basıncında milyarda 0,2 değişmeyi bile hisseder. İşte bu duyulabilen en küçük ses basıncı 0 dB olarak adlandırılmıştır. Elde edilebilecek maksimum ses basıncı ise (patlama sesi hariç) mutlak vakumdan daha fazlasını elde edemeyecek olmamızla belirlenir; ses basıncı hava basıncını eşit miktarda azaltıp arttırdığı için, yani onun etrafında titreştiği için ve mutlak vakumdan küçük olamayacağı için, elde edilebilecek maksimum ses şiddeti 190 dB (A)'dir. Bu, mutlak vakum ile hava basıncının iki katı arasında bir salınım demektir.

Ses basıncının bütün bölgesini belirgin bir şekilde gösterebilmek için logaritmik ölçek seçilmiştir. Öte yandan insan kulağının duyarlılığı da ses dalgaları karşısında logaritmik oranda etkilenmektedir.

Logaritmik ölçeğin seçiminin pratikte ne anlama geldiğini aşağıdaki örnek göstermektedir.

Bir müzik aleti 100 dB(A) şiddetinde ses çıkarmakta olsun; Buna paralel ikinci bir müzik aletini, o da 100 dB(A) ses çıkaracak şekilde açalım. Toplam ses şiddeti 200 dB(A) olmaz, 103 dB(A) olur. 106 dB(A) ses şiddeti elde etmek için 4 adet benzer aleti paralel çalıştırmak gerekir.

$$\text{SES ŞİDDETİ ARTIŞI} = 10 \times \log n$$

n, aynı şiddetteki ses kaynaklarının sayısını vermektedir.

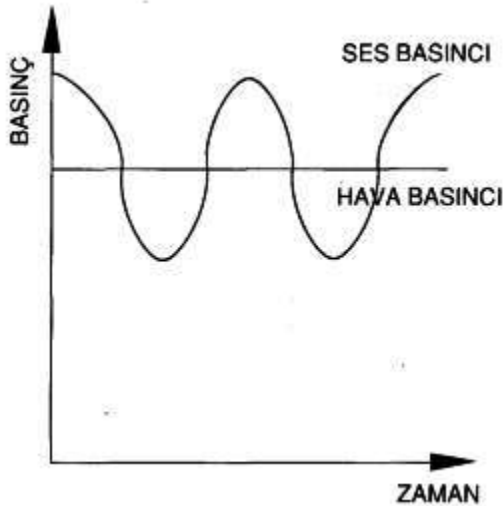
Ses şiddeti farkı 5 dB(A) olan iki aleti (örnek olarak 100 ve 95 dB(A) birlikte çalıştırdığımızda ses şiddetinin 1,2 dB(A) arttığı görülür. Fark 10 dB (A)'ya çıktığında (örnek olarak 90 ve 80 dB(A)), toplam ses şiddetinin gene 90 dB(A) olarak kaldığı görülür. Sonuç hesapla bulunmak istendiğinde aşağıdaki formülden faydalanılır:

$$\text{SES ŞİDDETİ ARTIŞI} = 10 \times \log \left(1 + 10^{\frac{L_2 - L_1}{10}} \right)$$

L2, daha küçük ses şiddetidir ve çıkan sonuç daha büyük ses şiddetine eklenir.

İnsanın, kulağına gelen sesin iki kat arttığını düşünmesi için ses şiddetinin 10 dB(A) artması gereklidir. Halbuki, ses şiddetinin nesnel olarak iki katına çıkması 3 dB(A)'lık farka eşdeğerdir.

Müzik aleti örneği ile konuyu düşünelim: 8 alet birlikte çalarken kulağımıza gelen gürültünün şiddetinin his olarak yarıya inmesi için aletlerden 7'sini kapatmamız gerekir; bu 9 dB(A) azalma demektir. 2 alet çalarken birini kapatırsak 3 dB(A) azalma olur.



Bu olgu birçok reklamın insanı aslında yanıltması açısından önemlidir; Ürünümüzle %50 daha az gürültü! Bununla aslında 3 dB(A)'lık bir ses şiddeti azalması kastedilmektedir; çok daha fazlasını uman insan hayal kırıklığına uğrar. Alınan önlemlerle daima 5-10 dB'lik bir iyileşme elde edilmelidir, yoksa masrafa değmez; çünkü sadece ölçü aleti değil esas insan belirgin bir fark hissetmelidir.

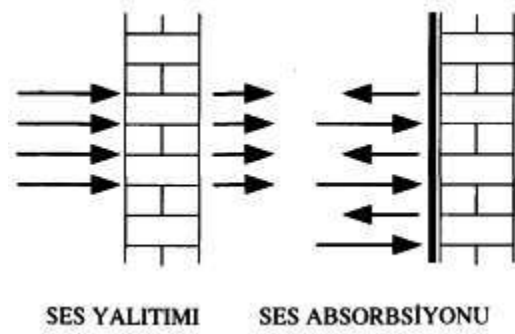
İnsan kulağı, aynı ses şiddetinde ancak farklı frekansta olan iki sesi aynı şiddette hissetmeyebilir; tok seslere karşı tiz seslerle karşılaştırıldığında daha az hassastır. Bu nedenle dB(A) değerlendirilmesi devreye sokulmuştur. Hemen hemen bütün gürültülerde geniş bir frekans bandı söz konusudur. Bu ise ses şiddetinin ölçümünü olanaksız yapar. Bunu önlemek için çeşitli standartlandırılmış filtreler kullanılır. En çok kullanılan filtre sistemi A tipidir ve insan kulağına en yakın olanıdır.

3. SES İLETİM YOLLARI

İlkece sesten iki yolla korunulur: Ses absorpsiyonu (emilmesi, yutulması) ve ses yalıtımı. Bu iki kavram çoğu kez birbirleriyle karıştırılır; halbuki çok farklı kavramlardır. Ses absorpsiyonunda, hava parçacıkları yutucu bir malzemede (örneğin taşıyıcı levhalar, gözenekli kopuk plastikler ve benzerleri) sürtünerek ses bir kısmını ısı enerjisine dönüştürürler; böylece sesin enerjisi azalır. Ancak bir ses yutucu ile iki odanın arasındaki ses yalıtımına etki edilemez. Ses absorpsiyonu deyimi, ses kaynağından çıkan sesin ne kadarının kaynağın bulunduğu odada yutulduğunu belirtir.

Ses yalıtımı deyimi, bir yapı elemanının, yani bir duvarın ya da bir pencerenin bir tarafından diğer tarafına sesin ne kadarının geçtiğini belirtir.

Ses absorpsiyonunun belirlenmesi için ses kaynağı kapatıldıktan sonra oda içindeki yankının sonum süresi ölçülür; duvarlar ses yutucu bir malzeme ile kapandığında aynı oda içindeki durum değişikliği ölçülür. Halbuki iki oda arasındaki ses yalıtımı, iki odadaki ses şiddetlerinin ölçülmesi ile belirlenir.



Ses, iki ayrı yolla iletilir: Havanın titreşerek sesi iletmesi - Katı cismin titreşerek sesi iletmesi.

Ses kaynağından çıkan ses havayı titreştirir; ses dalgalanma çarptıkları cisimleri titreştirir, bu cisimler de öbür odadaki hava parçacıklarının titreşmesine yol açar. Bu olaya havadan ses iletimi adı verilir. Bir yapı elemanının bu iletimi engelleme yeteneği, hava sesi yalıtımı olarak adlandırılır.

Bir duvara çekiç ile vurulduğunda duvarın titreşimine yol açılır; bu da yan odada havayı titreştirir.

Pratikte yürüme sesi çok önem kazanmıştır; bu özel uyarım şekline ayak sesi adı verilir.

4. SES ÖLÇÜMÜ

Pencerelerin ses yalıtımı kavramı ile hava yoluyla ses yalıtımı ifade edilmektedir. Bir yapı elemanının hava yoluyla ses yalıtımını belirlemek için ses kaynağından ön odada, frekansı 100 Hz ile 4000 Hz arasında değişen ve sayısı 16'ya kadar çıkabilen sabit frekanslarda ses çıkartılır. Kaynak odadaki ses şiddeti L1 ile yapı elemanının ayırdığı arka odadaki ses şiddeti L2 ölçülür. Ölçülen değerlerde, ölçüm odasının akustik özellikleri ile ilgili bir düzeltme yapılarak fark alınır. Böylece ölçüm yapılan her bir frekans için fark değerler elde edilir: bu değerlere transmisyon (iletim) kaybı adı verilir.

Yapı elemanlarının farklı frekanslarda ses geçirimsizliği, yani transmisyon kaybı farklıdır. Eskiden ölçülen değerlerin ortalaması hesaplanır ve "Ro Ortalama Ses Yalıtım Değeri" diye adlandırılırdı. Burada insan kulağının farklı frekanslar için duyarlılığı göz önünde bulundurulmuyordu. Bu nedenle çok daha gerçekçi olan "Rw Değerlendirilmiş Ses Yalıtım Değeri" kullanılmaktadır.

DIN 52 210'da tanımlanmış olan Rw değeri, standartta verilen bir norm eğri ile 2 dB'lik bir ortalama sapma toleransı kalacak şekilde kaydırma yapılan ölçüm eğrisinin, yeni aldığı şeklin 500 Hz'deki değeridir.

5. YAPI ELEMANINDA SES YALITIMI NEDEN ETKİLENİR?

Yoğun (gözeneksiz), tek plaklı, homojen yapı yapı elemanlarında ses yalıtımı esas olarak birim alanın ağırlığı (kg/m²) ile orantılıdır.

Düzcam plakasının ses yalıtım değeri 4 mm için 30 dB(A), 15 mm için 37 dB(A)'dır ve kalınlıkla hemen hemen doğru orantılı olarak artar.

Tek plaklı konstrüksiyonlarda yüksek ses yalıtımı elde etmek için çok büyük kütle gerekir. Çift plaklı konstrüksiyonlarla çok daha yüksek ses yalıtımı sağlanabilir. Çift duvar olarak da adlandırılan bu yapılarda ses yalıtımı:

- plakların ağırlığına
- plaklar arası mesafeye
- plakların birbiri ile bağlantı şekline ve
- ara boşluğun söndürme(yutma) özelliğine bağlıdır.

Genel olarak, plaklar arası mesafe arttıkça ses yalıtımı artar. Plaklar arası mesafe ile plakların kütlesi ters orantılıdır; yani ses yalıtımını değiştirmeden plakların kütlelerini yarıya indirmek için, ara mesafeyi iki katına çıkarmak gerekir.

Plaka sayısını arttırarak ses yalıtımını arttırmak yanlış bir düşüncedir; bu şekilde ısı yalıtımı artar. Aynı kütlede ve aynı toplam kalınlıktaki üç plaklı bir elemanın ses yalıtımı daha kötüdür.

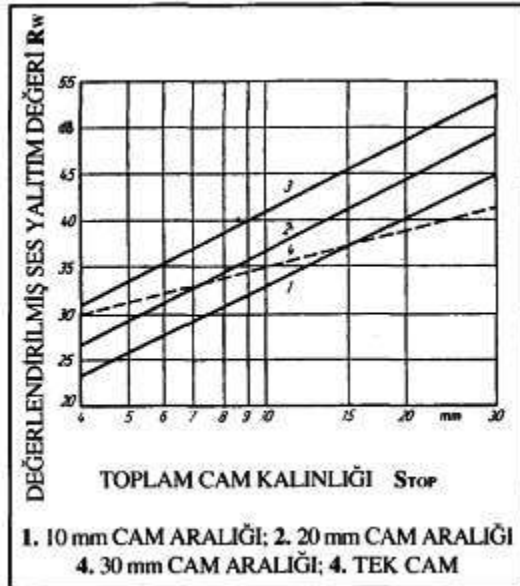
6. CAMIN SES YALITIMI

Tek camın ve ikili ya da üçlü cam ünitesinin ses yalıtımı pratikte laboratuvar deneyleri ile bulunmaktadır. Buraya kadar anlatılanlar da göz önünde bulundurulduğunda pencere camları için şunlar geçerlidir:

A- Camın kalınlığı arttıkça ses yalıtımı doğrusal olarak artar.

B- Yoğunluğu normal camdan daha fazla olan camların ses yalıtımı daha iyidir.

C- Çift cam ünitesinin, iki camın toplam kalınlığına eşit tek cama göre ses yalıtımı daima daha iyidir denemez. Ara mesafe az ve cam kalınlıkları küçük ise, tek cam daha iyidir; belirli bir kalınlık ve ara mesafeden sonra çift cam ünitesi daha iyi ses yalıtımı sağlar.



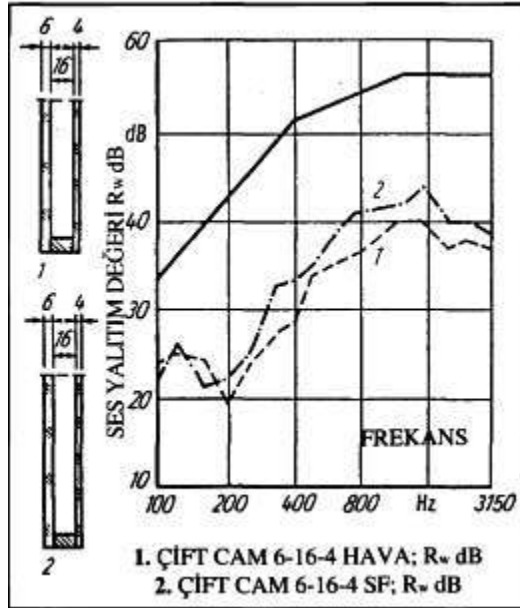
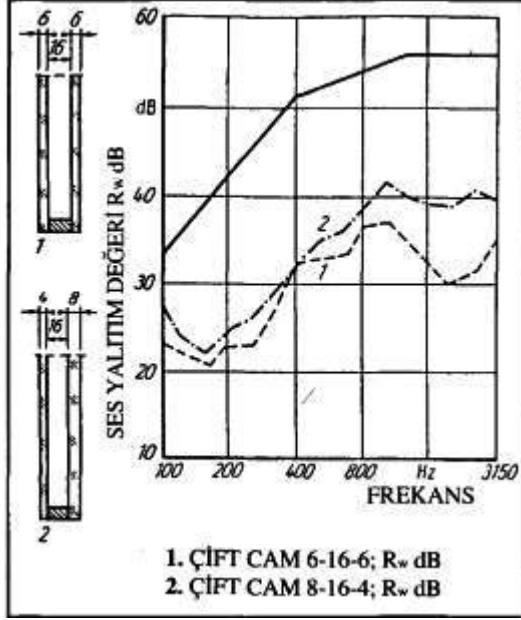
D- Çift cam ünitesinde ara mesafe arttıkça, cam kalınlıklarının artmamasına rağmen ses yalıtımı iyileşir.

E- Çift cam ünitesinde, toplam cam kalınlığını eşit olarak ikiye bölmek yerine farklı kalınlık uygulanırsa (örnek olarak 6+6 yerine 4+8), daha iyi ses yalıtımı elde edilir.

F- Çift cam ünitesinde ara boşluk hava yerine yoğunluğu daha büyük bir gazla (örnek olarak SF) doldurulursa ses yalıtımı iyileşir.

G- Toplam cam kalınlığını üçe bölerek elde edilen ve ünite toplam kalınlığı aynı bırakılan bir uçlu cam ünitesinin ses yalıtımı, çift cama göre daha kötüdür.

H- Cam kalınlıklarının ve ara mesafenin değişmesi ile frekans eğrisi de yepyeni bir şekil alır ve bu şekil eskisine paralel değildir. Buna göre, ayrıntılı inceleme gerektiren durumlarda, yani belirli frekanstaki gürültülere karşı özel önlem aranan yerler için, R değeri yeterli olmaz, toplam eğriyi bilmek gerekir.



7. PENCERENİN SES YALITIMI

Camın takılı olduğu çerçevenin değişik özellikleri, camın ses yalıtımını etkiler. Buna göre ses yalıtımı şunlardan etkilenir:

- Çerçeve malzemesi ve boyutları (ağır bir çerçeve ses yalıtımını artırır)
- Camın çerçeveye bağlantı şekli (kalın, elastik contalı bir bağlantı ses yalıtımını artırır)

- Çerçevenin derz sızdırganlığı (derzlerin bir sıra veya daha iyisi iki sıra elastik conta ile sızdırmaz hale getirilmesi ses yalıtımını artırır; contasız derzlerin ses yalıtımı çok kötüdür)
- Çerçevenin duvara bağlantısındaki kalite.

Binaların dış gürültülere karşı ses yalıtımında zayıf nokta penceredir. Farklı cam ve çerçeve kombinasyonu ile farklı ses yalıtım değeri R_w elde edileceği doğaldır. Pencerenin takılacağı odanın kullanım amacı ve cadde ile konumu ile caddenin özelliği göz önünde bulundurularak 6 ayrı gruba ayrılabilir. Bu kademelere bağlı olarak cam/çerçeve kombinasyonunun hangi özellikte olması gerektiği aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

[bakınız: 8](#)

Pencerenin R_w Değeri	Gerekli Önlemler
25 dB	Cam: Birleşik cam ünitesi (R=27 dB) Derz contası: Tek sıra, köşeleri açılı kesilmiş
30 dB	Cam: Birleşik cam ünitesi (R=32 dB) Derz contası: Tek sıra, köşeleri açılı kesilmiş
35 dB	Cam: Birleşik cam ünitesi (R=37 dB) Derz contası: Tek sıra, köşeleri açılı kesilmiş
39 dB	Cam: Birleşik cam ünitesi (R=42 dB) Derz contası: Çift sıra, köşeleri açılı kesilerek yapıştırılmış
43 dB	Cam: Birleşik cam ünitesi (R=46 dB) Derz contası: Çift sıra, köşeleri açılı kesilerek yapıştırılmış
46 dB	Cam: Birleşik cam ünitesi (R=49 dB) Derz contası: Çift sıra, köşeleri açılı kesilerek yapıştırılmış

Tablodan görüldüğü gibi, pencerenin R_w değeri, içine takılan camın R_w değeri ve çerçevenin derzlerinin conta ile sızdırmaz hale getiriliş şekline göre özellikle etkilenmektedir. Bu nedenle, bir pencere sisteminin ses yalıtımını belirten R_w değeri, mutlaka conta ve derzleri, camın takılış şekli, cam özelliği ve pencere dıştan dışa ölçüsü ile birlikte verilmelidir. Bu değer, bu konuda uzmanlaşmış, yetkili kurum laboratuvarlarında ölçüm yolu ile hesaplanmakta ve bir belge ile verilmektedir.

8. PENCERE - DUVAR KOMBİNASYONUNUN ORTAK SES YALITIMI

Duvar ve içinde pencere veya kapıdan oluşan bir dış cephenin veya ara duvarın ortak ses yalıtımı aşağıdaki formül yardımıyla yaklaşık olarak hesaplanabilir. (Bu formül ortak ses yalıtım değerinin, daha iyi yalıtımlı malzemenin yalıtım değerinden en az 5 dB daha aşağıda olması durumunda geçerlidir.)

$$R_{ORTAK} = R_2 + 10 * (\lg A_0 / A_2) \text{ dB}$$

R_{ORTAK} = Ortak ses yalıtım değeri
 R_2 = Akustik yalıtımı daha kötü olan A_2 alanlı elemanın ses yalıtım değeri
 A_0 = Toplam duvar alanı (pencere hariç)

ÖRNEK:
 R_1 DUVAR = 45 dB
 R_2 PENCERE = 28 dB
 A_0 DUVAR = 10 m²
 A_2 PENCERE = 2 m²

Pencere açıkken $R_2 = 0$ olmaktadır; yani ortak ses yalıtım değeri R_{ORTAK} kapalı alanın açık alana oranına bağlı olmaktadır. Bu ise $R_{ORTAK} = 7$ dB'dir. Formül yorumlandığında, pencere/duvar alanları oranının 1 olması durumunda sadece pencere değerinin ortak ses yalıtım değeri haline geldiği, duvarın etkisinin kalmadığı; pencere alanının duvarın %10'u olması durumunda pencere ses yalıtımının 10 dB arttığı görülmektedir.

9. DIŞ CEPHEDEN İSTENEN SES YALITIMI

DIN 4109'da bina dış yapı elemanlarının kullanım yerlerine göre en az ne kadar ses yutma değerine sahip olması gerektiği belirtilmiŐtir. AŞağıdaki tabloda bu değerler, binanın bulunduğu yerin dış gürültü Şiddeti ve odanın kullanım amacına bağlı olarak verilmektedir.

Bu tablodan da grldğu gibi, ihtiyaca göre pencerenin ses yalıtım değerinin 25 dB ile 50 dB arasında olabilmesi gerekmektedir.

10. SONUÇ

Farklı kullanım amaçlı odalarda, dıŐarıdan gelen farklı Őiddetdeki gürültüye rağmen gerekli konforun sağlanabilmesi için, binaların zayıf elemanı pencerenin, istenen ses yalıtımını sağlaması gereklidir. Bu ise en azından kasa-kanat arası derzleri elastik conta ile sızdırmaz hale getirilmiŐ, ana profilleri en az iki odacıklı olan bir çerçeveye birleşik cam ünitesini takılmıŐ modern bir pencere sistemini gerektirmektedir. Bu tür bir pencere sisteminde birleşik cam ünitesinin niteliği ile oynayarak istenen en yüksek ses yalıtımını sağlamak mümkündür.

Ses Şiddeti Bölgesi	Dış Gürültü Şiddeti dB (A)	Oda Cinsleri								
		Hastane Odaları			Ev Oturma Odaları, Otel Yatak Odaları, Dersahaneler, vs.			Büro Odaları		
		Minimum Ses Yalıtım Değeri Rw								
		Dış Duvar dB	Pencere dB	T.D.Cephe dB	Dış Duvar dB	Pencere dB	T.D.Cephe dB	Dış Duvar dB	Pencere dB	T.D.Cephe dB
I	50-55	35	30	32	35	25	-	35	25	-
II	55-60	40	35	37	35	30	32	35	30	32
III	61-65	45	40	42	40	35	37	35	30	32
IV	66-70	50	45	47	45	40	42	35	35	35
V	71-75	55	50	52	50	45	47	40	40	40
VI	76-80	x	x	x	55	50	52	45	45	45
VII	>80	x	x	x	x	x	x	50	50	50