

ÜZERİ DELİKLİ VE YARIKLİ EKRANLARIN AKUSTİK ETKİSİNİN İNCELENMESİ

MUSTAFA KAVRAZ¹, RAMİZ ABDÜLRAHİMOV²

ÖZET

Bildiride, gürültülü mekanlarda ses geçişini önleyen, delikli, yarıklı veya delikli olmayan plakla sonlanan tek ve çok katmanlı ekranlar incelenmektedir. Ekranların ses geçiş kaybını sağlayan; geometrik ölçüleri, formu, yoğunluğu, yüzeyinin ses yalıtımı, kaynağa ve alıcıya göre yerleşimi, kaynaktan gelen sesin açısı, kaynağın gücü v.b göstergeler incelenmektedir. Bildiride, ekran üzerinden ses geçiş kaybına ve ekran kenarlarından ses dağılımı ile meydana gelen azalışa yer verilmektedir. Ekranı kaplayan değişik plaklarla içerisinde bulunan ses yalıtım malzemeleri arasındaki mesafenin değişimiyle elde edilen ses geçiş kaybı araştırılmaktadır. Çalışmada yer alan matematiksel ifadeler, araştırmanın bir sonraki aşamasında, ekranlarla ilgili deneysel ve bilgisayar programıyla yapılacak çalışmanın temelini oluşturmaktadır.

1. GİRİŞ

Gürültü kontrolü kent planlamasından başlayarak yapı elemanı ölçeğinde alınacak önlemlere kadar geniş bir alanı kapsamaktadır. Kent ölçeğinde yapılan planlamalarda, gürültü içeren binalar kent yerleşim alanları dışında

¹ Arş. Gör.,Yük. Mimar K.T.Ü., Mimarlık Bölümü, Trabzon

² Prof. Dr., K.T.Ü., Mimarlık Bölümü, Trabzon

tasarlanarak, ayrıca yoğun trafik gürültüsünden yerleşim alanlarını korumak amacıyla yol kenarlarına engeller yerleştirilerek, genel anlamda şehircilikte gürültü kontrolü sağlanabilmektedir.

Kapalı ortamlarda gürültü kontrolünün sağlanması; gürültü kaynağında sesin azaltılması, mekan yüzeylerinin ses yutucu malzemelerle kaplanması ve ses kaynağıyla alıcı arasında belirli bir ses geçirmezlik sağlayan ekranların kullanılmasıyla, mekanlar arasındaki ses geçiş kaybı ise; ses yutucu malzeme içeren hafif yapı elemanlarının uygulanmasıyla yapılabilir. Bildiride, daha kapsamlı şekilde incelenmesi düşünülen delikli, yarıklı veya delikli olmayan plakla sonlandırılan ses yutucu ve engelleyici ekranların ses yalıtım malzeme veya elemanlarıyla bağlantıları incelenmektedir. Bu tür bir ekranın geometrik ölçüleri, formu, ekran yüzeyinin tasarımı, kaynağa ve alıcıya göre yerleşimi ve kaynağın özellikleri de göz önüne alınmaktadır.

2. EKRANLARLA GÜRÜLTÜ KONTROLÜNÜ SAĞLAMA İLKELERİ

Şehircilikte ve gürültülü kapalı mekanlarda, kaynakla alıcı arasında kullanılan, doğal ve yapay olmak üzere ikiye ayrılan değişik engeller ve ekranlar akustik açıdan konforlu bir çevre oluşturma amacını taşımaktadır. Kentlerde genellikle arazinin topoğrafik durumu, tepeler, toprak yığınları, yeşillik, v.b etkenler yoğun trafikle yapılaşma arasında doğal engelleri oluşturmakta ve gürültünün azalmasını sağlamaktadır. Aşağı kodlara indirilen yollar ve yol kenarlarında kurulan engeller yaygın şekilde kullanılan bir yöntem olup bu amacı sağlamaktadır. Gürültü kontrolünün yüksek düzeyde olması gerekmeyen odaları gürültülü caddeye, yatak ve dinlenme odaları az gürültü içeren arka caddeye yönlendirilen, taşıyıcı elemanları ise yüksek ses yalıtımlı yapılan özel binalar yapma engel gibi kullanılmaktadır. Bunun sonucunda, binanın oturma ve dinlenme alanları trafik gürültüsünden korunabilmektedir. Bu tip engellere bağlı araştırmalar kapsamlı şekilde [1], [2] çalışmalarında yer almaktadır.

3. SES EMİCİ ELEMANLAR VE DELİKLİ PLAKLAR

İç mekanlarda gürültü düzeyinin azaltılması amacıyla genellikle ses emici malzeme ve elemanlar kullanılmaktadır. Bu ses emicileri genel olarak üç grupta toplayabiliriz;

- gözenekli emiciler,
- membran ve rezonatör emiciler,
- kütleli şekilli ses yutucu elemanlar.

Gözenekli emiciler; ya bir kaplama elemanı olarak mekan yüzeylerinde, ya da bir ses kaybı oluşturan malzeme olarak çok katmanlı bölücü duvar içerisinde veya engelleyici akustik ekran içerisinde yer alırlar. Mekanlarda, delikli plak şeklinde rezonatör tipleri belirli frekans sınırındaki sesi yutmak amacıyla uygulanmaktadır. Bazı durumlarda, sesin yutulması amacıyla arkasında boşluk bulunan gözeneksiz membran emiciler ses yutucu malzemelerle veya yalnız olarak kullanılmaktadır. Boyutları ve asılma yükseklikleri ayarlanarak ses yutma katsayı değerlerinde değişiklikler oluşturulan kütsel şekilli ses yutucu elemanlar genellikle gürültülü mekanların tavanlarında asılı şekilde uygulanmaktadır. Aşağıda delikli, yarıklı veya delikli olmayan plaklarla kaplanan ve arkasında gözenekli katmanlar veya hava katmanı bulunan ekranların ses emiciliği ve bu emiciliği olumlu etkileyen göstergeler kapsamlı şekilde incelenmektedir.

3.1. Basit Rezonatörler

Rezonatör ses emici sistemler içerisinde yer alan ve delikli plakların temelini oluşturan Helmholtz rezonatörü en yüksek ses yutma değerini Eşitlik 1’de verilen rezonans frekansa yakın frekanslarda oluşturmaktadır.

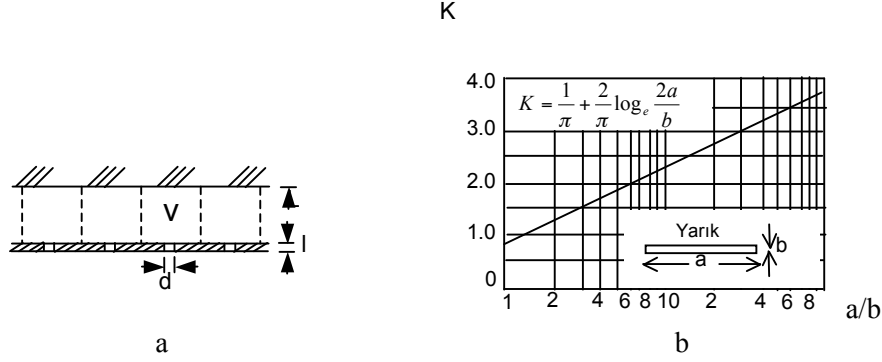
$$f_0 = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{s}{V(l + \delta)}}, \text{ Hz} \quad (1)$$

Çapı d olan dairesel delik için son düzeltme değeri, $\delta = 0.8d$ ile elde edilmektedir.

Basit rezonatörlerin boyun kısmına gözenekli veya lifli malzemenin serbest bir şekilde yerleştirilmesi alçak frekanslardaki ses yutulmasının geniş bir frekans alanına yayılmasını sağlamaktadır. Bunun yanı sıra, rezonans frekansta yutulma etkisinin azalmasına neden olmaktadır [3], [4].

3.2. Delikli veya Yarıklı Plaklar Şeklinde Düzenlenen Rezonatörler

Delikli ve yarıklı plaklar sert duvardan belirli bir mesafede bulunan Helmholtz rezonatörünün bir serisi olarak düşünülebilirler (Şekil 1 a,b). Bu sistemi oluşturan plaklarda, ses yutma katsayısı, rezonans frekansta yüksek değerlere ulaşmaktadır.



Şekil 1- Delikli ve yarıklı plaklar (3); a, delikli plaklar; b, yarıklı plaklar için son düzeltme değeri grafiği

Şekil 1a'da görüldüğü gibi, panel duvardan L mesafede çekilen, s birim alanında (m^2) çapı d (m) olan n sayıda deliğe ve P delik açıklılık oranına sahip delikli rezonatörün rezonans frekansı Eşitlik 1'e göre elde edilmektedir. Yalnız Eşitlik 1'deki delik açıklığı s yerine, $P = ns = n \cdot \left[\pi \cdot (d/2)^2 \right]$ değeri ve V hacmi (m^3) yerine L boşluk uzunluğu (m) alınmaktadır.

Delikli plak için geçerli olan rezonans frekans eşitliği Şekil 1b'de gösterilen sınırlı uzunluklu yarıklı plaklar için de geçerlidir, yalnız; bu durumda $\delta = Kb$ olarak alınır. Burada, b : yarık genişliği (m) ve K katsayı değeri: a yarık uzunluğuna (m) sahip rezonatör için Şekil 1b çizelgesinde sol köşede bulunan eşitlikten elde edilmektedir. a/b 'nin değeri ve K değeri kullanılarak Şekil 1b'de K 'nın son düzeltme değeri elde edildikten sonra rezonans frekans Eşitlik 2'den elde edilmektedir;

$$f_o = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{P}{L(l + Kb)}}, \text{ Hz} \quad (2)$$

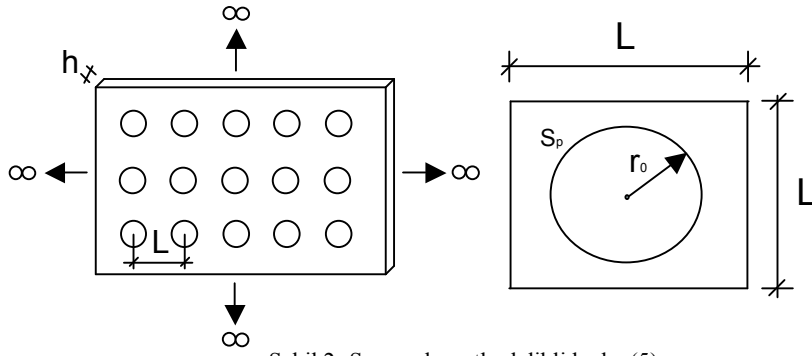
Delikli veya yarıklı plaklar şeklinde düzenlenen rezonatörlerde de basit rezonatörlerde olduğu gibi ses yutucu malzemelerin yerleştirilmesi ses emişinin geniş bir frekans aralığına yayılmasına neden olmaktadır [3], [4].

3.3. Delikli Plaklardan Ses Geçiş Kaybı

Herhangi bir θ geliş açısı için delikli bir plağın ses geçiş kaybı Eşitlik 3'deki gibi gelen ses basıncı, P_1 , ile plağı geçen ses basıncının, P_2 , kareleri oranının logaritması olarak ifade edilebilir;

$$TL = 10 \log \left| \frac{P_1(\theta)}{P_2(\theta)} \right|^2, \text{ dB} \quad (3)$$

Ayrıca, sonsuz boyutlu, delikli bir elemanın yüzeyine kaynaktan yaygın ve homojen ses enerjisi geldiğinde, $(\theta = 0^\circ - 90^\circ)$ muhtemel bütün geliş açıları için ses geçiş katsayısı, Şekil 2’de gösterildiği gibi herhangi bir birim eleman etrafındaki yarı dairesel yüzey üzerinden geçiş katsayısının ortalama integrasyonu olarak Eşitlik 4’deki gibi belirlenmektedir;



Şekil 2- Sonsuz boyutlu delikli levha (5)

$$T_d = \frac{\int_0^{\frac{\pi}{2}} |T^2(\theta)| \sin \theta \cos \theta d\theta}{\int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin \theta \cos \theta d\theta} = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \left| \frac{1}{A \cos \theta + 1} \right|^2 \sin 2\theta d\theta \quad (4)$$

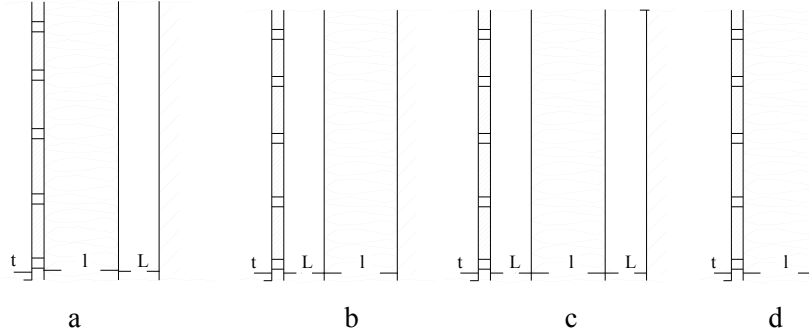
Taşıyım katsayısı, $T(\theta) = \frac{2\rho c}{Z_m \cos \theta + 2\rho c}$ dir. Delikli plak yüzeyinin normal empedansı, $Z_m = \frac{j\omega m_{sa}}{\Omega_s} = j\omega \rho h' S$ 'ye eşittir. $\Omega_s = S_p / S$ olduğundan, $j\omega m_{sa} = S_p j\omega \rho h' S$ eşitliği elde edilmektedir. Buna göre; $m_{sa} = S_p \rho h'$, daha açık şekilde yazacak olursak; $m_{sa} = \pi r_0^2 \rho h'$ elde edilmektedir. Delikli ekranın etkili kalınlığı olan h' , bir son düzeltme ifadesi ile delikli ekranın gerçek kalınlığının terimleriyle ifade edilmektedir ve $h' = h + l$ 'ye eşittir. Delikli ekranın her iki kısmındaki bitiş noktalarında ayrılan akışkanın hesaplanmasında kullanılan son düzeltme değeri,

$l \approx 1.70r_0(1 - 0.43r_0/L)$ dir. Bu değer, ekranın delik yarıçapının birim elemanın temel boyutuna (L) oranının 0.2 den az olması durumunda, delik yarıçapının 1.6 katına eşit olmaktadır.

Chen (1995)'in, rijit delikli ekranların ses geçiş kayıpları üzerine yapmış olduğu deneysel çalışmalarda, yüksek frekanslarda daha etkili ses geçiş kayıpları elde edilmiştir [4], [5].

3.4. Arkasında Gözenekli Malzeme Bulunan Delikli Plaklar

Delikli veya yarıklı şekilde düzenlenen rezonatörlerde gözenekli malzemenin uygulanması, gürültülü mekanda ses düzeyinin daha etkili bir şekilde azaltılmasını sağlamaktadır. Şekil 3'de arkasında değişik şekillerde gözenekli malzeme bulunan delikli plaklar yer almaktadır. Uygulamalarda bu sistemin ses yutma katsayı göstergesi önem kazanmaktadır. Şekil 3 a'da yer alan sistemin empedansa bağlı ses yutma katsayısı Eşitlik 5'de verilmektedir.



Şekil 3- Delikli plak arkasında değişik şekillerde yerleşmiş gözenekli malzeme a; delikli plak arkasında, b; delikli plakla sert katman arasında hava katmanı ile çevrili, c; sert bir yüzeyle sonlanan gözenekli malzeme ile delikli plak arasında hava katmanı, d; arkasında ve önünde hava katmanı bulunmayan

$$\alpha(\phi) = 1 - \left| (z \cos \phi - \rho c) / (z \cos \phi + \rho c) \right|^2 \quad (5)$$

İstenen bir açıyla gelen ses için sistemin ses yutma katsayısı Eşitlik 6'da, ses yutma katsayısı $\alpha(\phi)$ 'nin $0 - \pi$ arasındaki açılarla gelen ses için istatistik ortalaması ise Eşitlik 7'de yer almaktadır;

$$\alpha(\phi) = \frac{4\theta \cos \phi}{(\theta \cos \phi + 1)^2 + [\gamma \cos \phi \cot(k_0 L) - \cot(\gamma k_0 L \cos \phi)]^2} \quad (6)$$

$$\alpha_{av} = 8\theta \int_0^\pi \alpha(\phi) \cos \phi \sin \phi d\phi \quad (7)$$

Sistemin normal empedansı olan z Eşitlik 8'den elde edilmektedir;

$$z = \theta - j \left[\gamma \cot k_0 L - (1 / \cos \theta) \cdot \cot(k_0 L \gamma \cos \theta) \right] \quad (8)$$

Birimsiz olan, $\gamma = \frac{w}{w_0}$ ve $\theta = r l_1 / p \rho c$ formülleriyle elde edilmektedir.

Delikli plak nedeniyle oluşan rezonans frekans ise Eşitlik 9 ile bulunmaktadır;

$$w_0 = t + \delta / pL = \cot k_0 L / k_0 L \quad (9)$$

burada, deliğin boyu için son düzeltme değeri; $\delta = 1.70r_0(1 - 0.43r_0a)$ ile elde edilmektedir [3], [4], [6], [7].

Davern (1977)'in, gözenekli malzeme (cam yünü) ve hava katmanı bulunan delikli yüzeyle sonlanan elemanlarla yapmış olduğu deneysel çalışmalarda; düşük ve orta frekanslarda (2000 Hz'e kadar) delikli levhalar arkasında hava boşluğu olmayan durumlarda, ses yutucu malzemelerle daha etkili ses yutma katsayısı elde edilmiştir. Ayrıca delikli plaklarla ses yutucu gözenekli malzemeler arasına ince yumuşak kağıt yerleştirildiği durumlarda, tüm frekanslarda etkisi düşük bir yutma katsayısı elde edilmiştir (8).

4. ÇOK KATMANLI EKRANLARDA SES GEÇİŞİNİN ÖNLENMESİ

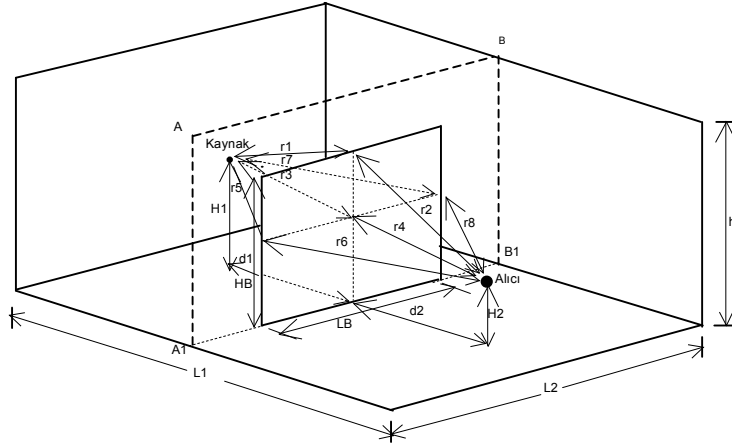
Kapalı mekanlarda tek veya çok katmanlı olarak tasarlanan akustik ekranlar, ses kaynağıyla alıcı arasına yerleştirilerek ses basınç düzeyini azaltmak amacıyla kullanılabilir. Bu ekranların etkisi iki şekilde incelenmektedir. Birincisi; ekran kenarlarından dağılım nedeniyle ses geçişinin belirli bir şekilde olduğu fakat yüzeyi üzerinden geçişin olmadığı durum, ikincisi ise; hem dağılım hem de yüzey üzerinden ses geçişinin olduğu durumlardır. Bu çalışmada, sınırlı ve sınırsız boyuttaki ekran üzerinden ses geçişi aşamasında ilave ses kaybına ait hesap yöntemi verilmektedir.

4.1. Sınırlı Boyutlu Ekranların Ses Geçirmezliği

Konuyla ilgili ilk çalışmalarda, yarı sınırsız engellerin üzerinden ses dağılımına ilişkin araştırmalar yapılmıştır. Maekawa [2] engelin sırtlarından dağılan ses düzeylerini toplayarak sınırlı boyutlu ekranın ses azaltımını hesaplamıştır. Bunlara ilave olarak gürültülü imalathanelerdeki uygulamalar için sınırlı boyutlu dikdörtgen biçimli ekranın ilave kaybına ilişkin çalışmalar da yapılmıştır [9].

Ses kaynağı ile alıcı arasına yerleştirilen ekranın sesi azaltma miktarı; engelin geometrik ölçülerine, formuna, kalınlığına, yoğunluğuna, ayrıca ekranın kaynağa ve alıcıya göre yerleşimi ile kaynaktan ekrana gelen sesin açısı, kaynağın gücü, tipi ve ses spektrumuna bağlı olarak değişmektedir. Bu ekranın (Şekil 4) kenarlarından meydana gelen dağılım ve ortamın akustik özelliklerine bağlı olarak ortaya çıkan ilave ses kaybını Eşitlik 10'dan elde edebiliriz;

$$IL = L_{po} - L_p, \text{ dB} \quad (10)$$



Şekil 4- İç mekana yerleştirilmiş sınırlı boyuttaki ekran (9)

burada, ekranın varlığı durumunda alıcıdaki ses basınç düzeyi olan, L_p Eşitlik 11 ile elde edilmektedir.

$$L_p = L_w + 10 \log \left(\frac{Q_B}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \right) + 10, \text{ dB} \quad (11)$$

Eşitlik 11’de belirtilen bariyerin gölgeli bölgesi yönündeki kaynağın etkili yönelme faktörü, $Q_B = Q \sum_{i=1}^n \frac{\lambda}{3\lambda + 20\delta_i}$ dir.

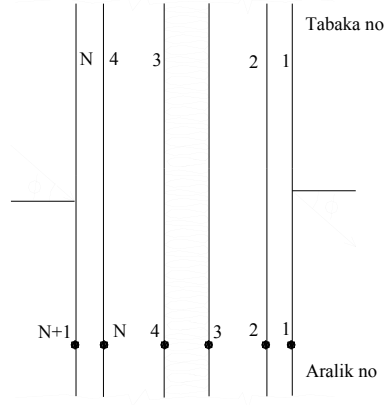
Şekil 4’deki ifadelerde dikdörtgen ekran için üç adet δ değeri Eşitlik 12’de belirtilen şekilde bulunmaktadır;

$$\begin{aligned}\delta_1 &= [(r_1 + r_2) - (r_3 + r_4)], \delta_2 = [(r_5 + r_6) - (r_3 + r_4)] \text{ m,} \\ \delta_3 &= [(r_7 + r_8) - (r_3 + r_4)] \text{ m.,}\end{aligned}\tag{12}$$

Eşitlik 12’de bulunan bu değerler Eşitlik 11’de kullanılarak sonunda Eşitlik 10 ile ekranın ürettiği ilave ses kayıp değeri elde edilmektedir [9], [10].

4.2. Sınırsız Boyutlu Ekranların Ses Geçirmezliği

Çok katmanlı ses engelleyici ekranlar; delikli, yarıklı plaklarla veya metal kaplı, sunta, alçıpan gibi plaklarla kaplanan cam yünü gibi akış dirençli gözenekli katmanlardan ve hava boşluklarından oluşmaktadır (Şekil 5). Tek tabakalı ekranlar için ses taşınım kaybı genellikle kütle kanununa göre belirlenmektedir. Çok tabakalı bir bölme elemanı boyunca ses taşınımı çok tabakalı ses emicilerin ses emiş katsayılarına benzer bir şekilde hesaplanabilmektedir. Üzerinden ses geçişinin olduğu düşünülen ve tarafımızca incelenen çok katmanlı ekranların birinci tipi; arkasında cam yünü gibi gözenekli malzeme bulunan delikli veya yarıklı plaklardan oluşmakta, ikinci tipi ise; metal kaplı sunta, alçıpan gibi levhalar arkasında gözenekli malzeme ve bunların arkasında yer alan hava boşluğundan oluşmaktadır. Birinci tip ekranlardan ses geçiş kaybının incelenmesi yukarıda verilmiştir. İkinci tip ekranlarda ses geçiş kaybı genellikle kütle yasasına göre katmanların yoğunluğuyla elde edilmektedir. Bu tip ekranlarda ses geçiş kaybı hesaplamaları empedans modeline göre yapılmaktadır. Hesap yöntemi Au ve Byrne’nin empedans modeline göre; poisson oranına, katmanın kayıp faktörüne, sesin geliş açısına, ϕ , bağlı olarak verilmektedir. Ayrıca, kompleks dalga sayısı ve kompleks karakteristik akustik empedansa da bağlıdır.



Şekil 5- N katmanlı engel (12)

Sınırsız boyutlu bir bölme elemanının rastgele gelen ses geçiş kaybı Eşitlik 13’de verilmektedir;

$$R = (w) = 10 \log \frac{1}{\tau_R(w)} \quad (13)$$

burada, $\tau_R(w)$; ses geçiş katsayısıdır ve $\tau_R(w) = \int_0^{\pi} \tau(w, \phi) \sin 2\phi d\phi$ ’ye eşittir. Ses geçiş kaybı katsayısını hesaplamak için gerekli olan $\tau_R(w, \phi)$ (3) formülüyle elde edilir. Ses geçiş kayıp değeri, $\phi = 0$ dan $\phi = 90$ ’a kadar açılar için hesaplanmalıdır. Ekranın her bir katmanının (hava katmanı dahil) empedansı ve ses basınç değerlerinin bulunması gerekmektedir. Bu değerlerin elde edilme yöntemleri kapsamlı şekilde [11], [12], [13], [14] kaynaklarında yer almaktadır.

Çok katmanlı bir ekranın ses geçiş kaybının hesaplanması için Şekil 5’den faydalanarak aşağıdaki işlem yolları takip edilmelidir:

1. Elemanın alıcı kenar yüzeyindeki son empedansı hesaplanır;
2. Birinci katman için yaklaşık empedans formülünü uygulayarak ikinci hava katmanındaki giriş empedansı hesaplanır;
3. İkinci hava katmanı için son empedans olarak ikinci adımda hesaplanan empedans kullanılır, üçüncü katmanın giriş empedansı hesaplanır. Kaynak kenarı aralığındaki dördüncü hava katmanı empedans girişine kadar empedans hesaplarının zinciri devam ettirilir (Şekil 5’de $(N + 1)$ aralığına kadar);

4. Kaynak kenarı aralığındaki ses basıncı, doğrudan gelen ve yansıyan ses basınçlarının toplamı olarak hesaplanır;

5. Alıcı kenarı aralığındaki ses basıncı, p , elde edilene kadar ardıcıl şekilde uygun basınç formülleri uygulanır.

Sonunda, bulunan basınç değerinin sonuçlara göre Eşitlik 13’de belirtilen ses geçiş kaybı değeri elde edilir.

Au ve Byrne (1987) ve Kurra (2001)’nın farklı kalınlıktaki geçirimsiz tabaka, hava tabakası, ayrıca farklı dirençlere sahip gözenekli malzeme de içeren sınırsız boyutlu ekranlarla yapmış oldukları çalışmalarda ilave ses kaybı yükselen frekans değeri ile artış göstermektedir [11], [12].

6. SONUÇLAR

Çalışmada, şehircilikte ve kapalı mekanlarda uygulanan ekran çeşitlerinin yüzey ve malzemelerine göre ses geçiş kayıpları incelenmiştir. İç mekanlarda kaynakla alıcı arasında delikli ve yarıklı plaklardan düzenlenen ekran yüzeylerin rezonans frekanslarına ve ses geçiş kayıplarına, arkasında gözenekli malzeme bulunan plaklarla kaplanan ekranların ses yutma özelliklerine değinilmiştir. Kullanılan ses yutucu gözenekli malzemenin akustik özelliklerine bağlı olarak, farklı değerlerde elde edilen gürültü azalımı, artan frekans değeri ile artış göstermektedir.

Ayrıca sınırlı boyutlu ekranların ve çok katmanlı sınırsız boyutlu hafif konstrüksiyonlu ekranların ses kayıplarına ait hesap yöntemleri de verilmiştir. Belirtilen bu hesaplama yöntemleri, çalışmanın bir sonraki aşamasında, endüstri yapılarında gürültü engeli olarak kullanılan sınırlı boyuttaki çok katmanlı ekranların ses azaltımına ilişkin detaylı incelemelerde kullanılacaktır. Yapılacak bu çalışmada, ekranların gürültü azaltımına ilişkin gerçekleştirilecek bir bilgisayar modellemesi deneysel çalışmalarla da desteklenecektir.

SEMBOLLER / İNDİSLER

f_0	: hava veya yalıtım tabakalarının rezonans frekansı (Hz)
c	: ses hızı (m/sn)
V	: boşluk hacmi (m ³)
s	: delik açıklığının alanı (m ²)
l	: boyun uzunluğu (m)
δ	: son düzeltme değeri
d	: dairesel delik çapı (m)
ρ	: havanın yoğunluğu (kg/m ³)
S_p	: delik alanı (m ²)
S	: tek deliği çevreleyen L kenarlı birim alan (m ²)
Ω_s	: deliklerin toplam alana, ya da bir deliğin birim alana oranı
m_{sa}	: delik içerisindeki akışkanın etkili kütlesi (m ³)
k_0	: açısal dalga sayısı
L	: sistemdeki hava katmanının kalınlığı (m)
p	: levhanın deliklilik oranı
r	: akış direnci (N.s/m ²)
l_1	: gözenekli malzemenin kalınlığı (m)
t	: delikli plağın kalınlığı (m)
a	: r_0 yarıçaplı deliğin yer aldığı levha içerisindeki birim alanın kenar uzunluğu (m)
L_p	: ekranın varlığı durumunda alıcıdaki ses basınç düzeyi
L_w	: kaynağın ses güç düzeyi, (dB)
Q	: kaynağın yönelme faktörü
λ	: dalga uzunluğu (m)
δ_i	: dağılmış yol uzunluğu – doğrudan yol uzunluğu (m)
R	: ekransız oda sabiti (m ²).
$\tau_R(w)$	: ses geçiş katsayısı

KAYNAKLAR

1. Abd lrahimov, R., (1994) “G r lt n n Deęerlendirilmesi ve Azaltma Yolları”, 1. Ulusal Akustik Kongresi Bildirileri, ss. 51-58, Uludaę.
2. Maekawa, Z., (1968) “Noise Reduction by Screens”, Applied Acoustics, vol. 1(3), ss.157-173.
3. Maekawa, Z., Lord, P., (1993) “Environmental and Architectural Acoustics”, London.
4. Ingard, K. U., Bolt, R. H., (1953) “Absorption Characteristics of Acoustic Material with Perforated Facing”, The Journal of the Acoustical Society of America, vol. 23(5), ss. 533-540.
5. Chen, K. T., (1996) “Study on The Acoustic Transmission Loss of a Rigid Perforated Screen”, Applied Acoustics, vol. 47(4), ss. 303-318.
6. Kayılı, M., (1994) “Ses Yutucu Elemanlar”, Eęitim Semineri, ss. 175-192, İstanbul.
7. Dunn, I. P., Davern, W. A., (1986) “Calculation of Acoustic İmpedance of Multilayer Absorbers”, Applied Acoustics, vol. 19, ss. 321-334.
8. Davern, W. A., (1977) “Perforated Facing Backed with Porous Materials as Sound Absorbers – An Experimental Study”, Applied Acoustics, vol. 10, ss. 85-112.
9. Moreland, J. B., Musa, R. S., (1972) “International Conferance on Noise Control Engineering”, ss. 95-104
10. Irvin, J. D., Graf, E. R., (1979) “Industrial Noise and Vibration Control”, Prentice Hall, USA.
11. Au, A. C. K., Byrne, K. P., (1987) “On The İnsertion Losses Produced by Plane Acoustic Lagging Structures”, Applied Acoustics, vol. 82, ss. 1325-1333.
12. Kurra, S., Arditi, D., (2001) “Determination of Sound Transmission Loss of Multilayered Elements Part I: Predicted and Measured Results”, Acta Acoustica, vol. 87, ss. 582-591.
13. Beranek, L. L., Ver, I. L., (1992) “Noise and Vibration Control Engineering-Principles and Applications”, John Willey & Sons., USA.
14. Kurra, S., (2000) “Çok Katlı Yapı Elemanlarının Empedans Y ntemi ile Hesaplanan Ses Geiř Kayıplarının Por z Malzemenin Akış Direncine Bağlı Olarak Deęiřimi”, 5. Ulusal Akustik Kongresi, ss. 21-30, İstanbul.