

SES YALITIMI KONUSUNDA BİR KAÇ AÇIKLAMA

Ses yalıtımı, daha doğru bir deyimle, ses geçiş kaybının artırılması, gürültü denetiminin bir bölümüdür. Gürültü denetimi, gereksiz gürültülerin yok edilmesi, gürültünün kaynağında azaltılması, kaynağına hapsedilmesi, yayılmasının önlenmesi, bir bölüme girmesinin önlenmesi gibi, gürültü kaynağından kulağa uzanan yolun, belli bir plana göre adım adım incelenmesi ve alınacak önlemlerin buna göre saptanması anlamına gelir.

Ses yalıtımı ise, sesin bir bölme geçmesi ile ilgili olup, gürültü denetiminde başvurulması her zaman zorunlu olmayan bir adımdır. Bu nedenle, gürültü ile ilgili herhangi bir konuda, önce gürültü denetim planına göre bir inceleme, problemin teknik, pratik ve ekonomik yönden daha az ve daha kolayca çözüme kavuşturulmasını sağlayabilir. Bu yazının konusu ise, yalnızca ses yalıtımı olup, unutulmaması gereken bir kaç önemli noktayı anımsatmak ve kimi terim ve kavramlara açıklık getirmektir.

SES YALITIMI KAVRAMI

Yalıtım (*tecrit, izolasyon*), genelde, çevresinden ayırmak, çevresi ile ilişkisini kesmek ve biraz daha dar anlamda, dış ortamla enerji alışverişini önlemek gibi, kesin sonuç belirten anlamlara gelmektedir. Bu güne kadarki gözlemlerimize göre, ses yalıtımı da, çoğu kez ve özellikle bu tür bir yalıtım yapılmasını isteyenlerin çoğunluğunca böyle kesin sonuç alınabilecek bir işlem gibi düşünülmektedir.

Oysa, ses enerjisinin bir duvardan, bir döşemeden, bir pencereden yani herhangi bir bölmeden geçişi, belli oranlarda azaltılabilir fakat pratikte, kesin bir biçimde önlenemez. Yani konu aslında ses yalıtımı değil, geçen sesin azaltılmasıdır. Deyim kolaylığı bakımından ses yalıtımı dense bile, bunun ne anlama geldiğinin unutulmaması, görüşmelerin buna göre yapılması ve beklentilerde bu gerçeğin unutulmaması doğru olur.

Aslında, yabancı dillerde olduğu gibi, tanımlarına uygun olarak “ses geçiş kaybı” (*transmission loss / affaiblissement de transmission*) ve gürültü azaltımı (*noise reduction / reduction du bruit*) terimlerinin kullanılması daha uygun olur.

Bu konuda önemli bir nokta da şudur: Ses (*ya da gürültü*) geçişinin, oradaki gereksinime göre belirlenmiş bir oranda azaltılması gerekir. Bu oranın altında ya da üstünde bir azaltma gereksiz yere yapılmış ve pek bir işe yaramayacak olan bir harcama demektir. Bu boşuna harcama çoğu kez pek te önemsenmeyecek bir büyüklükte olmaz. Bu nedenle de ne yapılacağına titiz bir etüd ve ciddi hesaplar sonucu karar verilmelidir.

YUTMA ÇARPANI

Havada yayılan ses enerjisi (*ses titreşimleri*) bir yüzeye geldiğinde, genellikle üç olay birlikte olur: Bu enerjinin bir bölümü yansır, bir bölümü soğurulur yani başka tür bir enerjiye dönüşür, bir bölümü de bu yüzeyi geçerek yayılmasını sürdürür. Yutma çarpanları soğurulan ve geçen enerjinin toplamını, yani yansımayan enerji oranını verir. Yani, yutma çarpanı, (*Schallluckgrad / coefficient d'absorption*) ses enerjisinin başka bir enerji türüne örneğin ısı enerjisine dönüşerek ses enerjisi türünden yok olduğu oran değildir. Ses enerjisinin, başka bir tür enerjiye dönüşüm oranına eğer soğurma çarpanı dersek, yutma çarpanı, çok özel durumlarda bu çarpana eşit, fakat hemen her durumda soğurma çarpanından daha büyüktür.

Yukarıdaki açıklama, yutma çarpanlarının ölçülme yöntemleri düşünülürse daha iyi anlaşılır. Gerek boru içinde duran dalgalar yöntemi, gerekse yansıma (*reverberasyon*) süresi bilinen yansımali (reverberan) bir iç mekâna, yüzölçümü belli bir gereç koyarak yansıma süresindeki değişime göre yutma çarpanını hesaplama yöntemi, yansıyan ses erkesi oranını kullanmaktadır. Yani, yutma çarpanı, yansımayan ses olarak tanımlanmaktadır. Bu konuda Friedrich Bruckmayer'in "Schalltechnik im Hochbau" kitabında ve A.C. RAES'in "Acoustique Architecturale" kitabında dolaysız ve açık anlatımlar bulunmaktadır.

Pratiğe dönük örnek vermekte de yarar olabilir. Örneğin açık pencerenin yutma çarpanı 1 dir. Yani bu yüzeye gelen ses enerjisi bütünü ile yutulur. Oysa bu durumda bir soğurma olayı yoktur. Daha ufak açıklıklarda da frekansa bağlı değişik yutma çarpanları verilmiştir. Bu ufak açıklıklarda kimi frekansların yansıması ve daha belirgin bir kırınma (*diffraction*) olayı söz konusudur. Fakat ses enerjisi başka tür bir enerjiye dönüşmemektedir.

SESİN YUTULMASI VE YALITIMI

Genelde yutma çarpanları, soğurma çarpanları gibi düşünülmemekte ve ses yalıtımında gereçlerin yutma çarpanlarından medet umulmaktadır. Aşağıda sesin soğurulması ve geçmesi olaylarına açıklık getirilmeye çalışılacaktır.

Ses enerjisinin soğurulması, başka tür bir enerjiye dönüşmesi anlamına gelir. Bu enerji türü genellikle ısı enerjisidir. Bu enerji türü değişimi, ses enerjisinin havada yayılması ile hava moleküllerinin kazanmış olduğu artı devingenliğin, bu moleküllerin, gözenekli gereçlerin gözenek cidarlarına sürtünmesi sonucu azalması ile, yani kısacası sürtünme ile, ya da havada oluşan akustik basıncın (*hava basıncında ses frekansına bağlı eksi-artı, devirsel değişimlerin*) esneyebilen bir bölmenin bir yanında oluşturduğu devirsel basınç değişimlerinden ötürü bu bölmenin şekil ya da konum değiştirmesi ile, yani bu enerjinin bu "iş" için harcanması ile olur.

Burada dikkatlerin çekilmek istendiği nokta soğurulma oranlarıdır. Bunlar aritmetik oranlardır. Oysa algılanan ses düzeyi logaritmasal bir büyüklüktür. Sessel yeğlilik, santimetre kareye gelen güç ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$) olarak verilir. Algılanan ses (*akustik basınç*) ise bunun ondalık logaritması ile ilgilidir. Yani, örneğin ses enerjisinin yarı yarıya azalması (*% 50 oranında yutulmuş olması*), ses basınç düzeyinde ancak 3 dB lik bir düşme sağlar. Bu da ancak algılanabilen çok ufak bir değişikliktir. Ses enerjisinin % 90 oranında azalması yani 10 kat azalması ses basınç düzeyinde 10 dB, bu enerjinin % 99 oranında azalması yani 100 kat azalması 20 dB lik bir düşme sağlar. Oysa bir ses yalıtımı gereksinimi ortaya çıktığında çoğu kez 40~50 dB düzeyinde bir azaltma söz konusu olmaktadır. Demek ki, kullanılabilir kalınlıktaki bir gerecin, yutma çarpanı 0,99 olsa bile, bu gereç ses yalıtımı için kullanılamayacaktır.

Akla şöyle bir soru gelebilir: Acaba sesin, örneğin cam yünü, taş yünü, keçe vb. gözenekli gereçler kullanılarak geçmesi azaltılamaz mı? Bu sorunun yanıtı yukarıdaki açıklamadan çıkarılabilir; Bu yolla geçen seste belli bir azalma elde etmek isteniyorsa, bu gözenekli gereçleri en az 50~60 cm kalınlıkta kullanmak gerekir. Bu ise ne yapımsal, ne de ekonomik açıdan akılcı bir çözüm olmaz ve kolayca da uygulanamaz.

YUTMA ÇARPANLARININ KULLANIM ALANI

Esas amaç ses basınç düzeyinin gerekli oranlarda düşürülmesi olduğuna göre, yutma çarpanlarından, bu çarpanların, tek bir süreç içinde, peşi peşine birçok kez kullanılması durumunda yararlanılabileceği anlaşılmaktadır. Bu da yalnızca iç mekân akustiğinde söz konusudur.

Bir iç mekânda, karşılıklı yüzeyler arasında ses birçok kez yansiyacak ve her yansımada belli bir oranda yutulacaktır. Bir iç mekânın iç yüzeyleri arasında peşi peşine yansıyan seste her defasında, eğer yukarıda verilen örnekteki gibi % 50 bir enerji azalması olursa ve havada sesin yayılma hızının yaklaşık 340 m/s olduğu düşünülürse, yansımış ses düzeyinin, ortalama bir yansıma süresi içinde büyük oranda düşeceği anlaşılır.

Bu, sesin bir yüzeyde yutulması olayının peşi peşine pek çok defa olması, yani yansımaya çarpanının tek bir süreç içinde pek çok defa kullanılması sonucudur.

Örneğin, 8x20x35 m kenarları olan dikdörtgenler prizması biçiminde bir iç mekânda, ortalama serbest yol (yani peşi peşine iki yansımaya arasında sesin geçtiği yolların ortalaması) 9.8 metredir. Böyle bir iç mekânın kullanım amacına göre hesaplanan optimal yansıma süresinin 1.5 saniye olacağı düşünülebilir. Ses bu süre içinde $340 \times 1,5 / 9,8 = 52$ kez yansiyacaktır. Algılanabilen yansıma olayının yansıma süresinin ilk 1/3 bölümünde olduğu düşünülürse, bu 0,5 saniyelik süre içinde bile ses 17 kez yansiyacaktır. Her yansımada 0,5 oranında yutulmuş ses enerjisi, 17 yansımada sonunda $(0,5)^{17} = 0.0000076$ oranında azalacak yani bu süre içinde ses enerjisinin % 99.99924 ü yutulmuş olacaktır.

Bu örnekte 5.600 m³ hacmi olan, yani oldukça büyük bir iç mekân düşünülmüştür. Daha ufak iç mekânlarda ortalama serbest yol daha kısa olacak, optimal yansıma süresi içinde yansımaya sayısı daha fazla olacak ve yutma çarpanının etkisi çok daha yüksek olacaktır.

Sesin bir bölme geçmesinde ise, bu çarpan bir kez kullanılmakta, yani yutulmayan ses erkesi yukarıdaki örnekte olduğu gibi yaklaşık milyon kez azalmamakta, yalnızca yarıya inmekte bu da ses yalıtımı bakımından bir anlam taşımamaktadır.

Sonuç olarak şu söylenebilir: Sesin bir bölme geçmesi, sesin soğurulması yolu ile değil, sesin belli oranlarda durdurulması yolu ile yani Berger-kütle yasasının uygulanması ve ona özgü hesaplara göre önlem alınması ile istenen ölçüde azaltılabilir. Yutma çarpanları, iç mekân akustiğinde, yansıma süresi hesaplarında ve iç mekân gürültü denetiminde kullanılır. Ses yalıtımında değil. Ses yalıtımı formülleri, ses geçiş kaybını dB cinsinden yani logaritmasal büyüklük olarak verir. Oran ya da çarpan olarak değil. Gereçlerin, akustik açıdan iki türlü özelliği vardır: Yutma çarpanı ve ses geçiş kaybı. Bu iki özelliğin kullanılış yerlerini karıştırmamak gerekir.

SES YALITIMINDA SESİN YUTULMASINDAN DOLAYLI YARARLANMA

A ve B gibi bitişik iki iç mekân düşünülürse A ile B arasındaki bölmeden geçen sesin azaltılması yukarıda açıklandığı gibi olur. Ancak, bir iç mekânda ses kaynağından çıkan sesin oluşturduğu ses basınç düzeyi, bu iç mekânın yüzeylerinde sesin peşi peşine yansımaları ile yükselir.

Dolayısı ile A ile B arasındaki bölmeye gelen ses enerjisi de yansıma olayı ile artmış olan enerjidir. Ses kaynağının bulunduğu iç mekânda, örneğin A da, iç yüzeyler yutma çarpanı yüksek gereçlerle kaplanırsa, yansıma nedeni ile olan bu yükseliş azalır ve ara bölmeye gelen ses enerjisi de azalır. Doğaldır ki bu azalış dB cinsinden pek önemli değildir ve hesaplanması gerekir.

Aynı biçimde sesin geçtiği iç mekânda da, örneğin B de, ara bölme ses kaynağını oluşturur. Burada da ses düzeyi yansımaya yükselir. İç mekânın ortalama yutuculuğu yükseltilecek, yani yansımaya süresi kısaltılarak ses basınç düzeyi düşürülebilir.

Ancak, yinelenmek gerekir ki, bu yolla elde edilecek kazanç pek önemli değildir ve ancak, sesin geçtiği ara bölmede gerekli ses yalıtımına çok yaklaşmış ta daha fazlası elde edilemiyorsa, bu yolla, işe yarar bir kazancın elde edilip edilemeyeceği hesaplanabilir.

AKUSTİK MALZEME

Bu başlık altında “akustik tavan”, “ses yutucu malzeme” ve benzeri deyimlerin anlamları üzerinde durulacaktır. Genelde ışığın yansımaya olayı ile sesin yansımaya olayı birbirine benzetilmekte ve sesin yansımaya, görsel algılama ile ilgili olması nedeni ile, daha kolay algılanan ışığın yansımaya örnek alınmakta yansımaya bölümünün de yutulmuş olacağı düşünülerek “ses yutucu malzeme” gibi bir kavram oluşturulmaktadır.

Işığın dalga boyu 380~780 nanometre arasındadır. Yani tayfsal genişliği yaklaşık bir oktavdır. İnsan kulağını etkileyen sesin dalga boyu ise yaklaşık 2 santimetre ile 20 metre arasında değişmekte yani tayfsal genişliği 10 oktavi bulmaktadır. Bir başka deyişle, en yüksek frekanslı ışık ışınımının (*mor renkli*) frekansı en alçak frekanslı (*kırmızı renkli*) iki katı iken, en ince sesin frekansı en kalın sesin frekansının 1000 katını aşmaktadır (16~18.000 Hz). Çok özel durumlar söz konusu olmadıkça yüzeylerin ışığı yansıtma çarpanları dolayısı ile yutma çarpanları fazla değişmez. Aşağıdaki örnekler bunu göstermektedir.

Yansıtma Çarpanı		
Yüze Rengi	Akkor Lamba Işığında	Günışığında
Orta koyulukta yeşil	0,30	0,30
Orta koyulukta mavi	0,28	0,31
Pembe	0,62	0,58
Turuncu	0,50	0,43
Koyu mor	0,21	0,20
Açık mor	0,60	0,60
Açık yeşil	0,78	0,78
Açık mavi	0,76	0,77
(Gri renklere değişmiyor)		

Yani bir yüzey koyu renkli ise günışığı altında da, normal lamba ışıkları altında da koyu renkli, açık renkli ise açık renklidir.

Oysa ince sesler ile kalın sesler arasındaki çok büyük frekans farkı, bunların, kimi fizik özelliklerini büyük oranda değiştirir. Özellikle değişik gereçlerin (*malzemelerin*) yutma çarpanlarında frekansa göre büyük farklılıklar görülür. Bu farklılıklar sesin yutulma süreçleri düşünüldüğünde kolayca anlaşılır. Burada kuramsal açıklamalar yerine tanınmış bir kaç firmanın asma tavan gereçlerinin ve normal mimari kullanımda yer alan kimi gereçlerin yutma çarpanlarının frekansa göre nasıl değiştiğini gösteren örnekler daha uyarıcı olacaktır.

Frekanslara Göre Yutma Çarpanları						
	125	250	500	1000	2000	4000
ARMSTRONG, Soundsoak Classic	0,07	0,37	0,62	0,70	0,71	0,68
ARMSTRONG, Cirrus	0,18	0,30	0,43	0,61	0,76	0,85
DONN, Novatone Olympia	0,25	0,15	0,15	0,10	0,10	0,05
DONN, Aurotone FC Athena	0,30	0,40	0,55	0,85	0,95	0,90
KNAUF, D112-4.1b	0,11	0,28	0,63	0,83	0,69	0,48
KNAUF, D112-9.2b	0,37	0,45	0,56	0,40	0,20	0,05
GEMA, L424 (Metal)	0,22	0,75	0,86	0,85	0,99	0,98
GEMA, L312 (Metal)	0,20	0,60	0,72	0,70	0,87	0,82
HERAKLITH, Herakustik F 25 mm	0,04	0,10	0,38	0,73	0,53	0,80
HERAKLITH, Herakustik G 50 mm	0,10	0,38	0,83	0,55	0,89	0,92
Asbestli püskürtme sıva, 15 mm	0,08	0,15	0,31	0,50	0,61	0,71
Cam yünlü karışık sıva, 10 mm	0,02	0,07	0,40	0,68	0,68	0,75
Döşeme üzerine 5 mm halı	0,04	0,04	0,15	0,29	0,52	0,59
Döşeme üzerine 5 mm keçe + 5 mm halı	0,07	0,21	0,57	0,68	0,81	0,72
50 mm lata üzerinde 6 mm kontrplak	0,63	0,42	0,35	0,12	0,08	0,08
Kalın ve çok plili kumaş perde	0,10	0,30	0,50	0,65	0,80	0,90
Kalın büyük camlar	0,18	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02
Normal boyutta pencere camları	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04

Yukarıdaki yutma çarpanlarının frekansa göre değişme oranları, yüzeylerin ışığı yansıtma oranlarındaki farklılıklarla karşılaştırılırsa, birinin kolaylıkla ötekinin yüz katı olabildiği görülür. Yani, daha açık bir anlatımla, bir yüzeyden yansıyan (*dolayısı ile o yüzeyde yutulan*) ışık, pratikte karşılaşılan akkor lamba ve kapalı gök ışığı gibi, birbirine oldukça uzak ışık renklerine göre ancak % 10 azalmakta ya da artmakta iken, yine pratikte her zaman rastlanan ve her kulağın algılayabildiği, frekansı 125~4.000 Hz arası olan seslerde, gereçlerde yutulan (*dolayısı ile yansımayan*) ses 10~15 hatta 20 katına çıkabilmekte ya da 10~15 ya da 20 de birine inebilmektedir. Bu da, bir gerecin, örneğin halının, pencere camının, perdenin ya da herhangi bir duvar kaplaması, herhangi bir asma tavan levhasının belli frekanslar için önemli bir yutucu, belli frekanslar için ise güçlü bir yansıtıcı olabileceği anlamına gelir.

Özetlemek gerekirse, “akustik tavan”, “ses yutucu malzeme” gibi toptan niteleyici kavramların gerek iç mekân akustiğinde, gerek iç mekanda oluşan gürültülerin denetiminde bilimsel bakımdan pek bir anlamı yoktur. Bu gibi gereçler 125 Hz'den 4.000 Hz'e altı frekanstaki yutma çarpanları ile nitelenmeli ve kullanılış alanları ona göre belirlenmelidir. Yani, önce azaltılacak gürültünün spektral analizi yapılmalı, hangi frekansların daha fazla yutulması gerektiği anlaşılmalı ve kullanılacak gereç buna göre seçilmelidir.

Kaldı ki akustik tavan ya da ses yutucu malzeme diye adlandırılan gereçlerin pek büyük bir çoğunluğu, yalnızca yüksek frekanslarda etkilidir. Yutma çarpanları bu frekanslarda yüksektir. Yani yalnızca ince sesleri yutarlar. Oysa yüksek frekanslı sesler zaten çok büyük oranda havada yutulur. Sesin, frekansa göre havada yutulma oranları 1/m cinsinden şöyledir.

125	250	500	1000	2000	4000	[Hz]
0.00	0.00	0.00	0.03	0.07	0.21	[1/m]

Normal giysili, çocuk, büyük, ayakta ya da oturmuş insanların da yutma çarpanları, yüksek frekanslarda, alçak frekanslardakilerin yaklaşık iki katıdır. Halı, perde, vb. şeylerin yutma çarpanlarının da, yüksek frekanslarda, alçak frekanslara göre çok daha yüksek olduğu düşünülürse, iç mekânda oluşan gürültülerin denetiminde ve iç mekân akustiğinde esas problemin, alçak frekansların yutulması olduğu anlaşılır. Bu problem de ince lambriler, kenarlarından tutturulmuş cam ya da metal levhalar, ince asma tavan kaplamaları, yani titreşebilen levha türünden gereçlerle çözülebilir.

SES YALITIMINDA FREKANS

Yukarıda değinildiği gibi, ses yalıtımında, ses geçiş kaybını veren formüller kullanılır. Titiz bir hesapta, ses geçiş kaybını frekansa göre veren formüllerin kullanılması gerekir. Bu formüllere bakıldığında, ses geçiş kaybının, sesin geçtiği bölmenin birim yüzey ağırlığının (kg/m^2) ondalık logaritması yanısıra yükselen frekansla da arttığı görülür. Burada da yine asıl önemli olan alçak frekanslardaki ses geçiş kayıplarıdır.

SONUÇ

Başta da değinildiği gibi, bu yazıda, açıklanmasının belli bir öncelik taşıdığı düşünülen bir kaç konu ele alındı. Aslında, akustik önlemler, çok kapsamlı bir bütün oluşturur. Her özel konuya bu bütünlük içinde yaklaşmak gerekir. Bu nedenle akustikte başarı kolay değildir.

Öte yandan, akustik önlemler, genelde önemli harcamalar gerektirir. Başarı ile sonuçlanmayan uygulamalara harcanan para genelde ikinci bir kez harcanamaz ve sonuç sineye çekilir. Bunun pek çok örneği görülmüştür. Başarısız, yani isteneni vermeyen bir sonuç, bu açıkca dile getirilmese bile, uzun vadede, kullanılan malzemenin üretici ya da pazarlayıcılarına da zarar verir. Yukarıdaki açıklamalar, bu konuda, hiç olmazsa büyük yanlışların önlenmesini amaçlamaktadır.

Prof. Şazi SİREL

Ekim 2000