

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

4685

ASMA TAVANLARIN AKUSTİK YÖNDEN İNCELENMESİ

Mimar Gülser MÜTEVELLİOĞLU

F.B.E.Mimarlık Anabilim Dalı
Yapı Fiziği Programında hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Müjgan ŞEREFHANOĞLU

İSTANBUL, 1995

YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
TANTASYON MERKEZİ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
TEŞEKKÜR	iii
ÖZET	iv
SUMMARY	v
GİRİŞ	1
BÖLÜM 1. ASMA TAVANLARDA KULLANILAN GEREÇLER ve AKUSTİK YÖNDEN ETKİNLİKLERİ	2
1.1. ASMA TAVANLARDA KULLANILAN GEREÇLER	2
1.2. ASMA TAVANLARDA SESİN YUTULMASI	3
1.2.1. Yutuculuğu Etkileyen Etkenler ve Gereç Seçimi	3
1.2.2. Sesin yutulma şekilleri	5
1.2.2.1. Gözenekli gereçlerde Sesin Yutulması	5
1.2.2.2. Titreşen Levhalarda Sesin Yutulması	13
1.2.2.3. Delikli Levha Yutucular	19
1.2.2.4. Birim Yutucu Öğeler	22
1.2.3. Ses Yutma Çarpanları	23
1.3. SES YUTUCU GEREÇLERİN TESPİT BİÇİMİ	24
1.3.1. Asma Tavan Askı Sistemleri	24
BÖLÜM 2. ASMA TAVANLARIN HACİM AKUSTİĞİ YÖNÜNDEN ETKİNLİĞİ	26
2.1. YANSIŞIM SÜRESİ	26
2.1.1. Toplam Yutuculuk - Asma Tavan İlişkisi	27
2.2. ASMA TAVAN YÜZEYİNDE SESLE İLGİLİ OLAYLAR	28
2.2.1. Asma Tavanlarda Sesin Yansıması	28
2.2.1.1. Düzgün Yansıma	28
2.2.1.1. Yayınık Yansıma	30
2.2.2. Asma Tavanlarda Sesin Kırınması	32

	Sayfa
2.3. DOĞRULTULU YANSIMA - ASMA TAVAN	34
2.3.1. Düz Yansıtıcı Yüzey	34
2.3.2. İçbükey Yansıtıcı Yüzey	35
2.3.3. Dışbükey Yansıtıcı Yüzey	35
2.4. İLK YANSIMALAR	36
2.4.1. Yankı ve Asma Tavan	37
2.4.2. Ses Uzaması ve Etkisi	39
2.4.2.1. Işın Diyagramları	40
2.4.2.2. Işın Diyagramları Yöntemi ile Asma Tavan Etüdü	42
BÖLÜM 3. ASMA TAVANLARIN GÜRÜLTÜ DENETİMİNDE ETKİNLİĞİ	50
3.1. HACİMDE SES (gürültü) DÜZEYİ	50
3.1.1. Ses Kaynağının Hacmin Dışında Olması	50
3.1.2. Ses Kaynağının Hacmin İçinde Olması	52
3.1.3. Değişik Amaçlı Hacimlerin Gürültü Denetiminde Asma Tavanlar	55
3.2. ASMA TAVANLARDA SESİN GEÇMESİ	61
3.2.1. Sesin Düşeyde Cidar Titreşimi ile geçmesi - Asma Tavan İlişkisi	61
3.2.1.1. Havada Doğan Seslerin Geçmesinden Asma Tavan	62
3.2.1.2. Katıda Doğan Seslerin (Darbe Gürültüsü) Geçmesinden Asma Tavan	65
3.2.2. Sesin Dolaylı Geçmesi - Asma Tavan İlişkisi	70
3.2.2.1. Sesin Düşeyde Dolaylı geçmesi - Asma Tavan	71
3.2.2.2. Sesin Yatayda Dolaylı geçmesi - Asma Tavan	71
SONUÇ	74
YARARLANILAN KAYNAKLAR	76
ÖZGEÇMİŞ	77

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarımda, bilgi ve deneyimlerinden yararlanma olanağı sağlayan, tez danıőmanım Prof.Müjgan ŞEREFHANOĞLU'na ve eğitimim boyunca her türlü desteklerinden dolayı aileme teşekkür ederim.

Őubat 1995

Gölser Mütevellioğlu



ÖZET

Bu çalışmada, asma tavanlar, mimari akustiğin hem gürültü denetimi hem de hacim akustiği konuları için önemli olduğundan, incelemeler bu iki konuda yapılmıştır.

Çalışma 3 bölümden oluşmuştur.

1. bölümde; Asma tavan gereçleri ve bu gereçlerin akustik yönden etkinliği incelenmiştir.

2. bölümde; Asma tavanlar hacim akustiği yönünden; hacmin yansıma süresinin belirlenmesi, doğrultulu yansımalar ve özellikle ilk yansımalarla dolaysız sesin yeglinliğinin arttırılmasındaki etkileri, ayrıca asma tavan elemanlarının yüzey dokuları ve boyutları ile ilgili sessel olaylar incelenmiştir.

3. bölümde; Yapı içi gürültülerinin yapı ile ilgili denetiminde asma tavanların etkileri incelenmiştir. Asma tavanların; hacmin toplam yutuculuğunun arttırılması dolayısıyla yansımış ses düzeyinin azaltılması ve sesin geçmesinin en aza indirilmesi için düşeyde ve yatayda sesgeçirmezliğin arttırılması üzerindeki etkileri anlatılmıştır.

SUMMARY

In this study, as suspended ceilings are important for the noise control and auditorium acoustic subjects, examinations are made for these two subjects.

The study consists of 3 chapters.

1st chapter deals with suspended ceiling materials and acoustical efficiency of these.

2nd chapter deals with determination of reverberation time of the volume with regard to auditorium acoustics, directed reflections particularly, affects of increasing direct sound intensity by means of first reflections, surface structures and dimensions of suspended ceiling components and sound phenomena.

3rd chapter deals with the affects of suspended ceilings in the control of the internal noises of the building. It also examines effectiveness of the suspended ceiling to the increase in the total absorption of volume and so to the decrease of the level of reflected sound and to the increase of soundproof at horizontal and vertical for minimized sound passing level.

GİRİŞ

İnsanlar, yapılarda yaşantı ve eylemlerinin çok önemli ve uzun bir bölümünü geçirirler. Bu nedenle de yapıların mimarisinin işlevsel ve görsel açıdan mükemmel çözülmüş olması konfor koşulları için yeterli değildir. Çünkü bu çözümler, insanların içinde buldukları eylem ya da eylemsizlik durumuna en uygun fizik ortamın oluşturulmasının koşulu değildir. Uygun fizik ortamın oluşturulmasında hacmin işlevi ve bu işleve bağlı olarak kişilerin fizyolojik ve psikolojik açılarından gereksinimleri önem taşır. Bu gereksinmelere cevap veren ortamlar konfor koşullarının getirilmesini olanaklı kılar.

Yapı ve mekânların kullanım amacına göre, insanların içinde buldukları duruma en uygun ortamın sağlanmasına yani konfor koşullarının oluşturulmasına, 21.yüzyıla girerken, tüm gelişmiş ülkelerde olduğu gibi bir gereksinim gözü ile bakılmalıdır.

Bir mekânda, uygun fizik ortamı oluşturmak için, hacimde ve yakın çevresinde alınması gereken önlemler ve yapılması gereken düzenlemeler vardır. Asma tavanların bu anlayış içinde incelenmesi ve değerlendirilmesi gerekmektedir.

Asma tavanlar, diğer yapı fiziği öğelerinin yanı sıra, akustik açıdan da değerlendirilmelidir. Asma tavanların akustik açıdan iki amaçlı olarak kullanımı söz konusudur. Bunlardan birincisi Hacim Akustiği, ikincisi ise Gürültü Denetimidir. Bu çalışmanın içeriğinde bu iki konu ele alınmıştır.

BÖLÜM 1: ASMA TAVANLARDA KULLANILAN GEREÇLER VE AKUSTİK YÖNDEN ETKİNLİKLERİ

Asma tavanlar, gelişen teknoloji ile birlikte pek çok sorunun çözümüne olanak sağlamaya son derece elverişli yapı elemanlarıdır. Hacimde uygun fizik ortamın oluşturulmasına asma tavanlar oldukça yardımcı olurlar. Döşem (tesisat) gereksinimi olan; ısıtma, soğutma, havalandırma, aydınlatma, seslendirme, yangın önlemleri gibi konuların çözümünü kendi yapısında toplayan asma tavanlar aracılığıyla konfor koşullarının büyük bir bölümü karşılanabilmektedir. Ayrıca, asma tavanlar iç mimari görünüşte de olumlu etkilerin yaratılmasında önemli öğelerdir. Öte yandan, döşem gereksinimi olmayan, ancak en az öteki fizik ortam konuları kadar –hatta kimi zaman onlardan daha fazla– önem taşıyan akustikle ilgili pek çok sorun da asma tavanlardan yararlanılarak çözülebilmektedir.

1.1. ASMA TAVANLARDA KULLANILAN GEREÇLER

Bir hacimde kullanılan her gereç, akustik yönden olumlu ya da olumsuz bir etki gösterir. Söz konusu etkinin olumlu olmasının sağlanması ise, konu ile ilgili incelemelerin yapılmasına ve uygulamada gereken özenin gösterilmesine bağlıdır.

Asma tavan için gereç seçiminin, Gürültü Denetimi ve/ya da Hacim Akustiğinin ihtiyaçlarına göre uygun nicelik ve nitelikte olması hacmin işitsel konfor koşullarının olumlu yönde etkilenmesinde etkin rolü vardır.

Asma tavanlarda kullanılan gereçler oldukça çeşitlidir. Bunları,

1- Alçı

- Alçı döküm tavan
- Kartonlu alçı levha
- Akustik alçı levha

- 2- Metal
 - Alüminyum levha ya da lamel
 - Çelik levha ya da lamel
- 3- Ahşap kökenli (organik) gereçler
 - Kontrplak, sunta, vb.
 - Ahşap lif levhalar
- 4- Mineral kökenli (inorganik) gereçler
 - Taş yünü
 - Cam yünü
- 5- Plastik ve plastik esaslı gereçler
 - Pleksiglas
- 6- Kumaş

şeklinde gruplayabiliriz.

1.2. ASMA TAVANLARDA SESİN YUTULMASI

Sesin yutulması ses erkesinin başka bir erkeye dönüşmesi ile oluşur. Genellikle ses ısı erkesine dönüşür. Asma tavanlarda kullanılan gereçlerin frekanslara göre ses yutma çarpanları önem taşır. Yapı gereçlerinin ses yutma çarpanları 0.01-0.99 arasında değişir. Yüksek ses yutma çarpanlarına sahip olan gereçler (0.20'den daha büyük) "ses yutucu gereç" olarak adlandırılır. Düşük olanlar ise "ses yansıtıcı" özelliğindedir (Egan, 1988).

1.2.1. Yutuculuğu Etkileyen Etkenler ve Gereç Seçimi

Yutuculuğu etkileyen etkenler:

- **FREKANS;** Gereçlerin yutma çarpanları frekanslara göre değişiklik gösterir.
- **KALINLIK;** Aynı gereçten yapılmış çeşitli kalınlıktaki levhaların yutma çarpanları farklıdır.
- **BAĞLAYICI MADDE;** Gereç çeşitleri ve içerdikleri bağlayıcı maddeler yutuculuk üzerinde rol oynar.
- **YOĞUNLUK;** Özellikle lifli gereçlerin yoğunluğu yutuculuk üzerinde etkilidir. Örneğin; 2 cm kalınlıkta bir lifli gereç, yoğunluğu azaltılarak 4 cm'ye ya da

yoğunluk daha da artırılarak 1 cm kalınlığa kadar getirilirse yutma çarpanlarında büyük farklar olur.

- YÜZEYİN PÜRÜZLÜLÜĞÜ; Gereçlerin üzerindeki delik ve pürüzler sesin yutulmasını artırıcı rol oynar.
- YÜZEYDEKİ DELİKLER; Akustik gereçlerin yüzeyine, içeriye doğru delikler açılması sadece yutucu yüzeyi büyütmeyle kalmayıp ek olarak yutuculuk özelliğinin artmasını sağlar.
- BOYA; Yutucu gereçlerde sesin yutulma biçimine göre boyanın değişik etkileri vardır. Küçük delikli lifli gereçler boyadan dolayı yutuculuk özelliklerini büyük ölçüde kaybeder. Fırça ile sürülme yerine püskürtme boya yutuculuğa daha az zarar verir.

Gereç Seçimi:

Ses yutucu gereçlerin seçiminde ve kullanımında göz önünde bulundurulması gerekli noktalar vardır. Bunlar;

- Ses yutma çarpanlarının frekanslara göre dağılımı
- Dış görünüş (boyut, kenar, bağlantı, renk, doku)
- Yangına karşı dayanıklılık
- Tespit giderleri
- Tespit kolaylığı
- Dayanıklılık (darbelere, mekanik bozulmalara ve aşınmaya)
- Işık yansıtıcılığı
- Bakım, temizleme, ses yutucu gerecin yeniden kullanımı, bakım giderleri
- Kullanma koşulları (ısı, tespit sırasındaki nem olayı)
- Hacim elemanları ile uyum
- Kalınlık ve ağırlık
- Neme ve yoğuşmaya dayanıklılık
- Isı yalıtım değeri
- Haşarat, mantar, küfe karşı korunma
- Sökülebilirlik
- Uygun ses yalıtımı

şeklinde sıralanabilir.

1.2.2. Sesin Yutulma Şekilleri

Asma tavanlarda kullanılan gereçlerde sesin yutulması başlıca iki ayrı süreçte olur. Birbirinden bazı temel farklar gösteren bu yutulma şekillerini;

- Gözenekli gereçlerde yutulma,
- Titreşen levhalarda yutulma

şeklinde gruplayabiliriz. Ayrıca, akustik yönden hem gözenekli gereç hem de titreşen levha özelliği gösteren;

- Delikli levha rezonatörler,
- Birim yutucu öğeler

de asma tavanlarda kullanılır.

1.2.2.1. Gözenekli Gereçlerde Sesin Yutulması

Organik ya da inorganik olup içinde pek çok sayıda kılcal borular, delikler ve ince aralıklar bulunan yüzeylerdir. Asma tavanlarda kullanılan ahşap lif levhalar, mineral yünü levhalar ve kumaş türü gereçlerin temel akustik özelliği, yanyana dizilmiş gözeneklerin sesi yutmasıdır.

Bir gerecin yüzeyine gelen ses titreşimleri kılcal borular ve aralıkların içindeki havayı titreşime sokarlar, yeni ses titreşimleri gözeneklerin içine girerler. Burdan da titreşen hava molekülleri havanın viskozitesi ve çeperlere sürtünme nedeniyle ses erkesinin az ya da çok bir bölümünün doğrudan ısı erkesine dönüşmesine yol açarlar (Sirel, 1980).

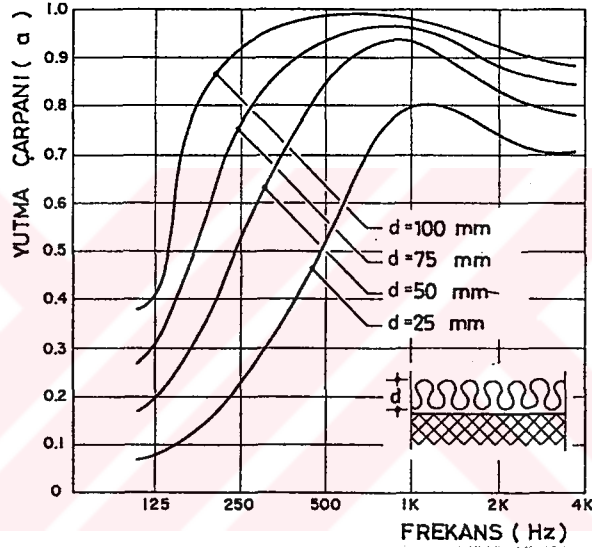
Gözenekli tabakaların üretimi için çeşitli lif tipleri uygundur. Bu lifler doğrudan doğruya yumuşak hasır örgü gibi kullanıldığı gibi, bağlayıcı bir malzemenin ilavesiyle levhalar şeklinde sıkıştırılabilir. Tablo 1.1'deki gruplar bazı tipik örnekleri içermektedir.

Bağlayıcı gereç ile sıkıştırılmış lif levhalar geniş bir frekans dizisi üzerinde yutuculuk sağlarlar. Frekanslara göre gerekli yutma çarpanları, gerecin uygun kalınlık ve yoğunlukta seçimi ile mümkün olur.

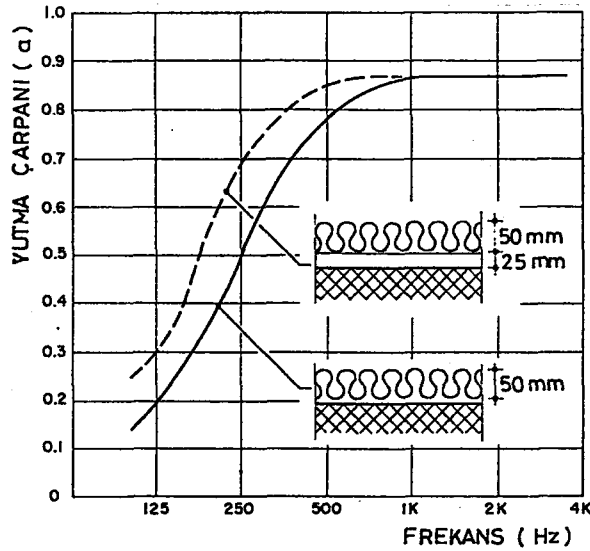
Tablo 1.1. Lif Tipleri ve Uygulamaları

LİFİN TİPİ	UYGULAMASI
<ul style="list-style-type: none">• Tekstil (pamuk, yün, ipek)• Bitkiler (hindistan cevizi, sisal keneviri, hint keneviri)• Cam, amyant	Yumuşak Hasır Örgü
<ul style="list-style-type: none">• Ahşap (elyaf, talaş), selüloz• cam, asbest, amyant	Bağlayıcı gereç ile üzeri püskürtülmüş tabaka
<ul style="list-style-type: none">• Asbest, cam	Bağlayıcı gereç ile üzeri püskürtülmüş tabaka

Şekil 1.1 ve 1.2'deki grafiklerde gözenekli gereçlerin aşağıdaki özellikleri gösteriliyor (Doelle, 1972).



Şekil 1.1. Gözenekli gereçin kalınlıkla artan ses yutma çarpanları



Şekil 1.2. Gözenekli gerecin arkasında hava tabakası bulunması halinde artan ses yutma çarpanları

- Gözenekli gereçlerin ses yutma çarpanları alçak frekanslara oranla yüksek frekanslarda fazladır.
- Alçak frekanslarda, gözenekli gerecin kalınlığının artması ve arkalarında hava tabakasının bulunması yutuculuğun artmasına neden olur. Fakat bu kalınlık artımı 500 Hz'e kadar iyi sonuçlar verir, daha yüksek frekanslar için yarar sağlamaz. Bu nedenle gözenekli gereçler yüksek frekanslardaki seslerin yutulmasında kullanılır.

Gözenekli gereçler 3 gruba ayrılır:

- Prefabrik akustik birimler,
- Akustik sıvalar ve spreyci gereçler,
- Akustik yalıtım örtüleri.

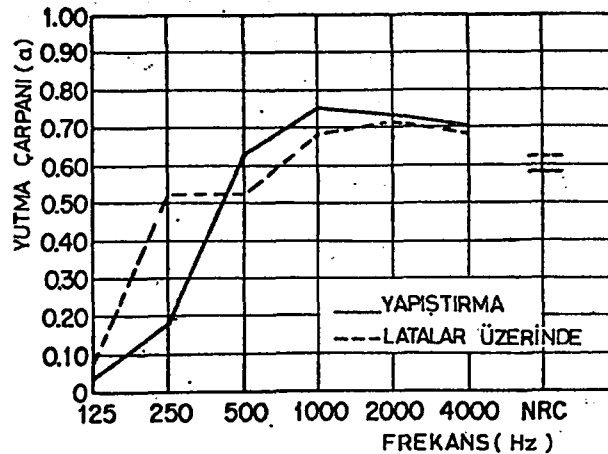
PREFABRİKE AKUSTİK BİRİMLER

Değişik tipte delikli, deliksiz, kanallı ya da dokulu ahşap ve mineral lif elemanları ve ses yutucu gereçli delikli metal panolar bu grubun tipik birimleridir.

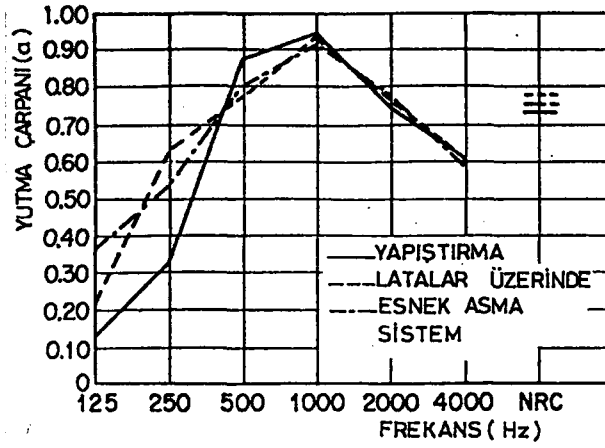
• AHŞAP LİF LEVHALAR

Odunlaşmış liflerin katkı maddeli ya da maddesiz bir bağlayıcı ile karıştırılıp, yapıştırılması ile levha haline getirilir. Odunlaşmış lifler, bitkilerin odunlaşmış kısımlarından mekanik ya da kimyasal olarak elde edilmiş selüloz lif ya da lif gruplarıdır. Yapıştırıcı olarak organik ya da inorganik gereçler kullanılır.

Hafif, gözenekli ahşap lifi levhaların özgül ağırlıklı 230-400 kg/m³ arasındadır.



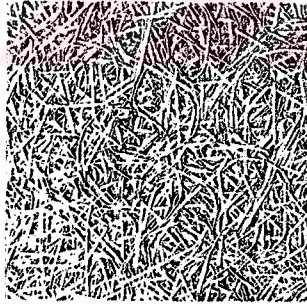
Şekil 1.3. 1.25 cm kalınlıkta, düzenli aralarla delinmiş ahşap lif levhanın ortalama ses yutma çarpanları



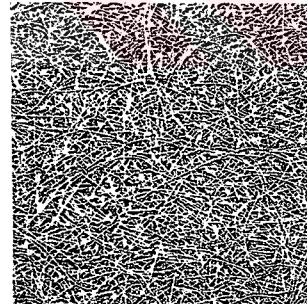
Şekil 1.4. 2.50 cm kalınlıkta, düzenli aralarla delinmiş ahşap lif levhanın ortalama ses yutma çarpanları

Şekil 1.3. ve 1.4'teki grafiklerde de görüldüğü gibi ahşap lif levhaların kalınlığı arttırıldığında ya da levha, asma sistemde kullanıldığında alçak frekanslar için yutma çarpanı değerleri artıyor (Harris, 1957).

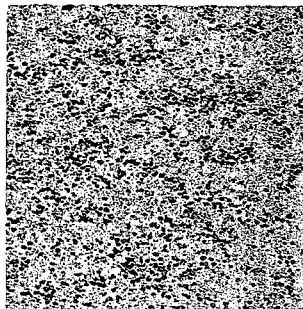
Aşağıda; Şekil 1.5'te değişik yüzey dokulu ahşap lif levha örnekleri, Tablo 1.2'de ise bu levhaların asma tavanda kullanılması halinde ses yutma çarpanları verilmiştir (Heraklith).



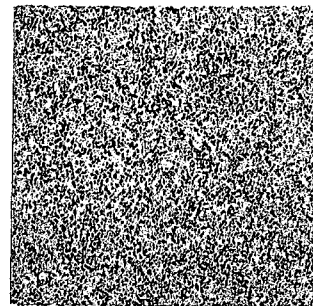
• Kalın lifli ahşap yünü levha



• İnce lifli ahşap yünü levha



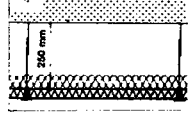
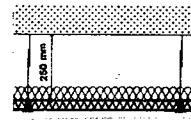
• Kalın gözenekli ahşap yünü levha



• İnce gözenekli ahşap yünü levha

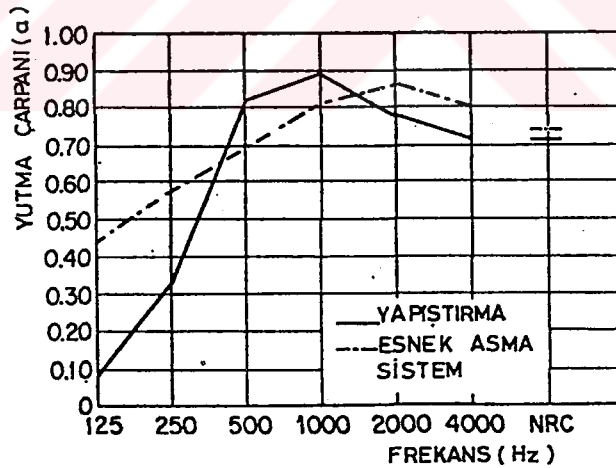
Şekil 1.5

Tablo 1.2. Ahşap Lif Tiplerine Göre Levhaların Yutma Çarpanları

GEREÇ ve UYGULAMA	125	250	500	1000	2000	4000
 25 mm ince lifli ahşap yünü levha + 200 mm hava tabakası + 50 mm gözenekli gereç	0.50	0.78	0.89	0.91	0.92	0.84
 25 mm kalın gözenekli levha + 200 mm hava tabakası + 50 mm gözenekli gereç	0.39	0.68	0.53	0.53	0.51	0.54

MİNERAL KÖKENLİ (İNORGANİK) LİF LEVHALAR

- Taş yünü levha
- Cam yünü levha
- TAŞ YÜNÜ ASMA TAVAN LEVHALARI ($300-400 \text{ kg/m}^3$); Genellikle bozuk magmatik taş kalkerli hammaddelerden elde edilen liflerin fenolik reçine ile bağlanması ve prese edilmesi yöntemi ile üretilen, $60 \times 60 \text{ cm}$ ya da $60 \times 120 \text{ cm}$ boyutlarında akustik levhalardır.



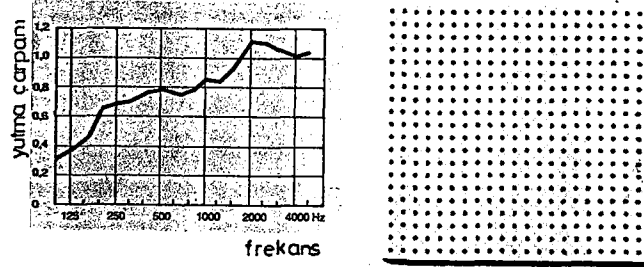
Şekil 1.6. 2 cm kalınlıkta, yüzeyi çizikli mineral lif levha yutma çarpanları (Harris, 1957)

Taş yünü levhaların organik bağlayıcı miktarı az olduğu için DIN 4102 normlarına göre yanıcı değildir ve orjinal taşın neme dayanıklılık özelliğine sahiptirler.

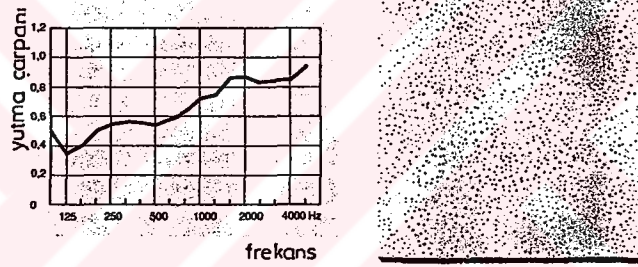
Taş yünü asma tavan levhalarının yüzey dokuları oldukça çeşitlidir. Düz, delikli, pürüzlü, kanal şeklinde delinmiş, vb. yüzey dokuları vardır. Bu farklı yüzey dokulu taş yünü levhaların frekanslara göre yutma çarpanları da değişir.

Taş yünü asma tavan levhalarının bu özellikleri nedeniyle çok geniş kullanım alanları vardır.

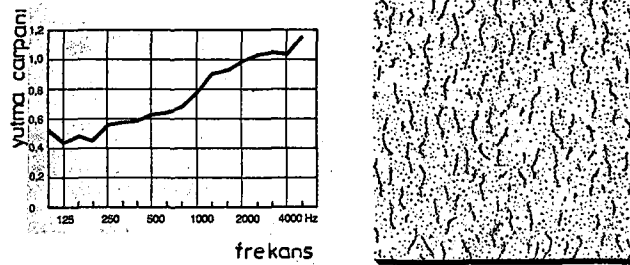
Aşağıda, Şekil 1.7'de değişik yüzey dokulu taşıyıcı asma tavan levhaları ve frekanslara göre yutma çarpanları verilmiştir (Owacoustic).



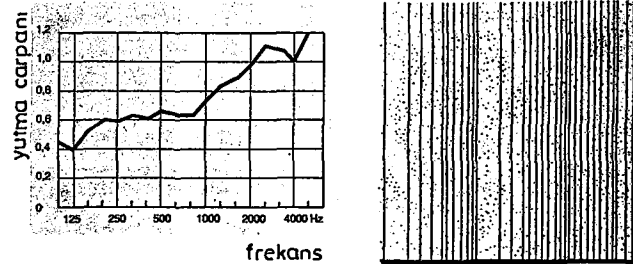
- Eşit aralıklarla delikli bir yüzey, delik aralıkları 12.5 mm, delik çapları 4 mm



- Düz bir yüzey, üzeri geliş-güzel delinmiş



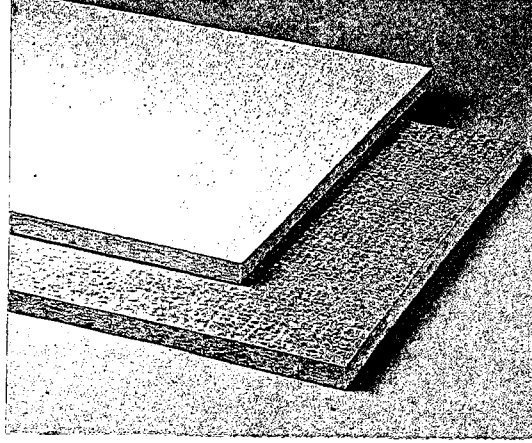
- Derin pürüzlü, yüzeyi delinmiş plaklar



- Yüzey düzensiz aralarla izli ve çok ince delinmiş

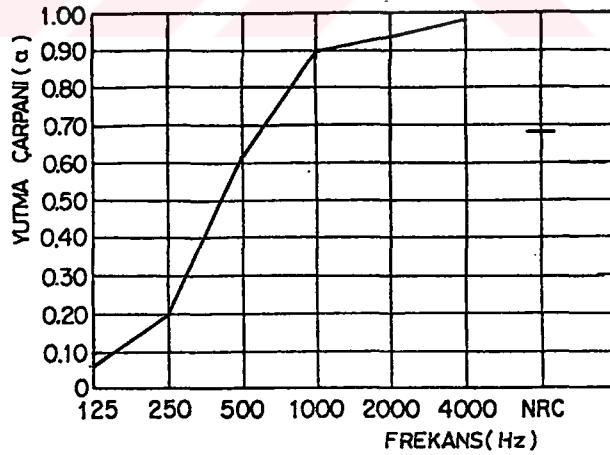
Şekil 1.7

- CAM YÜNÜ ASMA TAVAN LEVHASI (50 kg/m^3); Sert cam yünü levhaların bir yüzeyi, ince zar bir gereçle (PVC ya da cam tülü) kaplanarak üretilir. Levhaların boyutları genel olarak $60 \times 120 \times 2.5 \text{ cm}$ 'dir.



Şekil 1.8. Üzeri PVC ya da cam tülü kaplı, cam yünü levha

Cam yalıtım gereci olarak çapları mikron boyutunda olan ince lifler haline getirilerek kullanılır. Cam yünü levha ve cam yünü şilte olarak üretilmektedir. Yoğunluğu daha az olan ($\sim 17 \text{ kg/m}^3$) cam yünü şilteler metal, ahşap, alçı vb. asma tavanların üzerinde kullanılmaktadır.



Şekil 1.9. 2.5 cm kalınlıkta, 50 kg/m^3 yoğunlukta, cam yünü asma tavan levha ses yutma çarpınları

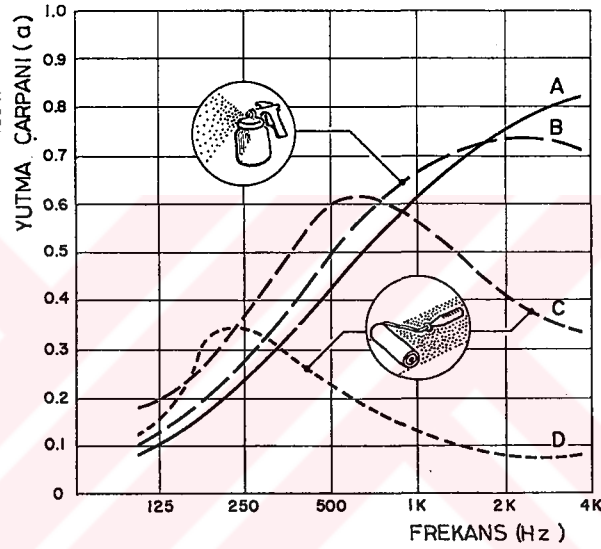
Lifli malzemenin ince zar gibi bir gereçle örtülü olması alçak frekanslar için olumlu iken yüksek frekanslarda yutuculuğu azaltır.

Prefabrike akustik birimlerin üretici firmalar tarafından yutuculukları ölçülmüştür. Burada önemli olan, kullanıcıların, gereç seçiminde, firmaların levhalar için verdikleri

yutma çarpanı değerlerinin abartılı ve/ya da doğru olup olmadığı göz önüne alınmalıdır.

AKUSTİK SIVA ve SPREY GEREÇLER

Genellikle gürültünün denetlenmesi gereken hacimlerde bazen de yüzeylerin eğrisel olup, diğer akustik uygulamaların zor olduğu oditoryumlarda kullanılır. Şekil 1.10'daki grafikte bu tür gereçlerin yüzeye püskürtülmesi (B) ya da fırça ile yüzeye sürülmesi (C ve D) durumunda frekanslara göre yutma çarpanları gösterilmektedir (Doelle, 1972).



Şekil 1.10

Titreşen levha özelliği gösteren asma tavan gereçlerinin hacme bakan yüzeylerinin bu tür gereçlerle sıvanması ile, örneğin taşıyıcı kafes sistemi içine serbest olarak yerleştirilmiş kontrplak levhanın yüzeyine uygulandığında hem ince hem de kalın sesleri yutabilen bir detay oluşur.

AKUSTİK YALITIM ÖRTÜLER

Bunlar; taş yünü, cam lifi, ahşap lifi, kıl, keçe vb'den üretilir.

Genellikle yumuşak (yoğunluğu az) ve aşınmaya dayanıksız olduklarından asma tavan elemanı olarak kullanılabilmeleri delikli bir gereç; kumaş, ahşap ya da metal levha ile kaplanmaları ile mümkün olur. Bu durumda, yalnızca öndeki gerecin boşluklarından geçen ses enerjisi gözenekli gerece ulaşabilir ve belirli oranda yutulur.

1.2.2.2. Titreşen Levhalarda Sesin Yutulması

Titreşen levhalar ses yutucu gereçlerin 2. grubunu oluştururlar. Bu gereçlerde de ses erkesi ısı erkesine dönüşmektedir. Bir levhaya gelen ses erkesi levhayı titreştirir. Bu titreşim hareketi sonucu ses erkesi ısı erkesine dönüşür.

Herhangi bir sistem serbest titreşime sokulduğu zaman öz frekansları işitilir. Bu frekanslar, bu sistemlerin ses yutma çarpanlarının maksimum olduğu frekanslardır. Mimari kullanımda, levhalar, boyutları ve gereç cinsleri bakımından, öz frekansları alçak olan parçalardır. Bu nedenle titreşen levhalarda kalın seslerde yutuculuk daha fazladır.

Titreşen bir levhanın öz frekansının hesaplanmasında kullanılan bağıntı, denklem 1.1'de belirtildiği gibidir (Templeton et al, 1987).

$$fr = \frac{60}{\sqrt{md}} \quad 1.1$$

fr = Öz frekans (Hz)

m = Levhanın kitle ağırlığı (kg/m²)

d = Levhanın arkasındaki hava tabakasının derinliği (m)

Titreşen levhaların kullanımında bazı noktaların göz önünde bulundurulması yutuculuğu artıran etkenlerdendir.

- Bir levhanın fazla ses yutabilmesi için kolaylıkla titreşime girebilmesi gerekir, yani levhanın titreşmeye karşı direnci az olmalıdır. Boyutları küçük olan bir levha katı tespit edilmemişse, büyük bir levhanın küçük levhaya eş bir parçasına göre daha kolay titreşecektir. Bu nedenle titreşen levhaların ses yutma çarpanlarını yükseltmek için, bunları ufak parçalara bölmek ve kolay titreşebilir bir şekilde tespit etmek gerekir.
- Levhaların öz frekansları; boyut, kalınlık, yoğunluk, tespit şekli ve arkadaki hava tabakası gibi pek çok etkene bağlıdır. Hacimde düzgün yayılmış bir yutuculuk sağlamak için bunlarda değişiklik yapmak gerekir. Özellikle geniş alanlarda hep aynı boyutta levhalar kullanılmamalı, boyutlar arasında basit ilişkiler olmayan en az iki tip levhadan yararlanılmalıdır. İç mimari tasarımın değişik boyutta levha kullanımına elverişli olmadığı durumlarda levha yutuculuğunda, kalınlığında ya da tespit biçiminde farklılıklar yapılması frekans seçiciliğini ortadan kaldırabilir.

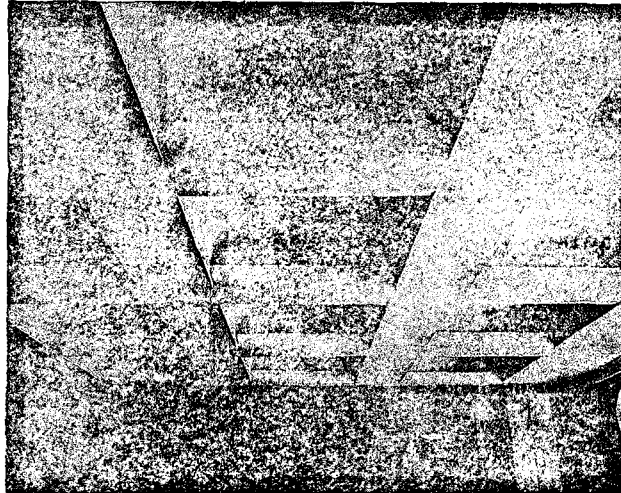
- Titreşen levhalarda yutuculuğu artıran bir etken de titreşen levhanın arkasındaki hava tabakasıdır. Hava tabakası bir cins yay görevi görür ve levha ile birlikte bir esnek sistem oluşturur (mekanikteki kitle + yay sistemi gibi).
- Titreşen levhalarda yay görevi gören sisteme gözenekli bir yalıtım gerecinin katılması, hem frekans seçiciliğini azaltır hem de sistemin yutuculuğunu artırır. Özellikle orta ve yüksek frekanslarda artma görülür (Sirel, 1980).
Asma tavanlarda kullanılan;
 - İnce alçı levhalar,
 - Kontrplak, sunta, vb. levhalar,
 - Metal levha ya da lameller,
 - Pleksiglas vb. plastik levhalar,
 - Sert lif levhalarakustik yönden titreşen levha özelliği gösterirler.

ALÇI ASMA TAVAN (1200 kg/m³)

Alçıtaşı, doğada bulunduğu şekli ve kimyasal adı ile Kalsiyum Sülfat Di Hidrat'tır ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Gereç ocaktan çıktıktan sonra kırılır, kurutulur, ince öğütücülerden geçer ve yapısındaki su buharlaştırılarak pişirilir. Bu malzeme alçı olarak isimlendirilir. Alçı asma tavan sistemlerinde;

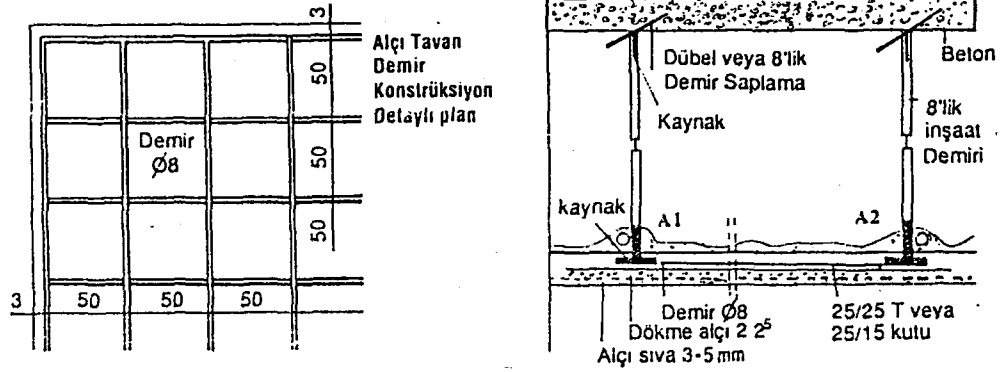
- Alçı döküm tavan,
 - Kartonlu alçı levha
 - Akustik Alçı levha
- şeklinde kullanılmaktadır.

- ALÇI DÖKÜM TAVAN



Şekil 1.11. Alçı döküm tavan

Titreşen levhaların yutuculuğunun artması için, titreşimin fazla olması gerekir. Fakat alçı döküm tavanlarda olduğu gibi levhalar büyük boyutlarda olduğunda ses dalgalarının levhayı titreştirmesi zorlaşır ve sonuçta yutuculuk az olur. Bu nedenle alçı döküm tavanlar ses yansıtıcı özellikler taşırlar.

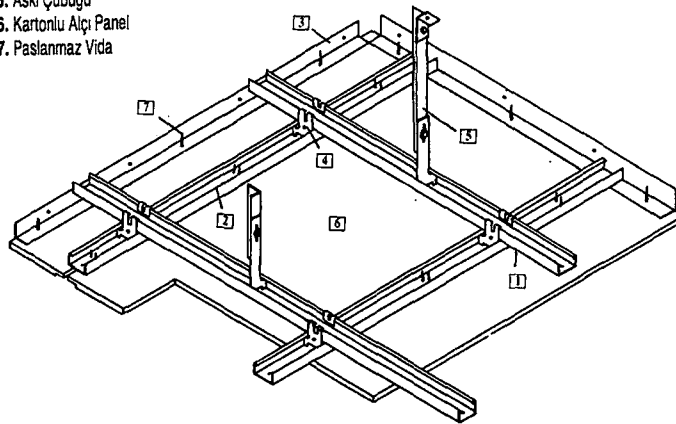


Şekil 1.12. Alçı döküm tavan tespit detayı

Döküm asma tavanın kolay titreşebilir şekilde tespit edilmesi sesin yutulması bakımından olumludur.

- KARTONLU ALÇI LEVHALAR ($750-1000 \text{ kg/m}^3$); Alçı levhalar özel olarak üretilmiş iki kağıt katmanı arasında alçı iç dolgudan oluşmuş yapı ürünleridir. Kartonlu alçı levha iç dolgusu çeşitli kimyasal gereçler ve su ile karıştırılarak elde edilir.

1. Ana Profil
2. Tali Profil
3. Köşebent
4. Klips
5. Aşkı Çubuğu
6. Kartonlu Alçı Panel
7. Paslanmaz Vida

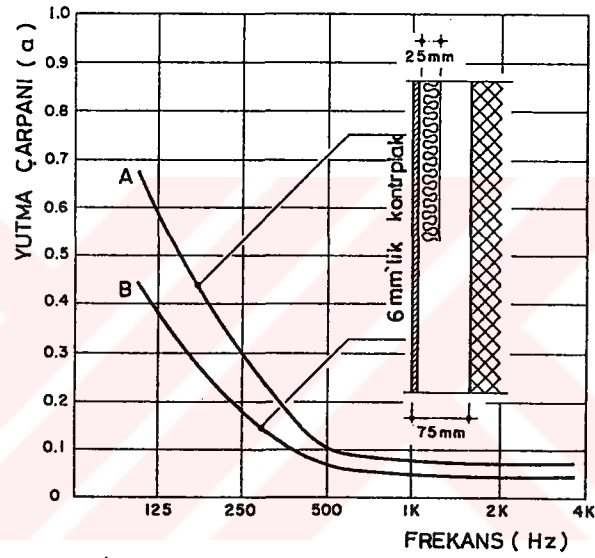


Şekil 1.13. Alçı tavan detayı

Sistem, galvanizli çelikten üretilmiş profil ve askı takımları yardımıyla oluşturulan karkas sisteme alttan kartonlu alçı levhaların vidalanması ile yapılır. Ek yerleri özel bant ya da macunla kapatılarak düzgün bir yüzey elde edilir. Yerinde dökme alçı tavanlara göre çok daha hızlı ve kolay uygulanır.

Kartonlu alçı levhaların boyutları döküm asma tavanlara göre ufak olması kolay titreşebilir şekilde tespit edilmesi alçak frekanslar için yutuculuğu artırır.

KONTRPLAK (500-650 kg/m³), SUNTA, MDF



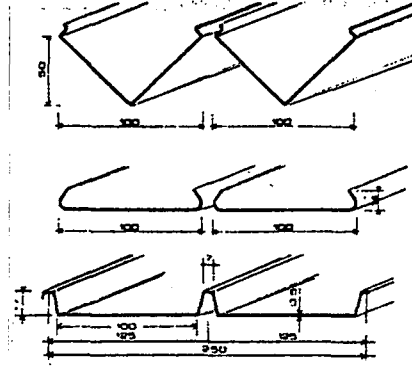
Şekil 1.14

Şekil 1.14'teki grafikte 6 mm'lik kontrplak bir levhanın, arkasında 75 mm hava boşluğu olduğunda, gözenekli gereç olması ya da olmaması durumunda frekanslara göre ses yutma çarpmanları gösterilmektedir. Gözenekli gerecin kullanılması alçak frekanslar için yutuculuğu artırmıştır (Doelle, 1972).

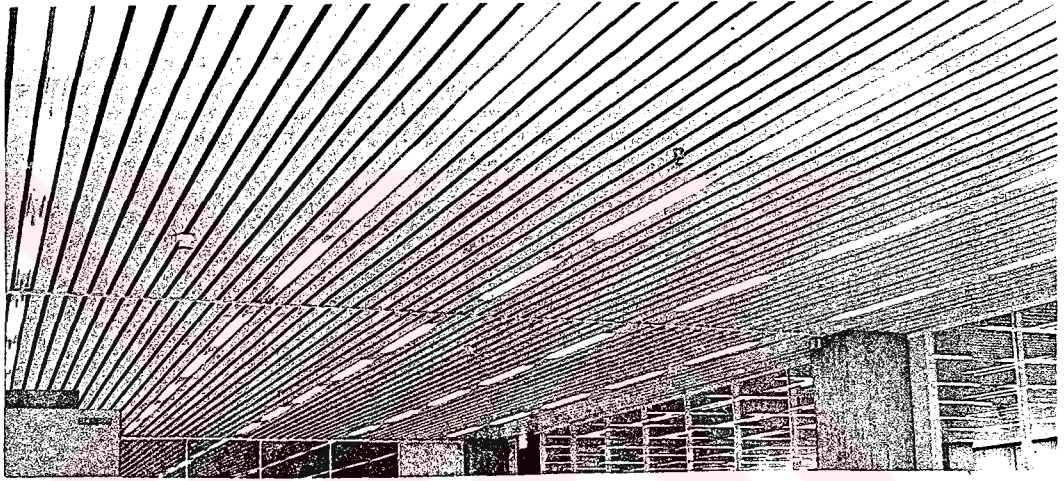
METAL ASMA TAVAN

- Alüminyum (2700 kg/m³)
- Çelik (7800 kg/m³)

Metal asma tavanlar levha ya da lamel şeklinde kullanılabilir. Yüzeyleri düz ya da delikli olabilir.

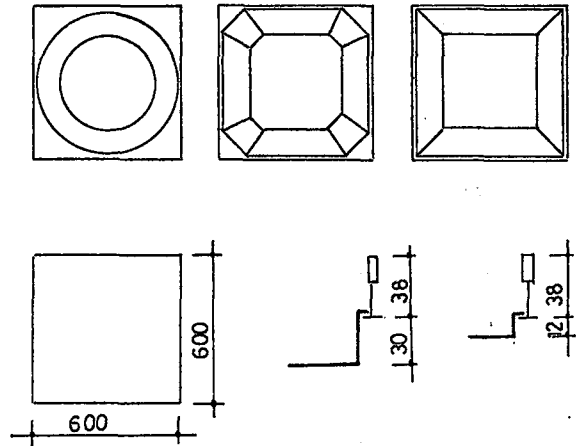
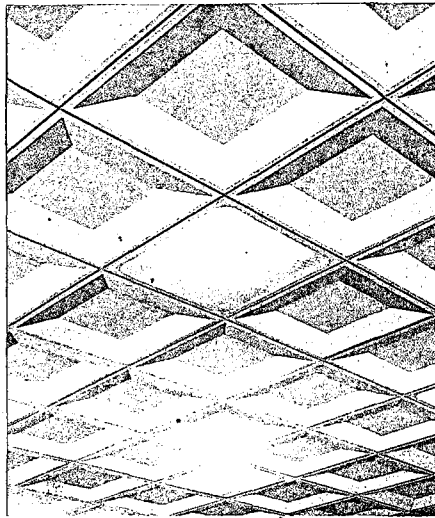


Şekil 1.15. Metal asma tavan profilleri



Şekil 1.16. Lamel şeklinde metal asma tavan uygulaması

Levha şeklinde olan alüminyum ya da çelik esaslı asma tavanlarda değişik yüzey şekilleri olabilir.



Şekil 1.17. Levha şeklinde metal asma tavanlarda değişik yüzey dokularına ait birkaç örnek

Akustik metal levhalar mat parlak, boyalı ya da ayna görümlü olabilirler. Normal nemden etkilenmezler fakat nem oranının % 70 geçtiği ortamlarda levha boyasının alkit/amino/epoksi ile kaplanması gerekir.

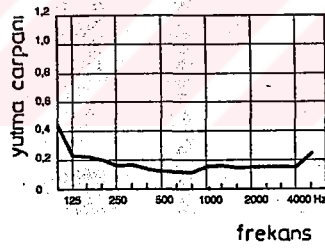
PLEKSİGLAS vb. PLASTİK LEVHALAR

Pleksiglas plastik esaslı bir gereçtir. Asma tavanlarda 3-4-5 mm kalınlıkta kullanılabilirler, yoğunluğu 1200 kg/m^3 'tür. Titreşen levha özelliği gösterirler.

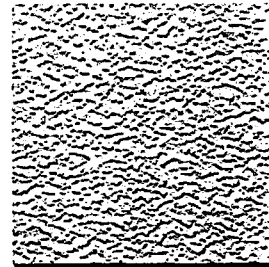
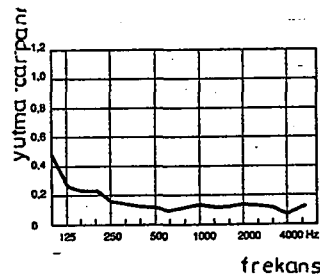
Ayrıca, ışıklı tavanlar oluşturularak hacmin aydınlatmasında kullanılabilirler.

SERT LİF LEVHALAR ($450-750 \text{ kg/m}^3$)

Mineral ya da ahşap liflerin bağlayıcı bir gerecin ilavesiyle levhalar şeklinde sıkıştırılması ile elde edilir. Yüksek derecede sıkıştırılmış bu gereçlerin gözeneklilik özelliği azalır. Bunun sonucunda özellikle yüksek frekanslarda yutma çarpanları küçülür. Titreşen bir levha olarak alçak frekansların yutulmasında kullanılmaları uygun olur.



- Deliksiz, pürüzsüz, sade düz yüzeyli mineral lif levha

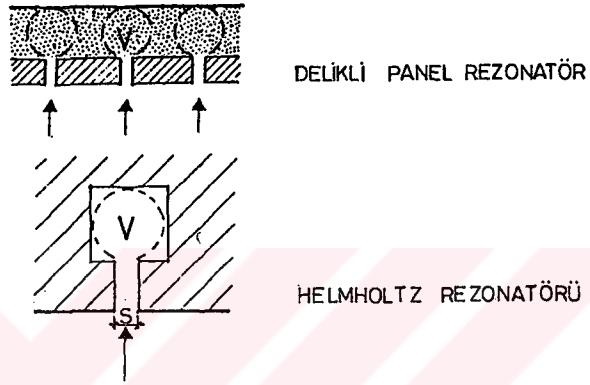


- Hafif pürüzlü, sıva benzeri yüzeyli mineral lif levha

Şekil 1.18. Titreşen levha özelliği gösteren mineral lif levha örnekleri

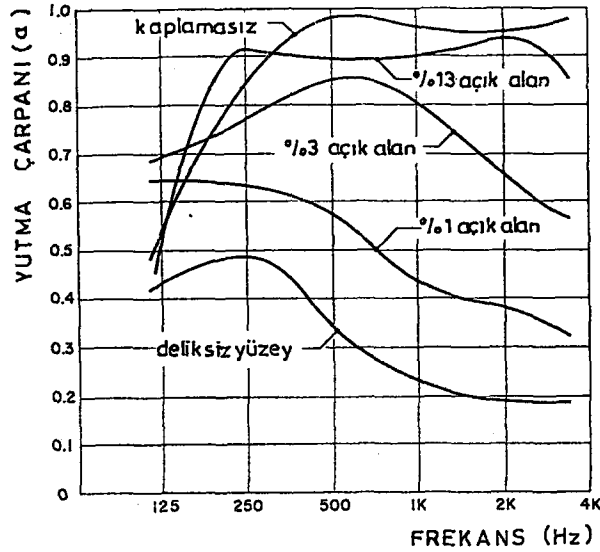
1.2.2.3. Delikli Levha Rezonatörler

Rezonatörler ses yutucu gereçlerin 3. grubunu oluştururlar. Delikli levha rezonatörler, Helmholtz rezonatörlerin yutuculuk ilkesine dayalı olarak uygulamalarda yer alırlar. Levhanın delikli olmasını sağlayan pek çok boyundan oluşur, delikler genellikle daireseel, bazen yarıklar şeklindedir. Rezonatörün bütün hacmini (V), delikler arkasındaki hava boşluğu oluşturur.



Şekil 1.19

Eğer delikli levhanın açık (delikli) alan oranı uygun seçilirse yüksek frekanslarda yutuculuk artar. İnce levhalara oranla kalın levhalarda bu oran artırılmalıdır. Açık (delikli) alan oranı az olması alçak frekanslar için olumlu iken yüksek frekanslar için olumsuzdur (Doelle, 1972).



Şekil 1.20. Arkadaki hava tabakası içinde gözenekli yalıtım gereci bulunan delikli levha rezonatörlerin ses yutuculuğu

Delikli levha rezonatörde, rezonans frekansının hesaplanmasında kullanılan bağıntı, denklem 1.2'de belirtildiği gibidir (Stein et al, 1986).

$$f = \frac{60}{md}$$

1.2

f = frekans (Hz)

p = Açık (delikli) alan oranı (%)

d = delik çapı (m)

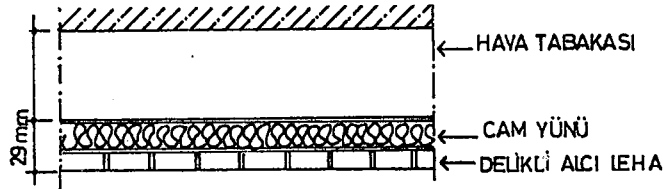
Delikli panel rezonatörlerde; levhanın kalınlığı, boyutları ve delik araları, levhanın arkasındaki hava tabakası, hava tabakasına yerleştirilen gözenekli gerecin cinsi, kalınlığı, yoğunluğu ve taşıyıcı sistemde değişiklikler yapılarak farklı yutuculuklar elde edilebilir. Asma tavanlarda kullanılan;

- Alçı akustik levhalar,
- Delikli metal levha ya da lameller,
- Delikli kontrplak levhalar

ve benzerleri bu gruba girerler.

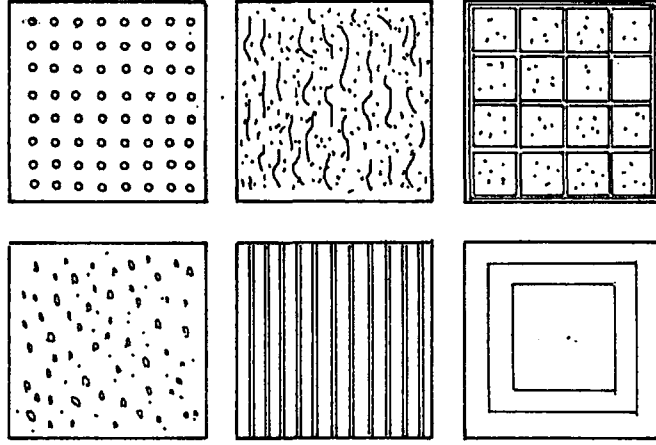
ALÇI AKUSTİK LEVHALAR

Organik yapısı, alçı, su ve cam yünü karışımıdır. Alçı akustik levhaların yüzeyinde çapı 9-6 mm arasında değişen delikler vardır. Deliklerin yüzeye oranı % 15-% 20 arasındadır. Arka yüzü cam yününe açılan delik derinliği yaklaşık 1 cm'dir. Levhalar 12-16 kg/m² ağırlıktadır ve boyutları 625 x 625 x 20 mm'dir.



Şekil 1.21. Alçı akustik levha detayı

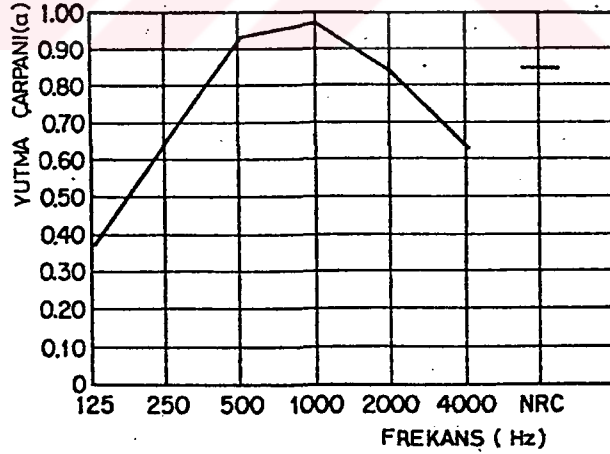
Alçı akustik levhaların; eşit aralıklarla delikli, düz, kanallı, pürüzlü, gelişi-güzel delinmiş yüzeyli değişik tipleri vardır.



Şekil 1.22. Alçı akustik levha yüzey tipleri

DELİKLİ METAL LEVHALAR

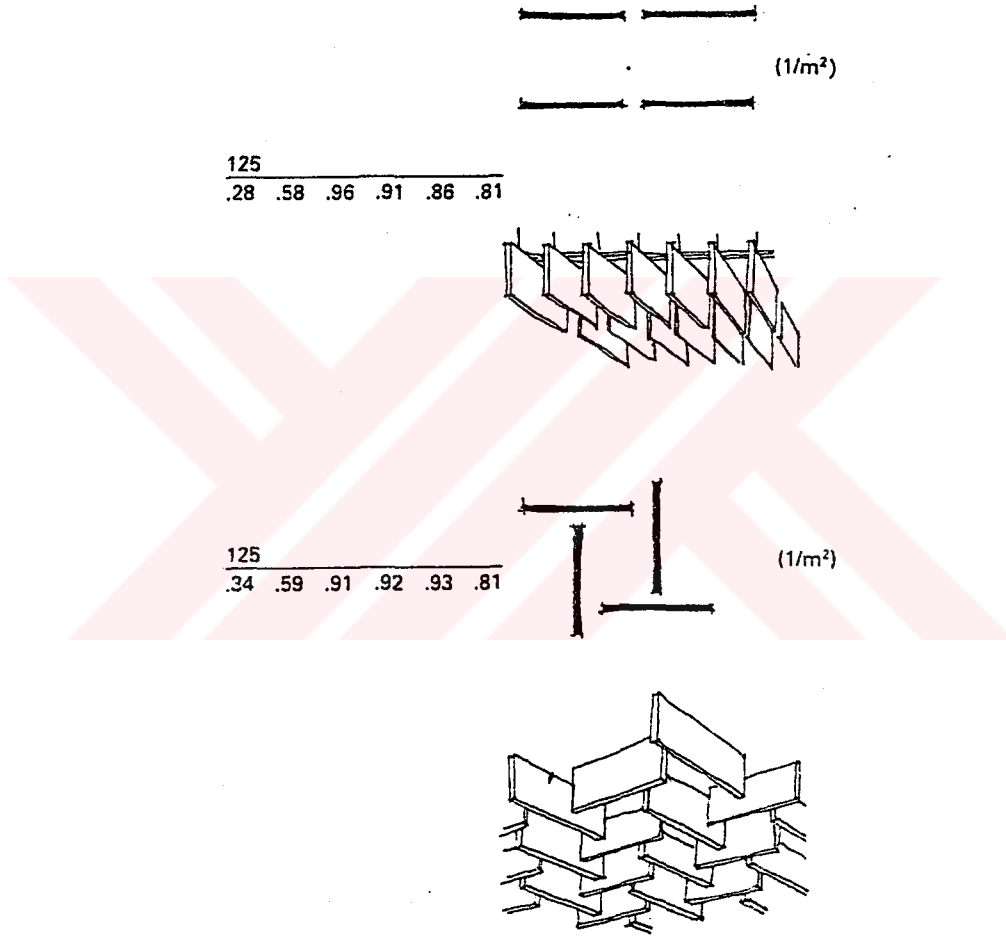
Yüzeyi çeşitli çaplarda delinmiş levha ya da lamel şeklindeki metal asma tavanlar gözenekli gereçlerle birlikte tüm iç mekânlarda kullanılabilir.



Şekil 1.23. Gözenekli gereç + delikli metal levhanın frekanslara göre yutma çarpanları (Haris, 1957)

1.2.2.4. Birim Yutucu Öğeler

Bunlar genellikle, bağımsızca hacim içine asılabilen öğelerdir. Taş yünü, cam yünü levhalar olabileceği gibi, içleri ses yutucu gözenekli gereçle doldurulmuş delikli metal levhalar, prizmalar, küpler, küreler, silindirler vb. şeklinde de olabilir.



Şekil 1.24. Levha şeklinde taşyünü birim yutucu öğeler

1.2.3. Ses yutma Çarpanları

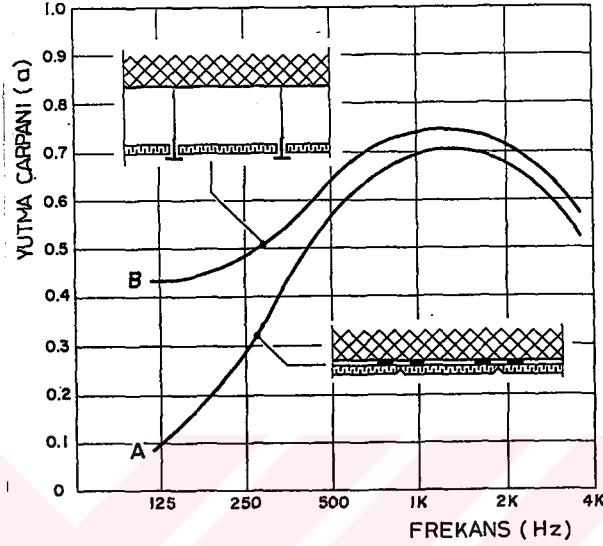
Tablo 1.3. Asma Tavanlarda Kullanılabilecek Gereçler ve Yüzeylerinin Yutma Çarpanları

GEREÇ	FREKANS (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
• Beton	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
• Düz alçı sıva	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.07
• 1.25 cm alçı levha (asma sistem)	0.15	0.10	0.05	0.04	0.07	0.09
• Kontrplak	0.28	0.22	0.17	0.09	0.10	0.11
• 25 mm ince ahşap lif levha	0.25	0.33	0.50	0.65	0.65	0.70
• 50 mm ahşap lif levha	0.59	0.51	0.53	0.73	0.88	0.74
• Taşyünü levha (yüzeyi düz)	0.23	0.17	0.12	0.16	0.16	0.15
• Taşyünü levha (yüzeyi delikli)	0.45	0.66	0.69	0.77	0.90	0.90
• Taşyünü levha (yüzeyi çizikli)	0.41	0.42	0.43	0.52	0.58	0.67
• 25 mm cam yünü (16 kg/m ³)	0.12	0.28	0.55	0.71	0.74	0.83
• 50 mm cam yünü (16 kg/m ³)	0.17	0.45	0.80	0.89	0.97	0.94
• 50 mm cam yünü (48 kg/m ³)	0.30	0.80	1.00	1.00	1.00	1.00
• Delikli metal levha (% 25 açık alan) + 90 mm mineral yünü (96 kg/m ³)	0.20	0.35	0.65	0.85	0.30	0.80
• Kumaş (15 mm kalınlıkta keçe ile beslenmiş kaba iplikli kanaviçe)	0.08	0.18	0.38	0.72	0.75	0.78
• 1.25 cm selüloz lifli sprej sıva	0.08	0.29	0.75	0.98	0.93	0.76
• 2.50 cm açık gözenekli Poliüretan köpük	0.07	0.11	0.20	0.32	0.60	0.85
• 4 mm cam	0.30	0.20	0.10	0.07	0.05	0.02
• Tavandan 30 cm aşağıya asılmış, paralel mineral yünü levhalar (35 cm ara ile)	0.70	0.20	0.10	0.52	0.60	0.67
• Tavandan 30 cm aşağıya asılmış paralel mineral yünü levhalar (16 cm ara ile)	0.10	0.29	0.62	1.12	1.33	1.38

Sirel, 1980; Templeton et al, 1987; Egan, 1988)

1.3. SES YUTUCU GEREÇLERİN TESPİT BİÇİMİ

Tespit koşullarının, gereçlerin yutuculukları üzerinde etkisi vardır. Örneğin aynı malzemenin tavana doğrudan tespiti ile aralarında hava tabakası bırakarak esnek asma sistemle tavana tespiti arasında büyük fark vardır.



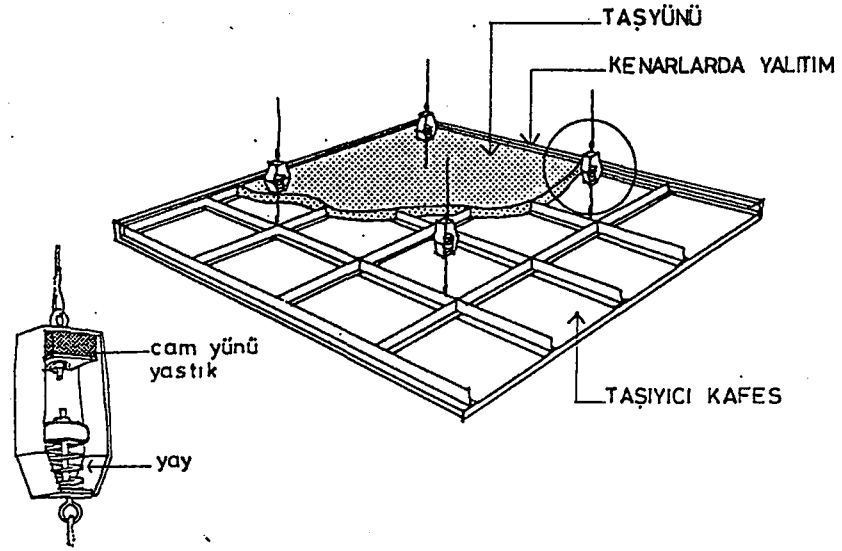
Şekil 1.25. Ses yutucu gereçin tavana doğrudan tespiti ya da asma sistemle kullanılması halinde ses yutma çarpanları (Doelle, 1972)

Gerecin arkasındaki hava tabakasının derinliğinin artırılması belli koşullarda ortalama yutuculuğu artırır. Levhanın boyutları rezonans frekansını belirleyici bir etken olduğuna göre, yutuculuğun arttığı frekanslar tespit aralıkları arasındaki mesafeye bağlıdır. Bu aralıklar çoğu zaman gerecin özelliklerine göre belirlenir.

Çoğu akustik gerecin ısı yalıtımı özelliği de düşünülerek nemden korunmalıdır. Taş yünü asma tavan levhaları hacmin içinde neme dayanıklıdır ama selüloz ürünler (ahşap ya da bitki lifleri) nem ile çalışırlar. Bu olasılık neme dayanıklı akustik gereç uygulaması gerekliliği gündeme gelir. Aynı sorun kuru hava koşulları içinde geçerlidir ve bağlantı yerleri genişleşip büzülmeyle olanak verecek şekilde değil ise levhalar da bozulmalar görülür.

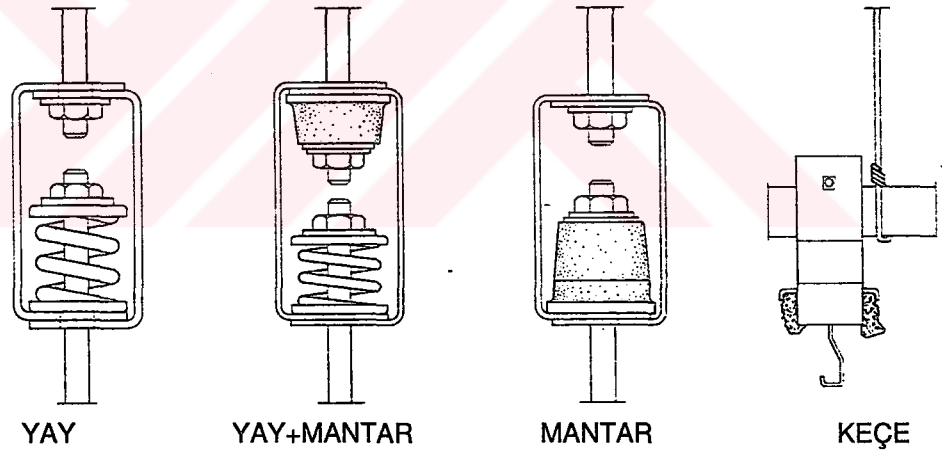
1.3.1. Asma Tavan Askı Sistemleri

Asma tavanlarda titreşimin askı elemanları aracılığı ile taşıyıcı döşemeye geçmesi için esnek asma sistemler kullanılmalıdır. Asma tavan döşemeye asma noktaları olabildiğince az sayıda olmalıdır (Templeton et al, 1987).



Şekil 1.26

Asma tavan askı sistemlerinde titreşim sönümlenici gereçler kullanılır. Bunlar; yay, mantar, keçe, vb gereçler olabilir (Doelle, 1972)



Şekil 1.27. Asma tavan askı sistemleri

BÖLÜM 2: ASMA TAVANLARIN HACİM AKUSTİĞİ YÖNÜNDE ETKİNLİĞİ

Bir iç mekân içerisinde bulunan insanların işitsel algılamalarının doğru bir şekilde sağlanabilmesi için, hacim akustiğini oluşturan bir takım ölçütlerin sağlanması gerekir. Bu ölçütleri incelerken hacmin kullanım amacı belirlenmeli ve çalışmalar buna göre yapılmalıdır.

Asma tavanlara hacim akustiğinde oldukça büyük görev düşer. Hacmin özelliğine göre değişim görülsede, bunlar, iç mekânda gerekli yutuculuğun bir bölümünün karşılanması dolayısıyla yansıma süresi üzerindeki etkinliği ve ilk yansımalar yoluyla dinleyicilere ulaşan dolaysız ses düzeyinin artırılması olarak sıralanabilir.

2.1. YANSIŞIM SÜRESİ

Konuşma ya da müzik amaçlı bir hacimde yansıma olayı ve süresi işitsel algılamanın başta gelen belirleyicilerindedir. Yansıma olayına bağlı olarak tanımlanan yansıma süresi, ses enerjisinin büyüklüğü ne olursa olsun, ses kaynağı sustuktan sonra, enerjinin milyonda bire inmesi ya da 60 dB azalması için gereken süredir.

Yansıma süresi temelde hacmin özelliklerine bağlı bir hız kavramıdır, ses yegünlüğünün ortalama düşme hızını belirler. Bu yüzden, yansıma süresi hacmin büyüklüğüne ve toplam yutuculuğına bağlı olarak aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$T_{60} = 0.16 \frac{V}{A} \quad 2.1$$

T_{60} = Yansıma süresi (s)

V = Uzamın hacmi (m^3)

A = Toplam yutuculuk (sabine)

Hacimlerin büyüklüğüne ve işlevlerine bağlı olarak, istatistik olarak, optimal yansıma süreleri belirlenmiştir. Optimal yansıma süreleri, belli bir hacimde belli bir

işlevin uygun akustik koşullarda gerçekleştirilmesinde göz önüne alınması gereken değerlerdir. Frekansa göre, kimi durumlarda,değişim göstermesi gereken optimal yansım süreleri, seslerin kulaktaki etkisinin 1/10s sürmesinden ötürü +% 5 yaklaşık sınırları içinde değerlendirilir (Sirel, 1981).

2.1.1. Toplam Yutuculuk - Asma Tavan İlişkisi

Sesin yutulması ses erkesinin başka bir erkeye (genellikle ısıya) ya da ses dışı titreşimlere dönüşmesidir. Gelen ses erkesinin yansımaya bölünmü yutulmuş olur. Bir gerecin ya da yüzeyin yutma çarpanı, oran olarak o yüzeyden yansımaya sesin gelen sese oranını gösterir.

Bir hacmin toplam yutuculuğu, tam yutucu (% 100 yutucu) yüzey alanı cinsinden m² birimi ile verilir. Bu birime "sabine" birimi denir. Toplam yutuculuk, bir hacimde üç ayrı tür yutuculuğun toplamıdır.

$$A = A_y + A_b + A_n \quad 2.2.$$

A_y = İç yüzeylerin toplam yutuculuğu.

$$A_y = A_1 S_1 + a_2 S_2 + \dots + a_n S_n$$

a = Belli bir yüzeyin yutma çarpanı (%)

S = Belli bir iç yüzey alanı (m²)

A_b = Hacimdeki birimsel nesnelerin (insan,koltuk vb) toplam yutuculuğu

$$A_b = A_{b1} + A_{b2} + \dots + A_{bn}$$

A_n = Hacmin havasının toplam yutuculuğu

$$A_n = 4.mV$$

m = Havanın yutma çarpanı (%)

V = İç mekân yüzeylerinin sınırladığı hacim (m³)

Oditoryum, konser salonu, tiyatro gibi hacimlerde, yutulma, gürültü denetiminin birinci derecede önemli olduğu hacimlerden ayırım gösterir. Çünkü, burada amaç, hacmin yansım süresinin, kullanım amacına uygun olacak biçimde düzenlenmesidir. Bu düzenleme, hacimdeki yüzey, birim (insan, koltuk vb.) ve hava yutuculuğunun birlikte ele alınması sonucunda yapılır. Yani, tavan yutuculuğunun belirlenmesinde, hacimdeki tüm öteki yutuculuklar rol oynar.

Asma tavanın yutuculuğunun belirlenmesinde, rol oynayan bir başka etken de, ilk yansımalarıdır. İlk yansımaların yeğinliklerinin yeterli olması, geçtikleri yolun yanısıra

tavan yutuculuğuna da bağlıdır, yutuculuğu fazla olan bir gereçten yansıyan ses düzeyinin az olacağı açıktır. Bu nedenle asma tavan gerecinin seçiminde söz konusu iki etkenin, yani gerekli toplam yutuculuğun bir bölümünün karşılanması ve ilk yansımaların yeterli nicelikte dinleyiciye ulaştırılabilmesinin, birlikte ele alınması zorunluluğu ortaya çıkar. Bu nedenle, her iki konuyu da kapsayan optimal durumun bulunması için hesap ve etüdüler yapılmalıdır. Bu sorunla ilgili çözümlerden biri çoğunlukla tavanın sınırlı bir bölgesinin yararlı yansıtıcı alan olması nedeni ile, geri kalan bölgenin yutuculuğu yüksek gereçlerden oluşturulmasıdır. Özellikle tavanın yan kenarları ve arka tarafında, yaklaşık tavan yüzeyinin 1/2 ya da 1/3'de yutucu gereç uygulaması yapılabilirken orta kısım yansıtıcı yüzey olarak tasarlanmalıdır.

2.2. ASMA TAVAN YÜZEYİNDE SESLE İLGİLİ OLAYLAR

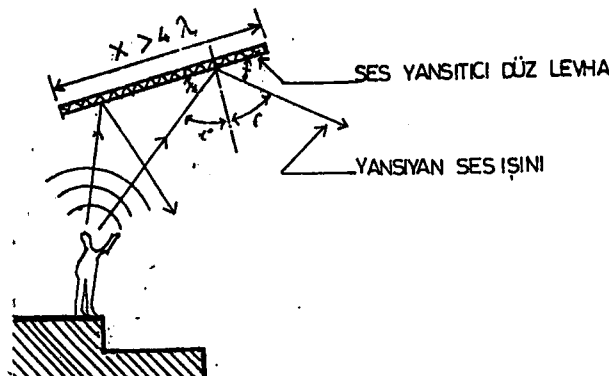
Ses; asma tavanlarda, gereçlerin boyutlarına ya da yüzeyel özelliklerine bağlı olarak kırınır, düzgün ya da yayınlık yansır.

2.2.1. Asma Tavanlarda Sesin Yansıması

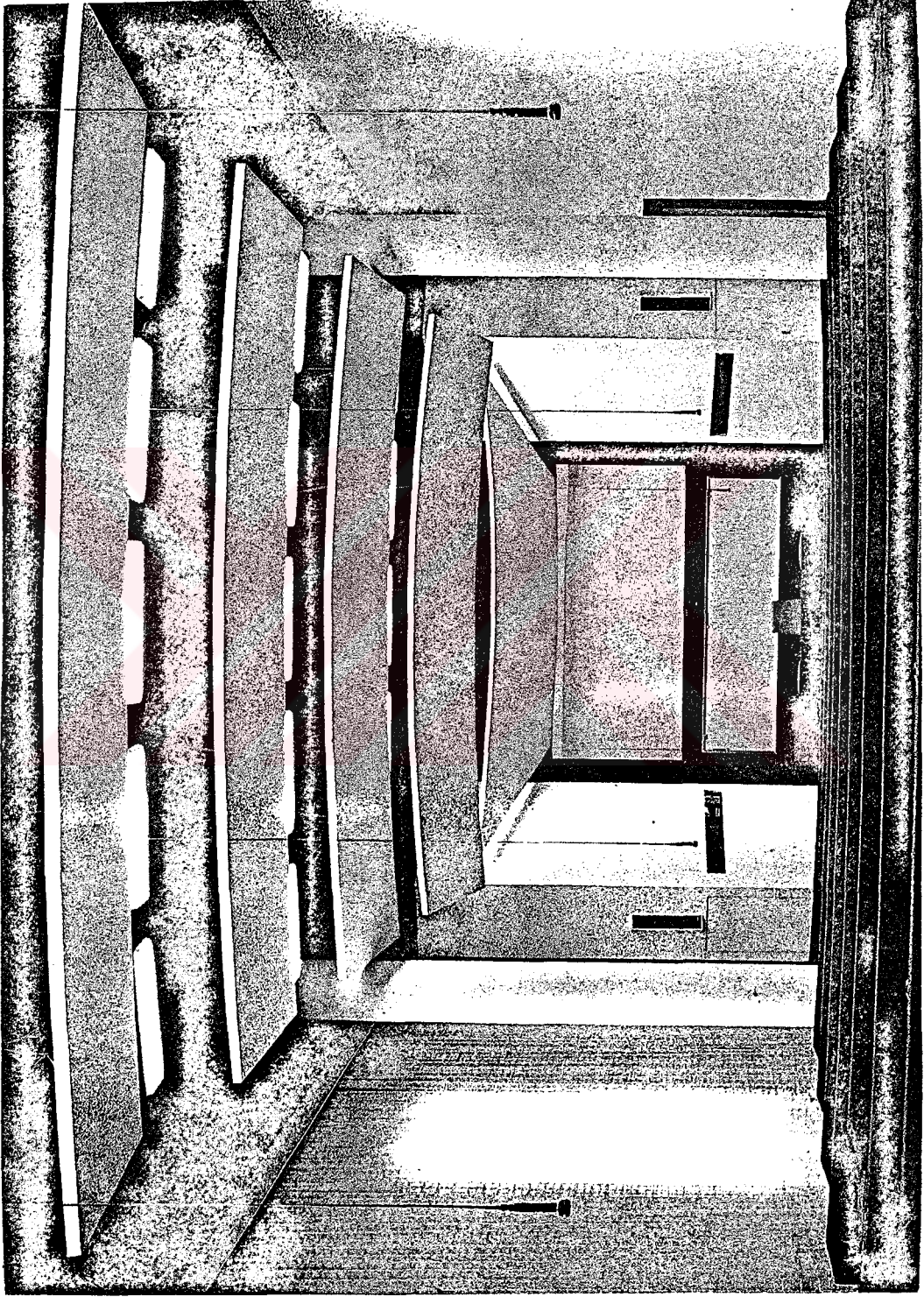
Herhangi bir yapı yüzeyine gelen ses enerjisinin bir bölümü yüzeyden yansır, bir bölümü çeşitli şekillerde yüzeyi geçer, bir bölümü de yine çeşitli şekillerde yüzeyde yutulur. Sesin yansıması da, ışığın yansımasında olduğu gibi düzgün ve yayınlık olmak üzere iki türdür.

Yansıtıcı yüzeyin ayrıntı ve çıkıntıları, pürüzleri yani düzgünlükleri, yüzeye gelen ışınımın (ışık ya da ses) dalga boyundan daha küçükse düzgün yansıma, dalga boyu ölçülerinde ya da daha büyükse yayınlık yansıma olur (Sirel, 1980).

• DÜZGÜN YANSIMA ($X > 4 \lambda$)



Şekil 2.1



Şekil 2.2. Asma tavanda düzgün yansımaya yapacak yüzeylerin kullanımı

Düzgün yansıma Şekil 2.1'de görüldüğü gibi, gelen ışının doğrultusu ile yansıyan ışının doğrultusu arasında "eşit açı" ve "aynı düzlem içinde olma" kurallarının olduğu yansımadır.

Eğer yüzey boyutları (x), üzerine çarpan ses dalgasının dalga boyundan (λ) yaklaşık 2-4 kez daha uzun ise; gelme açısı (i), yansıma açısına (r)'ye eşit olacaktır.

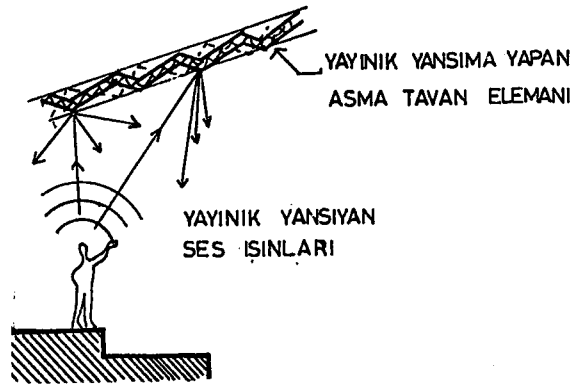
Asma tavan biçiminin belirlenmesinde geometrik etüdü yapılırken, tavan kırıklıklarının, ilgilenilen en alçak frekanslı sesin dalga boyunun en az 2 katı olmasına özen gösterilmelidir. Örn; 125 Hz'lik sesin dalga boyu;

$$n = \frac{c}{f} = \frac{340}{125} = 2.75 \text{ m'dir.}$$

Yani en az $2 \times 2.75 = 5.50$ m olan bir asma tavan elemanı ile 125 Hz ve üzerindeki tüm frekansların, düzgün yansıma yolu ile dinleyicilere yönlendirilmesi olanağı doğar.

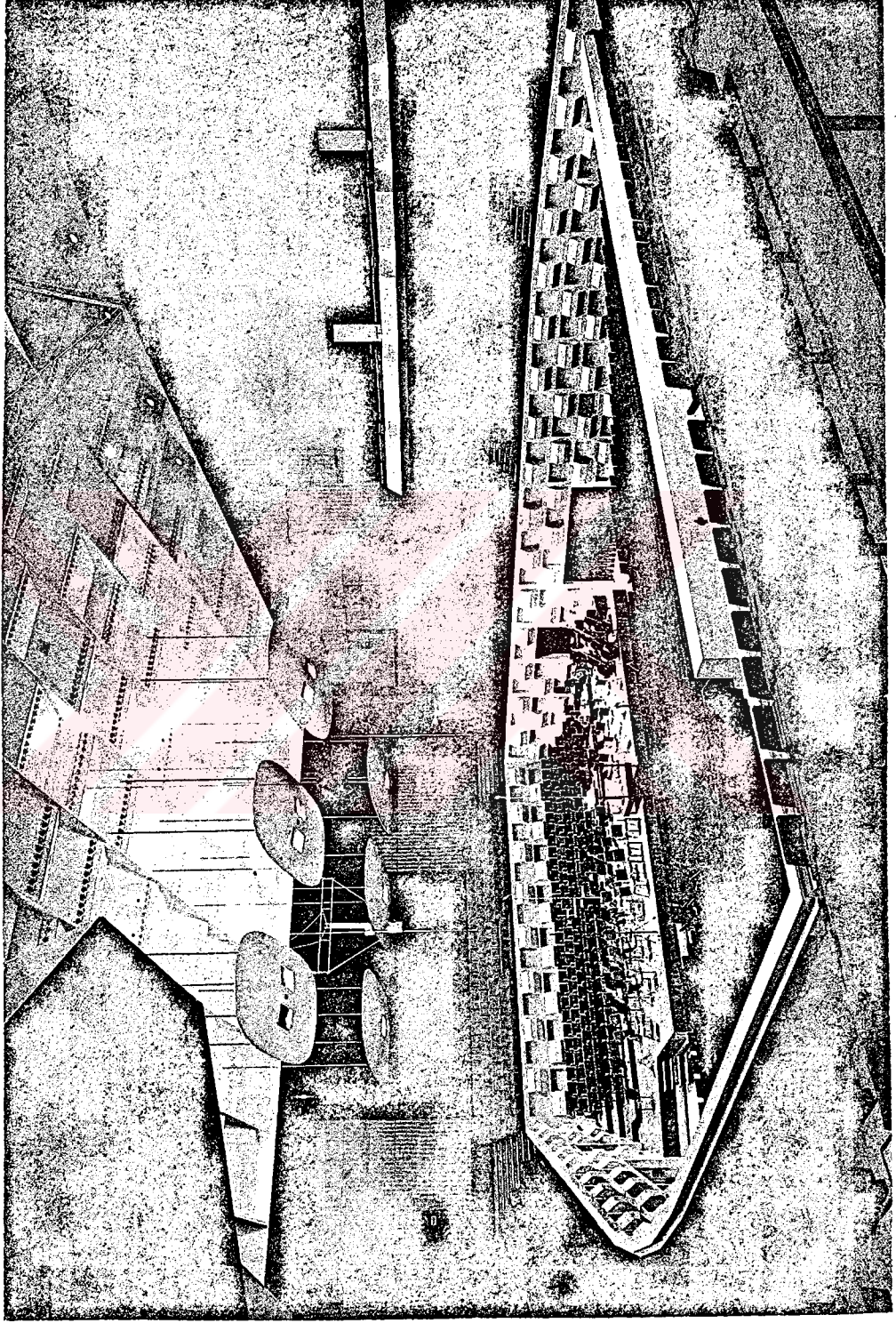
Asma tavan levhaları ile düzgün yansıyan ses enerjisi dinleyicilere doğru yönlendirilirken, boyutlara bağlı frekans seçiciliğini önlemek için değişik büyüklükte levhalar oluşturulmalıdır (Egan, 1988).

- ASMA TAVAN YÜZEYİNDE SESİN YAYINIK YANSIMASI ($x = \lambda$)



Şekil 2.3

Yansıtıcı yüzeyin düzgünlüklerinin boyutları (x), yüzeye gelen ışının dalga boyu ölçülerinde ya da daha büyük ise, yayınlık yansıma olur.



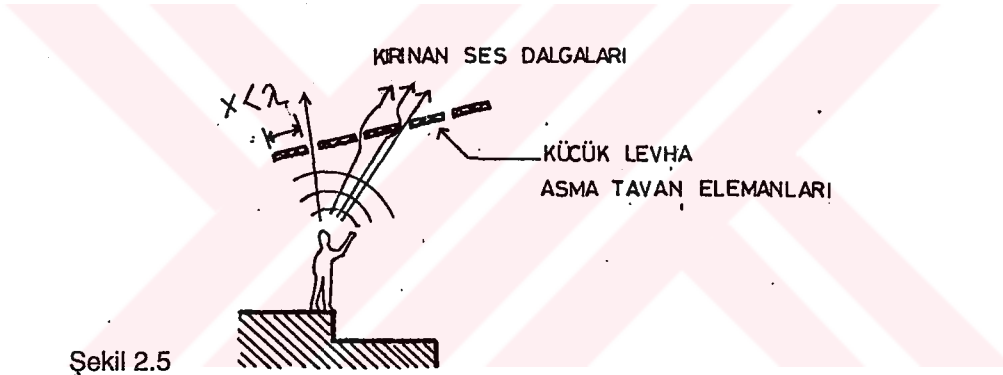
Şekil 2.4. Sesin yayınık yansıma yapabileceği asma tavan yüzeyi

Yayınık yansımada yansıyan ışın, gelen ışının doğrultusu ile bazen az ilgili bazen hiç ilgisi olmayan bir çok doğrultuya dağılır. Bu durum şekil 2.3'de gösterilmiştir (Egan, 1988).

Asma tavan elemanlarının boyutları ve yüzeylerinin "düzgünsüzlüklerinin" boyutları, seslerin dalga boyları (2 cm - 20 m) arasında olabileceğinden, bu elemanların yüzeylerinde bazı sesler düzgün yansıma, bazı sesler yayınık yansıma yapar. Asma tavan elemanlarının ve yüzeylerindeki düzgünsüzlüklerin boyutlarına göre hangi seslerin düzgün, hangi seslerin yayınık yansıma yapacağını hesaplamak gerekir.

Kapalı hacimlerde sesin yayınık yansımalarla dağılması hacim akustiği bakımından önemlidir. Ancak döşeme ve duvar yüzeyleriyle yeterli yayınık yansımalar sağlanabilir. Böylece tavanda düzgün yansıma yapacak yüzeyler oluşturulabilir.

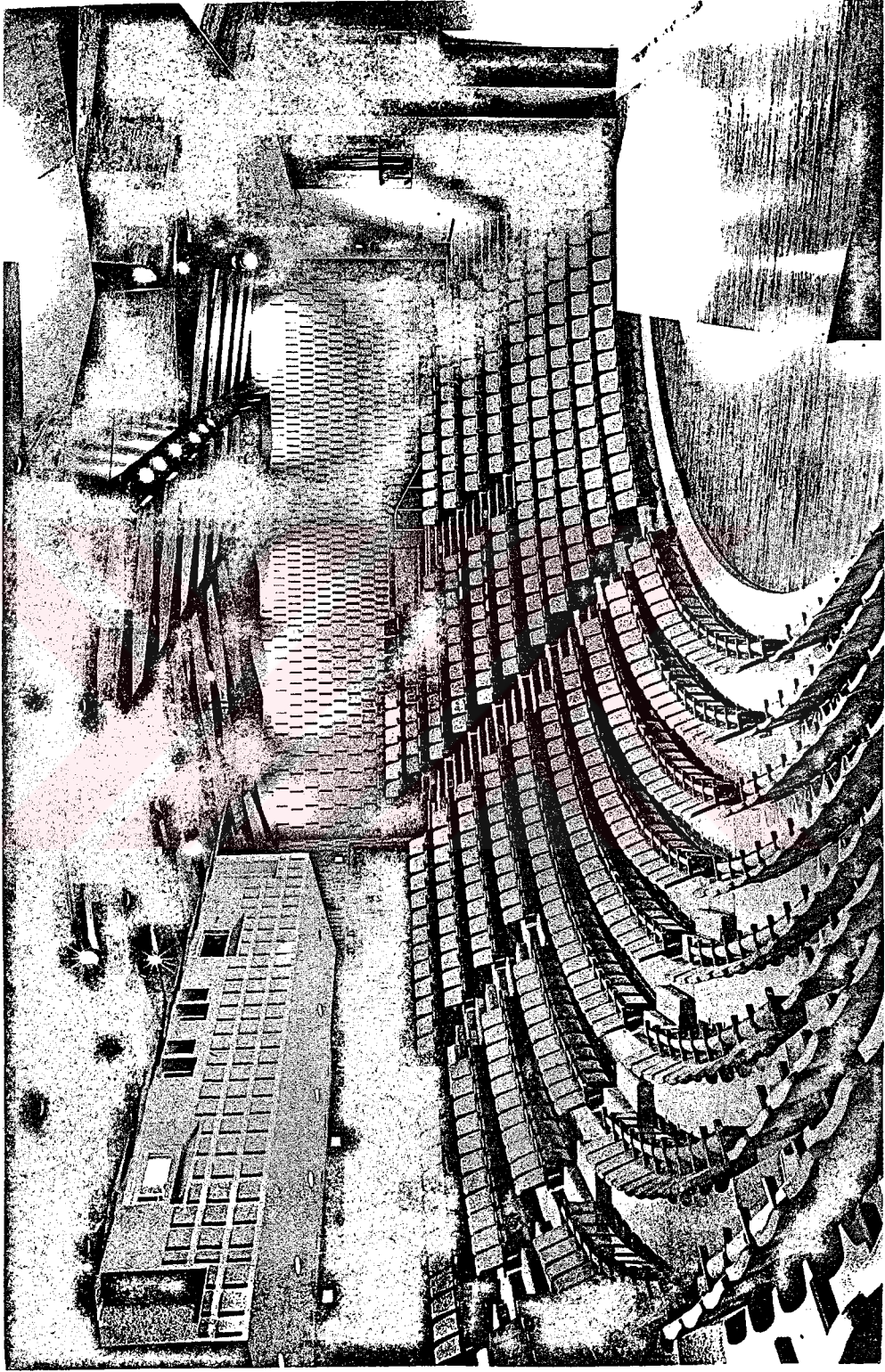
2.2.2. Asma Tavanda Sesin Kırınması ($x < \lambda$)



Kırınma ses dalgalarının bir engelden ötürü doğrultu değiştirmeleri olayıdır. Kırınmanın şartı (bir aralıktan geçme ya da bir yüzeyden yansımada) ışınım dalgasının rastladığı aralık, köşe, kenar, engel vb. boyutlarının gelen ışınımın dalga boyundan ufak olmasıdır.

Sesin kırınmasında en önemli etken dalga boyudur. Asma tavan elemanlarının boyutlarına göre hangi seslerin kırınacağını belirlenmelidir.

Kapalı mekânlarda, ses dalgaları, dalga boyundan daha küçük asma tavan levhalarının çevresinde kırınacağından, bu levhaların, istenilen dalga boylarının etkili olarak yansımaları için, boyutları (uzunluk ve genişlik) dikkatle tasarlanmalıdır. Asma tavan elemanı olarak, aynı boyutta küçük levhalar düzenlendiğinde tek bir frekansın vurgulanması söz konusu olabilir. Bu olaydan kaçınmak gerekir. Çünkü istenilenin dışında sonuçlar doğurarak sesin sönümlenmesinde düzgünsüzlüklere neden olur (Egan, 1988).



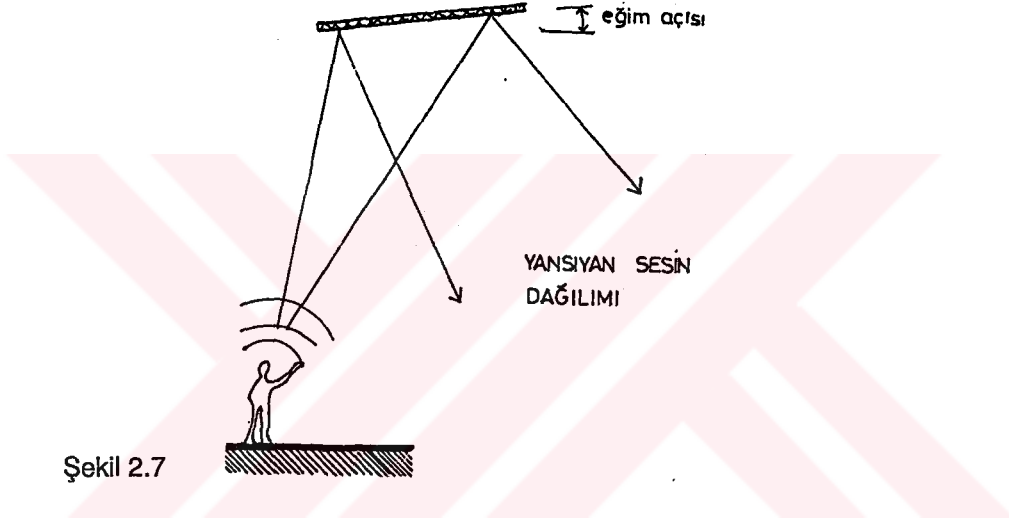
Şekil 2.6. Sesin çevresinde kırınabileceği asma tavan elemanlarının kullanımı

2.3. DOĞRULTULU YANSIMA

Yansıyan seste, değişik dalga boyları bakımından büyük oranda bir doğrultunun varolduğu yansımalara doğrultulu yansıma denir.

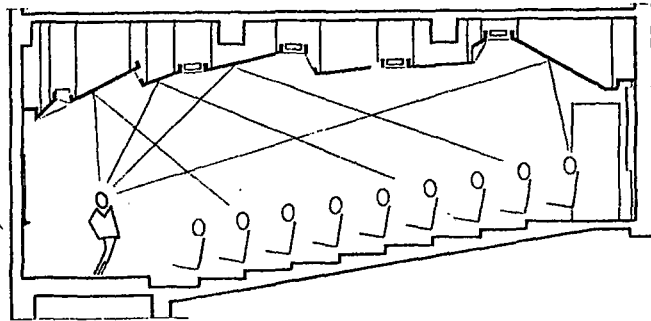
Aşağıdaki şekillerde düz, içbükey, dışbükey ses yansıtıcı yüzeylerde, düzgün yansıyan ses ışınlarının dağılımı gösterilmektedir.

2.3.1. Düz Yansıtıcı Yüzey

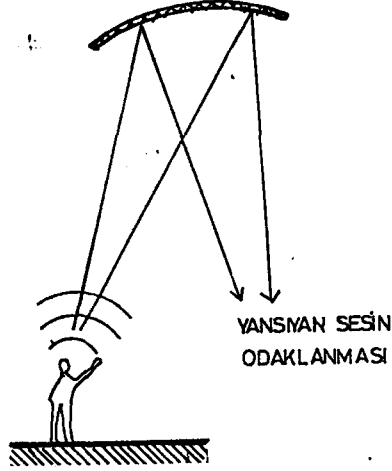


Düz yansıtıcı yüzeyli tavan elemanları yeterli büyüklükte ve uygun şekilde konumlandırıldığında (eğim vb.) yansıyan sesin dağılımında etkili olabilir. Şekil 2.7'de yansıtıcı hafifçe eğimlendirilerek, hacmin arkasına doğru ses enerjisinin gitmesi tasarlanmıştır.

Asma tavan yüzeyi kırık parçalara bölünerek, yansıyan sesin doğrultusu ayarlanabilir. Dalga boyu parça büyüklüğünü aşan sesler bu doğrultu ayarlamasına uymayacaktır (Şekil 2.8).



2.3.2. İçbükey Yansıtıcı Yüzey



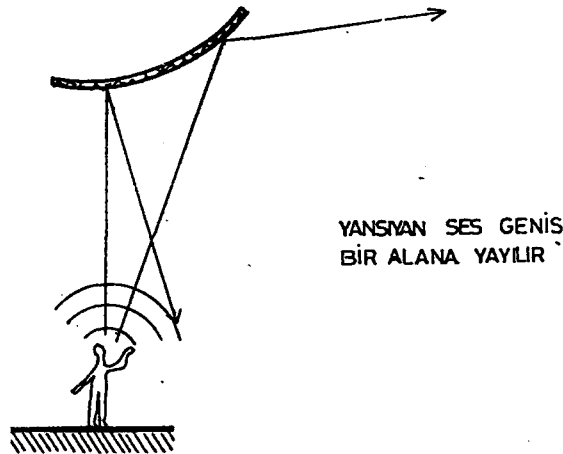
Şekil 2.9

İçbükey yansıtıcı yüzeyler ses ışınlarının bir noktada ya da çok küçük bir alanda toplanmalarına yol açabilir. Bu duruma odaklanma denir. Bir hacmin içinde oluşan odaklanmanın önemli sakıncaları vardır:

- Odaklanma yolu ile bir "ikincil kaynak" doğar. Hacmin içinde ses kaynağının yerinde belirsizlik önemli bir işitsel rahatsızlık yaratır. (Varlık kriteri)
- İkincil kaynağın doğuşu sesin sönümlenmesinde hoş olmayan düzgünlükler yaratır.
- Odaklanma noktasının dinleyiciler yakın olması ise ses dağılımında büyük eşitsizlik yaratır (Sirel, 1980).

Bu nedenlerle bir hacmin içinde içbükey yüzeylerden kaçınmak gerekir. Eğer gerekiyorsa; Tavan içbükeylik yarıçapı / Tavan Yüksekliği > 2 olmalıdır.

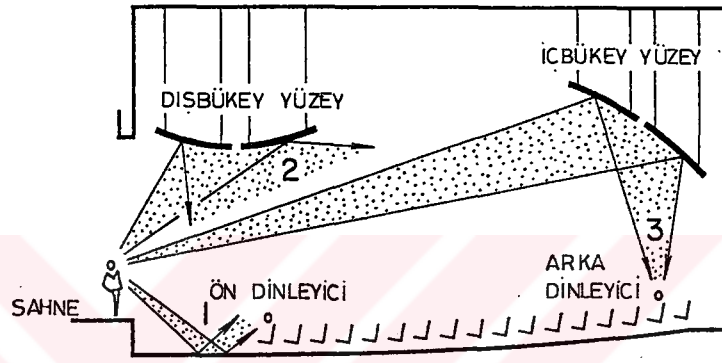
2.3.3. Dışbükey Yansıtıcı Yüzey



Şekil 2.10

Dışbükey yansıtıcı yüzey tavan elemanları eğer yeterli büyüklükte ise sesin dağılmasında çok etkili olabilir. Birbirinden uzak dışbükey yüzeylerden yansıyan ses enerjisi, yayınmaya da katkıda bulunur. Bu müzik amaçlı hacimler için son derece arzu edilebilir bir durumdur.

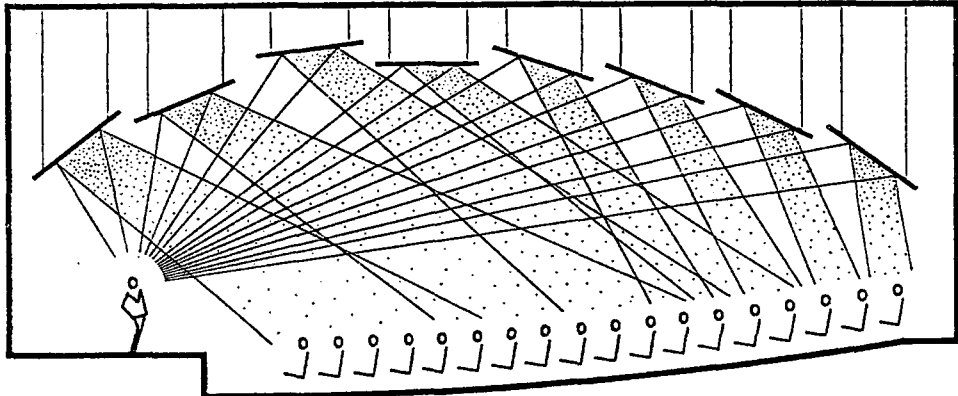
Hacimde doğrultulu yansımalar yapacak bu yüzeylerin yansıtıcılık özellikleri yüksek olmalı ayrıca boyutları da sesin dalga boyuna bağlı olarak doğru belirlenmelidir. Yansıtıcı yüzeyler kullanılacakları yerlere göre, içbükey, dışbükey ya da düz olabilir.



Şekil 2.11

2.4. İLK YANSIMALAR

Herhangi bir yüzeyden bir kez yansıyarak dinleyicilere ulaşan seslere ilk yansıma adı verilir. Uygun koşulda dinleyiciye ulaşan ilk yansımalar dolaysız sesin yeğiniğinin arttığı izlenimini doğurur. Bu nedenle ilk yansımalarla yararlanılarak kaynaktan uzaklaşma ile azalan dolaysız ses yeğiniğleri, belli ölçülerde de olsa dengelenebilir. Öte yandan ilk yansımaların varlık kriterinin sağlandığı alanın genişletilmesi açısından da yararı vardır (Karabiber, 1992).



Şekil 2.12. Asma tavan elemanlarıyla ilk yansımalar

İlk yansıyan sesler, hacmin çeşitli yüzeylerine çarparak dinleyiciye ulaşabilir. Ancak ilk yansımaların değerlendirilmesinde tavadan gelen ilk yansımalar önem kazanmaktadır. Bunun nedeni, tavadan yansıyan seslerin doğrudan, yani en az yutulma ile dinleyiciye ulaşıyor olmasıdır. Asma tavan yüzeyi, büyüklüğü ve konumu bakımından ilk yansımalarda çok büyük önem taşır.

İlk yansımaların hesaplanmasında kullanılan bağıntı, denklem 2.2'de belirtildiği gibidir.

$$I_{ilk} = \frac{W}{4 \pi r^2} \times \text{tavanın yansıtma çarpanı} \quad 2.2$$

I_{ilk} = ilk yansıyan ses yoğunluğu (dB)

W = Kaynak gücü (mW)

r = Görüntü kaynak noktası - dinleyici arasındaki uzaklık (m)

İlk yansımaların sessel (fiziksel) bakımdan aynı olay olmalarına karşılık, işitsel nitelik bakımından çok farklı iki etkisi vardır. Bunlar;

- Yankı
 - Ses uzaması
- olarak sıralayabiliriz.

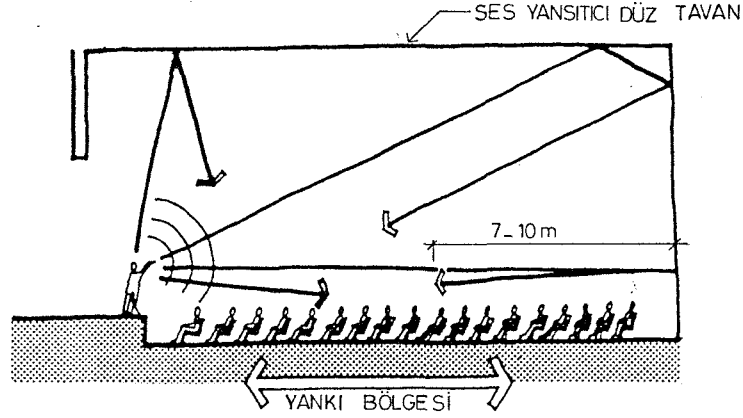
2.4.1. Yankı ve Asma Tavan

Bir sesin süresinin, insan kulağındaki etkisi 1/15 saniye kadar sürmektedir. Bunun sonucu olarak, 1/15 saniyelik bir süre içinde peşpeşe kulağa gelen birden fazla ses, aynı sesin devamı gibi algılanır.

Çok kısa süreli olmayan sesler için yapılan deneylerde bu kritik sessel iz sürekliliği, 1/15 saniye yerine 1/10 saniye bulunmuştur. Bu da havada 34 metrelik bir yol farkı demektir.

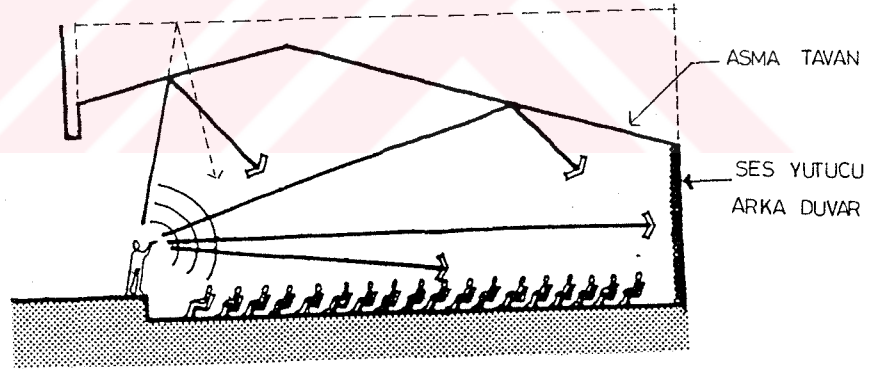
Bir ses kaynağından doğrudan doğruya kulağımıza gelen sesle, yansıtıcı bir yüzeyden yansıyarak gelen sesin geçtikleri yollar arasındaki uzaklık farkı 34 metreden fazla ise, işitsel değerlendirme yankı adını alır. ($R_1+R_2 - D > 34$ metre) Bu durum sesin sönmelenmesinde düzgünsüzlük yaratarak, ikincil bir kaynak algılamasına neden olacağından, çok sakıncalı bir durumdur (Sirel, 1980).

Ses yansıtıcı düz ya da içbükey arka duvarlar ve yüksek ya da tonoz, kubbe şeklinde tavanlar yankıya neden olan yüzeylerdir. Bu tür yüzeylerde; ses yutucu gereçler ya da bir takım geometrik etüdülerle yankı tehlikesi ortadan kaldırılabilir. Örneğin tavanın ön kısmı alçaltılarak geciken yansımalar azaltılabilir ve hacmin arkalarına doğru yararlı yansımalar sağlanabilir.



Şekil 2.13.a

Hacmin yüksekliğinin fazla olması nedeni ile tavan yüzeyinden geciken yansımalar yankıya neden olur.

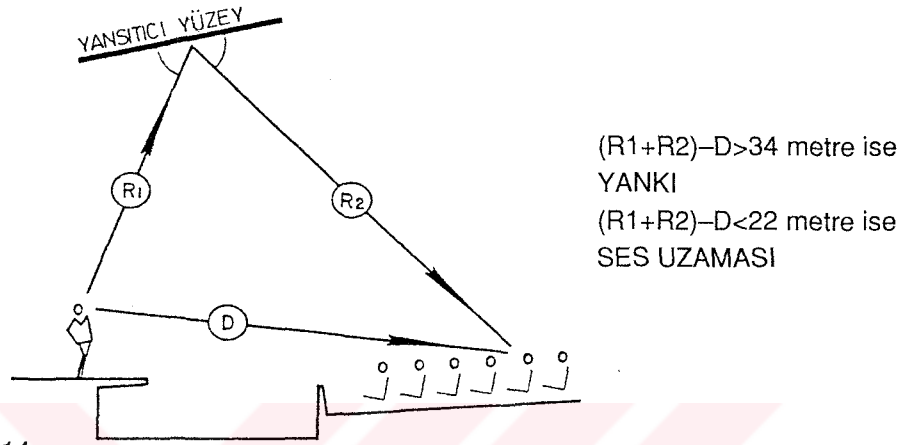


2.13.b

Ayrıca her iki yüzey birbirine paralel olduğunda, parter ve tavan arasında vurgusal yankı oluşma tehlikesi vardır. Bu olasılığı ortadan kaldırmak amacı ile de eğik asma tavan elemanları (düz ya da dışbükey) kullanılarak yüzeylerin paralelligi bozulabilir.

2.4.2. Ses Uzaması ve Etkisi

Sessel izlerin kulak zarında belirli bir süre için bir çeşit kalıcılığı vardır. Bir sesin süresi ne kadar kısa olursa olsun, insan kulağındaki etkisi 1/15 saniye kadar sürüyor. Bunun sonucu olarak 1/15 saniyelik bir süre içinde peşpeşe kulağımıza gelen çok kısa süreli birden fazla ses aynı sesin uzaması gibi algılanır.



Şekil 2.14

Bir ses kaynağından doğrudan doğruya kulağımıza gelen sesle, yansıtıcı bir yüzeyden yansıyarak gelen sesin geçtikleri yollar arasındaki uzaklık farkı, 22 metreden azsa olayın işitsel değerlendirilmesi ses uzaması adını alır ($R_1+R_2-D < 22$ m). Ses uzaması, hacim akustiklerinin, yararlanılması zorunlu çok değerli bir unsurdur (Sirel, 1980).

İlk yansımaların, ses uzaması ya da yankı olarak algılanması yalnızca süre ile ilgili değil, sesin yeğlinliği ile de ilgilidir. Tablo 2.1'de ilk yansıma düzeyi ve dolaysız ses düzeyi arasındaki fark ile gecikme zamanı rahatsızlık sınır ilişkisi verilmiştir.

Tablo 2.1

$I_{iy}-I_d$ (dB)	$t-t_1$ (ms)
+ 10	55
± 0	65
- 3	95
- 10	100

İlk yansımaların yeğlinliğinin yeterli olması geçtikleri yolun yanı sıra asma tavan yutuculuğuna da bağlıdır. Yutuculuğu fazla olan bir asma tavandan yansıyan ses düzeyinin az olacağı açıktır. İşte bu noktada, asma tavan gereçinin seçiminde, gerekli

toplam yutuculuğun karşılanması ve ilk yansımaların yeterli yeğinlikte dinleyiciye ulaştırılabilmesi birlikte ele alınmalıdır. Bu aşamada çözüme, her iki konuyu da kapsayan en uygun durumun bulunmasını amaçlayan, hesap ve etüdlere yapılmasıyla ulaşılabılır. Genel olarak ışın diyagramları yöntemi ile belirlenen tavanın sınırlı bir bölgesinin yararlı yansıtıcı alan olması nedeni ile, geri kalan bölümün yutuculuğu yüksek gereçlerden oluşturulabilir.

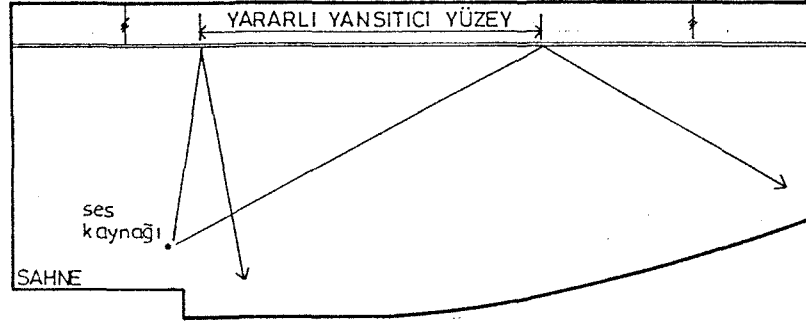
Yeğinliği ve zaman gecikmesi belli sınırlar içinde kalan ilk yansımaların yararlı etkisi olan "ses uzaması" toplam olarak dolaysız sesin yeğinliğini artırır ve dolaysız ses daha yeğin algılanır. Hacimde ses kaynağından uzaklaşıldıkça ilk yansıma sayısını arttırmak gerekir, çünkü amaç, her dinleyiciye eşit yeğinlikte sesin ulaşmasıdır.

Yeğinliği ve zaman gecikmesi belli sınırlar dışına çıkan ilk yansımaların olumsuz etkisi olan "yankı" ise hacimde ikinci bir ses kaynağı gibi algılanır ve hacim içinde ses kaynağının yerinde belirsizlik önemli bir işitsel rahatsızlık yaratır (Karabiber, 1992).

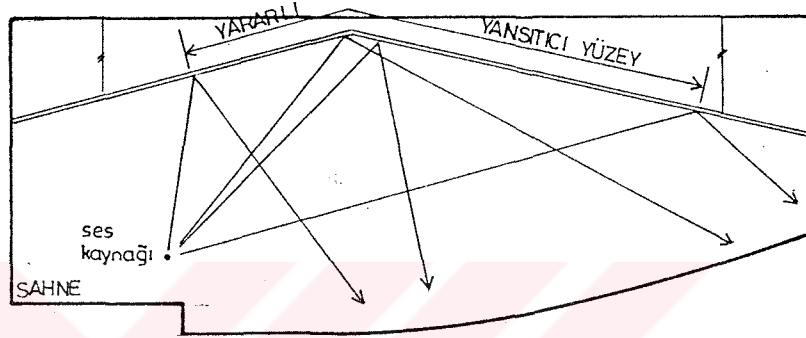
2.4.2.1. Işın Diyagramları

Konferans salonları, tiyatro ya da konser salonlarında en uygun durum, dinleyicinin, konuşmacı, oyuncu, ya da müzisyeni aynı düzeyde yeğinlik ve netlikte (nitelik ve nicelik) işitebilmesidir. Bunun dolaysız sesle sağlanması imkansızdır, çünkü dolaysız ses uzaklıkla azalır. Bir hacimde yapılan akustik çalışmaların amacı, istenilen yansımaların güçlendirilmesi, istenmeyen olumsuz etkileri olan yansımaların denetim altına alınarak azaltılmasıdır. Bu amaçla, asma tavan yüzeyi, büyüklüğü ve konumu ilk yansımalarda çok büyük önem taşır. Seslerin hacim içinde düzgün yayılması için, tavan biçiminin ışın diyagramları yöntemi ile etüd edilmesi gerekir.

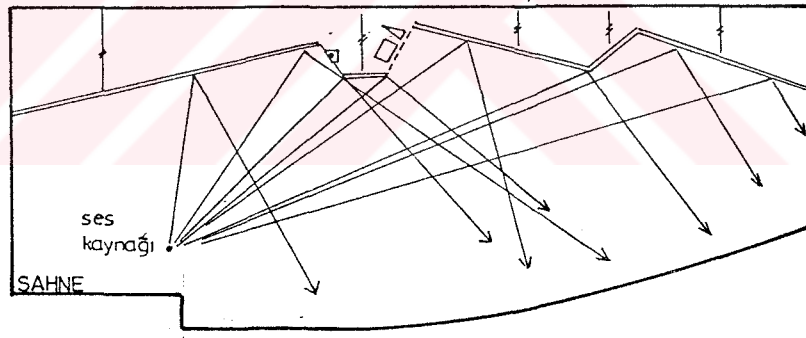
Şekil 2.15'de düz bir tavanda yararlı yansıtıcı alanın, açıları ayarlanmış kırıklıklar yapılarak artırılması ve böylelikle hacmin arkalarına, birden fazla ilk yansımanın gönderilmesinin sağlanması durumu görülmektedir. Şekil 2.15b tavan iki yüzeye bölünerek, yararlı yansıtıcı yüzey alanı % 50 artırılmıştır. Böylece hacmin arkasındaki dinleyiciler, gerçek ses kaynağına ek olarak iki görüntü kaynağında algılayacaklardır. Şekil 2.15c'de ise tavan bir çok yüzeye bölünmüştür. Bu çok yüzeyli tavan biçiminde aydınlatma ve hoparlör sistemi de yer almıştır (Stein et al, 1986).



Şekil 2.15.a. düz yansıtıcı asma tavan



Şekil 2.15.b. iki yüzeyli asma tavan



Şekil 2.15.a. çok yüzeyli asma tavan

Asma tavan biçiminin belirlenmesinde, ışın diyagramları etüdü yapılırken bazı konulara dikkat edilmesi gerekir. Bunları aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz.

- Işın diyagramları yalnızca yüzeyden yansıyan sesin analizinde kullanılan bir tasarım aracıdır. Yansıtıcı yüzey dalga boyu ile orantılıdır ($>2-4\lambda$). Asma tavan kırıklıklarının, ilgilenilen en alçak frekanslı sesin dalga boyunun en az 2 katı olmasına özen gösterilmelidir.

- Normal olarak, ses kaynakları sabit bir konumda ışın yaymazlar. En iyi akustiğin sağlandığı hacimlerde bu nedenle, dinleyici alanına bir kaç kaynak konumundan, sesin en iyi şekilde dağılmasının dikkatle dengelenmesi gerekir.
- Asma tavan yüzeyinden sesin yayınmasının detaylandırılması ışın diyagramları ile sağlanamaz. Bu nedenle, özellikle sesin yayınık yansımalarla hacimde dağılmasının önemli olduğu müzik amaçlı hacimler için diğer akustik uygulamalar yapılmalıdır.

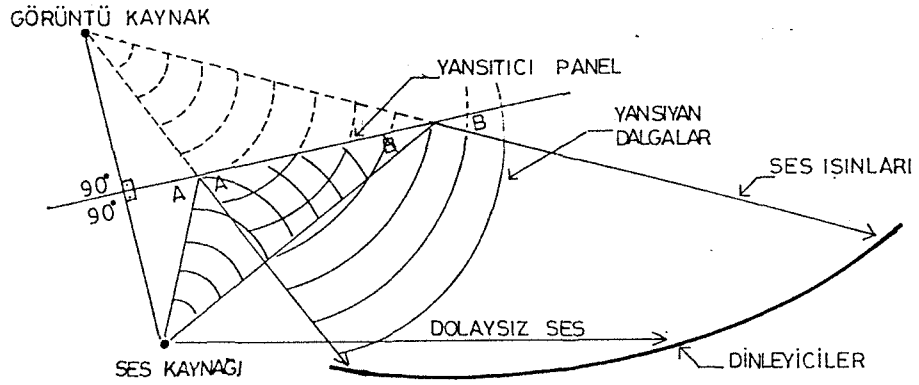
Bunlara rağmen, ışın diyagramları en uygun hacim biçimini sağlamada çok önemli tasarım araçlarıdır. Aşağıda Tablo 2.2'de konuşma ve müzik için anlaşılabilirlik koşulları verilmiştir. Bu tablo ışın diyagramları etüdüleri ile kullanılabilir (Egan, 1988).

Tablo 2.2

(R1+R2-D) YOL FARKI (m)	(t-t ₁) ZAMAN GECİKMESİ (ms)	DİNLEYİCİLER
< 7	< 20	• Konuşma ve müzik için mükemmel
7-10	20-30	• Konuşma için iyi, müzik için hoş
10-15	30-45	• Sınır
15-20.4	45-60	• Yetersiz
> 20.4	> 60	• Zayıf (yankı olasılığı)

2.4.2.2. Işın Diyagramları Yöntemi ile Asma Tavan Etüdü

Bu bölümde, ilk yansımaların dolaysız sesin yeğinliğine olan katkısı incelenmiştir. İlk yansımalarda, tavan yüzeyi, büyüklüğü ve konumun, seslerin hacim içinde düzgün yayılması için ışın diyagramları ile etüd edilmesi gerekir. Aşağıda ışın diyagramı yöntemi bir örnekle anlatılmaktadır.



Şekil 2.16

SES İŞINLARI; Ses kaynağından çıkan ve ses dalgalarının yayılma doğrultusunu gösteren sanal çizgilere ses ışını denir. Ses ışınları her zaman dalga alınlarına dik doğrultudadır.

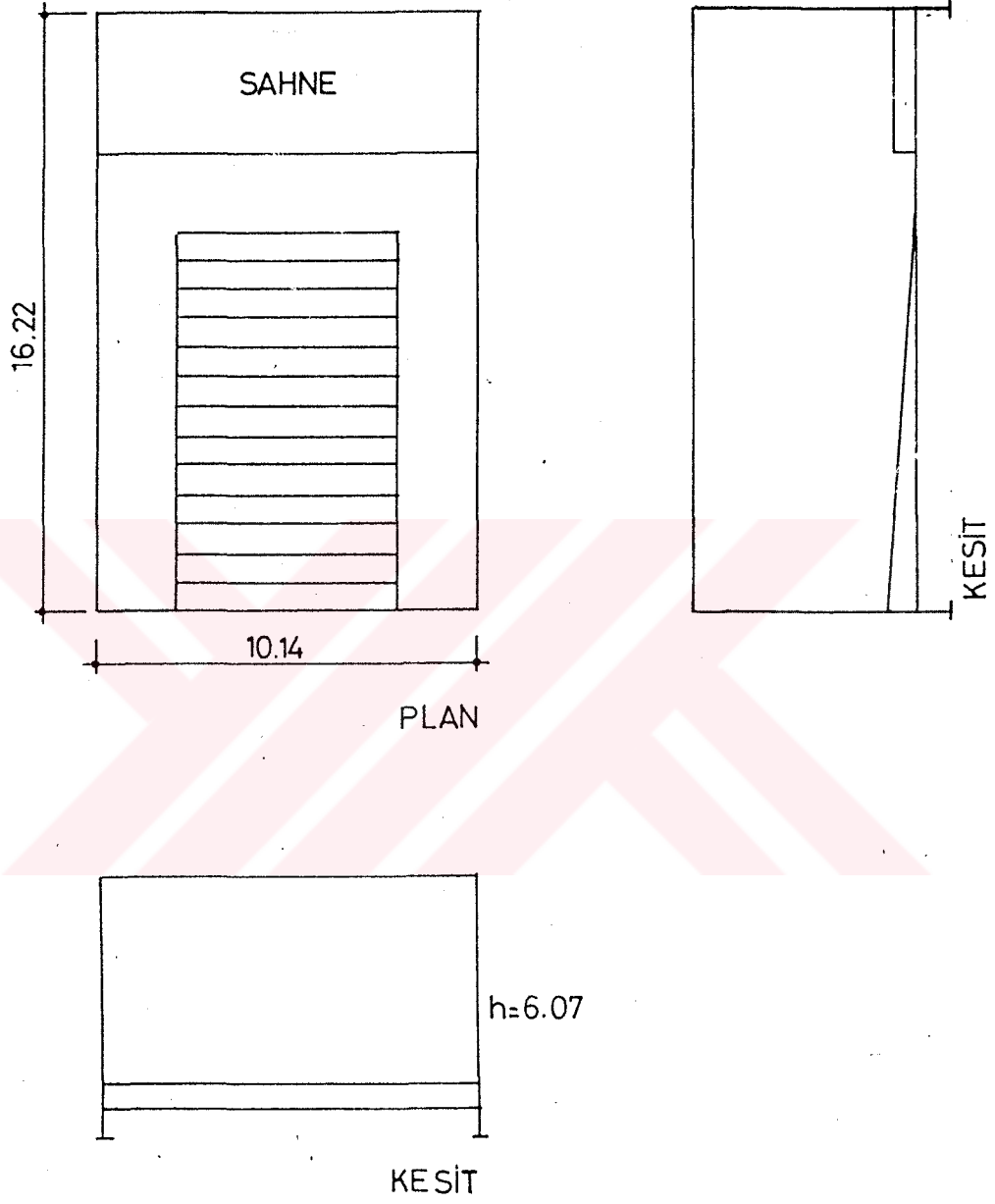
İŞIN DİYAGRAMLARI; Yalnızca, ilk yansımalar göz önüne alınarak, hacimde düzgün yansıyan seslerin dağılmasının analizinde kullanılan bir tasarım yöntemidir.

İşin diyagramları yönteminde, bir tane gerçek kaynak, pek çok sayıda görüntü kaynak oluşur. Şekil 2.16'da işin diyagramları uygulaması gösterilmektedir.

Bir hacmin tavan yansıtma çarpanı % 90 dolaylarında ise;

- Kaynak-son dinleyici uzaklığı 10 metreden az olan hacimlerde tavan düz olduğunda herhangi özel bir etüd yapmadan tüm kaynak-dinleyici uzaklıklarda yeterli dolaysız ses düzeyi sağlanabilmektedir.
- Kaynak son dinleyici uzaklığı 10 metreyi aşan hacimlerde tavan etüdünün yapılması gerekir. Bu tür hacimlerde kaynaktan 8-10 metre uzaklıktaki dinleyicilere en az bir ilk yansıma, 10 metreden sonraki dinleyicilere daha fazla ilk yansıma gösterilmelidir (Karabiber, 1992).

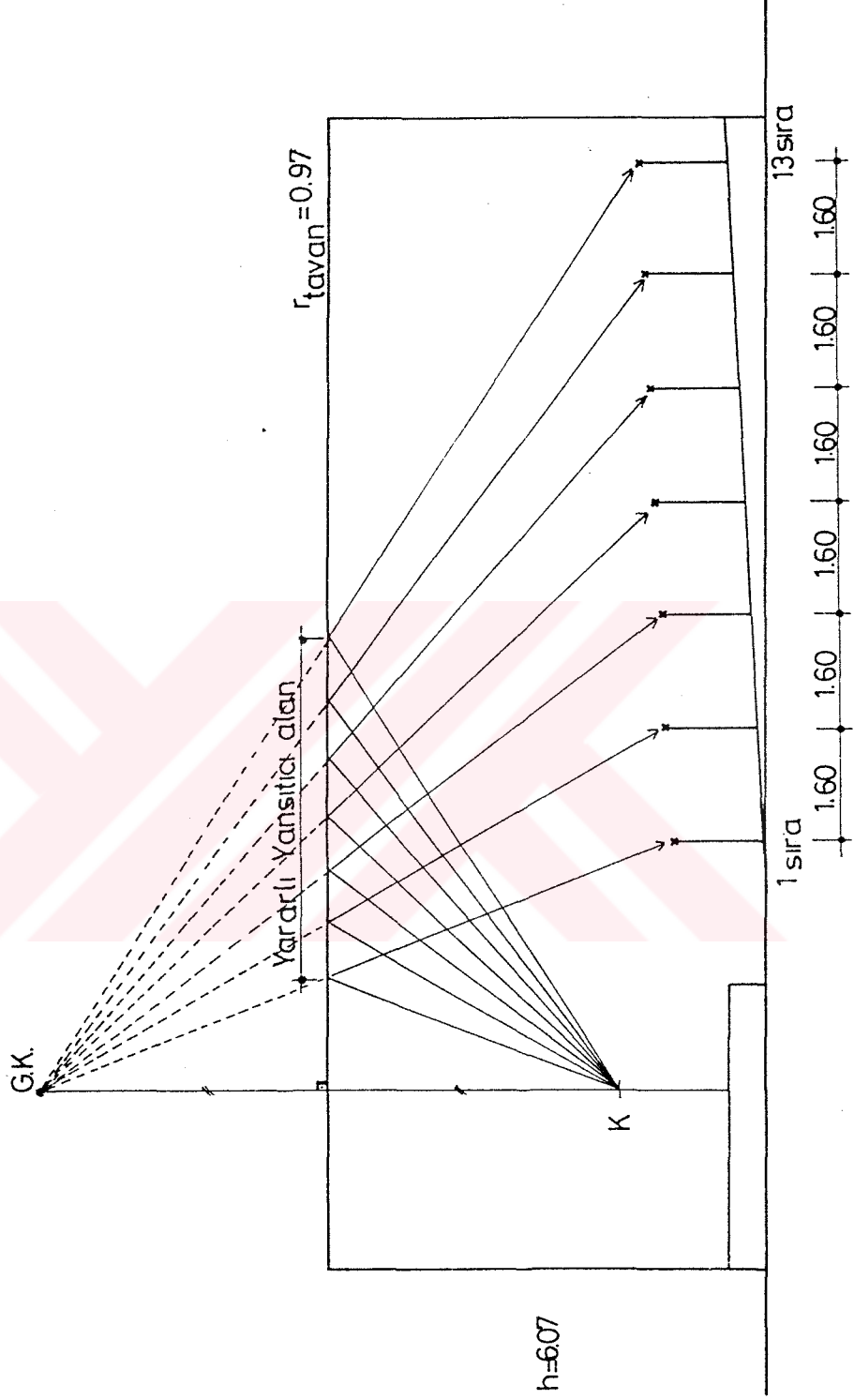
Dikdörtgen biçimli salon, $V = 1000 \text{ m}^3$, 180 kişilik



Şekil 2.17

İLK YANSIMA ETÜDLERİ I

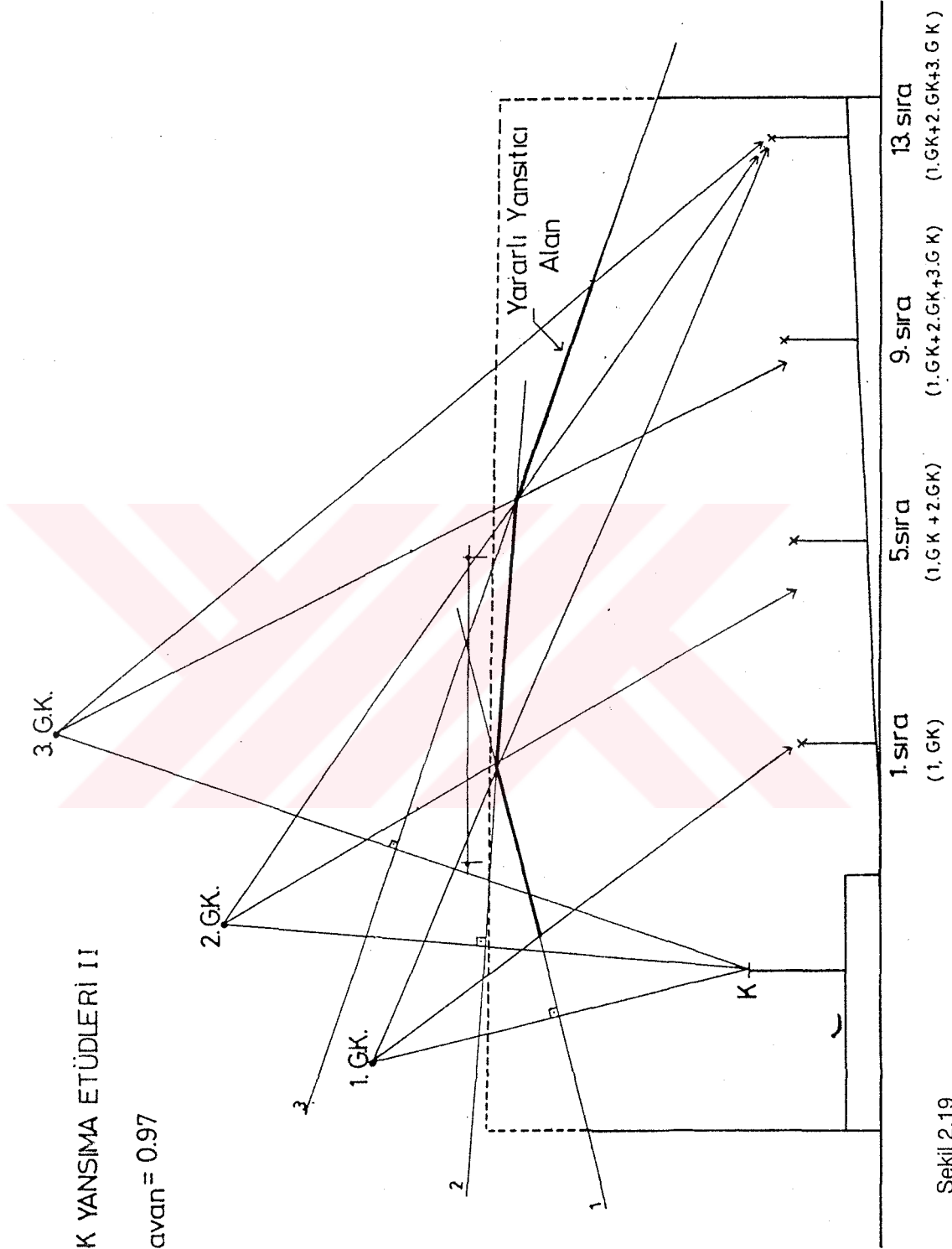
DİKDÖRTGEN, $V=1000\text{m}^3$ $6.07 \cdot 101.4 \cdot 16.22$



Şekil 2.18

İLK YANSIMA ETÜDLERİ II

$r_{\text{tavan}} = 0.97$



Şekil 2.19

Tablo 2.3

SIRA	İLK YANSIMA ETÜDÜ I						
	d_1 (m)	I_d (dB)	d_2 (m)	r	I_{ilk} (dB)	I_d-I_{ilk} (dB)	Toplam I_d (dB)
1. SIRA	3.6	57.9	9.6	0.97	49.2	8.7	58.4
5. SIRA	6.7	52.5	11	0.97	48	4.5	53.8
9. SIRA	10	49	13.10	0.97	46.5	2.5	50.9
13. SIRA	13.10	46.7	15.60	0.97	45.7	1	48.9

SONUÇ: Burada tavanın yaklaşık % 30'u yararlı yansıtıcı alan durumunda ve tüm dinleyicilere yalnızca bir tane görüntü kaynaktan yansımaya ulaşabilmektedir.

Tablo 2.4

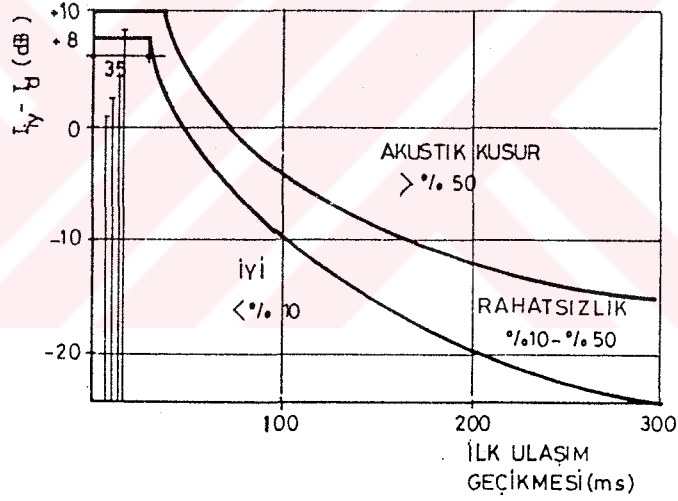
SIRA	İLK YANSIMA ETÜDÜ I						
	d_1 (m)	I_d (dB)	d_2 (m)	r	I_{ilk} (dB)	I_d-I_{ilk} (dB)	Toplam I_d (dB)
1. SIRA	3.6	57.9	8.4	0.97	50.4	7.5	58.6
5. SIRA	6.7	52.5	10.5	0.97	48.5	4	53.9
9. SIRA	10	49	13.10	0.97	46.5	2.5	50.9
13. SIRA	13.10	46.7	16	0.97	44.8	1.9	48.8
5. SIRA	6.7	52.5	10.8	0.97	48.2	4.3	53.9
9. SIRA	10	49	12.8	0.97	46.7	2.3	51
13. SIRA	13.10	46.7	15.1	0.97	45.3	1.4	49
9. SIRA	10	49	13	0.97	46.6	2.4	51
13. SIRA	13.10	46.7	14	0.97	46	0.7	49.3

SIRA	I_d (dB)	ΣI_{ilk} (dB)	I_d-I_{ilk} (dB)	ΣI_d (dB)
1. SIRA	57.9	58.6	7.5	61.2
5. SIRA	52.5	51.4	7.2	55
9. SIRA	49	51.3	7.2	53.3
13. SIRA	46.7	50.1	6.2	51.7

SONUÇ: Tavan etüdü yapılarak, yararlı yansıtıcı alan yaklaşık % 50'ye çıkarılmış dinleyicilere özellikle hacmin arkasındaki dinleyicilere en az 3 görüntü kaynaktan yansımaya gönderilebilmiştir.

Tablo 2.5

SIRA	İLK YANSIMA ETÜDÜ I			
	Dolaysız sesin ulaşma zamanı (ms)	İlk yansıyan sesin ulaşma zamanı (ms)	İlk ulaşım gecikmesi (ms)	I_d ile I_{ilk} arasındaki yeğlilik farkı (dB)
1. SIRA	10.58	28.33	17.75	8.7
5. SIRA	19.70	32.35	12.65	4.5
9. SIRA	29.41	38.52	9.11	2.5
13. SIRA	38.52	45.88	7.36	1

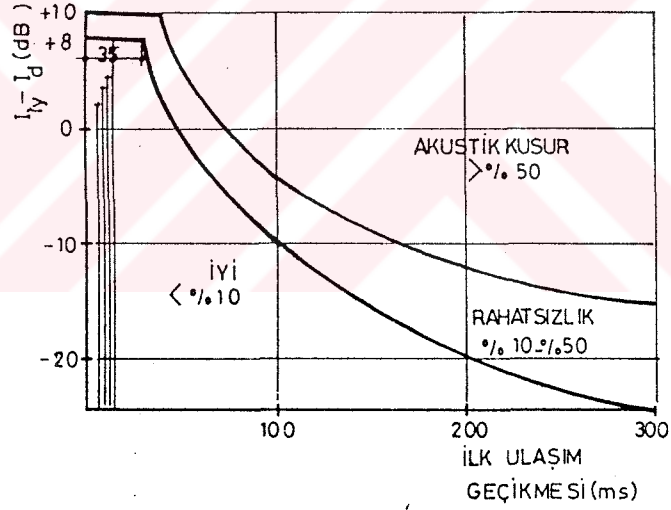


Şekil 2.20. İlk yansımaya açısından rahatsızlık eğrileri

SONUÇ: Şekil 2.20'deki ilk yansımalar açısından rahatsızlık eğrileri grafiğinde (HA-AS KRİTERİ) yeğlilik farkı ve ilk ulaşım gecikmesi, % 10 eğrisinin altında kalmaktadır. Burada yansımalar rahatsız edici değil, tam aksine yararlıdır.

Tablo 2.6

SIRA	İLK YANSIMA ETÜDÜ I			
	Dolaysız sesin ulaşma zamanı (ms)	İlk yansıyan sesin ulaşma zamanı (ms)	İlk ulaşım gecikmesi (ms)	I_d ile I_{ilk} arasındaki yeğlilik farkı (dB)
1. SIRA	10.58	24.70	14.12	7.5
5. SIRA	19.70	30.88	11.18	4
9. SIRA	29.41	38.52	9.11	2.5
13. SIRA	38.52	47.05	8.33	1.9
5. SIRA	19.70	31.76	12.06	4.3
9. SIRA	29.41	37.64	8.23	2.3
13. SIRA	38.52	44.41	5.89	1.4
9. SIRA	29.41	38.23	8.81	2.4
13. SIRA	38.52	41.17	2.65	0.7



Şekil 2.21.

SONUÇ: Yeğlilik farkı ve ilk ulaşım gecikmesi Haas Kriterinde % 10 eğrisinin altındadır.

BÖLÜM 3: ASMA TAVANLARIN GÜRÜLTÜ DENETİMİNDEKİ ETKİNLİĞİNİN İNCELENMESİ

İstenmeyen ve insanı rahatsız eden ses olarak tanımlanan gürültü, günümüzde önemli bir çevre kirliliği etkenidir. Bu nedenle, insan yaşantı ve eylemlerinin büyük bir bölümü yapıların içinde geçtiğine göre, yapılarda kullanıcının konforunu bozan "gürültü" sorununa çözümler getirilmesi yani denetlenmesi gerekmektedir.

Yapı içi gürültüleri, yapıların işlevinden ya da bir başka deyişle, kullanım ve kullanıcılardan kaynaklanan gürültülerdir.

Gürültü denetiminde en etkin ve ekonomik yol gereksiz gürültü kaynaklarını yok etmektir. Bu mümkün olamıyorsa, yapı içi gürültülerinin yapı ile ilgili denetiminde, asma tavanlar, katlar arası döşemelerin ses geçirmezliklerinin artırılması, hacmin toplam yutuculuğunun artırılması ve böylece gürültü düzeyinin azaltılmasında etkin rol oynarlar.

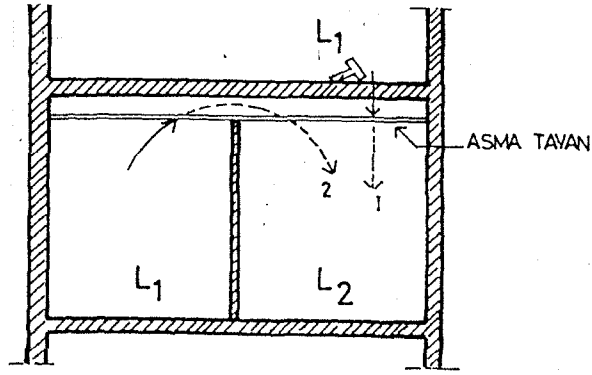
3.1. HACİMDE SES (gürültü) DÜZEYİ

Ses (gürültü) düzeyi, ses kaynağının hacmin içinde ya da hacmin dışında olmasına göre birbirinden ayırım gösterir.

3.1.1. Ses Kaynağının Hacmin Dışında Olması

Ses kaynağının; başka bir sınırlı ortamda (alt, üst, bitişik hacimlerde) olması, alıcı hacimdeki ses düzeyini etkiler.

Hacmin dışındaki gürültüler için, alıcı hacimdeki ses düzeyinin hesaplanmasında kullanılan bağıntı, denklem 3.1'de belirtildiği gibidir.



Şekil 3.1

$$L_2 = L_1 - R + 10 \log S/A \quad (\text{ISO 140-1978}) \quad 3.1$$

L_1 = Hacmin dışındaki gürültü düzeyi (dB)

R = Cidarın ses geçirmezliği (dB)

S = Cidarın alanı (m^2)

A = Toplam yutuculuk (sabine)

Burada hacmin içindeki ses düzeyi söz konusu olduğu için, cidarın sesgeçirmezliği ile ilgili özellikler değil, geçen sesle ilgili olarak cidarın alanı ve hacmin toplam yutuculuğu ele alınacaktır.

Hacmin dışından gelen gürültüler için "S" alanı değişmediği, "A"nın değiştiği durumlarda S/A oranı değişeceği için alıcı hacimdeki gürültü düzeyi bundan etkilenir.

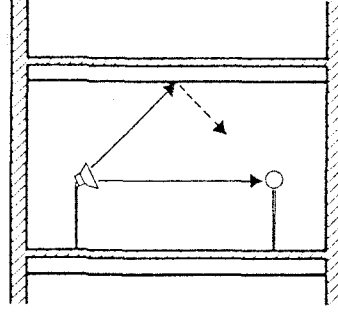
Denklemden sonucu etkileyen bölüm " $10 \log S/A$ "dır. $S/A < 1$ olduğu zaman bu değerlerin logaritması (-) olacağı için;

$$L_2 = L - R + \frac{10 \log S/A}{-} \text{ olur}$$

- (dB)

Gürültünün hacmin dışındaki bir kaynaktan hacmin içine geçmesi, hacimdeki yansımış ses düzeyini etkilediği için hacmin toplam yutuculuğu önemlidir. Bu nedenle, asma tavanlar hacmin toplam yutuculuğunun artırılması ve böylelikle hacimdeki ses düzeyinin hacme geçen sestten bir miktar daha az olmasında etkili olur.

3.1.2. Ses Kaynağının Hacmin İçinde Olması



Şekil 3.2

Ses ya da gürültü kaynağı hacmin içinde ise, hacimdeki ses düzeyi,

- Kaynağın niteliğine,
- Hacmin toplam yutuculuğuna bağlıdır.

Hacmin toplam yutuculuğunun az ya da çok olması özellikle büyük hacimlerde asma tavan yüzeyleri yutma çarpanlarına bağlı olarak hacimdeki yansımış ses düzeyini etkiler.

Yansımış ses ya da gürültü düzeyindeki azalmalar, değişen toplam yutuculukların oranına bağlı olarak hesaplanabilir.

$$G.A = 10 \log \frac{A_2}{A_1} \quad 3.2$$

G.A. = Gürültü (ses) düzeyinde azalma (dB)

A_2, A_1 = Toplam yutuculuk (Sabine)

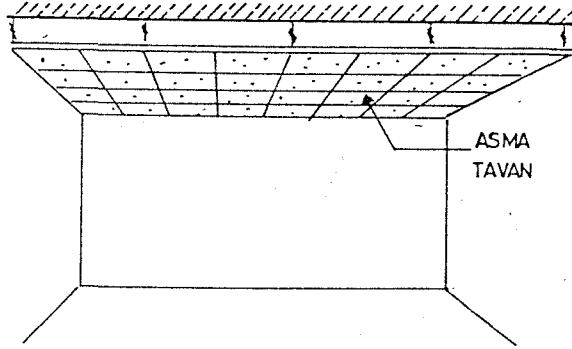
$$A_2 > A_1$$

Hacimde toplam yutuculuk;

- 2 kat arttığı zaman, yansımış ses düzeyinde 3 dB,
- 4 kat arttığı zaman, yansımış ses düzeyinde 6 dB,
- 10 kat arttığı zaman, yansımış ses düzeyinde 10 dB azalma olur.

Gürültü (ses) kaynağının, hacim içinde olması ya da gürültünün hacmin dışındaki kaynaktan hacmin içine geçmesi, her iki durumda da hacimdeki yansımış ses düzeyini etkilediği için hacmin toplam yutuculuğu önemlidir. Bu nedenle, asma tavlardan hacmin içinde gürültü denetimi yönünden toplam yutuculuğun artırılmasında yararlanılabilir.

ÖRNEK



$$S_{\text{Tavan}} = 50 \text{ m}^2$$

I. DURUM

Tavan düz beton yüzey

II. DURUM

Taşıyünü levhalardan oluşmuş asma tavan

Şekil 3.3

GEREÇ	125	250	500	1000	2000	4000
(ay_1) düz beton tavan	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02
(ay_2) taşıyünü asma tavan	0.23	0.17	0.12	0.16	0.16	0.15
$Ay_1 = ay_1 \cdot S_1$	0.05	0.05	0.05	1.0	1.0	1.0
$Ay_2 = ay_2 \cdot S_2$	11.5	8.5	6	8	8	7.5

Her iki hacimde A_b ve A_h değerlerinin aynı olması gerektiği için, bu değerler hesaba katılmamıştır.

$$G.A = 10 \log \frac{A_2}{A_1} \text{ (dB)}$$

Frekanslara göre gürültü düzeyinde azalmalar;

$$G.A = 10 \log \frac{11.5}{0.5} = \underline{13.6} \text{ dB}$$

$$G.A = 10 \log \frac{8.5}{0.5} = \underline{12.3} \text{ dB}$$

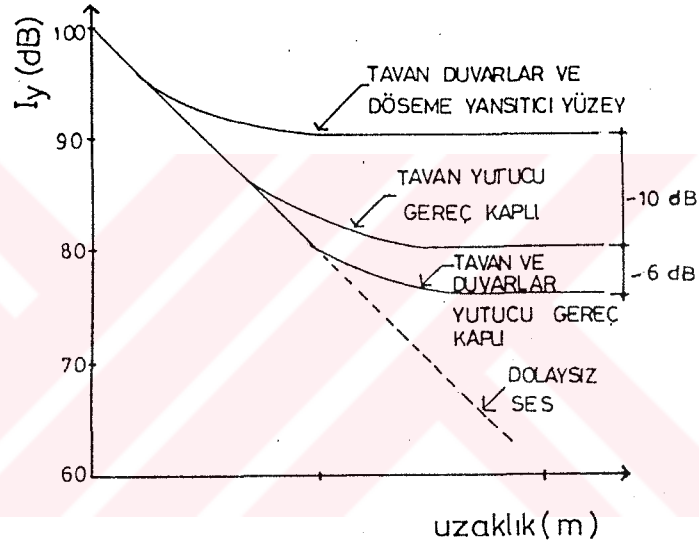
$$G.A = 10 \log \frac{6}{0.5} = \underline{10.7} \text{ dB}$$

$$G.A = 10 \log \frac{8}{1.0} = \underline{9.0} \text{ dB}$$

$$G.A = 10 \log \frac{8}{1.0} = \underline{9.0} \text{ dB}$$

$$G.A = 10 \log \frac{7.5}{1.0} = \underline{8.75} \text{ dB}$$

bulunur. Görüldüğü gibi, I. durumda çok yansıtıcı bir tavan yüzeyi II. durumda ise yutucu bir gereçle asma tavan uygulaması yapıldığında hacimde ses düzeyinde azalmalar frekanslara göre 9-14 dB dolaylarında hesaplanmıştır.



Şekil 3.4. Grafikte, hacmin yüzeylerinde ses yutucu gereçlerin kullanımı ile yansımış ses düzeyindeki azalmalar görülmektedir (Egan, 1988)

Eğer, II.durumda tavanla birlikte duvarlarda da yutucu gereç uygulaması yapılırsa, hacimde ses düzeyinde birkaç dB daha azalma söz konusudur.

Hacimlerde kullanılan gereçlerin yutma çarpanları frekanslara göre ayırım gösterdiği için, toplam yutuculuk değerleri de frekanslara göre değişir. Bu nedenle hacimde kullanılacak gereçlerin seçiminde bu etkenin gözönünde tutulması gerekir (Şeref-hanoğlu, 1987).

3.1.3. Değişik Amaçlı Hacimlerin Gürültü Denetiminde Asma Tavanlar

Gürültü denetimi yönünden ses yutucu gereçler, gürültünün tayfsal özelliklerine göre seçilmeli, biçimlendirilmeli, gerekiyorsa değişik türler bir araya getirilmeli ve etkili olacakları yerlerde ve konumlarda düzenlenmelidirler. Bu aynı hacimde bulunmak ve çalışmak zorunda olanların gürültüden korunmaları bakımından önemlidir.

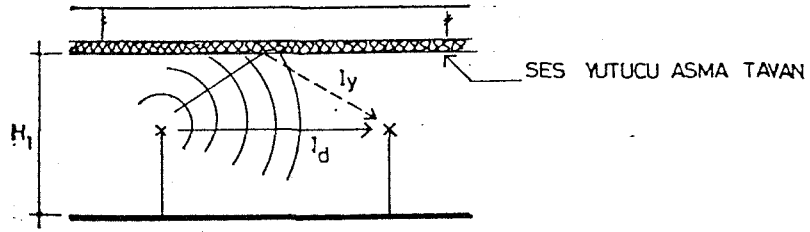
Bir mekânda gürültü denetimine gerek olup olmadığı eğer varsa alınması gereken önlemlerin nitelik ve niceliği kabul edilebilir gürültü düzeylerine göre hesaplanır. Belli bir eylemin akustik konfor koşulları bozulmadan gerçekleştirilebileceği düzeylere ya da mekânda işleve bağlı aşılmaması gereken gürültü düzeylerine kabul edilebilir gürültü düzeyleri (fon gürültüsü) denir. Eğer, gürültü denetiminde fon gürültü düzeyi gözönünde tutulmazsa, yapılan denetim ya yetersiz kalır ya da gereksiz yere değişik yönlerden giderlere neden olur.

Gürültü denetimi yönünden ses yutucu gereçlerin hacimde kullanım yerleri formüllerle yapılan hesapları etkilemez, çünkü formüllerde, yer seçimi etkeni söz konusu değildir.

Ancak, uygulamada, yansımış ses düzeyinde yutuculuğun etkili olabilmesi için, küçük hacimlerde, yutma çarpanı yüksek gereçlerin duvarlarda, büyük hacimlerde ise, bu tür gereçlerin tavanda yer alması daha olumlu sonuç verir. Çünkü kat yüksekliğinin sınırlı olduğu büyük hacimlerde tavan yüzey alanının toplam yüzey alanına oranı küçük hacime göre daha büyüktür.

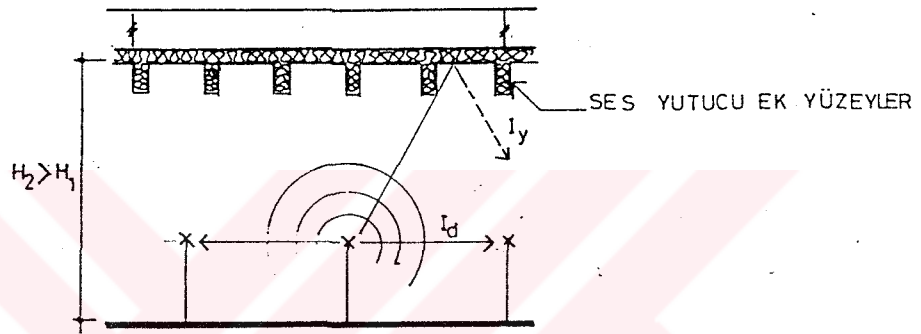
Ayrıca tavanlar, duvarlar ve döşemelere oranla engelsiz düz yüzeylerdir. Özellikle döşemelerde ve kısmen duvarlarda olabilecek bir takım masa, sandalye, dolap vb. birimler sesin yutulmasını engeller. Bu nedenle asma tavanlar, hacimde yansımış ses düzeyini azaltmak için gerekli yüzey yutuculuğunun sağlanmasında en elverişli elemanlardır.

Alçak tavanlı hacimlerde; (~3.50 m'den daha az) büyük bürolar, lobiler, derslikler vb. olduğu gibi diğer boyutların tavan yüksekliğine (H) oranla daha büyük olduğu hacimlerde asma tavan hacmin toplam yutuculuğunun artırılmasında büyük önem taşır. Tüm asma tavan yüzeyinde en azından gürültü azaltma çarpanı (NRC) 0.60 olan bir gerecin uygulanması olumlu sonuç verir.



Şekil 3.5

Tavan yüksekliği arttıkça iyi bir uygulama için gerekli olan gürültü azaltma çarpanı değeri daha yüksek olması gerekir, ya da ek yutucu yüzeyler kullanarak, yutucu yüzey alanı artırılır, dolayısıyla toplam yutuculuk artırılır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6

- GÜRÜLTÜ AZALTMA ÇARPANI (NRC); gereğin 250,500, 1000, 2000 Hz'deki ses yutma çarpanlarının aritmetik ortalamasıdır.

$$NRC = \frac{a_{250} + a_{500} + a_{1000} + a_{2000}}{4} \quad 3.3$$

NRC, gereğin ses yutuculuğunun tek sayı ile ifadesidir. Ancak bir gereğin seçiminin yalnız NRC'ye dayandırılması yalıştır. buna rağmen düşük frekans yutuculuğunun önemli bir etken olmadığı yerlerde (lobiler, genel aktivite alanları) NRC yeterli bir ölçüttür.

Tablo 3.1. Hacim Tipleri ve NRC Değerleri (Egan, 1988)

HACİM TİPLERİ	NRC	TAVAN	DUVARLAR
• Büro (özel), büyük bürolar, küçük konferans salonları, hastane, laboratuvar, kütüphane, depolar, mağazalar	0.65 - 0.75	Tamamı	ihtiyaç yok.
• Lobiler, koridorlar, jimnastik salonları	0.65 - 0.75	Tamamı	kullanılabilir.
• Derslikler, büyük toplantı salonları	0.65 - 0.75	Kısmi	kullanılabilir.
• Mutfak, kafeterya, çamaşırhane, restaurant	> 0.75	Tamamı	Genellikle ihtiyaç duyulmaz
• Bilgisayar odası, okul, endüstriyel mağazalar, makina odaları	> 0.75	Tamamı	kullanılabilir.
• Konser salonları, tiyatro, radyo/TV stüdyoları, Müzik çalışma odaları, audivision salonları, açık planlı okullar, yabancı dil lab, fabrikalar vb.	Bu hacimlerde kullanılacak gereçlerin, uygulama yerleri ve ses yutma çarpanlarına özel çalışmalarla karar verilir.		
• Açık planlı bürolar	> 0.80	Tamamı	kullanılabilir.

Mimaride açık planlı sistemlerin kullanımı her geçen gün artmakta ve pek çok alanda kullanılmaktadır. Büro binaları, kütüphaneler, okullar, sergi salonları vb.'lerinde açık planlı sistemler kullanılmaktadır.

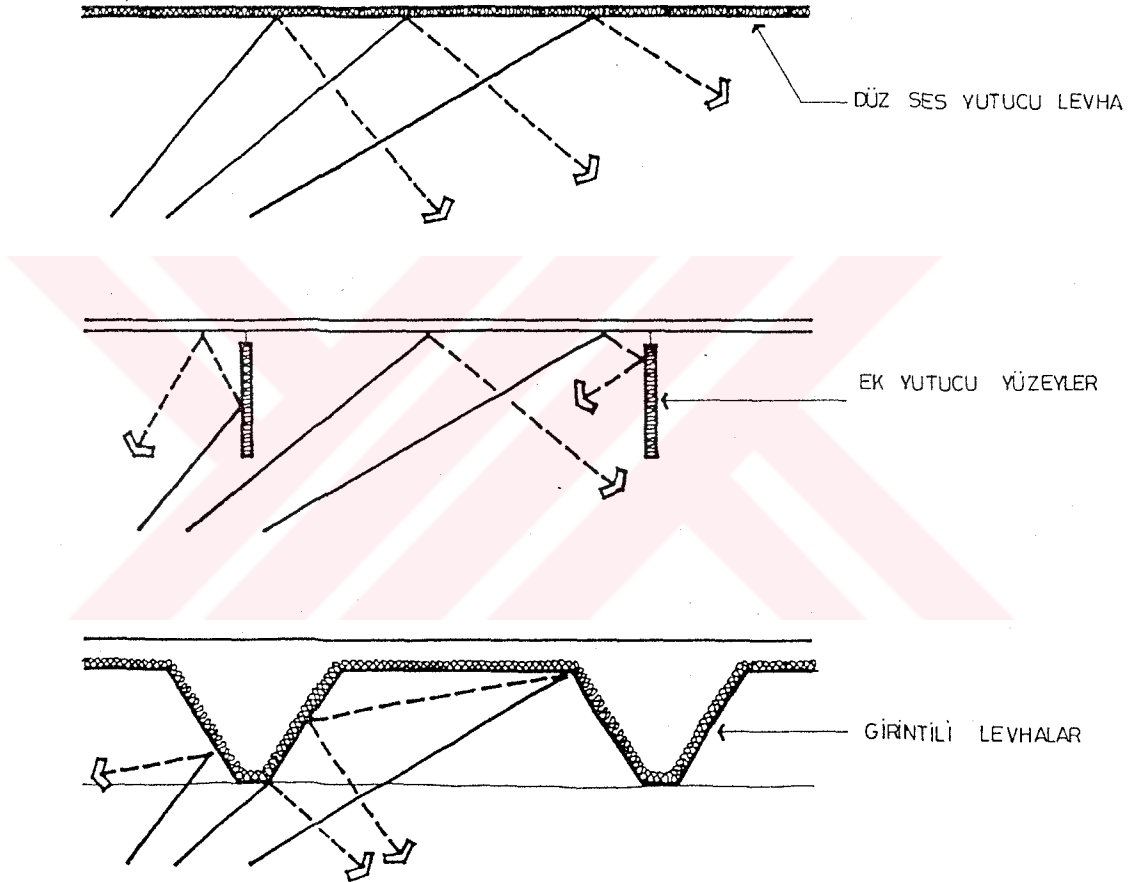
Açık planlı tasarlanmış değişik amaçlı hacimler koşullara göre üç boyutlu sınırsız ortamlara benzetilebilir. Bu durumda ses açık havada olduğu gibi yayılır yani ses alanı "doğrultulu ses alanı"dır. Fakat tavan sınırlayıcı bir eleman olarak karşımıza çıkar. Çünkü ses dalgalarının bir kısmı tavan yüzeyine gider ve buradan yansiyarak hacme geri döner. Bu durum hacimde yansımış ses düzeyini etkiler. Bu nedenle tavandan yansımaları büyük oranda azaltmak için, asma tavanda ses yutucu gereçlerin kullanılması gerekmektedir.



Şekil 3.7. Açık planlı büro hacminde asma tavan uygulaması

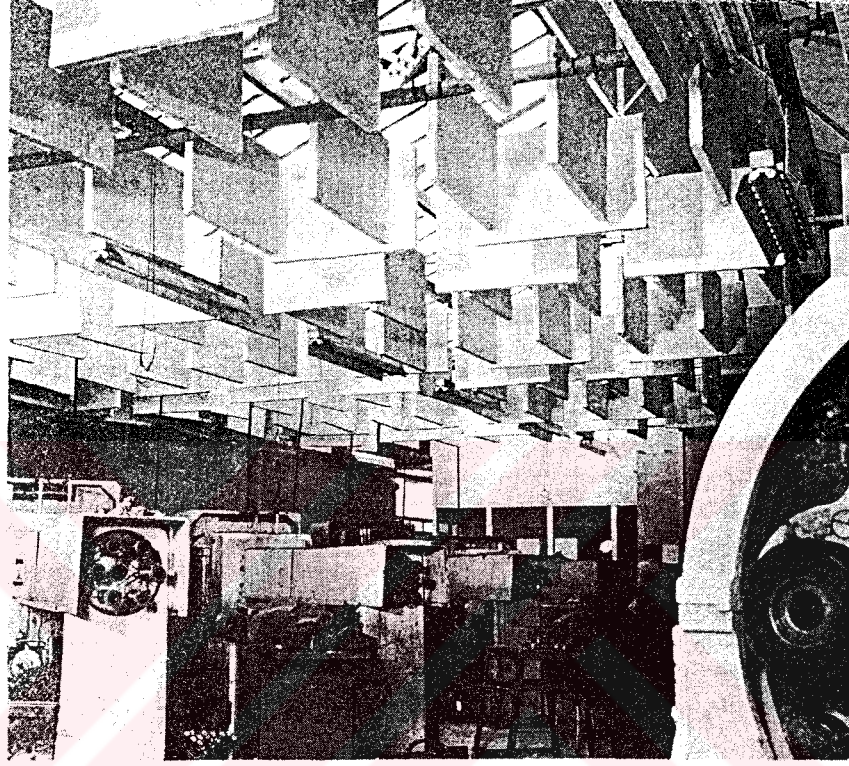
Açık planlı sistemlerde, hacmin işlevi ile ilgili eylemlerin tümü bir arada yapılır. Bu nedenle, çalışan kişiler arasında konuşmanın anlaşılabilirliği, gerekli durumlarda konuşma gizliliğinin sağlanması gerekir.

Bu nedenle, özellikle konuşma için önemli olan 500, 1000 ve 2000 Hz'de ortalama asma tavan yüzey yutuculuğu 0.80 olmalıdır. Ayrıca tavan yüzeyi kırık parçalara bölünerek yansıyan sesin doğrultusu ayarlanabilir. Dalga boyu parça büyüklüğünü aşan sesler bu doğrultu ayarlamasına uymayacaktır.



Şekil 3.8

Eğer hacimde ses yutucu gereçlerin kullanılmasında yeterli yutucu yüzey sağlanmıyorsa, hacmin içinde gürültü kaynağı için aynı zamanda engel özelliği taşıyan ek yutucu öğeler oluşturulabilir. Özellikle gürültülü çalışan aygıtların bulunduğu hacimlerde (atelye, fabrika açık planlı büro hacimleri gibi) bu tür öğelerin uygun detaylar oluşturularak kullanılması gürültü denetimi yönünden önem taşır.



Şekil 3.9. Gürültülü çalışan aygıtların bulunduğu bir hacimde, çatıya asılmış modüler yutucu sistemler

Öte yandan, döşemeleri ve duvarları kullanım gereksinimlerinden ötürü çoğu zaman yansıtma çarpanı yüksek gereçlerden oluşturulan mekânlarda gerekli toplam yutuculuğun sağlanması neredeyse tümüyle tavana düşer. Bu nedenle, toplam yutuculuğu arttırmak için tavana bir takım ek yutucu yüzeyler asılarak "S" alanı büyütülebilir.

3.2. ASMA TAVANLARDA SESİN GEÇMESİ

Yapılarda, gerek yapı dışı gürültülerin, gerek yapı içi gürültülerin kullanıcıları etkilemesinde sesin geçmesi olayı önem taşır. Yapı içi gürültülerinin kullanıcıları etkilemesinde genelde bitişik hacimler ve katlar arası bölme, duvar ve döşemelerden sesin değişik yollarla geçmesi rol oynar.

Sesin geçmesi genellikle, ses enerjisinin bir ortamdan başka bir ortama geçmesi olayıdır. Bu geçiş, iki ortamı ayıran elemandan sesin geçirgenlikle, cidar titreşimiyle ve var ise açıklıklardan dolaysız olarak gerçekleşir. Ayrıca, sesin düşeyde ve yatayda dolaylı olarak geçmesi söz konusudur.

Asma tavanlar, sesin, hem düşeyde yani üst kattan alt kata geçmesinde hem de yatayda mekanlar arasında dolaylı yolla geçmesinde etkilidir. Bu nedenlerle asma tavanların sesgeçirmezlik durumunun incelenmesi gerekir.

3.2.1. Sesin Düşeyde Cidar Titreşimi ile Geçmesi-Asma Tavan

Yapılarda gürültü denetimi yönünden sesin cidar titreşimi ile geçmesi önemlidir.

Bir yapıda herhangi bir cidara gelen ses dalgaları ile cidar titreşmeye girer. Titreşen bu cidarların arkasında bulunan havasında titreşmesiyle ses geçer. Cidar kendini bütünüyle titreştirmeye zorlayan bu güce, bir başka deyişle, gelen ses dalgaları ile hava basıncında beliren değişimlerin doğurduğu itme ve çekmelere, kitleleriyle karşı koyar. Bir cidar ne kadar ağır olursa, onu titreştirmek o oranda güç olur. Buna "Kitle Yasası" denir. Titreşen bir cidarla geçen sesteki azalma cidarın sesgeçirmezliğini verir. Sesgeçirmezlik frekansın artması ile artar, yani kitlelerin ince seslere karşı sesgeçirmezlik değerleri yüksek olur (Sirel, 1980).

Sesgeçirmezlik hesaplarında, ortalama frekansa göre belirlenen ve ortalama ses geçirmezlik değerini veren denklem 3.1. kullanılır.

$$R = 15.4 \log m + 10$$

3.1

R = Sesgeçirmezlik değeri (dB)

m = Kitle ağırlığı (kg/m²)

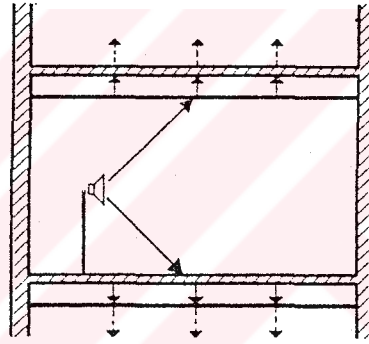
f = frekans (Hz)

ÇİFT CİDAR (döşeme + asma tavan); Kitle ağırlığına bağlı olarak, ses geçirmezlik artmakla birlikte bu gürültü denetiminde çok etkili bir yol değildir. Örneğin; $R = 15.4 \text{ Log } m + 10$ formülünde "m" 10 kat arttırıldığı zaman sesgeçirmezlik 15.4 dB artış göstermektedir. Günümüz yapılarında ağırlığı çok fazla olan kitlelerin kullanılması pek uygun olmaz. Bunun yerine daha yüksek sesgeçirmezlik sağlayan çift cidar yapılması daha uygundur.

Asma tavanın ikinci bir cidar oluşturarak, akustik açıdan çift cidar karakteristiği kazanması düşeydeki ses geçirmezliğin artmasına yardımcı olur.

Sesin düşeyde geçmesinde asma tavanların rolü konusunu ele aldığımız zaman, üst kattan alt kata geçen sesin havada ve katıda doğan ses olarak incelenmesi gerekir.

3.2.1.1. Havada Doğan Seslerin Geçmesinde Asma Tavan



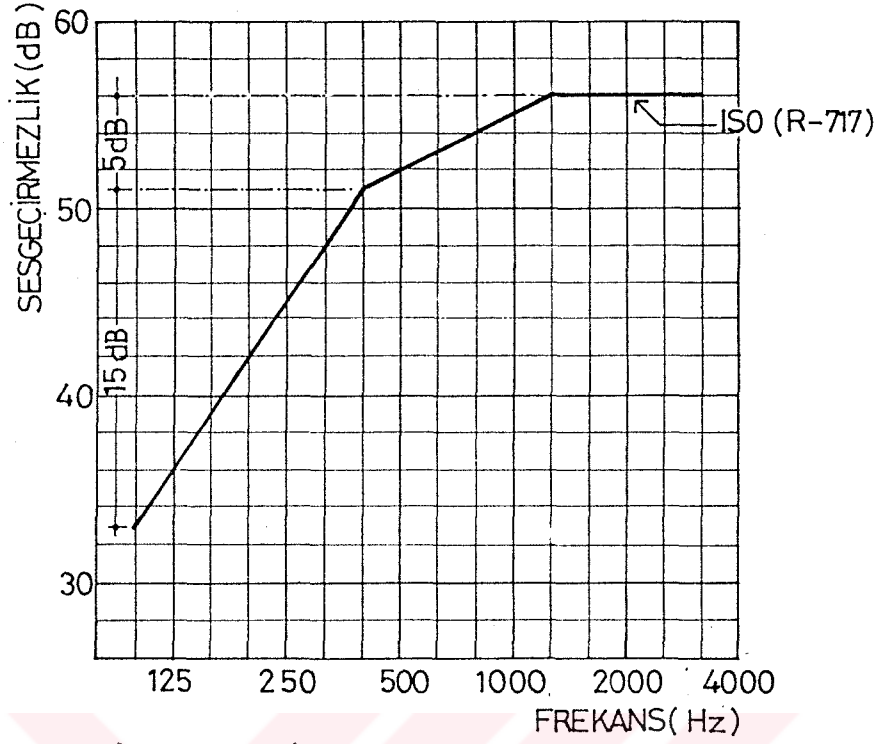
Şekil 3.10

Bir ses kaynağının titreşimleri özellikle havaya geçiyor ve havada yayılıyorsa buna havada doğan ses denir. İnsan sesleri, Radyo/TV benzeri aletlerin sesleri hoparlörler gibi havada doğan seslerin geçmesinde önemli olan öge temelde cidarın kitle ağırlığıdır.

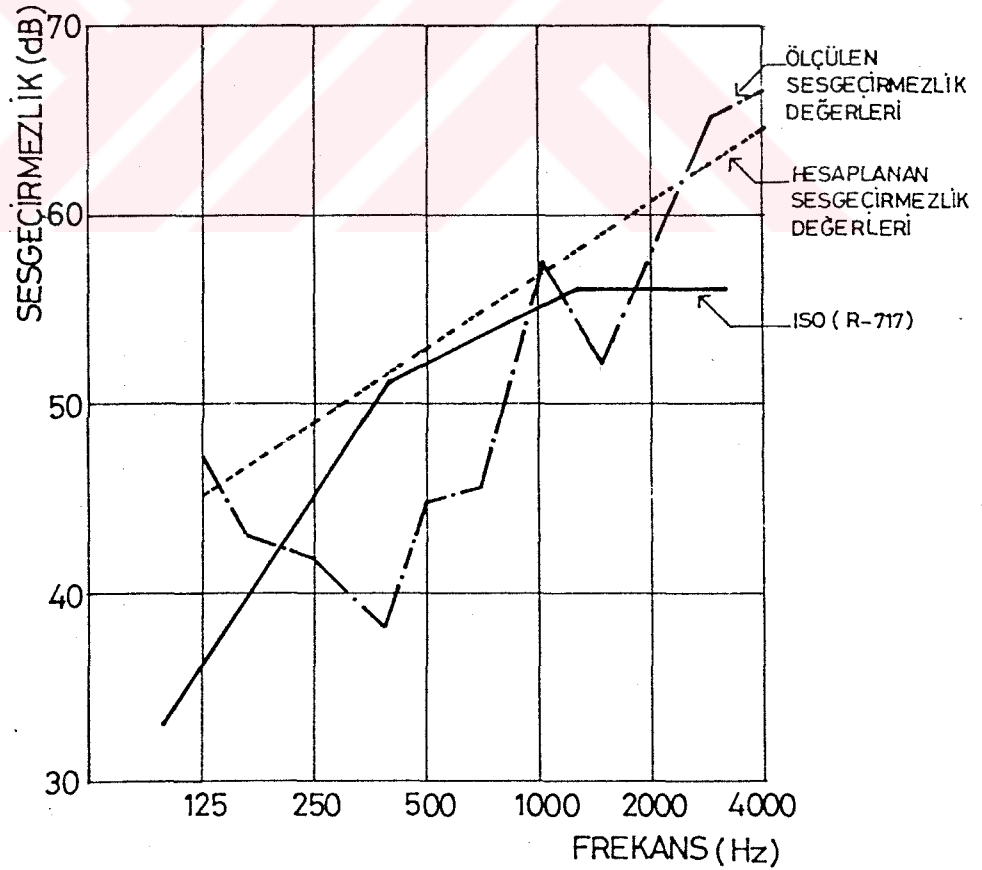
ISO (R-717), özellikle konut taşıyıcı döşemeler için gerekli olan sesgeçirmezlik değerlerini önermiştir. Bu değerler 1/3 oktav bant ortalama frekanslar için 100-3150 Hz arasında ölçme değerleri olarak verilmiştir.

Tablo 3.2

FREKANS (Hz)	R(dB)	FREKANS (Hz)	R(dB)
100	33	630	53
125	36	800	54
160	39	1000	55
200	42	1250	56
250	45	1600	56
315	48	2000	56
400	51	2500	56
500	52	3150	56



Şekil 3.11. Konut döşemeleri için gerekli sesgeçirmezlik ölçme değerleri



Şekil 3.12. 10 cm betonarme döşeme için ölçülen ve hesaplanan sesgeçirmezlik değerleri

Şekil 3.12'deki grafikte görüldüğü gibi havada doğan sesler için 10 cm betonarme döşemenin sesgeçirmezliği yetersizdir. Asma tavan uygulaması gerekli koşulları sağladığı zaman, döşeme+asma tavan çift cidar özelliği kazanır ve sesgeçirmezlik artar.

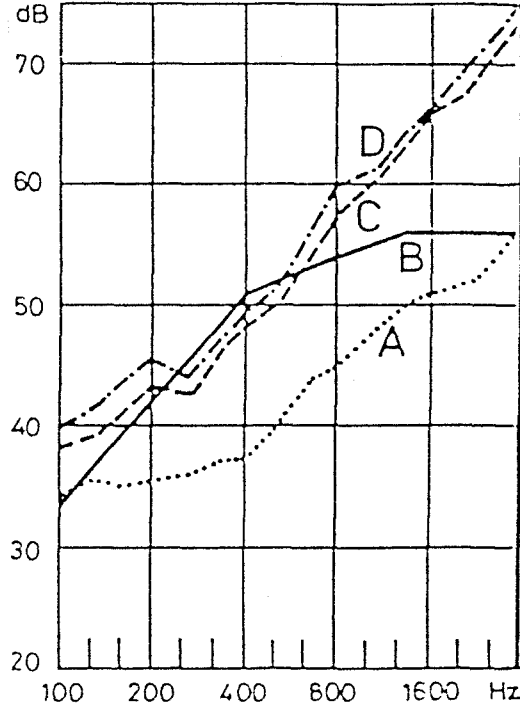
Tablo 3.3'de yapıların kullanım amaçlarına göre havada doğan seslere karşı döşemelerde gerekli olan R_{ort} değerleri belirlenmiştir.

Tablo 3.3

YAPI TÜRÜ	R (dB)
1- Konutlarda katlar arası, girişler, merdiven evleri üzerindeki döşemeler	49
2- Hastane ve otellerde yatak odaları arasındaki döşemeler	49
3- Konutlarda avlu geçitleri ve garajlar üzerindeki döşemeler	52
4- Okullarda derslikler arası döşemeler	52
5- Lokanta eğlence yerleri, işlikler ya da konutlar arasındaki döşemeler	59
6- Yatak odaları ve hasta odaları ile mutfaklar ve gürültülü hacimler arasındaki döşemeler	59

Gürültü denetiminde alıcı hacmin niteliğine göre gerekli sesgeçirmezlik sağlanır. Aynı tür hacimler söz konusu olduğunda, gerekli sesgeçirmezlik en az değerdedir. Yüksek sesgeçirmezliğin gerekli olduğu hacimlerde (Örn. 5 ve 6 no.lu hacimler) asma tavan uygulaması döşemenin sesgeçirmezlik artırılabilir.

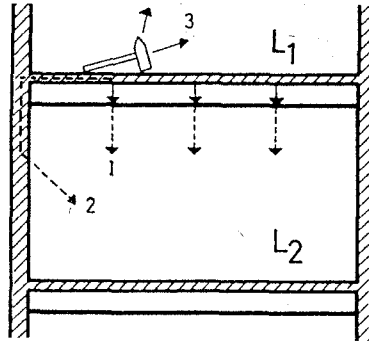
Şekil 3.13'te birim hacim ağırlığı yaklaşık 400 kg/m^3 olan 20 mm kalınlığında taşıyıcı asma tavanın uygulandığı döşemelerde havada doğan sesler için ölçülen sesgeçirmezlik değerleri grafik olarak gösterilmiştir (Owacoustic).



Şekil 3.13

- A eğrisi; Mevcut taşıyıcı döşeme sesgeçirmezlik değerleri (asma tavan yok)
- B eğrisi; Konut taşıyıcı döşemeleri için gerekli olan sesgeçirmezlik değerleri
- C eğrisi; Mevcut taşıyıcı döşeme altına taşıyıcı asma tavan uygulamasının sesgeçirmezlik değerleri
- D eğrisi; Taşıyıcı döşeme ile taşıyıcı asma tavan arasında kalan boşluğa 30 mm kalınlıkta gözenekli gereç yerleştirilmesiyle artan sesgeçirmezlik değerleri

3.2.1.2. Katıda Doğan Sesin (darbe gürültüsü) Geçmesinde Asma Tavan



Şekil 3.14. Katıda doğan sesin geçmesi

Düseyde sesgeçirmezlik söz konusu olduğunda temel sorun darbe gürültüsü adı verilen katılarda doğan seslerin geçmesinden kaynaklanır. Çünkü pek çok yapı elemanı ve gerecinde ses, havaya oranla çok daha hızlı ve az kayba uğrayarak yayılır ve bitişik olan ve olmayan mekanlara geçer.

Döşemelerde (katı cisimlerde) adım sesi, nesnelerin düşmesi ya da vurma sonucu çıkan sesler, ayrıca mobilyaların itilip çekilmesinden kaynaklanan sesler vb darbe sesi (gürültüsü) olarak tanımlanır.

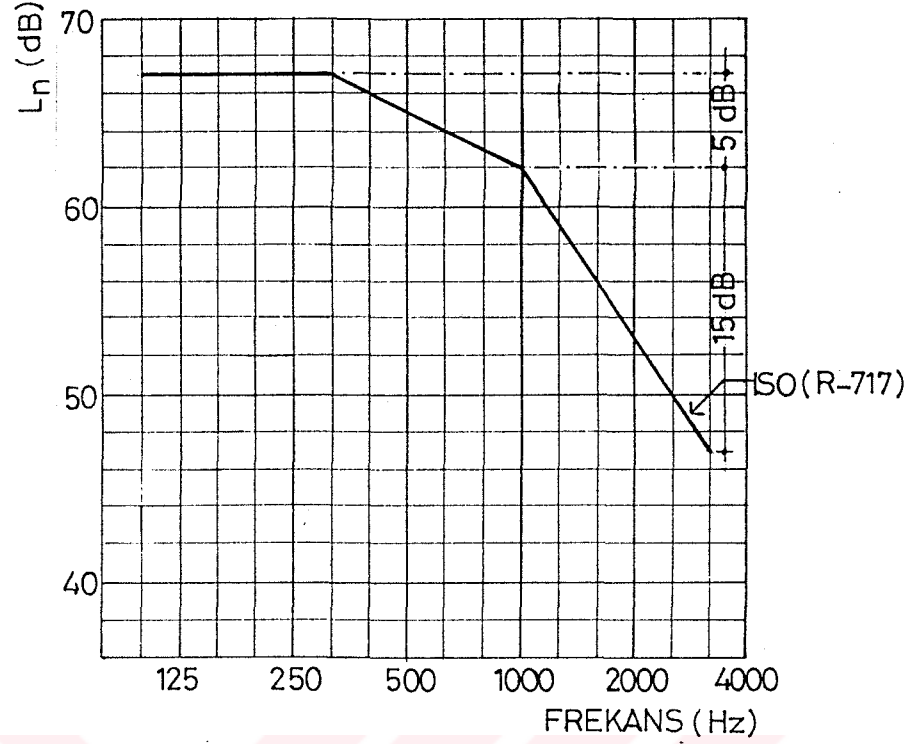
Şekil 3.14'de görüldüğü gibi döşemelerde oluşan bu ses doğrudan döşeme yolu ile dolaylı olarakta duvarlar ve taşıyıcı sistemler yolu ile alt kata geçer. Aynı zamanda hacim içinde de belirli düzeyde gürültüye neden olur. Darbe gürültüsünün oluşmasında;

- Yapı kullanıcılarının,
- Yapıların işlevlerinin,
- Özellikle hareketli mobilyaların, döşeme ile temas eden bölümlerinin (yüzey ya da ayak)
- Döşeme niteliklerinin etkileri rol oynar (Şerefhanoğlu, 1992).

ISO (R-717) no.lu standartında darbe gürültüsü için döşemelerde gerekli sesgeçirmezlik değerleri 1/3 oktav bant için 100-3150 Hz arasındaki ölçme değerleri olarak verilmiştir.

Tablo 3.4

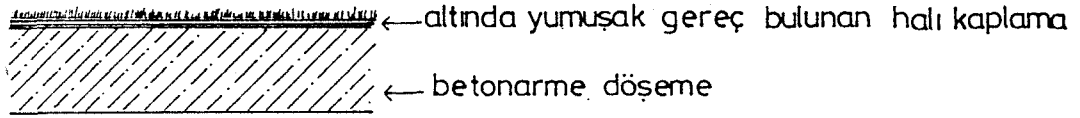
FREKANS (Hz)	Ln(dB)	FREKANS (Hz)	Ln(dB)
100	67	630	64
125	67	800	63
160	67	1000	62
200	67	1250	59
250	67	1600	56
315	67	2000	53
400	66	2500	50
500	65	3150	47



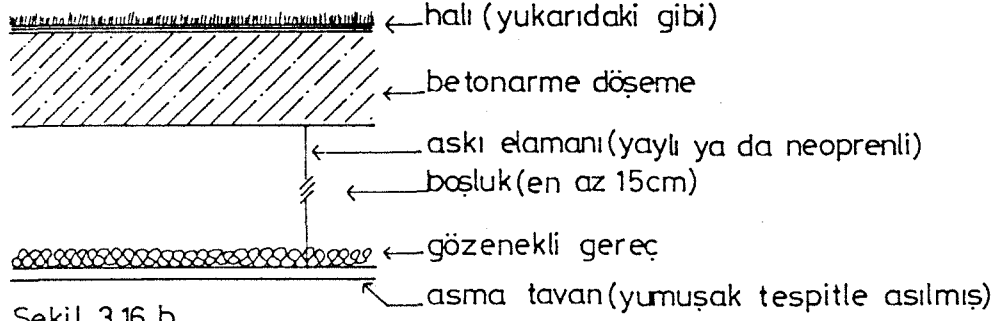
Şekil 3.15

Buradan homojen döşeme plaklarında darbe sesi düzeyi (L_n) kuramsal olarak belirli yaklaşıklıklarla bulunabilir.

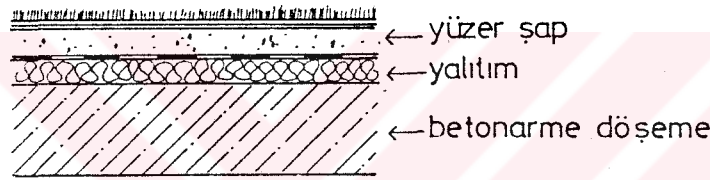
Ses bir kez katıda doğmuşsa bunun yayılmasının ve geçmesinin önlenmesi güçleşir. Bu nedenle darbe gürültüsü denetiminde ilk yol, sesin katıda doğmasının önlenmesi ya da en aza indirgenmesidir. Döşemenin üst yüzeyinin yumuşak esnek bir gereçle kaplanması (halı gibi) ya da eğilme sertliği az olan bir gereç (muşamba, linolyum gibi) altına uygun bir yalıtım tabakası yerleştirilmesi darbe sesine karşı belirli bir yalıtım sağlar. Fakat kesin çözümler getirmeyebilir. Asma tavanların bu aşamada kullanılması önemli sonuçlar verebilir. Şekil 3.16'da ki dört kesitte, darbe gürültüsüne karşı alınabilecek önlemler sırasıyla gösterilmiştir.



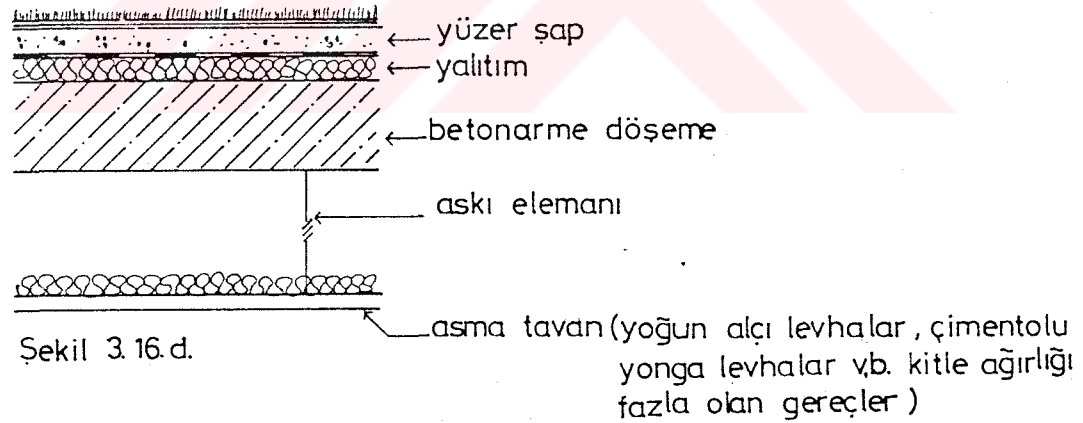
Şekil 3.16.a



Şekil 3.16.b



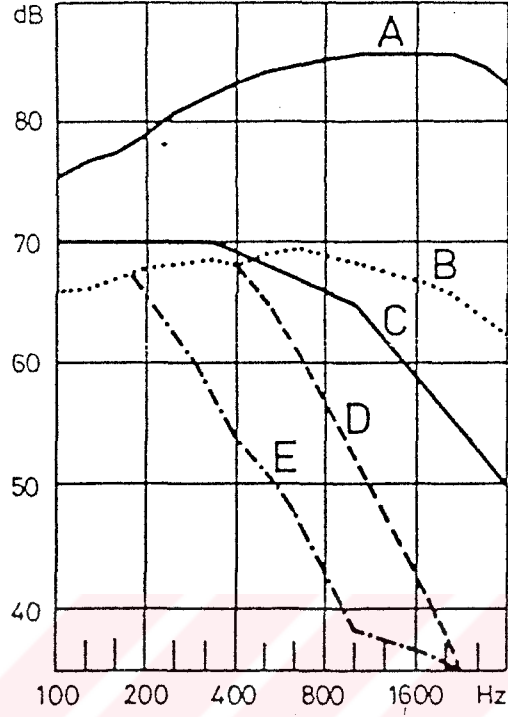
Şekil 3.16.c.



Şekil 3.16.d.

Şekil 3.16.(a)'da betonarme döşeme üzerine altında yumuşak gereç olan halı serilmiştir. Şekil 3.16.(b)'de oluşturulan asma tavan yumuşak tespitle betonarme döşemeye bağlanmış, ayrıca ara boşluktaki sesin yutulması amacıyla ses yutucu gereç kullanılmıştır. Şekil 3.16.(c)'de döşemenin üzerinde, yine yumuşak tespitle oluşturulan ikinci bir kaplamayla (yüzer döşeme) sesin taşıyıcı döşemeye geçmesi en aza indirgenmiştir. Şekil 3.16.(d)'de ise yüzer döşeme ve asma tavan birlikte kullanılarak, hem darbe sesleri hem havada doğan sesler için maksimum sesgeçirmezliği sağlayacak bir detay oluşturulmuştur (Şerefhanoglu, 1992).

Şekil 3.17'de döşeme kesitinin özelliklerine göre katıda doğan sesler için (darbe gü-
rültüsü) ölçülen sesgeçirmezlik değerleri grafik olarak gösterilmiştir (Owacoustic):



Şekil 3.17

- A eğrisi; Mevcut taşıyıcı döşeme sesgeçirmezlik değerleri (asma tavan yok)
- B eğrisi; Mevcut taşıyıcı döşeme altında, ara boşluğunda 30 mm gözenekli ge-
reç bulunan, 20 mm kalınlıkta taşıyıcı asma tavan (400 kg/m^3) uygula-
masının sesgeçirmezlik değerleri
- C eğrisi; Konut taşıyıcı döşemeleri için gerekli olan sesgeçirmezlik değerleri
- D eğrisi; B'deki gibi + döşeme yüzeyi yumuşak esneyebilen bir gereçle kaplı
- E eğrisi; B'deki gibi + yüzer döşeme uygulaması.

ÇİFT CİDARIN (döşeme+asma tavan) SESGEÇİRMEZLİĞİNİN YÜKSEK OLMASI:

Çift cidar olarak döşeme + asma tavan uygulamasında özen gösterilmesi gereken kimi durumlar söz konusudur. Bunları aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz:

- Döşeme + asma tavan çift cidar olarak mekanikteki kitle + yay + kitle sistemi gi-
bi çalışır. Aradaki hava tabakası yay gibi iki kitleyi birbirine bağlar. Çift cidarlar-
da rezonans frekansının olabildiğince düşük değerlerde olması uygundur (Bu
frekanslarda insan kulağının duyarlılığı fazla olmadığı için ses yalıtımı açısin-
dan çok önem taşımaz). Cidarın ağırlığının ve hava tabakasının artması bunu
sağlar.

- Asma tavan gerecinin hem havada doğan sesler hem de katıda doğan sesler için yüksek sesgeçirmezlik sağlayabilmesi kitle ağırlığına bağlıdır. Asma tavana da kullanılan gerecin kitle ağırlığı en az 25 kg/m² olmalıdır. Bu da 2. cidar olarak asma tavanın sesgeçirmezliğinin en az 30 dB olmasını gerektirir.

Asma tavanlarda kullanılan gereçler kitle ağırlıklarının az olması nedeniyle sesgeçirmezlik açısından zayıf öğelerdir. Gerecin kalınlığının artması ile kitle ağırlığı artacağı için ses geçirmezlikte artar. Fakat kullanma, detaylandırma, taşınma vb. nedenlerden ötürü çok kalın gereçlerin kullanımı her zaman olanaklı değildir. Ayrıca kitle ağırlığı fazla olan gereçlerin yüzeyinden ses yansıtacağından hacimdeki yansımış ses düzeyi olumsuz etkilenir. Bu nedenle hem sesgeçirmezlik hem de yansımış ses düzeyini azaltmak için kullanılan gerecin yutma çarpanlarının önem kazandığı durumlarda, belli bir kitle ağırlığı olan gerecin hacme bakan yüzeyi ses yutucu gereçle kaplanabilir. Yoğun alçı levhalar, çimento bağlayıcılı ahşap yonga levhalar vb. kitle ağırlığı fazla olan gereçler asma tavanlarda sesgeçirmezliği artırmak amacıyla kullanılabilir. Tablo 3.5'te bu gereçlerin $R=20 \log m + 12 \log f - 27$ formülü ile hesaplanan sesgeçirmezlik değerleri verilmiştir.

Tablo 3.5

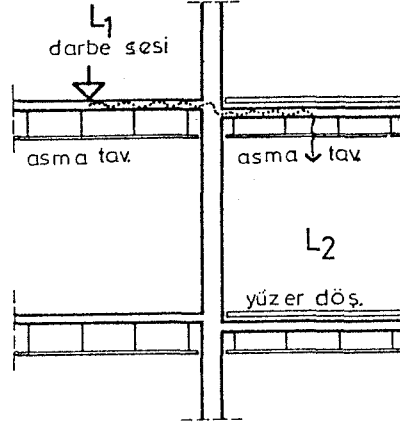
GEREÇ	Sesgeçirmezlik (dB)					
	125	250	500	1000	2000	4000
• 25 mm Alçı Levha (1000 kg/m ³)	26.11	29.72	33.33	36.95	40.56	44.17
• 25 mm Çimentolu Yonga Levha (1250 kg/m ³)	28.05	31.66	35.27	38.89	42.5	46.11

3.2.2. Sesin Dolaylı Geçmesi-Asma Tavan İlişkisi

Sesin cidar titreşimi ile geçmesinde, cidar dalgalanma hareketleri yapar ve cidarın esnekliği oranında bu hareket cidar boyunca yayılır. Cidarda kesiklik olmadıkça yayılmasını sürdürerek bitişik olan ya da olmayan hacimlere geçer. Sesin bu yolla geçişi özellikle yüksek sesgeçirmezlik sağlanması gereken durumlarda önem kazanır.

Sesin dolaylı yolla geçmesini düşeyde ve yatayda incelemek gerekir.

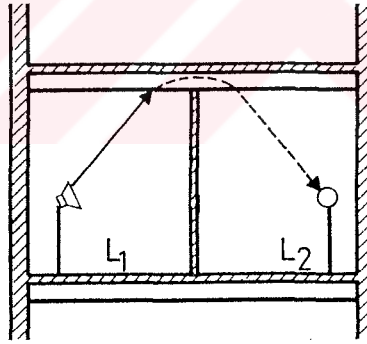
3.2.2.1. Sesin Düşeyde Dolaylı Geçmesi-Asma Tavan



Şekil 3.18

Katlı yapılarda yan yana olan hacimlerden birinde yüzer döşeme yoksa buradaki darbe sesi dolaylı olarak yandaki alt hacme geçebilir. Bu gibi durumlarda asma tavanların kullanılması olumludur.

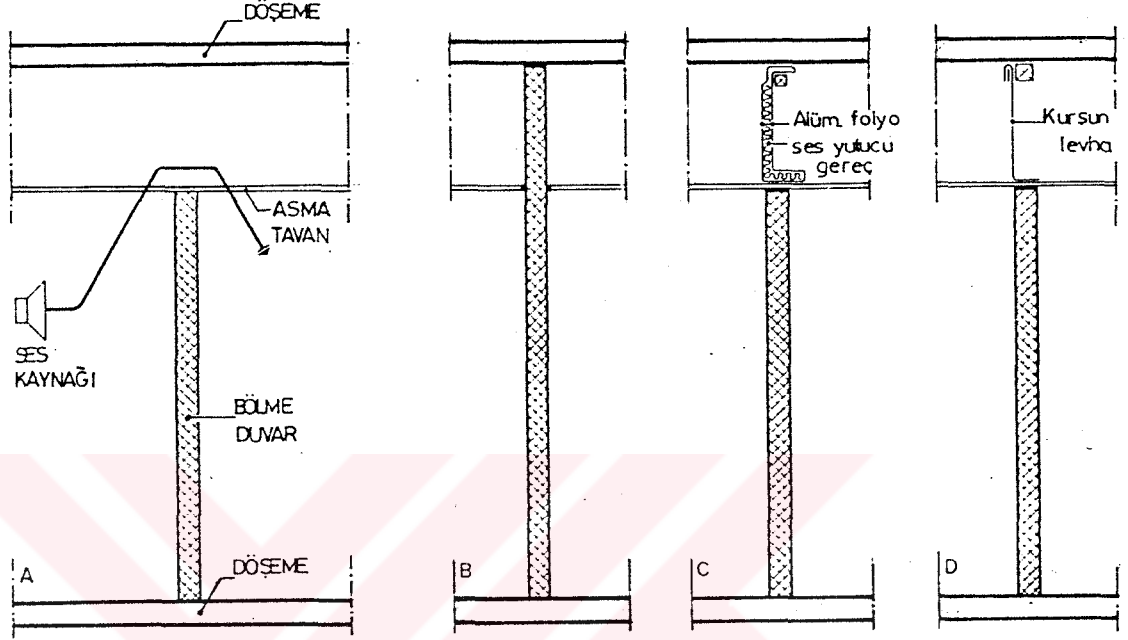
3.2.2.2. Sesin Yatayda Dolaylı Geçmesi-Asma Tavan



Şekil 3.19

Özellikle büro binaları gibi yapılarda, asma tavanlar, yapım kolaylığı ya da ekonomik nedenlerle, sıklıkla sürekli ve kesintisiz olarak uygulanır. Bu durumda ise, iç hacimde bölme elemanlarıyla (duvarlarla) birbirinde kopuk olan mekanlar, asma tavan yoluyla, ses açısından sürekli bağlantı içindedir. Asma tavan boşluğunun iki boyutlu ortam özelliği taşıması, burada sesin çok az yutulmasına yol açar. Yani Şekil 3.19'da görüldüğü gibi bir mekan da doğan ses kitlesi çok fazla olmayan asma tavan elemanından kolaylıkla boşluğa oradan da o hacme bitişik olan ya da olmayan pek çok hacme yayılır.

Konuşma gizliliği ve gürültü denetimi açısından son derece olumsuz olan bu durumun önlenmesi için, asma tavan elemanının kitlesinin yeterince artırılması çoğu zaman olanaksızdır. Bu durumda, bölme elemanlarının asıl tavana kadar yükseltilmesi ya da duvar üzerinde asma tavanın sürekliliğini kesici bir başka elemanın kullanılması gerekir (Doelle, 1972).



Şekil 3.20

Yatayda dolaylı geçmede üzerinde özenle durulması gereken bir başka konuda havalandırma kanalları gibi asma tavan içinde süreklilik göstererek her hacme çıkış yapan döşem elemanlarıdır. Bu tür kanallar yoluyla sesin geçmesini önlemek için, kanallarda (kanal ağzı ve içinde) önlemler almak gerekir. Daha kesin bir çözüm ise önemli hacimlere özel kanallar döşenmesidir. Öte yandan aydınlatma aygıtları, hoparlörler gibi asma tavan elemanlarının, kanal özelliği taşımaları da kitlelerinin hafif olması nedeniyle asma tavanda zayıf noktalar oluşturarak, sesin dolaylı geçmesine yol açarlar.

Özetle, asma tavanların düşeyde ve yataydaki sesgeçirmezliğinin yüksek olması için alınması gereken önlemler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Tavan boşluğunun, aradaki hava tabakasının ses açısından bağlayıcı etki yapmayacak ölçüde, yüksek tutulması gerekir (en az 15 cm).

- Asma tavanın taşıyıcı elemanları tavana yumuşak tespitle bağlamalıdır.
- Asma tavan gereci, yeterli sesgeçirmezliği sağlayacak kitle ağırlığında olmalıdır. Bu açıdan ağır gereçler yeğlenmelidir.
- Asma tavan gereci üzerinde kullanılan ses yutucu gereçler (cam yünü keçe vb) hava tabakasının bağlayıcı etkisini azaltır, sesin yutulmasını sağlar, sesgeçirmezliği yükseltir.
- Dolaylı geçmenin önlenmesi için bölme elemanlarının, sürekliliğinin asma tavan boşluğunda da sağlanması gerekir.
- Asma tavan ile taşıyıcı döşeme arasındaki tüm açıklıklar, bağlantı yerleri titreşim sönmütici gereçlerle kapatılmalıdır.



SONUÇ

Asma tavanlar, pek çok sorunun çözümüne olanak sağlamaya elverişli yapı elemanlarıdır. Günümüz mimarisinde, yapılarda (oteller, bürolar hastaneler, okullar.... vb) asma tavan sıklıkla uygulanmaktadır. Çağdaş mimarinin bu yararlı elemanı, döşemi gizlemek ve iç mimari görünüşü zenginleştirmek gibi nedenlerle de yapılabilmektedir. Temel amacı akustik dışı gereksinimleri karşılamak da olsa, bir hacimde kullanılan her gereç akustik yönden olumlu ya da olumsuz bir etki gösterir. Söz konusu etkinin olumlu olmasının sağlanması ise ancak konu ile ilgili incelemelerin yapılması ve uygulamada gereken özenin gösterilmesi ile mümkün olur.

Yapı içinde işitsel konfor koşullarının sağlanması, hacim içinde uygun fizik ortam koşullarının yaratılmasındaki etkenlerden biridir. Asma tavanlar da bu koşulların oluşturulmasında önemli rol oynarlar. Bu nedenle, öncelikle bir hacimde asma tavan tasarımı ve uygulaması yapılırken, kullanılacak gereçlerin akustik yönden etkinliklerinin mutlaka ele alınması gerekir. Asma tavan için gereç seçiminin, gürültü denetimi ve/ya da hacim akustiğinin ihtiyaçlarına göre uygun nicelik ve nitelikte olması hacmin işitsel konfor koşullarını olumlu yönde etkiler.

Hacim içinde yansıyan sesler, hacimdeki ses düzeyini etkilediği için, bu etkilenmede hacmin toplam yutuculuğunun etkin rolü vardır. Asma tavan yüzeyleri yutma çarpanlarına bağlı olarak hacimdeki yansımış ses düzeyini etkiler. Hacimdeki ses düzeyi konusu doğrudan yapıların işlevi ile ilgili olup kimi yapılar için gürültü denetimi yönünden ağırlıklı rol oynar, kimi yapılarda ise hacim akustiği yönünden önem kazanır.

Hacim akustiğinin de asma tavanlar, toplam yutuculuğun bir bölümünün karşılanması dolayısıyla yansıma süresinin belirlenmesinde etkili olur.

Hacimde yansımış ses düzeyinin artmasından ötürü, konfor koşullarının bozularak gürültü sorununun ortaya çıkması, gürültü denetimi açısından özellikle ağırlık taşıyan bir konudur. Asma tavanlar hacmin toplam yutuculuğunun artırılması ve böylece ses (gürültü) düzeyinin azaltılmasında etkilidir. Asma tavan için yutucu gereç

seçimi, hacimde oluşan gürültünün tayfsal özelliğine bağlı olarak yapılmalıdır.

Hacim akustiğinde, asma tavanlar yansıma süresinin belirlenmesinde etkili olurken, kullanılan gereçlerin boyutları, yüzey dokusu ve detaylandırmaya bağlı olarak oluşabilecek sessel olaylar (düzgün-yayınık yansıma, kırınma) ve bunların etkilerinin olumlu olabilmesi için hesap ve etüdlere yapılması gerekir. Bu hesap ve etüdlere en önemlileri ve asma tavanın etkili bir şekilde kullanılabilmesi konusu; doğrultulu yansımalar, doğrultulu yansıma yapacak asma tavan yüzey biçimleri ve ilk yansımalarıdır. Bu etüdlere asma tavan biçimsel olarak belirlenirken, yararlı ilk yansımalarla dolaysız sesin yeğlinliği artırılarak her dinleyiciye eşit yeğlinlikte sesin ulaşması sağlanır.

Hacimlerde katlar arası döşemelerden ve bitişik hacimler üstündeki asma tavan boşluklarından geçen sesler, ses ya da gürültü düzeyini etkiler. Bu nedenle yapı içi gürültülerin yapı ile ilgili denetiminde asma tavanlar hem yatayda hem düşeyde yeterli sesgeçirmezliği sağlamalıdır. Yüksek sesgeçirmezlik büyük oranda gerecin kitle ağırlığının fazla olmasına bağlıdır. Kitle ağırlığı fazla olan gereçlerin yüzeylerinden ses yansıtacağından hacimdeki yansımış ses düzeyi olumsuz etkilenir. Bu nedenle hem geçme hem de yansımanın önem kazandığı durumlarda kitle ağırlığı fazla olan gerecin hacme bakan yüzeyinin ses yutucu gereçle kaplanması asma tavan yüzeyinden yansımaları önleyecektir.

KAYNAKLAR

- 1- DOELLE,L.L. 1972, Environmental Acoustics, Mc Graw Hill Book Company, USA.
- 2- EGAN,D., 1988, Architectural Acoustics, Mc Graw Hill Book Company, USA.
- 3- HARRIS,C.M., 1957. Handbook of Noise Control, Mc Graw Hill Book Company, USA.
- 4- KARABİBER,Z., 1992. Hacim Akustiği, Yüksek lisans ders notları.
- 5- SİREL,Ş., 1980, Yapı Akustiği I. Temel Bilgiler, İDMMA, İstanbul.
- 6- SİREL,Ş., 1981, Hacim Akustiğinde Yansıım Süresi, İDMMA, İstanbul.
- 7- STEIN,B., REYNOLDS, J.S, Mc GUINNES,WJ. 1986, Mechanical and Electrical Equipment for Buildings, John Wiley and Sons. Canada.
- 8- ŞEREFHANOĞLU,M., 1987., Hacimde Gürültü (Ses) Düzeyi, Y.Ü. İstanbul.
- 9- ŞEREFHANOĞLU,M, 1992 Gürültü Denetimi, Yüksek lisans ders notları
- 10- TEMPLETON,D, SAUNDERS,A, 1987 Acoustics design The Architectural Press: London
- 11- TEKNİK BROŞÜRLER
 - OWACOUSTIC asma tavan sistemleri
 - TEK-İZ İzolasyon ve Yapı Elemanları AŞ
 - İZOCAM Tic ve SanAŞ
 - HERAKLİTH Yapı Malzemeleri AŞ
 - ALÇIPAN, Biltepe İnş ve Yapı Elemanları AŞ

SEKÖĞRETMENLERİN
KURULUŞU
KURULUŞU

ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi : 10 Kasım 1969
Doğum yeri : Sivas
Öğrenim yeri : Sivas (ilk, orta, lise)
Bitirdiği üniversite ve yılı : Yıldız Üniversitesi, 1991
Başladığı yüksek lisans programı : Yapı Fiziği-Mimarlık

