

Tiyatro, Stüdyo ve Salon Akustiği¹⁾

Çeviren:
Nadir SANLI
Y. Müh.

1 - Giriş:

Salonlardaki akustik problemleri oldukça geniş ve bir çok parametreleri ihtiva eder, mesele: hacim, salonun şekli, salon duvarlarının şekillendirilişi, absorpsiyonu, eşyalar, ses kaynağının karakteristikleri, dinleyiciler veya ses alıcı maddelerin varlığı v.s. Konuşma veya müzikte iyi bir akustik temini için aşağıdaki şartlar sağlanmalıdır: Ses kâfi derecede yüksek olmalı, etraf gürültüsü az olmalı, salon; eko, titreşim ve rezonans için müsait olmalıdır. Duvarlar ve ses kaynağı yansıyan sesin her tarafta uniform olması için iyi hazırlanmalı ve esas ses kaynağı için reverberasyon zamanı uygun seçilmelidir.

Ses yaymadaki ilerlemeler mimarî akustik problemlerini değiştirmiştir. Ses yayma sistemlerini incelemeyen önce konuşmada anlaşılabilirliği ve müzikte en iyi artistik tesiri temin etmek için uygun geometrik şekilleri ve en uygun reverberasyon zamanını tayin etmek gerekir. Sesi yükseltip yayan sistemler, ses seviyesini mevcut gürültü seviyelerinin üstüne çıkarmaları bakımından önem kazanır. Bu problemler sesli film, radyo yayın ve televizyon sistemlerinde farklı olarak etüd edilirler.

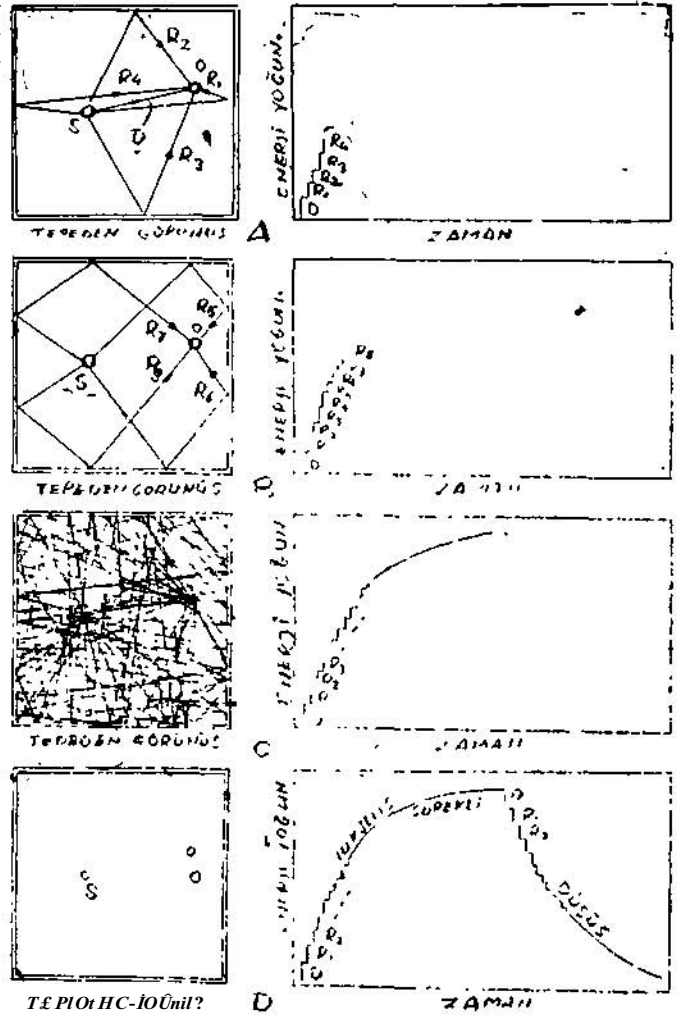
Ses yayma sistemleri, büyük mağaza, otel, okul, hastahane ve fabrikalarda sesin bir merkezden muhtelif yerlere naklinde kullanılırlar. Bu yazının gayesi, tiyatro, stüdyo ve salon akustiklerinin incelenmesi sesin toplanma ve dağılmasının tatbikatıdır.

2 - Sesin Dağılımı:

A. Ses Absorpsiyonu ve Reverberasyon:

Bir salonda ses kaynağı çalıştırıldığında, enerji ses dalgasının propagasyonunun sonlu hızı ile alâkalı olarak aniden yayılmaz. Kaynak tarafından çıkarılan her ses, salonun absorbe edici duvarları tarafından tamamen absorbe edilmeden yansır Şekil: 1 de devamlı çalğan S ses kaynağından çıkan seslerin bir salonda iki boyutlu

* H. F. OLSON'un «MUSICAL ENGINEERING» kitabından çevrilmiştir.



(Şekil . 1)

olarak dağılışı gösterilmiştir. Şekil: 1.A da: O, müşahede noktasına gelen direkt ses D, ve ilk yansıma sesleri R_1 , R_2 , R_3 , R_4 gösterilmiştir. Direkt sesteki enerji yansımış seslerdekinden daha büyüktür. Çünkü mesafe daha kısa ve duvarların absorpsiyonu yoktur. Şekil: 1.A daki

grafikte direkt yansımış ses enerjilerinin zamanın fonksiyonu olarak artışı gösterilmiştir. Bazı R_5, R_6, R_7 ve R_8 gibi ikinci yansımalar Şekil: 1.B de gösterilmiştir.

Yansımış ses her yansımada enerjisinin bir kısmını kaybeder, böylece yansımış ses gittikçe azalır ve kaybolur. Ses kaynağının yaydığı enerji duvarlar tarafından absorbe edilen enerjiye eşit olduğunda sürekli şartlar elde edilir. Ses artış karakteristiği, Şekil • 1.C de maksimum enerji yoğunluğuna yaklaşık asimptotik olarak gösterilmiştir. Sesin artışında olduğu gibi bazan da kaynak sukut ettiğinde bütün ses enerjisinin tamamiyle absorbe edilmesi istenir. Şekil. 1.D de sesin azalışı belirtilmiştir. Ses kaynağı durdurulduğunda ilk olarak direkt ses enerjisi D düşer sonrada onu yansımış enerjileri takip eder. Şekil. 1. D deki grafikte bir salondaki ses enerjisinin artış ve düşüş karakteristiği gösterilmiştir.

Düşüş karakteristikleri eksponansiyeldir. İdeal karakteristikte ordinata desibel, apsis zaman yazıldığında düşüş eğik bir doğrudur. Bir salondaki titreşimlerin yükselme, sürekli ve düşüş karakteristikleri ideal karakteristik kadar düzgün değildir. Tipik bir düşüş karakteristiği şekil : 23 de gösterilmiştir. Buradan görülür ki, ortalama düşüş karakteristiği eksponansiyel karakterdedir.

Kaynak susturulduktan sonra herhangi bir andaki ses enerjisi yoğunluğu (1) formülü ile verilir.

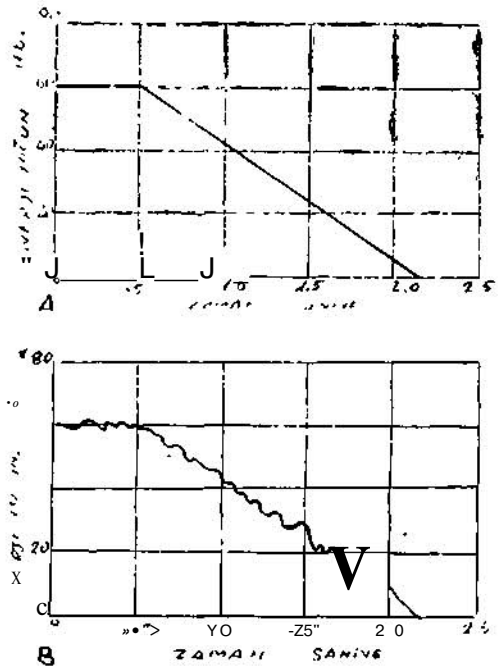
$$E' = E_0 \cdot e^{-\frac{cAt}{4V}} \quad (1)$$

$$E_0 = \frac{4P_0}{c_j} \quad (2)$$

$$X \ll 0.050 - \frac{X}{A} \quad (3)$$

$$T = \frac{0.05 - 1/}{-S \log_e (1 - \alpha_{av})} \quad (4)$$

$$E_D = \frac{D^2 \cdot X_0^2}{r^2 \cdot \rho \cdot c^2} \quad (5)$$



(Şekil . 2)

Burada: E, kaynak susturulduktan t saniye sonra ses enerjisi yoğunluğu $\text{erg}/(\text{foot})^2$.

A, toplam absorbsiyon birimleri (sabin) olarak (2) eşitliği ile verilir. Burada,

- P_0 : kaynağın hasil ettiği sesteki güç erg/sn ,
 t : zaman sn .
 c : ses hızı feet/sn .
 V : salonun hacmi $(\text{feet})^3$

Bir yüzeyin akustik absorbsiyon katsayısı, o anda yüzeye giren ses enerjisinin ani ses enerjisi miktarına oranıdır, (sabin), eşdeğer absorbsiyon birimidir ve yüzeyin bir foot karesi bütün sesi absorbe ettiği halde absorbsiyon katsayısı birimi, yüzeyin bir foot karesinin eşdeğer absorbsiyonuna eşittir. Eşitlik (1) de bir salonda sesin ilk şiddetinin milyonda birine düşmesi için geçecek zaman (3) eşitliğinden hesaplanır. Burada,

- T: zaman Sn .
V: Hacim feet küp
A: Toplam absorbsiyon sabin

Daha sonraki çalışmalar (3) eşitliğinin geniş ve büyük absorbsiyonlu salonlar için tatmin-kâr olmadığını göstermiştir. Bu eşitlik EYRING tarafından (4) eşitliğindeki gibi inkişaf ettirilmiştir. Burada,

- V : hacim feet küp
S : sınırlı duvarlarının toplam yüzeyi feet kare
 a_{or} : foot kare başına sabin olarak duvarların ortalama absorbsiyonu,

$$E_R = \frac{16\pi P_0^2 x_0^2}{\rho c^2 \alpha S} \left\{ 1 - e^{-\frac{cS(\log_e(1-\alpha))t}{4V}} \right\} (1-\alpha) \quad (6)$$

$$E_T = E_D + E_R \quad (7)$$

$$E_R = \frac{4\Omega P_0^2 x_0^2}{\rho c^2 \alpha S} \left\{ 1 - e^{-\frac{cS(\log_e(1-\alpha))t}{4V}} \right\} // (\#-<^*; \quad 18)$$

$$\frac{E_R}{E_D} = \frac{4r^2\Omega}{CLS} \left\{ 1 - e^{-\frac{cS(\log_e(1-\alpha))t}{4V}} \right\} (1-\alpha) \quad (9)$$

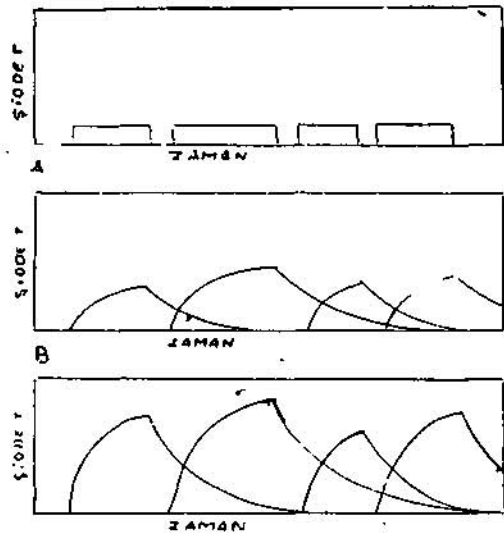
$$\frac{E_R}{E_D} = \frac{4r^2\Omega}{\alpha S} (1-\alpha) \quad (10)$$

Tablo: 1 de muhtelif inşaat malzemesi ve evsafları için ses absorpsiyon katsayıları gösterilmektedir. Bu tablodaki katsayılar uzun reverberasyon zamanlı bir odada küçük parçalar üzerinde tecrübe yapılarak elde edilmiştir. Umumiyetle bu ölçüler pratikteki hakiki şartlar altında yapılanlardan farklıdır, ve pratikteki değerler laboratuvardakilerden daha küçüktür.

Bu yüzden tablo: 1 deki değerler rölatif absorpsiyon katsayılarını verir. Bir salonun reverberasyon zamanı (3) ve (4) eşitliklerinden hesaplanabilir. Bu eşitliklere göre bir salonun reverberasyon zamanı içindeki muhtelif eşyalara bağlı olarak değişebilir

Bir salonda sesin alınışına reverberasyon zamanının tesiri Şekil: 3 te gösterilmiştir. Bir ses kaynağı farklı zaman uzunluğunda fakat sabit şiddette seri halde ses darbeleri hasil etsin, bunlar konuşma veya müzik yayımını karakterize eden sesler gibi düşünülün, eğer yansıtıcı sınır yoksa zamanın fonksiyonu olarak şiddet Şekil: 3A da gösterilmiştir. Bu halde müşahede noktasında ses sen pulslar halinde görülecektir. Bir salonda reverberasyonun tesirini görmek için orta reverberasyon zamanlı bir salonda aynı pulsları hasil edip tetkik etmek gerekir. Netice şekil: 3.B deki gibidir. Bir salonda sesin düşüş zamanı ile alâkalı olarak muhtelif ses

enerjileri üst üste gelir. Reverberasyon zamanı arttıkça bunlarda artar, bu husus şekil. 3.C de gösterilmiştir. Netice olarak konuşmanın anlaşılması güçleşir. Diğer taraftan müzikte de uygun reverberasyon zamanının tâyini çok mühimdir. Çünkü müzik tonlarının karıştırılması ve uzatılması reverberasyon ile alâkalıdır.



(Şekil. 3)

Ses kaynağının çalıştığı bir salonda müşahede noktası için direkt ve yansımış seslerin teşkil ettiği iki kaynak varmış gibi düşünülebilir. Şekil: 1.

Direksiyonal olmayan ses kaynağı bütün doğrultularda eşit radyasyon yapan kaynaktır. Müşahede noktasında direkt ses radyasyonu ile alâkalı olarak santimetre küp başına enerji yoğunluğu (5) eşitliği ile verilir. Burada, P_0 boşlukta x_0 mesafesinde dyn/cm^2 olarak elde edilmiş ses basıncı,

r: ses kaynağı ile müşahede noktası arasındaki mesafe cm.

p: hava yoğunluğu gr/cm^3
c ses hızı cm/sn .

Umumiyetle yansımış sesle alâkalı olarak ses-enerji yoğunluğu, salonun absorpsiyon karakteristiğinin salonun hacminin, ses kaynağının gücünün ve zamanın fonksiyonudur. Umumiyetle yansımış ses-enerji yoğunluğu, (6) eşitliği ile verilmiştir. Burada,

a : birim alan için ortalama absorpsiyon katsayısı cm^2
S : absorbe edici malzemenin alanı cm^2
V : salonun hacmi cm^3
c : ses hızı cm/sn
p : hava yoğunluğu gr/cm^3
 P_0 : serbest boşlukta çalışıldığında ses kaynağından itibaren x_0 mesafesinde elde edilen ses basıncı dyne/cm^2

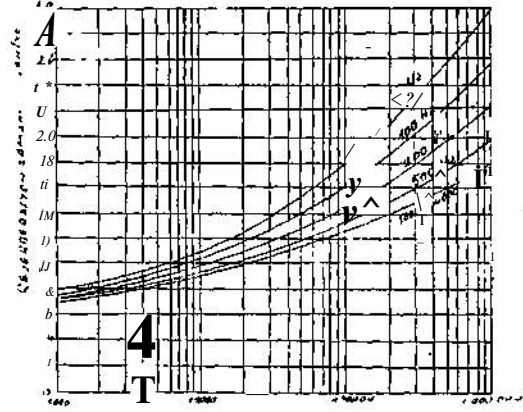
Müşahede noktasındaki ses-enerji yoğunluğu direkt ve yansımış seslerin toplamı olur ve (7) eşitliği ile ifade edilir. Umumiyetle ses kaynağı tevcihli yani direksiyonaldır. Bu şartlar altında bütün yansımış seslerle alâkalı olarak enerji yoğunluğu" (8) eşitliği ile verilir. Burada, S_i radyasyonun efektif uzay açısıdır, birimi steradyandır, diğer sabitler eşitlik (6) dakının aynıdır. Bütün yansımış seslerin direkt sese oranı, müşahede noktasındaki efektif reverberasyonun bir ölçüsüdür, ve (9) eşitliği ile verilir. Ses, şartlar sürekli oluncaya kadar devam ederse (9) eşitliği (10) eşitliğine dönüşür.

Eşitlik (9) ve (10) dan hemen görülür ki, müşahede noktası ile ses kaynağının mesafesini azaltarak a uzay (katı) açısı azaltarak, duvarların absorpsiyonunu arttırarak, hacmi büyütürük veya faaliyette olan ses kaynağının çalışma zamanını azaltılarak müşahede noktasındaki efektif reverberasyonu küçültmek kabildir.

B. Sesin reproduksiyonu (çoğaltılması) için Salon ve Tiyatro Reverberasyon Zamanı :

Şekil: 4 te farklı frekanslar için salonun hacminin fonksiyonu olarak ses reproduksiyonu için

herhangi kapalı yer, salon veya tiyatrunun reverberasyon zamanı gösterilmiştir. Hemen kaydedilmelidir ki, alçak frekanslar için reverberasyon zamanı yüksektir. Bütün frekanslar için düşüş eşik değeri yaklaşık olarak aynıdır.

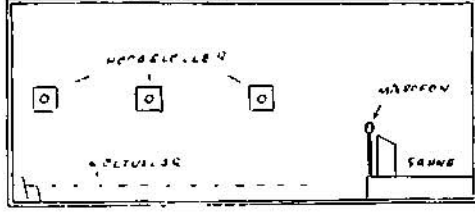
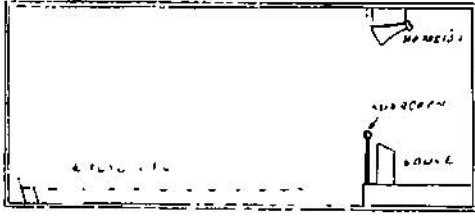


(Şekil : 4)

C. Ses Kuvvetlendirici Sistemler :

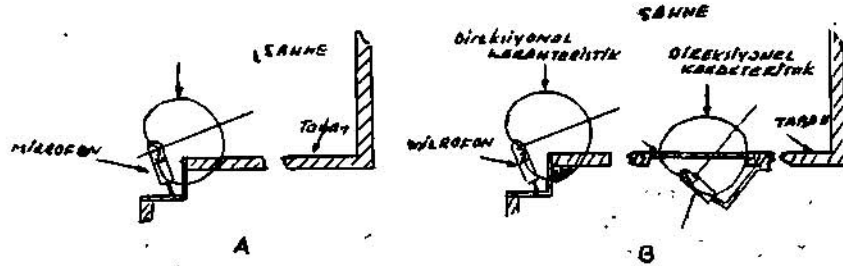
Ses kuvvetlendirici sistemler, konuşanın, şarkıcının veya muzık âletinin ses çıkışını yükseltmek için kullanılır. Bu sistemler vasıtasıyla evvelce umumî gürültülerden dolayı çok zayıf duyulan konuşmalar şimdi daha tesirli olmaktadır. Bazı hallerde bir orkestranın ses kapasitesi tam bir artistik tesir için kifayetsizdir. Bu durumda orijinal sesin şiddetini arttırarak istenene neticeye varılır. Şekil: 5te iki ayrı tipik ses yükseltme sistemi görülmektedir. Bu sistemler, mikrofon, amplifikatör ve hoparlör ihtiva eder. Şekil : 5A da hoparlörler sahnenin üstünde toplu bir şekildedir. Şekil 5.B de hoparlörler odanın duvarlarına dağıtılmıştır. Her iki sistemde de oldukça iyi netice alınabilir. Orijinal ses kaynağının üstüne yerleştirilen toplu tek hoparlör sisteminde ses aynı yönde kuvvetlenerek geldiğinden hakiki sese çok yakındır. Dağılmış hoparlör sisteminde de akustik reaksiyon güçlükleri ortadan kaldırıldığı için oldukça iyi netice alınır. Bu usul daha çok okullarda ve buna benzer yerlerde kullanılır.

Tiyatrolarda mikrofonlar, sesi toplamak için sahnenin altına gizlenir. Direksiyonal hoparlörler kullanarak, hoparlörlerle alâkalı mikrofonlardaki ses seviyesi alçaltılabilir. Böylece akustik reaksiyonların sebep olacağı osilasyonlara mani olunabilir. Geniş sahneleri olan büyük tiyatrolarda alış mesafesi çok geniş olacak bu yüzden orijinal kaynaktan mikrofona gelen ses çok zayıflayacak ve bir miktar anıplifikasyona ihtiyaç gösterecektir ki, buda reaksiyonun artmasına yardım eder. Akustik reaksiyonun doğurduğu güçlüklerle mani olmak için direksiyonal mikrofon-



(Şekil 5)

lar kullanılmalıdır Bundan başka sahne toplayıcı sistemi orkestra veya dinleyicinin seslerine karşı olmamalıdır. Bu iş için tek yönlü (uni direksiyonel) mikrofonlar çok kullanışlıdır. Bu husus şekil • 6.A da gösterilen uni direksiyonel mikrofonun karakteristiği ile belirtilmiştir. Sahne çok derin olduğunda sahnenin arkasındaki hareketlerle mikrofon arasındaki mesafe uzayaçağında ıyı bir alma temin edilemez, bu halde şekil. 6.B de görüldüğü gibi başka bir mikrofon sahnedeki ızgaranın altına yerleştirilebilir. Bu mikrofon yalnız sahnenin arkasındaki hareketi tespit etmek için kullanılır. Sahnenin her hangi yerindeki hareketi takip etmek için muhtelif mikrofonlar 10'ar feet aralıklarla yerleştirilirler.



(Şekil 6)

Sahne ve orkestra mikrofonlarının her biri karıştırıcı panelde ayrı ayrı volüm kontrollara bağlanır Bu karıştırıcı ve volüm kontrol sistemi monitör kutusuna yerleştirilmiştir. Operatör hareket yakın mikrofonu bu sistem yardımı ile ayarlar

D. Evlerde Radyo Alıcılar, Pikap ve Televizyonlar İçin Ses Çoğaltma Sistemleri

Bu sistemlerin çalışması ortalama yaşama hacimlerinde oldukça önemli bir problemdir. Böy-

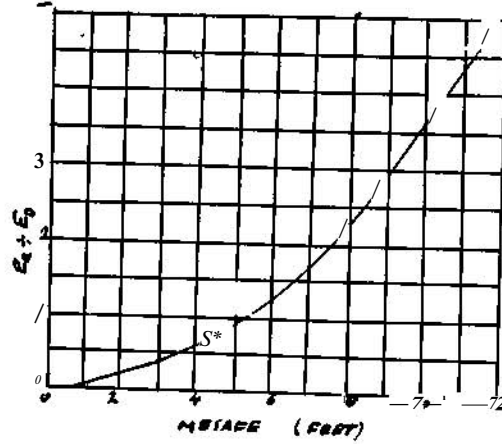
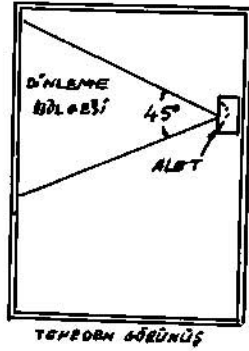
le bir hacmin reverberasyon zamanı takriben 0,6 ile 1,2 saniye kadardır. Bir çok odalar için reverberasyon zamanı karakteristikleri şekil: 4 teki gibidir. Tiyatrolarda hoparlörler, salonun her yerinde direkt sesin aynı olmadığını temin etmek için ayarlanır. Bir radyo alıcısında, hoparlörleri, odanın herhangi bir yerindeki direkt ses değişmelerine mani olacak şekilde tanzim etmek pratik olarak mümkün değildir.

Tipik bir yaşama hacmi için radyo alıcısı, pikap veya televizyon alıcıları için mesafenin fonksiyonu olarak yansımış ses enerji yoğunluğunun direkt ses enerji yoğunluğuna oranının değişim grafiği şekil: 7 de görülmektedir. Buradan söylenebilir ki, âletle müşahade noktası arasındaki mesafe değişmesi ile yansımış sesin direkt sese oranı oldukça önemlidir. Kısa mesafelerde ve küçük hacimlerde sapmak pek ehemmiyetli değildir. Yalnız direksiyonel karakteristiğin frekansa bağlı olmaması ve dinleme sahasına kâfi' genişlikte direkt ses yolluyabilmek mühimdir. Eğer hoparlörler takriben kulak seviyesine yerleştirilmişlerse fazla olarak bir miktar ses artması temin edilebilir.

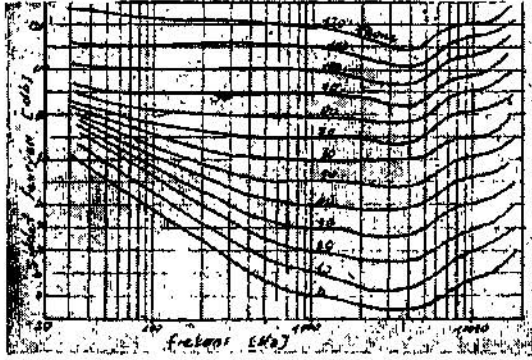
FLETCHER ve MUDSON eğrilerinden, kulakla alâkalı frekans karakteristikleri incelenirse, görülür ki 1000 Hz deki bir ses şiddetinin kulak üzerindeki tesirini başka frekanstaki bir ses başka bir şiddetle temin eder. Bu karakteristiklerden görülür ki, alçak seviyelerde elde edilmiş alçak frekanslı seslerin daha alçak seviyelerde meydana getirirler. Yani kulakta aynı tesiri yapmak için alçak frekanslı işaretlerin seviyeleri daha

yüksek olmalıdır. Bu hâl alçak seviye ile verilmiş seslerde daha çok müşahade edilir. Şekil': 8.

Genel' olarak stüdyodaki orijinal sesin seviyesi evlerde radyo v.s. ile tekrar meydana getirildiğinde bir miktar değişmeye, maruz kalır. Bu alçak frekanslarda daha çok müşahade edilir, bunu konpanze etmek için volüm - kontrolların tasarlanmasında bu husus nazarı itibara alınır. Yani alçak frekanslarda karakteristik kulak karakteristiğinin tersi olur. Bu tip volüm kontrolu A k u s t i k konpanze edilmiş volüm- kontrol denir.



(Şekil : 7)



(Şekil: 8)

E. Genel Bildirme (announce) Sistemleri:

Bu sistemler fabrika, tren istasyonları, uçak terminalleri, okul hastahane v.s. gibi yerler için kullanılırlar. Bu sistemlerde anlaşılma, kaliteden daha önemlidir. Sistemden alçak frekansları kaldırarak ses yayılmasını oldukça iyi temin edebilir ve reverberasyon tesirlerini azaltabiliriz. Esasen sistemin ucuz olmasına hoparlör ve amplifikatörlerin kaliteleride tesir edeceğinden alçak frekansları nazarı itibara almamak faydalı olur. Sistem normal gürültü seviyesinin 2040 db. üstünde bir ses şiddeti vermelidir. Ayrıca üniform dağılmayı temin etmek için hoparlörleri aynı seçmelidir.

Gürültünün az olduğu yerde ses seviyesinin de az olması istenir. Bu iş için sabit miknatıslı dinamik hoparlörler elverişlidir. Çünkü bu hoparlörlerin verimi horn'lara nazaran daha azdır (takriben % 3). Çok gürültülü yerler için verimi yüksek olan horn'ları kullanmak elverişlidir.

Küçük odalara dağıtılmış hoparlörlerde ses seviyesi 70 db. in üstünde olmamalıdır. Bu gibi

yerlerde de sabit miknatıslı hoparlörlerin kullanılması uygundur

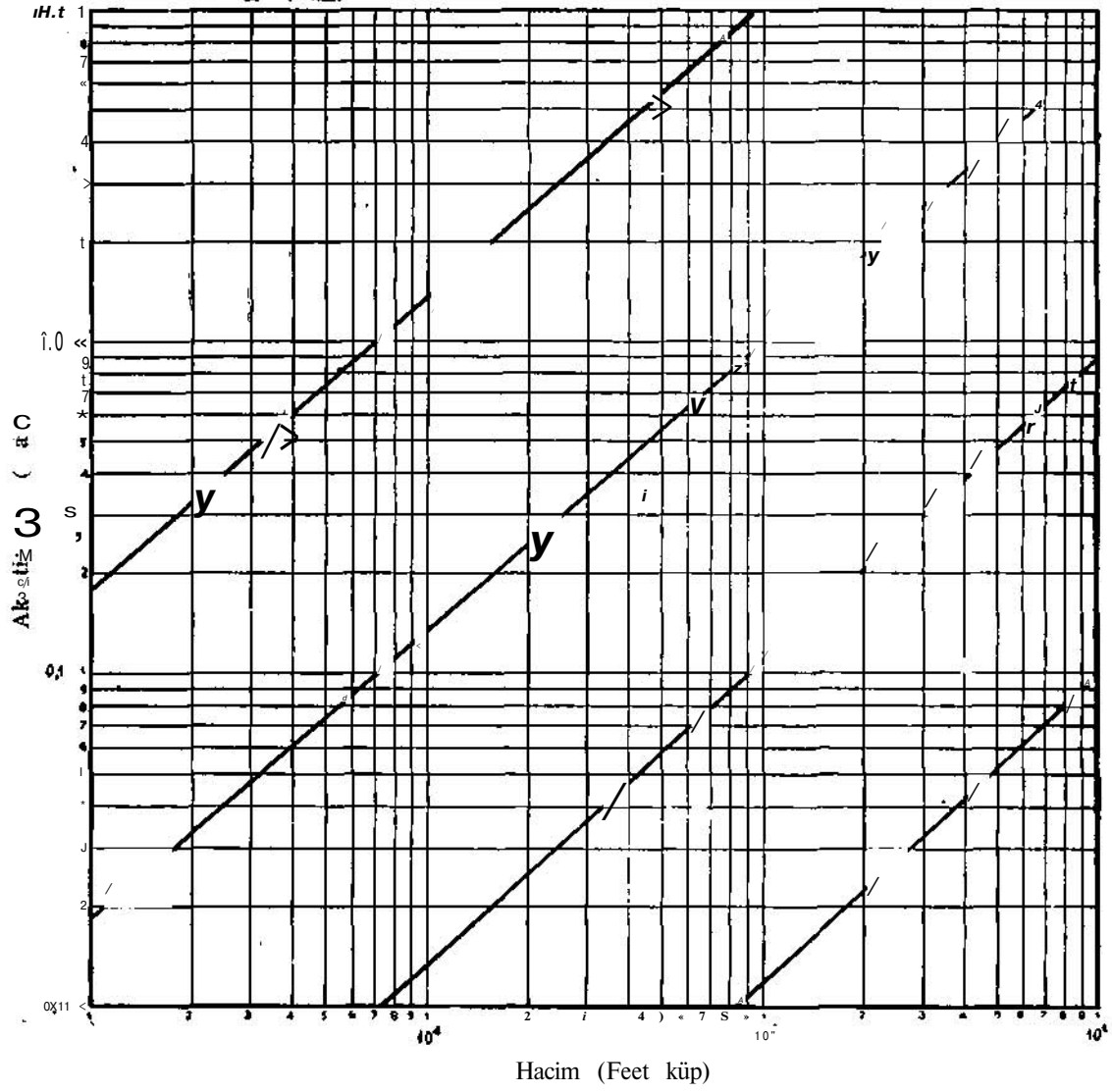
F. Ses- çoğaltan sistemlerde güç :

Bu sistemlerde temin edilmesi gereken güç çok önemlidir. Bu sistemlerde minimum şiddet 80 db. dir. Burada 0 db. = 0,0002 dyne/cm² dir. Şekil: 9 da auditoryumlarda 70, 80, 90 ve 100 db. ses seviyeleri temin etmek için gereken akustik güç hacmin fonksiyonu olarak gösterilmiştir. Büyük auditoryumlarda daha fazla olabilir. Meselâ bir senfoni orkestrasının tam bir artistik tesirini temin etmek için ses seviyesi 100 db. in üstünde olmalıdır.

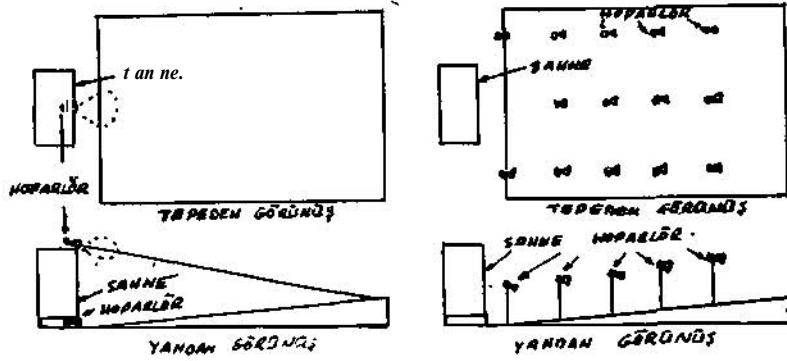
G. Açık Hava Tiyatrolarında Ses Dağıtım Sistemleri :

Şekil: 10 da bu iş için iki sistem görülmektedir. Soldaki sistemde büyük bir hoparlör sahnenin üstüne yerleştirilmiştir. Sahne alçaksa bu hoparlörler oldukça üniforma bir şiddet dağıtımını temin eder. Eğer sahne yüksekse öndeki dinleyiciler için sahnenin altına bir hoparlör yerleştirmek uygun olur. Sağdaki sistemde ise çok sayıda hoparlörler yerleştirmekle aynı iş yapılmak istenmiştir. Ancak hoparlörler yalnız muayyen bir bölgeyi besleyecek şekilde seçilip tanzım edilmelidir.

Her iki sistemin de avantajları vardır. Soldaki sistemde ses sahneden geliyormuş gibi olduğundan hakikate uygundur. Diğer taraftan ses auditoryumun hemen hemen iki misli uzaklara kadar rahatça gidebilir ve ancak 6 db. kadar zayıflar. Dağıtılmış hoparlörler aşağıya doğru tevcih edilerek sahanın dışındaki ses seviyesi oldukça düşürülebilir.



(Şekil 9)



(Şekil 10)

TABLO: 1 ÇEŞİTLİ AKUSTİK, İNŞAAT MALZEMESİNİN ABSORBSİYON KATSAYILARI

MALZEME	Kalınlık inch	F R E K A N S					
		128	256	512	1.024	2.048	4.096
K A T S A Y I L A R							
Corkoustic " B - 5	1 1/2	0.38	0.41	0.70	0.51	0.58	0.65
Cushiontone A-3	7/8	0.17	0.51	0.73	0.95	0.75	0.72
Sanacoustic kütle, Metal yüzü	1 Vs	0.25	0.56	0.99	0.99	0.91	0.82
Fibretext	13/16	0.16	0.49	0.56	0.78	0.84	0.78
Acoustex 4 OR	3/4	0.09	0.17	0.59	0.90	0.75	0.73
Fiber glass döşeme Tip A	1	0.17	0.44	0.91	0.99	0.82	0.77
Acoustone F	13/16	0.12	0.31	0.85	0.88	0.75	0.75
Acousti-Celotex C-4	1 1/4	0.25	0.58	0.99	0.75	0.58	0.50
(Yard) ² 'si 300 gr. pamuklu çuha duvara asılmış		0.04	0.05	0.11	0.18	0.30	0.44
Kıl keçe, duvarda		0.13	0.41	0.56	0.69	0.65	0.49
Taş - yün	1	0.35	0.49	0.63	0.80	0.83	
Beton üzerinde halı	0,4	0.09	0.08	0.21	0.26	0.27	0.37
Betonda, 1/8 inçlik keçe üzerinde halı	0.4	0.11	0.14	0.37	0.43	0.27	0.27
Düzeltilmemiş Beton		0.010	0.012	0.016	0.08	0.023	0.035
Çam kerestesi	0,8	0.10	0.11	0.10	0.08	0.08	0.11
Tuğla duvar (düzeltilmemiş)		0.012	0.013	0.017	0.020	0.023	0.025
FERDİ ŞEYLER		Absorbsiyon birimi (foot) ² , (sabin)					
Dinleyi, ceketli adam		2,3	3,2	4,8	6,2	7,6	7
Auditoryum koltukları, bir koltuk ve arkası		0,15	0,22	0,25	0,28	0,50	
Auditoryum koltuğu döşeli			3,1	3	3,2	3,4	