

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KAPALI MEKÂNLARIN AKUSTİK TASARIMINDA
SES GÜÇLENDİRME SİSTEMLERİNİN
UYGULANMA KOŞULLARI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mehmet Cevat ÖZYILDIRIM**

Anabilim Dalı : Mimarlık

**Programı : Çevre Kontrolü ve Yapı
Teknolojisi**

HAZİRAN 2010

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KAPALI MEKÂNLARIN AKUSTİK TASARIMINDA
SES GÜÇLENDİRME SİSTEMLERİNİN
UYGULANMA KOŞULLARI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mehmet Cevat ÖZYILDIRIM
(502021370)**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 06 Mayıs 2010

Tezin Savunulduğu Tarih : 09 Haziran 2010

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Sevtap YILMAZ DEMİRKALE (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Yrd. Doç. Dr. Nurgün TAMER BAYAZIT (İTÜ)
Doç. Dr. Ayşe ERDEM AKNESİL (YTÜ)**

HAZİRAN 2010

Eşime ve Öykü'me

ÖNSÖZ

Ses güçlendirme sistemleri günlük yaşantımızın her noktasında kullanılmaktadır. DVD ve Blu-ray teknolojileri ile birlikte gelişen ev sinema sistemleri ve hi-fi müzik sistemleri ile ev yaşantımızın bile vazgeçilmezi haline gelen ve neredeyse tamamı paket olarak temin edilen amfi ve hoparlör sistemlerinden, oditoryumlarda ve eğlence mekânlarında kullanılan, mekânın ihtiyacına göre daha güçlü amfilere ve hoparlörlere sahip sistemlere kadar geniş bir yelpazede uygulama alanları mevcuttur. Kullanılan sistem ucuz ya da pahalı, basit ya da karmaşık olsun ses güçlendirme adına verimli sonuçlar alınmak istendiğinde amfi seçimi ve özellikle uygun hoparlör seçimi ve konumlandırma büyük önem taşımaktadır.

Lüleburgaz'da yaşamam ve yoğun bir iş temposu ile çalışmamın getirdiği zorluklara rağmen çalışmam boyunca benden yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Sevtap YILMAZ DEMİRKALE'ye teşekkürü bir borç bilirim.

Mayıs 2010

M. Cevat ÖZYILDIRIM
(Elektrik Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
2. SESİN TEMELLERİ VE BASİT KAYNAKLAR	3
2.1 Sesin Temelleri.....	3
2.1.1 Dalga hareketi	3
2.1.2 Sinüs dalgası	6
2.1.3 Sesin frekansı	7
2.1.4 Kompleks dalgalar	9
2.1.5 Harmonikler	10
2.1.6 Faz.....	11
2.1.7 Eklenme	13
2.1.8 Oktav bantları.....	14
2.2 Basit Kaynaklar	16
2.2.1 Tek boyutlu dalga denklemi.....	16
2.2.2 Üç boyutlu dalga denklemi	17
2.2.3 Basit kaynaklar.....	18
2.2.3.1 Tek kutuplu kaynaklar	18
2.2.3.2 İkili kaynaklar	19
2.2.3.3 Çift kutuplu kaynaklar ve ses sıfırlanması	21
2.2.3.4 Basit kaynak dizileri.....	23
2.2.3.5 Sürekli sıralı diziler	25
2.2.3.6 Eğri dizileri.....	27
2.2.3.7 Aşamalı diziler	28
2.2.3.8 Kaynak hizalama ve tarak filtreleme.....	29
2.2.3.9 Tarak filtreleme ve kritik bantlar	30
2.2.4 Bitişik düzlemsel kaynaklar	31
2.2.4.1 Levhadaki piston	31
2.2.4.2 Kapsama açısı ve yönlülük.....	34
2.2.4.3 Hoparlör dizileri ve ürün teoremi.....	36
2.2.4.4 Dikdörtgen pistonlar	37
2.2.4.5 Levhadaki bir piston üzerindeki güç.....	37
3. SES GÜÇLENDİRME SİSTEMİ ELEMANLARI VE ODALARDAKİ HOPARLÖRLER	39
3.1 Hoparlörler	39
3.1.1 Frekans cevabı.....	39
3.1.2 Hoparlörün ses yayma yönü.....	40

3.1.3 Hassasiyet.....	41
3.1.4 Hoparlör kabini	41
3.1.5 Konik hoparlörler	42
3.1.6 Korna tipi hoparlörler.....	45
3.1.7 Sabit yönlülüğe sahip kornalar	47
3.1.8 Kabin dizileri.....	51
3.1.9 Levhalı alçak frekans sistemleri.....	52
3.1.10 Geniş cevap aralığına sahip hoparlörler	54
3.2 Mikrofonlar	54
3.3 Amfiler	56
3.4 Odalardaki Hoparlörler	57
3.4.1 Odaların etkileri.....	57
3.4.1.1 Yayılma şablonları	60
3.4.1.2 Duvarlardaki yükleme	64
3.4.1.3 Çift kutuplar	73
3.4.1.4 Kırılım kaynakları	74
3.4.2 Odalardaki yankı ve kritik mesafe	76
3.4.3 Ses güç yayılımı	80
3.4.4 Düzeltici tedbirler.....	82
3.4.4.1 Minimum ve minimum olmayan faz.....	84
3.4.4.2 Dijital düzeltme teknikleri.....	88
3.4.4.3 Hoparlörlerdeki ilgili hatalar	88
3.4.4.4 Doğru ekolayzır uygulamalarının özeti.....	91
3.4.4.5 Modülasyon transfer fonksiyonu ve odaların elektronik düzeltilmesi için uygulanması	91
3.4.4.6 Elektronik bas tuzakları.....	95
3.4.5 Faz ve zaman.....	96
4. SES GÜÇLENDİRME SİSTEMLERİ.....	99
4.1 Giriş.....	99
4.2 Ses Güçlendirme Sistemlerine İhtiyaç Duyulan Yerler	100
4.3 Ses Güçlendirmenin Temelleri.....	101
4.3.1 Elektronik geri besleme.....	102
4.3.2 Açık hava ses güçlendirme sistemlerinin tasarımı	104
4.3.3 Kapalı mekân ses güçlendirme sistemleri	105
4.4 Ses Görüntüsü	106
4.4.1 Dikey konumlandırma.....	106
4.4.2 Yatay konumlandırma	106
4.5 Hoparlör Konumları	107
4.5.1 Merkezi hoparlör grubu sistemi	107
4.5.2 Dağıtılmış hoparlör sistemleri.....	111
4.6 Bilgisayar Destekli Ses Sistemi Tasarımı	112
4.6.1 Ortam auralizasyonu	113
4.7 Elektronik Mimari.....	114
5. KAPALI MEKÂNLARIN AKUSTİK TASARIMINDA SES GÜÇLENDİRME SİSTEMLERİNİN YERİ.....	117
5.1 Yayım, İletim ve Algılama Modelleri	117
5.2 Hedefler ve Sorunlar	119
5.3 Tasarıma Özel Koşullar.....	121
5.3.1 Kanal sayısı	121
5.3.2 Kanalın ses görüntüsünün konumu	122

5.3.3	Pratikteki özel sınırlamalar	122
5.3.4	Kanalın kapsama alanındaki açık mikrofonların konumları	123
5.3.5	Kanalın program malzemesi	123
5.3.6	Kanalın kapsama aralığı	125
5.3.7	Kanalın kapsama alanının şekli	126
5.3.8	Kanalın kapsama alanının akustik özellikleri	126
5.4	Tasarıma Özel Cevaplar	127
5.4.1	Hoparlör konumları	127
5.4.2	Hoparlör dizi tipleri	128
5.4.3	Hoparlör modeli	128
5.4.4	Hoparlör adedi	128
5.4.5	Hoparlör açıları	129
5.4.6	Akustik şartlandırma	129
5.4.7	Sinyal işleme kanalları	129
5.5	Kanal/Sistem Tipleri	129
5.5.1	Mono	130
5.5.2	Stereo	130
5.5.3	Surround	131
5.6	Sistem Alt Bölümleri	132
5.7	Alt Sistem Tipleri	133
5.7.1	Ana sistemler	134
5.7.2	Yan dolgu	135
5.7.3	İç dolgu	135
5.7.4	Üstten dolgu	135
5.7.5	Ön dolgu	136
5.7.6	Gecikme sistemleri	137
6.	KAPALI MEKÂNLARIN AKUSTİK TASARIMINDA SES GÜÇLENDİRME SİSTEMLERİNİN UYGULANMA KOŞULLARI.....	139
6.1	Doğal Ses ile Güçlendirilmiş Sesin Farkları	139
6.2	Koşullar Belirlenirken Sorulacak Sorular	141
7.	SONUÇ.....	147
	KAYNAKLAR	149

KISALTMALAR

AR	: Boy-en oranı
ILD	: Kulaklar Arası Seviye Farkı
ITD	: Kulaklar Arası Zaman Farkı
MTF	: Modülasyon Transfer Fonksiyonu
PAG	: Potansiyel Akustik Kazanç
SPL	: Ses Basınç Düzeyi

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Suyu düşen bir taşın oluşturduğu dalga.....	4
Şekil 2.2 : Değişik anlarda sudaki dalgaların konumları.....	5
Şekil 2.3 : Sinüs dalgası.....	6
Şekil 2.4 : Titreşen bir partikülün üç önemli pozisyonu ve ilgili partikül hızları.....	7
Şekil 2.5 : (a) 500 Hz'lik bir diapozonun, (b) Aynı anda titreşen 250 Hz ve 500 Hz'lik diapozonların ses spektrumları.....	9
Şekil 2.6 : Erkek ve kadın sesinin yaklaşık ses spektrumları.....	10
Şekil 2.7 : Temel frekans ve harmoniklerin ilişkileri.....	11
Şekil 2.8 : Aynı genliğe ve frekansa sahip dalgaların faz ilişkileri. 360 derecelik bir tur, bir tam sinüs devrine eşittir.....	12
Şekil 2.9 : Temel frekans ile harmonikler arasında faz farkı oluşturulması durumu.....	13
Şekil 2.10 : Eklenme.....	14
Şekil 2.11 : Bir oktavın tanımı.....	15
Şekil 2.12 : Düzlemsel bir dalga geçerken akışkanın yer değiştirmesi.....	16
Şekil 2.13 : Küresel koordinat sistemi.....	18
Şekil 2.14 : İkili kaynakların geometrisi.....	19
Şekil 2.15 : İkili bir kaynaktan yayılan toplam güç.....	20
Şekil 2.16 : Aynı fazda bir ikilinin kaynaklar arasındaki mesafenin ve dalga boyunun bir fonksiyonu olarak R_{θ} cinsinden yönlülük karakteristiği.....	22
Şekil 2.17 : Sıralı dizilerin geometrisi.....	23
Şekil 2.18 : Dört nokta kaynağın yönlülük endeksi.....	24
Şekil 2.19 : Bitişik bir sıralı kaynağın yönlülük karakteristikleri.....	26
Şekil 2.20 : Giderek azalan sıralı kaynağın yönlülük karakteristiği r_{θ} – lineer azalma.....	27
Şekil 2.21 : Bir kavisin 60° 'lik kısmı için yönlülük karakteristiği R_{θ}	28
Şekil 2.22 : İki ses kaynağı tarafından oluşturulan tarak filtre.....	30
Şekil 2.23 : Tarak filtrelemenin duyulabilirliği.....	30
Şekil 2.24 : Levhadaki bir pistonun geometrisi.....	31
Şekil 2.25 : Levhadaki dairesel pistonun yönlülük karakteristiği.....	33
Şekil 2.26 : Farklı tiplerdeki konik hoparlörler ve levhalar için yönlülük endeksinin -6 db açısı ile ilişkisi.....	34
Şekil 2.27 : Piston ve kutu sistemleri için -6 dB açı cevabının tahmini değer grafiği.....	35
Şekil 2.28 : Farklı sistemlerde direkt yayım yapan pistonların yönlülük endeks cevapları.....	36
Şekil 2.29 : Levhali bir pistonun empedans fonksiyonları.....	38
Şekil 3.1 : Köprü devreli güçlendirme sistemi ve değişik frekans aralıklı üç hoparlör.....	40
Şekil 3.2 : Hoparlörün ses yayma yönü.....	40

Şekil 3.3 : Hoparlörü çevreleyen düz levhanın etkili olabilmesi için çok büyük olması gereklidir.....	41
Şekil 3.4 : Kabine yerleştirilmiş konik hoparlör ve korna tipi hoparlör.....	42
Şekil 3.5 : Basit bir hareketli bobinli hoparlör. A) Mıknatıs, B) Ses bobini, C) Diyafram, D) Kırışik kenar, E) Örümcek (Bükülmeyi önlemek için), F) Kubbe	43
Şekil 3.6 : Hareketli bobinli sürücünün giriş empedansı.....	44
Şekil 3.7 : Hareketli bobinli sürücünün cevabı.....	45
Şekil 3.8 : Sonsuz kornaların standart hale getirilmiş akustik empedansının rezistif ve reaktif bileşenleri.....	46
Şekil 3.9 : Sabit yönlülüğe sahip korna – Nominal 60 x 40.....	48
Şekil 3.10 : Sabit yönlülüğe sahip kornaların huzme genişliği ve yönlülükleri.....	51
Şekil 3.11 : Piston ve kutu sistemleri için -6 dB açılı cevabının tahmininde kullanılacak grafik.....	53
Şekil 3.12 : İkili bir kaynaktan yayılan toplam güç.....	54
Şekil 3.13 : Dinamik bir mikrofonun çalışma prensibi.....	55
Şekil 3.14 : Mikrofon algılama eğrileri.....	56
Şekil 3.15 : Ses güçlendirme sistemlerinin bileşenleri.....	57
Şekil 3.16 : Frekans cevabı grafikleri. (a) Büyük ve güvenilir bir akustik araştırma enstitüsünde ölçülen düzeltilmemiş anekoik cevap. 85 Hz ile 20 kHz arası cevap ± 5 dB. (b) Aynı hoparlörün üreticinin literatüründeki muhtemelen oktav bandı düzeltilmesi uygulandıktan sonraki cevabı. Frekans aralığı kayma sınırları belirtilmeden 60 Hz-20 kHz olarak belirtilmiş. Grafikler düzeltilmemiş eğrideki ± 5 dB yerine 85 Hz ile 20 kHz arası ± 2 dB gösteriyor. Hangi versiyonun gerçekte duyulanı yansıttığı ise hala bir tartışma konusu.....	59
Şekil 3.17 : Normal bir odadaki hoparlörlerin düzeltilmiş ve düzeltilmemiş grafikleri. (a) Şekil 3.16'deki aynı hoparlörün basınç genlik cevabı fakat bu kez tipik bir odada yüksek çözünürlükte ölçülmüş. (b) Yukarıdaki (a)'ya benzer bir biçimde fakat bu defa bilgisayarlı cevap düzeltilmesi uygulandıktan sonra (Üreticilerin grafikleri broşürlerinde yayınlamadan önce uyguladıkları gibi).....	60
Şekil 3.18 : Düşük frekanslardaki hoparlör yayılım grafikleri. (a) Çift kutuplu kaynak (b) tam sonsuz levha (c) tek kutuplu kaynak (Kabinli hoparlör gibi).....	61
Şekil 3.19 : Kabinli bir hoparlörün yayılımı.....	62
Şekil 3.20 : Yönlülük - Frekans ilişkisi.....	63
Şekil 3.21 : Diyaframdaki yansıtıcı yükleme.....	65
Şekil 3.22 : Tarak filtreleme. Şekil 3.6'daki gibi direkt sinyal ile yansımalarının çakışmasının sonucudur, şekildeki gibi frekans cevabında bir artışa sebep olur. Lineer frekans skalasına çizildiğinde tarak filtreleme teriminin kaynağı da açıkça gözükür.....	66
Şekil 3.23 : Şekil 3.7'deki ile aynı cevap bu kez logaritmik frekans skalası üzerinde çizilmiş. Etkinin nasıl algılandığı konusunda daha iyi bir fikir vermekle beraber analitik amaçlar için etkinin periyodikliğini Şekil 3.7'deki kadar açık göstermemektedir.....	66
Şekil 3.24 : Kontrol odasındaki bir hoparlörün iki farklı pozisyondaki düşük frekans cevabı eğrileri.....	67
Şekil 3.25 : Bir hoparlörün aynı odada üç ayrı konumdaki cevabı. Değişiklikler tamamıyla konumdan kaynaklanmaktadır.....	68

- Şekil 3.26** : Birbirine dik üç duvarın yakınına yerleştirilmiş yönsüz bir ses kaynağının boşluktaki çıkış gücüne (Noktalı eğri) kıyasla ses çıkış gücü. Kaynak her bir duvardan 0.5 m mesafededir ($x=y=z=0.5$ m)..... 69
- Şekil 3.27** : Şekil 3.11’de olduğu gibi boşluktakine kıyasla ses çıkış gücü. Bu defa hoparlörler asimetrik konumlandırılmış ($x=0.5, y=0.35, z=0.15$ m). 70
- Şekil 3.28** : Yönsüz bir kaynak bir konumdan ($x=1, y=0.7, z=0.3$ m) köşeye yakın diğer bir konuma ($x=0.33, y=0.23, z=0.1$ m) hareket ettirildiğinde elde edilen güç farkı. 100 Hz’de yayılan güçteki artış yaklaşık 9 dB. 70
- Şekil 3.29** : Yönsüz bir kaynak bir konumdan ($x=1, y=0.7, z=0.3$ m) daha yüksekteki diğer bir konuma ($x=1, y=0.7, z=0.8$ m) yükseltildiğinde elde edilen güç farkı. Burada her ne kadar 400 Hz’de ufak bir artış olsa da 100 Hz civarında yayılan güçte açıkça bir düşüş görülmektedir. 71
- Şekil 3.30** : Katı bir duvara paralel levhalı tek kutuplu bir ses kaynağının boşluktakine kıyasla ses çıkış gücü. Duvara olan mesafe 0.5 m..... 71
- Şekil 3.31** : Katı bir duvara paralel levhalı tek kutuplu bir ses kaynağının boşluktakine kıyasla ses çıkış gücü. Duvara olan mesafe 1.5 m..... 72
- Şekil 3.32** : Katı bir duvara doğru açılarda yerleştirilmiş levhalı tek kutuplu bir ses kaynağının boşluktakine kıyasla ses çıkış gücü. Duvara mesafe 0.5 m... 72
- Şekil 3.33** : Katı bir duvara doğru açılarda yerleştirilmiş levhalı tek kutuplu bir ses kaynağının boşluktakine kıyasla ses çıkış gücü. Duvara mesafe 1.5 m... 73
- Şekil 3.34** : Kırılım kaynakları. Keskin bir kenarda dalganın genişlemesindeki ani artış görülmektedir. Köşenin çevresindeki kırılan dalga kenardaki dalga ile aynı fazdadır fakat kenardan kaynağa doğru yol alan kırılmış dalga ters fazdadır..... 75
- Şekil 3.35** : Kabin kırılımları. Hoparlör kabinlerinin keskin kenarları, mikserler ve hoparlör ile dinleyici arasındaki her ani kesitsel değişim stereo imajı bozacak ikincil kırılım kaynakları olacaktır. Bu problemi engellemek için hoparlör kabinlerinin kenarları genellikle yuvarlak ya da eğimlidir..... 76
- Şekil 3.36** : Kritik mesafe. Bir odada direkt ses kaynağa olan mesafe ile azalır fakat odadaki yankı seviyesi eşit olarak dağılır. Kritik mesafe düşmekte olan direkt sinyal seviyesinin (Dinleyici kaynaktan uzaklaşırken) yankı seviyesi ile aynı değere geldiği noktadır. Kritik mesafenin altındaki uzaklıklarda dinleyici baskın olarak direkt alanda, üstündeki uzaklıklarda ise yankı alanındadır. 77
- Şekil 3.37** : Büyük bir levhaya monte edilmiş bir pistonun yönlülük cevabı. Yönlülüğün frekans ile arttığı (Yayılmı açısı azalır) görülmektedir. Belirli diyafram ölçülerinin ve frekansların etkileri ka şeklinden hesaplanabilir. Burada; $k = \text{dalga sayısı} = 2\pi / \text{metre cinsinden dalga boyu}$ $a = \text{metre cinsinden pistonun (diyafram) yarıçapı}$ 79
- Şekil 3.38** : Anekoik bir odadaki hoparlörün aksenal ve eksen dışı cevapları. 80
- Şekil 3.39** : Şekil 3.23’deki hoparlörün toplam güç cevabı, bu defa ISVR’deki yankı odasında yapılmış..... 81
- Şekil 3.40** : Direkt ve yansıyan dalgaların pozisyona bağlı faz ilişkileri. 85
- Şekil 3.41** : Hoparlörün duvara monte edilmesi durumundaki gibi bir minimum faz etkisi örneği. Serbest olarak konumlandırılmak üzere tasarlanmış bir hoparlör duvara monte edildiğinde alçak frekanslarda beklenmesi gereken tipik çıkış artışı. Noktalı çizgi serbest konumdaki alçak frekans çıkışını göstermektedir. Duvara monte edilmiş hoparlör için her pozisyondaki direkt çıkış frekans x için frekans $2x$ ’ten 3 dB düşüktür. 86

Şekil 3.42 : Sınır yansımalarında olduğu gibi bir minimum olmayan faz etkisi örneği. Yansıtıcı bir odada iki farklı mikrofon pozisyonu için cevap ölçülmüştür. Hoparlör sürücü sinyali düz bir cevaba sahiptir. x ve $2x$ frekansları odadaki her pozisyonda bağıl seviyelerde farklılık gösterir. ‘A’ ve ‘B’ pozisyonlarında toplam cevap farklıdır dolayısıyla ekolayzır kullanmak da bir noktadan daha fazla yerde cevabı düzeltmez. Birden fazla noktada cevabı aynı anda düzeltmez.	87
Şekil 3.43 : Dijital aktif sinyal işleme yöntemi ile oda cevabının düzeltilmesi. Tanımlanmış dinleme pozisyonu olan mikrofon pozisyonu 0° ’da düzeltme nerede ise kusursuz uygulanabilir. Fakat pozisyon 0° ’daki cevap düzeltildikçe odadaki diğer pozisyonlardaki cevaplar kötüleşir.	89
Şekil 3.44 : Faz ilişkisinin dalga biçimi üzerindeki etkisi. Bileşen harmoniklerin bağıl düzeyleri tam olarak eşittir, sadece bağıl fazları değişmiştir. Dalga biçimi üzerindeki etki çok aşırıdır.	90
Şekil 3.45 : Çok fazla sönümlü bir stüdyo kontrol odasında hoparlörlerden farklı mesafelerdeki (d) geniş aralıklı monitör sisteminin MTF’leri.	92
Şekil 3.46 : Yeterince iyi sönümlü bir stüdyo kayıt odasında hoparlörlerden farklı mesafelerdeki (d) hoparlör MTF’leri.	92
Şekil 3.47 : MTF kıyaslamaları. İki frekans cevabı eğrisi (Soldaki eğriler) genel anlamda 40 Hz ile 800 Hz arasında oldukça benzerdir fakat kapalı kabinli hoparlörün MTF’si (a) filtreli yansıtıcı kabinin MTF’sinden çok daha düşük bir frekansa kadar yüksek kalır (b) alçak frekanslarda kapalı kabinin akustik çıkışı giriş sinyaline yansıtıcı kabinin zamana yayılmış alçak frekanslarından çok daha sadıktır.	93
Şekil 3.48 : Çok fazla sönümlü bir stüdyo kontrol odasında hoparlörlerden farklı mesafelerdeki (d) ekolayzır sonrası geniş aralıklı monitör sisteminin MTF’leri. Şekil 3.44’deki grafiklerden az miktarda farklılıklar mevcut.	94
Şekil 3.49 : Yeterince iyi sönümlü bir stüdyo kayıt odasında hoparlörlerden farklı mesafelerdeki (d) ekolayzır sonrası hoparlör MTF’leri.	95
Şekil 4.1 : Ses güçlendirme sistemi elemanları.	100
Şekil 4.2 : Dış ortam ses güçlendirme sistemi.	102
Şekil 4.3 : Tipik akustik ve elektronik geri besleme.	103
Şekil 4.4 : Konuşmacı, dinleyici, mikrofon ve hoparlörün yerleşimleri.	105
Şekil 4.5 : Bir oditoryumdaki merkezi hoparlör grubunun yerleşimi.	108
Şekil 4.6 : Hoparlörün hedef aldığı alanda ses düzeyinin düzgün dağılımı için gerekli sınırlar.	109
Şekil 4.7 : Uzun bir oditoryumda ikinci hoparlör grubunun yerleşimi.	109
Şekil 4.8 : Balkonlu bir oditoryumdaki hoparlör grupları.	110
Şekil 4.9 : İki hoparlörlü bir oditoryum. İstenmeyen bir hoparlör yerleşimi.	111
Şekil 4.10 : Dağıtılmış hoparlör sistemi.	112
Şekil 4.11 : Dağıtılmış bir hoparlör sistemindeki boşluk-yükseklik ilişkisi.	113
Şekil 4.12 : Salonunda gelişmiş bir çınlama sağlamak için kullanılan elektroakustik sistem. Çınlayan alanlar tavana, yandaki ve arkadaki duvarlara dağıtılmış hoparlörler ile oluşturulmuştur.	115
Şekil 5.1 : Kulağın dinamik aralığındaki tipik işlevsel seviyeler.	125
Şekil 5.2 : Program malzemeleri için mesafeye göre tipik maksimum SPL.	126
Şekil 5.3 : Yatay ana sistemlerin seçim değerlendirmeleri.	134
Şekil 5.4 : Dikey ana sistemlerin seçim değerlendirmeleri.	134
Şekil 5.5 : Yatay alt sistemlerin kombinasyonları. Ana, yan dolgu ve iç dolgu.	136
Şekil 5.6 : Dikey alt sistemlerin kombinasyonları. Ana, yan dolgu ve iç dolgu.	136

Şekil 5.7 : Yatay alt sistemlerin kombinasyonları. Ana, ön dolgu ve gecikme.....	137
Şekil 5.8 : Dikey alt sistemlerin kombinasyonları. Ana, ön dolgu ve gecikme.....	138
Şekil 6.1 : Ses güçlendirme sistemleri uygulanma koşulları akış diyagramı	140
Şekil 6.2 : Mono ana sistemlerde kapsama alanının boy-en oranı ve tekli veya çoklu ana sistem seçeneği	142
Şekil 6.3 : Stereo sistemlerde kaynak yer değiştirme etkisi ve stereo alandaki ölçeği	143
Şekil 6.4 : Etkili görsel konumlandırma için surround sistemlerin yönlendirilmesi	145
Şekil 6.5 : Hoparlör dizi tipleri.	146

KAPALI MEKÂNLARIN AKUSTİK TASARIMINDA SES GÜÇLENDİRME SİSTEMLERİNİN UYGULANMA KOŞULLARI

ÖZET

Günümüzde ses güçlendirme sistemleri mimari akustik tasarım uygulamalarının çoğu için nerede ise vazgeçilmez bir hale gelmiştir. Mimari akustik ve ses mühendisliği disiplinlerinin birbirleri ile olan ilişkileri incelendiğinde, her iki tarafın da başarısının bir diğerine bağlı olduğu açıkça görülebilir. Bu çalışmanın amacı kapalı bir mekânın mimari akustiğine destek olacak şekilde bir ses güçlendirme sisteminin tasarım koşullarını içeren ve mimarlara yardımcı olması hedeflenen bir kılavuz oluşturmaktır.

Çalışmanın 2. Bölümünde sesin temelleri açıklanmış, tek boyutlu dalga denklemi, üç boyutlu dalga denklemi ve basit kaynaklar ile bitişik düzlemsel kaynaklar tanımlanmıştır. 3. Bölümde ses güçlendirme sistemlerinde kullanılan hoparlör, mikrofon ve amfiler tanımlanmış, hoparlörlerin kapalı mekânlardaki durumları; odaların hoparlörlere etkileri, odalardaki yankı ve kritik mesafe, ses güç yayılımı düzeltici tedbirler ve faz ve zaman konuları ele alınmıştır. 4. Bölümde ses güçlendirme sistemlerine ihtiyaç duyulan yerler tanımlanmış, ses güçlendirmenin temelleri, ses görüntüsü, hoparlör konumları, bilgisayar destekli ses sistemi tasarımı ve elektronik mimari konularına değinilmiştir. 5. Bölümde kapalı mekânların akustik tasarımında ses güçlendirme sistemlerinin yeri başlığı altında yayım iletim ve algılama modelleri tanımlanmış, hedefler ve sorunlar belirtilerek tasarıma özel koşullar, tasarıma özel cevaplar, kanal/sistem tipleri ve sistem alt bölümleri detaylandırılarak bir tasarım için gerekli tüm öğeler değerlendirilmiştir. 6. bölümde ise ses güçlendirme sistemi tasarımıyla ilgili koşulları belirlemek üzere sorulacak tüm sorulara alınacak cevaplar doğrultusunda tasarım detaylarının nasıl şekillendiği açıklanmıştır.

APPLICATION SPECIFICATIONS OF SOUND REINFORCEMENT SYSTEMS FOR INDOOR ACOUSTICAL DESIGN

SUMMARY

Today, sound reinforcement systems are necessary for most of the architectural acoustics design applications. When the relationship of architectural acoustics and sound engineering disciplines is examined, it is clear that the success of both disciplines is dependant upon the other's. The aim of this thesis is to define the application specifications of sound reinforcement systems to assist the indoor architectural acoustics and be a helpful guide for architects.

In Chapter 2, fundamentals of sound are described, one dimensional wave equation, three dimensional wave equation, simple sources and coherent planar sources are defined. In Chapter 3, the basic components of sound reinforcement; loudspeakers, microphones and amplifiers are defined, loudspeakers in rooms, room influences, room reverberation and critical distance, sound power radiation, corrective measures, phase and time subjects are covered. In Chapter 4, the spaces that need reinforcement systems are described, fundamentals of sound reinforcement, sound image, loudspeaker placement, computer aided sound system design and electronic architecture are defined. In Chapter 5, under the header of the importance of sound reinforcement systems for indoor acoustical design, emission, transmission and reception models are defined, goals and challenges are described, specifications, specific answers, channel/system types and subsystem types are described in detail. In Chapter 6, all the answers to specific questions that will shape the specifications of sound reinforcement system design are covered.

1. GİRİŞ

Mimari akustik ve ses mühendisliği disiplinlerinin birbirleri ile olan ilişkileri incelendiğinde, her iki tarafın da başarısının bir diğerine bağlı olduğu açıkça görülebilir. Günümüzde senfoni salonlarında pop müziği konserleri stadyumlarda ise Pavarotti konserleri verilmektedir. Farklı amaçlar için tasarlanmış mekanlarda farklı uygulamaların tasarımı için disiplinlerin karşılıklı uyum içerisinde olan çözümleri uygulayabilmesi, birbirlerinin rollerine yeterince hâkim olmaları yoluyla sağlanabilir. Her ne kadar roller farklı olsa da her iki disiplin de aynı amaca hizmet vermektedir, kusursuz bir dinleme deneyiminin sağlanmasına.

Günümüzde sadece doğal sesin (Güçlendirilmemiş ses) kullanıldığı uygulamalar oldukça azınlıktadır. Ancak ses kaynağı ile akustik ortamın kusursuz bir uyum içinde olduğu sistemlerde, örneğin bir senfoni salonundaki senfonik müzik, bir opera salonundaki opera ya da küçük bir konferans salonundaki bir konuşma gibi uygulamalarda doğal ses başarılı olabilir. Bu yüzden günümüzde ses güçlendirme sistemleri mimari akustik tasarım uygulamalarının çoğu için nerede ise vazgeçilmez bir hale gelmiştir. Konser ve sinema salonları için olmazsa olmazlardan olan ses güçlendirme sistemleri, sadece konuşma için kullanılan ve mimari akustiğin yeterli olduğu oditoryumlarda bile talep edilmektedir ve çok kapsamlı olmasa da bir mikrofon-amfi-hoparlör grubunun tasarımı eklenmesi mutlaka istenmektedir.

Yukarıdaki bilgiler ışığında mimari akustik ile ortak bir çalışma sonucunda kusursuz sonuçlar verebilecek olan ses güçlendirme sistemlerinin tasarım ve uygulanmasında pratikte, maalesef ki bilimsel verilere dayanan bir süreç yerine çoğunlukla ezberlenmiş bir takım metotların uygulandığı görülmüştür. Böyle uygulamalar, temelleri yüzyılların birikimine ve bilimsel verilere dayanan mimari akustiği ve dolayısıyla uygulamalarda elde edilen dinleme deneyimini olumsuz yönde etkilemekte ve yukarıda bahsi geçen temel amacına dahi hizmet edememektedir.

Bu çalışmanın amacı böyle bir tasarım sürecinde mekânın özellikleri ve sistemin kullanım amacı doğrultusunda şekillenecek olan tasarım kriterlerini oluştururken

sorulacak soruları ve dikkat edilecek detayları ortaya koyan bir kılavuz oluşturmaadır.

2. SESİN TEMELLERİ VE BASİT KAYNAKLAR

2.1 Sesin Temelleri

2.1.1 Dalga hareketi

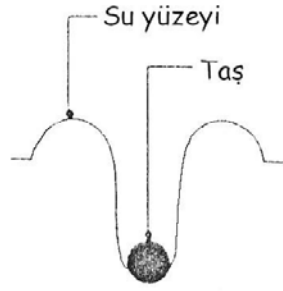
Ses, titreşen cisimlerin elastik bir ortamda oluşturduğu basınç değişimlerine, kulağın verdiği tepkidir. Örneğin duvara bağlı bir musluk ses çıkartır çünkü musluk duvarın titreşmesine neden olur. Aynı olay, gitar telinin titreşmesi ile de meydana gelir.

Çevremizdeki çoğu ses titreşimlerle oluşur. Fakat bazı sesler mekanik titreşimlerden oluşmazlar. Sesler havanın hızındaki ani bir artışla, hava akışındaki bir türbülansla oluşurlar. Basınçlı bir hava hattından hava çıktığında oluşan ses bu yüzdendir. Aynı şekilde klima kanallarından çıkan havanın da ses çıkartma sebebi, kanalların hava taşıyan borulardan daha küçük olmasıdır ki bu da kanallarda havanın hızını artırır.

Ses bir ortamda dalgalar halinde yayılır. Havadaki dalga hareketi, suya düşen bir taşın suda oluşturacağı dalgacıklarla aynı biçimdedir. Örnek olarak rüzgârsız bir havada yüzeyi durgun ve hareketsiz olan bir göl ele alındığında, göle atılan bir taş su yüzeyine düşer düşmez bir dalga taşın çarpma noktasından, artan bir çapla ilerlemeye başlar.

Taş su yüzeyine çarptığında, o noktada bir basınç oluşturur. Çoğu sıvı gibi su da sıkıştırılmaz olduğundan taşın suya çarptığı noktaya yakın zerreler yukarı doğru itilirler. Böylece suyun yüzeyinde bir çukur ve iki tepecikten oluşan bir dalga meydana gelir (Şekil 2.1).

Taş suyun yüzeyinden aşağı doğru ilerlediğinde, suyun elastik yapısı su yüzeyini normal haline getirmeye çalışır, bu da su partiküllerinin normal pozisyonları civarında salınmalarına neden olur. Bu salınma hareketi komşu partiküllere iletilir, böylece dalgacık ve dalgacığın enerjisi merkez noktadan uzaklaşmaya başlar.

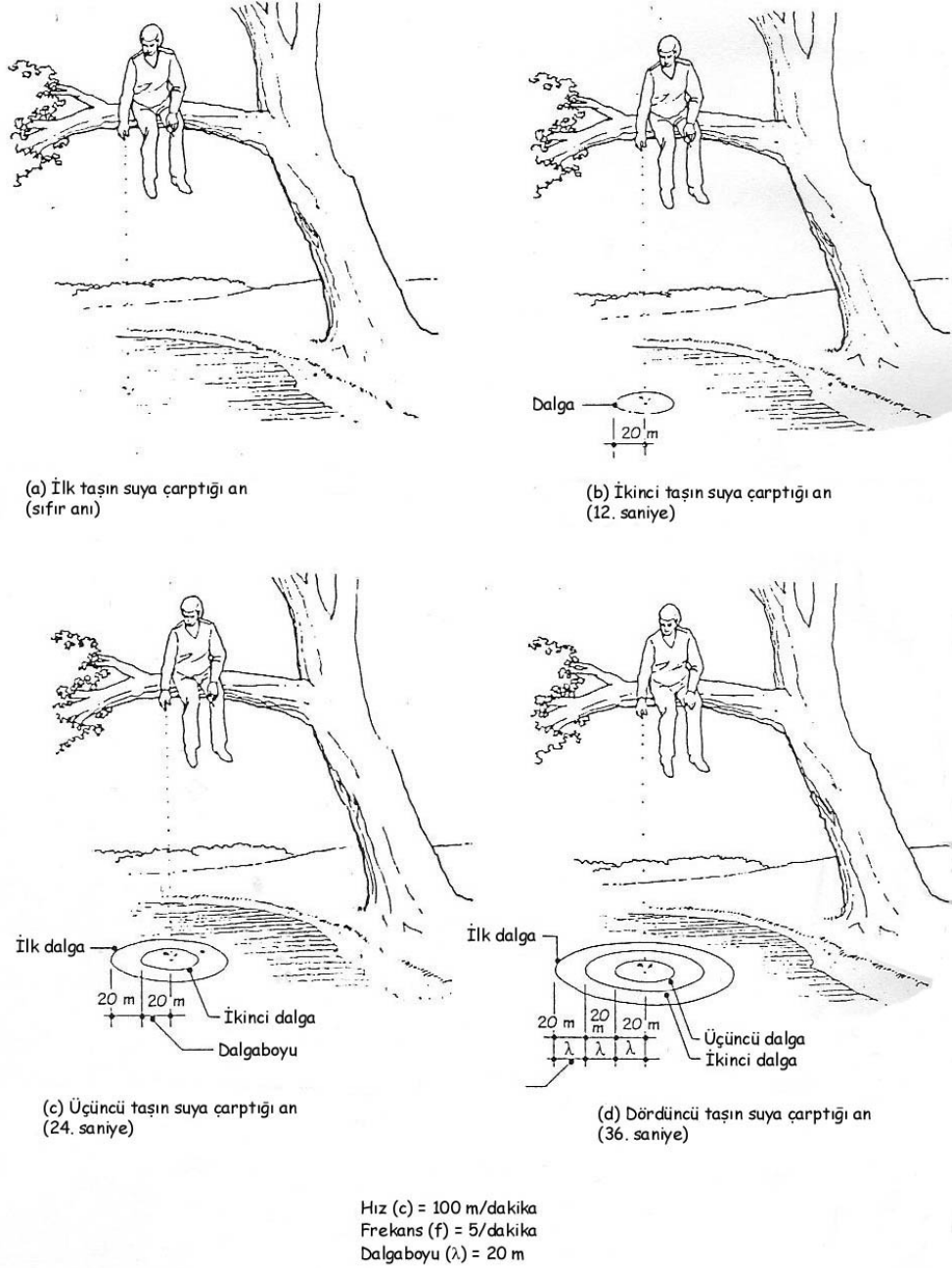


Şekil 2.1 : Suya düşen bir taşın oluşturduğu dalga.

Suyun üstünde yüzen cisimler incelendiğinde görüleceği gibi, dalga hareketi sırasında dalgacık ilerler fakat su partikülleri ilerlemez. Su partikülleri normal pozisyonları civarında yukarı ve aşağı doğru salınırlar. Bir dalga hareketinde ilerleyen şey ortamdaki partiküller değil, dalganın enerjisidir.

Doğadaki birçok dalga tek bir dalgacıktan değil, her biri bir önceki dalgacığı sabit bir zaman aralığında takip eden dalgacık serilerinden oluşur. Birim zamanda üretilen dalgacık miktarına ise frekans denir. Dalga hareketi ile ilgili diğer önemli kavramlar ise dalga boyu ve dalganın hızıdır. Aslında frekans, dalga boyu ve dalganın hızı birbirleri ile ilişkilidirler. Bu ilişki, su gibi sıvı bir ortamda üretilen dalgalar incelendiğinde anlaşılabilir.

Dalgaların sıvı bir ortamdaki ilerleme hızlarının dakikada 100 m olduğu varsayılır ve dalgaların aynı noktadan 12 saniye aralıklarla suya atılan taşlarla üretildiği kabul edilirse bu durumda frekans dakikada 5 taşa eşit olur. Dalga hızı 100 m/dakika olduğundan ikinci taş suya çarptığında, birinci taş 20 metrelik bir mesafe kat etmiş olacaktır (Şekil 2.2 b). Üçüncü taş su yüzeyine çarptığında ise, birinci dalga 40 metre ikinci dalga ise 20 metre uzaklıkta olacaktır (Şekil 2.2 c). Aynı şekilde dördüncü taş su yüzeyine çarptığında birinci, ikinci ve üçüncü dalgalar 60, 40 ve 20 metre uzaklıklarda olacaklardır (Şekil 2.2 d). Bu noktada görülür ki herhangi bir anda dalgalar arasındaki mesafeler sabittir.



Şekil 2.2 : Değişik anlarda sudaki dalgaların konumları.

Eğer frekans dakikada 10 taşa çıkartılırsa, komşu dalgalar arasındaki mesafenin 10 metreye düşeceği görülür. Eğer frekansa dakikada 2 taşa düşürülürse, dalgalar arasındaki mesafe 50 metreye çıkar.

Herhangi bir anda, iki komşu dalga arasındaki mesafeye dalga boyu adı verilir ve dalga boyu λ ile gösterilir. Frekans f ve hız da c ile gösterildiğinde, frekans, dalga boyu ve dalga hızı arasındaki bağıntı şu şekilde olur:

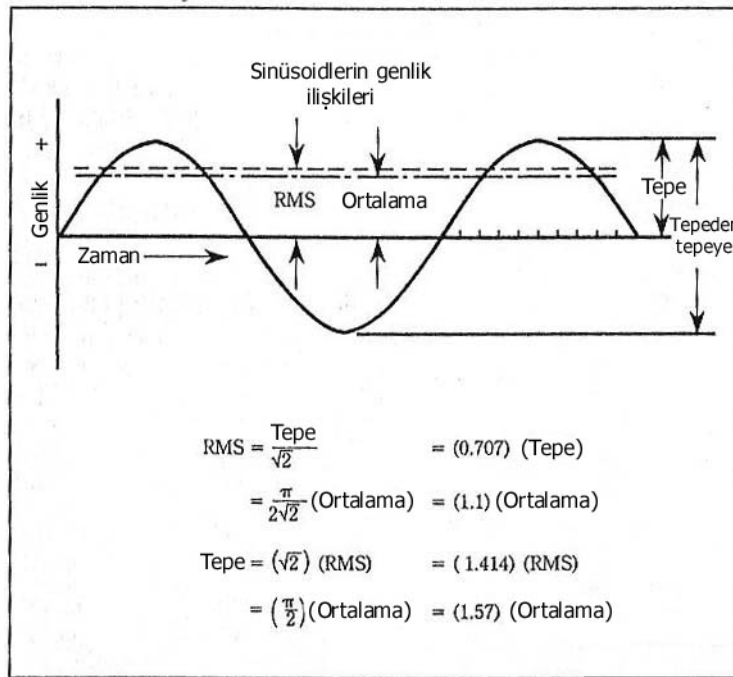
$$c=f*\lambda \quad (2.1)$$

Her ne kadar yukarıdaki bağıntı bir sıvının yüzeyindeki dalgalar hesaba katılarak elde edildiyse de, verilen bağıntı bütün dalga hareketleri ve ses dalgaları için geçerlidir.

2.1.2 Sinüs dalgası

Sinüs dalgası özel bir çeşit değişken sinyaldir ve kendi özel terimleri ile ifade edilir. Osiloskopta incelendiğinde, en kolay okunabilen değer tepeden tepeye değerdir (Gerilimin, akımın, ses basıncının ya da sinüs dalgası neyi temsil ediyorsa onun), ki bu değer anlamı Şekil 2.3'te açıkça görülebilmektedir. Eğer bir dalga simetrik ise, tepeden tepeye değer, tepe değerinin iki katıdır.

Normal bir AC voltmetre, aslında özel bir doğrultucuyla donatılmış ve değişken sinüs akımını, darbeli, tek yönlü akıma çeviren bir DC aygıttır. DC voltmetre Şekil 2.3'te verildiği gibi, ortalama bir değere cevap verir. Aslında bu tip ölçü aygıtları rms (Bir sonraki paragrafta açıklanacak) değerlerine göre kalibre edilmişlerdir. Saf sinüs dalgaları için uygundur fakat sinüzoidal olmayan dalgalar için yapılan ölçümler hatalı olur.



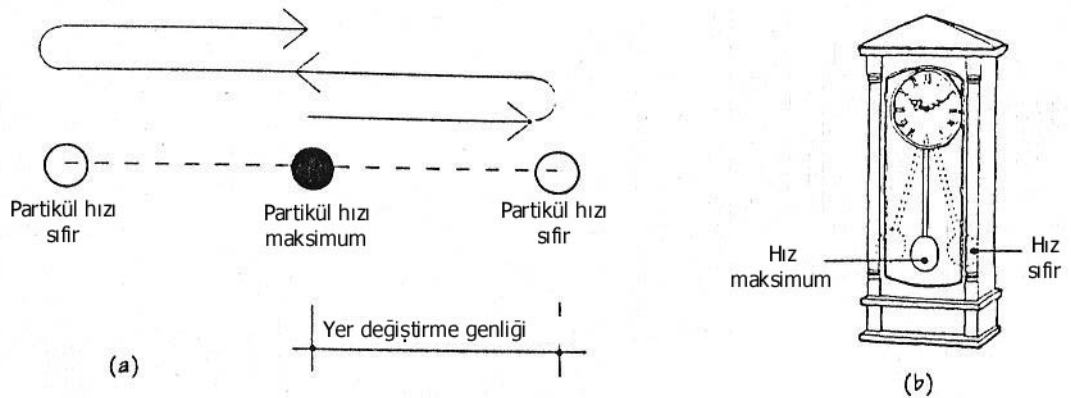
Şekil 2.3 : Sinüs dalgası.

Değeri bilinen bir dirençten akan, rms'i (Başka bir deyişle efektif değeri) 1 Ampere eşit olan bir alternatif akım ile 1 Amperlik doğru akımın ısıtma güçleri birbirine denktir. Alternatif akım hangi yönde olursa olsun bir direnci ısıtma özelliğine

sahiptir, burada bahsedilen sadece bir hesaplama yöntemidir. Şekil 2.3'teki grafiğin pozitif kısmının her andaki genlik değeri okunur. Daha sonra (a) bu genlik değerlerinin karesi alınır, (b) karesi alınan değerler birbirine eklenir, (c) ortalama bulunur ve (d) ortalamanın karekökü alınır. Ortalamanın karekökü alınarak, Şekil 2.3'teki grafiğin pozitif tarafının rms (Root-Mean-Square yani kök-ortalama-kare) değeri elde edilmiş olur. Aynı şey negatif taraf için de yapılabilir fakat negatif bir değerın karesini aldığımızda pozitif bir değer elde edeceğimizden, simetrik bir dalgada pozitif tarafın değerinin iki katını almak aynı sonucu verecektir. Bu şekilde alternatif ya da periyodik bir dalganın (Bu dalga ister gerilim ister akım ister ses basıncı değeri olsun) rms ya da "ısıtma gücü" değerleri elde edilmiş olur. Bu tip hesaplar rms'in anlamını anlamakta yardım edecektir fakat tabi ki ölçüm cihazlarından bu değerleri okumak en kolayıdır. Şekil 2.3, sinüs dalgası ile ilgili değerlerin bir özetini vermektedir.

2.1.3 Sesin frekansı

Titreşen bir cisimden, havada sıkışma ve gevşeme noktaları yaratarak ilerleyen dalgalar silsilesine ses dalgaları diyoruz. Sıkışma ve gevşeme dalgaları hava partiküllerinin titreşmelerine neden olur. Bir hava partikülünün ileri ve geri hareketine bir devir adı verilir. Bir devir içerisinde partikül sabit konumundan (Şekil 2.4 a'daki siyah nokta) sağa doğru hareket eder, daha sonra ilk konumuna gelir, sola gider ve daha sonra tekrar ilk konumuna döner.



Şekil 2.4 : Titreşen bir partikülün üç önemli pozisyonu ve ilgili partikül hızları.

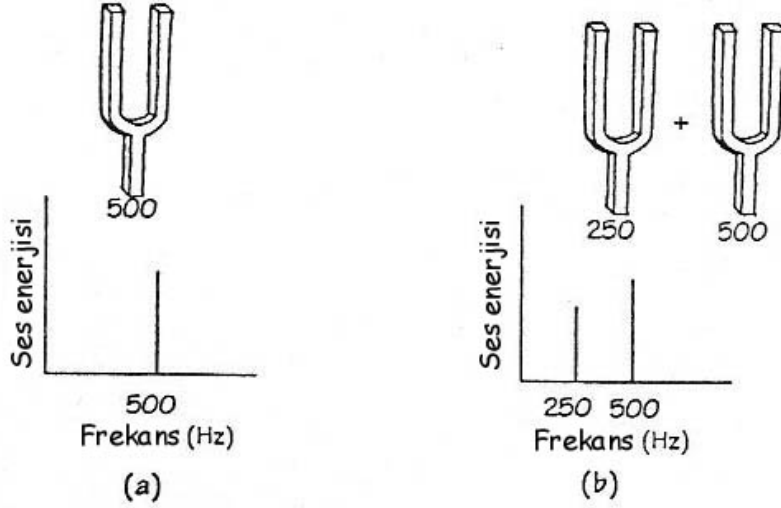
Üstteki olay birbirini takip eden devirler şeklinde kendini tekrarlar. Partikülün hızının merkez noktada maksimum, tam sağ ve tam solda ise sıfıra eşit olduğu unutulmamalıdır. Partikülün maksimum hızına hız genliği ve partikülün merkez noktasından maksimum uzaklığına ise yer değiştirme genliği adı verilir.

Bir saniyede, dalganın içindeki hava partiküllerinin ileri geri hareketlerinin toplam devir sayısına dalganın frekansı adı verilir. Birimi Hertzdir.

İnsan kulağı, 20 Hz ile 20 kHz frekansları arasındaki sesleri duyabilir. 20 Hz'in altındaki frekanslar *infrasonik* frekanslar olarak adlandırılır. Duyulamazlar fakat titreşimler şeklinde hissedilebilirler. 20 kHz'in üstündeki frekanslar, *ultrasonik* frekanslar olarak adlandırılırlar. Bunlar da insanlar tarafından duyulamazlar fakat bazı hayvanlar bu frekansları duyabilir. Köpekler 30 kHz'e kadar olan frekansları duyabilirken yarasalar 90 kHz'e kadar olanları duyabilir. Aslında yarasalar yüksek frekanslı sinyaller üreterek bunları akustik radar olarak kullanırlar ve önlerindeki engelleri bu şekilde algırlar.

Çevredeki sesler, bir diapozonun üretebileceği gibi tek bir frekanstan (Tek bir nota ya da saf bir tondan) oluşmazlar. Eğer frekans yatay ekseninde, sesin barındırdığı enerji ise düşey ekseninde gösterilirse, saf bir tonun grafiksel ifadesi dik bir çizgi olur. Örneğin, 500 Hz'lik bir diapozona vurulduğunda, çıkan sesin grafiksel ifadesi Şekil 2.4 a'daki gibi olacaktır. Diapozona ne kadar şiddetli vurulursa çıkan ses o kadar yüksek olur yani üretilen ses enerjisi o kadar yüksek olur. O yüzden sesi temsil eden çizgi daha uzun olur.

Eğer farklı frekanslı iki ton, örneğin biri 250 Hz diğeri ise 500 Hz olsun, aynı anda üretilirse, bunların grafiksel ifadeleri iki dikey çizgi olur. Eğer iki tonun da enerjisi aynı ise iki dikey çizgi aynı uzunlukta olur. Eğer iki tonun enerjileri farklı ise çizgilerin boyları da farklı olacaktır (Şekil 2.5 b)

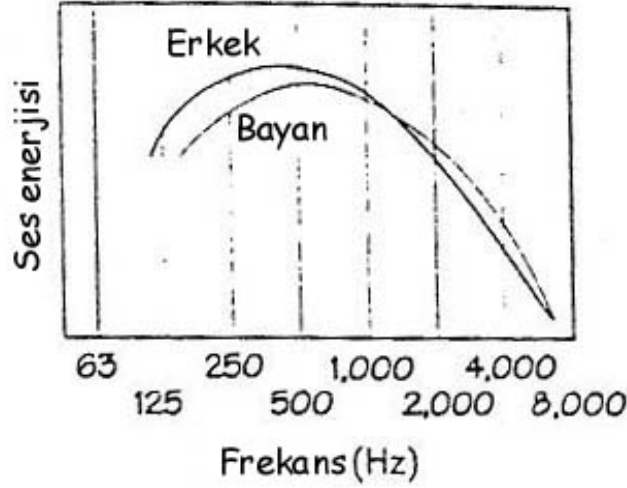


Şekil 2.5 : (a) 500 Hz'lik bir diapozonun, (b) Aynı anda titreşen 250 Hz ve 500 Hz'lik diapozonların ses spektrumları.

Bir sesin frekans-ses basınç ilişkisine *frekans spektrumu* adı verilir. Çevredeki çoğu ses komplekstir ve frekans serilerinden oluşurlar, öyle ki spektrumları devamlı bir eğri olur. Örneğin insan sesi yaklaşık 100 Hz'den 5 kHz'e kadar ses serileri içerir (Şekil 2.6). Erkek sesinin tepe değeri yaklaşık 400 Hz, kadın sesinin ise yaklaşık 500 Hz'dir.

2.1.4 Kompleks dalgalar

Konuşma ve müziğin dalga biçimleri basit sinüs dalgasından çok farklıdır. Fakat bir dalga ne kadar kompleks olursa olsun, periyodik olduğu sürece basit sinüs bileşenlerine indirgenebilir. Teorik olarak herhangi bir periyodik dalga frekansları, genlikleri ve fazları birbirinden farklı olan sinüs dalgaları kullanılarak sentezlenebilir. Bu fikri ilk bulan kişi Joseph Fourier'dir. Aslında bu fikir, durumu hem karmaşıktır, hem de basitleştiren bir fikirdir. Düşünce açısından, mükemmel bir basitleştirme sağlamasına rağmen, konuşma ve müzik seslerine uygulanması durumunda biraz karmaşıktır.

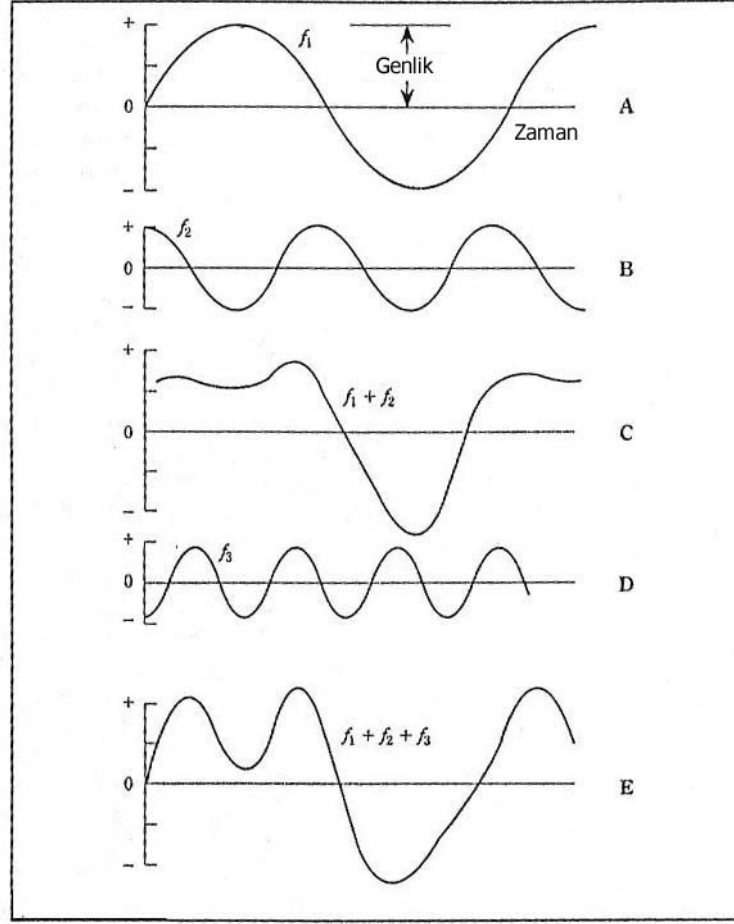


Şekil 2.6 : Erkek ve kadın sesinin yaklaşık ses spektrumları.

2.1.5 Harmonikler

Şekil 2.7A'da genliği ve frekansı belli bir sinüs dalgası olan f_1 görülmektedir. Şekil 2.7B'de ise genliği f_1 'in yarısı, frekansı ise iki katı olan f_2 sinüs dalgası görülmektedir. A ve B birleştirildiğinde Şekil 2.7C'deki dalga şekli elde edilir. Şekil 2.7D'de genliği A'nın yarısı, frekansı ise iki katı olan f_3 dalgası görülmektedir. Bu dalga f_1+f_2 dalgası olan C'ye eklendiğinde şekil 2.7E elde edilir. Görüldüğü gibi şekil 2.7A'daki dalgaya yeni dalgalar eklendiğinde şekli bozulmuştur. Bunlar akustik ya da elektronik dalgalar da olsa, bu işlem tersine çevrilebilir. Şekil 2.7E'deki bozulmuş dalga, akustik ya da elektronik filtreler yardımıyla basit f_1 , f_2 , ve f_3 bileşenlerine ayrılabilir. Örneğin, şekil 2.7E'deki dalga sadece f_1 'i geçiren fakat f_2 ve f_3 'ü geçirmeyen bir filtreden geçirildiğinde, şekil 2.7A'daki dalga ilk hali ile elde edilebilir.

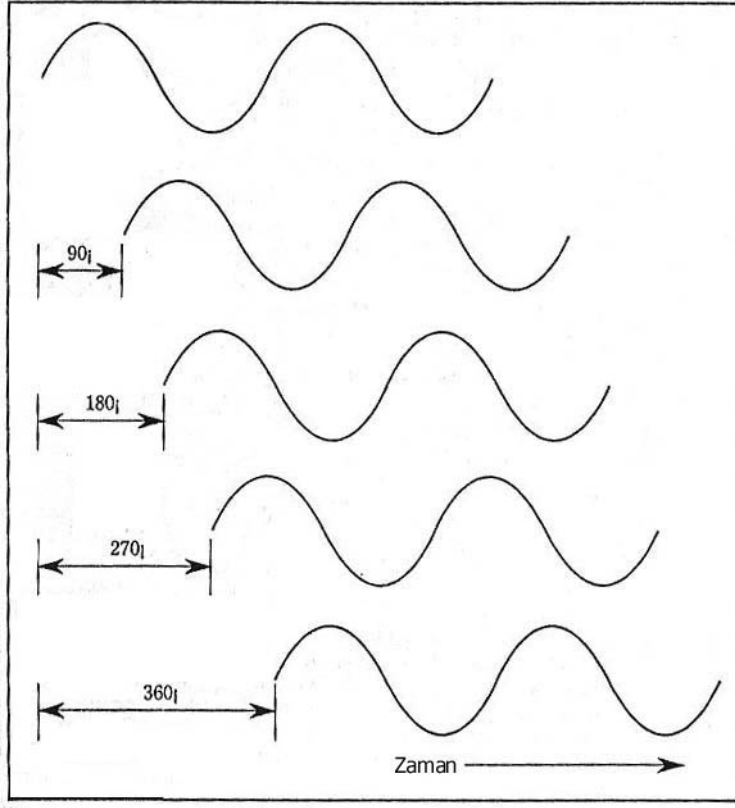
Şekil 2.7A'daki en düşük frekanslı dalga f_1 temel, şekil 2.7B'de frekansı ilkinin iki katı olan f_2 ikinci harmonik, ve şekil 2.7D'de, frekansı ilkinin üç katı olan f_3 ise üçüncü harmonik olarak adlandırılır. Dördüncü harmonik, beşinci harmonik, vs. ise temel frekansın dört ve beş katı frekanslı dalgalardır.



Şekil 2.7 : Temel frekans ve harmoniklerin ilişkileri.

2.1.6 Faz

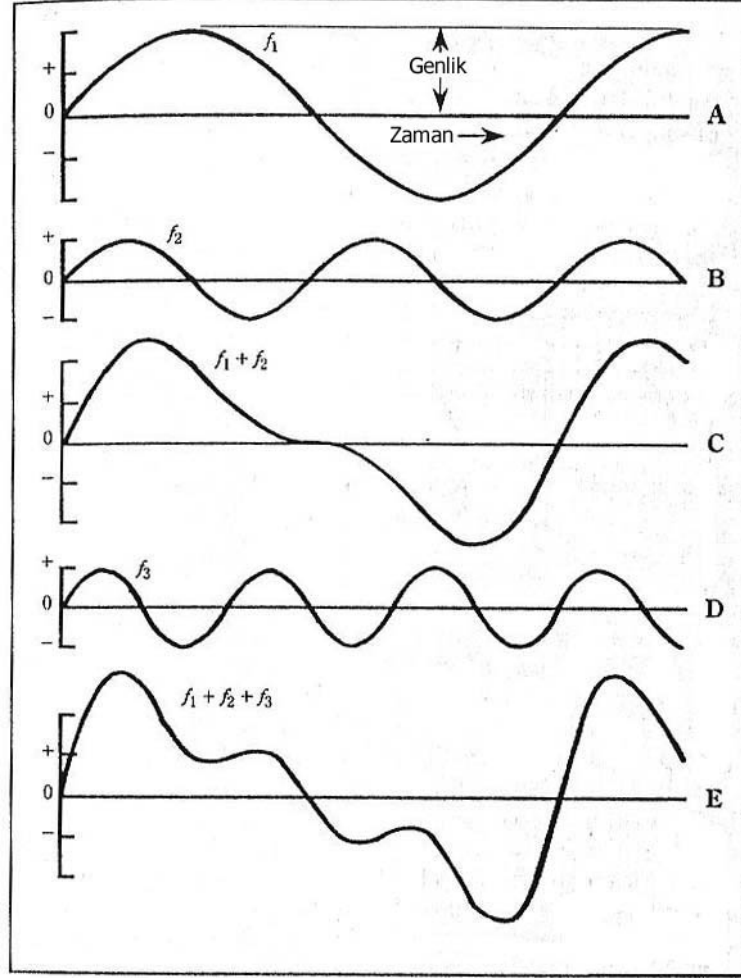
Şekil 2.9'da f_1 , f_2 , ve f_3 bileşenlerinin üçü birden sıfırdan başlamaktadır. Bu durumda bu üç dalga aynı fazdadır denilebilir. Bazı durumlarda, harmonikler arasındaki ya da harmoniklerle temel frekanslar arasındaki zaman ilişkisi bu durumdan çok farklıdır. Otomobil motorundaki krank milinin bir tam devrinin (360°), pistonun bir basit harmonik hareket devrine denk olduğu hatırlanırsa, pistonun yukarı ve aşağı hareketi de Şekil 2.8'deki gibi bir sinüs dalgasını takip eder. Bir tam sinüs dalgası devri, 360° 'lik dönüşü temsil eder. Aynı frekanslı başka bir dalga 90° geciktirilirse, bu dalga ilk dalgaya göre çeyrek dalga boyu kadar geç kalmış demektir. Yarım dalga boyu kadar gecikme ise 180° olacaktır, vs. 360° 'lik gecikme durumunda ise, Şekil 2.8'de en altta görülen dalga en üstteki ile aynı konuma gelmiştir, aynı anda negatif ve pozitif tepe değerlerine ulaşırlar ve böylece bu dalgalar için aynı fazda dalgalar denilebilir.



Şekil 2.8 : Aynı genliğe ve frekansa sahip dalgaların faz ilişkileri. 360 derecelik bir tur, bir tam sinüs devrine eşittir.

Şekil 2.7’de, Şekil 2.7E’deki dalganın her üç bileşeni de aynı fazdaydı. Yani f_1 temel frekans, f_2 ikinci harmonik, ve f_3 üçüncü harmonik bileşenlerinin üçü de sıfırdan başlamaktadır. Peki ya harmonikler temel frekansla aynı fazda değiller ise ne olur? Şekil 2.9 bu durumu göstermektedir. İkinci harmonik olan f_2 ’nin fazı 90° ileri, üçüncü harmonik olan f_3 ’ün fazı ise 90° geriye alınmıştır. f_1 , f_2 , ve f_3 ’ün bileşkesi alındığında, pozitif ve negatif işaretlerden ötürü, şekil 2.9E’deki dalga elde edilir.

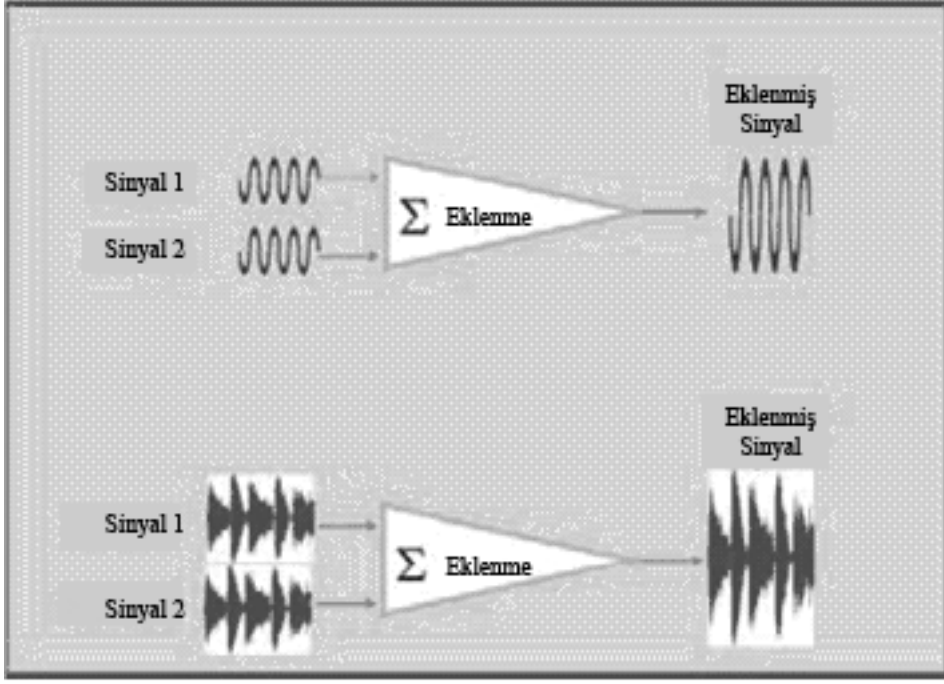
Şekil 2.7E ile şekil 2.9E arasındaki tek fark, f_2 ve f_3 harmonikleri ile f_1 temel frekansı arasında bir faz farkı oluşturulmasıdır. Bu durum, sonuçta ortaya çıkacak olan dalganın şeklinde büyük değişiklikler yapmak için yeterlidir.



Şekil 2.9 : Temel frekans ile harmonikler arasında faz farkı oluşturulması durumu.

2.1.7 Eklenme

Eklenme iki ya da daha fazla ses sinyalinin birbiri ile birleşerek yeni bir dalga biçimi oluşturmasıdır. Eklenme anlık bir olay olabilir ki bu durumda kontrol edilmesi oldukça zordur. Belli kriterler yerine geldiğinde eklenme zamanla sabit kalacak bu durumda da tahmin ve kontrol edilebilir olacaktır. Bu kriterlerden birincisi kaynak uyumudur. Yani eklenen sinyaller birbiri ile uyumlu dalga biçimlerine sahip olmalıdırlar, örneğin hepsi aynı orijinal kaynak dalga biçiminden gelmelidir (Şekil 2.10). İkinci kriter ise süredir. Sabit eklenme ya da çıkartma durumunun gerçekleşebilmesi için sinyallerin eklenme aralığında çakışma sürelerinin yeterli olması gerekmektedir.



Şekil 2.10 : Ekleme

2.1.8 Oktav bantları

Duyulabilir ses frekans aralığı geniş olduğundan (20 Hz'den 20 kHz'e kadar), tek tek frekanslarla uğraşmak imkânsızdır. Bu yüzden bütün duyulabilir ses frekans aralığı frekans bantlarına bölünür.

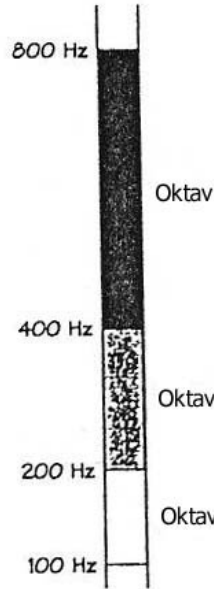
Bir frekans bandı kısaca iki frekans limiti arasında bulunan frekans serisidir. Bandın genişliği üst frekans limiti ile alt frekans limitinin farkıdır. Örneğin rastgele 200 Hz'lik bir bant genişliği seçilirse, ilk bandın alt frekans limiti 20Hz, üst frekans limiti ise 220 Hz olacaktır. Bir sonraki bandın alt ve üst frekans limitleri ise sırası ile 220 Hz ve 420 Hz olacaktır. Bunu takip eden bant ise 420 Hz'ten 620 Hz'e kadar olacaktır. Bu frekans bantlarında ilk bandın (20 Hz-220 Hz bandı) merkez frekansı 120 Hz, bir sonraki bandın 320 Hz olur ve bu şekilde devam eder. Her bandın merkez frekansı, alt frekans limiti ile üst frekans limitinin aritmetik ortalaması alınarak bulunur.

Mimari akustikte, bütün duyulabilir frekans aralığı, oktav bantlarına kısaca *oktavlara* bölünür (Müzikten alınmış bir fikirdir). Bir oktav bir frekans bandıdır, öyle ki yüksek frekans limiti düşük frekans limitinin 2 katıdır. Örneğin 200 Hz - 400 Hz aralığı bir oktavdır, 400 Hz - 800 Hz aralığı bir oktavdır, vs. (Şekil 2.11)

Bir oktavın merkez frekansı alt ve üst frekans limitlerinin aritmetik ortalaması alınarak elde edilemez, çünkü birbirini takip eden oktavların bant genişlikleri aynı değildir. Örneğin 200-400 Hz aralığının bant genişliği 200 Hz, 400-800 Hz aralığının bant genişliği 400 Hz'dir.

Bir oktav bandının merkez frekansı alt ve üst frekans limitlerinin geometrik ortalaması alınarak elde edilir. Yani alt ve üst frekans limitleri çarpılır ve çarpımın karekökü alınır. 200 Hz'den 400 Hz'e kadar olan frekans bandının merkez frekansı şu şekilde bulunur:

$$\sqrt{200 * 400} = 282.8 \text{ Hz}$$



Şekil 2.11 : Bir oktavın tanımı.

Bir oktavda üst frekans limit (f_u) ve alt frekans limiti (f_a) 2:1 oranındadır. Merkez frekans f_m verildiğinde, bir oktavın f_u ve f_a 'sı şu şekilde bulunabilir.

$$f_u = f_m * (\sqrt{2}) = 1.414 f_m$$

$$f_a = \frac{f_m}{\sqrt{2}}$$

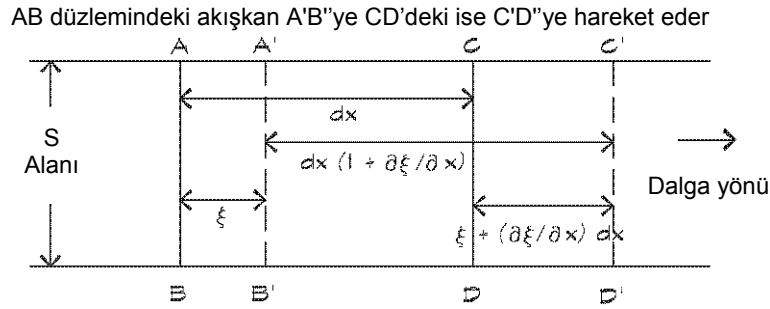
Mimari akustikte 50 Hz'ten düşük ve 10 kHz'den büyük frekanslar genelde önemsizdir. Bu yüzden merkez frekansları 63 Hz, 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 Khz, 4 Khz ve 8 kHz olan 8 oktav kullanılır. Şekil 2.7'de her oktavın alt ve üst

frekans limitleri görülmektedir. Örneğin merkez frekansı 250 Hz olan oktavin alt ve üst frekans limitleri 177 ve 354 Hz'dir. 63 Hz 250 Hz arası frekanslar genellikle düşük frekanslar olarak, 500 Hz 1 kHz arası orta frekanslar olarak ve 2 kHz 8 kHz arası frekanslar yüksek frekanslar olarak adlandırılırlar.

2.2 Basit Kaynaklar

2.2.1 Tek boyutlu dalga denklemi

Dalga denklemi bir ses dalgasına ait basınç, yoğunluk ve bunun gibi diğer değişkenlerin uzay ve zamandaki davranışlarını tanımlayan bir diferansiyel denklemdir. Çözümleri dalga akustiğinin temellerini oluşturmaktadır ve birçok olgunun anlaşılabilmesi için önemli rol oynamaktadır. Denklem elde edilirken, sesin geçtiği ortamların doğası hakkında çeşitli kabuller yapılır. Dalga denkleminde iletken ortamların devamlılık denklemini (Kütlenin korunumu), Newton'un ikinci hareket yasasını ve basınç-yoğunluk ile ilgili hal denklemini takip ettiği kabul edilir.



Şekil 2.12 : Düzlemsel bir dalga geçerken akışkanın yer değiştirmesi.

Dalga denklemini türetebilmek için bir tarafı Şekil 2.12'de görülen dx kalınlığında bir akışkandan (Hava gibi) bir kesim incelenir. Bir ses dalgası geçtiğinde ABCD kutusunun orijinal ölçüleri bir boyutta A'B'C'D' konumuna hareket eder. Burada ξ kesimin yer değiştirme miktarıdır. Şekil 2.12 'deki hacimde, toplam basınç P'deki değişim akustik basınç p 'dir ve hacimdeki değişim $S dx$ 'tir.

Dalgadaki ses basıncının uzay ve zaman bağımlılığını ilişkilendiren basınç cinsinden tek boyutlu dalga denklemi:

$$\frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} \quad (2.2)$$

2.2 denkleminin çözümlerini bulmak zor değildir, aslında $(x \pm ct)$ miktarının fonksiyonu olan her basınç dalgası ile yapılabilir. Bu da bir ses dalgasının alabileceği sonsuz sayıdaki dalga biçimini ortaya çıkarmaktadır. Eksi ve artı işaretleri dalganın yayılma yönünü belirtmektedir. Birçok fonksiyon dalga denkleminin çözümü olsa da hepsi periyodik değildir. +x yönünde hareket eden bir düzlemsel dalgayı tanımlayan periyodik bir çözüm;

$$p = A e^{-jkx} e^{j\omega t} = A \cos(-kx + \omega t) \quad (2.3)$$

Burada;

p = akustik basınç, (Pa)

c = sesin hızı (m/s)

A = maksimum basınç genliği, (Pa)

$$j = \sqrt{-1}$$

ω = radyal frekans, (rad/s)

k = dalga sayısı = ω / c , (rad/m)

Partikül hızı:

$$-\frac{\partial p}{\partial x} = \rho_0 \frac{\partial u}{\partial t} \quad (2.4)$$

u 'nun 2.3 denklemindeki ile aynı biçimde olduğu kabul edilirse zamanın türevi $j \omega$ veya $j c k$ ile değiştirilebilir.

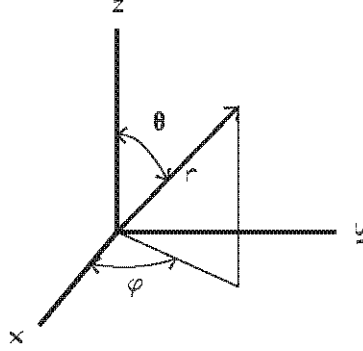
$$u = \frac{j}{k \rho_0 c} \frac{\partial p}{\partial x} \quad (2.5)$$

2.2.2 Üç boyutlu dalga denklemi

Üç boyutta ses dalgaları ile uğraşıldığında birkaç koordinat sistemi seçeneği bulunmaktadır. Sorunun doğasına bağlı olarak bir sistem diğerinden daha uygun olabilir. Düz çizgili (x, y, z) bir sistemde her yönde Denklem 2.2'de olduğu gibi farklı denklemler yazılabilir ve bunları birleştirerek aşağıdaki denklem elde edilebilir.

$$\frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = c^2 \left[\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial z^2} \right] = c^2 \nabla^2 p \quad (2.6)$$

Denklem 2.6'de parantez içindeki işlemci Laplace işlemcisi olarak adlandırılır ve ∇^2 biçiminde gösterilir.



Şekil 2.13 : Küresel koordinat sistemi.

Şekil 2.13'deki küresel koordinat sisteminde genellikle θ ve ϕ ile gösterilen iki açısal koordinat, ve r ile gösterilen bir radyal koordinat vardır. Küresel koordinattaki Laplace işlemcisi

$$\nabla^2 = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2 \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin \theta \frac{\partial}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{r^2 \sin^2 \theta} \frac{\partial^2}{\partial \phi^2} \quad (2.7)$$

Yönsüz bir kaynak için açısal koordinatlar göz önünde bulundurularak uygulanabilir ve sadece r 'ye olan bağılılığı incelenebilir. Bu küresel bir dalga için tek boyutlu dalga denklemini verir.

$$\frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = c^2 \left[\frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial p}{\partial r} \right) \right] \quad (2.8)$$

2.2.3 Basit kaynaklar

2.2.3.1 Tek kutuplu kaynaklar

Pozitif r yönünde hareket eden bir dalga için 2.8 Denkleminin genel çözümü

$$p = \frac{A}{r} e^{-jxr} e^{j\omega t} \quad (2.9)$$

2.5 denklemini kullanarak partikül hızı çözülebilir

$$u = \frac{A}{r\rho_0c_0} \left(1 + \frac{1}{jkr} \right) e^{-jkr} e^{j\omega t} \quad (2.10)$$

Kaynaktan uzakta olduğunda ve $kr \gg 1$ iken partikül hızı düzlem dalga değerine döner (p / ρ_0c_0). 2.9 ve 2.10 denklemleri bazen tek kutuplu kaynak olarak adlandırılan basit bir nokta kaynağın davranışını tanımlamaktadır.

2.2.3.2 İkili kaynaklar

İki nokta kaynak $x = 0$ ve $x = d$ 'ye yerleştirildiğinde akustik bir ikili oluştururlar. Kaynaklar aynı fazda veya farklı fazda olabilirler. Bu analiz için aynı kaynak gücü ve frekansında yayım yaptıkları kabul edilmektedir. Şekil 2.14'te bu konfigürasyonun geometrisi görülmektedir. Alıcının kaynağa yakın olduğu durumlar biraz karmaşıktır. Eğer alıcı uzakta ise kaynaklar ve alıcı arasındaki çizgilerin nerede ise paralel oldukları kabul edilebilir. Bu sınırlamalarla iki kaynağın kombine basıncı

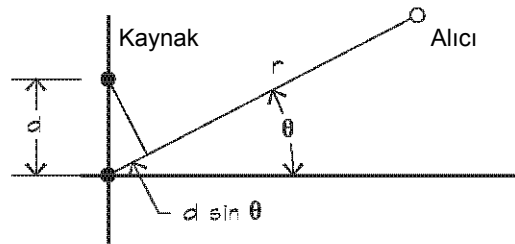
$$p = \frac{A}{r} e^{j\omega t} e^{-jkr} (1 \pm e^{jkd \sin \theta}) \quad (2.11)$$

Burada artı işareti aynı fazdaki eksi işareti ise farklı fazdaki kaynaklar içindir. Aynı fazdaki kaynaklar için basıncın değeri

$$p = \frac{2A}{r} \cos\left(\frac{1}{2}kd \sin \theta\right) \quad (2.12)$$

ve farklı fazdaki kaynaklar için

$$p = \frac{2A}{r} \sin\left(\frac{1}{2}kd \sin \theta\right) \quad (2.13)$$



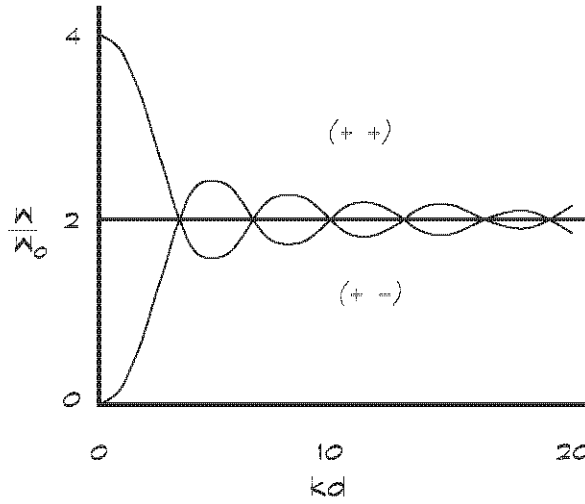
Şekil 2.14 : İkili kaynakların geometrisi.

İkili kaynaktan yayılan toplam güç tüm açılar için basıncın karesinin integrali alınarak hesaplanır ve aşağıdaki denklem elde edilir

$$W = \frac{A^2}{\rho_0 c_0} \left[1 \pm \frac{\sin kd}{kd} \right] \quad (2.14)$$

Burada artı işareti aynı fazda eksi işareti ise farklı fazda ikili kaynakları ifade etmektedir.

Aynı (+ +) veya zıt (+ -) kutuplu, birbirine mesafesi d olan iki çok yönlü kaynağın frekans parametresi kd 'nin fonksiyonu olarak toplam gücü W . Tek bir kaynaktan yayılan güç W_0 'dir.



Şekil 2.15 : İkili bir kaynaktan yayılan toplam güç.

Bu birkaç denklemde çok önemli bilgiler bulunmaktadır. Şekil 2.15'de Denklem 2.14'ün grafiği görülmektedir ve ikili bir kaynağın basit bir kaynakla kıyaslandığındaki göreceli gücü incelenebilir. Üstteki eğri aynı fazdaki bir çiftin gücünü kd 'nin fonksiyonu olarak göstermektedir. İki kaynak birbirine yakın olduğunda (bir dalga boyu ile kıyaslandığında) kd 1'den küçük olur. Dalga sayısı

$$k = \omega/c = 2\pi/\lambda \quad (2.15)$$

Dolayısıyla kd 1'den küçük olduğunda kaynaklar arasındaki uzaklık d , bir dalga boyunun altıda birinden küçüktür. Bu yapılandırma için akustik basınç etkin olarak iki katına çıkar, kombine kaynak gücü dört katına çıkar ve ses gücü düzeyi 6 dB artar.

Böyle bir durumun binalarda oluşabilmesi için bir kaynağın beton zemin ya da duvar gibi sert bir yüzeye yakın olarak yerleştirilmesi gereklidir. Yüzey akustik bir ayna gibi davranır ve orijinal kaynak enerjisi, kaynak ayna yüzeyinden $d/2$ kadar mesafeye kaydırılmışçasına yansıtılır. Eğer mesafeler yeterince küçük, frekanslar da yeterince düşük olursa basınç orijinal ve yansıyan kaynaklardan her yönde aynı fazda yayılır. Yansıtan bir yüzeye çok yakın noktalarda ses seviyesi ölçümleri yapılırsa basıncın iki katına çıkması nedeni ile seviyede 6 dB'lik bir artış beklenebilir.

Kaynaklar arasındaki mesafe d arttıkça açısal eğriler daha da karmaşık hale gelir. kd 'nin yüksek olduğu değerlerde ikili kaynaktan yayılan güç Şekil 2.15'de de görüldüğü gibi kaynaklar aynı fazda olsa da olmasa da tekli bir kaynağın nerede ise iki katıdır. Bu durum düzensiz (Rastgele fazlı) kaynaklardaki sonuçla aynıdır – iki kaynağın kombinasyonunda 3 dB'lik ($10 \log N$) artış.

Bir ikili kaynağın genel gücünün yapısı nispeten basit olsa da, yönlülük eğrileri daha karmaşıktır. Tipik olarak bu yönlülük eğrileri polar olarak gösterilir. Genellikle en yüksek ses seviyesine sahip olan kaynağın ön tarafı diyagramın üst tarafına dönüktür ve açı ile seviyedeki azalma kaynağın etrafındaki artışlar olarak çizilir. Düzgün bir yönlülük eğrisi kusursuz çember şeklindedir. Yönlülük karakteristiği R_θ genellikle karşılaşılan bir tanımlayıcıdır. Denklem 2.11'de parantez içindeki terimdir ve ikili bir kaynak için ses basıncının yönlülük eğrisini gösterir. Yönlülük bunun karesidir ve yönlülük indeksi bunun 10 logudur. Farklı frekanslar için aynı fazda bir ikilinin ürettiği yönlülük karakteristik eğrileri Şekil 2.16'da görülmektedir. θ sıfıra eşit olduğunda en yüksek seviyenin yönü kaynaklar arasındaki çizgiye dik açılardadır. Yönlülük eğrileri frekans ile değişir. Eksen üstü ile ilk sıfır arasındaki açı olarak tanımlanan yarı huzme genişliği açısı $(k d/2) \sin \theta = \pi/2$ olduğunda ortaya çıkar. Aynı fazdaki bir ikili için yarı huzme genişliği

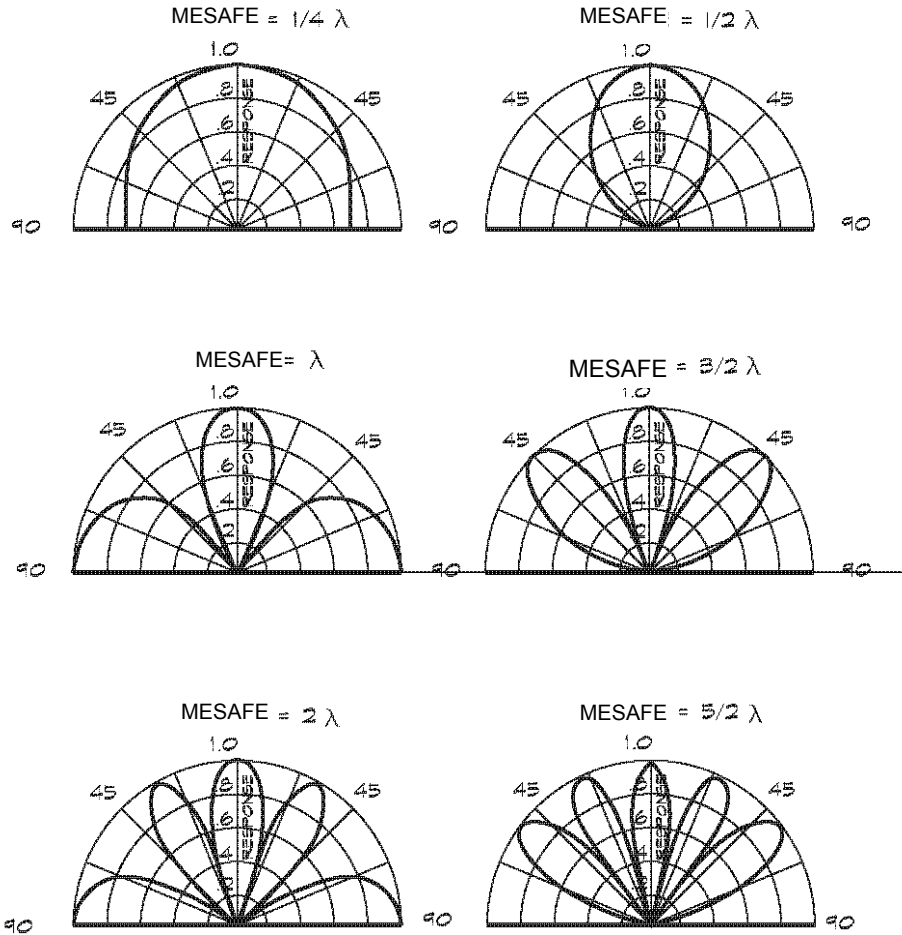
$$\psi = \sin^{-1}(\lambda / 2d) \quad (2.16)$$

2.2.3.3 Çift kutuplu kaynaklar ve ses sıfırlanması

Eğer iki kaynağın farklı kutuplarda olduğu bir ikili kaynağımız varsa bu yapıya çift kutup denir. Bu tip bir kaynağın pratikteki örneği ise levhasız bir hoparlördür. Ses hoparlör konisinin önünden olduğu gibi arkasından da yayıldığı için ve iki sinyal

farklı fazlarda olduğu için arkadan gelen sinyal önden gelen sinyal ile birleşerek koni eksenine dik açılarda sıfır şekli üretir.

θ açısına denk gelen yön iki kaynağı birleştiren doğruya dik olan çizgiye göre ölçülür. Üç boyutlu polar grafikler iki kaynağı birleştiren doğru çevresindeki devir yüzeyleridir.



Şekil 2.16 : Aynı fazda bir ikilinin kaynaklar arasındaki mesafenin ve dalga boyunun bir fonksiyonu olarak R_{θ} cinsinden yönlülük karakteristiği.

Eğer çift kutuplu kaynaklar birbirine yakın ise, $kd < 1$ olduğunda Şekil 2.15’de görüldüğü gibi yayılan toplam gücün sıfıra yaklaştığı görülebilir. Bu üç boyutlu akustik bir ortamda aktif ses sıfırlanması alanının temelini oluşturmaktadır. Farklı kutuplarda iki kaynak yeterince yakın yerleştirildiğinde birleşmiş bir sıfır sinyali yayarlar. Bu durum pratikte kaynağa ya da alıcıya çok yakın ($d < \lambda/6$ ’dan küçük) bir sıfırlama sinyali üretildiğinde gerçekleşir. Birincil ses sinyalini algılamak için bir mikrofon kullanılabilir ve uygun işleme ile farklı fazdaki benzer bir sinyal üretilebilir. Aktif ses sıfırlama sistemleri 300-400 Hz’in altında sesleri bastıran kulaklık biçiminde mevcuttur. Çevresel gürültü için kaynak sıfırlama sistemleri daha

az yaygındır fakat başarılı bir biçimde büyük trafolarla ve egzoz bacalarına uygulanmaktadır. Her ne kadar kanallarda oluşan gürültüler gibi tek boyutlu sorunlar başarı ile çözülebilmiş olsa da ses sıfırlama sistemleri daha önceden belirtilen mesafe gereklilikleri nedeni ile genel gürültü sorunlarına uygulanmamıştır. Kanalların alçak frekanslardaki tek boyutlu doğası nedeni ile aktif gürültü kontrolü için gereken mesafeler üç boyutlu ortamlardakiler ile aynı değildir.

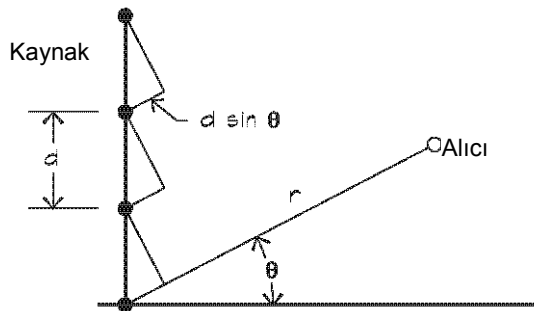
2.2.3.4 Basit kaynak dizileri

Birçok basit kaynak bir çizgi üzerinde dizildiğinde aralarındaki faz ilişkisi Şekil 2.17’de görüldüğü gibi grubun yönlülüğünü $\theta=0$ ekseninde artırır. Bu şekilde yapılandırılmış hoparlör sistemlerine sıralı dizi denir ve bu hoparlör grubu tasarımlarında yaygın bir uygulamadır. Eğer n adet aynı fazda kaynak bir çizgi üzerinde birbirlerine eşit mesafede yerleştirilirse uzak alanlardaki basıncı Denklem 2.11 ile aynı mantığı takip ederek hesaplanabilir.

$$P = \frac{nAe^{j\omega t} e^{-jkr}}{r} \left[\frac{1}{n} \sum_{m=0}^{n-1} e^{jkm d \sin \theta} \right] \quad (2.17)$$

ve toplam trigonometrik fonksiyonlar cinsinden belirtilebilir

$$P = \frac{nAe^{j\omega t} e^{-jkr}}{r} \left[\frac{\sin\left(\frac{n\pi d}{\lambda} \sin \theta\right)}{n \sin\left[\frac{\pi d}{\lambda} \sin \theta\right]} \right] \quad (2.18)$$



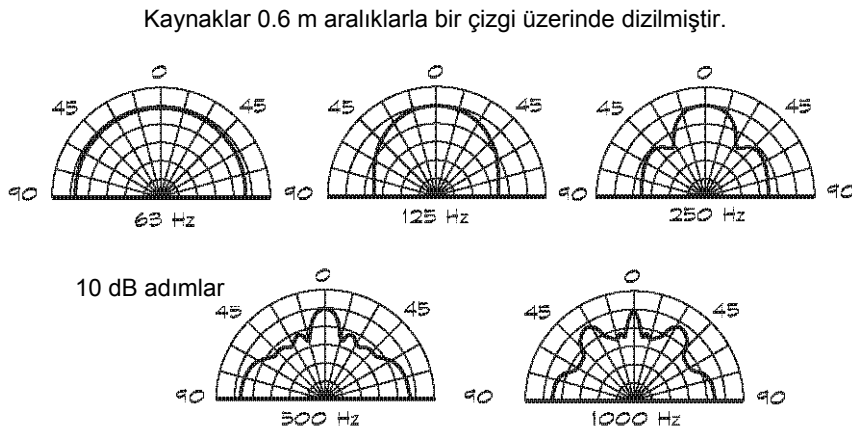
Şekil 2.17 : Sıralı dizilerin geometrisi.

Denklem 2.18’de parantezlerin solundaki terim, n adet basit kaynağın tümü için kaynak gücünü gösterir. $\theta=0^\circ$ da parantez içindeki terim bire gider ve böylece genel kaynak gücü bitişik bir gruptan beklenileceği gibi aynı olur.

Şekil 2.18’de dört çok yönlü kaynaktan oluşan dizinin yönlülük endeksi cinsinden polar grafikleri görülmektedir. Kaynaklar arasındaki mesafe 0.6 metredir. Ses seviyesinin eksen üzerindeki değerin 6 dB altına düştüğü noktadaki açı Denklem 2.17’deki nümerik olarak çözülmesi gereken parantez içindeki terim 1/2’ye eşit olduğunda gerçekleşir. Yarı huzme genişliği açısı daha kolay bulunabilir

$$\psi = \sin^{-1} \left[\frac{2\pi}{nkd} \right] = \sin^{-1} \left[\frac{\lambda}{nd} \right] \quad (2.19)$$

öyle ki sıralı dizinin toplam uzunluğu 1.4 dalga boyu olduğunda ilk sıfır yaklaşık $\pi/4$ radyanda (45°) olur. Bu yüzden huzme genişliği üzerinde hissedilebilir kontrol sağlayabilmek için sıralı diziler en az 2.4 dalga boyu uzunluğunda olmalıdır. Daha dar kapsama açıları için uzunluk daha fazla olmalıdır. Grafik kontrolü bölgesi, gereksiz uç noktalar olmadan, 1.4 dalga boyu uzunluğunda dizilerden, cihazlar arası boşluğun bir dalga boyuna eşit olduğu noktaya kadar uzanır.



Şekil 2.18 : Dört nokta kaynağın yönlülük endeksi.

Bunun derin mimari sonuçları vardır çünkü dikey bir düzlemde yönlülüğü kontrol edebilmek için hoparlör sisteminin dikey yönde büyük olması gerektiği söylenir. Örneğin huzme genişliği açısını 500 Hz’de $\pi/3$ radyan (60°) ile sınırlandırmak için dizi yaklaşık 750 mm yüksekliğinde olmalıdır. Kabin sistemlerinde 500 Hz’lik sinyali yayan korna 40° ’lik dikey kapsama açısını sağlayabilmek için yaklaşık 750 mm yüksekliğinde olmalıdır. (-6 dB noktaları arasındaki açı olan kapsama açısı sıralı dizi huzme genişliğinden küçüktür). Mimari olarak bu demektir ki kiliseler ve oditoryumlar gibi yeterli anlaşılabilirliği sağlayabilmek için genellikle yüksek yönlülüğe sahip hoparlörlere ihtiyaç duyulan büyük odalarda bir ses güçlendirme

sistemi için cihazlar arasında en az 1.2 m'lik bir mesafeye ihtiyaç vardır. Eğer canlı müzik mikrofonlanacak ise, geri beslemeyi azaltabilmek için yönlülük bir oktav aşağıya doğru genişlemelidir. Bunu sağlayabilmek için bir konser salonunda Şekil 2.18'de görüldüğü gibi 245 cm uzunluğunda bir sıralı diziye veya hoparlörlerin yerini değiştirmeye veya sabit olarak monte edilmiş bariyerlerle kalkanlamaya ihtiyaç vardır.

Sıralı kaynak yapıları konser sistemlerindeki alçak frekans yönlülüğü kontrol edebilmek için de kullanılabilir. Konser hoparlör sistemleri, kamyonlardan indirilen çok yönlü kabinlerin sahnenin her iki tarafına yığılması şeklinde kurulduğunda alçak frekans enerji kontrolü çok az olur ve sahneye yakın alanlar ile müzisyenlerin olduğu kısımlarda aşırı yüksek ses seviyeleri üretilir. Bunların yerine alçak frekans kabinler (Genellikle 18 inç ikili wooferlar) dikey olarak 6 ila 9 m yükseklikte dizildiğinde sahne kenarındaki bas seviyelerini kontrol eden bir sıralı kaynak kurulur.

2.2.3.5 Sürekli sıralı diziler

Sürekli sıralı diziler aynı fazda yayılım yapan kaynak sıralarını modellemek için kullanılan matematiksel bir kurgudur. Sıralı diziler dar bir frekans aralığına sahiptir ve bu aralıkta basit bir yönlülük eğrileri vardır. Eğer uzunlukları yarı dalga boyundan kısa ise kayda değer yönlülük kontrolü sağlayamazlar. Yüksek frekanslarda sıralı kaynakların çok dar huzme genişlikleri vardır böylece eksen dışında sesin renklenmesi durumu olabilir.

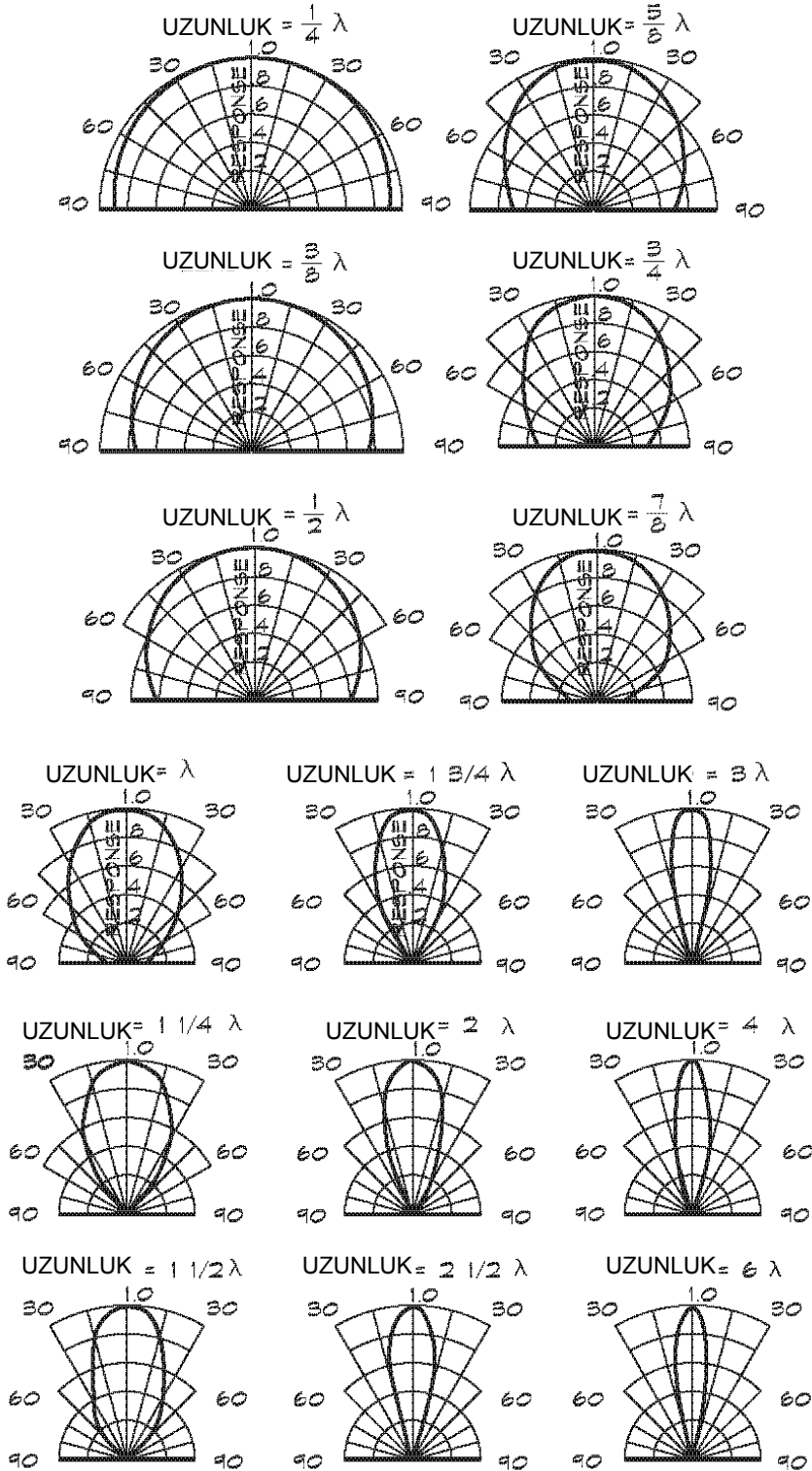
Bitişik bir kaynağın yönlülük karakteristiği Denklem 2.18'de $l \approx n d$ yerine konularak elde edilebilir. Bu yaklaşım büyük n değerleri için doğrudur.

$$R_{\theta} = \frac{\sin\left(\frac{\pi l}{\lambda} \sin \theta\right)}{\frac{\pi l}{\lambda} \sin \theta} \quad (2.20)$$

Formülde R_{θ} eksen üzerindeki basınca göre ses basıncının yönlülük karakteristiğini verir ve l de sıralı kaynağın uzunluğudur.

Yönlülük grafikleri Şekil 2.19'da görülmektedir. Uygulanabilirlik göz önüne alındığında bir hoparlör dizisinin genel uzunluğu yaklaşık λ ile 4λ arasında sınırlıdır. Bu iki oktavlık aralık yüksek frekanslar için kornaların, orta aralıktaki frekanslar için

dizilerin kullanıldığı birçok ses kaynağı uygulaması için yeterlidir. Konser salonları hariç 250 Hz oktav bandının altında yönlülük kontrolüne nadiren ihtiyaç duyulur.



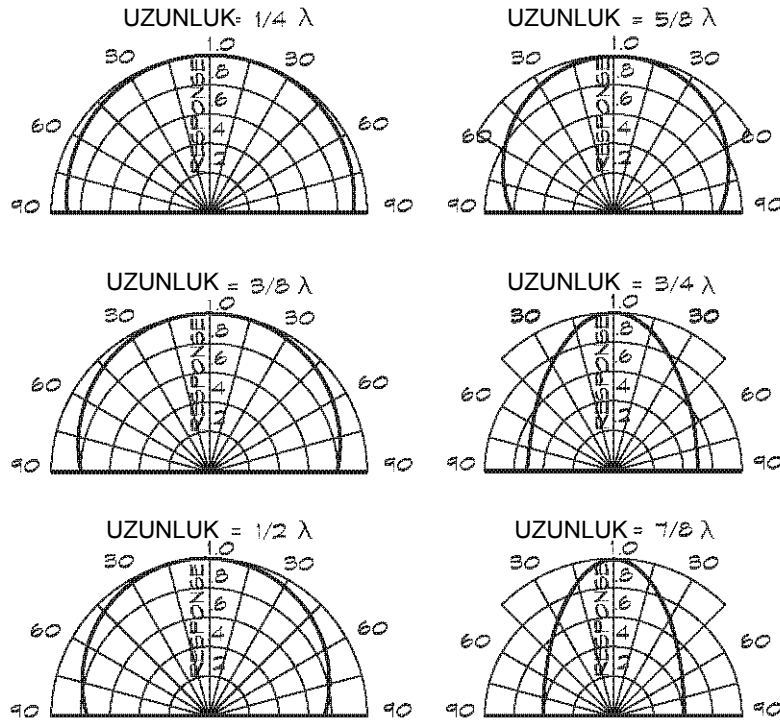
Şekil 2.19 : Bitişik bir sıralı kaynağın yönlülük karakteristikleri.

Bir diziyeye kaynaklar eklendikçe huzme genişliği azalır ve maksimum akustik güç noktaları artar. Bir sıralı kaynağta bu etkiyi dengeleyebilmek için merkezden

uzaktaki hoparlörlere daha düşük seviyede sinyal besleyerek giderek azalma sağlanabilir. Giderek azalan ve sinyal gücü merkezden kenarlardaki sıfırlara doğru lineer olarak değişen bir sıralı kaynağın yönlülük karakteristiği

$$R_{\theta} = \frac{\sin^2\left(\frac{\pi d}{\lambda} \sin \theta\right)}{\left(\frac{\pi d}{\lambda} \sin \theta\right)^2} \quad (2.21)$$

Şekil 2.20'de gözüktüğü gibi giderek azalma yönlülük eğrisinin merkez tepe noktasını genişletir ve eksen dışı tepe noktaları ile genel ses gücünden taviz verir.



Şekil 2.20 : Giderek azalan sıralı kaynağın yönlülük karakteristiği r_{θ} – lineer azalma.

2.2.3.6 Eğri dizileri

Hoparlörler içbükey ya da dışbükey kavisler, kıvrılan sıralı diziler ve helisel sıralı kaynaklar gibi başka şekillerde de yapılandırılabilirler. Eğri şeklinde yapılandırılmış bir seri kaynak için kavis düzlemindeki yönlülük eğrisi

$$R_{\theta} = \frac{1}{2n+1} \left\{ \sum_{m=-n}^{m=n} \cos \left[\frac{2\pi r_a}{\lambda} \cos(\theta + m\phi) \right] + j \sum_{m=-n}^{m=n} \sin \left[\frac{2\pi r_a}{\lambda} \cos(\theta + m\phi) \right] \right\} \quad (2.22)$$

Formülde;

R_θ =eksen üzerindeki ses basıncına bağlı dizi yönlülük karakteristiği

θ =merkez kaynağın yarıçapı ile alıcıya giden çizgi arasındaki açı (rad)

$2n+1$ =dizideki kaynak sayısı

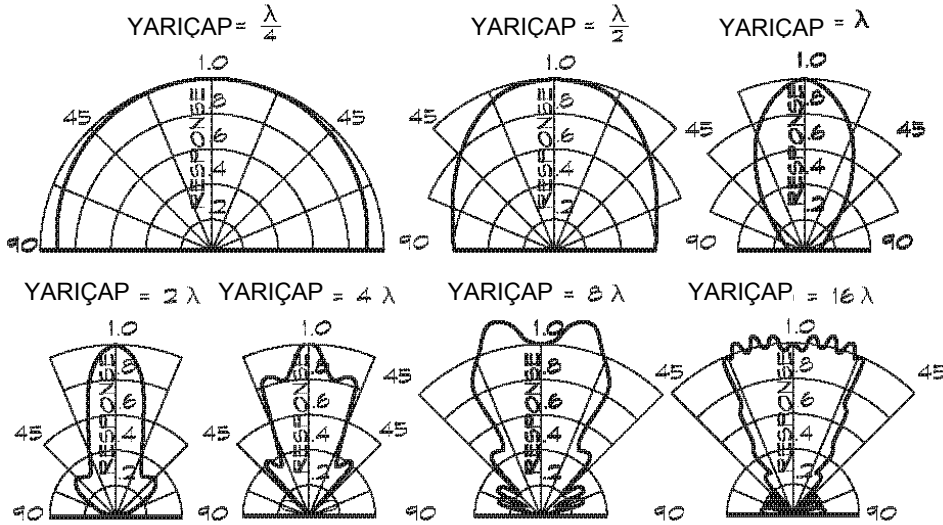
$$j = \sqrt{-1}$$

λ =dalga boyu (m)

m =tamsayı değişkeni

ϕ =kavis üzerindeki komşu kaynaklara karşı gelen açı (rad)

60°'lik bir kavis için yönlülük eğrisi örneği Şekil 2.21'de görülmektedir. Çok yüksek frekanslarda yönlülük eğrisi kama gibi gözükmeye başlar. Bu davranış büyük korna ağızları ile ilgili yüksek frekans huzmelemeyi azaltmak için geliştirilmiş çok hücreli kornaların tasarımının temelini oluşturmuştur.



Şekil 2.21 : Bir kavisin 60°'lik kısmı için yönlülük karakteristiği R_θ .

2.2.3.7 Aşamalı diziler

Aşamalı bir dizi elektronik bir sinyal ile beslenen sıralı ya da düzlemsel ses kaynakları grubundan oluşur öyle ki her kaynağın faz ya da zaman gecikmesini ($n \tau$) kontrol ederek yayılan dalganın cephesi yönlendirilebilir. Yönlülük faktörü;

$$R_{\theta} = \frac{1}{n} \left[\frac{\sin \left[\frac{n\pi d}{\lambda} \left(\sin \theta - \frac{c\tau}{d} \right) \right]}{\sin \left[\frac{\pi d}{\lambda} \left(\sin \theta - \frac{c\tau}{d} \right) \right]} \right] \quad (2.23)$$

Bu teknik sıralı ya da panel kaynaklardan yayılan sinyalleri elektronik olarak yönlendirmek için kullanılabilir. Aynı zamanda bir mikrofon hattına gelen bir sinyalin yönlülüğünü transduserler arasındaki zaman gecikmesini algılayarak belirlemek için kullanılabilir. Ana tepe noktası aşağıdaki ifadeden elde edilecek yönde ilerler

$$\sin \theta_0 = \frac{c\tau}{d} \quad (2.24)$$

ve frekanstan bağımsızdır.

2.2.3.8 Kaynak hizalama ve tarak filtreleme

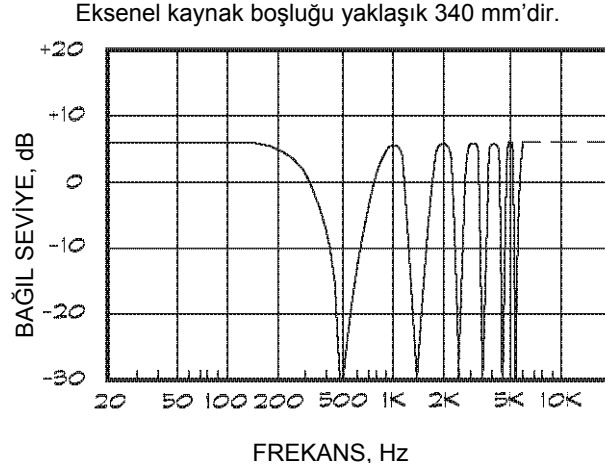
İki kaynağın arasında d mesafesi ve genel eksene θ açısında bir dinleyici olduğunda (Şekil 2.14'teki gibi) alıcı ile her kaynak arasındaki mesafe farklıdır. Bu fark $d \sin \theta$ 'dir dolayısıyla ikiliden yayılan sesin frekansına bağlı olarak sinyaller aynı veya farklı fazlarda olabilir. Eğer mesafe uzunluğu farkı dalga boyunun bir çift sayı katı ise sinyaller eklenecek ve bileşik sinyal 6 dB yüksek olacaktır. Eğer mesafe uzunluğu farkı dalga boyunun bir tek sayı katı ise sinyaller sıfırlanacak ve bileşik sinyal sıfıra eşit olacaktır. Bunun sonucunda bir frekans aralığında ikili kaynak maksimum frekansları aşağıdaki denklemde verilen bir dizi filtre oluşturacaktır.

$$f_n = \frac{nc}{d \sin \theta} \quad (2.25)$$

Burada n bir ile sonsuz arasında ya da duyulabilirliğin üst limitinde bir tam sayıdır. Sıfır frekanslar aşağıdaki denklemden bulunabilir.

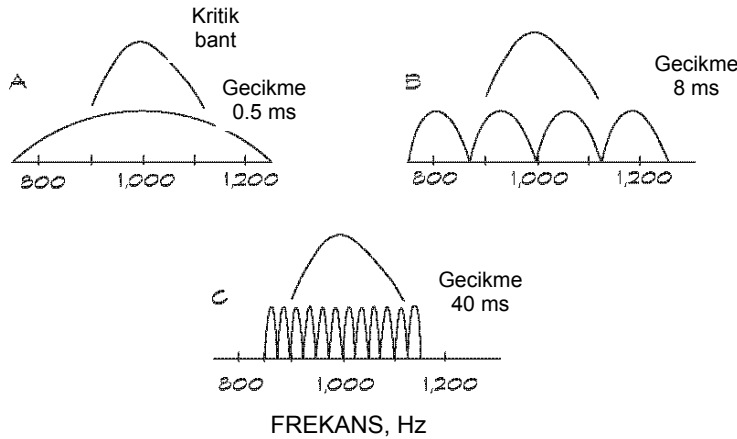
$$f_n = \frac{(2n-1)c}{2d \sin \theta} \quad (2.26)$$

$\theta = \pi/4$ (45°)'e eşit ve ikililerin birbirlerine olan mesafeleri 0.5 m olduğunda sıfır frekansları 486, 1458, 2430, ... Hz olur.



Şekil 2.22 : İki ses kaynağı tarafından oluşturulan tarak filtre.

Konuşma gibi geniş bantlı bir sinyal ikili kaynaklar aracılığı ile iletildiğinde, sonuçtaki sinyal Şekil 2.22'deki gibi bir tarağın dişleri şeklinde bir dizi dip noktasına sahip olacaktır. Bu frekansların her birindeki dip noktaları ulaşan sinyalin netliği üzerinde negatif etkiye sahip olur. Etkinin boyutları frekanslar arasındaki ayırma ve dip noktalarının derinliklerine bağlıdır. Etki elektronik bir geciktirici yoluyla düzeltilebilir fakat geciktirici sadece bir yön içindir. Bileşenler arasındaki zaman farkını azaltan bir hoparlör tasarım yöntemi tarak filtreleme etkisini azaltır. En iyisi iki sinyalin nerede ise aynı genliğe sahip olduğu noktalarda zaman gecikmelerini denk getirmektir. Eğer bir kaynak azımsanmayacak değerlerde (6 dB veya civarı) diğerinden daha yüksek sese sahip ise tarak filtreleme etkileri daha az olur.

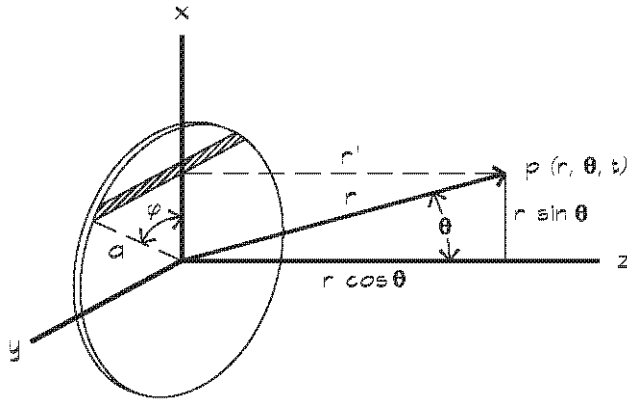


Şekil 2.23 : Tarak filtrelemenin duyulabilirliği.

2.2.3.9 Tarak filtreleme ve kritik bantlar

Everest (1994) tarak filtrelemenin duyulabilirliği ile ilgili Şekil 2.23'de görülen ilginç analizi sağlamıştır. Tarak filtrelemenin algısal anlamı yalnız filtrenin etkin

bant genişliği açısından, kritik bir bandın genişliği ile kıyaslanarak anlaşılabilir. Kaynaklar arasındaki gecikme küçük olduğunda (Örneğin 0.5 ms) dip noktalar arasındaki frekans aralıkları oldukça geniştir – yaklaşık 128 Hz olan 1000 Hz'deki kritik bandın genişliğinden çok daha fazladır. Dolayısıyla gecikmenin etkisi algılanabilir. Zaman gecikmesi büyük olduğunda (Örneğin 40 ms) bir kritik bantta birçok dip noktası olur ve etkiler kulak açısından tümleşiktir ve algılanamaz. Bu durum duvar yansımalarının sıkça gecikmiş 40 ms'lik veya daha uzun süreli sinyalleri oluşturduğu, sesin algılanabilir ölçüde değişmediği büyük oditoryumlarda tarak filtreleme etkisinin neden bir sorun olmadığını da açıklamaktadır. Hoparlör gruplarında ve küçük stüdyolarda hoparlör hizalamalarındaki küçük kaçıklıklar ve yakın yüzeylerden yansımalar oldukça anlaşılırdır.



Şekil 2.24 : Levhadaki bir pistonun geometrisi.

2.2.4 Bitişik düzlemsel kaynaklar

2.2.4.1 Levhadaki piston

Sonlu boyuttaki ses kaynaklarının fiziksel etkileri, geniş bir aralıktaki daha karmaşık cisimlere de uygulanabilecek birkaç basit model ile açıklanmaktadır. En çok kullanılan örnek ise ilk kez ondokuzuncu yüzyılda Lord Rayleigh tarafından analiz edilen levhaya monte edilmiş piston kaynaktır. Bu örnekteki levha sonsuz katı bir duvardır. Piston ise hoparlör ya da basitçe dilimlerin tüm kısımları aynı fazda, $u = u_0 e^{j\omega t}$ hızında hareket eden hava dilimleri olabilir. Piston duvarın yüzeyinde orijine yerleştirilmiştir ve Şekil 2.24'de görüldüğü gibi r eksenine yönlendirilmiştir. r uzaklığındaki ses basıncı:

$$p = \frac{j\rho_0 c u_0 k a^2}{2r} e^{j(\omega t - kr)} \left[\frac{2J_1(ka \sin \theta)}{(ka \sin \theta)} \right] \quad (2.27)$$

θ = merkez eksenini ile alıcıya doğru olan çizgi arasındaki açı (rad)

J_1 = Birinci türden Bessel fonksiyonu

$$j = \sqrt{-1}$$

λ = dalga boyu (m)

ω = radyal frekans (rad/s)

t = zaman (s)

Bessel fonksiyonu, trigonometrik bir fonksiyonda olduğu gibi bir argümana bağlı bir sayı üretir. Belirli bir tip diferansiyel denklemin çözümüdür ve aşağıdaki yapıya uyan sonsuz terimli seriden hesaplanabilir.

$$J_1(x) = \frac{x}{2} - \frac{2x^3}{2 \cdot 4^2} + \frac{3x^5}{2 \cdot 4^2 \cdot 6^2} - \dots \quad (2.28)$$

Sonuçtaki levhadaki bir pistonun yönlülük karakteristiği Şekil 2.25’de verilmiştir. Açık alandaki karakteristik pistonun çevresinin yayılan sesin dalga boyuna oranına bağlıdır, bu da (ka) terimidir. Eksen üstündeki yoğunluğa bağlı yönlülük:

$$Q_{rel} = \left[\frac{2J_1(ka \sin \theta)}{(ka \sin \theta)} \right]^2 \quad (2.29)$$

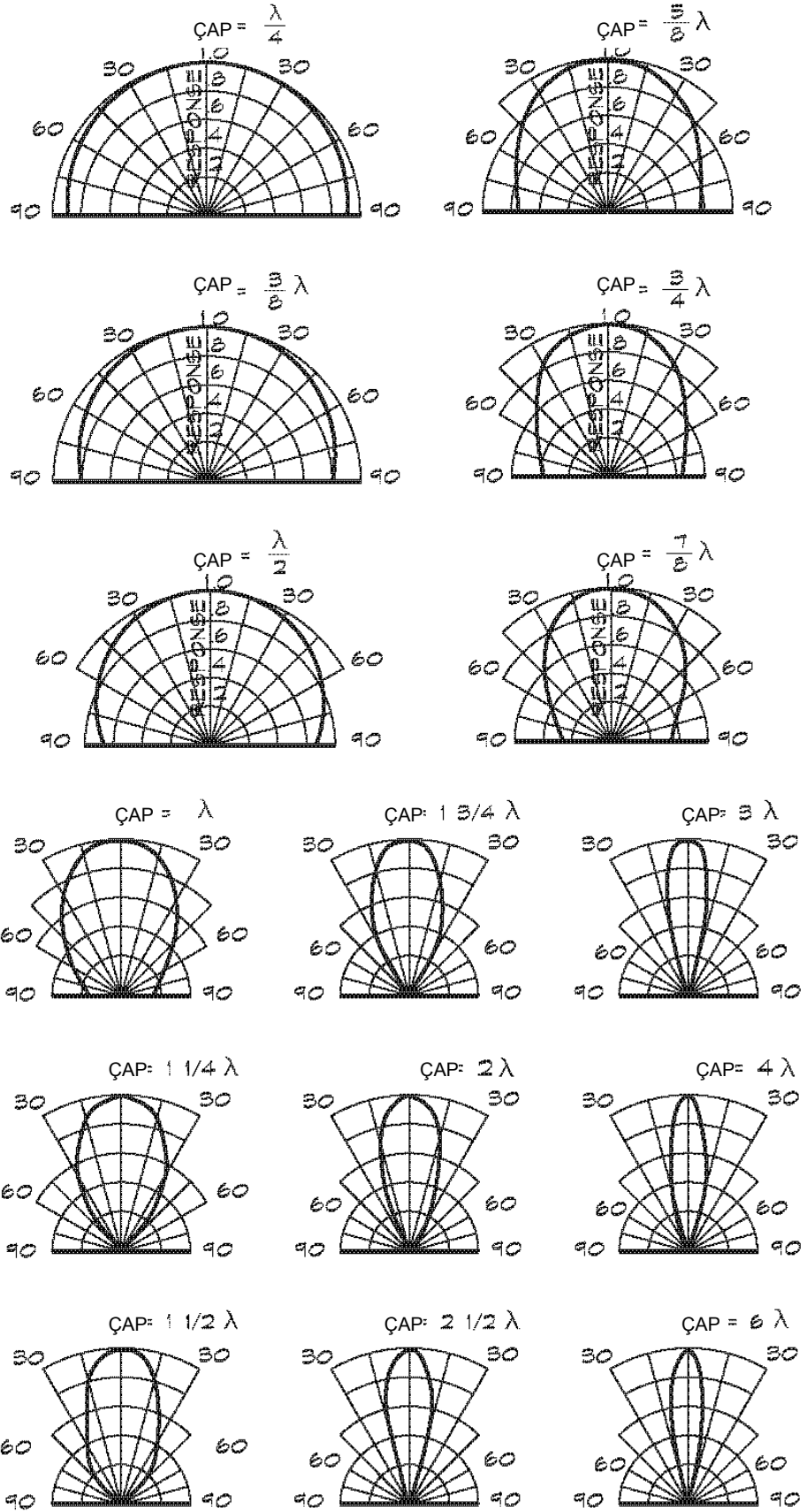
ve her taraftaki -6 dB dip noktaları arasındaki açı ile tanımlanan huzme genişliği şu noktada gerçekleşir

$$Q_{rel} = .25 \quad (2.30)$$

Bu durum kapsama açısı (- 6 dB noktaları arasında) ile piston çapı arasındaki ilişkiyi tanımlar ve piston çapı

$$k a \sin \theta = 2.2 \quad (2.31)$$

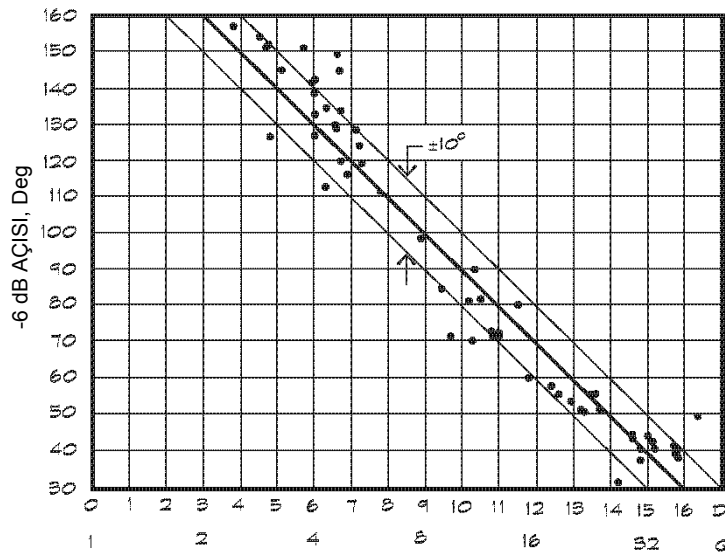
Piston çapı 2a, dalga boyuna eşit olduğunda kapsama açısı $2\theta \cong 90^\circ$. Bu, hoparlör ve korna tasarımında önemli bir kuraldır.



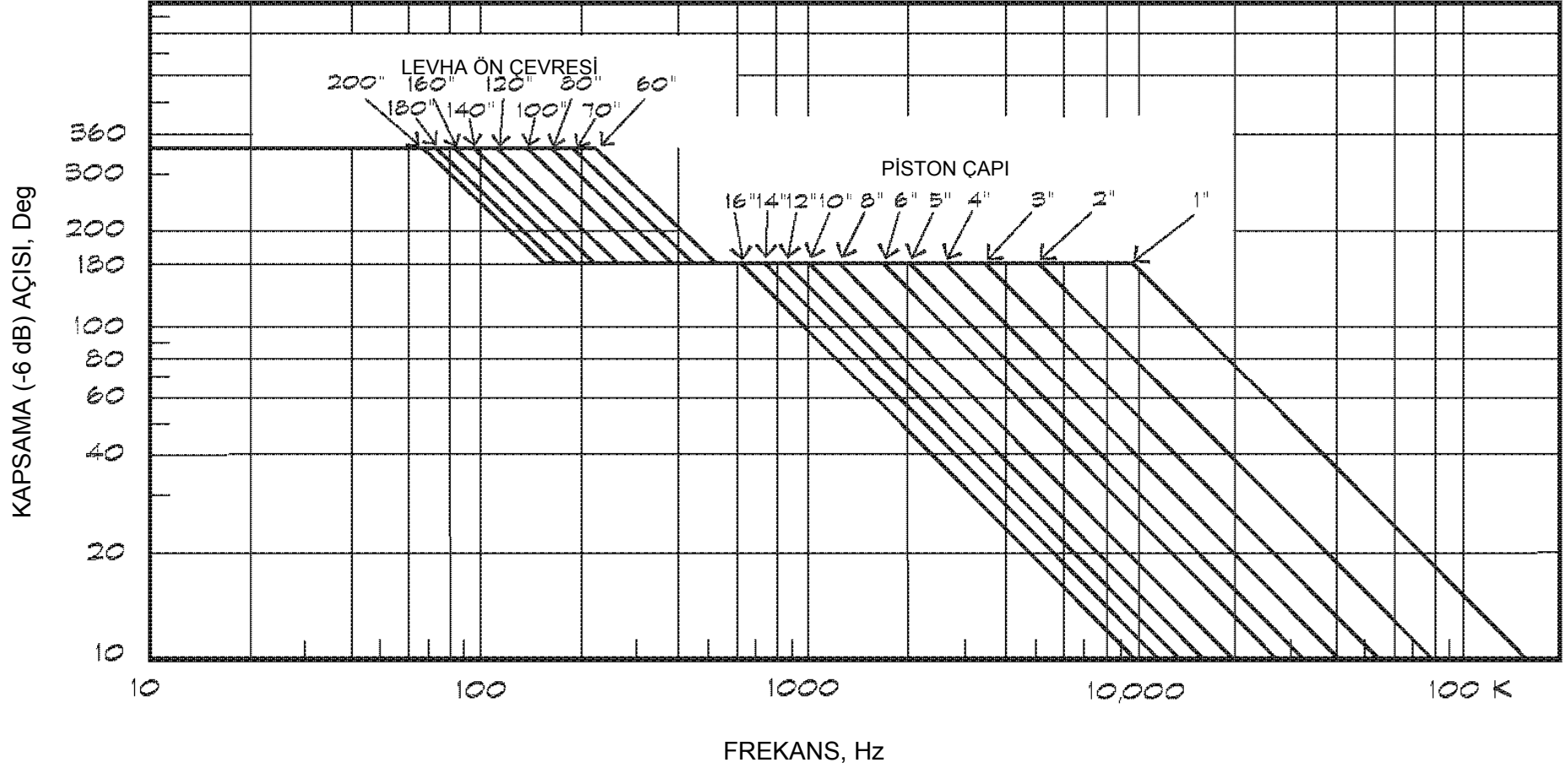
Şekil 2.25 : Levhadaki dairesel pistonun yönlülük karakteristiği.

2.2.4.2 Kapsama açısı ve yönlülük

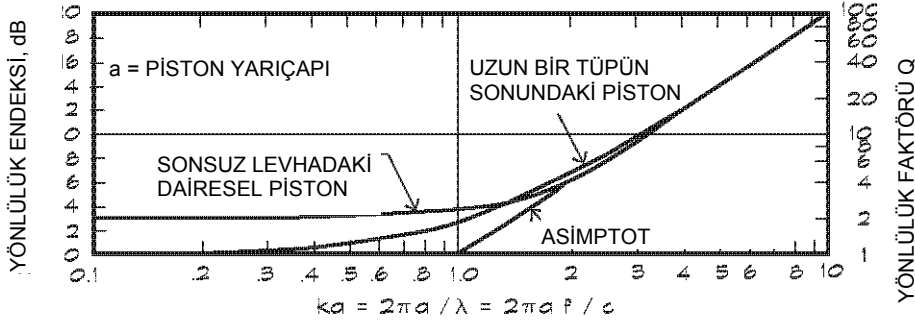
Henricksen (1980), polar bir grafikteki -6 dB dip noktaları arasındaki açıya karşın farklı boyutlarda konik hoparlörlerin yönlülükleri için bir kapsama açısı grafiği hazırlamıştır. Bu grafiğin yeniden oluşturulmuş hali Şekil 2.26'dadır. Bu şekle göre 90°'lik bir kapsama açısı yaklaşık 10'a eşit bir Q'ya denktir. Bu yüzden bir konik hoparlör ya da korna belirli bir yönlülük kontrolüne ulaşabiliyorsa, ağız kısmı kapsama açısı düzleminde en az bir dalga boyu uzunlukta olmalıdır. Şekil 2.27'de değişik boyutlardaki hoparlörler ve levhalar için tipik yönlülük grafikleri görülmektedir. Alçak frekans yönlülüğü levhanın boyutu ile belirlenmektedir ki bu boyut hoparlör levha kombinasyonunun 360° kapsamaya sahip bir nokta kaynağa dönüştüğü durumdur. Henricksen farklı boyutlardaki hoparlörler ve levhalar için beklenen davranışları Şekil 2.28'de genellemiştir. Burada yüksek frekans yönlülüğü koni boyutu ile kontrol edilmektedir ve küçük koniler daha az yönlülüğe sahiptir. İlginçtir ki geniş dağılma açılarının istendiği ev ve yakın alan monitör hoparlörlerinde küçük bir hoparlöre geçiş, dalga boyu koni çapına eşit olduğunda ($k a = \pi$) gerçekleştirilebilmektedir. Şekil kontrolünün çok önemli olduğu ses güçlendirme sistemlerinde dalga boyu bir çapa eşit olduğunda geçiş, daha büyük formatlı bir sürücüye yapılmaktadır. Bu sebeptendir ki monitör hoparlörler ticari ses güçlendirme uygulamaları için uygun değildirler ve ticari sistemlerden de oldukça küçüktürler.



Şekil 2.26 : Farklı tiplerdeki konik hoparlörler ve levhalar için yönlülük endeksinin -6 db açısı ile ilişkisi.



Şekil 2.27 : Piston ve kutu sistemleri için -6 dB açılı cevabının tahmini değer grafiği.



Şekil 2.28 : Farklı sistemlerde direkt yayım yapan pistonların yönlülük endeks cevapları

2.2.4.3 Hoparlör dizileri ve ürün teoremi

Benzer hoparlörlerden oluşan bir dizi kurulduğunda bileşik yönlülük grafiği dizinin yönlülük karakteristiğine olduğu kadar hoparlörlere has yönlülükler de bağlıdır. Bu yönlülükler arasındaki ilişki, benzer kaynaklardan oluşan bir dizinin genel yönlülüğünün farklı kaynakların yönlülüklerinin ve diziyeye bağlı yönlülüğün ürünü olduğunu belirten ürün teoremi tarafından açıklanır.

$$Q_{\theta}(\theta, \phi) = Q_0 Q_{rel}(\theta, \phi) R_{\theta}^2(\theta, \phi) \quad (2.32)$$

Burada

$Q_{\theta}(\theta, \phi)$ = genel dizi yönlülüğü

Q_0 = farklı hoparlörler için eksen üstü yönlülük

$Q_{rel}(\theta, \phi)$ = belirli bir hoparlörün eksen dışı yönlülüğü

$R_{\theta}^2(\theta, \phi)$ = eksen üstü ses şiddetine bağlı dizi yönlülüğü

Eğer dizi yönlülük karakteristikleri belli olmayan farklı tipte veya farklı seviyelerdeki hoparlörlerden oluşuyorsa, yönlülük dizinin her elemanı için eksen dışı seviyesinden ve dizideki pozisyonuna bağlı göreceli fazından hesaplanmalıdır. Farklı hoparlörler için eksen dışı faz davranışı da önemli olabilir fakat hoparlör üreticileri tarafından yayınlanan veriler arasında çok nadir bu değerlere rastlanır. Bu hesaplamaları yapan bilgisayar programları ise piyasada mevcuttur.

Azalan ses seviyeleri veya başka nüansları bulunan diziler için yayınlanmış teorik yönlülük değerleri mevcuttur. Olson (1957) rastgele bir azalma sergileyen lineer bir dizi için genel bir denklem yayınlamıştır. Davis ve Davis (1987) levhadaki

hoparlörler dizisinin Bessel fonksiyonunu kullanarak yönlülüğünün geliştirilmesi için bir şema yayınlamıştır. Sıralı diziler yüksek frekansları dağıtmak için eksenel olarak döndürülmüş elemanlar veya frekans cevabını düzleştirebilmek için dikey açılı elemanlar kullanılarak tasarlanmıştır. Bu dizi sistemlerinde genellikle her elemanın birbirinden etkilenmeden yayım yaptığı varsayılır. Bu varsayımın gerçek olabilmesi için her transduzer farklı bir kabinde olmalıdır, böylece ortak bir kabinde ters yayılım tarafından üretilen yük diğer hoparlörleri etkilemez.

2.2.4.4 Dikdörtgen pistonlar

Bitişik dikdörtgen piston bir kaynağın yönlülük karakteristiği levhadaki dairesel pistonda kullanılan yöntemle benzer bir biçimde hesaplanabilir. McLachlan bu hesaplamaları 1934 yılında yayınlamıştır. Sonsuz rijid bir levhada titreşen 2a genişliğindeki ve 2b yüksekliğindeki dikdörtgen rijid bir plakanın aşağıdaki uzak alan yönlülük karakteristiğini ürettiğini göstermiştir.

$$R_{\theta,\phi} = \left\{ \left[\frac{\sin(ka \cos \phi)}{(ka \cos \phi)} \right] \left[\frac{\sin(kb \cos \theta)}{(kb \cos \theta)} \right] \right\} \quad (2.33)$$

İkinci parantez setindeki terim sıralı bir kaynak için denklem 2.20'de bulunan değerle aynıdır. Aslında dikdörtgen piston, güç ve fazları aynı olan birbirlerine dik açıdaki 2a ve 2b uzunluğundaki sıralı kaynakların ürettiği ile aynı yönlülük karakteristiğine sahiptir. Bir korna hoparlörün dikdörtgen ağzı bu denklem kullanılarak modellenenabilir.

2.2.4.5 Levhadaki bir piston üzerindeki güç

Piston hızı ile birlikte pistonun karşılaştığı mekanik yayım empedansı:

$$z_r = \int \frac{dF_s}{u} = \rho_0 c_0 s [w_r(2ka) + jx_r(2ka)] \quad (2.34)$$

Piston yüzeyi üzerindeki gücün entegrasyonu karmaşıktır ve burada daha detaylı türetilmeyecektir. Empedans terimleri aşağıdaki reel kısmı içerirler

$$w_r = 1 - \frac{J_1(2ka)}{ka} = \frac{(ka)^2}{2} - \frac{(ka)^4}{2^2 * 3} + \frac{(ka)^6}{2^2 * 3^2 * 4} - \dots \quad (2.35)$$

aşağıdaki sınırlayıcı değerlere sahiptirler

$$w_r \rightarrow \frac{(ka)^2}{2} \quad ka \ll 1 \text{ için} \quad (2.36)$$

$$\rightarrow 1 \quad ka \gg 1 \text{ için}$$

aşağıdaki sanal kısmı içerirler

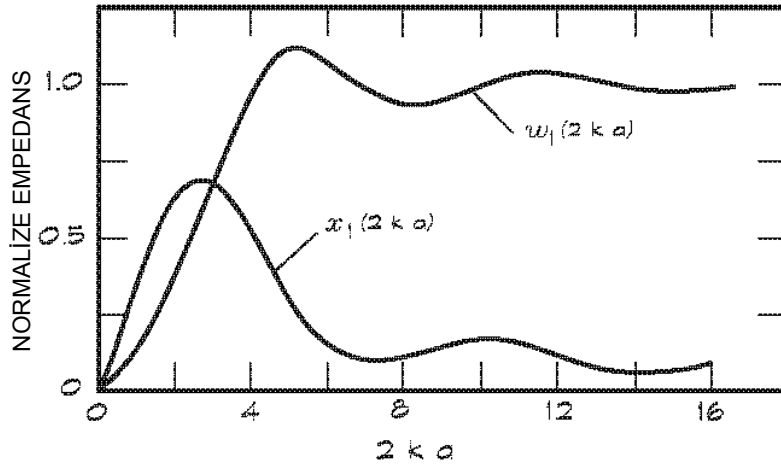
$$x_r = \frac{1}{\pi(ka)^2} \left[\frac{(2ka)^3}{3} - \frac{(2ka)^5}{3^2 * 5} + \frac{(2ka)^7}{3^2 * 5^2 * 7} - \dots \right] \quad (2.37)$$

aşağıdaki limit değerlerine sahiptirler

$$x_r \rightarrow \frac{8ka}{3\pi} \quad ka \ll 1 \text{ için} \quad (2.38)$$

$$\rightarrow \frac{2}{\pi ka} \quad ka \gg 1 \text{ için}$$

Şekil 2.29'da yayılım empedansının direnç (gerçek) ve reaktif (sanal) kısımları görülmektedir. Alçak frekanslarda reaktif kısım baskınken yüksek frekanslarda direnç kısmı daha önem kazanır. Yüksek frekanslarda empedans alan çarpı $\rho_0 c_0$ 'a yaklaşır.



Şekil 2.29 : Levhalı bir pistonun empedans fonksiyonları.

3. SES GÜÇLENDİRME SİSTEMİ ELEMANLARI VE ODALARDAKİ HOPARLÖRLER

3.1 Hoparlörler

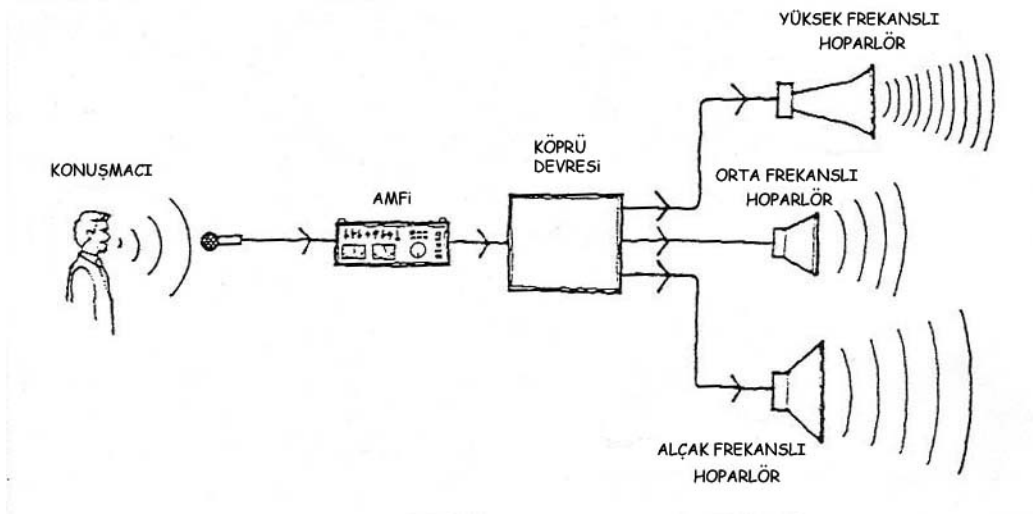
3.1.1 Frekans cevabı

Düşük frekanslarda, ses gücü üretebilmek için büyük ses kaynaklarına ihtiyaç duyulması temel bir akustik kuralıdır. Düşük frekanslarda bir hoparlörün etkili olarak ses yayabilmesi için, koni kısmının büyük olması (Genellikle 200-300 mm arası) gerekmektedir. Fakat aynı büyük koni yüksek frekanslarda iyi ses yayamaz, çünkü koni kısmının hızlı bir biçimde ileri geri hareket etmesi gerekmektedir.

Örneğin 2 kHz'lik bir frekansta, koninin iki bin kez ileri geri hareket etmesi gerekmektedir. Bunu verimli bir biçimde gerçekleştirebilmek için koninin hafif olması gerekmektedir. Eğer hafif malzemedeki büyük bir koni yapılırsa da, ileri geri hareket sırasında bu koni sabit bir kütle gibi hareket etmeyecek ve esneyecektir. Bu da seste bozulmalara sebep olacaktır. Diyaframın esnemesi ve buna bağlı bozulma daha çok düşük frekanslarda meydana gelir, çünkü düşük frekanslarda koni daha fazla yer değiştirir.

Bu problem genellikle çok yollu bir hoparlör sistemi kullanılarak çözülür. En yaygın olan sistemler iki yollu sistemlerdir. İki yollu bir sistemde amfiden gelen elektrik sinyali, köprü devresi adı verilen bir elektrik devresi ile iki farklı frekans bandına (Yüksek ve alçak frekans bantları) ayrılır.

Daha sonra sinyaller iki ayrı hoparlörü besler – düşük frekanslar için *woofer* denilen büyük bir hoparlör ve yüksek frekanslar için *tweeter* denilen küçük bir hoparlör kullanılır. Daha karmaşık bir sistem için üç hoparlör gerekebilir. Üç yollu bir hoparlör sisteminde üçüncü hoparlör orta frekans aralığı için kullanılır (Şekil 3.1).

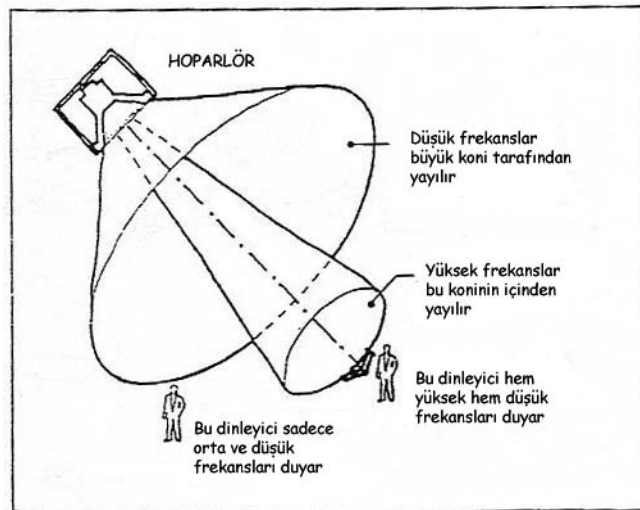


Şekil 3.1 : Köprü devreli güçlendirme sistemi ve değişik frekans aralıklı üç hoparlör.

3.1.2 Hoparlörün ses yayma yönü

Ses güçlendirme sistemlerinde, tek ya da çoklu bir hoparlör sisteminin yönsel karakteristikleri de önem taşır. Hoparlörden çıkan ses havada üç boyutlu bir şekilde yayılır.

Frekans arttıkça ses daha çok yöne yayılır (Şekil 3.2). Bir hoparlör, sadece koni çapının sesin dalga boyuna eşit olduğu frekansa kadar çok yönlü ses yayar. Örneğin 300 mm'lik bir hoparlör 1100 Hz'e kadar çok yönlü ses yayar. Artan frekanslarda hoparlörün yönlülüğü de artar.



Şekil 3.2 : Hoparlörün ses yayma yönü

3.1.3 Hassasiyet

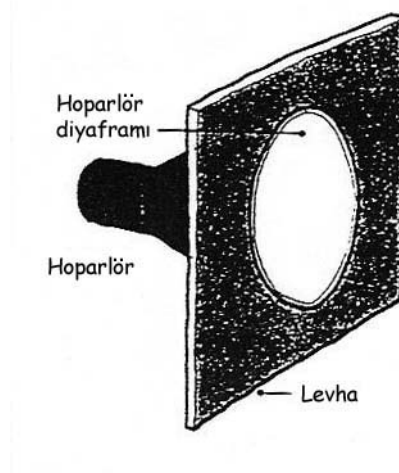
Bir hoparlörün hassasiyeti, belirli bir giriş elektrik gücünün hoparlöre belli bir mesafede oluşturduğu ses basınç düzeyidir. Genelde bu giriş gücü 1 watt ve hoparlörün oluşturduğu ses basınç düzeyinin ölçüldüğü uzaklık ise 1 metre seçilir.

Hassasiyet testin gerçekleştirildiği frekansa bağlıdır. Bu yüzden bir hoparlörün belli bir yöndeki hassasiyeti, o hoparlörün frekans cevabı eğrisine bağlı olarak verilir. Bir hoparlörün hassasiyetini tanımlayabilmek için, birçok frekans cevabı eğrisine ihtiyaç vardır.

3.1.4 Hoparlör kabini

Konik bir hoparlör mutlaka bir kabine yerleştirilmelidir. Eğer hoparlör bir kabine yerleştirilmezse, diyaframın önünde oluşan basınç (Diyaframın öne doğru hareketinden dolayı), diyaframın arkasında oluşan basınç azalması dolayısıyla sıfırlanacaktır. Bir başka deyişle diyaframın oluşturduğu, ileriye ve geriye doğru hareket eden dalgalar birbirlerini yok edecektir.

Bu yok etme durumu alçak frekanslarda daha çok meydana gelir, çünkü alçak frekanslarda havanın arkadan öne doğru hareket etmek için yeterli zamanı olur. Yüksek frekanslarda yok etme durumunun oluşabilmesi için yeterli süre yoktur.

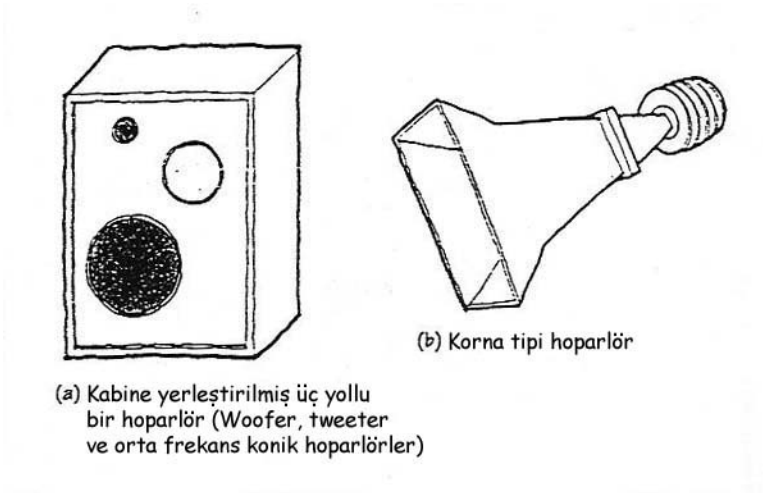


Şekil 3.3 : Hoparlörü çevreleyen düz levhanın etkili olabilmesi için çok büyük olması gereklidir.

Teorik olarak Şekil 3.3'deki gibi düz bir levha kullanılabilir, fakat bunun etkili olabilmesi için levhanın çok büyük olması gereklidir. Dikdörtgen bir kabin ise sonsuz büyük bir düz levha görevi görür. Bu yüzden genellikle hoparlörler

dikdörtgen kabinlerin içine yerleştirilir. Değişik frekans aralıkları olan iki ya da üç hoparlör aynı kabinin içine yerleştirilebilir (Şekil 3.4 a).

Yaygın olarak kullanılan bir diğer hoparlör kabini ise korna tipi kabindir (Şekil 3.4 b). Korna tipi bir kabin, sesin yayılmasını tek yönlü bir hale getirir ama ses yayılma verimini artırır. Bu durum, megafon kullanılarak ya da iki elin ağız yanına konulması ile elde edilen ses yayılma veriminin artırılmasına benzer.

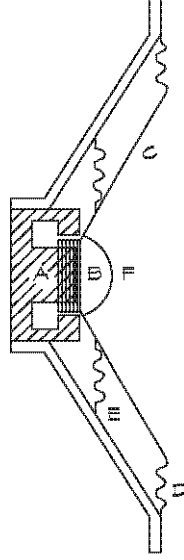


Şekil 3.4 : Kabine yerleştirilmiş konik hoparlör ve korna tipi hoparlör.

Sesi dar bir kabinden geçirmek yüksek frekanslarda düşük akustik güç olduğundan kullanışlıdır. Bu yüzden korna tipi hoparlörler sadece yüksek frekans hoparlörü olarak kullanılırlar. Düşük frekanslarda korna tipi hoparlörlerin kullanılmamasının bir diğer sebebi ise, alçak frekansta ses yayabilmek için gerekli olan kornanın boyunun çok uzun olmasıdır (En azından bir dalga boyu uzunluğunda). Bu yüzden, örneğin 100 Hz’de gerekli olan korna uzunluğu 3.5 m olur.

3.1.5 Konik hoparlörler

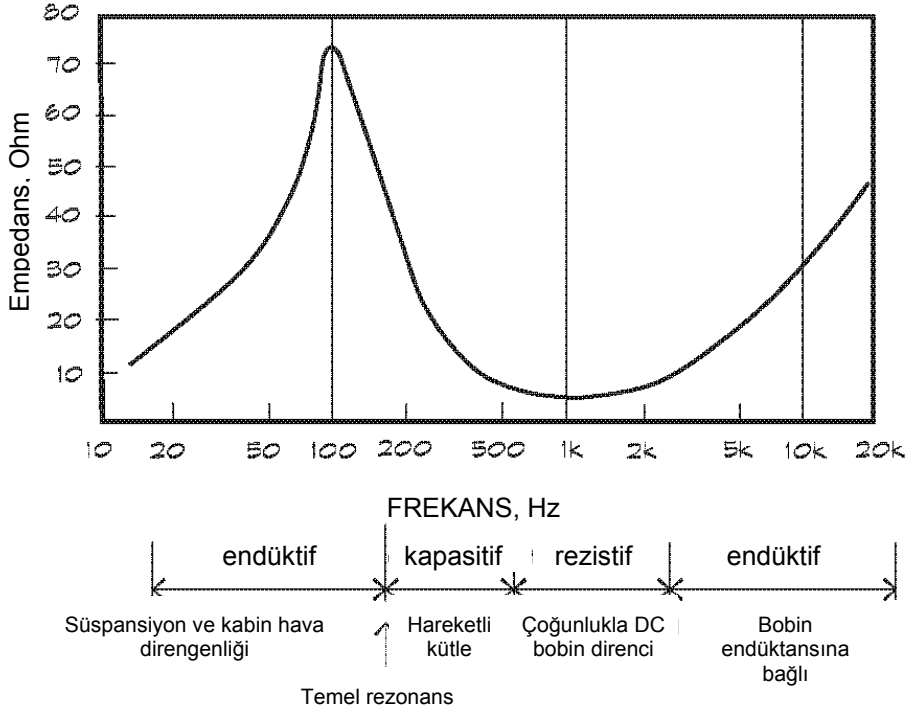
Konik (Hareketli bobinli) hoparlör en yaygın hoparlör tipidir (Şekil 3.5). Kalıcı manyetik alan içinde asılı bir bobine bağlı, işlenmiş kâğıttan veya hafif başka bir malzemeden imal edilmiş dairesel bir koniden meydana gelir. İçinden akım geçtiğinde bobin manyetik alanın dışına doğru akımın yönüne bağlı olarak bir yöne ya da diğerine doğru itilir. Bobine uygulanan sinüzoidal bir gerilim konide sinüzoidal bir harekete sebep olur. Konik hoparlörlerin birçoğunun merkezinde yüksek frekansları daha iyi dağıtabilmek için bir kubbe bulunur.



Şekil 3.5 : Basit bir hareketli bobinli hoparlör. A) Mıknatıs, B) Ses bobini, C) Diyafram, D) Kırışık kenar, E) Örümcek (Bükülmeyi önlemek için), F) Kubbe

Konik hoparlörler verimli ses yayıcılar değildir. Genellikle elektrik enerjisinin %0.5 ila %2'sini sese çevirirler. 1 watt elektrik enerjisi ile sürülen bir hoparlör yaklaşık 0.01 watt akustik enerji yayacaktır ki bu da 100 dB'lik ses gücüne denktir. 1 metre mesafede böyle bir hoparlörün oluşturacağı ses basıncı, Q 'yu 2 kabul ettiğimizde yaklaşık 92 dB olur. Bu sayı, eksen üzerinde 1 m mesafede 1 W için üretilen seviyedir ve hoparlörün hassasiyetidir.

Hoparlörler sadece hassasiyetleri ile değil empedansları, frekans cevapları, yönlülükleri ve polar şekil veya kapsama açıları ile karakterize edilirler. Bütün bu parametreler tasarımcı için kullanışlıdır. Elektriksel empedans, akustik empedans gibidir ve hoparlörün elektriksel direncini temsil eder, bu da kompleks bir sayıdır. Var olan dirençlerin tamamı elektriksel değildir. Frekansla sabit olmayan mekanik empedans da elektriksel empedans olarak yansıtılır. Şekil 3.6'de bir levha üzerindeki hoparlörün tipik empedans eğrisi görülmektedir.



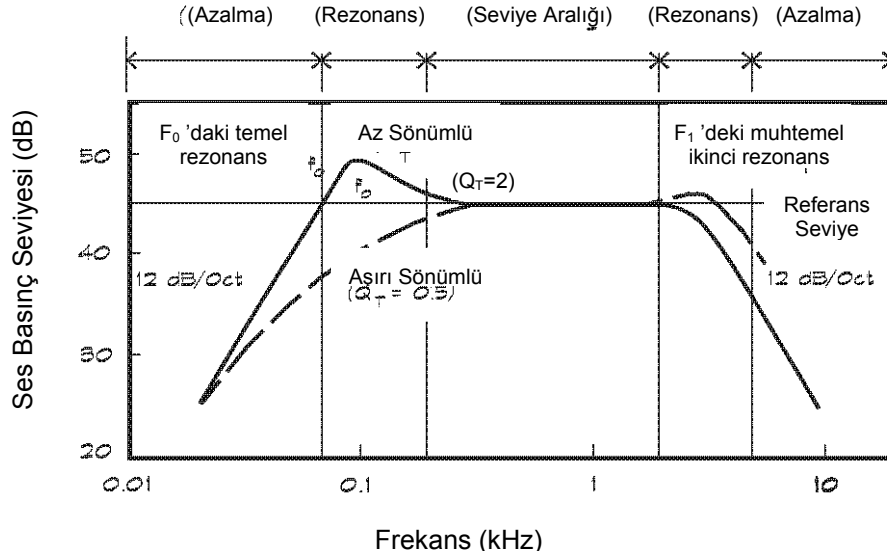
Şekil 3.6 : Hareketli bobinli sürücünün giriş empedansı.

Alçak frekanstaki zirve hoparlör konisinin yay kütle sisteminin temel rezonans noktasındadır ve hava süspansiyon sisteminin yay etkisini de içerir. Rezonans frekansının üstünde empedans başlıca bobinin dc direncini içerdiği bir bölgeye düşer ve bir ohmmetre ile ölçülebilecek bir minimum değere ulaşır. Uç noktalarda; alçak frekanslarda süspansiyon sisteminin sertliği, yüksek frekanslarda ise bobin endüktansına bağlı olarak empedans ağırlıklı olarak endüktiftir. Hoparlör üreticileri tarafından genellikle minimum değer verilir çünkü bu uygulanan bir gerilim değerinde maksimum akım akışını kontrol eden değerdir.

Bir hoparlörün frekans cevabı (Şekil 3.7) üreticisinden temin edilebilir. Bu değer sabit gerilimli bir sinyali istenilen frekans aralığında uygulayarak eksen üzerinde verilen bir mesafede hoparlörün ses basınç seviyesinin ölçülmesi ile elde edilir. Hem yüksek hem de alçak frekanslarda cevap eğrisi nerede ise oktav başına 12 dB değerine düşer, aralarda ise nispeten düzdür.

Eğrinin alçak frekans kısmı kabinin yapısından etkilenir. Hoparlör kabinli değil ise koni çift kutup gibi yayılım yapar ve arkadan gelen ses önden gelen sesi iptal eder. Sonsuz bir levha çift kutup etkisini azaltır fakat her zaman imal edilmesi pratik değildir. Kapalı bir kutu çift kutup etkisini azaltarak alçak frekans cevabını geliştirmeyi sağlar fakat hava yayı koninin rezonans frekansını artırır. Delikli bir

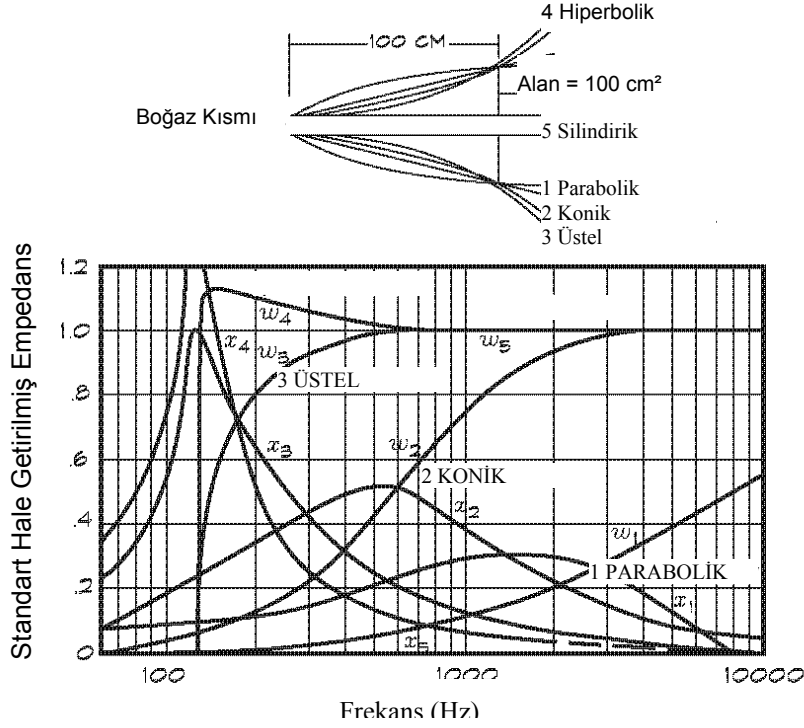
kabin düşük frekanslarda koninin ön tarafı ile aynı fazda yayılım yapan ikinci bir hoparlör gibi davranır. Deliğin rezonansı nedeni ile düşük frekanslarda kabin koniden daha fazla enerji yayar.



Şekil 3.7 : Hareketli bobinli sürücünün cevabı.

3.1.6 Korna tipi hoparlörler

Korna yapısı üç ayrı fonksiyon görür. Birincisi sürücü için artırılmış direnç yükü sağlar böylece havanın tek başına sağlayabileceğinden daha yüksek empedanslara karşı çalışabilir. İkincisi hareket eden havayı zorlayarak sürücünün verimini artırır, aşamalı olarak hava sütununu çevredeki boşluğa yayar. Üçüncüsü sürücünden yayılan enerji huzmesini yönlendiren yan duvarları ile ses dalgasının kapsama alanını artırır. Bütün bu özellikler korna tasarımcısı için birbiri ile çelişen talepler yaratır. Örneğin empedans uyumu için en verimli olan şekil istenilen yönlülüğü her zaman sağlamaz. Tasarımcı kornanın sağlaması gereken özellikleri belirlemeli ve her birinin avantaj ve dezavantajları arasından bazılarını feda ederek en iyi sonuca ulaşmalıdır.



Şekil 3.8 : Sonsuz kornaların standart hale getirilmiş akustik empedansının rezistif ve reaktif bileşenleri.

Bir kornanın varlığı sürücü diyaframına uygulanan empedansı artırır. Böylece diyaframın daha yüksek bir basıncı itmesini sağlar ve her ne kadar bu durum sürücüye daha çok iş yaptırsa da aynı zamanda havaya daha fazla enerjinin yayılmasına da neden olur. Diyaframda oluşan direnç yükü nerede ise tamamıyla kornanın şekline bağlıdır. Şekil 3.8’de beş farklı biçimdeki sonsuz uzunluktaki kornaların akustik rezonans eğrileri görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi konik (Düz yanlı) korna diyaframa kayda değer bir yük sağlamaz. Silindirik tüp eşit bir yük sağlar fakat ağız kısmında herhangi bir artış sağlamaz. Yanlarının şekli nedeniyle isimlendirilmiş olan büyüyen korna aşağıdaki üstel ifadeyi sağlar:

$$S = S_0 e^{mx}$$

$S = x$ uzaklığında korna alanı (m^2)

$S_0 = x=0$ ’daki boğaz alanı (m^2)

$m =$ genişleme sabiti (m^{-1})

$x =$ boğazdan uzaklık (m)

cutoff frekansına inene kadar düzgün bir yükleme sağlar

$$f_c = \frac{mc}{4\pi}$$

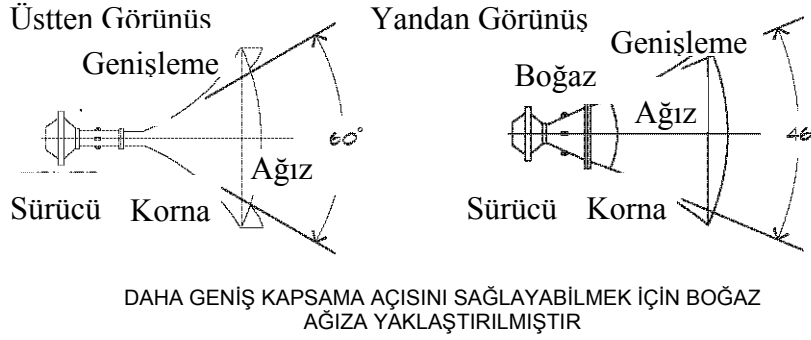
ki bu değerin altında ses kayıpsız yayılamaz. Büyüyen korna için frekansla yük sabit olsa da bu şekil en ideali değildir. Alçak frekans yön kontrolü için korna ağız boyutu nispeten büyük olmalıdır, bu da yüksek frekans kontrol sorunlarına sebep olur.

Yüksek frekanslarda hoparlörlerin kapsama alanı huzmeleme denilen bir daralma şekline maruz kalır. Yüksek kapsamayı sağlayabilmek için yüksek frekans sürücüler fiziksel olarak küçük olmalıdır. Fakat küçük sürücüler çok fazla hareket etmediklerinden ve çok fazla havayı itmediklerinden verimsizdirler. Kornayla küçük bir sürücüyü eşleştirmek hem huzmeleme hem de verim sorunlarına çözüm olur. Dar bir frekans aralığı için nerede ise %50 korna verimi sağlanabilir fakat geniş bantlı sinyaller için %10 daha muhtemeldir. Tipik büyük yapılı korna/sürücünün hassasiyeti 113 dB civarındadır bu da eksen üzerinde 20 Q ile %13'den biraz fazla bir verim veya yaklaşık 0.13 watt'a eşit bir akustik güç demektir.

Sürücü ağızının dalga boyuna kıyasla küçük olduğu orta frekanslarda, sesin çarptığı yan duvarlar kornadan yönlü bir şekilde çıkan yayılımı kontrol ederler. Sabit yönlülüğe sahip kornalarda yan duvarlar ya düz ya da hafifçe eğimlidir ve yatay ve dikey boyutlarda farklı genişleme merkezleri vardır. Bu yenilik 1951 yılında Paul Klipsch tarafından bulunmuş ve sonrasında çoğu korna tasarımında kullanılmıştır. Yatay ve dikey düzlemlerde farklı bir kapsama açısı sağlamaktadırlar.

3.1.7 Sabit yönlülüğe sahip kornalar

Sabit yönlülüğe sahip kornalar yön ile düzgün bir frekans dağılımı sağlamak amacıyla tasarlanmıştır. Şekil 3.9'da tipik bir örneği görölmektedir. İdeal durumda kornanın kapsama alanı dahilinde herhangi bir noktada ölçülen ses spektrumu bir diğeri ile aynı olmalıdır. Güç eşit olarak dağıtıldığından herhangi bir noktadaki spektrum sürücünün asıl güç spektrumuna çok yakın olacaktır. Bu özellik başarılı bir ses sistemi tasarımı için çok kritiktir ve tasarım sürecini fazlasıyla basitleştirir.



Şekil 3.9 : Sabit yönlülüğe sahip korna – Nominal 60 x 40.

Modern sabit yönlülüğe sahip korna tasarımı D.B. (Don) Keele, Jr., John Gilliom ve Ray Newman'ın 1970'lerin ortalarındaki çalışmaları ile başladı. Onların çalışmaları günümüz korna tasarımındaki yönlülük kontrolünün temellerini oluşturdu. Ortaya attıkları ilk fikir sürücüyü takip eden boğazda bir daralma idi. Bu detay tasarladıkları beyaz korna serisinde daha da vurgulandı fakat fikir bu kornadan daha önce ortaya atılmıştı. Dar boğaz daha büyük bir sürücünün kullanılabilmesine olanak sağladı ve sesin kornanın yan taraflarına çarpması yoluyla, genelde büyük boğaz ölçüleri ile alakalı olan yüksek frekans huzmeleme de olmadan yön kontrolü de sağlandı.

İkinci özellik ise konik büyüyen boğaz şekli idi ki bu da kendisinden sonra konik (Yanları düz) bir şekle düzgün bir bağlantı olan belirli bir mesafede büyüyen bir boğazdan oluşmaktaydı. Bu iki eğrinin kombinasyonu güya büyüyen boğaz genişlemesinin kullanımıyla alçak frekans empedans kontrolüne olanak sağladı ve yanların konik şekilleri sayesinde mükemmel yönlü kapsamanın da üstesinden gelinebildi.

Grubun attığı üçüncü adım ise tasarımdan önce birçok kornada bulunan orta menzildeki daralma sorununu çözebilmektir. Yaklaşımları ise kornanın ağzını, konik kısmın başlangıcı ile ağız arasındaki uzaklığın üçte ikisi mesafedeki bir noktada genişletmektir. Eklenen geniş kısım yüksek frekansların bir boyuttaki ağıza, alçak frekansların ise diğer boyuttaki ağıza ulaşmasını sağladı. Genişleme sayesinde korna ağzı ve çevreleyen hava arasındaki geçişin çok ansızın olmaması da sağlanmış oldu. Kornanın ağız kısmı geçişinde ses basınç dağılımı artık sabit değildi fakat kornanın merkezinde yüksekti. Korna ağzı artık levhadaki bir piston gibi gözüküyordu ve sonuçta daha önceki tasarımlarla ilgili orta frekans daralma sorunları (Piston modelden kaynaklanan) artık mevcut değildi.

Beyaz korna serisi çok başarılı olmuştur. Tasarım daha önceki birçok korna modelinde görülen orta frekans huzmeleme sorunu olmadan iyi yatay yönlülük kontrolü sağladı. Daha küçük dikey boyut sağlamak amacıyla dikey frekans kontrolü tasarımı öne çıkarılmamıştı. Bu durum tasarım sırasında korna ağız yüksekliği ile daha geniş bir frekans aralığında dikey yönlülüğün kontrolü arasında öne çıkarılacak özelliğin seçimini göstermektedir. Ağız dikey boyutu nispeten küçük olduğundan dikey kontrolün başladığı frekans nispeten yüksektir (1.2 kHz). Beyaz korna serisi tam düz yönlü tipteki ilk ticari üründü.

Korna tasarımındaki bir sonraki adım Mark Ureda ve Cliff Henricksen tarafından Mantaray korna serisinin geliştirilmesiydi. Hedefleri hem yatay hem de dikey olarak güçlü yönlülüğe sahip bir korna üretmekti. Ureda ve Henricksen çok yönlü kontrolün sağlanabilmesi için ağız kare şeklinde ve nispeten büyük olmasına karar verdiler. Alçak frekans sınırı bilindiğinde ağız boyutu levhadaki piston formülünden hesaplanabilmekteydi. Ağız boyutu sabitlenerek, kapsama açıları yanların sürücü ağızına kadar geriye çekilmesini sağladı. Büyük dikey ağız boyutu dar açılı üst ve alt duvarların boğaz açıklığına genişlemesiyle sonuçlandı ve bu yolla kornanın uzunluğu ve sürücüdeki yük de kontrol edilebilmiş oldu. Yatay düzlemde daha geniş kapsama açısı, boğazdan korna tarafına doğru yeri değiştirilmiş olan bir noktada yanların kavuşması ile sonuçlandı. Boğaz bu noktaya nispeten dar bir kesit alanı olan bir açıklıkla bağlanmaktaydı. Mantaray tasarımı Keele ve arkadaşları tarafından geliştirilen genişleme fikrini kullandı fakat buradaki genişleme kornanın dibine doğru üçte iki noktasından daha derinlerde idi.

Bu kornanın daha önceki tasarımlara göre bir avantajı vardı. Dikey ağız boyutu büyük olduğundan en dar yan duvarın açısı daha uzun bir mesafeye genişledi ve sürücüye direkt olarak bağlandı. Bu şekilde sürücü artık kornanın geniş açılı kısmının boğazında değildi ve sürücülerin korna ile birbirlerine bağlanması daha kolay hale getirilmiş oldu. Bu özellik huzmeleme olmadan 90° açılı açıklıkları direkt olarak sürmekte zorlanan 2 inç sürücüler için avantajdır.

Mantaray kornaları her düzlemde yönlülük kontrolünü ön plana çıkartır, fakat bunun karşılığında büyüyen bir alan genişlemesi sonucu alçak frekans yüklemesi gelir. Mantaray'ın yanları yatay ve dikey düzlemlerde neredeyse düzdür. Altec patenti düz yanlı duvarların diğer tasarımlarda var olan kemer etkisini de düzelttiğini (Orta frekansların yan taraflardan çıkışması) iddia eder. Mantaray tasarımı minimum 800

Hz ve maksimum 20 kHz'te yüksek oranda kontrollü yönlülük sağlar. Boyutları nedeni ile diğer kornalardan daha fazla alana ihtiyaç duyarlar. İyi tarafları iyi dikey yönlülük kontrolü, mükemmel yüksek frekans cevabı, kötü tarafları ise büyük boyut ve minimum alçak frekans yüklenmedir.

Bunun ardından başka bir korna üreticisi olan JBL, Keele tarafından tasarlanmış olan kendi sabit yönlüklü kornalarını geliştirdi. Bu çift-radyal korna adı verilen tasarımda Keele ağız ile boğaz arasındaki yan tarafların şekillerini geliştirebilmek için çok genel bir polinom formülü kullandı.

$$y = a + bx + cx^n$$

formülde:

x = merkez çizgisinde ağıza olan uzaklık

y = x eksenine dik uzaklık

a = boğaz yüksekliğinin yarısı

b = $[\tan(0.9 \text{ huzme genişliği})]/2$

c = $[w/2 - bL - a]/L^n$

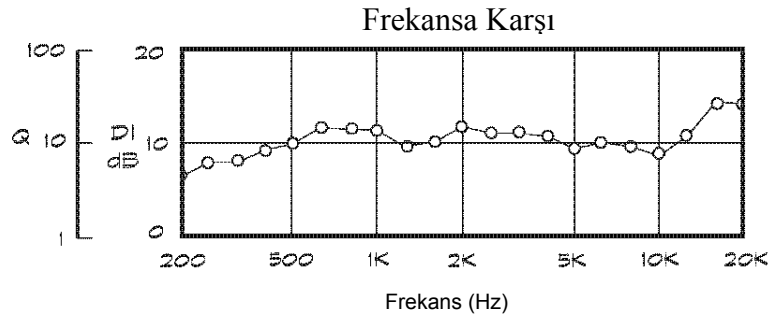
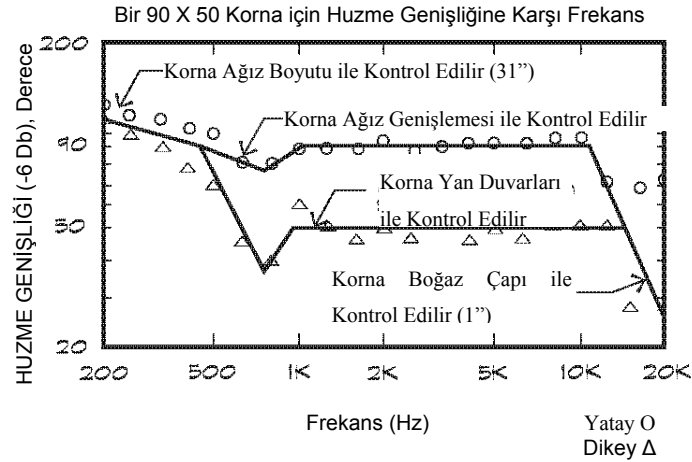
n = 2 ve 8 arası bir sabit

L = korna uzunluğu

w = ağız genişliği

Çift radyal tasarımda ağız boyutu levhadaki piston denkleminde hesaplanır. Sabit lineer azalma ve büyüyen alan genişlemesinin bir kombinasyonu olan boğazdaki genişleme güya büyüyendir. Yükleme düz yanlı Mantaray konik yüklemesinden daha iyidir fakat Electrovoice tasarımlarındaki daha salt büyüyen yüklemeler kadar iyi değildir. Ağız boyutu her yönde büyüktür, dolayısıyla nispeten alçak frekanslara kadar yönlülük kontrol edilebilmektedir. Muhtemelen en ilginç olan tasarım özelliği ise genişleme oranı için kullanılan denklemdir. Keele'ye göre (1983) bu kavis hem yatay hem de dikey yönlerde ve iki düzlem arasında eksen dışında da pürüzsüz cevap verir. Çift radyal adı denkleminde belirlenen çizginin her iki yandaki birer noktanın çevresinde döndürülmesinden kaynaklanır. Kornanın boğaza yakın kısmında daralma yoktur dolayısıyla korna 10 kHz'in üzerinde huzmeleme eğilimindedir. Çift radyal

tasarım yüklemesi ve yönlülük arasında iyi bir dengededir. Her yönde kontrol ve eksen dışında pürüzsüz cevap sağlar.



Şekil 3.10 : Sabit yönlülüğe sahip kornaların huzme genişliği ve yönlülükleri.

Şekil 3.10’da kornanın çeşitli bölgeleri ve her bölgede yönlülüğün ne ile kontrol edildiği görülmektedir. Düşük frekanslarda ağız boyutu belirleyicidir. Kornanın kontrol etmeye başladığı frekansı belirler. Kontrol noktasının üstünde korna yanlarının açısı kapsama alanını belirler. Çok yüksek frekanslarda ses artık kornanın yanları ile etkileşmediğinden sürücü açıklığının çapı huzme genişliğini kontrol eder. Kontrol sağlayan yan aç bölgesi ile alçak frekans kesim noktası arasında kapsama alanında daralma meydana gelir. Bu, korna ağzının salt levha üzerindeki piston şeklinde davranmasını engelleyen korna genişlemesi tarafından kontrol edilir.

3.1.8 Kabin dizileri

Son yıllarda yamuk şeklinde iki ya da üç yollu kabinlerin üretimi popüler bir hale geldi. Bu şeklin kullanılmasının amacı kabinler yan yana yerleştirildiğinde ihtiyaç duyulan kapsamayı sağlayabilmektir. Bu ürünlerin yönlülük modelleri tasarım yazılımlarının ortaya çıkmasıyla birlikte yazılım kodunun içinde gömülü vaziyettedir ve tasarımcı tarafından kullanılamaz. Kabinler yönlülük kontrolünde tüm diğer

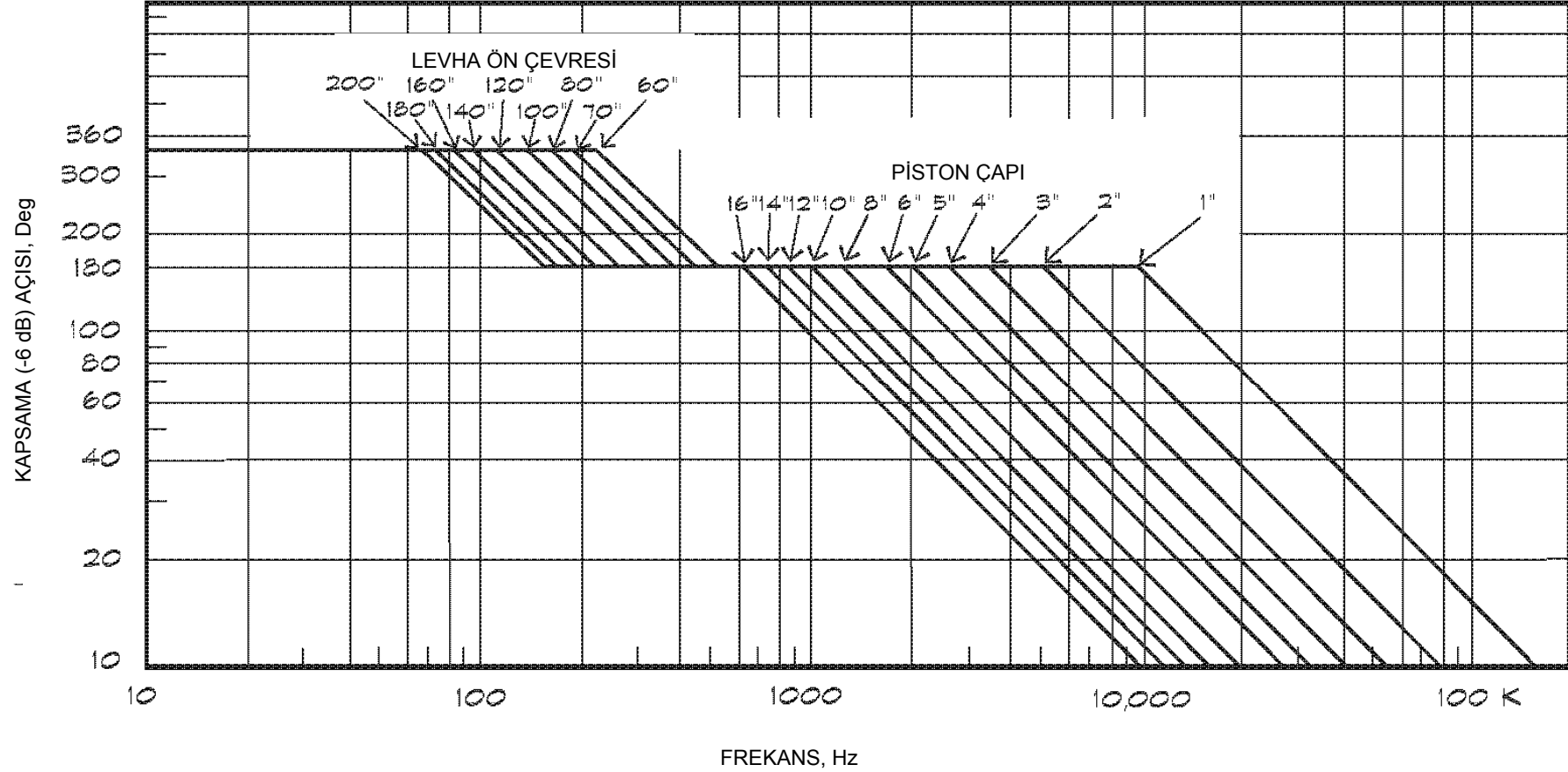
cihazlarda olduğu gibi yayım yapan parçaların boyutundan kaynaklanan fiziksel sınırlamalara sahiptir. Kabinleri bir çizgi üzerinde yerleştirmek bu çizgiye dik olan ve yönlülük kontrolüne de ihtiyaç duyulabilecek düzlemde kapsama açısını daraltmaz. Boşluğun dalga boyuna eşit olduğu noktanın altındaki frekanslarda, yatay kümeleme (Faydalı olur ya da olmaz) yatay düzlemdeki kapsama açısını daraltacaktır. Kabinler bir çizgi üzerinde kümelenendiğinde bileşenler sıralı dizi şeklinde davranır ve belli bir frekans aralığında yönlülük kontrol edebilir fakat bu frekansların üstündeki değerlerde yararlı olmayacaktır.

3.1.9 Levhalı alçak frekans sistemleri

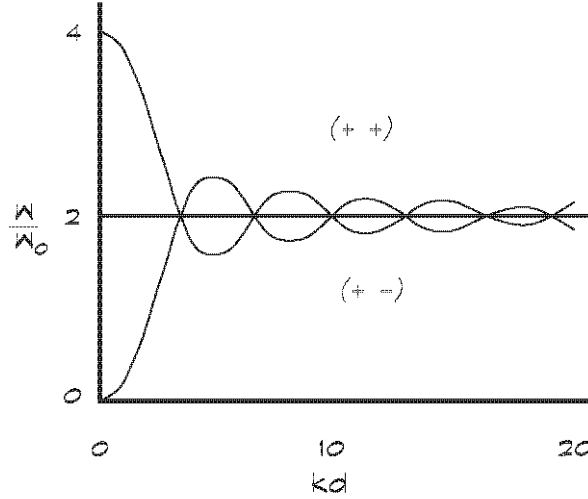
Alçak frekans kabinlerin bir levha duvar üzerine yerleştirilmeleri bir şekilde yönlülüklerini artırmak için uygulanabilecek bir tekniktir. Teorik sonuç Şekil 3.11’de görülmektedir. Bu levhaların imalinde kullanılan malzemeler genellikle ilgilenilen frekanslarda %100 yansıtıcı değildir. Örneğin tek tabakalı bir kuru duvar 125 Hz’de %30 emici fakat biraz düşük frekanslarda %40’a kadar emicidir. Bu durum hafif levha duvarın teorik etkinliğini oldukça azaltmaktadır. 125 Hz’de %20 ve 80 Hz’de %35 emici olan çift kat kuru duvar belirgin derecede daha iyi değildir.

Subwoofer kabinleri dalga boyunun yaklaşık 2.8 m olduğu 125 Hz’in altında kullanılsa da bunları kaynaklarından bir dalga boyunun üçte birinden daha kısa mesafede yere ya da beton bir duvarın üstüne yerleştirmek faydalı olacaktır. Şekil 3.12’de gücün ikiye katlanması (Basıncın ikiye katlanması olmasa da) $k d = 2$ için elde edilebilecektir. Eğer iki yansıtıcı yüzey varsa (Zemin ve duvar), 6 dB’lik bir artış elde edilebilecektir.

Levha duvarlar eğer düzgünce imal edilmezlerse artıdan çok eksi getirirler. Levhalı bir hoparlörün çevresinde yalıtılmamış bir boşluk bırakılırsa bu, levha duvarın arkasındaki kapalı hacmin rezonatör hacim olarak davrandığı bir Helmholtz rezonatörünün boğaz kısmını oluşturabilir. Sonuçtaki rezonans sese oldukça renk katacak ve düşük frekanslarda duvar tarafından sağlanan seviye artışı ile sonuçlanacaktır.



Şekil 3.11 : Piston ve kutu sistemleri için -6 dB açı cevabının tahmininde kullanılacak grafik.



Şekil 3.12 : İkili bir kaynaktan yayılan toplam güç.

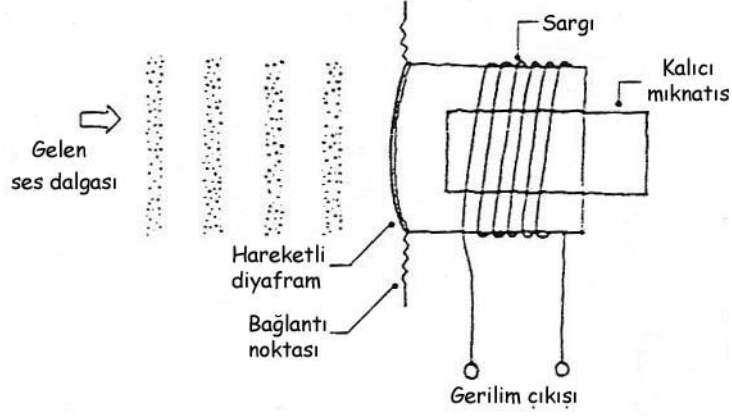
3.1.10 Geniş cevap aralığına sahip hoparlörler

“Geniş cevap aralığı” terimi insan sesinin tüm aralığını kapsayan bir hoparlörü kasteder. Geniş cevap aralığına sahip hoparlörlerin birçoğu 60-70 Hz’lik bir alçak frekans alt limitine sahiptir. 38 cm çapa sahip büyük hoparlörler daha alçak frekanslara da ulaşabilir, 25 cm veya daha küçük alçak frekans hoparlörler ise 100 Hz’e kadar inebilecektir. Bu tip cihazlar genellikle 18 kHz’lik yüksek frekanslara kadar ulaşabilmektedir. Güç gereksinimlerini karşılayabilmek için ağır diyaframlara sahip olan yüksek güçlü sistemlere kıyasla çok düşük kütleli yüksek frekans hoparlörlere sahip küçük yapıli kabinlerin yüksek frekans üst sınırları daha büyük olacaktır.

3.2 Mikrofonlar

Mikrofonlar ses enerjisini elektrik enerjisine çevirirler. Basınç dalgası gerilim dalgasına çevrilir; değişen bir basınç değişen bir gerilimi meydana getirir.

İki mikrofon tipi yaygın olarak kullanılır: *Dinamik mikrofon* ve *kondansatörlü mikrofon*. Dinamik mikrofonlarda bir diyafram bir basınç dalgasına bağlı olarak titreşir. Diyafram küçük ve hareket eden bir sargıya ya da bir mıknatısa bağlıdır (Şekil 3.13). Sargının ve manyetik alanın bağlı hareketi, mikrofon devresinde bir gerilim indüklenmesine yol açar. Bu tip bir tasarım tüketici uygulamalarında çok fazla kullanılır.

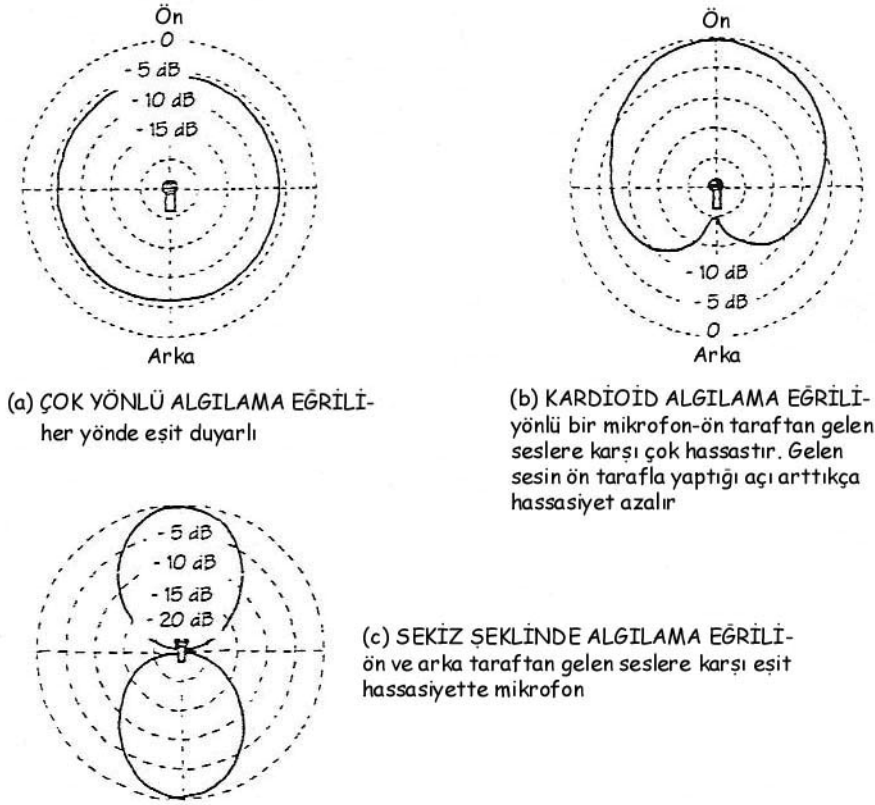


Şekil 3.13 : Dinamik bir mikrofonun çalışma prensibi.

Kondansatörlü mikrofonlarda, metal diyafram ile referans elektrot arasında artık bir elektrostatik yük sabit olarak tutulur. Dalgaya bağlı olarak diyafram hareket eder ve bu iki plaka (Kondansatör) arasındaki uzaklığı değiştirir. Bu şekilde yük de değişmiş olur. Devrede değişken bir akım meydana gelir bu da bir direnç üzerinden gerilim değişimine çevrilir. Bu tip mikrofonlar ses kayıt stüdyoları, profesyonel ses güçlendirme sistemleri ya da laboratuvarlar gibi daha karmaşık uygulamalarda kullanılır.

Bir mikrofonun performansını belirleyen önemli faktörlerden biri de o mikrofonun yönselliğidir, bu da mikrofonu değişik yönlerden gelen sesleri mikrofonun algılama hassasiyetidir. Değişik yönlerden gelen seslere mikrofonun tepkisi, mikrofonun tasarımı ile ilgilidir.

Çok yönlü mikrofonlar her yönden gelen sese karşı duyarlıdır fakat kardioid gibi tek yönlü mikrofonlar ön taraftan gelen seslere karşı daha duyarlıdır. Teknik olarak bir mikrofonun algılama grafiği, polar yanıt eğrisi ile açıklanabilir (Şekil 3.14).



Şekil 3.14 : Mikrofon algılama eğrileri.

Tek yönlü mikrofonlar (Kardioid algılama eğrili), ses güçlendirme sistemlerinde en fazla kullanılan mikrofonlardır çünkü geri besleme etkisini azaltırlar. Sekiz şeklinde algılama eğrisi olan mikrofonlar ön ve arka taraftan gelen seslere karşı maksimum hassasiyete sahiptir. Bu tip mikrofonlar iki konuşmacının mikrofonun birbirine zıt iki tarafında durması gibi durumlarda (Örneğin röportaj yapan bir gazeteci ile konuşmacı arasındaki mikrofon) kullanışlıdır.

3.3 Amfiler

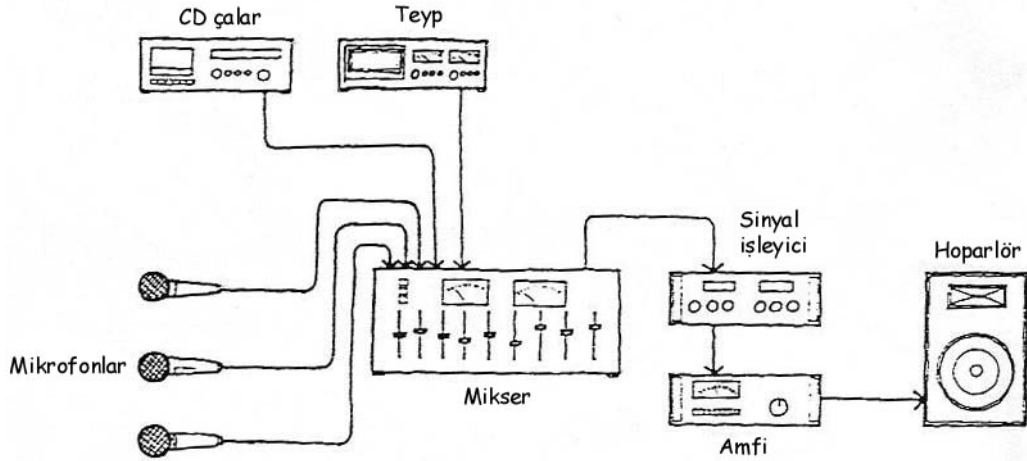
Daha önce de belirtildiği gibi, bir mikrofonun ürettiği elektrik gücü, bir hoparlörün diyaframını besleyebilecek güçte değildir. Bu yüzden mikrofondan gelen sinyalin hoparlörü beslemeden önce desteklenmesi gerekir. Güçlendirme bir amfi tarafından yapılır. Amfi, mikrofonun ürettiği elektrik dalgasının daha yüksek güçteki bir kopyasını oluşturur. Daha yüksek güçteki bu sinyal, hoparlörü besler ve istenilen ses dalgalarını üretir.

Amfiler çıkış güçlerine göre sınıflandırılırlar. Çoğu uygulamada, amfinin elektrik gücünün % 10'u konik bir hoparlörde akustik güce çevrilir. Neyse ki akustikte belli

bir ses düzeyini üretmek için gereken güç bağıl olarak küçüktür. Bu yüzden güçlendirme sisteminin veriminin düşük olması bir problem değildir.

Mikrofon pre-amfileri de genellikle amfilerle birlikte kullanılırlar. Pre-amfi mikrofon sinyaline düşük düzeyde bir güçlendirme sağlar. Teyp ve CD çalar gibi kaynaklardan gelen ses sinyalleri de pre-amfiden geçirilirler. Mikserler, birkaç değişik kaynaktan gelen sinyalleri birleştirmek için kullanılırlar ve amfilere gönderilebilecek bir ya da daha fazla kanal içerirler.

Bir elektrik sinyali birçok değişik yöntemle işlenebilir. Ses güçlendirme uygulamalarında sinyal spektrumunun şekillendirilmesi çok önemlidir. Bu, filtreler, ekolayzırlar ve bunun gibi cihazlarla sağlanır. Şekil 3.15’de cihazlar ve bağlantı biçimleri görülmektedir.



Şekil 3.15 : Ses güçlendirme sistemlerinin bileşenleri.

3.4 Odalardaki Hoparlörler

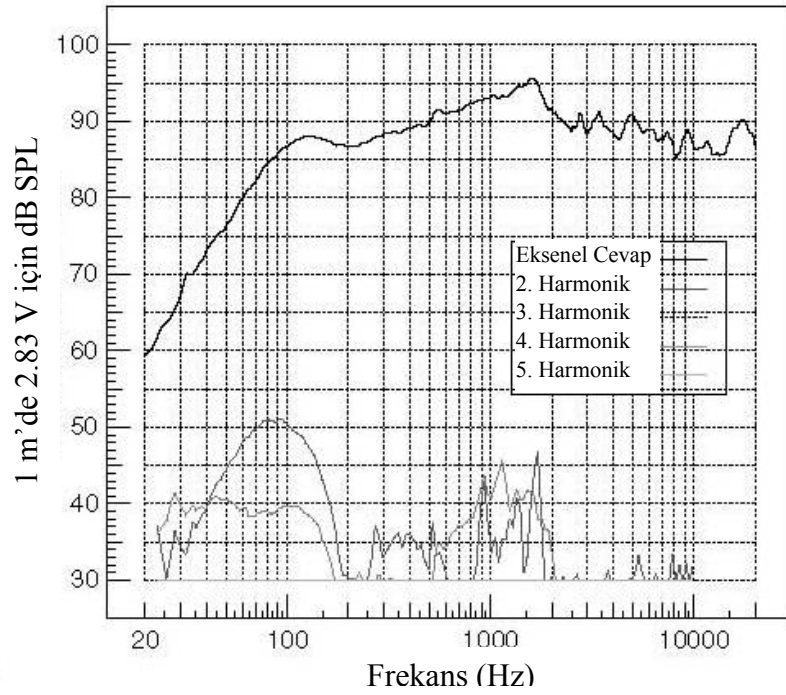
3.4.1 Odaların etkileri

Anekoik bir odada veya bir tam serbest alan durumunda, kusursuz hoparlörler tasarım performans sınırlarının ± 2 dB civarında düz bir frekans cevabı verirler. Genellikle daha geniş bir frekans aralığının kapsanabilmesi için daha iyi bir tasarım dolayısıyla da daha yüksek maliyetler gerekmektedir. Ses konusunda, özellikle elektronik alanında yoğunlaşmış kişiler için ± 2 dB profesyonel kullanım için geniş bir tolerans aralığı gibi gözükse de elektro-akustik transdüzler dünyasında bu sağlanması güç bir teknik özelliktir. Çoğu mikrofon için on oktav bir kenara, dokuz oktavlık ses bant genişliğinde bile ± 1 dB’i sağlamak çok güçtür. On oktavda bu tip

bir performansı sağlayabilen mikrofonlar çok duyarlı cihazlardır, imalatları özen ister ve bu da fiyatlarına yansır.

Tüm bunlara rağmen gerçekte sesin hoparlörden çıkıp odayı kat ettikten sonra dinleyicinin kulağına ulaştığı süreçte ± 10 dB'lik bir toleransın kötü sayılmayacağı düşünülürse, hoparlörün ± 2 dB'lik toleransı önemini yitirmektedir. Bu durum düzeltilmiş üçte birlik oktav cevapları için değil hoparlör üreticilerinin literatürlerinde seyrekçe bahsettikleri düzeltilmemiş cevaplar için geçerlidir. Şekil 3.16'de iyi bilinen bir hoparlörün anekoik bir odadaki cevap grafiği görülmektedir. (a)'da cevap düzeltilmemiş (b)'de ise üreticinin literatüründe sunulduğu gibidir. Bu grafikler Şekil 3.17'deki hoparlörün normal bir odadaki cevabını gösteren grafiklerle kıyaslandığında görülmektedir ki düzeltilmiş ve düzeltilmemiş grafikler arasındaki farklar büyüktür. Hoparlör üreticilerine hakları teslim edilirse oda içindeki cevaplar tam olarak onların sorumluluklarında değildir çünkü odalar o kadar değişkendir ki karakteristik sayılabilecek tipik bir cevap yoktur. Fakat bazen anekoik cevaplar bile pazarlama amaçları ile düzeltilmektedir ki bu da dürüst ve güvenilir bilgi sağlanması açısından tartışmaya açık bir durumdur.

Odalardaki yansımalar ve rezonanslar dinleyici tarafından algılanan cevaba etki eder fakat odanın sınırları tarafından belirlenen ilave akustik yük düşük frekanslarda majör cevap değişimlerine sebep olabilir. Oldukça geniş bir odanın merkezine ya da aynı odanın bir köşesinde yere konulmuş iki hoparlör arasında alçak ve yüksek frekansların dengesinde bu değer 18 dB'e kadar çıkabilir. Aslında odanın değişik noktalarında frekans dengesindeki değişkenlikler çok fazla olabilir. Durum sadece hoparlörün frekansa bağlı yayılım karakteristiğinin doğası nedeni ile değil aynı zamanda oda içindeki yansıma yoğunlukları ve sönüm nedeni ile de karmaşık bir hâl alır. Oda rezonansları ve kaynağın tek veya iki kutuplu oluşu da karmaşıklığa dâhil olurlar. Etkiler konusunda detaya girmeden önce yapılarını anlamak adına kısaca bu etkilere göz atılmalıdır. Bunlar hoparlör/oda sistemlerinin karakteristik kısımlarını oluşturmaktadır ve artık açıkça görüldüğü gibi tek başına hoparlör cevabı pratikte ne duyulacağını tanımlamamaktadır.

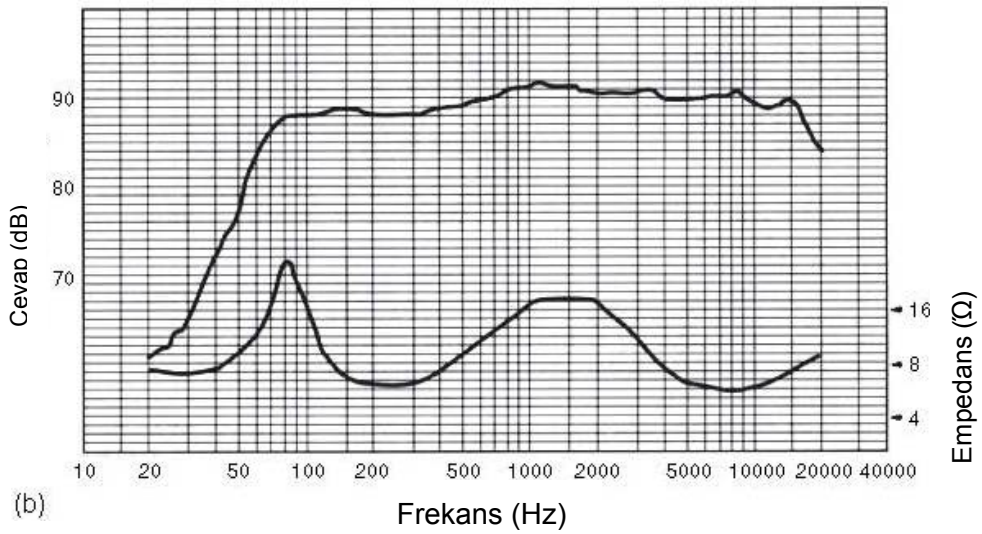


(a)

Frekans (Hz)

Frekans Cevabı/Empedans

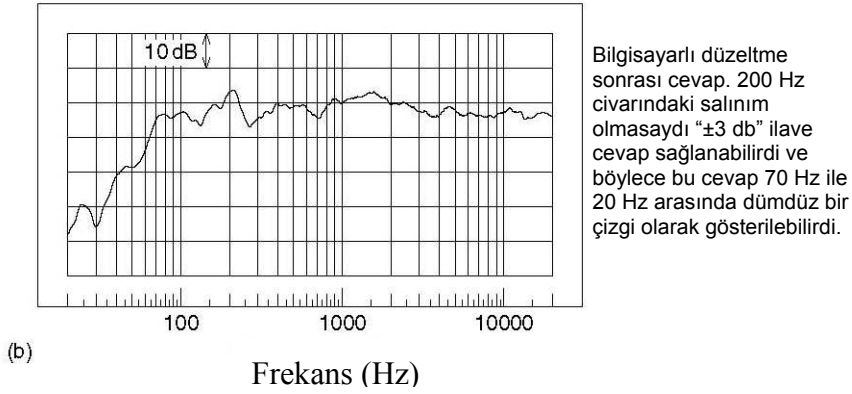
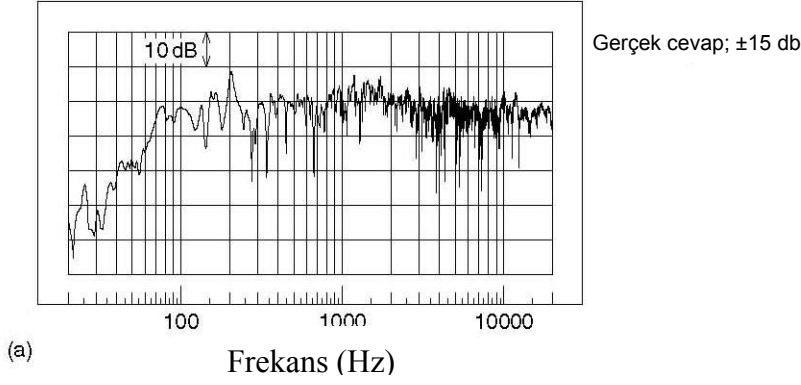
(1W, 1m eksende, anekoik odada.)



(b)

Frekans (Hz)

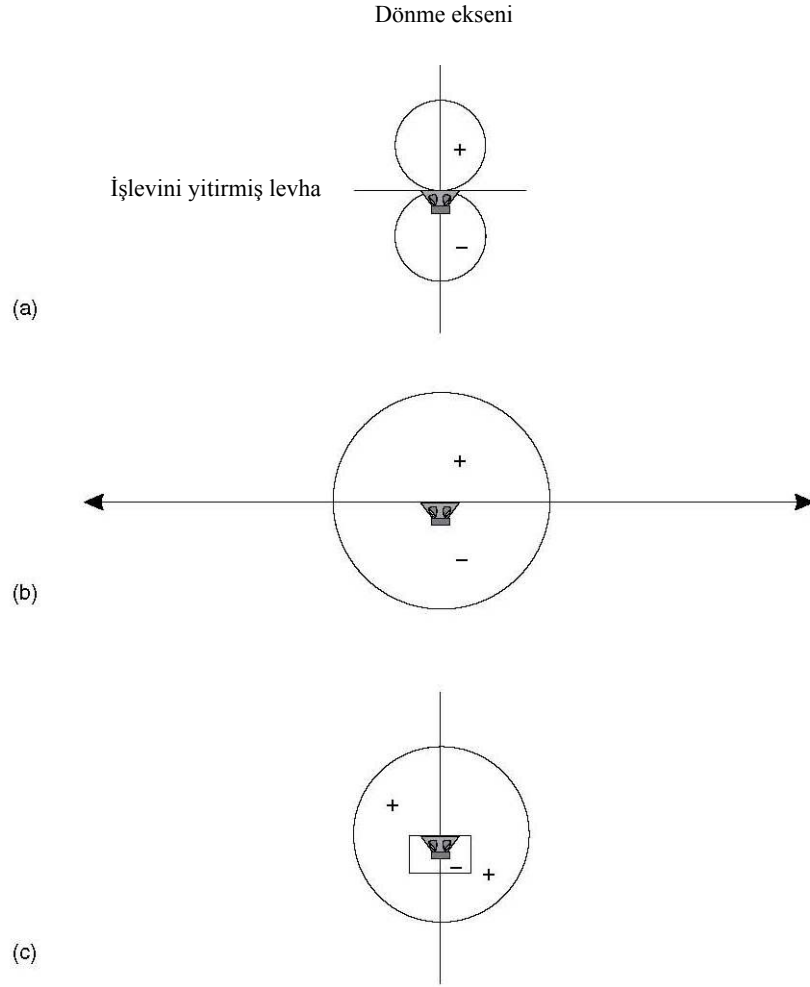
Şekil 3.16 : Frekans cevabı grafikleri. (a) Büyük ve güvenilir bir akustik araştırma enstitüsünde ölçülen düzeltilmemiş anekoik cevap. 85 Hz ile 20 kHz arası cevap ± 5 dB. (b) Aynı hoparlörün üreticinin literatüründeki muhtemelen oktav bandı düzeltmesi uygulandıktan sonraki cevabı. Frekans aralığı kayma sınırları belirtilmeden 60 Hz-20 kHz olarak belirtilmiş. Grafikler düzeltilmemiş eğrideki ± 5 dB yerine 85 Hz ile 20 kHz arası ± 2 dB gösteriyor. Hangi versiyonun gerçekte duyulanı yansıttığı ise hala bir tartışma konusu.



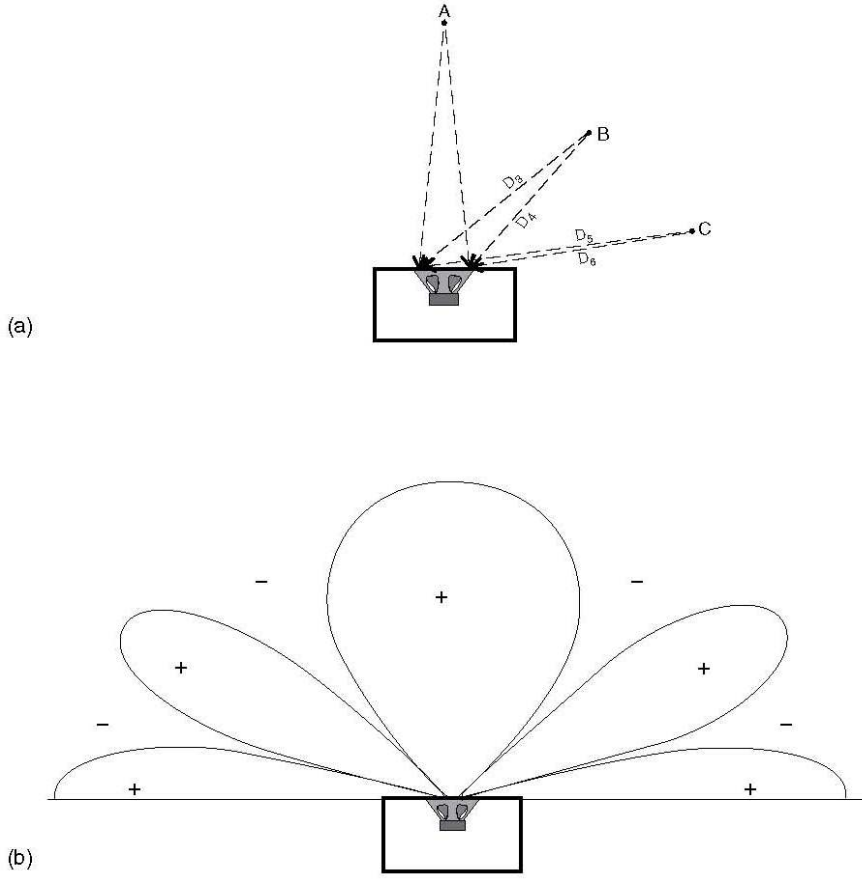
Şekil 3.17 : Normal bir odadaki hoparlörlerin düzeltilmiş ve düzeltilmemiş grafikleri. (a) Şekil 3.16'deki aynı hoparlörün basınç genlik cevabı fakat bu kez tipik bir odada yüksek çözünürlükte ölçülmüş. (b) Yukarıdaki (a)'ya benzer bir biçimde fakat bu defa bilgisayarlı cevap düzeltilmesi uygulandıktan sonra (Üreticilerin grafikleri broşürlerinde yayınlamadan önce uyguladıkları gibi).

3.4.1.1 Yayılma şablonları

Şekil 3.18'te alçak frekans hoparlör yayılımının üç polar grafiği görülmektedir. İlk şekil (a) çift kutuplu bir kaynağa aittir ve levha üzerindeki alışılmış bir woofer'in tipik yayılım grafiğini göstermektedir. Ayrıca bu etki arkası açık düz elektro akustik hoparlörler için de tipiktir. Diyafram ileri doğru sürüldüğünde, ön tarafında pozitif arka tarafında ise negatif bir basınç oluşur. Hoparlörün arkasındaki kabinin eksikliği, basıncın levhanın kenarları çevresinde dolaşarak sıfırlanmasına sebep olur. Hoparlörün monte edildiği levhanın büyüklüğü, kendinden küçük değerlerde sıfırlanmanın etkin olacağı frekans değerini belirler. Hoparlörün tam karşısındaki bir dinleyici için algılanan frekans cevabı, sıfırlanmanın başlayacağı frekans değerine inene kadar levhanın sonlu boyutu nedeni ile düz olacak (Kusursuz bir kaynak düşünülürse), bu değer altında ise sonuçta 18 dB/oktav değerine ulaşacak kırılma başlayacaktır.



Şekil 3.18 : Düşük frekanslardaki hoparlör yayılım grafikleri. (a) Çift kutuplu kaynak (b) tam sonsuz levha (c) tek kutuplu kaynak (Kabinli hoparlör gibi)

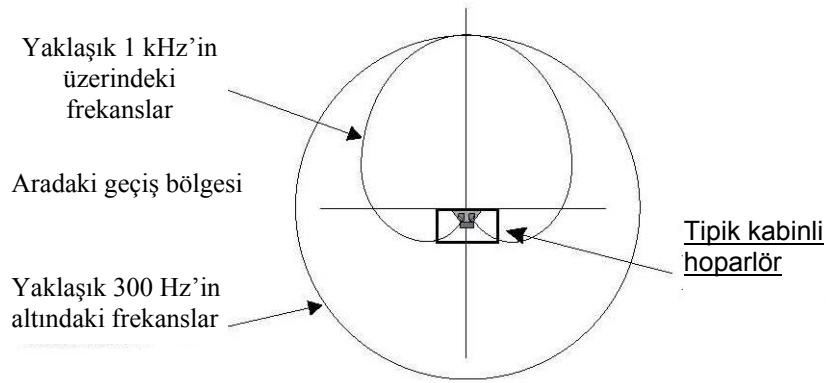


Şekil 3.19 : Kabinli bir hoparlörün yayılımı.

Levhanın uzun kenarındaki bir dinleyici için, hoparlör diyaframının ön ve arkasından yayılan basınçlar eşit ve zıt olacak dolayısıyla birbirlerini sıfırlayacaklardır. Bu da şekilde kaynağın her iki tarafındaki sıfır değerlerini açıklamaktadır. Eğer levha her iki yönde sonsuza dek uzatılabilseydi böyle bir sıfırlanma olmazdı. Dolayısıyla (a)'da gösterilen sürme şartları ile yayılım grafiği şekil 3.18 (b)'deki gibi olurdu. Bu durumda pozitif ve negatif basınç alanları sürücünün ön ve arka kısımlarında hala mevcuttur fakat levhanın sonsuz boyuttaki yapısı kenarların çevresinde sıfırlanmanın gerçekleşmesine engel olmaktadır. Levhanın pozitif ve negatif basınç alanlarını bölmesi nedeni ile yayılım grafiği küre şeklini almaktadır.

Sonsuz levha terimi çoğu zaman yanlış bir biçimde kabinli hoparlörleri tanımlamak için kullanılır. Şekil 3.18 (c)'de bir kabinin daha çok tek kutuplu bir kaynağı andırdığı görülmektedir. Tek kutuplu kaynak küçük (Mevzu bahis dalga boyu ile kıyaslandığında) titreşen bir kürenin yayılım grafiğini tanımlar. Küre büyüdükçe her yönde pozitif bir basınç yayılacak ve bir hoparlör kabini tam olarak kapalı ve

boşlukta ise diyaframın ön tarafındaki pozitif basınç düşük frekanslarda da her yönde yayılacak, diyafram dışarı hareket ettikçe negatif basınç içeride hapsedilecektir.



Şekil 3.20 : Yönlülük - Frekans ilişkisi.

Frekanslar, dalga boyunun yayım yapan diyaframın çevresine eşit olmaya başladığı değerlere kadar yükseldiğinde yayılım açısı daralmaya başlar. Bu Şekil 3.19'de gösterilmiştir. Burada görüldüğü gibi eksen dışındaki noktalarda, yayılım yapan diyaframın üzerindeki en yakın ve en uzak noktalara olan mesafe öyledir ki dinleme pozisyonuna göre yol uzunluğu farkı yarım dalga boyu kayar ve dolayısıyla bu noktalardan olan yayılmalar sıfırlanır. Genellikle bu noktaya ulaşıldığında, yani düzgün ileri doğru yayılım açısı çok daraldığında, yüksek frekansların ileri doğru yayılımını önlemek için daha küçük bir hoparlöre geçmek uygun olacaktır. (a) 'A' noktasında D1 ve D2 mesafeleri eşit ve her ikisi de 'A' ile koninin merkezi arasındaki mesafeye çok yakın değerdedir. Dolayısıyla koninin her noktasındaki yayılım 'A'ya aynı fazda ulaşacak ve yapıcı bir biçimde toplanacaktır. Fakat koninin her iki tarafından 'B' noktasına olan D3 ve D4 mesafeleri eşit değildir ve örnekteki şekilde bağıl uzunlukları 5 ve 4'tür. D4'ün 1 m olduğunu kabul edersek yaklaşık 16 cm'lik dalga boyuna sahip 2000 Hz'lik bir frekans koninin sağ tarafından 'B'ye kadar altı tam dalga boyu yol kat edecektir. Koninin sol tarafından 'B' noktasına olan mesafe 125 cm'dir, dolayısıyla 2000 Hz'lik frekans 'B' noktasına gelene kadar yedi buçuk dalga boyu mesafe kat edecektir (Sağ taraftan gelen dalga ile yarım dalga boyu (180°) faz farkı olacaktır) ve dolayısıyla sıfırlanacaktır. 'C' noktasında ise koninin sol ve sağ taraflarına olan mesafeler sırası ile 133 cm ve 100 cm'dir. Mesafeler 2000 Hz'de yaklaşık 8 ve 6 dalga boyuna denk gelecektir, yani dalgalar 'C' noktasına ulaştığında tekrar aynı fazda olacaktır. Hoparlörün ön tarafında hareket ettikçe ortaya çıkan bu faz ilişkisi (b)'de gösterilen tipik polar eğrinin ortaya

çıkmasına neden olur. (b) Yayılım yapan yüzeyin çapından küçük dalga boyuna sahip frekanslarda, verilen bir frekans değeri için + ve - işaretleri, diyaframın farklı taraflarından çıkan yayılımların yapıcı veya yıkıcı biçimde toplanacağı alanları gösterir. Her frekans kendine özel eğriye sahip olacaktır. Bu yüzden dalga boyunun yayılım yapan diyaframın çapına yaklaştığı frekans değerlerinde daha küçük bir sürücü üniteye geçmek yaygın bir biçimde uygulanmaktadır.

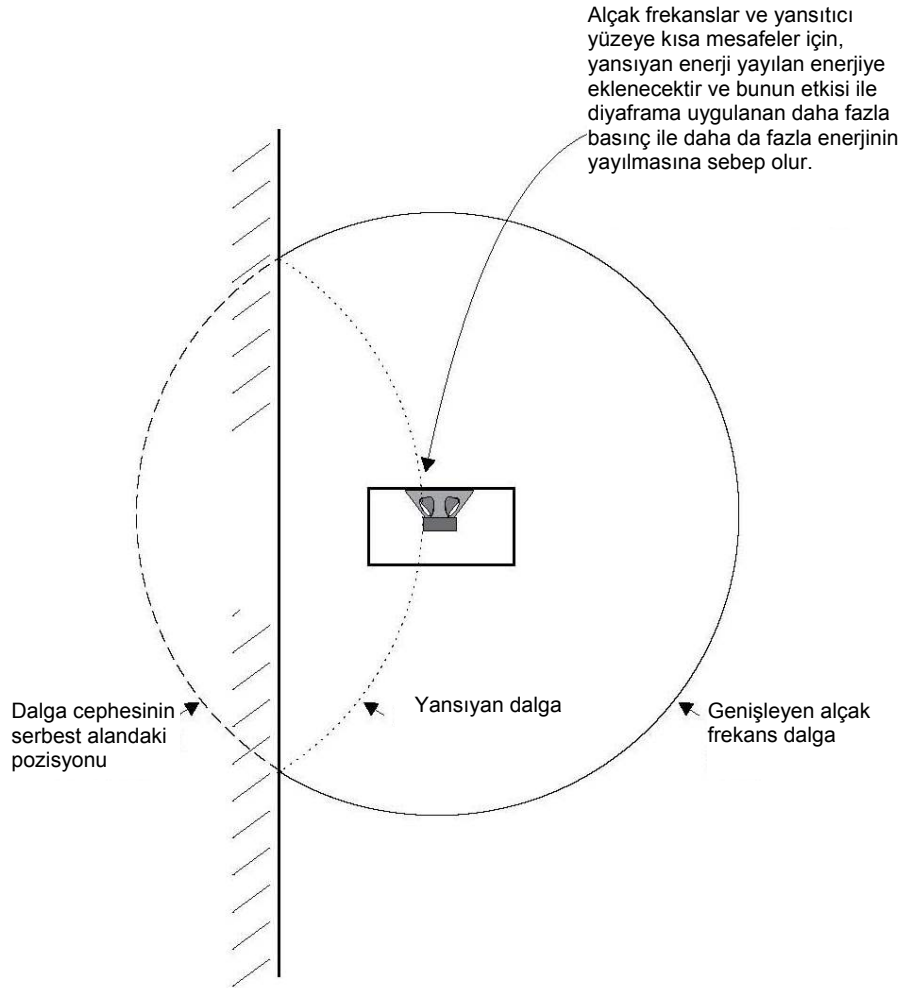
Geniş cevap aralıklı hoparlör tasarımlarının çoğunda orta frekanslara yaklaşıldıkça cevapta kademeli bir daralma meydana gelir. Uygun boyutlarda hoparlörler seçilerek bu cevap açısının yüksek frekanslara kadar korunması sağlanır. Normal kabinli bir hoparlörün tipik yayılım grafiği şekil 3.20’de görülmektedir. Şekildeki cevap grafiği kayıt stüdyolarında kullanılmak üzere tasarlanmış hoparlörlerin çoğunluğu için tipiktir.

3.4.1.2 Duvarlardaki yükleme

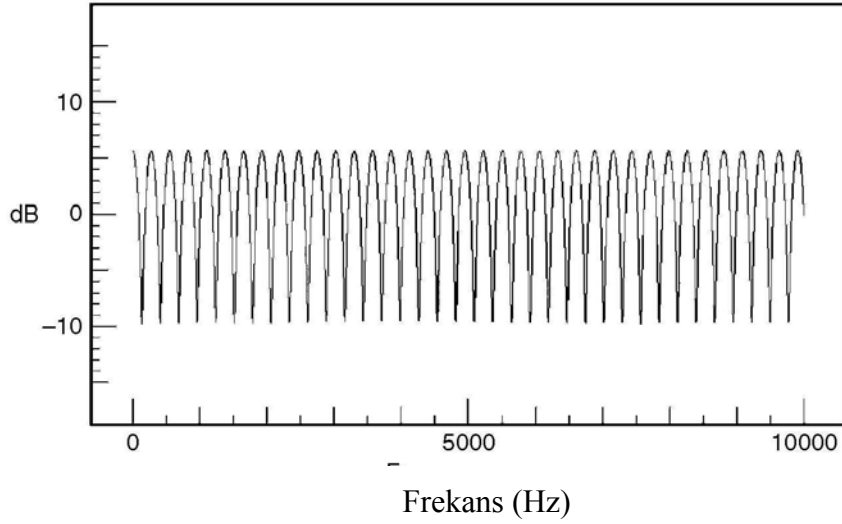
Şekil 3.20’deki gibi bir hoparlör, odanın duvarlarına doğru taşındığında alçak frekanslardaki etki Şekil 3.21’deki gibi olacaktır. Nokta nokta gösterilmiş olan yayılım eğrisi duvardan yansıyan dalgayı göstermektedir. Eğer duvar rijid, masif ve yansıtıcı bir malzemedir yapılmış ise yansıyan dalga, duvarın olmadığı durumda oluşacak dalga ile (Nokta nokta gösterilmiş olan) yön hariç tümüyle aynı özellikleri taşıyacaktır. Hoparlörün cevabındaki asıl farkın sebebi yansıyan enerjinin genişleyerek kaybolması yerine direkt enerjinin üstüne eklenmesidir. Düşük frekanslarda, hoparlörle duvar arasındaki mesafenin dalga boyuna nazaran kısa olduğu durumlarda yansıyan basınç direkt basınca eklenecektir. Fakat frekanslar yükseldikçe, yansıyan basıncın yayım yapan diyaframa kaynakla arasında faz farkı bulunarak ulaştığı değerlere gelecek ve bu durumda basınçlar sıfırlanacaktır. Daha da yüksek frekanslarda direkt ve yansıyan dalgalar, dalga boyları değiştikçe eklenme ve sıfırlanma bölgelerinden geçecektir. Cevaba etki Şekil 3.22’deki gibi tarak filtreleme biçiminde olacaktır. Bu şekilde isimlendirilmesinin sebebi lineer frekans skalasında etkinin çok dişli bir tarak şeklinde görülmesidir.

Tek kutuplu bir hoparlörü Şekil 3.21’deki gibi yerleştirdiğimizde, logaritmik skalalı cevap Şekil 3.23’deki eğriye benzeyecektir. Yüksek frekanslarda cevap kaynak pozisyonuna bağlı olduğu kadar alıcı pozisyonuna da bağlıdır. Düşük frekanslarda, cevabın alıcı pozisyonuna bağlı olmadığı durumlarda etki basınç cevabının genel

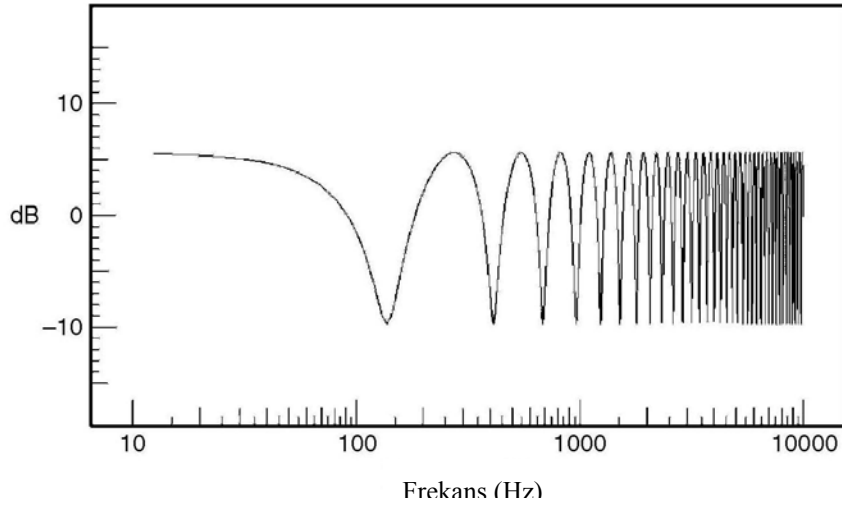
olarak artışı şeklinde olacaktır. Dolayısıyla kaynak ve alıcı için her pozisyonun kendine ait bir cevabı vardır. Etkilerin miktarı hakkında bir fikir verebilmek için Şekil 3.24 ve 3.25 alınan hoparlör cevaplarının, sadece hoparlörün odadaki pozisyonuna göre ne şekillerde değişebileceğini göstermektedir.



Şekil 3.21 : Diyaframdaki yansıtıcı yükleme.



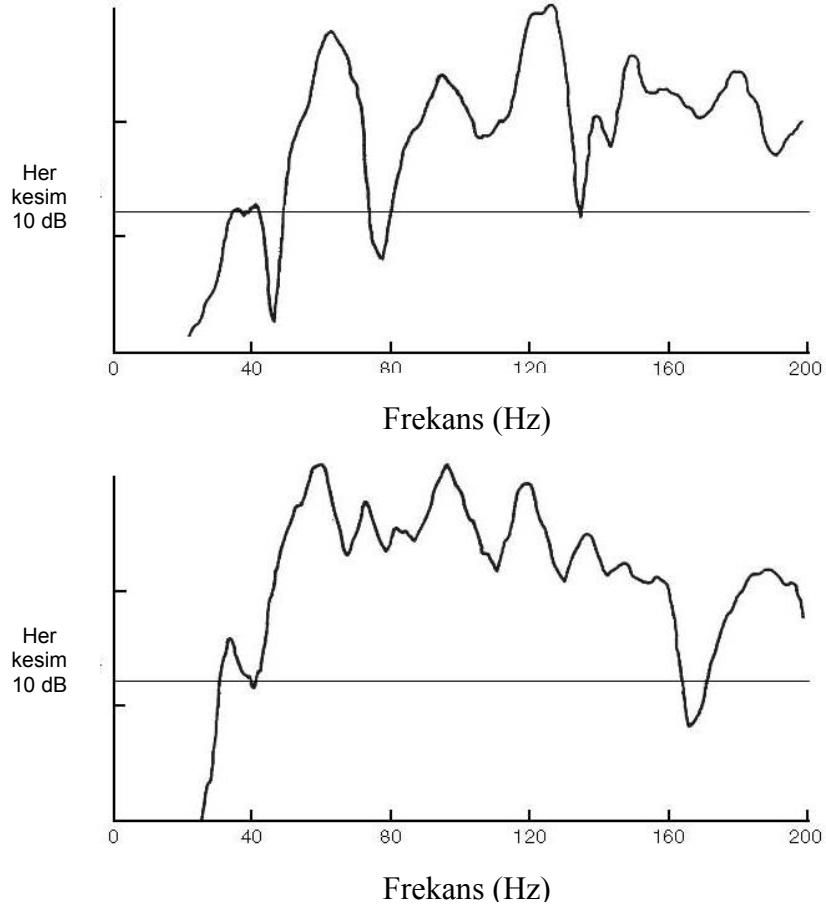
Şekil 3.22 : Tarak filtreleme. Şekil 3.6'daki gibi direkt sinyal ile yansımasının çakışmasının sonucudur, şekildeki gibi frekans cevabında bir artışa sebep olur. Lineer frekans skalasına çizildiğinde tarak filtreleme teriminin kaynağı da açıkça gözükür.



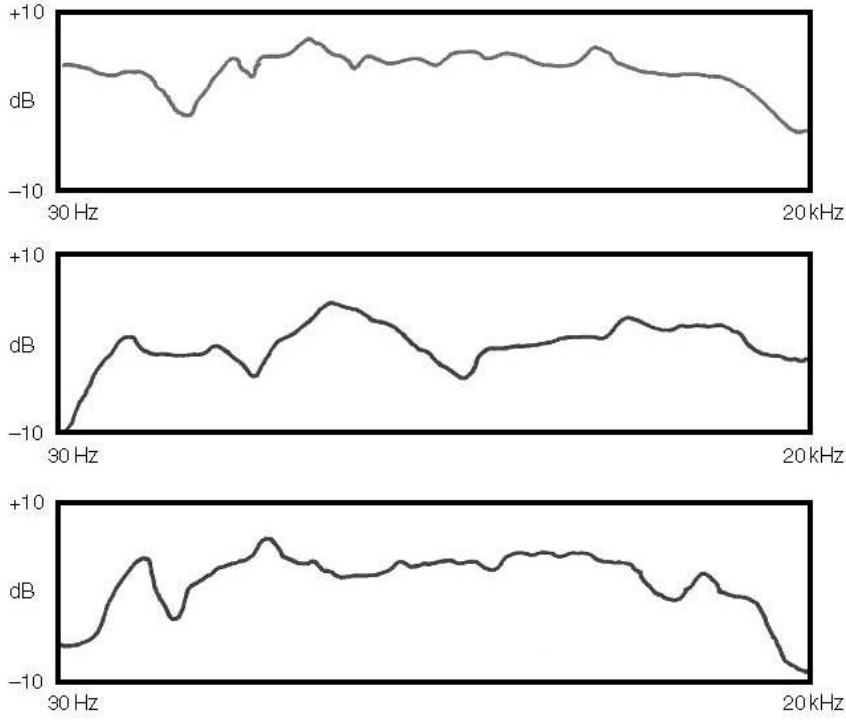
Şekil 3.23 : Şekil 3.7'deki ile aynı cevap bu kez logaritmik frekans skalası üzerinde çizilmiştir. Etkinin nasıl algılandığı konusunda daha iyi bir fikir vermekle beraber analitik amaçlar için etkinin periyodikliğini Şekil 3.7'deki kadar açık göstermemektedir.

Yansıyan basınç dalgalarının çakışması haricindeki başka bir durum ise yansıyan ve yayım yapan yüzeyler arasında karşılıklı eşleşme olmasıdır. Yansıyan dalga yayım yapan diyaframla aynı fazda geri döndüğünde, diyaframda sadece ortam hava basıncının sebep olacağından daha büyük bir basınç uygular. Artan basınç diyaframın daha fazla itmesini ve dolayısıyla daha fazla akustik güç yaymasını sağlar. Klasik elektro-manyetik konik bir hoparlör çok verimsizdir çünkü kütlesi karşı güç uyguladığı havadan daha fazla olan bir hacim-hız kaynağıdır. Hızı kendi kütlesi tarafından kontrol edilir ve dolayısıyla hareket ettirdiği havanın hacmi

hareketine direnç gösteren havanın hacminden bağımsızdır. Dolayısıyla diyafram yüzeyindeki hava basıncı arttığında diyafram hızı etkilenmeyecektir. Diyafram daha fazla yüklendikçe havaya daha fazla güç uygular, sonuç olarak daha fazla iş yapar ve güç yayar. Yansıyan basınçların karşılıklı eşleşmeleri ve aynı fazda çakışmaları pozitif ve negatif yönlerde beraber hareket eder. Basınçtaki artışlar da düşüşler de artacaktır.



Şekil 3.24 : Kontrol odasındaki bir hoparlörün iki farklı pozisyondaki düşük frekans cevabı eğrileri.



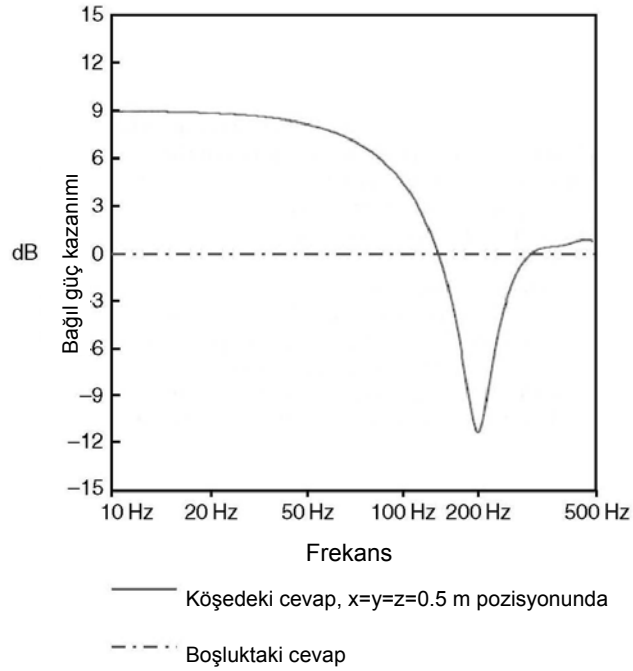
Şekil 3.25 : Bir hoparlörün aynı odada üç ayrı konumdaki cevabı. Değişiklikler tamamıyla konumdan kaynaklanmaktadır.

Şekil 3.26 ile 3.29'de yönsüz tek kutuplu bir kaynağın birbirine dik üç yüzeye (Örneğin köşeye) yakın yerleştirilmesi durumunda, yayılan ses gücündeki yansıma etkileri görülmektedir. Her durumda boşluktaki seviye 0 dB olacaktır. Bu şekillerden oda yüzeylerinin yansıma yükleyici etkilerinin çok büyük olduğu görülmektedir. Şekil 3.30 ile 3.33 çift kutuplu bir kaynağın etkilerini göstermektedir ve iki tür kaynağın etkilerinin çok farklı oldukları görülmektedir. Şekiller açıkça hoparlörlerin odadaki konumlarının önemine işaret etmektedir. Bu, hoparlör üreticilerinin sadece üç alanlı cevabı yayınlamak istemelerinin başlıca sebebidir çünkü oda içi bir cevabın genel sunumunun anlamlı olabilmesi için odaların etkileri çok değişken kalmaktadır.

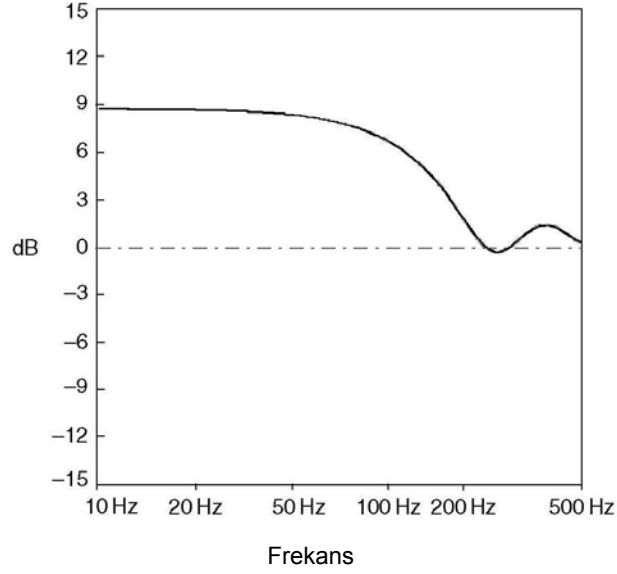
Hoparlör diyaframları, yansımaların diyaframlarla etkileşimleri gibi birbirleri ile etkileşirler. Şekil 3.26 ile 3.33'deki resimlerin yerlerine gerçek hoparlörler konulduğunda aynı cevap çeşitliliği gözlenecektir. Etkileşimin etkileri yansımadaki hoparlörün sürücü sinyali kısılarak azaltılabilir. Tamamıyla kapatılırsa yükleme etkisi kaybolacaktır. Akustik olarak bu durum sınırlar soğurucu maddelerden yapılarak simüle edilebilir. Anekoik bir odanın %99.99'lük soğurma durumunda yansımadaki hoparlör asıl hoparlörden bağıl olarak 40 dB daha kısık olacaktır. [%99.99 soğurulma sadece %0.01'lik yansıyan enerji anlamına gelmektedir;

%0.01=10,000'de 1 kademe=-40 dB.] Tek hoparlör cevabı serbest alan koşullarında olacağı duruma dönecektir.

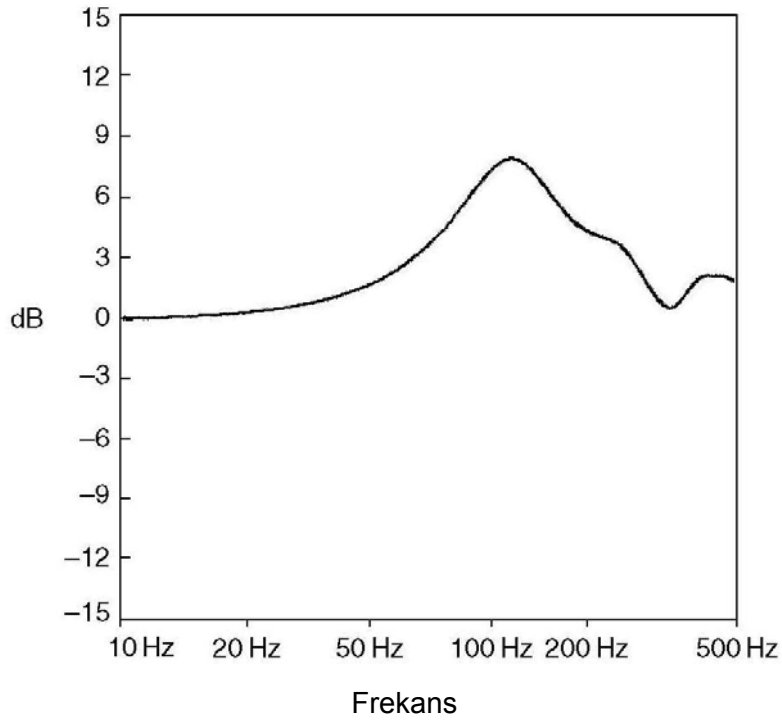
Eğer sınırın soğurma katsayısı 0.5 olur ise enerjinin yarısı yansiyacaktır, bu da yansımadaki hoparlörleri 3 dB kısmak anlamına gelecektir. Normal odalardaki soğurucu malzemeler frekansla düzgün bir biçimde soğurma yapmazlar. Bu yüzden Şekil 3.26 ila 3.33'de gözüken, kusursuz yansıtıcı duvarların yansıttığı varsayılarak elde edilen ideal cevap değişimleri (Her frekanstaki soğurma katsayısı 0), sınırların frekansa bağlı soğurmaları sebebi ile daha da değişecektir. Bu durum aynalı oda analogisinde yansımadaki hoparlörleri seviye kontrollerine ek olarak ekolayzırlarla da donatarak gösterilebilir. Bu yaklaşım birçok insanın karmaşık yansıtıcı eşleşme fikrini kafasında canlandırmasına yardımcı olur.



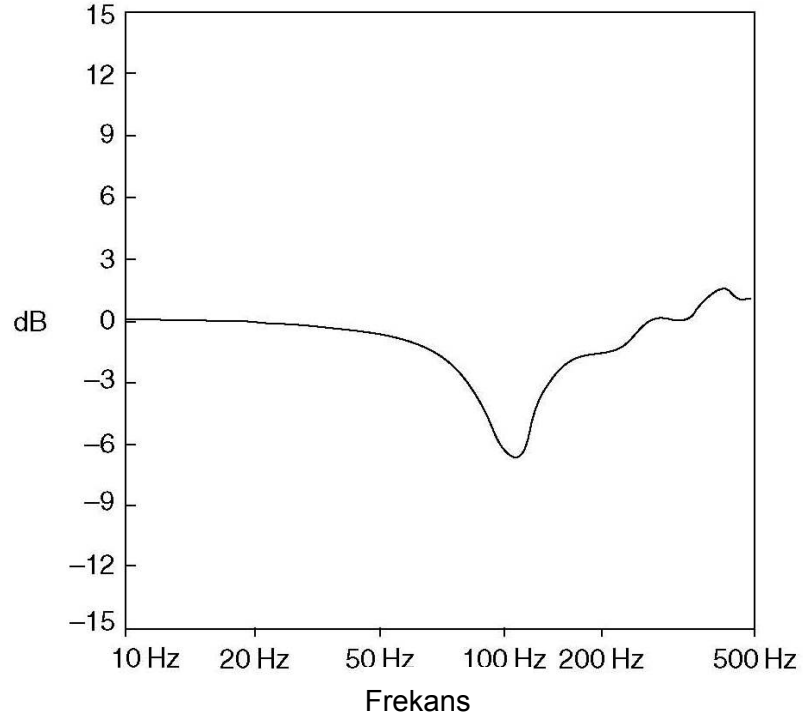
Şekil 3.26 : Birbirine dik üç duvarın yakınına yerleştirilmiş yönsüz bir ses kaynağının boşluktaki çıkış gücüne (Noktalı eğri) kıyasla ses çıkış gücü. Kaynak her bir duvardan 0.5 m mesafededir ($x=y=z=0.5$ m).



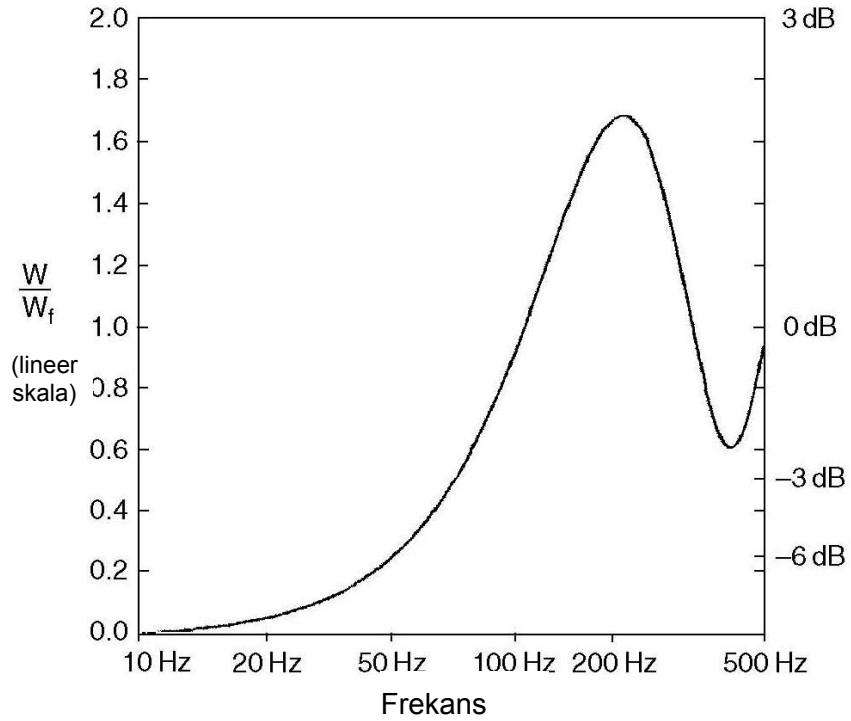
Şekil 3.27 : Şekil 3.11’de olduğu gibi boşluktakine kıyasla ses çıkış gücü. Bu defa hoparlörler asimetrik konumlandırılmış ($x=0.5$, $y=0.35$, $z=0.15$ m).



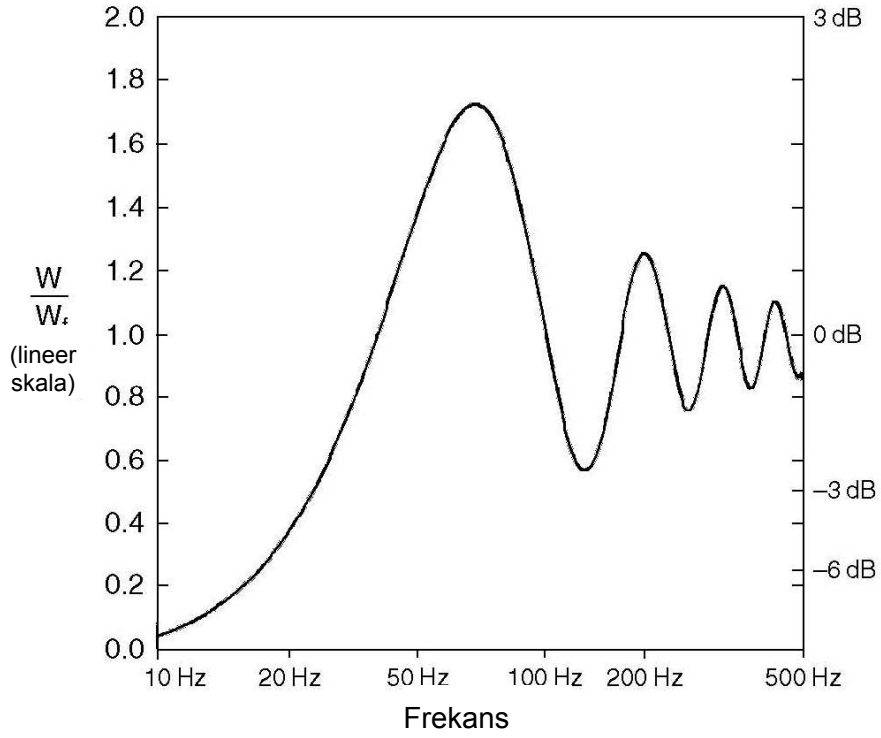
Şekil 3.28 : Yönsüz bir kaynak bir konumdan ($x=1$, $y=0.7$, $z=0.3$ m) köşeye yakın diğer bir konuma ($x=0.33$, $y=0.23$, $z=0.1$ m) hareket ettirildiğinde elde edilen güç farkı. 100 Hz’de yayılan güçteki artış yaklaşık 9 dB.



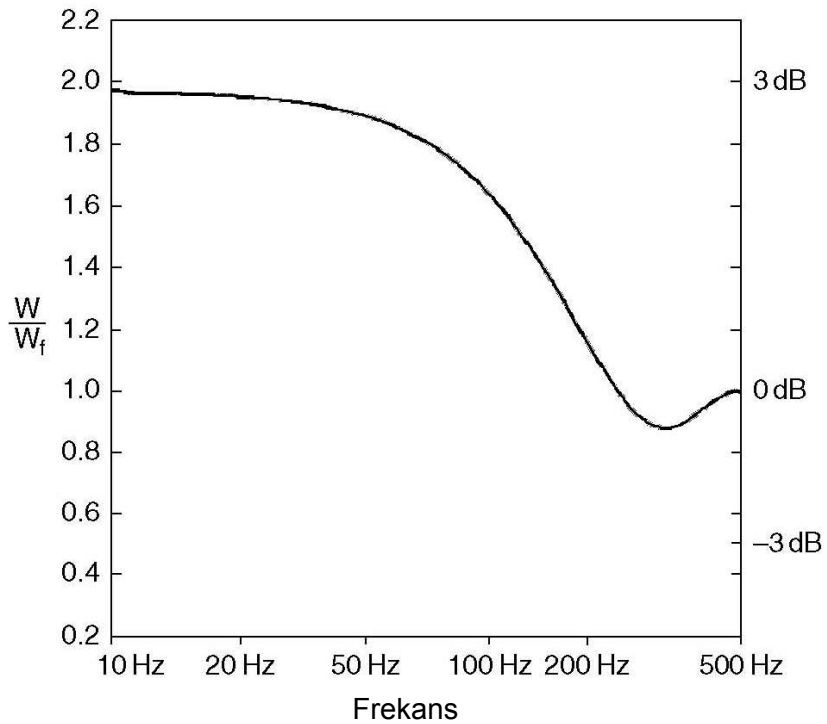
Şekil 3.29 : Yönsüz bir kaynak bir konumdan ($x=1, y=0.7, z=0.3$ m) daha yüksekteki diğer bir konuma ($x=1, y=0.7, z=0.8$ m) yükseltildiğinde elde edilen güç farkı. Burada her ne kadar 400 Hz’de ufak bir artış olsa da 100 Hz civarında yayılan güçte açıkça bir düşüş görülmektedir.



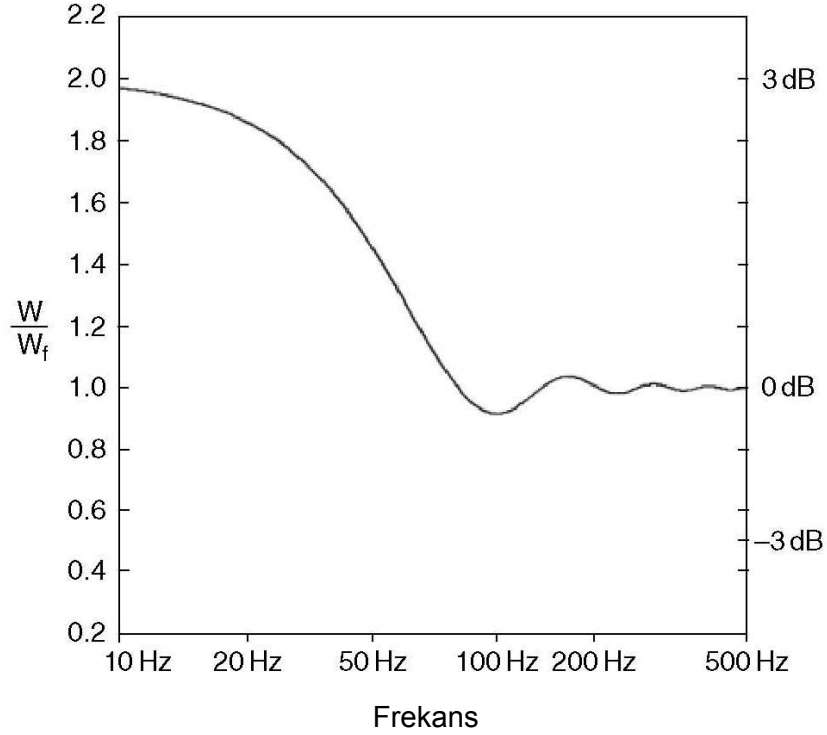
Şekil 3.30 : Katı bir duvara paralel levhalı tek kutuplu bir ses kaynağının boşluktakine kıyasla ses çıkış gücü. Duvara olan mesafe 0.5 m.



Şekil 3.31 : Katı bir duvara paralel levhalı tek kutuplu bir ses kaynağının boşluktakine kıyasla ses çıkış gücü. Duvara olan mesafe 1.5 m.



Şekil 3.32 : Katı bir duvara doğru açılarda yerleştirilmiş levhalı tek kutuplu bir ses kaynağının boşluktakine kıyasla ses çıkış gücü. Duvara mesafe 0.5 m.



Şekil 3.33 : Katı bir duvara doğru açılarda yerleştirilmiş levhalı tek kutuplu bir ses kaynağının boşluktakine kıyasla ses çıkış gücü. Duvara mesafe 1.5 m.

3.4.1.3 Çift kutuplar

Şekil 3.26 ila 3.29'deki tek kutup cevapları şekil 3.30 ila 3.33'deki çift kutup kaynak eğrileri ile kıyaslandığında görülmektedir ki odalardaki yayım yapan bu iki tür kaynak odalarda çok farklı tutumlar sergiler. Eksen üzerindeki anekoik cevaplar sanal olarak aynı olsa da, duvarların varlığı cevapları çok farklı şekillerde etkiler ve hoparlörler stereo çiftler halinde kullanıldığında bu durum daha da belirginleşir.

Birçok stereo program malzemesi, alçak frekans içeriğinin çoğunluğunu mix'te merkezi hayali imajlar şeklinde dağıtır. İki tek kutuplu kaynak (Çoğu kabin hoparlör gibi) düşük frekansları mümkün olan her yönde yayar. Nispeten daha sabit sinyallerde, etkileşim alanı dik bir dalga şekli oluşturur ve iki farklı kaynak odanın birçok modunu tetiklemede değişik derecelerde etkinlik gösterir.

Kontrast olarak, çift kutuplu hoparlörlerin çok yönlü, sekiz şeklindeki yayılım eğrileri prensipte ön arka eksenindeki durumları tetikler. Ayrıca hız anti-düğümünde olduklarında (Basınç düğümleri), modları en çok etkilerler ki bu durum tek kutuplu kaynak davranışının tam zıttıdır çünkü bunlar basınç gradyenli kaynaklardır, hacim-hız kaynakları değil. Bu yüzden iki tip yayılım için tipik tetikleme eğrileri çok farklıdır ve tek fark da bu değildir çünkü elektrostatik çift

kutuplu hoparlörler çok hafif diyaframlarıyla tam basınç kaynağı olma eğilimindedirler ve çıktıları diyaframdaki basınç yükünden bağımsızdır. Ekstra yükleme (Diyaframdaki basınç) ile yapılan her ilave iş sonuçta diyafram yer değiştirmesindeki azalma ile dengelenecektir.

Çift kutup yayılımına farklı bir bakış açısı ise, pratikteki neredeyse tüm durumlarda hoparlörler diğerine sıfır taraflarını sunduğundan, fiilen bir hoparlörden gelen hiçbir yayılım diğerinin diyaframına direkt olarak çarpmaz. Karşılıklı eşleşme, birden fazla sürücünün birbirlerinin çıktısını karşılıklı olarak artırdığı ve dolayısıyla sadece daha az enerjili yansıtıcı güzergâhlarda gerçekleşebilen bir mekanizmadır. Çift kutuplu kaynakların uzak alan cevapları tek kutuplularla kıyaslandığında (Herhangi bir odada) daha az karakteristik yoğunluk ile fakat enerjilendirilmiş bazı modların daha güçlü olması yönünde karakterize olma eğilimindedir. Bunun da ötesinde hoparlöre belli bir mesafede merkezdeki noktalar haricinde, düşük frekanslardaki karşılıklı eşleşme artışı (Tek kutuplu kaynakların tutarlı sinyaller yayarkenki karakteristiği) çift kutuplu kaynağın bileşik çıktısında gerçekleşmeyecektir. Bu odaların ortam cevabında daha az düşük frekans içeriği olmasına sebep olur.

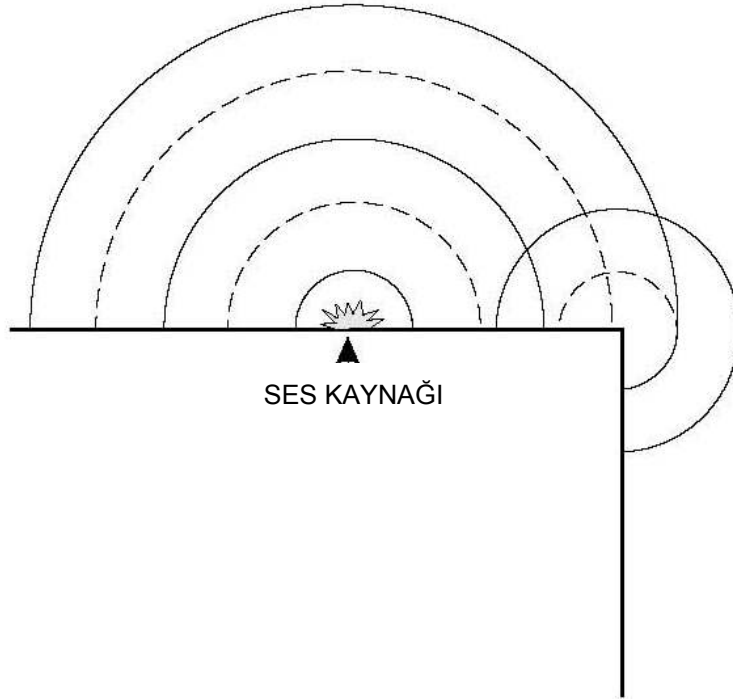
Bütün bu faktörler ile birlikte çift kutuplu kaynakların bir basınç alanını süremeyeceği hesaba katılırsa, eksen üzerindeki bağımsız anekoik cevaplar tek kutuplu kaynaklara çok yakın olsa dahi, çoğu çift kutuplu olan elektrostatik hoparlörlerin bas yönünden zayıf olduğu inancı güç kazanmaktadır. Sonuçta dinleme pozisyonunda düzgün bir cevap elde edilmek isteniyorsa çift kutuplu hoparlörler oda sınırları ve odadaki tipik yayılımlar hesaba katılarak yerleştirilmelidir. Aslında bu konular dinleme pozisyonunun belirlenmesini sağlar.

3.4.1.4 Kırılım kaynakları

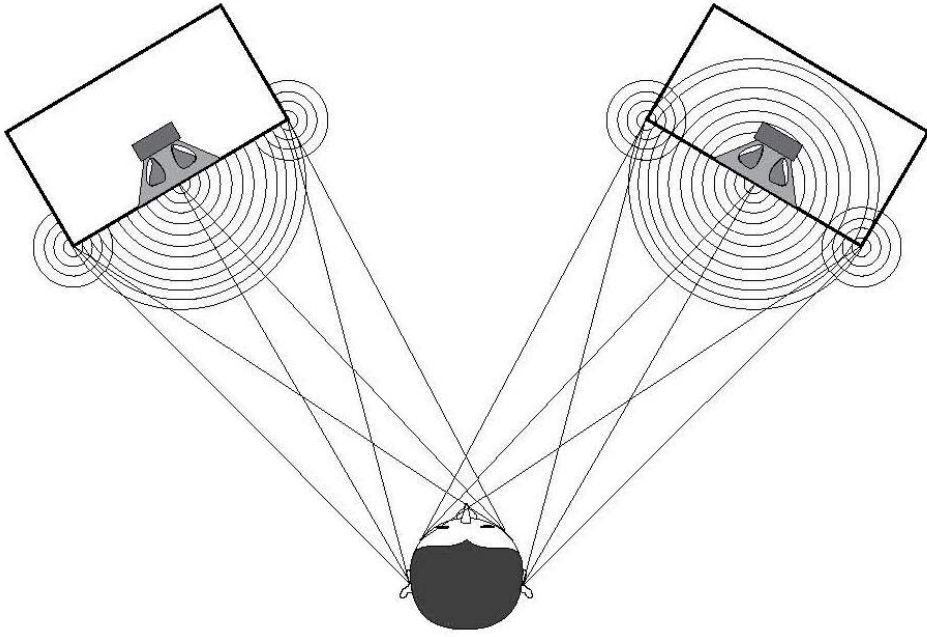
Şekil 3.34 hoparlör kabinlerinin kenarlarından dolayı meydana gelen kırılımları göstermektedir. Gerçekleşen ise genişleyerek yayılan dalganın hoparlör kabininin ön yüzeyinde kenar gibi bir kesinti noktasına ulaşana kadar yol almasıdır. Bu noktadan sonra dalga kenarın yakınlarında daha hızlı genişlemeye çalışacak fakat genişlediği bu yeni ve büyük hacimde aynı basıncı sürdüremeyecektir. Genişleme oranındaki bu ani artış akustik empedanstaki değişiklikten kaynaklanmaktadır ve empedanstaki her değişim yansımış bir dalgayı geri gönderecektir. (Eğer herhangi bir noktada ani bir basınç değişimi gerçekleşirse, ses o noktadan yayılacaktır. Bir nokta kaynak veya

küçük bir hoparlör sadece yarattığı basınç değişiklikleri ile güç yayılımını gerçekleştirmektedir). Köşeyi dönen yayılım kaynağıyla aynı fazdadır fakat yansıyan dalga basınçtaki ani düşüş sebebiyle (Dalga kenara ulaştığında daha kolay genişleyebilir çünkü daha az kısıtlanmaktadır) kaynağa farklı fazda geri döner. Bu da kenarda meydana gelen süreksizlikten yayılan küresel tipli bir dalga etkisi gösterir ve dinleyiciye Şekil 3.35'deki gibi ulaşır. Etkinin tümü, kabin kenarlarında ilave kaynaklar ile hoparlörün sonsuz bir levha üzerinde olduğu duruma benzetilebilir.

Bir hoparlörün yerleştirilebileceği odalardaki nesnelere, özellikle mikserler gibi hoparlöre yakın olanlar, hoparlörün serbest alan cevabını kesen birer kırılım kaynağı gibi davranır.



Şekil 3.34 : Kırılım kaynakları. Keskin bir kenarda dalga genişlemesindeki ani artış görülmektedir. Köşenin çevresindeki kırılan dalga kenardaki dalga ile aynı fazdadır fakat kenardan kaynağa doğru yol alan kırılmış dalga ters fazdadır.

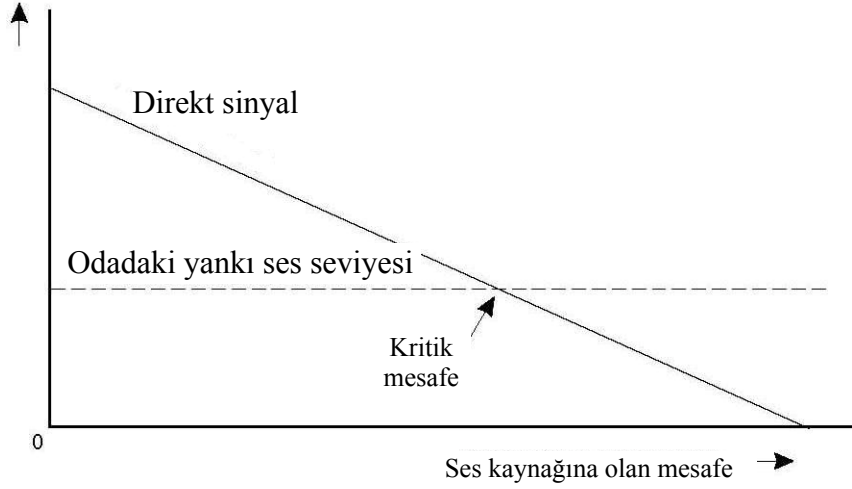


Şekil 3.35 : Kabin kırılmaları. Hoparlör kabinlerinin keskin kenarları, mikserler ve hoparlör ile dinleyici arasındaki her ani kesitsel değişim stereo imajı bozacak ikincil kırılım kaynakları olacaktır. Bu problemi engellemek için hoparlör kabinlerinin kenarları genellikle yuvarlak ya da eğimlidir.

3.4.2 Odalardaki yankı ve kritik mesafe

Gerçek yankılanma, herhangi bir anda odadaki herhangi bir noktada eşit enerjinin bulunduğu dağınık bir ses alanı şeklindedir. Fakat tipik rezonanslar, farklı kaynakların bitişikliği ve kaynaktan net enerji akışları kayıt stüdyosu kontrol odalarında bu tip mekânsal dağınık ses alanlarının hiçbir zaman oluşmamasını sağlar. Yine de özellikle bazı kontrol odası tasarımlarında, kabul edilebilir bir dağınık sönüm alanı normalde mevcuttur ki bu da bir sesin hoparlörden yayıldıktan sonra odada sözde yankılı bir alanın gelişeceği anlamına gelir. Bu yüzden özellikle sessizlikten hemen sonraki anlar haricinde, hoparlörden çıkan ses ile sınırlardan yansıyan ses alanlarının bir karışımı mevcut olacaktır. Büyük, yankılı ve hoparlörün bir uça dinleyicinin ise diğer uça olduğu bir ortamda kaynak ile aradaki mesafenin iki katına çıktığı her durumda direkt ses alanı 6 dB azalacak fakat yankı alanı her kısımda nispeten sabit olacaktır. Dinleyicinin durduğu noktada yankı ses alanı direkt ses alanından 20 dB veya daha fazla olabilir ve odanın cevabı açıkça baskın kaynak olacaktır. Şekil 3.36'da da görülebileceği gibi dinleyicinin kaynaktan uzaklaştığı anekoik ortamlarda, direkt alan sahası terk edilerek yankı alanı sahasına girilecektir. Her iki alanın da eşit olduğu nokta kritik mesafe olarak tanımlanır ki hemen bu

noktadan sonra kaynaktan uzaklaşılsa da ses seviyesi azalma eğilimi göstermeyecektir.



Şekil 3.36 : Kritik mesafe. Bir odada direkt ses kaynağına olan mesafe ile azalır fakat odadaki yankı seviyesi eşit olarak dağılır. Kritik mesafe düşmekte olan direkt sinyal seviyesinin (Dinleyici kaynaktan uzaklaşırken) yankı seviyesi ile aynı değere geldiği noktadır. Kritik mesafenin altındaki uzaklıklarda dinleyici baskın olarak direkt alanda, üstündeki uzaklıklarda ise yankı alanındadır.

Şekil 3.35’de düşük frekansların her yönde yayılma eğilimi gösterdikleri, yüksek frekansların ise kaynaktan düz bir biçimde yönlü olarak yayıldıkları görülmektedir. Bu durumun kritik mesafe konusundaki önemi ise düşük frekansların daha hızlı bir biçimde daha fazla engele çarpması ve dolayısıyla yönlü yüksek frekanslara oranla yankı alanını daha güçlü bir biçimde sürmesidir. Sonuçta kritik mesafe frekanstan bağımsız olacak ve kaynaktan uzaklaşıldığında oluşan etki her frekansta eşit biçimde hissedilmeyecektir. Aslında kritik mesafe sadece oda sabitine (O) ve hoparlörün yönlülüğüne (Q) bağlıdır. Oda sabiti:

$$R = \frac{S\alpha}{(1-\alpha)} \quad (3.1)$$

Formülde S odanın yüzey alanı (m²) ve α ise yüzeylerin ortalama emilim katsayısıdır. Q, bir kürenin alanının hoparlörün direkt alanında kalan alana bölünmesi ile elde edilir. Yönlülük katsayısı (DI) hoparlörün ileriye doğru olan eksenini üzerinde yayılan ses basıncının, aynı kısımda eşdeğer ses enerjisinin çok yönlü olarak yayılacağı durumdaki ses basıncına olan oranıdır. Sonuç olarak, çok yönlü alçak frekans yayılımı için DI ve Q değerleri 1 olacaktır.

Bir evin, 85 m² yüzey alanı bulunan alçı duvarlı ve orta düzeyde mobilya bulunduran bir odasında, ortalama emilim katsayısı yaklaşık 0.2 olacaktır. Böyle bir odada, çok yönlü bir kaynak var iken kritik mesafe aşağıdaki formül ile bulunabilir.

$$\text{Kritik mesafe } (r) = 0.141\sqrt{RQ} \quad (3.2)$$

Çok yönlü hoparlörün yönlülüğü 1 olacak ve R ifadesi 3.1 denklemini ile bulunabilecektir:

$$R = \frac{85 \times 0.2}{1 - 0.2}$$

$$R = \frac{17}{0.8}$$

$$R = 21.25$$

Dolayısıyla bu odanın düşük frekanslardaki kritik mesafesi:

$$= 0.141\sqrt{RQ} \quad (3.2 \text{ denkleminde})$$

$$= 0.141\sqrt{21.25 \times 1}$$

$$= 0.141 \times 4.61$$

0.65 metre olacaktır.

Eğer yüksek frekansların yönlülüğü yaklaşık 10 olursa (Şekildeki eğride de böyle olacaktır) kritik mesafe (r);

$$r = 0.141\sqrt{21.25 \times 10}$$

$$= 0.141\sqrt{212.5}$$

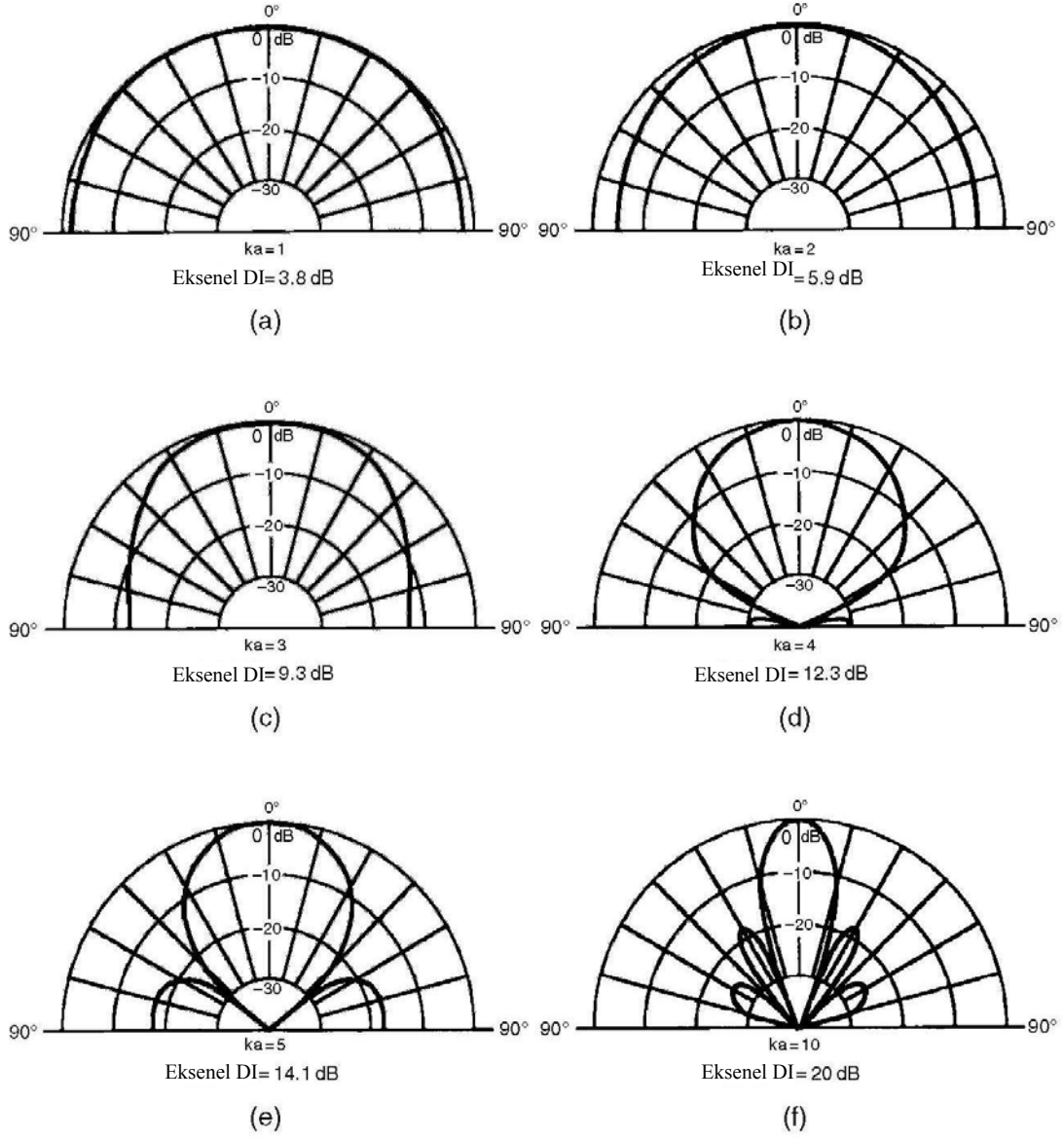
$$= 0.141 \times 14.6$$

= 2.06 metre olacaktır.

Şekil 3.22’de konik bir hoparlör gibi bir kaynaktan gelen yayılımda frekansla artan yönlülük görülmektedir.

5 m x 4 m x 2.5 m ölçülerinde bir odanın yüzey alanı önceki hesaplarda kullanılan değer olan 85 m² olacaktır. Her ne kadar sezgisel olarak ters görünse de emilim katsayısı 0.2 olan böyle bir odada dinleyici ile hoparlör arası mesafelerin 65 cm’den

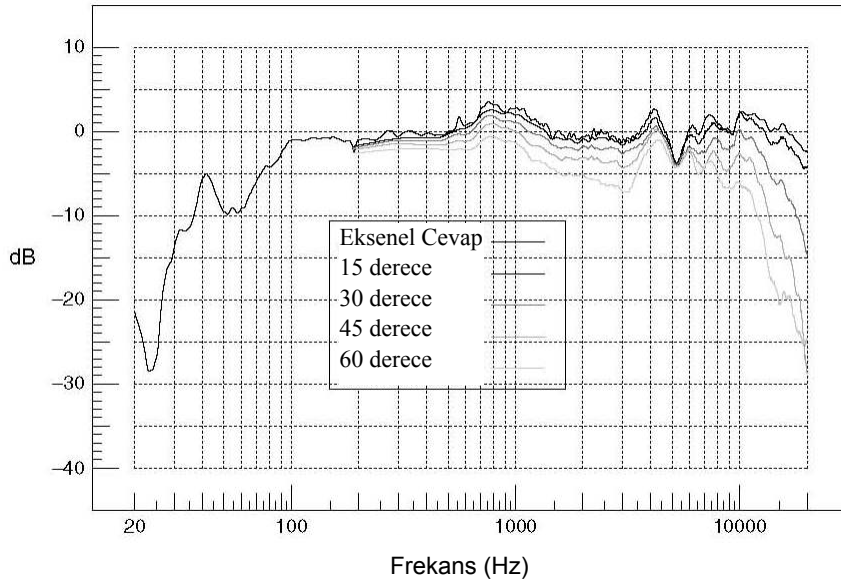
büyük olduğu durumlarda odanın cevabı genel alçak frekans cevabına hakim olmaya başlayacaktır. Yüksek frekanslarda tanımlanan hoparlör için mesafe 2 m civarında olacaktır ki bu da çoğu evsel dinleme odasında ve kötü kontrol odalarındaki durumdur.



Şekil 3.37 : Büyük bir levhaya monte edilmiş bir pistonun yönlülük cevabı. Yönlülüğün frekans ile arttığı (Yayılm açısı azalır) görülmektedir. Belirli diyafram ölçülerinin ve frekansların etkileri ka şeklinden hesaplanabilir. Burada;
 k = dalga sayısı = $2\pi /$ metre cinsinden dalga boyu
 a = metre cinsinden pistonun (diyafram) yarıçapı

3.4.3 Ses güç yayılımı

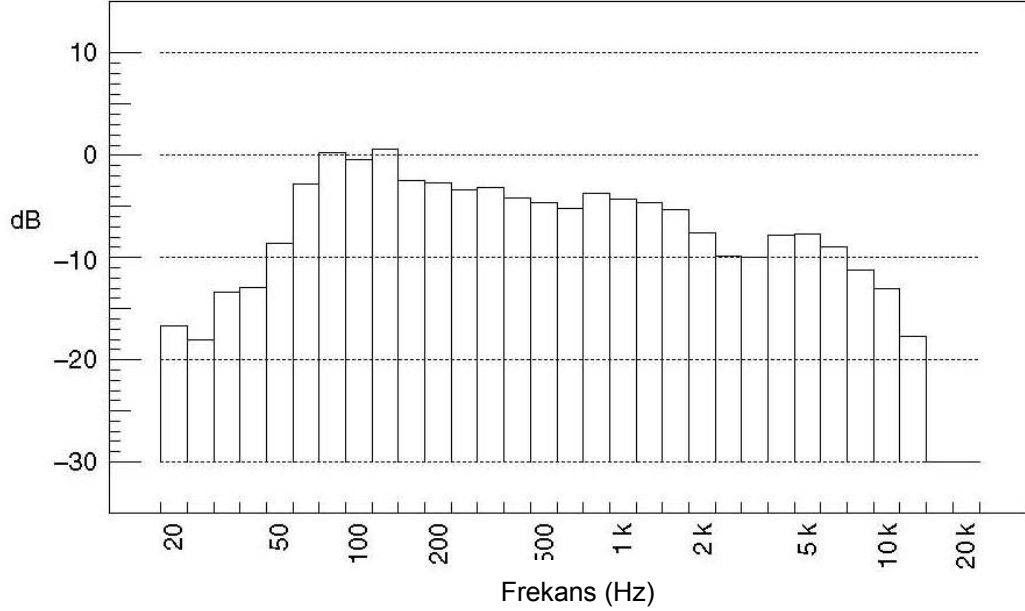
Şekil 3.38 anekoik bir odadaki bir hoparlörün eksen üzerindeki basınç genlik cevabını (Frekans cevabı) göstermektedir. Şekil 3.39 aynı hoparlörün bir yankı odasında ölçülen cevabıdır ve toplam güce eklenmektedir. Eğriler arasındaki fark frekans düştükçe azalan yönlülük ile eksen üzerinde düz bir cevap elde etmek için daha fazla güç gerektiğini göstermektedir. Şekil 3.39’te eksen üstündeki seviyelerin Şekil 3.38’dekiler ile aynı olmasına rağmen 2 kHz ile kıyaslandığında 100 Hz’de yaklaşık 10 kat daha fazla gücün yayıldığı (10 dB daha fazla) açıkça görülmektedir. Bu da; tipik hoparlörden düşük frekanslarda odayı tahrik edecek daha fazla gücün elde edilebileceği ve bir önceki grafikte gösterildiği gibi düşük frekanslarda daha kısa olan kritik mesafenin artacağı anlamına gelir.



Şekil 3.38 : Anekoik bir odadaki hoparlörün eksenel ve eksen dışı cevapları.

Evsel koşullarda oturma odalarının akustiği üzerinde fazla kontrol şansı bulunmamaktadır. Daha kolay değiştirilebilecek değerlerle mesela hoparlör yönlülüğü ile oynama şansı vardır. Yansıtıcı yan duvarların kaçınılmaz olduğu durumlarda daha dar yüksek frekans yönlülüğü yüksek frekans yansımalarının çok fazla oluşmasını önler. Bu da daha fazla yüksek frekansı direkt olarak dinleyiciye yönlterek seste daha fazla detayın aktarılmasını sağlar. Fakat yankıda daha fazla olan tek yönlü alçak frekans enerjisinin baskın olması nedeniyle daha “koyu” bir karakteristiğe sahip olma eğilimi olacaktır. Her frekansta tek yönlü olan bir hoparlör, frekansla muntazam bir yankılanma zamanına sahip olan bir odada daha düzgün

dengelenmiş direkt ve yankılanma cevapları verecektir. Fakat kritik mesafe her frekansta çok kısa olacak ve dolayısıyla daha karışık oda sesleri direkt sesteki daha fazla detayı maskeleyecektir.



Şekil 3.39 : Şekil 3.23'deki hoparlörün toplam güç cevabı, bu defa ISVR'deki yankı odasında yapılmış.

Anekoik bir odada değişken yönlülüğü olan veya tek yönlü bir hoparlörün düz cevapları arasında eksen üzerinde çok az fark bulunacaktır. Tek fark ise ikincisinin yüksek frekanslarda daha fazla güç yayacak olmasıdır. Çünkü bu gücün büyük bir kısmı gereksiz yönlerde anlamsızca yayılacaktır.

Birçok evsel hoparlör profesyonel kullanımda çok fazla sayılacak eksen üzerinde yüksek frekansa sahiptir. Evlerdeki yumuşak malzemeli mobilyalar yüksek frekansları alçak frekanslara oranla çok daha fazla emdiğinden bu tip hoparlörler özellikle bu şekilde tasarlanmaktadır. Parlak tiz cevabının amacı daha koyu alçak frekansça baskın yankılanmayı dengelemektir fakat daha ciddi dinleyiciler için bu yorucu bir durum olabilir. Yine de piyasadaki evsel kullanıma uygun hoparlörlerin çok çeşitli olması sadece pazarlama savaşlarının bir sonucu değildir. Evlerdeki akustik koşullarda çok daha fazla çeşitlilik olduğundan bunların piyasada bulunması bir gerekliliktir. Sadece zevk için dinleyecek birçok insan hi-fi mağazalarından alışveriş yapmayı tercih ederler ki buralardaki koşullar ev ortamlarından oldukça farklıdır. Müşterilerin eve gittiklerinde hoparlörler konusunda genellikle hayal kırıklığına uğramasının sebebi budur. Açıkçası eğer odanın cevabı çok baskınsa

mağazadaki “en uygun” akustik koşullar başka bir oda için pekala en uygun olmayabilir. Hoparlörlerin odadaki konumlarının da rolü çok büyüktür örneğin; mağazada bir duvarın tam ortasına yerleştirilmiş bir hoparlör kulağa dengeli gelse de evde odanın köşesine yerleştirildiğinde bas yönünden baskın algılanabilir. (Bkz. Şekil 3.26-3.29)

Genel frekans cevaplarındaki ve yayılım modellerindeki çeşitlilik evsel dinleme deneyiminin kontrol edilmesini sağlar ki böyle bir seçeneğin var olması da iyidir. Hem hoparlörlerin hem de bunların konumlandırılmalarının akıllıca yapılması dengeli bir cevap alınmasını sağlar. Konumlandırma için evdeki en uygun yer köşeler ise bas yönünden zayıf bir hoparlör seçilebilir. Beğenilerek kullanılan ve mevcut konumunda bas yönünden zayıf olduğu düşünülen bir hoparlör başka bir evde köşelere yaklaştırıldığında daha dengeli bir genel cevap elde edilmesi mümkündür. Bunlar elektro-akustik dengelemenin örnekleridir. Buradaki asıl amaç bas daha fazla olsa da, odanın yükü amaca uygun olmasa da kayıttan kulağa en iyi aktarımı sağlamaktır.

3.4.4 Düzeltici tedbirler

Bir orkestranın çello ve perküsyon kısımlarının beraber çaldığını ve bunların zayıf kontrollü bir odada hoparlörlerden dinlendiğini varsayalım. Odadaki rezonans problemi nedeni ile dinleme pozisyonunda 120 Hz’de bir tepe noktası olduğunu da varsayalım. Verilen dinleme pozisyonunda hoparlör cevabının 120 Hz’deki artışını dengelemek için bir ekolayzır kullanacak olsaydık rezonans etkisi ciddi biçimde azaltılabilir ve çellolar 120 Hz açısından zengin notalar çaldıklarında oluşan istenmeyen “bum” ortadan kaldırılabilirdi. Fakat hoparlörlerden 120 Hz bölgesi azaltıldığında perküsyonların da aynı frekans bölgesinden çalınmış olur. Fakat çellolar ve perküsyon enstrümanları çok farklı müzik aletleridir. Bir çello cevabı geliştikçe “konuşmaya” başlar, dolayısıyla dinleme odasının şekilsel yapısından kaynaklanan sabit-devamlı cevabı çellonun düzgünce algılanabilmesi için hayati önem taşır. Tam tersine bir perküsyon enstrümanının karakteri atağındadır ve oda rezonansları tam etki etmeden bunun çoğu yok olmuş olacaktır. Dolayısıyla perküsyon için direkt sinyalin hayati önemi vardır. Hoparlörden gelen direkt sinyal değiştirildiğinde perküsyon enstrümanının tüm karakteristiği değişecektir. Dolayısıyla bu özel örnekte enstrümanların doğasına bağlı olarak, oda/hoparlör kombinasyonunun düzeltilmesi açısından verilen öneriler çelişmektedir.

Fakat problemler bu noktada bitmemektedir. Oda sıcaklığında sesin havadaki hızının 344 m/s olduğundan 120 Hz'in dalga boyu 344 bölü 120 yani 3 m'nin biraz altında olacaktır. Dolayısıyla yarı dalga boyu yaklaşık 1.5 m olacaktır. Bu yüzden yukarıda bahsi geçen odadaki dinleyiciler çelloların bumladığı eksende herhangi bir yönde 1.5 m hareket ederlerse (Boğumsuz kısımda 120Hz rezonans tepe noktasını oluşturan alandan uzağa), boğumsuz bir alandan boğumlu bir alana hareket etmiş olacaklardır. Boğumlu alan 120 Hz 'de hoparlöre sinyalleri besleyen ekolayzırın 120 Hz'i düşürmesi nedeniyle de abartılı bir *dalış* sergileyecektir. Çellolar ve perküsyonlar hoparlör sürücü sinyallerinde 120 Hz içeriklerini kaybedecekler ve yeni dinleme pozisyonunda hiçbiri oda rezonansından destek alamayacaklardır. Bir önceki pozisyonda ekolayzırın çello cevabını geliştirdiği tartışılabilir olsa ve her ne kadar perküsyon zarar görmüş olsa da hiçbir enstrüman yeni pozisyonda ekolayzırdan faydalanamayacaktır. Aslında ikisi de ekolayzır tarafından azaltılacaktır. Buradan açıkça anlaşılacağı üzere hoparlöre giden sinyallerin ekolayzırdan geçirilmesiyle oda cevabı “düzeltme” işlemi hem pozisyona hem de enstrümana bağlıdır. Süreksiz ve sabit halli sinyaller ise farklı tepkiler verirler.

Şimdi de farklı durumları incelemek için hoparlörü duvara yakın yerleştirerek elde edilecek alçak frekans artışını ele alalım. Odadaki pozisyonun fonksiyonu olan bu artış diyaframdaki yükün fazlalaştırılması dolayısıyla hoparlör çıkışında daha fazla güç elde edilmesi yoluyla gerçekleşecektir. Bu cevap değişimi neredeyse anlıktır ve odanın her yeri için eşittir. Mesela hoparlörde 100 Hz 200 Hz'in 3 dB altında ise odanın her yerinde direkt sinyalde de 3 dB altında olacaktır. Yükleme etkisi çelloları ve perküsyonları aynı şekilde süreksiz ve sabit halli bileşenleri yoluyla artıracak, ve odadaki tüm yansıma ve rezonanslara da aynı şekilde etki edecektir. Dolayısıyla sürücü sinyalin ekolayzırdan geçirilmesi yoluyla düzeltme işlemi duvarın yakınlığı sebebiyle oluşan tüm cevap değişimlerini aynı anda düzeltmeye çalışacaktır. Bu durumda sürücü sinyalin ekolayzırdan geçirilmesi son derece uygun olacaktır. Profesyonel kullanımda ise bu tip düzeltmeler ses açısından sorgulanabilir grafik ekolayzırlarla değil sabit filtreler yardımı ile yapılmaktadır. Yukarıdaki durum ise cevap hatalarının karışık yansımalar ve rezonanslar sebebiyle oluştuğu farklı bir örnektir.

Genel kural olarak odanın hoparlörü direkt olarak etkilediği durumlarda (Diyaframı yüklemek gibi) düzeltici ekolayzır kullanılabilir. Odanın etkisi yansımaların ve

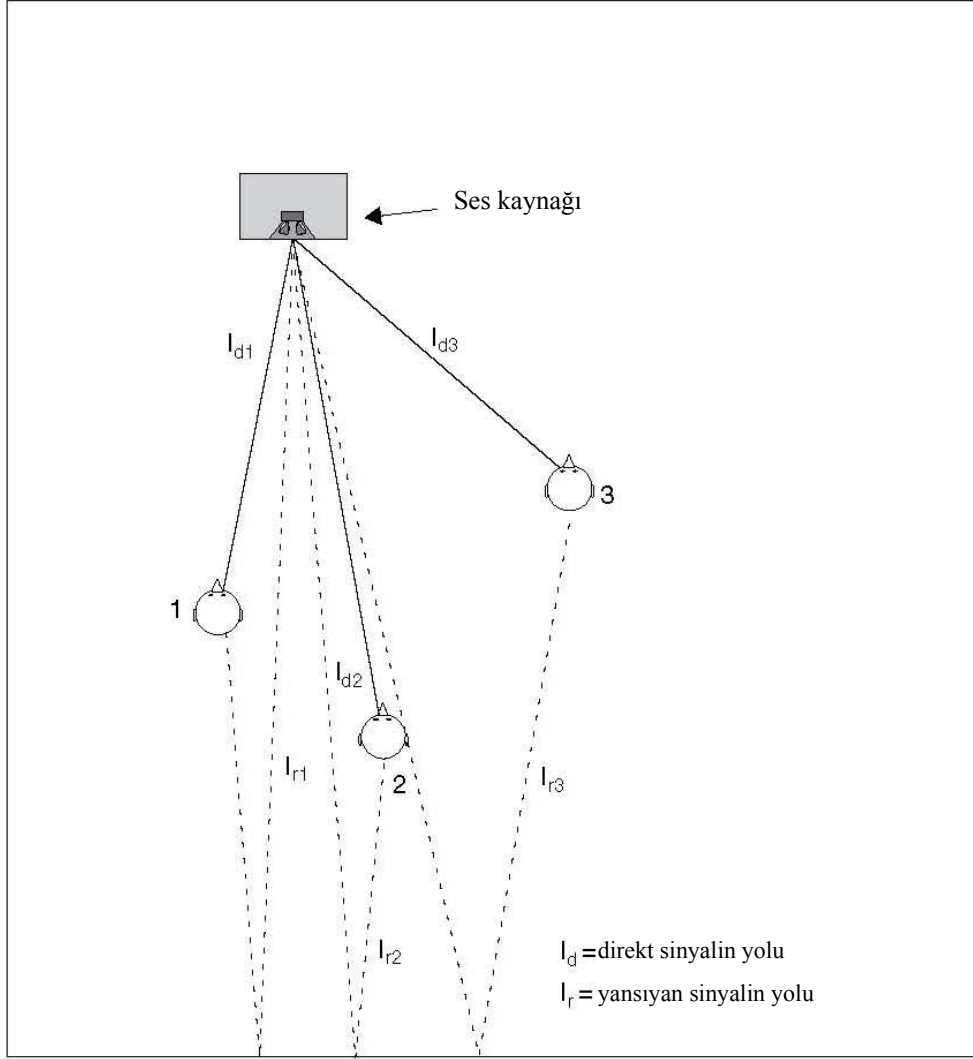
rezonansların direkt sinyalin üzerine eklenmesi gibi indirekt ise ekolayzır genel anlamda düzeltici olmayacak ve düzelttiği kadarını da bozma eğiliminde olacaktır. Bu iki durum sırası ile minimum ve minimum olmayan fazdır.

3.4.4.1 Minimum ve minimum olmayan faz

Bir hoparlör duvara yakın yerleştirildiğinde elde edilen alçak frekans artışı gibi bir cevap değişimi, az ya da çok kaynaktan çıkan dalgaların yayılması ile eş zamanlı gerçekleşen bir değişimdir. Hizalı yerleştirilmiş hoparlörler durumunda duvar normalde tek yönlü olacak olan alçak frekans yayılımına engel olur ve ses basıncını kaynağa doğru yansıtır. Eğer basınç dalgası hoparlörün arkasına gidemezse bütün basınç ön taraf yönünde yoğunlaşır ve normal ileri doğru yayılım geri yönde olacak yayılım ile artırılmış olur. Buna ek olarak kısıtlanmış yayılım alanı havanın diyafram hareket alanından çekilme kabiliyetini de kısıtlar. Bu diyaframın yükünü artırır, yapılan iş artar ve sonuçta boşluktaki yayılıma kıyasla yayılan güç artmış olur. Her durumda etki neredeyse anlaktır, yayıldığı alan boyunca eşittir ve verilen şartlarda gerçek hoparlör cevabının parçası sayılabilir. Bu şekilde bir cevap değişimi minimum fazlıdır.

Alternatif olarak minimum olmayan fazlı bir cevap değişimi, oda sınırlarından gelen birçok yansımanın hoparlörden gelen direkt sinyal üzerine eklenmeleri ile oluşur. Bu tip durumlarda her farklı dinleme pozisyonuna farklı dengede direkt ses ve yansıma ulaşacak ve herhangi bir filtre hoparlör cevabını düzelterek bu karmaşık, konuma bağlı cevap düzensizliklerini çözemeyecektir. Her pozisyondaki her frekans direkt sinyal ile Şekil 3.40'da olduğu gibi farklı bir faz ilişkisinde olacak dolayısıyla genel olarak dengelenemeyeceklerdir.

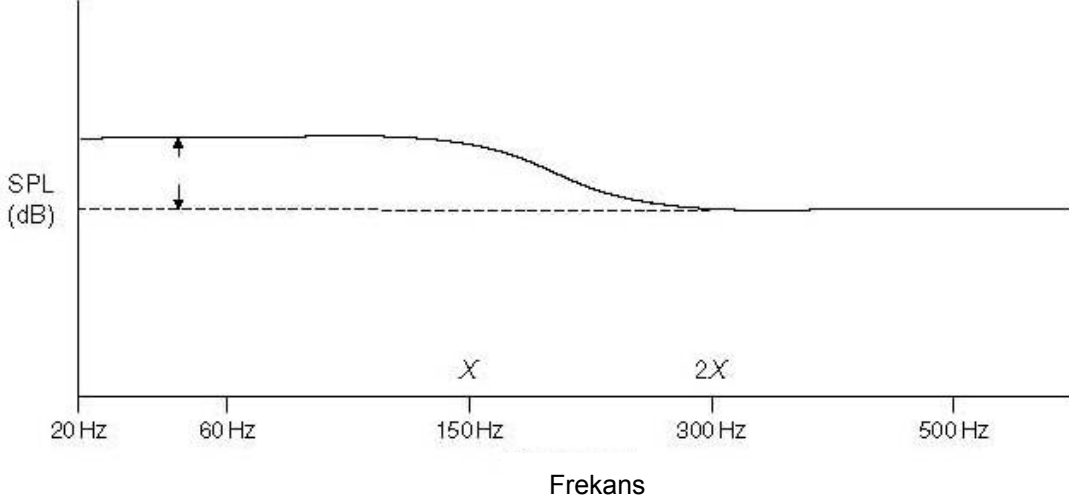
Önemli bir nokta da minimum faz teriminin, genlik ve faz cevaplarının ne şekilde birbirini takip ettiği ile ilgili matematiksel bir ifade olmasıdır. Faz değişiminin mutlak miktarı ile ilgisi yoktur. Temel olarak minimum faz cevabında genlik cevabındaki her değişim faz cevabında ilgili bir değişim oluşturur. Her iki cevabın da düze onarılması diğerini de onarmıyorsa cevaba minimum olmayan faz denir ve normal bir ters filtre ile bu düzeltilemez. Minimum olmayan faz kayması 'aşırı faz' olarak bilinir. Bu aşırılık zamanla değişen birçok türden sinyalin eklenmesiyle oluşmaya başlar ve birçok filtrenin beraberce kullanılmasında bile oluşabilir.



344 Hz ve 100 Hz için örnekler

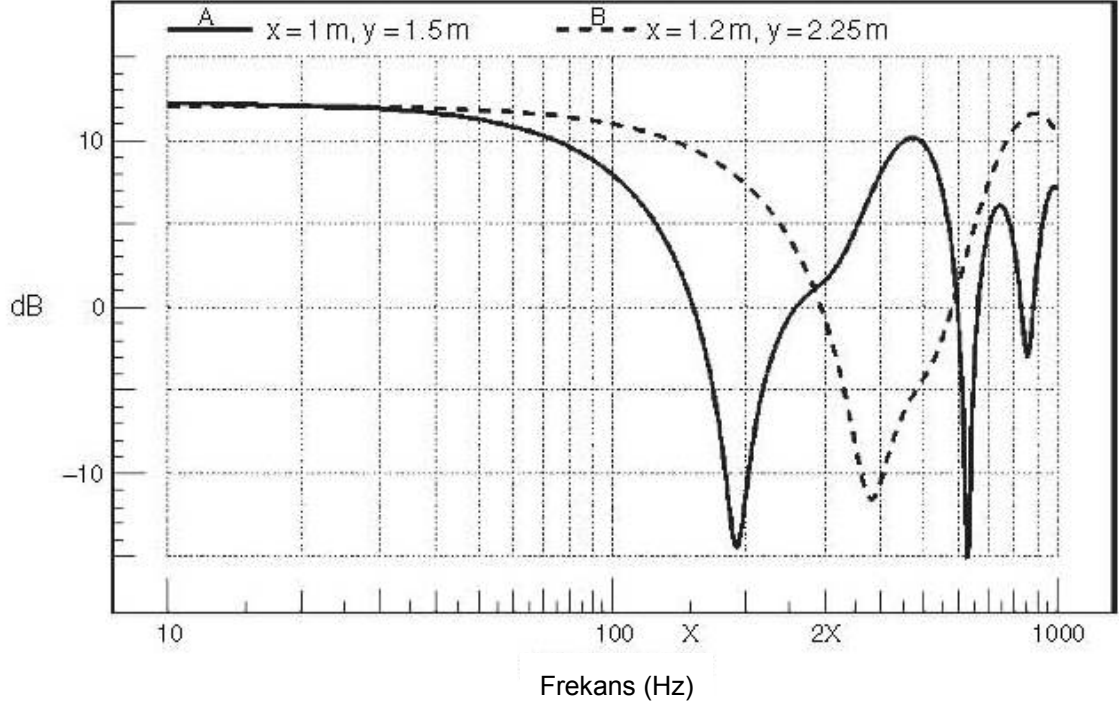
Pozisyon 1	$I_d = 5.7 \text{ m}$ $I_r = 15.9 \text{ m}$ bağıl faz	yol farkı = 10.2 m @ 344 Hz = 172° @ 100 Hz = 267°
Pozisyon 2	$I_d = 7.5 \text{ m}$ $I_r = 14.2 \text{ m}$ bağıl faz	yol farkı = 6.7 m @ 344 Hz = 252° @ 100 Hz = 158°
Pozisyon 3	$I_d = 5.7 \text{ m}$ $I_r = 18.2 \text{ m}$ bağıl faz	yol farkı = 12.5 m @ 344 Hz = 180° @ 100 Hz = 228°

Şekil 3.40 : Direkt ve yansıyan dalgaların pozisyona bağlı faz ilişkileri.



Şekil 3.41 : Hoparlörün duvara monte edilmesi durumundaki gibi bir minimum faz etkisi örneği. Serbest olarak konumlandırılmak üzere tasarlanmış bir hoparlör duvara monte edildiğinde alçak frekanslarda beklenmesi gereken tipik çıkış artışı. Noktalı çizgi serbest konumdaki alçak frekans çıkışını göstermektedir. Duvara monte edilmiş hoparlör için her pozisyondaki direkt çıkış frekans x için frekans $2x$ 'ten 3 dB düşüktür.

Şekil 3.41 hoparlörün duvara yakın yerleştirilmesi ile gerçekleşen minimum faz alçak frekans artışı sonucu oluşan cevap değişimini göstermektedir. x ve $2x$ frekanslarının göreceli cevapları oda boyunca aynı olacak ve hoparlör sürücü sinyalinin ekolayzırdan geçirilmesi ile düzeltilebilecektir. Şekil 3.42 ise minimum olmayan faz etkisinin cevabını göstermektedir ve her pozisyonda x ve $2x$ frekanslarının göreceli cevapları farklıdır. Eğer her dinleme pozisyonunda farklı iseler bu da hoparlör sürücü sinyalinin ekolayzırdan geçirilmesi ile düzeltilemeyecekleri anlamına gelir. Aslında tek bir yansımada kaynaklanan bozulma, etkinin direkt ve yansımış dalgaların göreceli seviyelerine bağlı olması nedeni ile minimum fazlı olabilir. Fakat eğer yansımış kısmın seviyesi geriye surround bir hoparlörde ön duvar yansımaları frekans bantlarında olabileceği gibi direkt seviyeyi geçerse ya da birden fazla yansıma varsa 'aşırı faz' oluşur ve genel cevap minimum olmayan faz olmaya yönelir ve ekolayzırla düzeltilemez hale gelir.



Şekil 3.42 : Sınır yansımalarında olduğu gibi bir minimum olmayan faz etkisi örneği. Yansıtıcı bir odada iki farklı mikrofon pozisyonu için cevap ölçülmüştür. Hoparlör sürücü sinyali düz bir cevaba sahiptir. x ve $2x$ frekansları odadaki her pozisyonda bağıl seviyelerde farklılık gösterir. ‘A’ ve ‘B’ pozisyonlarında toplam cevap farklıdır dolayısıyla ekolayzır kullanmak da bir noktadan daha fazla yerde cevabı düzeltemez. Birden fazla noktada cevabı aynı anda düzeltemez.

Şekil 3.41 ve 3.42’den iki ayrı gözlem daha yapılabilir. Şekil 3.41’deki minimum faz etkisi basit bir analog ekolayzır devresi ile modellenebilir ki bunun tersi de bozulmuş cevabın genlik ve faz karakteristiklerinin ayna görüntüsünü oluşturur. Bu tip devreler transfer fonksiyonunu orijinal cevaba döndürmek için kullanılabilir (Örneğin bu durumda duvara monte ile oluşan artışın boş alan cevabına eklenmesi öncesine). Yine de Şekil 3.42’deki cevabın analog filtreler yardımı ile aynalanması çok zordur ve problem minimum olmayan fazda (Zamanla değişen eklemenin sonucunda) olduğu için de en iyi genlik düzeltmesi bile bilinen pratik analog anlamında orijinal faz cevabını onaramaz. Sadece dijital sinyal işleme ile neredeyse kusursuz bir cevap onarılabilir. Üçte bir oktav filtreleri yardımı ile bu tip cevapların düzeltilmesi denendiğinde biraz daha iyi genlik cevabı elde edilse de böyle güya-düzeltilmeler kaçınılmaz faz anormalliklerine sebep olur. Böyle faz anormallikleri zaman cevabını bozar bu da hoparlör/oda kombinasyonunun sabit halli ve süreksiz cevaplarında uyumsuzluklara sebep olur. Böyle durumlarda monitörlerin tipik üçte bir oktav düzeltilmeleri başarısız olur. Bu durumların tam olarak anlaşılması insanların ‘oda’

ekolayzırlarını yanlış uygulamasına ve tatmin edici sonuçlar alamamalarına sebep olur.

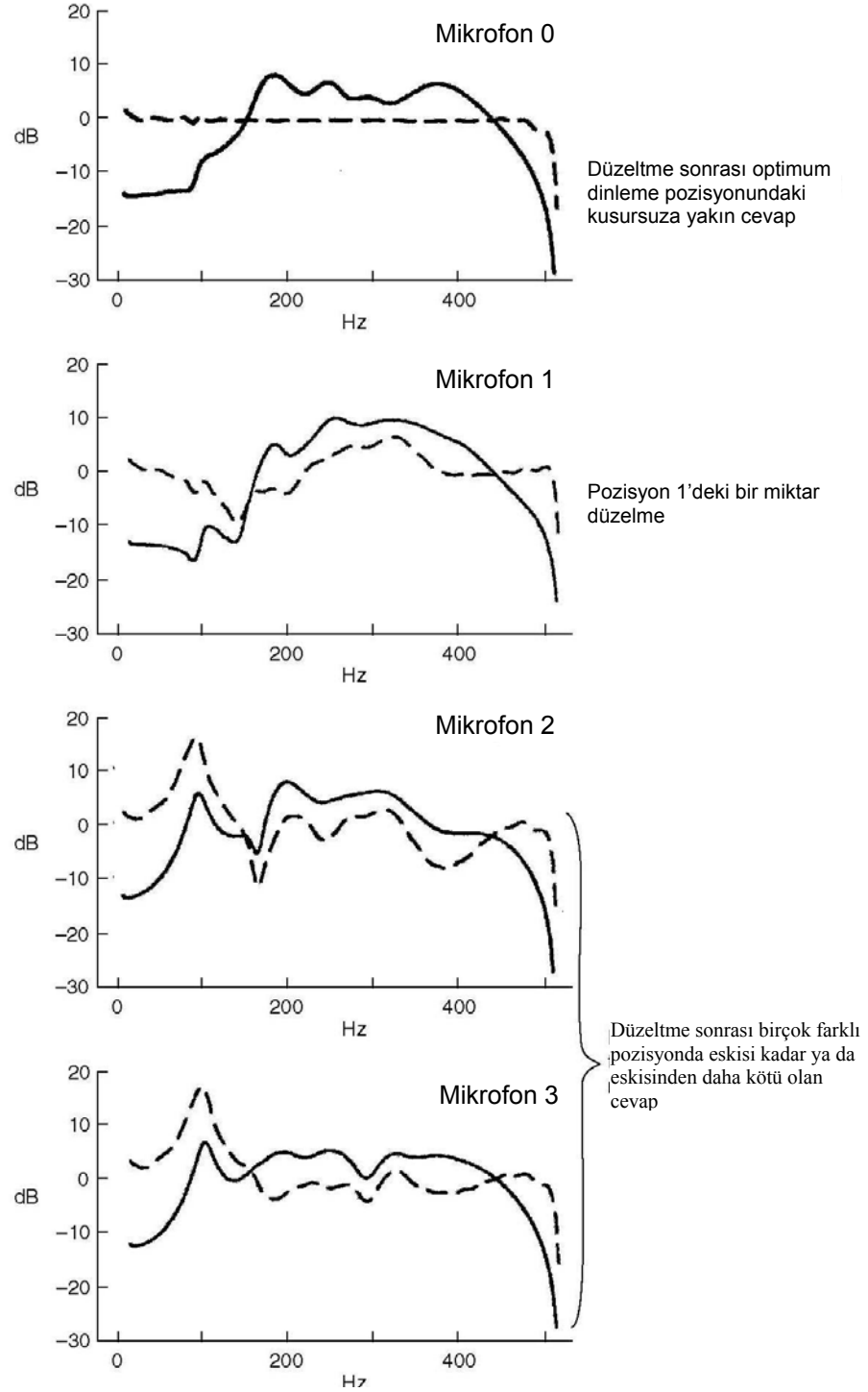
3.4.4.2 Dijital düzeltme teknikleri

Şu ana kadar düzeltmeler analog anlamda ele alındı fakat aslında dijital dünyada olaylar üzerinde daha fazla kontrol sağlanabilir. Her ne kadar bu sistemlerin yapabilecekleri sınırlı olsa da dijital filtreleme ile sabit halli veya süreksiz cevap anormalliğinin minimum ve minimum olmayan bileşenlerinin düzeltilmesi için gerekli karşıt cevaplar modellenebilir. Ölçüm mikrofonları, modelleme gecikmeleri (Düzeltilme filtrelerinin uygulanmasına imkân vermek için) ve uyarlamalı filtreleme süreçleri ile dijital sistemlerin bir odanın hoparlör cevabına etkilerini ‘öğrenmeleri’ sağlanabilir ve bozuklukları düzelterek düzeltmeler uygulamaları sağlanabilir. Dijital filtreler odanın bir noktasında genlik, faz ve zaman domainlerinde mutlak düzeltme sağlayacak şekilde ayarlanabilir ya da daha geniş bir alanda daha az hassaslıkta düzeltmeler yapabilirler. Fakat çok geniş alanlarda kesinlikle yüksek hassaslıkta düzeltmeler yapamazlar ve her durumda bir alandaki düzeltmeler başka bir alandaki cevap bozulmaları karşılığında kazanılır. Bir odanın yansıtıcı alan kargaşası aşırı karmaşıktır ve sadece sınırlarda bunlarla mücadele edilebilir. Bu karmaşık problemleri hoparlör sürücü sinyalinin ekolayzırdan geçirerek tamamıyla çözmeye çalışmak beyhudedir. Bu yüzden ki akustik mühendisliği iyi bir dinleme odası tasarımının temelidir. Şekil 3.43’de uyarlamalı dijital filtreleme ile yapılan bir düzeltme örneği görülmektedir.

3.4.4.3 Hoparlörlerdeki ilgili hatalar

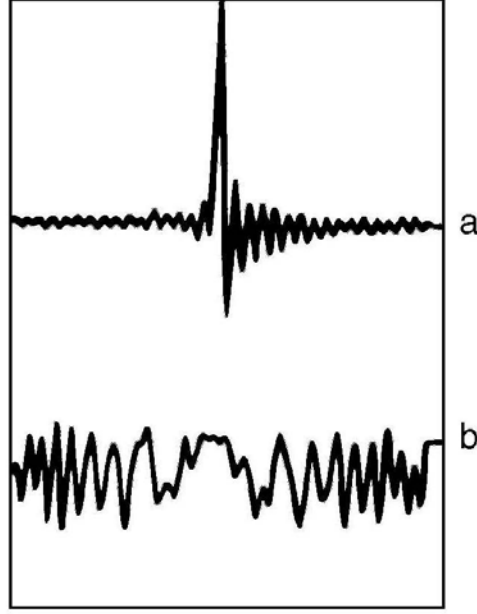
Dikkat edilmesi gereken diğer bir nokta da hoparlörlerin kendilerinde oda sorunlarından kaynaklanan minimum ve minimum olmayan faz problemlerinin sıkça görülmesidir. Hoparlörlerin hem kabinleri hem de sürücü üniteleri içinde yansıma ve rezonans problemleri görülebilir ve bu minimum olmayan fazdaki bozukluklar darbant cevap düzensizliklerine sebep olabilir ki bunlar da bazı oda sınır etkilerinde de olduğu gibi ekolayzırla düzeltilemezler. Çok yollu hoparlör sistemlerinde çoklu sürücü ünitelerinin çıkışlarının toplanması minimum olmayan faz problemlerinin kaynağıdır çünkü çıkışların minimum faz toplaması filtrelerdeki grup gecikmeler nedeniyle zordur. Fakat oda cevap problemlerinde olduğu gibi sürücülerin ya da kabinlerinin elektro-mekanik karakteristikleri sebebi ile oluşan kademeli artış veya

azalışlar minimum fazlı yapıdadır ve genel cevabı düzeltmek için ekolayzırdan geçirilebilirler.



Sabit halli cevabın tek noktada ekolayzırla düzeltilmesi. Katı çizgi orijinal cevap, kesikli çizgi pozisyon 0 için düzeltme uygulandıktan sonraki durum

Şekil 3.43 : Dijital aktif sinyal işleme yöntemi ile oda cevabının düzeltilmesi. Tanımlanmış dinleme pozisyonu olan mikrofon pozisyonu 0'da düzeltme nerede ise kusursuz uygulanabilir. Fakat pozisyon 0'daki cevap düzeltildikçe odadaki diğer pozisyonlardaki cevaplar kötüleşir.



Şekil 3.44 : Faz ilişkisinin dalga biçimi üzerindeki etkisi. Bileşen harmoniklerin bağıl düzeyleri tam olarak eşittir, sadece bağıl fazları değişmiştir. Dalga biçimi üzerindeki etki çok aşırıdır.

Dalga biçimi cevapları genlik ve faz cevaplarının kombinasyonu şeklinde sunulabildiğinde (Fourier Dönüşümünde olduğu gibi) her iki cevaptaki herhangi bir bozulma kaçınılmaz bir biçimde zaman cevabını etkileyecek ki bu da süreksiz cevabı da temsil edecektir. Şekil 3.44’de süreksiz bir ani yükselişin sadece bileşen frekansların yakın fazlarının işlenmesi ile nasıl yok edilebildiği görülmektedir. Bu örnekte açıkça görülmektedir ki sadece genlik domaininde cevapları düzeltmeye çalışmak ve bu arada faz cevaplarının daha da bozulmasına sebep olmak uygulandığı herhangi bir sistemin süreksiz cevabı için yıkıcı olabilir.

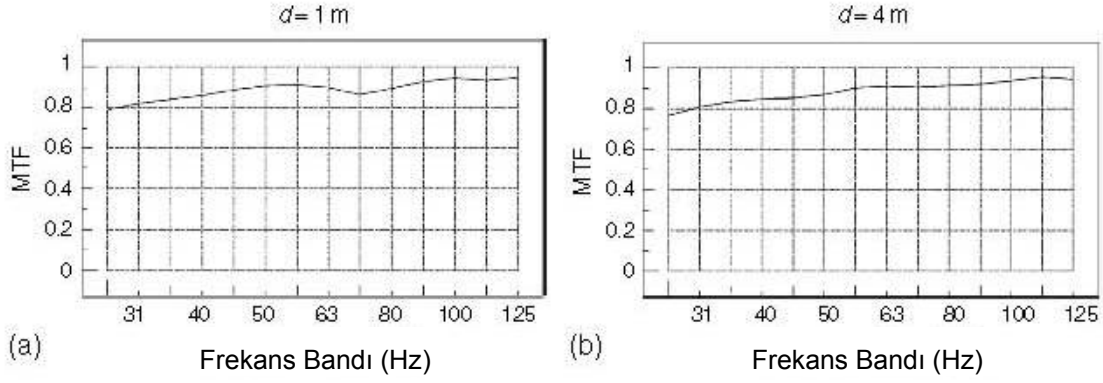
Bir hoparlörün alçak ya da yüksek frekans cevabındaki kademeli bir azalış yansımaları ya da cevap gecikmelerini içermez fakat faz değişimlerini içerir ve sonuç olarak süreksiz cevabı etkiler. Bunlar minimum faz problemleri olduğundan elektronik anlamda genlik cevabının düzeltilmesi karşıt anlamda faz değişimine sebep olacak ve dolayısıyla faz ve zaman cevaplarını doğru değerlerine çekmeye çalışacaktır. Fakat 6 dB artış için 4 kat güç gerekecektir dolayısıyla ekolayzırdan geçirilen sistemlerde aşırı yüklenme sorunları ile karşılaşılabilir çünkü genel cevap boşluğu düz cevap genişledikçe azalacaktır.

3.4.4.4 Doğru ekolayzır uygulamalarının özeti

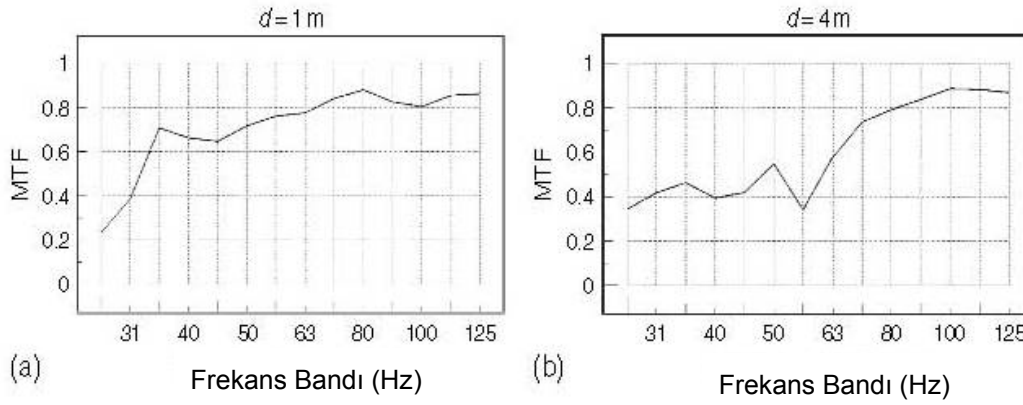
Bilinen anlamda düzeltici dengeleme, oda/hoparlör cevaplarındaki bozukluklar minimum fazlı olduğunda ve zaman ve mekânda değişim göstermediğinde (Hoparlör artış ve azalışları veya oda yükleme etkileri gibi) uygulanabilir. Yansıma veya rezonans gibi ana olaydan geçici ve mekansal olarak ayrılan unsurların etkileri sonucunda oluşan bozukluklarda uygulanamaz. Rezonans oda cevap sorunlarındaki bir numaralı suçlu olduğundan ancak odanın kendisine uygulanan iyileştirmeler ile düzeltilir. Böyle durumlarda dijital uyarlamalı tip haricindeki elektriksel filtreleme kullanımı, dengelemenin tamamıyla yanlış bir uygulaması olacaktır. Bu noktanın düzgün anlaşılması yapılan birçok uygulamada düzeltme adına odalarda doğal soundlu hoparlör sistemlerinin bozulmasına sebep olmuştur. Odaları ekolayzırlar değil akustik kontrol tedbirleri düzeltebilir.

3.4.4.5 Modülasyon transfer fonksiyonu ve odaların elektronik düzeltilmesi için uygulanması

Bir süredir hoparlör üreticileri mükemmel olmayan odalar için kendi içinde elektronik sinyal işleme sistemleri bulunan hoparlörleri üretmeye başladılar. Bu gelişmelerle birlikte bu tip işlemlerin sınırlarını belirlemek amacıyla modülasyon transfer fonksiyonunu (MTF) kullanan bir seri araştırma da yapıldı. Buradaki temel fikrin anlaşılması nispeten kolaydır. Bant sınırlı pembe gürültü sinyali bir sinüs dalgası ile modüle edilir, bir hoparlör sisteminden veya hoparlör-oda sisteminden geçirilir ve bir ölçüm mikrofonuna ulaşır. Ulaşan sinyal iletilen sinyal ile kıyaslanır ve modülasyonun doğruluğu sıfır ile bir arası bir skalaya yerleştirilir. Burada sıfır iletilen sinyal ile hiçbir benzerlik olmaması, bir ise iletilen sinyal ile aynı olması durumunu gösterir.



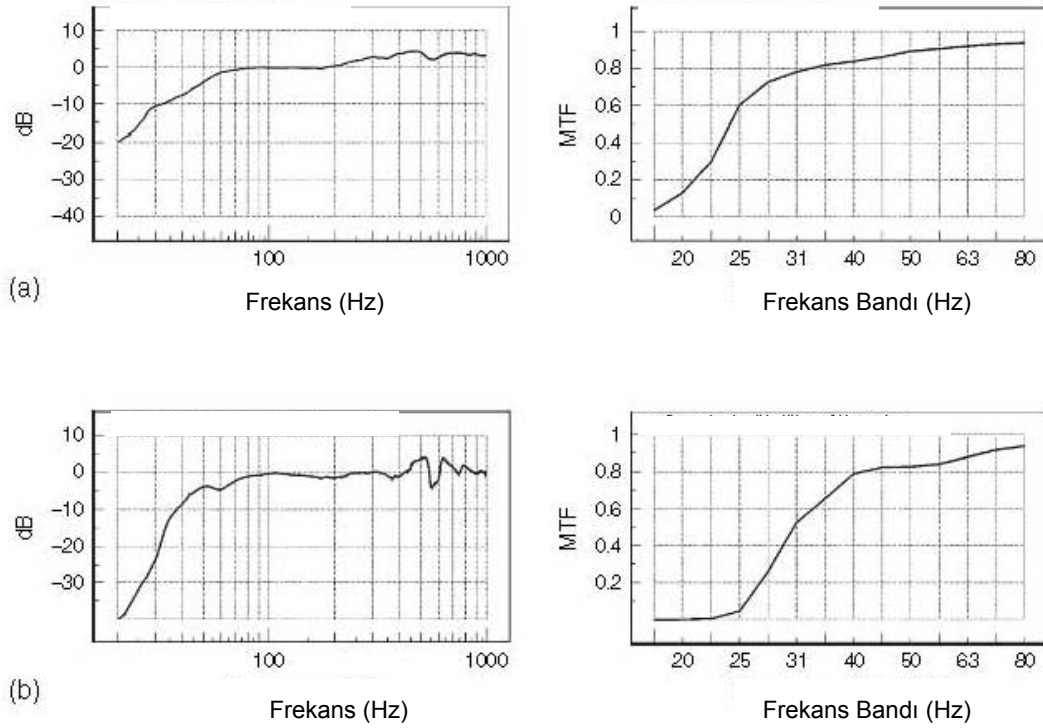
Şekil 3.45 : Çok fazla sönümlü bir stüdyo kontrol odasında hoparlörden farklı mesafelerdeki (d) geniş aralıklı monitör sisteminin MTF'leri.



Şekil 3.46 : Yeterince iyi sönümlü bir stüdyo kayıt odasında hoparlörden farklı mesafelerdeki (d) hoparlör MTF'leri.

Şekil 3.45'de bir kontrol odasındaki yüksek çözünürlüklü, tam kapasiteli ve yüksek sönümlü şekilsel aktivitesi bulunan bir hoparlör sistemi görülmektedir. Bir metre ve dört metrede mesafedeki MTF'leri (a)'da ve (b)'de görülmektedir. İki nokta hemen göze çarpmaktadır: birincisi genel olarak en düşük frekanslarda bile MTF derecesinin yüksek olması, ikincisi ise bir ve dört metredeki derecelerin büyük oranda eşit olmasıdır. Şekil 3.46'de bir kayıt odasındaki küçük monitör hoparlörün MTF dereceleri görülmektedir. Şekil 3.45'deki kontrol odasından çok daha az akustik sönümlüdür. Yine iki nokta göze çarpmaktadır: birincisi hoparlör çıkışının sürdürülemediği frekanslarda alçak frekans MTF derecelerinin düşmesi ve ikinci olarak dört metredeki MTF'nin bir metredekinden çok daha kötü olmasıdır. Fakat dikkat edilmelidir ki alçak frekanslardaki MTF sadece hoparlörlerin basınç genlik cevabının ('frekans cevabı') bir fonksiyonu değildir. Şekil 3.47'de biri kapalı kabinli diğeri elektrikselsel koruma filtreli yansıtıcı kabinli iki hoparlörün basınç genlik ve

MTF cevapları görülmektedir. Kapalı kabin daha kesin süreksiz cevaba sahip olduğundan, düşük frekanslardaki daha kesin sinyal dalga biçimi çıkışı sayesinde daha iyi MTF sergiler. Filtreli yansıtıcı kabinin zamanla yayılan cevabı basınç genlik cevabını da daha alçak frekans aralığında sürdürür fakat bunu sinyali (Dolayısıyla modülasyonu) zamanla bozarak elde eder ve dolayısıyla modülasyon doğruluğunu sağlayamaz. Dolayısıyla daha genel olan *seviyeye karşı frekans* grafiklerine nazaran MTF kaliteye *karşı frekans* grafiği olarak kabul edilebilir.

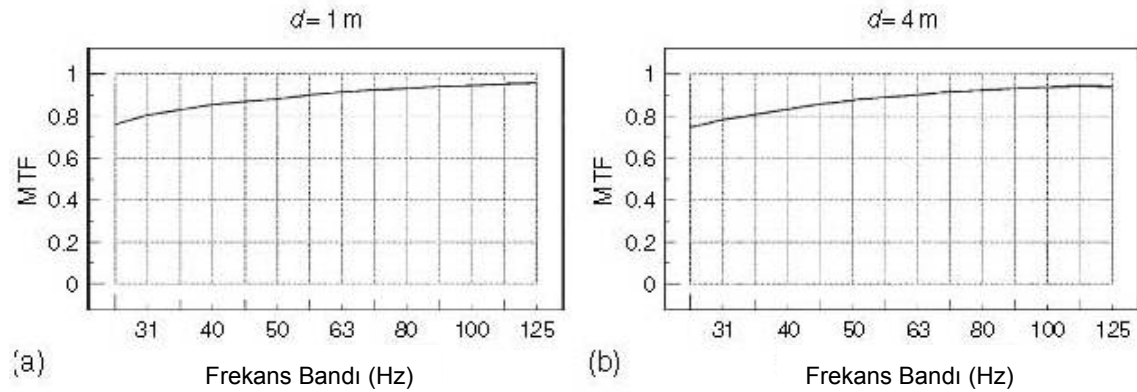


Şekil 3.47 : MTF kıyaslamaları. İki frekans cevabı eğrisi (Soldaki eğriler) genel anlamda 40 Hz ile 800 Hz arasında oldukça benzerdir fakat kapalı kabinli hoparlörün MTF'si (a) filtreli yansıtıcı kabinin MTF'sinden çok daha düşük bir frekansa kadar yüksek kalır (b) alçak frekanslarda kapalı kabinin akustik çıkışı giriş sinyaline yansıtıcı kabinin zamana yayılmış alçak frekanslarından çok daha sadıktır.

Şekil 3.48'de Şekil 3.45'de bahsi geçen odadaki hoparlörün MTF'leri görülmektedir. Fakat bu defa cevaplara simule edilmiş, kusursuz ve gerçek zamanlı dengeleme uygulanmıştır. Bu grafiklerde muhtemelen en göze çarpan nokta Şekil 3.45'e kıyasla birkaç kıvrım ve giritinin düzlenmiş olması haricinde çok fazla değişikliğin olmamasıdır. Diğer taraftan Şekil 3.49'de Şekil 3.46'de bahsi geçen hoparlör ve odanın MTF'si, simule edilmiş, mükemmel ve gerçek zamanlı dengeleme uygulandıktan sonra görülmektedir. Bu defa iki nokta göze çarpmaktadır. Birincisi bir metredeki MTF'nin neredeyse tam kapasiteli ve yüksek sönümlü kontrol

odasındakiyle aynı seviyeye gelmiş olmasıdır. Pratikte her ne kadar alçak frekansların yükseltilmesi ile alçak frekans boşluğundan ödün verilse de dijital ekolayzır uygulaması çok iyi çalışmıştır. Tam tersine dört metre mesafede ekolayzır cevap doğruluğunu fazla düzeltmeyi başaramamıştır (Uzak alanda oda etkilerinin önemi ve minimum olmayan fazlı doğasından ötürü).

Cevabın düzleştirilmesi (Desibel olarak ölçüldüğünde) ile oda cevabının düzeltilmesi mümkün olsa da basınç domainindeki düz bir cevap illa ki cevabın sinyalin bilgi içeriğini doğru sürdürdüğü anlamına gelmez. Eğer zaman cevabı yayıldı ise basınç genliğinin düz olmasına rağmen bilgi doğru olarak sürdürülemeyecektir. Miktar her şey değildir.

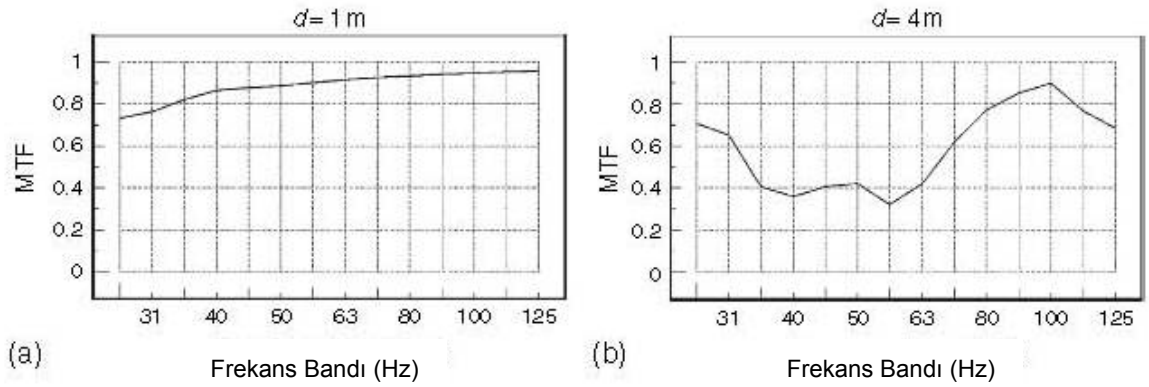


Şekil 3.48 : Çok fazla sönümlü bir stüdyo kontrol odasında hoparlörden farklı mesafelerdeki (d) ekolayzır sonrası geniş aralıklı monitör sisteminin MTF'leri. Şekil 3.44'deki grafiklerden az miktarda farklılıklar mevcut.

MTF sadece her frekansta ne kadar basınç olduğuna bakmakla kalmaz, modülasyon sinyali anlamında sinyalin çeşitli bileşenlerinin varış sürelerini de ölçer. Önceki şekillerde görülenleri yorumlarsak uzak alanda oda/hoparlör basınç genliğinin düzlenmesi için ekolayzır kullanılırsa, basınç cevabının görünür kusursuzluğuna rağmen gecikmelerin ve sonraki oda yansımalarının karışıklığı bilgi içeriğin sürdürülmesine engel olur. Şekil 3.45'de görüleceği gibi uzak alanda dahi yansımaların minimum düzeyde olduğu yüksek sönümlü kontrol odasında MTF azımsanmayacak derecede sürdürülmüştür. Aslında en uç noktada, anekoik bir odada mesafeyle sadece seviye düşecektir. Bir metredeki MTF ne ise mesafe ile bu değer sürdürülecektir.

Yukarıdakinin bir sonucu olarak, elektronik oda düzeltmenin frekans cevap eğrisini düzleyebileceği ve hoparlörün direkt cevabının baskın olduğu kısa mesafelerde

nispeten kötü akustiğe sahip odalarda bile kalitede genel bir iyileştirme sağlayacağı görülmektedir. Fakat oda cevabının direkt cevaba baskın olmaya başladığı uzak alanda kalite kayıpları beklenebilir. Görünen o ki yapılan reklâmların aksine oda düzeltme programları, en yüksek kaliteye ihtiyaç duyulan geniş ve derin dinleme alanlarında iyi bir akustik kontrol ihtiyacı sonucunda üretilmemişlerdir. Ancak daha bilindik anlamdaki odalarda veya televizyon, video post-produksiyon odaları gibi akustik dostu olmayan ekipmanlarla dolu odalarda yakın mesafe monitörlemeyi mümkün kılmışlardır.



Şekil 3.49 : Yeterince iyi sönümlü bir stüdyo kayıt odasında hoparlörden farklı mesafelerdeki (d) ekolayzır sonrası hoparlör MTF'leri.

3.4.4.6 Elektronik bas tuzakları

Elektronik oda düzeltmenin pek de iyi olmayan sonuçları olsa da küçük odalardaki alçak frekans cevap sorunlarının ayarlanabilir elektro-akustik cihazlar yardımı ile iyileştirilmesi mümkündür. Bu tip sistemler her ne kadar akustik kontrollü bir odada genel cevap düzlüğünü sağlayamasa da en azından en problemlili şekilsel rezonansları düzeltebilirler. E-trap gibi cihazlar aslında içinde amplifikatör, mikrofon ve işlemci bulunan hoparlör kabinleridir. E-trap'te iki farklı ayarlanabilir frekans eş zamanlı işlenebilir. Bu oda rezonans frekansları daha sonra aynı amaç için kullanılacak akustik kontrol yapılarından çok daha küçük olan bu cihaz tarafından sönümlenir. Odada çalışmanın bir ya da iki rezonans frekansı nedeni ile imkansız hale geldiği durumlarda ölçüleri çok küçük olan E-trapler optimal monitörleme için fazla alana da ihtiyaç duymadığından çok kullanışlı olabilir. Seslendirme stüdyoları gibi çok küçük odalarda bu tip sistemlerden faydalanılabilir.

3.4.5 Faz ve zaman

Yansımaların direkt sinyal üzerindeki etkileri genlik ve fazlarına bağlıdır. Yansıma genliği kat edilen mesafeye ve sınırların emilim katsayılarına bağlıdır. Faz kat edilen mesafeye, dalga boyuna, yansıtıcı yüzeylerin emici veya yayıcı özelliklerine ve açığa bağlıdır. Yansıma sonucu oluşan çakışmaların hesaplanması için birkaç basit yol vardır.

Direkt sestten sonra herhangi bir yansımanın dinleme pozisyonuna ulaşması için geçen süre (t) aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$t = \frac{d_2 - d_1}{c}$$

Burada;

d1=direkt yol (metre)

d2=yansıma yolu (metre)

c=sesin hızı (metre/saniye)

Verilen herhangi bir frekans için direkt ve yansıyan dalgaların bağıl fazı aşağıdaki gibi bulunabilir:

$$\text{Faz Değişimi, } L = 360 \times \frac{Ld}{\lambda}$$

Burada:

Ld=Yol uzunluk farkı (metre)

λ =Dalga boyu (metre)

Örneğin 172 Hz frekanslı bir dalganın (2m dalga boyuna sahip) direkt ve yansıyan yol uzunlukları farkı 1 m ise o zaman formülden:

$$L = 360 \times \frac{1}{2}$$

L=180° faz değişimi

Bu da demektir ki yansıyan dalga direkt dalgayı iptal etmeye çalışacaktır. Yol uzunluğu farkı 6 m olduğunda formülden:

$$L = 360 \times \frac{6}{2}$$

$$L=1080^\circ$$

[360°'ın üstündeki cevaplar için sonuç 360°'a bölünür ve bu durumda kalan faz açısı farkını verir.]

$1080^\circ=3 \times 360^\circ$ olduğundan bu durumda yansıyan dalga 0° faz farkı gösterecek ve dolayısıyla direkt sinyal ile aynı fazda olacaktır. Bu da basıncını direkt sinyale ekleyeceği anlamına gelir fakat üç tam devir faz yol kat etmiş olması yol uzunluk farkından dolayı oluşan varış gecikmesinin bir fonksiyonudur. Kat edilen yola bağlı faz değişimleri frekansa bağlıdır çünkü dalga boyu ile alakalıdır ve sinüs dalgaları devamlıdır. 360° , 720° veya 1080° faz değişimleri hep aynı sonucu verir: aynı fazda eklenme. Fakat aynı durum süresiz sinyaller için geçerli değildir. Süresiz sinyallerin faz eğimleri vardır, örneğin tek frekansın sadece *mesafe* ile faz değişim oranı varken bunların *frekansla* faz değişim oranı vardır.

172 Hz'lik bir yansıyan sinyalde 360° faz değişimi ile 3600° arasındaki temel fark ikincisinde yansıyan dalgaların dokuz tam devir daha yol kat edecek olmasıdır. Her 172 Hz devri 2 m dalga boyuna sahip olduğundan 9 devir 18 m olacaktır. Bu da 360° 'nin veya 3600° 'nin yansımalarının direkt dalganın basıncına hangi derecede ekleneceğini belirleyecektir çünkü 3600° 'nin 18 m'lik ekstra mesafesi 360° yansımaya kıyasla (Eğer aynı yüzeylerden yansıyorlarsa) daha fazla ses basınç seviyesini azaltacaktır. Dönen yansımış dalganın gücü duvarın emilim katsayısına da bağlı olacaktır. Bu yüzden tek bir frekansın tek yansımalarının direkt sinyale etkisini hesaplamaya dahi başlamadan önce onun ilgili fazının, kat ettiği mesafenin ve yansıtan yüzeyin yansıtma katsayısının göz önünde bulundurulması gereklidir. Karışıklığı artıracak bir nokta daha: emilim katsayısı frekansa bağlı, temas açısına bağlı olacak ve yansıyan dalganın fazını etkileyebilecektir. Ekleneceği dalgadan 6 dB daha düşük olan bir yansıyan dalga ölçülen SPL'yi etkilemez fakat kulağın özel ayırt etme yeteneği ile duyulabilir.

4. SES GÜÇLENDİRME SİSTEMLERİ

4.1 Giriş

İnsan sesi, müzik ve özel efektler için kullanılan ses güçlendirme sistemleri günümüz oditoryumlarının vazgeçilmez birer parçalarıdır. Büyük, açık veya kapalı mekânlarda insan seslerinin anlaşılabilir olması için ses güçlendirme gerekebilir. Bu tip bir ortamda müzik de dinleyicileri tatmin edecek berraklıkta olmalıdır.

Ses güçlendirme sistemlerinin tasarımı ve montajı özel bir alandır ve en küçük uygulama için bile bir ses sistemi tasarımcısına ihtiyaç duyulmaktadır. Elektroakustik parçalarla salonun akustik özelliklerinin uyumunun sağlanması çok önemlidir. Ses sistemi tasarımcısının bir mimarla ve akustik danışmanla verimli bir şekilde çalışabilmesi için mimari akustiğin ilkelerini çok iyi bilmesi gerekir.

Mimarlar ve akustikçiler ses sistemlerinin bir çok projeye dahil olacağını hesaba katmalı ve bu tip sistemlerin optimum bir şekilde tasarlanmasına yardımcı olmalıdırlar. Ses sistemleri için gerekli olan kontrol odasının ve diğer cihazların yerleşeceği alanlar tasarım aşamasında belirlenmelidir.

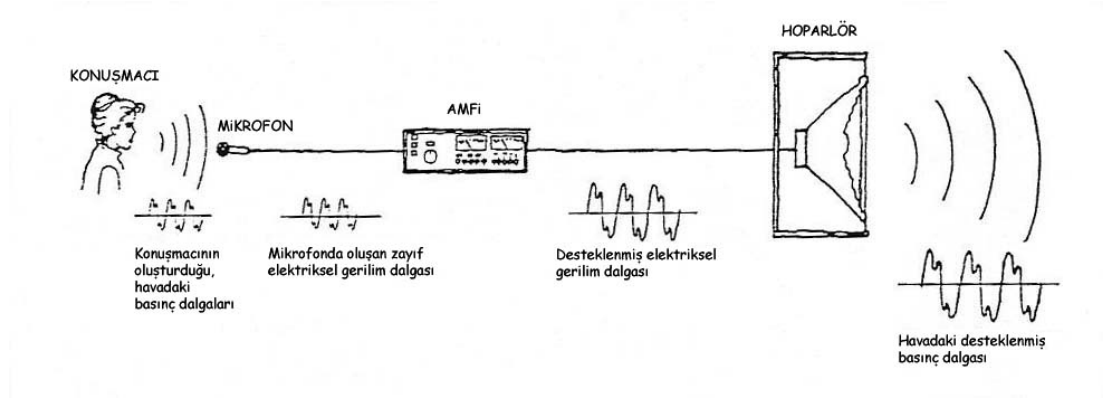
Desteklenmiş sesin düzeyi ve kalitesi büyük bir oranda sistemin çalışacağı ortamın akustik özelliklerine bağlıdır. Ses güçlendirme sistemleri ciddi akustik kusurları düzeltemezler. Fakat tek bir aktivite için değil birden fazla aktivite için kullanılan bir mekânda gereken esnek akustik ortamı sağlarlar.

Bütün ses güçlendirme sistemleri mikrofon ve hoparlör gibi elektroakustik transduserlerden faydalanırlar. Transduserler, bir sinyali bir alandan başka bir alana çeviren cihazlardır. Örneğin bir mikrofon ses dalgasının elektriksel bir kopyasını çıkartır. Bir hoparlör ise bunun tam tersini yapar, yani bir elektrik sinyalini ses dalgasına dönüştürür (Şekil 4.1).

Bu çevirimin sonucunda ise sinyal elektriksel ortamda desteklenebilir, filtreden geçirilebilir, kaydedilebilir ve bunun gibi normal bir akustik ortamda sağlanamayacak bir çok işlemde geçirilebilir.

4.2 Ses Güçlendirme Sistemlerine İhtiyaç Duyulan Yerler

Küçük ve akustik olarak iyi tasarlanmış, yaklaşık beş yüz kişilik kapasitesi olan bir konuşma oditoryumunun ses güçlendirme sistemine ihtiyacı olmayabilir. Fakat deneyimsiz bir konuşmacının konuşması bu tip hatta daha küçük bir ortamda bile anlaşılabilir. Bu yüzden birçok oditoryumda, özellikle yüz elli kişiden fazla kapasitesi olanlarda ses güçlendirme sistemleri kullanılır.



Şekil 4.1 : Ses güçlendirme sistemi elemanları.

Son zamanlarda, sınıflardaki konuşma anlaşılabilirliğinin zayıflığı nedeni ile, özellikle de duyma sorunu olan birey sayısının artması ile birlikte okullarda da ses güçlendirme sistemlerinin kullanılmasına başlanmıştır. Bu durumda yakın bir gelecekte ses güçlendirme sistemleri sınıfların ve eğitim binalarının tasarım aşamasında hesaba katılmaya başlanacaktır.

Normalde konser salonlarındaki müzik performansları için ses güçlendirme sistemlerinin kullanımına ihtiyaç duyulmaz, fakat tiyatro oyunlarında konuşma anlaşılabilirliği ve teatral efektler için hem insan sesini hem de müziği destekleyen karmaşık sistemlere ihtiyaç vardır. Pop müzik konserlerinde ise ses sistemleri birer enstrüman gibidir, her müzisyenin “sound”unun ortaya çıkmasında büyük rol oynarlar.

Spor karşılaşmaları, mitingler ve konserler gibi açık havada yapılan faaliyetler için güçlü ve karmaşık ses güçlendirme cihazlarına ihtiyaç duyulur. Aynı durum stadyum ve açık spor arenaları için de geçerlidir.

4.3 Ses Güçlendirmenin Temelleri

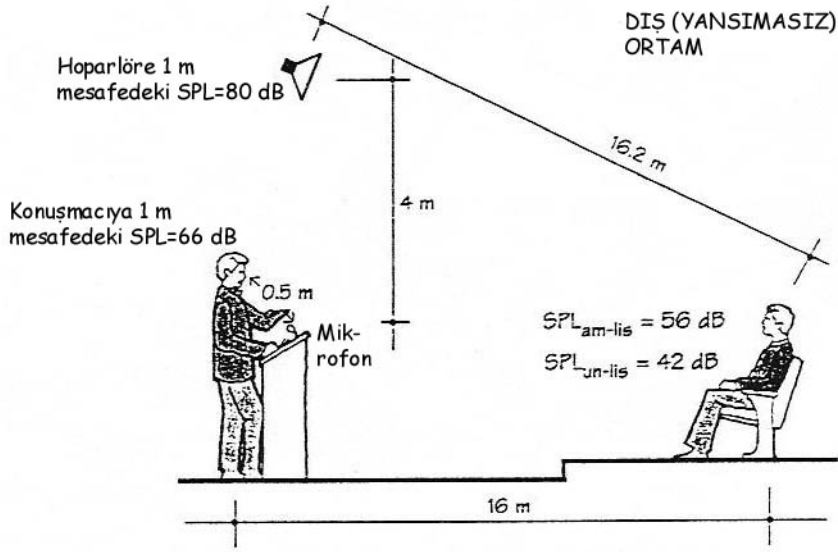
Ses güçlendirme sistemlerinin temellerinin anlaşılabilmesi için örnek olarak dış ortamda 1m uzaklıkta 66 dB, 2m uzaklıkta 60 dB, vs. konuşma düzeyi olan bir konuşmacı ele alındığında; konuşmacıdan 16 m uzakta bulunan bir dinleyici sadece 42 dB'lik bir düzey işitecektir. Başka faktörlere bağlı kayıplar ihmal edilmiş ve hiçbir yansımanın olmadığı düşünölmüştür.

Çoğu durumda 42 dB anlaşılabilirlik sağlamada yeterli olmayacaktır. Aslında konuşmacının anlaşılıp anlaşılmayacağını kesin olarak tespit edebilmek için arka plan güröltü düzeyi ve spektrumu da incelenmelidir. Fakat şüphesiz ki sessiz bir ortamda bile 42 dB düzeyinde bir konuşmayı anlayabilmek için harcanan efor ve dikkat çok büyük olmalıdır.

Konuşmacı konuşma düzeyini arttırabilir ya da dinleyici daha yakına gelebilir. Fakat açık havada desteklenmemiş bir konuşmanın anlaşılabilirliği, ters kare yasaının ve insan işitme sisteminin keskin hatlarıyla sınırlanmıştır.

Aynı senaryoya bir de güçlendirme sistemi eklendiğinde: Hoparlör konuşmacının 4 m ötesine yerleştirilmiş olsun ve bu hoparlörün SPL'si 1 m uzaklıkta 80 dB olsun (Şekil 4.2). Basit bir hesapla dinleyici yaklaşık 56 dB'lik bir düzey hissedecektir, bu da daha rahat bir dinleme ortamı demektir. Bu güçlendirme sisteminin akustik kazancı (G), yani desteklenmiş SPL ile desteklenmemiş SPL arasındaki fark: $56-42=14$ dB, başka bir deyişle,

$$G=SP_{am-lis}-SPL_{un-lis}=14 \text{ dB}$$

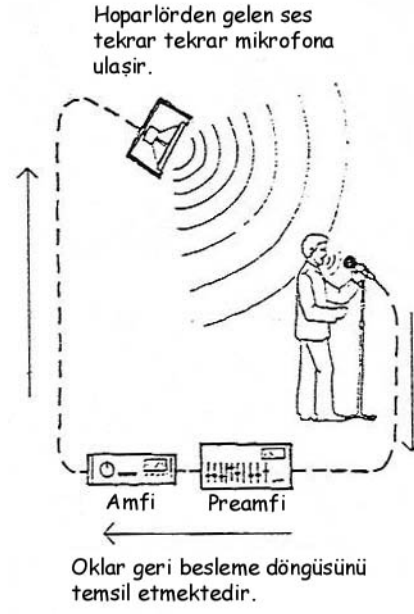


Şekil 4.2 : Dış ortam ses güçlendirme sistemi.

4.3.1 Elektronik geri besleme

Ses güçlendirme konusunda fazla bilgisi olmayan bir insan, bir hoparlörün sesini hiçbir sınır olmadan sonuna kadar açabileceğini sanabilir. Fakat aslında bu bazı problemlere neden olur. Konuşmacının sesini almak için kullanılan mikrofon aynı zamanda konuşmacının hoparlörden çıkan desteklenmiş sesini de alır. Eğer elektronik güçlendirme sisteminin sınırları aşılsa, sistem geri besleme yapacaktır yani hepimizin bildiği o ıslık benzeri sesi çıkartacaktır.

Şimdi bunun neden olduğunu bir inceleyelim. Olayı basitleştirebilmek için mikrofona gelen sinyalin belli bir düzeyde bir saf ton olduğunu düşünelim. Bu ton desteklenecek, hoparlör tarafından dışarıya verilecek ve bir miktar gecikme ile mikrofona ulaşacaktır. Orijinal ton artık mevcut değildir fakat bir kopyası sistemin içindedir. Ses tekrar desteklenecektir ve bu işlem bu şekilde defalarca tekrarlanacaktır (Şekil 4.3).



Şekil 4.3 : Tipik akustik ve elektronik geri besleme.

Fakat göze alınması gereken bir başka faktör daha vardır. Eğer mikrofona ulaşan ilk ton orijinal sesle aynı genlikte olursa, bundan sonra yankılanan tonlar da aynı genlikte olacaktır. Bunun yanında hoparlörden çıkan ilk ton orijinal tondan düşük düzeyde ise bundan sonraki yankılar da düşük düzeyde, eğer yüksek düzeyde ise sonraki yankılar da bir öncekinden daha yüksek düzeyde olacaktır.

Bu durumda güçlendirme sistemi öyle olmalıdır ki, hoparlörden çıkıp mikrofona ulaşan ses, konuşmacıdan mikrofona ulaşan sese eşit ya da o sestten büyük olmamalıdır. Başka bir deyişle, geri beslemeyi engelleyebilmek için, mikrofona ulaşan desteklenmiş sesin desteklenmemiş sestten düşük düzeyde olması gerekir. Yani;

$$SPL_{am-mic} < SPL_{un-mic}$$

Şekil 4.3'deki gibi konuşmacının mikrofondan 0.5 m uzakta olduğu bir örnekte mikrofona 72 dB'lik bir ses düzeyi ulaşır. Hoparlörden mikrofona ulaşan sesin düzeyi ise 68 dB'dir (Hoparlör mikrofona 4 m uzaklıktadır). Görüldüğü gibi mikrofona ulaşan desteklenmiş SPL, mikrofona ulaşan desteklenmemiş sestten 4 dB daha düşüktür.

Pratikte geri besleme problemlerini önlemek için 6 dB'lik bir güvenlik sınırı konulmuştur.

$$SPL_{am-mic}=[SPL_{un-mic}-6] \text{ dB}$$

Örnekte çok yönlü bir mikrofon ve hoparlör ele alınmıştır. Yönlü bir mikrofon ve hoparlör kullanıldığında ise çok daha iyi sonuçlar elde edilir. Daha önceden de belirtildiği gibi, yönlü mikrofonlar (Genellikle de kardioid tipi olanlar), ses güçlendirme sistemlerinde yaygın bir biçimde kullanılırlar.

Mikrofon-hoparlör yönündeki mikrofon hassasiyetinin, mikrofon-konuşmacı yönündekinden 5 dB daha düşük olduğu varsayılırsa, bu durumda hoparlör düzeyi 5 dB arttırılabilir, bu da 5 dB'lik akustik kazanç sağlar.

4.3.2 Açık hava ses güçlendirme sistemlerinin tasarımı

Açık havada, tasarımcının sistemin akustik kazancı hakkında fikir edinebilmesi için basit bir denklem geliştirilebilir. Şekil, sistem bileşenlerinin yerleşimini detaylı bir biçimde göstermektedir. Ters kare yasasına göre, konuşmacıdan mikrofona ulaşan desteklenmemiş ses, SPL_{un-mic} ve konuşmacıdan dinleyiciye ulaşan desteklenmemiş ses, SPL_{un-lis} arasındaki bağıntı şu şekildedir:

$$SPL_{un-lis}=SPL_{un-mic}-20 \log D_o/D_m \quad (4.1)$$

Bu bağıntıda D_m konuşmacı ile mikrofon arasındaki mesafe ve D_o ise konuşmacı ile dinleyici arasındaki mesafedir.

Bu şekilde ses güçlendirme sistemi aktif hale getirilmiş olur. Dinleyiciye ulaşan desteklenmiş ses düzeyi SPL_{am-lis} ile, mikrofona ulaşan ses düzeyi ise SPL_{am-mic} ile gösterilsin. Mikrofonun ve hoparlörün çok yönlü oldukları kabul edilirse:

$$SPL_{am-lis}=SPL_{am-mic}-20 \log D_2/D_1 \quad (4.2)$$

Bu bağıntıda D_1 hoparlör ile mikrofon arasındaki mesafe ve D_2 de hoparlör ile dinleyici arasındaki mesafedir. Bağıntı 4.1 bağıntı 4.2'den çıkartılırsa sonuç:

$$SPL_{am-lis}-SPL_{un-lis}=[SPL_{am-mic}-SPL_{un-mic}]+20 [\log D_o/D_m-\log D_2/D_1] \quad (4.3)$$

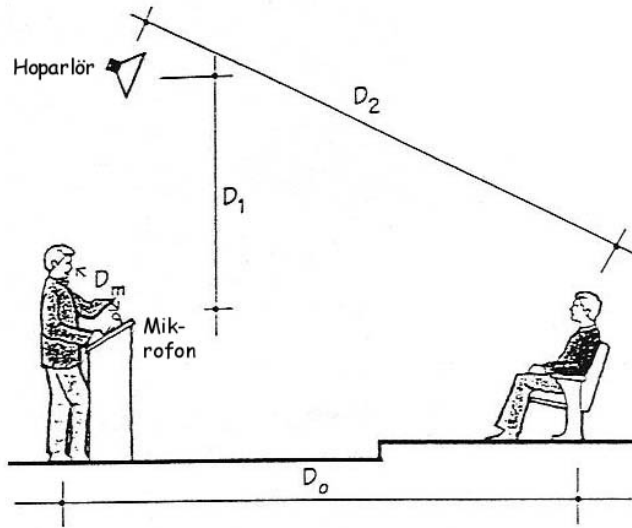
Daha önce de belirtilen güvenlik sınırına göre, mikrofona ulaşan desteklenmiş sesin desteklenmemiş ses düzeyini geçmemesi gerekmektedir. Limit durumunda $SPL_{am-mic}=SPL_{un-mic}$ 'dir. Bu durumda 4.3 bağıntısı şu hali alır:

$$SPL_{am-lis}-SPL_{un-lis}=20 [\log D_o/D_m-\log D_2/D_1] \quad (4.4)$$

4.4 bağıntısının sol tarafı sistemin potansiyel akustik kazancını (PAG) gösterir. PAG, verilen sistem geometrisinde potansiyel olarak var olan maksimum kazançtır. Belli bir mikrofon ve hoparlör geometrisinde, PAG dinleme alanındaki değişik pozisyonlarda değişik değerler alır. 4.4 bağıntısı kullanılarak elde edilen PAG genellikle 6 dB (Geri besleme güvenlik sınırı) azaltılır. Örneğin:

$$PAG=20 [\log D_0/D_m - \log D_2/D_1 - 6] \quad (4.5)$$

PAG, konuşmacı ile mikrofon arasındaki mesafe azaltılarak artırılabilir. Daha önce de belirtildiği gibi, yönlü mikrofon ve hoparlörlerin kullanılması ile de PAG artırılabilir. Mükemmel dinleme koşulları için 25 dB'lik bir sinyal gürültü oranı tavsiye edilir.



Şekil 4.4 : Konuşmacı, dinleyici, mikrofon ve hoparlörün yerleşimleri.

4.3.3 Kapalı mekân ses güçlendirme sistemleri

Kapalı bir mekândaki ses güçlendirme sistemi, açık havadakine göre çok daha karmaşıktır. Kapalı mekânda dinleyici hem direkt hem de yansıyan ses bileşenlerini duyacaktır.

Kullanışlı erken yansıyan seslerin sonucunda oda ses güçlendirme sistemine ihtiyaç duymadan gelişmiş dinleme koşulları sağlayacaktır. Ses güçlendirme sistemi direkt sesi arttıracak, bu durumda yansıyan sesler de aynı oranda artacaktır.

Kapalı bir mekândaki konuşma güçlendirme sistemi tasarımında odanın çınlama süresi, gecikmiş yansımaları arttıracak ses yansıtıcı yüzeylerin (Ekolara neden olan

ve anlaşılabilirliği düşüren) konumları hesaba katılmalıdır. Desteklenmiş sesin kuvvetli yansımaları geri besleme potansiyelini de artırır.

4.4 Ses Görüntüsü

Ses görüntüsünün istenilen noktaya yönlendirilebilmesi hoparlör konumlarına ve bağlı seviyelere bağlıdır. Algılanan ses görüntüsü ile hedeflenen ses görüntüsü konumu arasındaki fark ses görüntüsü bozulması olarak adlandırılır. Bu faktör kabaca derece ile ölçülür (Algılanan ve hedeflenen konumlar arasındaki açı), bazen ise etkinin yoğunluğuna göre (Ses görüntüsünün tek bir nokta olarak ya da bir alana yayılmış olarak algılanması) değerlendirilir. Çoğu durumda hedeflenen nokta sahnedeki bir aktör ya da müzisyen gibi gerçek bir ses kaynağı olmaktadır. Buradaki amaç hoparlörlerin güçlendirdiği sesin görsel olarak algılanan kaynak ile karşılaştırılmasıdır.

Ses görüntüsü bozulmasını minimuma indirebilmek için öncelikle kulağın doğal yatay ve dikey konumlandırma mekanizmalarının nasıl çalıştığının anlaşılması gerekmektedir.

4.4.1 Dikey konumlandırma

Dikey konumlandırma dış kulak ya da kulak kepçesi mekanizması ile sağlanır. Dış kulağın hatları sesi iç kulağa aktaran bir dizi yansıma oluşturur. Bu yansımaların şifresi beyinde çözülerek dikey ses görüntüsü hissini sağlayan dikey harita oluşturulur. (Vincent Van Gogh bir sesin aşağıdan mı yukarıdan mı geldiğini hissedememekteydi. Bilindiği gibi ünlü ressam dış kulağını kesmiştir. Bu hareket kendisini sağır etmemiş fakat dikey konumlandırma mekanizmasını ortadan kaldırmıştır). Bu tepki her kulak için ayrı çalışır.

4.4.2 Yatay konumlandırma

Yatay mekanizma dikey olana göre daha hassastır. Kulakların başın her iki tarafında konumlandırılmış olması dolayısıyla ortamdaki herhangi bir sesin her iki kulağa farklı ulaşması, kaynağın konumunun tespitini sağlar. Bu mekanizma iki kulak ile konumlandırma olarak adlandırılır ve uygulamalarda bu özelliğe çok dikkat edilmelidir.

Algılanan yatay ses görüntüsü konumu her iki kulağa ulaşan seslerin zaman ve seviye farklarına bağlıdır. Buradaki ilgili zaman kulaklar arası zaman farkı (ITD) ve ilgili seviye ise kulaklar arası seviye farkı olarak adlandırılır (ILD). Dalgaların başın çevresinde bükülerek nerede ise aynı seviyede fakat az da olsa farklı zamanlarda her iki kulağa ulaştığı alçak frekans konumlandırma ITD baskın faktördür. Yüksek frekanslarda ise sesin kafatasından geçmeye çalışırken uğradığı azımsanamayacak seviye kayıplarından ötürü ILD baskın faktördür. Yüksek frekanslı dalga boyları kafanın etrafında bükülmeye müsait olmadıklarından azımsanmayacak boyuttaki seviye farkları gerekli konum tespitini sağlarlar. Aslında bu faktörlerden sadece biri de konum algılamasını sağlamakta yeterli olacaktır. Tek bir kaynak dinlendiğinde bu iki parametre beraberce çalışacak ve konumlandırma verisine ikinci onay sağlanmış olacaktır.

4.5 Hoparlör Konumları

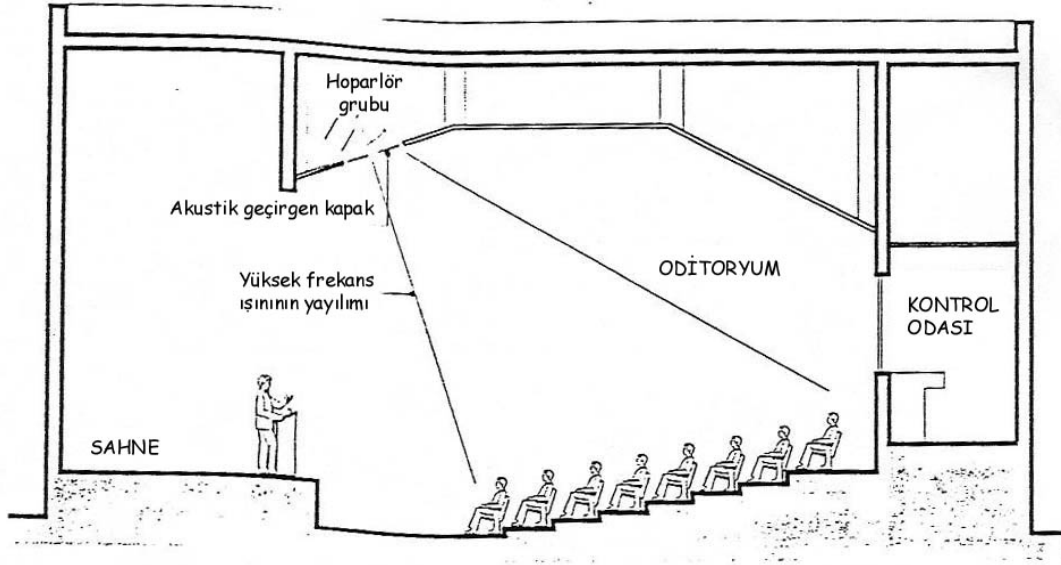
Bir ses güçlendirme sistemindeki en önemli konulardan biri de hoparlörlerin konumlarıdır. Pratikte mümkün olan bütün alternatifleri tartışmak imkânsızdır fakat ses sistemi tasarımcıları tarafından çokça kullanılan iki hoparlör yerleşimi vardır.

4.5.1 Merkezi hoparlör grubu sistemi

En basit sistemde temel fikir, birçok hoparlörü bir grup oluşturacak şekilde odanın merkezi bir noktasına yerleştirmektir. Hoparlör grubunun konumu genellikle konuşmacının üzerinde ve geri beslemeyi engellemek için de sahnenin biraz ilerisindedir (Şekil 4.5). Bu sistem çok kullanımlı oditoryumlar, perde önü tiyatroları ve konferans salonları için uygundur.

Hoparlör grubu bir (Ya da daha fazla) alçak frekanslı hoparlörden ve birçok yüksek frekanslı hoparlörden oluşur. Estetik nedenlerden ötürü hoparlör grubu, akustik olarak geçirgen bir malzeme ile gizlenebilir ya da göz önüne yerleştirilebilir.

Yüksek frekanslarda hoparlörlerin yönlülüğü nedeni ile hoparlör grubundaki yüksek frekanslı her hoparlör, salonun bir kısmını hedef alır. Bu yüzden bütün salonu hedef alabilmek için birçok yüksek frekanslı hoparlöre ihtiyaç vardır. Hoparlörlerin odadaki yüzeylere değil dinleyicilere yönlendirilmesine dikkat edilmelidir. Odadaki yüzeylere çarpan sesler çınlayan sesler grubunun bir parçası olurlar ve genellikle anlaşılabilirliği azaltan gürültü gibi davranırlar.



Şekil 4.5 : Bir oditoryumdaki merkezi hoparlör grubunun yerleşimi.

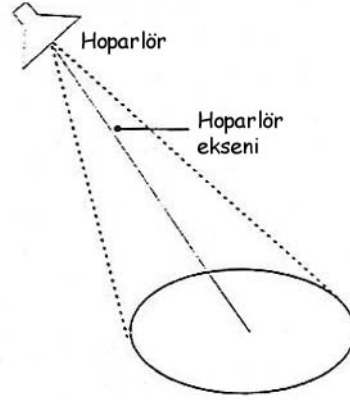
Hoparlörlerin konuşmacının üzerine yerleştirildiği bir merkezi hoparlör grubu sisteminde, konuşmacının sesi desteklenmiş sestən çok az bir süre önce dinleyiciye ulaşacaktır. Bu yüzden bu iki ses (Konuşmacıdan ve hoparlörden gelen) Haas etkisine göre bütünleşecektir.

Buna ek olarak desteklenen ses dinleyiciye yukardan ulaştığı için ve insan kulak yapısı dikey düzlemde sesin yönünü ayırt edemediği için dinleyiciler bütün sesin konuşmacıdan geldiğini sanırlar. Pratikte iyi tasarlanmış bir hoparlör grubu sisteminde dinleyiciler ses güçlendirmesinin farkına varmazlar. Merkezi hoparlör grubu sistemi tasarımında göz önüne alınması gereken birkaç önemli nokta:

Her dinleyici hoparlör grubu sistemini direkt olarak görebilmelidir.

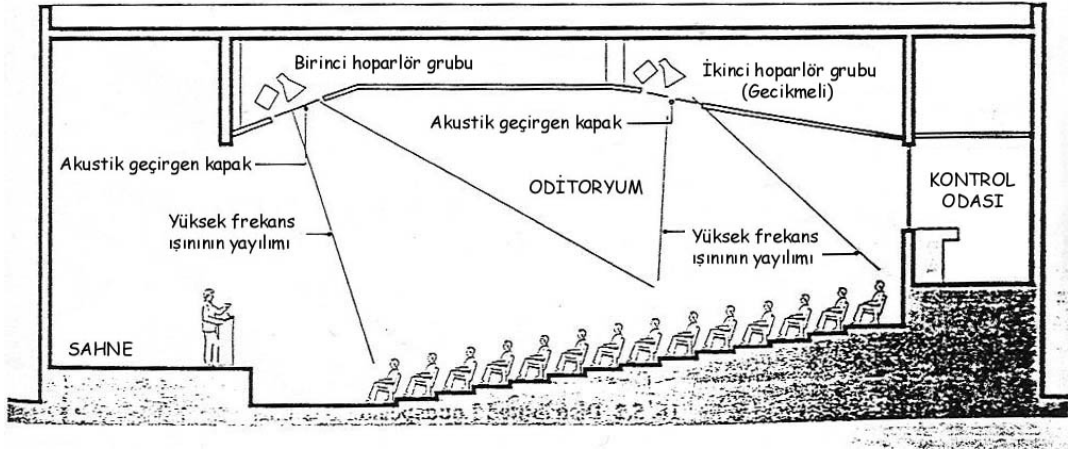
Gruptaki yüksek frekans elemanları sesi öyle yaymalıdır ki, o hoparlörün hedef aldığı en uzaktaki dinleyicinin mesafesi, en yakındaki dinleyicinin mesafesinin iki katından fazla olmamalıdır. Bu da demektir ki en uzaktaki dinleyiciye ulaşan desteklenmiş SPL ile en yakındaki dinleyiciye ulaşan arasında 6 dB olacaktır (Şekil 4.6).

Sahnenin üstündeki grup mümkün olduğunca yükseğe yerleştirilmelidir. Kurala göre grup, en uzak dinleyiciye olan mesafenin 0.25 katından daha alçak olmamalıdır. Örneğin en uzak dinleyici 24 m uzaklıkta ise hoparlör grubunun minimum yüksekliği yaklaşık 6 m olacaktır.



Şekil 4.6 : Hoparlörün hedef aldığı alanda ses düzeyinin düzgün dağılımı için gerekli sınırlar.

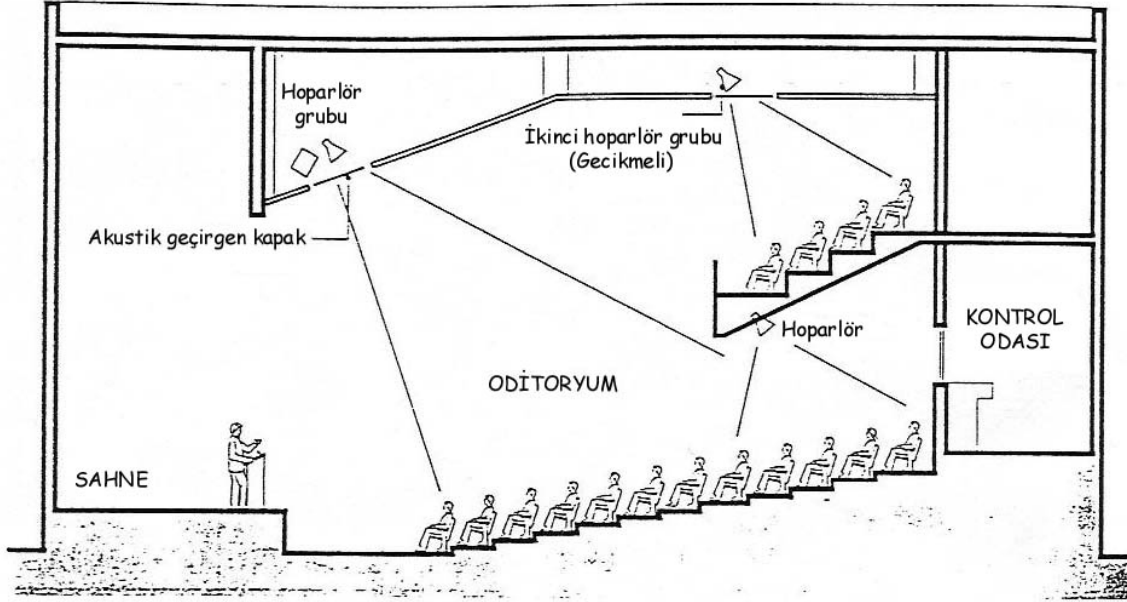
Gerekli olan hoparlör yüksekliğinin sağlanamadığı bir oditoryumda ikinci bir hoparlör grubuna ihtiyaç duyulur (Şekil 4.7). Bu durum derinliği fazla olan oditoryumlarda ve kiliselerde meydana gelir. Sesin konuşmacıdan geldiği izlenimini sağlayabilmek için ikinci gruptan gelen sesin birinci gruptan gelen sesle bağlantılı bir biçimde geciktirilmesi gerekmektedir.



Şekil 4.7 : Uzun bir oditoryumda ikinci hoparlör grubunun yerleşimi.

İkinci gruptan gelen ses geciktirilmezse bu ses dinleyiciye, doğrudan konuşmacıdan gelen sestten daha önce ulaşacaktır. Bu sebeple sesin konuşmacıdan geldiği izlenimi sağlanamaz. Gecikme süresi, sesin birinci gruptan ikinci gruba ulaşma süresine eşit olmalıdır.

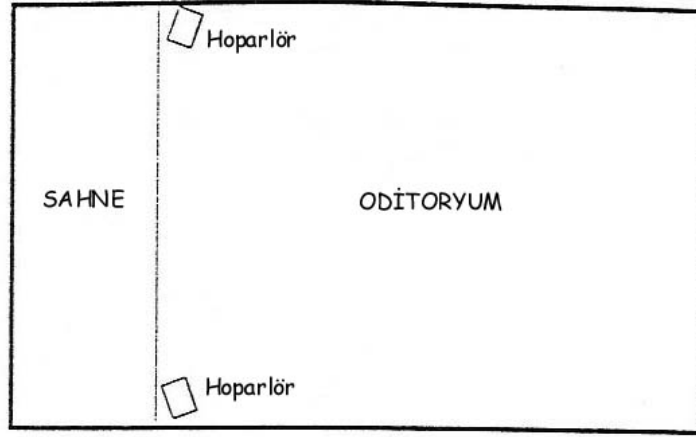
Balkonlu bir oditoryumda balkonların altında kalan izleyiciler birinci hoparlör grubunu direkt olarak görmeyebilir. Bu yüzden gerekli ses düzeyini sağlayabilmek için balkonun altına ek hoparlörler yerleştirilmelidir (Özellikle de orta ve yüksek frekanslarda) (Şekil 4.8). Bu durumda da uygun gecikme sağlanmalıdır.



Şekil 4.8 : Balkonlu bir oditoryumdaki hoparlör grupları.

Yaygın olarak kullanılan bir diğer yöntem ise hoparlörleri sahnenin iki tarafına yerleştirmektir (Şekil 4.9). Eğer her iki hoparlör de aynı sinyali yayacaksa bu tasarımdan kaçınılmalıdır ki çoğu tiyatrodaki ve oditoryumdaki durum böyledir. İki ses kaynağının kullanılması, salonda yapıcı ve yıkıcı girişimlere sebep olacaktır ve bu da istenmeyen bir durumdur.

İki kanallı (Stereo) güçlendirme yapılacaksa iki hoparlör kullanılmalıdır. Bu durumda her iki hoparlörden çıkan ses farklı olur ve böylece girişim meydana gelmez. Bu tasarım eğlence salonlarında ve ev tipi hi-fi sistemlerinde kullanılmaktadır.



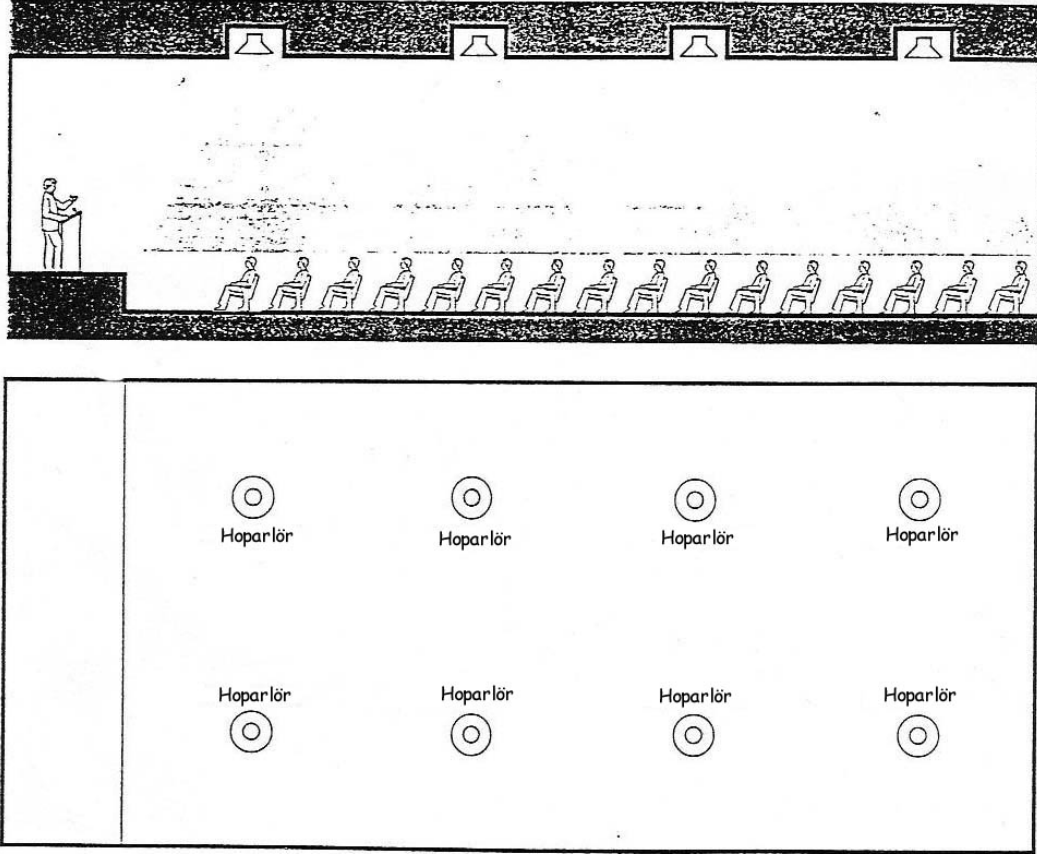
Şekil 4.9 : İki hoparlörlü bir oditoryum. İstenmeyen bir hoparlör yerleşimi.

4.5.2 Dağıtılmış hoparlör sistemleri

Uzunluğuna ya da genişliğine oranla çok alçak tavan yüksekliği olan odalarda, bir ve hatta birçok hoparlör grubu ile yeterli alanı hedeflemek imkânsızdır. Bu tip durumlarda dağıtılmış hoparlör sistemleri kullanılır (Şekil 4.10). Bu durumda her dinleyici tavan yerleştirilmiş hoparlörlerden birine yakın olur. Her hoparlör küçük bir bölgeyi hedef aldığı için hoparlörlerden yayılan ses de küçüktür. Bu sistemde doğrudan sesin çınlayan sese oranı, hoparlörün dinleyiciye olan yakınlığının hassasiyeti ile ilgilidir.

Yeterli alanı hedef alabilmek için, hoparlörler belli bir modele göre yerleştirilmektedir (Şekil 4.11). Bütün noktalara sesi eşit dağıtabilmek için geçiş noktaları dikkatli bir biçimde tasarlanmalıdır.

Dağıtılmış hoparlör sistemleri havaalanı bekleme salonları, tren istasyonları ve konferans salonları gibi büyük kurulum alanlarında kullanılmaktadır. Ayrıca büyük spor arenalarında da bütün alana yeterli güçlendirmeyi sağlayabilmek için dağıtılmış hoparlör sistemleri kullanılır.



Şekil 4.10 : Dağıtılmış hoparlör sistemi.

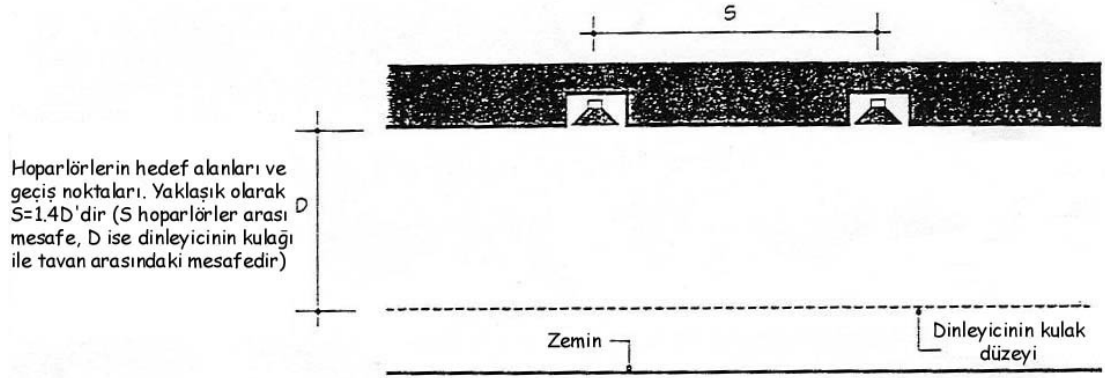
4.6 Bilgisayar Destekli Ses Sistemi Tasarımı

Bölüm 4.3’de basit bir uygulama için kullanılacak bir ses güçlendirme sisteminin tasarımı için gerekli matematiksel ifadeler verilmişti. Çoğu kapalı mekan uygulamasında, hesaplamalar verilenlerden çok daha karmaşıktır. Buna ek olarak hesaplamalar tipik izleyici yerleşimleri için defalarca tekrarlanmalıdır.

Bu durum her bir elemanı farklı bir yönü hedef alan bir hoparlör grubunda, hoparlörlerin yönsel karakteristikleri nedeni ile çok daha karmaşıktır. Ses sistemi tasarımcısı verilen alan için değişik tasarım alternatiflerini de değerlendirmek zorunda kalacaktır.

Bu tip hesaplamaları yapabilmek için bir bilgisayar programı kullanılabilir. Odanın geometrik bir modeli çıkartılır ve her sınır akustik olarak karakterize edilir – yutuculuk, yansıtma, vs. Yazılım seçeneklerinde basit prototip odaları, farklı şekiller ve hacim tasarımlarının yer aldığı bir kütüphane de bulunur. Kullanıcı bunların üzerinde değişiklik yapabilir ve program bu modellenmiş cisimleri görmemizi sağlar.

Üç boyutlu oda çizimleri çoğu mimari CAD (Bilgisayar Destekli Tasarım) programından alınabilir.



Şekil 4.11 : Dağıtılmış bir hoparlör sistemindeki boşluk-yükseklik ilişkisi.

Piyasada bulunabilen hoparlörleri içeren hazır bir veri tabanı bu programlarla birleştirilebilir ve bu sayede tasarımcı değişik sistemlerin performanslarını inceleyebilir. Aynı zamanda çınlama süresini, direkt ses-çınlayan ses oranını ve bir çok değeri elde etmek de mümkündür.

Birkaç hoparlör üreticisi firmanın ses güçlendirme sistemi tasarım programları mevcuttur. Bunların içinde göze çarpanlar Bose Corporation (Modeler), JBL (CADP) ve Renkus Heinz (EASE)'dir.

4.6.1 Ortam auralizasyonu

Bir odanın impuls cevabı ortamın karakteristikleri incelenerek elde edilebilir. Bu, verilen bir ortamda sesin davranışının bağlı tanımıdır. İmpuls cevabı, bir auralizasyon (Tasarım aşamasında tasarımcıya ortamda sesin nasıl duyulacağını dinleme imkânı tanıyan güncel bir gelişme) işlemi geliştirmek için kullanılabilir.

Bu işlem ekosuz bir ortamda kaydedilmiş özel bir insan sesi ya da müzik kaydı kullanılarak yapılır. Ekosuz sinyal, odanın bilgisayar tarafından üretilen impuls cevabı matematiksel bir işleme tabi tutulur. Sonuç olarak elde edilen işlenmiş müzik artık çalınabilir ve bu sayede gerçek ortamda sesin nasıl duyulacağını dinleyici işitmiş olur.

4.7 Elektronik Mimari

Elektronik mimari, ses ve elektroakustik teknolojisini kullanarak, bir gösteri ortamında sesin nasıl değiştiğini inceler. Son zamanlarda dijital sinyal işleme tekniklerindeki gelişmeler, odanın doğal akustiğinde bulunmayan simüle edilmiş yansımalar ve ınlamaları içeren sentetik ses alanlarının yaratılabilmesine olanak sağlamıştır.

Çok amaçlı salonlar gibi değişik akustik ortamlara ihtiyaç duyulan ortamlarda sentetik ses özel bir önem taşır. Ortamın fiziksel yerleşiminde değişiklikler yapılarak değişik akustik ortamlar yaratılabilir fakat genellikle bu venler için çok pahalıdır.

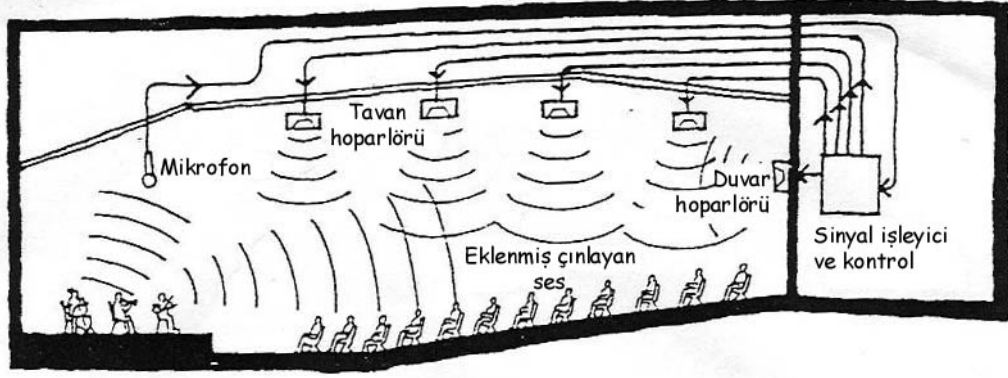
Tipik bir ses güçlendirme sisteminde, bir mikrofon kritik bir noktada sesleri yakalar ve uygun konumlara yerleştirilmiş hoparlörler ile istenilen ses dinleyicilere ulaştırılır (şekil 4.12). Fikir olarak basit olsa da, pratikte bunu sağlamak biraz zordur ve karmaşık programlama, yüksek kaliteli transduzerler ve iyi elektronik bileşenlere ihtiyaç vardır.

Elektronik mimarinin amacı, dinleme deneyimini en yüksek düzeye çekebilecek ses alanları yaratmaktır. Konuşma ve müzik için gereken akustik özellikler iyi tanımlanmalıdır.

Böyle bir sistem uygulanmadan önce odanın mevcut akustik özellikleri tamamen anlaşılmalıdır. Orkestra müziği durumunda, kritik olayların meydana geldiği kısım konser iskelet bölümüdür. Orkestral denge ve salona direkt yayılım burada meydana gelir.

Elektronik mimarinin ilerlemesi için en iyi strateji, bunu düşük çınlama süreli bir odaya uygulamaktır. Elektronik güçlendirme çınlama süresini arttırır ve kayda değer yansımaların gücü kontrol altına alınabilir. Bir kritik konu ise istenen direkt ses-çınlayan ses düzeyidir. Daha küçük odalarda direkt ses kuvvetli olacaktır ve yüksek düzey çınlayan seslerin tanımlanması gerekebilir, sonuçtaki ses hacmi fazla olabilir. Orta ve büyük boyutlu odalarda bu uygulama verimli bir biçimde kullanılabilir.

Her ne kadar elektronik mimari müzisyenler, orkestra şefleri ve halk arasında tartışılan bir konu da olsa, geçerli bir teknoloji olma yolunda ilerlemeye devam etmektedir ve mimari akustiğe yeni boyutlar kazandırmaktadır.



Şekil 4.12 : Salonda gelişmiş bir çınlama sağlamak için kullanılan elektroakustik sistem. Çınlayan alanlar tavana, yandaki ve arkadaki duvarlara dağıtılmış hoparlörler ile oluşturulmuştur.

5. KAPALI MEKÂNLARIN AKUSTİK TASARIMINDA SES GÜÇLENDİRME SİSTEMLERİNİN YERİ

Bir ses güçlendirme sisteminin uygulanma koşulları belirlenirken, sistemin uygulanacağı mekânın ihtiyaçları göz önünde bulundurulmalıdır. Koşullar, bu ihtiyaçlar doğrultusunda sorulan sorulara alınan cevaplarla oluşturulur. Bu koşullara dayanarak yürütülen tasarım sürecinin sonunda bir ses sisteminin oluşturulması ve kurulmasında kullanılabilir bir dizi doküman elde edilecektir. Bu dokümanlar hoparlör konumları ile birlikte odanın çizimlerini, blok akış diyagramlarını, ekipman listelerini ve daha birçok detayı içerecektir.

5.1 Yayım, İletim ve Algılama Modelleri

Doğal sesin iletimi için üç unsurun birbiri ile uyum halinde olması gerekir; ses kaynağının yayımı, sahne iletimi ve salonun iletimi. Ancak bu şekilde dinleyiciler için tatmin edici bir algılama gerçekleştirilebilir. Güçlendirilmiş ses uygulamaları için de üç kısımlı uyum gerekmektedir, fakat buradaki durum doğal sesteki farklıdır. Her kaynağın yaptığı yayım sahneyi terk etmeden önce yakındaki bir algılayıcı (Mikrofon) tarafından yakalanır. Algılayıcılar kaynakların dinleyici ile ve birbirleri arasındaki yalıtımı sağlarlar. Yakalanan bu sesler ayrı ayrı elektronik olarak mikserde iletilirler ve burada kaynakların harmanlanması ve ton ayarları gerçekleşir. Mikserden geçen bu kaynaklar daha sonra ihtiyaca göre sahnedeki sanatçıların kullandığı monitörlere ve dinleyiciler için salondaki hoparlörlere gönderilir.

Doğal sesin yayım, iletim ve algılama özellikleri:

- Bağımsız kaynaklar sahnede birbiri ile karışır.
- Yayım birden fazla kaynaktan ve aynı konumdan gelir; sahneden.
- Salonun iletim desteğine ihtiyaç vardır.
- Yayım kaynakları ile iletim ortamı arasındaki yalıtım kısıtlıdır. Müzisyen, sahne ve salonun hepsi birdir.

- Ayrım olmadığından algı, seviye ve ton açısından sabit bir hale gelir.

Güçlendirilmiş sesin yayım, iletim ve algılama özellikleri:

- Bağımsız yayılım kaynakları sahnede birbirinden yalıtılır ve sahne de ana iletim sisteminden yalıtılır.
- İletim birkaç farklı noktadan gelir: sahne, sahne monitörleri, salon ana hoparlörleri ve salon yardımcı hoparlörleri.
- Salonun iletim desteği tercihe bağlı bir iyileştirme, gereklilik değildir.
- Yayım ve iletim kaynakları arasında ayrım gerekmektedir. Sanatçı, sahne ve salonun hepsinin ayrımı gereklidir.
- Algılama ayrım sayesinde seviye ve ton açısından sabit bir hale gelmiştir.

Bu noktada Leo Beranek'in konser salonlarının performanslarını değerlendirmek için belirlediği 18 tanım incelenirse:

Samimiyet: Dinleyicinin sesle ilgili bakış açısını yansıtır. Amaç dinleyicinin sanki küçük bir odada dinliyormuşçasına müziğe yakınlık hissetmesini sağlamaktır. Samimiyetteki eksiklik büyük bir odadaymış gibi uzaklık ve ayrım hissine sebep olur.

Canlılık: Orta ve yüksek frekanslı tonların dolu dolu hissedilmesidir.

Sıcaklık: Alçak frekanslı tonların dolu dolu hissedilmesidir.

Direkt sesin şiddeti: Burada hedeflenen ses şiddetinin müzik içeriğine uygun bir biçimde ölçeklenmesidir. Ses şiddeti çok yüksek olduğunda deneyim rahtsız edici olurken, düşük olduğunda ise deneyim istenilen etkiyi vermez.

Yankılanan sesin şiddeti: Hedeflenen etki yankının uygun seviye-sürede olması ve direkt sinyale ilave ses şiddeti sağlamasıdır. Yetersiz miktarda olması ses şiddetinde eksiklik hissine, fazla olması ise tam tersi bir hisse sebep olur.

Tanım, netlik: Net ve belirgin bir ses sağlanmalıdır.

Parlaklık: Parlak, net tınlayan harmonik açıdan zengin bir ses sağlanmalıdır.

Yayım: Yankının ortamsal etkisi burada anlaşılır. Yayım, sesin tüm yönlerden ulaştığı hissini yaratır.

Denge: Bu faktör enstrümanların ve insan seslerinin bağıl seviyelerini değerlendirir. İyi denge, enstrümanların düzgün seviyelerde duyulmasını sağlar. Zayıf bir denge bazı enstrümanların diğerlerine göre baskın olduğu durumdur.

Harman: İyi harmanlama enstrümanların uyumlu bir karışımı şeklinde algılanır.

Orkestra: Bu madde müzisyenlerin kendilerini ne kadar iyi duyabildiği ile ilgilidir. İyi bir orkestra ancak müzisyenler kendilerini iyi duyabildiğinde oluşturulabilir.

Cevabın doğrudan olması: Müzisyenlerin sesin cevabını ne şekilde hissettikleri ile ilgili bir ölçüdür. Amaç müzisyenlerin sesi hissetmesi ve değişikliklere yeterince hızlı ayak uydurarak herhangi bir bozulmaya neden olmamasıdır.

Doku: Dinleme deneyiminin iyi mahsulüdür. Doku, dokunma hissi ile aynı terimlerle tanımlanır. İyi bir dokuya sahip müzik dış yüzeyinde zenginliğe ve karmaşıklığa sahiptir.

Ekolardan arınma: Hedef süresiz ekoların duyulmamasıdır.

Gürültüden arınma: Gürültünün en düşük seviyede olması hedeflenmektedir.

Dinamik aralık: Maksimum seviye ile gürültü arasındaki aralıktır. Maksimum seviye insanların rahatsız olmayacağı düzeyde olmalı minimum seviye ise ortam gürültüsüne bağlı olarak belirlenmelidir.

Ton kalitesi: Zengin ton kalitesinde frekansa bağlı cevabın tepe ve dip noktalarında bozulma olmamalıdır. Zayıf ton kalitesinde dengesiz frekans cevabı vardır ve bu durum bazı notaların kaybolmasına bazılarının ise istenmeden vurgulanmasına sebep olur.

Düzensizlik: Salondaki tüm dinleyiciler için benzer bir deneyimin yaşatılabileceği durumdur.

5.2 Hedefler ve Sorunlar

Optimize edilmiş tasarımın bir mekândaki iletim ve eklenme yönünden hedefleri:

Minimum spektrum sapması: Farklı konumlarda frekansa bağlı seviye sapmalarının minimumda tutulması hedeflenir. Spektrum sapmasına örnek olarak 8 kHz aralığı için balkonun altında, 24. sıradaki düz cevaba oranla 6 dB düşüş olan bir sistem ele alınabilir.

Minimum seviye sapması: Tüm salondaki genel ses seviyesinde meydana gelen sapmaların minimumda tutulması hedeflenir. Seviye sapması dB birimi ile değerlendirilir. Örneğin: Ses seviyesi balkonun altında 24. sıraya kıyasla 6 dB düşüktür.

Minimum dalgalanma sapması: Eklenmeden ötürü meydana gelen tepe ve dip noktalarındaki farkların minimumda tutulması hedeflenir. Dalgalanma sapmasına örnek olarak balkonun altında orta frekanslarda ± 12 dB dalgalanma olan, 24. sıradaki dalgalanma miktarı ± 3 dB olan bir sistem ele alınabilir.

Maksimum güç eklenmesi

Optimize edilmiş tasarımın algılanma yönünden hedefleri:

- Sanatçı tarafından istendiği biçimde kanal sayısı sağlanmalıdır. Bu stereo, surround veya farklı çok kanallı bir sistem olabilir. Kanal sayısı, farklı elektronik sinyallerin farklı noktalardaki hoparlörlere gönderilmesi ile sağlanır.
- Kaynakla ton ve ayırım ilişkisi inandırıcı olmalıdır. Burada amaç dinleyicinin hoparlörlere değil kaynağa odaklanmasıdır. Hoparlörlerin dinleyicinin zihninde arka planda kalabilmesi için gerçekçi ton kalitesi ve sesin görsel yerleşimi gerekmektedir.
- Frekans bant genişliği uygun olmalıdır. Bu konu inandırıcı ton ilişkisi ile ilgilidir. Sadece insan sesinin iletileceği sistemler, 40 Hz'e kadar geniş bir cevap aralığı olmadan da inandırıcı olabilir. Diğer bütün sistemlerde geniş cevap aralığına yani subwooferların ilavesine ihtiyaç vardır.
- Ses şiddeti yeterli olmalıdır. Mevcut şartlarda dinleyicinin ihtiyaçlarını karşılayacak güçte olmalıdır.
- Beğenilir akustik, yani ton dengesi sağlanmalıdır. Uygun biçimde hesaplanmış yayılmış yankı alanı olmalıdır. Devamsız ekolardan, rezonanslardan ve diğer akustik yetersizliklerden arınma gerekmektedir.
- Netlik sağlanmalıdır. Dinleyicilerin sinyali düzgün bir biçimde algılayabilmeleri için direkt-yankılanan sinyal oranı yeterince yüksek seviyede olmalıdır.

Optimize edilmiş tasarımda karşılaşılabilecek zorluklar:

- Güçlendirilmiş ses için elverişsiz mimari akustik.
- Akustik yoldaki engeller özetle hoparlör ile dinleyici arasındaki direkt sesi engelleyen her türlü malzeme.
- Hoparlörlerin yanlış konumlandırılması ve odaklama açısının yanlış seçilmesi, hoparlör konumu sapmaların artmasına, eko algılanmasına, sesin görsel yerleşiminin yanlış olmasına ve başka sorunlara sebep olabilir. Bir kategori için iyi olan bir konumlandırma ve odaklama açısı bir diğeri kötü yönde etkileyebilir.
- Kaynakların ve/veya konumlandırmanın ve/veya odaklama açısının yanlışlığından kaynaklanan kapsamadaki boşluklar (Yetersiz kapsama).
- Kaynakların ve/veya konumlandırmanın ve/veya odaklama açısının yanlışlığından kaynaklanan kapsamadaki çakışmalar (Aşırı kapsama).
- Sistem altbölümlerinin yetersizliği de karşılaşılabilecek zorluklar arasındadır. Sinyal işleme ve güçlendirme kanalları minimum seviye sapması için gerekli spektrum ve ortam ayırımını sağlayabilecek sayıda olmalıdır. Bağımsız sinyal işleme kanalları spektrum sapmasını (Ekolayzır) ve dalgalanma sapmasını (Seviye ve gecikme) minimize edebilmek için gerekli olacaktır.

5.3 Tasarıma Özel Koşullar

Tasarım mevcut ortamın kendine has ihtiyaçlarına göre şekillenecektir. Tasarım sürecinde doğru sonuçlara ulaşılabilmesi için uygun soruların sorularak tasarım koşullarının belirlenmesi gerekmektedir.

5.3.1 Kanal sayısı

Ses sistemi tasarımı ses iletim kanallarının kombinasyonundan oluşmaktadır. Her kanal kendine ait dinleme alanını uygun program malzemesi ile doldurur. Dinleyiciler mekânın tamamını kaplamadığı için dinleme alanı mekânın bir altkümesidir. Yatay düzlemde dinleme alanı ile odanın planı karşılıklı ilişki içerisindedir. Dikey düzlemde ise dinleme alanı koltukların konumlandığı çizgiler ile sınırlandırılmıştır.

Tek kanallı bir sistem tüm dinleme alanını doldurur. Stereo bir sistem iki kanaldan oluşur ve bunların her biri kendi alanını doldurur. Her ikisi de tüm dinleme alanını doldurabileceği gibi stereo panoramik görüntünün geçerli olduğu durumlarda sınırlı bir kısmı doldurabilirler. Bu tip durumlarda sağ kanalın ve sol kanalın kapsama açıları tüm dinleme alanının altkümeleridir.

Kanal sayısı sadece hayal gücü ve sistemin bütçesi ile sınırlıdır. Genellikle uygulamalarda konuşma güçlendirme için kullanılan sistemler mono, müzik güçlendirme için kullanılan sistemler stereo, sinema salonlarında kullanılan sistemler ise surround sistemlerdir.

5.3.2 Kanalın ses görüntüsünün konumu

Bir prodüksiyonda her bir kanalın ayrı görevi vardır. Stereo bir sistemde sağ ve sol kanalın rolü zaten isimlerinde saklıdır. Diğer kanalların da bir konuma ihtiyacı vardır. Ana kanal, surround kanalları ve diğer ses kaynaklarının bir konuma ihtiyacı vardır. Dolayısıyla konumlandırmanın düzgün bir biçimde yapılabilmesi için sistemde ses görüntüsünün nerede olacağı bilinmelidir.

Alt sistemler de aynı temel ses görüntüsü konumunu kullanırlar. Örneğin bir merkez dizi ve bunun balkon altındaki gecikmeli alt sisteminin istenilen ortak ses görüntüsü sahne merkezindedir. Gecikmeli hoparlörlerin pratikteki konumları bazı hoparlörlerin tam olarak aynı noktaya hizalanmasına engel olur. Kesin olarak uygulanamasa da genel olarak hedef paylaşılmaktadır.

5.3.3 Pratikteki özel sınırlamalar

Her salonun kendine has koşulları vardır. Her salona özel bir takım sınırlama örnekleri aşağıdadır:

1. Tarihi önem arz eden yapılarda herhangi bir şeyin asılmasına müsaade edilmeyecektir.
2. Görünmezlik sağlanmalıdır. Bütün hoparlörler ince kumaşların arkasında saklanmalıdır.
3. Görsellik sağlanmalıdır. Sahnenin altında hoparlörlere müsaade edilmez.
4. Hoparlör konumları set ve yapı malzemeleri ile çakışmamalıdır.

5. Salonun sponsoru X firması olabilir. Bu yüzden seçilecek hoparlörlerin X marka olması zorunluluğu doğabilir.
6. Çok amaçlı salonlarda belli zamanlarda sistemin sökülüp yenilenmesine ihtiyaç duyulabilir. Bu yüzden sistem portatif olmalıdır.
7. İş için doğru araç olmasa da sıralı dizi kullanılmalıdır.

5.3.4 Kanalın kapsama alanındaki açık mikrofonların konumları

Mikrofonlar konumlandırılırken hoparlör konumları göz önünde bulundurulmalıdır. Çoğu durumda pratikte mikrofon konumları hoparlör konumlarına kıyasla daha fazla önem taşımaktadır. Konumlarla ilgili ufak tefek ayarlamalar yapılabilse de çoğu durumda ana mikrofonların nerede olacağı bellidir. Hoparlör konumları salonda tatmin edici düzey ve değişmezlik için gerekli akustik kazancı sağlayacak yeterli izolasyonu sağlamalıdır. Bu kesin olmayan bir bilimdir ve sürekli gelişen işlevsel bakış açıları içerir. Açık bir mikrofona sahip her sistemde ses yeterince açıldığında geri besleme oluşabilir. Temelde göz önünde bulundurulacaklar;

1. Mikrofon yerleşimleri.
2. Hoparlör yerleşimleri.
3. Mikrofon ve hoparlör yönlülük kontrolü (Özellikle arka bölgede).
4. Kaynaklar ile mikrofon arasındaki mesafe.
5. Salonda istenilen seviyelerdir. Bu durum hoparlörler tek tek ele alınarak değerlendirilmelidir.

5.3.5 Kanalın program malzemesi

Bir sistemi tasarlariken;

1. Sistemin ne için kullanılacağı
2. Uygulamanın sadece konuşma güçlendirme için mi yoksa hem konuşma hem müzik güçlendirme için mi kullanılacağı
3. Eğer müzik güçlendirme için kullanılacaksa müziğin tarzı

ile ilgili sorular sorulmalı ve alınan cevaplar doğrultusunda;

1. Sistemin frekans cevabı gereklilikleri

2. Ortalama ve maksimum ses basınç düzeylerinin ne olması gerektiği belirlenmelidir.

Eğer sistem sadece konuşma güçlendirme için kullanılacak ise;

1. Alçak frekans cevabının 20 Hz'e hatta mümkünse 50 Hz'e kadar bile ulaşmaması gerekir. Aslında alt uç noktadaki bu frekans cevapları rüzgâr gürültüsü, mikrofon ayağı ve kablo hareketleri ile kürsü gürültüleri gibi istenmeyen sesleri öne çıkaracaktır. Böyle bir sistem için kullanışlı bir alt limit 100 ila 150 Hz civarında olmalıdır. Konuşma anlaşılabilirliğinin iyi olabilmesi için üst uçta en az 5 kHz'lik bir cevap gereklidir (Kıyaslama için bir telefonun cevabı 300 Hz ile 3 kHz arasındadır).
2. Normalde birim alanda konuşma güçlendirme, müzik güçlendirmeye göre daha az güce ihtiyaç duyar. Konuşma anlaşılabilirliğinin iyi olabilmesi için 70 dBA ve 80 dBA ortalama seviyeleri genellikle yeterlidir ve pikler için de 10 dB'lik bir boşluk payı bırakılmalıdır. Daha gürültülü çevrelerde daha yüksek SPL değerlerine ihtiyaç duyulabilir.

Bu durumun tam tersine akustik müzik enstrümanlarında kullanılacak güçlendirme sistemlerinde;

1. Alt uçtaki cevap 40 ila 50 Hz'lere, üst uçtaki cevap ise 16 kHz'e kadar ulaşmalıdır.
2. 80 ila 85 dBA'lık ortalama seviyeler ve minimum 10 dB'lik (Kaliteli sistemler için 20 dB) boşluk payı gerekir.

Rock müzik güçlendirme için kullanılacak bir sistemde;

1. Alt uçtaki cevap 30 ila 40 Hz değerleri arasında olmalı, güç kapasitesinin büyük kısmı alçak frekanslarda (500 Hz'in altı) yoğunlaşmalıdır. Yüksek frekans cevabı en az 10 kHz'e, tercihen 16 kHz'e kadar ulaşmalıdır.
2. 100 dBA'lık ortalama seviyeye ve en az 10 dB'lik boşluk payına (Tercihen 15 ila 20 dB) ihtiyaç duyulacaktır.

Program malzemesine göre SPL bilgileri için referans tablo Şekil 5.1'dedir.

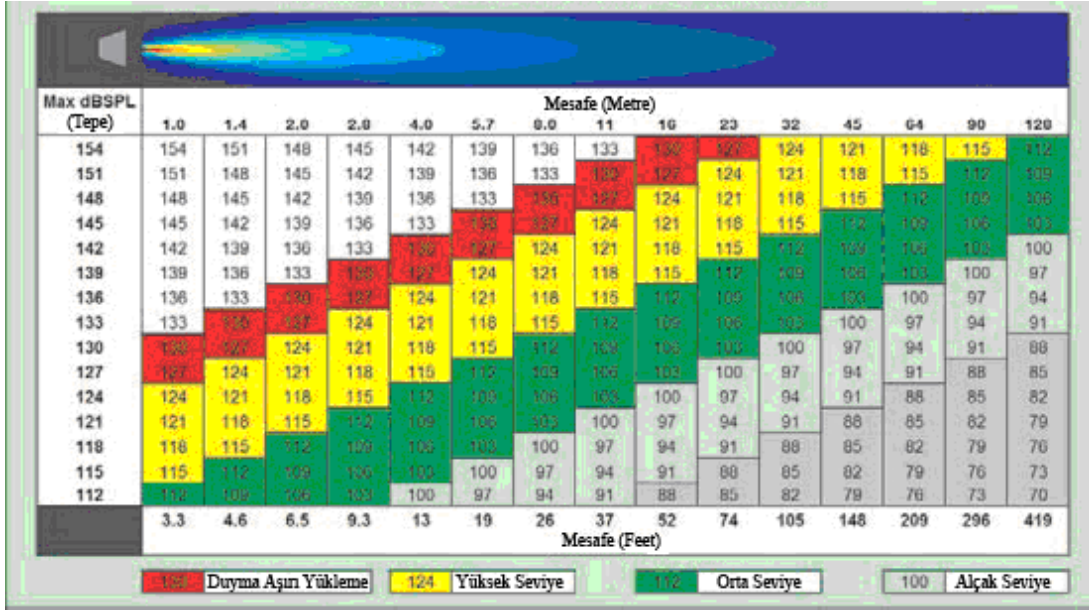
Dinleme Seviyesi		Kulak Seviye Aralığı	Yorumlar	Yüksek Seviye Müzik	Orta Seviye Müzik	Alçak Seviye Müzik					
dB SPL	dB SPL Pk										
133	145	Red	Ağrı Eşiği								
130	142										
127	139	Yellow	Lineer Olmayan Bölge								
124	136										
121	133										
119	130										
115	127	Green	Yüksek Seviye Müzik	X							
112	124										
109	121										
108	118										
103	115										
100	112										
97	109						Orta Seviye Müzik	N O M I N A L			
94	106										
91	103										
88	100										
85	97	Alçak Seviye Müzik		X	N O M I N A L						
82	94										
78	91										
78	88										
73	85										
70	82						0.5 Metre'de Konuşma				
67	79										
64	76										
61	73										
58	70						1 Metre'de Konuşma				
55	67										
52	64	2 Metre'de Konuşma									
49	61										
46	58	Tipik Havalandırma									
43	55										
40	52										
37	49										
34	46	Sessiz Oda									
31	43										
28	40										
25	37										
22	34	Çok Sessiz Oda									
19	31										
16	28										
13	25										
10	22	Kayıt Stüdyosu									
7	19										
4	16										
1	13										
-2	10	NOISE									
-5	7										
-8	4										
-11	1										

Şekil 5.1 : Kulağın dinamik aralığındaki tipik işlevsel seviyeler.

5.3.6 Kanalın kapsama aralığı

Sesin ne kadar uzağa gitmesi gerekmektedir? Bu mesafe belirli bir kanalda hoparlörün güç özelliklerini belirlemekte kullanılacaktır. Program malzemesi SPL hedefini belirler. Mesafe ile ilgili kayıplara rağmen bu seviye tüm ortama yayılmalıdır. Mesafeye bağlı SPL kayıplarını gösteren referans tablo Şekil 5.2'de

verilmiştir. Örnek olarak 32 m uzunluğunda bir salonda tasarlanacak bir rock müzik sistemi ele alındığında; 100 dBA'lık ortalama seviyenin sağlanması gerekmektedir. Şekilde maksimum dB SPL değeri 121 dBA olan satır seçildiğinde 32 m mesafede 91 dBA elde edilir (Hedeflenen 100 dBA ile aynı seviye grubundadır), en yakın mesafede ise maksimum 121 dBA elde edilir ki bu da duyma aşırı yüklenme seviyesinin altında kalmaktadır. Dolayısıyla bu uzunluktaki bir salonda 121 dBA maksimum SPL'ye sahip bir sistem, rock müzik için uygun olacaktır.



Şekil 5.2 : Program malzemeleri için mesafeye göre tipik maksimum SPL

5.3.7 Kanalin kapsama alanının şekli

Kapsama alanı her şekilde olabilir: basit simetrik bir şekil, basit asimetrik bir şekil ya da karmaşık bir şekil. Eğer kapsama şekli istenilen minimum sapma şekline uyuyorsa konu çok basit bir hale gelir. Eğer değilse mekân her biri ayrı ayrı kapsanacak ve bir minimum sapma bütününe eklenecek kısımlara ayrılmalıdır.

5.3.8 Kanalin kapsama alanının akustik özellikleri

Bu konu genellikle odanın akustik özellikleri ile ilgilidir fakat bu özellikler eşit değildir. Her sinyal kanalının toplam alanın bir kısmını oluşturan farklı kapsama alanı vardır. Bu kapsama alanı özel kapsama bölgelerinin kontrolü amacıyla alt sistemlere bölünebilir. Bir kanalın akustik özellikleri o alanda baskın rol oynayan alt sistemler açısından değerlendirilmelidir. Oda akustiği ana sistem açısından da ayrıca değerlendirilmelidir. Dolgu hoparlörleri ile doldurulan alanlar ana kanalı da içerirler.

Bunların bölgesel akustik özellikleri hem ayrı ayrı hem de birleşik olarak değerlendirilmelidir. Burada ele alınabilecek bir örnek balkon altı gecikme sistemidir. Ana hoparlörün karşılaştığı uygun olmayan akustik, bir gecikme hoparlörü ihtiyacını doğurmaktadır. Gecikme hoparlörü ana hoparlör ile kapsama alanlarını paylaşır fakat oda yüzeylerini çok farklı bir açıdan görür. Bu da minimum sapma için istenen bir özelliktir. Birleştirilmiş sonuçlar birleştirilmiş akustik etkileri de içerecektir.

5.4 Tasarıma Özel Cevaplar

Tasarımla ilgili cevaplara evrensel kararlardan özel kararlara doğru ilerleyerek ulaşılır. Birçok tasarım cevabı için sistem kanalları temel teşkil edecektir: sağ, sol, surround kanallar, vs. Bunların her birinin farklı hoparlörleri, sinyal işlemleri ve akustik etkenleri olacaktır. Her biri kendi açısından pratikteki limitlere uyacak ve aynı akustik alanı paylaşacaklardır. Hepsi aynı kaynakları kullanacaktır.

5.4.1 Hoparlör konumları

Her sinyal kanalının pratikteki durumlara ve istenilen kaynak konumuna bağlı bir temel konumu vardır. Kanalların alt sistemleri ve dizi elemanları aynı ses kaynağı konumunu oluşturacak şekilde yönlendirilirler. Örneğin;

- Surround sol kanal hoparlörleri salonun sol tarafında üst ve alt seviyelerde önden arkaya doğru sıralanacaktır. Bütün açılardan bakıldığında ses kaynağı sol uç noktada hissedilecektir.
- Sahnedeki şarkıcıyı kaynak göstermesi gereken vokal kanalıdır. Böyle bir sistemin ses görüntü konumunu sağlayabilmesi için birden fazla konumlandırmaya ihtiyacı olacaktır.
- Zemin seviyesi yükseldikçe dikey ses görüntüsündeki bozulma azalacağından salonun arka yarısı için merkezi dizi kullanılabilir.
- Ön taraflarda ise alçakta dikey konumlandırılmış iç ve ön dolgu hoparlörlerinin kullanılması uygun olacaktır.

5.4.2 Hoparlör dizi tipleri

Hoparlör konumu belirlendikten sonra dinleme alanı dizi tipinin belirlenebilmesi açısından incelenmelidir. Dinleme alanının şekli ne tip dizinin kullanılacağı konusunda bilgi verecektir:

- Dar uzun alanlarda birleşmiş diziler kullanılacaktır.
- Geniş ve derin olmayan alanlarda ayrı diziler kullanılacaktır.
- Minimum sapmaya ulaşabilmek için aşılması gereken asimetri derecesini belirlemede yakınlık oranı kullanılacaktır.
- Hem yatay hem de düşey düzlem kapsama şekilleri değerlendirilecektir.
- Dizi tipinin belirlenmesinde kullanılacak bir diğer kriter ise program malzemesidir. Şekil temel alındığında tek bir hoparlörün yeteceği alanlarda bile yüksek güçlü programlar için birleşmiş diziler kullanılmalıdır.

5.4.3 Hoparlör modeli

Dizi tipi belirlendikten sonra bunu oluşturacak hoparlör modelleri belirlenir. Bu karar verilirken:

- Birincil kriterler kapsama açısı ve gerekli güç olacaktır. Birleşmiş dizilerin kapsama şekli, tek bir yüksek güçlü hoparlör ile ya da daha güçlü birden fazla ünite ile belirli bir güç kapasitesini sağlayabilir.
- Ayrı diziler için model seçimi güç ihtiyaçlarına ve işletme mesafesine göre belirlenecektir. Daha uzun mesafeler daha dar hoparlör ve/veya geniş alan gerektirecektir. Daha kısa mesafeler için geniş hoparlörler ve/veya daha dar alanlar gerektirecektir.

5.4.4 Hoparlör adedi

Hoparlör adedi model seçimi ile doğrudan ilgilidir.

- Tek bir 90 derecelik hoparlör kapsama koşulunu sağlayabilir fakat güç ihtiyacını karşılayamayabilir. 3 x 30 derecelik simetrik birleşmiş bir nokta kaynak dizi her iki kriteri de sağlayacaktır.
- Birleşmiş genişleyen açılı diziler için gereken hoparlör adedi genel açının her elemanın kapsama açısına bölünmesi ile elde edilir.

- Eğer daha fazla güce ihtiyaç duyulursa daha fazla eleman eklenerek kapsama alanlarının çakışması sağlanır. Çakışmalı diziler için gereken hoparlör adedi kapsanacak şeklin açısının hoparlörün genişleme açısına bölünmesi ile elde edilir.

Ayrık diziler için miktar, elemanların en-boy oranlarına, kapsama derinliklerine ve genişliklerine göre belirlenir.

5.4.5 Hoparlör açıları

Bu noktada karar iki aşamada verilmelidir. Birincisi dizinin yönüdür. İkincisi ise dizideki bağımsız elemanların yönleridir. Yatay ve dikey açılar ayrı ayrı değerlendirilmelidir.

5.4.6 Akustik şartlandırma

Akustik şartlandırmanın gerekliliği işlenmemiş yüzeylerin oluşturacağı tehde göre belirlenecektir. En fazla etkiyi hoparlörle aynı eksen üzerindeki, açısı 90 dereceye yaklaşan yüzeyler oluşturacaktır (Arka duvar gibi). Eksen üzerindeki enerjiyi merkeze, salonun ön tarafına veya sahneye yönlendiren yansıtıcı yüzeyler yutucu şartlandırma için en kuvvetli adaylardır. Böyle yüzeylerin şartlandırılması ihtiyacı yüzey alanı ve yansıtıcılık ile doğru orantılıdır.

5.4.7 Sinyal işleme kanalları

Kendine has bir sinyali yayacak hoparlörler kendine has bir sinyal işlemeye ihtiyaç duyarlar. Bu durum stereo gibi farklı sinyal kanallarının var olması durumunda gerçekleşir. Ayrıca alt sistem bileşenleri için kendine has seviye belirlemesi, ekolayzır ayarları ve gecikme ayarları gerekebilir. Genel bir kural olarak: elemanlar arasındaki her türlü akustik asimetri, cevapları karşılayabilmek adına başka bir formda dengeleyici asimetriye ihtiyaç duyar. Eğer fiziksel dünyada herhangi bir şey farklı ise – farklı bir model, farklı bir açı, farklı bir mesafe, vs. – ayrı bir işleme olmalıdır.

5.5 Kanal/Sistem Tipleri

Bir sistemde kanalların üstlendiği birçok rol vardır. Bu rollerden en temel olanı insan sesini güçlendiren merkez dizi gibi bir ana sistemin rolüdür. Bir konser sistemindeki

ana stereo kanalların rolü de önemlidir ve dinleyiciler için yatay panorama sağlar. Her durumda sistemin temel sorumluluğu program malzemesinin çoğunluğu için kapsama sağlamaktır. Bu sistemler ana sistemler olarak adlandırılırlar.

Surround kanallarınca beslenen hoparlörlerin rolü daha farklıdır. Sadece ortamsal bir iyileştirme veya özel bir efekt için kullanılabilirler ve dolayısıyla efekt sistemi olarak adlandırılırlar. Böyle hoparlörler ana sistemden bağımsız olarak önemli bir yardımcı rol oynarlar. Herhangi bir anda ana sisteme olan katkıları tamamıyla sanatsal alandadır. Ana sistem ile efekt sistemleri arasındaki ilişkide sabit eklenme kriterinin karşılanmayacağı kabul edilir. Sonuçta bu tip kanalların tasarım ve optimizasyonu yapılırken de aynı ortamı kullanan alakasız oda arkadaşları oldukları unutulmamalıdır.

Her kanalın tasarım koşulları birbirinden ayrı değerlendirilmelidir. Sol surround hoparlörlerin ihtiyaçları sol ana kanaldan ve diğer kanallardan farklıdır. Bir kanalın iletimi için kullanılan bileşenler bir sistemi oluştururlar. Bir sistem bir hoparlörden veya daha fazlasından oluşabilir. Sistemler ve alt sistemler arasında önemli bir fark vardır. Bir sistem, aynı kaynak kanalın sürdüğü birçok alt sistemden oluşabilir. Sistemin görevi ortamı doldurmaktır. Fakat her ortamda tek bir hoparlörle veya tamamıyla simetrik bir dizi ile optimum kapsama sağlanamayabilir. Bu tip ortamlarda kapsama ayarlanabilir parametreler ile farklı hoparlörlerde alt sistemlere ayrılmalıdır. Alt sistemler hem aynı ortamı hem de kaynak kanalın amaçlarını paylaşırlar.

5.5.1 Mono

Mono bir sistemin amacı tüm dinleme alanını birincil iletim sinyali ile doldurmaktır. Temel ve basit bir biçimde ana sistem sınırsız sayıda ilgili alt sistemleri içerebilir. Bütün alt sistemler ortak bir görsel yerleşim ve bağıl düzeyi paylaşırlar.

5.5.2 Stereo

Stereo sistemler iki ayrı ve iki eş kanalın birleştirilmesinden oluşurlar. Giriş sinyalinin ayrımı sanatsal kontrol altında açık bir değişkendir. Bu şartlar altında sabit eklenme kriterinin sağlanması mümkün olmayacağından tasarlama ve optimizasyon sırasında kanallar ilgisiz gibi kabul edilmelidir. Stereoda ayrı kaynakların çakışması gereklidir. Dolayısıyla sapma artacaktır. Aslında stereo istenilen düzeyde bir

sapmadır. Merkez eksenindeki kazanımın kenarlardaki kayıplara üstün gelmesi gerekmektedir.

5.5.3 Surround

Surround sistemlerin amacı çepeçevre ses kaynağı sağlamaktır. Sağ ve sol surroundun stereo sistemlerden farkı bir stereo kulaklıktan duyulan sesler ile bir odada algılanacak seslerin farkı gibidir. Bir odada stereo bir kaynak kullanıldığında sadece sol ya da sadece sağdaki kaynak kullanılsa bile sesler hep ön taraftan geliyormuş gibi hissedilir. Surround sistemlerde ise kulaklıklarda olduğu gibi soldaki sinyal gerçekten sol taraftan algılanacaktır. Surround sistemler kasıtlı olarak dikkati çevredeki herhangi bir noktaya çekmeyi ya da dinleyiciye tamamıyla çok yönlü bir ses ortamı sağlamayı hedefler.

Surround sistemler genellikle yan ve arka duvarlara yatay düzlemde ayrıklı sıralı kaynak dizileri olarak yerleştirilirler. Çok seviyeli salonlarda her seviyede engellenen alanları da kapsayacak şekilde ilave surround setleri yerleştirilir.

Tasarım açısından bakıldığında dikkat çekecek birçok nokta vardır. Surround sistemler yan ve arka duvarlara yerleştirildikleri için yakında kalan koltuklar ile merkezde ve diğer taraflarda bulunan koltuklar arasında yüksek yakınlık oranı olacaktır. İdealde salonda geniş bir alana, yakın koltukları rahatsız etmeyecek bir biçimde hoparlörler yerleştirilebilir. Hoparlörlerin pratikte olabilecek en yüksek noktaya yerleştirilmesi yakınlık oranını azaltacaktır. Bunu sağlamak her zaman mümkün değildir, tavan ve balkon gibi fiziksel engellerle karşılaşılabilir. Başka bir engel ise ses görüntüsünün dikey olarak aşırı yükselmesi ve yankılanmadır. Çoğu durumda aşırı pembe değişim uygulanmak zorunda kalınabilir. Pratikteki engeller nedeniyle çok fazla yakınlık oranı meydana gelirse pembe değişim ile sağlanacak yanlış ses görüntüsü oluşturulabilir. Bu ise hoparlörlerin yakındaki koltuklar kapsama alanının dışında kalacak biçimde yerleştirilmesi ile elde edilir. Yönlülüğü çok yüksek olan bir hoparlörün, salonun diğer tarafındaki koltuklara yönlendirilmek kaydıyla kullanılması da yardımcı olacaktır. Bu, üçüncü seviyeden bir hoparlörün tek başına kapsamaya tam uygun olduğu bir uygulamadır. Çünkü ortamdaki aşırı pembe değişim dinleyicilerin kaynaktan uzak oldukları hissine kapılmalarına neden olur. Mesafe arttıkça eksen üzerinde ilerlenerek pembe değişimin azaltılabilir ve

efektlerde açıkça bir sapma olması sağlanır. Eğer bazı noktalarda ses seviyesi çok yüksek olursa yüksek frekansların azaltılması uygun olacaktır.

Surround kanallarının kapsamaları ilgili alt sistemlerde uygulandığı gibi bölünmeyecektir, her kanal tüm ortamı kapsayacak şekilde kullanılacaktır. Surround hoparlörleri tüm alanı kapsayacak şekilde yerleştirildiklerinde en düzgün performansı sağlayacaklardır. Sol kanal sağ tarafa, arkadaki kanal ise ön tarafa da yönlendirilmelidir. Yapılabilecek en kötü uygulama, sol surround kanallarının sadece sol tarafı, sağ surround kanallarının ise sadece sağ tarafı kapsayacak şekilde yerleştirilmeleridir.

Tipik bir surround ses dizisinin duvar boyunca ayrıklı sıralı dizi şeklinde olmasının sebebi yanalarda dinleyicilere olan yakınlıktır ve amacı duvar boyunca bir ses görüntüsü oluşturmaktır. Böyle bir durumda bileşik nokta kaynak genel bir yön yerine tek bir noktada ses görüntüsü oluşturacaktır bu yüzden de zayıf bir seçim olacaktır. Ayrıklı nokta kaynağın sınırları bir tasarım ikilemine neden olur. Eğer elemanların sayısı ve aralarındaki boşluklar en yakın dinleyiciyi kapsayacak gibi ise diğer tarafta yüksek oranda çakışma olacağı açıktır. Eğer diğer tarafta minimum çakışma isteniyorsa salonun büyük kısımlarında kapsama boşluk alanları oluşacaktır. Sonuçta tasarım kapsama aralığı dinleme alanının orta noktasında bitecek şekilde yapılmalıdır (Kesişme çizgisi bu mesafenin yarısında bulunmaktadır). Orta noktanın sonrasındaki dinleyiciler için aşırı çakışma (Dalgalanma sapması) olacaktır. Kesişme çizgisinden daha yakında bulunan dinleyiciler için aşırı pembe değişim (Spektrum sapması) olacaktır.

Her koltuk seviyesi için bölgesel surround kaynakları gerekecektir.

5.6 Sistem Alt Bölümleri

Burada alt bölüm terimi paylaşılan orijinal kaynak bir dalga biçiminin kopyalarını taşıyan alt sistemlerin oluşturulması anlamında kullanılmaktadır. Alt bölümlere ayırmanın amacı özel kapsama şekilleri için cevabı biçimlendirebilmektir. Hoparlör vasıtasıyla kapsanan şekille tam uyumlu ve tüm elemanların birbiriyle aynı biçimde sürüldüğü uyumlu bir sistem oluşturulabiliyorsa alt bölümler kullanmanın gereği yoktur. Eğer dizi kapsama alanı şekli dinleme alanının şekli ile uyumlu değilse farklı seviye kontrollerine ihtiyaç olacaktır.

Sistem alt bölümleri dört farklı tipte farklılaştırma içerir: hoparlör tipi, seviye, gecikme ve ekolayzır. Eğer aynı frekans aralığını kapsayan farklı hoparlör modelleri kullanılırsa diğer parametrelerin farklı olması kaçınılmazdır. Eğer uyumlu hoparlörler farklı seviyelerde sürülüyorlar ise gecikme ve ekolayzırda farklılaştırma yapılmalıdır. Ekolayzır ayarları farklılaştırılacak parametreler içinde en son sıradadır.

Sistem alt bölümleri asimetri ve karmaşıklığa karşı alınmış bir önlemdir. Alt bölümlere ayırmaya gerektirecek asimetri miktarının uygulanabilirliği incelenirse; her alt bölümün malzeme, yalıtım, bakım ve kalibrasyon maliyetleri olacaktır. Ayrıca insan kaynaklı hataların oluşmasına da imkân sağlanacaktır. Pratik bir metot 3 dB diye de bilinen 1.4 kuralının uygulanmasıdır. Eğer iki aynı modelde hoparlör 1.4 oranından daha fazla farklılık gösteren menzillere sahip iseler, bu alt bölümlere ihtiyaç olduğunun bir göstergesidir. Örneğin üç elemanlı bir dizide merkez üniteden farklı menzillere sahip dış taraftaki hoparlörler bu şekilde değerlendirilebilir.

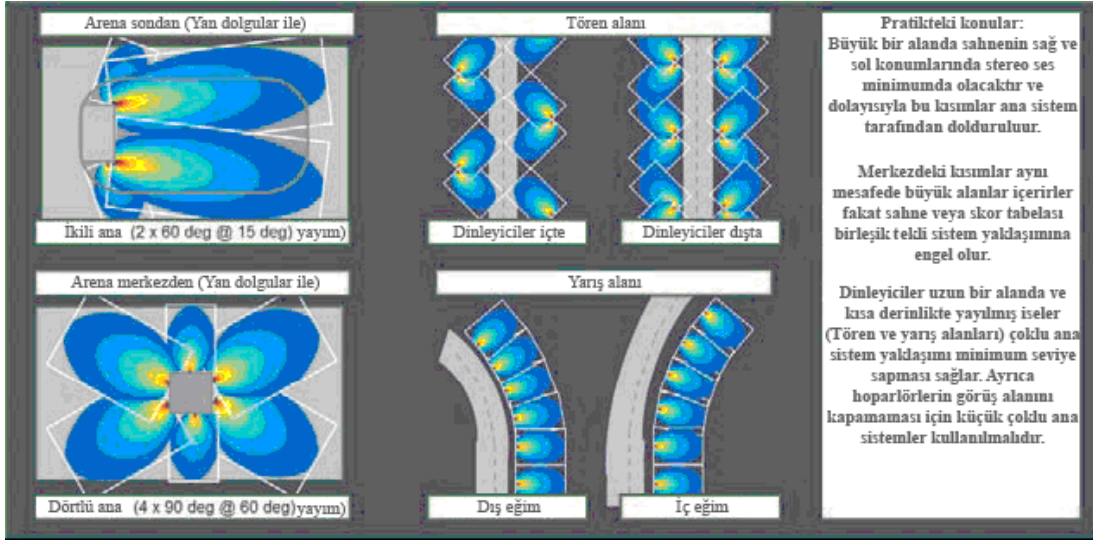
Seviye asimetrisi olduğunda gecikme ve ekolayzır ayarları bunu takip eder. Farklı bir seviyede çalıştırılan bir hoparlörün farklı bir kapsama uzunluğunda çalıştığı varsayılmalıdır. Zaten başka bir sebeple seviye değiştirilmez. Bu da farklı bir akustik durumdur. Farklı ekolayzır ayarlarına işaret eder. Eğer iki cihazın seviyeleri dengesiz olursa ortamsal kesişim noktası her ikisine eşit mesafede değildir. Gecikmeye işaret eder ve bunun miktarı seviye farkı ve elemanlar arasındaki fiziksel aralık ile orantılıdır.

5.7 Alt Sistem Tipleri

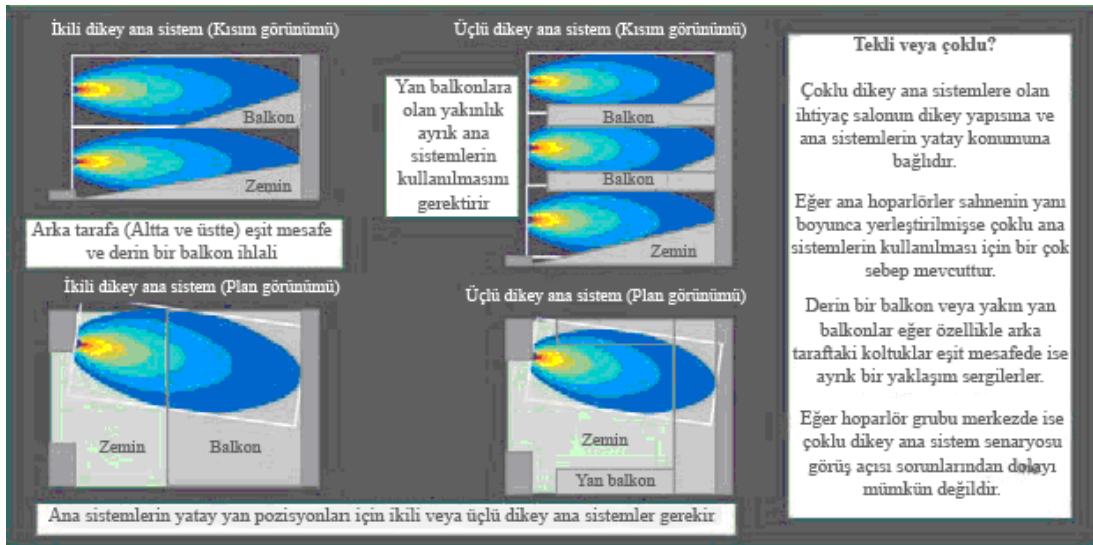
Hoparlör sistemleri ilgili alt sistemlerden, bu alt sistemler ise ilgili hoparlörlerden oluşur. Bir ana dizi yatay düzlemde bir simetrik birleşik nokta kaynak olabilir. Ana sistemin altında salonu kapsayan alt sistem, aşağı dolgu dizisi de yatay düzlemde bir simetrik birleşik nokta kaynaktır. Bir araya geldiğinde bu iki dizi dikey düzlemde bir asimetrik birleşik nokta kaynağı oluştururlar. Yan dolgu, iç dolgu, ön dolgu sistemleri eklendikçe liste de bu şekilde uzayacaktır. Her alt sistem bir tek hoparlör veya bir dizi gibi sınıflandırılır ve bir minimum sapma şekli oluşturma yetenekleri vardır. Sonuçta her alt sistem komşuları ile birleşir ve küçük olanlardan yeni birleşik diziler oluşur. Bu ikinci nesil dizilerin de sınıflandırılması gerekir ve yeni birleşik bir minimum sapma şekli oluşturulur. Süreç tüm alt sistemler tek bir bütünlükte birleştirilene kadar devam eder.

5.7.1 Ana sistemler

Oda şeklinin büyük bir kısmını ana sistemler kapsar. Artan kısımlar için ise dolgu sistemleri kullanılır. Odanın geometrisi veya başka fiziksel faktörler tek bir nokta kaynaktan fazlasına ihtiyaç duyuyor ise birden fazla ana sistem kullanılır ve bunlar ayırık diziler olarak bir araya gelirler. Birden fazla ana sistem olarak değerlendirilebilmeleri için bu diziler güç ve menzil açısından kabaca eşit olmalıdırlar aksi halde ana ve dolgu sistem olarak değerlendirilirler. Her ne kadar birleşik nokta kaynak dizi çiftlerinden oluşsa da bu birleşik sistem bir ayırık sıralı kaynak dizisidir. Her iki sisteme de aynı sinyal gönderildiğinden stereo sistemler ile karıştırılmamalıdır.



Şekil 5.3 : Yatay ana sistemlerin seçim değerlendirilmeleri.



Şekil 5.4 : Dikey ana sistemlerin seçim değerlendirilmeleri.

Çoklu ana sistem stratejisi genellikle dikey düzlemde alt ve üst sistemlerin yaklaşık olarak eşit mesafeleri kapsadığı durumlarda uygulanır (Hoparlörlere eşit mesafede balkon üstü ve balkon altı oturma alanlarının bulunduğu salonlar gibi). Bu iki kurulum bir araya geldiğinde iki yatay ve iki dikey elemandan oluşan dört bileşenli bir çoklu ana sistem oluşur.

5.7.2 Yan dolgu

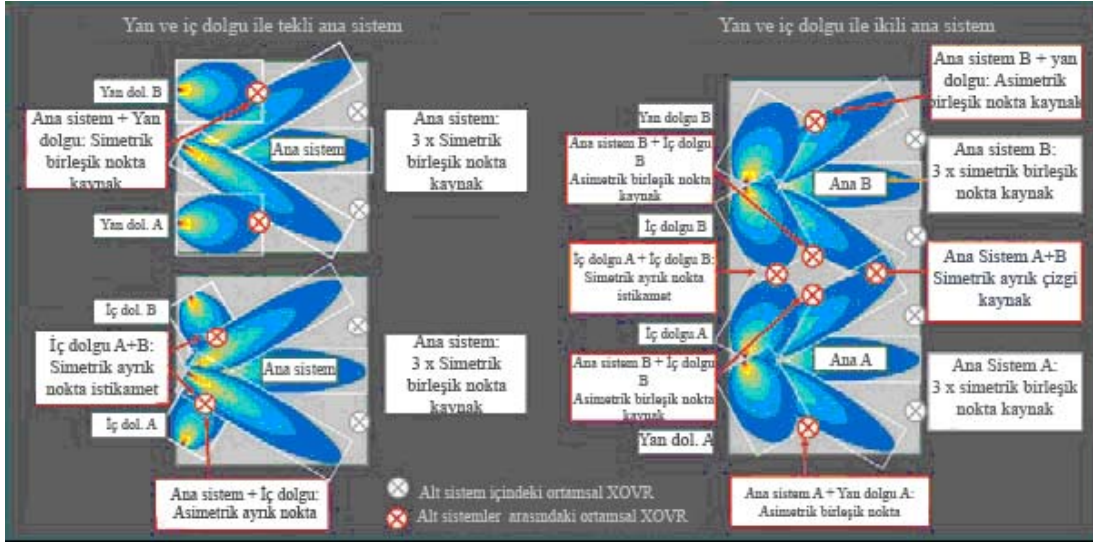
Yan dolgu alt sistemleri ana sistemlere yatay radyal ilaveler sağlar. Yan dolgu sistemleri ana sistemle birleşik olabileceği gibi ayrık tek bileşen veya diziler de olabilirler. Tipik bir yan dolgu sistemi yatay düzlemdeki birleşik nokta kaynağın asimetric bir bileşenidir. Ana sistemden çok daha düşük menzilleri vardır ve dolayısıyla bir alt sistem olarak adlandırılırlar. Yan dolgu sistemleri bağımsızlık oranı frekansla ters orantılı olacak şekilde ana sistemden yarı izole olarak düşünölmelidir.

5.7.3 İç dolgu

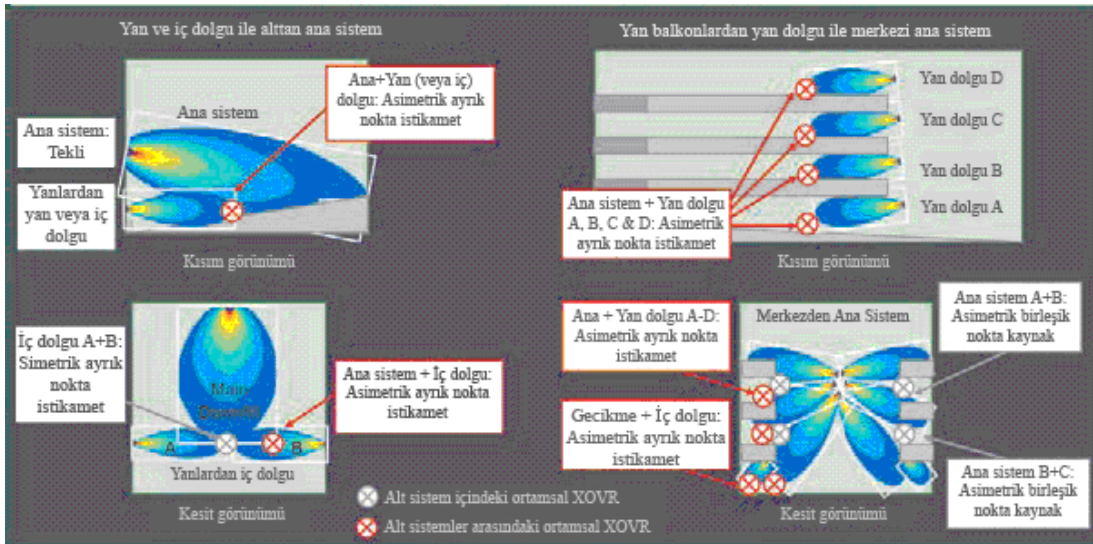
İç dolgu sistemleri de ana sistemlere yatay radyal ilaveler sağlar. Bunların yan dolgulardan farkı, yönlerinin dış taraf yerine merkeze doğru olmasıdır. İç dolgu sistemleri odanın merkez çizgisi boyunca simetric nokta istikameti oluştururlar. İç dolgu kapsaması kendi bölgesinde çok kısıtlı alanlarla sınırlanmalıdır. Merkez bir alt dolgu sistemi ile bir çift yan dolgunun kesişimi merkez oturma alanında üç boyutlu nokta istikamet dizisi oluşturur. Bu sistem çoğu tasarımcının birçok kez yaptığı bir hatadır.

5.7.4 Üstten dolgu

Üstten dolgu dizisinin rolü ana diziyeye dikey radyal ilave oluşturmaktır. Tipik bir üstten dolgu sistemi birleşik nokta kaynağın asimetric bileşenidir. Böyle bir sistem benzersizdir ve tüm hoparlör derecesi, yayılım açısı ve seviye kategorilerinde kıyas kabul etmez.



Şekil 5.5 : Yatay alt sistemlerin kombinasyonları. Ana, yan dolgu ve iç dolgu.



Şekil 5.6 : Dikey alt sistemlerin kombinasyonları. Ana, yan dolgu ve iç dolgu.

5.7.5 Ön dolgu

Ön dolgu sistemlerinin amacı sahneye çok yakın olan koltukların kapsanmasıdır. Hoparlörler genellikle sahnenin alt kısmına asılı olur veya sahnenin üzerindedirler. Dizi yapısı sahnenin geometrisine bağlı olarak ayrık sıralı veya nokta kaynaktır. Bu koltuklar alternatif olarak daha az kaynaklı üstten dolgu hoparlörleri ile üstten veya iç dolgu sistemleri ile yanlardan kapsanabilir. Ön dolgu sistemi bir ana sisteme dikey düzlemde ayrık asimetrik nokta istikamet dizisi olarak katılır. Bir iç dolgu dizisine ise yatay düzlemde asimetrik nokta istikamet dizisi olarak katılırlar.

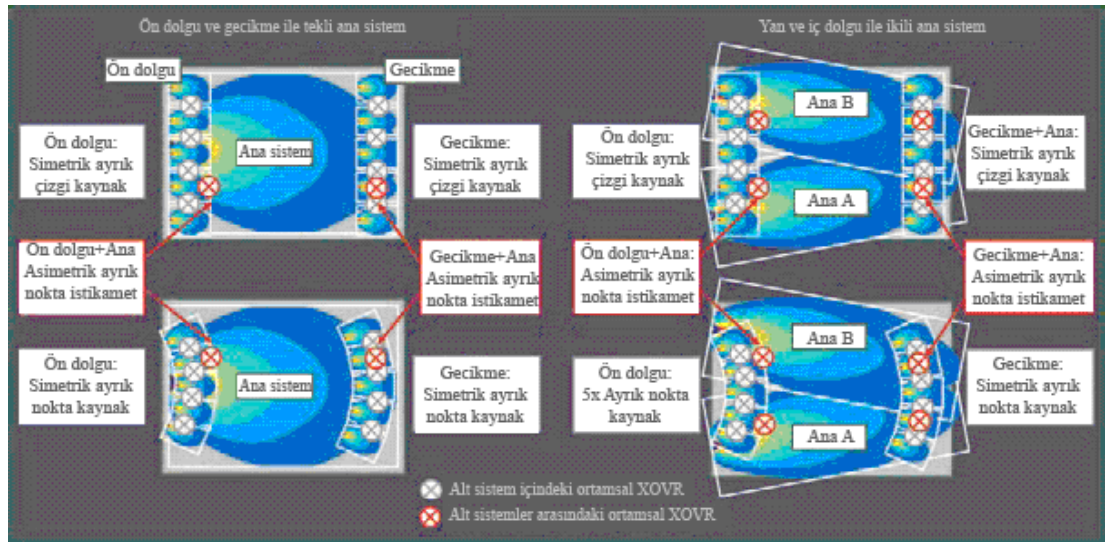
Ön dolgu dizisinin avantajları:

- Yatayda ve dikeyde minimum ses görüntüsü bozulması
- Minimum seviye, spektrum ve dalga sapması
- Feedback öncesinde minimum kazanç kaybı
- Başka alt sistemlerle minimum çakışma

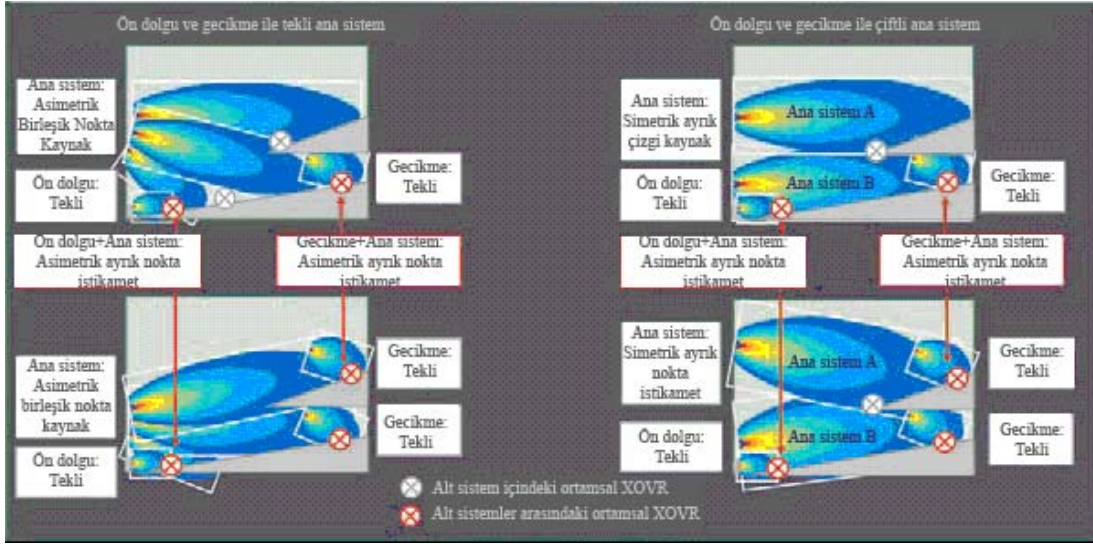
Ön dolgu dizileri ileri doğru kapsama derinliğinde kısıtlıdır.

5.7.6 Gecikme sistemleri

Gecikme sistemleri ana sistemlere ileri doğru yapılan eklemelerdir. Gecikme hoparlörleri doğası gereği ana sistemlerden ayrıktır ve asimetrik nokta istikamet dizisi olarak birleşirler. En avantajlı dizi kurulumu ise bileşenlerin ana hoparlörden eşit mesafede yaylara yerleştirildiği sistemdir (Ayrık nokta kaynak dizisi). Mümkün olan yerleştirme seçenekleri dahilinde bu uygulama her zaman pratik değildir. Başka bir zorluk ise gecikme hoparlörlerini sağ/sol mono veya stereo sistemlere yerleştirirken ortaya çıkar. Bu durumda çakışan iki eş merkezli çizgi vardır ve tek bir çözüm yeterli olmaz.



Şekil 5.7 : Yatay alt sistemlerin kombinasyonları. Ana, ön dolgu ve gecikme.



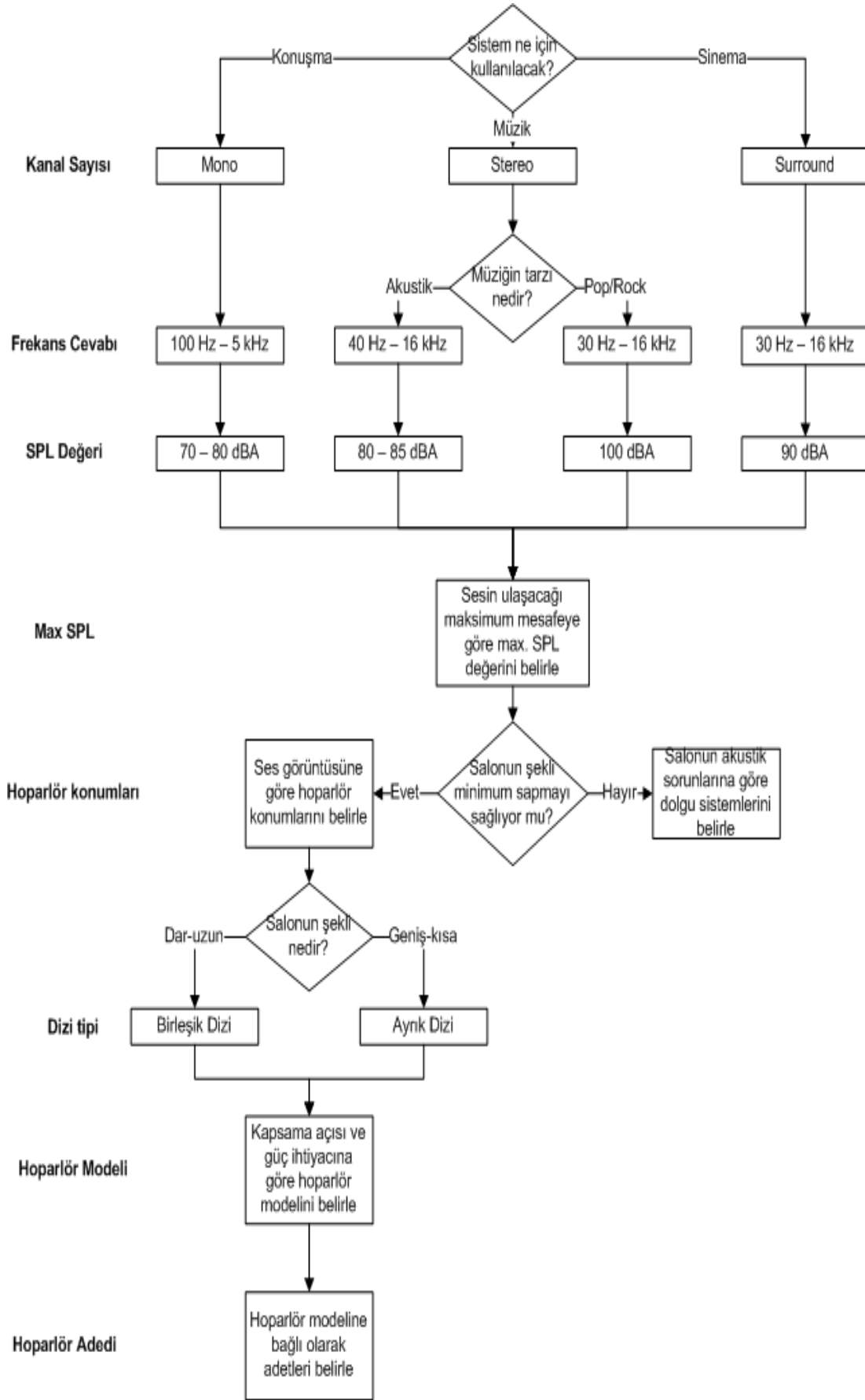
Şekil 5.8 : Dikey alt sistemlerin kombinasyonları. Ana, ön dolgu ve gecikme.

6. KAPALI MEKÂNLARIN AKUSTİK TASARIMINDA SES GÜÇLENDİRME SİSTEMLERİNİN UYGULANMA KOŞULLARI

6.1 Doğal Ses ile Güçlendirilmiş Sesin Farkları

Doğal ses ile güçlendirilmiş ses Leo Beranek'in 18 algılama tanımı açısından incelendiğinde;

- Ekolardan ve gürültüden arınma ile dinamik aralığın maksimum hale getirilmesi her iki durum için de önem taşımaktadır.
- Yayım her iki durum için de eşit önem taşıyan mimari bir özelliktir. Düzgün bir yayım elde edilebilmesi her iki durum için de önem taşımaktadır.
- Sıcaklık ve parlaklık dengeleme kategorisine girmektedir. Dengelemeye ulaşma araçları her iki durum için çoğunlukla farklıdır fakat birbirine karşıt değildir.
- Denge, harman ve doku mix mühendisliği kategorisine girer. Mix'i sağlayacak yollar büyük oranda farklı da olsa tamamen zıt değildir.
- Direkt sesin şiddeti kaynak yerleşimi konusuna girer. Eşit ses şiddeti elde etme yolları farklı da olsa tamamen zıt değildir.
- Canlılık, yankılanan sesin şiddeti ve netlik gecikme ile ilgili mimari akustiğin konusuna girer. Doğal ses modelinde oda yankılanma ihtiyaçları kaçınılmaz iken güçlendirilmiş seste yankıyı sağlamak için elektronik bir takım yöntemler mevcuttur. Güçlendirilmiş ses sistemi için yankılanma seviyeleri çok yüksek olduğunda çatışmalar başlamaktadır.
- Sahnedeki cevap ve atak da çatışan durumlardandır. Güçlendirilmiş seste ürün birincil olarak sanatçı tarafından belirlenen bir uzlaşma noktası olacaktır.



Şekil 6.1 : Ses güçlendirme sistemleri uygulanma koşulları akış diyagramı

- Sahnedeki orkestra tam zıt yaklaşımlar istemektedir. Doğal sistemde sahne kaynaklarının birbiri ile ve salon ile maksimum düzeyde eşleşmesi gerekmektedir. Güçlendirilmiş ses sistemlerinde ise maksimum yalıtım gerekmektedir.
- Samimiyet tamamıyla zıt yöntemlerle elde edilebilir. Doğal modelde samimi bir ortamı yaratacak olan kuvvetli yansımalar, güçlendirilmiş ses modelinde tamamıyla zıt bir etki yaratacaktır.
- Ton sapmasından arınma konusunda da tam anlamıyla zıtlıklar mevcuttur. Doğal sistemde ton sapması yansımanın doyması ile sönümlenmektedir. Hoparlörlerde ise aşırı yansımalar kuvvetli ton çeşitliliğinin sebebidir.
- Düzgünlük tüm kategoriler içinde en zıt olanıdır. Doğal iletim sisteminin birleşmiş yapısı sebebiyle düzgünlüğün yansıma doyması ile elde edilmesi kaçınılmazdır. Güçlendirilmiş sesin ayrık yapısı ise yansımaların minimuma indirilmesini kaçınılmaz hale getirmektedir.

6.2 Koşullar Belirlenirken Sorulacak Sorular

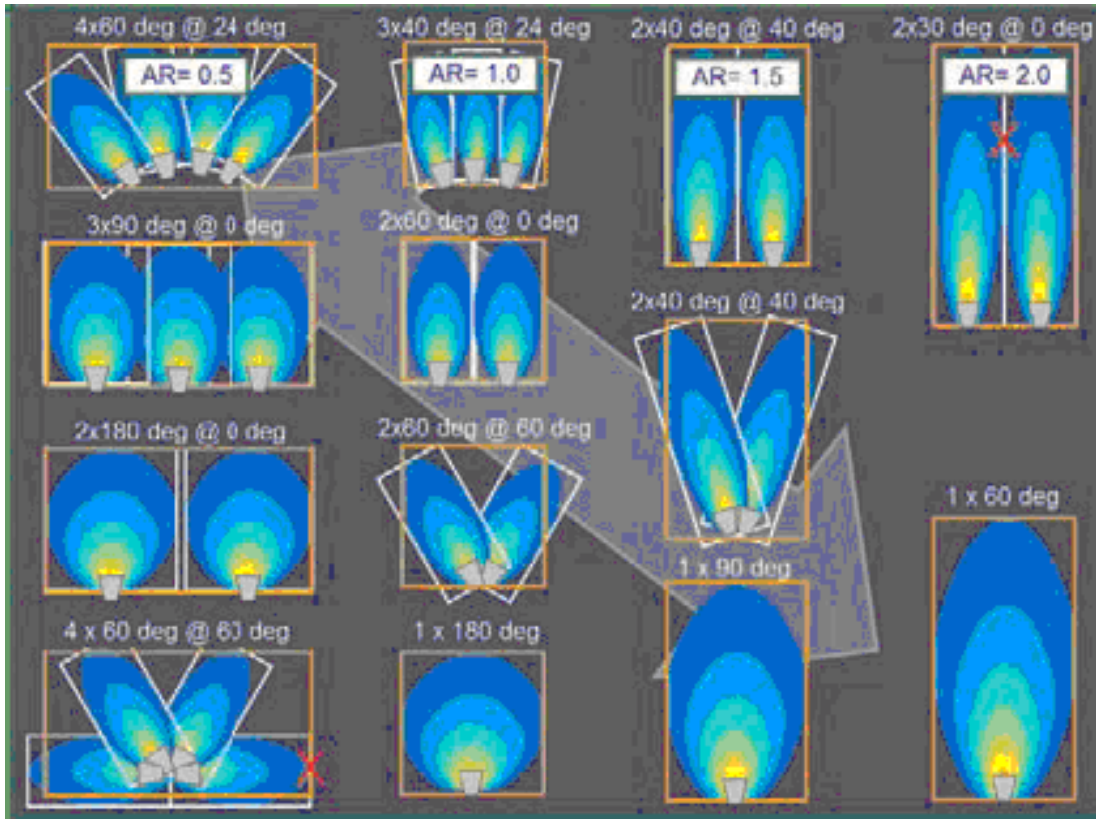
Şekil 6.1'deki akış diyagramında bir ses güçlendirme sisteminin tasarım aşamasında sorulacak sorular doğrultusunda alınacak cevapların, sistem tasarımını ne şekilde yönlendirdiği görülmektedir. Akış diyagramının sol tarafında görülen tasarıma ait ana başlıklar aynı satırdaki sorulara alınan cevaplar doğrultusunda şekillenmektedir. Bu ana başlıklar;

Kanal sayısı: Sistemin ne için kullanılacağı sorusuna alınan cevap kanal sayısının belirlenmesini sağlar. Diyagramdaki kullanım alanlarına göre belirlenen kanal sayıları bahsi geçen alanlarda en çok kullanılan konfigürasyonlar göz önünde bulundurularak oluşturulmuştur. Bunun dışında sayısız kombinasyon oluşturulabilir. Temel olarak kanal sayıları; konuşma için mono, müzik için stereo, sinemalarda ise surround sistemler kullanılmalıdır.

Kaynağı sahnede olan mono bir sistemin genel tasarım koşulları (Şekil 6.2):

- Merkez dizi (Bileşik nokta kaynak) standarttır. Alternatifi ise sahnenin sağına ve soluna yerleştirilecek ikili mono sistemdir.

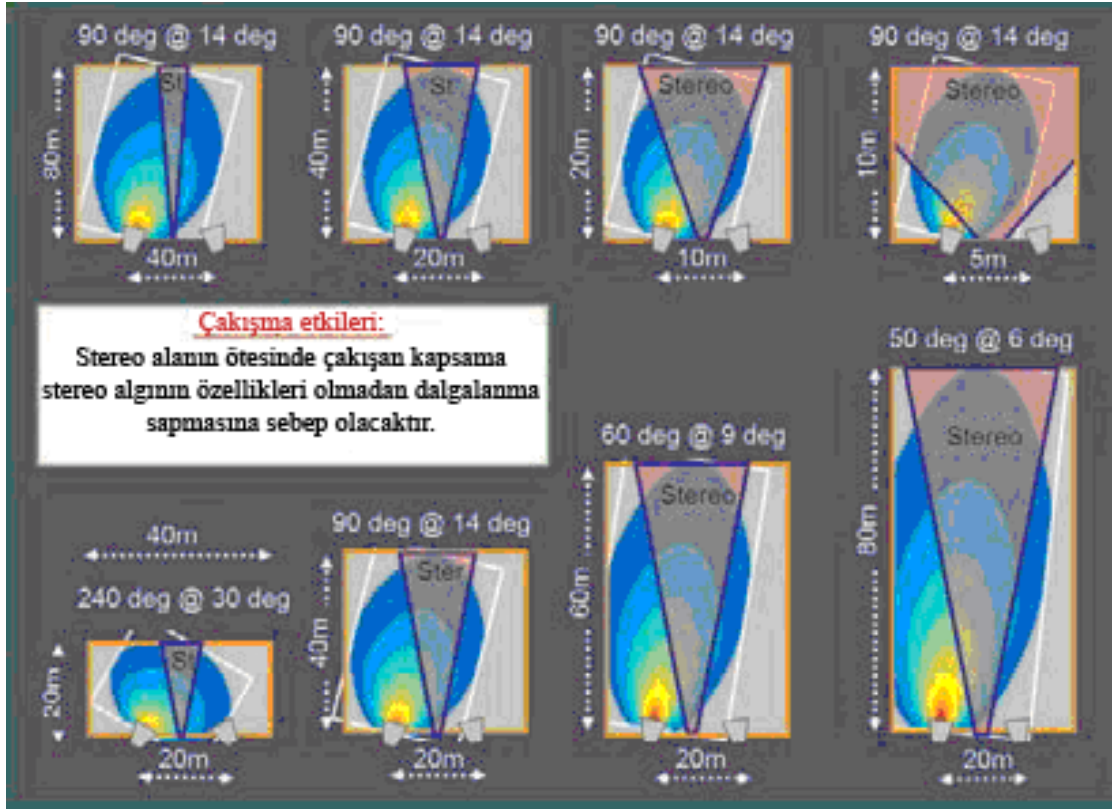
- İlgili alt sistemler diziler ve yorumcular için paylaşılan yaklaşık bir nokta kaynaktan birleşmelidirler.
- Alt sistemler ilgili menzillerine göre uygun biçimde ölçülendirilmelidir.
- Farklı mesafeler için seviye dengelemesi yapabilmek, yansımaları minimuma indirmek ve görsel yerleşimi geliştirip engeller içeren alanlara erişebilmek için uygun noktalarda alt sistemler yerleştirilmelidir.
- Kapsama alanının boy-en oranı [AR] arttıkça çakışmayı minimuma indirebilmek için tekli ana sistemler tercih edilmelidir. Kapsama alanının boy-en oranı düştükçe yan duvar etkileşimini azalttığı için çoklu ana sistemler tercih edilmelidir.



Şekil 6.2 : Mono ana sistemlerde kapsama alanının boy-en oranı ve tekli veya çoklu ana sistem seçeneği

- Hoparlör grubu tipini belirlerken; Tekli bir ana sistem tek bir bileşenden veya birleşik nokta kaynaktan oluşabilir. Tekli ana sistem boy-en oranı arttıkça çoklu ana sisteme göre daha çok tercih edilir ve yan dolgular ile takviye edilebilir. Çoklu ana sistem ayrı çizgi veya nokta kaynak olabilir. Sesin merkezdeki sahnede konumlandırılması isteniyorsa nokta kaynak tercih

edilir. Bunun dışında kapsama alanının boy-en oranı düştükçe çizgi kaynak tercih edilmelidir.



Şekil 6.3 : Stereo sistemlerde kaynak yer değiştirme etkisi ve stereo alandaki ölçeği

Stereo sistemler için genel tasarım koşulları:

- Merkez ekseninde yatay çakışma gereklidir.
- Stereo görsel yerleşiminde ölçeklendirilemeyen zaman dengelemesi konusunda dikkatli olunmalıdır. Bölgelerde stereo çakışma 10 ms'lik dengeleme sınırları içinde tutulmalıdır.
- Stereo yardımcı sistemler genellikle harcanan çabaya ve yapılan masraflara karşılık gelmez. Üstelik tutarlılığın da kaybolmasına sebep olurlar. Bu sistemlere örnek olarak stereo balkon altı gecikmeli sistemler, değişmeli sol/sağ sistemleri, vs. örnek gösterilebilir.
- Eğer stereo uygulanacak aralık çok dar ise uygulama anlamsızdır. Örneğin stereo ayrımı yapılmış bir merkez dizi gibi.
- Stereo sistemlerde kaynaklar arası mesafenin etkileri (Şekil 6.3): Sabit boy-en oranında; stereo algı için optimum alan kaynaklar arası 10 ms gecikme ile

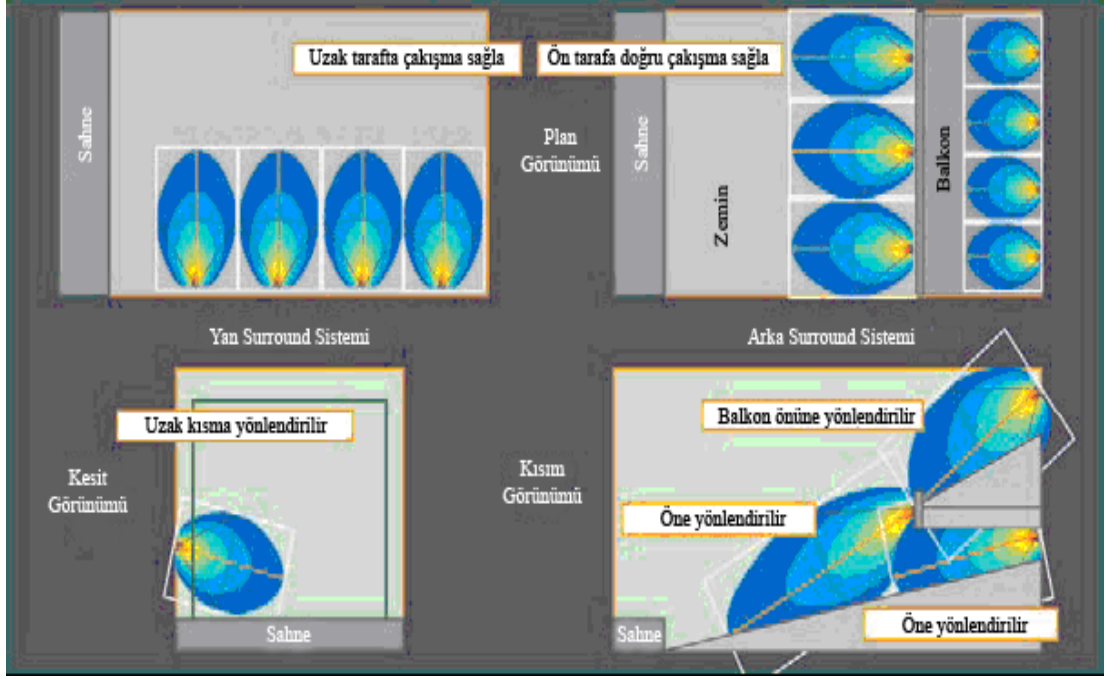
sınırlandırılmıştır. Kapalı trapezoid biçimindeki alan şekilde pembe ile gösterilmiştir. Kaynaklar arası mesafe arttıkça kapalı alanın açısı daralır ve dolayısıyla kullanılabilir stereonun oranı azalır. Farklı boy-en oranlarında kaynaklar arası mesafe sabit tutulursa derinlikten bağımsız olarak sabit bir kapsama şekli oluşur. Derinlik stereo bileşenin kapsama ve çakışma açılarını belirler. Derinlik arttıkça stereo algı bölgesinin oranı artar.

Surround sistemler için genel tasarım koşulları (Şekil 6.4):

- Birinci derecede bileşenler içeren ayrık sıralı kaynaklar standart seçimdir.
- Farklı mesafeler için seviye dengelemesi sağlamak amacıyla alt bölümler kullanılmalıdır.
- Pratikte mümkün olduğunca yakınlık oranı minimuma indirilmelidir.
- Yatayda hoparlörler arasında kapsama derinliğinin yarısı için en-boy oranı metoduna göre mesafe bırakılmalıdır.
- Dikeyde hoparlörler yakın bölgelerde aşırı seviyeyi engellemek amacıyla asimetrik metoda göre yönlendirilmelidir.
- Farklı oturma seviyeleri için (Birinci kat, ikinci kat, vs.) kapsama alt bölümlere ayrılmalıdır.
- Bazı özel durumlar hariç (Balkon önüne yerleştirilen, arka duvar surround sistemi ile ilintili hoparlörler gibi) gecikme gerekli değildir.

Frekans cevabı: Program malzemesine göre sistemin frekans cevabı ihtiyacı belirlenecektir.

SPL Değeri: Bu değer de program malzemesine göre belirlenir, mesafeler de göz önünde tutularak bu değer ortalama olarak tüm mesafelerde korunması gerekmektedir.



Şekil 6.4 : Etkili görsel konumlandırma için surround sistemlerin yönlendirilmesi
 Örnek olarak 32 m uzunluğunda bir salonda tasarlanacak bir rock müzik sistemi ele alındığında;

- 100 dBA'lık ortalama seviyenin sağlanması gerekmektedir.
- Şekil 5.2'de maksimum dB SPL değeri 121 dBA olan satır seçildiğinde 32 m mesafede 91 dBA elde edilir (Hedeflenen 100 dBA ile aynı seviye grubundadır)
- En yakın mesafede maksimum 121 dBA elde edilir ki bu da duyma aşırı yüklenme seviyesinin altında kalmaktadır.

Dolayısıyla bu uzunluktaki bir salonda 121 dBA maksimum SPL'ye sahip bir sistem, rock müzik için uygun olacaktır.

Hoparlör konumları: Hedeflenen ses görüntüsü konumuna uygun olarak hoparlörler yönlendirilmelidir.

Dizi tipi: Uygulama yapılacak mekanın şekline göre dizi tipleri belirlenir (Şekil 6.5):

- Dar uzun salonlar için birleşmiş diziler.
- Geniş kısa salonlar için ayrı diziler kullanılmalıdır.



Şekil 6.5 : Hoparlör dizi tipleri.

Hoparlör modeli: Kapsama açısı ve güç ihtiyacına göre hoparlör modeli belirlenir.

Hoparlör adedi: Seçilen hoparlörlerin kapsama açıları ve kapsanacak alanın toplam açısına bağlı olarak seçilir, ayrıca toplam güç ihtiyacı karşılanacak biçimde kullanılacak hoparlör adetleri belirlenir.

7. SONUÇ

Bu çalışma kapsamında bir ses güçlendirme sisteminin oluşturulmasında kullanılacak elemanlar tanıtılmış, sistemin en can alıcı bileşeni olan hoparlörler, hoparlörlerin kapalı mekânlardaki durumları detaylandırılmış ve bir ses güçlendirme sistemini tasarlarken tanımlanan tüm bu elemanların kullanım koşulları açıklanmıştır. Birer ses kaynağı olan hoparlörlerin daha iyi anlaşılabilmesi için sesin temelleri, tek ve üç boyutlu dalga denklemleri ile basit kaynaklar ve kaynakların birbirleri ile olan ilişkileri açıklanmıştır. Ses güçlendirme sistemlerinin kullanılacağı uygulama alanı, mekânın boyutları, ses şiddeti ve frekans aralığı ihtiyaçları doğrultusunda sorulacak sorulara alınan cevaplar yardımı ile böyle bir sistemin tasarım koşullarının nasıl oluşturulacağı detaylandırılmıştır.

Bu çalışmanın amacı kapalı bir mekânın mimari akustiğine destek olacak şekilde bir ses güçlendirme sisteminin tasarım koşullarını içeren ve mimarlara yardımcı olması hedeflenen bir kılavuz oluşturmaktır. Teknik anlamda mimari akustik ve ses mühendisliği disiplinleri birbirlerinden çok ayrı gibi görünse de kapalı mekânlardaki doğal ses ve güçlendirilmiş seslerin ortak ve farklı yönleri irdelenerek bu disiplinlerin ortak amaç doğrultusundaki farklı beklentileri detaylandırılmış ve birbirlerinin temel prensipleri konusunda bilgi sahibi olmaları hedeflenmiştir.

KAYNAKLAR

- Davis, D., Davis, C.,** 1987. Sound System Engineering Second Edition, Howard W. Sams, Indianapolis, IN.
- Egan, M. D.,** 1988. Architectural Acoustics, Mc Graw-Hill, New York City, NY.
- Everest, F. A.,** 2001. The Master Handbook of Acoustics, McGraw-Hill.
- Henricksen, C.,** 1980. Directivity Response of Single Direct – Radiator Loudspeakers in Enclosures, *Technical Letter No. 237*, Oklahoma City, OK.
- Long, M.,** 2006. Architectural Acoustics, Elsevier Academic Press Publications, San Diego, CA.
- Mehta, M., Johnson, J., Rocafort, J.,** 1999. Architectural Acoustics, Prentice Hall.
- McCarthy, B.,** 2007. Sound Systems: Design and Optimization, Focal Press Publications, Oxford.
- McLachlan, N. W.,** 1934. Loudspeakers, Oxford Press, New York, NY.
- Newell, P.,** 2008. Recording Studio Design Second Edition, Focal Press Publications, Oxford.
- Toole, E. F.,** 2008. Sound Reproduction – Loudspeakers and Rooms, Focal Press Publications, Oxford.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: M. Cevat ÖZYILDIRIM

Doğum Yeri ve Tarihi: İstanbul, 1977

Adres: Hürriyet Mah. Yeni 1. Sok. No.: 21/4 Sude Apt.
Lüleburgaz / KIRKLARELİ

Lisans Üniversitesi: İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği