

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**M. S. G. S. Ü. SEDAD HAKKI ELDEM
ODİTORYUMUNUN HACİM AKUSTİĞİ AÇISINDAN
İNCELENMESİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ**

Mimar Zekeriya KURTULAN

**F.B.E. Mimarlık Anabilim Dalı Yapı Fiziği Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ayşe ERDEM AKNESİL

İSTANBUL, 2009

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER.....	ii
SİMGE LİSTESİ	v
KISALTMA LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	x
ÖNSÖZ.....	xi
ÖZET	xiii
ABSTRACT	xv
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	1
2. MİMARİ AKUSTİK	3
2.1 Akustiğin Mimari Tasarımda Önemi.....	3
2.2 Mimari Akustiğin Tarihsel Gelişimi.....	4
2.2.1 Yunan Dönemi.....	4
2.2.2 Roma Dönemi.....	5
2.2.3 Modern Dönem.....	6
2.3 Oditoryum Tanımı	7
2.4 Salon Tasarımı.....	7
3. HACİM AKUSTİĞİ PARAMETRELERİ.....	24
3.1 NESNEL PARAMETRELER	24
3.1.1 Ses Enerjisinin Gelişme Bölümü ile İlgili Parametreler.....	24
3.1.1.1 Ayırt Edilebilirlik – Distinctness (D_{50}).....	24
3.1.1.2 Netlik – Clarity (C_{80})	26
3.1.1.3 İlk Yansıma Aralığı – Initial Time Delay Gap	27
3.1.1.4 Merkez Zamanı – Centre Time (T_s)	28
3.1.2 Ses Enerjisinin Sönme Bölümü ile ilgili Parametreler	29
3.1.2.1 Yansıma Süresi – Reverberation Time (RT)	29
3.1.2.2 Erken Düşme Süresi – Early Decay Time (EDT).....	32
3.1.2.3 Bas Oranı – Bass Ratio (BR)	34
3.1.2.4 Tiz Oranı –Treble Ratio (TR).....	34
3.1.3 Ses Basınç Düzeyi ile İlgili Parametreler	35
3.1.3.1 Toplam Ses Basınç Düzeyi.....	35
3.1.3.2 Seslilik / Toplam Ses Düzeyi – Strength / Total Sound Level (G).....	35

3.1.4	Yanal Yansımalar ile İlgili Parametreler	36
3.1.4.1	Erken Yanal Enerji Oranı – Early Lateral Energy Fraction (LF_0^{80})	36
3.1.4.2	Geç Yanal Enerji Düzeyi – Late Arriving Lateral Energy (LG_0^{80})	37
3.1.5	Konuşmanın Anlaşılabilirliği ile İlgili Parametreler	37
3.1.5.1	Ses İletim İndeksi – Speech Transmission Index (STI).....	37
3.2	ÖZNEL PARAMETRELER	40
3.2.1	Canlılık ve Ses Dolgunluğu – Liveness and Fullness of Tone	40
3.2.2	Belirginlik veya Netlik – Definition or Clarity.....	40
3.2.3	Mekânsal Algılama – Spatial Impression	41
3.2.4	Seslilik – Loudness	47
3.2.5	Akustik Samimilik – Acoustical Intimacy.....	48
3.2.6	Sıcaklık – Warmth	49
3.2.7	Parlaklık – Brilliance	49
4.	SALONLARIN AKUSTİK AÇIDAN DEĞERLENDİRİLMESİ	51
4.1	Değerlendirme Sistemleri	51
4.2	Değerlendirme Örnekleri	53
5.	M. S. G. S. Ü. SEDAD HAKKI ELDEM ODİTORYUMU	56
6.	M.S.G.S.Ü. SEDAD HAKKI ELDEM ODİTORYUMUNUN AKUSTİK AÇIDAN DEĞERLENDİRİLMESİ	63
6.1	Parametrelerin Frekanslara göre ve Alıcı Noktalarına göre Değerlendirilmesi	67
6.1.1	Yansıma Süresinin Değerlendirilmesi	67
6.1.2	Sıcaklığın Değerlendirilmesi	73
6.1.3	Erken Düşme Süresinin Değerlendirilmesi	74
6.1.4	Parlaklığın Değerlendirilmesi	80
6.1.5	Netliğin Değerlendirilmesi	81
6.1.6	Ayırt Edilebilirliğin Değerlendirilmesi.....	87
6.1.7	Ses İletim Göstergesinin Değerlendirilmesi	91
6.1.8	Fon Gürültüsünün Değerlendirilmesi	92
6.2	Parametrelerin Standart Sapma ve Değişim Katsayısı Değerleri	95
6.2.1	Yansıma Süresinin Değerlendirilmesi	96
6.2.2	Sıcaklığın Değerlendirilmesi	97
6.2.3	Erken Düşme Süresinin Değerlendirilmesi	97
6.2.4	Parlaklığın Değerlendirilmesi	98
6.2.5	Netliğin Değerlendirilmesi	99
6.2.6	Ayırt Edilebilirliğin Değerlendirilmesi.....	99
6.2.7	Ses İletim Göstergesinin Değerlendirilmesi	100
7.	SONUÇ.....	102
	KAYNAKLAR.....	108
	ÖZGEÇMİŞ.....	110

EKLER	111
-------------	-----

SİMGE LİSTESİ

D_{50} : Distinctness – Ayırt Edilebilirlik

C_{80} : Clarity – Netlik

C_{50} : Distinctness – Ayırt Edilebilirlik

T_s : Centre Time – Merkez Zamanı

V : Hacim (m^3)

A : Hacmin Toplam Yutuculuğu (m^2)

SPL_d : Dolaysız Ses Basınç Düzeyi

SPL_r : Yayıncı Ses Basınç Düzeyi

Q : Doğrultululuk Çarpanı

W : Ses kaynağının gücü

W_0 : Referans ses gücü

G : Strength – Seslilik

LF_0^{80} : Early Lateral Energy Fraction – Erken Yanal Enerji Oranı

LF_{80}^{∞} : Late Lateral Energy Fraction – Geç Yanal Enerji Oranı

LG_{80}^{∞} : Late Arriving Lateral Energy – Geç Yanal Enerji Düzeyi

AI : Articulation Index – Anlaşılabilirlik Göstergesi

AL_{CONS} : Sessiz Harflerin anlaşılabilmesi

RR : Room Response – Hacim Tepkisi

T_s : Centre Time – Merkez Zamanı

KISALTMA LİSTESİ

ITDG : Initial Time Delay Gap – İlk Yansıma Aralığı

RT : Reverberation Time – Yansıma Süresi

EDT : Early Decay Time – Erken Düşme Süresi

BR : Bass Ratio – Bas Oranı

TR : Treble Ratio – Tiz Oranı

ASW : Apperant Source Width – Algılanan Kaynak Genişliği

LEV : Listener Envelopment – Dinleyici Kuşatılmışlığı

STI : Speech Transmission Index – Ses İletim Göstergesi

MTF : Modulation Transfer Function – Modülasyon İletim Fonksiyonu

IACC : Inter Aural Cross Corelation – Kulaklar arası karşılıklı ilişki katsayısı

NC : Noise Criteria – Gürültü Kriteri

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Epidauros Tiyatrosu (Long, 2006)	4
Şekil 2.2 Aspendos Tiyatrosu (Long, 2006).....	5
Şekil 2.3 Dinleti hacimlerinin açık mekandan kapalı mekana geçişi (Cavanaugh, 1999)	6
Şekil 2.4 Salon formları (Barron, 1993)	10
Şekil 2.5 Grosser Musikvereinsaal, Viyana (Beranek, 1996).....	11
Şekil 2.6 Symphony Hall, Boston (Beranek, 1996)	11
Şekil 2.7 İnsan sesinin doğrultululuğu (Egan, 1988).....	12
Şekil 2.8 Yelpaze biçimli salonlarda maksimum yan duvar açılımı (Mehta vd., 1999)	12
Şekil 2.9 Karakas Üniversitesi Oditoryumu, “Aula Manga” (Beranek, 1996).....	13
Şekil 2.10 De Doelen Konser Salonu, Rotterdam (Beranek, 1996)	14
Şekil 2.11 Yelpaze biçimli salonda yanal yansımaların ulaştığı alan (Egan, 1988).....	15
Şekil 2.12 Sydney Opera Binası Konser Salonu (Beranek, 1996)	15
Şekil 2.13 Teatro Alla Scala, Milano (Beranek, 1996)	16
Şekil 2.14 Haas Grafiği (Mehta vd. 1999)	17
Şekil 2.15 Sahne ve dinleyici göz hizası yükseklikleri (Egan, 1988).....	18
Şekil 2.16 Salonlarda düz döşeme derinlik sınırı (Mehta vd., 1999)	19
Şekil 2.17 Salonlarda kademelenme sistemi (Mehta vd., 1999)	20
Şekil 2.18 Balkon altı derinliğinin sınırı (Egan, 1988)	21
Şekil 2.19 Uçan balkon (Egan, 1988).....	21
Şekil 2.20 Christchurch Town Hall iç mekan resimleri	23
Şekil 2.21 Christchurch Town Hall plan ve kesiti	23
Şekil 3.1 D_{50} - Anlaşılabilirlik ilişkisi (Kuttruff, 1991)	25
Şekil 3.2 Dolaysız sesten sonra gelen seslerin zaman içinde dağılımı	27
Şekil 3.3 Merkez zamanı (Aknesil, 1997)	28
Şekil 3.4 Yansıma süresi (Barron, 1993).....	30
Şekil 3.5 Farklı etkinlikler için optimum Yansıma Süreleri (Maekawa, 1994).....	32
Şekil 3.6 Aynı Yansıma Süresine sahip salonlarda farklı sönme grafikleri (Mehta vd., 1999).....	33
Şekil 3.7 Anlaşılabilirlik oranı ile STI arasındaki ilişki (Long, 2006)	39
Şekil 3.8 AL_{CONS} ile STI arasındaki ilişki (Long, 2006).....	39
Şekil 3.9 STI – RASTI değerlerinin gösterilmesinde kullanılan grafik	39

Şekil 3.10 Yansıyım Süresi ile Netlik arasındaki ilişki (Mehta vd., 1999)	41
Şekil 3.11 Yanal Yansımaların geliş açıları (Mehta vd., 1999)	43
Şekil 3.12 Farklı salonlarda yan al yansımaların geliş açıları (Mehta vd., 1999)	44
Şekil 3.13 Geç Yanal Enerji Oranı – Salon Genişliği ilişkisi.....	46
Şekil 3.14 Erken Yanal Enerji – Geç Yanal Enerji İlişkisi	46
Şekil 3.15 Salonun genişlemesiyle ilk yansımaların gecikmesi (Beranek, 1996)	48
Şekil 3.16 Optimum Yansıyım Süresinin frekanslara göre değişimi (Aknesil, 1997).....	49
Şekil 5.1 Oditoryumun ilk durumu (M.S.G.S.Ü. Fotoğraf Atölyesi Arşivi).....	56
Şekil 5.2 Oditoryumun ilk durumu (2) (M.S.G.S.Ü. Fotoğraf Atölyesi Arşivi)	57
Şekil 5.3 Oditoryumun mevcut durumu (M.S.G.S.Ü. Fotoğraf Atölyesi Arşivi)	58
Şekil 5.4 Oditoryumun mevcut durumu (2) (M.S.G.S.Ü. Fotoğraf Atölyesi Arşivi).....	58
Şekil 5.5 Oditoryumun mevcut durumu (3) (M.S.G.S.Ü. Fotoğraf Atölyesi Arşivi).....	59
Şekil 5.6 Oditoryum Planı	60
Şekil 5.7 Oditoryum boyuna kesiti	61
Şekil 5.8 Oditoryum enine kesiti	61
Şekil 5.9 Vaziyet Planı	62
Şekil 6.1 Omni – dodechadron kaynak ve mikrofon	63
Şekil 6.2 Oditoryumda ölçüm yapılan noktalar (R01 – R40).....	64
Şekil 6.3 Salon içindeki bölgeler	66
Şekil 6.4 Hacim genelinde Yansıyım Süresinin frekanslara göre değişimi	67
Şekil 6.5 I.-II.-III. bölgeler arasındaki Yansıyım Süresi değişimi	69
Şekil 6.6 Ön-Orta-Arka bölgeler arasındaki Yansıyım Süresi değişimi	69
Şekil 6.7 $RT_{(500-1000)}$ Ortalamasının alıcı noktalarındaki dağılımı	71
Şekil 6.8 $RT_{(125-250)}$ Ortalamasının alıcı noktalarındaki dağılımı	72
Şekil 6.9 $RT_{(2000-4000)}$ Ortalamasının alıcı noktalarındaki dağılımı	73
Şekil 6.10 Bas Oranının alıcı noktalarındaki dağılımı	74
Şekil 6.11 Hacim genelinde Erken Düşme Süresinin frekanslara göre değişimi	75
Şekil 6.12 I. – II. III. Bölgeler arasındaki Erken Düşme Süresinin değişimi	76
Şekil 6.13 Ön – Orta – Arka Bölgeler arasındaki Erken Düşme Süresinin değişimi	77
Şekil 6.14 $EDT_{(500-1000)}$ Ortalamasının alıcı noktalarındaki dağılımı	78
Şekil 6.15 $EDT_{(125-250)}$ Ortalamasının alıcı noktalarındaki dağılımı.....	79
Şekil 6.16 $EDT_{(2000-4000)}$ Ortalamasının alıcı noktalarındaki dağılımı	80

Şekil 6.17 Alıcı noktalarındaki (EDT_{2000}/EDT_{mid}) Tiz Oranı dağılımı	80
Şekil 6.18 Alıcı noktalarındaki (EDT_{4000}/EDT_{mid}) Tiz Oranı dağılımı	81
Şekil 6.19 Hacim genelinde C_{80} Netlik parametresinin frekanslara göre değişimi	82
Şekil 6.20 I.-II.-III. bölgeler arasındaki C_{80} Netlik değerleri değişimi.....	83
Şekil 6.21 Ön-Orta-Arka Bölgeler arasındaki C_{80} Netlik değerleri değişimi.....	84
Şekil 6.22 $C_{80(3)}$ ortalamasının alıcı noktalarındaki dağılımı	85
Şekil 6.23 $C_{80(125-250)}$ ortalamasının alıcı noktalarındaki dağılımı	85
Şekil 6.24 $C_{80(500-1000)}$ ortalamasının alıcı noktalarındaki dağılımı	86
Şekil 6.25 $C_{80(2000-4000)}$ ortalamasının alıcı noktalarındaki dağılımı.....	86
Şekil 6.26 Hacim genelinde D_{50} Ayırt Edilebilirlik parametresinin frekanslara göre değişimi	87
Şekil 6.27 I. – II. – III. bölgeler arasındaki D_{50} Ayırt Edilebilirlik değerleri değişimi	88
Şekil 6.28 Ön – Orta – Arka Bölgeler arasındaki D_{50} Ayırt Edilebilirlik değerleri değişimi ..	89
Şekil 6.29 $D_{50(500-1000)}$ Ortalamasının alıcı noktalarındaki dağılımı.....	89
Şekil 6.30 $D_{50(125-250)}$ Ortalamasının alıcı noktalarındaki dağılımı	90
Şekil 6.31 $D_{50(2000-4000)}$ Ortalamasının alıcı noktalarındaki dağılımı	90
Şekil 6.32 Hacim genelinde ortalama STI ve RASTI değerleri	91
Şekil 6.33 Hacim geneli STI ve RASTI değerlerinin alıcı noktalarındaki dağılımı	92
Şekil 6.34 Kabul edilebilir gürültü düzeyleri – Noise Criteria Eğrileri.....	93
Şekil 6.35 Fon Gürültüsü Değerlendirilmesi.....	95

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1 Kişi başına düşen hacim (m^3 /kişi).....	7
Çizelge 4.1 Beranek'in Sistemi (1962).....	51
Çizelge 4.2 Beranek'in Sistemi (1996).....	52
Çizelge 4.3 Jordan'ın Sistemi.....	52
Çizelge 4.4 Ando'nun Sistemi.....	53
Çizelge 4.5 Yıldız Sarayı Tiyatrosunun Akustik Değerlendirme Sonuçları (2005).....	54
Çizelge 4.6 Y.T.Ü. Oditoryumunun Akustik Değerlendirme Sonuçları (2009).....	54
Çizelge 6.1 Oditoryumun değerlendirilmesinde kullanılacak olan parametrelerin kabul edilebilir minimum ve maksimum değerleri.....	65
Çizelge 6.2 Hacim içinde bölgelere göre Yansıma Süresinde gözlemlenen standart sapma ve değişim katsayısı değerleri.....	96
Çizelge 6.3 Hacim içinde bölgelere göre Bas Oranında gözlemlenen standart sapma ve değişim katsayısı değerleri.....	97
Çizelge 6.4 Hacim içinde bölgelere göre Erken Düşme Süresinde gözlemlenen standart sapma ve değişim katsayısı değerleri.....	98
Çizelge 6.5 Hacim içinde bölgelere göre Tiz Oranında gözlemlenen standart sapma ve değişim katsayısı değerleri.....	98
Çizelge 6.6 Hacim içinde bölgelere göre C_{80} Netlik parametresinde gözlemlenen standart sapma ve değişim katsayısı değerleri.....	99
Çizelge 6.7 Hacim içinde bölgelere göre D_{50} Ayırt Edilebilirlik parametresinde gözlemlenen standart sapma ve değişim katsayısı değerleri	100
Çizelge 6.8 Hacim içinde bölgelere göre STI ve RASTI parametrelerinde gözlemlenen standart sapma ve değişim katsayısı değerleri	101
Çizelge 7.1 Sedat Hakkı Eldem Oditoryumunun Akustik Değerlendirme Sonuçları	106

ÖNSÖZ

Tarih boyunca insanlar çeşitli toplanma alanları inşaa edip bu alanlarda çeşitli etkinlikler düzenleyerek toplumsal iletişimde bulunmuşlardır. Bu toplanma alanları eski Yunan ve Roma amfi tiyatrolarına kadar uzanmakta ve Avrupa'nın eski ve ünlü salonlarında gelişim göstermekte ve günümüze ulaşmaktadır.

Günümüzde inşa edilen kültür merkezlerinin ve özel üniversitelerin sayısının artmasıyla bu yapıların kapsamında inşa edilen oditoryumların sayısı da artmaktadır. Bu oditoryumların tasarlanmasında mimari fonksiyonellik ve görsellik yanında göz önünde bulundurulması gereken oldukça önemli bir diğer alan da Mimari Akustik alanıdır. Mimari Akustik, Gürültü Denetimi ve Hacim Akustiği olmak üzere iki alana ayrılmaktadır. Yapı içinde ya da dışında doğan seslerin yapının bölümlerini geçme biçimlerini incelemek, geçmemesi için alınması gereken önlemleri belirlemek Gürültü Denetimi'nin sorumluluk alanına girmektedir. Bir hacimdeki etkinlik kaynaklı seslerin dinleyiciler tarafından en uygun şartlarda anlaşılabilmesi ise, Hacim Akustiği Biliminin konusunu oluşturur. Oditoryumların büyük bir dinleyici kitlesi ile iletişim kurmak amacıyla inşa edildiği düşünülürse, bu yapıların tasarlanmasında, iletişimi kendisine konu edinmiş olan Hacim Akustiği Biliminin önemi daha da iyi kavranacaktır. Hacim Akustiği düşünülmeden tasarlanmış ve inşaa edilmiş bir oditoryumda oluşan akustik kusurları, iç düzenlemede yapılacak çeşitli iyileştirme çalışmalarıyla kontrol altına almak mümkün olsa da, bu oldukça zor ve masraflı bir uygulamadır. Bu iyileştirme uygulamasının da yüzde yüz başarı sağlamaktan uzak olacağı göz ardı edilmemelidir. Bu bakımdan bu kusurların oluşmamasını sağlayacak Hacim Akustiği etüdlerini yaparak, doğru tasarım kararlarını en baştan almak en uygun sonuçlara ulaşılmasını sağlayacaktır.

Çağımızın mimarlarının büyük çoğunluğu tarafından derinlemesine bilinmeyen ya da bilinse bile maddi olanaksızlıklar, zaman yetersizliği ve benzeri çeşitli nedenlerden ötürü göz ardı edilen Hacim Akustiği, bu çalışma kapsamında mevcut bir salonun akustik performansının incelenmesi ve değerlendirilmesi üzerinden ele alınmıştır. Prof. Sedad Hakkı Eldem tarafından tasarlanıp inşa edilmiş ve daha sonra da Öğr. Gör.ERCÜMENT TARGAN tarafından akustik düzenlemesi tamamlanmış olan Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Sedad Hakkı Eldem Oditoryumu bu çalışmayla Hacim Akustiği koşulları açısından değerlendirilme olanağı bulmuştur.

Bu çalışmamda öneri ve uyarıları ile bana yol gösteren, zaman ayırıp tez metnimi tekrar tekrar

okuyan tez danışmanım Doç. Dr. Ayşe Erdem Aknesil'e ve oditoryumda akustik ölçümleri yapmamda bana destek olan Aslı Özçevik ve Nuri İlgürel'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Bunun yanında çalışmam sırasında gereksinim duyduğum kaynak kitaplara ulaşmamda bana yardımcı olan yakın arkadaşım Evşen Özgen'e ve çalışmam hakkında fikir alışverişinde bulunduğum arkadaşım Efser Kara'ya teşekkürlerimi sunmayı borç bilirim.

ÖZET

Mimari Akustiğin bir alt dalı olan Hacim Akustiği, hacim içindeki bir ses kaynağından çıkan seslerin, tüm dinleyicilerin kulaklarına en iyi koşullarda ulaşmasını sağlamak amacıyla yönelik bir bilim dalıdır. Tasarım sürecinde Hacim Akustiği konularının göz önünde bulundurulmasıyla bir hacimde konuşmanın rahatça anlaşılabilmesi, müzik ve müzik öğelerinin net ve açık bir şekilde algılanabilmesi sağlanmakta, akustik kusurların oluşması önlenmektedir. Oditoryumlar da kaliteli akustik koşulların sağlanmasının gerekli olduğu hacimlerden biri olup, günümüzde kültür merkezleri ve üniversiteler kapsamında inşa edilmekte olan oditoryumların sayıları da artmaktadır. Bu oditoryumların tasarımlarında Hacim Akustiği konularına değinilmesi, ilerde oluşabilecek olan akustik sorunları önceden önleyebilmektedir. Bu sayede yetersiz akustik performans gösteren salonları akustik açıdan uygun hale getirmek amacıyla yapılacak harcamalardan tasarruf edilebilecektir. Ayrıca akustik açıdan yetersiz salonları uygun hale getirmek için yapılacak iyileştirme çalışmalarının yüzde yüz başarı sağlamaktan uzak olacağı da göz ardı edilmemesi gereken önemli bir diğer konudur. Bu nedenden ötürü bir salonun tasarımında Hacim Akustiği Bilimi'ni de göz önünde bulundurarak, bu konuda doğru kararları almak oldukça önemlidir.

Bunun yanında daha önceden inşa edilmiş bir salonun akustik performansını inceleyerek, varsa sorunlarını tespit etmek ve bu sorunlara çözümler üreterek hacmi akustik performans açısından başarılı bir duruma getirecek iyileştirme önerilerinde bulunmak da Hacim Akustiği biliminin sorumluluk alanına girmektedir. Bu doğrultuda bu tez çalışmasında mevcut bir salon olan Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Sedat Hakkı Eldem Oditoryumu Hacim Akustiği açısından incelenmiş ve değerlendirilmiştir. Salon günümüzde konferans, söyleşi, panel v.b. konuşma etkinlikleri yanında, üniversitenin konservatuar bölümünün konser, resital, dans v.b. müzik etkinlikleri için de kullanılmaktadır. Salonun hem konuşma, hem de müzik amaçlı kullanılmasından ötürü, salon her iki işlev açısından da değerlendirilmeye alınmıştır.

Tez çalışmasının kapsamı ve amacının anlatıldığı giriş bölümünü takip eden ikinci bölümde Mimari Akustiğin tanımı yapılmış ve tarihsel gelişim süreci kısaca açıklanmıştır. Ayrıca bu bölümün devamında salon tasarımının detayları üzerinde durulmuş, akustik kusurlar ve bunları önlemenin yöntemleri anlatılmış, günümüze kadar uygulanmış olan çeşitli salon tiplerine ve her bir salon tipinin en başarılı örneklerine yer verilmiştir.

Tezin üçüncü bölümünde akustikçiler tarafından tanımlanmış olan Hacim Akustiği parametrelerinin başlıcaları nesnel ve öznel olmak üzere iki başlık altında toplanarak açıklanmıştır. Nesnel parametreler matematiksel denklemlere dayanılarak anlatılmıştır. Öznel parametrelerin açıklanmasında ise bağlı oldukları nesnel parametrelere de gönderme yapılmış ve aralarındaki ilişkiye değinilmiştir.

Çalışmanın dördüncü bölümünde farklı akustikçiler tarafından kullanılmakta olan Hacim Akustiği koşullarını değerlendirme sistemleri incelenmiştir. Her bir akustikçinin farklı Hacim Akustiği parametrelerine farklı önem sıraları vermesinden kaynaklanan değerlendirme farklılıklarının vurgulandığı yaklaşımlara yer verilmiştir.

Çalışmanın takip eden beşinci bölümünde Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Sedat Hakkı Eldem Oditoryumu hakkında kısa ve öz tarihsel bilgi verilmiş, mimarı ve akustik düzenleyicisi anlatılmış ve projesi sunulmuştur.

Tez çalışmasının altıncı bölümünde oditoryumda yapılmış olan ölçümlerde kullanılmış olan donanım tanıtılmış, tercih edilmiş olan ölçüm yöntemi hakkında bilgi verilmiş ve oditoryum için uygun olan kabul edilebilir parametre aralıklarına yer verilmiştir. Ayrıca ölçümler sonucunda elde edilmiş olan RT, EDT, BR, TR, C₈₀, D₅₀, STI, RASTI ve Fon Gürültüsü (BGN) değerleri sistematik bir şekilde sunulmuş, parametrelerin genel hacim ortalamaları, hacim içinde belirlenmiş farklı bölgeler arasında görülen değişimleri ve hacim içinde yakın frekansları bir arada içeren alçak, orta ve yüksek frekans çiftleri bazında alıcı noktalarındaki dağılımları incelenmiş ve yorumlanmıştır. Bunun yanında bu bölümün sonuna parametre değerlerinin bölgeler arasındaki standart sapma değerleri ve değişim katsayıları istatistiksel veri olarak konulmuş, hacim düzgün yayılmışlık açısından incelenmiş ve değerlendirilmiştir.

Bu tez Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Sedad Hakkı Eldem Oditoryumunun akustik ortam koşullarının belirlenmesine yönelik bir çalışmadır. Bu bakımdan çalışmada geniş kapsamlı olarak değerlendirmelere yer verilmiştir. Son bölüm olan yedinci bölümde ise elde edilmiş sonuçlardan, salonun konuşma ve müzik amaçlı kullanımlar için uygunluk durumu tespit edilmiş, yorumlar yapılmış, ana hatlarıyla ve kısaca çeşitli iyileştirme önerileri getirilmiştir.

ABSTRACT

Room Acoustics, which is a subcomponent of the Architectural Acoustics, is a science branch about the arriving of the sound to the ears of the listeners under best circumstances, which is produced by a sound source inside a room. By taking room acoustics issues into account, high speech intelligibility, clear perception of the music and music components can be achieved, the occurrence of the acoustical defects can be prevented. Also auditoriums are one of the spaces in which qualified acoustical conditions should be provided, nowadays the number of the auditoriums that are built within the cultural centers and private universities, are increasing. By considering the Room Acoustics issues at the design process of these auditoriums, future acoustical problems could be prevented. By this way the money, which will be spent to improve the acoustical quality of the auditoriums with insufficient acoustical performance, could be saved. But it also should be remembered that an acoustical improvement of a hall will be far away from a 100% acoustical achievement. That's why it is very important to consider the Room Acoustics issues and to make proper decisions at the design period of an auditorium.

Beside these, to investigate the acoustical performance of an existing hall, to determine the possible acoustical defects and to suggest the proper improvement ways for these problems are also in the responsibility range of the Room Acoustics. By this sense the existing Mimar Sinan Fine Arts University Sedad Hakkı Eldem Auditorium is investigated and evaluated at this thesis. At the present time the auditorium is used for speech activities like conferences, conversations, discussion panels and for musical activities like concerts, recitals, dance shows. Since the auditorium is used for both speech and musical activities, it is also investigated and evaluated for both of these functions.

At the second chapter that follows the introduction in which the extent and the aim of the thesis was explained, the definition of the Architectural Acoustics was made and the historical development process was briefly explained. Besides at the following part of this chapter the details of the hall design were pointed, the acoustical defaults and the ways to prevent them were explained, some hall types which exist also today and the most successful hall examples of each type were revealed.

At the third chapter the main Room Acoustics parameters defined by the acousticians were systematically explained under two sub captions, namely objective and subjective parameters. Objective parameters were explained at the basis of the mathematical functions. At the explanation of the subjective parameters, the related objective parameters were cited and the relations between them were enlightened.

At the fourth chapter of the work the different Room Acoustics conditions evaluation systems, which are used by different acousticians, were systematically analyzed. Approaches emphasizing evaluation differences caused by the different ranking of each parameter by every different acoustician were shown.

At the following fifth chapter of the work brief historical information about the Mimar Sinan Fine Arts University Sedad Hakkı Eldem Auditorium was given, its architect and acoustical advisor were clarified and its architectural project was shown.

At the sixth chapter of the thesis the acoustical equipment that was used at the acoustical measurements, was presented; the preferred measurement system was explained and the optimum parameter values acceptable for this auditorium were given. Besides the RT, EDT,

BR, TR, C_{80} , D_{50} , STI, RASTI and Background Noise (BGN) values were systematically presented; the room averages of the parameters, the alteration of the parameters between the different zones in the hall and the deviation of the parameter values at the receiver points for low, mid and high frequencies were also systematically examined and interpreted. Beside that at the end of this chapter as a statically data the parameter values' standard deviation and change coefficients between different hall zones were given, the hall was examined and evaluated from the aspect of the evenly scattering.

This thesis is about the determination of the Room Acoustics conditions of the Mimar Sinan Fine Arts University Sedat Hakkı Eldem Auditorium. Therefore at this work, the evaluation of the acoustical conditions is widely presented. At the seventh chapter which is the conclusion, the suitability of the hall for speech and musical activities were determined via the measurement results, comments was made and some main improvement ways were briefly proposed.

1. GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Hacim Akustiği Mimari Akustik biliminin bir alt dalıdır ve temelleri eski Yunan ve Roma medeniyetlerinin anfi tiyatrolarına kadar dayanmaktadır. 19. yüzyılda akustik, bilim olarak görülmeye başlanmış ve yazılı eserlerin sayısı artmıştır. Bu dönemin en önemli kitaplarından biri de Lord Rayleigh'nin 1894 ve 1896 tarihli iki ciltlik "Theory of Sound" (Sesin Teorisi) adlı kitabıdır. Ancak Hacim Akustiğinin modern anlamda anlaşılması ve bir bilime dönüşmesi 19. yüzyıl sonunda Harvard'lı genç fizikçi Walter Clement Sabine'in Yansıma Süresinin hacmin akustik koşulları üzerindeki etkisini anlamasıyla başlamıştır. Hacim içindeki bir ses kaynağından çıkan seslerin, tüm dinleyicilerin kulaklarına en iyi koşullarda ulaşmasını sağlamak, Hacim Akustiği'nin konusunu oluşturmaktadır. Bir salonda yapılan konuşmanın rahatça anlaşılabilmesini, müzik ve müzik öğelerinin net ve açık bir şekilde algılanabilmesini, doğru planlama kararlarıyla akustik kusurların oluşmasının önlenmesini ve hacmin farklı işlevler doğrultusunda kullanılabilmesini sağlaması bakımından, fizik ortam koşullarının belirlenmesinde önemli bir öge olan Hacim Akustiği bilimi, tasarım sürecinde mimarın dikkatle üzerinde durması gereken bir alandır. Tasarım sürecinde Hacim Akustiği konularının dikkate alınmasıyla ileride oluşabilecek pek çok problem, daha oluşmadan önlenmekte ve hacmin kullanım sırasında uygun akustik performans göstermesi sağlanmaktadır.

Hacim Akustiği bilimi her geçen gün gelişmekte olan bir alandır. Bu nedenle, geçmişte inşa edilmiş olan salonların bu alanda edinilen yeni bilgiler ışığında incelenmesi, varsa sorunlarının tespit edilmesi, bu sorunlara çözümler üretilmesi ve hacmi akustik performans açısından başarılı bir duruma getirecek iyileştirme önerilerinde bulunulması önemini koruyan bir konudur. Bu tez çalışması kapsamında da uzun yıllardır hizmet vermekte olan Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Sedat Hakkı Eldem Oditoryumu Hacim Akustiği koşulları açısından incelenmiş, mevcut akustik koşulları tespit edilmiş ve bu koşulları oluşturan şartlar üzerine yorumlar yapılmıştır.

80'li yılların başında ünlü mimar Sedat Hakkı Eldem tarafından tasarlanmış ve inşa edilmiş olan Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Sedat Hakkı Eldem Oditoryumu, Fındıklı yerleşkesindeki üniversite yapısının Meclis – i Mebusan caddesine bakan bahçesine

konumlanmış ve üniversite yapısına bir fuaye ile bağlanmıştır. Yapı 1985 yılında, Prof. Muhteşem Giray'ın rektörlüğü döneminde Prof. Muhteşem Giray'ın talimatı üzerine akustik açıdan yenilenmeye girmiş ve bu görevi de Öğr. Gör. Ercüment Tarcan üstlenmiştir. Geçmişten günümüze değin Ercüment Tarcan tarafından yapılmış olan akustik düzenleme korunmuştur ve bugün hala oditoryum bu düzenleme ile kullanılmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında, oditoryum bu düzenleme üzerinden incelenmiş ve değerlendirilmiştir.

2. MİMARİ AKUSTİK

2.1 Akustiğin Mimari Tasarımda Önemi

Günümüzde yapı teknolojisinin ilerlemesiyle mimari yapılardan, insanları dış hava koşullarına karşı koruyacak barınaktan daha fazlası beklenmektedir. Günümüzün çağdaş yapıları kullanıcılarının fiziksel, fizyolojik ve psikolojik ihtiyaçlarını karşılayabilecek bir ortam oluşturabilmelidir. İnsan elinden çıkmış olan bu ortam uygun fizik ortam koşullar açısından doğal ortama göre daha olumlu sonuçlar verebilmelidir.

Yapıların fizik ortam denetiminin bir bölümünü oluşturan ses denetiminin iki hedefi vardır:

Kapalı ve açık hacimlerde istenilen seslerin üretilmesi, iletilmesi ve algılanmasını sağlayacak ve işitsel konforu arttıracak koşulları sağlamak. Ses kontrolünün bu alanı “Hacim Akustiği” olarak adlandırılmaktadır.

İstenmeyen seslerin ve gürültünün azaltılmasını ya da yapı içine girmemesini sağlamak. Bu alan “Yapı Akustiği” ya da “Gürültü Denetimi” olarak adlandırılmaktadır.

Hacim Akustiği ve Yapı Akustiği birbirleriyle ilişkili ve bağlantılıdır ve birbirlerinden ayrı düşünülemezler. Gürültü Denetimi’nin Hacim Akustiği koşullarının sağlanmasında önemli bir yere sahip olması gibi, Gürültü Denetimi problemlerinin çözülmesinde de Hacim Akustiği önemli bir yer tutmaktadır.

Günümüzde Mimari Akustiğin bir bölümü olan Hacim Akustiğinin önemsenmesinin belirli sebepleri vardır. Bu sebepler:

- 1) Salonlarda yapılan konuşmaların dinleyiciler tarafından rahatça anlaşılabilmesinin sağlanması,
- 2) Müzik ve müzik öğelerinin dinleyicilerce net ve açık bir şekilde algılanmasının sağlanması,
- 3) Son dönemlerde inşa edilen oditoryum sayısının artması ve bu sebepten ötürü Hacim Akustiği sorunlarıyla daha sık karşılaşılması,
- 4) Yapı konstrüksiyonunda ve strüktüründe kullanılan iç yüzey yapı malzemelerin teknolojik gelişimle çeşitlenmesi ve bu malzemelerin akustik özelliklerinin

belirlenmesine duyulan gereksinim,

- 5) Mimari tasarım aşamasında doğru planlama kararlarının alınmasıyla pek çok akustik kusurun oluşmasının önlenmesi,
- 6) Uygun planlama kararları ve doğru malzemelerin seçimiyle bir hacmin birden çok farklı amaç doğrultusunda kullanılması, bu sayede farklı her bir etkinlik için ayrı bir ortam inşaa etmenin gerekmemesi, dolayısıyla da maliyetlerin azaltılması

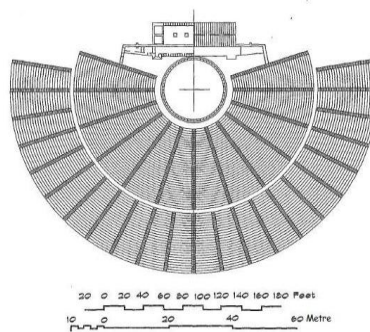
olarak sıralanabilir.

2.2 Mimari Akustiğin Tarihsel Gelişimi

Bir dinleme ve izleme mekânı olan oditoryum, klasik açık hava tiyatrolarından gelişmiştir. İnsanların toplanıp beraberce çeşitli resital, tiyatro oyunu ve benzeri gösterileri izledikleri bu mekânların geçmişi tarihi Yunan ve Roma amfi tiyatrolarına kadar uzanmaktadır.

2.2.1 Yunan Dönemi

Yunanlılar, demokratik yönetim şekillerinden ötürü ilk açık hava tiyatrolarını inşa etmişlerdir. Bu tiyatroların oturma planı 180 dereceden biraz fazla bir yarım daireydi ve genellikle bir tepenin denize bakan yamacında yer almaktaydı. En iyi korunmuş tarihi Yunan Açık hava tiyatrolarından biri kuzeydoğu Peloponnes, Epidaurus'daki M.Ö. 330 tarihli tiyatrodur. (Bkz. Şekil 2.1) Bu yapıların oturma yerleri daha iyi bir görüş açısı sağlamak ve sesin zayıflamasını azaltmak amacıyla dik bir şekilde, tipik olarak 2:1 oranında rampalanmıştır. O günün tekniğine göre yapılmış olan ve 17.000 kişilik kapasiteye sahip olan bu tiyatro dinleyicilere yeterli işitme için gerekli akustik koşulları sunmaktadır (Long, 2006).

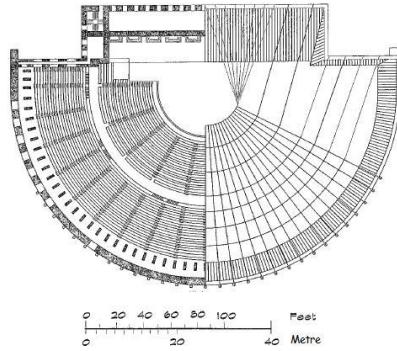


Şekil 2.1 Epidaurus Tiyatrosu (Long, 2006)

2.2.2 Roma Dönemi

Roma ve geç Helenistik dönem tiyatroları erken dönem Yunan tiyatrolarının oturma planını takip etmişlerdir, ancak oturma alanını 180 derece ile sınırlandırmışlardır. Ayrıca tiyatrolarına yükseltilmiş bir sahne, aktörlerin arkasına bir sahne evi ve dinleyicileri gölgelemesi amacıyla üstlerine de tenteler eklemişlerdir (Long, 2006). Roma İmparatorluğunda görülen bu yapılarda, sahne arkasına konulan duvar sahnedekilerin seslerini izleyicilere yansıtmaları ve izleyicilere ulaşan ses enerjisinin yükselmesini sağlaması bakımından akustik anlamda atılmış önemli bir adım olarak görülebilir. Bu ilk adım, devamında gelen tavan ve duvarların tasarlanmasına katkıda bulunmuş ve böylece bir mekânın tüm yüzeylerinin bu mekân içindeki dinleyicilerin işitme koşullarına katkıda bulunmasını sağlamıştır.

Bu dönemin günümüze kadar gelebilmiş en iyi örneklerinden biri Aspendos tiyatrosudur. (Bkz. Şekil 2.2) Romalılar Yunanlılardan daha iyi mühendis olduklarından ve tonozu geliştirmiş olmalarından ötürü, bu yapıları yamaçlara yerleştirmek gibi bir zorunluluktan kurtulmuşlardı. Roma tiyatrolarında koro sadece oyun aralarında çıkmaktaydı ve bu yüzden de orkestra yarım daire şekline doğru küçülmüştü. Senatörler orkestranın hemen çevresinde oturmaktaydılar.



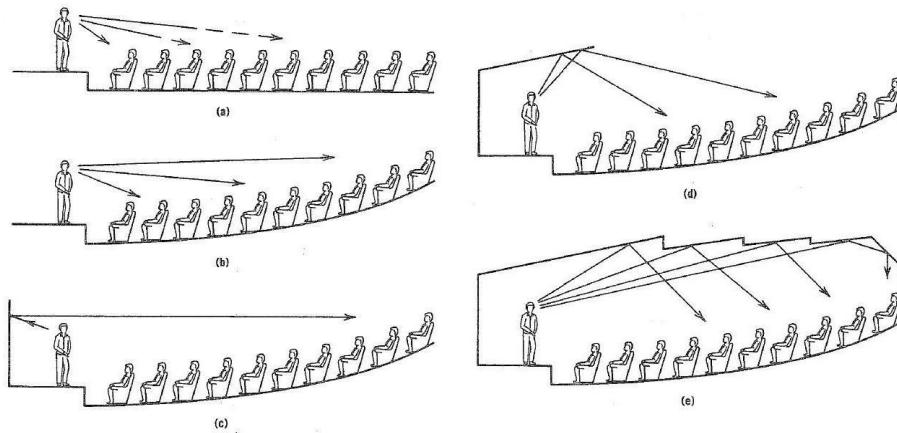
Şekil 2.2 Aspendos Tiyatrosu (Long, 2006)

En etkileyici Roma amfi tiyatrosu, M.S.70 – 81 yılları arasında yapılmış olan Flavian amfi tiyatrosudur, daha sonradan Colosseum olarak adlandırılmıştır. Roma ve Yunan kültüründe “Odea” olarak adlandırılan küçük kapalı tiyatrolar da kullanılmıştır ancak ahşap yapılar olmaları dolayısıyla günümüze ulaşamamışlardır. Bu tiyatrolar daha çok konuşmanın anlaşılabilirliğinin önemli olduğu, Sophocles ve Euripides’in yazdıkları geç dönem Yunan tiyatro oyunlarına hizmet etmekteydiler.

2.2.3 Modern Dönem

Mimari akustiğin teorik başlangıcı 19. yüzyıl sonlarında ve 20. yüzyıl başlarında Harvard Üniversitesinden genç fizik profesörü Walter Sabine'in çalışmalarıyla başlamıştır. Sabine malzemelerin yutuculukları ile Yansışım Süresi arasında bir ilişki olduğunu anlamış ve bu doğrultuda da pratik bir formül geliştirmiştir. Kısa süre sonra da günümüzde "Boston Senfoni Salonu" olarak adlandırılan "Boston Müzik Evi"nin planlamasında çalışmıştır. Hacmin tasarlanmasında eski Avrupa salonlarının paralel duvarlı ve yatay tavanlı kutu tarzını devam ettirmiş ve duvarlarda yutucu bir malzeme kullanarak da salonda 1,8 s'lik Yansışım Süresini elde etmiştir (Long, 2006).

Şekil 2.3'deki çizimde dinleti hacimlerinin açık mekândan kapalı mekâna geçiş süreci adım adım izlenebilmektedir. Şekil a)'da düz bir zemin üzerindeki dinleyiciler gözükmemektedir. Sahneden gelen ses enerjisi arka sıralara doğru mesafenin uzaması ve bir kısmının izleyiciler tarafından yutulmasıyla azalmaktadır. Şekil b)'de dinleyicilerin oturduğu zeminin eğimlendirilmesiyle dinleyiciler tarafından yutulan enerjinin azaltılması görülmektedir. Şekil c) ise sahnedeki göstericilerin arkasına konulmuş olan duvarın yansımalarla dolaysız sese katkıda bulunmasını ve dinleyicilere ulaşan ses enerjisinin artmasını göstermektedir. Şekil d) ise sahne arkasındaki duvarın yukarıya da dönerek tam bir sahne kabuğu oluşturmasıyla dinleyicilere hem duvarlardan hem de tavandan sesin yansımasını göstermektedir. Şekil e)'de ise sahne kabuğunu oluşturan tavanın arkaya doğru uzamasıyla hacmin bir iç mekâna dönüşümü ve yansımaların toplam ses enerjisine katkıda bulunması görülmektedir (Cavanaugh, 1999).



Şekil 2.3 Dinleti hacimlerinin açık mekândan kapalı mekâna geçişi (Cavanaugh, 1999)

2.3 Oditoryum Tanımı

Dilimize Fransızcadan girmiş olan oditoryum (auditorium) kelimesi “Dinleme Salonu” anlamına gelmektedir (TDK,1992). Oditoryum daha geniş olarak “ Konferanslar, konserler ve tiyatro gösterileri için düzenlenmiş salon.” olarak da tanımlanabilmektedir (Hasol,1998).

Konferans, konser ve tiyatro hepsi birbirlerinden farklı etkinliklerdir ve her birinin diğerlerinden farklı gereksinimleri vardır. Genelde her biri kendisi için özel tasarlanmış salonlarda gerçekleştirilir. Ancak ekonomik açıdan her bir etkinlik için ayrı bir mekân temin etmek önemli bir maddi yük getireceği için bu etkinliklerin tümünün gerçekleştirilebileceği çok amaçlı salonların yapılması tercih edilmektedir.

2.4 Salon Tasarımı

Bir salonun tasarlanması için çeşitli verilerin tespit edilmesi gerekmektedir. Bu verilerden ilki salonun kullanım işlevinin belirlenmesidir. Salonlar konuşma, tiyatro, opera, çeşitli müzik etkinlikleri v.b. işlevler doğrultusunda kullanılmaktadır. Müzik amaçlı tasarlanacak salonların hangi tür müzik için tasarlanacağını bilmesinde de yarar vardır. Salon tasarımında bilinmesi gereken ikinci veri ise salonun barındıracağı dinleyici sayısı yani kapasitesidir.

Salonun kullanım amacının belirlenmesinin ardından salon için uygun optimum Yansıma Süresi tespit edilebilir. Bu aşamada literatürde yayımlanmış olan çeşitli çizelgeler ve eğriler kullanılmaktadır. Bu bilgiler daha önceden inşaa edilmiş ve uygun işitme koşulları sunan salonlarda yapılan ölçmeler sonucunda elde edilmiş verilerdir. Optimum Yansıma Süresinin belirlenmesi için gereken veri ise salonun hacmidir. Salonun hacminin belirlenmesinde çeşitli kabuller vardır (Bkz. Çizelge 2.1)(Templeton vd.,1997).

Çizelge 2.1 Kişi başına düşen hacim (m³/kişi)

	Min.	Opt.	Max.
Tiyatro	2,5	3	4
Konuşma Odası	-	3	5
Opera Salonu	4	5	6
Konser Salonu	8	10	12
Kilise	6	10	14

Salonun hacmi, en fazla dinleyici sayısı ve optimum Yansıma Süresi ile ilişkilidir. Bilindiği üzere Yansıma Süresi hacim büyüklüğü ile doğru orantılıdır. Ayrıca hacmin büyüklüğü ($N_{\max} = 1.54 V^{0.75}$) formülünden de anlaşılabileceği üzere en fazla dinleyici sayısı ile de doğru orantılıdır (Sirel, 1981). Salonun kapasitesinin arttırılmasıyla salonun hacminin de artacağı açıktır. Salonlarda dinleyici sayısının sınırlandırılmasının nedeni yutucu bir yüzey oluşturan dinleyicilerin sayılarının artmasıyla bu yutucu yüzeyin aşırı büyümesinin önüne geçilmesi ve salonda sesin düzgün yayılmışlığın sağlanmasıdır.

Bu verilerin ışığında estetik, fonksiyonel, yapısal ve ekonomik ölçütleri göz önünde bulunduran bir tasarım yapılabilir. Tasarımda akustik konular yanında dinleyicilerin konforu, iyi bir görüş açısı yakalayabilmeleri, uygun ısı, havalandırma ve aydınlatma koşullarına sahip olmaları da dikkat edilmesi gereken diğer fizik ortam ölçütleridir. Dinleyiciler salondaki koltuklarına rahatça ve hızlı bir şekilde ulaşabilmeli, acil bir durum esnasında da salondan rahatça çıkabilmelidirler. Kısaca çağdaş bir salon dinleyicilere ısısal konfor, güvenlik, mimari estetik, uygun aydınlatma, doğru görüş ve işitme açısı sunabilmelidir.

Bir salonda aranması gereken çeşitli akustik koşullar bulunmaktadır. Bu koşullar:

- a) Ses enerjisinin salonda eşit ve düzgün olarak yayılmış olması ve hacmin tümünde yeterli ses düzeyinin sağlanması,
- b) Salonun konuşmanın net bir şekilde anlaşılabilirliğini ya da müziğin mekânı doldurmasını sağlayacak uygun bir Yansıma Süresine sahip olması,
- c) Salonda yankı, çırpıntılı yankı, odaklanma, distorsiyon, rezonans, akustik gölge gibi akustik kusurlar gözlenmemesi,
- d) Salondaki gösteriyi ve bu gösterinin işitilmesini etkileyebilecek gürültü ve titreşimlerin salona girmesinin önlenmesi

olarak sıralanabilmektedir.

Hacmi, optimum Yansıma Süresi ve en fazla dinleyici sayısı bilinen bir salonun biçimlenişi de önemlidir. Çünkü bu biçimleniş hacmin Yanıt Eğrisinin düzgün olmasında önemli rol oynar. Hacmin Yanıt Eğrisinin düzgünlüğü hacmin Yansıma Süresinin frekanslara göre değişmediğini gösterir. Hacmin Yanıt Eğrisinin belirlenmesinde hacmin biçimlenişi oldukça önemlidir, çünkü hacmin öz frekanslarının dağılımının düzgün olması ya da bazı frekanslarda

rezonans gerçekleşmemesi bu biimlenişe, bu forma doğrudan bağlıdır. Bu bakımdan ayakkabı kutusu tarzında dikdörtgen plan şemalı salon formu belirlenirken Bolt Kriterleri göz önünde bulundurulmalıdır ve salonun ölçülerinin Bolt grafiğinde gözükten uygun alanda bulunmasına dikkat edilmelidir. Bolt grafiğinin özellikle dikdörtgen planlı salonlar için uygun sonuçlar verdiği unutulmamalıdır.

Geçmişten günümüze farklı dönemlerde kabul gören ve müzik tiplerine göre de farklılık gösterebilen salon formlarından (plan şemalarından) söz edilebilir. Bu şemalardan en çok kullanılanları,

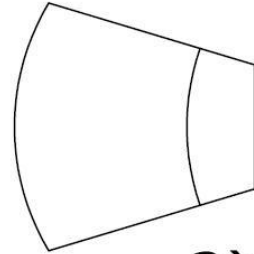
1. Dikdörtgen Form
2. Yelpeze Biçimli Form
3. Uzun Altıgen Biçimli Form
4. At Nalı Plan Formu

olarak 4 ana başlık altında sıralanabilir (Bkz.

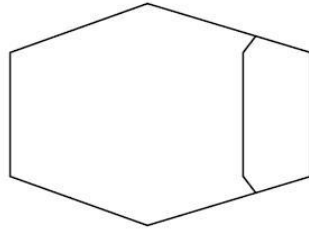
şekil 2.4) (Barron, 1993).



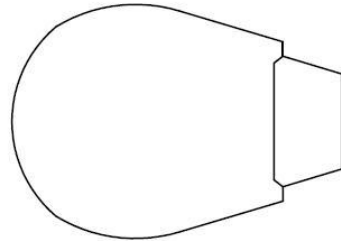
1)



2)



3)



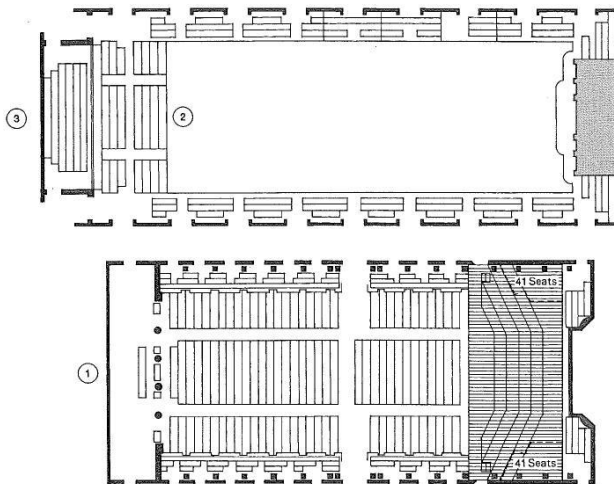
4)

Şekil 2.4 Salon formları (Barron, 1993)

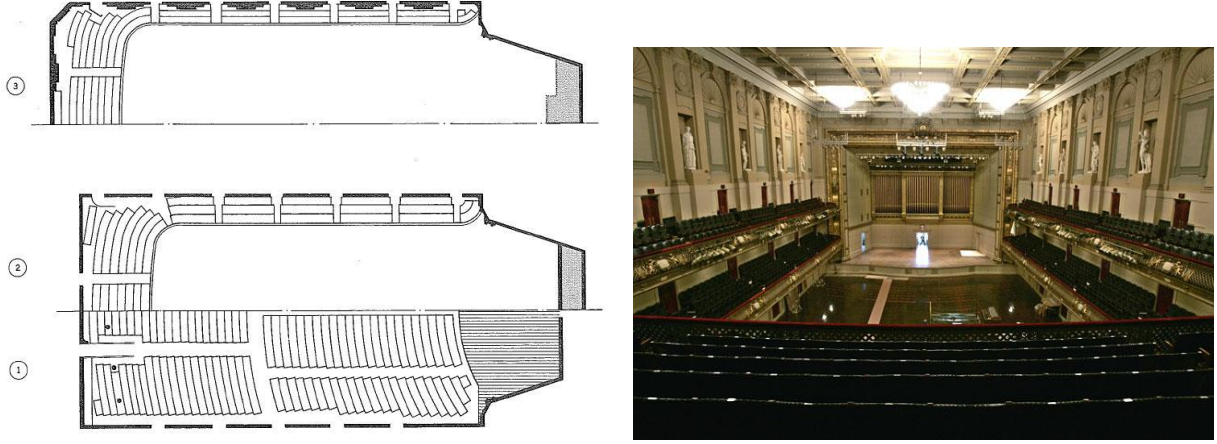
1. Dikdörtgen Form

Klasik bir form olan dikdörtgen plan şeması, yan yüzeylerin sağladığı yansımalar ve basit bir form olmasından ötürü 19.yüzyıldan itibaren Avrupa’da sıkça kullanılan bir plan şeması olarak ün kazanmıştır. Bu tarz salonlar dinleyici tarafından Algılanan Kaynak Genişliği ve Dinleyici Kuşatılmışlığı bakımından yüksek değerler göstermesiyle günümüzde hala önemini korumaktadırlar. Ancak bu salonlar belirli bir dinleyici sayısına kadar akustik açıdan etkin özellikler göstermektedirler. Dinleyici sayısının artmasıyla salon arkaya doğru uzar ve arkada oturan dinleyiciler sahneden uzaklaştıkları için bu noktalarda ses düzeyi düşer. Bu da salonun her yerinde eşit ses düzeyinin sağlanamaması durumunu getirir. Salonda eşit ses düzeyi sağlayıp dinleyici sayısının arttırmak için yelpaze biçimli plan formu türetilmiştir.

Dikdörtgen formlu salonların en iyi örneklerinden ikisi Viyana’daki “Grosser Musikvereinsaal” (Bkz. Şekil 2.5) ile Boston’daki “Symphony Hall” (Bkz. Şekil 2.6) dur. Viyana’daki salon dinleyicilere kapılarını 1870 yılında açmış olup, 15.000 m^3 ’lük bir hacme ve 1680 kişilik dinleyici kapasitesine sahiptir. Boston’daki salon ise 1900 yılında açılmıştır ve 18.750 m^3 ’lük bir hacme ve 2625 kişilik bir kapasiteye sahiptir (Beranek, 1996). Boston’daki bu salonun en önemli özelliği akustik danışmanlığının modern akustiğin kurucusu olan Walter Clement Sabine tarafından yapılmış olmasıdır (Long, 2006). Bu salonların planları ve fotoğrafları Şekil 2.5’de ve Şekil 2.6’da görülmektedir.



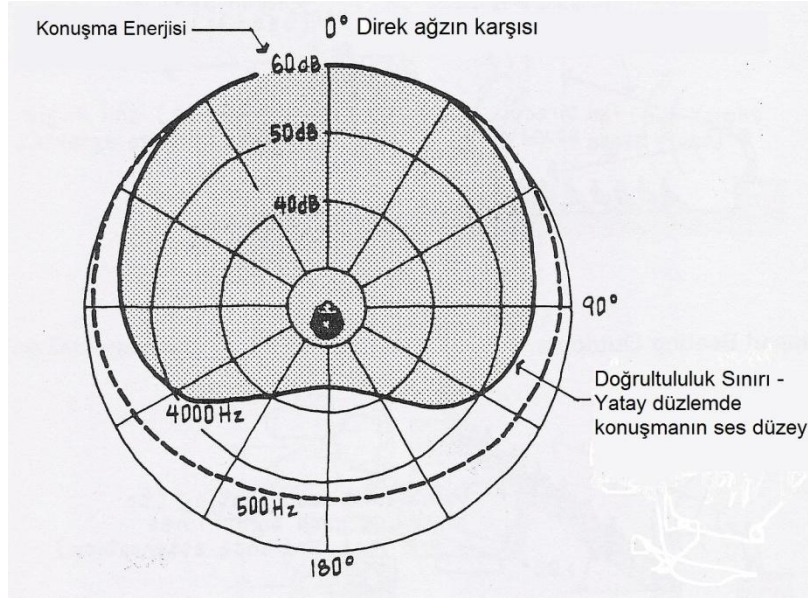
Şekil 2.5 Grosser Musikvereinsaal, Viyana (Beranek, 1996)



Şekil 2.6 Symphony Hall, Boston (Beranek, 1996)

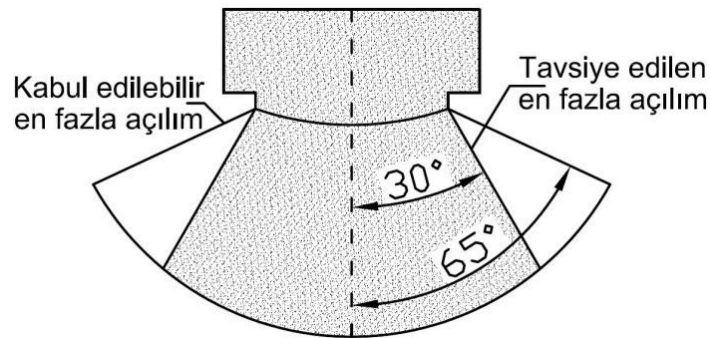
2. Yelpaze Biçimli Form

Yelpaze biçimli formun ortaya çıkmasının nedeni salonun kapasitesini arttırmak ve dinleyicileri sahneye yaklaştırmaktır. Antik çağlardan beri açık hava tiyatrolarında kullanılan bu form kapalı salonlarda da hayat bulmuştur. Dinleyicilere yeterli yanal yansımaların ulaşmadığı bu salonlarda, bu eksiklik düzgün tavan yansıtıcılarının tasarımıyla bir oranda dengelenebilmektedir. Yelpaze biçimli salonlarda konuşmanın doğrultululuğu göz önünde bulundurulmalı ve duvar açıları buna göre saptanmalıdır. Bilindiği üzere insan sesi doğrultululuk özelliğine sahiptir ve insanın ağzından çıkan ses çevresindeki farklı noktalarda farklı düzeylerde olur. İnsan sesinin enerjisinin konuşmacının önünde yüksek olup arkasında daha düşük olması bu duruma bir örnektir. Bu konunun biraz daha dikkatli incelenmesinde Şekil 2.7'deki dairesel grafiğin yararı olacaktır (Egan, 1988).



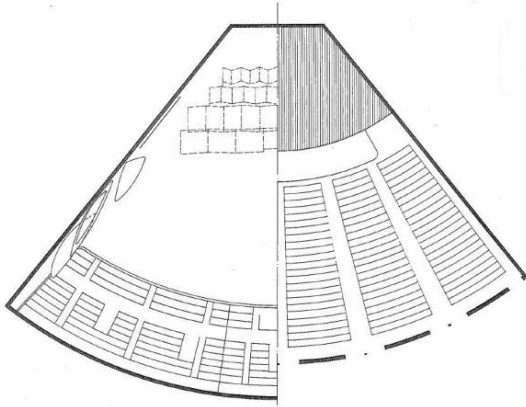
Şekil 2.7 İnsan sesinin doğrultululuğu (Egan, 1988)

Sesli harfleri oluşturan 500 Hz altındaki kalın sesler ile sessiz harfleri oluşturan 4000 Hz ve üzeri frekanslardaki ince seslerin konuşmacının çevresinde oluşturdukları ses düzeyleri birbirlerinden farklıdır. Grafikte de görüldüğü üzere ince sesler 90 derece yanlarda 6 dB'lik bir enerji kaybına uğramakta, bu enerji kaybı kişinin tam arkasına denk gelen 180 derecede 20 dB üzerine kadar çıkmaktadır. Oysa kalın sesler 90 derece yanlarda göz ardı edilebilecek kadar az bir enerji kaybına uğramakta, bu enerji kaybı kişinin tam arkasında ancak 8 dB'e kadar çıkmaktadır. Bu yüzden de konuşmadaki sessiz harfleri oluşturan ince seslerin konuşmacının arkasında işitilmesi çok zor ve dolayısıyla da konuşmanın anlaşılması çok zor olacaktır. Bu sebeplerden ötürü yelpaze biçimli salonlar tasarlarken yan duvarların sahne aksıyla yaptığı açı 30 dereceyi geçmemelidir (Bkz. Şekil 2.8) (Mehta vd., 1999).



Şekil 2.8 Yelpaze biçimli salonlarda maksimum yan duvar açılımı (Mehta vd., 1999)

Yelpaze biçimli salonların en başarılı örneklerinden biri de Venezüella'nın başkenti Karakas'taki Karakas Üniversitesi Oditoryumudur. 24.920 m³'lük bir hacme ve 2660 kişilik dinleyici kapasitesine sahip olan bu oditoryum "Aula Manga" olarak da anılmaktadır. Oditoryum yelpaze biçimli bir plan şemasına, eğrisel bir arka duvara ve içbükey bir çatı örtüsüne sahiptir. Salon bu özellikleri ile akustikçiler için oldukça problemlidir. Ancak tavana ve yan duvarlara sabitlenmiş olan yansıtıcı paneller yardımıyla dinleyicilere yansımaların ulaşması sağlanmış, içbükey tavanın olumsuz etki göstermesinin önüne geçilmiştir. Ayrıca salonun içbükey arka duvarının yutucu malzeme ile kaplanmasıyla da sahne önünde yankı oluşması önlenmiştir. Asma panellerin üzerine cam yünü malzemenin döşenmesiyle 1,35 saniyelik konuşma için kabul edilebilecek bir Yansıma Süresine sahip olan salonun, bu yutucu yapı elemanlarının kaldırılmasıyla 1,7 saniyelik bir Yansıma Süresine sahip olması ve müzik amaçlı da kullanılması mümkün olmaktadır. Yüksek Netliğe gereksinim duyulan müzik çalışmalarında olumlu sonuçlar veren bu salon, yelpaze biçimli formundan ötürü dikdörtgen salonlarda gözlemlenen yan duvarlar kaynaklı karşılıklı yansımaya sahip değildir. (Beranek, 1996) Salonun planı ve bir fotoğrafı Şekil 2.9'da görülmektedir.

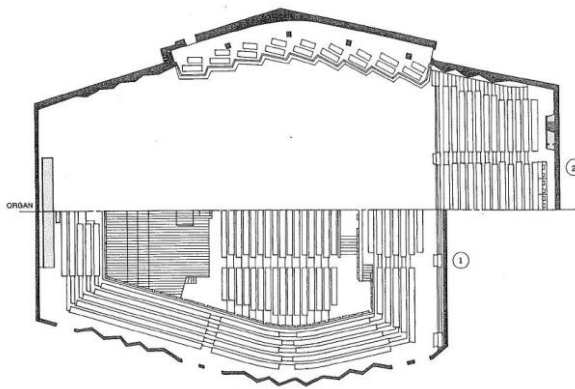


Şekil 2.9 Karakas Üniversitesi Oditoryumu, "Aula Manga" (Beranek, 1996)

3. Uzun Altıgen Biçimli Form

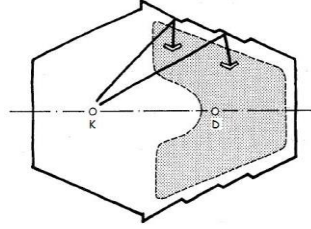
Uzun Altıgen biçimli form ise sağladığı görsel avantaj ve yüksek yanıl yansımalarla kullanışlı bir plan şeması olarak öne çıkmaktadır (Barron, 1993). Bu plan tipinde salonun duvarlarının salonun arkasına doğru daralması sayesinde dinleyicilere yeterli miktarda erken ve geç yanıl yansıma ulaşmaktadır. Bu sayede bu tip salonlarda yelpaze biçimli salonlara göre daha yüksek Algılanan Kaynak Genişliği (ASW) değerlerine ulaşılabilir (Bkz. Bölüm 3.2.3).

Uzun Altıgen biçimli forma sahip akustik açıdan başarılı salonlardan biri de Hollanda, Rotterdam'daki "De Doelen Konser Salonu"dur. 2242 dinleyici kapasiteli ve 24.070 m³'lük bir hacme sahip olan bu salonda dinleyicilere yeterli yansıma ulaşabilmesi amacıyla farklı bir uygulamaya gidilmiş ve sahneyi de barındıran salonun ortası kendi başına küçük bir salon oluşturacak şekilde 3 m yüksekliğindeki duvarlar ile çevrelenmiştir. Geri kalan dinleyiciler ise bu küçük iç salonun dışına daha yukarıya konumlandırılmıştır. Bu sayede küçük iç salonda oturanlara kendilerini çevreleyen duvarlardan erken yanıl yansımaların ulaşması sağlanmıştır. Bu erken yanıl yansımalar küçük iç salonda oturanların kaynağı daha geniş algılamalarına sebep olmuştur. Ayrıca küçük salonun duvarları boyunca dinleyicilere erken yanıl yansımaları yönltecek dağıtıcılar kullanılmıştır. Küçük salonun dışında oturanlara erken yansımalar asma tavandan gelirken, geç yanıl yansımalar ses dağıtıcı yan duvarlardan ulaşmaktadır (Beranek, 1996). Şekil 2.10'da De Doelen Konser Salonunun planı ve fotoğrafı görülmektedir.



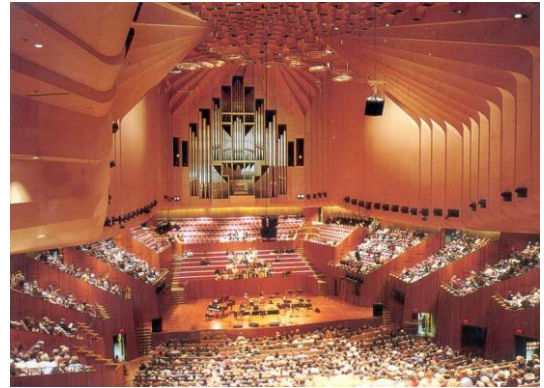
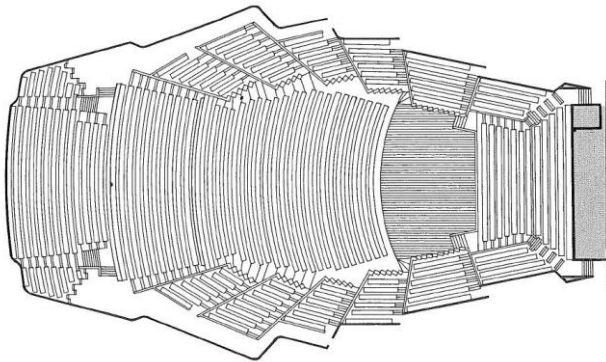
Şekil 2.10 De Doelen Konser Salonu, Rotterdam (Beranek, 1996)

Bu salon tipinin farklı bir varyantında da yan duvarlar kademelendirilerek gerekli doğrultulara yanal yansımalar gönderilebilmektedir (Bkz. Şekil 2.11). Bu tip salonlarda yüksek yanal yansımaların ulaştığı bölgeler aşağıdaki çizimde taralı olarak gösterilmiştir (Egan, 1988).



Şekil 2.11 Yelpeze biçimli salonda yanal yansımaların ulaştığı alan (Egan, 1988)

Kademelendirilmiş uzun altıgen formlu salon tipinin en bilenen örneği ise Sydney Opera Binası'nın Konser Salonudur. Yapı Danimarkalı mimar Jorn Utzon tarafından tasarlanmış ve 1973 yılında açılmıştır. Yapı içindeki Konser salonunun hacmi 24.600 m^3 olup, salon 2679 kişilik dinleyici kapasitesine sahiptir. Burada da “De Doelen”de olduğu gibi salonun ortasında duvarlarla çevrelenmiş daha küçük bir salon bulunmaktadır ve orkestra da bu duvarların arasında yer almaktadır. Küçük salonun döşemesi oldukça dik kademelendirilmiştir. Ayrıca bu küçük salonu çevreleyen ve yan balkonların yerine geçen localar da daha dik olarak kademelendirilmiştir. Bu localar ayrıca yatay düzlemde de kademelenerek dinleyicilerin sahneye yönelmeleri sağlanmıştır. Ana salonun arkasına doğru döşemenin dikliği ise daha da artmaktadır. Küçük salonda oturanlara locaların duvarlarından erken yanal yansımalar ulaşırken, yukarıdaki kotlarda oturanlara erken yansımalar sadece tavandan ulaşabilmektedir (Beranek, 1996) (Bkz. Şekil 2.12).



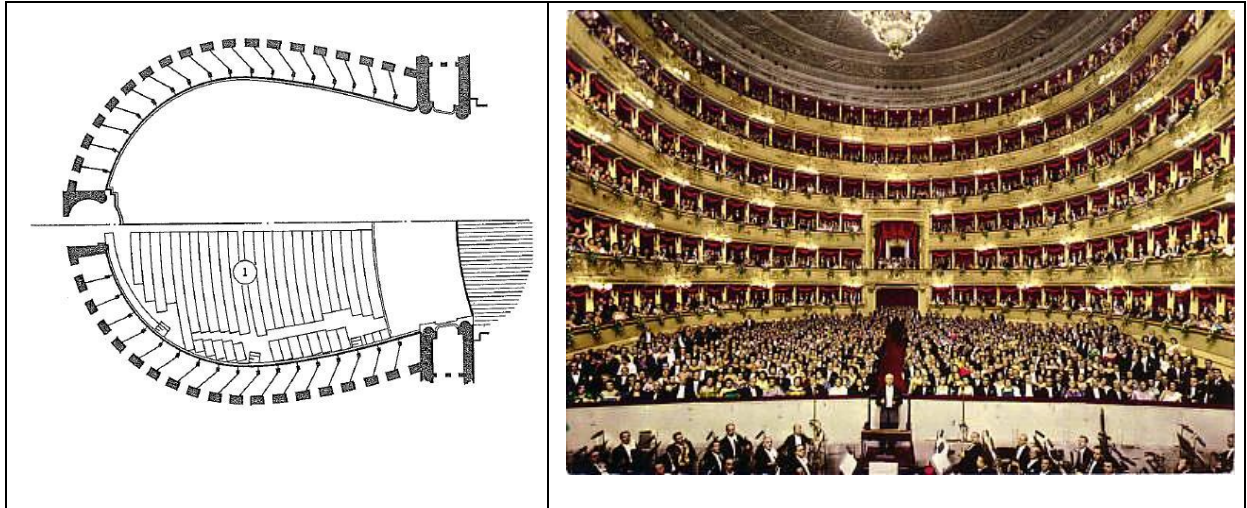
Şekil 2.12 Sydney Opera Binası Konser Salonu (Beranek, 1996)

4. At Nalı Plan Formu

Konuşma amaçlı salonlar ve tiyatro yapıları için oldukça popüler olan at nalı plan formu, müzik amaçlı salonlarda kullanılmak amacıyla yüksek Yansıma Süresinin elde edilebilmesi için hacminin büyütülmesiyle zayıf bir yansıma dokusu ve içbükey arka duvar kaynaklı odaklanma sorunları oluşturmaktadır. Bu bakımdan bu form daha çok konuşma amaçlı kullanılacak salonlar için uygundur (Barron, 1993).

İtalya'nın Milano kentindeki "Teatro Alla Scala" adlı opera binası at nalı plan formunun kullanılmış olduğu salonlara örnek olarak görülebilir. Salon 1778'de açılmıştır ve 11.252 m^3 'lük bir hacme sahiptir. Yapıda aynı anda toplam 2289 dinleyici etkinliğe katılabilmektedir.

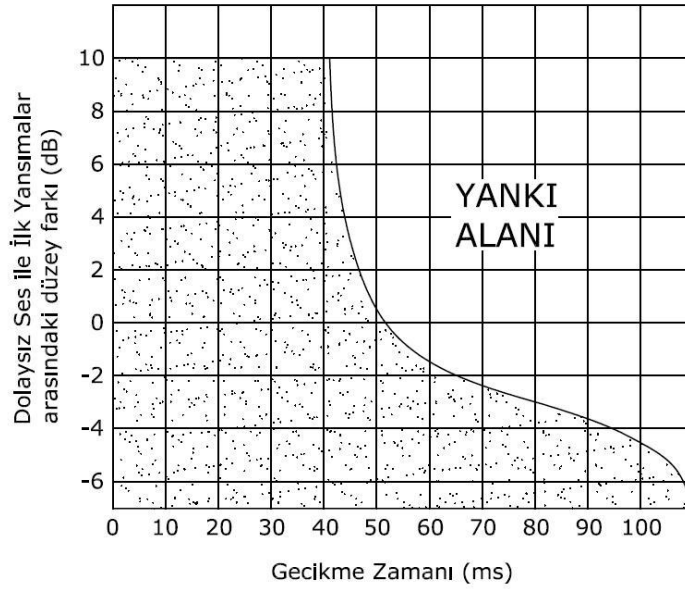
At nalı plan formuna sahip olan bu yapıda plandaki eğrisel bölge localara ayrılmıştır ve bu localar 6 kat olarak yukarı yükselirler. Locaları oluşturan balkonların yüksek parapetleri sahneden gelen sesin buradan yansıyarak tekrar sahneye dönmesini sağlamaktadır. Bu parapetler, salonda beklenmedik bir "Algılanan Kaynak Genişliği - ASW" (Bkz. Bölüm 3.3.3 Mekânsal Algılama) artmasına neden olurlar ki, bu da aranan önemli bir durumdur. Opera etkinlikleri için kullanılan bu hacimde ses açık, sıcak ve parlaktır (Beranek, 1996). Salonun planı ve bir fotoğrafı Şekil 2.13'de görülmektedir.



Şekil 2.13 Teatro Alla Scala, Milano (Beranek, 1996)

Akustik Kusurlar

Uygun salon formunun belirlenmesinin yanında salonda akustik kusurların oluşmaması için de çeşitli önlemler alınmalıdır. Bu akustik kusurlar maskeleme, distorsiyon, yankı, vurgusal yankı, odaklanma ve düzgün yayılmamışlık olarak sıralanabilir. Maskeleme yüksek Yansıma Süresinin gözlemlendiği salonlarda bir sesin kendisini takip eden başka bir ses tarafından örtülmesi iken, distorsiyon hacmin belli frekanslarda farklı yutuculuk göstermesiyle sesin tayfsal yapısının bozulmasıdır. Yankı ise dolaysız ses ile ilk yansımalar arasındaki düzey farkı ve gecikme zamanı belli sınırları aştığında oluşan bir kusurdur. Haas grafiğinde düzey farkının gecikme zamanına bağlı olarak değişimi görülebilmektedir (Bkz. Şekil 2.14).



Şekil 2.14 Haas Grafiği (Mehta vd. 1999)

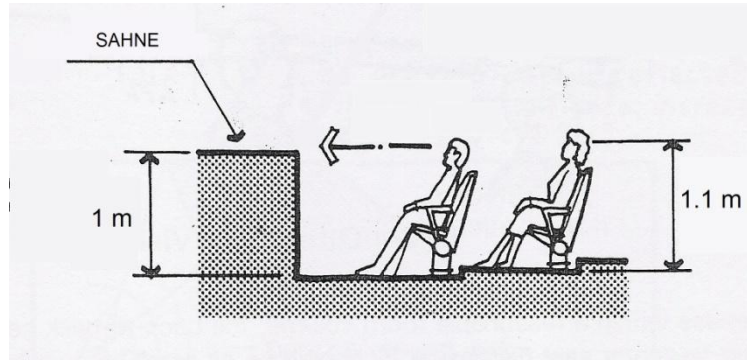
Gecikme zamanının artmasıyla yankı oluşturacak ilk yansımaların ses basınç düzeylerinin düşüşü bu grafikten okunabilmektedir. Vurgusal yankı paralel iki duvarın mevcut olduğu salonlarda gözlemlenirken, odaklanma kubbe, tonoz ya da eğrisel duvar gibi içbükey yüzeylere sahip salonlarda gözlemlenmektedir. Bu kusurların önlenmesi ve salonlarda düzgün yayılmışlığın sağlanması için uygun yüzeylerin yutucu ve dağıtıcı malzemelerle kaplanması gereklidir. Ayrıca düzgün yayılmışlığın korunması açısından çok büyük tek bir alanın aynı tür malzeme ile kaplanmaması gerektiği, bu tür yüzeyin salon içinde küçük alanlar olarak dağıtılması gerektiği unutulmamalıdır. Dinleyici sayısında sınırlamaya gidilmesinin nedeni de budur.

Dinleyici Platformu Tasarımı

Salon ister konuşma amaçlı, ister müzik amaçlı kullanılacak olsun her durumda dinleyicilerin sahneyi daha net bir şekilde görebilmeleri için ve sahnedekilerin sesinin herhangi bir kesintiye uğramadan rahatça dinleyicilere ulaşabilmesi için belli tasarım önerilerinden bahsedilebilir. Bu öneriler şu şekilde sıralanabilir:

1. Sahnenin yükseltilmesi
2. Döşemenin parabolik ya da çizgisel olarak eğimli hale getirilmesi
3. Döşemenin kademelendirilmesi
4. Balkon tasarımı

Birinci öneri konuşmacıların yerden yüksekte bir zemine, yani sahneye çıkmalarını işaret etmektedir. Oturan bir dinleyicinin göz hizası yerden 1.1 m yüksekliktedir. Dinleyicilerin sahnenin tabanını görebilmeleri için sahnenin dinleyicilerin bulunduğu döşemeden yüksekliği yaklaşık 1 m olarak kabul edilir. Daha yüksek sahne platformlarında ön sırada oturan dinleyiciler başlarını yukarı kaldırmak zorunda kalacaklardır ve bu da boyun ağrılarına sebep verecektir (Bkz. Şekil 2.15) (Egan, 1988).



Şekil 2.15 Sahne ve dinleyici göz hizası yükseklikleri (Egan, 1988)

İkinci ve üçüncü öneriler ise salondaki dinleyicileri sahneye yaklaştırmak amacıyla türetilmiş çözümlerdir. Döşemenin düz olduğu salonlarda dinleyici ile sahne arasındaki uzaklık arttıkça ses düzeyi düşer ve ses dinleyiciler tarafından daha fazla yutulmuş olur. Bunun sonucunda da arka koltuklarda akustik konfor koşulları sağlanamamış olur. Ayrıca seyirciler 12 m'den sonra sahne üzerindeki şahısların mimiklerini, 20 m'den sonra jestlerini ve 30 m'den sonra da beden hareketlerini net seçemezler. Bu yüzden düz döşeme kullanılan salonlarda dinleyici sayısı

sınırlı kalır. Bu tip salonlarda konuşmacının dinleyicilerden daha yüksekte bir platforma çıkması, dinleyiciler tarafından sesin yutulmasını azaltarak arka koltuklara ulaşan ses enerjisinin artmasını sağlar. Bir salonda düz döşemenin akustik açıdan sorun yaratmadan kullanılabileceği en uzun derinliği hesaplamak için bir formül geliştirilmiştir (Bkz. Şekil 2.16) (Mehta vd. 1999).

$$d = \frac{T}{c} [F - E] \quad [1.1]$$

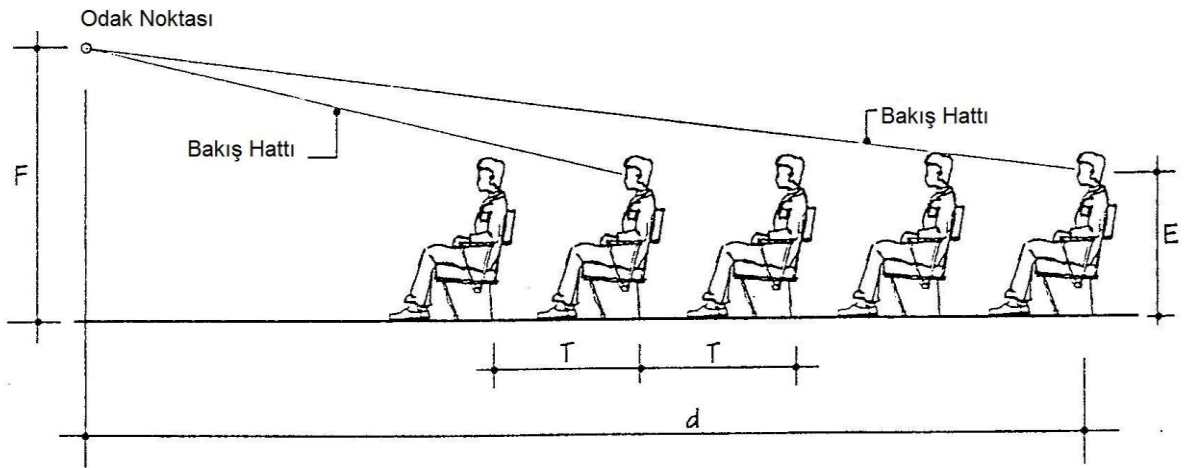
d= Düz döşemenin derinliği

E= Oturan bir insanın göz seviyesinin yerden yüksekliği = 1,1m

c= 100mm = Göz seviyesinden başın üstüne olan mesafe

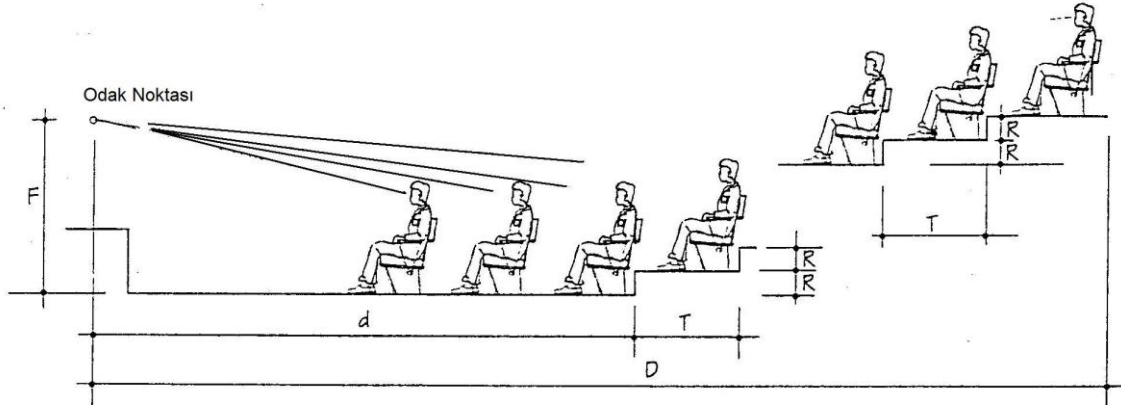
T= Koltuk sıraları arasındaki mesafe, tasarıma göre değişmektedir

F= Sahne üzerindeki odak noktasının yüksekliği



Şekil 2.16 Salonlarda düz döşeme derinlik sınırı (Mehta vd., 1999)

Dinleyici sayısının arttırılması gereken durumlarda salon döşemesinde kademelenmeye gidilir (Bkz. Şekil 2.17). Bu kademelendirmedeki amaç arkadaki dinleyicilerin öndeki dinleyicilerin kafalarından engellenmeden rahatça sahneyi görebilmeleridir. Dinleyicinin sahneyi doğrudan görmesi, sahneden gelen seslerin yutulmadan doğrudan dinleyiciye gelmesi demektir. Bu bakımdan görsel konfor işitsel konforu da belirlemiş olur.



Şekil 2.17 Salonlarda kademelenme sistemi (Mehta vd., 1999)

Bu kademelenme sisteminde basamakların rıht yüksekliği aşağıda verilmiş olan formül ile bulunmaktadır (Denklem 1.2) (Mehta v.d., 1999).

$$R = \frac{cD - T(F - E)}{d} \quad [1.2]$$

$c=100\text{mm}$ = Göz seviyesinden başın üstüne olan mesafe

d =İlk basamağın odak noktasından uzaklığı

D =Son basamağın odak noktasından uzaklığı

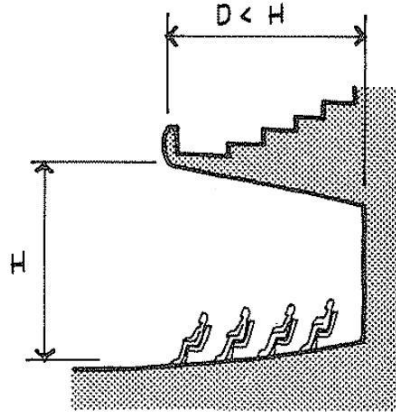
E = Oturan bir insanın göz seviyesinin yerden yüksekliği = 1,1m

F = Sahne üzerindeki odak noktasının yüksekliği

R =Kademenin rıht yüksekliği

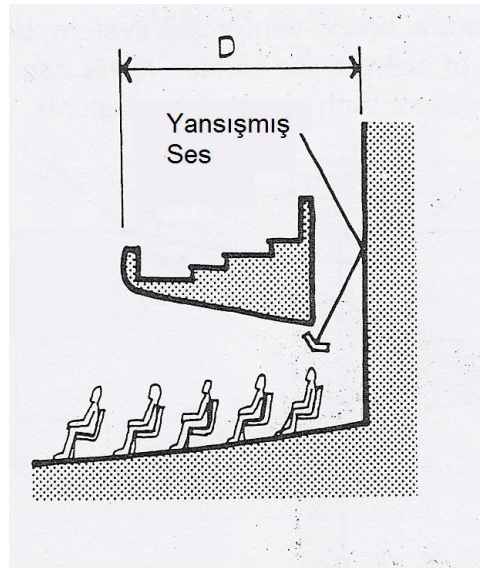
T =Basamakların genişliği

Dördüncü öneri ise dinleyicileri sahneye yaklaştırmamanın başka bir yolu olan balkon uygulamasıdır. Balkon uygulaması sayesinde balkonda oturanlar sahneye yaklaşmış olurlar. Ancak bu uygulamada balkon altında oturanlar ihmal edilmemelidir. Aksi takdirde balkon altı akustik gölge içinde kalır, buradaki dinleyicilere yeterli yansıma ulaşmaz ve akustik konfor sağlanamaz. Bunun için balkon tasarlarırken balkon altı bölgesi üzerinde önemle durulmalıdır. Balkon altındaki yüzeyin oturanlara yansıma göndermesi ve müzik amaçlı salonlarda balkon altı derinliği D 'nin balkon altı yüksekliği H 'dan az olması gerekmektedir. Konuşma amaçlı salonlarda D değeri $2,5H$ 'a dek uzayabilmektedir (Bkz. Şekil 2.18) (Barron, 1993).



Şekil 2.18 Balkon altı derinliğinin sınırı (Egan, 1988)

Balkon altında akustik gölge oluşmasının önlenmesinin ve burada oturanlara yeterli yansıma ulaşmasının bir yolu da balkon altı yüzeyinin eğiminin doğru tasarlanmasının yanında balkonun bağımsız çalışmasıdır. Buna “uçan balkon” uygulaması denir. Bu sistemde balkon arka duvardan kopartılmakta, balkona ulaşım bir veya birkaç noktadan köprü ile sağlanmaktadır. Bu sayede balkonun arkası açık kalmakta ve balkon altında oturan dinleyicilere arka taraftan da yansımış ses ulaşabilmektedir. Bu da burada oturan dinleyicilerin akustik konforunu yükseltmektedir. Uçan balkon uygulamasında D açıklığı balkon altı yüksekliği H 'dan bağımsızdır, çünkü ses arkadan da ulaşmaktadır (Bkz. Şekil 2.19) (Egan, 1988).



Şekil 2.19 Uçan balkon (Egan, 1988)

Akustik Tavan Tasarımı

Salon tasarımında göz önünde bulundurulması gereken diğer bir konu da tavan tasarımıdır. Konuşma amaçlı salonlarda konuşmanın anlaşılabilirliğini sağlayabilmek için dinleyicilere erken yansımaları yönlendirecek şekilde yansıtıcı paneller asılır. Bu paneller dolaysız sestten sonra gelen erken yansımaları dinleyicilere göndererek bu dinleyici noktalarında erken ses düzeyini yükseltir. Erken ses düzeyinin yükselmesiyle de geç seslere daha az enerji kalır. Erken ses enerjisinin yüksek olması ve bunu takiben geç ses enerjisinin düşmesi, konuşmanın anlaşılmasında aranan bir durumdur. Erken ses enerjisinin yüksek olması EDT değerlerinin düşük olmasına işaret eder ve konuşmanın anlaşılabilirliğini ve müziğin netliğini artırır (Bkz. Bölüm 3.2.1.2). Geç seslerin enerjilerinin yüksek olması ise RT değerlerinin yüksek olduğunu gösterir ve müziğe dolgunluk kazandırır. Gereğinden yüksek RT değerleri gözlemlenen salonlarda konuşmanın anlaşılabilirliği ya da müziğin netliğinden söz edilemez. RT değerlerinin yüksek olması müziğe ses dolgunluğu özelliğini kazandırırken, aşırı yüksek RT değerleri sesin çamurlaşmasına (muddy) sebep olabilmektedir.

Tavan tasarımının erken ses enerjisini etkilemesi ve erken ses enerjisi oranının da yukarıda belirtilen pek çok öznel ölçütte etkili olması bakımından bu konu üzerinde titizlikle durulması gereken bir alandır. Müzik amaçlı salonlarda sesin salon içinde yayılması ve geç ses enerji düzeyini arttırması beklenir. Bu sayede RT değerleri ve bunu takiben de sesin dolgunluğu artar.

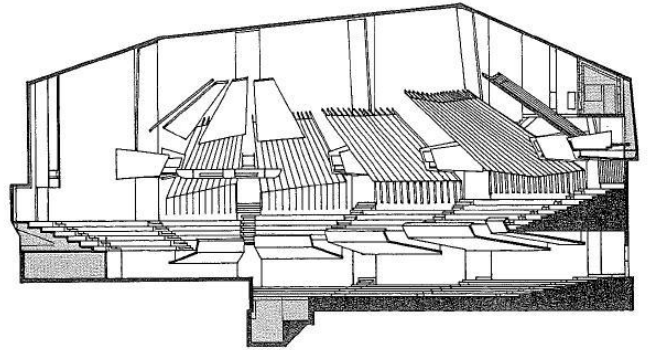
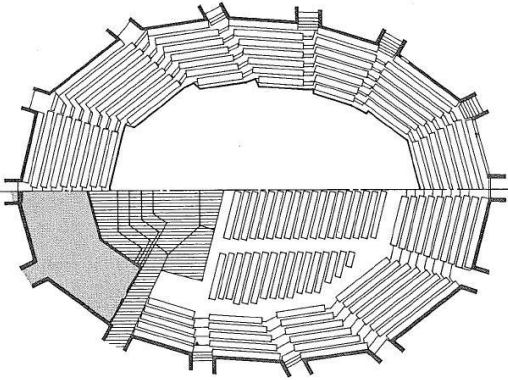
Doğru tasarlanmış Akustik Tavan örneğinin en başarılılarından biri Yeni Zelanda'nın Christchurch kentindeki Christchurch Kent Salonudur. Salon 1965 – 1966 yılları arasında açılmış olan iki aşamalı mimari bir yarışma sonucunda 54 ön projeden ikinci aşamaya geçmeye hak kazanmış olan 5 ön proje arasından seçilmiştir. Yarışmada projesi birinci seçilen mimar Miles Warren proje üzerine akustik danışmanlık verecek olan Marshall, A. H. ile görüşmek üzere İngiltere Southhampton'a gider. Marshall bu dönemde salonlarda akustik kaliteyi önemli bir oranda etkileyen yanal yansımaların önemini kavramıştır ve bu konu üzerine hazırlamış olduğu makalesini yayına yollamak üzeredir. Mimar'a bu konuyu açıklar ve onu ikna edebilmek amacıyla aynı eseri yanal yansımalar konusunda yeterince başarılı sayılamayacak Londra'daki Royal Festival Hall ve yanal yansımalar açısından başarılı bulunan Amsterdam'daki Concertgebouw'da dinlemesini sağlayarak mimarın yanal yansımaların dinleyici üzerindeki etkisini kavramasını sağlar. Böylece mimar Miles Warren

tavana eğik yansıtıcı paneller asarak yeterli yanal yansıma sağlayacak en uygun iç mekan formuna ulaşmış olur (Marshall, A. H. ve Barron, M., 2000).

Salon elips bir plan formuna sahiptir ve tavana asılmış olan 18 adet oldukça büyük eğik yansıtıcı panel, iç bükey eliptik tavan kaynaklı odaklanma sorunlarının oluşmasını önler. Asılı duran bu paneller erken sesin salon içinde düzgün bir şekilde dağılmasını sağlamaktadırlar. Salonun fotoğrafları ile planı ve kesiti Şekil 2.20’de ve Şekil 2.21’de görülmektedir (Beranek, 1996).



Şekil 2.20 Christchurch Town Hall iç mekan resimleri



Şekil 2.21 Christchurch Town Hall plan ve kesiti

Dinleyicinin geç yansımış ses tarafından kuşatıldığı Boston Senfoni Salonundan farklı olarak bu salonda dinleyici erken ses tarafından kuşatılmaktadır (Beranek, 1996).

3. HACİM AKUSTİĞİ PARAMETRELERİ

Oditoryumların değerlendirilmesinde kullanılan parametreler öznel ve nesnel olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Uzunca bir süre sadece öznel parametreler yardımıyla salonlar değerlendirilmiştir. Ancak öznel parametre verileri değerlendirmeyi yapan kişinin işitsel yetisine, hassasiyetine, yaşına, eğitimine ve psikolojisine göre değişebilmektedirler. Öznel parametrelerdeki bu karmaşıklık ortadan kaldırıp kesin ve net sonuçlar elde edebilmek için nesnel parametreler ortaya konmuştur. Nesnel parametrelerin türetilmesine ancak modern akustikğin gelişmesi ve teknolojik olanakların ilerlemesiyle başlanabilmektedir.

Günümüz koşullarında gelişen teknolojiler yardımıyla artık çok hassas ölçme ve analizler yapılabilmektedir. Bazen bu hassasiyet insan duyarlılığı açısından fazla gelebilir. İnsanın işitme sisteminin algılayamayacağı derecede hassas ölçmeler yapmak uygun olmayacaktır. Günümüzdeki akustikçiler nesnel ve öznel parametreler arasında paralellik kurmaya çalışırken bu hassasiyete önem vermelidirler.

Nesnel parametreler öznel parametreleri bilimsel olarak ölçmeye ve değerlendirmeye yardımcı olurlar. Böylece bir salon için kişiden kişiye değişen beğeniler yerine, bilimsel veriler elde edilebilir. Bu bilimsel veriler kişiler arasında farklılık göstermeyeceklerinden herkes tarafından kabul edilirler. Bu bakımdan önce kesin veriler sunan nesnel parametreleri anlamak ve sonra da bu nesnel parametrelerle ilgili öznel parametreleri kavramak daha doğru olacaktır.

3.1 NESNEL PARAMETRELER

3.1.1 Ses Enerjisinin Gelişme Bölümü ile İlgili Parametreler

3.1.1.1 Ayırt Edilebilirlik – Distinctness (D_{50})

Konuşmanın anlaşılabilirliğini ölçmede kullanılan en eski parametrelerden biri olan Ayırt Edilebilirlik 1953 yılında Thiele tarafından ortaya konmuştur. Erken enerji oranı (early energy fraction) olarak da adlandırılabilen bu parametre ses kaynağının içinde bulunduğu hacmin yanıtından ölçülmektedir.

Konuşmanın anlaşılabilirliğine katkıda bulunan ilk yansımaların zaman açısından sınırı konuşma seslerinin süresi tarafından belirlenmiştir. Daha açık bir ifadeyle İngilizcede normal

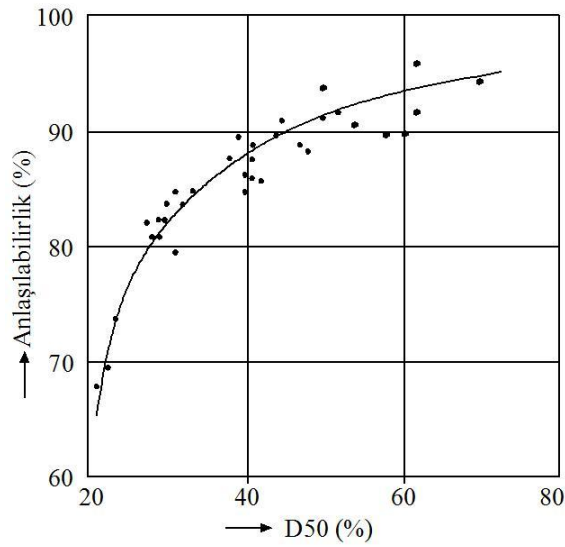
konuşma hızında bir saniyede 5 hece ya da başka bir deyişle sessiz – sesli – sessiz düzeni göz önünde bulundurularak bir saniyede 15 konuşma sesi çıkarılabildiği tespit edilmiştir. Buradan da ortalama bir değer olarak $1000 \text{ ms} / 15 = 66 \text{ ms}$ bulunmuştur. Konuşmanın anlaşılabilirliği ile ilgili ölçümlerde 50–80 ms aralığındaki değerler kullanılmıştır.

Erken enerji oranı ya da Ayırt Edilebilirlik basitçe dolaysız sesten sonraki ilk 50 ms içinde gelen seslerin enerjilerinin, toplam ses enerjisine oranı olarak tanımlanmaktadır. (Barron, 1993)

Ayırt Edilebilirlik – Deutlichkeit (Distinctness) D_{50} parametresi:

$$D_{50} = \frac{\int_0^{0.05} p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt} \quad [2.1]$$

eşitliği ile ifade edilmektedir. Bu eşitlikteki “ p ” değeri, alıcı noktasının “ t ” anındaki anlık ses basıncını göstermektedir. Şekil 3.1’de ise Boré’un yapmış olduğu çalışmanın sonucu olan D_{50} parametresinin Anlaşılabilirlik ile olan ilişkisi görülmektedir (Kuttruff, 1991).



Şekil 3.1 D_{50} - Anlaşılabilirlik ilişkisi (Kuttruff, 1991)

D_{50} değerlerinin artmasıyla, konuşmanın anlaşılabilirliği artmaktadır. Şekilde de görüldüğü üzere % 50 üzerindeki D_{50} değerleri % 90 Anlaşılabilirlik sağlamaktadır. Bu bakımdan D_{50} parametresinin % 50 üzerindeki değerleri kabul edilebilir değerler olarak görülmektedir.

3.1.1.2 Netlik – Clarity (C_{80})

Kapalı bir mekânda dolaysız sesten sonraki ilk 80 ms içinde gelen seslerin enerjilerinin, 80 ms sonrasında gelen seslerin enerjilerine oranı olarak ifade edilen bu parametre müzik için önemli olan sesin netliği ve yansımışlığı arasındaki dengeyi gösterir. Bu parametre tanımından da anlaşılacağı üzere İngilizcede erken sesin geç sese oranı (early – to – late sound index) olarak ta ifade edilmektedir.

Bu parametre Thiele'nin 1953 yılında ortaya koyduğu D_{50} – Ayırt Edilebilirlik (Distinctness) parametresinden türetilmiştir. Ayırt Edilebilirlik parametresinde zaman aralığı olarak konuşmanın anlaşılabilirliğine özgü 50 ms alınmaktaydı. Bu zaman aralığı müziğin daha net ve anlaşılabilir algılanabilmesi için 1975 yılında Reichardt'ın önerisi üzerine 80 ms'ye çekildi ve böylece bugünkü kullandığımız C_{80} parametresi elde edilmiş oldu. (Barron, 1993)

Netlik – Clarity C_{80} parametresi:

$$C_{80} = 10 \log \left(\frac{\int_0^{0.08} p^2(t) dt}{\int_{0.08}^{\infty} p^2(t) dt} \right) \text{ dB} \quad [2.2]$$

eşitliği ile ifade edilmektedir. Bu eşitlikteki “ p ” değeri, alıcı noktasının “ t ” anındaki anlık ses basıncını göstermektedir.

Konuşmanın anlaşılabilirliği açısından erken sesin zaman sınırı 50 ms alınmaktadır. Netlik parametresinin formülünde kullanılan 80 ms yerine 50 ms kullanılmasıyla konuşmanın anlaşılabilirliğinde de kullanılabilen C_{50} parametresi elde edilmiş olur. C_{50} parametresi doğrudan D_{50} parametresi ile ilişkilidir ve aralarındaki ilişkiyi gösteren denklem aşağıda görülmektedir.

$$C_{50} = 10 \log \left(\frac{D_{50}}{1 - D_{50}} \right) \text{ dB} \quad [2.3]$$

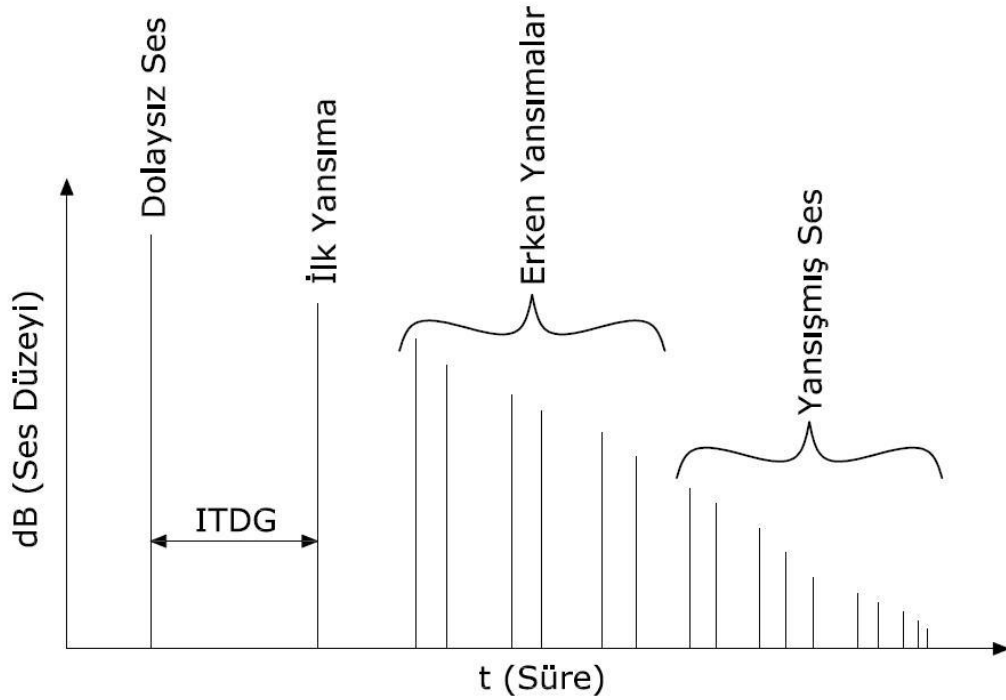
C_{50} ve D_{50} parametreleri arasındaki bu ilişkiden ötürü akustik ölçümler sırasında sadece birinin ölçülmesi yeterlidir. Biri, diğ erinin bilinmesiyle hesaplanabilir. (ISO 3382)

Yansışımın olmadığı durumlarda C_{80} pozitif değerler alırken, yansışımın yüksek olduğu durumlarda negatif değerler almaktadır. Erken ve geç ses enerjileri eşitse $C_{80}=0$ dB değerini alır. Beranek'e (1996) göre C_{80} için uygun değer aralığı -4dB ile +4 dB arasında değişmekte

iken Barron'a (1993) göre bu aralık -2dB ile +2dB arasında değişmektedir.

3.1.1.3 İlk Yansıma Aralığı – Initial Time Delay Gap

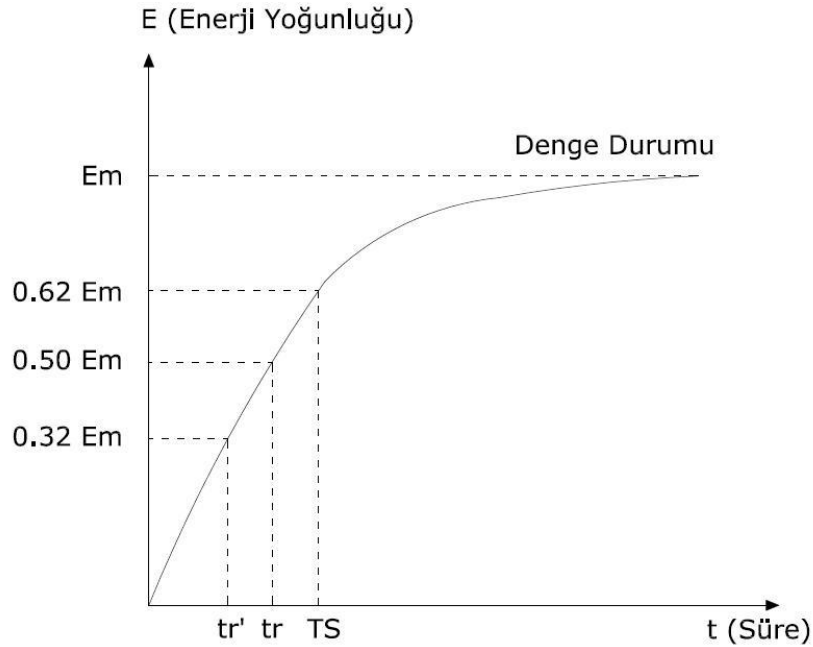
Bir ses kaynağının açılmasıyla hacme dolaysız ses verilmiş olur. Kapalı bir hacimde dolaysız sesin kaynağın yakın çevresindeki yüzeylerden bir kez yansıyarak dinleyicilere ulaşması ilk yansımaları oluşturur. İlk yansımaları da birkaç yüzeyden yansıyarak dinleyicilere ulaşan yansımış ses takip eder. İlk yansımalar ile yansımış ses arasında belirgin bir sınır yoktur, genelde bir bölgede üst üste binerler (Bkz. Şekil 3.2). Dolaysız sesteki sonraki ilk yansımanın dinleyiciye ulaştığı zaman ile dolaysız sesin dinleyiciye ulaştığı zaman arasındaki fark İlk Yansıma Aralığı (Initial Time Delay Gap) olarak adlandırılır. İlk yansımaların gecikmesi, ITDG değerlerini yükseltir, bu da öznel bir parametre olan akustik samimiliğin değerini düşürür.



Şekil 3.2 Dolaysız sesteki sonraki gelen seslerin zaman içinde dağılımı

3.1.1.4 Merkez Zamanı – Centre Time (T_s)

Sesin gelişmesi bölümünde denge durumuna teorik olarak sonsuzda ulaşılabilir. Gelişme bölümünde denge durumuna ulaşmak için geçen süre açısından pratikte ortaya konulabilecek yaklaşık bir sonuca varabilmek amacı ile değişik kabuller yapılabilmektedir. Denge durumu zamanını belirlemeye yönelik parametrelerden en yaygın olarak kullanılan “Merkez Zamanı” (T_s) parametresidir. Cremer’in zaman ağırlıklı bir gösterge olarak ortaya koyduğu “Merkez Zamanı” parametresi, “Point of Gravity” ve “Centre Time” gibi adlarla da anılmaktadır. Merkez Zamanı’ndaki ses enerji yoğunluğu, denge durumundaki ses enerji yoğunluğunun 0.62’si kadardır (Bkz. Şekil 3.3).



Şekil 3.3 Merkez zamanı (Aknesil, 1997)

Bu parametrenin düşük değerler alması, enerjinin büyük bölümünün dinleyiciye erken ulaştığını, böylelikle de sesin Netlik (Clarity - C_{80}) değerinin arttığını gösterir. Parametrenin yüksek değerleri ise, enerjinin büyük bölümünün dolaysız sesten uzunca bir süre sonra ulaştığını, böylece de daha yansımış bir ortam oluştuğunu göstermektedir (Aknesil, 1997).

Ayrıca Merkez Zamanı parametresinin Erken Düşme Süresi ile yüksek uyum içinde olduğu da bilinmektedir. Bu uyum konser salonu akustiğinde 0,975 korelasyon değerine kadar çıkabilmektedir (Barron, 1993).

Merkez Zamanı – Centre Time T_S parametresi:

$$T_S = \frac{\int_0^{\infty} tp^2(t)dt}{\int_0^{\infty} p^2(t)dt} \text{ s} \quad [2.4]$$

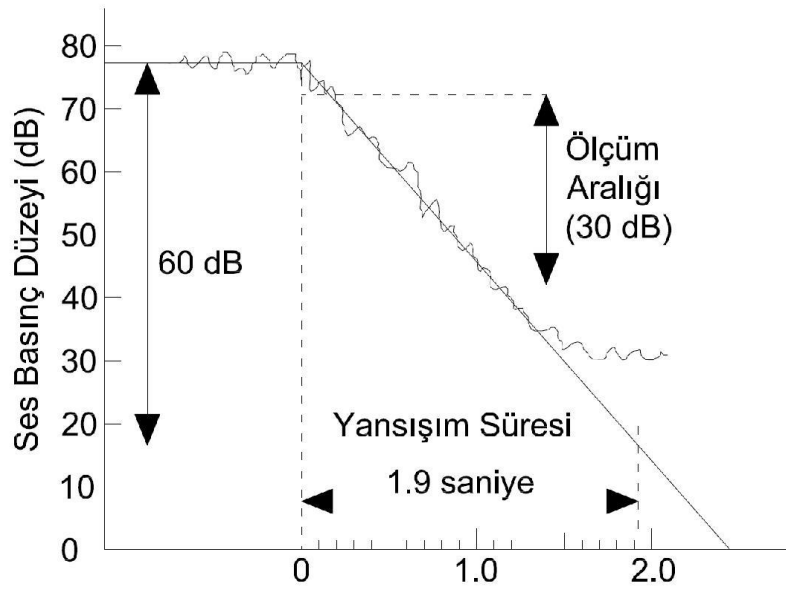
eşitliği ile ifade edilmektedir. Bu eşitlikteki “ p ” değeri, alıcı noktasının “ t ” anındaki anlık ses basıncını göstermektedir (Barron, 1993). Merkez Zamanı için önerilen değer ise aşağıdaki oran ile gösterilmektedir.

$$T_S = RT/0,0138 \text{ ms} \quad [2.5]$$

3.1.2 Ses Enerjisinin Sönme Bölümü ile ilgili Parametreler

3.1.2.1 Yansıma Süresi – Reverberation Time (RT)

Hacimdeki ses kaynağının açılmasıyla dolaysız sesin peşi sıra gelen ilk yansımalar ve yansımış sesler hacmi doldurur. Hacim yüzeylerinden yansıyan ve bu yüzeylerde yutulan seslerin düzeylerinin eşitlenmesiyle bir denge konumuna ulaşılmış olur. Denge konumuna ulaşılmışından itibaren, ses kaynağı açık kaldığı sürece, ses düzeyinde bir değişim gözlenmez. Ses kaynağının kapatılmasıyla ses düzeyi zaman içinde düşmeye başlar. Bu düşüşün süresi salonun yansıtıcılık ve yutuculuk özelliklerine göre değişir, kimi salonda daha uzun, kimi salonda daha kısadır. Bir mekândaki yansımış ses mekânın yüzeylerine çarpıp geri yansıdığında, çarptığı yüzeyin yutuculuk özelliğine bağlı olarak belli bir oranda enerjisini kaybeder. Böylece birbirini takip eden yansımalar sonucunda kaynaktan çıkan ses enerjisinin bir bölümünü kaybeder. Bir sesin, kaynağın kapanmasından sonra 60 dB’lik bir düşüşü gösterdiği süre Yansıma Süresi (RT) olarak ifade edilir. Ancak pratikte Yansıma Süresi -5 ile -35 dB arasındaki 30 dB’lik düşüşün iki ile çarpılması sonucu bulunur (Mehta v.d.,1999) (Bkz. Şekil 3.4). Kaynaktan çıkan ses gücü 60 dB’lik bir düşüşü gözlemlememize yetecek kadar yüksek olmasa dahi, Yansıma Süresi tespit edilebilir, çünkü Yansıma Süresi bir hız kavramıdır. Yansıma Süresi genelde 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 Hz gibi oktav bantlarının ortalarına denk gelen belirli frekanslar için tespit edilir (Beranek, 1996).



Şekil 3.4 Yansışım süresi (Barron, 1993)

Yansışım Süresi ilk olarak 19. yüzyılın sonlarında Harvard Üniversitesinde genç bir fizikçi olarak çalışmalarını sürdürmekte olan Walter C. Sabine tarafından ortaya konmuştur. Dönemin başkanı Elliot'un Sabine'den 1895 yılında tamamlanmış olan “Yeni Fogg Sanat Müzesi” oditoryumunun konuşmanın anlaşılabilirliğini zorlayan akustik problemlerini çözmesini istemesi üzerine Sabine, Harvard üniversitesinin üç oditoryumunda çeşitli deneyler yapmaya başlamıştır. Bu deneylerden birinde çalıştığı oditoryuma hemen yakında bulunan Sanders Tiyatrosundan 7 – 8 cm kalınlığında yastıklar getirtmiştir. Hacimdeki yastık sayısının artırılmasıyla hacmin Yansışım Süresinin düştüğünü anlamıştır. İlk başta 5 saniyelik bir Yansışım Süresine sahip hacme 550 adet yastık konulmasıyla bu süre 1 saniyeye kadar çekilmiştir. Zaman içinde çalışmasını sonuçlandırmış, malzemelerin ses yutuculuklarıyla ilgili bir teori oluşturmuş, bu yutuculukların sesin düşmesi ile olan ilişkisini açıklamış ve hacimlerin Yansışım Süresi ile ilgili bir formül geliştirmiştir (Long, 2006).

Yansışım Süresi – Reverberation Time (Sabine’e göre):

$$RT = 0.161 \frac{V}{A_y + A_h + A_b} \quad [2.6]$$

$$A_y = (S_1 * a_1 + S_2 * a_2 + S_3 * a_3 + \dots + S_n * a_n)$$

eşitliği ile ifade edilmektedir (Sirel, 1981).

RT: Yansışım Süresi (s)

V: Hacim (m^3)

A_y : Hacmin Toplam Yüzey Yutuculuğu (m^2)

S_n : n malzemesi ile kaplı yüzeyin alanı (m^2)

a_n : n malzemesinin ses yutma katsayısı

A_h : Hacimdeki havanın toplam yutuculuğu

A_b : Hacimdeki bireylerin toplam yutuculuğu

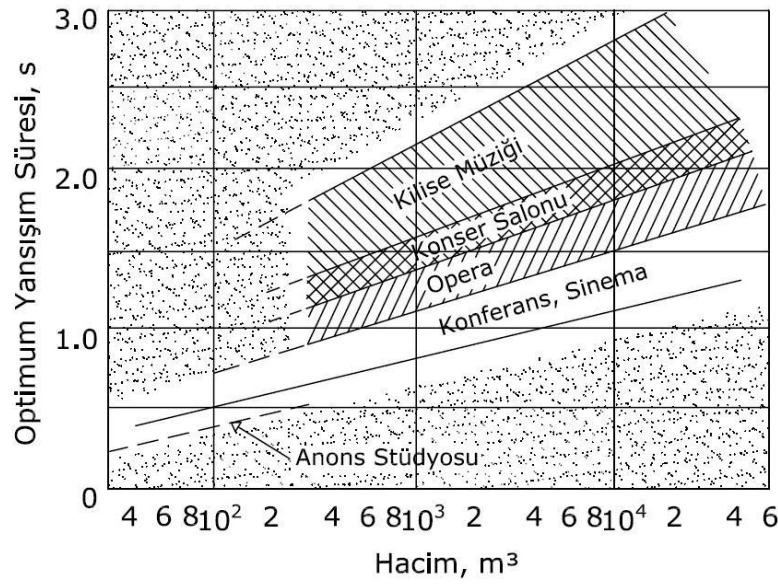
Bu formül sayesinde uygun katsayıların yüzey alanlarıyla çarpılması ve ardından da elde edilen yüzey yutuculuk değerlerinin hepsinin toplanmasıyla hacmin toplam yutuculuğu elde edilmektedir. Hacmin elde edilen bu değere bölünmesiyle de salonun Yansışım Süresi bulunmaktadır.

W.C.Sabine dışında Yansışım Süresi üzerine çalışan başka bilim insanları da olmuştur. Bunlardan biri de Carl Eyring'dir. Eyring Yansışım Süresi için Sabine'in önermiş olduğu formülden daha farklı bir formül öngörmüştür. Sabine'in önermiş olduğu formülün doğru sonuç vermesinin önkoşulu, her iç yüzey parçacığına her zaman biriminde eşit ses enerjisinin gelmesi, yani ses alanının tam yayınık olmasıdır. Eyring'in önermiş olduğu formülün doğru sonuç vermesi için önkoşul ise ses alanının yayınık olmasının yanında hacim yüzey yutuculuklarının salon içinde eşit dağılmış olmasıdır. Bu bakımdan yutma çarpanı birbirlerinden çok farklı olan gereçlerden tek parçalı büyük yüzeyler oluşturmamak ve bu gereçleri bölüp, hacim içinde karışık olarak kullanmak gerekmektedir. Bir başka deyişle yutucu gereçleri iç yüzeylere dağıtmak gerekmektedir (Sirel, 1981).

Yansışım Süresi – Reverberation Time (Eyring'e göre):

$$RT = 0,161 \frac{V}{-S \times 2,3 \log(1 - \bar{a})} \quad \bar{a} = \frac{A_y}{S} \quad [2.7]$$

Optimum Yansışım Süresi değerleri formüllerden de anlaşılacağı üzere hacmin büyüklüğüne göre ve hacmin kullanım amacına göre değişmektedir. Farklı etkinlikler için farklı büyüklükteki hacimlerdeki optimum Yansışım Süreleri aşağıdaki grafikten okunabilir (Bkz. Şekil 3.5) (Maekawa, 1994).



Şekil 3.5 Farklı etkinlikler için optimum Yansıma Süreleri (Maekawa, 1994)

Ayrıca genel bir kabul olarak 500 Hz frekansı için müzik amaçlı salonlarda 1,8 – 2,2 s aralığı, opera salonlarında 1,3 – 1,8 s aralığı ve konuşma amaçlı salonlarda 0,7 – 1,0 s aralığı alınabilir (Barron, 1993).

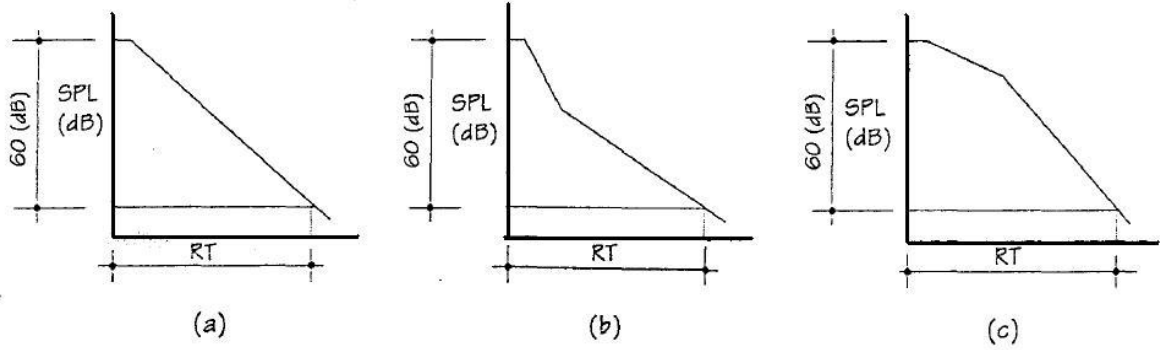
3.1.2.2 Erken Düşme Süresi – Early Decay Time (EDT)

Erken Düşme Süresi Yansıma Süresi gibi sesin sönmesi ile ilgili bir parametre olup, Yansıma Süresi ile aynı şekilde ifade edilebilmektedir, ancak Yansıma Süresinden tek farkı sesin sönmesinde ilk 10 dB’lik düşüşü göz önünde bulundurmasıdır. Düzgün ses dağılımının gözlemlendiği bir salonda RT ve EDT değerleri birbirlerine oldukça yakındır, hatta eşit bile olabilirler. Öznel yansıma açısından EDT, RT’ye göre daha doğru sonuçlar vermektedir (Barron, 1993).

Yansıma Süresi hacimdeki ses düzeyinin -5 dB’den -35 dB’e düşmesi için gereken zamanın iki ile çarpılmasıyla bulunurken, Erken Düşme Süresi genel bir kabul olarak hacimdeki ses düzeyinin 0’dan -10 dB’e düşmesi için gereken zamanın 6 ile çarpılması sonucu elde edilmektedir (Mehta vd., 1999).

Düzgün ses dağılımının gözlemlendiği salonlarda sesin sönmesi düzgün ve doğrusal olarak gerçekleşmektedir. Ancak düzgün ses dağılımının gözlemlenemediği salonlarda RT değerleri aynı olsa bile sesin sönme grafiğinde kırılmalar oluşur. Aşağıdaki şekilde aynı

Yansıım Süresine sahip üç salondaki sesin farklı şekillerde sönmesini gösteren 3 grafik bulunmaktadır (Bkz. Şekil 3.6) (Mehta vd., 1999).



Şekil 3.6 Aynı Yansıım Süresine sahip salonlarda farklı sönme grafikleri (Mehta vd., 1999)

Grafik (a) düzgün ses dağılımısalığının gözlemlendiği bir salondur ve erken ses ve geç sesteki sönme doğrusaldır, EDT ve RT değerleri aynıdır. Grafik (b) ise EDT ve RT değerlerinin farklı olma durumunu göstermektedir. Bu ikinci grafikte erken sesler hızlı düşmekte iken, geç sesler yavaş düşmektedir. Buradaki kısa EDT müziğin netliğini artırırken, uzun RT müziğe dolgunluk kazandırmaktadır. Böyle kırıklı bir sönme grafiğiyle salonda birbirleriyle ters orantılı olan sesin netliği ve sesin dolgunluğu özellikleri sağlanmış olur. Grafik (c)'de ise uzun bir EDT ile kısa bir RT gözlemlenmektedir. Uzun EDT değeri sesin netliğindeki düşüşe işaret ederken, kısa RT ise yeterli ses dolgunluğunun sağlanamadığını göstermektedir (Mehta vd., 1999).

EDT erken yansımalarla ilişkili iken, RT pek çok yansımadan etkilenmektedir. EDT hacim yüzeylerinden gelen erken yansımalarla ilişkili olduğu için hacim geometrisinden etkilenmektedir. Diğer taraftan RT hacmin her tarafından gelen tüm yansımalarla ilişkili olduğundan hacim geometrisinden bağımsızdır (Mehta vd., 1999).

Genel olarak konser salonlarında 500 Hz ve 1000 Hz frekanslarında kırıklı sönme grafiği görülmediğinde EDT_{mid} değeri ile RT_{mid} değeri arasında fark olmazken, kırıklı sönme grafiğinin görüldüğü durumlarda EDT_{mid} değerleri RT_{mid} değerlerinin yaklaşık 1,1 katıdır. Beranek'in yapmış olduğu çalışmalarda incelediği konser salonları bu parametreler ışığında göz önünde bulundurulursa akustik açıdan en başarılı salonlarda 1,1'lik bu oranın korunduğu

gözlemlenebilir. Bu bakımdan orta frekanslarda EDT_{mid} - RT_{mid} arasındaki ilişkiyi kurmak için aşağıdaki formül genel bir yöntem olarak kullanılabilir (Mehta vd., 1999). Gade (1989) ise konser salonları üzerine yapmış olduğu detaylı çalışmaları sonucunda EDT ile RT arasındaki ilişkiyi biraz daha farklı bir şekilde ortaya koymuştur.

$$EDT_{mid} = 1,1 RT_{mid} \quad RT_{mid} = \frac{(RT_{500} + RT_{1000})}{2} \quad (\text{Mehta vd., 1999}) \quad [2.8]$$

$$EDT_{mid} = -0,2 + 1,1 RT_{mid} \quad (\text{Gade, 1989}) \quad [2.9]$$

3.1.2.3 Bas Oranı – Bass Ratio (BR)

Bu parametre isminden de anlaşılacağı üzere 125 ve 250 Hz Yansışım Süresi değerlerinin 500 ve 1000 Hz Yansışım Süresi değerlerine oranıdır. Bu parametre salonlardaki öznel “Sıcaklık” (Warmth) parametresini belirlemede kullanılmaktadır (Bkz. Bölüm 3.2.6).

Bas Oranı parametresi aşağıdaki formül ile gösterilmektedir (Mehta vd., 1999).

$$BR = \frac{RT_{125} + RT_{250}}{RT_{500} + RT_{1000}} \quad [2.10]$$

3.1.2.4 Tiz Oranı –Treble Ratio (TR)

Bu parametre ise 2000 ve 4000 Hz Yansışım Süreleri toplamının 500 ve 1000 Hz Yansışım Sürelerine oranıdır (Figueiredo, Iazzetta, 2005). Bu parametrenin tespit edilmesinin bir diğer yolu da 2000 ve 4000 Hz’deki Erken Düşme Sürelerinin iki katının, orta frekanslardaki Erken Düşme Süresi değerlerine oranlamasıdır. Bu oran öznel “Parlaklık” (Brilliance) parametresini belirlemede kullanılmaktadır ve aşağıdaki formüller ile gösterilmektedir (Bkz. Bölüm 3.2.7) (Mehta vd., 1999).

$$TR = \frac{RT_{2000} + RT_{4000}}{RT_{500} + RT_{1000}} \quad (\text{Figueiredo, Iazzetta, 2005}) \quad [2.11]$$

$$TR = \frac{2 \times EDT_{2000}}{[EDT_{500} + EDT_{1000}]} \quad TR = \frac{2 \times EDT_{4000}}{[EDT_{500} + EDT_{1000}]} \quad (\text{Mehta vd., 1999}) \quad [2.12]$$

3.1.3 Ses Basınç Düzeyi ile İlgili Parametreler

3.1.3.1 Toplam Ses Basınç Düzeyi

Kapalı bir hacimdeki ses alanının, dolaysız ve yayınık ses alanlarından oluşmasından ötürü, hacmin herhangi bir noktasındaki Toplam Ses Basınç Düzeyi, Yayınık Ses Basınç Düzeyi ile o noktadaki Dolaysız Ses Basınç Düzeyi toplamı olarak tanımlanabilmektedir (Aknesil,1997).

$$\text{Dolaysız Ses Basınç Düzeyi: } \text{SPL}_d = \text{SWL} + 10 \log \frac{Q}{4\pi d^2} \quad [2.13]$$

$$\text{Ses Gücü Düzeyi: } \text{SWL} = 10 \log \left(\frac{W}{W_0} \right)$$

$$\text{Yayınık Ses Basınç Düzeyi: } \text{SPL}_r = \text{SWL} + 10 \log \left(\frac{4}{A} \right)$$

SPL_d = Dolaysız ses düzeyi (dB)

SPL_r = Yayınık ses düzeyi (dB)

Q = Doğrultululuk Çarpanı

d = Kaynak-alıcı arasındaki uzaklık (m)

W = Ses kaynağının gücü (W)

W_0 = Referans ses gücü (10^{-12} W)

A = Hacmin toplam yutuculuğu (Sabine, m^2)

3.1.3.2 Sesslilik / Toplam Ses Düzeyi – Strength / Total Sound Level (G)

Toplam Ses Düzeyi, bir başka deyişle Sesslilik bir kaynağın bir salonda oluşturduğu Ses Basınç Düzeyinin, aynı kaynağın yansısız bir odada kaynaktan 10 m ötede oluşturduğu Ses Basınç Düzeyine oranlanmasıyla elde edilen bir parametredir. Bir başka deyişle, Toplam Ses Basınç Düzeyinin 10 m ötedeki Dolaysız Ses Basınç Düzeyine göre ölçülmesi, Sessliliğin diğer bir tanımıdır (Baron, 1993).

(G) parametresi:

$$G = 10 \log \left(\frac{\int_0^\infty p^2(t) dt}{\int_0^\infty p_A^2(t) dt} \right) \text{ dB} \quad [2.14]$$

eşitliği ile ifade edilmektedir.

Baron'a (1993) göre konser salonları için Sesliliğin kabul edilebilir uygun değer aralığı 0 dB ile +10 dB arasında değişmektedir. Beranek'in konser salonları üzerine yaptığı çalışması incelendiğinde ise akustik açıdan en başarılı salonların Seslilik değerlerinin +4,0 dB ile +5,5 dB arasında değiştiği görülmektedir (Beranek, 1996).

3.1.4 Yanal Yansımalar ile İlgili Parametreler

3.1.4.1 Erken Yanal Enerji Oranı – Early Lateral Energy Fraction (LF_0^{80})

Erken Yanal Enerji Oranı 1981 yılında Baron ve Marshall tarafından Uzaysal Etkilenimin doğrusal bir sistemle ölçüldüğü öznel testlerden türetilmiştir. Bu parametre sadece yanlardan gelen ses enerjisine karşı duyarlı olan çift yönlü (bidirectional) “figure of eight” bir mikrofona dolaysız sestten sonraki ilk 80 ms içinde gelen yanal yansımaların Ses Basınç Düzeyinin, aynı yere konulmuş omni bir mikrofona ölçülen ve dolaysız sestten sonraki ilk 80 ms içinde her doğrultudan gelen yansımaların Ses Basınç Düzeyine oranından elde edilmektedir.

(LF_0^{80}) parametresi:

$$LF_0^{80} = \frac{\int_{0.005}^{0.08} p^2(t) \cos^2 \theta dt}{\int_0^{0.08} p^2(t) dt} \quad [2.15]$$

eşitliği ile ifade edilmektedir.

Bu denklemde “ p ” alıcı noktasındaki anlık Ses Basınç Düzeyini vermekte olup, “ θ ” ise yanal yansımanın alıcı noktasındaki dinleyicinin kulaklarından geçen sanal aks ile yaptığı açıdır. Barron ve Marshall yapmış oldukları çalışmalarda Uzaysal Etkilenimi erken gelen yanal ses enerjisi ile ilişkilendirmişlerdir. Yapmış oldukları çalışmalarda Uzaysal Etkilenim detaylı incelendiğinde, aslında Algılanan Kaynak Genişliğinden söz ettikleri anlaşılmaktadır. Yapmış oldukları dolaysız ses ve erken yansımalarından oluşan ses alanları ile ilgili çalışmalar

sonucunda “Algılanan Kaynak Genişliği” (ASW) öznel parametresinin erken gelen yanal ses enerjisi ile ilişkisini ortaya koymuşlardır (Barron, 1993).

3.1.4.2 Geç Yanal Enerji Düzeyi – Late Arriving Lateral Energy (LG_{80}^{∞})

Bradley ve Soulodre ise 1995 yılında yapmış oldukları testlere dayalı çalışmalarda uzaysal etkilenimin ikinci ögesi olan “Dinleyici Kuşatılmışlığı”na yönelmişlerdir. Bu çalışmalar sonucunda Dinleyici Kuşatılmışlığının geç gelen yanal sesler ile ilişkili olduğunu ve “Dinleyici Kuşatılmışlığı”nın sadece geç gelen yanal enerjinin varlığında gözlemlenebildiğini ortaya koymuşlardır. Ayrıca geç gelen yanal ses enerjisinin varlığıyla dinleyicilerin erken yanal yansımaların etkisini ayırt edebilme yetilerinin azaldığını tespit etmişlerdir.

Bradley ve Soulodre Geç Yanal enerji oranı (LF_{80}^{∞}) parametresini

$$LF_{80}^{\infty} = \frac{\int_{80}^{\infty} p^2(t) \cos^2 \theta dt}{\int_{80}^{\infty} p^2(t) dt} \quad [2.16]$$

eşitliği ile gösterirken,

Geç Yanal Enerji Düzeyi (LG_{80}^{∞}) parametresini

$$LG_{80}^{\infty} = 10 \log \left[\frac{\int_{80}^{\infty} p^2(t) \cos^2 \theta dt}{\int_0^{\infty} p_A^2(t) dt} \right] \quad [2.17]$$

eşitliği ile ifade etmektedirler. (Bradley, Soulodre, 1994)

Bu eşitliklerde “ p ” alıcı noktasındaki anlık Ses Basınç Düzeyini, “ θ ” yanal yansımanın alıcı noktasındaki dinleyicinin kulaklarında geçen sanal aks ile yaptığı açıyı ve “ p_A ” ise yansısız bir odada aynı ses gücüne sahip bir kaynaktan 10 m ötede ölçülmüş olan Ses Basınç Düzeyini vermektedir.

3.1.5 Konuşmanın Anlaşılabilirliği ile İlgili Parametreler

3.1.5.1 Ses İletim İndeksi – Speech Transmission Index (STI)

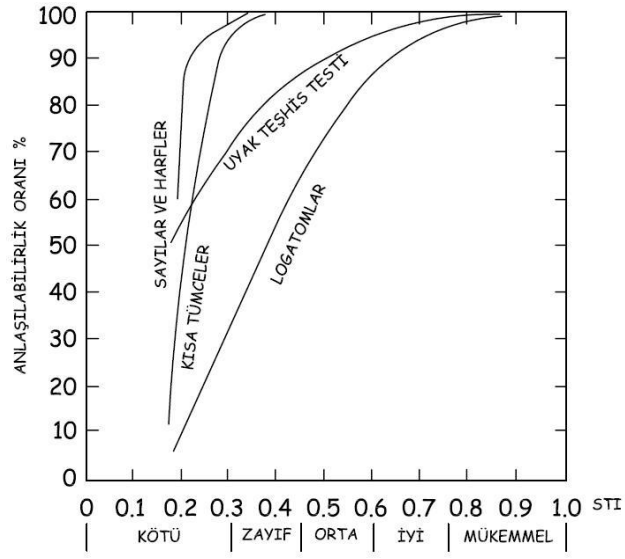
Bir salonda bir konuşmacının yaptığı konuşmanın dinleyiciler tarafından anlaşılabilirliğini ölçmek için çeşitli parametreler geliştirilmiştir. Bu parametreler arasından, bir konuşmacı

tarafından dile getirilen - anlamsız sessiz-sesli-sessiz harf dizisi şeklindeki - logatomların dinleyiciler tarafından anlaşılabilirlik yüzdesini gösteren Articulation Index (AI) ve dinleyiciler tarafından yanlış anlaşılan sessiz harflerin yüzdesini veren (AL_{CONS}) ilk kullanılanlardır. Ancak bu parametreler yüksek dinleyici sayısı gerektirmeleri ve dinleyiciden dinleyiciye değişimleri bakımından çok yeterli değillerdi. Böyle öznel bir ölçüm yolu yerine nesnel bir ölçüm yolu aranmaktaydı.

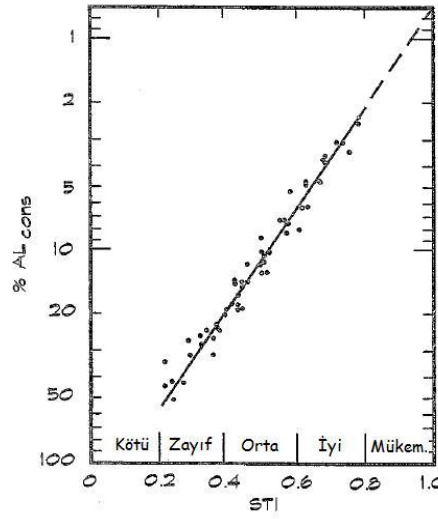
1973 yılında Hollandalı iki bilim adamı, Houtgast ve Steeneken insan sesinin pek çok özelliğini taklit eden Modülasyon İletim Fonksiyonu (MTF) olarak tanımladıkları bir ölçüm metodu geliştirdiler. Bu fonksiyonun temelini konuşmanın akort edilmiş gürültü bantlarından meydana gelmesi oluşturmaktadır. Ses tellerimiz titreşerek bir gürültü bandı oluştururken, ağzımız bu gürültüyü çeşitli frekanslarda akort ederek kelimelere dönüştürmektedir. MTF sistemi bizim ses tellerimiz ve ağzımızla yaptığımız sesleri taklit etmektedir.

MTF ile konuşmayı taklit eden bir sisteme ve düzgün tasarlanmış bir cihazla da bunu fiziksel olarak ölçmeye yarayan bir metoda sahip olunmuştu. Konuşmanın anlaşılabilirliği ile MTF arasındaki ilişkiyi ise Steeneken ve Houtgast bir algoritma geliştirerek, AI ve AL_{CONS} parametrelerine benzeyen, Ses İletim İndeksi – Speech Transmission Index (STI) parametresiyle kurmuşlardır. Anlaşılabilirlik yüzdesi ile STI arasındaki ilişkiyi gösteren grafik ve sessiz harflerin yanlış anlaşılma oranını veren AL_{CONS} parametresi ile STI arasındaki ilişkiyi gösteren grafikler Şekil 3.7 ve Şekil 3.8’de görülmektedir(Long, 2006).

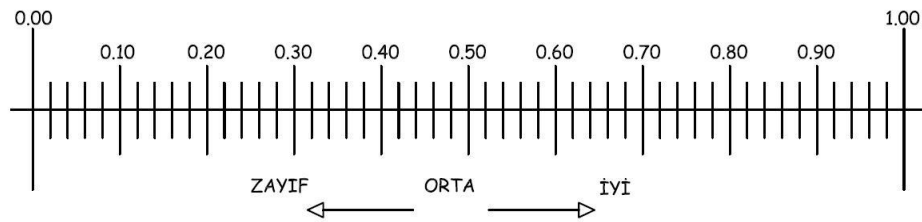
STI parametresinin karmaşık bir hesaplanma yöntemi olmasından ötürü ilerde hızlı STI anlamına gelen Rapid STI, yani RASTI parametresi üretilmiştir. STI ve RASTI parametrelerinin değerlendirme yöntemi Şekil 3.9’da görülmektedir.



Şekil 3.7 Anlaşılabilirlik oranı ile STI arasındaki ilişki (Long, 2006)



Şekil 3.8 AL_{CONS} ile STI arasındaki ilişki (Long, 2006)



Şekil 3.9 STI – RASTI değerlerinin gösterilmesinde kullanılan grafik

3.2 ÖZNEL PARAMETRELER

3.2.1 Canlılık ve Ses Dolgunluğu – Liveness and Fullness of Tone

Sesin dolgunluğu yansımış sesin sesliliğinin, erken sesin sesliliğine oranına bağlıdır. Bundan dolayı da Yansıma Süresi (RT) ve özellikle de 10 dB'lik Düşme Süresi (EDT)'nden etkilenir. Canlılık ise sadece Yansıma Süresine bağlıdır (Beranek, 1996).

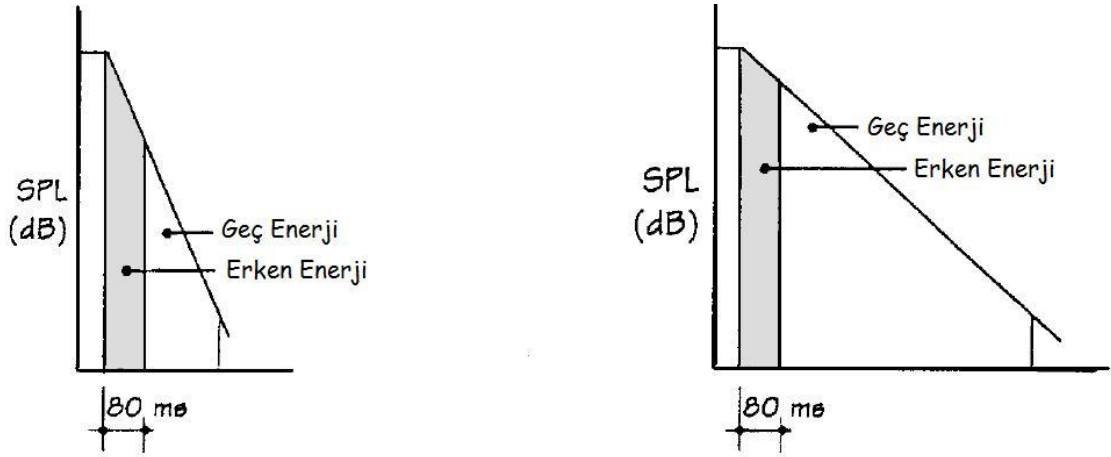
Eğer bir salon, sesin müzisyenlerden dinleyicilere doğru yansıtacağı şekilde tasarlanırsa, enstrümanların enerjilerinin büyük bir bölümü dolaysız sesten hemen sonra dinleyicilere ulaşacaktır ve bu da sesin dolgunluğunun düşmesine sebep olacaktır. Eğer salon sesin tavana doğru yansıtılabileceği şekilde tasarlanırsa, böylece erken seslerin enerjisi düşecek ve yansımış seslerin enerjisi artacaktır. Bu da sesin dolgunluğunu arttıracaktır. Mekanın yüzey şekilleri ve yansıtıcı yüzeylerin eğimlerinin değiştirilmesiyle bu iki değer arasındaki oran ve dolayısıyla da sesin dolgunluğu düzenlenebilir (Beranek, 1996).

Sesin dolgunluğu C_{80} nesnel parametresi ile ters orantılıdır. Yansımış seslerin enerjilerinin yükselmesi C_{80} parametresi değerlerini düşürür. C_{80} nesnel parametresinin negatif değerleri yüksek ses dolgunluğuna işaret eder.

3.2.2 Belirginlik veya Netlik – Definition or Clarity

Bir müzisyen belirginlikten söz ettiğinde anlatmak istediği şey aslında tekil seslerin birbirlerinden ayrı algılanabilmeleridir. İki çeşit belirginlik vardır. Belirginlik yatay ve dikey olmak üzere ikiye ayrılır.

Yatay belirginlik birbirlerini takip eden seslerin birbirlerinden ayrı algılanabilmelerini ifade eder. Sanatçı yatay belirginliği etkileyen müzikal özellikleri (tempo, notaların tekrarlanması, takip eden notaların göreceli sesliliğini), kendi isteği doğrultusunda belirleyebilmektedir. Yatay belirginliği etkileyen akustik ölçütler ise Yansıma Süresi (RT) ve erken seslerin sesliliğinin yansımış seslerin sesliliğine oranıdır. Sesin dolgunluğu da erken ve yansımış seslerin sesliliklerinin oranına bağlı olsa da, sesin dolgunluğu yatay belirginlik ile ters orantılıdır. Biri yükselirken diğeri düşer (Beranek, 1996).



Şekil 3.10 Yansışım Süresi ile Netlik arasındaki ilişki (Mehta vd., 1999)

Şekil 3.10’da C_{80} Netlik parametresinin Yansışım Süresi RT ile ilişkisi görülmektedir. Bilindiği üzere Netlik erken seslerin geç seslere oranıdır. Kısa bir RT geç enerjinin küçük, erken enerjinin büyük olmasına, dolayısıyla da C_{80} Netlik parametresinin değerinin yüksek olmasına işaret eder. Yansışım Süresinin uzaması ile geç enerji artacaktır. Bu da erken enerjinin geç enerjiye oranını düşürerek C_{80} Netlik parametresinin değerini düşürecektir. Buradan da görüldüğü üzere bir salondaki Netlik, Sesin dolgunluğu ile ters orantılıdır. Sesin dolgunluğunun Yansışım Süresi ile doğru orantılı olmasından ötürü de Netlik aynı zamanda Yansışım Süresi ile de ters orantılıdır (Mehta, 1999).

Düşey belirginlik ise aynı anda çalınan seslerin birbirlerinden ayrı algılanmasını ifade eden bir ölçüttür. Düşey belirginlik sanatçıya, odanın akustiğine ve dinleyicinin işitme düzeyine bağlıdır. Sanatçı aynı anda çalınacak notaları, bu notaları çevreleyen notaları ve bu notaların hangi aletlerde çalınacağını seçerek düşey belirginliği belirleyebilmektedir. Düşey belirginlik çeşitli aletlerden çıkan sesler arasındaki dengeyi, yine bu aletlerden çıkan seslerin birbirleriyle karışımını ve erken ses enerjisinin yansımış ses enerjisine oranını belirlemektedir (Beranek, 1996).

3.2.3 Mekânsal Algılama – Spatial Impression

Mekânsal Algılama üzerine ilk çalışmalar A. H. Marshall tarafından yapılmıştır ve kendisi 1967 yılında bu konu hakkında bir malale yayımlamıştır. Bu makalesinde o dönem kabul edilmiş olan “Mekânsal Algılama” yerine “Mekânsal Duyarlılık” olarak tanımladığı erken yanal yansımaların etkisinden bahsetmekte ve yanal yansımaların dinleyiciler üzerinde

kuşatılmışlık hissi yaratarak salonun akustik kalitesini arttırdığını ortaya koymaktadır. 1967 yılında Southampton’a gelen Barron, Marshall ile çalışma fırsatı bulmuş ve ikisi beraber 1981 yılında erken yanal yansımaların konser salonlarındaki Mekânsal Algılama üzerindeki etkisini ortaya koymuşlardır. 1989 yılında Morimoto ve Maekawa Mekânsal Algılama için iki öznel öge önermiş ve dinleyici kuşatılmışlığının erken yanal yansımalarla bağımsız olduğunu, dinleyici kuşatılmışlığının geç yansımış seslerin iki kulak arasındaki uyumsuzluğu ile ilgili olduğunu tespit etmişlerdir. Morimoto, Iida ile bu konu üzerine çalışmayı sürdürmüş ve Mekânsal Algılama’nın iki öznel ögesini net bir şekilde tanımlamışlardır. Bunlardan ilki erken yanal yansımalarla ilişkili olan “Algılanan Kaynak Genişliği” (ASW), ikincisi ise geç yanal seslerle ilişkili olan “Dinleyici Kuşatılmışlığı” (LEV)’dir. Bradley ve Soulodre ilerleyen yıllarda Morimoto ve Iida’nın yapmış olduğu çalışmayı takip etmiş ve Dinleyici Kuşatılmışlığı’nın geç yanal seslerle ilişkili olduğunu ispat etmişlerdir (Marshall, A. H. ve Barron, M. 2000; Barron, M. 2000).

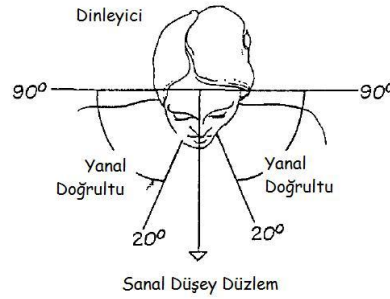
Algılanan Kaynak Genişliği – Apparent Source Width (ASW)

Mekânsal Algılama üzerine çalışan ilk kişiler olan Marshall ve Barron’un araştırmalarının temelini Mekânsal Algılamanın alt elemanı olan ASW oluşturmaktaydı. Ancak kendileri çalışmaları yaptıkları esnada erken yanal yansımaların etkisini Mekânsal Algılama olarak tanımlamışlardı. Mekânsal Algılamanın iki alt ögeye ayrılması daha sonra gerçekleşmiştir. Algılanan Kaynak Genişliği (ASW) dar salonlarda yapılan gözlemler sonucunda bulunmuş, yan duvarlardan yansıyan erken yansımalarla kaynaklandığı anlaşılmıştır. Bu yansımalar kaynağı genişletip, müziğe dolgunluk kazandırmaktadırlar. Kaynağın genişlemesi dikdörtgen dar salonlarda kendiliğinden ortaya çıksa da mimarlar bu dikdörtgen forma bağlı kalmak istememişlerdir.

İnsanların iki kulaklarının olmasından ötürü Schröder 1974 yılında konser salonlarının akustik kalitesini tespit etmek için iki mikrofon ile ölçmeye dayanan bir ölçüm biçimi önermiştir. Bu ölçüm erken yanal yansımalarla ilgili enerjiliyi belirlemektedir. Bir kukla kafasının kulaklarına iki mikrofon yerleştirilip, bu mikrofonların bilgisayara bağlanmasıyla gerçekleştirilen bu düzenek ile “Inter Aural Cross Correlation” katsayısı (IACC) ölçülmektedir. Bu katsayı kaynağın genişlemesi parametresinin (ASW) belirlenmesinde kullanılmaktadır.

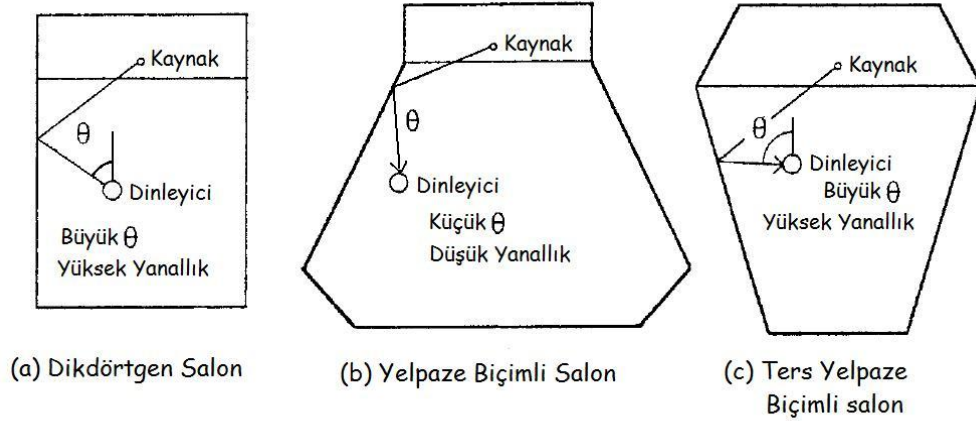
$IACC_{E3}$ bir dinleyicinin kulaklarına herhangi bir anda gelen seslerin farkını ölçmeye yönelik bir parametredir. Yandan gelen bir ses dalgası dinleyicinin bir kulağına diğerinden daha erken ulaşmaktadır. Bu sayede iki kulaktaki ses birbirinden farklı olmaktadır. Parametredeki “E” ilk 80ms içindeki erken enerjiyi ve “3” ise ölçümün 500, 1000 ve 2000 Hz oktav bantlarının ortalamasını verdiğini göstermektedir. Eğer iki kulağa gelen ses birbirlerinden tamamen farklıysa ($1-IACC_{E3}$) değeri 1.0 olacaktır. Bu da iki kulak arasındaki seslerin uyumlarını gösteren “ $IACC_{E3}$ ” parametresinin “0.0” değerinde olduğunu göstermektedir. Diğer taraftan da ses tam karşıdan geldiğinde ise ses iki kulakta da aynı şekilde algılanırsa, kusursuz uyum gerçekleşir, $IACC_{E3}$ “1.0” değerini ve ($1-IACC_{E3}$) 0.0 değerini alır. Bu da mekânsal algılamanın olmaması anlamına gelmektedir (Beranek, 1996).

Eğer Yansımalar dinleyiciye yan duvarlardan geliyorsa, bu yanal doğrultulardan geliyor demektir ve bunlar kaynağı genişleterek algılanan kaynak genişliğini (ASW) arttıırırlar. Yanal Doğrultu, dinleyicinin bakış doğrultusundan geçen Sanal Düşey Düzlem ile 20 derece yapan doğrultudan başlayıp dinleyicinin kulakları hizasından geçen düzlem ile biten alanı belirtmek için kullanılmaktadır (Bkz. Şekil 3.11) (Mehta, 1999).



Şekil 3.11 Yanal Yansımaların geliş açıları (Mehta vd., 1999)

ASW'nin yükselmesi konser salonundaki müziğin kalitesinin artmasını sağlar. Paralel duvarlı dar bir salonun merkezinde oturan bir kişi rahatlıkla yanal yansımaları işitebilirken, yelpaze biçimli bir salonun merkezinde oturan bir kişi için bu durum söz konusu değildir. Yelpaze biçimli bir salonda bu yanal yansımalar salonun arkasına doğru yönlendirilmişlerdir (Bkz. Şekil 3.12). Bu durum ancak özel ses yansıtıcı panellerin yerleştirilmesiyle düzeltilebilir. Pek çok ünlü salonun paralel yan duvarları ve yatay bir tavanı bulunduğu unutulmamalıdır (Beranek, 1996).



Şekil 3.12 Farklı salonlarda yanal yansımaların geliş açıları (Mehta vd., 1999)

Orta frekanslarda ASW'yi ölçmenin en iyi yolu $IACC_{E3}$ olarak adlandırılan nicelik ile mümkündür. $IACC_{E3}$ iki kulağa gelen sesler arasındaki farklılığı ölçmede kullanılmaktadır. İki kulağa gelen sesler arasındaki benzerlik azalır, farklılıklar arttıkça $IACC_{E3}$ değerleri düşer ve ASW değerleri yükselir.

Beranek salonlar üzerine yapmış olduğu çalışmalar sonucunda akustik kalite bakımından salonları gruplara ayırmıştır ve yapmış olduğu bu gruplandırmada en başarılı salon gruplarının ortalama (1- $IACC_{E3}$) değerleri en başarılılardan başlayarak 0.66, 0.55 ve 0.41 ortalama değerlerini almışlardır. (1- $IACC_{E3}$) sonuçları yükseldikçe kaynağın genişlemesi artmakta ve salonun akustik kalitesi de artmaktadır.

Salonlarda kaynağın genişlemesini ölçmenin bir diğer yolu da alıcıya ilk 80 ms içinde gelen erken yanal enerjinin aynı alıcıya ilk 80 ms içinde her yönden gelen enerjiye oranlanmasını ifade eden LF_0^{80} parametresidir. Beranek yapmış olduğu çalışmada ölçüm yaptığı salonlarda (1- $IACC_{E3}$) parametresi yanında LF_0^{80} parametresinin değerlerini de elde etmiştir.

Bu iki parametrenin sonuçları karşılaştırıldığında LF_0^{80} parametresinin gruplara göre ortalamalarının birbirlerine çok yakın olduğu görülmektedir. (0.18, 0.16 ve 0.12) Bu bakımdan salonlardaki kaynağın genişlemesini ölçmede $IACC_{E3}$ parametresinin LF_0^{80} parametresinden daha doğru sonuç verdiği görüşüne varılmaktadır (Beranek, 1996; Okano, Beranek ve Hidaka, 1998).

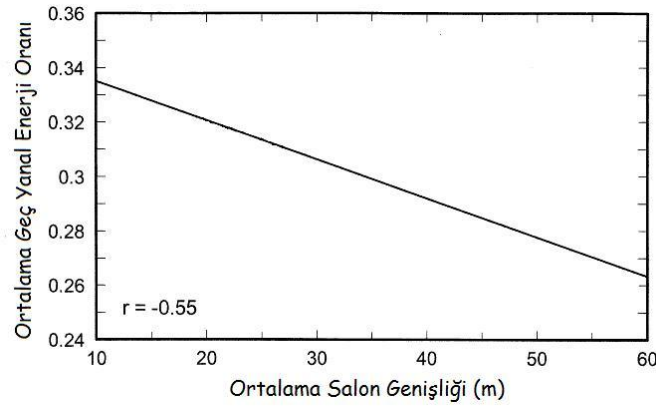
Ayrıca Bradley ve Soulodre yapmış oldukları detaylı çalışmalarında yansımış ses enerjisinin yükselmesiyle dinleyicilerin kaynağın genişlemesindeki değişimleri algılamada zorlandıklarını tespit etmişler ve yüksek yansımış salonlarda kaynağın genişlemesindeki değişimin fark edilebilmesi için yüksek ASW farklılıklarının oluşması gerektiğini anlamışlardır (Bradley ve Soulodre, 1995).

Dinleyici Kuşatılmışlığı – Listener Envelopment (LEV)

Mekânsal Algılamanın ikinci ögesi olan Dinleyici Kuşatılmışlığı üzerine uzunca bir süre gidilmemiş ve Mekânsal Algılama, Algılanan Kaynak Genişliği olarak kabul edilmiştir. Mekânsal Algılama üzerine çalışan kişilerden biri olan Barron yaptığı çalışmalarda daha çok ASW üzerine yoğunlaşmıştır. Morimoto ve Maekawa dinleyici kuşatılmışlığına değinmiş ve Morimoto ve Iida ise mekânsal algılamanın bu iki ögesini net bir şekilde tanımlamışlardır. Bradley ve Soulodre da Morimoto ve Iida'nın yolunu takip etmiş ve mekânsal algılama söz konusu olduğunda bu iki ögeyi ayrı ayrı ele almışlardır.

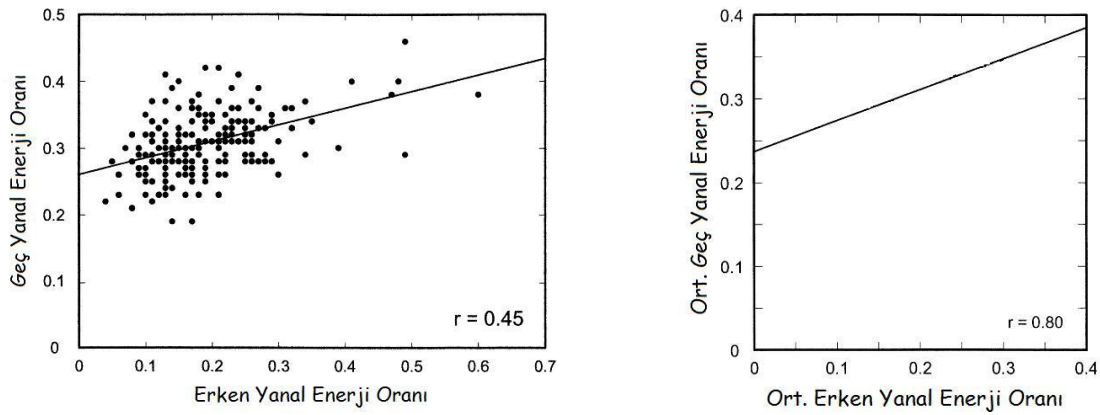
Dinleyici Kuşatılmışlığı yansımış seslerin dinleyiciyi kuşatması ve dinleyicinin kendisini müzikle çevrelenmiş hissetmesi olarak tanımlanabilmektedir. Bradley ve Soulodre yapmış oldukları detaylı çalışmalarda Dinleyici Kuşatılmışlığının Yansıma Süresi, erken seslerin geç seslere oranı C_{80} , geç yanal seslerin düzeyi ve geç seslerin geliş açılarının dağılımından etkilendiğini tespit etmişlerdir. Bahsi geçen bu dört parametre birbirlerinden bağımsız olarak Dinleyici Kuşatılmışlığı üzerinde etkili olmaktadır. Her birinin Dinleyici Kuşatılmışlığı LEV üzerindeki etki oranı farklıdır. Geç seslerin açisal dağılımı ve geç yanal seslerin düzeyi LEV üzerinde en büyük etkiye sahiptirler. RT'nin etkisi ise C_{80} 'in gösterdiği etkiye göre çok daha azdır. Yapılan bu çalışmalarda Dinleyici Kuşatılmışlığı LEV'in geç yanal enerji oranı LF_{80}^{∞} ve geç yanal enerji düzeyi LG_{80}^{∞} parametreleri ile yüksek uyum içinde olduğu belirlenmiştir. LF_{80}^{∞} ile 0,97'lik bir uyum görülürken LG_{80}^{∞} ile 0,997'lik bir uyum gözlemlenmiştir. LG_{80}^{∞} ile görülen uyumun LF_{80}^{∞} ile görülen uyumdan daha yüksek olmasının sebebi LG_{80}^{∞} parametresinin seslerin doğrultulukları yanında düzeylerini de hesaba katması olarak düşünülmektedir. Bu bakımdan LG_{80}^{∞} parametresi Dinleyici Kuşatılmışlığının ölçülmesinde kullanılacak en güvenilir parametre olarak gözükmektedir. (Bradley, Soulodre, 1995)

Bunun yanında Barron 2000 yılında hazırlamış olduğu çalışmasında erken yanal enerjinin standart sapma değerlerinin geç yanal enerjininkinden daha yüksek olduğunu ortaya koymuştur. Yine bu çalışması sayesinde geç yanal enerjinin salon içinde dağılımın düzgün olduğunu, buna karşın erken yanal enerjinin dağılımının düzgün olmadığını bulmuştur. Ayrıca salon genişliği ile ortalama geç yanal enerji oranı arasında ters bir ilişki olduğunu, salon genişliğinin artmasıyla geç yanal enerji oranının düştüğünü, dolayısıyla da öznel kuşatılmışlığın zayıfladığını ortaya koymuştur (Bkz. Şekil 3.13).



Şekil 3.13 Geç Yanal Enerji Oranı – Salon Genişliği ilişkisi

Yapmış olduğu bu çalışmadan çıkardığı diğer bir sonuç ise salonlardaki alıcı noktalarında ölçülen erken yanal enerji oranı ile geç yanal enerji oranı arasında 0,45’lik bir korelasyon olduğu, bu değerlerin salon geneli ortalamaları arasında ise 0,80’lik bir korelasyon olduğudur (Bkz. Şekil 3.14) (Barron, 2000).



Şekil 3.14 Erken Yanal Enerji – Geç Yanal Enerji ilişkisi

3.2.4 Seslilik – Loudness

Seslilik bir sesin enerjisinin, o sesi paylaşacak kişilerin sayısına bölünmesinin sonucudur. Ses enerjisi insanların ve malzemelerin yutuculuklarıyla düşer. Bir dinleyicinin işitebildiği seslilik erken ve yansımış olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Erken Sesin sesliliği, dolaysız sesin enerjisiyle dolaysız sestten sonra gelen ilk 80 ms'lik zaman dilimindeki yansımış seslerin enerjilerinin toplanmasıyla belirlenebilir. Yansımış Sesin sesliliği ise 80 ms sonrasında gelen yansımaların enerjilerinin toplamıdır (Beranek, 1996).

Seslilik 3 mimari özellikten etkilenmektedir. Bunlar şöyle sıralanabilirler.

1. Dinleyicinin sahneden uzaklığı
2. Erken ses enerjisini dinleyicilere yansıtacak olan yüzeylerin varlığı
3. Dinleyicilerin kapladığı alan ve orta frekanstaki Yansıma Süresi

Bir enstrümandan çıkıp dinleyiciye ilk ulaşan ses dolaysız sestir ve bu dolaysız sesin sesliliği salonun arkasına doğru gidildikçe azalır. Dinleyici ile sahne arasındaki mesafe arttıkça bu azalma da artar.

Ses düzeyindeki bu düşüşü dengeleyebilmek için, salonlarda erken sesi dinleyicilere yansıtacak paneller kullanılır. Bu yansımaların etkili olabilmeleri için dinleyicilere dolaysız sestten sonraki ilk 50ms ile 80ms arasında gelmeleri gerekmektedir. 19. yüzyılın dar salonlarındaki yan duvarlar erken yanal yansımaları dinleyicilere yönlendirmede tek başlarına yeterli olurlarken, çok daha büyük salonlarda asma paneller genel çözüm yolu olarak kullanılmaktadır.

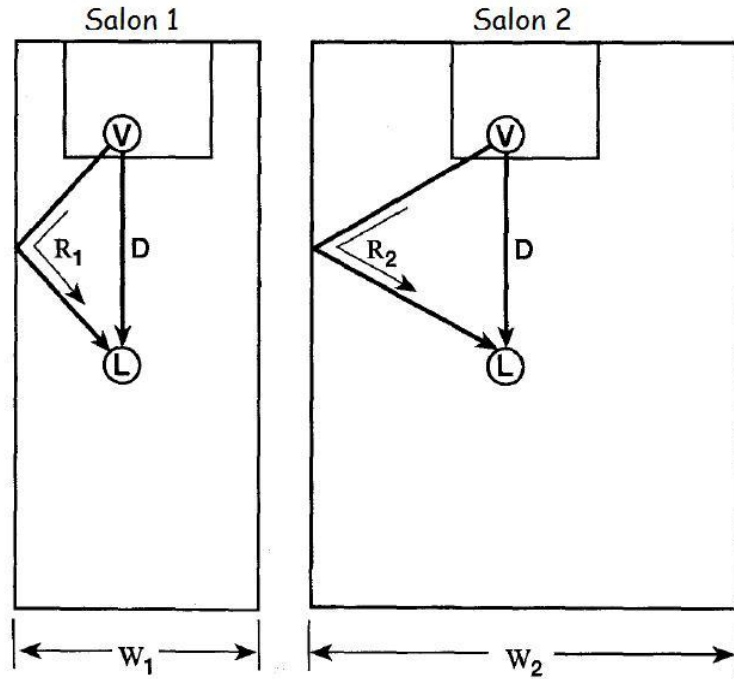
Sesliliği etkileyen üçüncü faktör ise Yansıma Süresinin dinleyici alanına oranıdır. Yansıma Süresi yükseldikçe, Seslilik de yükselir, ancak Yansıma Süresi salonda icra edilen müziğin Netliği C_{80} ile dengelenmelidir. Başka bir deyişle Seslilik Yansıma Süresi ile doğru orantılı ancak mekânın hacmi ile ters orantılı bir ilişki içerisindedir. Hacim küçüldükçe, ses gücü artar ve Seslilik de artar. Yine Yansıma Süresi arttıkça, yansımış sesin düzeyi artar ve Seslilik de artar. Bu bakımdan Seslilik G (EDT/V) ile doğru orantılıdır (Mehta vd.,1999).

Bir salondaki dinleyici alanı temel ses yutucu alandır ve salonun hacminin bu alana oranı Yansıma Süresini belirler. Yüksek dinleyici sayısına sahip salonlarda uygun Yansıma Süresi elde edebilmek için büyük bir hacim gerekmektedir. Ancak diğer bir yandan yeterli ve uygun

Seslilik kişi başına düşen enerjinin büyüklüğüyle, dolayısıyla da dinleyici alanı ve hacmin küçüklüğüyle ilişkilidir. Ayrıca yan yüzeylerin küçük tutulması yanal yansımaları güçlendirip, Sessliliği arttırmaktadır. Mimar ve İşveren bu çelişkiyi dengelemelidirler. Amaçları dinleyici sayısını sınırlandırarak akustik açıdan daha güzel bir salon yaratmak olmalıdır (Beranek, 1996).

3.2.5 Akustik Samimilik – Acoustical Intimacy

Akustik Samimilik dinleyiciye müziğin icra edildiği mekân hakkında bilgi verir. Müziğin her bir farklı çeşidi kendisine uygun Akustik Samimiliğe sahip salonda en iyi şekilde icra edilebilir. Salonun belirli bir büyüklüğe sahip olması gerekmezken, müziğe uygun akustik özelliklere sahip olması gerekmektedir. Akustik Samimilik büyük oranda İlk Yansıma Aralığı (Initial Time Delay Gap – ITDG) ile ilişkilidir. Dolaysız sesin dinleyiciye ulaşmasıyla ilk yansımanın dinleyiciye ulaşması arasındaki zaman farkı (ITDG) olarak tanımlanmaktadır.



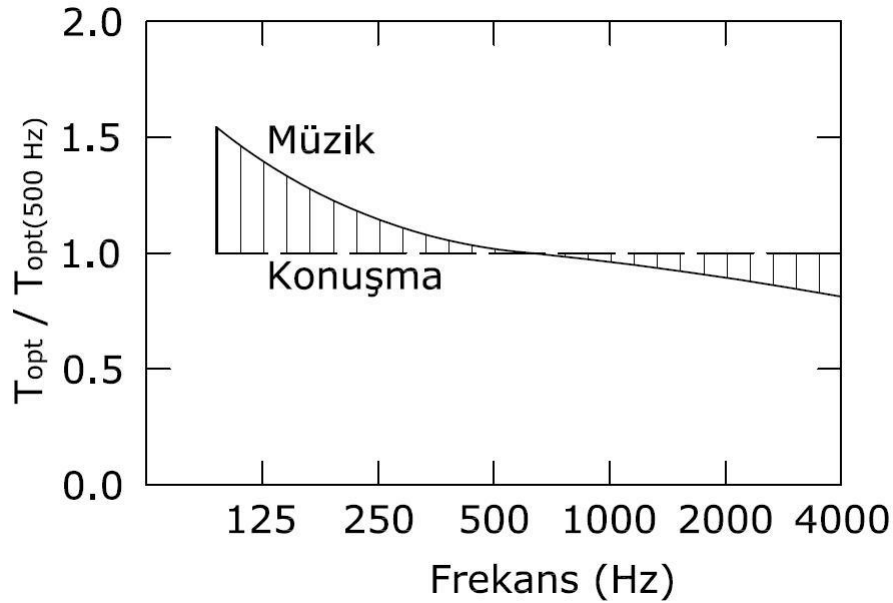
Şekil 3.15 Salonun genişlemesiyle ilk yansımaların gecikmesi (Beranek, 1996)

Salonların genişliklerinin artmasıyla ITDG değerleri artar ve ilk yansımaların dolaysız sestten sonra dinleyiciye ulaşması gecikir. Bu da Akustik Samimilik değerlerini düşürmektedir. (Bkz. Şekil 3.15) Salon 2 Salon 1'e göre daha geniş olduğu için ITDG değerleri daha büyüktür ve

bunu takiben de Salon 2’de Akustik Samimilik daha düşüktür. Günümüzün senfonileri için ITDG değerleri 15–30 ms arasında değişmektedir. Akustik Samimilik, Sesin Dolgunluğu ile ters orantılıdır (Beranek, 1996).

3.2.6 Sıcaklık – Warmth

Müzikte bas seslerin Yansışım Sürelerinin orta frekanslardaki seslerin Yansışım Sürelerinden bir miktar yüksek olması beklenir, bu müziğe Sıcaklık kazandırmaktadır. Şekil 3.16’da müzik için alçak frekanslarda optimum Yansışım Süresinin yükseldiği okunmaktadır. Sıcaklığı belirlemede Bass Ratio “BR” (Bas Oranı) parametresi kullanılmaktadır. Yüksek Yansışım Süreli salonlarda, (1.8 s ve üzeri) önerilen BR değeri 1.1 ile 1.25 arasında değişmektedir. Yansışım Süresi 1.8 s’den küçük salonlarda ise önerilen BR değeri 1.1 ile 1.45 arasında değişmektedir. BR değeri 1.0’dan düşük olan salonlarda Sıcaklık eksik kalmaktadır. Öte yandan aşırı yüksek BR değerlerinden kaçınılmalıdır (Mehta vd., 1999).



Şekil 3.16 Optimum Yansışım Süresinin frekanslara göre değişimi (Aknesil, 1997)

3.2.7 Parlaklık – Brilliance

Müzikte 2000 ve 4000 Hz'deki Erken Düşme Sürelerinin 500 ve 1000 Hz'deki Erken Düşme Sürelerine oranıyla elde edilen bu parametre müziğin Parlaklığını ifade etmektedir. Parlak bir müzik açık, net ve çınlayan müziktir. Yüksek frekanslı sesler salonlarda orta frekanslardaki

seslere göre daha kolay yutulurlar. Hacimdeki havada bu frekanslardaki sesin yutulmasında bir dereceye kadar etkilidir. Ancak bu frekanslardaki sesin aşırı düzeyde yutulması hacimde Parlaklığın sağlanamamasını getirecektir. Konser salonlarında elde edilmesi gerekli optimum Parlaklık değerleri 2000 Hz ve 4000 Hz için sırasıyla 0.9 ve 0.8'den büyük olmamalıdır. Bu değerler aşağıdaki denklemlerde görülmektedir (Mehta vd., 1999). Beranek de yapmış olduğu çalışmalarında boş konser salonlarını değerlendirirken aşağıdaki formüllerle belirtilmiş olan sistemi kullanmıştır (Beranek, 1996).

$$\frac{2 \times EDT_{2000}}{[EDT_{500} + EDT_{1000}]} \geq 0.9 \quad \frac{2 \times EDT_{4000}}{[EDT_{500} + EDT_{1000}]} \geq 0.8 \quad [2.18 \text{ ve } 2.19]$$

4. SALONLARIN AKUSTİK AÇIDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

4.1 Değerlendirme Sistemleri

Salonların akustik açıdan değerlendirmelerinde çok farklı sistemler mevcuttur. Bu sistemler bir akustikçiden diğerine değişmektedir. Bunun sebebi de bir akustikçi için önemli olan bir parametrenin bir diğeri için aynı önemi taşımamasıdır. Bundan dolayı her akustikçinin kendine özgü bir değerlendirme sistemi bulunmaktadır.

Beranek'in Sistemi (1962)

Beranek, 1962 yılında yayınlamış olduğu kitabında, üzerinde çalışmış olduğu 76 konser ve opera salonunun değerlendirmesini yapmıştır. Bu değerlendirme sisteminde her bir parametreye akustik kaliteyi etkileme derecesine göre bir puan vermiş ve en sonunda da bu parametrelerle eşleşen rakamları toplayarak bir rakam elde etmiştir. Bu rakamların sıralanmasıyla da salonlar kendi aralarında akustik kaliteye göre değerlendirilmiş olmaktadır. Bu puanlandırma sistemi Çizelge 4.1'deki gibidir (Maekawa, 1994).

Çizelge 4.1 Beranek'in Sistemi (1962)

ÖLÇÜT	FİZİKSEL ÖZELLİK	DEĞERLENDİRME	MAX PUAN
Samimilik	İlk Ulaşım Gecikmesi	0 – 20 ms : 40p 70 - ∞ : 0p	40
Canlılık	Tam dolu Salonlar için orta frekans Yansıma Süresi	Optimumdan büyük ya da küçükse az puan	15
Sıcaklık	125 ve 250 Hz yansıma sürelerinin orta frekans yansıma sürelerine oranı	1.2 – 1.25 (bu aralık dışındaysa az puan)	15
Dolaysız Ses Yeğirliği	Dinleyici – Kaynak uzaklığı	18m (burdan öte her 3m'de 1 puan az)	10
Yansıyan Ses Yeğirliği	$[T(500+1000) / V] \times 10^6$	3.0 (büyük ya da küçükse az puan)	6
Yayınma	Duvar ve Tavan düzensizlikleri	yeterliyse	4
Dengeleme ve Harmanlama	Orkestra Bölümleri arasındaki dengeleme	iyiyse	6
Birliktelik	İcracıların birbirlerini işitme kolaylığı	rahatsa	4

Beranek'in Sistemi (1996)

Beranek, 1996 yılında yayınladığı kitabında, parametrelerin değerlendirme sırasında bazı değişikliklere gitmiş ve yeni bir tablo oluşturmuştur (Çizelge 4.2) (Long, 2006).

Çizelge 4.2 Beranek'in Sistemi (1996)

ÖLÇÜT	FİZİKSEL ÖZELLİK	MAX PUAN
Algılanan Kaynak Genişliği	$IACC_{E3}$	25
Erken Düşme Süresi	EDT	25
Yüzey Dağıtıcılık Katsayısı	SDI	15
Seslilik	G_{mid}	15
İlk Ulaşım Gecikmesi	ITDG (t_1)	10
Bas Oranı	BR	10

Jordan'ın Sistemi

Jordan 1980 yılında yapmış olduğu çalışmasında konser salonlarının değerlendirilmesi üzerinde çalışmıştır ve Yansıma Süresi (RT), Erken Düşme Süresi (EDT), Netlik (C_{80}) ve Hacim Tepkisi (RR) değerlerinin kabul edilebilir aralıklarını tespit etmiştir. Bu çalışma sonucunda Çizelge 4.3'deki tabloda gözüken değerlere ulaşmıştır (Maekawa, 1994).

Çizelge 4.3 Jordan'ın Sistemi

PARAMETRE	UYGUN ORTALAMA DEĞER	KABUL EDİLEBİLİR ARALIK
RT (s)	2.1	1.4 – 2.8
EDT (s)	2.1	1.8 – 2.6
C_{80} (dB)	0	(-2) – (+2)
RR (dB)	0	(-0.5) – (+0.5)

Ando'nun Sistemi

Ando konser salonlarının akustik kalitesi üzerine yapmış olduğu çalışmasında akustik parametrelerin ağırlıklı değerlendirilmeleri konusuyla ilgilenmiştir. Çalışmasının sonucunda parametreleri değerlendirdiği bir tablo oluşturmuştur (Çizelge 4.4) (Maekawa, 1994).

Çizelge 4.4 Ando'nun Sistemi

(1-IACC)	%25
EDT	%25
SDI	%15
G_{mid}	%15
t_1	%10
BR	%10

Barron'un Sistemi

Barron 1993 yılında yayımladığı “Auditorium Acoustics and Architectural Design” adlı kitabında tiyatro salonları üzerine yaptığı çalışma hakkında bilgi vermiştir. Barron tiyatroların akustik açıdan değerlendirilmesinde belli başlı bazı parametreleri göz önünde bulundurmıştır (Barron, 1993). Bu parametreler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Erken Enerji Oranı – Early Energy Fraction
2. Yansıma Süresi – Reverberation Time
3. Ses Basınç Düzeyi – Sound Pressure Level
4. Fon Gürültüsü Düzeyi – Background Noise Level

4.2 Değerlendirme Örnekleri

Bu bölümde salonların akustik açıdan değerlendirilmesinde kullanılan parametreler incelenmekte ve farklı salonların akustik açıdan değerlendirilebilmeleri için yol göstermektedir. Burada değerlendirmeye alınmış olan parametreler, başka salonların değerlendirilmesinde de kullanılabilirler.

Yıldız Sarayı Tiyatrosunun Değerlendirmesi

Yıldız Sarayı Tiyatrosunun akustik değerlendirilmesi salonun hem oda müziği hem de konuşma amaçlı kullanılmasından ötürü hem konuşma hem de müzik ile ilgili parametreler ele alınmıştır (Aknesil vd., 2005). Bu değerlendirmede göz önünde bulundurulmuş parametreler, optimum aralıkları ve ölçüm sonuçları Çizelge 4.5’de bulunmaktadır:

Çizelge 4.5 Yıldız Sarayı Tiyatrosunun Akustik Değerlendirme Sonuçları (2005)

Parametre	Birim	Ölçülen Değer	Optimum Değer (Min. – Max. Değer)
BGN	dBA	30	33 > BGN
RT _(MÜZİK)	s	0.91	0.93 (0.88 – 1.27)
RT _(TİYATRO)	s	0.91	0.90 (0.86 – 0.95)
EDT	s	0.90	0.85 (0.75 – 1.04)
C ₈₀	dB	3.8	2.7 < C ₈₀
STI	-	0.65	0.60 < STI
RASTI	-	0.66	0.60 < RASTI
TSL _(KONUŞMA)	dBA	57.3 – 63.0	57.0 – 77.0

Yıldız Teknik Üniversitesi Oditoryumunun Değerlendirmesi

Yıldız Teknik Üniversitesi Oditoryumunun yenilenmesi öncesi ve sonrası akustik performansının değerlendirilmesinin yapıldığı bu çalışmada kullanılmış olan parametreler ve yenilenme sonrası ölçülen sonuçlar ile bu parametreler için uygun olan optimum aralıklar ise Çizelge 4.6’da görülebilmektedir (Akdağ ve Aknesil, 2008).

Çizelge 4.6 Y.T.Ü. Oditoryumunun Akustik Değerlendirme Sonuçları (2008)

Parametre	Birim	Ölçülen Değer	Optimum Değer (Min. – Max. Değer)
BGN	dBA	36	40 > BGN
RT _{mid} (konuşma)	s	0.63	0.63 (0.57 – 0.69)
EDT _{mid}	s	0.65	0.56 (0.49 – 0.63)
D ₅₀	%	68	%65 < D ₅₀
STI	-	0.71	0.60 < STI
TSL _(konuşma)	dB	60.2	60.0 – 80.0

Sao Paulo Kenti Salonlarının Değerlendirilmesi

Brezilya'daki Sao Paulo Üniversitesinden iki akustikçi tarafından, kentlerindeki salonları akustik açıdan değerlendirmeye yönelik bir çalışma yapılmıştır (Figueiredo ve Iazzetta, 2005).

Bu çalışmada değerlendirilmiş olan parametreler ise aşağıda görülebilir:

1. Yansıma Süresi – RT
2. Erken Düşme Süresi – EDT
3. Bas Oranı – BR
4. Tiz Oranı – TR
5. İlk Yansıma Aralığı – ITDG
6. Netlik - C_{80}
7. Ayırt Edilebilirlik - D_{50}
8. Kulaklar Arası Çapraz İlişki – IACC
9. Erken Yanal Enerji Oranı - LF_0^{80}

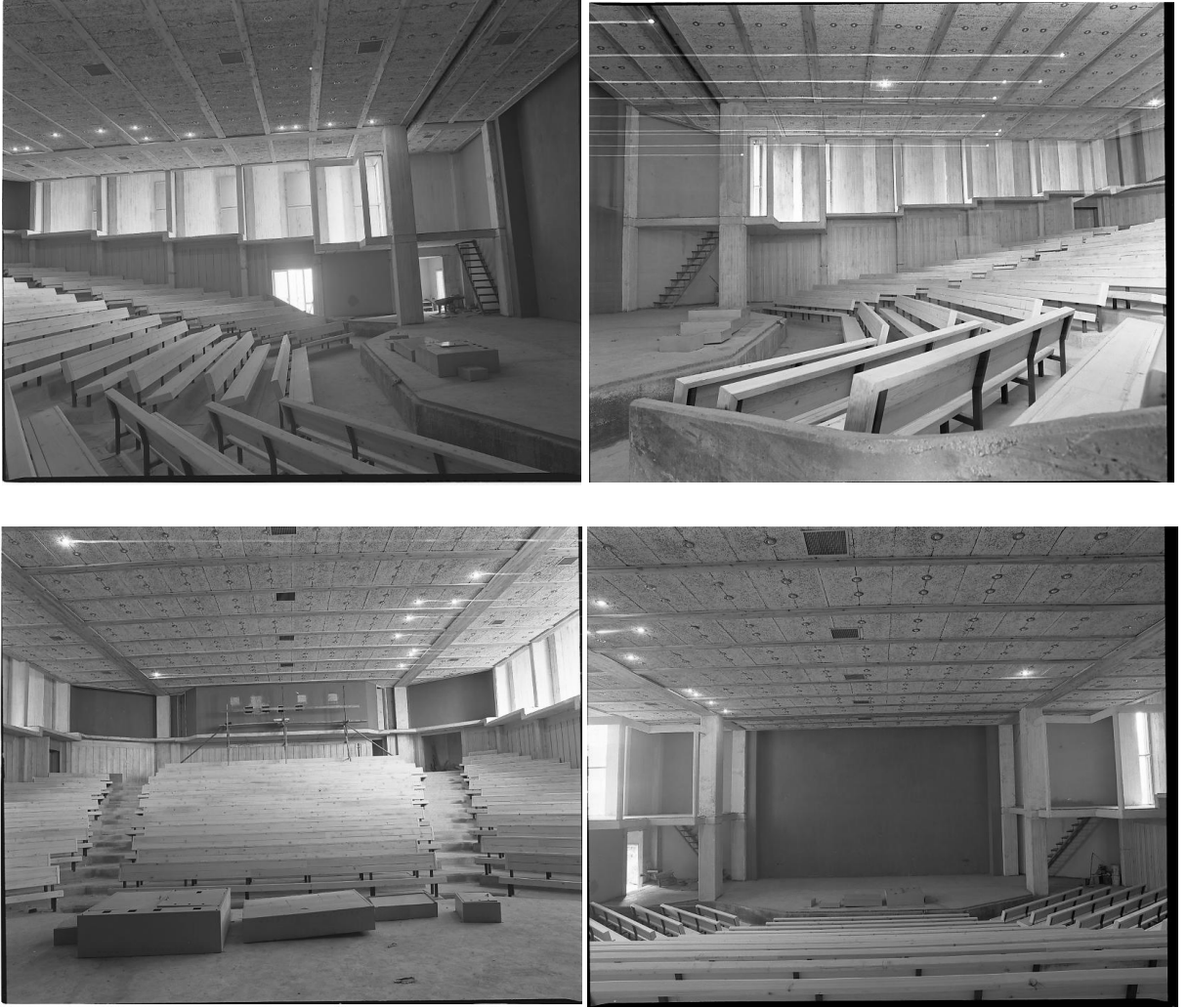
Pamplona Senfoni Salonunun Değerlendirilmesi

İspanya'nın Pamplona kentindeki Navarre Konferans Salonu bünyesinde bulunan Senfoni salonu inşa edilmeden önce akustik simülasyon programlarıyla ve inşa edilmesinden sonra da ölçüm yöntemiyle akustik açıdan değerlendirilmiştir (Martin ve Arana, 2006). Bu çalışmada değerlendirmeye alınmış parametreler şunlardır:

1. Ses Basınç Düzeyi – SPL
2. Yansıma Süresi – RT
3. Erken Düşme Süresi – EDT
4. Ayırt Edilebilirlik - D_{50}
5. Netlik - C_{80}
6. Merkez Zamanı - T_s
7. Erken Yanal Enerji Oranı - LF_0^{80}
8. Ses İletim Göstergesi – RASTI

5. M. S. G. S. Ü. SEDAD HAKKI ELDEM ODİTORYUMU

Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Sedad Hakkı Eldem Oditoryumu 1980’li yılların başında Sedad Hakkı Eldem tarafından tasarlanmış ve inşa edilmiştir. Oditoryumun yoğun bir trafik akışına sahip Meclis-i Mebusan caddesine bakan cephesinde yapı simetrisinin getirisi olarak pencere boşlukları düşünülmüştür. Oditoryumun bu ilk iç tasarımında brütalizm akımının etkileri görülebilmektedir. Duvarlar ve döşeme brüt beton bırakılmış ve dinleyicilerin oturabilmeleri için de sert yüzeyli, kiliselerde kullanılanlara benzeyen banklar yerleştirilmiştir. Tavan ise dönemin akustik malzemesi olan yutucu heraklit levhalar ile kaplanmıştır. (Bkz. Şekil 5.1 ve Şekil 5.2)



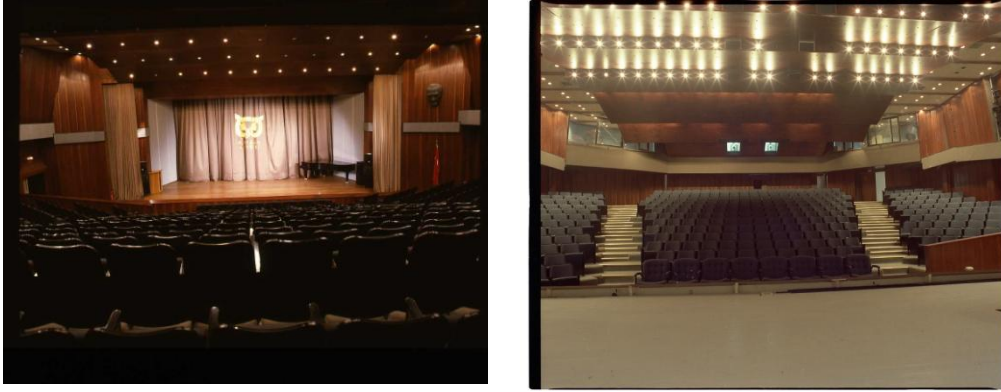
Şekil 5.1 Oditoryumun ilk durumu (M.S.G.S.Ü. Fotoğraf Atölyesi Arşivi)

Prof. Ataman Demir'den edinilen bilgiye göre Prof. Muhteşem Giray'ın rektörlüğü döneminde bu oditoryumda birkaç etkinlik düzenlenmiş ve salonda bulunan yansıtıcı yüzeylerin çokluğundan kaynaklanan akustik kusurlar nedeniyle bu etkinliklerde arzulanan akustik performans elde edilememiştir. Sedat Hakkı Eldem'in yapıya bir müdahalede bulunamayacağı bir dönemde Rektör Prof. Muhteşem Giray'dan gelen talimat üzerine oditoryum akustik açıdan yenilenmeye girmiş ve bu görevi de akustik bilimini kendisi araştırıp öğrenmiş olan Öğr. Gör. Ercüment Tarcan üstlenmiştir.



Şekil 5.2 Oditoryumun ilk durumu (2) (M.S.G.S.Ü. Fotoğraf Atölyesi Arşivi)

Öğr. Gör. Ercüment Tarcan hazırlamış olduğu tasarımında caddeye bakan pencere boşluklarını kapayarak gürültü denetimi konusunda önemli bir gelişme sağlamıştır. Oditoryumda kullandığı sünger kaplı koltuklar, zemindeki halı, tavandaki ve yan yüzeylerdeki ahşap yonga levha yansıtıcı paneller ile Yansıma Süresini kontrol altına almayı başarmıştır. (Bkz. Şekil 5.3 ve Şekil 5.4)



Şekil 5.3 Oditoryumun mevcut durumu (M.S.G.S.Ü. Fotoğraf Atölyesi Arşivi)

1735 m³ hacme sahip oditoryum günümüzde 364 kişilik kapasitesiyle Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi kapsamında gerçekleştirilen müzik resitali, tiyatro, dans gösterileri, konferans ve panel gibi etkinlikler doğrultusunda yoğun bir şekilde kullanımını sürdürmektedir. Oditoryum Kasım 2008’de Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Sedat Hakkı Eldem Oditoryumu adını almıştır.

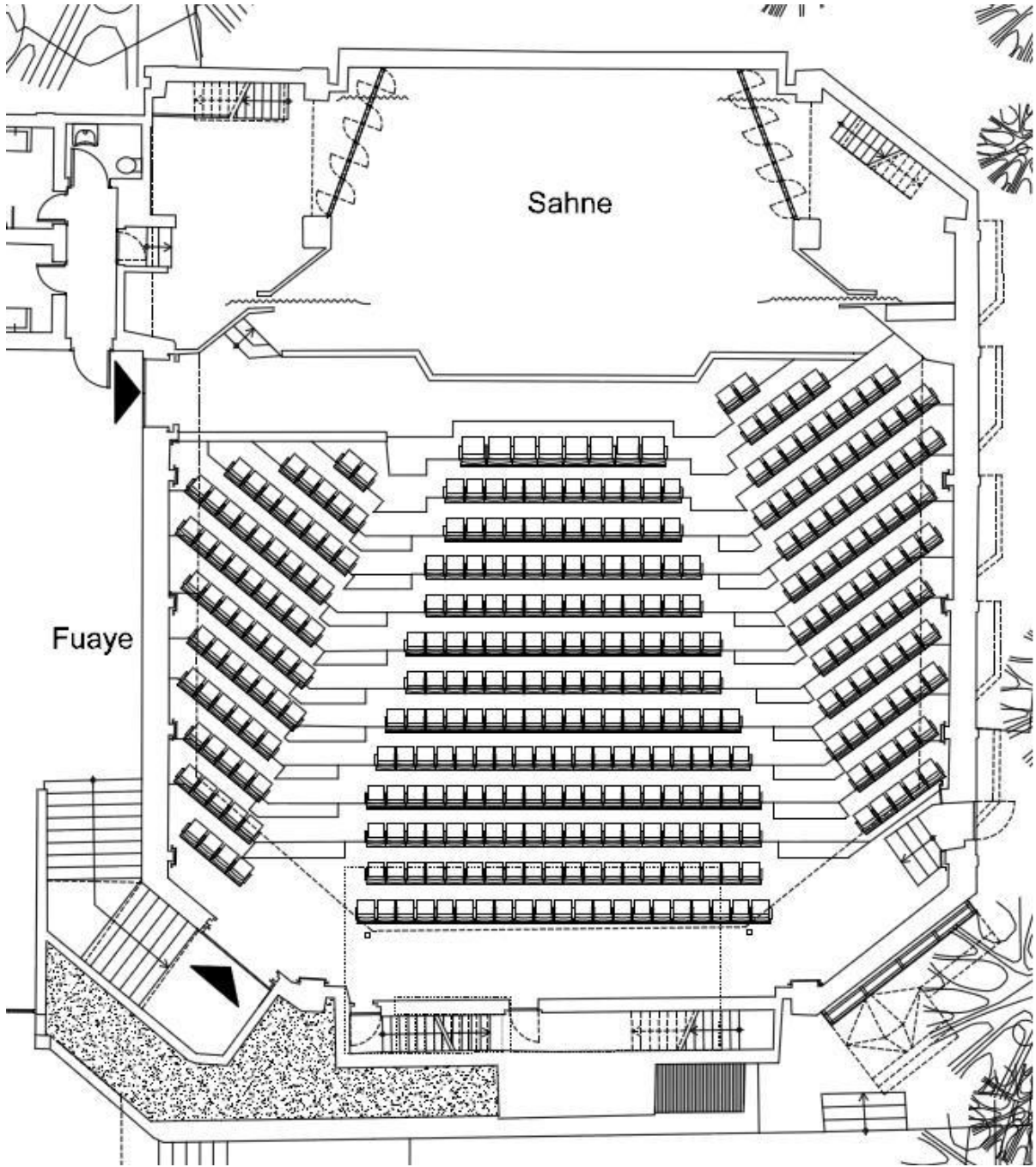


Şekil 5.4 Oditoryumun mevcut durumu (2) (M.S.G.S.Ü. Fotoğraf Atölyesi Arşivi)



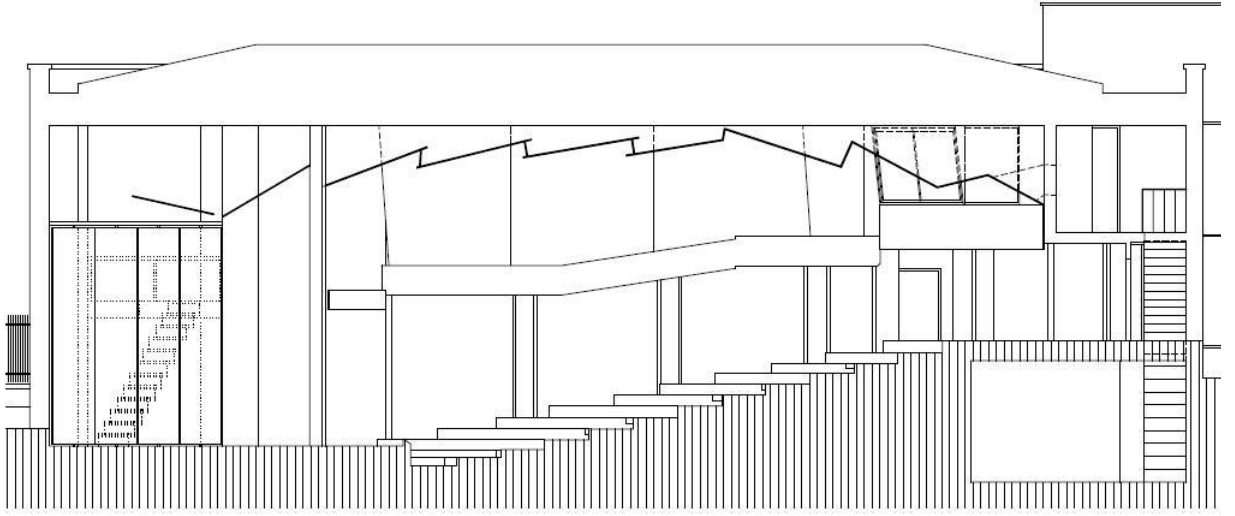
Şekil 5.5 Oditoryumun mevcut durumu (3) (M.S.G.S.Ü. Fotoğraf Atölyesi Arşivi)

Oditoryuma sahne önünden ve salonun arkasından olmak üzere iki giriş bulunmaktadır. Salon döşemesi kademelendirilmiştir ve salonun ortasındaki büyük oturma grubunu yan oturma gruplarından ayıran koridorlar ile koltuklara ulaşım sağlanmaktadır. (Bkz.Şekil 5.6) Sahnedeki konuşmacının sesinin dinleyicilere daha net olarak ulaşabilmesi için salonda akustik tavan kullanılmıştır. Ahşap panellerden inşaa edilmiş olan bu akustik tavan erken yansımaları dinleyicilere yönlendirmektedir. Ayrıca oditoryumun aydınlatılması da bu akustik tavan üzerine yerleştirilmiş olan aydınlatma elamanları ile sağlanmaktadır. (Bkz.Şekil 5.7)



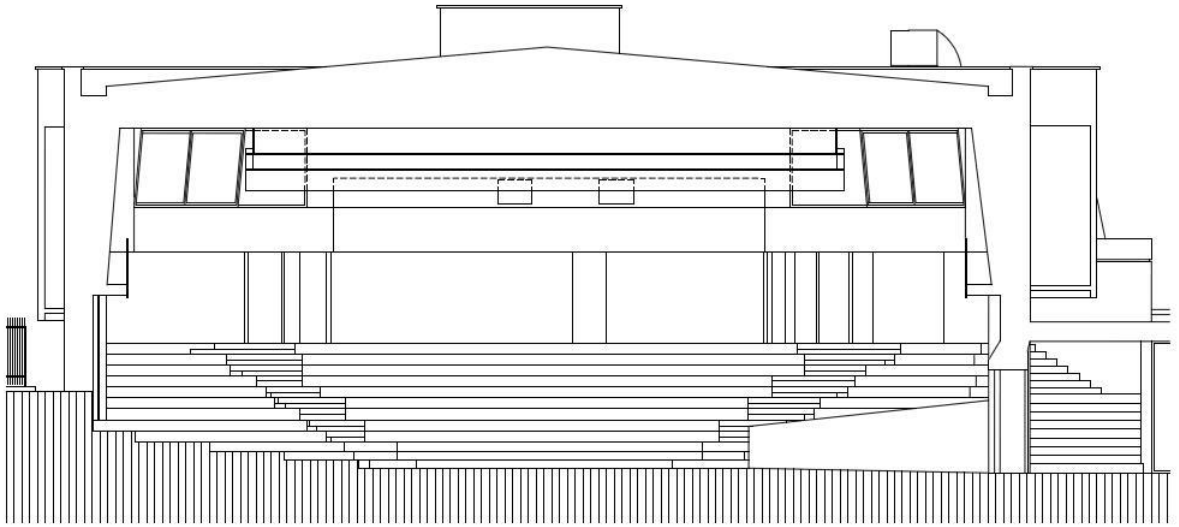
Şekil 5.6 Oditoryum Planı

Ayrıca oditoryumun arkasında aydınlatma ve ses sistemlerini kontrol etmek amacıyla hacimler yer almaktadır. Bu iki hacme oditoryumun arkasındaki duvarda bulunan kapıdan ulaşılabilir. Bu kapı oditoryumun kullanıldığı durumlarda bir perde ile örtülmektedir. Bu iki hacmi birleştiren koridor üzerinde film gösterimlerinde kullanılmak amacıyla film gösterim makineleri yerleştirilmiştir.



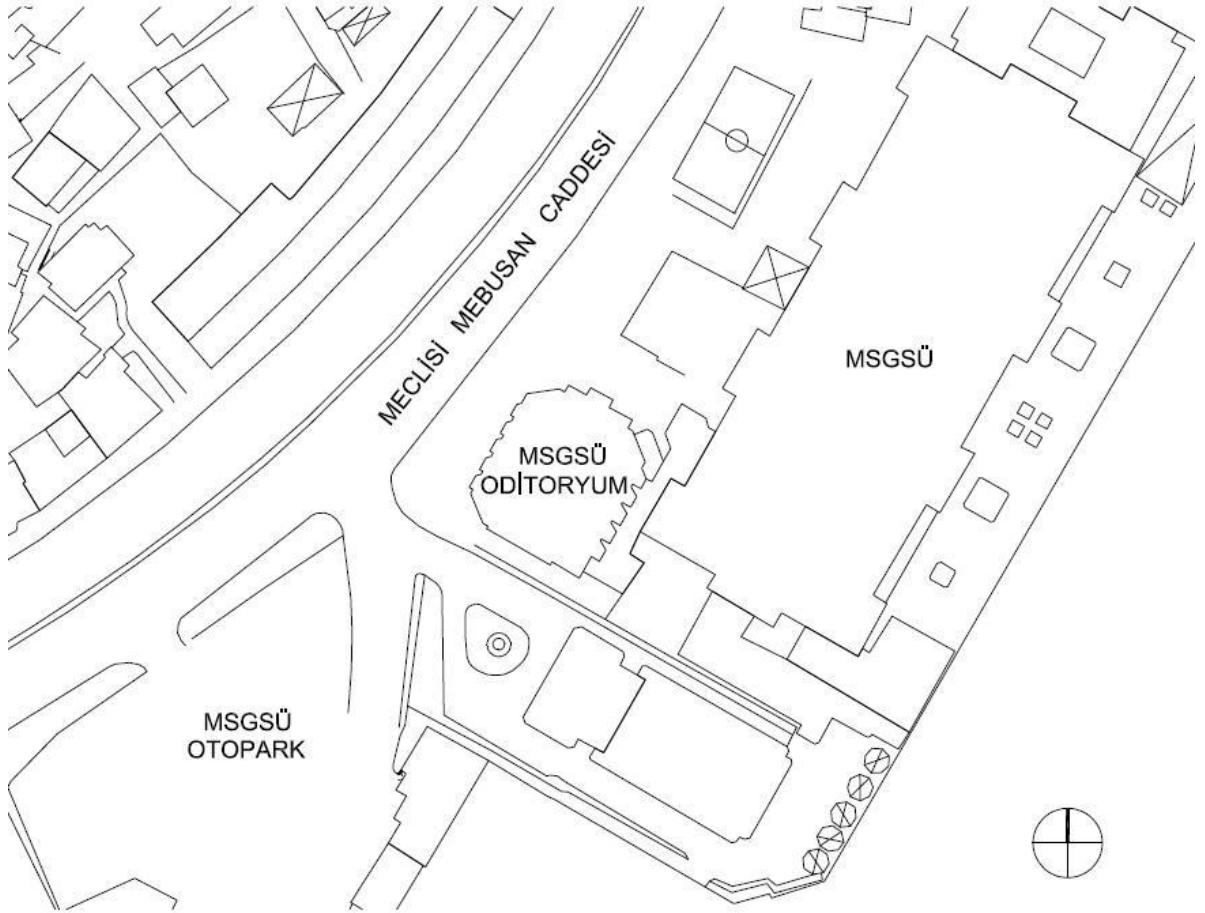
Şekil 5.7 Oditoryum boyuna kesiti

Bu film gösterim makinelerinin filmi sahneye yansıtabilmeleri amacıyla akustik panelin arkadaki duvarla birleştiği noktada iki pencere açılmıştır. (Bkz.Şekil 5.8) Bu pencerelerden sahnenin beyaz boyalı arka duvarına film yansıtılabilmektedir.



Şekil 5.8 Oditoryum enine kesiti

Oditoryum üniversite yapısının hemen yanına inşaa edilmiş olup, üniversitenin yola bakan bahçesinde kuzeydoğu – güneybatı doğrultusunda yer almaktadır. Oditoryumun üniversite yapısının yanında olmasından ötürü, oditoryuma üniversite yapısı içinden bir fuaye aracılığıyla geçilebilmektedir. Bu fuayeye okula girmeden doğrudan dışardan ulaşmak ta mümkündür. (Bkz.Şekil 5.9)

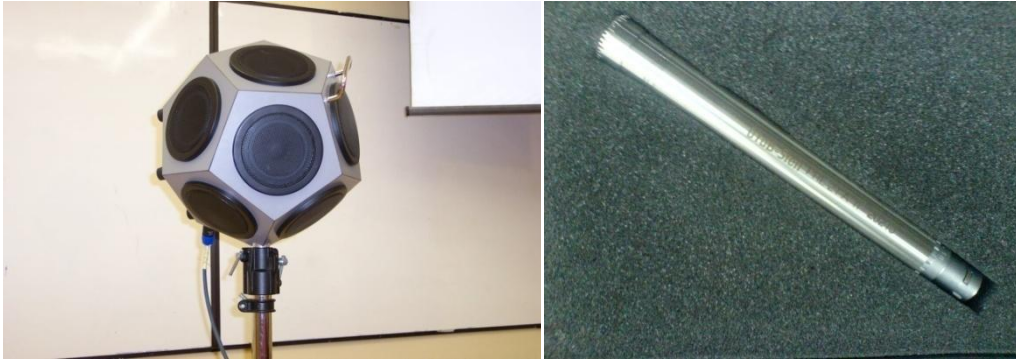


Şekil 5.9 Vaziyet Planı

6. M.S.G.S.Ü. SEDAD HAKKI ELDEM ODİTORYUMUNUN AKUSTİK AÇIDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Sedad Hakkı Eldem Oditoryumunun mimari akustik açısından incelenmesinde 4. Bölümde de söz edilmiş olan ve farklı akustikçiler tarafından uygulanan ölçüm sistemlerinin bir karması kullanılmıştır. Çeşitli parametreler bu yöntemle değerlendirilebilmiştir. Ölçümleri yapılan parametreler oditoryumun hacim akustiği koşulları açısından incelenmesi ve değerlendirilmesi için yeterli veri oluşturmuştur.

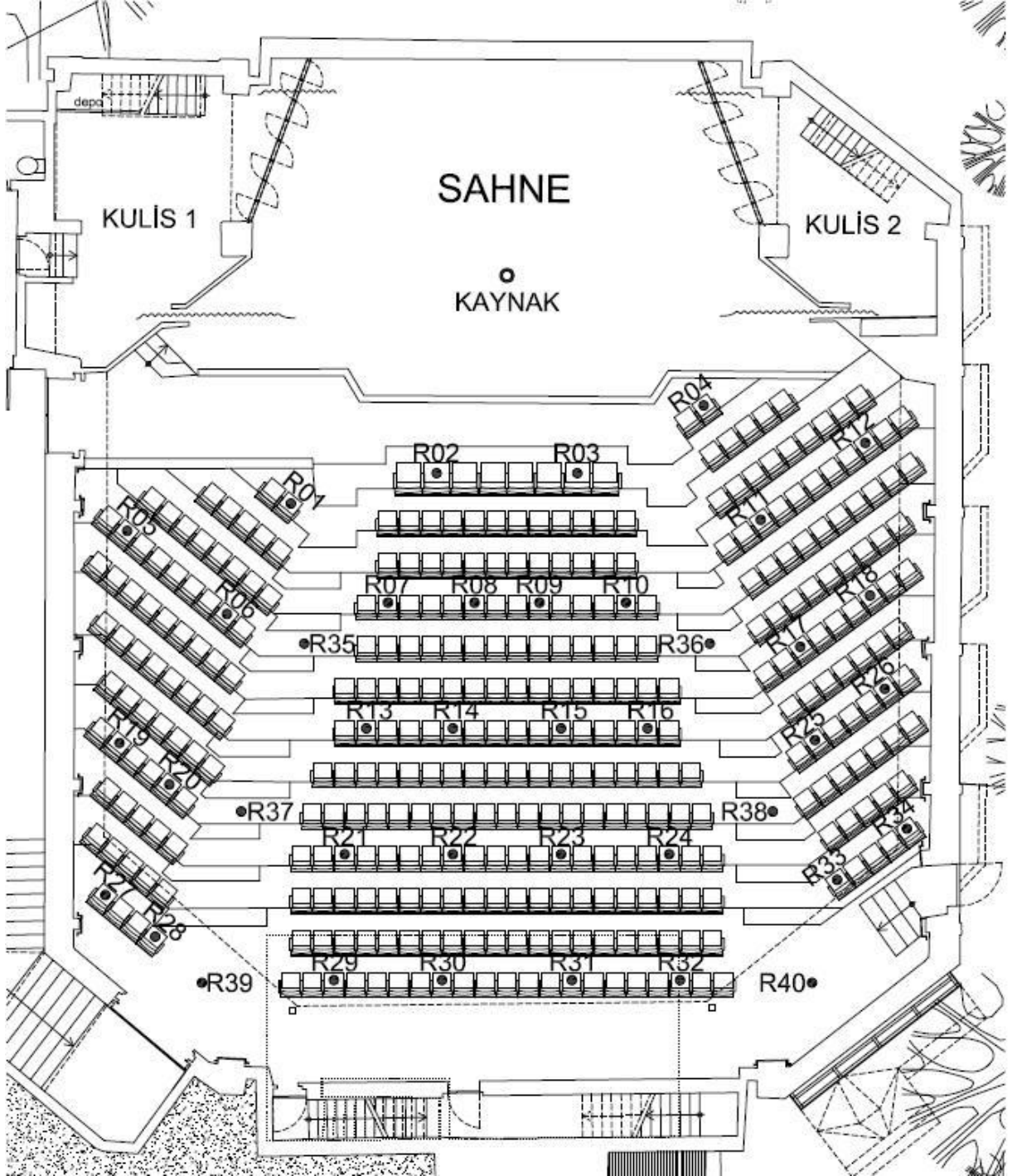
İncelemede ses kaynağı olarak 12 yüzlü (dodechadron), omni-directional bir kaynak, ses alıcısı olarak da iki adet mikrofon, 600W'lık Güç amplifikatörü (AVM – M700) ve (PRE12H 7PIN) Preamplifikatör kullanılmıştır (Bkz. Şekil 6.1). Şekil 6.2'de de görüldüğü gibi dinleyici bölümü üzerinde kaynaktan farklı uzaklıklarda, R01 – R40 olarak görülen 40 noktada Hacim Akustiği parametrelerinin ölçümleri yapılmıştır.



Şekil 6.1 Omni – dodechadron kaynak ve mikrofon

Ölçüm yapılan bu noktaların belirlenmesinde oditoryum simetrik olmasına rağmen hacim genelindeki akustik koşul dağılımlarını ve düzgün yayılmışlığı tespit etmek amacıyla dinleyici bölümünün her iki yanında da alıcı noktaları seçilmiştir. Bu alıcı noktalarının dinleyici bölümü üzerinde dağılımı düşünüldüğünde, alıcı noktalarının yerleştirildiği koltuk sıraları arasında yaklaşık 2,70 m bırakılarak alıcıların birbirlerine çok yakın olmamasına dikkat edilmiştir. Mikrofonlar alıcı noktalarında oturmakta olan bir dinleyicinin kulak hizası olan 1,1 m yüksekliğe tripodlar yardımıyla yerleştirilmiştir. Omni-directional dodechadron kaynak ise salonun simetri aksında sahne önünden iki metre geride ortalama boyda bir insanın ağız seviyesine gelen 1,6 m yüksekliğe konumlandırılmış ve kaynaktan ortama 120 dB ses basınç düzeyinde - frekans spektrumu üzerindeki her frekansta aynı ses düzeyine sahip - beyaz

gürültü verilmiştir. Olası hatalara karşı alıcı noktalarında ölçümler üç kere tekrarlanmış ve bu üç ölçümün uygun ortalamaları alınmıştır.



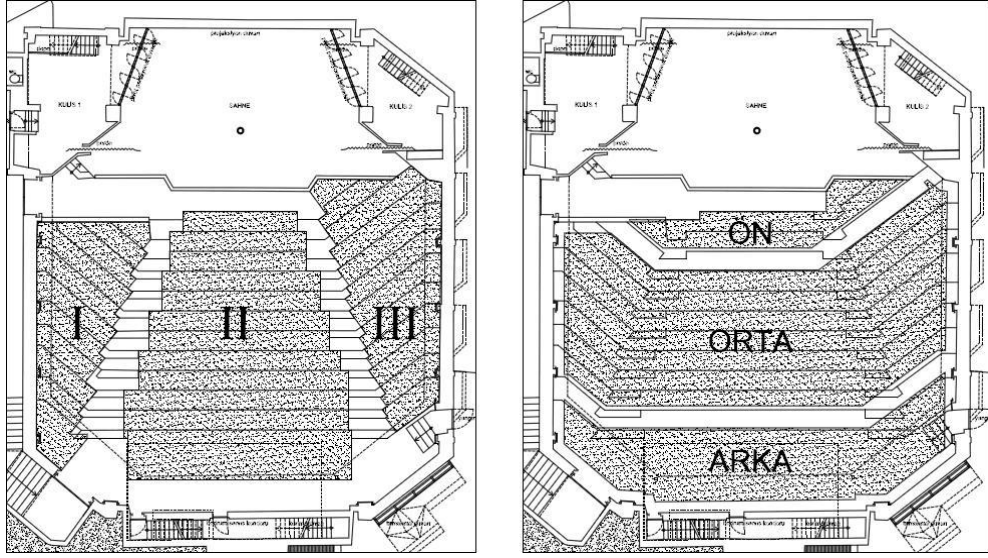
Şekil 6.2 Oditoryumda ölçüm yapılan noktalar (R01 – R40)

Şekil 6.2’ de de görülen koridor üzerinde bulunan R35 – R40 noktalarında ölçümlerin başında ve sonunda iki kez fon gürültüsü ölçülmüştür. Koltuklara denk gelen R01 – R34 noktalarında ise 125 Hz – 4000 Hz frekansları arasında altı oktav bandında Yansıma Süresi, Erken Düşme Süresi, Netlik, Ayırt Edilebilirlik ve Ses İletim Göstergesi parametreleri ölçülmüştür. Salon içinde parametre değerlerinin değişimini tespit etmek için 34 adet alıcı noktası seçilmiştir. Daha az alıcı noktası noktalar arasındaki değişimi değerlendirmede sağlıklı sonuç vermekten uzak kalacak, salon hakkında sadece genel bir bilgi verebilecektir. Salondaki koltukların yüksek yutuculuktaki kumaşlarla kaplı olmasından ötürü, hacmin toplam yutuculuğu yüksektir. Bu yutuculuk, yaklaşık olarak salonun dinleyicilerle dolu olduğu durumdaki toplam yutuculuğa denk gelmektedir. Bu nedenle ölçümler salon boşken yapılmış olsa bile, parametre değerlerinde boş durum ile dolu durum arasında bir değişiklik gözükmeyecektir.

Ölçümleri yapılan bu parametrelerden Yansıma Süresi, Erken Düşme Süresi ve Netlik salonda gerçekleştirilen müzik etkinliklerinin akustik kalitesinin belirlenmesinde kullanılmıştır. Yansıma Süresi ve Erken Düşme Süresi değerlerinden yararlanılarak da salonun Sıcaklığı ve Parlaklığı hakkında bilgi sahibi olunmuştur. Öte yandan Yansıma Süresi ve Erken Düşme Süresi yanında Ayırt Edilebilirlik ve Ses İletim Göstergesinin değerlendirmeye alınmasıyla salonun konuşma amaçlı kullanımı sırasındaki akustik kalitesi değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeler sırasında 1735 m³ hacme sahip bu salon için kullanılacak kabul edilebilir değerler aralığı Çizelge 6.1’de görülmektedir.

Çizelge 6.1 Oditoryumun değerlendirilmesinde kullanılacak olan parametrelerin kabul edilebilir minimum ve maksimum değerleri

PARAMETRE	KABUL EDİLEBİLİR MIN. DEĞER	KABUL EDİLEBİLİR MAX. DEĞER
RTmid (Konuşma)	0,88 s	1,18 s
RTmid (Müzik)	1,46 s	1,66 s
EDTmid	0,57 s	-
C ₈₀	- 4 dB	+4 dB
D ₅₀	%50	-
STI – RASTI	0.65	-
BGN	-	NC-35



Şekil 6.3 Salon içindeki bölgeler

Yapılmış olan ölçümler salon içindeki bölgelere göre de değerlendirilmeye alınmıştır. Salonun bölgelere ayrılmasındaki temel amaç akustik koşulları belirlemeye yönelik Hacim Akustiği parametrelerinin bölgeler arasındaki değişimlerini incelemek ve bir bölgenin diğer bölgelere göre daha uygun sonuçlara sahip olup olmadığını tespit etmektir. Salon mevcut oturma grubu bölümlenmesine göre bölgelere ayrılmış ve bu bölgeler I – II – III olarak adlandırılmışlardır. Diğer bir bölgelere ayırma sistemi de kaynaktan olan uzaklığa göre yapılmıştır. Bu sistemde bölgeler ön – orta – arka olarak tanımlanmıştır. Değerlendirmede göz önünde bulundurulmuş bölgeler Şekil 6.3’de görülmektedir.

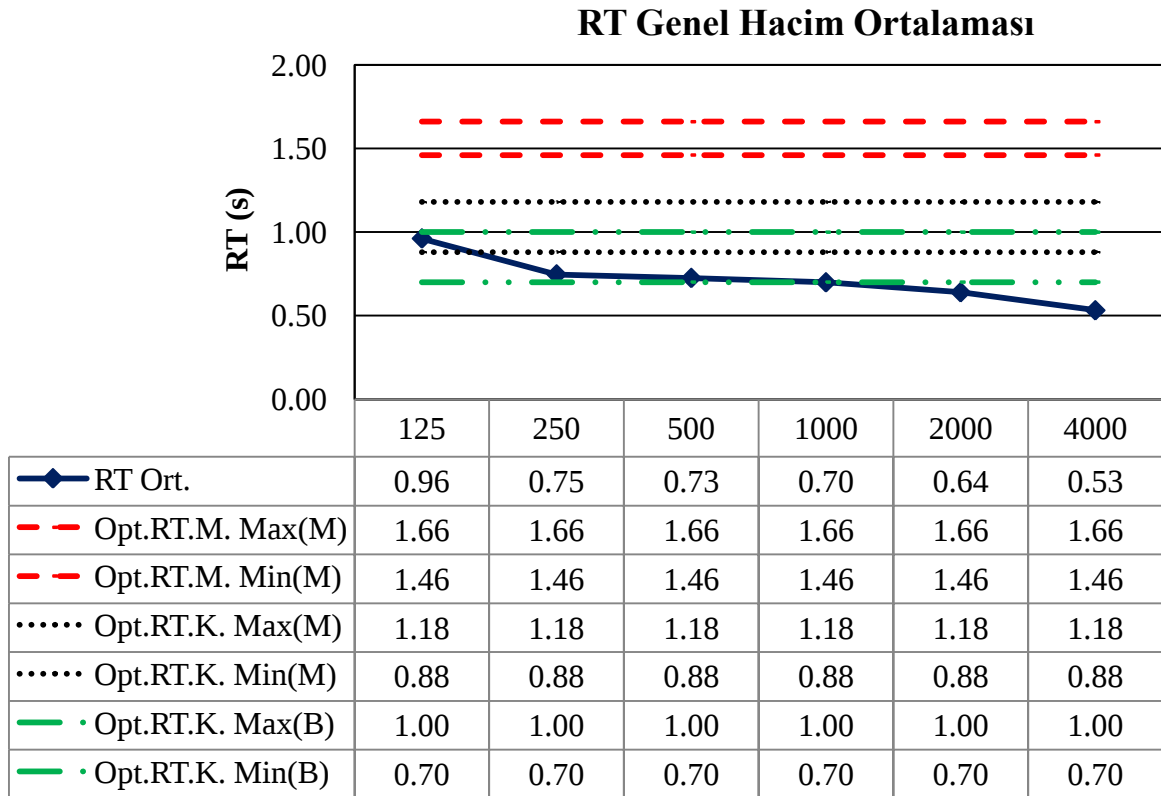
İncelemede kullanılan diğer bir değerlendirme sistemi de ISO 3382 Standardı tarafından önerilen ve Bradley tarafından da kullanılmış olan parametre sonuçlarının alçak, orta ve yüksek frekanslardaki dağılımları ortalamalarının değerlendirmesidir. Bu sistemde söz konusu olan alçak frekans ortalamaları, 125 ve 250 Hz , orta frekans ortalamaları 500 ve 1000 Hz, yüksek frekans ortalamaları 2000 ve 4000 Hz için hesaplanmıştır (Barron, 2005). Değerlendirmelerde önce orta frekans parametre sonuçlarının alıcı noktalarındaki dağılımı açıklanmış, ardında da alçak ve yüksek frekans sonuçlarının dağılımına değinilmiştir.

Ayrıca parametre değerlerinin hacim içindeki dağılımlarını görmek ve düzgün yayılmışlığı tespit etmek amacıyla bölgelere göre alçak, orta ve yüksek frekans çiftlerindeki standart sapma ile değişim katsayısı değerleri istatistiksel veri olarak değerlendirme çalışmasının sonunda verilmiştir.

6.1 Parametrelerin Frekanslara göre ve Alıcı Noktalarına göre Değerlendirilmesi

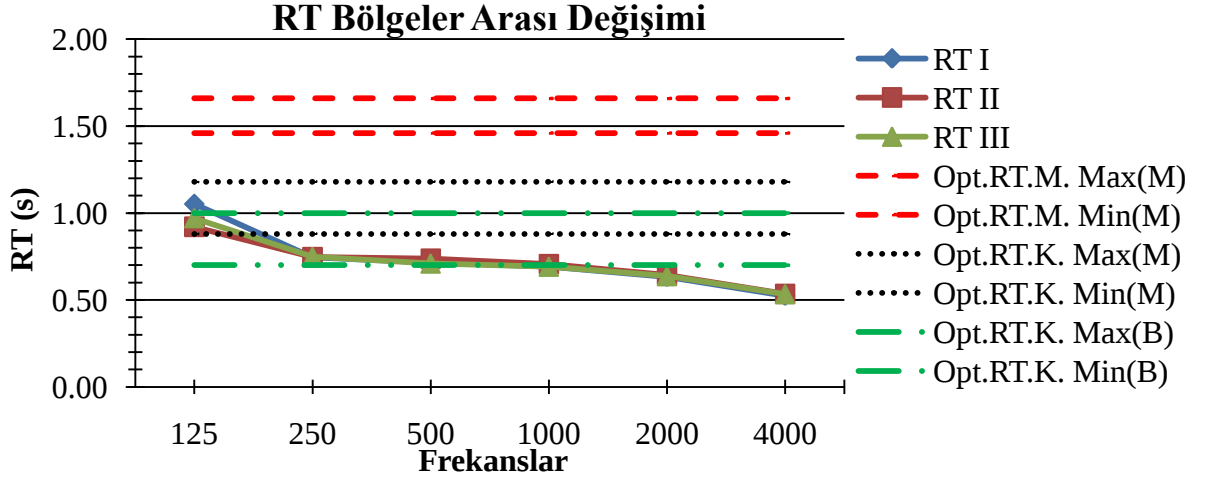
6.1.1 Yansıyım Süresinin Değerlendirmesi

Yansıyım Süresi, kapalı bir hacimde kaynağın kapanmasından sonra Ses Basınç Düzeyinin 60 dB düşmesi için geçen süredir. Hacmin toplam yutuculuğu arttığında bu süre kısalır, toplam yutuculuk azalıp, yansıtıcılık arttığında bu süre uzar. Oditoryumda 34 noktada yapılan ölçümler sonucunda elde edilen Yansıyım Süresi değerlerinin ortalamalarının alınması ve bu ortalamaların 6 oktav bant frekansı bazında dağılımının gösterilmesiyle Şekil 6.4'deki grafik oluşmuştur. Grafikteki noktalı ve kesikli çizgiler sırasıyla, bu salonun konuşma ve müzik amaçlı kullanımı için Maekawa tarafından önerilen optimum Yansıyım Süresi aralıklarını belirtmektedir. Maekawa'ya göre bu salonda konuşma için 0,88 – 1,18 s aralığı uygun iken, müzik için 1,46 – 1,66 s aralığı uygundur. Barron ise konuşma amaçlı salonlar için 0,70 – 1,00 s aralığını önermektedir ve bu aralık grafikte noktalı kesikli çizgiler ile ifade edilmiştir.



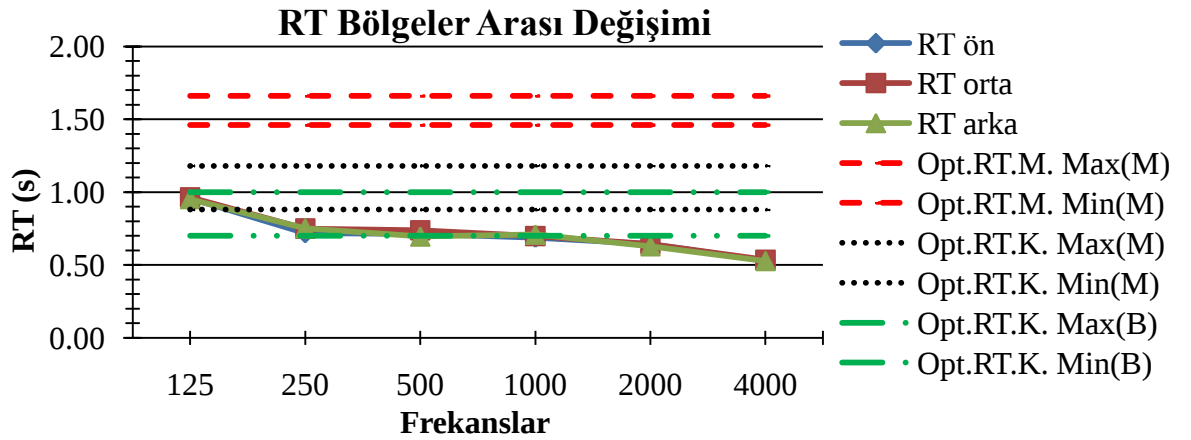
Şekil 6.4 Hacim genelinde Yansıyım Süresinin frekanslara göre değişimi

Görüldüğü üzere salondaki Yansışım Süresi, Maekawa'nın konuşma ve müzik için önermiş olduğu optimum değerlerin altındadır. Barron açısından ise değerler, 2000 Hz ve 4000 Hz dışında konuşma için uygun olan optimum aralığa girmektedir. 2000 Hz'de ve 4000 Hz'de değerler Barron'un önermiş olduğu minimum değer olan 0,7 saniye altına düşmektedir. Bu durum bu frekanstaki sesin diğer frekanslardaki seslere göre daha fazla yutulmasıyla açıklanabilir. 125 Hz'de ise Yansışım Süresinde bir yükselme görülmektedir ve bu frekanstaki parametre değeri Maekawa'nın önermiş olduğu konuşma için uygun olan optimum aralığa girmektedir. Parametre değerlerinin genel olarak düşük çıkması salondaki toplam yutuculuğun yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Grafik kendi içinde incelendiğinde ise alçak frekanslardan yüksek frekanslara doğru Yansışım Süresinde bir düşüş olduğu görülmektedir. Belli bir frekansta Yansışım Süresinin düşük olması hacmin o frekanstaki toplam yutuculuğunun yüksek olmasına işaret eder. Bilindiği üzere 2000 Hz ve 4000 Hz'deki yüksek frekanslı sesler kumaş, halı ve benzeri gözenekli yüzeyler tarafından yutulurken, alçak frekanslı sesler titreşen levha özelliği gösteren paneller tarafından yutulabilir. Şekil 6.4'deki grafikte 2000 Hz'de ve özellikle de 4000 Hz'de düşük Yansışım Süresinin görülmesi, bu frekanstaki sesleri yutacak yeterli yüzey kaplama malzemesinin varlığının habercisidir. Salondaki kumaş kaplı koltuklar, sahnedeki perde, zemindeki halı ve tavandaki heraklit levhalar 2000 Hz ve 4000 Hz frekanslarındaki sesleri yutan malzemelerdir (Bkz. Şekil 5.4 ve Şekil 5.5). Aynı zamanda hacimde bulunan hava da bu frekanslardaki sesi bir miktar yutmaktadır. Aynı grafikte 125 Hz'de Yansışım Süresi diğer frekanslardaki Yansışım Süresi değerlerine göre çok daha yüksektir. Bilindiği üzere alçak frekanslı sesler ancak titreşen levha özelliği gösteren paneller tarafından yutulmaktadır. Aynı zamanda bir birim alana sahip titreşen bir levhanın alçak frekanslı sesleri yutma oranı, yine aynı birim alana sahip gözenekli bir malzemenin yüksek frekanslı sesleri yutma oranından genellikle daha az olabilmektedir. Yani alçak frekanslı seslerin yüksek frekanslı seslerin yutulduğu oranda yutulabilmesi için çok daha büyük alana gereksinim duyulmaktadır. Bu durum, yani 125 Hz'de Yansışım Süresi değerlerinin diğer frekanslardaki değerlerden yüksek çıkması, hacim içinde bu frekanstaki sesleri yutacak titreşen levha özelliği gösteren panellerin yetersiz olmasından kaynaklanmaktadır. Salonda tavana asılmış olan paneller yerlerine sabitlenmişlerdir ve dolayısıyla da titreşen levha özelliği gösteremezler. Duvarları kaplayan ahşap yüzeyler için de aynı sabitleme durumu söz konusudur. Bu da 125 Hz frekansındaki Yansışım Süresinin diğer frekanslardaki değerlere göre daha yüksek çıkmasını açıklamaya yetmektedir.



Şekil 6.5 I.-II.-III. bölgeler arasındaki Yansıma Süresi değişimi

Yansıma Süresinin bölgelere göre incelenmesinde salon içinde yapılan ölçümler gruplandırılmıştır. Böylece Yansıma Süresinin salon içinde dağılımının daha detaylı incelenmesi ve değerlendirilmesi sağlanmıştır. Bölgelere göre yapılan değerlendirmeler Şekil 6.5 ve Şekil 6.6'deki grafiklerde görülmektedir. Şekil 6.5'deki grafikte Yansıma Süresinin salon içindeki I., II. ve III. bölgeler arasındaki değişimi incelenmektedir. Tüm bölgelerde Yansıma Süresinin birbirine oldukça yakın değerler aldığı, 125 Hz dışında tüm frekanslarda Maekawa'nın önerdiği optimum değerlerden düşük olduğu ve 2000 Hz ile 4000 Hz dışında Barron'un konuşma için önerdiği optimum aralığa girdiği grafikte görülmektedir. Böyle bir durum salonda düzgün yayılmışlığın sağlanmış olduğunu ve toplam yutuculuğun yüksek olduğunu bildirmektedir.



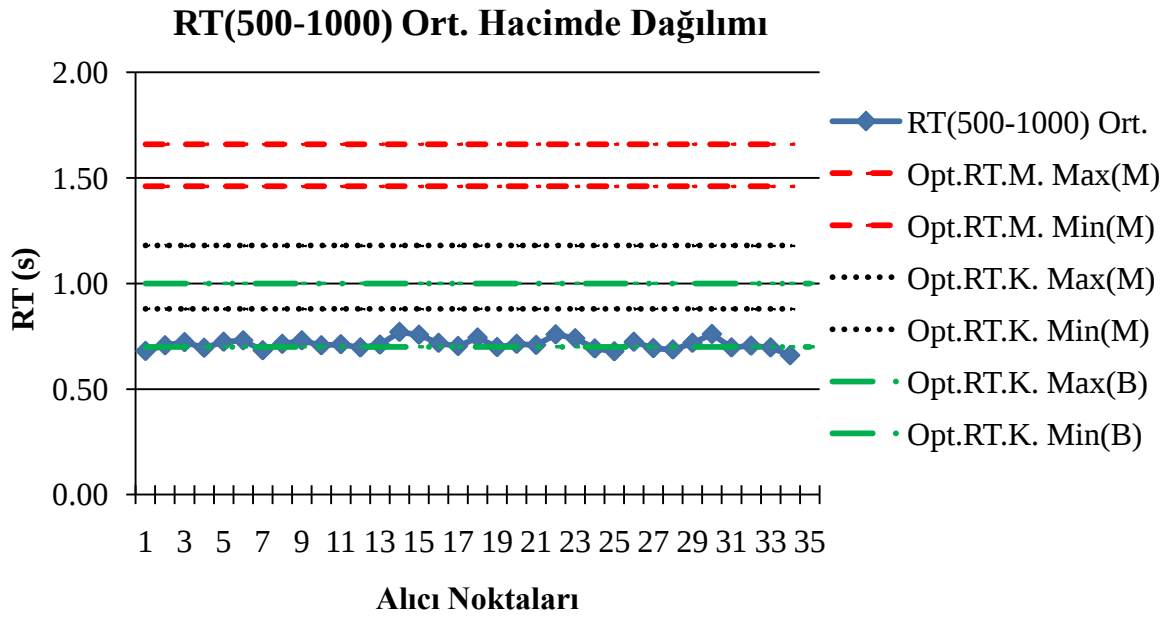
Şekil 6.6 Ön-Orta-Arka bölgeler arasındaki Yansıma Süresi değişimi

Şekil 6.6'daki grafikte ise alıcının kaynaktan olan uzaklığının değişmesiyle Yansışım Süresinin ne oranda değiştiği görülmektedir. Bu değerlendirmede salon ön, orta ve arka bölgelere ayrılmıştır. Grafikten, her bölge için de aynı Yansışım Süresi değerlerinin korunduğu, kaynaktan uzaklaşılmasıyla Yansışım Süresi değerlerinde bir değişim gözlemlenmediği okunmaktadır. Bu durum da Yansışım Süresinin salon içinde düzgün bir şekilde yayıldığını bir kez daha göstermektedir.

Bu iki grafikten de okunduğu üzere bölgeler arasındaki Yansışım Süresinde büyük uyum gözlemlenmiştir. Böyle bir durum Yansışım Süresinin hacmin her noktasında birbirine yakın değerler aldığını göstermekte, salonda düzgün yayılmışlığın sağlandığını gözler önüne sermektedir. Bir salonda düzgün yayılmışlığın sağlanabilmesine neden olacak etkenlerden biri de, salondaki yutucu ve yansıtıcı malzemelerle kaplı yüzeylerin, salon içinde düzgün bir şekilde dağılmasıyla mümkün olduğundan, söz konusu bu salonda yüzey kaplama malzemelerinin düzgün bir şekilde dağıldığı çıkarımına varılabilmektedir. Böyle düzgün bir dağılımın sağlanmasında, salonun yan duvarlarını yatay bir hat boyunca dönen ve bu duvarları bölerek büyük bir yüzey oluşmasını önleyen kumaş kaplı bantın etkisinin olduğu düşünülmektedir. Ayrıca bu yan duvarlar taşıyıcı kolonlar tarafından da bölünmekte ve ayrı yüzeyler oluşturmaktadırlar. Kumaş kaplı yatay bant üzerindeki ahşap kaplamaların farklı açılarla salonun içine eğimlendirilmesi de bu bölgede büyük tek bir yüzey oluşmasını önlemiş ve sesin düzgün dağılmasını sağlamıştır. Bunların yanında yansıtıcı akustik tavanın salonun tavanının tümünü kaplamayarak sadece ortada bulunması ve yanlarında salonun ilk tasarımından kalma yutucu heraklit levhaların korunması düzgün yayılmışlığın sağlanmasında göz ardı edilemeyecek diğer bir önemli etkidir.

Şekil 6.7'deki grafikte ise 500 Hz ve 1000 Hz'deki Yansışım Sürelerinin ortalamalarının alıcı noktalarına göre dağılımı görülmektedir. Bu grafikten salondaki tüm alıcı noktalarında $RT_{(500-1000)}$ değerlerinin yaklaşık 0,7 s değerinde olduğu okunmaktadır. Bu da salonda Yansışım Süresi açısından düzgün yayılmışlığın sağlandığını göstermektedir. Salonda düzgün yayılmışlığın sağlandığına daha önce de değinilmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda oditoryumun hacminin 1735 m^3 olduğu tespit edilmiştir. Maekawa'ya göre konuşma amaçlı (konferans salonu olarak) kullanılan bu büyüklükteki bir hacmin Yansışım Süresi yaklaşık 0,88 – 1,18 saniye aralığında olmalı iken, hacmin müzik amaçlı (konser salonu olarak) kullanılması durumunda Yansışım Süresi yaklaşık 1,46 – 1,66 aralığında olmalıdır. (Bkz.

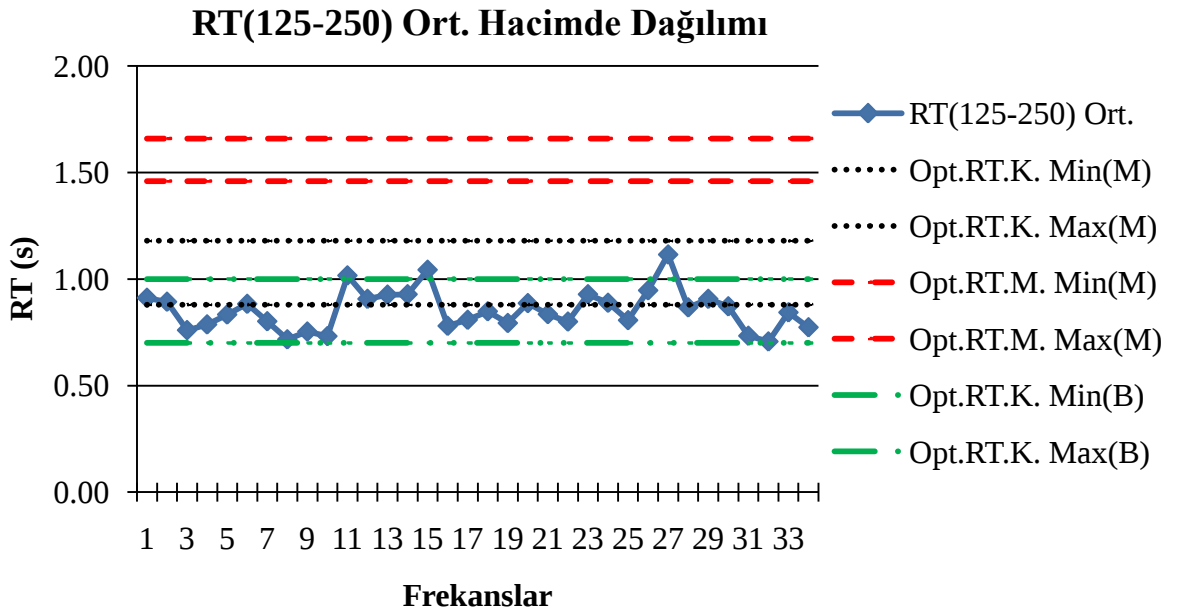
Bölüm 3.1.2.1 Şekil 3.5) Grafik üzerindeki noktalı ve kesikli çizgiler sırasıyla oditoryumun konuşma ve müzik amaçlı kullanımlarının optimum Yansışım Süresi aralığını göstermektedirler. Bu durumda salonun mevcut Yansışım Süresinin, salonun hem konuşma amaçlı kullanımı, hem de müzik amaçlı kullanımı için uygun görülen optimum Yansışım Süresinden düşük olduğu anlaşılabilmektedir. Barron (1993) ise konuşma amaçlı salonlarda optimum $RT_{(500-1000)}$ ortalaması Yansışım Süresi olarak 0,70 – 1,00 aralığını önermiştir. Bu aralığı ifade eden sınırlar grafikte noktalı kesikli çizgilerle ifade edilmişlerdir. Mevcut Yansışım Süresi Barron’un önermiş olduğu bu aralığın alt sınırına denk gelmektedir.



Şekil 6.7 $RT_{(500-1000)}$ Ortalamasının alıcı noktalarındaki dağılımı

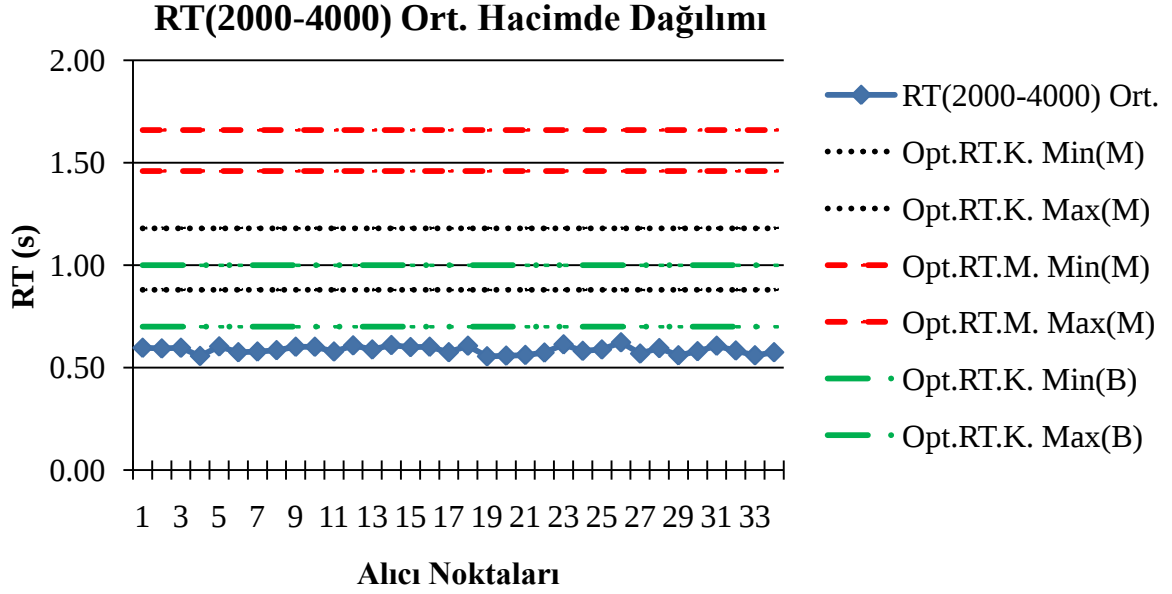
Konuşma amaçlı kullanımda 0,7 saniyelik Yansışım Süresi oldukça düşüktür ve bu durum konuşmacıya yeterli yansıma ulaşmamasına neden olmaktadır. Böyle bir durumda konuşmacı kendi sesini duyabilmek için daha fazla güç harcamak zorunda kalacak ve daha çabuk yorulacaktır. Öte yandan bu kadar düşük bir Yansışım Süresi değeri, salondaki Yansışmış Ses Düzeyinin düşüklüğüne işaret eder. Bu da salonun müzik amaçlı kullanımında kuru ya da ölü olarak algılanmasına neden olacaktır. Netlik parametresi C_{80} 'in değerlendirilmiş olduğu Bölüm 6.1.5’de bu konu daha detaylı işlenmiştir. Bu durum salonda kullanılmış olan ses yutucu malzemelerin çokluğuna işaret etmektedir.

Şekil 6.8'deki grafikte alçak frekanslardaki Yansışım Sürelerinin salon içindeki dağılımları görülmektedir. Alçak frekansların ortalaması olan $RT_{(125-250)}$ değerlerinin, birkaç alıcı noktası değeri dışında Barron'un önermiş olduğu optimum aralık içinde kaldığı grafikte görülmektedir. Grafikten okunan diğer bir nokta da, alıcı noktalarındaki Yansışım Süresi değerleri arasında büyük değişim olduğudur. Yansışım Süresinin yüksek olduğu alıcı noktalarında bu frekanslarda ses varlığını daha uzun süre korumaktadır. Yansışım Süresinin düşük olduğu alıcı noktalarında ise bu frekansta ses varlığını uzun süre koruyamamakta, sesin sönümlenmesi daha kısa sürmektedir. Bu durumun alçak frekanslı seslerin hacimde daha zor dağılmalarından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 6.8 $RT_{(125-250)}$ Ortalamasının alıcı noktalarındaki dağılımı

Belli bir frekansta bir alıcı noktasında Yansışım Süresi yüksek çıkarken, bir diğer alıcı noktasında bu değerin düşük çıkması salonda sesi düzgün dağıtacak yüzeylerin yetersiz olmasına bağlıdır. Alçak frekanslı sesler dalga boylarının uzun olmasından ötürü hacimde daha zor dağılırlar. Dağılma olayında görülen bu eksiklik alçak frekanslardaki alıcı noktaları arasındaki Yansışım Süresi farklarını açıklamaya yetmektedir. Şekil 6.8'deki grafikte de görüldüğü üzere Yansışım Süresi bazı alıcı noktalarında 0,75 saniyeye dek düşerken bazı alıcı noktalarında 1,00 saniyenin üzerine çıkmıştır.

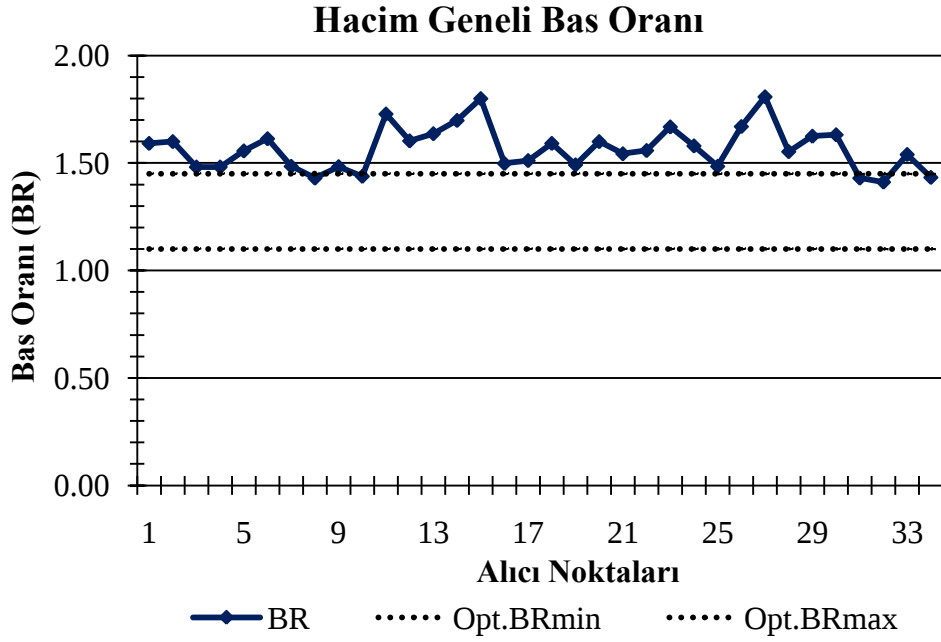


Şekil 6.9 RT₍₂₀₀₀₋₄₀₀₀₎ Ortalamasının alıcı noktalarındaki dağılımı

Yüksek frekanslı seslerin Yansışım Süresinin hacim genelinde hem Maekawa'nın hem de Barron'un önermiş olduğu optimum aralıktan düşük olduğu grafikten okunmaktadır (Bkz. Şekil 6.9). Bu durum, bu frekanslardaki seslerin hacimde diğer frekanslardaki seslerden daha fazla yutulduğunu göstermektedir. Yüksek frekanslı seslerin Yansışım Süresinin hacim içinde noktadan noktaya dağılımında ise önemli bir değişim görülmemektedir. Bunun sebebi ise yüksek frekanslı seslerin dalga boylarının kısa olmasından ötürü hacim içinde daha kolay dağılabilmeleridir. Bu da grafikte yataya yakın bir çizgiye işaret eder. Hacim içindeki alıcı noktalarında görülen yüksek frekanslı seslerin Yansışım Süresi 0,50 saniye ile 0,60 saniye gibi dar bir aralıkta değişmektedir.

6.1.2 Sıcaklığın Değerlendirilmesi

Şekil 6.4'deki Yansışım Süresi grafiğinde görülen diğer bir nokta da 125 Hz'deki değerlerin orta frekanslardaki değerlerin çok üstünde olduğudur. Bilindiği üzere müzik amaçlı da kullanılan salonlarda alçak frekanslardaki Yansışım Süresinin orta frekanslardaki Yansışım Süresine göre bir miktar daha yüksek olması beklenmektedir. Bu durum sese Sıcaklık kazandırmaktadır. Düşük Yansışım Süresinin gözlemlendiği salonlarda Bas Oranı (BR) değeri 1.1 – 1.45 arasında kabul edilmektedir (Bkz. Bölüm 3.2.6).



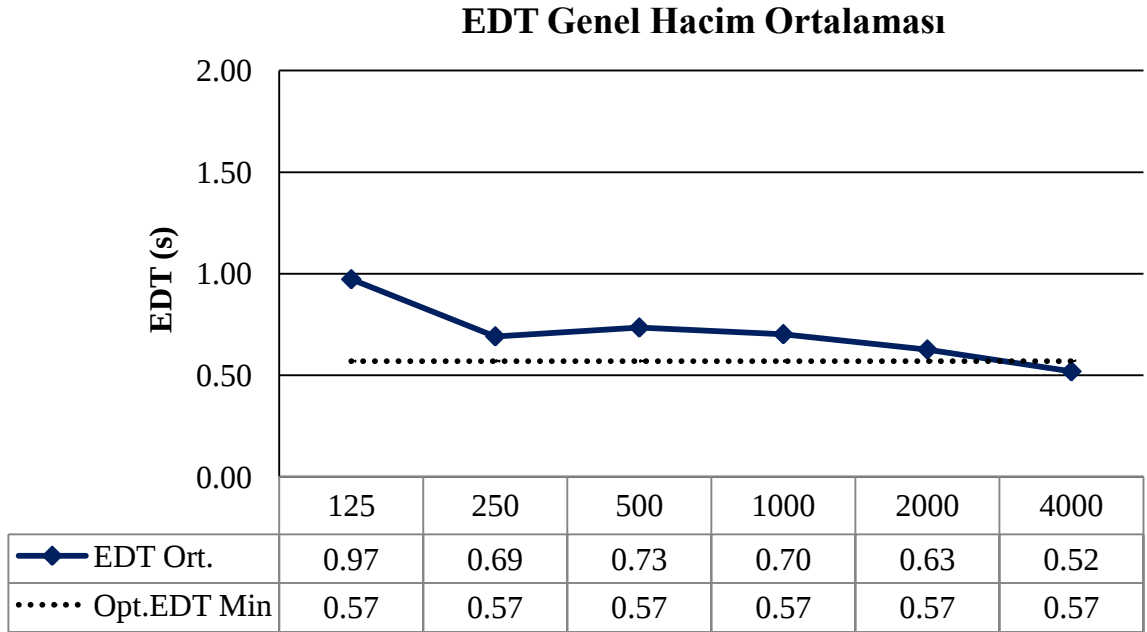
Şekil 6.10 Bas Oranının alıcı noktalarındaki dağılımı

Bu salonda ölçüm yapılan noktalarındaki Bas Oranını gösteren grafik Şekil 6.10'da yer almaktadır. Grafikteki noktalı yatay çizgiler bu hacim için uygun optimum Bas Oranı aralığını göstermektedir. Yapılan ölçümler sonucunda Bas Oranının pek çok noktada optimum değerlerin üstünde olduğu grafikten okunmaktadır. Bunun sebebi hacim genelinde alçak frekanslardaki seslerin, yüksek frekanslardaki seslere göre biraz daha az yutulmasıdır.

6.1.3 Erken Düşme Süresinin Değerlendirilmesi

Erken Düşme Süresi kapalı bir hacimde ses kaynağının kapanmasından sonra Ses Basınç Düzeyinin 10 dB düşmesi için gereken süre olarak tanımlanabilmektedir. İnsan kulağı kaynağın kapanmasından sonraki sesin sönümlenmesinin bu ilk kısmına karşı daha duyarlıdır. Erken Düşme Süresi, yansımış sesle ilişkili olan RT'den farklı olarak, büyük oranda erken yansımalarla ilişkilidir (Mehta, 1999).

Salonda ölçüm yapılan alıcı noktalarından 7, 10, 12, 27 ve 31 no'lu koltuklarda aşırı yüksek EDT değerlerinin çıkmasından ötürü bu noktalar ortalamaya alınmamışlardır. Böyle bir durum teknik bir sorundan ya da ölçüm sırasında yanlışlık yapılmış olmasından kaynaklanıyor olabilir.



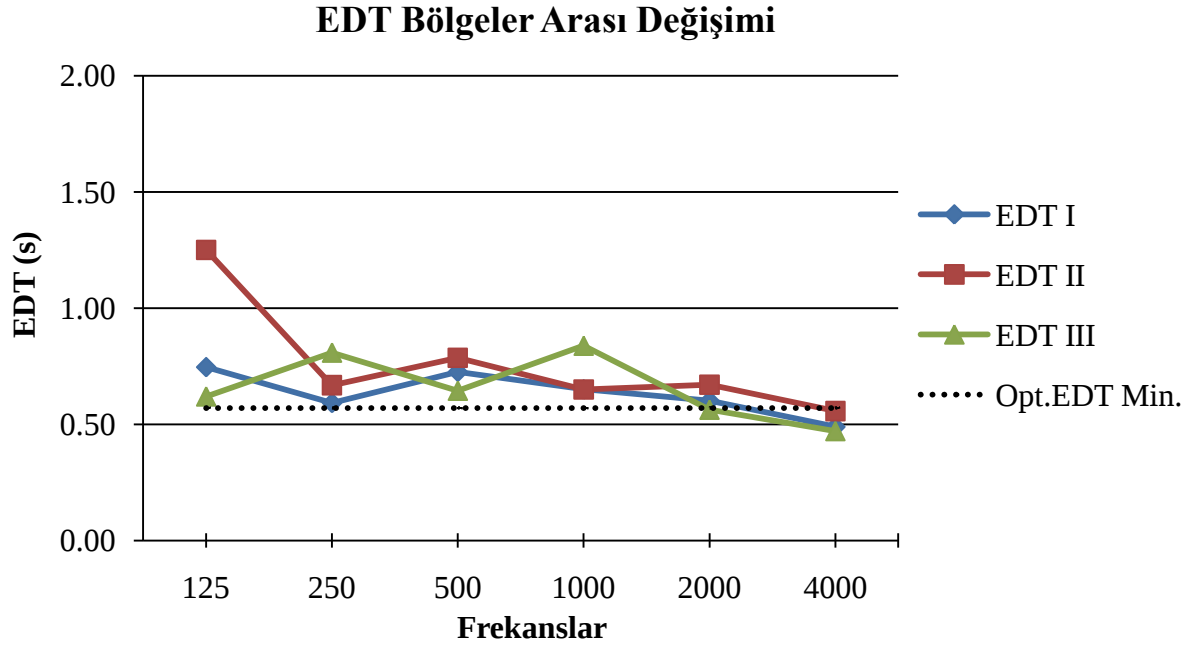
Şekil 6.11 Hacim genelinde Erken Düşme Süresinin frekanslara göre değişimi

Erken Düşme Süresinin kabul edilebilir minimum değerinin belirlenmesinde Gade tarafından önerilmiş olan denklem kullanılmıştır. Gade Avrupa'daki konser salonları üzerinde yapmış olduğu detaylı çalışmalar sonucunda, ölçülmüş olan EDT ve RT değerleri arasında bir ilişki tespit etmiş ve EDT için RT cinsinden uygun bir değer belirlemiştir (Bkz. Bölüm 3.1.2.2). Gade'e göre 0,70 saniyelik Yansıma Süresine sahip bu salon için kabul edilebilir minimum EDT değeri 0,57 saniyedir. Şekil 6.11'deki grafikte yapılan ölçümler sonucunda elde edilen Erken Düşme Süresi (EDT) değerlerinin ortalamalarının frekanslara göre dağılımı görülmektedir. Grafikteki değerlerin 4000 Hz frekansı hariç tüm frekanslarda optimum değerlerin üstünde olduğu görülmektedir. 4000 Hz'de optimum değer altına düşülmesi, bu frekanstaki hacim toplam yutuculuğunun yüksek olduğunu göstermektedir. Grafik kendi içinde incelendiğinde ise sesin frekansının artmasıyla Erken Düşme Süresinin düştüğü görülmektedir. 125 Hz'de Erken Düşme Süresi yüksek çıkarken, frekansın artmasıyla 4000 Hz'de Erken Düşme Süresi çok daha düşük çıkmıştır. Bu durum da Şekil 6.4'deki Yansıma Süresi grafiğinde görülmüştür. Her iki parametre için de tüm frekanslarda birbirine yakın değerlerin elde edilmesi sesin salonda tek eğimli bir düşüşle sönmüldüğünü göstermektedir (Bkz. Şekil 3.6a). 125 Hz'de diğer frekanslardaki değerlere göre daha yüksek bir değer çıkması ise bu frekanstaki sesleri yutacak titreşen levhaların ve erken yansıma gönderecek

yüzeylerin yetersizliğinden kaynaklandığı düşünülebilir. Aynı durumun Yansıma Süresi için de geçerli olduğu bilinmektedir.

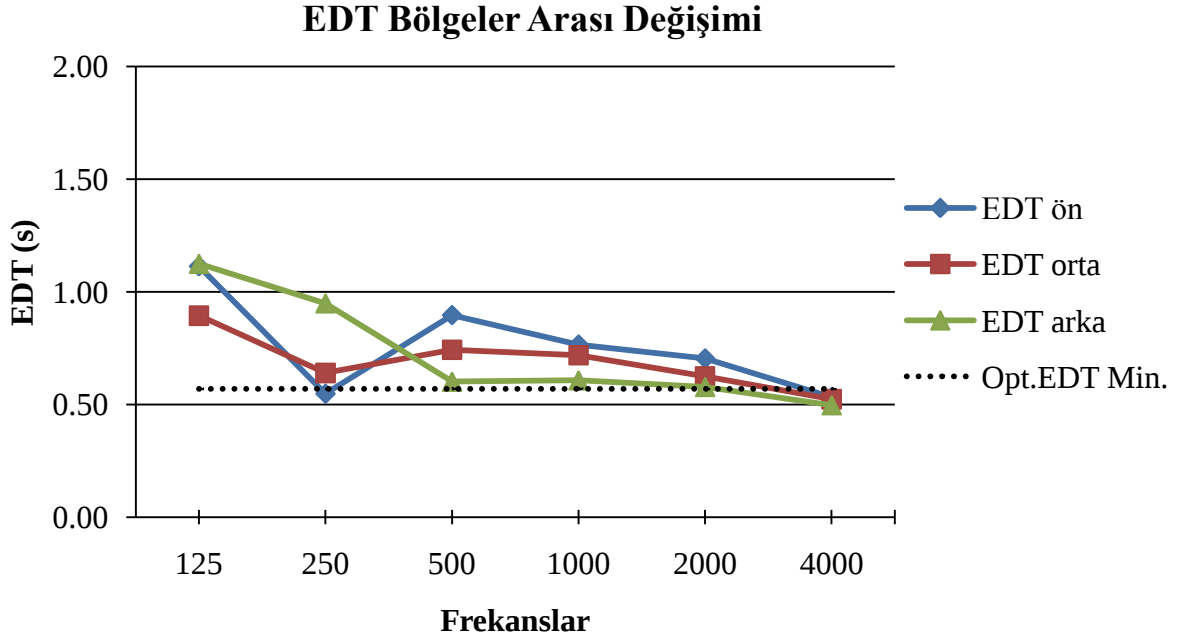
EDT değerleri hacim içinde noktadan noktaya değişmekte ve bölgeler arasında farklı değerler görülmektedir. Bölgeler arasındaki bu değişimler Şekil 6.12 ve

Şekil 6.13’de görülmektedir.



Şekil 6.12 I. – II. III. Bölgeler arasındaki Erken Düşme Süresinin değişimi

Şekil 6.12’te görüldüğü üzere her üç bölgede de tüm frekanslarda EDT değerleri birbirine yakındır ve 4000 Hz dışında tüm frekanslarda parametre değerleri kabul edilebilir minimum EDT sınırının üstündedir. 4000 Hz’deki düşüş yüksek hacim toplam yutuculuğu ile açıklanmaktadır. EDT değerlerinin her bölgede birbirine bu kadar yakın çıkması ise, sesin salonda düzgün bir şekilde yayılmış olmasından kaynaklanmaktadır. Bu aranan olumlu bir durumdur. Bu durumun tek istisnası 125 Hz frekansında görülmektedir. Bu frekansta II. bölgede EDT değeri diğer bölgelerdeki değerlerin çok üzerine çıkmıştır. Bu durum II. bölgede 125 Hz frekansındaki sesleri yutacak yüzey malzemelerinin yetersizliği ve bu bölgenin bu frekansta yeterince erken yansıma alamaması olasılığı ile açıklanabilmektedir. Netlik parametresinin bölgeler arası değişiminin incelendiği Şekil 6.20’deki grafikte de II. Bölgenin 125 Hz’deki düşük C_{80} değeri alması, bu durumu desteklemektedir.

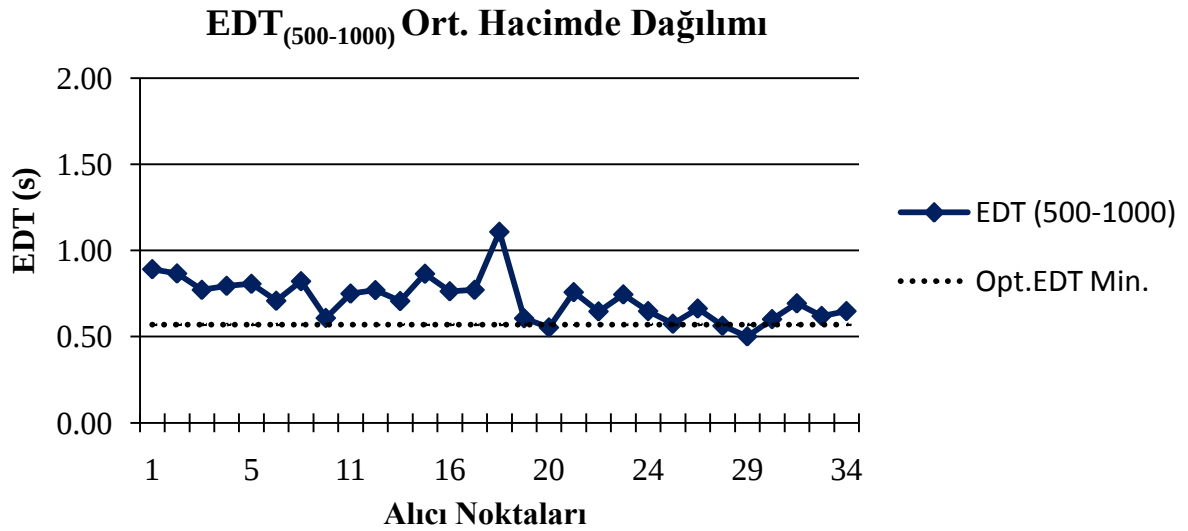


Şekil 6.13 Ön – Orta – Arka Bölgeler arasındaki Erken Düşme Süresinin değişimi

Şekil 6.13’de görülen grafikte ise 500 Hz ve üzerindeki frekanslarda kaynaktan uzaklaşılmasıyla EDT değerlerinde bir düşüş gözlemlenmektedir. En düşük değerler arka bölgededir ve 500 Hz ile 4000 Hz arasındaki parametre değerleri birbirlerine oldukça yakındır. Diğer bölgelerde bu frekans aralığında parametre değerleri arasında bu derece bir yakınlık görülmemektedir. Arka bölgede bu değerlerin birbirlerine yakın çıkması burada bu frekanslardaki sesleri yutacak yüzey malzemelerinin düzgün dağıldığını gösterirken, değerlerinin düşük çıkması bu bölgede sesin yüksek oranda yutulmasıyla açıklanabilmektedir. 125 Hz ve 250 Hz frekansları için ise durum tam tersidir. Arka bölgede bu frekanslardaki sesin yutulması daha yavaştır, dolayısıyla da EDT değerleri yüksek çıkmıştır. Bu durum arka bölgede titreşen levhaların yetersizliği ve bölgeye bu frekanslarda yeterince erken yansıma ulaşmaması ile açıklanabilmektedir. Netlik parametresinin incelendiği Şekil 6.21’deki grafikte de görüldüğü üzere arka bölge, 125 Hz ve 250 Hz’de düşük değerler almıştır. Bu durum bu bölgenin yetersiz erken yansıma alması, dolayısıyla da yüksek EDT değerlerine sahip olmasıyla uyusmaktadır. Orta bölgede ise genel hacim ortalaması grafiğindeki eğriye benzer bir EDT eğrisi görülmektedir. Genel hacim ortalaması eğrisinin orta bölge eğrisine benzemesi, hacim genel ortalamasının büyük oranda orta bölgeden etkilendiğini gözler önüne

sermektedir. Orta bölgede parametre değerleri alçak frekanslarda yüksek, yüksek frekanslarda ise düşük çıkmıştır. Ön bölgede ise 125 Hz’de EDT değerleri yüksek çıkarken, 250 Hz’de düşük çıkmıştır. Bu durum ön bölgede 250 Hz’deki sesleri yutacak ve erken yansıma gönderecek yüzey malzemelerinin çokluğu ile açıklanabilmektedir. Bu malzemelerin hemen sahne yanındaki ahşap paneller olduğu düşünülmektedir.

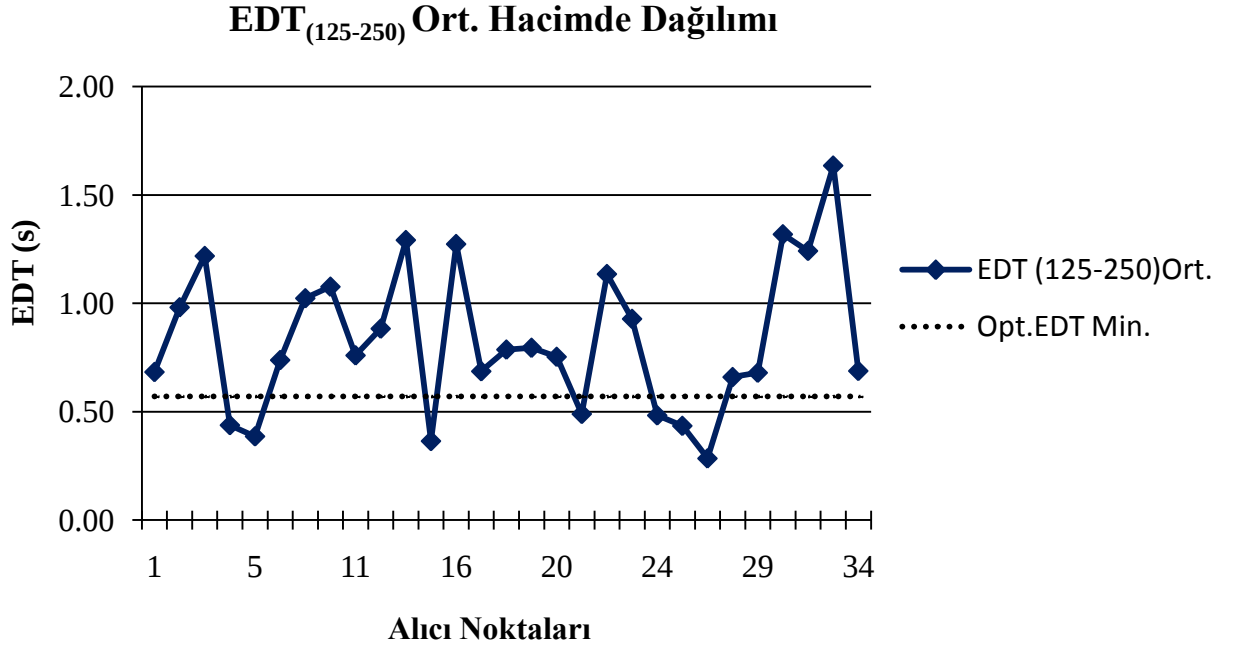
Mevcut salonun müzik amaçlı kullanımında ortalama $EDT_{(500-1000)}$ değeri $1,1 RT_{(500-1000)}$ değerine kadar çıkabilmektedir (Mehta v.d.,1999). Bu salon için $RT_{(500-1000)}$ değeri 0,72 iken, $EDT_{(500-1000)}$ değeri 0,74’tür. EDT ve RT değerlerinin birbirlerine bu kadar yakın çıkması ise sesin salonda tek eğimli bir düşüş eğrisi ile söndüğünü göstermektedir. Erken Düşme Süresinin düşük değerler alması salonda müziğin net bir şekilde algılanabilmesini sağlamaktadır. Ancak Yansıma Süresinin düşük değerler alması sesin salonu doldurmada yetersiz kaldığını ve salonda Canlılığın sağlanamadığını göstermektedir.



Şekil 6.14 $EDT_{(500-1000)}$ Ortalamasının alıcı noktalarındaki dağılımı

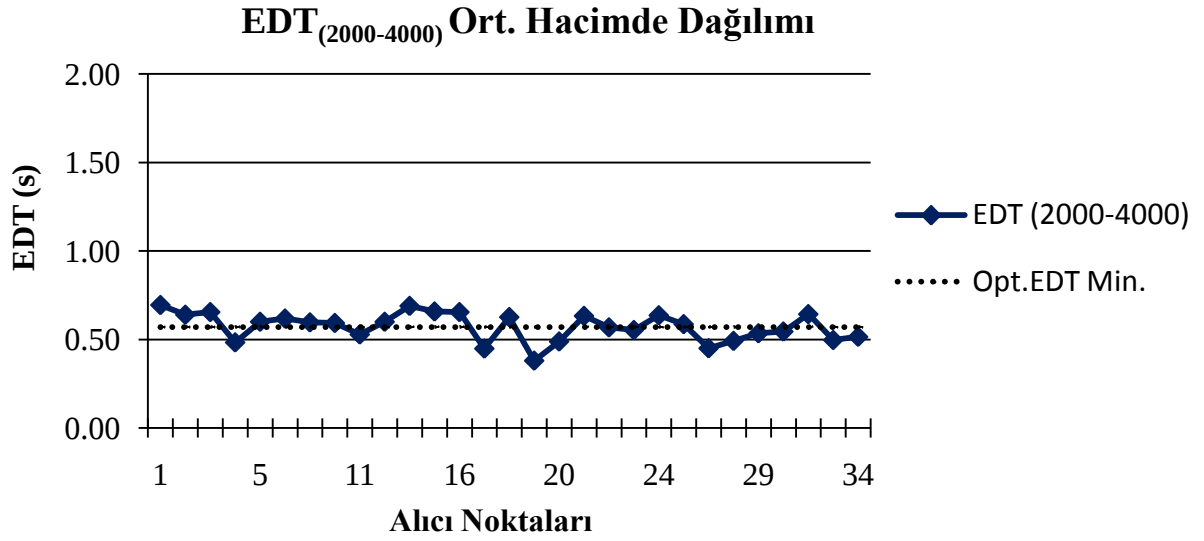
Şekil 6.14’deki grafikte ise salondaki $EDT_{(500-1000)}$ değerlerinin dağılımı görülmektedir. Grafik üzerindeki noktalı yatay çizgi bu hacim için kabul edilebilir minimum Erken Düşme Süresi alt sınırını göstermektedir. Kabul edilebilir minimum EDT alt sınırı Gade’in önermiş olduğu yöntemle tespit edilmiştir. Bu salon için bu değer 0,57 saniyedir. Grafikte görüldüğü üzere alıcı noktalarındaki EDT değerleri, birkaç nokta dışında minimum EDT değerinden yüksektir. Dikkat edilmesi gereken diğer bir konu da noktalar arasındaki EDT değerlerinin dağılımının

RT değerlerinin dağılımına göre daha düzensiz olmasıdır. Değerler bazı alıcı noktalarında 0,50 saniyeye inerken, bazı noktalarda 1,11 saniyeye kadar yükselmektedir. Bu bakımdan EDT değerleri RT'ye göre ortalamadan çok daha fazla sapma göstermektedirler. Bunun sebebi de EDT'nin hacim geometrisinden, dolayısıyla da erken yansılardan çok daha fazla etkilenmesidir.



Şekil 6.15 EDT₍₁₂₅₋₂₅₀₎ Ortalamasının alıcı noktalarındaki dağılımı

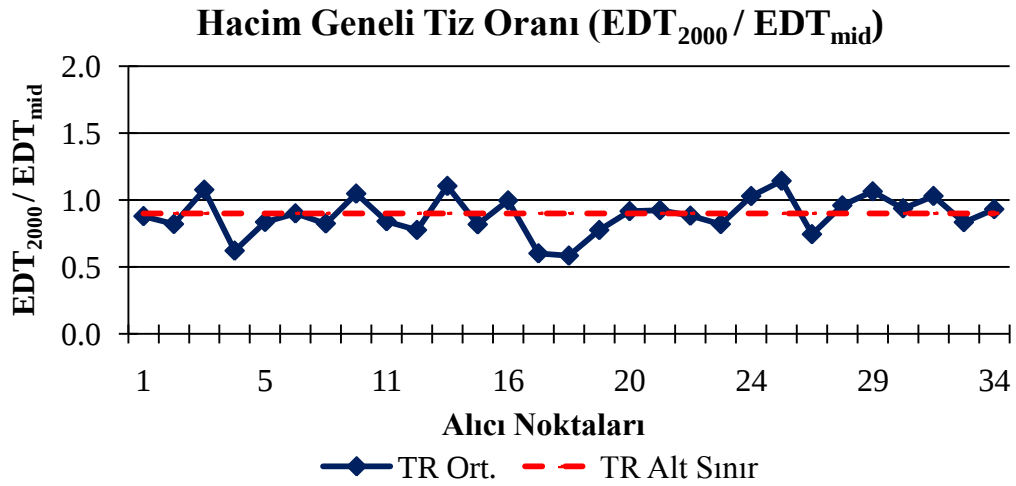
Şekil 6.15 ve Şekil 6.16'daki grafiklerde ise Erken Düşme Süresinin alçak ve yüksek frekanslarda hacim genelinde dağılımları görülmektedir. Grafiklerden de okunduğu üzere alçak frekanslarda Erken Düşme Süresinin hacim içinde dağılımında büyük sapmalar gözlenmektedir. Bunun sebebi alçak frekanslarda sesin düzgün bir şekilde dağılamamasıdır. Alçak frekanslarda sesin dalga boyunun uzun olmasından ötürü dağılması daha zordur, bu da grafikteki büyük değişimleri açıklamaktadır. Yüksek frekanslarda ise sesin düzgün dağılması daha kolaydır. Yüksek frekanslı seslerin dalga boylarının kısa olması hacim genelinde düzgün dağılmalarını sağlamaktadır. Bu yüzden de yüksek frekanslı seslerin Erken Düşme Sürelerinin hacim genelinde dağılımının çok daha düzenli olduğu saptanmış ve grafikte daha küçük sapmaların olduğu bir eğriyle ifade edilmiştir.



Şekil 6.16 EDT₍₂₀₀₀₋₄₀₀₀₎ Ortalamasının alıcı noktalarındaki dağılımı

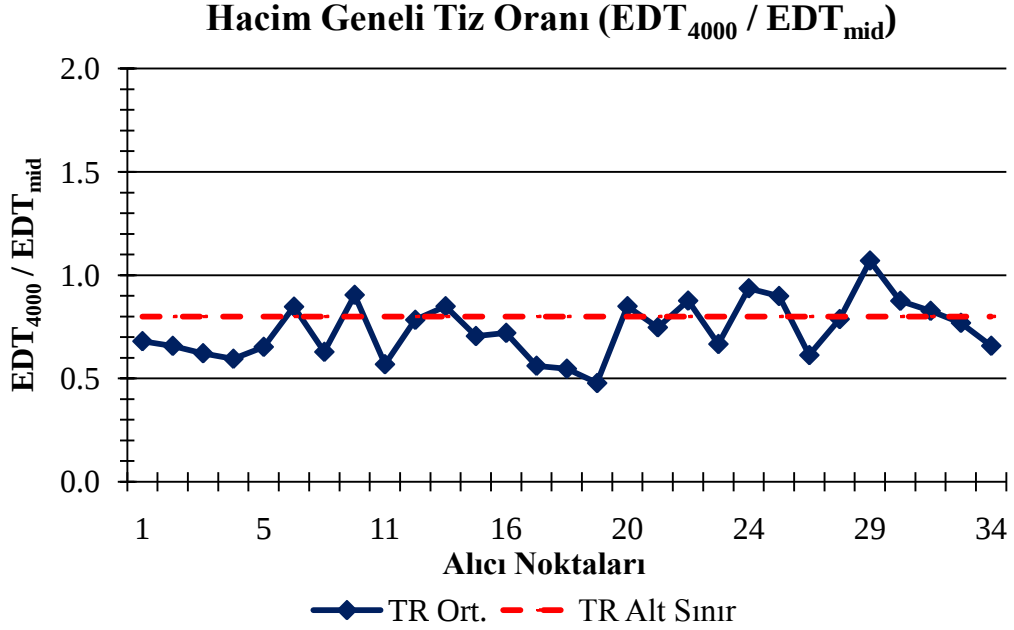
6.1.4 Parlaklığın Değerlendirilmesi

Salonun Parlaklık açısından incelenmesinde Tiz Oranı olarak $TR = EDT_{2000} / EDT_{mid}$ oranı ve $TR = EDT_{4000} / EDT_{mid}$ oranı kullanılmaktadır.



Şekil 6.17 Alıcı noktalarındaki (EDT_{2000}/EDT_{mid}) Tiz Oranı dağılımı

Parlaklığın sağlanabilmesi için bu oranlar sırasıyla 0,9 ve 0,8 değerlerinden yüksek olmalıdır (Mehta vd.,1999). Şekil 6.17 ve Şekil 6.18'deki grafiklerde bu her iki oranın hacim içinde dağılımı görülmektedir. Grafiklerdeki kesikli yatay çizgiler Parlaklığın sağlanması için gerekli olan minimum değerleri ifade etmektedirler.



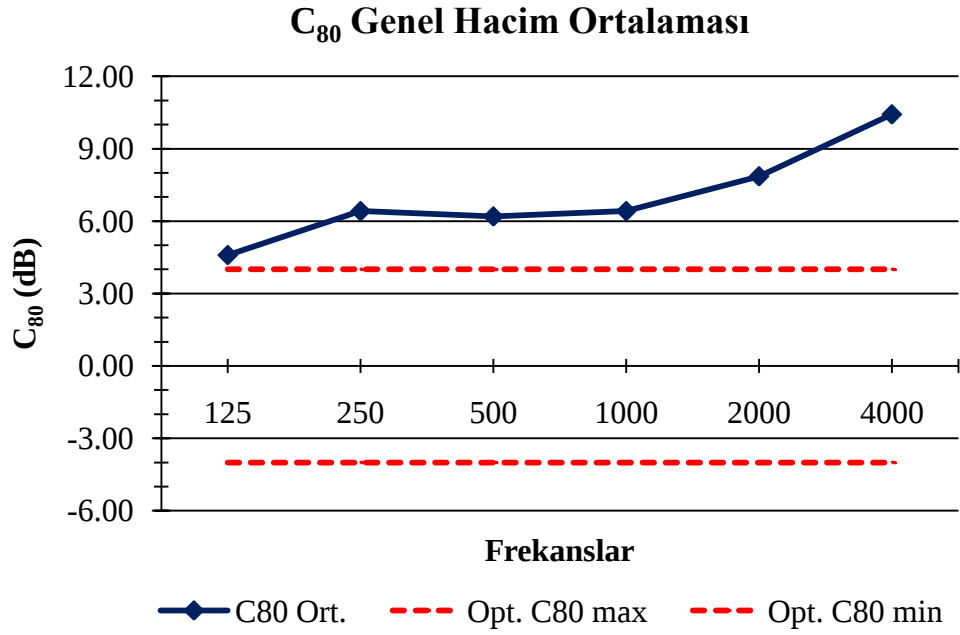
Şekil 6.18 Alıcı noktalarındaki (EDT_{4000}/EDT_{mid}) Tiz Oranı dağılımı

Grafiklerden de okunduğu üzere Parlaklık hacimde sadece bazı noktalarda sağlanabilmektedir. Grafiklerdeki yatay çizginin üzerine çıkmış olan değerler Parlaklığın sağlandığı alıcı noktalarını göstermektedir. Bu durum yüksek frekanslarda düşük EDT değerleri görülmesinden kaynaklanmaktadır.

6.1.5 Netliğin Değerlendirilmesi

Netlik, kapalı bir hacimde kaynağın açılmasından sonra bir alıcı noktasına ilk 80 ms içinde gelen ses enerjisinin, bu süreden sonra gelen ses enerjisine logaritmik oranı olarak tanımlanmaktadır. Bu parametrenin negatif değerler alması, alıcı noktasına ilk 80 ms içinde gelen ses enerjisinin, bu süreden sonra gelen ses enerjisine göre daha az olmasıyla açıklanabilir. Parametrenin pozitif değerler alması ise alıcı noktasına ilk 80 ms içinde gelen ses enerjisinin, bu süreden sonra gelen ses enerjisinden daha fazla olmasıyla açıklanabilmektedir. Parametrenin pozitif değerler aldığı durumlarda erken yansımalar yüksektir. Şekil 6.19'daki grafikte salonda ölçülen değerlerin ortalamalarının frekanslara göre dağılımı görülmektedir. Grafikte görüldüğü üzere tüm frekanslar için Netlik parametresi değerleri Beranek'in (1996) konser salonlarını değerlendirmede kullandığı (-4) – (+4) dB aralığındaki optimum değerlerin üzerindedir. Bunun anlamı salonda erken yansımaların

yüksek, buna karşın yansımış ses enerjisinin yetersiz olmasıdır. Yansımış ses enerjisi ile ilişkili olan Yansışım Süresi değerlerinin optimum değerlerin altında olması bu durumu açıklamaktadır. (Bkz. Şekil 6.4) Şekil 6.19'deki grafik kendi içinde değerlendirildiğinde ise frekansların yükselmesiyle Netlik değerlerinin de yükseldiği görülmektedir. Bu da yüksek frekanslarda daha düşük yansımış ses alanı varlığına işaret etmektedir. Zaten ölçüm sonuçlarına bakıldığında Yansışım Süresinin yüksek frekanslar için alçak frekanslara göre daha düşük değerler aldığı görülmektedir (Bkz. Şekil 6.4).

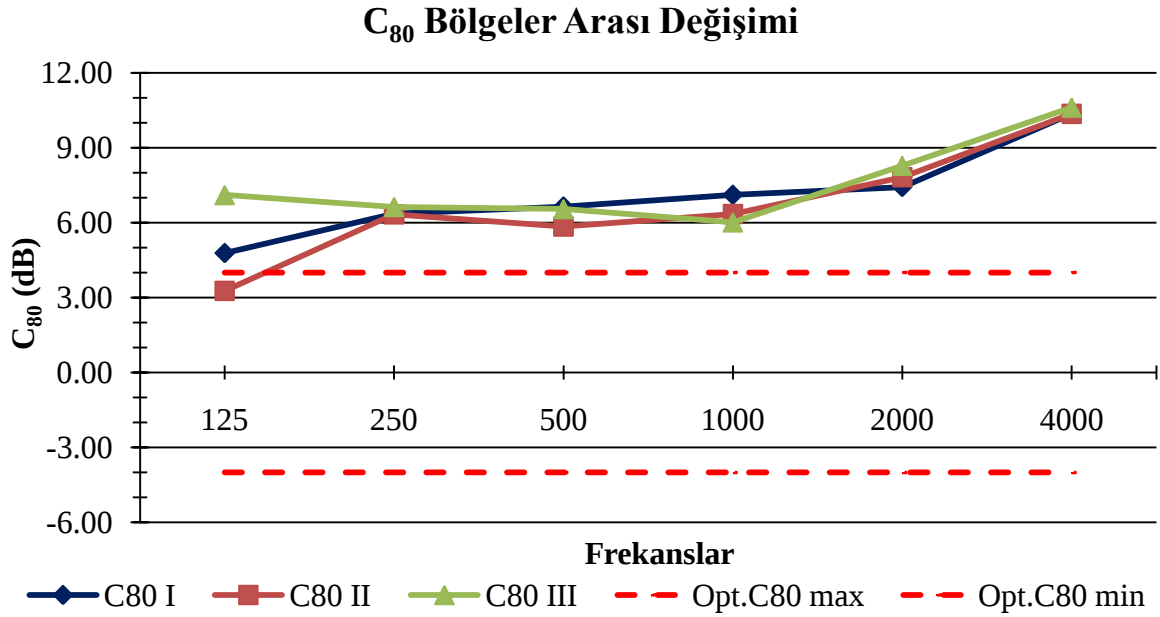


Şekil 6.19 Hacim genelinde C₈₀ Netlik parametresinin frekanslara göre değişimi

C₈₀ değerlerinin yüksek pozitif değerler alması, salonda erken yansımaların yüksek olduğunu göstermektedir. Yansıtıcı ahşap yonga panellerden oluşan akustik tavan ve yan duvarlar ilk 80 milisaniye içinde sesleri dinleyicilere yönelterek sesin Netliğini arttırmaktadır. Ancak bilindiği üzere yüksek C₈₀ değerleri yüksek Netlik getirirken, hacimde düşük ses dolgunluğunun habercisidir. Böyle bir durumda ses salonu doldurmakta yetersiz kalır ve salon ölü ve kuru olarak algılanır. 125 Hz frekansında C₈₀ değerinin düşük çıkması ise bu frekanstaki erken yansımaların düşük kalması ile açıklanabilmektedir. Alçak frekanslı seslerin dalga boyları uzundur ve hacim yüzeylerinde düzgün yansıma yapabilmek için dalga boylarından büyük yüzeylere gereksinim duyarlar. Salonda bu frekanstaki sesi yansıtacak büyüklükteki yüzeylerin yetersiz olması düşük C₈₀ değerlerini açıklamaktadır. EDT

grafiğinde 125 Hz frekansında diğer frekanslara göre daha yüksek bir değer çıkması da bu durumu desteklemektedir (Bkz. Şekil 6.11).

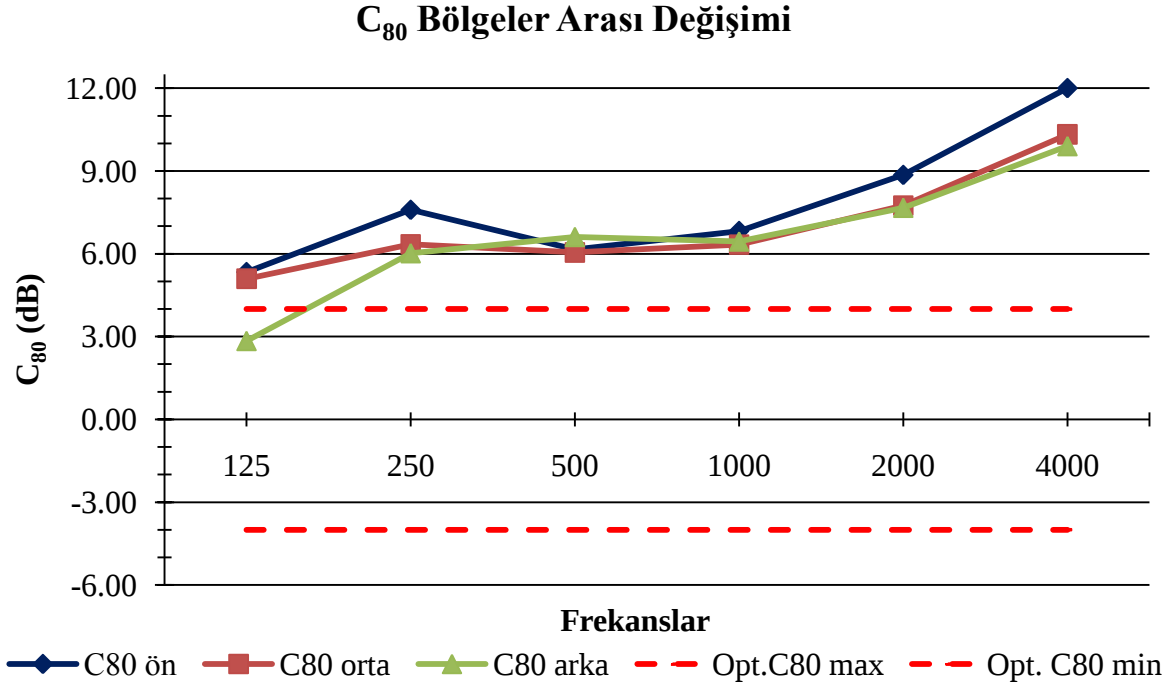
Salondaki Netlik parametresinin bölgelere göre dağılımı incelendiğinde ise bazı değişimler gözlemlenmiştir. Bu değişimler Şekil 6.20 ve Şekil 6.21'deki grafiklerde görülmektedir.



Şekil 6.20 I.-II.-III. bölgeler arasındaki C₈₀ Netlik değerleri değişimi

Şekil 6.20'deki grafikte Netlik parametresinin salondaki I. II. ve III. bölgeler arasındaki dağılımı görülmektedir. Bu grafik incelendiğinde parametre değerlerinin birbirlerine yakın çıkmasından ötürü bölgeler arasında büyük uyum görülmektedir. Bu da bölgeler arasında sesin düzgün yayıldığını ve salonda düzgün yayılmışlığın sağlandığını göstermektedir. 125 Hz frekansında ise bölgeler arasındaki parametre değerleri değişimi fazladır. Bu değişimin nedeni Netlik parametresinin erken yansılardan ve hacim geometrisinden etkilenmesidir. 125 Hz'de sesin dalga boyunun uzun olması ve düzgün yansıyabilmek için büyük yüzeylere gereksinim duyması, bu frekanstaki parametre değerlerinin bölgeden bölgeye değişim göstermesini kaçınılmaz kılmaktadır. Hacim gözlemlendiğinde ve yansıtıcı duvar ve tavan panellerine bakıldığında 125 Hz sesin dalga boyuna karşılık gelen 2,75 m ölçüsünden daha büyük levhaların pek de fazla kullanılmadıkları görülmektedir. 125 Hz'de en düşük değerler II. bölgede çıkmıştır. Bunun anlamı bu bölgenin 125 Hz'de yeterli erken yansıma alamamasıdır. Salonda yanlarda kalan I. ve III. bölgenin 125 Hz'deki parametre değerleri ise

daha yüksektir. Bu da bu bölgelerin 125 Hz’de daha fazla erken yansıma almalarıyla açıklanabilir. Bu bölgelere bu frekanstaki erken yansımaların yan duvarlardan ulaştığı düşünülmektedir.

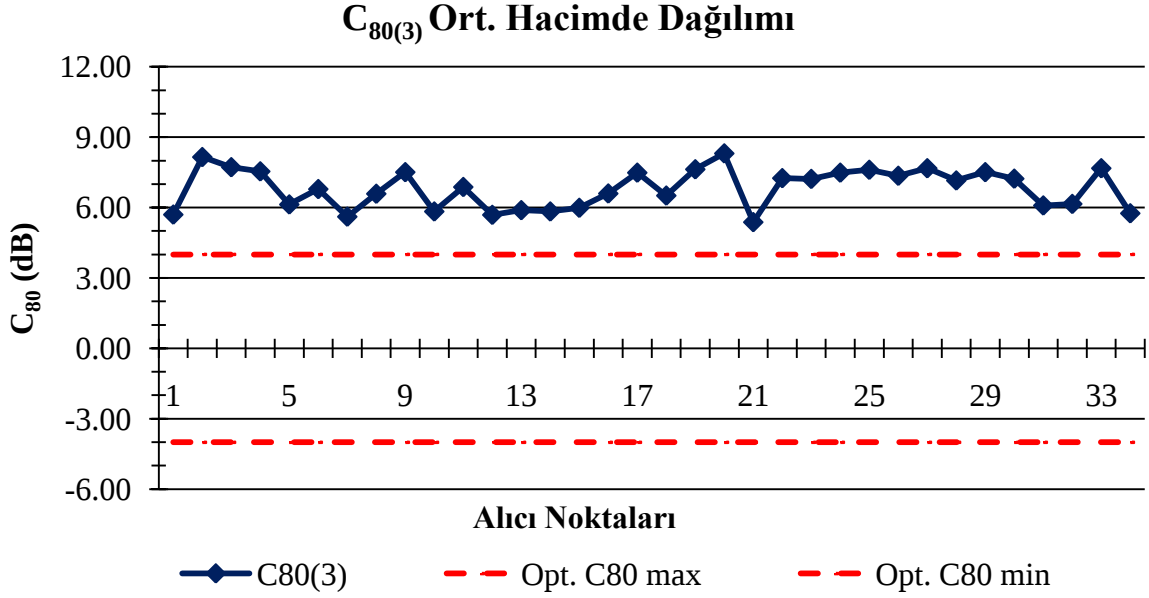


Şekil 6.21 Ön-Orta-Arka Bölgeler arasındaki C₈₀ Netlik değerleri değişimi

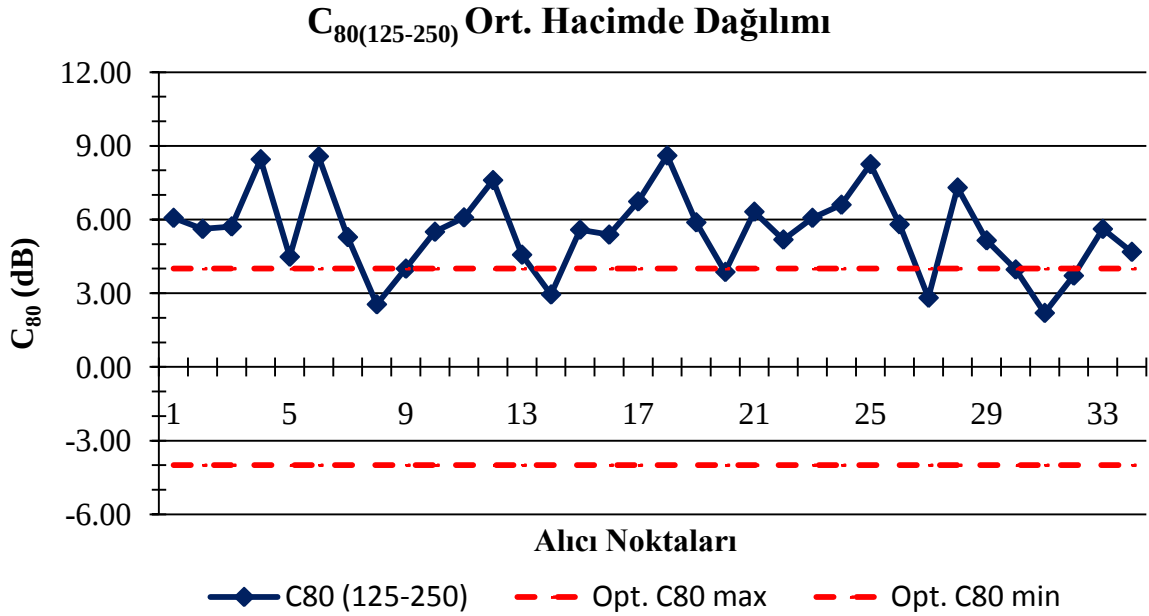
Şekil 6.21’de görülen ön – orta – arka bölgeler arasındaki Netlik değişimi incelendiğinde ise genel olarak değerlerin salonun arkasına doğru düşmekte olduğu görülmektedir. Bu düşüş en belirgin olarak 125 Hz frekansında görülmektedir. Orta frekanslarda tüm bölgelerin değerleri birbirlerine yaklaşmakta, yüksek frekanslarda ise ön bölge değerleri diğer bölgelerin değerlerine göre yükselmektedir. Değerlerin yüksek olması, bu bölgelere daha fazla erken yansıma ulaştığı şeklinde yorumlanabilir. Arka bölgenin düşük değerler alması akustik tavanın ve yan duvarların arka koltuklara ön koltuklara gönderdiklerinden daha az erken yansıma göndermeleriyle açıklanabilir.

C₈₀ parametresi değerlendirilirken, değerlendirmeye 500, 1000 ve 2000 Hz verilerinin ortalaması alınmaktadır ve optimum değerleri +4dB ile -4dB arasında değişmektedir (Beranek, 1996). Bu değerlendirme parametrenin arkasına parantez içinde ⁽³⁾ yazılarak ifade edilir. C₈₀ parametresinin erken yansımalarla yakından ilişkili olmasından ötürü, hacim

geometrisinin etkisinin alıcı noktaları arasındaki değerlerin dağılımına yansması Şekil 6.22'deki grafikte oldukça açık bir şekilde okunmaktadır. Grafikteki kesikli kalın çizgiler parametrenin optimum değer aralığını göstermektedir. Grafikte görüldüğü üzere alıcı noktaları arasındaki C_{80} değerleri birbirlerinden oldukça farklı olabilmektedir.

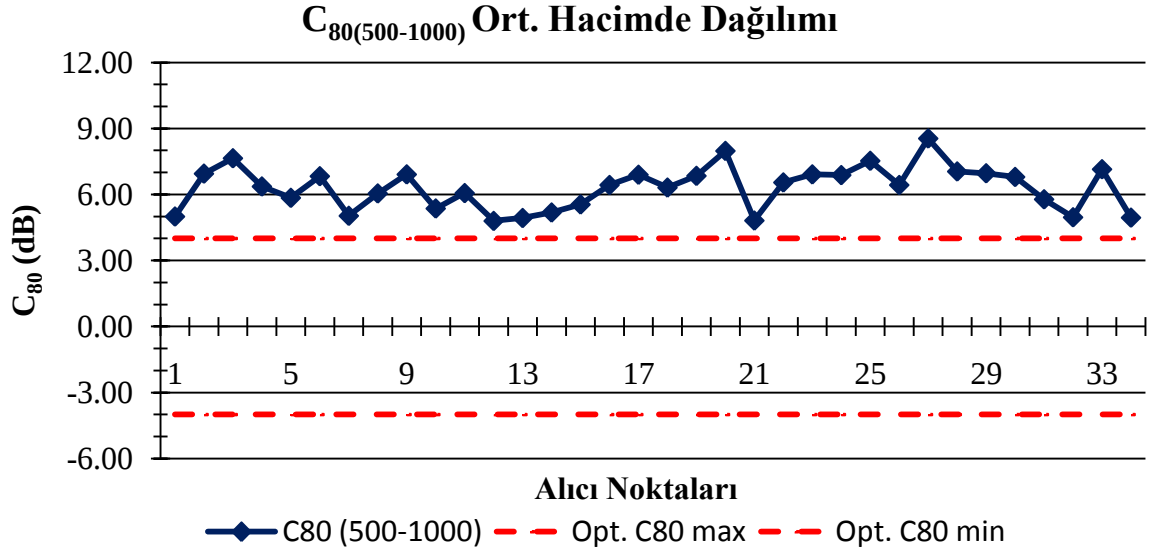


Şekil 6.22 $C_{80(3)}$ ortalamasının alıcı noktalarındaki dağılımı

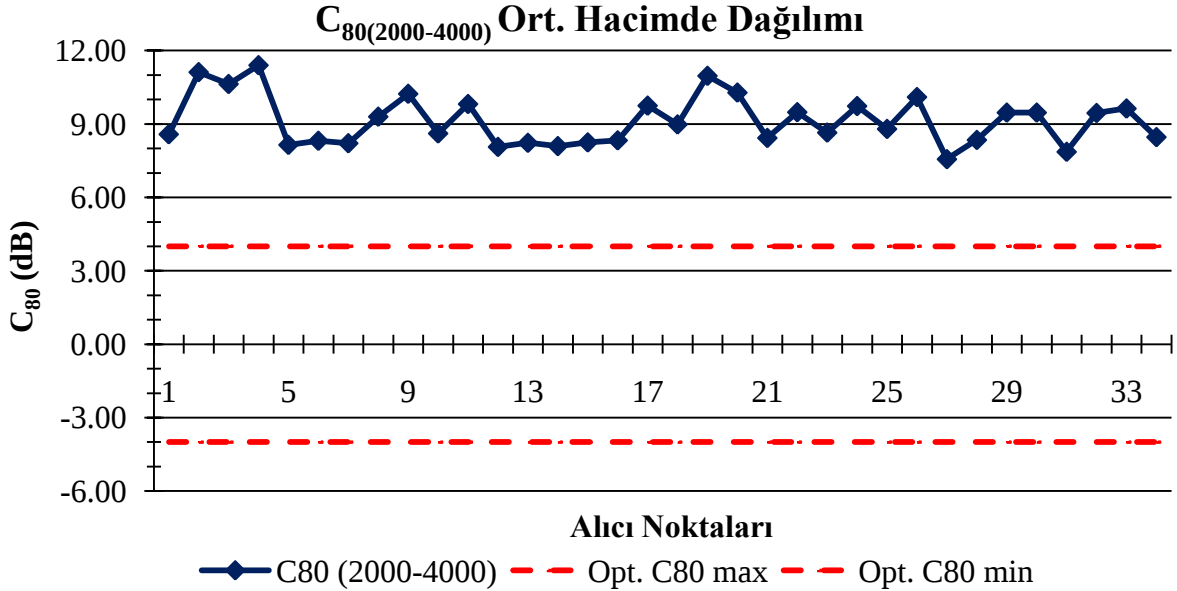


Şekil 6.23 $C_{80(125-250)}$ ortalamasının alıcı noktalarındaki dağılımı

Netlik parametresinin frekans gruplarına göre incelenmesi sonucu Şekil 6.23, Şekil 6.24 ve Şekil 6.25'deki grafikler elde edilmiştir. Bu tarz alçak, orta ve yüksek frekanslara göre bir inceleme ISO 3382 Standardı tarafından önerilmektedir. Bradley ve Soulodre yapmış oldukları çalışmalarda da bu sistemi kullanmışlardır. Bu bakımdan böyle bir değerlendirme sistemini bu çalışma kapsamında da vermek uygun görülmüştür (Barron, 2005).



Şekil 6.24 $C_{80(500-1000)}$ ortalamasının alıcı noktalarındaki dağılımı

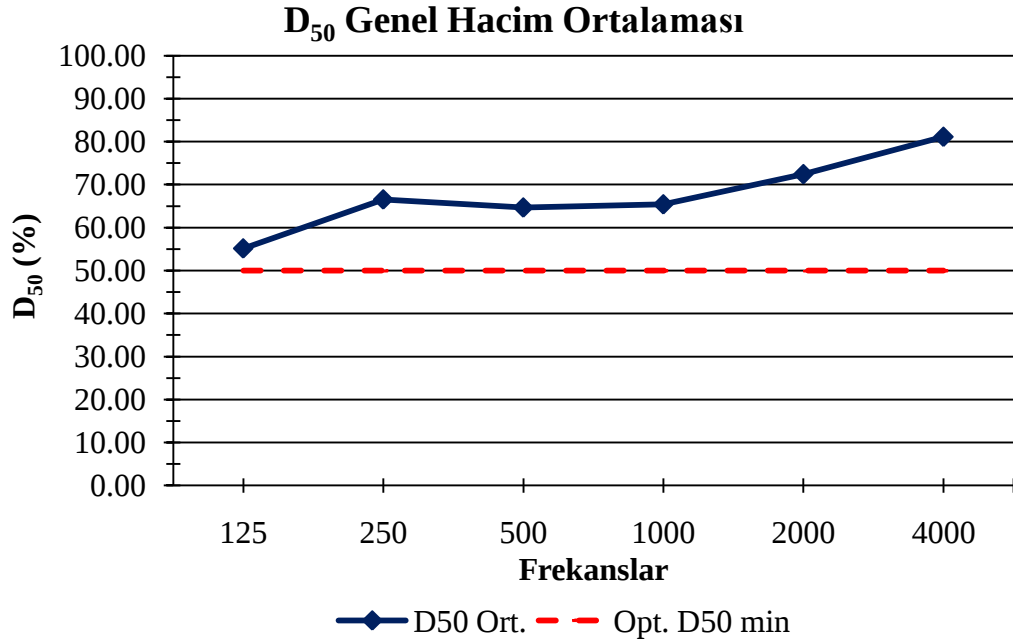


Şekil 6.25 $C_{80(2000-4000)}$ ortalamasının alıcı noktalarındaki dağılımı

Grafiklerden de okunduğu üzere alıcı noktaları arasında en büyük değişim alçak frekans alanında görülmektedir. Frekans yükseldikçe alıcı noktaları arasındaki değişim azalmaktadır. Bu durum alçak frekanslı seslerin dalga boylarının uzun olmasından ötürü yeterli boyutta yüzey bulamayıp düzgün dağılamamalarıyla açıklanabilir. Yüksek frekanslı seslerin dalga boyları ise kısadır, bu bakımdan da hacim genelinde düzgün dağılmaları çok daha kolaydır. Bu da yüksek frekanslarda parametre değerleri arasındaki değişimin düşük olmasını açıklar.

6.1.6 Ayırt Edilebilirliğin Değerlendirilmesi

Ayırt Edilebilirlik bir alıcı noktasına, ses kaynağının açılmasından sonraki ilk 50 milisaniye içinde gelen ses enerjisinin, bu alıcı noktasına kaynağın açılmasından sonra gelen tüm ses enerjisine oranı olarak tanımlanmış bir parametredir. Bu parametrenin değerleri yüzde (%) ile ifade edilmektedir. % 50 üzerindeki D_{50} değerleri sesin ayırt edilebilirliğinin yeterli olduğunu göstermektedir, çünkü bu oran % 90'lık anlaşılabilirliğe denktir (Bkz. Bölüm 3.1.1.1). Şekil 6.26'daki grafikte salonda ölçülen değerlerin ortalamalarının frekanslara göre dağılımı ve optimum alt sınır olan % 50 değeri kesikli kalın bir çizgi olarak görülmektedir.

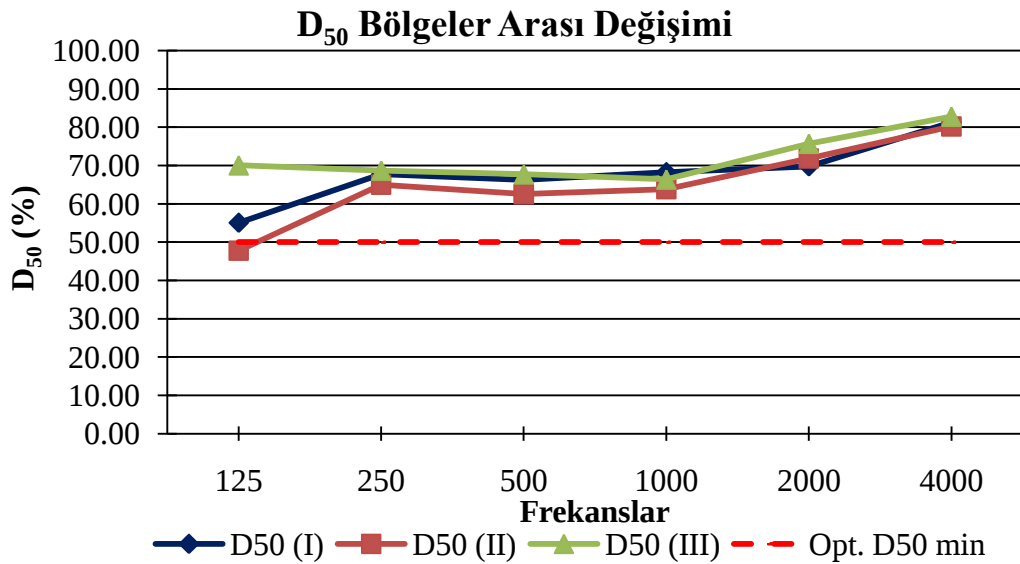


Şekil 6.26 Hacim genelinde D_{50} Ayırt Edilebilirlik parametresinin frekanslara göre değişimi

Şekil 6.26'deki grafikte 125 Hz dışındaki tüm frekanslarda Ayırt Edilebilirlik parametresinin % 65 ve üzeri düzeyde olduğu görülmektedir. Bu bakımdan salonda konuşmanın

anlaşılabilirliği oldukça yüksek düzeyde sağlanmış olmaktadır. 125 Hz’de bir düşüş gerçekleşmesinin sebebi akustik tavanın ve duvarları kaplayan ahşap yüzeylerin bu dalga boyunda erken yansıma göndermede yetersiz kalması şeklinde yorumlanabilir. Aynı durum Netlik parametresinin değerlendirilmesinde de ortaya çıkmış ve 125 Hz’de erken yansımaların yetersiz olduğuna bu parametre değerlendirilirken de değinilmiştir. Yüksek frekanslarda ise Ayırt Edilebilirlik değerleri erken yansımaların artmasıyla yükselmiştir.

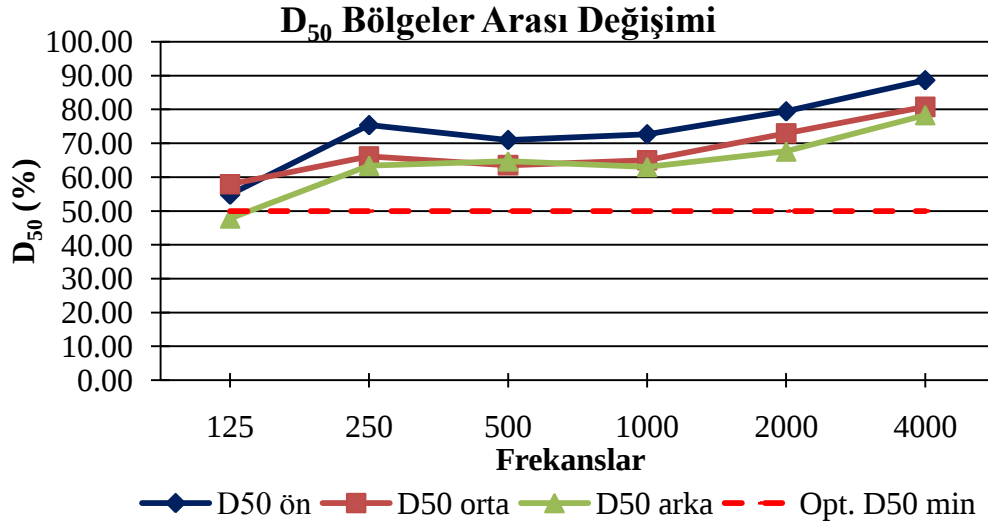
Salonda yapılan ölçümler sonucunda elde edilen değerler bölgeler arasında karşılaştırıldıklarında, bu bölgeler arasında parametre değerleri açısından büyük farklar gözlemlenmemiştir. Değerler her bölgede de diğerlerine paralel sonuçlar göstermektedirler (Bkz. Şekil 6.27 ve Şekil 6.28).



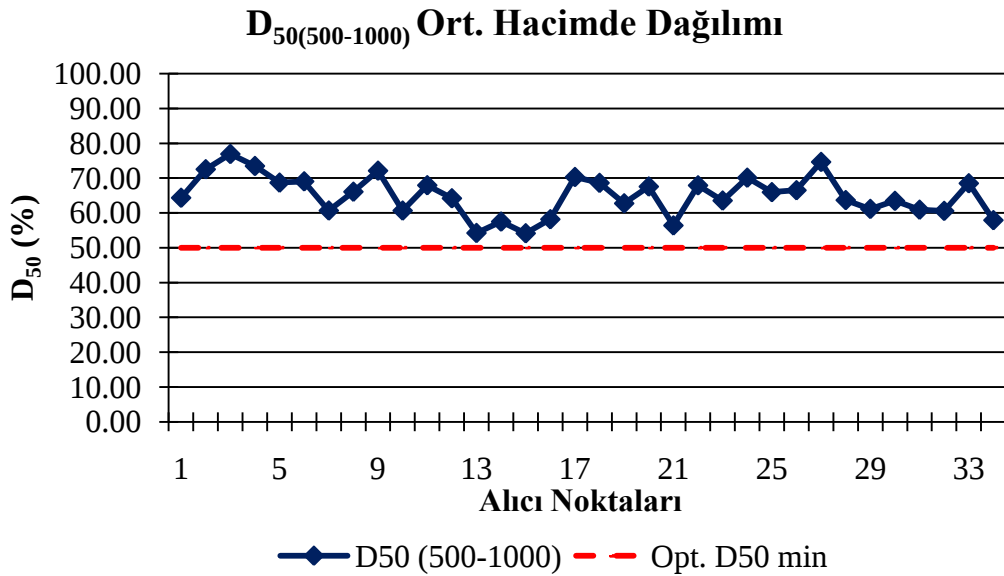
Şekil 6.27 I. – II. – III. bölgeler arasındaki D₅₀ Ayırt Edilebilirlik değerleri değişimi

Şekil 6.27’deki grafikte görüldüğü üzere D₅₀ parametresinin değerleri 125 Hz dışındaki tüm frekanslarda birbirlerine yakındır. Değişim 125 Hz’de görülmektedir. 125 Hz’de II. bölgenin değeri diğer bölgelerin değerlerine göre daha düşüktür. Bu durum II. bölgeye diğer bölgelerden daha az erken yansıma ulaşmasıyla açıklanabilir. Netlik parametresinin bölgeler arasındaki değişim değerlendirilmesinde de böyle bir durumla karşılaşmıştır. Bu durum II. bölge üzerindeki akustik tavanın bu bölgeye yeterli erken yansıma göndermemesiyle açıklanabilmektedir. Bunun nedeni de 125 Hz’de sesin dalga boyunun uzun olmasından ötürü akustik tavandan düzgün yansıyamamasıdır.

Şekil 6.28'deki grafikte ise parametre değerlerinin salonun arkasına doğru gidildikçe düştüğü açıkça okunmaktadır. Bu da salonun arkasına, önüne göre daha az erken yansıma ulaştığını göstermektedir. Netlik parametresinin değerlendirilmesinde de aynı durum görülmüş, bu durum da salonun arka tarafına yeterli erken yansıma ulaşmaması şeklinde yorumlanmıştır.



Şekil 6.28 Ön – Orta – Arka Bölgeler arasındaki D₅₀ Ayırt Edilebilirlik değerleri değişimi

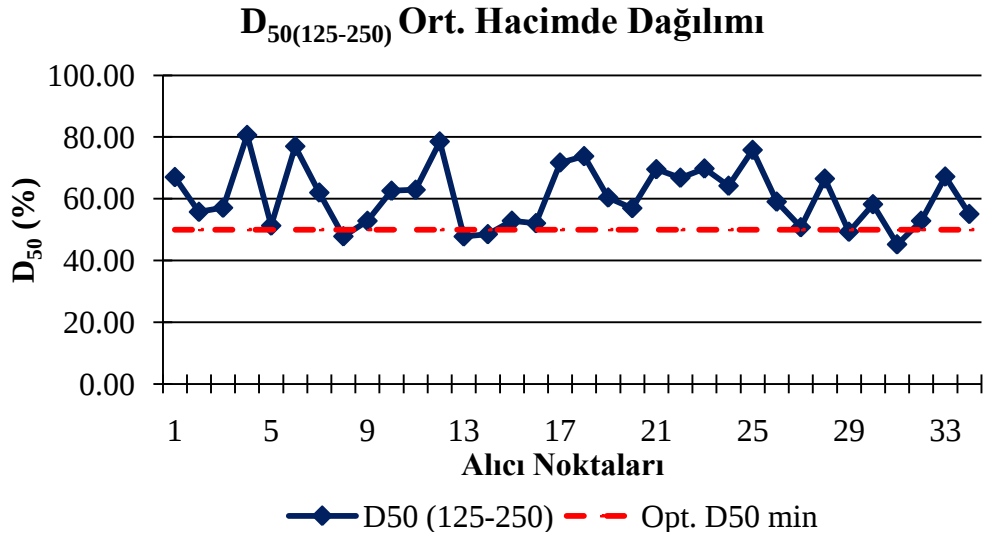


Şekil 6.29 D₅₀₍₅₀₀₋₁₀₀₀₎ Ortalamasının alıcı noktalarındaki dağılımı

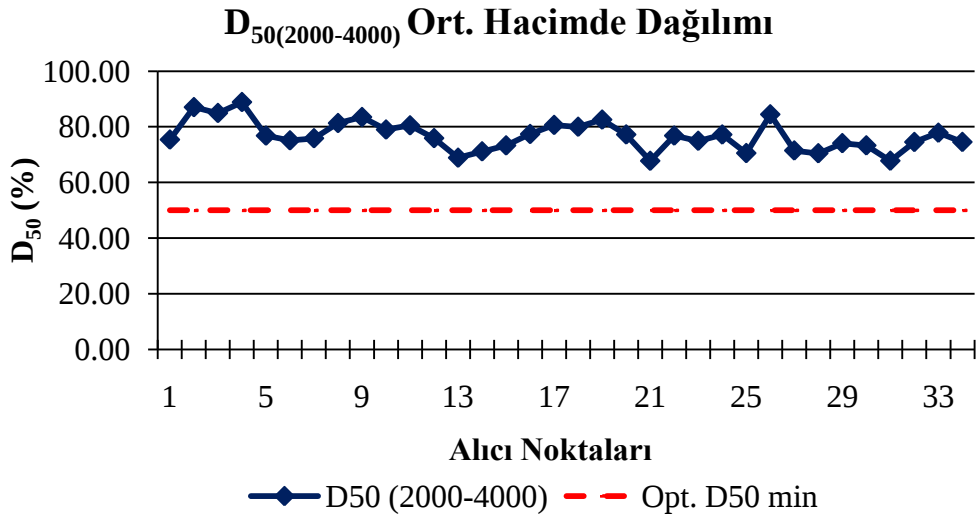
D₅₀ parametresinin 500 ve 1000 Hz'deki değerlerinin ortalamalarının noktalar arasındaki değişimi ve kesikli bir çizgiyle gösterilen optimum D₅₀ alt sınırı Şekil 6.29'daki grafikte

görülmektedir. Hacim genelinde parametre değerlerinin optimum alt sınırın üstünde olmasından ötürü salonda yüksek anlaşılabilirlik sağlandığı grafikten okunmaktadır.

D_{50} parametresinin alçak ve yüksek frekanslardaki dağılımları ise Şekil 6.30 ve Şekil 6.31'deki grafiklerde görülmektedir.



Şekil 6.30 $D_{50(125-250)}$ Ortalamasının alıcı noktalarındaki dağılımı



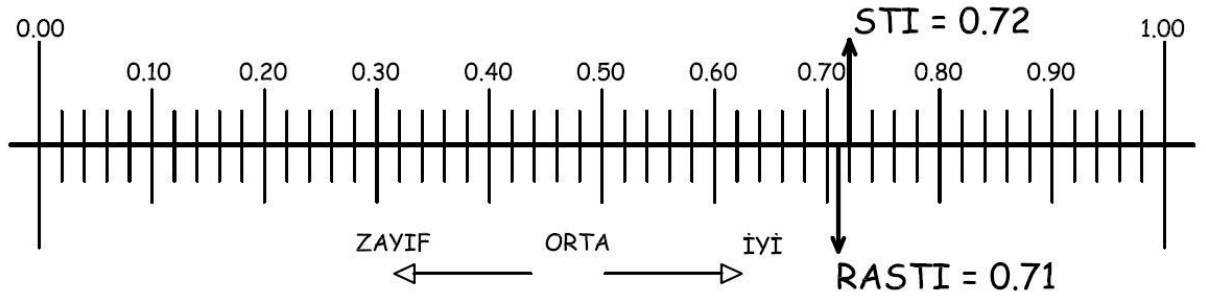
Şekil 6.31 $D_{50(2000-4000)}$ Ortalamasının alıcı noktalarındaki dağılımı

Grafikler incelendiğinde alçak frekanslarda noktalar arasındaki değişimin yüksek olduğu söylenebilir. Bu durum alçak frekanslı seslerin hacim yüzeylerinde düzgün yansımada ve hacim geneline dağılmasında sorunlar görülmesinden kaynaklanmaktadır. Yüksek frekanslı

sesler açısından Ayırt Edilebilirlik D_{50} incelendiğinde ise değişimin daha az ve dağılımın daha düzgün olduğu söylenebilir. Ayrıca orta frekanslarda Ayırt Edilebilirlik %80 'e dek çıkabilirken, yüksek frekanslarda değerler % 90 'a dek çıkabilmektedirler.

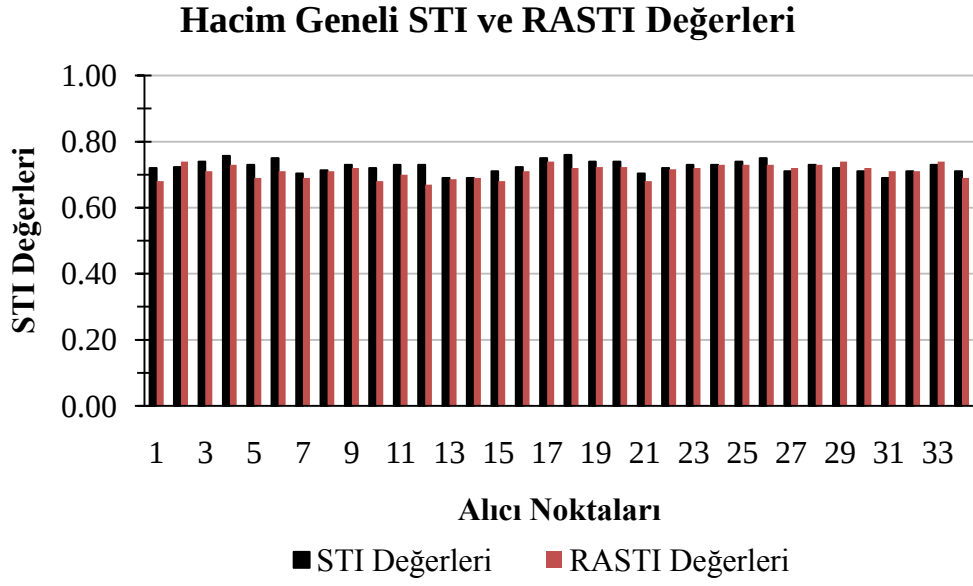
6.1.7 Ses İletim Göstergesinin Değerlendirmesi

Ses İletim Göstergesi (STI) bir hacimde konuşmanın anlaşılabilirliğini ölçmek amacıyla türetilmiş nesnel bir parametredir ve değerlendirmesi 0 – 1 arasında yapılmaktadır. RASTI ise STI parametresinden türetilmiş diğer bir parametredir ve değerlendirilmesinde aynı aralık kullanılmaktadır. Salonda yapılan ölçümler sonucunda ortalama STI değeri olarak 0,72, ortalama RASTI değeri olarak da 0,71 bulunmuştur. Bu değer Şekil 6.32'deki skalada da gözüktüğü üzere iyi bir anlaşılabilirliğe denk gelmektedir.



Şekil 6.32 Hacim genelinde ortalama STI ve RASTI değerleri

Konuşmanın anlaşılabilirliğinin değerlendirilmesinde hacim ortalamasının değerlerini incelemek yanında alıcı noktaları arasındaki parametre değerleri değişimine de dikkat etmek gerekmektedir. Alıcı noktalarındaki STI değerlerinin yer aldığı grafikte değerler arasında ufak değişimler olduğu görülmektedir (Bkz. Şekil 6.33). Parametre 0,68 ile 0,76 değerleri arasında değişen değerler almaktadır. STI parametresinden türetilmiş olan RASTI parametresinin değerlendirilmesinde ise parametre değerlerinin 0,66 ile 0,74 arasında değiştiği görülmektedir. Her iki parametre için de bu değerler konuşmanın anlaşılabilirliği açısından iyi bir duruma denk gelmektedir.



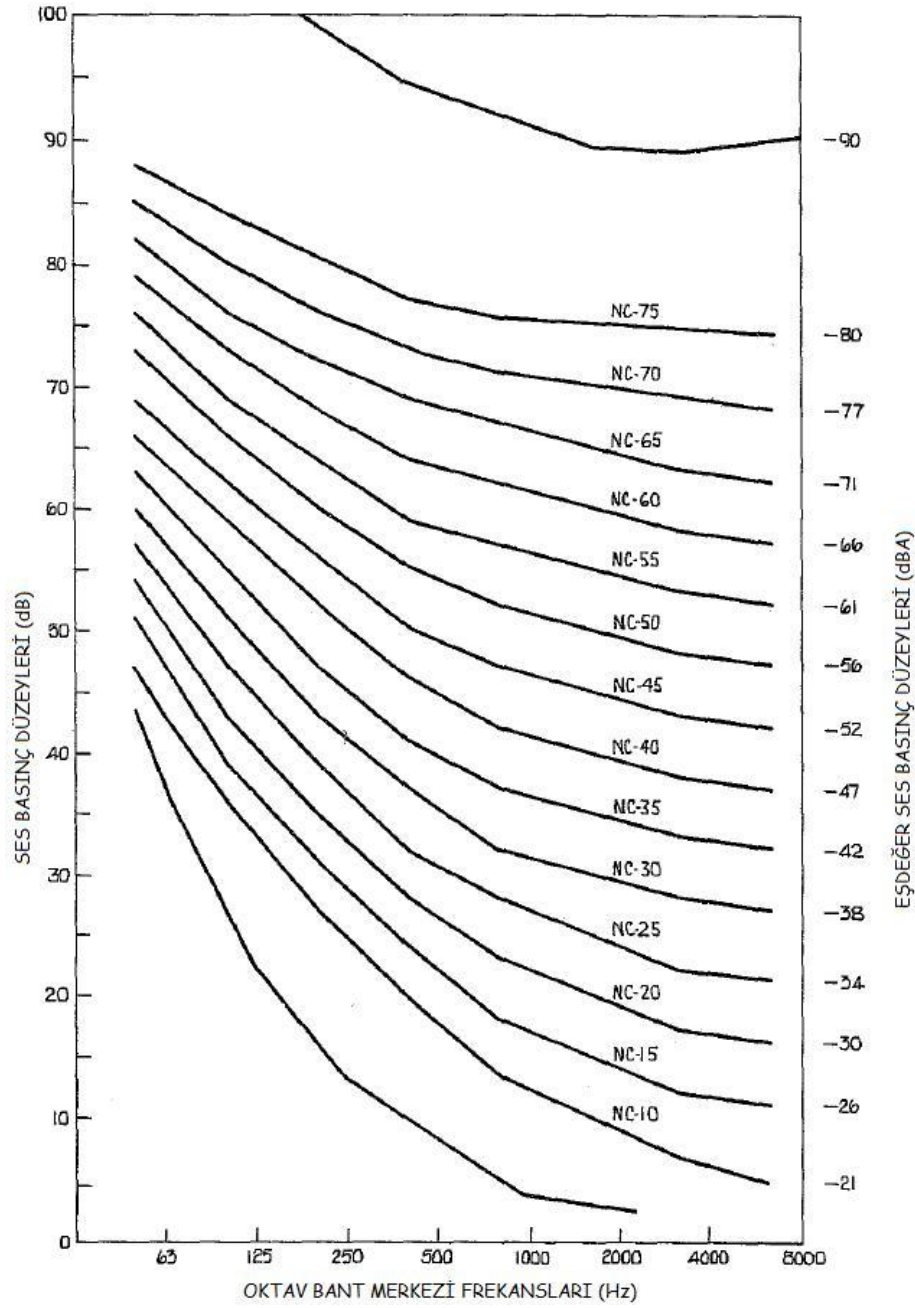
Şekil 6.33 Hacim geneli STI ve RASTI değerlerinin alıcı noktalarındaki dağılımı

6.1.8 Fon Gürültüsünün Değerlendirilmesi

Fon gürültüsü bir mekânda bulunan mevcut gürültüdür. Bu gürültünün kaynağı araç trafiği, komşu yapı ve benzeri gibi dış kaynaklı olabildiği gibi, havalandırma, ısıtma – soğutma sistemi, aydınlatma elemanları gibi iç kaynaklı da olabilmektedir. Bir hacimde bir etkinliğin rahatça anlaşılabilmesi için fon gürültüsünün belirli bir sınır altında olması gerekmektedir ve bu sınır değer “Kabul Edilebilir Gürültü Düzeyi” olarak tanımlanmaktadır. Bu sınır değer hacmin kullanım amacına göre değişmektedir ve çeşitli kaynaklarda farklı işlevler için farklı Kabul Edilebilir Gürültü Düzeyi değerleri olarak verilmektedirler.

İnsan kulağının yüksek frekanslı seslere karşı olan duyarlılığından ötürü, 6 oktavlık frekans bandı üzerinde eşdeğer uyarı oluşturan gürültü düzeyleri sayısal olarak birbirlerinden farklı değerler almaktadırlar. Yüksek frekanslardaki bir gürültü düzeyinin insan kulağında oluşturduğu uyarıyı, alçak frekanslarda ancak çok daha yüksek bir düzeyle oluşturabilmek mümkün olmaktadır. İnsan kulağının yüksek frekanslı seslere karşı daha duyarlı olmasından ötürü eşdeğer uyarı oluşturan gürültü düzeyleri, frekansın düşmesiyle yükselmektedir. Bir grafik üzerinde 6 oktavda eşdeğer uyarı oluşturan gürültü düzeyi değerleri birleştirildiğinde, bir eğrinin çıkacağı açıktır. Gürültü düzeyinin yükselmesi ya da alçalmasıyla eğrinin biçimi değişmemekte, sadece diğer eğrilere paralel olarak aşağı ya da yukarı kaymaktadır. Bu eğriler “Kabul Edilebilir Gürültü Düzeyi Eğrileri” olarak tanımlanmaktadır.

Kabul Edilebilir Gürültü Düzeyi Eğrileri'nin en çok kullanılanlarından biri de “Gürültü Kriteri” (Noise Criteria) NC eğrileridir. Bu eğriler de insan kulağında eşdeğer uyartı oluşturan gürültü düzeylerinin frekanslara göre dağılmasıyla oluşmuştur (Bkz.Şekil 6.34).



Şekil 6.34 Kabul edilebilir gürültü düzeyleri – Noise Criteria Eğrileri

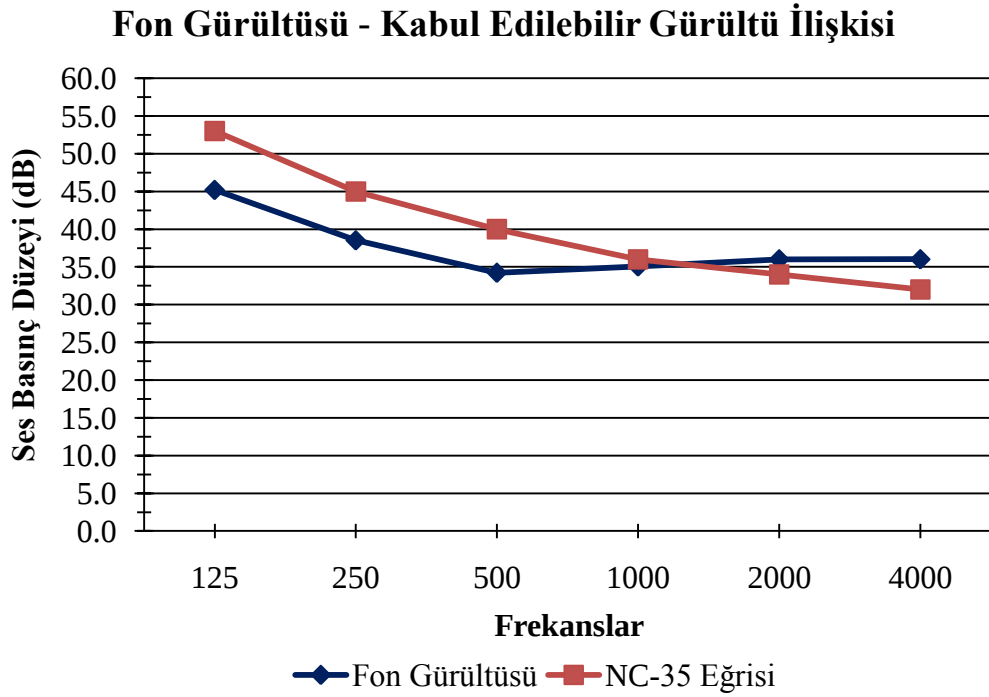
Grafikte görüldüğü üzere eğriler birbirlerine paralel olarak yükselmekte ve İngilizce isimlerinin kısaltmasının arkasına sayısal değerler olarak adlandırılmaktadırlar. Eğrileri

adlandırmada kullanılan bu sayısal değerler, konuşmanın anlaşılabilirliğinde oldukça önemli olan 1000, 2000 ve 4000 Hz frekanslarındaki ses düzeylerinin aritmetik ortalamasıdır (Cavanaugh, 1999). Grafiğin düşey eksenlerinden birinde, gürültü düzeyi (dB) cinsinden verilirken, bir diğerinde (dBA) cinsinden verilmektedir. Örneğin NC – 35 eğrisine denk gelen bir fon gürültüsü, basit bir ses düzeyi ölçeği ile ölçüldüğünde 42 dBA değeri verecektir. Bu da, bu fon gürültüsünün insan kulağında 42 dB düzeyinde bir uyarı oluşturacağı anlamına gelmektedir.

Farklı işlevlere sahip hacimler için, farklı Gürültü Kriteri (NC) eğrileri kullanılmaktadır. Bunun nedeni ise, bazı hacimlerin diğerlerinden daha sessiz olmasının gerekmesidir. Örneğin oditoryumlar, ses kayıt stüdyoları ve opera salonlarının; alışveriş merkezleri, iş merkezleri ve restoranlardan daha sessiz olmaları gerekmektedir. Bu bakımdan farklı işleve sahip her hacim için, kendisine özgü farklı bir Gürültü Kriteri değeri tespit edilmiştir. Bu değerler çeşitli kaynaklardaki bu amaca yönelik hazırlanmış tablolardan alınabilmektedir. 500 kişiden az kapasiteye sahip oditoryumlar için NC – 35 Gürültü Kriteri değeri uygundur (Cavanaugh, 1999). Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Sedat Hakkı Eldem Oditoryumunun kapasitesinin 364 kişi olmasından ötürü, bu hacim için de uygun değer olarak NC – 35 kabul edilmiş ve değerlendirmeler bu doğrultuda yapılmıştır. Altı oktav frekansından her biri için NC – 35 eğrisine denk gelen ses basınç düzeyleri grafikten okunmuş ve değerlendirmelerde bu değerler kullanılmıştır.

Fon gürültüsü ölçümlerinde salon içinde belirlenen alıcı noktalarında diğer ölçümlerde de kullanılmış olan mikrofönler kullanılmıştır. Fon gürültüsünün salondaki dağılımını net bir şekilde belirleyebilmek için ölçümler salonun koridorları üzerinde toplam altı noktada üç kez yapılmış ve her nokta için bu üç ölçümün ortalaması alınmıştır. Bu noktalar ölçüm planı üzerinde görülen R35 – R40 noktalardır (Bkz. Şekil 6.2). Salonda ölçümler, havalandırma ve ısıtma sistemi kapalı durumda ve fuaye boşken yapılmıştır. Bu bakımdan salon içinde ölçülmüş olan fon gürültüsü sadece Meclis-i Mebusan caddesindeki trafik gürültüsü kaynaklıdır. Gün boyu oldukça yoğun olan, hem motorlu taşıtların kullandığı, hem de tramvayın çalıştığı caddedeki trafik gürültüsü, sürekli gürültü olarak kabul edilebilir.

Salonda belirlenmiş alıcı noktalarında yapılmış olan ölçümler sonucunda elde edilmiş olan fon gürültüsü değerleri Şekil 6.35'deki grafikte görülmektedir.



Şekil 6.35 Fon Gürültüsü Değerlendirilmesi

NC-35 eğrisine göre oditoryumda kabul edilebilir gürültü düzeyi mevcut fon gürültüsü düzeyi ile karşılaştırıldığında 2000 Hz ve 4000 Hz'de mevcut gürültü düzeyinin kabul edilebilir değerlerin üzerinde olduğu görülmektedir. Diğer frekanslarda ise mevcut gürültü düzeyi kabul edilebilir gürültü düzeyinin altındadır (Bkz. Şekil 6.35). Yüksek frekanslarda çıkan bu yüksek değerlerin cadde trafiği kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Yapı kabuğunda alınabilecek önlemler ile bu konuda çözüm üretilebilir.

6.2 Parametrelerin Standart Sapma ve Değişim Katsayısı Değerleri

Tez çalışmasının bu bölümünde, akustik parametrelerin hacim içinde belirlenmiş bölgeler arasındaki değişimlerini ve hacim içindeki dağılımlarını ortaya koymaya yönelik olarak istatistiksel analiz çalışması yapılmıştır. Hacim içindeki dağılım pek çok kriterden etkilenmektedir. Bunların başlıcaları Yanıt Eğrisinin düzgünlüğü, yutucu yüzeylerin dağılımının düzgünlüğü, hacmin biçimi, erken yansıma yapan yüzeylerin varlığı ve oluşabilecek akustik kusurların kontrol altına alınabilmesi olarak sıralanabilir. Bu çalışmada istatistiksel veri olarak standart sapma ve değişim katsayısı değerlerine yer verilmiştir. Standart sapma bir dağılımın düzgünlüğünü araştırmak için, değerlerin birbirlerinden ne

derece uzaklaştıklarını aramak yerine, bir ortalamadan ne derece ayrıldıklarını ya da saptıklarını göstermede kullanılan bir yöntemdir. Değişim katsayısı ise bir dağılımda değerler arasındaki uzaklıkları saptamak ve dağılım düzgünlüklerini belirlemek amacı ile kullanılan boyutsuz ölçülerdir ve yüzde olarak ifade edilmektedirler.

6.2.1 Yansıma Süresinin Değerlendirilmesi

Salondaki Yansıma Sürelerinin bölgesel olarak standart sapmaları ve değişim katsayıları incelendiğinde, bazı bölgelerin diğerlerine göre daha düzgün bir dağılım gösterdiği görülmektedir (Bkz.Çizelge 6.2). Hacim genelinde en düzgün dağılım yüksek frekanslardaki Yansıma Süresinde gözlemlenmektedir. Bunun sebebi yüksek frekanslı seslerin kısa dalga boyunda olmalarından ötürü hacimde daha kolay dağılabilmesi olarak yorumlanmaktadır. Orta frekanslardaki en iyi dağılım ise I. bölge ve ön bölgede gözlenmiştir. Bu durum bu bölgelerde yüzey yutuculuklarının daha düzgün olarak dağılmış olmalarıyla açıklanmaktadır. Hacmin genelinde alçak frekanslardaki Yansıma Süresinin değişim katsayısının yüksek olduğu tablodan okunmaktadır. Bunun nedeni alçak frekanslı seslerin uzun dalga boyuna sahip olmalarından ötürü hacim içinde dağılmalarının zor olmasından kaynaklanmaktadır.

Çizelge 6.2 Hacim içinde bölgelere göre Yansıma Süresinde gözlemlenen standart sapma ve değişim katsayısı değerleri

		GENEL	I. BÖLGE	II. BÖLGE	III. BÖLGE	ÖN BÖLGE	ORTA BÖLGE	ARKA BÖLGE
RT ₍₁₂₅₋₂₅₀₎	S.S.	0,094	0,103	0,094	0,081	0,076	0,086	0,128
	D.K.	%10,97	%11,47	%11,31	%9,47	%9,04	%10,08	%14,99
RT ₍₅₀₀₋₁₀₀₀₎	S.S.	0,025	0,019	0,025	0,024	0,018	0,024	0,029
	D.K.	%3,55	%2,70	%3,51	%3,45	%2,52	%3,35	%4,09
RT ₍₂₀₀₀₋₄₀₀₀₎	S.S.	0,018	0,020	0,016	0,023	0,020	0,019	0,016
	D.K.	%3,14	%3,38	%2,65	%3,89	%3,33	%3,20	%2,84

Alçak frekanslarda en yüksek değişim katsayısı arka bölgede görülmektedir. Bu bölgedeki değişim katsayısı %14,99 değeri ile tablodaki en yüksek değerdir. Bu da bu bölgede yüzey yutuculuk dağılımının diğer bölgelerdekilere göre daha düzensiz olması ile açıklanmaktadır.

6.2.2 Sıcaklığın Değerlendirilmesi

Salon genelinde Bas Oranı değişim katsayısı % 6,50 iken, salonun arkasında bu değer % 8,64'e yükselmektedir (Bkz. Çizelge 6.3). Bunun sebebi salonun arkasında alçak frekanslardaki Yansıma Süresi dağılımının düzgün olmayışdır.

Çizelge 6.3 Hacim içinde bölgelere göre Bas Oranında gözlemlenen standart sapma ve değişim katsayısı değerleri

		GENEL	I. BÖLGE	II. BÖLGE	III. BÖLGE	ÖN BÖLGE	ORTA BÖLGE	ARKA BÖLGE
BR	S.S.	0,102	0,050	0,054	0,048	0,033	0,048	0,067
	D.K.	%6,50	%6,21	%6,93	%6,16	%4,29	%6,14	%8,64

Bu durum alçak frekanslı seslerin dalga boylarının uzun olmasından ötürü hacim yüzeylerinde düzgün yansıma yapamamaları ile açıklanmaktadır. Bunun yanında arka bölgedeki yüzey yutuculuk dağılımın diğer bölgelerdekilere göre daha düzensiz olması da burada görülen yüksek değişim katsayısını açıklamaktadır. En düzgün dağılım ise %4,29 değeri ile ön bölgede görülmektedir. Bu durum ise ön bölgenin yüzey yutuculuk dağılımının diğer bölgelerin yüzey yutuculuk dağılımlarından daha düzgün olması olarak açıklanabilmektedir.

6.2.3 Erken Düşme Süresinin Değerlendirilmesi

EDT değerleri hacim içinde noktadan noktaya, bölgeden bölgeye değişmekte ve bu bölgeler arasında farklı standart sapma ve değişim katsayısı değerleri görülmektedir. Çizelge 6.4'deki tablodan hacim içindeki farklı bölgeler arasındaki standart sapma ve değişim katsayısı değerleri okunabilmektedir. Daha önce de bahsedildiği üzere hacim genelinde değişim katsayısının en düşük olduğu frekanslar yüksek frekanslardır. Bu durum yüksek frekanslı seslerin dalga boylarının kısa olmasından ötürü hacim içinde çok daha düzgün dağılabilmeleri ile açıklanabilmektedir. Alçak frekanslara doğru gidildikçe sesin dalga boyu uzamakta, hacim genelinde dağılımı güçleşmekte ve değişim katsayısı değerleri de artmaktadır. Orta frekans aralığına baktığımızda ise en düşük değişim katsayısının %6,86 değeriyle ön bölgede, en yüksek değişim katsayısının ise %22,55 değeriyle III. bölgede gözlemlendiği tablodan okunmaktadır.

Çizelge 6.4 Hacim içinde bölgelere göre Erken Düşme Süresinde gözlemlenen standart sapma ve değişim katsayısı değerleri

		GENEL	I. BÖLGE	II. BÖLGE	III. BÖLGE	ÖN BÖLGE	ORTA BÖLGE	ARKA BÖLGE
$EDT_{(125-250)}$	S.S	0,340	0,147	0,318	0,413	0,341	0,306	0,417
	D.K.	%40,86	%21,93	%33,18	%57,84	%41,06	%39,86	%40,21
$EDT_{(500-1000)}$	S.S	0,127	0,139	0,103	0,167	0,057	0,126	0,067
	D.K.	%17,63	%20,16	%14,30	%22,55	%6,86	%17,25	%11,05
$EDT_{(1000-2000)}$	S.S	0,080	0,113	0,047	0,063	0,093	0,082	0,056
	D.K.	%13,90	%20,77	%7,70	%12,18	%15,03	%14,24	%10,37

Ön bölgede değişim katsayısının düşük çıkması buradaki yüzey yutuculuk dağılımının düzgün olmasına bağlıdır. Alçak frekanslarda ise en düşük değişim katsayısı %21,93 değeriyle I. bölgede, en yüksek değişim katsayısı %57,84 değeriyle III. bölgede görülmüştür.

6.2.4 Parlaklığın Değerlendirilmesi

Akustik Parlaklığın bölgeler arasındaki değişimi Çizelge 6.5’de görülmektedir. Hacim genelinde EDT_{2000} / EDT_{mid} oranında daha düzgün dağılım gözlemlenmiştir. Ayrıca bölgeler arasında en düşük değişim katsayısı EDT_{2000} / EDT_{mid} oranında I. bölgede ve EDT_{4000} / EDT_{mid} oranında ön bölgede tespit edilmiştir.

Çizelge 6.5 Hacim içinde bölgelere göre Tiz Oranında gözlemlenen standart sapma ve değişim katsayısı değerleri

		GENEL	I. BÖLGE	II. BÖLGE	III. BÖLGE	ÖN BÖLGE	ORTA BÖLGE	ARKA BÖLGE
EDT_{2000} / EDT_{mid}	S.S.	0,145	0,065	0,113	0,192	0,187	0,150	0,081
	D.K.	%16,31	%7,37	%12,01	%24,37	%22,08	%17,23	%8,45
EDT_{4000} / EDT_{mid}	S.S.	0,140	0,143	0,129	0,123	0,038	0,140	0,138
	D.K.	%18,93	%19,94	%16,30	%18,82	%5,89	%19,25	%16,56

6.2.5 Netliğin Değerlendirilmesi

Çizelge 6.6'da salon genelinde ve salon içindeki bölgelerde Netlik parametresinin standart sapma ve değişim katsayısı değerleri görülmektedir. Salon geneli incelendiğinde değişim katsayısının frekans yükselmesiyle düştüğü görülmektedir. Bu durum her bir bölgenin kendi içinde değerlendirilmesinde de gerçekleşmektedir ve frekans yükselmesiyle değişim katsayısı düşmektedir.

Çizelge 6.6 Hacim içinde bölgelere göre C_{80} Netlik parametresinde gözlemlenen standart sapma ve değişim katsayısı değerleri

		GENEL	I. BÖLGE	II. BÖLGE	III. BÖLGE	ÖN BÖLGE	ORTA BÖLGE	ARKA BÖLGE
$C_{80(125-250)}$	S.S	1,690	1,999	1,293	1,417	1,339	1,639	1,627
	D.K.	%30,70	%35,90	%26,95	%20,63	%20,72	%28,65	%36,71
$C_{80(500-1000)}$	S.S.	0,989	1,200	0,902	0,919	1,124	0,904	1,225
	D.K.	%15,68	%17,45	%14,80	%14,63	%17,32	%14,60	%18,76
$C_{80(2000-4000)}$	S.S.	1,008	1,243	0,937	1,000	1,273	0,873	0,820
	D.K.	%11,03	%13,98	%10,31	%10,59	%12,20	%9,66	%9,34

Bölgeler kendi aralarında karşılaştırıldıklarında ise orta frekanslarda en düşük değişim sırasıyla orta bölge ve III. bölgede gözlemlenmektedir. Yüksek frekanslarda en düşük değişim arka bölgede gözlenirken, alçak frekanslarda en düşük değişim III. bölgede tespit edilmiştir.

Netlik parametresinin değerlendirilmesinde dikkate alınacak frekans aralığı orta frekanstır ve salonda orta bölgede ve III. bölgede düşük değişim katsayısı çıkmıştır. Salonun kenarlarına doğru yaklaştıkça dağılımda düzensizlikler belirlemekte, Netlik parametresi hacmin geometrisinden etkilenerak farklı değerlere ulaşmaktadır.

6.2.6 Ayırt Edilebilirliğin Değerlendirilmesi

Hacim genelinde ve hacim içindeki farklı bölgelerde D_{50} parametresinin değişimi incelendiğinde ise en büyük değişimin alçak frekanslarda görüldüğü fark edilmektedir. Bu durum alçak frekansların dalga boylarının uzun olmasından ötürü hacimde düzgün

dağılamamalarından kaynaklanmaktadır. Alçak frekanslarda en büyük değişim %17,66 değeri ile ön bölgede, en düşük değişim ise %12,84 değeriyle III.bölgede görülmektedir (Bkz. Çizelge 6.7). Bu durum III. bölgenin bu frekansta ön bölgeye göre daha düzenli erken yansıma almasıyla açıklanabilir. Netlik parametresinde olduğu gibi Ayırt Edilebilirlik parametresinde de değişim katsayısı değerleri frekansın yükselmesiyle düşmektedir. Dolayısıyla da en düşük değişim katsayıları 2000 Hz ve 4000 Hz ortalamasında görülmektedir.

Çizelge 6.7 Hacim içinde bölgelere göre D₅₀ Ayırt Edilebilirlik parametresinde gözlemlenen standart sapma ve değişim katsayısı değerleri

		GENEL	I. BÖLGE	II. BÖLGE	III. BÖLGE	ÖN BÖLGE	ORTA BÖLGE	ARKA BÖLGE
D ₅₀₍₁₂₅₋₂₅₀₎	S.S	9,883	9,454	7,806	8,908	11,498	9,926	7,912
	D.K.	%16,24	%15,40	%13,84	%12,84	%17,66	%16,01	%14,22
D ₅₀₍₅₀₀₋₁₀₀₀₎	S.S.	5,813	4,116	6,551	4,338	5,331	5,443	5,350
	D.K.	%8,94	%6,12	%10,37	%6,47	%7,42	%8,46	%8,38
D ₅₀₍₂₀₀₀₋₄₀₀₀₎	S.S.	5,327	4,002	5,585	5,419	6,000	4,561	3,058
	D.K.	%6,94	%5,30	%7,35	%6,84	%7,14	%5,94	%4,19

Yüksek frekanslarda hacim genelindeki değişim katsayısı %6,94 değerine kadar düşmektedir. Orta frekanslar için bu değer %8,94'tür. Yüksek frekanslarda en düşük değişim katsayısı %4,19 değeriyle arka bölgede görülmüştür. Arka bölgeyi takiben I. bölgede de %5,30 değeri görülmektedir. Orta frekanslar için de en düşük değişim katsayısının görüldüğü alan ise I. bölgedir. Burada değişim katsayısı %6,12 değerini almaktadır.

6.2.7 Ses İletim Göstergesinin Değerlendirilmesi

Ses İletim Göstergesi, Yansıma Süresi ile beraber tüm parametreler arasında en düzgün dağılımın görüldüğü parametredir. Çizelge 6.8'da görüldüğü üzere hacim genelindeki STI ve RASTI değişim katsayıları %2,54 ve %2,89 değerlerindedir.

Çizelge 6.8 Hacim içinde bölgelere göre STI ve RASTI parametrelerinde gözlemlenen standart sapma ve değişim katsayısı değerleri

		GENEL	I. BÖLGE	II. BÖLGE	III. BÖLGE	ÖN BÖLGE	ORTA BÖLGE	ARKA BÖLGE
STI	S.S	0,018	0,013	0,015	0,016	0,017	0,019	0,013
	D.K.	%2,54	%1,84	%2,07	%2,18	%2,30	%2,63	%1,82
RASTI	S.S.	0,021	0,019	0,020	0,024	0,026	0,020	0,017
	D.K.	%2,89	%2,66	%2,77	%3,42	%3,70	%2,88	%2,35

Bu parametrelerin hacim içindeki bölgeler arasında en düzgün dağıldığı yer ise arka bölgedir. Bu bölgenin değerleri her iki parametre için de çizelgedeki en düşük değerlerdir ve %1,82 ile %2,35 değerlerini taşımaktadırlar. Bu bölgeyi her iki parametre için de I. bölge izlemektedir.

7. SONUÇ

Bu tez çalışması kapsamında Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Sedat Hakkı Eldem Oditoryumunun konuşma ve müzik amaçlı etkinlikler için uygunluğu Hacim Akustiği açısından incelenmiş ve değerlendirilmiştir. Değerlendirmede Hacim Akustiği parametrelerinin belirlenmesi amacıyla akustik ölçümler yapılmıştır. Ölçüm düzeneğinde bir adet dodechadron (12 yüzlü) omni-directional kaynak, iki adet mikrofon kullanılmış ve hacme beyaz gürültü verilmiştir.

Hacimde yapılan ölçümler sonucunda hacim geneli Yansıma Süresi değerlerinin Maekawa'nın önerdiği optimum Yansıma Süresi değerlerinden düşük olduğu görülmüştür. Maekawa'nın (1994) önerdiği optimum değerler müzik etkinlikleri için 1,46 – 1,66 s arasında, konuşma etkinlikleri için ise 0,88 – 1,18 arasında değişirken, Barron'un (1993) konuşma amaçlı hacimler için önerdiği değerler 0,7 – 1,0 s aralığında değişmektedir. Mevcut salonda orta frekans Yansıma Süresi ortalaması yaklaşık olarak 0,7 s çıkmıştır (Bkz. Şekil 6.7). Bu değer Barron'un önermiş olduğu aralığın alt sınırına denk gelmektedir, ancak Maekawa'nın önermiş olduğu değerlerin altındadır. Böyle düşük bir Yansıma Süresi, konuşma açısından uygun olsa da, müzik açısından sesin hacmi doldurmada yetersiz kalmasına, hacmin kuru ve ölü olarak algılanmasına neden olacaktır. Buradaki bu durum salonda ses yutucu yüzey malzemelerinin çokluğu ile açıklanabilmektedir. Hacim içinde bölgeler arasında yapılan değerlendirmelerde Yansıma Süresinde değişim görülmemiş, tüm bölgelerde Yansıma Süresi değerlerinin birbirlerine yakın olduğu gözlemlenmiştir (Bkz.Şekil 6.5 ve Şekil 6.6). Bu durum sesin salonda düzgün yayıldığını göstermektedir. Yansıma Süresi grafiği kendi içinde değerlendirildiğinde ise alçak frekansların Yansıma Süresi değerlerinin yüksek frekanslardakinden bir miktar daha yüksek olduğu görülmüştür (Bkz. Şekil 6.4). Bu da alçak frekanslardaki seslerin yüksek frekanslardaki kadar yutulmadıklarını göstermektedir. Alçak frekanslarda da yüksek frekanslardaki kadar yutulma görülebilmesi için çok daha büyük bir alanın titreşen levha özelliği göstermesi gerekmektedir.

Alçak frekanslarda Yansıma Süresinde görülen bu yükseliş hacimdeki sese Sıcaklık kazandırmaktadır. Optimum Bas Oranı değerleri 1,10 – 1,45 aralığında değişirken, mevcut salonda bu oran pek çok noktada bu değer aralığının üzerinde çıkmıştır (Bkz. Şekil 6.10). Bu durum da salonda alçak frekanslardaki seslerin yüksek frekanslardaki seslerden daha az

yutulduklarına bir kez daha dikkat çekmektedir.

Yapılan ölçümler sonucunda Erken Düşme Süresi genel hacim ortalaması değerlerinin Yansışım Süresi genel hacim ortalaması değerleri ile örtüştüğü, Yansışım Süresinde olduğu gibi parametre değerlerinin alçak frekanslarda yükseldiği ve yüksek frekanslarda ise düştüğü görülmüştür (Bkz. Şekil 6.11). Bu da hacimde sesin düzgün yayıldığı şeklinde yorumlanmıştır. İki parametrenin birbiriyle örtüşmesi hacmin ses enerjisi düşüş diyagramında tek eğimli bir düşüş görüldüğü şeklinde yorumlanmaktadır. Şekil 6.11'deki Erken Düşme Süresi grafiğinin kabul edilebilir alt sınır açısından değerlendirilmesinde ise, 4000 Hz dışında tüm frekanslarda parametre değerlerinin optimum alt sınırın üstünde olduğu görülmüş, diğer frekanslardaki EDT değerlerinin bu salon için uygun olduğu saptanmıştır. 4000 Hz'deki bu düşüş bu frekanstaki toplam hacim yutuculuğunun yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Bölgeler arasındaki değişim incelendiğinde ise 125 Hz dışındaki tüm frekanslarda parametre değerlerinin birbirleriyle örtüştüğü görülmektedir (Bkz. Şekil 6.12 ve Şekil 6.13). 125 Hz'de hacim içindeki bölgeler arasında farklılıklar görülmesinin nedeni, bu frekanstaki seslerin dalga boylarının yüksek olmasından ötürü hacim yüzeylerinde dağılarak yansıyamamaları olabilir. Bu yüzden de hacmin her bölgesi bu frekansta aynı miktarda erken yansıma alamamaktadır. Üzerinde durulması gerekli bir diğer konu da alıcı noktalarındaki parametre değerleri alçak frekans ortalamalarının, parametre değerleri yüksek frekans ortalamalarına göre kendi aralarında çok daha yüksek değişim göstermeleridir (Bkz. Şekil 6.15 ve Şekil 6.16). Bu durum da alçak frekanslı seslerin hacim içinde dağılımlarının yüksek frekanslı seslere göre çok daha zor olmasıyla açıklanmaktadır. Bunun yanında tüm frekanslardaki Erken Düşme Süresinin alıcı noktalarındaki dağılımları Yansışım Süresinin alıcı noktalarındaki dağılımlarına göre çok daha düzensizdir ve noktadan noktaya değişim daha yüksektir. Bunun nedeni de Erken Düşme Süresinin erken yansımalarla yakından ilişkili olmasından ötürü hacmin geometrisinden çok daha fazla etkilenmesi olabilir.

Yüksek frekanslı seslerin Erken Düşme Süresi değerlerinin orta frekanslı seslerinkine oranının belirli bir düzeyin üzerinde olması sese Parlaklık kazandırmaktadır. Bu oran 2000 Hz EDT değerleri için 0,9 iken, 4000 Hz EDT değerleri için 0,8'dir. Hacim genelindeki alıcı noktalarında bu oranlar incelendiğinde ise sadece bazı koltuklarda bu oranın üzerine çıkılabildiği ve dolayısıyla da sadece bu koltuklarda Parlaklığın sağlandığı görülmektedir (Bkz. Şekil 6.17 ve Şekil 6.18). Salon genelinde Parlaklığın sağlandığını söylemek mümkün

değildir. Yüksek frekanslarda EDT değerlerinin bir miktar daha yüksek olması durumunda hacim genelinde Parlaklık sağlanabilir.

Netlik, erken seslerin enerjilerinin geç seslerin enerjilerinin oranının logaritmasıdır ve birimi (dB)'dir. Beranek en başarılı konser salonları için optimum Netlik aralığını (-4) – (+4) dB olarak belirlemiştir. Ancak müzik amaçlı kullanımlarda negatif değerler tercih edilmektedir, çünkü Beranek'in vermiş olduğu bu aralık boş salonlar için geçerlidir ve salonda dinleyicilerin bulunması durumunda yutuculuk artacak ve Netlik değerleri de yükselecektir. Dinleyicili durumda optimum sonuçların elde edilebilmesi için dinleyicisiz durumlarda negatif değerler tercih edilmektedir.

Netlik parametresinin genel hacim ortalaması grafiği incelendiğinde tüm değerlerin pozitif olduğu ve 4 dB üzerinde olduğu görülmektedir (Bkz. Şekil 6.19). Bölgeler kendi başlarına incelendiklerinde de aynı pozitif değerlerin korunduğu görülmüş ve bölgeler arasında uyum olduğu gözlemlenmiştir (Bkz. Şekil 6.20 ve Şekil 6.21). Böyle yüksek pozitif değerlerin görülmesi hacimde erken yansımaların güçlü olduğunu göstermektedir. Mevcut durumda ses hacimde net bir şekilde anlaşılabilir, ancak bu kadar yüksek Netlik değerleri salonun müzik amaçlı kullanımı için uygun değildir. Ses salonu doldurmada yetersiz kalmaktadır, salon ölü ve kuru olarak algılanmaktadır.

Hacimde yapılan ölçümler sonucunda Ayırt Edilebilirlik parametresinin % 50 üzerinde değerler aldığı görülmüştür (Bkz. Şekil 6.26). % 50 Ayırt Edilebilirlik % 90 anlaşılabilirliğe denk geldiği için hacim genelinde yüksek anlaşılabilirliğin sağlandığı söylenebilir (Bkz. Şekil 3.1). Ayırt Edilebilirlik parametresinin genel hacim ortalaması incelendiğinde ise alçak frekanslarda bir düşüş, yüksek frekanslarda bir yükseliş görülmüştür (Bkz. Şekil 6.26). Bu durum Netlik parametresi grafiğinde de görülmüştür ve doğrudan erken yansımaların alçak frekanslarda düzgün dağılamamalarıyla ilişkilidir. Hacim içindeki bölgeler arasında tek farklılaşma alçak frekanslarda görülmüştür (Bkz. Şekil 6.27 ve Şekil 6.28). Bu frekansta dağılım düzgün olmadığı için bazı bölgelerde parametre değerleri yüksek bazılarında düşük çıkmıştır.

Ses İletim Göstergesi (STI) bir hacimde anlaşılabilirliği ölçmede kullanılan bir parametredir ve 0 – 1 arasında değerler almaktadır. Yapılan ölçümler sonucunda hacim geneli Ses İletim Göstergesi (STI) değerlerinin yaklaşık 0,7 değerinde olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca RASTI

değerleri de yaklaşık 0,7'dir (Bkz. Şekil 6.33). Bu değerler iyi bir anlaşılabilirliğe denk gelmektedir. Ayırt Edilebilirlik parametresinin % 50 üzerinde değerler almış olması da hacimdeki anlaşılabilirliğin yüksek olduğunu destekleyen diğer bir veridir.

Salon kendi içinde I – II – III ve ön – orta – arka olmak üzere bölgelere ayrılarak, hacimde akustik açıdan parametre değerleri arasında bir değişim olup olmadığı saptanmaya çalışılmıştır. Bu çalışma sonucunda bölgeler arasındaki parametre değerlerinde kayda değer bir değişim görülmemiş, parametre değerlerinin bölgeler arasında birbirlerine yakın değerler aldığı saptanmıştır. Bunun sonucunda parametre değerlerinin salon içinde düzgün bir şekilde dağıldıkları belirlenmiştir. Bu bakımdan salon, düzgün yayılmışlığın sağlanması açısından uygun durumdadır.

Salon kişi başına düşen hacim açısından incelendiğinde ise değerlerin arzulanan aralıkta olduğu görülmüştür. Templeton (1997)'a göre konuşma amaçlı kullanılmakta olan bir mekânda kişi başına en fazla 5 m³ hacmin düşmesi uygundur. Oditoryum 1735 m³ hacme ve 364 kişilik dinleyici kapasitesine sahiptir. Bu değerlerden, salonda kişi başına yaklaşık olarak 4,76 m³ hacim düştüğü görülmekte ve bu değer de uygun aralık içinde olduğu Çizelge 2.1'de rahatça okunabilmektedir.

Bu değerlendirmeler ışığında, yüksek D₅₀, STI ve RASTI değerleri yanında konuşma için uygun bir RT değeri elde edilmesiyle, salonun müzik etkinliklerinden çok konuşma etkinlikleri için daha uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Salonun müzik etkinliklerinde kullanılmasında müzik açısından düşük RT değerleri yanında yüksek C₈₀ değerleri, sesin salonu doldurmada yetersiz kalmasına neden olmakta, salon ölü ve kuru olarak algılanmaktadır.

Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Devlet Konservatuvarı Öğretim Görevlileri ve öğrencileri ile yapılan yüz yüze sözlü görüşmeler sonucunda oditoryum üzerine yukarıda tespit edilmiş olan bulgularla örtüşen eleştiriler alınmıştır. Sistematik bir anket çalışması yapılmamış olsa bile görüşmeler sonucunda saptanan bu eleştirilerin temelini, yutuculuğun yüksek olmasının getirisi olarak sesin salonda çok kısa sürede sönmesi, sahnedeki icracıların seslerinin dinleyicilere gitmediğini düşünmesi sonucunda enstrümanlarını daha güçlü çalmaları ve daha çabuk yorulmaları, icracıların kendi seslerini ve diğer icracıların seslerini işitememesi sonucunda birlikteliğin sağlanamaması oluşturmaktadır. Bu öznel eleştirilerin

nesnel bulgularla örtüşmesi salonda yapılmış olan ölçüm sonuçlarının doğruluğunu da desteklemekte ve göstermektedir.

Çizelge 7.1 Sedad Hakkı Eldem Oditoryumunun Akustik Değerlendirme Sonuçları

PARAMETRE	KABUL EDİLEBİLİR MİN. DEĞER	KABUL EDİLEBİLİR MAX. DEĞER	OPT. ARALIĞI ÖNEREN AKUSTİKÇİ	ÖLÇÜLEN DEĞER	DURUM
RT_{mid} (Müzik)	1,46s	1,66s	Maekawa	0,71s	olumsuz
RT_{mid} (Konuşma)	0,88s	1,18s	Maekawa	0,71s	olumsuz
RT_{mid} (Konuşma)	0.70s	1,00s	Barron	0,71s	olumlu
EDT_{mid}	0,57s	-	Gade	0,65s	olumlu
BR	1,1	1,45	Mehta	1,57	olumsuz
TR_{2000}	0,9	-	Beraneck	0,88	olumsuz
TR_{4000}	0,8	-	Beraneck	0,73	olumsuz
C_{80}	-4dB	+4dB	Beraneck	6,31dB	olumsuz
D_{50}	%50	-	Kuttruff	%65	olumlu
STI	0,65	-	Cavanaugh	0,72	olumlu
RASTI	0,65	-	Cavanaugh	0,71	olumlu
BGN	-	38dB	Cavanaugh	34,6dB	olumlu

Nesnel ve öznel bulgular ışığında temel sorun olarak hacmin toplam yutuculuğundan kaynaklanan düşük yansımın belirlenmiştir. Çizelge 7.1 incelendiğinde salonda ölçülen Yansıma Süresinin müzik amaçlı kullanımlar için uygun olan optimum aralığın altında kaldığı görülmektedir. Bu durum yutuculuğun yüksek olduğunu bilimsel olarak ortaya koymaktadır. Ayrıca müzik kalitesi ile ilgili BR, TR_{2000} , TR_{4000} ve C_{80} parametrelerinin olumsuz bir durumda olması da yüksek hacim yutuculuğundan kaynaklanmaktadır.

Bu yüzden salondaki toplam yutuculuğu azaltacak önlemler alınmalıdır. Bu önlemler zemindeki halının kaldırılması, sünger kaplı koltukların, daha az yutucu malzeme ile kaplı, örneğin ahşap yüzeyli koltuklarla değiştirilmesi ve etkinlikler sırasında sahnedeki perdelerin toplanarak bir nişe yerleştirilmesi olabilir. Bu durumda Yansıma Süresi ve Erken Düşme

Süresi uzayacak ve Yansıım Süresi salon için uygun olan optimum aralığa girebilecektir. Ayrıca 2000 Hz ve 4000 Hz'deki Erken Düşme Süresi uzayacak, bunu takiben de TR_{2000} ve TR_{4000} Tiz Oranları yükselecek ve salonda pek çok noktada Parlaklık sağlanabilecektir. Aynı durum Bas Oranı için de geçerli olacaktır. Orta frekanslardaki Yansıım Süresinin yükselmesiyle Bas Oranı düşecek ve salonda pek çok noktada Sıcaklık da sağlanabilecektir.

Bunun yanında salonda gözlemlenen yüksek Netlik ve Ayırt Edilebilirlik değerleri erken yansımaların çokluğundan kaynaklanmaktadır. Yüksek Netlik'in salonun ölü ve kuru olarak algılanmasına neden olduğu düşünülürse, erken yansımaları azaltmanın gerekli olduğu anlaşılabilecektir. Bu amaç doğrultusunda Akustik Tavanda ve yan duvarlardaki ahşap panellerde düzenlemelere gidilerek erken yansımaların oranının azaltılabileceği düşünülebilir. Bu durumda Netlik değerleri biraz düşerek hacim için uygun olan optimum aralığa girebilecektir. Erken yansımaların azalmasıyla Ayırt Edilebilirlik değerlerinin de düşme olasılığı olduğundan akustik tavanda ve yan duvarlardaki ahşap panellerde erken yansımaları düşürmeye yönelik düzenlemeler yapılırken aşırıya gidilmemelidir.

Bu çalışma, özellikle işitsel açıdan önemli olan mekanların tasarımıyla ilgilenenlere konu hakkında kısa ve özet bilgiler sunmuş, bir oditoryumun hacim akustiği açısından incelenmesinde kullanılabilecek yöntemleri göstererek, salonu akustik koşullar açısından değerlendirmiştir. Tez çalışması kapsamında yapılmış olan analiz çalışmalarıyla Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Sedat Hakkı Eldem Oditoryumunun konuşma ve müzik etkinlikleri için uygunluk durumu saptanmış, çalışmanın sonunda salonda görülen akustik yetersizlikleri düzeltmeye yönelik iyileştirme önerilerine de kısaca yer verilmiştir.

KAYNAKLAR

- Anon, (1995), "Draft International Standard, ISO/DIS 3382", International Organization for Standardization
- Barron, M. (1993), Auditorium Acoustics and Architectural Design, E & FN Spon, Londra
- Barron, M. (2000), "Late lateral energy fractions and the envelopment question in concert halls", Elsevier Applied Acoustics 62
- Barron, M. (2005), "Using the Standard on objective measures for concert auditoria, ISO 3382, to give reliable results", Acoust. Sci. & Tech., 26,2
- Beranek, L. (1996), Concert and Opera Halls: How They Sound, Acoustical Society of America, New York
- Bradley, J.S. ve Soulodre, G.A. (1995a), "The influence of late arriving energy on spatial impression", Journal of Acoustical Society of America, 97
- Bradley, J.S. ve Soulodre, G.A. (1995b), "Objective measures of listener envelopment", Journal of Acoustical Society of America, 98
- Cavanaugh, W.J. ve Wilkes, J. A. (1999), Architectural Acoustics: Principles and Practice, John Wiley & Sons, Inc., USA
- Egan, M. D. (1988), Architectural Acoustics, McGraw-Hill Inc., New York
- Erdem Aknesil, A. (1997), Salonların Hacim Akustiği Yönünden Değerlendirilmesinde Akustik Koşul Dağılımlarının Öneminin Ortaya Konulması ve İrdelenmesine Yönelik Bir Yaklaşım, F.B.E., Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul
- Erdem Aknesil, A., Yügrük Akdağ, N. ve Karabiber Yüksel, Z. (2005), "Acoustic Evaluation of a 19th Century Ottoman Palace Theatre", Architectural Science Review, Vol.48
- Figueiredo, F. L. ve Iazzetta, F. (2005), "Comparative Study of measured acoustic parameters in concert halls in the city of Sao Paulo", Inter – Noise, Rio 2005
- Gade, A.C. (1989), Acoustical Survey of Eleven European Concert Halls, The Acoustics Laboratory, Technical University of Denmark, Report No.44
- Hasol, D. (1998), Ansiklopedik Mimarlık Sözlüğü, Yapı – Endüstri Merkezi Yayınları
- Kuttruff, H. (1991), Room Acoustics: Third Edition, Elsevier Applied Science, Londra
- Long, M. (2006), Architectural Acoustics, Elsevier Academic Press, Burlington, MA.
- Maekawa, Z. ve Lord. P. (1994), Environmental and Architectural Acoustics, E & FN Spon, Londra
- Marshall, A. H. ve Barron, M. (2000), "Spatial responsiveness in concert halls and the origins of spatial impression", Elsevier Applied Acoustics 62
- Martin, R. S., Arana, M. (2006), "Predicted and experimental results of acoustic parameters in the new Symphony Hall in Pamplona, Spain", Elsevier Applied Acoustics 67

Mehta, M., Johnson, J. ve Rocafort, J. (1999), *Architectural Acoustics: Principles and Design*, Prentice Hall, New Jersey

Okano, T., Beranek, L.L. ve Hidaka, T. (1998) “ Relations among interaural cross-correlation coefficient ($IACC_E$), lateral fraction (LF_E), and apperant source width (ASW) in concert halls”, *Journal of Acoustical Society of America*, 104

Öner Gezgin, A. (2003), *Akademiye Tanıklık 2, Güzel Sanatlar Akademisine Bakışlar / Mimarlık, Bağlam Yayınları, İstanbul*

Sirel, Ş. (1974), *Yapı Akustiği I: Temel Bilgiler, İnkılap ve Aka Basımevi, İstanbul*

Sirel, Ş. (1981), *Hacim Akustiğinde Yansışım Süresi, Yapı Fiziği Bilim Dalı Yayınları, İDMMA Basımevi, İstanbul*

Templeton, D., Sacre, P., Mapp, P. ve Saunders, D. (1997), *Acoustics in the Built Environment: Advice for the Design Team, Second Edition, Architectural Press, Oxford*

Yüğrük Akdağ, N. ve Erdem Aknesil, A. (2008), “The Importance of Interior Surface Materails on Acoustics Performance: A Case Study of the Yıldız Technical University Auditorium, Turkey”, *Architectural Science Review*, Vol.51.4

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 18.06.1979

Doğum yeri İstanbul

Lise 1990-1998 İstanbul Erkek Lisesi

Lisans 1998-2005 Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi
Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü

Yüksek Lisans 1989-1991 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Yapı Fiziği Bilim Dalı

Yabancı Dil Almanca, İngilizce

Çalıştığı kurumlar

2005-2006 Mimta Mimarlık Taah. İnş. San. Tic. Ltd. Şti.

2006-2008 Metal Yapı A. Ş.

2008-..... Tabar Mühendislik İnş. Ve Tic. Ltd. Şti.

EKLER

EK 1: MİMAR SİNAN GÜZEL SANATLAR ÜNİVERSİTESİ SEDAD HAKKI ELDEM
ODİTORYUMUNUN MİMARİ AKUSTİK AÇIDAN DEĞERLENDİRİLMESİ
AMACIYLA YAPILAN ÖLÇÜM SONUÇLARI

YANSIŞIM SÜRESİ ÖLÇÜM SONUÇLARI

	R01	R02	R03	R04	R05	R06	R07	R08	R09	R10	R11	R12	R13	R14	R15	R16	R17
Hz	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s
125	1,14	0,97	0,85	0,86	0,92	0,92	0,85	0,73	0,75	0,78	1,25	1,11	1,10	1,08	1,23	0,88	0,95
250	0,68	0,81	0,67	0,71	0,75	0,84	0,75	0,70	0,75	0,68	0,78	0,70	0,76	0,78	0,86	0,68	0,67
500	0,69	0,71	0,75	0,71	0,76	0,76	0,73	0,71	0,77	0,73	0,72	0,70	0,73	0,81	0,77	0,70	0,71
1000	0,67	0,70	0,70	0,68	0,69	0,70	0,64	0,71	0,69	0,68	0,71	0,70	0,69	0,73	0,74	0,73	0,70
2000	0,66	0,64	0,65	0,61	0,66	0,63	0,62	0,63	0,67	0,64	0,63	0,65	0,64	0,68	0,65	0,65	0,63
4000	0,53	0,55	0,54	0,50	0,55	0,52	0,53	0,54	0,53	0,56	0,53	0,56	0,53	0,54	0,55	0,55	0,52

	R18	R19	R20	R21	R22	R23	R24	R25	R26	R27	R28	R29	R30	R31	R32	R33	R34
Hz	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s
125	0,98	0,89	1,02	0,99	0,90	1,08	0,98	0,78	1,07	1,51	0,96	0,99	0,99	0,67	0,77	0,92	0,80
250	0,72	0,69	0,76	0,68	0,70	0,78	0,80	0,83	0,82	0,72	0,77	0,82	0,75	0,80	0,65	0,76	0,74
500	0,79	0,75	0,71	0,77	0,76	0,77	0,70	0,66	0,75	0,65	0,69	0,73	0,75	0,68	0,70	0,68	0,67
1000	0,70	0,65	0,72	0,65	0,76	0,71	0,69	0,70	0,69	0,73	0,68	0,71	0,77	0,71	0,71	0,71	0,65
2000	0,66	0,61	0,63	0,61	0,63	0,66	0,65	0,65	0,68	0,61	0,64	0,61	0,63	0,67	0,64	0,62	0,61
4000	0,55	0,50	0,49	0,51	0,51	0,57	0,52	0,53	0,57	0,52	0,55	0,51	0,53	0,54	0,52	0,50	0,54

ERKEN DÜŞME SÜRESİ ÖLÇÜM SONUÇLARI

	R01	R02	R03	R04	R05	R06	R07	R08	R09	R10	R11	R12	R13	R14	R15	R16	R17
Hz	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s
125	0,89	1,61	1,74	0,21	0,08	0,73	30,75	1,15	1,43	4,28	1,15	3,14	1,33	1,76	0,00	1,74	0,31
250	0,48	0,36	0,69	0,66	0,69	0,74	0,87	0,90	0,72	1,07	0,37	0,87	0,44	0,82	0,73	0,81	1,06
500	1,10	0,82	0,83	0,83	0,90	0,72	0,96	1,00	0,57	1,15	0,73	0,95	0,94	0,92	1,12	0,94	0,46
1000	0,68	0,91	0,71	0,76	0,71	0,70	0,95	0,64	0,65	0,82	0,77	0,81	0,60	0,49	0,61	0,58	1,08
2000	0,78	0,71	0,83	0,49	0,67	0,64	0,71	0,68	0,64	0,73	0,63	0,61	0,60	0,78	0,71	0,76	0,46
4000	0,61	0,57	0,48	0,47	0,53	0,60	0,52	0,52	0,55	0,60	0,43	0,61	0,60	0,60	0,61	0,55	0,43

	R18	R19	R20	R21	R22	R23	R24	R25	R26	R27	R28	R29	R30	R31	R32	R33	R34
Hz	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s
125	0,51	0,98	1,11	0,35	1,16	1,57	0,63	0,75	0,25	73,60	0,68	0,72	1,99	2,36	1,58	1,02	0,75
250	1,07	0,61	0,40	0,63	1,11	0,29	0,34	0,12	0,32	0,83	0,64	0,64	0,65	0,60	0,90	2,25	0,62
500	0,74	0,48	0,60	0,88	0,71	0,69	0,57	0,60	0,54	0,64	0,55	0,42	0,60	0,67	0,77	0,55	0,71
1000	1,48	0,73	0,51	0,64	0,58	0,80	0,72	0,55	0,79	0,33	0,57	0,58	0,61	0,83	0,61	0,69	0,59
2000	0,65	0,47	0,51	0,70	0,57	0,61	0,67	0,66	0,49	0,55	0,54	0,53	0,56	0,72	0,71	0,52	0,60
4000	0,61	0,29	0,47	0,57	0,57	0,50	0,61	0,52	0,41	0,52	0,44	0,54	0,53	0,72	0,57	0,48	0,43

C₈₀ NETLİK ÖLÇÜM SONUÇLARI

	R01	R02	R03	R04	R05	R06	R07	R08	R09	R10	R11	R12	R13	R14	R15	R16	R17
Hz	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB
125	5,30	3,00	3,33	9,70	3,47	10,90	5,37	0,50	1,50	5,70	4,27	9,27	0,93	1,30	5,20	4,40	7,50
250	6,83	8,23	8,10	7,20	5,50	6,23	5,20	4,60	6,50	5,30	7,90	5,93	8,20	4,60	5,97	6,37	5,97
500	3,20	8,13	6,97	6,33	5,27	6,77	5,40	5,27	6,47	4,93	5,63	2,90	4,53	5,70	4,70	5,80	8,77
1000	6,80	5,77	8,33	6,40	6,43	6,90	4,67	6,83	7,37	5,80	6,50	6,70	5,33	4,67	6,40	7,07	5,03
2000	7,10	10,57	7,87	9,90	6,70	6,70	6,77	7,67	8,70	6,77	8,50	7,47	7,80	7,13	6,87	6,93	8,67
4000	10,07	11,67	13,40	12,90	9,60	9,93	9,67	10,93	11,77	10,47	11,13	8,67	8,67	9,07	9,63	9,73	10,83

	R18	R19	R20	R21	R22	R23	R24	R25	R26	R27	R28	R29	R30	R31	R32	R33	R34
Hz	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB
125	11,20	7,03	0,33	6,00	5,47	5,20	3,90	8,40	4,30	-0,23	6,63	5,13	0,77	-2,33	3,43	4,03	5,30
250	6,00	4,73	7,40	6,63	4,90	6,93	9,30	8,10	7,30	5,87	7,97	5,17	7,17	6,73	4,00	7,20	4,07
500	6,50	7,63	7,23	5,00	5,67	6,33	7,43	8,00	7,17	8,13	8,23	7,07	5,80	5,67	4,37	8,23	5,37
1000	6,13	6,07	8,73	4,63	7,43	7,50	6,33	7,07	5,70	8,97	5,87	6,87	7,80	5,90	5,57	6,07	4,53
2000	6,90	9,20	8,97	6,50	8,67	7,83	8,70	7,77	9,20	5,93	7,37	8,60	8,10	6,70	8,53	8,73	7,37
4000	11,07	12,73	11,60	10,37	10,30	9,47	10,77	9,83	11,00	9,20	9,33	10,33	10,83	9,03	10,37	10,53	9,57

D₅₀ AYIRT EDİLEBİLİRLİK ÖLÇÜM SONUÇLARI

	R01	R02	R03	R04	R05	R06	R07	R08	R09	R10	R11	R12	R13	R14	R15	R16	R17
Hz	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
125	64,23	31,63	37,13	86,33	46,83	85,10	67,40	44,00	47,27	67,43	50,07	87,90	29,93	36,70	40,93	42,43	79,43
250	69,77	79,83	77,00	74,90	55,73	68,83	56,57	51,63	58,37	57,70	75,70	69,13	65,60	60,33	64,77	61,70	63,93
500	56,87	79,13	74,67	73,27	65,73	71,70	61,77	66,37	71,83	54,17	64,03	56,87	55,10	58,20	48,63	57,23	75,77
1000	71,83	65,97	79,20	73,70	71,67	66,43	59,60	65,80	72,43	67,17	71,87	71,53	53,37	56,80	59,67	59,13	64,87
2000	67,03	84,80	79,13	86,80	71,37	67,67	71,97	77,03	79,97	72,47	74,83	75,40	65,90	70,17	69,03	75,33	75,97
4000	83,70	89,23	90,70	90,90	82,20	82,50	79,73	85,57	86,97	85,47	86,10	76,37	71,80	72,10	77,50	79,40	85,27

	R18	R19	R20	R21	R22	R23	R24	R25	R26	R27	R28	R29	R30	R31	R32	R33	R34
Hz	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
125	87,20	60,67	36,27	66,03	66,03	63,17	49,47	67,83	51,80	37,03	55,27	55,60	48,63	19,27	46,67	61,80	58,27
250	60,33	60,10	77,63	73,03	67,53	76,37	78,90	83,73	66,27	64,47	77,73	42,97	67,77	71,17	59,00	72,50	51,83
500	72,70	65,77	62,17	60,77	66,60	58,83	71,37	65,63	66,10	73,70	67,77	62,83	61,07	57,17	59,93	74,93	60,23
1000	64,57	59,73	73,00	52,03	69,23	68,27	68,87	66,30	66,93	75,60	59,60	59,47	65,87	64,67	61,23	62,10	55,60
2000	73,57	77,63	73,20	62,47	73,57	70,50	73,90	69,23	82,93	64,90	66,77	72,33	67,93	61,23	65,13	74,47	68,10
4000	86,37	87,43	81,20	73,00	80,03	79,33	80,47	71,80	85,93	78,00	74,13	75,83	78,63	74,30	83,87	81,20	80,93

STI ve RASTI – SES İLETİM GÖSTERGESİ ÖLÇÜM SONUÇLARI

	R01	R02	R03	R04	R05	R06	R07	R08	R09	R10	R11	R12	R13	R14	R15	R16	R17
STI	0,72	0,72	0,74	0,76	0,73	0,75	0,70	0,71	0,73	0,72	0,73	0,73	0,69	0,69	0,71	0,72	0,75
RASTI	0,68	0,74	0,71	0,73	0,69	0,71	0,69	0,71	0,72	0,68	0,70	0,67	0,69	0,69	0,68	0,71	0,74

	R18	R19	R20	R21	R22	R23	R24	R25	R26	R27	R28	R29	R30	R31	R32	R33	R34
STI	0,76	0,74	0,74	0,70	0,72	0,73	0,73	0,74	0,75	0,71	0,73	0,72	0,71	0,69	0,71	0,73	0,71
RASTI	0,72	0,72	0,72	0,68	0,72	0,72	0,73	0,73	0,73	0,72	0,73	0,74	0,72	0,71	0,71	0,74	0,69